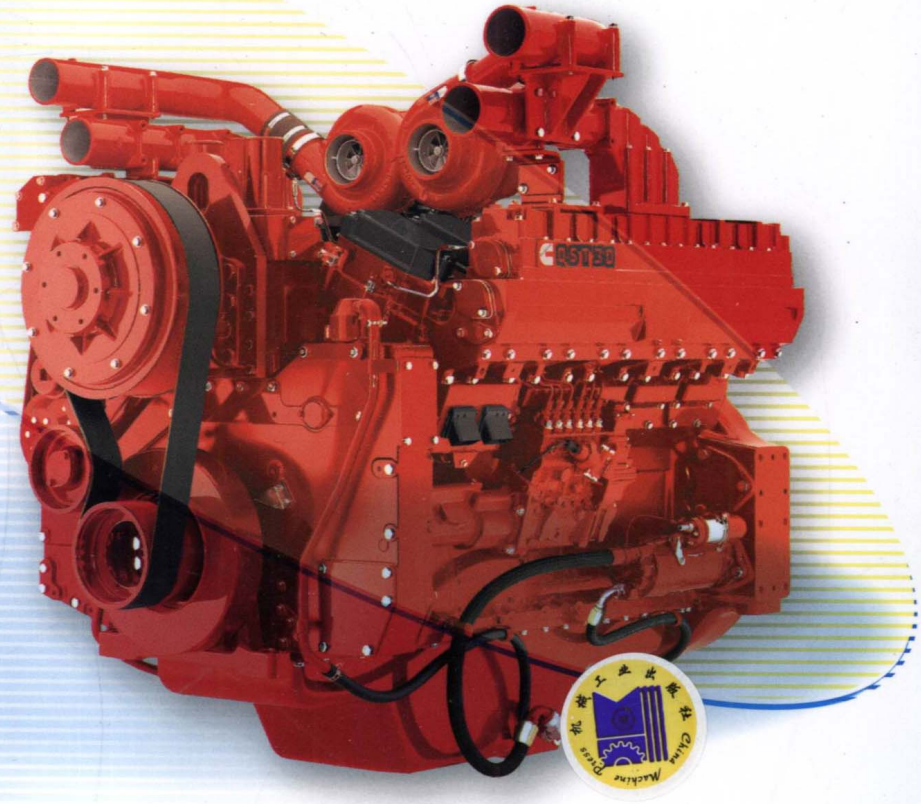
康明斯
柴油机构造及常见故障分析

张卫东　梅华平　等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



张卫东 男，1963.07，广东汕头人，1985年毕业于华中科技大学船舶内燃机专业，海军工程大学博士、博士后。现为空军预警学院黄陂士官学校军械技术系电力工程教研室教授。长期从事柴油发电机组的科研教学工作，先后在《内燃机学报》、《内燃机工程》、国际学术会议上发表论文30余篇，并为SCI、EI收录，获军队科技进步二等奖一项。

康明斯柴油机构造及常见故障分析

张卫东　梅华平　等编著

机 械 工 业 出 版 社

本书较详细地介绍了康明斯柴油机的构造特点，并结合大量实际案例阐述了康明斯柴油机常见故障的分析和排除方法。重点针对康明斯柴油机曲轴连杆机构、增压系统、燃料系统及电子调速、电子监控、传感器、无刷发电机等系统部件进行了分析。内容新颖，通俗易懂，实用性强。

本书可用于相关专业院校师生、军队士官培训，也可供柴油机及汽车、工程机械使用维修人员阅读。

图书在版编目（CIP）数据

康明斯柴油机构造及常见故障分析/张卫东等编著. —北京：机械工业出版社，2013.12

ISBN 978-7-111-44184-7

Ⅰ.①康… Ⅱ.①张… Ⅲ.①柴油机—构造②柴油机—故障诊断 Ⅳ.①TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 228309 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：沈 红 责任编辑：沈 红
版式设计：常天培 责任校对：丁丽丽
封面设计：姚 毅 责任印制：李 洋
北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）
2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 18.75 印张 · 508 千字
0001— 3000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-44184-7
定价：58.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
	编辑热线（010）88379778
社 服 务 中 心：（010）88361066	教 材 网：http：//www.cmpedu.com
销 售 一 部：（010）68326294	机工官网：http：//www.cmpbook.com
销 售 二 部：（010）88379649	机工官博：http：//weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　言

康明斯柴油机是美国康明斯发动机公司生产的高品质柴油机，在汽车、船舶、动力机械和发电机组上都得到广泛应用。康明斯柴油机广泛采用增压和电子监控系统，以及集成化积木式设计，除装配柱塞式喷油泵外，还采用了独特的PT燃油系统，具有很好的经济性、动力性和可靠性。康明斯柴油机的广泛应用，直接带来了对该柴油机专业维修人才的迫切需求。为适应这一需要，提高康明斯柴油机使用维修人员的专业理论、故障分析和排除及解决实际问题的能力，特编写了本书。

本书将康明斯柴油机构造特点与故障诊断分析有机地融合起来。目前，内燃机工业有了很大的发展，一些新结构与新技术理论的采用使内燃机性能有了较大的提高，而这些技术发展都不可避免地反映在康明斯柴油机的结构和使用中。为此，本书力图将新技术结构与具体的康明斯柴油机结合起来，使读者能深刻理解其结构特点和工作过程，并能据此对其故障进行具体分析，从而有针对性地排除故障。本书结合大量的实际案例，重点阐述康明斯柴油机常见故障的分析查找办法，图文并重，资料详尽。希望读者能借助本书消除实际使用中的疑问，并掌握康明斯柴油机故障排除的实用技术。

本书内容按柴油机总体构造的系统组成编排，书中各故障案例便于维修人员借鉴他人故障排除的经验和方法，提高自身的故障排除水平和技能。同时，对康明斯柴油机的一般维护方法也作了较详尽的介绍，以期读者能在康明斯柴油机的使用维护中做到科学使用，预防为主，避免故障的发生。

本书由张卫东、梅华平主笔，刘丽华、刘谊露、陈安、刘镇民合作完成。疏漏之处敬请读者批评指正。

编　者

目　录

前言

第一章　概论 …… 1

第一节　柴油机构造原理 …… 1

第二节　康明斯柴油机构造特点 …… 5

第三节　柴油机故障排除的原则和方法 …… 9

第二章　曲轴连杆机构的构造与故障分析 …… 16

第一节　机体组构造 …… 16

第二节　活塞连杆组构造 …… 23

第三节　曲轴飞轮组构造 …… 28

第四节　曲轴连杆机构故障分析 …… 33

第三章　配气机构的构造及故障分析 …… 51

第一节　配气机构的组成与工作过程 …… 51

第二节　气门组构造 …… 51

第三节　气门传动组构造 …… 53

第四节　气门间隙与配气相位 …… 57

第五节　配气机构故障分析 …… 60

第四章　进排气系统构造及故障分析 …… 67

第一节　进排气系统的组成 …… 67

第二节　空气滤清器及进、排气装置 …… 68

第三节　废气涡轮增压系统 …… 69

第四节　进、排气系统故障分析 …… 76

第五章　燃油供给系统构造及故障分析 …… 87

第一节　直列柱塞式喷油泵燃油系统 …… 87

第二节　PT 燃油系统 …… 127

第三节　VE 分配泵燃油系统 …… 158

第六章　润滑系统构造及故障分析 …… 182

第一节　康明斯柴油机润滑系统构造 … 182

第二节　润滑系统故障分析 …… 190

第七章　冷却系统构造及故障分析 …… 204

第一节　康明斯柴油机冷却系统组成及工作方式 …… 204

第二节　冷却系统典型故障分析 …… 210

第八章　电气和控制系统 …… 220

第一节　康明斯柴油机起动电气系统 … 220

第二节　康明斯柴油机监控电路 …… 230

第三节　电气与控制系统故障分析 …… 241

第九章　康明斯柴油机综合故障分析 … 254

第十章　康明斯柴油机使用维护与保养 …… 266

第一节　柴油机的正确使用 …… 266

第二节　柴油机分级技术保养 …… 283

参考文献 …… 290

第一章　概　　论

第一节　柴油机构造原理

一、柴油机的基本工作原理

自然界中，存在各种能源，如风力、水力、燃料等。利用这些能源，通过机械的作用，产生动力，这种机械即为发动机。使用燃料（如柴油或汽油）在发动机气缸内部燃烧，将燃烧后释放出的热能转换为机械能的机器，称为内燃机。柴油机是内燃机的一种，它利用柴油燃烧产生的热能，推动活塞运动，对外输出机械能。

1. 柴油机的基本结构

如图 1-1 所示，圆筒形的气缸内装有一个活塞，气缸上部装有气缸盖，活塞顶部与气缸盖之间构成的密闭空间为燃烧膨胀空间。燃料燃烧推动活塞沿气缸中心线上下往复运动，活塞通过连杆与曲轴连接，将往复运动转换成曲轴的旋转运动。曲轴两端支承在曲轴箱的轴承上，曲轴的尾端装有盘形飞轮。气缸盖上安装有进、排气门，根据工作需要开启或关闭。

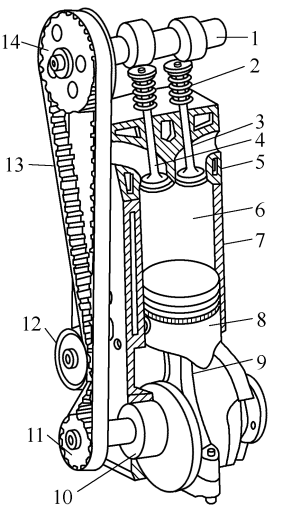


图 1-1　柴油机的基本结构
1—凸轮轴　2—气门弹簧　3—进气门
4—排气门　5—气缸盖　6—气缸
7—机体　8—活塞　9—连杆　10—曲轴
11—曲轴同步带轮　12—张紧轮
13—同步带　14—凸轮轴同步带轮

2. 基本名词术语

柴油机已发展成为一门比较成熟的技术学科，产生了一批专门的技术术语。在了解柴油机的基本工作原理前，要先了解下面基本名词术语的含义，如图 1-2 所示。

（1）上止点和下止点　活塞往复运动到达的最高位置叫做上止点，最低位置叫做下止点。

（2）活塞行程　活塞在气缸内由上止点移到下止点（或由下止点移到上止点）所运行的距离称为活塞行程，通常以符号 S 表示。

曲轴每旋转半周（即 180°），移动一个活塞行程。用字母 R 表示曲臂旋转半径（曲轴的主轴中心到连杆轴中心的距离），则 $S=2R$，即活塞行程等于曲臂旋转半径的两倍。

（3）工作循环　柴油机每产生一次动力，必须经过的进气、压缩、做功、排气一系列连续过程称为柴油机的工作循环。

（4）燃烧室容积　活塞位于上止点时，活塞顶与气缸、气缸盖之间所形成的空间（即活塞顶上方的容积）称为燃烧室容积，用 V_c 表示。

（5）气缸工作容积　活塞自上止点移动到下止点所让出的空间称为气缸工作容积，又称活塞排量，用 V_h 表示。实际上，气缸工作容积就是上止点到下止点之间的气缸容积。

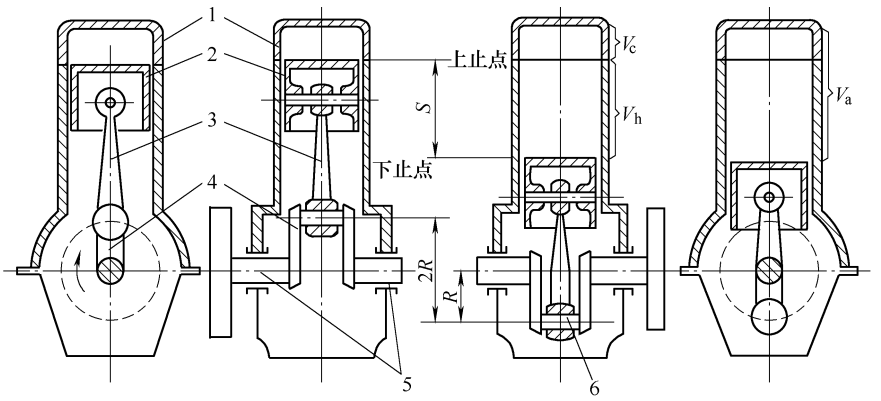


图 1-2　内燃机的基本名词术语图示

1—气缸　2—活塞　3—连杆　4—曲轴　5—主轴颈　6—曲轴连杆轴颈

若已知气缸的直径为 D，活塞行程为 S，则 $V_h = \dfrac{\pi D^2 S}{4}$

柴油机的排量即为所有气缸工作容积的和。

（6）气缸总容积　活塞位于下止点时，其顶部上方的气缸容积称为气缸总容积，用 V_a 表示。

气缸总容积等于燃烧室容积与气缸工作容积之和。即 $V_a = V_c + V_h$

（7）压缩比　气缸总容积与燃烧室容积的比值称为压缩比。换句话说，压缩比就是活塞从下止点到达上止点时，气缸总容积与气缸内气体被压缩后体积的比值，用 ε 表示。即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比是柴油机的重要指标，压缩比越大，柴油机气缸内工作条件越好。柴油机压缩比大于汽油机，因而具有更好的动力性和经济性。

3. 四冲程柴油机的基本工作原理

柴油机将柴油燃烧产生的热能转变为做功的机械能时，其每个工作循环都要经过进气、压缩、做功和排气四个过程。凡是活塞在气缸里上下运动四次、曲轴旋转两周（720°）完成一个工作循环的柴油机，称为四冲程柴油机。四冲程柴油机的工作原理可描述如下：

（1）进气过程　进气过程是气缸内吸入新鲜空气的过程，如图 1-3a 所示。这个过程开始时，活塞位于上止点，当曲轴通过连杆使活塞从上止点向下止点运动时，气缸容积增大，气缸内压力降低，这时进气门开放，排气门关闭，在气缸内外气压差的作用下，外界空气被吸入气缸。活塞到达下止点时，进气门关闭，进气过程结束。此时，气缸内的压力约为 75 ~ 95kPa（0.75 ~ 0.95kgf/cm^2），温度约为 50 ~ 70℃。

（2）压缩过程　压缩过程是提高缸内空气的温度和压力，为燃料的燃烧创造良好条件的过程，如图 1-3b 所示。当曲轴继续旋转，带动活塞由下止点向上止点运动时，进、排气门均关闭，进入气缸内的空气被压缩，气体的温度和压力升高。当压缩过程终了时，气缸内的压力可达 3.5 ~ 4.5MPa（35 ~ 45kgf/cm^2），温度可达 500 ~ 700℃。这个温度比柴油的自燃温度（柴油在空气中不用火焰去点燃而能自行燃烧的最高环境温度，一般为 300℃左右）高 200 ~ 400℃，从而保证喷入的柴油能自行着火燃烧。

压缩过程终了时气缸内的压力和温度，主要与压缩比有关。压缩比越大，压缩终了时气体的

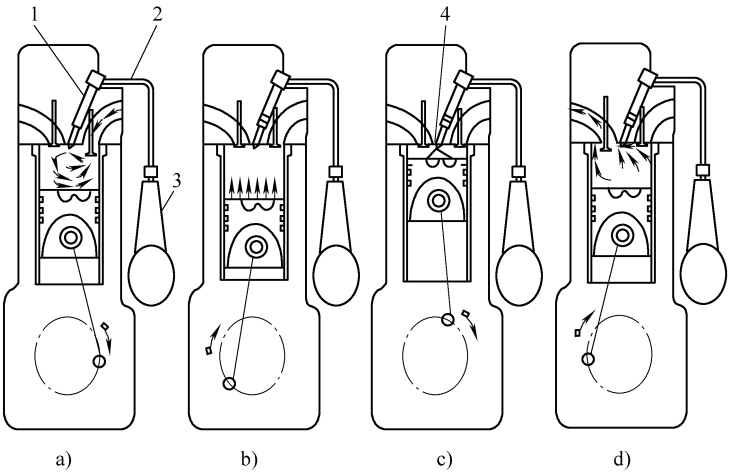


图 1-3 四冲程柴油机工作原理
a）进气过程 b）压缩过程 c）做功过程 d）排气过程
1—喷油器 2—高压油管 3—喷油泵 4—燃烧室

压力和温度便越高，这就有利于燃料的燃烧和燃气的膨胀，从而提高柴油机的功率和经济性。但柴油机的压缩比过大，燃烧时产生的最高压力将增加过多，以致机件受力过大，磨损加剧而使柴油机的寿命缩短。因此，现代柴油机的压缩比一般为 16～20。

（3）做功过程 做功过程是指燃料燃烧和燃气膨胀做功的过程，如图 1-3c 所示。在这个过程中，进、排气门仍关闭。当活塞运动接近上止点时，安装在气缸盖上的喷油器将柴油以雾状喷入气缸，雾状柴油与高温空气接触，随后自行着火燃烧，故柴油机又称为压燃式内燃机。由于燃烧释放出大量的热，使气缸内的压力和温度迅速升高，燃烧时最高温度可达 1700～2000℃，最高压力可达 5～10MPa（50～100kgf/cm^2）。高温、高压的燃气急剧膨胀，推动活塞从上止点向下止点运动，带动曲轴、飞轮旋转，对外做功。由于喷油和燃烧要持续一段时间，所以虽然活塞开始向下运动，但气缸内的压力并不立即下降。随着活塞的继续下行，气缸内的压力和温度很快降低。活塞运动到达下止点，做功过程结束时，气缸内的温度下降到 800～900℃，压力下降到 300～400kPa（3～4kgf/cm^2）。

（4）排气过程 排气过程是从气缸中排出废气的过程，如图 1-3d 所示。这个过程开始时，排气门开放，活塞借曲轴旋转的惯性力又从下止点向上止点运动，于是废气在气缸内残存的压力和活塞向上运动的推力作用下，被排出气缸。活塞到达上止点时，排气过程结束。由于燃烧室容积的存在，因此在排气过程中不可能将废气排除干净，气缸内仍留有少量的废气；又因废气在排出过程中，排气门、排气管、消声器等将产生一定的阻力，使废气难以顺畅排出，因而排气过程终了时，气缸内的压力仍有 0.11～0.12MPa（1.1～1.2kgf/cm^2），温度为 400～700℃。

排气过程结束后，紧接着开始下一个工作循环，重复进行以上 4 个过程。如此周而复始，使柴油机不断地产生动力，将热能转化成机械能，对外做功。

4. 多缸机的工作顺序

从上面单缸四冲程柴油机工作原理可知，在 4 个冲程中，只有 1 个活塞冲程做功，其余 3 个冲程则是为做功冲程作准备。单缸柴油机曲轴每旋转两周，只有半周产生动力，其余一周半依靠惯性力来维持转动。因而，做功冲程的转速要比其他 3 个冲程的转速大，所以曲轴的转速是不均匀的，柴油机运转也是不平稳的。为了使运转平稳均匀，柴油机可采用有 2 个或 2 个以上的气

缸，各气缸的活塞与连杆都连接在同一根曲轴上，根据气缸数目和排列方式的不同，按照一定的工作顺序，使各缸的做功冲程相互间隔一定的曲轴转角，交错地进行工作。

常见的多缸机有 2、4、6、8、12 缸等。依据气缸排列方式的不同，又可分为直列式和 V 式等。

在多缸四冲程柴油机中，曲轴每转两圈，即在曲轴旋转 720°的时间内，每个气缸各自完成 1 个工作循环，且各缸工作冲程的间隔时间应当相等，即在 2 个依次着火的气缸之间，曲轴转过的角度应该一样。这个间隔时间靠曲轴上各个曲柄相互错开一个角度来保证。这个角度称为曲柄夹角，以符号 φ 表示。则

$$\varphi = \frac{720°}{i}$$

式中，i 表示柴油机的气缸数，如 6 缸直列式柴油机，其曲柄夹角为 120°。

为了使用和管理的方便，多缸柴油机常将气缸编号。对于直列式，气缸编号从自由端开始为第一缸，向功率输出端依次编号。对于 V 形柴油机，气缸的编排顺序一般是先从右列（面对自由端看）自由端开始为第一缸，并向功率输出端依次编号，然后再从左列自由端接着排下去。

在多缸柴油机中，各个气缸并不是依气缸排列顺序着火，而是有一定的先后顺序，称之为着火顺序。如 4 缸直列式柴油机，其着火顺序为 1—3—4—2；6 缸直列式柴油机为 1—5—3—6—2—4。对于 V 形柴油机，一般采用“插入着火式”，即每一单列气缸的着火顺序及着火间隔完全相同，而总的着火顺序则在二列间相互嵌插。着火顺序可避免相邻两缸接连着火，从而提高柴油机运转的平稳性，使曲轴受力均匀，动力平衡性能好。

康明斯 6BT 型柴油机为 6 缸直列式柴油机，其工作顺序为 1—5—3—6—2—4。6BT 柴油机各缸工作状况与曲轴转角的关系见表 1-1。

表 1-1　6BT 柴油机各缸工作状况与曲轴转角关系表

曲轴转角（°）	1 缸	2 缸	3 缸	4 缸	5 缸	6 缸
0 ~ 60	做功	排气	进气	做功	压缩	进气
60 ~ 120			压缩	排气		
120 ~ 180		进气			做功	
180 ~ 240	排气					压缩
240 ~ 300			做功	进气		
300 ~ 360		压缩			排气	
360 ~ 420	进气					做功
420 ~ 480			排气	压缩		
480 ~ 540		做功			进气	
540 ~ 600	压缩					排气
600 ~ 660			进气	做功		
660 ~ 720		排气			压缩	

二、柴油机的总体构造

柴油机主要由曲轴连杆机构，配气机构与进排气系统、燃料系统、润滑系统、冷却系统和电气设备等部分组成。

1. 曲轴连杆机构

曲轴连杆机构是柴油机的主要部件，它可分为固定机件和运动机件。

固定机件包括气缸、气缸盖、机体等，其功用是支撑、固定、安装柴油机的全部机件，并让燃油和空气的混合气在气缸内燃烧。

运动机件包括活塞组件、连杆、曲轴、飞轮等，其功用是承受燃烧气体的压力，并将活塞在气缸内的直线运动变成曲轴的旋转运动，使柴油机输出动力。

2. 配气机构与进、排气系统

配气机构与进、排气系统由正时齿轮、凸轮轴、进排气门、挺杆、摇臂、进排气歧管等机件组成，其功用是按柴油机的工作要求，定时开闭进排气门，让新鲜空气按时充入气缸和定时排除废气，以保证柴油机正常运转。

3. 柴油机燃料系统

柴油机燃料系统包括油箱、柴油滤清器、输油泵、喷油泵（又称高压油泵）、喷油器、调速器等机件，其功用是根据柴油机负荷大小，定时向气缸内喷入适量高压柴油，使其与气缸内空气进行混合燃烧。

4. 润滑系统

柴油机润滑系统包括机油泵、机油滤清器、机油散热器、机油表等机件。其功用是润滑运动机件的表面，以减轻摩擦，并带走机件表面的部分热量。

5. 冷却系统

柴油机冷却系统包括水冷式和风冷式两种形式，其主要功用是散去未转换成机械能的热量，使柴油机保持正常的工作温度。

水冷式柴油机冷却系统包括散热器、风扇、水泵、节温器及水温表等机件。

风冷式柴油机冷却系统包括风扇、导风罩、散热片等机件。

6. 电气设备

（1）电源设备　柴油机电源设备主要包括蓄电池和交流或直流发电机。

蓄电池的主要功用是在柴油机起动时给起动电动机提供强大电流，并在柴油机停转或发电机电压较低时，向各用电设备供电。当发电机电压高于蓄电池电压时，蓄电池将发电机的一部分电能转换为化学能储存起来。

发电机在正常工作时，对所有的用电设备供电（除起动电动机外），并向蓄电池充电以补充蓄电池在使用中所消耗的电能。

（2）起动电动机　起动电动机是柴油机电力起动的主要机件，采用串励式励磁方式，在柴油机起动时向其提供强大的起动转矩，以利于柴油机迅速、可靠地起动。

第二节　康明斯柴油机构造特点

康明斯（Cummins）柴油机是美国康明斯发动机公司（Cummins Engine Company）生产的柴油机。康明斯公司创建于1919年，是世界著名的柴油机制造商，创始人是克莱西·莱尔·康明斯。

康明斯柴油机除采用柱塞式喷油泵外，还发明了PT（压力–时间）燃油喷射系统。该系统结构简单、喷射压力高，被广泛应用于10 L以上的康明斯柴油机，具有良好的燃油经济性和大修间隔。康明斯B系列车用柴油机采用了VE型分配式喷油泵。

康明斯发动机广泛应用于汽车、船舶、农业机械、工程机械、建筑、铁路及发电设备领域。康明斯发动机公司还生产发动机部件、电子系统、滤清系统和天然气发动机，能满足不同市场的

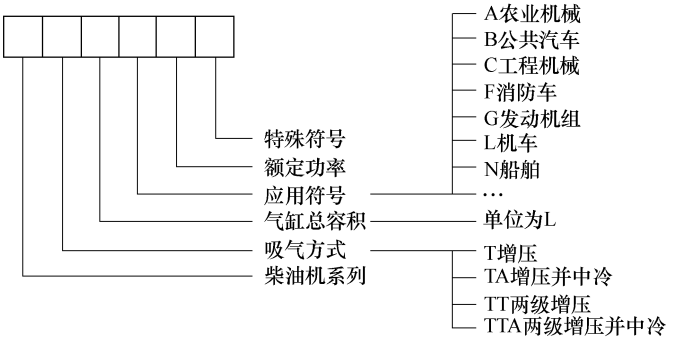
需要。工程机械柴油机的功率从40.4 kW（55 马力）到2572.50kW（3500 马力），排放控制也十分优异，全部满足当今世界上最为严格的环保标准。

一、康明斯柴油机产品系列

康明斯柴油机目前已生产有 A、B、C、M、L、N、V、K 等十个系列，其中 A、B、C、L、N、K 系列应用最为广泛。

1. 康明斯柴油机编号规则

康明斯柴油机的型号由以下六个部分组成：



（1）柴油机系列　用字母 A、B、C、N（NH）、V、L、K 等表示柴油机系列，其中 B、C 系列须加上气缸数，如“4B”“6C”。

（2）吸气方式　用字母组表示。T—增压；TA—增压并中冷；TT—两级增压；TTA—两级增压并中冷，无字母者为自然吸气。

（3）气缸总容积（总排量）　柴油机工作总容积用数字表示，单位为 L。

（4）应用符号　用字母表示柴油机的用途。A—农业机械；B—公共汽车；C—工程机械；F—消防车；G—发电机组，G1～G7 代表不同的电站级别，Go 代表连续发电机组；Gs 代表备用发电机组；L—机车；N—船舶；P—电站。

（5）额定功率　用数字表示，有以下两种情况：① 汽车、公共汽车、农业机械、工程机械、电站，可用马力表示，也可省略；② 对于消防泵、发电机、机车和船用柴油机可用马力、千瓦或数字（1、2、3、…）表示其额定功率。

（6）特殊符号　用字母表示特殊汽车的特征。表 1-2 为康明斯柴油机系列主要机型的型号及数据。

表 1-2　康明斯柴油机系列主要机型的型号及数据

系列	气缸直径/mm	缸数	排量/L	功率范围/kW（HP）	活塞行程/mm	型　　号
B	102	4 6	3.9 5.9	41.16(56)～ 147.00(200)	120	4B3.9 4BT3.9 4BTA3.9 6B5.9 6BT5.9 6BTA5.9
C	114	6	8.3	132.30(180)～ 220.50(300)	135	6C8.3 6CT8.3 6CTA8.3 C8.3
M	125	6	10.8	183.75(250)～ 257.25(350)	147	M11-G2
N	140	6	14	153(205)～ 354(475)	152	NTA855-G1 NTA855-G2 NTA855-G4

（续）

系列	气缸直径/mm	缸数	排量/L	功率范围/kW（HP）	活塞行程/mm	型 号
K	159	6 12 16	18.9 37.8 50.3	588.00(800)～ 1470.00(2000)	159	KTA19-G2 KTA19-G3 KTA19-G4 KT38-G1KTA38-G2 KTA38-G5 KTA50-G3

部分型号及含义如下：

4BT3.9—G1 ：4 缸 B 系列，增压，排量 3.9L，发电机组用。

6BTA5.9：6 缸 B 系列，增压，中冷，排量 5.9L。

6CTAA8.3：6 缸 C 系列，增压，空空中冷，排量 8.3L。

NTA855：6 缸 N 系列，增压，中冷，排量 14L。

KTA19：6 缸 K 系列，增压，中冷，排量 19L。

KTAA19：6 缸 K 系列，增压，空空中冷，排量 19L。

KT38—G1：12 缸 K 系列，普通型，排量 38L，发电机组用。

KTA38—G2：12 缸 K 系列，增压，中冷，排量 38L，发电机组用。

2. 康明斯柴油机铭牌主要内容

每台柴油机都有一个铭牌，且固定在齿轮室侧面上。根据这个铭牌，可以对该机型有个初步了解。以 6BTA5.9 柴油机为例，铭牌的主要内容有：

① 制造日期：采用 8 位数字。前 4 位为年，中间 2 位为月，后 2 位为日。例：1989 年 9 月 9 日，打印成 19890909。

② 排量：5.9L。

③ 机型：6BT。

④ 喷油正时：2.35mm（或角度）。

⑤ 着火顺序：1—5—3—6—2—4。

⑥ 气门冷态间隙：进气门，0.25mm；排气门，0.50mm。

⑦ 额定功率：117.6kW。

⑧ 额定转速：2600r/min。

⑨ 系列号：B 系列。

⑩ 喷油器件号：3909533。

⑪ 柴油机号：采用 6 位数字，第一台打印为 000001。

二、康明斯柴油机的特点

东风康明斯生产的 B、C 系列柴油机采用集成化积木式结构设计，使柴油机的零件总数比同类柴油机少 25%，并在保证设计强度和严格考核试验的基础上，合理缩减了零部件尺寸，不但减小了柴油机的体积和重量，也大大降低了故障和维修费用。B、C 系列主导产品采用增压和增压中冷技术，提高了动力性和经济性，带废气旁通阀的增压器使低速输出转矩更大；镍合金镶圈活塞和较大的主轴轴承承载区设计，保证了动力提升后的高可靠性要求。

B、C 系列柴油机的共同特点是采用组合式铸造机体和整体式气缸盖，节温器座、冷却器座、水泵壳、机油泵壳等均铸造在机体上，曲轴也整体铸造，平衡重铸在曲轴上。但 B、C 系列柴油机在结构上也有不同之处：B 系列连杆为斜切口，C 系列为直切口；C 系列有可更换的缸套，B 系列没有；C 系列有可更换的气门座圈和气门导管，B 系列没有；C 系列活塞两道气环槽镶耐磨

圈，而 B 系列只有第一道气环槽镶耐磨圈；C 系列凸轮轴有 7 个可更换衬套，B 系列只第一道轴颈有衬套。因此，B 系列发动机采用了“四不镶”的方式，即不镶气缸套、不镶气门导管、不镶气门座、不镶凸轮轴衬套（仅镶前端 1 个），但保留了镶嵌余地。

B、C 系列广泛采用结构轻小和简单的附件总成。如转子式机油泵、冲压叶轮及组合轴承式水泵、板翘式机油冷却器、旋装式燃油滤清器、旋装式机油滤清器和多孔管式机油吸油器等，提高了维护维修效率。

重庆康明斯生产的 NH、K、M11 三大系列柴油机，当输出最大功率时，其平均有效压力限制在 1. 8MPa 左右，使柴油机的热负荷、机械负荷尽量减小。柴油机标定转速控制在 2100r/min，减少了柴油机的噪声和摩擦功率，保证了柴油机工作寿命的提高。

活塞采用共晶硅合金，仅用 2 道气环和 1 道组合油环，以减少摩擦功率损失。在第 1 道气环槽内，镶有镍合金的铸铁座，用以提高气环槽承受燃烧气体所产生的高压和高温的能力，同时减少环槽的磨损。采用锥形活塞销座设计方案，可使活塞销座及连杆小头衬套的单位压力大大降低。

曲轴采用全支承设计，其主轴颈的直径与缸径的比值较传统设计比值要大得多，同时主轴颈的重叠度也比较大，主轴颈采用圆角、淬火工艺，使曲轴具有良好的刚性和抗疲劳能力。曲轴结构设计的可靠性，使整个柴油机具有变形小、刚性好的特点。

配气机构多采用四气门机构，即每缸有 2 个进气门和 2 个排气门，提高了进气效率。气门由凸轮轴驱动，凸轮轴控制了气门的开闭次序，也控制 PT 燃油系统的喷油时间。

重庆康明斯柴油机均采用独特的 PT 供油系统。由康明斯公司独创的 PT 供油系统是利用供油压力和喷油时间来控制燃油量，与其他供油系统比较，有如下优点：① 结构简单、灵活和适应性好，稍加改变就能适应较广的功率范围和转速范围。② 燃油泵供油压力低，为 981 ~ 1471kPa，燃油不易渗漏。只有一根供油管，易检修保养。③ 喷油压力超过 100MPa，使燃油雾化程度高，无二次喷射和漏油的缺点，利于充分燃烧。故在各工况下都可省油，且排放性能良好。试验研究表明，高喷油速率和合适的喷油正时能在降低微粒排放的情况下，保证良好的燃油消耗率。采用高喷油速率时推迟喷油正时，微粒排放的增加程度要比低喷油速率时小得多，但 NO_x 却能有效降低。④没有一般供油系统所设置的那些容易影响喷油压力和喷油时间的各种机构，因此不需要经常校准和保养。⑤回油量大，燃烧所需油量占一次供油量的 20% 左右，其余经喷油器流回油箱。大的回油量有利于喷油器的冷却，延长其寿命和保养期，同时有利于加热油箱内的燃油，避免冬季结冰。⑥ 体积小，质量小，约 12 ~ 13kg，易拆卸和维护。

在康明斯公司专有的 PT 燃油系统中采用了分级燃油喷射正时控制（STC），使在不同的工况下的燃烧状态趋于完善。STC 的主要作用是在低怠速、低负荷燃油供油量小时，使喷油正时提前，保证燃烧在上止点附近就能完成。正时提前，能改善冷起动性能，改善寒冷气候条件下的怠速性能，减少冒白烟现象，提高低负荷时柴油机的燃油经济性。更重要的是，柴油机在低负荷时，如果正时不提前，燃烧将过于滞后，性能急剧恶化，就会造成炭烟大量形成。同时，STC 系统也可在大负荷条件下对柴油机正时适当延迟，为改善 NO_x 排放提供了条件。

由于采用 PT 供油系统，其喷嘴喷射燃油是由凸轮轴驱动，故凸轮轴的刚度直接影响柴油机的可靠性与耐久性，因而柴油机采用了大直径凸轮轴的设计方案。M11 系列柴油机采用 76. 2mm 凸轮轴轴颈，N 系列柴油机采用 63. 5mm 凸轮轴轴颈，K 系列柴油机采用 76. 2mm 凸轮轴轴颈，比一般柴油机凸轮轴轴颈大，因此获得了较好的刚度。同时还采用滚轮式摇杆凸轮从动件设计，使从动件与凸轮表面的相对运动由滑动摩擦变为滚动摩擦，从飞溅润滑变为压力润滑，摩擦副的工作应力降低了，润滑条件改善了，故减少了磨损，提高了工作可靠性和使用寿命。

采用干式化学添加剂（DCA）对冷却液进行处理，是康明斯柴油机的一个共同特点。这种装有 DCA 化学药品的容器称为“水滤器”。DCA 由 9 种不同的化学成分组成，它的功能是使水软化，免除水垢的形成；中和水中形成的酸，使水维持在一个适当的酸碱度，以避免零件遭受化学腐蚀；抗泡沫作用，能减少泡沫的形成，并能在铸铁或钢制零件表面形成一层很薄的保护薄膜，以保护气缸套、水泵叶轮等零件免遭穴蚀的损坏。从而，使柴油机的工作可靠性和使用寿命有了很大的提高。

重庆康明斯柴油机有很多总成部件采用可更换式结构设计，以便在需要保养时，能迅速利用库存备件进行维修更换，减少停机时间和利于操作者掌握。例如可更换湿式气缸套，湿式气缸套给柴油机带来良好的冷却和大修简易性，当需要修理时，不必把柴油机从设备上拆下来就可进行气缸套更换。康明斯柴油机的滤清器（包括燃油、润滑油和水）均能迅速和方便地进行拆装与更换。此种设计不仅有利于维修保养，而且能提高零件通用性。

重庆康明斯柴油机在前端设计有齿轮传动系统，可直接传动附件装置（包括水泵、机油泵、燃油泵及风扇等）。与带传动附件比较，齿轮传动可保证传动准确、可靠，简化调整保养手续，降低维修保养费用，以及减少因传动带调整或因传动带断裂所造成的柴油机损坏故障。

重庆康明斯柴油机的所有运动部件均采用压力润滑结构设计，包括凸轮轴的滚轮从动件、活塞连杆小头衬套等，在设计上保证获得足够的压力润滑。这一设计特点，免除了因采用飞溅润滑造成润滑不足而产生轴承或衬套咬死的故障。此外除增压器的润滑油路外，柴油机其余所有润滑油路均设计在内部，此种内部油道可减少或避免因外部油路的管道、螺纹连接所造成的泄漏或损坏故障，提高了柴油机工作可靠性，简化了维修保养工作。

第三节 柴油机故障排除的原则和方法

一、柴油机故障的定义与分类

1. 柴油机故障的定义

柴油机是一种复杂的热力机械，工况复杂，工作条件恶劣。因此，使用中发生故障在所难免。柴油机故障是指在规定的条件下，不能完成其规定功能的事件。故障可以指一个或几个性能参数降至不能允许的程度，也可以指机器工作能力的丧失。柴油机故障范畴包括两个方面：

（1）失效 引起柴油机立即丧失功能的破坏性故障称为失效，如柴油机烧瓦、抱轴等。

（2）性能降低 使柴油机性能降低的故障，如柴油机冒黑烟、油耗增加等。

2. 柴油机故障的分类

柴油机故障可从以下不同方面进行分类：

（1）按故障的性质分类 柴油机故障按其性质，可分为本质故障、误用故障和从属故障三类。

1）本质故障。在规定使用条件下，由于柴油机及其零部件本身固有的因素或缺陷而引起的故障称为本质故障，如柴油机连杆断裂等。

2）误用故障。不按规定条件使用或由于外界因素而引起的故障称为误用故障，如因机油油量不足引起烧瓦等。

3）从属故障。某一故障所引起的派生故障称为从属故障，也称为相关故障，如连杆螺钉断裂引起的机体裂纹等。

（2）按故障的严重程度 柴油机故障按其严重程度和造成的危害，可分为致命故障、严重

故障、一般故障和轻度故障四类。

1）致命故障。凡造成重要零件报废、导致人身伤亡或造成重大经济损失的故障称为致命故障，也称为危险性故障，如连杆螺栓断裂、机体破裂等。这类故障属一类故障。

2）严重故障。凡柴油机主要性能指标超过限值，主要零件损坏需解体才能排除的故障称为严重故障，如柴油机油耗过高、活塞环断裂等。这类故障属二类故障。

3）一般故障。凡柴油机需停机检修，需要更换非主要部件，用随机工具即可排除的故障称为一般故障，如三漏（漏气、漏油、漏水）、盖板损坏等。这类故障属三类故障。

4）轻度故障。凡一般不导致柴油机停机，不需要更换零件，用随机工具在短时间内即可排除的故障称为轻度故障，如柴油机密封部位渗漏、盖板螺钉松动等。这类故障属四类故障。

（3）按故障出现时间的快慢分类　柴油机故障按其出现时间的快慢，可分为突发性故障和渐发性故障两类。

1）突发性故障。这种故障在短时间内突然发生，不能靠早期诊断来预测，如连杆螺栓断裂、气门弹簧断裂等。

2）渐发性故障。这种故障的发生有一个渐变过程，可以通过早期诊断进行预测，如缸套磨损、气门漏气等。

（4）按故障发生的部位分类　柴油机故障按其发生部位，可分为整机性故障和零部件故障两类。

1）整机性故障。也称为综合性故障，它影响整机性能，如起动困难、功率不足、飞车、转速不稳、压力异常、温度异常、声音异常、振动异常、突然停车等，其原因是综合性的。

2）零部件故障。是指某一零件所发生的故障，如齿轮断裂、水泵泵量过小等。

（5）按故障的原因和现象分类　柴油机故障按其原因和现象，可分为磨损性故障、错用性故障和薄弱性故障三类。

1）磨损性故障。由于摩擦副磨损过大而造成的故障称为磨损性故障。这种故障是正常使用条件下，正常磨损过程中可以预料的故障，如活塞环过度磨损，造成严重漏气、功率不足等。这类故障一般不会造成严重后果。

2）错用性故障。在实际使用条件下，产生的载荷超过了原设计能力所造成的故障称为错用性故障，如超负荷使用致使柴油机冒黑烟、轴系断裂等。

3）薄弱性故障。在实际使用条件下，产生的载荷未超过设计能力，只是设计失误造成薄弱环节，导致零部件丧失工作能力的故障称为薄弱性故障。这类故障多发生在新开发机型上。一般表现为零件破损、轴系及支架断裂等。

（6）按故障后果的性质分类　以可靠性为中心的维修指导思想认为，故障后果比故障频率更为重要，故障后果可以影响重要机件发挥正常的功能，可以造成更换故障件的费用支出，可以损坏整个系统设备，甚至造成人员伤亡。因此，故障后果决定了维修工作的先后次序和及时提出修改机件设计的建议。故障后果按性质可分为四类：

1）安全性故障后果。这类故障能造成机毁人亡，需采用预防维修方式，使故障风险率减少到可以接受的水平；否则，有关机件项目就要重新设计。

2）使用性故障后果。这类故障能干扰使用计划，会因该机件工作能力的下降，造成其他间接的经济损失（例如使用中经济性下降等）。在费用效果分析的基础上，可采取预防维修的方式来解决这些问题。

3）非使用性故障后果。这类故障的后果对使用没有直接的不利影响。例如采用冗余度设计的装置，其中一个装置出现故障后，只需在方便时更换或修理。因此，非使用性后果可采用事后

维修方式。

4）隐蔽性故障后果。这类故障后果一般不会产生直接的不利影响。但是，当具有隐蔽性故障后果的机件与另一个或几个机件的故障相关时，如果第一个机件的功能故障由于隐蔽原因未被发现，以至第二个机件又发生故障，从而造成多重故障，则将导致危险性故障，必须采取预防维护的方式减少造成这种风险的因素。

二、柴油机故障产生的过程及现象

1. 故障产生的过程

故障产生的过程实际上是一个积累与变化的过程，即零部件强度（技术状况）逐渐变化下降的过程。

渐发性故障多由磨蚀性磨损、咬接性磨损、点蚀磨损、机械腐蚀磨损等形式出现。另外，腐蚀故障（包括应力腐蚀、气蚀、硫蚀、钒蚀等）也属于渐发性故障。

突发性故障是当零件的强度低于外界载荷时才会发生。零件在初始工作阶段，强度变化较小，当外界载荷突然超过零件强度时，就会产生突发性故障。这种突发性故障是在外界载荷的意外峰值下偶然发生的。如柴油机飞车造成连杆螺栓断裂、挺杆脱落等。

突发性故障多以疲劳、过度变形等形式出现。除了如上所述由于零件强度（技术状况）和外界载荷的原因以外，润滑系统、冷却系统的堵塞和泄漏也会造成突发性故障。

2. 柴油机故障的现象

当柴油机发生故障时，一般会伴随以下现象：

（1）声音异常　一台正常运转的柴油机，其发出的噪声有一定的规律。当出现故障时，会使声音变得异常。如活塞碰气门时出现金属敲击声、供油角过大时出现燃烧敲击声、气缸漏气时出现吹哨声、旋转件相碰时出现摩擦声等。

（2）外观异常　如烧机油出现的冒蓝烟、燃烧不良出现的冒黑烟、密封面失效出现的漏油、漏气等。

（3）温度异常　如供油提前角过晚或负荷过大出现的排气温度过高，轴承烧损时出现的轴承过热，冷却系统故障时出现的水温、油温过高等。

（4）动作异常　如当平衡失效或基础不牢时出现振动过大、当调速失灵时出现飞车或游车、起动系统故障及柴油机无法起动等。

（5）压力异常　如当气门、活塞环密封失效时出现的气缸压力过低、曲轴箱压力过高、润滑系统故障出现的油压过低、增压系统故障出现的气压过低或过高等。

（6）气味异常　如电气系统故障出现焦煳味；烧机油出现的油烟味等。

3. 柴油机故障产生的原因

引起柴油机故障的原因是多方面的。有结构设计和选材不当引起的，有加工制造和装配、调试质量欠佳引起的，也有使用操作不当和维护保养不良引起的。在这里主要对操作、维护保养及加工制造等方面造成故障的原因予以简单介绍。

（1）操作方面的原因　由于违章操作造成的柴油机故障，在柴油机故障中占有很大比例。这其中有思想上的疏忽，技术上的不熟悉，也有错误的习惯作法。常见的违章操作有以下几个方面：

1）起动时间过长。起动后未立即释放按钮、关闭开关。采用电动机起动系统时，电动机一次连续运转不得超过 10s，时间过长将因过热而烧坏电动机。有时还会发生柴油机倒拖电动机现象，导致电动机超速运转而损坏。

2）冷车起动不经过暖车便快速加大负荷运转。此时由于油温低、粘度高，致使摩擦面润滑不良，从而导致异常磨损、拉伤等故障。

3）磨合不充分便高负荷运行。新的或大修后的柴油机，特别是现场修复的柴油机，更换缸套、活塞或者活塞环等零件后，未经充分磨合，直接带高负荷运行。这样往往造成零件异常磨损，甚至出现拉缸、活塞卡滞等故障。

4）带负荷急停车。停车时未经怠速降温，此时摩擦面保油不足，引起再开车时因润滑不良而磨损加剧，并可能由于应力变化大，造成不必要的故障。

5）油量不足开车。油量不足，造成摩擦副表面供油不足，导致异常磨损或烧伤。

6）水量不足开车。水量不足，冷却系统易产生气阻，柴油机得不到充分冷却，会因机件过热出现拉缸等事故。

7）超负荷或者超速运转。由于柴油机内温度过高，造成零件损坏。

8）水温、油温不正常而继续运行。运转中水温过低、过高或油温过低、过高，都会造成零件磨损加剧。

（2）维护保养方面的原因　未按照规定进行维护保养也容易造成故障。常见的故障原因有以下几个方面：

1）添加或更换机油不及时。这样容易造成机油量不足或机油过脏、恶化变质，使润滑变差，造成异常磨损、烧瓦等故障。

2）清洗机油滤清器不及时。这样容易造成机油滤清器阻力过大，甚至阻塞，机油从旁通阀通过，使未经滤清的脏污机油流入润滑部位，引起异常磨损或损伤。

3）清洗柴油滤清器不及时。这样容易造成柴油滤清器阻力过大，供油不足，引起功率不足，转速不稳等故障。

4）清洗空气滤清器不及时。这样容易造成空气滤清器阻力过大、空气量不足，引起功率不足、冒黑烟或排气温度过高等故障。

5）检查、调整气门间隙不及时。这样容易造成气门间隙过大或过小，引起柴油机功率不足、油耗升高、排气温度过高和气门磨损加快等故障。

6）检查、调整供油提前角不及时。这样容易造成供油提前角过大或过小，从而引起柴油机燃烧粗暴，甚至烧活塞或者排气温度过高等故障。

7）检查和调整喷油器不及时 。这样容易造成喷油器雾化不良或针阀卡死，引起柴油机起动困难、功率不足、排气温度过高和冒黑烟等故障。

8）检查和向蓄电池补充电解液不及时。这样容易造成蓄电池电力不足，引起起动困难等。

（3）维修中拆装方面的原因　拆装错误也是引起柴油机故障的重要原因之一。其中有以下几个方面：

1）活塞环安装位置不正确。活塞环开口位置未错开，扭曲环上下面装倒等，将引起窜机油现象和窜气现象。

2）喷油器垫片安装不正确。喷油器中喷油嘴伸出气缸盖底平面高度有严格的尺寸要求，若因垫片漏装或多装而使该尺寸过大或过小，将引起燃烧恶化、积炭严重、功率不足、冒黑烟，或因漏装垫片造成从喷油器处漏气、烧坏气缸盖等故障。

3）气缸垫安装不正确。气缸垫选用不当或者漏装，将造成气缸压力下降、漏气和活塞碰气缸盖等故障。

4）齿轮啮合不正确。齿轮啮合记号装错，将导致气门碰活塞，供油提前角太大或太小，引起燃烧恶化、冒黑烟、排气温度升高或者活塞烧损等故障。

5）螺母安装不正确。紧固连杆螺母、气缸盖螺母时，力矩不准或紧固顺序不对，将造成气缸盖密封不严，甚至螺栓断裂等故障。

6）有关配合间隙超差。当活塞和缸套配合间隙、轴和轴承间隙、齿轮啮合间隙等不符合要求时，将造成异常磨损、拉缸、烧瓦和齿轮损坏等故障。

（4）加工制造方面的原因 这方面的原因大部分是材料用错、材料存在内在质量问题和机加工中某些部位不过关而造成，加工制造方面的缺陷在装配中很难发现，使用一段时间后才暴露出来，从而造成零件损坏。主要表现在以下几个方面：

1）质量不符合要求。表现为有的铸件如缸盖、机体等存在着松缩、砂眼和细小裂纹等缺陷，从而使柴油机工作一段时间后因这些缺陷出现漏水、漏气、漏油；或表现为铸造精度不高，如水道狭窄，造成柴油机工作中水流不畅、热量不易外传，导致气门磨损加剧或气缸盖裂纹。

2）材质不符合要求。有些主要零件由于制造过程中材料用错，使用中因强度不足导致零件损坏。

3）热处理不符合要求。有些零件热处理过程未按工艺规程操作，使处理后的零件力学性能不符合要求，出现过硬、过软、强度不足、脆性高等问题。在使用过程中引起零件变形、裂纹、磨损过度等故障。

4）机械加工不符合要求。有些零件的关键部位，由于加工者未能认识其重要性，使这些部位不符合要求，结果造成使用中的故障。如活塞销座和活塞销孔的圆角、曲轴的内圆角、活塞环的尖棱等，加工不符合要求往往导致活塞销座裂纹、曲轴裂纹、活塞环刮油效果差等。再如曲轴的主轴颈同轴度、机体主轴承孔的同轴度加工误差，导致曲轴的偏磨，甚至烧瓦。

5）消除应力不符合要求。有些零件因消除应力不够，造成使用中变形，丧失原来的加工精度，破坏了正常的配合关系，使柴油机发生漏气、漏油、漏水现象。

三、柴油机故障分析判断原则

柴油机在使用过程中会出现各种故障，其现象多种多样，造成故障的原因也十分复杂。一种故障可以表现为一种或多种异常现象，一种异常现象也可能是由一种或多种故障原因造成的。

迅速、准确地查找判断出故障产生的原因，是快速排除故障的基础与前提，查找故障原因所用的时间约占总时间的60%。

故障判断不但要十分熟悉柴油机的基本结构、各机件的配合关系和基本工作原理，还要掌握查找判断故障的一般原则和方法，并能做到灵活运用。只有这样，在遇到实际问题时，才能通过细致的观察、周密的调查和正确的分析，做到迅速、准确、及时地排除故障。

当柴油机出现故障时，操作人员应仔细、及时地分析故障的特征，判断其产生的原因，一般按如下原则进行：

1）判断故障要有整体性，排除故障要有全面性。进行故障检修作业是一项系统工程，要把柴油机看成一个整体（一个系统），而不能当做一组组件。一个系统、机构或零部件有故障，必然要涉及其他系统、机构或零部件。因此，对于各个系统、机构或零部件的故障不能绝对孤立地对待，而必须考虑对其他系统的影响及本身所受到的影响，从而以整体观念来分析故障原因，并进行全面的检查排除。

故障发生的整个情况，应向操作者全面了解，并作出必要的检查和分析。柴油机分析故障的一般程序为：了解故障现象→了解柴油机使用状况→了解维修史→现场观察→故障分析与排除。

2）查找故障应尽可能减少拆卸。拆卸只能作为在经过缜密分析后采取的最后手段。在决定采取这一步骤时，一定要以结构和机构原理等知识作为指导，并建立在科学分析的基础上，在有

把握恢复正常状态和确信不会因此引起不良后果的情况下才能进行。否则不仅会拖长排除故障的时间，而且可能使发动机遭到不应有的损坏或产生新的故障。

3）切忌存侥幸心理和盲目蛮干。当柴油机突然发生故障或已判定出故障的原因，而且故障将影响柴油机正常工作时，应及时停机检查。当判断是较大故障或柴油机突然自行停机时，应及时地拆检和修理。

对不能立即查明原因的故障，可以先将柴油机低速空载运转，再观察分析找出原因，以避免发生更大的事故。

当遇到较严重的、可能造成破坏性损坏的故障征兆时，切忌存侥幸心理，盲目蛮干。在没有查找到故障原因并予以排除时，不能轻易地起动发动机，否则会进一步扩大故障损坏程度，甚至造成重大事故。

4）注重调查、研究和合理分析。应将每次出现的故障特别是大的故障原因的排除方法，记录在柴油机的运行簿上，供下次检修参考。

调查、研究和了解柴油机在使用管理和维修方面的过程和现状，主要看该机常出些什么故障、发生在什么部位；检修中更换了哪些机件；检验和装配的间隙数据等。对现状的了解，主要是柴油机在故障出现前后观察到哪些现象、已经采取过哪些措施、效果如何等。通过对这些问题的了解，把思路引导到产生故障可能性大的方向上去，便于作出正确的分析和判断。

5）遵循“从简到繁、由表及里、按系分段、推理检查”的原则。“从简到繁、由表及里”的含意比较明确，要求查找判断故障时不要将故障看得很复杂，分析排除故障与一般的工作方法一样，总是从简到繁、由近及远、由表及里地进行。“按系分段、推理检查”则要求有层次、符合机理地去分析判断故障。例如柴油机排气冒黑烟的故障，主要与两个系统有关，一是进、排气系统，二是燃油系统。进、排气系统是进气不足，还是泄漏太多？燃油系统是油量过多，还是雾化质量、喷油压力和喷油时间方面的原因。然后按系统逐一检查，检查一项排除一个疑点，逐步缩小故障范围，最后找出故障的真正原因。

四、柴油机故障分析判断方法

1. 观察法

用眼观察柴油机运转的外部特征，如机油颜色有无污染；排气烟色是白烟、黑烟还是蓝烟；观察仪表读数是否正常；发动机有无漏油、漏水、漏气的地方等。

在柴油机运转时，观察废气烟色，以判定各缸的工作情况。废气的正常颜色一般为淡灰色，负荷略重时为深灰色，黑烟、白烟和蓝烟都是不正常的颜色。如果柴油机排黑烟，说明可燃气体没有完全燃烧；排白烟，说明柴油机过冷、柴油中有水或可燃气体没有点火燃烧；排蓝烟，说明机油进入燃烧室被烧掉；若排气管连续排烟，说明柴油机所有缸工作均不正常；若断续排烟，说明个别缸工作不正常。

2. 听声法

柴油机运转的声音是否正常，可用长螺钉旋具（或长金属棒）贴耳或用听诊器监听柴油机各部位的工作响声。同时改变油量，倾听柴油机在各种转速下声响的变化，也可根据声音的有无节奏性，判断工作循环的间隔是否一致。

在柴油机运转中，将一根金属棒放到各喷油器上，然后分别仔细倾听各缸爆发做功的声音。如果发出很大的“噗、噗”的敲击声，并有类似金属敲击的回声，则说明该缸供油量过大或喷油时间过早；如无敲击声而只有“嘀、嘀”连续且不干脆的响声，则说明该缸供油量偏小，或没有及时着火和没有完全燃烧。

3. 触摸法

用手触摸检查柴油机各部位温度是否正常。一般的轴承温度不应超过60℃。用手触摸时，根据经验，手摸记数，从1数到7（约5～6s），若数不到7就感到灼热不能忍耐，需松手时，则认为该温度已超过60℃。手摸不仅可以用来感温，而且通过手感可以检查连接是否可靠，间隙大小如何，甚至机油有无稀释，粘度大小均可用手感来做初步判断。

4. 脉动感知法

当柴油机运转时，用手紧握高压油管以感受喷油泵供油时所产生的脉动情况，据此判定各缸的工作状况。采用此法时，可同时结合感温法和听声法进行分析比较，以确定故障缸和产生问题的原因。一般情况是：若脉动大，爆发声音强和瞬间温度高，则表明该缸供油量偏大；反之，若脉动小，爆发声音弱和瞬间温度低，则表明该缸供油量偏小；若脉动大，但爆发声音弱和瞬间温度低，则表明喷油器喷孔堵塞或针阀发卡，造成高压油管内油压很高，但不喷油或喷油很少；若脉动小，但爆发声音不正常和瞬间温度高，则表明喷油器喷油压力下降、雾化不良，造成不能及时点火和完全燃烧，因而后燃严重，排气温度增高。

5. 断油法

为了准确判断哪一个缸有故障，可逐个拧松高压油管一端的紧固螺母或用一字槽螺钉旋具撬起喷油泵分泵的滚轮体部件，切断喷油泵到喷油器的高压油路，逐个停止各缸工作；同时观察柴油机的工作情况有无变化，以此判定各缸的工作情形。如果柴油机的转速和声音有变化，说明该缸工作正常；如果无变化，说明该缸基本不工作。有故障现象（如敲缸、冒黑烟等）时，若切断某缸油路后，故障现象消失，则说明该缸有故障。

6. 比较法

当已确定某缸或某一零部件工作不正常时，为了进一步判定故障的所在部位，可以进行对比检查，或将怀疑有故障的零部件，以本机其他缸的相同机件来代替，或者用备件更换的方法检查，若故障现象转移或消失，则证明该零部件有故障。

例如：对刚起动不久的柴油机，可用手触摸各缸排气口外壁，比较温度的高低，了解那一缸喷油过少，或查看有无不着火的气缸；可用手触摸喷油泵各缸的高压油管，从油管的膨胀脉动中，比较判断有无不供油的缸；还可在喷油泵的高压油管接头上，拆下一个有故障缸的和一个无故障缸的高压油管，然后起动柴油机并使其怠速运转，通过观察、比较两油管接头处喷出的油柱高度来进行判定。若有故障缸和无故障缸的油柱高度一致，说明故障出在喷油器上或由气缸的密封性差所造成；反之，说明故障出在喷油泵上。

7. 验证法

对经过分析判断的故障原因，常常通过试探性的调整或拆卸，以验证原来分析的正确性，从而找到故障所在。例如，经过分析查找已知某一缸排气冒烟异常，并知道是空气系统的原因——压缩不良，那么是气门泄漏呢？还是活塞与气缸套之间磨损过大而漏气呢？可向该气缸内注入少许润滑油（约4～5g），若压缩力提高了，说明是气缸漏气。

当然，试探性的验证也应遵守“少拆卸”的原则，避免随便进行分解拆卸，应从简到繁，检查调整先从简单处着手。

第二章　曲轴连杆机构的构造与故障分析

曲轴连杆机构是柴油机的主要机构，它承受缸内气体压力，将燃料燃烧所释放出来的热能转变为机械能，将活塞的往复直线运动转变为曲轴的旋转运动，并向传动装置输出动力。

曲轴连杆机构包含的零件较多，大致可将其分成三大组成部分，即机体组、活塞连杆组和曲轴飞轮组。机体组具有安装在柴油机上静止不动的特点，所以又称为固定件。活塞连杆组和曲轴飞轮组在柴油机工作过程中不停地作往复直线运动和旋转运动，故又称为运动件。柴油机曲轴连杆机构分解图如图 2-1 所示。

第一节　机体组构造

机体组包括气缸体、气缸盖、气缸套、气缸衬垫、主轴承盖、油底壳及曲轴箱等主要零件。机体组是柴油机的基础，柴油机零件几乎全部安装在机体上。气缸壁与活塞和气缸盖一起形成燃烧室。气缸盖和气缸体内部的水套和油道以及油底壳分别组成冷却系和润滑系。

曲轴箱的结构有三种形式。一是曲轴箱和气缸体铸成一体；二是曲轴箱和气缸体分开铸造，两者之间用螺栓连接；三是曲轴箱分成上下两部分，下曲轴箱用薄钢板或铝合金制成，贮存机油并起密封、防护作用，上曲轴箱和气缸体制成一体，为一整体铸件，通常又称作机体。康明斯柴油机通常采用第三种结构型式。

机体的结构型式有三种，即龙门式、隧道式和平分式（一般式），如图 2-2 所示。龙门式机体的特点是主轴承座是分开式的，曲轴从机体的下方拆装，机体的下平面位于曲轴中心线以下。一般式机体的特点是机体的下平面与曲轴中心线在同一平面内。隧道式机体的特点是主轴承座为整体式的，曲轴从机体后方装入。康明斯柴油机机体通常采用龙门式结构。

一、气缸体

康明斯柴油机气缸体采用优质灰铸铁制成。B、C、N 系列柴油机气缸体的结构型式为直立式，如图 2-3 所示。K 系列柴油机气缸体的结构型式有直立和 V 形两种，K19 为直立 6 缸，K38 为 V 形 12 缸，K50 为 V 形 16 缸，V 形气缸体如图 2-4 所示。

气缸体在工作过程中承受很大的机械负荷和热负荷。气缸体的大部分壁厚为铸造工艺许用的最小壁厚，因而缸套座孔之间铸有加强筋，以加强气缸体的结构强度和控制噪声。

康明斯柴油机采用水冷方式，在机体的外壁内（缸套周围）铸有冷却水套和布水室。润滑方式则主要为压力润滑，为保证配气机构、曲轴连杆机构各运动机件的可靠润滑，气缸体内铸有润滑油道。机油泵泵出的润滑油一般从主油道沿着位于每一道主轴承隔墙中的横油道通向各个主轴承，再由斜油道通向各凸轮轴轴承。在凸轮轴轴承处，有垂直的油道通往气缸体顶面，来自垂直油道的润滑油通过气缸盖进入摇臂轴总成。康明斯柴油机水泵壳体、机油冷却器壳体、冷却循环管路、节温器座、燃油及机油管路等都尽量安置在缸体或缸盖中，因而发动机外表干净简单。因管路及接头破损泄漏而引起故障的机会大大减少。

机体上安装有活塞冷却喷嘴，柴油机工作时喷嘴喷射机油，以改善活塞表面与气缸套内壁之间的润滑情况，并对活塞起到冷却的作用。B 系列和 N 系列柴油机每缸有 1 个活塞冷却喷嘴，C

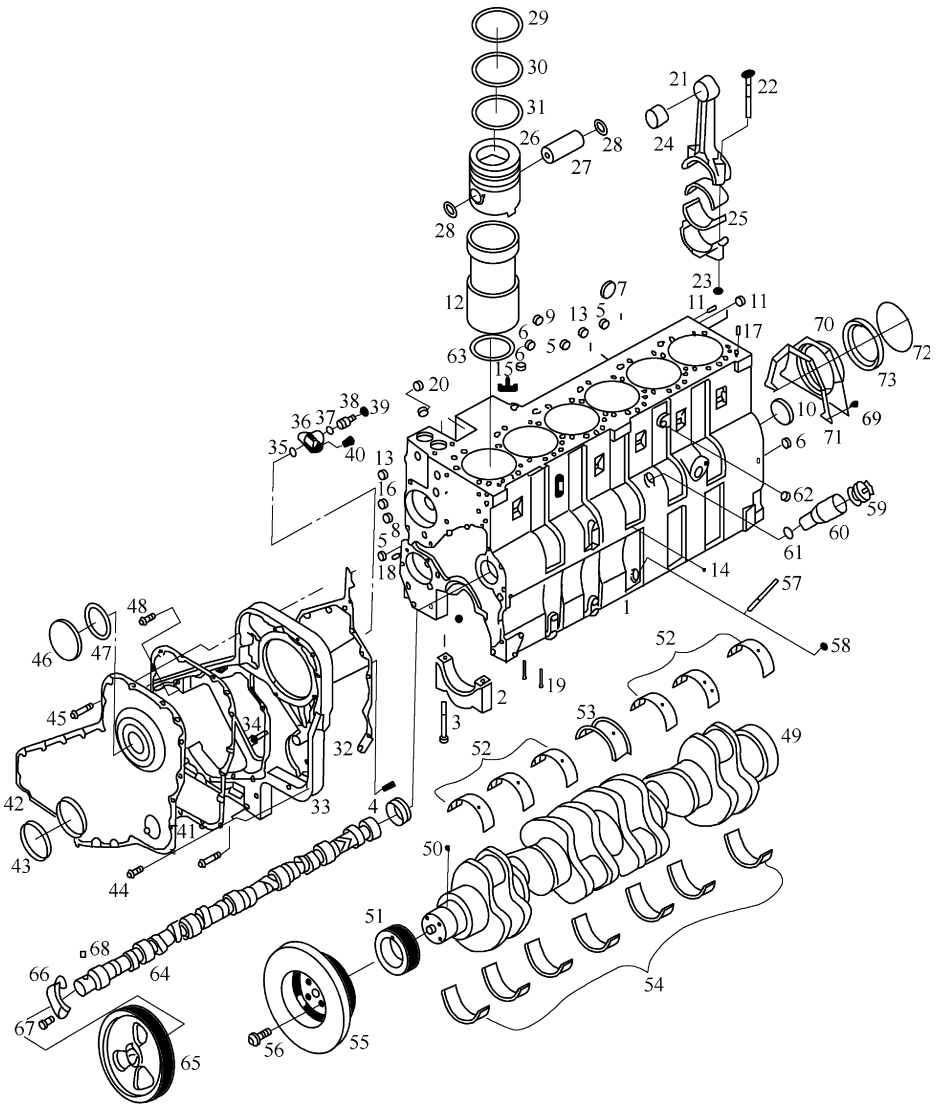


图 2-1　柴油机曲轴连杆机构分解图（康明斯 C 系列）

1—气缸体　2—主轴承盖　3、34、44、45、48、67、69—六角凸缘螺栓
4—凸轮轴衬套　5～11、58、61—膨胀塞　12—气缸套　13～14—堵头螺塞
15—泄放塞　16、20、62—管堵头螺塞　17、18、50—定位销　19—活塞冷却喷嘴
21—连杆　22—连杆螺栓　23—矩形六角头螺母　24—衬套　25—连杆轴承　26—活塞
27—活塞销　28—固定卡环　29～31—活塞环　32—齿轮室密封垫　33—齿轮室
35—正时销壳密封圈　36—正时销壳　37—O 形密封圈　38—正时销　39—固定卡环
40—圆头凸缘螺栓　41—齿轮室盖密封垫　42—齿轮室盖　43—曲轴前端油封
46—前端盖盖板　47—密封圈　49—曲轴　50—曲轴前端耐磨衬套　51—曲轴齿轮
52—主轴承（上）　53—推力轴承　54—主轴承（下）　55—减振器　56—六角头螺栓
57—机油尺管　59—注油口盖　60—注油口套管　63—密封圈　64—凸轮轴
65—凸轮轴齿轮　66—凸轮轴止推垫板　68—半圆键　70—后端盖
71—后端盖密封垫　72—曲轴后端油封　73—油封

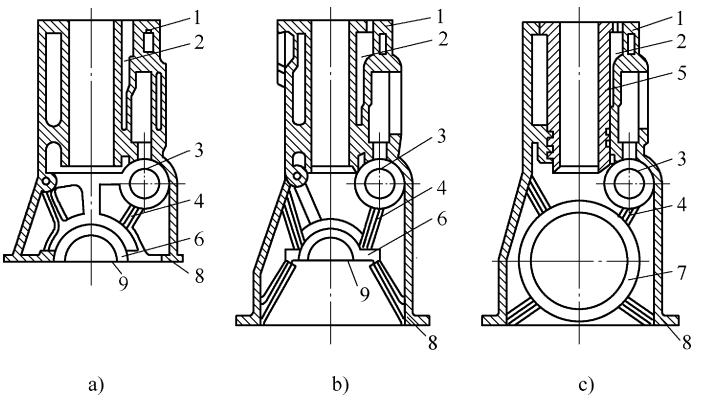


图 2-2 机体的结构型式

a）平分式（一般式） b）龙门式 c）隧道式

1—气缸体 2—水套 3—凸轮轴轴承座 4—加强筋 5—湿式缸套

6—主轴承 7—主轴承座 8—机体底平面 9—主轴承盖接合面

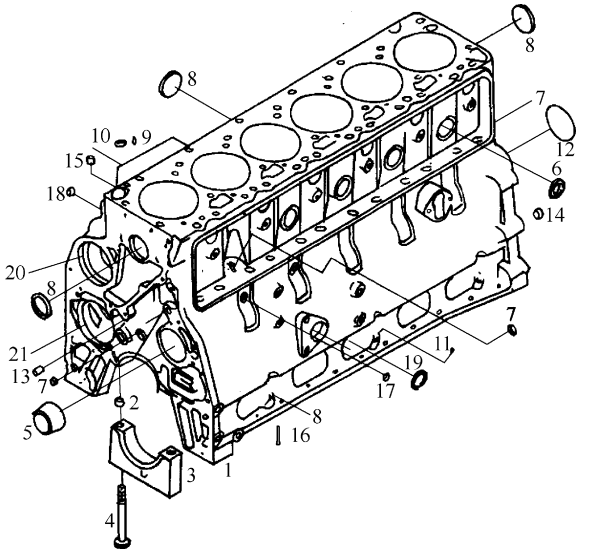


图 2-3 直立式气缸体（康明斯 C 系列柴油机）

1—气缸体 2、14、15—定位环 3—主轴承盖 4—主轴承盖螺栓 5—凸轮轴衬套

6～9、11—碗形套 10—机油冷却器腔 12—塞片 13—定位销 16—冷却喷嘴

17、18—锥形塞 19—矩形密封圈 20—水泵蜗壳 21—机油泵体

系列柴油机每缸有 2 个活塞冷却喷嘴。康明斯柴油机采用整体式全支承曲轴，气缸体前后壁和缸间横隔板上铸有支撑曲轴的主轴承座。主轴承（轴瓦）和主轴承座（瓦座）均由上、下两部分构成。轴瓦与瓦座通过凸键定位，防止轴瓦轴向移动。上瓦座与气缸体铸造成一体，主轴承孔是在主轴承盖（下瓦座）装入轴承座并按规定力矩拧紧主轴承螺栓后一次镗出的，因此主轴承盖不允许互换。主轴承盖与气缸体必须配对装配。

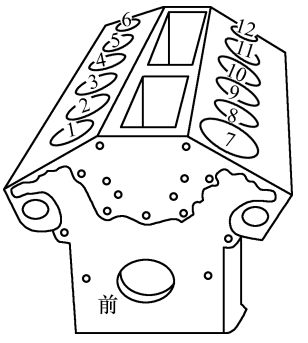


图 2-4 V 形气缸体（康明斯 K38 型柴油机）

气缸体前端为齿轮室，其中安装有曲轴正时齿轮、凸轮轴正时齿轮、喷油泵齿轮和机油泵传动齿轮，在装配时这些齿轮上的正时记号应相互对准。如图 2-5 所示为 NT855 型柴油机传动齿轮的布

置。气缸体后端装有后盖。

二、气缸套

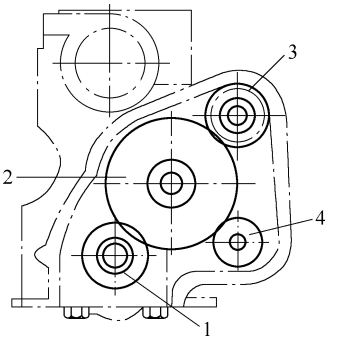


图 2-5　NT855 型柴油机传动齿轮的布置

1—曲轴正时齿轮　2—凸轮轴正时齿轮
3—附件驱动齿轮　4—机油泵驱动齿轮

气缸的结构形式有三种，即无气缸套式、干式气缸套式和湿式气缸套式。

（1）无气缸套式　缸体不镶嵌任何气缸套，在缸体上直接加工出气缸（见图 2-6a），其优点是气缸的中心距离短，可使柴油机的整体质量和尺寸减小；而且，缸体的刚度大，工艺性好。缺点是为了保证气缸的耐磨性，整个气缸体必须用耐磨铸铁制造，或在铝合金气缸内表面进行多孔镀铬，提高了制造成本。

（2）干式气缸套式　在一般灰铸铁缸体或铝合金缸体的气缸套座孔内压入或装入干式气缸套（见图 2-6b）。干式气缸套不直接和冷却水接触。采用合金铸铁离心铸造的干式气缸套壁厚为 1～3mm，精密拉伸的钢制气缸套壁厚为 10～15mm。干式气缸套的外圆表面和气缸套座孔内表面均需进行精加工，以保证几何精度并方便拆装。气缸套和座孔的配合多采用动配合，常用间隙为 0.17～0.37mm。干气缸套式缸体的优点是刚度大，气缸的中心距较小，质量轻，密封性好，以及加工工艺简单。但是拆装较为困难，且传热较差温度分布不均匀，容易发生局部变形。

（3）湿式气缸套（见图 2-6c）　气缸套的外表面直接和冷却水接触。湿式气缸套常用高磷合金铸铁制造，其壁厚一般为 5～9mm。

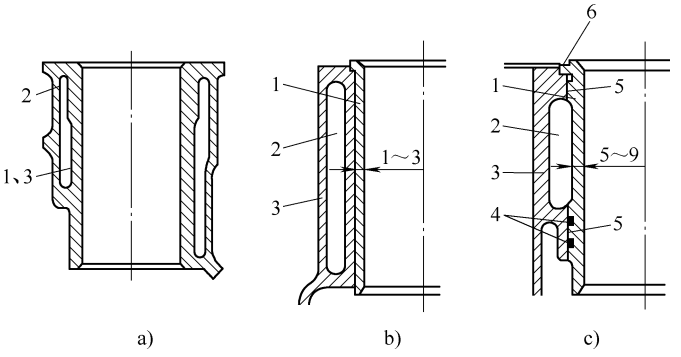


图 2-6　气缸结构型式

a）无气缸套　b）干式气缸套　c）湿式气缸套

1—气缸套　2—水套　3—气缸体　4—气缸套封水圈　5—定位带　6—凸缘

湿式气缸套以精加工的上下 2 个定位带 5 支承在气缸体中作为径向定位，轴向定位是利用上端的凸缘 6 与缸体顶部的相应支承面来实现。湿式气缸套轴向定位支承面也可以设在缸体的其他部位，而且支承面越低对气缸套上部和活塞的冷却越有利。为了密封气体和冷却水，一般在气缸套凸缘下面垫有紫铜片。下密封带上镶有 1～3 个耐油橡胶密封圈，橡胶密封圈既可装在气缸套下定位带环形槽中，也可装在缸体气缸座孔上的环形槽内。气缸套装入后，顶面略高出气缸体顶平面 0.05～0.15mm，这样在拧紧气缸盖螺栓或螺母后，气缸垫在该处承受较大的压紧力，以保证气缸的密封性，防止冷却水套内的冷却液和气缸内的高压气体窜漏。

湿式气缸套直接与冷却水接触，因此散热条件好。气缸体本身不具有密封水套，缸体铸造容易。缸套上下支承定位带与缸体相应部位是动配合，拆装修理方便。但刚度较差，易漏水。湿式气缸套广泛应用于柴油机，也有部分汽油机采用湿式气缸套。

康明斯 B 系列柴油机（4 缸或 6 缸）采用无气缸套式缸体，为了提高气缸孔的耐磨性能及活塞与气缸孔间的良好磨合，精加工后采用交叉小平顶珩磨工艺，在内壁形成网纹，有利于工作时存油，以及提高摩擦副的耐磨性能。当气缸磨损后，可在机体上加装薄壁干式气缸套。

康明斯 B 系列柴油机镶干式气缸套时，必须先按规定尺寸镗缸体底孔并留下止口，然后采取下述工艺压装：

1）将气缸套放入冰箱内冷却到零下 20℃，保持 1h 以上。

2）气缸套冷却后将每个气缸孔内表面涂 loctite620 胶（乐泰 620 胶），此胶具有抗高温耐腐蚀并能有效保护缸体与缸套的过盈配合的特点。

3）双手戴好防护手套，将冷冻后的气缸套（外径减少 0.05～0.07mm，气缸体与气缸套的过盈量为 0.05～0.08mm）压入气缸孔。

4）用专用工具轻轻敲打气缸套，使气缸套与气缸体的下止口面充分接触。

若不按上述工艺，而是按规定尺寸镗好缸体底孔后直接把气缸套压入，会导致气缸套不同程度的缩变，柴油机使用后不久会出现缸套窜动、冷却不良等现象。

康明斯 C、N、K 系列柴油机采用单体可拆卸合金铸铁制成的湿式气缸套，缸套内表面有磷化物涂层，增强了储油能力和抗磨能力。上径向定位带（称为上支承定位带）和气缸套座孔之间的配合为过盈配台，过盈量为 0.02～0.08mm。下径向定位带（称为下支承密封带）与气缸体为间隙配合。气缸套装入座孔后，气缸套顶平面略高于气缸体上端面，C 系列柴油机的缸套凸出量为 0.025～0.122mm，K19 型柴油机的缸套凸出量为 0.08～0.15mm，K50 型柴油机的缸套凸出量为 0.152～0.203mm。

C 系列柴油机气缸套的下支承密封带位于缸套的中部，一道密封环槽，仅靠一道橡胶圈实现密封，如图 2-7 所示。

N 系列柴油机气缸套下部共有三道密封圈，第一道缝隙密封圈挤压在机体内孔斜面上。可减小缸套工作时摆动的幅度，避免缸套穴蚀，最下一道密封圈的材料为耐油耐热性较好的有机硅，以防止机油渗入冷却水中。缸套较短较厚，不易振动。

K 系列柴油机气缸套的下支承密封带位于缸套的中下部，三道密封环槽，安装三道密封圈实现密封。第一道密封圈为矩形圈，材质为腈橡胶密封环，装入后，部分和冷却水接触，既能防止配合面生锈，便于拆装，又能借其吸振，减轻穴蚀，表面呈蓝色。中间一道为圆形圈，材质为乙烯丙烯合成橡胶密封环，抗热性和耐压缩性好，表面为黑色。底部一道也是圆形圈，材质为硅树脂橡胶，耐油性好，表面为红色。三道密封圈的相互位置在维修更换时不能装错。如图 2-8 所示。

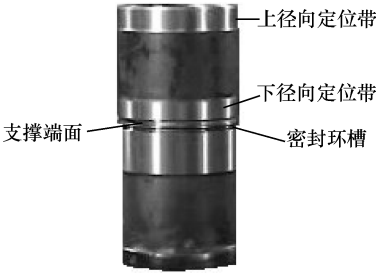


图 2-7　C 系列柴油机气缸套

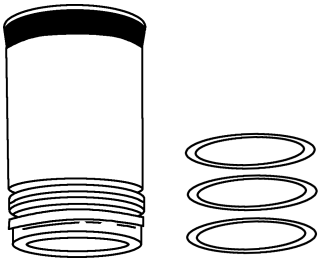


图 2-8　K 系列柴油机气缸套

三、气缸盖

气缸盖的功用是封闭气缸上部，与气缸上部及活塞顶构成燃烧室。气缸盖用螺栓紧固在机体上。

气缸盖上装有进排气门、气门摇臂和喷油器等零部件，并布置有进、排气道。水冷式柴油机的气缸盖内部铸有冷却水套。气缸盖因为形状复杂，一般由铸件加工制成，常用的材料为优质灰铸铁。铸铁缸盖的机械强度和耐热性能都较好，在大型或强化柴油机中有采用合金铸铁或球墨铸铁的。

多缸柴油机气缸盖的结构形式有一缸一盖的单体缸盖，两缸或三缸共一盖的块状缸盖和一列气缸共用的整体缸盖等。整体缸盖可以缩短气缸中心距和柴油机的总长度，结构较紧凑。缺点是刚性较差，受热和受力后易变形而影响密封，使用维修时整个更换也不经济。单体缸盖缺点是零件数增多，柴油机总质量及长度也有所增加，这种气缸盖多用于大型或强化柴油机上。

为了保证气缸盖与机体间的结合紧密，各处压力均匀，气缸盖螺栓必须按一定的顺序以规定的力矩拧紧。气缸盖螺栓的拧紧一般应由中央向四周均匀交替地逐次进行。对铸铁气缸盖，为防止螺栓受热后伸长较多而影响紧度，一般在冷车时拧紧螺栓，还要在柴油机走热后再拧紧一次。

B、C 系列柴油机气缸盖采用整体缸盖（图 2-9 所示为 C 系列缸盖）。由灰铸铁铸造而成，并经过退火处理，以去除铸造残余应力。缸盖为横向气流整体式设计，采用螺旋式进气道，气道绕气门导管右旋进入气缸，空气经螺旋气道后，在气缸中产生一种绕气缸轴线转动且转速很高的涡流，能够与雾化的燃油很快形成混合气，合理燃烧。进、排气道为异侧布置，可以减少燃烧排出的废气对进气的加热，有利于提高进气充气系数。同时，排气道仅受轻微冷却，以提高废气到达涡轮增压器的能量。柴油机无专门的进气歧管，进气歧管直接铸在缸盖上。每缸采用一进一排两个气阀，C 系列气门导管和气门座可以更换，而 B 系列缸盖不镶进排气门座和气门导管，座孔直接在气缸盖上加工出，且表面经高频淬火处理。

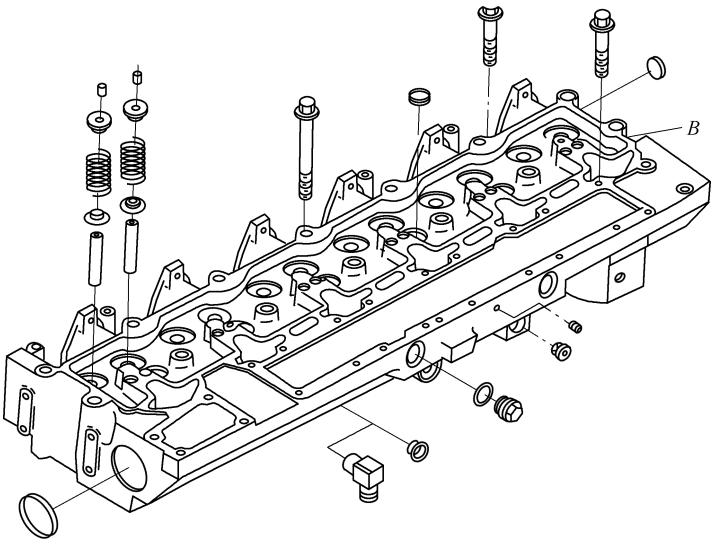


图 2-9　康明斯 C 系列柴油机气缸盖

在排气道的侧面布置有喷油器孔，喷油器孔内有一个 ϕ5.75mm 的半边孔，此孔用于喷油器的安装定位，装配时，喷油器上的小钢球应落在此孔内。

气缸盖的冷却主要采取从后向前的纵向流动为主的方式，这种冷却方式能加强气缸盖高温区的冷却，有利于降低热应力。气缸盖的前端排气侧节温器前，布置了内藏式冷却水道、小循环通道。

N、K 系列柴油机采用分体式缸盖，由高强度并可中等耐热的合金铸铁铸造而成。

K 系列柴油机采用一缸一盖，每个缸有 4 个气门。气缸盖上装有气门导管、丁字压板导杆、气门弹簧等，每缸有 3 个摇臂（进气摇臂、排气摇臂、喷油器摇臂），用以控制进、排气门和喷油器的正常工作。摇臂通过衬套装在摇臂轴上，对于四气门柴油机，气门摇臂通过丁字压板同时驱动两个气门。进气门摇臂和排气门摇臂上的摇臂凸面是经过精密磨削加工的，不允许修理。喷油器摇臂上的球窝可以更换。气缸盖内装有由铜合金制成的喷油器套筒，还铸有燃油管道、机油道和水道等。气缸盖如图 2-10、图 2-11 所示。

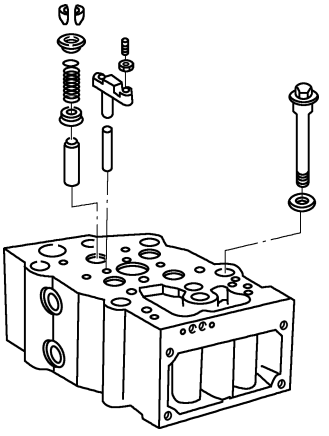


图 2-10　康明斯 K 系列柴油机气缸盖图

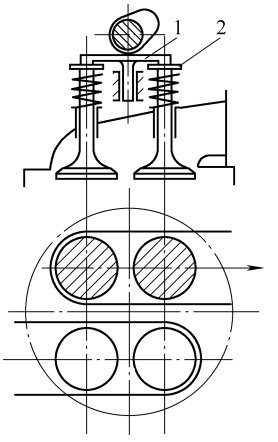


图 2-11　气缸盖的四气门布置及其驱动
1—丁字压板　2—气门弹簧座

N 系列柴油机采用两缸一盖，每缸也有 4 个气门，其他组成与 K 系列类似。NT855 柴油机的气缸盖进、排气道的安排颇有特色，气缸盖的一侧为进气通道，两缸的进气道共用一个进气口与进气管相通。缸盖另一侧为排气通道，两缸的排气道各自有单独的排气口，分别与排气歧管相通。

气缸盖螺栓受力严重，一般用优质中碳钢（45 钢）或合金钢（如 40Cr）制造，并经调质处理。康明斯柴油机气缸盖采用高强度螺栓固定。B 系列柴油机的气缸盖螺栓有长、中、短三种，平均每缸有 6 个螺栓，1 个长螺栓布置在进气侧，兼做固定摇臂支座总成用；4 个中螺栓排成两排布置在中间，位于气门室罩内；排气一侧为 1 个短螺栓。C 系列柴油机气缸盖螺栓只有中、短 2 种类型。N 系列柴油机气缸盖由 12 个螺栓固定在气缸体上。

四、气缸垫

气缸垫装在气缸体和气缸盖之间，用以保证气缸体与气缸盖之间的密封，使柴油机不漏气、不漏水、不漏油。

按所用材料的不同，气缸衬垫可分为金属石棉衬垫，金属复合材料衬垫和全金属衬垫等。近年来，国外一些内燃机开始采用耐热密封胶，彻底取代了传统的气缸衬垫。

康明斯柴油机气缸垫采用软钢薄板冲成，表面精度很高。气缸垫采用中间薄钢板、两边覆盖石棉板的结构，中间薄钢板在气缸口位置冲出一个波形槽，然后包上内、外翻边护圈。气缸垫上

开设有润滑油、冷却液用的各种通道孔，孔的四周均匀地涂有一圈硅橡胶，以保证油、水的密封。也可采用金属复合材料衬垫，在钢板的两面粘附耐热、耐压和耐腐蚀的新型复合材料，并在气缸孔、冷却水孔和机油孔周围用不锈钢包边。气缸垫表面还进行了防粘处理，便于维修时拆卸方便、不粘缸。气缸垫被压紧时变形很小，工作可靠，不易烧损。

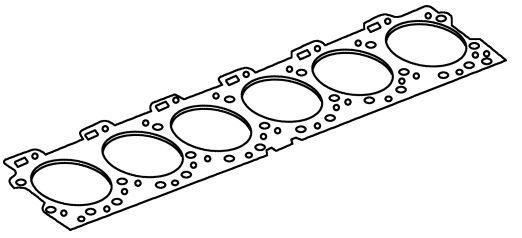


图 2-12　整体式气缸垫（康明斯 C 系列柴油机）

气缸垫有正反面，有“TOP”字样的为正面，安装时应朝上。B、C 系列柴油机六缸共用一个整体式气缸垫（见图 2-12），N、K 系列柴油机每一缸盖都有一个气缸垫。

五、油底壳

油底壳（下曲轴箱）的功用是储存润滑油，并密封曲轴箱。康明斯柴油机采用的油底壳一般由铝合金铸成，有利于机油散热和减轻重量。油底壳用螺栓与曲轴箱连接，结合处有衬垫，防止漏油，安装时应涂耐热密封胶。

第二节　活塞连杆组构造

活塞连杆组主要由活塞、活塞环、活塞销和连杆组等机件组成，如图 2-13 所示。

一、活塞

活塞用来承受燃气的压力，并经过连杆将力传给曲轴。活塞是柴油机中工作强度最高的机件之一，因直接承受高温、高压燃气的作用，所以必须有足够的强度和刚度。活塞在气缸中的往复运动是变速直线运动，会产生往复惯性力。为了减小往复惯性力，必须尽可能地减轻活塞的质量。

目前，铝活塞广泛采用含硅 12% 左右的共晶铝硅合金和含硅 18% ~23% 的过共晶铝硅合金制造，外加铜和镍，以提高热稳定性和高温力学性能。康明斯活塞由耐热性和耐磨性良好的共晶硅铝合金制成，具有较高的抗疲劳强度、导热性好等优点；有的活塞顶面还进行了硬膜阳极氧化处理。

活塞的基本结构可分为顶部、头部、裙部和销座 4 个部分。

康明斯柴油机采用直接喷射式燃烧室，在活塞顶部有 ω 形凹坑。为了让开气门在顶部制有对应的缺口，它们和进、排气门位置相对、大小匹配，防止活塞顶和气门相碰撞。康明斯柴油机活塞连杆组如图 2-13 所示。

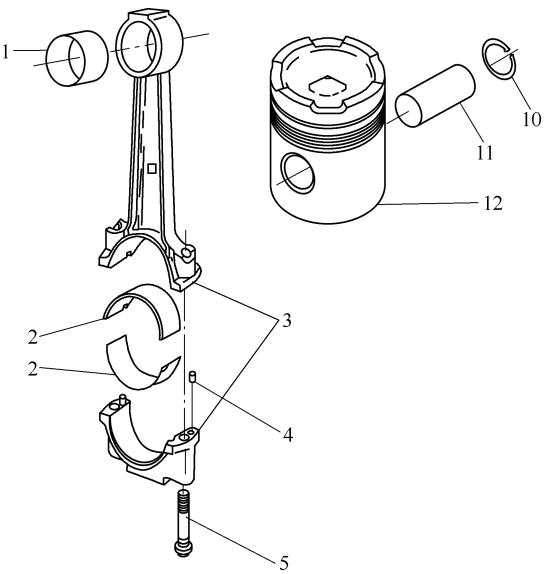


图 2-13　康明斯柴油机活塞连杆组

1—连杆衬套　2—连杆轴瓦　3—连杆总成　4—定位销
5—连杆螺栓　10—卡环　11—活塞销　12—活塞总成

活塞头部又称环槽部。在活塞头部加工

有用来安装气环和油环的气环槽和油环槽。在油环槽的底部还加工有回油孔或横向切槽，油环从气缸壁刮下来的多余润滑油，经回油孔或横向切槽流回油底壳。

为了保护和加强环槽，用耐热性好的材料制造耐热护槽圈镶嵌在活塞第一、二环槽处（见图 2-14a、b）。在高强化直喷式柴油机中，在第一道环槽和燃烧室喉口处均镶嵌耐热护圈（图 2-14c），以保护喉口不致因过热而开裂。耐热护槽圈的材料为热膨胀系数与铝合金接近的镍铬奥氏体铸铁或高锰奥氏体铸铁。

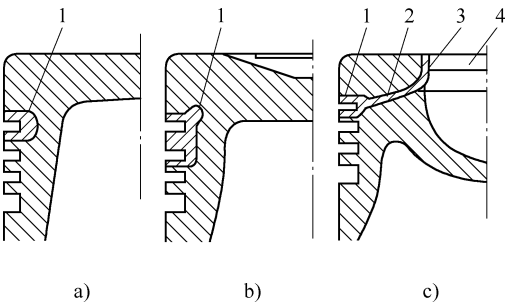


图 2-14 活塞护槽圈

1—活塞环护槽圈 2—沿圆周均部的 3 条连接带 3—燃烧室喉口护圈 4—燃烧室喉口

B、C 系列和 K 系列柴油机活塞制有两道气环槽和一道油环槽，第一道环槽为梯形环槽。C 系列第一、二道环槽内均镶嵌有奥氏体铸铁圈；B 系列增压机型第一道环槽镶嵌有奥氏体铸铁圈；K 系列第一道环槽内镶嵌有镍合金铸铁的环槽护圈。N 系列共有四道活塞环槽，即三道气环槽，一道油环槽，第一、二道环槽处镶嵌有镍合金铸铁的环槽护圈。

有的活塞在第一道环槽上部到活塞顶加工出很多细小的环形槽。原因有三点：一是可减小活塞头部和缸壁之间的间隙，便于两者直接接触，加强活塞头部的散热，减小气缸装配间隙；二是使活塞具有一定的退让性（退让性——受挤压时环形槽以变形的方式向槽底退让），可以降低活塞卡死、拉缸的可能性；三是可以储存积炭和吸收润滑油，防止活塞拉毛、卡缸等事故。

活塞头部最低一道环槽以下的部分称为裙部。作用是为活塞导向并将活塞的侧向力传给气缸壁。康明斯柴油机裙部为椭圆桶形，有的活塞裙部表面上加工有环形细纹，用以储存润滑油，增加耐磨性。

活塞销座用以安装活塞销，康明斯柴油机一般为全浮式活塞销，当与活塞装配时，应先将活塞加热到 50 ~ 70℃（或不加热，用选配法装配）。作用在活塞上的气体压力和惯性力，经活塞座、活塞销传给连杆。为了加强其刚度和强度，在活塞顶部和销座之间设有加强筋。销孔内有安放弹性卡环的卡环槽，卡环是用来防止活塞销在工作时发生轴向位移的。

K 系列柴油机有两种类型的活塞可供采用，一种是优质型活塞，另一种是标准型活塞。在优质活塞上，两道气环槽都由镍合金铸铁护圈镶入环槽加工而成，活塞的顶部经过阳极氧化处理以得到附加的耐热能力。在标准型活塞上，仅是第一道道气环槽由镍合金铸铁护圈镶入环槽加工成，其顶部则不进行阳极氧化处理。

二、活塞环

活塞环分为气环和油环两种。

活塞环应具备高的耐磨性、耐热性、耐腐蚀性、贮油性、磨合性、导热性、强韧性、弹性和易加工性等，因而活塞环采用优质灰铸铁、球墨铸铁、合金铸铁和钢带制成。通常对第一道气环外圆面的表面进行镀铬或喷钼处理。多孔性镀铬层硬度高，并能储存少量润滑油，有利于改善润滑和减轻磨损。钼的熔点很高，也具有多孔性，因此，喷钼同样可以提高活塞环的耐磨性。其他各道活塞环大多采用镀锡或磷化处理，以改善其磨合性。但是，钢带组合油环的上下刮片，其外圆面均进行多孔镀铬处理。

气环的主要功用是保证活塞与气缸壁密封，防止气缸内的混合气和高温燃气漏入曲轴箱，并将活塞顶部接受的热量传给气缸壁，避免活塞过热。

气环开有缺口并具有弹性，在自由状态时外径大于气缸直径，呈非圆形。装入气缸后，在自身弹力及环背所受气体压力的作用下，使环紧密贴在缸壁上，从而实现气缸密封。同时，安装活塞环时，各活塞环的开口应避开活塞销轴线方向，且各道活塞环开口应相互错开，使气体只能沿一曲折通道向下泄漏，以增强密封效果。

柴油机工作时，一部分在气缸壁上的润滑油会窜入燃烧室。气环在环槽中上下留有侧隙，背后也有间隙。这些间隙的存在，导致了气环的泵油作用（见图2-15a）。当活塞向下运动时，在气环与缸壁间的摩擦力和环的惯性力作用下，气环紧压在环槽的上端面，于是润滑油进入气环下面和气环背后的间隙中。当活塞向上运动时，气环又压向环槽的下端面，把润滑油挤压向上。如此反复进行，润滑油就被泵入燃烧室而形成积炭。

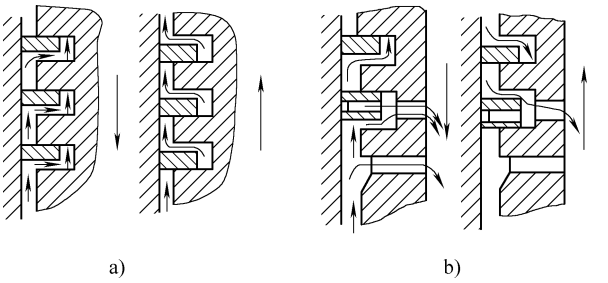


图2-15　气环的泵油作用和油环的刮油过程

a）通过气环的油的流动　b）油环的刮油过程

因而必须有油环刮除飞溅到缸壁上的多余润滑油，并将润滑油均布在气缸壁上。既能防止润滑油上传到活塞顶部而引起燃烧室积炭和润滑油消耗，又能改善润滑条件，减小摩擦和磨损。油环的刮油过程如图2-15b所示。

气环的断面形状很多，常见的有矩形、锥形、梯形、桶面和扭曲状等，如图2-16所示。

（1）矩形环（见图2-16a）　矩形环的端面呈矩形，形状简单，加工方便，与气缸壁接触面积大，利于活塞散热。但磨合性差，容易产生“泵油作用”。

（2）锥面环（见图2-16b、c）　锥面环的外圆面为锥角很小的圆锥面。锥面环装入气缸后与缸壁为线接触，磨合性、密封性好。同时能起到向下刮油的作用，上行时，形成油楔作用，锥面环能滑过气缸壁的油膜而不致将润滑油带入燃烧室。但锥面环导热性差，安装时，锥角应朝下。由于锥角很小，一般不易识别，为避免装错，应注意标记。

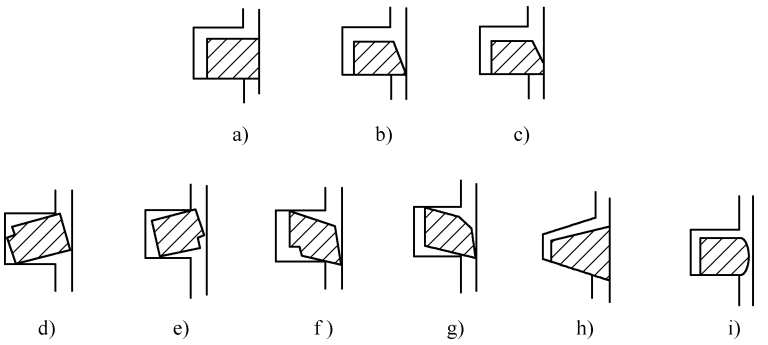


图2-16　气环的断面形状

a）矩形环　b）、c）锥面环　d）、e）正扭曲环　f）、g）反扭曲环　h）梯形环　i）桶面环

（3）扭曲环（见图2-16d、e、f、g）　断面不对称的气环装于气缸中，由于弹性内力的作用使断面发生扭转，故称为扭曲环。扭曲环有正扭曲环和反扭曲环两种：正扭曲环在活塞环的内圆上边缘或外圆下边缘切口，装于气缸后环面扭曲成蝶形，如图2-16d、e所示；反扭曲环在活塞环的内圆下边缘或外圆上边缘倒角，装于气缸后环面扭曲成帽形，如图2-16f、g所示。无论正扭曲环和反扭曲环，通常安装后都是锥角朝下，因而具有锥面环的磨合性、密封性、刮油和油楔效

应。而且环的上下端面与环槽的上下端面在相应的地方接触，既增加密封性，又避免了活塞环在槽内上下窜动而造成的泵油和磨损。安装扭曲环时，必须注意它的上下方向，且不能装反。即正扭曲环内切口要朝上，外切口要朝下；反扭曲环内切口要朝下，外切口要朝上。

（4）梯形环（见图 2-16h） 梯形环的断面为梯形，当活塞在侧压力作用下横向摆动时，梯形环将积炭和胶状物从环槽中挤出，因而抗黏结性好。这一点是试验研究发现的。

（5）桶面环（见图 2-16i） 桶面环的外圆面制成凸圆弧形，其密封性、磨合性都比较好。桶面环在气缸内不论上行还是下行均能形成楔形油膜将环浮起，从而减轻了环与气缸壁的磨损。运转良好的活塞环，使用后的环周表面多自然呈现圆弧形，所以第一道气环被加工成这种形状，并已被广泛用于高速强化柴油机中。

B、C、K 系列康明斯柴油机有两道气环。B 系列第一道活塞环是桶面梯形环，外圆表面镀铬；第二道是锥面扭曲环。C 系列两道气环均为梯形扭曲环，第一道环表面镀铬，为正扭曲环；第二道为反扭曲环。K 系列两道气环均为梯形环，表面均镀铬。

N 系列共有三道气环，分别为桶面梯形环、梯形正扭曲环、梯形反扭曲环，第一道气环镀铬。第一道气环所受高温、高压、高速和半干摩擦的条件最为恶劣，因而必须耐磨、抗胶结并且密封性好，通常选用矩形环（高速、高压缩比和大负荷柴油机目前已不采用）、梯形环（热负荷较高或强化柴油机）、桶面环（高速强化柴油机）或梯形断面桶形环及扭曲环（内圆切槽环），并进行镀铬、喷钼、氮化或喷陶瓷表面处理。

康明斯柴油机第一道气环选用桶面梯形环或梯形扭曲环。断面为梯形，与气缸接触的环表面为桶面，这种环称为桶面梯形环，如图 2-17a1 所示。它是梯形环和桶面环的组合形，因而具有良好的密封性、磨合性和抗黏结性，楔形油膜能减少磨损；梯形扭曲环是梯形环在内圈上缘制成台阶（见图 2-17b1，C 系列所用）的正扭曲环，使梯形环具有扭曲效应，也具有密封性、磨合性、抗黏结性好和楔形油膜的特点。

第二道气环，不仅要帮助第一道环密封，同时也要辅助油环控油，因而要求密封好、泵油效应弱，刮油能力强，并且要耐磨，通常选用锥形环或扭曲环。

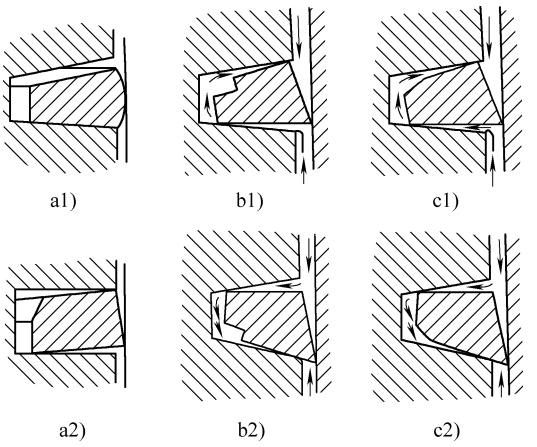


图 2-17 康明斯柴油机活塞环
a1）、a2）—B 系列第一、二道气环
b1）、b2）—C 系列第一、二道气环
c1）、c2）—N 系列第二、三道气环

康明斯柴油机第二道气环采用锥面扭曲环或梯形扭曲环。锥面扭曲环是使锥面环具有扭曲效应，如 B 系列的锥面扭曲环（见图 2-17a2），其外圆锥面角为 90′，内圈上缘有内斜 45°切口，是上侧面内倒角的正扭曲锥面环。C 系列采用内圈下缘台阶式（见图 2-17b2）的梯形反扭曲环，反扭曲环安装时内切口朝下，不应与内圆切槽的正扭曲环混淆。N 系列第二道气环是梯形正扭曲环，内圈上缘倒角（见图 2-17c1）。N 系列的第三道环也是梯形反扭曲环，是内圈下缘倒角（见图 2-17c2）。

当安装上述活塞环时需特别注意切勿装反，否则会引起机油耗量剧增。对于气环上有记号或“TOP”字样的活塞环，安装时应将记号或“TOP”的一面朝向活塞顶。

康明斯柴油机采用在普通油环内装螺旋弹簧的胀圈油环，如图 2-18 所示。两面有较大的倒角，以提高刮油能力。与缸壁相接触的环外表面镀镉。内部的弹簧胀圈可提高外部油环的径向压

力，保证油环与气缸壁之间均匀而稳定地贴合，特别是当环外圆磨损时，弹力不会急剧下降。弹簧胀圈油环刮油能力强、使用寿命持久。装配时，注意胀圈的开口与油环的开口应当相隔 180°。

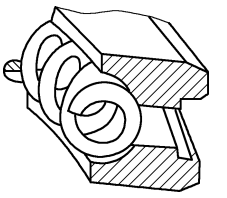
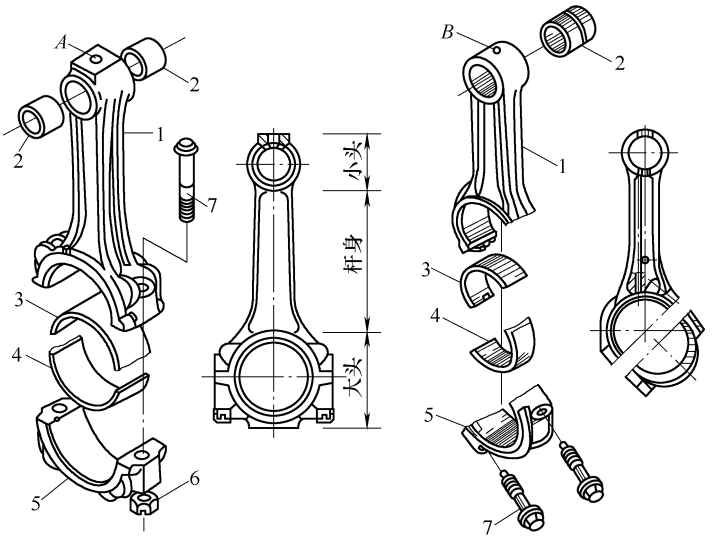


图 2-18　弹簧胀圈油环

当活塞环折断或磨损超过极限值时，应更换新活塞环。更换活塞环时，应根据气缸的修理尺寸来选择，即选用与气缸、活塞相适应的同级尺寸的活塞环，而不能用不同尺寸的活塞环代用。供维修使用的修理尺寸环每级加大 0.25mm，其尺寸标记刻印在环的端面上。更换的新活塞环应做弹力、端隙、侧隙、背隙、漏光度等项目的检查。

三、连杆

连杆由连杆体（小头、大头和杆身）、连杆盖、连杆轴瓦、连杆衬套和连杆螺栓等组成，其结构示意如图 2-19 所示。



a)　　b)

图 2-19　连杆结构示意

a）平切口连杆　b）斜切口连杆

1—连杆体　2—连杆衬套　3—连杆轴承上轴瓦　4—连杆轴承下轴瓦

5—连杆盖　6—螺母　7—连杆螺栓　*A*—集油孔　*B*—集油孔

连杆体和连杆盖通常由优质中碳钢或中碳合金钢（如 45、40Cr、42CrMo 和 40MnB 等）经模锻或辊锻而成。一般进行调质和喷丸处理以提高连杆零件的强度和疲劳强度。

连杆小头用来安装活塞销，为了减小活塞销和连杆的磨损，在连杆小头孔内以一定的过盈量压入衬套，进入衬套凹槽的润滑油可以润滑活塞销和衬套。康明斯柴油机连杆小头呈斜面楔形，如图 2-20 所示，可减轻连杆的重量，并且可使冷却活塞顶部的机油落下来再次润滑活塞销。同时，增加小头铜套和活塞销座的承压面积。

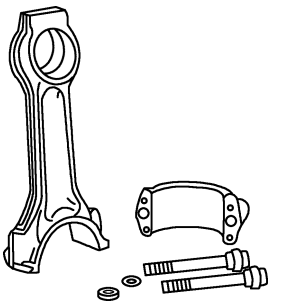


图 2-20　康明斯柴油机连杆

连杆杆身连接着连杆的小头和大头，杆身呈工字形断面。N、K 系列在连杆杆身钻有一偏置的长油孔，以保证小头铜套的压力润滑。油孔偏置可改善连杆轴承的承载能力。

连杆大头是剖分的，康明斯 B 系列柴油机为斜切口连杆，斜切角度为 68°；C、N、K 系列柴油机连杆为平切口连杆。连杆盖通过两个高强度连杆螺栓连接，按规定力矩紧固后无需保险。连杆盖装合到连杆体时必须严格定位，以防止连杆盖横向移动。平切口的连杆利用连杆螺栓上的一段或数段精密加工的圆柱面与精密加工的螺栓孔来实现连杆盖的定位，B 系列斜切口的连杆盖与杆身则用止口定位。

连杆大端孔是在连杆体与连杆盖组合之后镗削的，在连杆体和连杆盖同侧刻有配对记号，在拆卸、装配时必须对号入座，不同的连杆体和连杆盖不可互换。连杆轴颈和连杆大头孔配合间隙必须符合工艺规定。

连杆大头中装有连杆轴瓦，轴瓦是用厚 1 ~ 3mm 的钢带作瓦背，其上浇有厚 0. 3 ~ 1. 0mm 的减摩合金（白合金、铜铅合金或铝基合金）的薄壁零件，康明斯柴油机连杆轴瓦采用铜铅合金材料，内表面镀铅锡合金，构成“钢背—减摩合金—表层”的三层金属轴瓦或多层金属轴瓦。所有机型维修时都禁止修刮轴瓦。

轴瓦在自由状态时，并非呈真正半圆形，其曲率半径略大于座孔的半径，如图 2-21 所示，两者的差值称为自由弹势或弹片量（一般为 0. 38 ~ 0. 63mm）。这样，轴瓦装入座孔后便产生张紧力，能自动卡在座孔中正确定位。轴瓦上的凸键嵌入连杆盖的凹槽中，防止轴瓦转动或轴向移动。

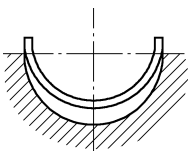


图 2-21　轴瓦的自由状态

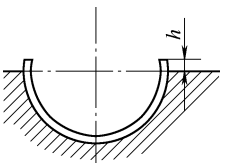


图 2-22　轴瓦的过盈量

瓦背与座孔贴合面之间的摩擦力，是通过轴瓦和座孔间配合的过盈量来保证的。轴瓦外径周长较座孔周长稍大，当轴瓦压入座孔并用一定压力压紧后，轴瓦两端稍高于座孔接合面，伸出量为 h，如图 2-22 所示。

连杆螺栓紧固后，轴瓦高出的部分全部被压入座孔内，轴瓦的圆周过盈变成径向过盈，如图 2-23 所示，对主轴承座孔产生径向压紧力，保证工作时轴瓦与座孔相对固定，使轴瓦工作时不转、不移、不振，并有利于散热。

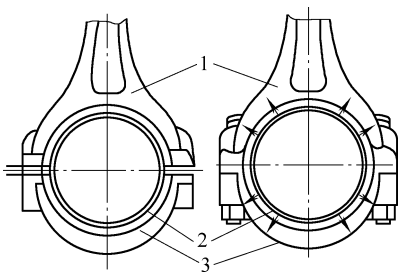


图 2-23　轴瓦的圆周过盈量被压紧后，产生的径向压力
1—连杆　2—轴瓦　3—盖

第三节　曲轴飞轮组构造

曲轴飞轮组的主要机件是曲轴和飞轮。曲轴前端（自由端）装有正时齿轮、带轮和扭转减振器。曲轴的后端装有飞轮，其上装有齿圈，如图 2-24 所示。

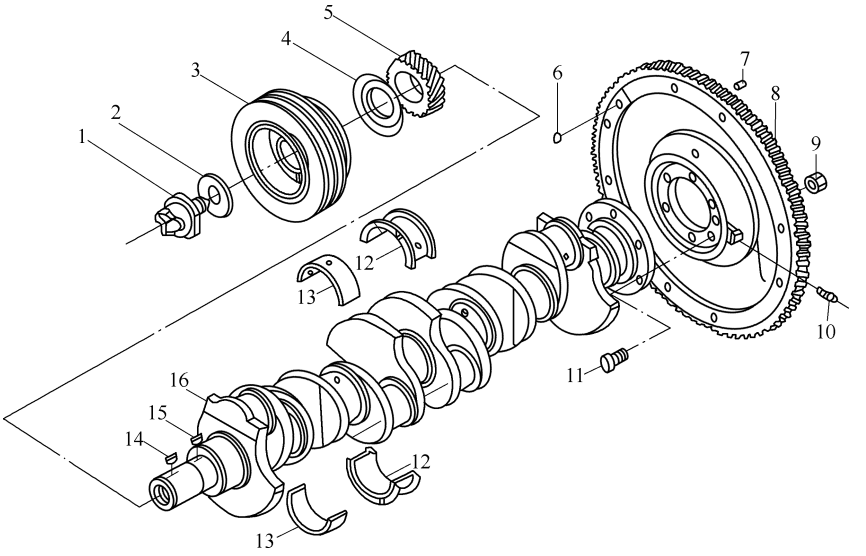


图 2-24　康明斯柴油机曲轴飞轮组

1—起动爪　2—起动爪锁紧垫片　3—扭转减振器、带轮　4—挡油片　5—正时齿轮
6—上止点记号　7—圆柱销　8—齿环　9—螺母　10—黄油嘴　11—曲轴与飞轮连接螺栓
12—推力轴承上下轴瓦　13—主轴承上下轴瓦　14、15—半圆键　16—曲轴

一、曲轴

曲轴的功用是将连杆传来的气体压力转变为转矩，然后传给传动装置。柴油机的各运动机构都是通过曲轴来驱动的。

曲轴承受气体压力和往复惯性力、旋转惯性力及其力矩的作用。这些周期性变化的负荷在曲轴各部分产生弯曲、扭转、剪切、拉压等复杂交变应力，同时也造成曲轴的扭转振动和弯曲振动。

为保证柴油机的正常工作，曲轴必须具有足够的强度和刚度。轴颈应有足够大的承压表面和耐磨性；曲轴的质量应尽量小；对各轴颈的润滑应该充分；曲轴的安装固定要可靠，并必须加以轴向定位，限制其轴向移动。

1. 曲轴的材料及构造

曲轴一般由 45、40Cr、35CrMoA、40CrNiMoA、38CrMoAIA 等中碳钢或中碳合金钢模锻而成。现代中小型柴油机曲轴也采用高强度球墨铸铁铸造。为提高疲劳强度和耐磨性，曲轴通常采用调质处理，中碳钢曲轴轴颈采用高频感应淬火；合金钢曲轴轴颈采用高频感应淬火或氮化处理；球墨铸铁通常进行正火、等温淬火或高频感应表面淬火。轴颈表面进行喷丸处理，圆角处进行滚压处理。

按各组成部分的连接情况，可把曲轴分为整体式曲轴和组合式曲轴。曲轴通过多道主轴承被支承在气缸体上，根据支承点的个数，曲轴又可分为全支承和非全支承两种。全支承曲轴每个曲柄销（连杆轴颈）的两端都有支承点（主轴颈），所以主轴颈数比曲柄销数多一个。非全支承曲轴则是每两个曲柄销共用一对支承点，故其主轴颈数少于或等于曲柄销数。曲轴采用平衡重平衡旋转惯性力及其力矩。若曲轴的每一个曲柄上都装设平衡重则称为完全平衡。康明斯柴油机曲轴是整体锻造成形自带平衡块的全平衡式曲轴，并且采用全支承结构。

曲轴主要由三个部分组成，即曲轴前端（自由端）、曲拐（包括主轴颈、连杆轴颈和曲柄）

及曲轴后端（功率输出端），如图 2-25 所示。曲轴上曲拐数目与气缸的数目、气缸的排列方式有关。直列式柴油机曲轴的曲拐数等于气缸数；V 形柴油机曲轴的曲拐数为气缸数的一半。康明斯柴油机每个曲柄臂都有特定的编号，顺序是从曲轴的前端向后端依次编号，编号以钢印打在曲柄臂上。曲轴前端加工有键槽、螺纹孔以安装正时齿轮、带轮和扭转减振器，外圆光磨，安装前端油封；后端有安装飞轮用的凸缘、螺纹孔等，外圆光磨，安装后端油封。曲轴在前轴端和后轴端均装有定位销钉或卷筒销，使用这种销钉可以将减振器、曲轴接盘和飞轮正确对正。

康明斯柴油机整体式曲轴轴颈经淬硬处理，轴颈尺寸大；过渡圆角部分或全部淬硬处理，多采用滚压强化；曲轴油道孔口抛光，使曲轴具有抗疲劳破坏的能力。各轴颈、轴承采用压力润滑。主轴颈和连杆轴颈之间有油道相通（见图 2-25）。气缸体上也有专门油道与主轴承孔的油道相通，如 B 系列柴油机主轴承上瓦有 3 个孔与气缸体上的 3 个孔相对应，中间孔与气缸体主轴道相通，一个相邻小孔与凸轮轴孔相通，另一侧孔与冷却活塞喷嘴相通（见图 2-26）。

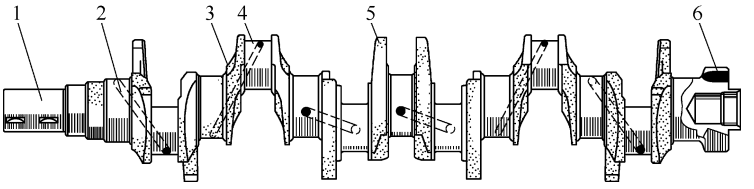


图 2-25 整体式曲轴

1—曲轴前端 2—主轴颈 3—曲柄 4—连杆轴颈 5—平衡重 6—曲轴后端

曲轴前端的正时齿轮用以驱动配气机构、燃油泵、喷油器、机油泵、水泵、发电机和风扇等部件。

2. 扭转减振器

为消除曲轴扭振，康明斯柴油机在曲轴前端安装扭转减振器，减振器的选用是根据柴油机的额定功率和额定转速来确定的。B、C 系列采用橡胶扭转减振器，N、K 系列采用硅油扭转减振器。减振器能使曲轴的扭振幅限制在 0.2°的范围内。带轮和减振器用螺钉固定在一起，减振器在柴油机上的装配如图 2-27 所示。在康明斯 N、K 型柴油机上的减振器上刻有为气门和喷油嘴进行调整所必需的记号，装配时不能错位，必须对正。有些康明斯柴油机还装有 2 个减振器即双减振器。

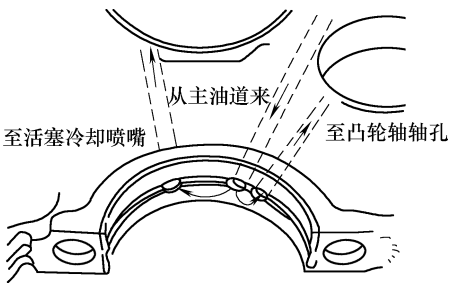


图 2-26 康明斯柴油机主轴承油道（B 系列）

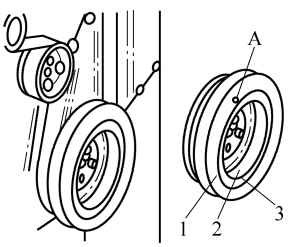


图 2-27 减振器在柴油机上的装配

1—惯性环 2—橡胶圈 3—轮毂

A—装配记号

橡胶扭转减振器的壳体与曲轴连接，减振器壳体（轮毂）与减振器的惯性质量块黏结在硫化橡胶层上（见图 2-28a）。柴油机工作时，减振器壳体与曲轴一起振动，由于惯性质量滞后于减振器壳体，因而在两者之间产生相对运动，使橡胶层产生变形，振动能量被橡胶的内摩擦阻尼

吸收，从而使曲轴的扭振得以消减。

硅油扭转减振器由钢板冲压而成的减振器壳体与曲轴相连（见图 2-28b）。侧盖与减振器壳体组成密闭腔，其中滑套与密闭空腔之间留有一定的间隙，里面充满高粘度硅油。柴油机工作时，惯性盘与减振器壳体间产生相对运动，曲轴的振动能量被硅油的内摩擦阻尼吸收，使扭振减轻。

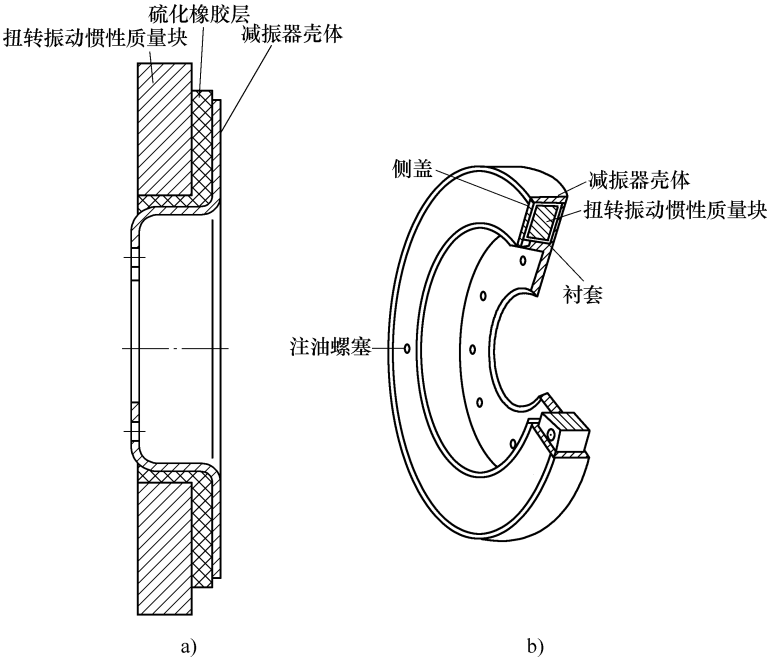


图 2-28　扭转减振器

a）橡胶扭转减振器　b）硅油扭转减振器

3. 曲轴轴承

康明斯柴油机整体式曲轴主轴颈轴承（简称主轴承），和连杆轴承一样也采用滑动轴承。主轴承由上、下两片轴瓦组成（见图 2-24）。上轴瓦制有润滑油槽和油孔，确保主轴颈与主轴承之间的充分润滑。主轴颈和主轴承孔配合间隙必须符合工艺规定。如果使用过的轴瓦准备再安装，则每一个轴瓦都必须装回到它原来的位置上。

柴油机工作时，由于多种原因使曲轴发生轴向窜动。为了保证曲轴轴向的正确定位，防止过大的轴向窜动影响活塞连杆组的正常工作，破坏配气和喷油正时，必须装设推力轴承。推力轴承只设置于曲轴的一处，以保证曲轴受热膨胀时可自由伸长。

曲轴轴向推力轴承有翻边轴瓦、半圆环止推片和推力轴承环三种形式。半圆环止推片（见图 2-29a）一般为四片，上、下各两片，分别安装在缸体和主轴承盖上的浅槽中，用定位舌或定位销定位，防止其转动。装配时，需将有轴承合金层的止推面朝向曲轴的止推面，不可反装。此外，也可采用两片止推圆环（推力轴承环）。

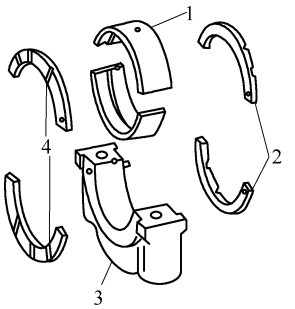
翻边轴瓦（见图 2-29b）是将轴瓦两侧翻边作为止推面，在止推面上浇注减摩轴承合金。曲轴的止推面与轴瓦的止推面之间留有 0.06～0.25mm 的间隙，从而限制了曲轴轴向窜动。

B 系列曲轴止推轴颈在第 6 道主轴颈，装用上瓦带推力轴承的翻边止推瓦，材料与其他主轴承相同，止推瓦的下瓦与其他主轴承下瓦相同，曲轴轴向窜动量为 0.10～0.30mm。C 系列柴油

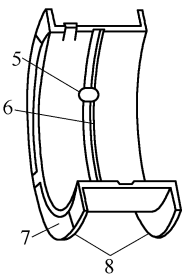
机机体中部的第四道主轴承座装有带翻边的止推止推瓦。N、K 系列柴油机机体后端主轴承座的两侧装有四片半圆环止推片。

4. 曲轴前、后端的密封

曲轴密封有甩油盘、回油螺纹、橡胶油封及聚四氟乙烯油封等方式。康明斯柴油机整体式曲轴的前、后密封件采用整体式的钢架聚四氟乙烯双刃口（双密封唇口）密封件。聚四氟乙烯油封性能远优于橡胶油封，具有极佳的抗摩擦性，且封油效果好，特别适用于高速旋转、无油或少油状态工作。即使长期停机后再启用，也能立即拥有低摩擦特性，是目前国际柴油机行业采用的较为先进的曲轴油封。双密封唇口聚四氟乙烯油封机构如图 2-30 所示，金属骨架外壳 1 由低碳钢板制成，具有记忆收缩能力的聚四氟乙烯被压制成喇叭状，形成主密封唇 3、防尘唇片 2，夹在金属壳内（中间夹橡胶弹性片）。主密封唇接触面上加工有与轴转向相反的螺旋线或螺旋槽（回流槽），可将外泄的润滑油送回密封腔内，并且密封唇口比橡胶油封宽，属于面接触，有利于回油螺旋槽封油，且能保持一层足够的润滑油膜；防尘唇（副唇）主要用来防止外界杂质如泥沙、灰尘、水等进入润滑油中，同时也防止外界杂质进入主密封唇与旋转轴之间，以免引起油封唇口的损伤或旋转轴外表面的划伤。轴旋转时产生的摩擦热可使唇口不断收缩，紧紧抱在轴上，且能补偿磨损。



a) 组合式



b) 整体式

图 2-29 曲轴轴向推力轴承

1—主轴承 2—推力轴承片 3—主轴承盖
4、6—油槽 5—油孔 7—止推面 8—止推边

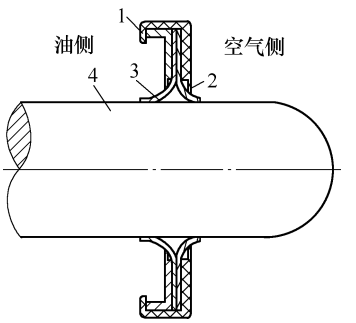


图 2-30 双密封唇口聚四氟乙烯油封

1—金属骨架 2—防尘唇片
3—主密封唇 4—曲轴

在自由状态下，油封的内径小于轴径，当油封装在轴上时，聚四氟乙烯油封的回弹力会给接触面一定的压力。安装聚四氟乙烯油封时，必须将安装部位的锈渍、脏物、飞边等清除干净，装配时必须保持油封和曲轴清洁、干燥，严禁用润滑脂（油）涂抹润滑油封唇边和曲轴轴颈，否则安装后将产生漏油。

二、飞轮

安装在曲轴后端上的飞轮和其他柴油机的一样，是一个质量很大的铸铁圆盘，它贮蓄能量、带动整个曲轴连杆机构越过上止点，保证柴油机曲轴旋转和转矩输出的均匀性，借助飞轮的旋转惯性力可以帮助柴油机克服起动时缸内压缩阻力和维持短期超载时柴油机的持续运转。

飞轮外缘上压装有飞轮齿环，与起动机小齿轮啮合，用于起动柴油机。

飞轮和曲轴单独进行动平衡校准，两者组装后，不能进行动平衡校准。

第四节　曲轴连杆机构故障分析

一、曲轴连杆机构故障主要原因

1. 气缸套磨损

（1）磨损现象　正常使用的气缸磨损状况是不均匀的，工作表面在活塞运动区域内的磨损沿纵断面方向呈上大下小的不规则倒“锥形”，磨损的最大处是第一道活塞环在上止点位置时所对应的气缸壁，如图 2-31 所示。从气缸的横断面看，磨损后失去原来正圆形状。因为活塞环接触不到的气缸上口几乎没有磨损，所以形成了“台肩”。

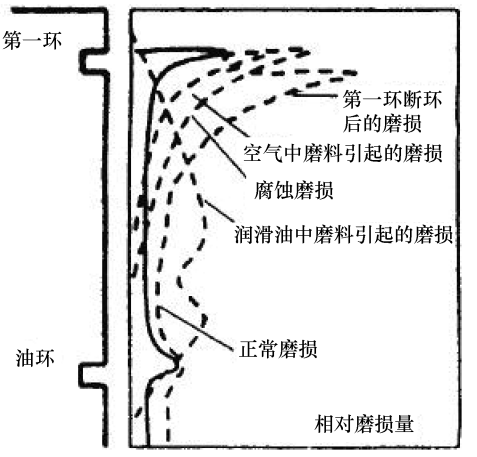


图 2-31　气缸纵断面磨损状况

（2）磨损原因

1）使用环境恶劣。如风沙、粉尘严重等；空气滤清不良。滤芯破损或进气管路短路，致使很多沙土吸入气缸，在气缸壁间形成严重的磨料磨损。因此，空气滤清器应及时保养，维护滤清器的正常工作是降低气缸磨损的关键。

2）润滑油使用不当。牌号规格不对，过稀或过稠及润滑油压力不足，致使气缸润滑不良，气缸上部处于半干摩擦或干摩擦状态，润滑不良将加剧磨损；润滑油滤清器过脏，又未及时保养清洁，致使过脏润滑油旁通，或者加注润滑油时，尘土或杂质混入油底壳内，也会加剧磨损。

3）冷车起动后立即带负荷工作，摩擦表面润滑不足。

4）长时间不能保持正常工作温度。温度高，气缸强度降低，润滑油变稀，造成气缸粘着磨损，甚至酿成“胀缸”事故；温度过低，润滑油粘度大，油膜不易形成。且气缸内可燃混合气燃烧后，产生水蒸气和酸性氧化物，生成矿物酸和有机酸，附在气缸壁上，在柴油机低温频繁起动和燃烧不完全时酸性物质更易生成，造成气缸严重的腐蚀磨损。实践和实验证明，当气缸壁温度低于 50℃时，气缸磨损量是 90℃时的 4 倍。

5）装配使用不当。气缸套装配时，过盈量过大，缸套上平面高出缸体量过多，会造成气缸套局部变形，当柴油机高温、大负荷运转时，气缸因热变形加剧，当热变形超过某一限度时，会使活塞环与气缸的适应性变差，加速气缸、活塞环的磨损。维修中活塞环端隙、侧隙修配不当，环受热膨胀、卡死在气缸内、端口锉修后有飞边等原因都会加剧磨损。

2. 拉缸

拉缸是指气缸与活塞或活塞环相对运动时表面形成严重损伤。一般多发生在新机或大修后的初期。

（1）拉缸现象　气缸拉伤后，在气缸壁上沿活塞运行的方向出现一条条深度不等的沟纹。同时，润滑油可能窜入燃烧室，排气管中有蓝黑烟排出，并造成燃烧室大量积炭。可燃气体漏入曲轴箱内，严重时润滑油加油口出现“喘气”现象，并窜出油烟。同时，柴油机活塞有敲击声，柴油机的功率不足。

（2）拉缸原因

1）活塞和气缸套配合间隙过小。

2）活塞和气缸套之间润滑不良，严重时发生干摩擦。

3）活塞环折断、咬死在活塞上。

4）润滑油不清洁，含有大量杂质。

5）大修后没有经过磨合直接长时间高速大负荷运转。

6）工作温度过高。

如果柴油机处于高温状态工作，在温度的影响下活塞的几何尺寸在不断地变化，温度愈高，活塞比气缸膨胀更为严重，工作状态时的间隙愈小，润滑油膜的形成条件愈差，产生的摩擦热量愈大，膨胀量会进一步增大，如此恶性循环就会造成拉缸，甚至抱死而烧毁活塞。

影响柴油机工作温度的主要因素是柴油冷却系统的效率，所以在柴油机的使用维修中要保证冷却系统对柴油机的温度有可靠的控制能力。

另外，喷油时间过早、混合气过稀都会使柴油机的温度升高，甚至造成活塞顶部烧蚀或拉缸。混合气过稀，燃烧速度缓慢，温度升高，燃烧积炭而使活塞顶部形成局部着火现象，导致温度进一步升高，使活塞在气缸内的工况变坏，以致严重烧毁活塞而拉缸。

3. 活塞烧蚀

（1）活塞烧蚀现象　活塞烧蚀的外部特征一般为柴油机异响、振动加剧、曲轴箱排气明显增大，运转中突然出现排气冒白烟，且有润滑油从排气管中排出。

拆检柴油机后内部特征为：早期轻微烧蚀后，第一道活塞环上部出现蜂窝眼；晚期严重烧蚀后，第一道活塞环镶槽断裂或活塞烧缺。随着柴油机的继续使用，这一现象进一步扩大，最后恶化到活塞环槽脱落和活塞产生碎块，甚至烧熔。异物受活塞往复撞击摩擦会拉伤缸套，或导致缸盖底平面、气门和喷油器等破损，碎块进入排气道和增压器，并可能打坏增压器废气涡轮。

（2）活塞烧蚀原因

1）冷却不足。冷却系统故障如水泵磨损泄漏、传动带松动断裂，散热器和冷却水道水垢严重，节温器卡死或动作值偏移等，使柴油机得不到及时冷却，活塞、缸套始终处于高温状态而烧蚀。冷却器喷嘴堵塞也是造成活塞烧蚀的重要原因。

2）空气滤清器滤芯脏堵。空滤滤芯堵塞会导致进气量减少，无法满足喷入缸内柴油完全燃烧的需要而形成后燃，使柴油机冒黑烟，气缸内温度过高。

3）全负荷工作时突然停机。若柴油机在全负荷工作时突然停机，冷却系统随之停止工作，则活塞可能因热量无法正常散出而局部烧蚀。

4）润滑不当。润滑油选择不当，或润滑系统故障会使磨损加剧或燃烧室润滑油和积炭增多而导致活塞拉缸或烧蚀。

5）排气背压大。若消声器堵塞造成排气不畅，会有高温燃气在缸盖等处积聚，使燃烧室部件长期处于高温状态，从而造成活塞烧蚀。

6）燃油系统故障。喷油量过大或雾化不良，造成积炭和缸内异常高温，严重时使活塞烧蚀。喷油提前角不正确，PT 燃料系统 STC 阀柱塞磨损或卡死，以及 STC 润滑油油路泄漏等，都将导致喷油正时紊乱，燃烧不好，活塞积炭高温烧蚀。

7）其他。缸套和活塞腐蚀、气蚀破坏；制造缺陷形成疲劳源导致疲劳损坏；活塞顶隙调整不当，使柴油机压缩比发生变化等原因也会导致拉缸或活塞烧蚀。

4. 活塞敲缸

（1）敲缸现象　柴油机“敲缸”是指活塞敲击气缸时发出的一种有节奏的、清晰的“咣当”声，一般在柴油机附近能听到。当柴油机大负荷、转速突然变化或低速运转时，声音更

明显。

（2）敲缸原因

1）活塞与气缸磨损严重，配合间隙过大，活塞在上、下运动中发生摆动，撞击缸壁，属机械“敲缸”。机械“敲缸”在柴油机起动初期，即冷状态时响声明显，柴油机温度升高后，响声减弱或消失。

2）喷油时间过早或产生“爆燃”而引起燃气动力“敲缸”。“爆燃”是由于个别缸喷油器喷油压力过低，雾化不良或有严重的滴油，在燃烧过程的滞燃期积聚过多燃油而产生。燃气动力“敲缸”不随柴油机温度改变而变化，当整机供油提前角太大时，还有振动和噪声加剧现象。

5. 活塞环损坏

活塞环工作条件恶劣，如果使用、维护及装配不当，常造成活塞环损坏，直接影响柴油机的使用可靠性和寿命。

（1）偏向磨损

1）特点：活塞环上下端面与环槽的磨损较小，单侧或在圆周面上有厚度不均匀磨损；活塞环滑动面上因粘着磨损而产生纵向划痕；活塞环与活塞顶部有窜气的痕迹。

2）原因：活塞在气缸中的位置不正。其主要影响因素有：新机或大修后的柴油机磨合不足；气缸套因受热不均而局部变形以及气缸套装入缸体位置不正；连杆弯曲、扭曲严重；曲轴轴向间隙过大等。

（2）过度磨损

1）特点：活塞环上下端面有周向划伤且磨损严重，活塞环发乌；滑动面四周有细小的纵向划痕；油环及活塞环槽回油孔周围有大量油泥。

2）原因：造成活塞环过度磨损的直接原因是运行管理以及维护、保养不当。主要影响因素有：空气滤清器滤清质量差；润滑油型号不合要求、严重污染，润滑不良；燃料中有水或杂质较多；喷油器喷油质量差；柴油机经常在大负荷、低温状态下工作。

（3）工作面擦伤

1）特点：活塞环单侧或周向接触面上有纵向沟槽；接触面发生金属剥离以及纵向大面积严重划伤。工作面擦伤与粘环现象往往同时存在。

2）原因：造成活塞环擦伤的直接原因是活塞环与气缸间的油膜遭到破坏，主要影响因素有：活塞与气缸配合间隙过小；柴油机长期在高温状态下工作；装配气缸套或紧定缸盖的方法不当而引起气缸套变形；润滑油不足或污染严重；柴油机不正常燃烧。

（4）折断

1）特点：第一道气环以及油环断裂较多；活塞环工作面有条纹状拉痕现象；断口经常发生在开口两侧的高位区。

2）原因：造成活塞环断裂有环本身质量的原因，也有其他原因。主要影响因素有：柴油机工作过热，因热膨胀致使开口端相碰造成折断；过度磨损、偏磨；选用的机油粘度过小或过大；活塞环选配、安装方法不正确；活塞环与气缸之间的配合间隙过小。

（5）活塞环黏结

1）特点：活塞环与活塞环槽处有大量的油泥、积炭和胶质，活塞环滑动面上呈现擦亮的光泽；活塞环弹力不足，尤其是气环更为严重；活塞环滑动面上有纵向严重划痕。

2）原因：造成粘环的直接原因是活塞环被油泥堆积物、积炭黏结，以及活塞环变形卡滞所致，其主要影响因素有：活塞环及环槽严重变形，活塞环侧隙、背隙过小，使环卡死在环槽内；柴油机过热或经常超载工作，使润滑油产生高温胶质；润滑油污染严重、润滑油质量差、润滑油

上窜；喷油器喷油质量差及经常爆燃等。

6. 气缸体和缸盖裂缝

气缸体和气缸盖由于其结构复杂，如果使用不当，容易产生裂缝，而且修复困难。主要原因包括：

（1）水箱开锅时突加冷水　水冷式柴油机的散热器开锅时，冷却液大量蒸发，特别是位于柴油机上部的缸盖更易因缺水而温度急剧上升，如果此时突加冷水，缸盖会因骤热骤冷而产生裂缝。正确方法是让柴油机低速运转一段时间，待温度下降、冷却水不再沸腾时，方可添加冷却水。

（2）柴油机干起动后再加水　有些水冷式柴油机长期使用后，起动性能较差。在寒冷的冬季，由于难起动，驾驶员常采取干起动后再加水的错误办法。缸内燃油燃烧时，若水道内无水冷却，缸盖和缸套局部温度过高，此时如果加入冷水，会因突然收缩而产生裂缝。因此，当气温很低时，可采取给散热器加热水、润滑油预热、热水浇泼喷油泵和喷油器，以及喷射起动液等辅助方法来帮助柴油机起动。

（3）水套穴蚀　穴蚀是快速运动或振动的表面及其附近因压力和温度变化，引起真空小气泡突然破裂而剥离金属材料表面层的腐蚀现象，气缸在水套部位的严重穴蚀可以导致气缸破裂。

（4）柴油机过热　柴油机长时间超负荷工作、冷却系统散热不良、供油时间过迟、喷油泵供油量过大或冷却系统渗漏而使柴油机缺水运行，以及涡轮增压器转速下降等原因，都会使柴油机长时间处于过热状态，缸盖和机体也容易产生裂缝。应针对上述不同情况采取相应措施，使柴油机在正常温度下运转。

（5）正确安装　缸盖经长期使用后，会逐渐翘曲变形，必须进行修磨，使其平面度允差恢复。否则不但会因漏气而冲坏缸垫，同时可燃气外泄也会使缸盖局部过热，并容易产生裂缝。另外，缸盖螺栓要按规定拧紧，以确保缸盖的密封。缸套装配过程中，若没有严格按照装配工艺规范，强行装合，易使缸体内部积聚过大的残余应力，产生裂纹。

7. 气缸垫损坏

气缸垫损坏俗称“冲缸垫”，气缸垫损坏将导致气缸密封不严，并同时出现“三漏”现象。压缩比大，功率高，高增压的进口柴油机气缸垫烧损现象更为突出。

（1）损伤部位

1）相邻两缸过梁处烧损。

① 现象：柴油机运转中动力突然下降，转速明显降低，机体抖动严重且排气管有轻微放炮现象；柴油机熄火后起动困难或怠速时极不稳定。

② 判断：使柴油机在怠速稍高转速下运转，然后分别拆下相邻两缸喷油器高压油管试听，若柴油机转速和抖振无明显变化，且排气管放炮声明显减弱或消失，则可初步判断该相邻两缸过梁处气缸垫烧损。进一步，可拆下相邻两缸的喷油器，取一根塑料软管插入喷油器孔中，猛吸一口烟，沿软管吹入缸内，若另一喷油器孔冒烟，则证明相邻两缸气缸垫烧损严重。

2）气缸口与气缸垫边缘损伤。

① 现象：柴油机动力下降，加速迟缓，怠速时转速不稳，机体抖动严重，烧损严重时在气缸中上部出现有节奏的“嚓嚓”声。

② 判断：a. 采用“单缸断油法”，即在响声明显时，分别拆下各缸高压油管，若此时某缸响声下降或消失，则此缸气缸垫可能已烧损。b. 在缸盖与缸体接缝处均匀涂些润滑油，若有气泡出现，表明此处气缸垫烧损。

3）气缸口与气缸盖螺栓孔之间损伤。

① 现象：怠速不稳，气门罩盖处有轻微“嚓嚓”声，气缸螺栓（母）经常松动，气缸盖上端螺栓孔周围及螺栓上有积炭沉积。

② 判断：在螺栓孔周围均匀涂上润滑油，突然加速柴油机，若有气泡出现，证明此处气缸垫可能烧损。

4）气缸口与润滑油道之间损伤。

① 现象：润滑油压力不稳定，油温升高过快，润滑油中有气泡，颜色变浅并有柴油味，润滑油消耗及氧化变质加快，低温时排气管有大量蓝烟排出。

② 判断：a. 使柴油机转速突然升高，若润滑油压力不稳且指针抖动，表明气缸垫可能烧损。b. 采用“单缸断油法”，即在中、高速时，分别拆下各缸喷油器试验，若某缸喷油器孔内有润滑油喷出，则证明该缸与润滑油道间气缸垫烧损。

③ 拔下机油尺检查润滑油消耗量，将润滑油的消耗量与正常值比较。

5）气缸口与冷却水道之间烧损。

① 现象：水温突然升高，运转沉闷，动力下降，冷却水消耗过快，排气管有白烟排出，用手接近排气管消音器出口处，发现手上有水珠，加速时散热器加水口有水泡或冷却水外窜，散热器加水口处有水锈痕迹，怠速时，排出的废气呈淡黄色，曲轴箱油面升高，润滑油乳化现象严重，严重时有大量的冷却水进入气缸，无法起动。

② 判断：a. 拔出油尺，观察润滑油油面是否升高，润滑油中是否有水，润滑油颜色是否发白。b. 将散热器加满水，突然加速柴油机。若散热器加水口有水泡或冷却水外窜，则说明气缸垫烧损。c. 拆下进气管，用棉纱等物堵塞各缸进气口，加速的同时散热器加水口处水泡或冷却水外窜会减弱或消失，则进一步证明此气缸垫已烧损。

（2）原因

1）内燃机经常超负荷工作，由于气缸内的局部压力和温度过高，容易“冲缸垫”。柴油机操作使用方法不当，如经常空负荷急加速，高温频繁熄火等。

2）柴油机供油过早，导致工作粗暴而“冲缸垫”。

3）气缸体及气缸盖因高温而变形，造成相邻气缸互相窜气，严重时容易烧坏气缸垫。

4）气缸盖螺栓紧度不一致，不是按照一定顺序分几次拧紧或转矩不符合规定，引起变形，造成气缸垫损坏。

5）气缸垫自身质量较差，气缸垫包边不紧，或者铜皮内的石棉铺置不均匀，特别是燃烧室周围处没有铺置均匀时，最易冲坏气缸垫。

8. 轴瓦失效

（1）现象与判断

1）烧瓦。烧瓦是指曲轴的主轴颈与主轴瓦之间或连杆轴颈与连杆轴瓦之间因缺少润滑油润滑而咬死。

柴油机工作时，如果突然在曲轴箱听到一种“唧、唧”的响声，好像在缺乏润滑油的情况下用大钻头在材质坚硬的钢件上钻孔时所发出的声音，这一般是缺油而发生烧瓦的前兆。同时出现以下三种情况时，一般可判断柴油机的轴瓦已烧坏：润滑油温度急剧升高达 90℃ 以上、润滑油压力原来正常后又突然大幅度下降、拆开机油滤清器或清洗油底壳时发现许多轴瓦合金碎末。

烧瓦常常与“抱轴”同时出现，轴瓦在运转中出现了不应有的剥离、龟裂、烧损、粘结和严重拉伤等现象，轻者需要更换轴瓦及连杆活塞组，重者会使柴油机曲轴颈严重拉伤，甚至还会使曲轴、机体报废。造成柴油机烧瓦抱轴的原因虽然是多方面的，但归根到底是其润滑条件被破坏，引起摩擦性质改变成粘附磨损。

2）疲劳剥落。疲劳剥落是由于交变负荷及其作用周次超过材料本身所能承受的极限而发生的损坏现象。

出现疲劳剥落的轴瓦工作表面出现微裂纹，进而向纵深和横向扩展，裂纹相互连通时，轴瓦表面层剥落形成不规则的剥落坑。实际使用中，若瓦背垫有异物，造成局部应力集中，也是引起疲劳剥落的原因。合金脱落会导致轴颈和轴瓦配合间隙增大、润滑油压力下降和出现响声（敲击声）。

3）划痕。划痕是指轴瓦表面沿圆周方向出现连续或断续的沟线，轻微的划痕并不影响柴油机正常工作，严重的划痕使轴瓦承载面积显著减少。

4）异物嵌入。所谓异物嵌入是指外来颗粒全部或部分嵌入合金层。异物混入润滑油后，在工作负荷作用下被压入合金层。细小颗粒全部嵌入合金层时，通常不会使轴瓦失效，但大于0.3mm的颗粒将不能被合金层全部嵌藏。

5）轴瓦穴蚀。轴瓦穴蚀是因润滑油中形成大量细小的润滑油蒸气泡被挤压破裂而产生很大的爆破力，冲击轴瓦表面形成凹坑。蒸气泡的形成是由于轴瓦承受的载荷发生波动或波动幅度增加及油中含水或夹带空气所致。

6）擦伤。擦伤是因瞬时缺润滑油，油膜破裂而造成轴瓦工作表面与轴颈表面直接接触，而导致的一种热损坏，其特征为轴瓦和轴颈表面出现擦伤的斑痕，属较为严重的粘着磨损。

（2）轴瓦失效的原因

1）油底壳内润滑油量不足或机油油路不畅通，机油泵不能正常供油或润滑油压力过低，导致润滑不良。

2）润滑油的等级不符合要求，润滑油变质、过脏；气缸套防水橡皮密封圈失效，导致冷却水渗漏到油底壳。

3）轴颈和轴瓦的间隙不符合标准。该间隙影响润滑油膜的形成：间隙过小，则润滑油不易进入轴颈和轴瓦的摩擦表面，无法形成润滑油膜；间隙过大，轴颈与轴瓦间的振动和撞击增大，导致润滑油膜破裂。

4）柴油机刚起动，特别是冬季，润滑油尚没有进行充分润滑时，就以很高的速度并满负荷工作，或频繁起动，长时间怠速运转等。

5）柴油机长时间超负荷、超转速运转：机体温度高，润滑油粘度下降，不易形成正常的润滑油膜；交变载荷及作用周次超过了轴瓦材料极限；载荷波动或波动幅度增加，使润滑油气泡破裂。

6）使用维护和装配不当，轴颈表面有飞边，以及装配时未清洗干净。

在排除机件本身故障的同时，还要特别注意查找、分析引起故障的原因，如轴瓦失效是由于润滑油压力低、缺润滑油，还是油道有脏堵、油流不畅等原因所致，只有查找到引发故障的最终原因并排除后，才能保证柴油机可靠工作，以免更换轴瓦后，再次发生同类故障。

二、曲轴连杆机构故障案例分析

案例1：康明斯NTA855—C400型柴油机曲轴断裂

（1）故障现象　一台矿用汽车采用康明斯NTA855—C400型柴油机，在大修一次后，该型柴油机一度连续出现曲轴断裂事故，前两次是经磨削加工二级轴后（标准轴主轴颈为114.3mm，二级轴加大尺寸0.51mm），第二道主轴颈与曲柄相连处断裂；后一次是在后端第六主轴颈与曲柄相连处断裂。

（2）故障查找分析　进行了现场观察分析，有两个方面的原因对断轴影响较大。

1）磨削加工方面的原因。折断的3根曲轴全是柴油机大修理中经过磨削加工后的二级曲轴，且在磨削加工时曲轴的过度圆角“R”都存在处理不当的现象。

康明斯NTA855—C400柴油机是引进美国强化系列直列六缸机型250～360马力（1马力=735.5W）的改进型，是重庆康明斯发动机厂在原康明斯NT系列的基础上设计组装的，该型柴油机是在NT系列柴油机主要基础部件不变的情况下，采用增压、PT燃料系统、耐高温性能更强的活塞等组装而成，属于超强化的柴油机。

其曲轴是由高锰合金锻造而成，轴颈经过高频渗碳电感应硬化处理（硬化层深1.00mm），然后又经过表面滚压以提高过度圆角处的抗疲劳强度。在大修时需要磨削加工二级轴，磨掉了轴颈上50%的硬化层，导致轴颈强度减弱，而此时曲轴过度圆角处理过小，增加了断轴可能。

2）曲轴扭转减振器失效。曲轴工作时，各轴段产生相互的扭转振动和弯曲振动，由于曲轴支承多、跨度小，弯曲振动的固有频率高，而该矿用汽车柴油机工作转速经常为1450～1550r/min，产生的强迫振动频率与曲轴扭转振动的固有频率非常接近，易产生共振，造成曲轴扭断。

为了减少曲轴的扭转振动，该柴油机专门设计了硅油扭转减振器。在分析研究曲轴断裂原因时，把和断轴相配的硅油扭转减振器进行车削和钻孔分解，结果发现减振器已失效，里面硅油全无，只有磨损后的铁粉。实践证明，这是柴油机曲轴断裂的主要原因之一。

由以上分析可知，检修NTA855—C400柴油机时要注意以下几个方面：① 要确保过度圆角“R”的大小符合设计要求。② 在每一次大修柴油机时都要认真清洗硅油扭转减振器，并放进热水中浸泡检查有无漏油现象，如有问题要及时更换。③ 组装柴油机时做好曲轴的静平衡试验及磁力探伤。

实践证明，采取以上措施后，可有效地预防和杜绝康明斯NTA855—C400柴油机的曲轴断裂事故。

案例2：曲轴轴向间隙不当导致止推片损坏

（1）故障现象　一台载重量为20t的BJ3364运矿车，配用NT855康明斯柴油机，大修后运行不到10000km出现柴油机敲击声，

（2）故障查找分析　经检查发现曲轴轴向间隙过大，曲轴止推面磨损严重，到了不能修复的程度；拆开油底壳，发现曲轴止推片已掉入油底。

康明斯NT855柴油机，在第七道主轴承的前后和上下共嵌入4个半圆形止推环，由2个销钉固定，用于曲轴的轴向定位。NT855柴油机曲轴后端推力轴承如图2-32所示。

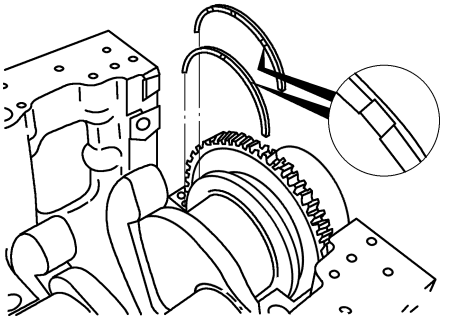


图2-32　NT855柴油机曲轴后端推力轴承

根据检修规定，大修时如果更换新曲轴，若轴向间隙在0.18～0.43mm范围内，这时更换标准的曲轴止推片即可。对于未更换曲轴，只对曲轴进行修磨的，则应测量曲轴的窜动量，如果间隙超过0.56mm的许用上极限，应装加厚尺寸的止推片，并应使止推片的上下片厚度相同，并在平衡块上打上记号。根据这些规定，检查发现该柴油机曲轴未更换，只是进行了修磨，但未测量曲轴的窜动量，加之加厚尺寸的止推片不好买，因此就将标准的止推片装上。因而推断该故障是由于曲轴轴向窜动量较大，加之矿山路面的特殊性，造成曲轴止推面与止推片经常接触，使得止推片减磨合金磨损；合金磨损后，曲轴止推面直接与止推片相摩擦，加快了止推面的磨损，造成更大的冲击，进而使得止推片固定销损坏，最终造成止推片掉入油底壳、曲轴轴向间隙过大的故障。

（3）故障修复　更换曲轴和曲轴止推片，将柴油机重新装复，问题得到了解决。

在柴油机检修过程中，对于曲轴的轴向窜动量应严格按规定进行测量，并根据要求安装标准的或加厚的止推片。

案例 3：康明斯 NT855—C280 型柴油机烧瓦抱轴

（1）故障现象　一台车用康明斯 NT855－C280 型柴油机，在严寒条件下，起动运转不到 15min 突然熄火，并且无法再起动。此时，计时器显示柴油机累计工作时间为 1480h。

（2）故障查找分析　盘车发现无法转动柴油机飞轮，说明柴油机或柴油机之后的机械部分阻力过大。据此分析，可能发生故障的部位有柴油机、动力传动箱和液力变矩器三处。柴油机的故障可能是：气缸中进入硬物，使活塞不能运动；烧瓦抱轴；正时齿轮卡死等。动力传动箱的故障可能是：齿轮卡死；液压泵损坏阻碍驱动齿轮转动。变矩器的故障可能是零件损坏。

排查时先拆下变矩器，用手转动变矩器动力输入驱动齿轮，变矩器运转平稳、无卡阻，可判定故障不在变矩器；拆下动力传动箱中与飞轮齿圈相啮合的中间齿轮，用手能轻松地转动驱动液压泵的各个齿轮，说明故障不是出自动力传动箱。此时，仍撬不动柴油机飞轮，因此，可判断故障部位在柴油机上。

放出柴油机的润滑油并过滤，发现油中有较多的磨屑，但不能确定磨屑的出处。将柴油机吊下，拆检柴油机时发现，油底壳内有两片半圆环（此环为曲轴止推片，共 4 片，用于曲轴的轴向定位），另外两片也已磨损、烧蚀并黏结于曲轴上。第 7 道主轴承严重烧蚀、抱轴，使曲轴不能转动，各道轴承也都有不同程度的损伤。将活塞连杆组向缸盖方向推，都能推动，说明活塞上部无硬物，因此没有拆卸气缸盖作检查。正时齿轮室内各齿轮无卡死现象。

经调查分析，该机之所以发生烧瓦抱轴的严重事故，原因是在新机磨合后更换了润滑油和机油滤清器，之后就没有按要求及时更换润滑油和机油滤清器，特别是在进入冬季后，没有进行应有的维护，使得柴油机润滑条件无法满足工作要求。同时，操作不当也是造成事故的另一个原因。该机起动后，虽然进行了 5min 的怠速运转，但在严寒条件下工作，环境温度低，柴油机预热不够，在摩擦表面还未形成良好油膜的情况下就加载工作，致使柴油机烧瓦抱轴。

（3）故障修复　因第 7 道主轴颈表面有较大损伤，同时第 7 道主轴颈上有两条白色的线纹，磁力无损检测证明是两条裂纹，故更换标准型新曲轴和轴承，并按要求装配后试机，运转正常，表明故障已被排除。

案例 4：康明斯 KT（A）19—C525 型柴油机机油泵损坏引发烧瓦

（1）故障现象　一辆 SGA3922 矿用汽车（配用康明斯 KT（A）19—C525 型柴油机）润滑油压力突然降到 0MPa，随即自动熄火且盘车不动，经解体检查发现，柴油机已烧瓦。

（2）故障查找分析　将柴油机解体后，对润滑油及润滑系统的各个部分进行了全面细致的检查。该机型的齿轮式机油泵吸油腔是通过机油泵上的 2 道密封圈与柴油机机体上的 2 道圆形座圈孔共同密封构成。检查发现该柴油机机体上安装机油泵密封圈的座孔面有较大面积剥落，1 道密封圈长时间浸油已变软；机油泵主被动齿轮严重啃坏；齿轴铜套磨损松动。

该柴油机烧瓦的直接原因是由于润滑油压力不够，造成润滑油压力低的原因是机油泵主被动齿轮严重啃坏，齿轴铜套磨损松动严重泄油。而造成这一原因的根源极有可能是该柴油机机体上安装机油泵的密封圈座孔面较大面积的剥落。

与其他柴油机油浸式机油泵不同，该机型机油泵的安装位置远高于柴油机油底壳（见图 6-4），因此机油泵工作时，吸油腔会因密封不严发生连续或间断的吸空气现象，使机油泵里的润滑油经常混有空气，形成气泡及气穴，导致油压较大波动。随着压力变化，使气泡压缩和膨胀，对机油泵主被动齿轮面产生气蚀作用；同时可能出现短暂缺油造成机油泵齿及轴润滑不良。

以上因素共同作用，齿轮金属逐渐剥落，齿轴铜套磨损松动，润滑油压力便迅速下降，最后导致发动机烧瓦。

（3）故障修复　用焊锡或者油漆材料腻子修复座圈孔，更换机油泵和密封圈，更换曲轴、轴承，并按要求装配后试机，故障排除。

案例 5：康明斯 KT（A）19—C525 型柴油机滑油进水导致烧瓦

（1）故障现象　工作中该柴油机的空压机气缸盖密封垫漏水且打气慢，修理工曾连续多次处理，同时主气瓶放水时排水量明显增多，拆检涡轮增压器至中冷器之间气管，柴油机有喷水现象，检修中出现柴油机烧瓦。

（2）故障查找分析　康明斯 KT（A）19—C525 型柴油机配套空压机型号为 AWC—10，该空压机通过内油道从柴油机润滑系统得到润滑油，并通过空压机曲轴箱回油道回到柴油机曲轴箱。一般水冷空压机冷却水道都围绕着空压机缸套周围，与压缩气室没有联系。而该空压机与其他水冷空压机不同，盖头水冷腔 B 布置在空压机气缸盖上（见图 2-33），进气盖头主腔 A、排气过渡腔 D 与水冷腔 B 之间由气缸盖密封垫 7 隔开，并通过进气口压盖 5 压紧。如果进气口压盖 5 与气缸盖未按要求均匀压紧或变形，气压、水压综合作用就会冲坏气缸盖密封垫 7，气腔 A、D 与水冷腔 B 窜通。当空压机活塞向下运动时，冷却水随同空气进入气室，当活塞向上压缩时，冷却水随同压缩气体一部分通过排气阀 3 经排气道 E 进入主气瓶，一部分沿气缸壁进入空压机曲轴箱，最后流到柴油机曲轴箱。

拆检涡轮增压器至中冷器之间气管，柴油机有喷水现象是因为该柴油机配套的空压机进气管连接在中冷器上，即空气经过空滤、涡轮增压器到中冷器，然后一部分直接进入柴油机燃烧室，另外一部分供给空压机。当空压机气缸盖主腔（内装有进排气阀）进水，或者压力调节器 1 起作用，都有可能使进、排气阀之间保持畅通。在这种情况下，空压机工作时，主腔里的水一路经过排气阀到主气瓶，一路到空压机气室，另外一路就会经过进气阀沿着进气口进入中冷器。此时拆检涡轮增压器至中冷器之间的气管，会出现喷水现象。同时，中冷器中的水随气体进入燃烧室，都会不同程度地窜入发动机曲轴箱。

从空压机气室和柴油机气缸窜入柴油机曲轴箱的水分稀释机油，最后导致润滑油粘度下降引发柴油机烧瓦。其后解体检查，发现柴油机缸套内壁有许多红锈油迹斑点，也说明该柴油机烧瓦确实是由于机油中混进了大量水分。

康明斯柴油机对机油品质要求很高。在本案例中，如果由于各种原因造成空压机气缸盖主气腔 A 与水冷腔 B 之间的密封垫损坏，其导致柴油机烧瓦的诱因则更具隐蔽性。

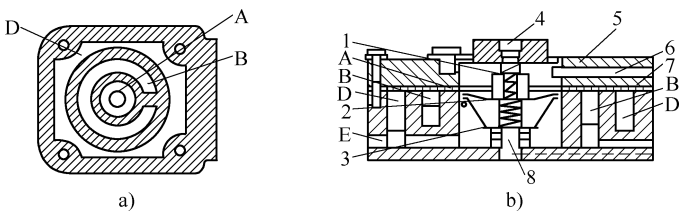


图 2-33　KT（A）19—C525 型柴油机空压机

a）空压机气缸盖密封面简图　b）空压机气缸盖总成结构原理简图

A—盖头主腔（内装有排气阀）　B—盖头水冷腔　D—排气过渡腔

E—至主气瓶排气道　1—压力调节器　2—进气阀　3—排气阀　4—调节器压力气接口

5—进气口压盖　6—进气门　7—气缸盖密封垫　8—通空压机气室的气孔

案例 6：康明斯柴油机 NH220C1 烧瓦及主轴承座孔的修复

（1）故障现象　康明斯 NH220C1 为直列六缸四冲程水冷直喷式柴油机，是小松 D80A－12

斜角铲式推土机的动力源，因使用不当造成严重烧瓦事故。经检测，1、2、4 道主轴颈、主轴承座孔拉伤，变形；1、3 缸连杆瓦烧瓦。其他部位（配气结构、活塞等）均未受损，其中主轴承孔又以下瓦盖（主轴承盖）变形较为严重，上瓦盖（机体侧主轴承座）也有变形，但相对较轻。

（2）故障查找分析　取机油样检查发现，油样中金属磨损颗粒、切屑状微粒、铜合金及粘附－擦伤颗粒数量大大超出正常范围，且有明显的高温氧化特征。同时，理化性能检测表明，油品已严重氧化，清净分散性已基本丧失，污染度等级严重超标，胶质、微细积炭颗粒浓度较大，对油样进一步化验，PH 值大大降低，几乎为零，粘度较大。事故分析表明，滤芯损坏导致润化油严重污染是事故的主要原因。

烧瓦时由于主轴瓦较少粘连在曲轴上，没有抱死，发动机继续工作，曲轴与轴瓦润滑失效，产生大量热。由于上下瓦盖（座）结构的差异，各部冷却不均，热应力分布不匀，造成各瓦盖和瓦座变形不一。

（3）故障修复　根据现有设备和所具备的条件，经过分析论证，制定如下维修方案：① 主轴承盖的 E、F 面变形后不共面（见图2-34），则以 C 或 D 面为基准面，用万能工具磨削 E、F 面，使之共面。② 为了保证主轴承盖 A、B 侧面与气缸体间的过盈量，同时又不产生较大的变形和内应力，对主轴承盖的 A、B 两侧面用半自动 CO_2 气体保护焊进行小规模堆焊，然后以 C、D、E、F 面为基准面，在万能工具磨床上磨削至所要求的配合尺寸。③ 将已修复的主轴承盖和未磨损的主轴承盖按要求装到机体上，对 1、2、4 道主轴承座孔镗削（大于原孔径）。再用线材电弧热喷涂修复，最后进行镗削至基准尺寸。

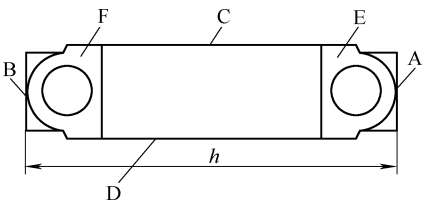


图 2-34　主轴承盖简图

修复工艺和流程如下：

1）因为主轴承盖变形差异较大，A、B 两侧面与机体接触的间隙不同，为保证主轴承盖螺孔与机体侧螺孔的中心线一致，应按实测的 A、B 面与机体的间隙，分别堆焊、磨削两侧面。具体流程及规范如下：①堆焊前测量 A、B 面的实际距离 h，并记下所测的位置，此位置为基准测量点。②工件预热至 200℃。③施焊，用 ϕ1.2mm 粗的 08Mn2Si 焊丝，电压 21V，电流 100A，送丝速度 2.0m/min，堆焊 A 面。④随炉冷却。⑤磨削，以 C、D、E、F 为基准面找正，板正 A 面互相垂直，磨削至 $h+\delta+0.015$mm（δ 为 A 面与机体的间隙）。⑥ 修边整形。再以上述过程修复 B 面。

2）主轴承座孔的修复工艺及规范如下：①按要求装配好主轴承盖。②以未磨损主轴承座孔为基准，用镗瓦机镗削 1、2、4 道主轴承座孔至 ϕ121.5mm。③拆下主轴承盖进行喷砂处理，气压 0.65MPa，砂粒为石英砂。④喷涂，镍包铝打底，然后用 ϕ1.6 粗的铝青铜焊丝喷涂，其主要规范：电压 35～40V，电流 100～131A，气压 0.55～6MPa，喷涂距离 100～150mm，送丝速度 1.3～1.6m/min，涂层厚度为 1.0～1.5mm，清理后装配主轴承盖。⑤镗削，粗镗至 120.3mm。⑥用微型手砂轮修整瓦片定位槽。

经上述工艺修复的机体装车试用，工况正常，现已工作 2 个大修期。每次拆后检查，都完好如初。

案例 7：NTA—855 型康明斯柴油机反复烧瓦

（1）故障现象　一辆 TY220 推土机，动力为 NTA—855 型康明斯柴油机，该柴油机因油道堵塞造成第 6 道主轴瓦和第 6 道连杆瓦烧蚀而使曲轴抱死，在修理试车时又发生了两次烧瓦事故。第三次烧瓦比较严重，导致曲轴和第 6 缸的连杆报废。

第一次烧瓦后，维修人员主要疏通了堵塞的油道。第二次烧瓦后，采取手工研磨方式消除了第6道主轴颈和连杆轴颈的圆度和锥度，并在组装过程中采用了刮瓦和加调整垫片的办法来保证轴瓦和轴颈的配合间隙，然而又发生了第三次烧瓦事故。

（2）故障查找分析　第一次烧瓦是由于油道被全部或部分堵塞缺油所致。经过对堵塞物进行检查，发现是一些胶质物质所形成的硬块，这与修理时在易漏润滑油的零部件配合处的垫片上错误涂抹密封胶或涂抹过多有关。在安装螺钉拧紧后，这些密封胶很可能被挤到机油中，特别是机油粗滤器的出油口和缸体主油道的进油口的连接处，此部位被挤出的密封胶可直接进入摩擦副附近油道并造成堵塞，导致烧瓦抱轴。同时，在使用中，如不按要求换油，润滑油经过长期使用，油中的各种烃与空气中的氧反应会生成不稳定的过氧化物，继而生成胶质沥青等不溶于油的物质。这些物质或堵塞机油滤网，或从润滑油滤网破损处、旁通油道等处进入润滑部位，造成油道不畅，导致烧瓦抱轴。

第三次烧瓦事故后，经拆解检查发现，第6道主轴颈被严重刮伤，第6道连杆轴颈被磨小1.2mm，按技术要求达到更换曲轴的标准。同时第6道连杆的大头轴承孔被严重磨损，连杆瓦合金烧毁，只剩下薄薄的一层钢背。在前两次检修后，油道畅通，润滑油压力正常，所用润滑油质量也无问题，曲轴轴线的弯曲度不超过0.05mm，所换轴瓦也是正牌产品，轴瓦配合间隙经过调整也符合要求，为什么还会烧瓦呢？

在第二次维修过程中，维修人员缺乏必要的技术资料，不了解康明斯柴油机采用的多层薄壁型轴瓦，不允许刮瓦和加调整垫片，盲目采用传统的工艺方法，用刮瓦和加调整垫片的方式来使轴瓦和轴颈接触良好并达到合适的间隙，同时忽视了对主轴承座孔和连杆瓦座孔圆度、锥度及主轴瓦座孔同轴度的检测。如果瓦座变形较大，虽经刮瓦和加调整垫片，仍不能使轴瓦和轴颈配合间隙和接触面达到理想状况，将导致烧瓦的发生。

（3）故障修复　维修人员通过耐心、细致的检查，发现第6道主轴承座孔发生严重变形，瓦口部位向内收缩，座孔的圆度、锥度都在0.25mm以上，大大超过规定（一般不超过0.05mm）。在修理中，对第6道主轴承座孔进行了修整，并用“镗主轴瓦、连杆瓦机”进行精确镗磨，使各主轴承孔的圆度、锥度、同轴度都达到了装配标准。经过这次修复后，该车已正常运行6个月，再没出现过烧瓦现象。

对于这种轴瓦间隙不合适，而又不能用刮瓦和加调整垫片加以调整的柴油机，首先应测量曲轴轴颈的尺寸，根据测量结果决定选配哪一级别的轴瓦，清洗干净后，将轴瓦安装在瓦座上，按规定的力矩拧紧螺栓。然后测量轴瓦内径尺寸，根据测量尺寸，按配合间隙（该柴油机主轴瓦0.038～0.130mm，连杆瓦0.038～0.114mm，取中间数为宜）计算出曲轴磨削后应达到的尺寸，按这种方法磨好曲轴，装配时轴瓦不用刮削，即可保证最适宜的配合间隙。切不可直接按修理级别尺寸磨轴，这样做，装配间隙多数不符合要求。

通过这连续三次的烧瓦事故，可得到的启示是：必须按使用说明书、维修手册的要求对柴油机的使用、保养、维修按规范进行，避免盲目性；对于发生过烧瓦故障的柴油机，修理时在检查润滑油压力、润滑油质量、轴瓦间隙的同时，一定不要忘记检查主轴承座和连杆瓦座孔是否变形，各主轴承孔的同轴度是否符合要求。

案例8：轴瓦间隙大导致机油压力低

（1）故障现象　一辆装用东风康明斯6BT5.9柴油机的散装水泥车，由于柴油机高温时立即加水，缸体骤冷后水道从前到后出现一道大裂缝。更换了缸体、主轴瓦（标准）、连杆瓦（标准）、活塞环，修复后起动柴油机，冷态时润滑油压力达到4kPa以上，热态时润滑油压力报警灯点亮（<0.6kPa），怠速时能听到轻微的金属敲击声。

（2）故障查找分析　经检查，润滑油限压阀完好，润滑油压力报警器正常。更换机油泵后试车，润滑油报警灯仍点亮。分析润滑油压力无法建立的原因可能是泄漏。经询问修换轴瓦时没有测量曲轴轴颈尺寸，因而怀疑是由于轴瓦间隙大，造成机油泄漏。

对柴油机进行解体检查，重点检查轴瓦间隙。检查结果间隙竟达到0.30mm。再测量曲轴轴颈，是光磨过一级（0.25mm）的尺寸。更换的标准轴瓦与光磨过的曲轴配合，间隙明显超差，数据是正常配合间隙（连杆瓦间隙0.038～0.116mm，主轴瓦间隙0.04～0.119mm）的几倍，导致从轴颈与轴瓦间泄漏的润滑油大大高于正常量。大量漏失润滑油，压力无法建立，并且出现轴瓦响声。

（3）故障修复　更换一组加大一级（0.25mm）的轴瓦，装复试机，一切正常，机油压力报警灯不再亮了。

案例9：MAT11—C350型柴油机缸盖爆裂

（1）故障现象　康明斯MAT11—C350型柴油机出现缸盖爆裂故障，且故障柴油机出现过“开锅”现象。

（2）故障查找分析　缸盖爆裂的主要原因是外力和内应力作用的结果。外力主要有缸盖螺栓拧紧转矩不均匀，缸盖平面有异物，气缸内有异物撞击缸盖等。大部分故障是由内应力所致，内应力又分为结构应力和热应力，多数故障由热应力引起。

由于故障柴油机出现“开锅”现象，分析原因可能是冷却系统故障和散热系统的散热能力不够。由于该机缸盖采用四气门设计，中间还安装喷油器，使缸盖进、排气门和喷油器孔之间的壁厚很薄，柴油机工作温度过高极易出现缸盖裂纹。

因冷却系统造成水温过高的原因，可能是风扇传动带过松或断裂、节温器失效、冷却液不足、水垢过多。经检查发现柴油机风扇传动带断裂，节温器等其他部分良好。

（3）故障排除　更换缸盖和风扇传动带，故障消失。

若在清除散热片灰尘、管路和散热器内水垢，处理水泵传动带松动等问题后，柴油机仍经常“开锅”，甚至伴随冲缸垫的现象，则应考虑柴油机本身产生的热量超过散热系统的散热能力所致，如供油时间不当等问题。

案例10：康明斯NT855—C280型柴油机缸盖裂纹

（1）故障现象　一台TY220型推土机，动力为康明斯NT855—C280型柴油机。该推土机工作了1600h左右，一次停放一夜后，第二天早晨冷起动前检查润滑油油位时，发现润滑油内有水。更换润滑油后起动柴油机，开始时仍有少量水进入润滑油中，但当柴油机正常工作时，润滑油却没有明显含水迹象。

分析认为，由于柴油机正常工作时润滑油温度较高，漏入的少量水被蒸发了，因此断定故障部位的漏洞或裂纹不大。为此，在冷却水中加入了两瓶堵漏剂，润滑油进水现象消失。此后柴油机又工作了180h，漏水现象再次发生并十分严重。

（2）故障查找分析　使柴油机起动并怠速运转至正常温度，熄火后立即拆下排气歧管检查，发现第1缸缸盖排气口内有水流出，由此确定漏水现象发生在第1缸，但无法确定是缸盖还是缸套漏水。于是，拆下缸盖，旋转曲轴使第1缸活塞处于下止点位置，并反复仔细地检查了缸套，但未发现缸套有裂纹或砂眼。故先将缸盖的各水道孔堵死，对缸盖进行水压试验。一般来说，若缸盖或缸体有裂纹或砂眼，水压试验时水压达0.3MPa即可发现，而这次用0.8MPa的水压，仍不见缸盖处有水漏出。根据热胀冷缩原理知，裂纹与温度有关，即当缸盖温度升高时，裂纹胀开；当温度降低时，裂纹会重新合上。为此，边用喷灯烘烤第1缸缸盖上的燃烧室，边进行水压试验，10min后发现有水沿着排气口流出。至此，证实了缸盖有裂纹。

（3）故障排除　更换新缸盖后，故障被排除。

案例 11：缸盖油道、水道直通导致柴油机散热器进油

（1）故障现象　一台推土机，配备的是重庆康明斯生产的 NTA855—C360 型柴油机，大修后进行试车，磨合初期运行比较正常，一段时间后，发现散热器水位明显上涨。经检查，散热器中进入大量柴油。检查油底壳，润滑油正常。

（2）故障查找分析　通过分析，认为可能的原因主要有：① 气缸盖的柴油道和水道之间有气孔或裂纹。②气缸盖内的喷油器铜套有破损或变形。

NTA855—C360 型康明斯柴油机采用 PT 燃油供给系统，PT 燃油泵将柴油通过缸盖中的柴油通道供向 PT 喷油器，缸盖上既有机油道和水道，又有柴油道。当工作时，柴油压力高于水的压力（柴油道中柴油压力为 0.8 ~ 1.2MPa，水的压力小于 0.6MPa），一旦缸盖上出现气孔或裂纹使水道和柴油道相通，柴油就会进入水道中。另外喷油器铜套上下两端与缸盖接触紧密，一般安装铜套时都必须使用专用工具进行扩张，使其与缸盖密封。铜套中部外围与水道相通，如果铜套出现变形或破裂，O 形密封圈损坏（见图 2-35），也可能造成柴油道与水道相通，使柴油进入散热器。

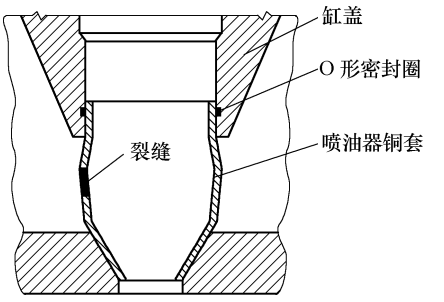


图 2-35　PT 喷油器铜套

（3）故障修复　分析原因后，采用气压试验进行检查。首先，拆除进油管和回油管，堵住回油管，从第 5 和第 6 缸缸盖进油口，用气泵注入 0.8MPa 的气体后发现散热器的水明显向外溢出；接下来，自第 3 和第 4 缸缸盖的进油口注入 0.8MPa 的气体，发现散热器没有水溢出。由此可以初步判断第 5 和第 6 缸缸盖可能存在故障。拆下第 5 和第 6 缸缸盖，检查发现第 5 和第 6 缸的喷油器铜套均出现严重变形和破裂，O 形密封圈有损坏。更换铜套及 O 形密封圈，再进行气压试验，确定柴油道和水道不通，安装试机后故障排除。

造成此类故障的主要原因是：铜套的安装方法不正确或喷油器安装时，压得过紧。柴油机维修人员在更换、安装铜套时，首先应使用专业的安装工具进行安装，不能直接压装喷油器，这样容易造成铜套安装不到位、压坏铜套。安装喷油器时，注意不要使喷油器固定螺栓的拧紧力矩太大，应根据要求的力矩大小进行紧固。

案例 12：康明斯柴油机气缸套活塞环早期磨损

（1）故障现象　一台车用康明斯 B 系列柴油机，报修原因为柴油机无力，排气管冒黑烟。进一步检查，加机油口及曲轴箱通风管处窜油烟，用长螺钉旋具或金属棒顶在气缸体中上部，能听到类似金属敲击的异响，异响随转速的升高而加重。初步判断为气缸套或活塞环严重磨损。

（2）故障查找分析　拆下 6 个缸的活塞连杆组件，检查各缸缸套均有磨损，其中第 6 缸缸套最大磨损为 0.15mm，圆柱度为 0.08mm，圆度为 0.05mm.，活塞环也严重磨损，且不规则，一边薄一边厚，最大相差 1.5mm，因而，该柴油机需要大修。该车投入运营仅 4 个多月，行程 3 万多公里，可以判断该柴油机属于早期磨损。

冷却系统工作不良是柴油机早期磨损的主要原因。康明斯 B 系列柴油机冷却系统的特点是水套小，水道孔狭窄。以 6BT 系列柴油机为例，散热器管截面尺寸仅为 14mm × 2.5mm。按规定，使用环境温度在 -40℃以上时，要求使用 50% 水 +50% 乙二醇防锈防冻液。但该车驾驶员将未做任何处理的自来水直接加注到水箱中，由于自来水硬度较高（特别是该地区），水在狭窄的水道中容易形成水垢，将水道堵塞，造成通水不畅，水温过高，导致冷却效果降低，气缸易早期磨

损。此外，冷却系统中的水泵、节温器等元件有损伤时，也会导致冷却系统能效降低，应立即更换总成或修复。

进气系统失效也是导致早期磨损的重要原因。据相关资料指出，当空气滤清器丧失工作能力后，气缸磨损将增加 8 倍，活塞磨损将增加 3 倍，活塞环磨损将增加 9 倍，从而大大缩短了柴油机的工作寿命。经检查，发现驾驶员未对进气系统特别是空气滤清器予以良好的保养与维护，空气引入管及空气滤清器的进气卡箍在车辆运动中松脱，加之大气状况差，导致气缸磨料磨损。

活塞环故障也能导致气缸早期磨损，康明斯 B 系列柴油机对活塞环的要求较高。当气环磨损后端隙变大或油环磨损后控制润滑油能力变差时，就会造成润滑油上窜，在活塞环槽内形成积炭，使活塞环卡死，划伤气缸壁，同时部分混合气窜入曲轴箱内，漏入曲轴箱稀释润滑油，恶化润滑油品质，使气缸壁润滑环境恶化，导致气缸壁早期磨损。

使用不当也会导致气缸早期磨损。该车主为追求经济效益，经常超载重载，并人为将 B 系列柴油机的标准怠速 750r/min 调高至 900r/min，以避免熄火。这样，活塞与气缸壁工作条件更为恶劣，气缸壁易烧蚀而造成早期磨损。

综上所述，针对康明斯柴油机气缸早期磨损的原因，汽车驾驶和维修人员在驾驶过程和对车辆进行维修时，应注意下列问题：① 冷却系统应加注防冻液，并使用添加剂；② 不要随便增大汽车负荷，调高柴油机怠速转速；③ 修理装配过程中应按标准操作，安装合格配件；④ 注意日常维护及保养，特别是进气系统。

案例 13：康明斯 6BT 型柴油机缸体裂纹

（1）故障现象　一辆装用康明斯 6BT 型柴油机的 EQ1141G 型载货车，在使用中因柴油机经常缺水、高温而无法行驶。经询问驾驶员得知，该车上述故障是在柴油机更换冷却液后出现的。

（2）故障查找分析　检查散热器及管路，无漏水；拔出机油尺查看，未见油底壳进水迹象。起动柴油机并将转速稳定在中速稍高（接近高速）位置，打开膨胀散热器盖，把水加满后反复加速，发现有很多气泡从水中浮起。初步判定故障为气缸内的压缩空气进入冷却系统造成。于是，拆下气缸盖检查气缸垫，无烧蚀现象；检查缸体时，发现第 1 缸缸套的光泽与其他缸套不一样。转动曲轴使第 1 缸的活塞下行到下止点，用一张剪成与活塞直径一样大小的白纸放在该缸活塞上，利用白纸的反光清晰地看到距上止点 20mm 处的缸壁上有一条很细的裂纹。进一步检查又发现散热器上水室和气缸盖出水管的排气管都不通。

由于该车柴油机散热器上水室和缸盖出水管的排气管堵塞，在加注冷却液时，积聚在气缸体水套内的空气和混合水汽就无法排出，冷却液也无法充满水套。同时，在柴油机工作过程中，当积聚的气体达到一定量时，还会造成水泵流量下降，最终因柴油机散热不良及缸体水套内部产生局部高温，致使缸体局部热应力过大而出现裂纹。

（3）故障排除　此故障首先要解决缸壁的裂纹，可先用堵漏剂试验，如不能解决则需更换缸体或加装薄壁干式缸套。其次，要解决排气管不通的问题——疏通或换管，才能彻底排除故障。

案例 14：NT855 柴油机缸套裂纹

（1）故障现象　一台 TY220 型推土机（采用 NT855 型柴油机）在使用中出现起动困难，柴油机功率不足，牵引无力，排气管冒黑烟故障。经检查发现，润滑油压力下降至 0.25MPa，油底壳进水，润滑油已变稀、变质。进一步检查发现，柴油机缸壁有一条长约 56mm、宽 3mm、深 3mm 的横向裂纹，冷却水通过裂纹渗入缸内，造成缸内燃烧不良，导致熄火、冒黑烟等现象。水又经活塞与缸套之间间隙漏入曲轴箱，稀释润滑油使油压降低，并使润滑油氧化变质。

（2）故障查找分析　柴油机缸套工作条件恶劣，工作时受力比较复杂，工作温差很大，受

制造安装、使用维护等因素的影响易产生裂纹。

1）生产工艺缺陷。缸套生产制造过程中，由于铸件壁厚不均匀，形状复杂，易产生砂眼、夹砂、气孔、缩松、白口组织、微小裂纹、变形等缺陷，使缸体强度降低；缸体机械加工过程中，如铣削、磨削、刨削、镗孔时产生的残余应力及划痕、刀伤等易造成应力集中，产生微观裂纹；缸套装配过程中，若没有严格按照装配工艺规范进行，强行装合，易使缸套内部积聚过大的残余应力，引发裂纹。

2）冷态下的车辆起动之前，柴油机缸体的温度与环境气温相同，起动后，驾驶员为了尽快提高机体温度，不是以怠速或稍高于怠速运转，而是快速猛轰油门使柴油机高速运转，使缸套突然承受过高的燃气温度和过大的燃气压力作用，造成缸套冷热不均、局部过热、应力分布不均衡，长期如此操作在应力过大处引发裂纹。

3）冷却水不够纯净，或添加剂使用不正确，在机体水道内形成水垢，影响冷却系统的散热性能，使缸体产生裂纹的危险性增大。

（3）故障修复　根据实际作业中的维修条件，以及缸套修复质量要求，采用手工电弧焊对裂纹进行修补。这种方法的优点是工艺灵活，适应性强，而且可以通过工艺调整来改善应力的分布。

缸套由灰铸铁制成，塑性差且具有脆性，不能承受塑性变形，强度也较低，导热能力差，焊接性能不好，因此，在进行焊接修复时，按以下步骤进行。

1）焊前彻底清除裂纹处的油污、水垢等，可用碱水、丙酮或汽油清洗，并用刮刀、钢丝刷清除，甚至可用火焰烘烤清除，保证被修复表面干燥、清洁、粗糙，防止焊接时产生气孔、夹渣等缺陷。

2）检查裂纹的位置和方向，在裂纹两端各钻一直径 4 ~ 5mm 的止裂孔，防止焊接时裂纹继续延伸。

3）沿裂纹开 V 形坡口，如图 2-36 所示，坡口角度为 60° ~ 70°，底部为圆弧形坡口，坡口深度约为壁厚 H 的三分之二，坡口两侧 20mm 以内的缸套表面用钢丝刷或砂布打磨，露出金属光泽。

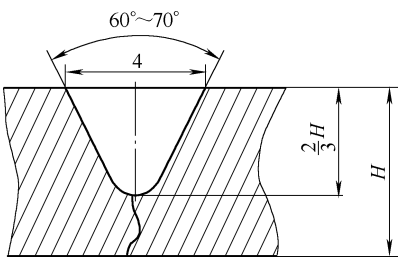


图 2-36　沿裂纹开 V 形坡口

4）焊前用焊枪或喷灯在缸套裂纹处缓慢地预热至 350℃。选择 Z308 纯镍铸铁焊条，焊条直径 2 ~ 4mm。Z308 是纯镍芯石墨型药皮铸铁焊条，该焊条交直流两用，电弧稳定，具有细小熔滴过渡，熔渣覆盖均匀，焊缝成形美观等特点，常温下可得到奥氏体组织焊缝。焊缝区金属韧性好，延伸率高，加工性能好，不易产生裂纹、气孔和夹渣。焊前将焊条加热至 120 ~ 150℃，经 2h 烘干。焊接时采用直流电源反接，反接电流为 90 ~ 110 A，在保证焊接质量的前提下尽量采用较小电流。

5）焊完后立即用小锤轻轻锤击焊缝，以细化微观金属晶粒，提高焊缝的致密性，并消除焊接应力。焊缝应平整光滑，可用錾子、圆锉或砂布进行修整。

经过使用验证，焊修后的柴油机缸套工作正常，实现了以较低的检修费用在短期内恢复柴油机工作的目的。

案例 15：缸套穴蚀小孔致使柴油机油底壳进水

（1）故障现象　一辆 BJ374 型自卸汽车，装有康明斯 NT855—C250 型柴油机。该车使用 6 年，柴油机动力性、经济性仍然很好，但发现润滑油里有水，油底壳内油位升高。

（2）故障查找分析　拆检柴油机，依次检查机油冷却器、气缸垫、气缸盖、空气压缩机气缸垫、气缸套封水圈等处，均未发现漏水。再次装上气缸盖，但不装油底壳。堵住各水道口，加满冷却水，用手压泵向冷却系统加水并进行水压试验。同时，从架起的柴油机下部观察。当水压达到0.10MPa时，发现第5缸气缸套下部有个小孔向缸内喷水。拆下气缸套检查，发现气缸套外表面有许多类似砂眼的孔穴。在气缸套水套处自上而下形成孔穴带，在气缸套封水圈上部周围形成穴群，而且有的孔穴已蚀透。

该康明斯柴油机气缸套产生穴蚀的主要原因有：

1）水滤器失效。康明斯柴油机采用美国佛里特加德公司生产的干式化学添加剂或含干式化学添加剂的水滤器，可以在柴油机工作中不断消除和抑制冷却液中产生的空气泡或泡沫。所以康明斯柴油机上的水滤器不仅通过滤纸过滤杂质，而且装有防穴蚀的化学添加剂。定期更换水滤器滤芯可代替向冷却系统加添加剂。但是，由于操作人员对康明斯柴油机的特点和水滤器的防穴蚀作用缺乏了解，认为柴油机频繁更换水滤器滤芯得不偿失。因而该机长年不换水滤器滤芯，造成水滤器失效是气缸套穴蚀的重要原因。因此，应经常检查DCA值，需要时加用添加剂，在B级维护时（250h或三个月），将水滤器预加滤芯换成工作滤芯。

2）冷却系统使用维护不当。BJ374型自卸车上装有膨胀箱，并参加冷却系统的闭式循环。膨胀箱上部连接两根软管，一根通柴油机前出水口，另一根接散热器加水口；下部连接一根软管，接水泵进口。当柴油机运转时，水道和散热器内的水蒸气都进入膨胀箱，以减少水道内的空气和空气泡，而膨胀箱的冷却水又可补充水泵进口低压区，起防穴蚀的作用。但由于操作人员不了解该冷却系统的结构特点，误认为不使用膨胀箱冷却系统也能工作，因而该机膨胀箱经常不加水，散热器加水口通膨胀箱的水管接头脱落不焊修。散热器盖损坏不更换，甚至膨胀箱无加水口盖，导致尘埃进入膨胀箱将下部的出水口堵塞。该机冷却系统不能形成完整的闭式循环，致使压力降低、散热器缺水、空气和空气泡增多，空气泡破裂促使气缸套加速穴蚀。因此，应保证冷却系统完整、密封、膨胀箱水位正常、管路畅通，并按要求选用防冻液，应选用含量不超过0.10%的低硅酸盐防冻液，比例配置要适当，以减少沉淀量。

3）水温的影响。当水温在40～71℃时，溶解于水中的空气增多，容易产生空气泡，而且在冷却液温度未达到71℃以前，腐蚀量随温度升高而增加。该机曾长年不装节温器运行，车辆使用（运煤）跑跑停停，这种状态恰好是柴油机处于穴蚀最严重的低温状态。

4）冷却系统积垢过多。在冷却系统中，化学添加剂久用沉淀，防冻液长期使用变质，燃油、润滑油等有害物质浸入等都会造成水道积垢增多，使水套局部变窄，狭窄处水流速度加快，压力降低，致使空气泡容易产生和破裂，气缸套穴蚀加快。因此，若发现冷却系统积垢过多或机油冷却器渗入润滑油，应及时进行清洗。

（3）故障排除　尽管气缸套内壁磨损甚微，但因外表面腐蚀严重，更换了全部气缸套。

案例16：康明斯柴油机拉缸、活塞环卡死故障

（1）故障现象　一辆东风EQ10916型载重货车，因喷油泵漏油，在某维修中心更换垫圈和喷油器，并调整喷油泵。车主因该车修理之后出现动力性明显变差和排气管冒白烟的现象，要求重新修理。经第2次修理后，仍没有排除以上故障，维修中心负责人让驾驶员“跑跑车”试一下，如果故障依旧，可以免费给他们返修。该车在满载返回途中，爬坡时出现柴油机机油压力低、水温高并开锅，随即停车检查，车辆已不能再发动。

（2）故障查找分析　拆检发现，该柴油机喷油泵与喷油器连接的高压油管安装有错位现象（接第2缸与接第3缸的高压油管装反）；第2缸和第3缸气缸壁均有严重的蓝色拉缸痕迹，且活塞环均烧蚀卡死；第2缸活塞融化粘缸。

根据拆检情况，故障原因应为：该六缸柴油机的工作次序是 1－5－3－6－2－4，柴油机喷油泵通过喷油器按各缸的工作次序在压缩行程终了时将高压柴油以雾状喷入气缸。由于第 3 缸和第 2 缸油管装反，当轮到第 3 缸喷油时，高压柴油却被喷到了第 2 缸内，此时，第 2 缸正处于进气行程末，致使喷入的柴油和进入气缸的空气一起被压缩。因而，当第 2 缸活塞在压缩行程中（还没有达到上止点），就发生了不正常燃烧，造成了第 2 缸异常高温，致使活塞融化而粘缸；同时活塞环高温烧蚀卡死，造成气缸壁拉伤。同理，当轮到第 2 缸喷油时，柴油却喷到了第 3 缸中，此时，第 3 缸活塞正在排气行程，气缸内高温废气会直接使喷入的柴油燃烧或以蒸气的形式排出，造成排气管冒白烟的现象，并由于气缸温度高而造成活塞环烧蚀卡死而拉缸（气缸高温回火造成气缸壁发蓝色，与拆检情况相一致）。

根据以上分析认定：造成这次事故的主要原因是承修方操作失误，且在没有将故障完全排除的情况下就让车辆出厂；同时，由于驾驶员在车辆故障尚未排除的情况下行驶，加剧了事故的扩大。

案例 17：NTA855 型柴油机活塞敲缸、拉伤及环黏结故障

（1）故障现象　一台 TY320 型推土机配置康明斯 NTA855—C360 型柴油机，气缸发生穴蚀，冷却水进入曲轴箱，致使柴油机无法使用。对这台柴油机进行大修。将柴油机解体、清洗后进行技术鉴定，根据鉴定结果，将曲轴瓦、连杆轴瓦、连杆铜套、活塞、活塞销、活塞环、气缸、进排气门和喷油器更换新件。重新校验 PT 泵，并对进、排气门座进行了处理。柴油机组装后试机，运转状况良好，经过一天的空载磨合后，投入使用。

该机初始时运转基本正常，运行 100h 以后，有明显的敲击声，曲轴箱窜气严重。经检查，敲击声来自第 3、4 缸。

（2）故障查找分析　首先怀疑产品质量，为此找供应商技术鉴定，配件质量不存在问题。

检查第 3、4 缸机油冷却喷嘴，正常。

柴油机大修时，更换了凸轮从动件总成调整垫，因此怀疑喷油正时晚。使用专门调整喷油时间的工具仔细检查，喷油正时正确。

怀疑第 3、4 缸喷油器雾化有问题，经检查正常。

打开所有气缸盖检查，结果其他 4 个气缸工作均正常，发现第 3、4 缸有问题，且活塞顶部被高温烧得发蓝。第 3 缸活塞顶部外围有严重拉伤，活塞环在环槽内轻度咬死，气缸套内壁中上部位有 1cm 表面层脱落，第 4 缸活塞轻微拉伤。检查了第 3、4 缸缸体、缸盖的冷却水道，均未发现问题。

因此怀疑第 3、4 缸的缸盖有问题。NTA855—C360 型柴油机的缸盖内部有燃油输送油道，对第 3、4 缸缸盖内的柴油输送油路进行加压试验，发现燃油从进气道裂纹渗出，故判断第 3、4 缸进气道有裂纹。

柴油机的燃油在 PT 泵压力作用下，由缸盖的裂缝进入柴油机进气道，随着进气气流被带入气缸内部，并附着于缸套内表面和活塞顶部表面。这些燃油将形成“爆燃”，气缸内的气体压力超过正常压力，产生敲击声。同时多出的燃油冲刷气缸壁，破坏气缸内壁上的润滑油膜，造成活塞与气缸内壁之间的干摩擦，引起拉缸。

（3）故障排除　更换新气缸盖，装复调整后，柴油机工作正常。

案例 18：康明斯 M11 型柴油机活塞烧蚀和拉缸故障

（1）故障现象　一台 GJT112 型推土机配装康明斯 M11 型柴油机，工作不足 500h，在高原作业时柴油机润滑油消耗突然明显增多，全负荷作业时排黑烟，且动力有所下降。同时，当水温超过 80℃时，曲轴箱排气管口排气量较大。工作 4 天检查消耗润滑油近 5L，高速行驶时消耗的

更多。

（2）故障诊断与分析　经检查，涡轮增压器的涡轮和压气机部件密封良好，无润滑油渗漏。检查各润滑管路，无堵塞和泄漏，机油滤清器正常，与气门室盖相连的曲轴箱通气管畅通。

拆检柴油机，发现空气滤清器脏堵，活塞头部烧蚀并有较厚积炭，活塞环端隙过大，缸套不同程度拉伤，气门轻度烧蚀磨损。同时出现高温高压气体从燃烧室窜入曲轴箱，伴随油底壳的润滑油经曲轴箱排气口排出，这是活塞烧蚀和拉缸的典型故障现象。

由于缺氧，气缸内充气量减少，过量空气系数下降，可燃混合气过浓，柴油燃烧不易充分，后燃严重，造成气缸内积炭增多，进而增大了柴油机过热的可能性，导致活塞烧蚀和拉缸故障。

（3）故障排除　更换损伤的活塞、活塞环和缸套，在使用中加强空气滤清器、润滑油及机油滤清器、燃料系统（喷油压力、供油时间）的维护，并避免长时间大负荷工作。

第三章　配气机构的构造及故障分析

柴油机在工作过程中，需要定时向气缸内充入新鲜空气，又定时将燃烧产生的废气排出气缸外，这一功用由配气机构完成。

配气机构是柴油机的主要运动部件之一。它直接影响柴油机的动力与经济性及运转可靠性，同时也是柴油机噪声的来源之一。

第一节　配气机构的组成与工作过程

现代柴油机均采用顶置气门，即进、排气门置于气缸盖内，倒挂在气缸顶上。如图 3-1 所示。康明斯柴油机配气机构即采用这种结构形式。整个配气机构有两大部分组成，以气门为主要零件的气门组和以凸轮轴为主要零件的气门传动组。

配气机构靠齿轮驱动，旋转的曲轴通过正时齿轮 15、惰轮 14 和配气正时齿轮 1 驱动凸轮轴，凸轮轴上按工作次序排列的凸轮 3，依次推动挺柱 4、推杆 5，推杆顶起摇臂 9 的后端，摇臂前端则按各缸的工作次序，依次推动各缸进、排气门，在气门座上开启、关闭气缸，以满足柴油机工作循环中的进排气要求。

曲轴与凸轮轴的转速比或传动比为 2∶1，曲轴每旋转两圈，凸轮轴旋转一圈。即柴油机每完成一个工作循环，曲轴转 720°，凸轮轴转 360°。

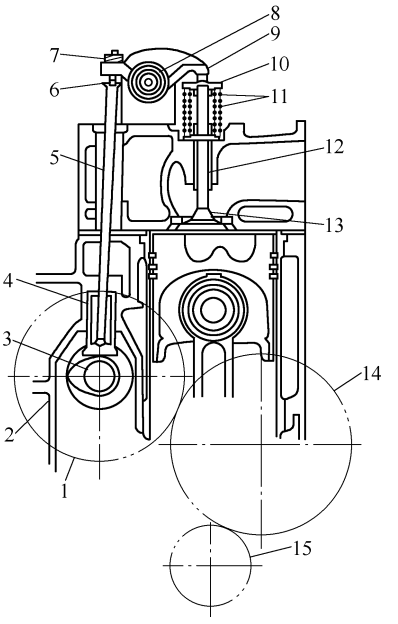


图 3-1　顶置式配气机构

1—配气正时齿轮　2—气缸体　3—凸轮　4—挺柱　5—推杆　6—调整螺钉　7—锁紧螺母　8—摇臂轴　9—摇臂　10—气门弹簧座　11—气门弹簧　12—气门导管　13—气门　14—惰轮　15—曲轴正时齿轮

第二节　气门组构造

气门组包括：进气门、排气门、气门弹簧、弹簧座、锁块及气门杆油封等零件，如图 3-2 所示。

一、气门与气门座

B、C 系列柴油机每个气缸装有 2 个气门（1 个进气门、1 个排气门，进气门头部直径大于排气门）。为提高进、排气量，N 系列、K 系列柴油机的每个气缸装有 4 个气门（2 个进气门、2 个

排气门)。气门有两种制作方法，一种是用全金属制作，进气门为普通合金钢，排气门为耐热合金钢；另一种是在气门密封锥面上堆焊特种合金。为了提高排气门在高温下的耐热性和耐腐蚀性，提高排气门的使用寿命，在排气门密封锥面上堆焊耐热合金。

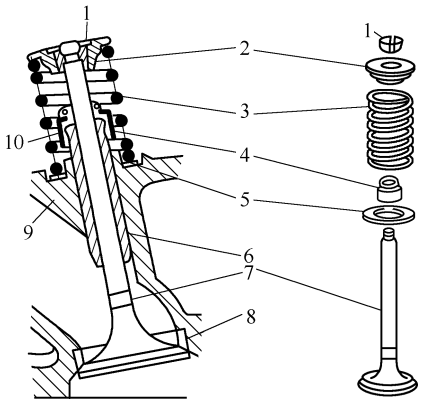


图 3-2 气门组

1—气门锁片 2—气门上弹簧座 3—气门弹簧
4、10—气门油封 5—气门下弹簧座 6—气门导管
7—气门 8—气门座 9—气缸盖

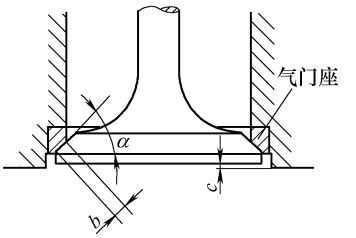
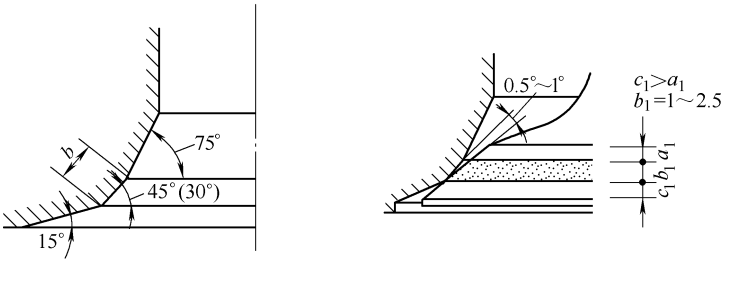


图 3-3 气门锥角及密封面

α—气门锥角 b—气门密封面
c—气门下沉量

气门顶面有平顶、凸顶和凹顶等形状，康明斯柴油机采用平顶气门。气门头部的密封锥面与气门座严密贴合，配对研磨，以实现气门的密封，使用中不能互换。气门锥面与气门顶面之间的夹角称为气门锥角（见图 3-3），进、排气门的气门锥角一般均为 45°，少数进气门锥角为 30°，较小的锥角可获得较大的流通面积，减小气门落座时的相对滑移。因气门锥角较小，其气门头部边缘较薄，刚度较差，容易变形，致使气门与气门座圈之间的密封性变差。

气缸盖上与气门锥面相贴合的部位称气门座。铝气缸盖和大多数铸铁气缸盖均镶嵌由合金铸铁、粉末冶金或奥氏体钢制成的气门座圈。也有一些铸铁气缸盖不镶气门座圈，直接在气缸盖上加工出气门座，康明斯 B 系列柴油机即是如此。气门座圈以一定的过盈压入气缸盖上的座孔中，气门座或气门座圈的锥角与气门锥角相适应，形成密封环带 b（见图 3-4a）。气门锥角也可比气门座或气门座圈锥角小 0.5°～1°（见图 3-4b），其作用是使两者不以锥面的全宽接触，这样可以增加密封锥面的接触压力，加速磨合，并能切断和挤出两者之间的任何积垢或积炭，保持锥面良好的密封性。



a) b)

图 3-4 气门座锥角

二、气门杆与气门导管

气门杆在气门导管中往复运动，其表面经过磨光和热处理提高耐磨性。杆端和摇臂接触，承受敲击和摩擦，杆端需淬火提高硬度和耐磨性。气门导管则可保证气门的运动导向，使气门与气门座或气门座圈正确贴合，同时将气门杆接受的热量部分地传给气缸盖。

气门杆端的形状决定于弹簧座的固定方式。康明斯柴油机采用锁夹固定，如图 3-5 所示。进、排气门杆尾部的环槽用来与锁块内圈的凸起相吻配，锁块外锥面卡在弹簧座的锥形孔中，气门弹簧的弹力顶在弹簧座上，将锁块卡死在弹簧座的锥孔中。顶置气门在气门杆尾端常切有一小槽，装入一挡圈，以防气门杆尾端或气门弹簧损坏时气门掉入气缸。

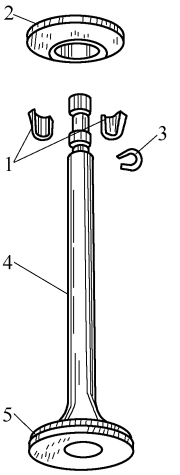


图 3-5　弹簧座的固定
1—锁夹　2—弹簧座
3—挡圈　4—气门杆　5—气门

气门导管的工作温度较高，而且润滑条件较差，靠配气机构工作时飞溅起来的润滑油来润滑气门杆和气门导管孔。气门导管由灰铸铁、球墨铸铁或铁基粉末冶金制造。在以一定的过盈将气门导管压入气缸盖上的气门导管座孔之后，再精铰气门导管孔，以保证气门导管与气门杆的正确配合间隙。气门导管与气门杆配合间隙应合适，间隙过小，气门导管的润滑变差，会导致气门杆与气门导管剧烈磨损、发热、卡住；间隙过大，气门导管不能正确导向，并且会导致过量的润滑油沿气门下漏到燃烧室。为了控制和减少润滑油泄漏和消耗量，可安装气门油封（见图 3-2），如康明斯 B 系列和 C 系列柴油机气门导管上装有气门杆密封圈，排气门密封圈呈橘红色，进气门密封圈呈黑颜色。N 系列柴油机则在气门导管的上端面有外倒角，以减少润滑油流入气缸。

三、气门弹簧

气门弹簧的功用是保证气门关闭时能紧密地与气门座或气门座圈贴合，并克服在气门开启时配气机构产生的惯性力，使传动件始终受凸轮控制而不相互脱离。

气门弹簧一般为等螺距圆柱形螺旋弹簧。当气门弹簧的工作频率与其固有的振动频率相等或为整数倍时，气门弹簧会发生共振。共振时将破坏配气正时，使气门反跳和冲击加剧，甚至使弹簧折断。为防止气门弹簧共振的发生，一般可采用安装双气门弹簧、变螺距气门弹簧和圆锥形气门弹簧等措施。康明斯柴油机采用每个气门安装两个直径不同，旋向相反的内、外弹簧，一个弹簧发生共振时，另一个弹簧则能起到阻尼减振作用。当一个弹簧折断时，另一个仍可继续工作，不致使气缸立即失去工作能力。为了防止两个弹簧相咬，大小弹簧做成不同旋向。

第三节　气门传动组构造

气门传动组主要有凸轮轴及其驱动装置。气门传动组能保证按一定的配气相位，及时开闭进气门和排气门，并保证有足够的开度。气门传动组由正时齿轮、凸轮轴、挺柱、推杆、气门调整螺钉、锁紧螺母、摇臂、摇臂轴及摇臂轴支座等零件组成。由于 N、K 系列柴油机采用四气门结构，其气门传动组除上述零件外，还包括凸轮从动件及丁字压板等零件。

一、凸轮轴

凸轮轴一般由碳钢模锻或球墨铸铁铸造。为了提高耐磨性，各个轴颈和凸轮表面需经渗碳或高频淬火。近年来，生产的康明斯 N 系列、K 系列柴油机的凸轮轴采用了大凸轮设计，大凸轮直径可缩短喷油期、促使高效率燃烧、提高凸轮负荷能力。

凸轮轴是控制气门开闭时刻和运动规律的主要零件。凸轮轴上有进气和排气凸轮，各凸轮的相互位置按照柴油机规定的发火次序排列。因此，根据各凸轮的相对位置和凸轮轴的旋转方向，可以判断柴油机的发火次序。6 缸 B 系列和 C 系列柴油机按进排、进排、进排、进排、进排、进排的次序循环排列，在第 5 缸进、排气凸轮之间有用于驱动输油泵的偏心轮。如图 3-6 所示为 B 系列凸轮轴组成结构。N 系列柴油机，由于相邻两缸的进气门共用一个进气道，按排进、进排、排进、进排、排进、进排的次序循环排列。6 缸 K 系列柴油机由于是一缸一盖，尽管采用与 N 系列相同的四气门结构，但气门排列顺序为进排、进排、进排、进排、进排、进排。同时，由于采用 PT 燃料系统，N 系列、K 系列柴油机凸轮轴上除控制进、排气的凸轮外，在进、排气凸轮之间，还有喷油器的驱动凸轮。

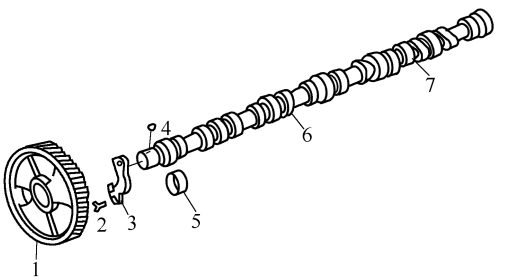


图 3-6 康明斯 B 系列柴油机凸轮轴组件
1—正时齿轮 2—止推片螺栓 3—止推片
4—半圆键 5—凸轮轴衬套 6—凸轮 7—偏心轮

中置式和下置式凸轮轴的轴承一般制成衬套压入整体式轴承座孔内，再加工轴承内孔，使其与凸轮轴轴颈相配合。顶置式凸轮轴的轴承多由上、下两片轴瓦对合而成，装入剖分式轴承座孔内。轴承内径与凸轮轴轴颈为间隙配合。康明斯柴油机多采用中置式凸轮轴。B 系列柴油机只有第一轴颈镶有低合金衬套，而 C 系列和 N 系列柴油机有 7 道可更换的衬套，气缸体的 7 个凸轮轴轴承孔有油道与气缸体的主油道相通，由主油道供油润滑这 7 个摩擦副。N 系列和 K 系列柴油机大凸轮轴机型（6 缸）的 7 个衬套有三种规格，由前向后数第 1、2、4、6 道为一种规格，第 3、5 道为另一种规格，第 7 道又是一种规格，如图 3-7 所示。在第 7 道衬套上有一个定位缺口，安装时应朝下，对准缸体上的油孔。

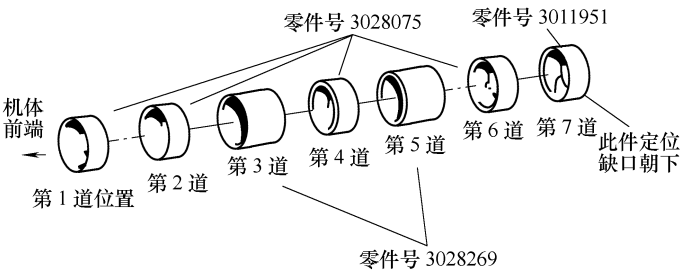


图 3-7 康明斯 N、K 系列柴油机大凸轮轴衬套

凸轮轴通常都由柴油机前端“伸入”气缸体，因此各轴颈的直径要大于凸轮的最高点，而且各个轴颈的直径从凸轮轴前端向后依次减小，便于装配。

凸轮轴通常由曲轴通过正时齿轮驱动（见图 3-1），正时齿轮一般用键安装在凸轮轴和曲轴前端。在装配凸轮轴时，必须使凸轮轴正时齿轮的正时记号对准，否则不能保证凸轮轴和曲轴应

有的相对位置，即不能保证各个气门按规定时刻开闭。为了使齿轮啮合平顺，减小噪声，正时齿轮一般采用斜齿。

凸轮轴需要轴向定位。否则，柴油机运转时，曲轴正时齿轮（斜齿）作用在凸轮轴正时齿轮上的轴向力将使凸轮轴轴向移动，同时还使凸轮轴相对于曲轴转动一个角度，从而破坏凸轮轴的“正时”。康明斯 B 系列和 C 系列柴油机凸轮轴采用如图 3-8 所示的轴向定位装置。止推片 2 用螺钉固定在气缸体上。当凸轮轴向前或向后轴向移动时，都被止推片阻挡。为了使凸轮轴转动自如，必须保证有一定的轴向间隙，轴向间隙由凸轮前端的止推片厚度决定，止推片与凸轮轴第一轴颈端面的距离，即为凸轮轴的轴向间隙，B、C 两机型分别为 0.13～0.34mm 和 0.12～0.46mm。

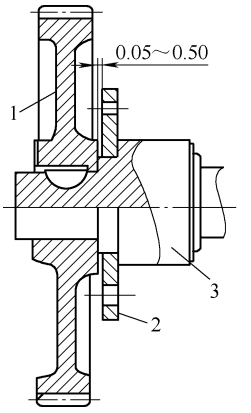


图 3-8　凸轮轴的轴向定位
1—凸轮轴正时齿轮
2—止推片　3—凸轮轴

N 系列柴油机凸轮轴的止推装置有两种，一种是止推板，轴向间隙为 0.03～0.13mm；另一种是凸轮轴轴承支承，间隙为 0.20～0.33mm。

K 系列柴油机有双凸轮轴结构。K38、K50 分别为 12 缸、16 缸呈 V 形排列，装有两根凸轮轴，左、右排缸各有一根凸轮轴，左排缸和右排缸凸轮轴不一样，安装时必须注意区别，它们以相反的方向旋转，并具有不同的气缸间隔位置。

凸轮的轮廓应保证气门开启和关闭的时间符合要求。而且应使气门有足够的升程和升降速度。气门的升起和落座要尽可能迅速，但又要使惯性力不超过允许的限度。

二、挺柱和推杆

挺柱是凸轮的从动件，其功用是将来自凸轮的运动和作用力传给推杆或气门，同时还承受凸轮所施加的侧向力，并将其传给机体或气缸盖。推杆处于挺柱和摇臂之间，其功用是将挺柱传来的运动和作用力传给摇臂。

B 系列和 C 系列柴油机的挺柱被制成蘑菇形状，底面为平面，内腔球形窝座与推杆球头配合。安装时使其中心线与凸轮的中心线有一个偏心距（见图 3-9a），这个偏心距使气门挺柱在推动推杆时发生转动，使挺柱底面磨损均匀。N 系列和 K 系列柴油机采用凸轮从动件总成，凸轮从动件包括随动臂、滚轮、随动臂轴等零件（见图 3-9b）。由于滚轮可在凸轮上滚动，故磨损较小，随动臂上的滚轮选用含铬合金钢制成，并经淬火、回火处理，其硬度保持在 61～64HRC。如图 3-10 所示为康明斯 N 系列柴油机凸轮从动件总成和推杆。

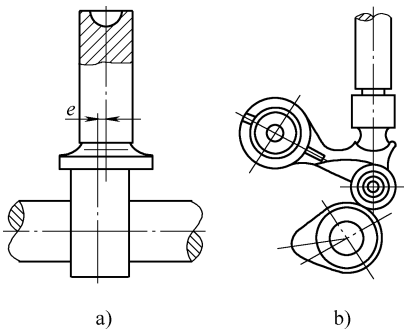


图 3-9　挺柱
a）菌形平面挺柱　b）滚轮式挺柱

康明斯柴油机气门推杆是一根钢管，以减小质量并保证足够的刚度。它上下运动时，有小量的摆动，因此上下两端焊有不同形状的球头。上端头为凹球形，摇臂调整螺钉的球头即坐落其中，下端头为球形，坐落在挺柱的凹球面内。上下两端头均经淬火。N 系列和 K 系列柴油机由于采用 PT 燃油系统，除进、排气门推杆外，还包括 PT 喷油器的推杆（见图 3-10），喷油器推杆的外径比气门推杆的外径大，不能互换。

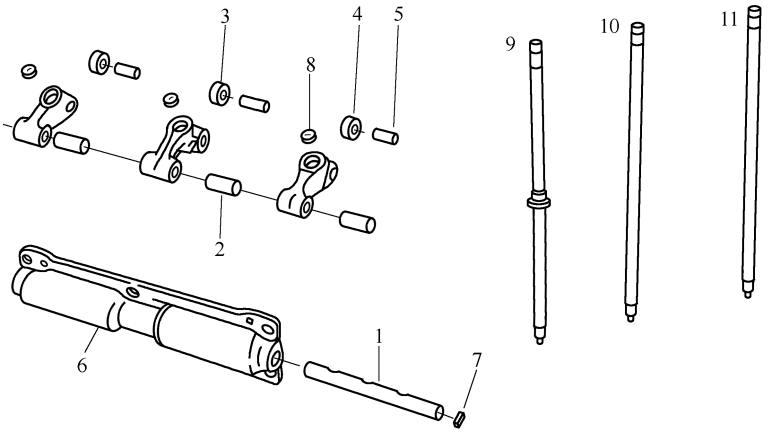


图 3-10 N 系列柴油机凸轮从动件总成和推杆
1—随动摇臂轴 2—衬套 3—喷油器滚轮 4—气门滚轮 5—气门滚轮销 6—随动臂盖
7—随动臂盖闷塞 8—球垫块 9—排气门推杆 10—喷油器推杆 11—进气门推杆

三、摇臂

摇臂的功用是将推杆或凸轮传来的运动和作用力，改变方向传给气门使其开启。摇臂在摆动过程中承受很大的弯矩，因此应有足够的强度和刚度以及较小的质量。摇臂由锻钢、可锻铸铁、球墨铸铁或铝合金制造。

摇臂起杠杆作用，它将推杆的推力传给气门，如图 3-11 所示。摇臂的短臂端装有调整气门间隙的调整螺钉和锁紧螺母。长臂的末端作成圆柱面，当摇臂摇动时，圆柱面在气门杆端面上滑滚。摇臂中心孔内压有青铜衬套，套在摇臂轴上，摇臂轴被支座（固定在气缸盖上）所支持。B 系列、C 系列柴油机的每一个气缸都有一个单独的摇臂总成。润滑油从气缸体、气缸盖上的油道进入摇臂轴进行润滑。流出的润滑油，润滑摇臂和气门尾部、调整螺钉和推杆头部球座等部位。C 系列柴油机气缸盖上有一根润滑油输送管，用以向各摇臂轴输送润滑油。

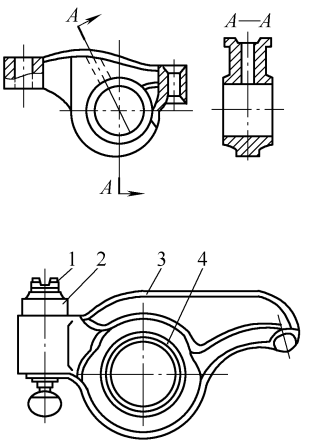


图 3-11 摇臂
1—气门间隙调节螺钉
2—锁紧螺母 3—摇臂 4—摇臂轴套

N 系列、K 系列柴油机每个气缸盖上有 3 个摇臂，如图 3-12 所示。

进、排气门摇臂的前端压在丁字压板横臂的中间，摇臂的后端装有调整螺钉和锁紧螺母，用来调整气门间隙。丁字压板（见图 3-13）用来实现一个摇臂操纵 2 个气门（用于 4 气门柴油机）。在气缸盖上每一对进、排气门之间有一圆柱导杆，丁字压板装在导杆上。摇臂前端压在丁字压板中央，丁字压板的横臂同时压在 2 个气门杆上，丁字压板横臂的一端装有调整螺栓和锁紧螺母，用来调整丁字压板横臂的两端，使之能和 2 个气门杆端同时确实贴合，从而保证 2 个气门同时开闭。

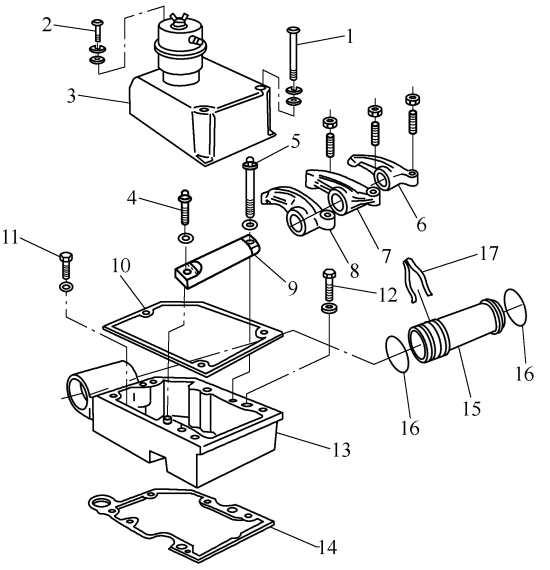


图 3-12　摇臂室总成

1、2、11、12—螺栓和弹簧垫圈　3—摇臂室盖　4、5—螺栓和平垫圈
6—进气门摇臂和衬套总成　7—喷油器摇臂和衬套总成　8—排气门摇臂和衬套总成　9—摇臂轴
10—摇臂室盖密封垫　13—摇臂室　14—摇臂室密封垫　15—输油管　16—O 形密封圈　17—卡环

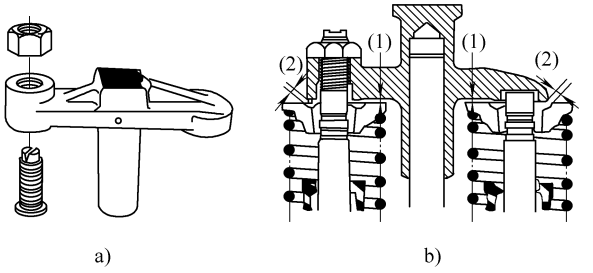


图 3-13　丁字压板

a）丁字压板　b）丁字压板调整部位

第四节　气门间隙与配气相位

一、气门间隙

柴油机工作时，气门及推杆、挺柱等零件因温度升高而伸长。如果在室温下装配，气门和各传动零件（摇臂、推杆和挺柱）及凸轮轴之间紧密接触，那么在热状态下，气门因热膨胀而关闭不严，造成气缸漏气。

气门传动组的气门与摇臂之间在室温下装配时必须留有适当的间隙，以补偿气门及各传动零件的热膨胀，此间隙称为气门冷间隙。

在柴油机运转时（热状态下），为了使气门关闭时能严密密封，也需要一定的气门间隙。柴油机热状态下的气门间隙称为热间隙。

各柴油机的气门间隙都有具体规定，进气门间隙一般在0.20～0.35mm范围之内，排气间隙为0.3～0.4mm。有的柴油机只规定了冷间隙，这个冷间隙数值能保证热状态下仍有一定的热间隙；有的柴油机则分别规定了冷间隙和热间隙，装配时应将气门间隙调整到规定数值。

在柴油机使用过程中，由于零件的磨损与变形，气门间隙会逐渐增大。气门间隙过大，将使气门开启滞后，减少气门开启的持续时间和气门开启高度，同时使各零件之间的撞击与磨损加剧，噪声增大。气门间隙过小，则造成气门关闭不严，引起漏气、功率下降等各种故障。因此，在柴油机使用过程中，应定期检查和调整气门间隙。

调整气门间隙必须在气门完全关闭时进行（见图3-14）。松开调整螺钉的锁紧螺母，拧动调整螺钉，即可调整气门间隙。调整时用塞尺塞入摇臂与气门杆端的间隙中，拧动调整螺钉，直到间隙符合规定为止，调整好后再将锁紧螺母拧紧。

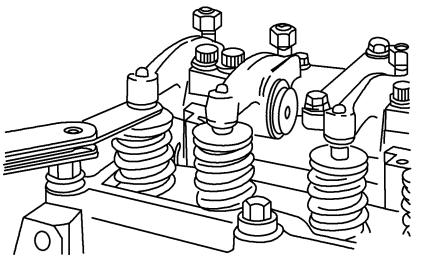


图3-14 气门间隙的調整

B系列和C系列柴油机的气门间隙，分别为（冷态）进气门0.25和0.30mm，排气门0.50和0.61mm。6缸机进排气门间隙检查和调整时要拆卸气缸盖罩，然后对准第1缸（或第6缸）压缩上止点。为确定第1缸压缩上止点，B、C系列康明斯柴油机上安有正时销（见图3-15，该正时销位于齿轮室背面），同时在柴油机凸轮轴齿轮上有一小孔，叫做凸轮轴齿轮正时对准孔。将盘车齿轮插入飞轮壳与飞轮齿圈啮合，用扳手缓慢转动盘车齿轮驱动曲轴旋转，转动用手压住柴油机正时销，使正时销在压下状态下可以进入正时对准孔，此时第1缸即处于压缩行程上止点位置（见图3-16），确定第1缸压缩上死点后，应脱开正时销，以免继续转动时损坏正时销。若要找第6缸压缩上止点，则将曲轴旋转360°即可（可在带盘上做好标记，见图3-17）。然后将所调整气门摇臂上的调整螺钉的锁紧螺母松开，旋松调整螺钉，在气门尾部与摇臂间插入规定厚度的塞尺，拧进调整螺钉，使摇臂轻轻压住塞尺，固定调整螺钉的位置，拧紧锁紧螺母即可。第1缸活塞处于压缩冲程上止点时，检查调整气门间隙①进排②进③排④进⑤排，第6缸活塞处于压缩冲程上止点时，检查调整气门间隙②排③进④排⑤进⑥进排。

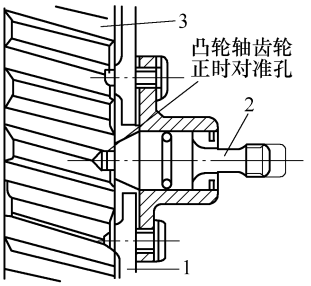


图3-15 柴油机正时销和凸轮轴齿轮正时对准孔
1—齿轮室 2—正时销 3—凸轮轴齿轮

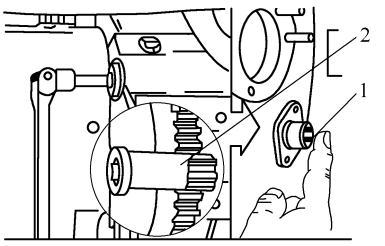


图3-16 盘车齿轮和正时销
1—正时销 2—盘车齿轮

N系列、K系列柴油机的气门间隙，需和PT燃料系统一起调整，可参见后面章节。

二、配气相位

在介绍四冲程柴油机的基本工作原理时，为了方便，把进气过程、排气过程都看做是在活塞

的一个冲程内完成的。也就是说，气门开启、关闭时刻对应活塞的上止点、下止点。但实际情况并非如此。由于柴油机转速很高，一个冲程的时间极短，如康明斯柴油机额定转速 1500r/min 时，一个冲程时间只有 0.02s，再加上用凸轮驱动气门开启需要一个过程，气门全开的时间就更短了，这样短的时间内难以做到进气充分，排气干净。为了改善换气过程，提高柴油机性能，实际柴油机的气门开启和关闭并不恰好在活塞的上止点和下止点，而是适当地提前和延迟，以延长进、排气的时间，即气门开启过程中曲轴转角都大于 180°。

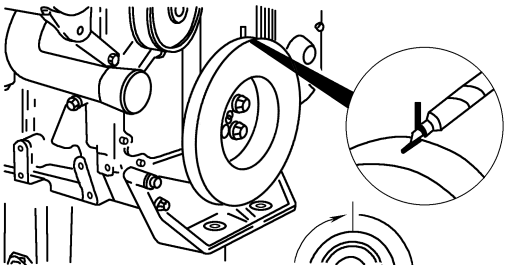


图 3-17　带盘上做标记

用曲轴转角表示的进气门、排气门开启、关闭时刻和开启持续时间，称为配气相位。配气相位的各个角度可用配气相位图（见图 3-18）来表示。

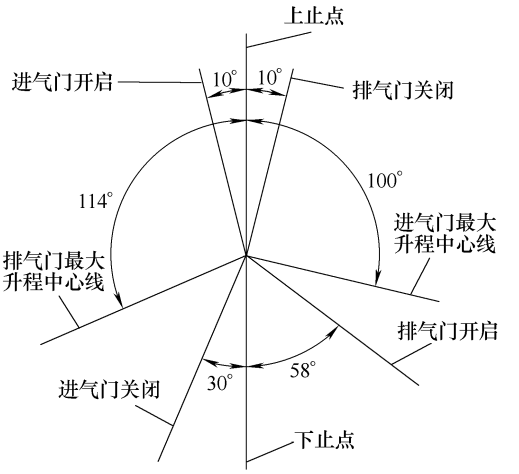


图 3-18　康明斯 B 系列柴油机配气相位图

1. 进气门的配气相位

（1）进气提前角　在排气冲程接近终了，活塞到达上止点前，进气门便开始开启。从进气门开始开启到上止点所对应的曲轴转角称为进气提前角，一般为 10°～30°。进气门早开，使得活塞到达上止点开始向下移动时，因进气门已有一定开度，所以可较快地获得更大的进气通道截面积，减少进气阻力。

（2）进气滞后角　在进气冲程下止点过后，活塞重又上行一段进气门才关闭。从下止点到气门关闭所对应的曲轴转角称为进气滞后角，一般为 40°～80°。进气门晚关，是因为活塞到达下止点时，由于进气阻力的影响，气缸内的压力仍然低于大气压，且气流还有相当大的惯性，仍能继续进气。下止点过后，随着活塞的上行，气缸内压力逐渐增大，进气气流速度也逐渐减小，至流速等于零时，进气门关闭的滞后角最适合。若滞后角过大会将进入气缸的气体重新又压回进气管。

由上可见，进气门开启持续时间内的曲轴转角，即进气持续角，它等于提前角、滞后角之和加 180°曲轴转角。

2. 排气门的配气相位

（1）排气提前角　在做功冲程的后期，活塞到达下止点前，排气门便开始开启。从排气门开始开启到下止点所对应的曲轴转角称为排气提前角，一般为 40°～80°。恰当的排气门早开，气缸内还有大约 300～500kPa 的压力，做功作用已经不大，但利用此压力可使气缸内的废气迅速地自由排出，待活塞到达下止点时，气缸内只剩约 110～120kPa 的压力，使排气冲程所消耗的功率大为减小。此外，高温废气的早排，还可防止柴油机过热，但提前角不能过大。

（2）排气滞后角　在活塞越过上止点后，排气门才关闭。从上止点到排气门关闭所对应的曲轴转角称为排气滞后角，一般为 10°～30°。由于活塞到达上止点时，气缸内的压力仍高于大气压，且废气气流有一定的惯性，所以排气门适当晚关可使废气排得较干净。

由上可见，排气门开启持续时间内的曲轴转角，即排气持续角，等于排气提前角和排气滞后

角之和再加 180°曲轴转角。

3. 气门重叠

由于进气门早开和排气门晚关，就出现了一段进气门、排气门同时开启的现象，称为气门重叠。同时开启的角度，即进气门提前角与排气门滞后角的和，称为气门重叠角。

由于重叠时气门的开度很小，且新鲜气体的和废气流动的惯性要保持原来的流动方向，所以只要重叠角适当，就不会产生废气倒流回进气管和新鲜气体随废气排出的问题。相反，由于废气气流周围有一定的真空度，对排气速度有一定影响，从进气门进入的少量新鲜气体可对此真空度加以填补，还有助于废气的排出。

柴油机的结构不同、转速不同，配气相位也有差异。

增压柴油机的配气相位，其重叠角较非增压柴油机要大得多。这是因为进气压力高，一方面不会发生废气倒流进入进气管的现象，另一方面除可使充量更大外，新鲜空气可将气缸内的废气扫除干净。虽有一部分新鲜空气会从排气门排出，但并不消耗柴油。

同一台柴油机转速不同应有不同的配气相位，转速愈高，提前角和滞后角应愈大。一般配气相位是固定的，按柴油机的性能要求，通过试验来确定某一常用转速下较合适的配气相位，配气相位对这一转速最为有利。由于进气门关闭时，活塞距下止点已较远，其速度已相当大，因而滞后角的变化对气缸内的容积及充量的影响较大。所以在配气相位的四个角中，进气滞后角的大小，对柴油机性能的影响最大。当柴油机配气相位变得滞后时，影响柴油机性能最大的进气滞后角变大，而这正是高速时所要求的，所以高速性能稍有变好但低速性能变坏；反之，当柴油机配气相位获得提前时，进气滞后角便小，所以低速性能稍有变好但高速性能变坏。为获得更高性能，也可采用可变气门正时机构。

第五节　配气机构故障分析

一、配气机构故障的主要原因

配气机构常见的故障主要有气门烧蚀、气门积炭结胶、气门间隙过大、气门座圈松脱、气门弹簧折断、进排气门撞击活塞等。

1. 气门烧蚀

（1）现象与判断

1）当某缸气门烧蚀后，可明显地发现该缸的压力降低，柴油机功率下降。

2）柴油机工作时可听到进气歧管发出“喔喔”声音，在消声器外可以听到“突突”声。

（2）原因

1）气门接触面部分积炭，导致散热不良和漏气。

2）气门间隙过小或没有间隙，导致气门关闭不严，气门漏气造成高温燃气烧蚀。

3）气门锥面堆焊不良而早期疲劳开裂，高温燃气烧蚀气门盘部，开裂裂纹向盘部疲劳扩展而最终掉块。

4）镶气门座工艺不合要求，对磨损的气门座未重新研磨，气门落座产生偏斜，导致气门闭合不严局部漏气。

5）柴油机爆燃

（3）排除方法　清除气门积炭，然后正确调整气门间隙。

2. 气门积炭结胶

（1）现象与判断　柴油机温度升高到一定程度，会发出“嗲嗲”的异响声，并使柴油机不易熄火。积炭结胶严重时会把气门杆卡在气门导管内，使之不能运动。

（2）原因

1）活塞与气缸壁间隙过大，气环磨损或对口，油环密封不严，致使润滑油窜入气缸燃烧。

2）气门与气门座密封不良，气门杆与气门导管间隙过大或油封损坏引起窜油。

3）机油质量不合格，胶质过多。

（3）排除方法　活塞与气缸壁间隙过大，应查明原因，必要时更换新的气缸套和活塞，更换活塞环；气门与座密封不良，可通过磨削的方法修复；修配气门杆与气门导管，更换油封；润滑油质量不合格，应加注合格润滑油。

3. 气门间隙过大

（1）现象与判断　在柴油机上部发出“嗒嗒”金属敲击声，怠速运转时清晰均匀，转速升高，响声随之变大。若多个气门间隙产生撞击响声，则声音嘈杂。

（2）原因

1）气门间隙调整不当。

2）气门间隙调整螺钉的锁紧螺母松动。

3）配气机构部件磨损过大，如凸轮、摇臂等磨损异常。

（3）排除方法　正确检查和调整气门间隙；更换磨损部件，凸轮磨损如超过规定数值，应更换凸轮轴。

4. 气门座圈松脱

（1）现象与判断　柴油机工作时，从气缸盖处发出较大的“嚓嚓”的破碎声，随转速变化，时大时小。严重时，排气管有较大的敲鼓声。

（2）原因　气门座圈的材料和加工精度不合要求；与气缸盖配合过盈量不够。

（3）排除方法　更换气门座圈时，应选择质量和尺寸符合规定的零件。安装时，先拆掉旧座圈（见图3-19），然后要对座圈孔进行检查，是否有凸起，若有，应先修平。新座圈安装时，一定要到位。气门装入后，还应检查气门的沉降量。B系列柴油机进、排气门的沉降量为0.99～1.52mm；C系列柴油机进气门的沉降量为0.59～1.12mm，排气门的沉降量为1.09～1.62mm。

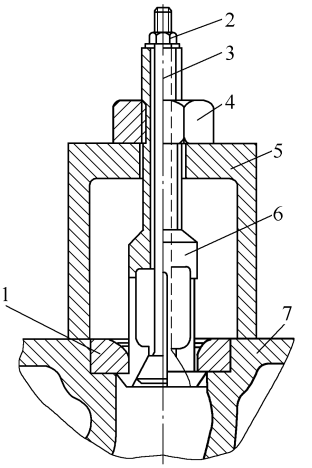


图3-19　气门座的拆卸方法

1—气门座　2—胀开用螺母　3—胀开锥　4—施加拉力螺母　5—套筒　6—弹簧卡头式拉爪　7—缸盖

5. 气门弹簧折断

（1）现象与判断

1）柴油机工作无力，怠速转动时，发出“喀哒、喀哒”的敲击声。

2）在气缸盖处发出“铛铛”敲击声。

（2）原因

1）气门弹簧没有按规定工艺安装。

2）工作频率较大加之交变载荷作用，共振折断。

（3）排除方法　更换符合技术规范的气门弹簧，并做必要的技术检查。

6. 进、排气门撞击活塞

（1）现象与判断　柴油机出现清脆的“铛铛”响声，但与活塞碰气缸盖不同，它的声音小，振动也小，这种清脆、有节奏的“铛铛”响声随柴油机转速升高而变大加快。柴油机在高转速时，动平衡好，噪声不大，有点杂音就能听出。这种响声与气门间隙大小无关，调好气门间隙后仍有此响声。

（2）原因

1）气门弹簧弹力不够或折断。

2）气门杆上下运动卡滞或气门卡死在导管内。

3）气门座圈没有安装到位，致使气门在关闭时气门底平面到活塞上平面的距离变小。

4）凸轮轴齿轮与曲轴正时齿轮没有对正标记，致使活塞上行，气门下行的配气相位出现不正常现象。

5）中间齿轮、凸轮轴齿轮或曲轴齿轮损坏，正时齿轮定位键损坏而影响正常配气正时。

（3）判断及排除方法　拆下某气缸盖摇臂罩，用手指接触摇臂，振动大的有异常手感，则证明该气门被活塞碰撞而发响。这种情况，一般发生在维修中，新镶气门座圈没到位，应查明原因，并正确安装。如果全部进、排气门均顶活塞，则是凸轮轴齿轮装错造成的，必须重新安装正时齿轮。安装时应注意凸轮轴正时齿轮与曲轴正时齿轮的标记应对正。

二、配气机构故障案例分析

案例 1：康明斯 6BT 柴油机凸轮轴半圆键磨损

（1）故障现象　一辆装用东风康明斯 6BT5. 9 柴油机的散装水泥车，因在运输途中柴油机有异响、排气温度高、汽车动力下降而进厂报修。经修理工拆检，发现活塞与排气门有撞击痕迹。

检查各连杆瓦均配合松旷，达到或超过标准配合间隙下限。将连杆轴瓦全部更换，装复后试车，冷车时正常，热车后响声照旧。

（2）故障查找分析　打开柴油机罩和盖板，重点检查传动齿轮配对记号。经检查记号稍有误差，曲轴、凸轮轴正时齿轮啮合完整。该机型是 6 齿轮传动（见图 3-20），齿轮箱正时齿轮包括机油泵齿轮、惰轮、空压机齿轮、喷油泵齿轮、凸轮轴齿轮、曲轴齿轮。将凸轮轴连同凸轮轴正时齿轮从缸体内抽出，发现凸轮轴正时齿轮在凸轮轴上可以左右晃动。拆下凸轮轴齿轮，发现半圆键已经磨损变薄。正常凸轮轴与凸轮是过盈配合，通过半圆键定位传动。现在由于凸轮轴齿轮在轴上有相对错位运动，造成配气相位延迟，导致排气门关闭推迟。因而与上行的活塞相撞，出现撞击声响。同时，高压油泵传动齿轮与凸轮轴正时齿轮啮合，由于凸轮轴正时齿轮传动滞后，造成供油提前角过小，燃油不能在上止点附近燃烧完毕；后燃增加，最高燃烧压力有所下降。但排气温度上升、柴油机过热，导致功率降低，油耗增加。通过分析检查，故障根源是凸轮轴键槽磨损。

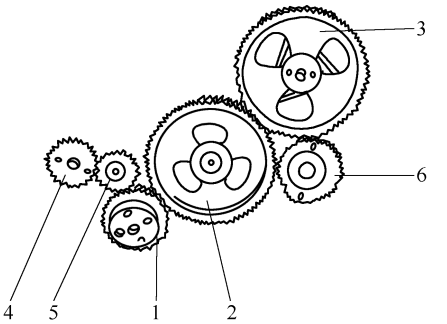


图 3-20　康明斯 B 系列柴油机齿轮系统
1—曲轴齿轮　2—凸轮轴齿轮　3—喷油泵齿轮
4—机油泵齿轮　5—惰轮　6—空压机齿轮

（3）故障排除　更换一套凸轮轴与凸轮正时齿轮，齿轮在装配前，应先放在 125℃的炉内至少保持 1h，把齿轮压入凸轮轴时，要确保键与键槽对准，并使齿轮与轴肩紧贴，用 0. 05mm 塞尺

检查，不得塞入。装复柴油机试车，异响消除，动力恢复。

案例 2：NT855 型柴油机凸轮磨损

（1）故障现象　D85A—18 型推土机用 NT855 型柴油机工作无力并冒黑烟。

（2）故障查找分析　停机排查，空气滤清器状况良好；油路也无故障。测校喷油器表明，喷油压力在标准范围内、雾化良好；校检 PT 泵也未发现问题。拆检柴油机，发现正时、活塞环均无问题，但用外径千分尺测量凸轮总高度，发现凸轮轴喷油器凸轮高度只有标准高度的 2/3。康明斯 N 系列柴油机凸轮轴除气门驱动凸轮外，还包括 PT 喷油器驱动凸轮，由于 PT 喷油器喷油压力很高，若凸轮轴质量有问题或使用维护不当，将会导致该凸轮磨损过度。而凸轮高度因磨损而降低，会使活塞运动至规定喷油提前角未能喷油发火，导致着火延迟，使柴油机冒黑烟、工作无力。

（3）故障修复　更换凸轮轴后，故障得以排除。

案例 3：康明斯 6BT5.9 柴油机凸轮轴座孔磨损

（1）故障现象　一辆装有康明斯 6BT5.9 柴油机的汽车，当累计行程 30 万 km 左右，柴油机怠速运转时，润滑油压力低于 69kPa，油压指示灯亮，并伴有轴瓦异响。经分解，发现连杆大端的轴瓦有烧蚀现象，经磨轴并更换同一级修理尺寸的轴瓦后装车运行。可汽车行驶 2000km 后，又发现怠速时润滑油压力低于 69kPa，油压指示灯又亮，并伴有轴瓦异响。

（2）故障查找分析　经检查，润滑油量符合标准，润滑油品质良好，机油泵泵油压力正常。后又对柴油机进行全面分解，发现连杆轴瓦和曲轴主轴承轴瓦又被烧蚀。仔细研究测量发现，气缸体凸轮轴座孔的尺寸有的已达到 ϕ54mm。康明斯 6BT5.9 柴油机凸轮轴在气缸体上安装时，只有第一道凸轮轴轴颈与凸轮轴轴承配合，其余轴颈均与气缸体上的凸轮轴座孔直接配合。随着汽车累计行程的增加，如果使用维护不当，或选用的凸轮轴材料不当（康明斯 B 系列柴油机凸轮轴材质必须是冷激铸铁，不能采用铸钢材质的伪仿凸轮轴），凸轮轴轴颈与气缸体上的凸轮轴座孔会磨损严重，测得的凸轮轴与气缸体的凸轮轴座孔配合间隙为 0.747～0.763mm（正常配合间隙为 0.08～0.12mm）。由于配合间隙过大，使机油大量泄漏，造成润滑油压力降低，润滑条件恶化，致使连杆轴瓦和曲轴主轴承轴瓦烧蚀。

（3）故障排除　将凸轮轴轴承镶入气缸体凸轮轴座孔内（在加工凸轮轴座孔时，注意保证各座孔的同轴度）。然后通过刮削凸轮轴轴承，使凸轮轴轴颈与凸轮轴轴承达到正常配合间隙。凸轮轴装入柴油机前，旋转曲轴，使第 1 缸处于上止点位置，并使曲轴齿轮上的正时记号“0”进入凸轮轴齿轮正时记号的两个“0”之间。装前，凸轮轴轴颈和凸轮表面要均匀地涂抹 15W40 润滑油。凸轮轴止推片插到凸轮轴齿轮后面，当止推片装好后应检查凸轮轴的轴向间隙及凸轮轴齿轮齿隙。如果检查发现轴向间隙和齿隙超过规定值，应更换止推片和齿轮。

案例 4：康明斯 C 系列柴油机凸轮轴断裂

（1）故障现象　东风 EQ1290G 型汽车，装康明斯 C 系列 C240—10（6CTA8.3）增压中冷柴油机。在一次重载、高速下坡的过程中由于驾驶员的操作失误，将变速器档位由高速六档直接挂入低速二档，造成柴油机凸轮轴断裂，最后将缸体打了个窟窿，造成缸体和凸轮轴报废。

（2）故障查找分析　这是一起典型的由于驾驶员操作错误引起的缸体被打烂事故。车辆在高速行进时或高速（特别是重载）下坡时，若变速器档位由高速档直接挂入低速档，根据变速器工作机理及车轮与曲轴之间的传动关系可知，车辆自身的巨大惯性作用将反拖柴油机，会使柴油机转速瞬间超过其规定的最高转速（特别是像康明斯 C 系列这样的柴油机，柴油机使用转速不能超过 2600r/min），将在极短时间内造成柴油机损坏。因超速而使柴油机配气凸轮断裂时有发生。而断裂部位多发生在第 2 缸凸轮轴轴颈处，一般凸轮轴断成三截，中间一段在高速旋转的

离心力作用下飞出，将缸体打破。

“超速”时往往还会引起下列故障现象：① 活塞顶部有与进、排气门撞击的痕迹。② 进、排气气门杆表面异常磨损。进、排气门弹簧座出现放射性裂纹，锁块异常磨损或脱落，有时还会造成气门摇臂或摇臂轴折断。推杆弯曲，挺柱损坏。柴油机进入超速状态时，柴油机各机构的运动关系出现异常。如气门弹簧复位的时间相对迟缓，使得气门上升关闭的时间稍晚，但活塞在曲柄连杆机构的带动下快速运动，在到达上止点的一瞬间，撞上了移动相对滞后的进、排气门，使气门头在活塞的撞击下歪曲变形；同时还可能使气门推杆、喷油器推杆弯曲或掉落。③ 曲轴扭力减振器内、外圈原有位置发生改变，阻力橡胶圈高温变形或曲轴扭力减振器发生破裂。④ 严重时，会导致柴油机曲轴瓦和连杆瓦烧瓦。飞轮螺栓断裂、飞轮壳开裂等故障。

案例 5：康明斯 B 系列柴油机气门杆与气门导管配合间隙大导致漏润滑油

（1）故障现象　一台康明斯 6BT 柴油机，修好后出现排气管漏润滑油现象，拆掉排气歧管可以明显看到泄漏的润滑油。

（2）故障查找分析　导致这种故障，一般有几个原因：① 从活塞与缸壁间由活塞环的泵油作用泵上去的，尤其是活塞环对口、活塞环装反时更严重。② 从气门杆与气门导管配合间隙流下去（一般是气门油封损坏或配合间隙过大）。③ 缸垫冲破导致润滑油进入气缸等。

因新修配了活塞、气缸，活塞环装配时环口和方向都按要求认真处置，而气缸垫则是新换的。因此需要重点查实第二种情况。仔细拆检了缸盖，发现气门杆油封座内、外圈不同心，致使套上气门杆油封后有“月牙形”的缝隙。检查气门导管与气门杆的配合间隙（一般可采用如图 3-21 所示方法进行），因现场缺少测量工具，目测和手感法测量又都不准确，于是采取试验法。设法堵塞排润滑油最严重的气缸气门摇臂机构的润滑油入口，发现该缸排机油现象明显减轻。这就证实了润滑油是因气门杆油封安装不当，同时，由于气门杆与气门导管配合间隙过大而从气门导管与气门杆之间的间隙流下去的。

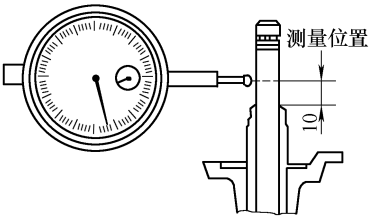


图 3-21　测量气门杆与气门导管孔的配合间隙

（3）故障排除　换上合格的缸盖后，排气管漏润滑油故障排除。

也可采用镶气门导管的方式进行。康明斯 B 系列柴油机出厂的缸盖是不镶气门导管的，但修理时可镶。

先将需修理的气门导管孔孔径加工到 $\phi14 \pm \phi0.013$mm，如图 3-22 所示。

然后将维修用气门导管压入该孔中，气门导管压入后应高于缸盖凸缘 11.25 ~ 11.75mm，如图 3-23 所示，对新压入的气门导管绞孔加工至 $\phi8.029 \pm \phi0.01$mm，粗糙度为 $Ra1.6$，同时，导管中心必须保证与阀座锥面中心同心。

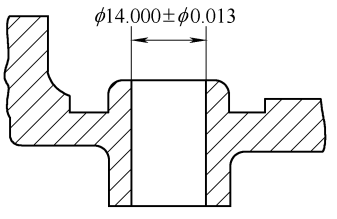


图 3-22　气门导管孔尺寸

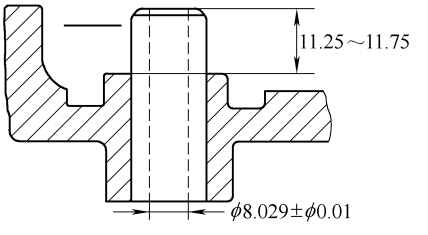


图 3-23　气门导管压入后尺寸

案例 6：康明斯 N 系列柴油机气门导管漏机油

（1）故障现象　一台黄河 T180 型推土机配装康明斯 NH20—C1 型柴油机，工作过程中出现过热和机油消耗过快的故障。

起动柴油机，发现在稳定运转时排气管冒蓝烟，加速时冒黑烟。为了判断冒蓝烟的原因，拆下空气滤芯直接起动，发现排气管排烟现象并未发生变化，说明排气管冒蓝烟及黑烟现象不是由于进气不充分引起的。初步判断柴油机存在烧机油现象。

（2）故障查找分析　考虑到该推土机已经使用较长时间，可能是由于缸套磨损过多或活塞环损坏引起烧润滑油。因此拆下柴油机缸盖，发现活塞顶部有未燃烧完的润滑油，并且燃烧室内积炭较多。转动曲轴，观察缸壁磨损情况，磨损并不严重。继续拆下油底壳，抽出活塞，检查活塞环槽、活塞裙部及活塞环的状况，没有发现异常（活塞环完好，弹性正常，开口间隙没有超出标准值），活塞环也没有装反。因此排除了燃烧的润滑油是由活塞与缸套间进入燃烧室的可能性。

进一步判断，燃烧的润滑油极有可能是沿气门导管进入燃烧室的。因此拆下缸盖上的进排气门，检查发现气门在导管内上下移动时径向有微量旷动，气门杆和气门尾锥上残留有润滑油。经过测量，发现有的气门导管管径（规定尺寸是 11.56mm）过大。用棉纱将气门导管内壁擦干净，仔细观察，发现气门导管内壁磨损严重，由此可以判断烧润滑油的现象是由于气门导管过度磨损引起的。

气门导管是 3 个月前换装的新品，正常使用不会在这么短的时间内出现问题。上次维修修理工反映，当时换装新气门导管时，有的气门杆穿过气门导管时发紧发涩；修理工用手电钻夹住裹着砂布的磨杆在导管内进行修磨，管径虽磨大了，但损坏了存油的螺纹线。其次是修理工用胎模和铁锤从燃烧室方向打进气门导管时，打进尺寸过大，又反方向修正了气门导管高出气门弹簧底座的标高。因气门导管上端面有倒角（锥面可减少滑油下泄），修正时将倒角砸毛损伤，为了修复损伤部位，又使用刮刀对气门导管口部进行刮削，增大了导管口径，略呈喇叭口。这样造成气门室里的润滑油很容易沿气门导管与气门杆间隙流进燃烧室，造成润滑油消耗异常，排气管排烟不正常。

（3）故障排除　更换了一组新的气门导管。在装配时，使用手锤和胎模镶装导管，敲击的同时应不断地旋转胎模。这样能保证导管镶装不偏斜，气门杆在装配后的导管内上下运动时不发涩，气门落座迅速准确并与气门座接触良好，起到良好的密封作用（最好用专用工具压装，并按规定尺寸铰削内孔，保证合适配合间隙）。装复后试机，排气管排烟和润滑油消耗均正常。

案例 7：康明斯柴油机气门挺柱断裂

（1）故障现象　一辆 EQ1141G2 型载货车，装备康明斯 6BT 型柴油机。该车使用一段时间后，柴油机出现异响，经判断敲击声发自第 1 缸附近。故障出现后经反复调整，未能排除。最近执行一次大型运输任务后，柴油机异响声加大。

（2）故障查找分析　拆除第 1 缸气门室罩盖，卸下气门推杆，发现进气门推杆有微弯现象。接着拆下气缸盖，卸下进、排气门，发现进、排气门及气门座圈有烧蚀现象（出现斑点）。为了进一步检查，打开齿轮室盖，拆下凸轮轴。在卸下凸轮轴时，发现其上方的进气门挺柱底部断裂成几块并已磨圆，同时凸轮轴第 1 道凸轮已被磨成浅沟状。查看气缸体，无损坏现象。

经调查，驾驶员在调整气门间隙时，将气门间隙调整过小。由于气门间隙调整过小，当配气机构工作时，机件的热胀冷缩导致气门杆端处无间隙或形成负间隙，使配气机构零件的受力明显增大，从而导致气门挺柱断裂，气门推杆弯曲。当气门挺柱断裂后，由于柴油机仍继续工作，使凸轮轴上的凸轮被磨出浅沟槽。由于第 1 缸气门间隙过小，导致气门关闭不严，气门漏气造成高

温燃气烧蚀气门及气门座圈，产生斑点。

（3）故障排除　更换柴油机凸轮轴，更换第 1 缸气门挺柱、推杆及进、排气门，对气门座圈进行铰削研磨。装复调整后，故障现象消失。

案例 8：气门间隙过大引起的柴油机工作无力

（1）故障现象　一辆东风 EQ2102 型越野车，采用康明斯 6BT 型柴油机，出现行驶无力，同时伴有“嘭嘭”的响声，功率明显下降。

（2）故障查找分析　起动柴油机进行检查，在原地能够听到“嘭嘭”的响声（非金属敲击声）。进行路试，车辆行驶无力。打开机舱盖进行检查，在空气滤清器处响声特别明显。用手捂住空气滤清器进气口，响声明显减弱，但却出现了“嗒嗒”声。对气门进行检查，发现各缸气门间隙普遍过大，进气门达到了 0.45mm 左右，而排气门在 0.7mm 左右，大大超出了原标准（进气门标准间隙为：0.25mm ± 0.05mm，排气门标准间隙为 0.5mm ± 0.05mm）。

该车出现故障的原因是在柴油机更换缸垫后，没有按标准调整气门间隙，使气门间隙偏大。而热车时也没有进行复查，致使柴油机使用一段时间后气门间隙变得更大，造成气门开启过迟，导致排气冲程时废气不能彻底排出，废气压力高，进气冲程时气缸内的废气进入进气管，而产生“嘭嘭”的气流撞击声。故障导致柴油机充气不足、排气不畅，车辆行驶无力。

（3）故障排除　按照规定重新调整气门间隙。装复气门室盖后试车，“嘭嘭”的响声消失，柴油机功率也恢复了正常。热车后又对气门间隙进行了复查，车辆使用中再无异常声响。

第四章　进排气系统构造及故障分析

第一节　进排气系统的组成

康明斯柴油机进气系统的组成是根据发动机的进气方式不同而定的。排气系统则大致相同。

1）自然吸气式进气系统：由空气滤清器、进气管、进气歧管及进气门组成。自然吸气是靠气缸内活塞下行时产生的真空度将空气吸入的。

2）增压式进气系统（见图 4-1）：它是利用排出的废气驱动涡轮，涡轮再带动离心式压缩机来提高进气压力，并通过中冷器冷却增大空气的密度后进入气缸。主要由空气滤清器、废气涡轮增压器、中冷器、进排气歧管及消声器等部件组成。气体在其内部流动的过程是：空气→空气滤清器→涡轮增压器压气机→中间冷却器→进气歧管→气缸→排气歧管→废气涡轮→排气管→消声器→废气。

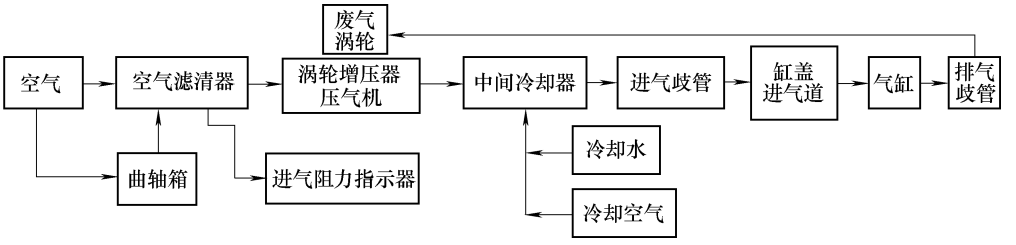


图 4-1　柴油机增压式进气系统

康明斯 B 系列柴油机进排气系统的主要零部件构成如图 4-2 所示。

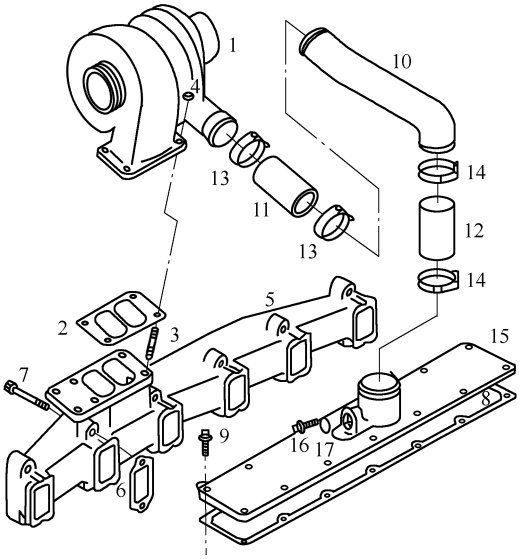


图 4-2　康明斯 B 系列进排气系统的主要零部件构成

1—增压器总成　2—增压器密封垫　3—等长双头螺栓　4—螺母　5—排气歧管　6—排气管垫　7、9、16—螺栓　8—进气管盖密封垫　10—进气过渡管　11、12—直软管　13、14—双钢丝式卡箍　15—进气管盖总成　17—密封垫圈

第二节 空气滤清器及进、排气装置

一、空气滤清器

进气系统中主要组件是空气滤清器（空滤器）。空气中含有一定量的尘土，尘土含量决定于地点、气候及土壤等条件。若空气滤清器失效或维护保养操作不当，致使灰尘经空气进气系统吸入气缸内，与润滑油混合在一起，形成破坏性极大的研磨剂，会造成气缸、活塞、活塞环、气门及气门座等部件的严重磨损，使柴油机寿命大大缩短，严重时还会引起柴油机活塞、轴瓦和气缸损伤等故障。

空滤器所用的滤清方法有三种：

1）惯性法：由于空气中所含尘土及杂质的密度较空气大，当气缸吸气时，引导空气流在滤清器中急剧旋转；由于离心力作用，使较重的尘土及杂质自动地从空气中甩出或被分离出来。

2）油浴法：使高速空气流通过油液表层进行清洗滤清。

3）过滤法：引导气流通过滤芯，使尘土及杂质被阻隔和粘附在滤芯上。经过油浴的空气再过滤称为湿过滤；不经油浴的干空气过滤称为干过滤。

康明斯柴油机上采用的空滤器有干式空滤器、重型干式空滤器（单芯和双芯）、筒式空滤器及复合干式空滤器等。一般采用干式双芯空滤器，外滤芯为纸质滤芯，内滤芯为安全滤芯。这种滤清器具有效率高、质量小、成本低、结构简单、维护方便等优点。

康明斯柴油机上带安全滤芯的二级叶片环旋流干式空滤器如图 4-3 所示。进入总成的空气流经过旋流叶片环时，产生强烈的旋流，使空气中较大的灰尘粒子在离心力的作用下被甩入滤清器端盖积灰盘内，并通过集尘排尘袋（俗称鸭嘴）自动排出滤清器外。这是第一级过滤亦称粗滤，其过滤效率达 75% ~80%。经过粗滤的空气，再经主滤芯过滤，然后通过安全滤芯进入柴油机。主滤芯是由经过树脂处理的微孔滤纸折棱后均匀排列成圆柱形并加上内、外金属网罩组成。金属网罩的作用是防止滤纸在使用和保养时被吸扁或局部碰扁等意外损坏。滤芯一旦破损，会形成“短路”，失去过滤效果。因此，绝不允许使用已破损的主滤芯。主滤芯的过滤效率应在 99.5% 以上。安全滤芯也是由滤芯加内、外金属网罩组成，滤芯的材料为滤纸或细孔高级毛毡。安全滤芯的作用是吸收壳体内可能因一级滤芯损伤或安装错误而未被一级滤芯过滤的灰尘。

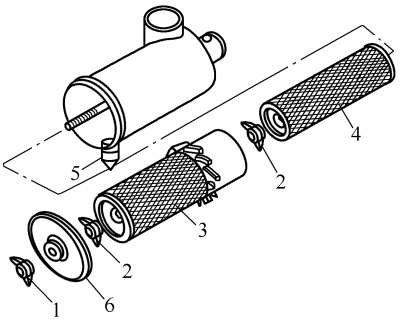


图 4-3 康明斯柴油机上的空滤器
1、2—碟形螺母 3—主滤芯 4—安全滤芯
5—集尘排尘袋 6—端盖

二、进排气管

进、排气管的作用是将新鲜空气分别送到柴油机各个气缸并导出各缸的废气，使之经排气消声器排出。进、排气管通常用铸铁制成。进、排气管应具有较小的流通阻力，以减少吸气和排气损失，并应尽可能地将进气均匀地分配到各气缸中。

康明斯增压柴油机在进气管上安装有空气阻力指示器（空滤堵塞报警器），当空滤器堵塞到一定程度时，提示对空滤器滤芯进行保养或更换。该指示器有机械式、真空感应式两种形式。当滤芯被灰尘和油污阻塞时，机械式阻力指示器窗口中的红色标记逐渐升高，更换或装回滤芯后，

按下复位按钮使指示器复原。真空感应式阻力指示器实际上是一个压力开关，自然吸气式柴油机在额定转速时，当进气真空度达到 5 ± 0. 5kPa 时，报警器会提示保养滤芯，因此可将指示器接头放在口里吸气以试验该装置好坏。涡轮增压式柴油机在满负荷时进气真空度不得超过 6. 1kPa。

要十分注意空滤器出口至柴油机增压器进气口管路的密封性，一旦密封不严，脏空气就会吸入柴油机，空滤器也就失去了作用。因此，在保养空滤器时，应检查这一管路的可靠密封，即胶管有无老化破裂，胶管与钢管连接处的卡箍是否失效或振松，有问题应及时更换或拧紧。

康明斯柴油机使用的是“脉动式”排气歧管并带有一个由多段组成的涡轮增压器入口管段（排气歧管出口）（见图 4-2）。康明斯 6BT 柴油机脉冲式废气涡轮增压器的管路结构如图 4-4 所示。6BT 柴油机各缸工作顺序为 1—5—3—6—2—4，将 1、2、3 缸的排气道和 4、5、6 缸排气道分别连接在两根排气歧管上，再分别引入涡轮机壳上的两条进气道，这样，各缸排气互不干扰，可以充分利用废气的脉冲能量，并能利用压力高峰后的瞬时真空，以利于排气门关闭时的扫气，也可防止某缸排气压力波高峰倒流到正在吸气的另一缸中去。为了使零件具有一致性，自然吸气式柴油机使用了相同的排气歧管。

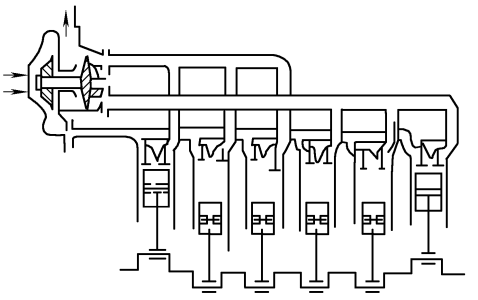


图 4-4　脉冲式废气涡轮增压器的管路结构

排气管末端装有消声器，用来减小排气时的响声和消除废气中的火星。因为压力较高的废气在排入大气时，会产生强烈的排气噪声。典型的排气消声器的工作原理为：当废气经过消声器时，会多次穿过其中的小孔，改变方向，得到膨胀和冷却，结果废气压力和温度都得到降低，振动减轻，排气噪声显著变小。

第三节　废气涡轮增压系统

在康明斯柴油机型号中，凡有“T”字母的都表示该型号柴油机配装了废气涡轮增压器。康明斯柴油机所用废气涡轮增压器虽然型号不同，但基本结构相似。涡轮一端安装在排气歧管的凸缘上，空气压缩机一端安装在进气歧管上。

康明斯 6BT 柴油机所用废气涡轮增压器为 HIC8253AFE18DA11，而 N 系列、K 系列柴油机所用废气涡轮增压器包括 T－18A 型、T－50 型、VT－50 型、ST－50 型等。

一、废气涡轮增压器的工作原理

如图 4-5 所示，废气涡轮增压器由压气机 1 和涡轮 2 两个基本部分组成。涡轮 2 的进气口与柴油机的排气口相连接，压气机 1 的出气口与柴油机的进气口相连接。柴油机排出的 600～800℃高温并有一定压力的废气，经排气管进入涡轮增压器废气涡轮，使废气叶轮高速转动。废气叶轮的转速随废气的温度、压力的增加而增加，在额定工况时废气叶轮转速可达 110 000r/min。由于压气机叶轮与废气叶轮同轴，所以转速与废气叶轮同步，高速旋转的压气机叶轮将来自空气滤清器过滤后的空气吸入压气机壳，使空气的流速降低，压力、温度升高，向柴油机提供较高的进气压力，从而提高了进气压力和密

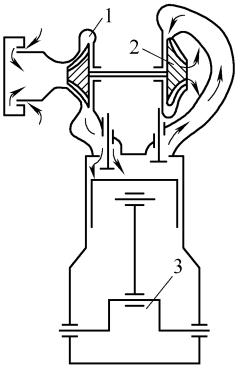


图 4-5　废气涡轮增压器
1—压气机　2—涡轮　3—曲轴

度，增加了充气量，提高了柴油机功率。由上述可知，废气涡轮增压器是利用柴油机排出的废气驱动的，与柴油机之间无任何机械传动关系。

二、废气涡轮增压器构造

实际的废气涡轮增压器主要由涡轮、压气机和中间体组成。图 4-6 所示为 HIC 径流式废气涡轮增压器的结构，增压器轮轴总成 8 通过两个浮动轴套 9 支承在中间体内。中间体内有润滑和冷却的油道，还有防止润滑油漏入压气机或涡轮中的密封装置等。径流式向心涡轮燃气的流动方向是近似沿径向由叶轮轮缘向中心流动，在叶轮出口处转为轴向流出。径流式向心涡轮有较大的单级膨胀比，因此结构紧凑，质量、体积小，在小流量范围涡轮效率较高，且叶轮强度好，能承受很高的转速。在中、小型涡轮增压器上应用广泛。

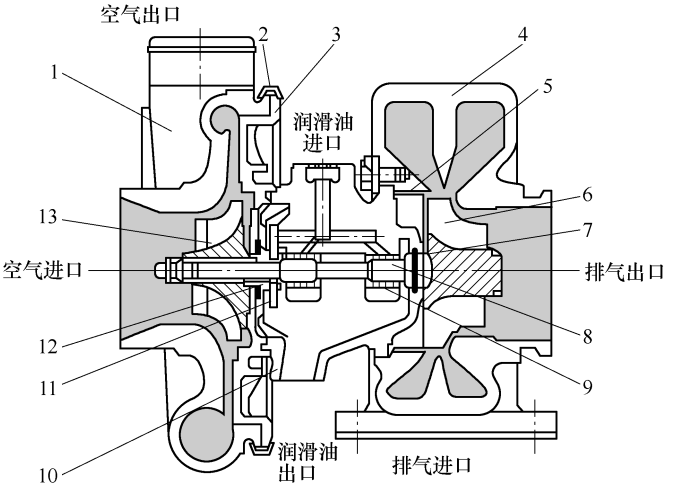


图 4-6 HIC 径流式废气涡轮增压器的结构

1—压气机壳 2—V 形卡箍 3—无叶式扩压器 4—涡轮壳 5—隔热罩 6—涡轮 7—涡轮端密封环 8—轮轴总成 9—浮动轴套 10—中间体 11—推力轴承 12—压气机端密封环 13—压气机叶轮

1. 离心压气机

离心压气机由进气道、压气机叶轮、扩压器及压气机壳等组成。压气机叶轮包括叶片和轮毂，并由增压器轮轴总成带动旋转。

如图 4-7 所示当压气机旋转时，空气经进气道 1 进入压气机叶轮 2，并在离心力的作用下沿着压气机叶片 3 之间形成的流道，从叶轮中心流向叶轮的周边。压气机叶片 3 为径向叶片，叶片前端弯成一定角度，便于把空气引入叶轮。空气从旋转的叶轮获得能量，使其流速、压力和温度均有较大的增高，然后进入叶片式扩压器 4。扩压器是一个流通断面逐渐增大的通道，

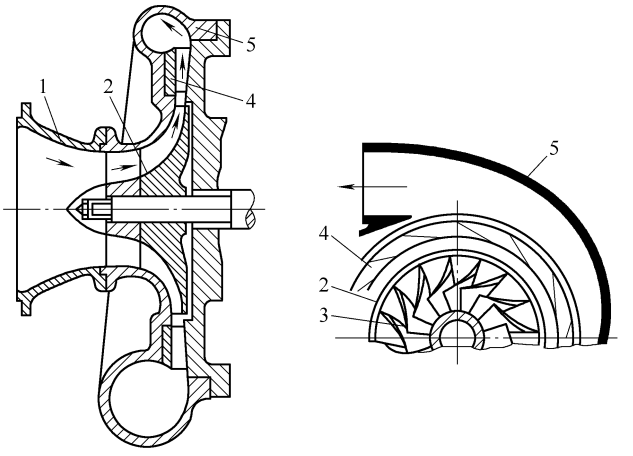


图 4-7 离心压气机

1—进气道 2—叶轮 3—压气机叶片 4—叶片式扩压器 5—压气机壳

气流进入扩压器后，速度降低，压力、温度升高，空气在扩压器中得到的动能，部分地在此转变为压力能。扩压器分叶片式和无叶式两种。无叶式扩压器实际上是由压气机壳和中间体侧壁所形成的环形空间（见图 4-6），叶片式扩压器是由相邻叶片构成的流道。

压气机壳的作用是收集从扩压器中流出的空气，并将其引向压气机出口。空气在压气机壳中继续减速增压，完成其由动能向压力能转变的过程。压气机叶轮由铝合金精密铸造，压气机壳也用铝合金铸造。

2. 径流式涡轮

涡轮机是将柴油机排气的能量转变为机械功的装置。径流式涡轮由涡轮壳、叶片式喷管、叶轮和出气道等组成（见图 4-8）。涡轮壳 4 的进口与柴油机的排气管相连，柴油机排气经蜗壳引导进入叶片式喷管 3。喷管是由相邻叶片构成的减缩形流道。排气流过喷管时降压、降温、增速、膨胀，使排气的压力能转变为动能。由喷管流出的高速气流冲击叶轮 1，并在叶片 2 所形成的流道中继续膨胀做功，推动叶轮旋转。与压气机的扩压器类似，涡轮的喷管也有叶片式和无叶式之分。

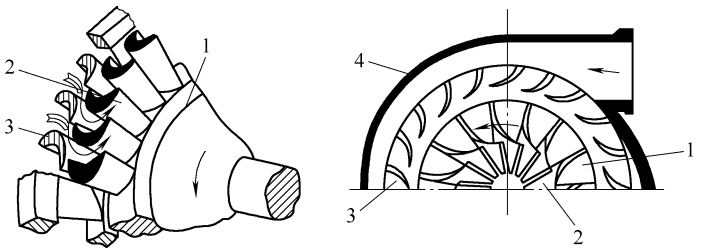


图 4-8　径流式涡轮
1—叶轮　2—叶片　3—叶片式喷管　4—涡轮壳

径流式向心涡轮的涡轮壳，按通道可分为单通道、双通道和三通道三种。近年来，双通道 360°全周进气无叶喷管涡轮壳（见图 4-9）在脉冲增压中使用较为普遍，其进气道的截面形状分为圆形、梨形、矩形、梯形等形状。其中梨形涡轮壳径向尺寸较大，效率高，在小型涡轮增压器上应用较多。如图 4-2，图 4-4 所示为与此类型涡轮机连接的排气管路结构。

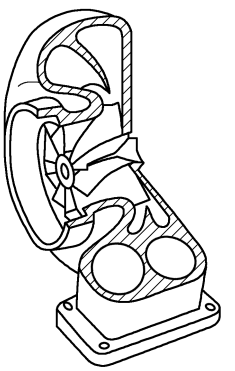


图 4-9　双通道 360°
全周进气无叶喷管涡轮壳

涡轮机叶轮经常在 900℃高温的排气冲击下工作，并承受巨大的离心力作用，所以采用镍基耐热合金钢和陶瓷材料制造。喷管叶片用耐热和耐腐蚀的合金铸钢铸造或机械加工成形。涡轮壳用耐热合金铸铁铸造，内表面应该光洁，以减少气体流动损失。

3. 轴承、润滑、密封及隔热

涡轮机叶轮、压气机叶轮和密封垫等零件安装在增压器轴上，构成涡轮增压器转子，增压器转子转速高达 10 万 ~ 20 万 r/min，因此必须经过动平衡检验、调整。

增压器轴承的结构是涡轮增压器可靠性的关键之一。康明斯柴油机涡轮增压器都采用浮动轴套。由于增压器转速很高，如果采用其他滑动轴承，则轴表面与轴承内表面间的滑动速度相当高，轴承极易磨损。采用浮动轴套（见图 4-10）时，浮动轴套 2 安装在轴承座 3 内，而转动的轴 1 支承在浮动轴套内做高速旋转。浮动轴套实际上是套在轴上的圆环，圆环浮在轴与轴承座之

间。浮动轴套与轴及浮动轴套与轴承座之间都有间隙，具有压力的润滑油从轴承座上部的油孔进入轴承内、外间隙。在柴油机运转过程中，轴承的内、外间隙中均形成油膜，起着支承的作用。一般内层间隙为 0.05mm 左右，外层间隙大约为 0.1mm。浮动轴套壁厚约 3～4.5mm，用锡青铜制造，轴承表面镀一层厚度约为 0.005～0.008mm 的铅锡合金或金属铟。

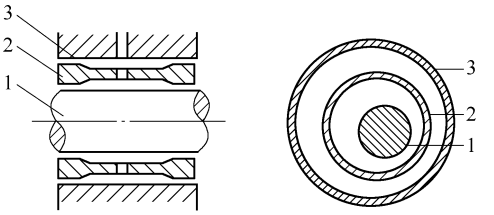
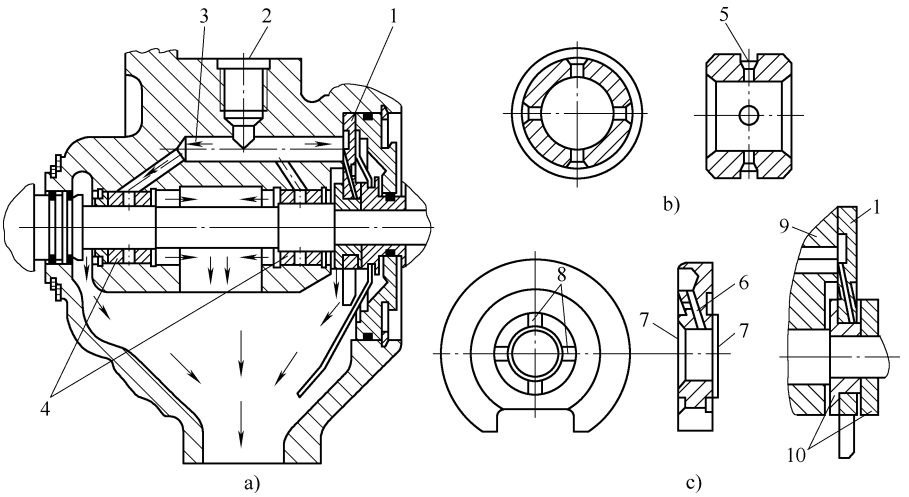


图 4-10 浮动轴套
1—转轴 2—浮动轴套 3—轴承座

浮动轴套分全浮动轴套和半浮动轴套。增压器工作时，全浮动轴套在轴与轴承座中间转动，但其转速却比转子轴低得多，从而使轴承相对轴套座孔和转子轴的相对线速度大幅度下降。由于有双层油膜，故可以双层冷却，改善工作环境。由此可知，全浮动轴套具有高速轻载、工作可靠等优点。而半浮动轴套则不转动，此时轴承常采用整体浮动套，其一端为方形结构。研究表明，在同样的情况下，半浮动轴套的机械损失小于全浮动轴套。康明斯柴油机用 VT－50 型和 ST－50 型增压器即采用半浮动轴套。浮动轴套与普通滑动轴承相比，具有温度低、摩擦消耗少、工作可靠、抗振性好及拆装维修方便等优点。

增压器工作时会产生轴向推力，由设置在压气机一侧的推力轴承承受。推力轴承采用具有良好储油性能的粉末冶金制成，设置在压气机端是因此处温度较低。

对于径流式涡轮增压器，作用在压气机叶轮上的轴向力和作用在涡轮叶轮上的轴向力方向相反，合力较小，多采用较简单的推力轴承装置（见图 4-11c），推力轴承安装在壳体上不动，两个推力片装合后形成环槽（或直接在密封套上加工出止推面，密封套见图 4-12），安装在轴上随轴旋转，推力轴承跨在两推力片形成的环槽中实现涡轮轴轴向限位。推力轴承内部有油孔，两端面有油楔，与推力片之间形成润滑油膜。



圈 4-11 涡轮增压器轴承及其润滑
a）润滑油道 b）浮动轴套结构 c）推力轴承结构
1—推力轴承 2—润滑油入口 3、6—润滑油道 4—浮动轴套
5—进油孔 7—止推面 8—布油槽 9—中间体 10—推力杆

润滑不良将损坏轴承从而导致涡轮增压器失效。径流式涡轮增压器由于涡轮工作轮处于高温气体中，一部分热量从工作轮经过转轴传给轴承，因此必须供给大量的润滑油，对轴承进行润滑

和冷却。为了能够形成油膜，一般都采用压力润滑方式，并与柴油机共用润滑系统。如图 4-11a 所示，润滑油进入涡轮增压器中间体上方的进油口，然后分别润滑各轴承。对于浮动轴套，润滑油是沿径向从中间部位流入，沿轴向从两端面排出；对于推力轴承，润滑油从推力轴承上部的油孔进入，沿内部的油孔进到润滑部位，然后排出。排出的润滑油经中间体回油孔回到柴油机的油底壳。

涡轮增压器的密封装置起气封和油封两种作用。气封防止压气机的压缩空气与涡轮的燃气进入润滑油腔；油封防止轴承处润滑油漏入涡轮增压器气流通道。良好的密封装置是涡轮增压器可靠工作不可缺少的组成部分。

在小型径流式涡轮增压器中，由于结构紧凑，不利于安排复杂的密封，常采用密封环密封（活塞环式密封环最为广泛），并辅以甩油盘和挡油板相结合的密封装置（见图 4-12）。密封环密封是将数个密封环分别安装在涡轮端和压气机端的密封套环槽内，活塞环式密封环的外径在自由状态下稍大于座体上内孔直径，密封环靠弹性压紧在座体孔内壁。工作时，密封套随转子轴旋转，而密封环不转，密封环在两端压力差作用下紧靠在密封套环槽的一个端而上，从而起端面密封作用。密封套的内部常做成甩油盘形式，靠旋转离心力甩掉粘附在轴上的润滑油，避免其流到密封环处。挡油板一般设在压气机端，避免油腔内的润滑油溅到密封环处。

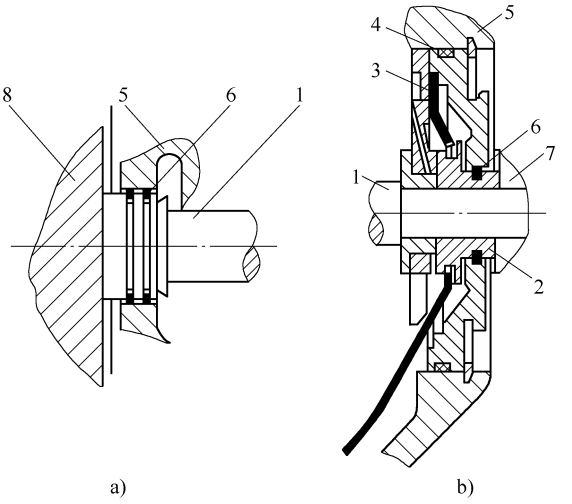


图 4-12　密封环式密封结构

a）涡轮端密封结构　b）压气机端密封结构

1—轴　2—密封套　3—挡油扳　4—O 形橡胶密封圈

5—中间体　6—活塞环式密封环　7—压气机叶轮　8—涡轮叶轮

活塞环式密封环多为铸铁材料，其特点是工作圆周速度高，机械损失小。此种铸铁密封环在通常情况下能保证有效的密封，故目前在涡轮增压器上得到了广泛的应用。为了改善耐磨性能，铸铁密封环端面也有采用二硫化钼处理的。

由于涡轮端的热量会传到压气机端及轴承处，不仅会使压气机内的压缩空气温度上升而降低压气机效率，而且还使轴承的工作可靠性受到威胁。因此，需要采取隔热措施。径流式涡轮增压器多采用在中间体的涡轮一侧留有气室隔热，或同时兼有隔热板或隔热罩（见图 4-6）。

4. 旁通阀

旁通涡轮增压器即带有旁通阀的涡轮增压器。

柴油机在高速高负荷运转时，排气流量大，因而排气能量大，使得涡轮增压器的转速较高，增压压力也高。但柴油机低速运转时，即使增加负荷，废气流量也不大，因而出现了增压空气压力低，柴油机转矩增量过小的缺点。作为改善的方法，可用小容量的涡轮增压器和柴油机的中速匹配，以提高柴油机中速时的转矩。然而，这又将产生柴油机高速高负荷时增压过高、增压器转速过大的问题。为此可采用如图 4-13 所示的排气旁通阀。即在高速高负荷时，旁通阀打开，放掉一部分废气，以降低增压器转速，控制压缩比。

从图 4-13 可知，旁通阀 3 由曲柄 6 驱使转动，并通过推杆 5 与执行器 4（用支架 7 固定在增

压器壳体上）中弹簧的一端相连，执行器 4 的另一端则通过软管 8 与压气机出口相通。当旁通阀处于关闭状态时，执行器中的弹簧具有一定的预紧力。

当增压压力达到一定程度，足以克服弹簧预紧力时，增压压力的作用力将通过推杆、曲柄使旁通阀打开，使进入涡轮的部分废气由旁通通道流入总排气管，从而减少进入涡轮机的废气，减低涡轮机能量，涡轮增压器的转速和增压压力随之下降。

旁通阀在工作时一直处于高温废气的包围中。因此，它采用耐高温材料制成。

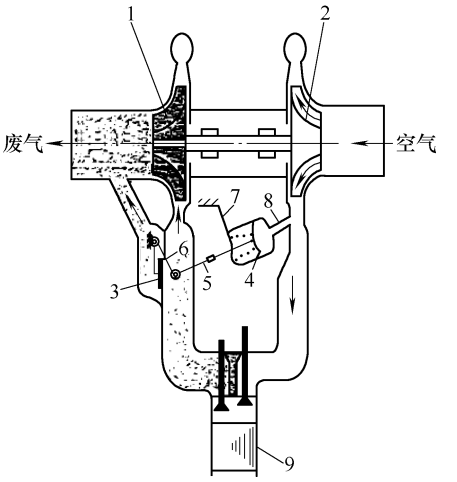


图 4-13 旁通式涡轮增压器
1—涡轮 2—压气机 3—旁通阀
4—执行器 5—推杆 6—曲柄
7—支架 8—软管 9—发动机活塞

三、空气中间冷却器

康明斯柴油机型号中“T”字母后有“A”字母的，均表示该型号柴油机的增压器带有空气中间冷却器。

空气中间冷却器，是将增压后的空气在进入气缸前进行中间冷却的装置，简称中冷器。增压柴油机采用中冷器后，进入气缸的空气温度降低，密度增加，从而增加进气量，可以大大提高柴油机的功率并改善其经济性和热负荷。

中冷器的冷却介质有水、机油和空气。与此相应的有水对空中冷系统（见图 4-14）、油对空中冷系统、空对空中冷系统（见图 4-15，利用冷却风扇吸进的环境空气冷却）三种类型。

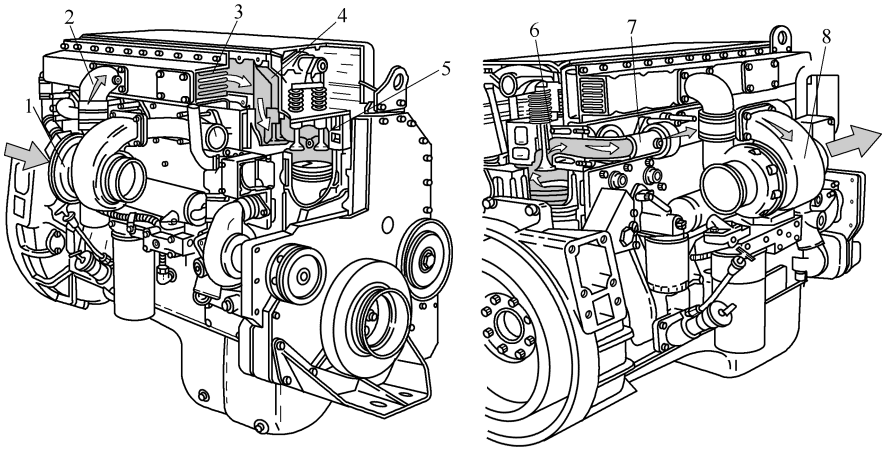


图 4-14 水对空中冷系统
1—压气机 2—进气管 3—中冷器 4—进气道
5—进气门 6—排气门 7—排气管 8—涡轮

康明斯柴油机所用的一种水对空中冷器如图 4-16 所示。它由中冷器壳及中冷器芯 4 等组成。中冷器壳由铝板模压而成，中冷器壳分为中冷器盖 7 和中冷器体 1 两部分。中冷器盖通过进气接管与压气机相连，中冷器还将进气歧管与气缸盖进气口相连。中冷器芯由铜合金管组成。柴油机冷却水从中冷器后端的进水接头进入中冷器芯 4 中铜管外壁，然后由前端出水接头 9

流向节温器。空气由压气机压送到中冷器，流过中冷器芯内部受到冷却水的冷却，降温后再进入气缸。

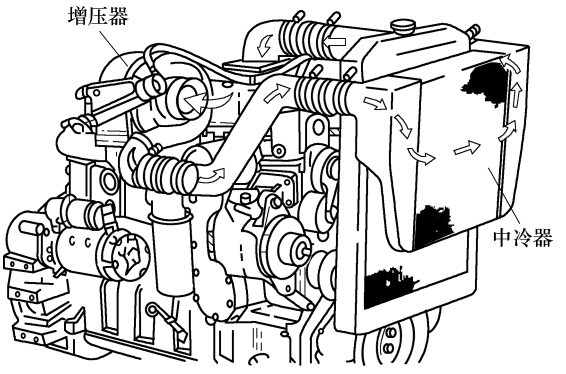


图 4-15　空对空中冷系统

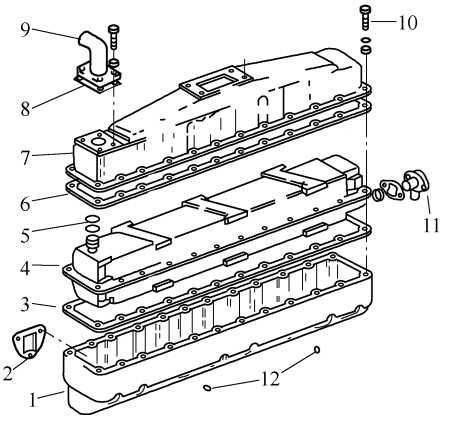


图 4-16　水对空中冷器分解图

1—中冷器体　2—进气歧管垫片　3—垫片　4—中冷器芯　5—O 形密封圈　6—中冷器盖垫片　7—中冷器盖　8—垫片　9—出水接头　10—螺钉　11—进水接头　12—螺塞

四、康明斯 HIC 涡轮增压器总成

1. 结构特点

康明斯 6BT 柴油机所用 HIC 增压器总成如图 4-6 所示，增压器主要由装在同一轴上的涡轮 6、压气机叶轮 13、轴承系统、压气机壳 1、涡轮壳 4、密封装置和润滑系统等组成。压气机叶轮 13 的叶片为前倾后弯式，以提高压气机效率。压气机叶轮最大外径为 82mm，压气机壳进气口直径为 76mm。涡轮壳为无叶喷嘴双通道径流式，它的截面面积为 18.5cm^2。涡轮和轴焊接在一起。压气机叶轮套装在涡轮轴上，用锁紧螺母紧固轴承系统采用全浮动轴套，和具有良好储油性能的粉末冶金推力轴承，两端均采用活塞环式密封环。

压气机壳和中间体、涡轮壳和中间体之间均可以旋转，并用 V 型卡箍 2 或压板固定于任何一个角度，即压气机出口和涡轮壳进口的方向可任意调整以满足不同的安装需要。

2. 维修和使用

1）平衡要求。涡轮转子总成在增压器中是一个高速旋转的重要零部件，这个总成在柴油机额定工况时，转速将超过 100 000r/min。为了经受高速旋转，涡轮轴及压气机叶轮在装配之前要由生产厂进行零件的平衡检验，这些零件的端头部留有平衡减重磨削的痕迹。经平衡合格的零件装配成总成后，还必须进行总成的动平衡检验，达到合格标准。对总成中的涡轮轴、叶轮、止推套等都打上了相对应平衡时的安装位置标记，修理装复时应使标记对应，以保证总成在修复后仍能达到平衡的精度要求。

增压器总成中，压气机叶轮-涡轮必须成组更换，以免破坏运动组件的平衡。

2）涡轮转子总成间隙检查。在增压器的空气扩压器进气口一端，检查静态时涡轮转子总成的轴向、径向摆动间隙。

轴向间隙值 0.026～0.076mm，径向间隙值 0.30～0.46mm。

涡轮轴不允许磕碰并要保持清洁。

3）涡轮轴与轴承磨损检查。涡轮轴与轴承配合轴颈磨损后，极限值为 ϕ10.97mm。

4）涡轮轴、压气机叶轮是精密铸造成形零件，叶片的曲线形状都是精心设计并加工成特殊形状，拆装时不允许磕碰，不得改变曲线形状，以免影响修复后的性能。

5）涡轮增压器各摩擦副润滑油膜的形成对它正常工作非常重要。安装一个新的或修复的涡轮增压器时，要对它预润滑，用一小杯与柴油机同一级别的润滑油，从增压器上端的润滑油口缓慢倒入，随之用手拨转增压器转子，润滑油就能逐渐进入各润滑部位。

6）柴油机工作时，有一部分润滑油供给涡轮增压器转子轴承润滑和用于冷却。正在运行的柴油机停机后，润滑油的输送停止，润滑油压力迅速下降为零，增压器涡轮部分的高温传到中间轴承支承内的热量不能迅速带走。因此，柴油机热机状态下立即停机会引起涡轮增压器内部滞留的润滑油过热，损坏轴承和轴。

柴油机大负荷、长时间运行后，停机之前，要低速运行 3～5min。

7）拆卸增压器时，要保持清洁，各接头一定要用清洁的布堵塞好，防止污物、金属屑、铁环掉入腔内。重新装复完毕，取出堵塞物。

8）6BT 柴油机装用废气涡轮增压器，有效转速范围在柴油机 1600r/min 至额定转速范围内。也就是柴油机只有在这个转速区域内，才能发挥最佳效能。

第四节　进、排气系统故障分析

一、废气涡轮增压系统故障的主要原因

1. 涡轮增压器两端漏润滑油

从理论上讲，以正常压力进入中间体的润滑油在通过轴承工作面后油压已变为零，只是靠重力自然向下流回柴油机的油底壳。在正常工作状态下，增压器两端叶轮的轮背处都有一定的气体压力，因此润滑油是不会从低压力区向高压力区流动。密封环的主要作用是封住压气机和涡轮壳内的气体向中间体油腔泄漏，只有在特殊情况下才起密封润滑油的作用。但如果使用不当，仍可能造成增压器漏油。

应注意有些漏润滑油现象并非增压器故障所引起，如活塞环窜润滑油、气门导管漏润滑油等。

（1）压气机端漏润滑油

1）故障现象：①柴油机工作时烧润滑油、排烟呈蓝色、动力下降不明显。打开压气机出气口或柴油机进气直管（橡胶软管），可以看到管口、管壁上粘附着一些润滑油。②柴油机工作时烧润滑油、烟度大、动力下降，在进气直软管壁内有润滑油。烧机油造成柴油机燃烧室严重积炭，损坏喷油嘴。

2）故障原因。

第一种现象多由下列两种原因引起：①密封环、甩油环或轴承损坏。若长期不更换润滑油，润滑油中的杂质将使密封环和轴承磨损变薄，逐步失去封气、封油和节流作用而导致漏油。轴承磨损会导致转动失稳而破坏密封环。②涡轮增压器下部的回油管受阻，润滑油回油不畅通，中间体内润滑油压力过高，压迫润滑油沿着转子轴向两端流动挤出密封环造成漏油。使用中如果润滑油的回油管路发生变形或堵塞，回油管未能尽量保持垂直，或柴油机曲轴箱压力过高，均会导致回油不畅。

第二种现象的故障原因是：在空气被涡轮增压器吸入过程中，气流遇到较大阻力，压气机进气负压太高，将润滑油吸进压气机，随压缩空气一起进入燃烧室内燃烧。产生的原因包括空气滤清器堵塞、压气机或中冷器积污、柴油机长时间怠速或低速低负荷运转等。

3）排除方法：①拆检涡轮增压器，及时更换损坏的密封环、甩油环或轴承。②检查进气管路中的软管是否存在压扁或空气滤清器堵塞的情况，如存在应清洁或更换空气滤清器滤芯。③拆检回油管，并清洗。

（2）涡轮增压器排气口漏润滑油

1）故障现象。涡轮增压器排气口漏润滑油，柴油机工作时烧润滑油，润滑油消耗量大，但排气烟色正常。打开连接管，涡轮增压器排气口附近有漏润滑油的痕迹。

2）故障原因。涡轮轴密封环磨损损坏。另外，柴油机空燃比不合适、柴油机正时有问题、废气受到节流、柴油机的其他控制系统有问题等都能导致排气温度过高，从而使涡轮端密封处机油炭化，以及涡轮端轴承处局部过热造成密封装置和轴承过早失效。

柴油机长期怠速运转，将使增压器涡轮的轮背处产生一定的负压，导致中间体内的润滑油向外泄漏。

3）排除方法。更换涡轮轴密封环或轴承。应注意不要磕碰涡轮轴并要保持其清洁。

2. 涡轮增压器喘振

（1）故障现象　涡轮增压器在某一转速下工作时，其压气机气流流量受某些因素的影响而减少到一定程度，压气机中的气流便会出现强烈的振荡现象，引起其叶片振动，并在压气机进口处出现喘息的噪声，造成进气压力明显下降，此现象称为压气机喘振。喘振会导致工作不平稳、功率下降、排气冒黑烟等现象。严重时会使压气机损坏。

（2）故障原因

1）进气堵塞。压气机喘振主要是由于进气系统堵塞造成，如空气滤清器滤芯严重阻塞、进气胶管严重老化吸扁、进气管内油污太多阻塞等。由于堵塞，使涡轮增压器在工作过程中向气缸内输送空气量不足，空气压力产生较大的波动，从而造成压气机喘振。

压气机喷嘴环流通通道变形等也会导致喘振。

2）大气温度变化。设有中冷器的增压柴油机在高温环境下运行，或者设有中冷器的增压柴油机在低温下运行时，其压气机都容易发生喘振，这是因为大气温度变化使涡轮增压器的运行线发生变化，不是涡轮增压器本身有问题。

（3）排除方法　检查空气滤清器滤芯，用压缩空气吹扫或更换滤芯，并清洗进气通道或用干净的毛巾擦拭管道内壁。

3. 涡轮增压器发出异响

（1）故障现象　柴油机在工作过程中，涡轮增压器产生杂音，有金属的撞击、摩擦声，或者振动，并常伴随排气冒黑烟、功率下降情况。

增压器正常工作时，涡轮转子高速旋转会产生正常旋转声音，进、排气接口由于连接不好也会产生漏气的声音，应与增压器异响区分开来。

（2）故障原因

1）转子失去平衡。增压器的转子转速很高，所以对转子的静平衡和动平衡要求特别严格，其不平衡度应不大于 0.0015 N·mm。如果转子的叶轮在制造时其不平衡度就超差，或装配不当，造成旋转部件失去平衡，在工作时就会引起振动而发出响声。此外，如果转子的部分叶片损坏（进气系统杂质，排气系统中断裂的排气门、活塞碎片、排气歧管杂物及破裂的密封垫等均会导致叶片破损），灰尘油泥附着也会使旋转部件失去平衡，从而产生异响。

2）磨损的影响。转子总成的径向或轴向摆差大，使涡轮和叶轮叶片与涡轮壳内表面产生摩擦而发出杂音。涡轮增压器的旋转叶轮工作时，是靠轴承支承来保证不与定子刮擦。如果轴承磨损，会使转子轴线与中间体轴线不重合，叶轮易与壳体刮擦而发出异响。另外，涡轮增压器的壳体变形、浮动轴套及止推片磨损严重等，也容易引起叶轮与壳体刮擦而产生异响。

未按说明书使用增压器润滑油、润滑油清洁度太差、缺油干磨合润滑油结焦，都会加速磨损。

（3）排除方法　拆检涡轮增压器，根据情况修理或更换转子总成：观察涡轮增压器外壳有无变形；拆检涡轮增压器，拆下压气机的进气接头，用手在轴向和径向来回扳动叶轮，如果手感松旷很大，或用百分表测量轴向移动量和，径向移动量大于极限值，就可表明是引起叶轮与壳体刮擦而产生异响故障的原因所在。

增压器在拆检、修理后进行装复时，对组成涡轮转子总成的高速旋转零件，应使动平衡标记对应；涡轮轴、压缩机叶轮是精密铸造的成形零件，在安装过程中不允许有磕碰现象，并且要保持清洁。

4. 增压压力下降

（1）故障现象　增压压力的变化对柴油机的性能影响较大，也容易察觉。当增压压力降低时，柴油机的充气量减少，功率下降，耗油增加，排气温度升高。因此，发现增压压力下降10%左右时应停机检查。

（2）故障原因

1）空气滤清器阻塞。空气滤清器滤芯粘满尘土而阻塞，导致进气阻力增加，压气机吸气损失增大，将使增压压力下降。此时，应及时保养空气滤清器。

2）压气机通道脏污。空气滤清器除尘效果欠佳，灰尘和润滑油等粘附在涡轮增压器的叶轮和扩压器的通道上，使气流阻力增加，导致压气机效率及增压压力下降。为防止这种现象，应保持空气滤清器的滤清效果，并定期拆洗压气机。

3）中冷器工作不佳。中冷器流道中有污垢，冷却水流动阻力增加，使进气密度下降，进而使增压压力下降。当中冷器进、出气口的压差大于26.7kPa时，应予以清洗。

4）涡轮机积炭。柴油机燃烧不良以及涡轮增压器密封装置失效而漏油，在涡轮机的叶片上、转轴与密封环等处易形成积炭。其后果是使转子旋转阻力增加、转速下降、柴油机起动困难和加速不良，严重时可使涡轮增压器停止转动，增压压力随之下降。

排除方法是保证柴油机正常燃烧，防止烧润滑油，并定期拆洗涡轮机。

5）压气机或柴油机气缸的密封性能差。外支承式涡轮增压器，当其压气机背面气封损坏或柴油机气缸密封性能下降时，一方面因为燃气泄漏使涡轮转速下降，另一方面因进气泄漏使压气机流量减小，两者均能导致增压压力降低。

排除的方法是更换压气机气封和对柴油机进行保养，恢复气缸的密封性能。

6）涡轮背压过高。压气机排气不畅、排气阻力增大，燃气在涡轮中的膨胀受到一定的抑制，导致涡轮功率降低、增压器转速下降、压气机增压压力降低。造成涡轮背压过高的原因可能是排气管变形或排气消声器阻塞等。应予以拆卸、清洁或更换。

7）喷嘴环工作不良。喷嘴环因长期处于高温下工作，其叶片变形，喷嘴环截面积加大，导致转子的转速和增压压力下降。此时，应更换喷嘴环。

8）增压器旁通阀失灵。增压器旁通阀（增压压力调节阀）中调节弹簧因温度过高而失效，放气阀因积炭而封闭不严等原因使旁通阀失灵，在较低的增压压力时就放掉了较多的燃气，致使增压压力降低。出现这种现象可对旁通阀进行检修。

9）连接处漏气。增压器与柴油机连接处漏气，如进气道胶管破裂、松脱等，使增压压力下降，应予以排除。

10）转子运动卡滞。涡轮增压器的轴承磨损，转子叶轮碰擦壳体，或有杂物阻滞，使增压压力随转子速度的下降而降低。应予以更换轴承。

5. 增压器过热

（1）故障现象　康明斯柴油机的增压器在使用过程中，出现过热甚至烧红的严重故障。

（2）故障原因　康明斯柴油机增压器冷却介质为从柴油机润滑油冷却器出来的润滑油。增压器过热，将使增压器零部件温度过高，严重影响工作寿命，并会影响进气系统正常工作，降低柴油机功率、增大燃油消耗。这种故障的根本原因是吸入的废气能量过大，超过冷却强度，使零部件的温度过高而形成过热。具体原因如下：

1）燃料供给系统故障。压力低、喷油过迟、着火滞后期过长等造成严重的后燃，使废气能量增加，增压压力上升，转子超速，增压器过热。

2）进气不足、排气门漏气或配气相位失准。滤清器堵塞、增压器污脏使转速下降，进、排气门损坏和气门间隙过小，使气门关闭不严，都会使进入气缸供燃烧的空气减少，燃油燃烧不完全等引起排气温度升高。

3）在工作中因磨损、腐蚀、变形、裂纹等损伤，燃油泄漏至缸内，导致参与燃烧的燃油过多；雾化质量较差，部分燃油进入排烟总管或涡轮机内燃烧，使废气能量过大。故障的特征是冷却水、润滑油温度偏高，排气冒黑烟，严重时排烟管内有明显柴油痕迹。

4）大量润滑油参与燃烧通常有两个方面：一是增压器转子轴封装置因磨损、划伤、装配不当等原因失效，润滑油泄漏参与燃烧；二是气缸内润滑油过多，这可能是活塞油环折断，由气缸套下的冷却喷嘴喷出的机油大量进入气缸内造成；也可能是气缸盖裂纹，压力油从润滑油道泄漏至气缸内。严重时，会急剧增加涡轮机的温度而形成过热，甚至烧红。故障特征是增压器外壳、机油温度超过正常温度、排气为蓝烟，严重时排烟管内有明显的润滑油痕迹。

5）冷却质量较差也是引起增压器过热的主要原因。康明斯型柴油机增压器的冷却介质为润滑油，润滑油的热量通过热交换器传给冷却水。因此，造成润滑油冷却不良的主要因素是润滑油压力偏低、冷却水温度过高等。进入增压器的润滑油流量的大小和温度的高低是评价增压器冷却质量的主要指标。通常，康明斯柴油机全负荷工作时，增压器的润滑油压力为 0.35 ~ 0.48MPa，润滑油温度为 100 ~ 116℃。

6）长时间超负荷下工作。

二、进、排气系统及废气涡轮增压系统故障案例分析

案例 1：排气管堵塞导致工作无力

（1）故障现象　一辆装用康明斯 6BT 型柴油机的衡山 HSZ6102 型客车，在较为颠簸的路面上高速行驶中，突然出现了行驶无力故障，且档位越高越严重。

（2）故障查找分析　检查传动系统，挂低档进行车辆起步加速试验，传动系性能正常。检查柴油机进气系统，进气系统清洁通畅。起动柴油机，观察排烟情况，排气烟色尚可，但排气噪声偏大，且声音发闷，类似于排气制动阀起作用时的状况。拆下消声器检查，发现消声器内部一层隔板脱落，堵塞了排气管。

该车经常在颠簸的路面上高速行驶，消声器内部隔板因振动而脱落，并堵塞了排气管的部分气道，使柴油机排气不畅（相当于使用了排气制动），废气不能及时排出，导致柴油机功率下降、行驶无力。

（3）故障排除　对消声器内部隔板进行整形并焊接修复后试车，故障消除。

案例 2：排气制动故障导致自行熄火

（1）故障现象　一辆东风 EQ2102 型汽车，装配的是康明斯 6BT5.9 型柴油机。在行驶途中，柴油机出现动力不足并逐渐熄火现象。再次起动柴油机时，起动不着，等待数分钟后起动，能够着车，但又很快熄火。

（2）故障查找分析　经检查，发现燃油控制截断阀损坏，但更换新品后故障依旧。于是怀疑是废气涡轮增压器损坏导致进气不足或排气不畅。对增压器进行拆检，其各个部件均符合标准，无异常现象。检查排气制动，发现排气制动蝶阀一直处于关闭状态，且气路开关电磁阀不受手动开关控制。

该车排气制动主要由气路开关电磁阀、排气制动阀和操纵气缸等部件组成。排气系统的工作受气路开关电磁阀控制。由于气路开关电磁阀损坏，使排气制动阀上的蝶阀关闭，堵住了排气管，增加了柴油机的排气阻力，迫使柴油机熄火。等待数分钟后又能起动，是因为排气制动阀的蝶阀与阀体间密封不十分严密，排气管内的废气逐渐排出，出现柴油机能够重新起动但又立即熄火的现象。

（3）故障排除　更换气路开关电磁阀后，排气制动蝶阀开、闭自如，柴油机起动正常，故障排除。

案例 3：进气管堵塞导致柴油机低转速冒黑烟

（1）故障现象　一辆东风 EQ1108 型汽车，装配的是康明斯 6BT 型柴油机。该柴油机在起动、怠速和低速运转时，排气管冒黑烟，且运转无力；而柴油机位于中、高速工况时，排烟、动力均较为正常。

（2）故障查找分析　检查柴油机进气系统，空气滤清器清洁通畅，涡轮增压器工作正常，进气道外形完好。检查柴油机燃油供给系统，低、高压油路技术状况正常，各缸喷油器喷射压力及雾化状况良好，供油正时准确。检查各缸压力，均符合要求。拆检进气系统，发现进气橡胶管内脱落了部分橡胶，该橡胶片像“活门”一样堵塞了进气道。进气道内的橡胶片脱落后，有残留部分连在橡胶管上，形成了类似“活门”一样的结构。当柴油机转速较低时，进气道内吸力较弱，橡胶片堵塞了部分气道；而当柴油机转速较高时，吸力较强，该“活门”被完全吸附在管道内壁上，进气道反而畅通，所以柴油机低速时运转无力、排气管冒黑烟，而中、高速时动力和排气正常。

（3）故障排除　将进气橡胶管更换为新品后，柴油机各工况工作正常，故障现象消除。

案例 4：中冷器进气胶管开裂导致功率下降

（1）故障现象　一辆东风 EQ1208G 车，配装康明斯 6BTAA 空–空中冷柴油机，行驶 4000km 时出现加速不良现象，原地加油时柴油机运转正常，转速可达 2600r/min，而当行车过程中节气门加大到最大时，最高时速仅为 60km/h，此时转速不到 1500r/min。在低速时加速良好，当中高速时提速较慢，爬坡无力。

（2）故障查找分析　首先怀疑燃油系统阻塞，供油不畅。当中高速时燃油不能充分供给，导致加速不良。更换燃油预滤器（油水分离器）、燃油滤清器、检查油箱及油管等，试车，故障不能排除；进一步检查各缸喷油器工作情况及输油泵，均正常；增压器到高压油泵增压补偿管也完好，外接 0.1MPa 气体检查高压油泵增压补偿装置，工作正常。如果增压器旁通阀失效，柴油机未到中高速时提前打开，也会造成上述故障。而增压器旁通阀需要专用设备检测，服务站无法做到。

有一现象引起维修人员的注意，即柴油机向高速急加速时，排气管有部分黑烟排出，怠速运

转时有轻微的漏气声。检查漏气来源，原来是中冷器进气胶管（增压器—中冷器）开裂，引起漏气，特别在高速运转时，从增压器出来的大量高压气体从胶管裂口处泄漏，使进入气缸内的空气量减少，影响柴油机的功率输出，造成中高速时加速不良。

（3）故障排除　更换进气胶管，试车运行，故障排除。

对此类故障，判断时有一定难度。因为加速不良是在高速时出现，而此时胶管漏气声因柴油机噪声过大无法听清，通常会考虑燃油系统故障或增压器工作不良。如果对高压油泵进行调试或更换增压器，故障仍无法排除。但此类故障有一定特征，即高速急加速时排气管伴有轻微黑烟排出，这就容易使人想到混合空气量不足，再从进气量少这一点考虑，一步步进行检查，最后也能找出问题所在。

案例 5：中冷器故障导致排气管喷水

（1）故障现象　一台 TY320B 型推土机，配置 NTA855-C360 型康明斯柴油机。工作 800h 后，每天停机时都发现有水进入气缸内，使第二天早上起动困难，并且每天刚起动时，排气管内有少量水喷出，但不影响正常推土作业。

（2）故障查找分析　分析认为，此故障可能的原因有：①缸垫烧损而漏水。②缸盖有裂纹而漏水。③缸盖上喷油嘴铜套漏水。④中冷器漏水。

为排除故障，先使推土机停机一夜；第二天早上，未起动柴油机就将该机上各缸的排气歧管拆下，发现 1～6 缸的排气歧管内都有少量积水。于是，首先将 1～6 缸的缸盖拆下，检查缸垫，发现各缸缸垫都没有烧损，为此排除了第①种故障原因。

然后进行缸盖试压。用专用钢板及密封垫等将缸盖上各水道口堵牢，只剩一个水道口与空压机相通。将整个缸盖浸泡在水中，起动空压机使气压达到 0.2MPa 以上，经过认真观察，没有发现气泡产生，说明缸盖无裂纹、喷油嘴铜套与缸盖水道密封良好，铜套没有被腐蚀穿透，从而排除了第②、第③种故障原因。

最后，对中冷器进行整体试压，发现有气泡产生。拆掉中冷器壳体，取出中冷器芯进行试压，没有发现气泡产生。于是，检查中冷器进、出水接头处的衬垫与 O 形密封圈，发现 O 形密封圈老化、失去弹性，引起密封不严而导致漏水（见图 4-16，O 形密封圈密封水管接头，破损后将导致冷却液进入水管外表面的进气通道）。

由此推断，停机时水通过中冷器壳和未关闭的进气口进入气缸，通过打开的排气口流到各缸排气歧管内，引起起动困难与排气管喷水。由于漏水量小，要停机较长时间（4～5h）才会出现此故障。柴油机工作时，由于气缸内温度较高，进入缸内的少量水经汽化与废气一同排出，因而不会出现排气管喷水现象。

（3）故障排除　更换中冷器进、出水接头处的 O 形密封圈后，故障被彻底排除。

案例 6：中冷器堵塞导致柴油机动力不足

（1）故障现象　一辆装有康明斯柴油机的车辆出现动力不足、油耗增加、排气冒白烟的故障。

（2）故障查找分析　由于车辆使用时间较长，行驶里程较多，决定将柴油机大修。修复后，柴油机经热磨合后工作正常，但装复试车过程中，发现柴油机动力不足，并排出大量白烟，无法正常行驶。此时，对喷油器进行调试，发现喷油器喷油压力正常，喷雾良好。再逐项检查供油提前角、气门间隙、配气相位、空气滤清器的滤芯及进气管，均未发现异常现象。仔细分析后认为：① 柴油机大修时，气缸、活塞及活塞环都按照大修标准，修理数据全在规定范围值内，听诊柴油机无异响，由此认为柴油机气缸内不会有问题，故障在进气部分。② 柴油机大量冒白烟、无力，说明柴油机进气不足，柴油在燃烧室内不能充分燃烧而排出，问题出在空气滤清器、废气

涡轮增压器、中冷器及连接管路。

于是采用如下措施：拆下空气滤清器至废气涡轮增压器的胶管，经检查无脱层；拆下进气管，发现内有油污，但未堵塞；拆下中冷器至柴油机进气管的橡胶软管，起动柴油机，冒白烟现象消失。通过以上检查，认为中冷器出现堵塞故障。拆下中冷器后，发现其下部油泥较多。对中冷器气道反复进行通水试验，发现水流不畅，说明中冷器内部管道堵塞严重。于是将中冷器解体，发现其内部管道80%堵塞。

（3）故障排除　更换中冷器后，柴油机即运行正常。

案例7：康明斯柴油机因增压器泵轴卡死严重冒黑烟

（1）故障现象　一辆装有康明斯柴油机的汽车，行驶中柴油机突然出现行驶无力且排气管严重冒黑烟的现象。

（2）故障查找分析　检查空气滤清器，正常；检查供油系统，更换喷油泵、校调更换喷油器，故障依旧；检查气门间隙符合标准；测量气缸压力也正常；最后，拆下涡轮增压器，发现其泵轴已卡死，不能正常工作。

涡轮增压器的作用是增大柴油机的充气量，从而提高柴油机的动力性与经济性。该车涡轮增压器由于泵轴卡死而不能工作，致使柴油机气缸内混合气过浓而燃烧不完全，汽车行驶无力，且排气管冒黑烟。

涡轮增压器泵轴卡死多源于使用维护不当，应注重涡轮增压器的润滑和起动、停机规范。

（3）故障排除　换上新的涡轮增压器后，柴油机工作恢复正常，汽车行驶有力。

案例8：增压器轴承卡滞致使柴油机减速熄火

（1）故障现象　一辆苏州金龙客车（KLQ6101G），装有康明斯6缸增压柴油机，行驶约3km后，松开加速踏板，踩制动踏板汽车减速进入怠速工况时，柴油机熄火。再次起动后，只要是松开加速踏板减速，柴油机马上熄火。故障时有时无，但始终未能得到彻底解决。

（2）故障查找分析　根据以往的经验，判断是柴油引起的油路故障。首先检查油路系统，对该车进行了排空气。路试，故障依然存在；检查油管，清洗油道，更换柴油滤清器，清洗空气滤清器。对车辆进行路试，故障依然没有排除。

对涡轮增压器进行检测。经检查发现涡轮增压器转动不灵活，轴承卡滞。更换总成测试，故障排除。由此判断故障原因为此轴承损坏。

当柴油机在非怠速时，排气的压力大，涡轮起增压作用，因而对柴油机工作影响不大，但当从非怠速到怠速时，排气的压力低，轴承卡滞，使涡轮增压器基本不起作用，因而进气的量较小，减低了柴油机功率。

案例9：增压器旁通阀故障导致动力不足

（1）故障现象　扬州亚星—奔驰YBL6982C03型大客车，装配康明斯6BT5.9型柴油发动机。驾驶员回队报修称“车辆跑不起来、无劲，在坡道上本可以用3档行驶的路段，现在只能用1档”。进行路试，确实如此。在原地起动柴油机，只能保证中速工作，而加速踏板踩到底高速上不去。观察烟色，正常。各处油管接头未发现有泄漏点，也不烧润滑油。

（2）故障查找分析　康明斯6BT5.9属涡轮增压柴油发动机，配装VE高压油泵（分配转子泵）。踩加速踏板无反应，各处油管接头又无泄漏，只有怀疑油路是否堵塞。逐一检查各油管管道通畅情况并更换柴油滤清器，完毕后进行路试，故障仍旧。

VE分配转子泵加大进油量进行调整后试车，无效果。然后断缸检查（松开喷油嘴高压油管接头），第1缸和第4缸工作较差。拆卸1缸和4缸喷油嘴进行试压，压力都超过25.48MPa（该型喷油器开启压力为24.5～25.3MPa），压力过高，决定对高压油泵和喷油嘴进行校正（更换柱

塞和喷油嘴），然后进行试车，柴油机动力虽有改善但仍然不足，高速还是上不去。

最后，仔细对废气涡轮增压器进行检查。检查涡轮增压器各胶管及接口处无破损，拆卸进气管胶管，检查涡轮增压器的叶轮，轴向间隙和径向间隙都偏大，废气旁通阀卡死在一个位置上。根据旁通涡轮增压器工作原理，低速时废气旁通阀是关闭的，而高速高压时通过打开废气旁通阀使废气绕过废气涡轮，使其动力减少，降低增压器转速，若旁通阀常开，势必影响柴油机功率。决定更换涡轮增压器，然后进行路试。试车过程中柴油机动力充足，故障排除。

柴油机故障多属于综合性故障，应本着由易到难、由外到内的过程进行排除，因此先排除油路故障也是必需的。

案例 10：曲轴箱通气不畅导致增压器漏油

（1）故障现象　一辆 EQ3230G 东风自卸车，装配康明斯 C230 20 柴油机。驾驶员反映该车起动后正常持续行驶 5km 左右时，柴油机突然动力不足，车辆行驶无力，排气管冒蓝烟；如果继续行驶故障现象更为严重，并且增压器排气接口处严重往外漏润滑油。增压器压气端吸润滑油，但当车辆熄火停车几分钟后再起动行驶则无上述故障现象；若继续行驶故障现象又重新出现。

（2）故障查找分析　开始怀疑增压器存在故障，但更换了增压器，故障现象依旧。于是对车辆进行一次全面的检查，以查找故障原因。对该车进行路试，起动柴油机，观察柴油机废气正常，响声清晰正常，不像是缸套磨损或活塞环断裂。行驶过程中反复测试柴油机，当故障出现时，发现曲轴箱通气胶管的废气排气量很小、增压器往外漏润滑油、柴油机有冒蓝烟的现象。从气门室罩上拆下废气通风管，初步检测管道无破损，进一步拆下气门室罩盖时，发现中冷器胶管内有很多润滑油，用一根铁丝捅气门室罩盖通风弯管时，感觉阻力异常；后发现有一小团卫生纸，已被油污染，如同橡胶一般紧紧附着在弯管处，使废气通风管堵塞，排气不畅。

当车辆行驶时，随着柴油机的持续工作，曲轴箱内的废气逐渐增多，因不能及时将废气排除造成曲轴箱内压力逐步升高，过高的废气压力会使增压器回油不畅，致使增压器排气端向外漏润滑油。压气机端抽吸润滑油，润滑油窜入中冷器后，造成柴油机进气不足、动力下降，并伴随着烧润滑油冒蓝烟。但当柴油机熄火后一段时间后，曲轴箱内的废气会通过通风管（因通风管未完全堵死）慢慢地排入大气，因而再起动时故障现象消失。但随着柴油机的继续运转，处于堵塞状态下的通风管不能及时排除曲轴箱内的全部废气，并随着压力的逐渐升高，故障重复出现。

（3）故障排除　清洗曲轴箱废气通风装置，故障彻底排除。

案例 11：增压器回油孔堵塞导致排气冒烟

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车，装配康明斯 6BT5. 9 型柴油机，行驶中排气管突然冒烟。

（2）故障查找分析　停车检查，发现废气涡轮增压器底座及排气管接头处有润滑油漏出。起动柴油机，加大节气门时，柴油机工作声音正常，但增压器后端排气接口处有润滑油漏出。拆下废气涡轮增压器进气管，检查增压器涡轮轴，其径向和轴向间隙均正常，进气管内无润滑油。拆下增压器后端的排气管接头，增压器后端有润滑油。拆下排气歧管，6 个缸排气歧管内均无润滑油。解体增压器后，发现增压器涡轮端积炭太多，回油孔已堵塞。

柴油机工作时，增压器废气涡轮端温度较高，若柴油机润滑油不按规定及时更换，容易在回油孔处形成积炭，造成回油孔堵塞，中间体内油压高使润滑油从增压器排气口进入排气管蒸发后成蓝烟冒出。

（3）故障排除　清除涡轮端的积炭，疏通回油孔，柴油机工作中排气管不再冒烟。

案例 12：废气涡轮增压器油封损坏造成的“飞车”故障

（1）故障现象　一辆东风 EQ1141G 型汽车，装配 VE 型喷油泵。柴油机怠速运转几分钟后，突然自行高速运转、排气管冒浓黑烟；迅速关闭点火开关后，柴油机仍不熄火。将输油管拆下后，也无熄火迹象。将空气滤清器进气口堵死后，柴油机才停止工作。

（2）故障查找分析　由于柴油机是突然自行高速运转、排气管冒浓黑烟，且关闭点火开关和拆下输油管后，柴油机仍不熄火，所以初步怀疑是“机油飞车”。车辆冷却后，检查油底壳，发现机油量有所减少。检查涡轮增压器时，发现进气管头处有润滑油漏出。将进气管拆下，发现进气管内壁附着大量的润滑油。拆下涡轮增压器检查，发现涡轮增压器压气机端有润滑油。进一步检查，涡轮增压器压气机端的油封与油封槽严重磨损。

柴油机“飞车”故障通常可分为“柴油飞车”和“机油飞车”。“柴油飞车”故障通常出在供给系统；“机油飞车”故障通常出自润滑系统。该车的故障为“机油飞车”。柴油机废气涡轮增压器所需的润滑油来自柴油机的主油道，润滑油通过滤清器滤清后进入涡轮增压器的中间体，之后经其下部出油口流回柴油机油底壳。为了防止润滑油窜入涡轮和压气机叶轮，在转子轴两端安装有油封。当压气机端油封与油封槽严重磨损后，润滑涡轮增压器轴承的润滑油便会从压气机端大量漏出，并通过进气管进入柴油机各气缸进行燃烧，造成柴油机“飞车”。

（3）故障排除　将新的涡轮增压器安装到柴油机上，并将进气管内壁附着的润滑油进行彻底清除后，试车，故障现象消失。

案例 13：废气涡轮增压器损坏导致“飞车”

（1）故障现象　一辆装用康明斯 6BT 型柴油机的 EQ1141G 型汽车，行驶约 1 万 km。在行驶中，柴油机突然发生“飞车”，同时伴有异响、排气管大量冒蓝烟等现象。

（2）故障查找分析　根据故障现象，首先拆检高压油泵，查看油量调节齿杆和调速器，皆运动灵活，无卡滞和松旷现象。对柴油机进行全面检查，发现废气涡轮增压器有少量润滑油流出。拆检废气涡轮增压器，发现叶轮严重损坏，涡轮轴已折断。查看进气系统，有大量润滑油进入气缸。

废气涡轮增压器在高速运转中，涡轮轴突然折断，导致叶轮变形、密封环密封破坏等一系列故障，并使增压器润滑油泄漏，进而导致柴油机供给废气涡轮增压器的润滑油连同空气一同进入到燃烧室燃烧，造成柴油机“飞车”、排气管大量排蓝烟。

（3）故障排除　彻底清除进气系统内的残余润滑油，更换废气涡轮增压器和康明斯专用润滑油后，柴油机工作恢复正常。

案例 14：燃油大量渗入气缸导致增压器烧红损坏

（1）故障现象　某船在正常航行中，康明斯柴油机的水温、润滑油温度逐步上升，润滑油压力下降，未引起注意。不久在舱外发现柴油机冒黑烟且逐渐变浓，此时发现增压器已经烧红。停车检查时，疑为增压器润滑油压力过低，冷却不足造成故障，随之调高润滑系统压力。重新开机工作，故障再次出现，增压器严重损坏。

（2）故障查找分析　从上述检查、调整可看出，机修人员对康明斯柴油机结构及工作原理不十分清楚，检查不仔细，调整也较为盲目。如前所述，增压器烧红属废气能量特别高的情况，故障原因较多，因而应全面排查，准确定位故障。正确的方法是首先将增压器拆下，观察排气总管和增压器进、出气口位置。

第一种情形：有较多的润滑油。若仅在增压器出气口有润滑油，则说明润滑油来自增压器；若在涡轮进气口和排气总管出口都有较多的润滑油，则说明润滑油也可能来自气缸。前者可检查增压器的轴封状况及相关部件是否有裂纹等，确定故障部位及零件；后者尚需进一步拆卸排烟总

管，判明故障气缸并拆卸气缸盖，确认润滑油是从气缸套上窜，还是由于气缸盖裂纹进入燃烧室。润滑油从气缸套上窜，通常是由于活塞环折断、缸套严重拉伤，常在气缸盖上呼吸器进、出气口处冒烟。

第二种情形：有较多的柴油。若有柴油痕迹，此时检查的重点应是喷油器及与之相关油道、零部件。拆卸排烟总管，确定具体气缸并卸下该缸的 PT 喷油器，检查有无裂纹、变形，密封圈是否失效等；若无问题，则进一步拆卸气缸盖，检查喷油器孔有无裂纹、缺损、划伤等。

根据事后的检查，该船柴油机是由于喷油器的量杯严重变形，燃油从量杯与喷油器接合处大量渗入气缸所致。

案例 15：康明斯 NTA 855-C360 排气歧管和增压器过热发红故障

（1）故障现象　矿山用别拉斯汽车采用康明斯 NTA855-C360 柴油机。由于矿山道路坡度大，车辆重载上坡，汽车运行中柴油机出现动力不足，排气管和增压器过热发红的故障。对矿里现用 10 台别拉斯进行试验比较，除 1 台运行时排气温度正常外，其他车辆的柴油机部不同程度的都存在排气主管和增压器过热发红的现象，夜间用红外测温仪测试，一般为 700～800℃，最严重的 3 台，温度达 800～950℃。由于柴油机动力不足并存在安全隐患，如有漏油可能引起火灾，因此，驾驶员对排气主管和增压器过热发红的车辆都不敢使用。

（2）故障分析处置　柴油机动力下足、排气主管和增压器过热发红的原因，经试验、研究和分析，认为包括以下可能：

1）重载，起步就爬坡，由坑底沿边绕行，途中没有平缓路段。柴油机经常性的超负荷运行致使排气歧管和增压器过热发红。

2）康明斯柴油机采用 PT 燃料系统，其喷油器喷入气缸的压力为 105MPa，为一般燃油喷嘴允许喷射压力的 5 倍，所用喷油器的质量好坏影响很大。在单缸功率为 45kW 的柴油机上，一个缸喷油器有问题就会影响 l7% 的动力。在检验中，为了解各缸喷油器工作情况，拆卸排气主管，发现有的因压力不足或关闭不严而漏油、滴油，排气冒黑烟，排柴油；有的燃烧不好，高速时后燃严重。这样也会使柴油机动力不足，排气歧管和增压器过热发红。

3）气门材质有问题，气门使用时间很短就关闭不严或是烧蚀，有的还掉块。不但工作不良，使没燃尽的可燃气体在排气道中二次燃烧，导致柴油机动力不足，并使排气歧管和增压器过热发红，这种情况也多次处理。

4）康明斯柴油机根据运行时间一般一年至一年半中修或大修一次。但在检修时，对主轴轴瓦、缸套、活塞等主要机件按要求选配检验时均比较严格，但对凸轮轴等就有所疏忽，进行两三次大中修都没有检验更换。因而在工作中因凸轮轴、轴承、正时齿轮等磨损而使各部件间有较大间隙，结果导致着火正时不准（该机气门和喷油器均由凸轮轴驱动）。一般磨损间隙增长后，会使着火正时滞后。经过几年跟踪试验，这是造成柴油机动力不足、排气歧管和增压器过热发红的主要因素。

在检修中先后更换了两次缸盖，并研磨气门，更换了 3 批喷油器（每批 6 只），更换了 3 个增压器和 1 只排气支管。尽管这样都没有完全解决汽车柴油机无力，排气歧管和增压器过热发红的问题。因而认为，着火滞后是造成柴油机动力不足和排气歧管、增压器过热发红的重要原因。

为了消除凸轮轴各部件间磨损带来的间隙过大问题，决定用提前喷油正时的办法来解决这一老大难问题。经过两三次大修的柴油机在没有更换凸轮轴及其随动机件的情况下，通过调整随动轮室盖垫厚度，将喷油正时凸轮升程值提前 0.10～0.20mm 范围内是可行的，可以弥补由于磨损带来的喷油正时滞后。试验表明，提早着火时间使原来排气支管和增压器温度达 950℃ 的机器恢复了正常，现达到 600℃ 左右，柴油机动力增幅较大，重载上坡可用 3 档。

一般厂家用垫片厚度有0.18mm、0.38mm、0.80mm三种，右旋柴油机增加垫片厚度使喷油提前，减少垫片厚度喷油滞后。但衬垫的厚度有一定限度，大凸轮柴油机垫片最厚不能超过2mm，最薄不能少于0.30mm。无法调整到位应更换随动轮盖。因为NTA系列的康明斯柴油机为双缸式气缸盖，所以调整时只需按发火顺序，前3个缸（1、5、3缸）调好了。其余3个缸（6、2、4）缸也随之调好。在调整中有时会发生变化，应调完后再验证一两次。

第五章　燃油供给系统构造及故障分析

第一节　直列柱塞式喷油泵燃油系统

柴油机燃油供给系统的功用是根据柴油机负荷的需要，按时将适量的柴油以雾状喷入气缸与空气均匀地混合。柴油机燃油供给系统的机件可分为：燃油箱、输油泵、柴油滤清器、喷油泵、调速器、喷油器等。

柴油机燃油供给系统的布置（康明斯 C 系列）如图 5-1 所示。在柴油机驱动下，输油泵从燃油箱内吸进燃油，并以一定的压力经燃油水分离器、燃油滤清器过滤后送到喷油泵，过量的燃油返回油箱。燃油在喷油泵内被加压后，以极高的压力经高压油管送至各缸喷油器，向各个气缸进行精确的喷射，过量的燃油经回油歧管返回油箱。

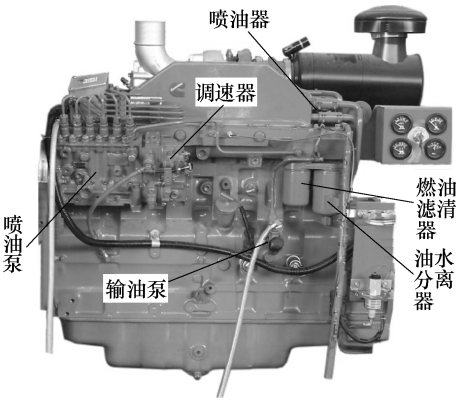


图 5-1　康明斯 C 系列柴油机燃油供给系统

一、喷油器

虽然喷油器的种类繁多，但其构造原理基本相同，如图 5-2 所示为典型柴油机喷油器总成，由喷油器体、针阀偶件、紧帽、顶杆、调压螺钉等组成。针阀偶件用紧固螺套固定在喷油器体上，调压弹簧通过顶杆部件将针阀压紧在针阀体密封锥面上，调压弹簧的压力由调压螺钉调节，调压螺钉用螺母锁紧。其中针阀偶件（由针阀和针阀体组成）按结构型式可分为开式和闭式两大类。目前广泛应用的是闭式，其主要形式分为轴针式和孔式两种。

上述喷油器结构因调压弹簧位置在喷油器的上部，弹簧位置与针阀距离较远，所以必须通过一根较长的顶杆，把弹簧与针阀的运动联系起来。这种结构的优点是在调压弹簧顶部容易布置调压螺钉，针阀开启压力可利用调压螺钉进行无级调整，调整方便。但这种结构也有缺点，即顶杆较长、质量较大，产生的惯性力较大。因为针阀由静止到开启应迅速，喷油结束后，针阀应迅速由向上运动转变成向下运动，以求针阀尽快回位并停止供油。但这种运动的转变与喷油器运动件的惯性有关，惯性愈大针阀关闭所需时间愈长，燃烧室内高温气体也愈容易倒灌入针阀偶件内，产生积炭、烧损密封座面等现象。

为了克服上述结构的缺点，近几年来国内外已发展出一种新的喷油器总成。改进后的喷油器结构的显著特点是取消运动件顶杆，改用一个质量较小的弹簧下座，将调压弹簧下移到接近针阀尾部，同时针阀直径也减小。由于这种喷油器结构降低了运动件的惯量，所以又称为低惯量喷油器，如图 5-3 所示。康明斯柴油机 B、C 系列采用了这种结构的喷油器总成。该喷油器上有 4 个喷油孔，标准喷油压力为 24.5～25.3MPa。它的优点是可提高针阀开启和关闭速度，降低针阀回位时在密封锥面处的冲击应力，既能改善性能又能提高使用寿命。这种结构对针阀开启压力的调整采用改变垫片厚度的办法，因此开启压力的调整不如一般喷油器所采用的调整螺钉方便，且压

力只能有级调整。为了保证足够的调整精度，采用每隔0.05mm为一级的垫片进行调整。

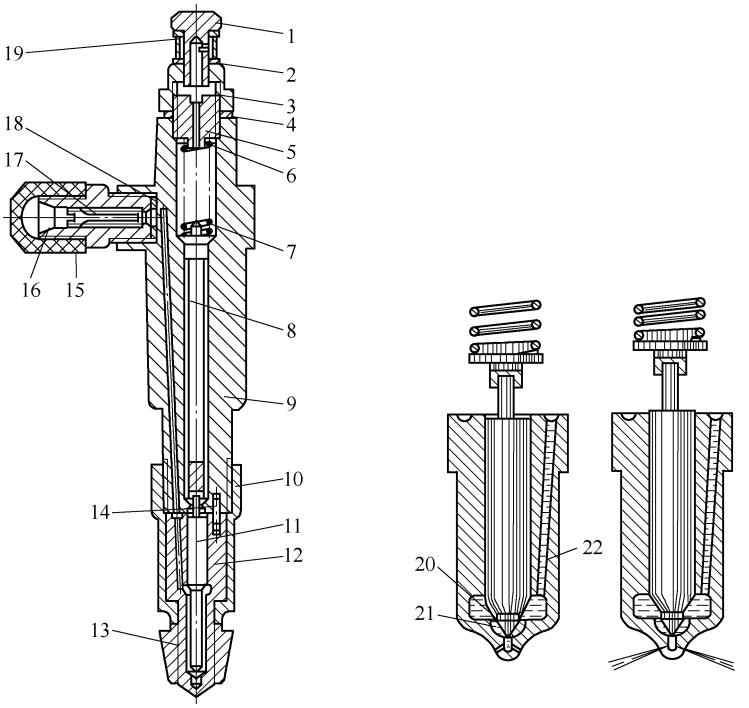


图5-2 长型孔式喷油器

1—回油管螺栓 2—衬垫 3—调压螺钉护帽 4—垫圈 5—调压螺钉 6—调压弹簧垫圈 7—调压弹簧 8—挺杆 9—喷油器件 10—紧固螺套 11—针阀 12—针阀体 13—铜锥体 14—定位销 15—塑料护盖 16—进油管接头 17—滤芯 18—衬垫 19—胶木护套 20—针阀承压锥面 21—针阀密封锥面 22—针阀体油道

二、喷油泵

喷油泵是柴油机燃油供给系统中非常重要的部件，常被称为柴油机的心脏。柴油机燃油供给的计量、正时、加压、分配、控制开始喷射和停止喷射等都由该部件完成，它们是经过精密加工、装配和调试后才装机使用的。因此，在柴油机的使用中，需要严格按技术规范对这些部件进行精心维护与调校。

对多缸柴油机喷油泵的基本要求如下：①各缸的供油次序符合所要求的柴油机发火次序；②各缸供油量均匀，不均匀度在标定工况下不大于3%～4%；③各缸供油提前角一致，相差不大于0.5°CA曲轴转角；④为避免喷油器的滴漏现象，喷油泵必须保证供油停止迅速。

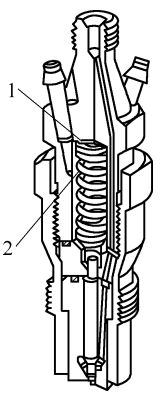


图5-3 低惯量喷油器

1—调压垫片 2—调压弹簧

柴油机根据不同的用途和性能要求，机型繁多，燃油供给系统的种类各异，有时即使同一机型，往往配用的喷油泵调速器总成代号就有数种之多，而且调整时的技术参数又不尽相同。为此，在使用维修中，应按照喷油泵代号与型号相应的使用说明书进行维护调整。

1. P型喷油泵

随着高强化柴油机的不断发展，原有的一些系列喷油泵（如国产Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号系列泵和A、

B、Z 型泵）因受泵体强度的限制，已不能满足高强化柴油机所需的高燃油喷射压力和高燃油喷射率的要求。为此，在 20 世纪 60 年代发展了一种新型的柱塞式 P 型喷油泵，如图 5-4 所示。

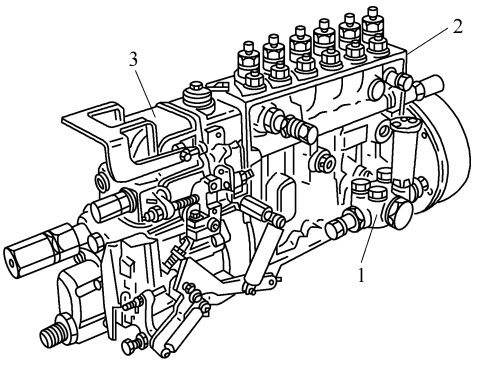


图 5-4　P 型喷油泵
1—输油泵　2—喷油泵体　3—调速器

（1）P 型喷油泵构造

1）泵体。P 型喷油泵采用整体全封闭式泵体，不开侧视窗，这样可在不增大泵体尺寸的情况下大大提高泵体的刚度和强度，防止泵体在较高的压力作用下变形而使柱塞偶件加剧磨损、降低使用寿命。同时，这种全封闭式泵体还可以防止灰尘杂质侵入泵体内部。泵体中间设有低压油腔，与柱塞套上的进、回油孔相通。为了拆装分泵零件，泵体下面设有喷油泵底盖。

2）分泵。柱塞式喷油泵一般由多个结构相同的分泵组成，每个分泵分别连接到一个喷油器。P 型喷油泵分泵主要零件包括：柱塞偶件、柱塞弹簧、柱塞弹簧座、出油阀偶件、出油阀弹簧、出油阀紧帽、法兰钢套等。

柱塞偶件由柱塞和柱塞套精密配合而成，其上方装有出油阀偶件和出油阀弹簧，并用出油阀紧帽与柱塞套顶面压紧。柱塞套和出油阀偶件等都装在法兰钢套中，柱塞套由压进法兰钢套的定位销来定位，将出油阀紧帽拧紧后，它们便组成一个独立的组件，P 型泵柱塞套组件如图 5-5 所示。组件可从泵体上方插入，用两个螺栓把钢套法兰固定在泵体的顶部端面上，形成吊装式柱塞套结构，如图 5-6 所示。这种结构可以改善柱塞套和泵体的受力情况。其中调整垫片可用于调整各缸供油提前角，导流环用于防止柱塞套回油孔强烈的回油冲击喷油泵体而发生穴蚀。

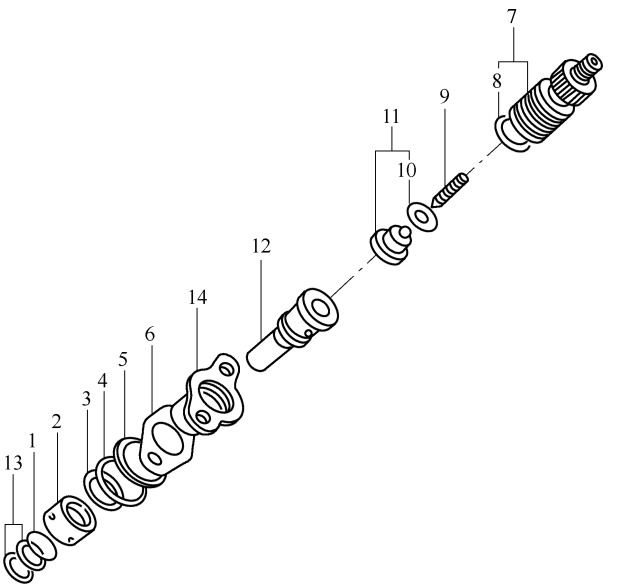


图 5-5　P 型泵柱塞套总成分解图
1—卡环　2—导流环　3—垫片　4、8、13—O 形环　5—定距环　6—调整垫片
7—出油阀压紧座　9—出油阀弹簧　10—密封垫片　11—出油阀　12—柱塞套筒　14—法兰钢套

为了避免燃油漏进喷油泵内，在柱塞套外装有 2 个 O 形环，在出油阀紧帽底部与出油阀座顶面之间，有一个金属密封垫圈，在出油阀紧帽的外侧装有 O 形环，以保证良好的密封性。

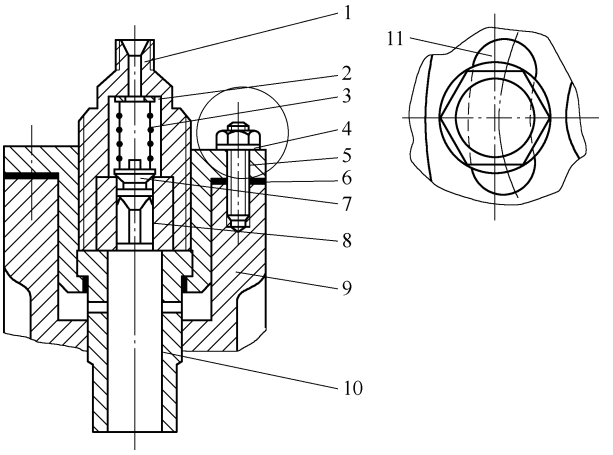


图 5-6 吊装式柱塞套–出油阀组件在泵体上的安装
1—出油阀压紧座 2—垫片 3—出油阀弹簧 4—螺栓 5—法兰钢套 6—调整垫片
7—出油阀 8—出油阀座 9—泵体 10—柱塞套筒 11—法兰钢套上的螺栓孔

柱塞偶件的结构特点如图 5-7 所示，在柱塞套孔的上部有一小段孔径略有加大，这样可防止柱塞在上部位置卡住；孔的下部开一道环形集油槽，构成防泄漏式柱塞偶件结构。从柱塞与柱塞套间隙泄漏的燃油，可集于槽内经集油槽上的回油孔流回油泵的低压油腔，这样便可防止燃油漏至泵底壳稀释润滑油。柱塞套上的 2 个进、回油孔加工在同一直线上，使用中两孔附近磨损不均匀时，可将柱塞套调位安装。

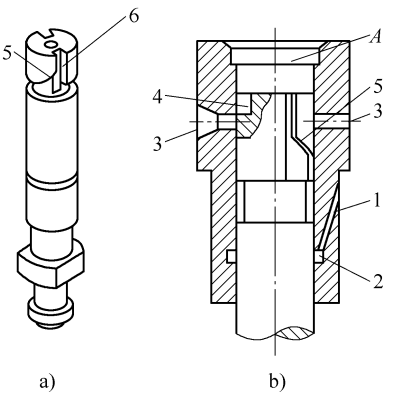


图 5-7 P 型泵柱塞偶件
1—回油孔 2—集油槽 3—进、回油孔
4—起动槽 5—柱塞螺旋槽 6—直槽
A—柱塞套孔径加大部位

P 型喷油泵的柱塞为双螺旋结构，包括 2 个直槽和 2 个螺旋槽，其目的是使柱塞在柱塞套中上下往复运动时，受力更为均匀。为使柴油机易于起动，在柱塞顶端开有起动槽。当柱塞处于起动位置时，该槽与柱塞套进油孔处于相对的位置，这样，只有柱塞上行到起动槽的下边缘封闭进油孔时才能开始供油，因此可将供油始点延迟，在气缸内有较高的压缩压力和温度时喷入燃油，有利于柴油机起动。

3）传动机构。传动机构由凸轮轴和滚轮挺筒组成。凸轮轴上的每一个凸轮驱动一个滚轮挺筒，再由滚轮挺筒和柱塞弹簧推动柱塞在柱塞套内作往复直线运动，完成泵油任务。

P 型喷油泵的传动部件（凸轮、轴承、滚轮、挺筒等）和调速器均由柴油机主油道来的压力润滑油润滑，如图 5-8 所示。泵体前端有一带节流作用的进油孔，机体主油道来的压力润滑油通过该进油孔进入挺筒与泵体孔的间隙流入油泵凸轮室和调速器壳体中，压力润滑油经进油管的节流孔和挺筒与泵体间隙的节流作用，使润滑油几乎是在无压力的情况下流入泵体。喷油泵和调速器壳体中的油面高度，由油泵前端的轴承座法兰上回油孔的位置来保证，多余的润滑油通过该孔直接流回柴油机油底壳。

采用这种统一式润滑方式，不但能保证可靠润滑，而且在工作中不需要对润滑油进行频繁的检查、添加和更换，从而大大减少了这方面的保养工作。一般情况下，不必担心润滑油对零件的脏污，只需每当柴油机更换 2 ~ 3 次润滑油时，将油泵、调速器内部冲洗一次即可。

P 型泵的缺点是拆装不便，它的柱塞不能从泵体上方取出，必须拆下底盖，抽出凸轮轴，然后才能从泵体下方取出，与此同时，还得把滚轮挺筒、柱塞弹簧等件一同拆下，这样会给使用维修带来很多麻烦。

4）油量调节机构。P 型喷油泵采用的是钢球式油量调节机构。每个柱塞控制套筒上都设有一个小钢球，它和角钢形断面的供油调节拉杆上的相应凹槽啮合。因此，当移动调节拉杆时，由小钢球带动各柱塞控制套使柱塞转动，从而改变供油量。采用这种机构的优点是结构简单、工作可靠，而且配合间隙较小，不会对调速器的工作造成不利影响。钢球式油量调节机构如图 5-9 所示。

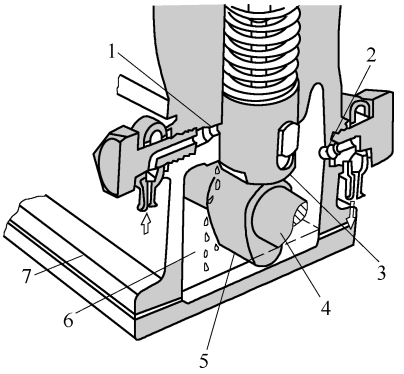


图 5-8　传动部件压力润滑油路
1—进油孔　2—回油孔　3—挺筒
4—凸轮轴　5—凸轮　6—凸轮室　7—喷油泵体

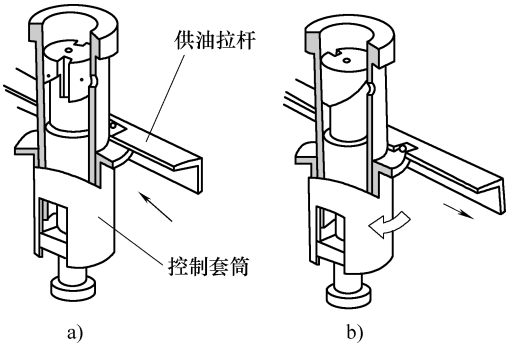


图 5-9　P 型喷油泵油量调节机构
a）加油　b）减油

（2）P 型喷油泵工作原理

1）柱塞工作原理。柱塞的圆柱面上有斜槽，斜槽和柱塞上面的泵腔用直槽连通。柱塞套上有两个进、回油孔，都与喷油泵泵体上的低压油腔相通。

柱塞工作原理如图 5-10 所示。当柱塞下行到两个油孔同柱塞上面的泵腔相通时，由输油泵经滤清器输送到喷油泵低压油腔里的燃油经油孔吸入并充满泵腔。当柱塞自下止点上移时，起初有一部分柴油从泵腔被挤回低压油腔，直到柱塞顶面将两个油孔完全封闭时为止。此后，柱塞继续上升，柱塞上部的燃油压力快速升高到足以克服出油阀弹簧的作用力，出油阀即开始上升。当出油阀上的圆柱形环带离开出油阀座时，高压柴油自泵腔通过高压油管向喷油器供油，当柱塞继

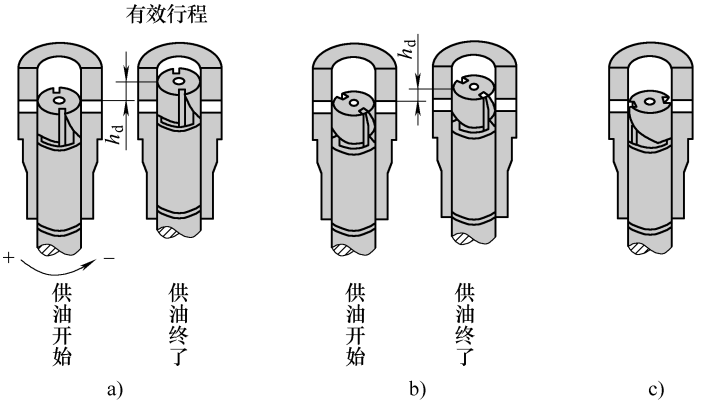


图 5-10　柱塞式喷油泵工作过程
a）最大供油量时　b）中等供油量时　c）不供油时

续上移到斜槽同油孔开始接通，也就是泵腔与低压油腔接通时，于是泵腔内的高压柴油经柱塞上的直槽、斜槽和油孔流向低压油腔。这时泵腔中油压迅速下降，出油阀在弹簧压力作用下立即回位，喷油泵供油停止，此后柱塞仍继续上行，直到上止点为止，但不再泵油。

由上述泵油过程可知，驱动凸轮的轮廓曲线决定了柱塞行程（即柱塞的上、下止点间的距离），这个距离是一定的，但并非在整个柱塞上移行程内都在泵油。喷油泵只是在从柱塞完全封闭油孔之后到柱塞斜槽和油孔开始接通之前的这一段柱塞行程内才进行对外供油，所以称为柱塞有效行程（图 5-10 中 h_d）。

显然，喷油泵每次泵出的油量取决于柱塞有效行程的大小。因此，欲使喷油泵能随柴油机工况不同而改变供油量，只需改变有效行程的大小。有效行程的改变常靠改变柱塞斜槽与柱塞套油孔的相对角位置来实现。将柱塞顺时针转动一个角度，有效行程增大，供油量增加；反之，有效行程减小，供油量便减少。当柱塞转到直槽与油孔对齐的位置时，柱塞无法封闭油孔，因而有效行程为零，喷油泵处于停止泵油的状态。另外，柴油机起动时 P 型喷油泵柱塞起动工作区处于工作状态。油量调节机构也正是通过转动柱塞某一角度值来改变柱塞有效行程，从而来改变供油量的。

当需要调整各缸供油量均匀性时，可通过转动法兰钢套改变吊装式柱塞套总成的相对位置（见图 5-6，转动法兰钢套时，P 型泵柱塞套转动而其柱塞不动），来改变柱塞的相对转角，从而改变柱塞有效行程。

2）出油阀工作原理。出油阀是一个特殊的单向阀。出油阀和出油阀座是燃油系统中第三副精密偶件，其构造如图 5-11 所示。出油阀 2 上部有密封锥面 5，出油阀弹簧将此锥面压紧在出油阀座 1 上，使柱塞上部油腔与高压油管隔开。密封锥面下部有一圆柱形的环带 3 称为减压环带，它与阀座的内孔精密配合，也具有密封作用。减压环带以下铣有 4 个直切槽 4，槽截面呈十字形，其外圆面起导向作用，直切槽是高压柴油的通路。

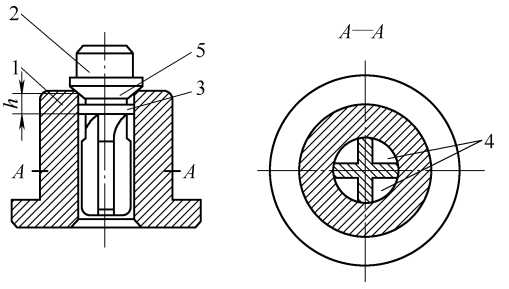


图 5-11 出油阀
1—出油阀座 2—出油阀 3—减压环带
4—直切槽 5—密封锥面

由于出油阀弹簧的作用，在供油终了出油阀回位时，出油阀的减压环带首先进入出油阀导向孔而切断泵腔出口，使燃油停止进入高压油管，出油阀继续下降直到密封锥面回位贴合，由于出油阀本身所让出的容积，使高压油管的压力迅速降低，从而消除高压油管中的残余压力，喷油立即停止。如果没有减压环带的这种作用，残余压力会引起二次喷射和滴油。出油阀上部的密封锥面与出油阀座严密配合，防止高压油管的燃油回流。

3）P7100 型喷油泵的主要特点。康明斯“C”系列柴油机，根据不同用途、不同排放要求，选用 AD、MW、P3100、P7100、EP9 喷油泵。P7100 型喷油泵的主要特点包括：① 泵体与普通 P 型泵相同，采用整体式全封闭结构。② 分泵心距：35/38，缸数：4、6 缸（国产泵）。③油量调节机构由角形拉杆与油量控制套筒构成，拉杆全行程 20.5mm。④ 供油预行程和供油间隔角用法兰套筒与泵体之间的垫片调整。⑤柱塞套为锻造的整体法兰式柱塞套，采用整体吊篮安装形式，柱塞直径 ϕ12mm，ϕ13mm。⑥与普通 P 型泵相比，在中间轴承部位及挺柱孔部位等处增加了壁厚，泵体底面由全开式改为部分封闭式。⑦凸轮轴基圆直径 ϕ34mm，凸轮宽度 18mm，凸轮升程 12mm。油泵最高转速 1400r/min。⑧采用承载能力高、轴向间隙小的轴承，凸轮轴驱动端为无内圈的短圆柱滚子轴承，调速器端为调心滚子轴承。⑨出油阀采用等压阀与阻尼阀。⑩能够产生较高的喷射压力和供油速率，泵端压力可达 100MPa 以上。

泵体装配要点包括：① 出油阀紧座拧紧力矩为 110 ~ 120N · m 。②挡油圈（导流环）与柱塞套装配后必须牢固可靠（即卡簧必须安装到位）。③装配密封圈时须涂润滑脂，并注意不得扭曲和切边。④装配油量控制套筒时，应确保油量控制套筒转动灵活，当节气门拉杆处于极限位置时，钢球不得从拉杆槽中脱出。⑤凸轮轴部件从调速器端装入，要确保调速器端轴承端面与泵体轴承孔端面压实。⑥凸轮轴轴向间隙在 0. 02 ~ 0. 05mm 之间。⑦大闷堵、小闷堵、O 形密封圈、油封每次装配时都必须使用新件。⑧安装结束后，拉杆在任何情况下都能滑动自如。

2. A 型喷油泵

东风汽车公司在 6BT 柴油机国产化过程中立足于采用目前国内生产质量稳定、生产工艺成熟的直列柱塞式 A 型喷油泵（简称 A 型泵）。东风汽车公司的决策得到美国康明斯公司、德国波许（Bosch）公司的认可和支持。

A 型泵如图 5-12 所示。共有 6 个分泵，分泵组成如图 5-13 所示，泵体由铝合金铸成，主要包括泵油机构（柱塞偶件、柱塞弹簧、出油阀偶件和出油阀弹簧）、传动机构（凸轮轴和滚轮挺柱）、油量调节机构（调节齿杆、调节齿圈和油量控制套筒）等部分。

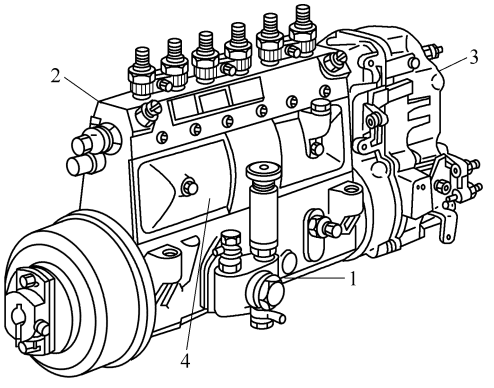


图 5-12　A 型喷油泵总成
1—输油泵　2—泵体　3—调速器　4—侧窗盖

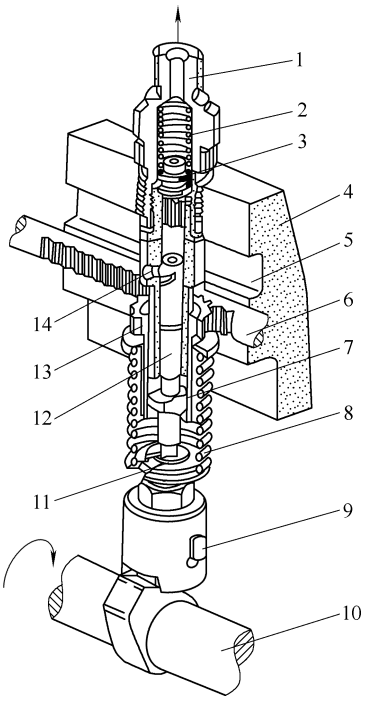


图 5-13　A 型喷油泵的分泵单元
1—出油阀接头　2—出油阀弹簧　3—出油阀偶件
4—喷油泵体　5—低压腔　6—齿杆　7—柱塞套筒
8—柱塞弹簧　9—挺柱体部件　10—凸轮轴　11—弹簧座
12—柱塞　13—调节齿圈　14—进回油孔

泵体上部设有纵向的低压油道与各柱塞套筒的进油孔相通。油道的一端有进油管接头，另一端有回油管接头，多余的燃油通过溢流阀流回低压油路或燃油箱。柱塞套筒和出油阀偶件从泵体上部装入，并由出油阀紧座压紧。为防止柱塞套筒转动，每个柱塞套筒都开有定位槽，装配时应使该槽对准每一个对应的定位销。柱塞泵油时因高压燃油冲击易引起金属穴蚀，挡油螺钉可减轻或消除该危害。柱塞、柱塞弹簧及滚轮挺柱等零件是从泵体下部装入的，泵体底部设有拆装用的工艺孔。各

孔用油底塞堵住。泵体侧面设有调整检视窗口，以便检查和调整供油量和供油提前角。

调节齿杆装在泵体上部的纵向导孔内，在泵体背面中部有一个定位螺钉拧入齿杆的长形导向槽内，防止齿杆转动。

凸轮轴装在泵体下腔内，用2个圆锥滚子轴承支承。

其结构上的主要特点为：① A型喷油泵采用整体式泵体，其刚性较好；② 柱塞上部开有调节供油量的螺旋形斜槽和轴向直槽，可减小供油量随柱塞转动的变化率，但也增加了柱塞偶件的侧向磨损；③ 油量调节机构为齿条式结构，该机构是柱塞式燃油泵最典型的传统机构。传统的油量调节机构一般有拨叉式和齿条式两种，如图5-14、图5-15所示。拨叉式机构在柱塞下端装有调节臂，臂的球头插在调节叉的槽里，调节叉用螺钉固定在油门调节杆上。推动节气门调节杆，通过调节叉和调节臂，就可使柱塞转动。我国Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号喷油泵系列采用了这种形式的调节机构。齿条式机构（见图5-15）的柱塞5下部带有凸块，它嵌入油量控制套筒6相应的槽里，套筒6套在柱塞套2上。在控制套筒上部有一个可调齿圈3，用螺钉4拧紧。齿圈3与齿杆1相啮合。齿杆的轴向位置由调速器控制。移动齿杆时，齿圈便带动套筒6同步转动，套筒6又通过下凹槽带动柱塞5相对于不动的柱塞套2转动，从而改变柱塞的有效行程，达到调节循环供油量的目的。各缸供油均匀性的调整，可以通过改变齿圈3和控制套筒6的相对位置来实现，即松开齿圈，按调整的需要使套筒6与柱塞5同时相对于可调齿圈转过一定角度，再将可调齿圈锁紧在套筒6上。④传动机构由凸轮轴、滚轮挺柱和柱塞弹簧等组成。传动机构中滚轮体部件的高度 h 用调整螺钉调节，如图5-16所示。松开锁紧螺母4，旋出或旋进调整螺钉5，即可改变滚轮体部件的高度 h，从而改变相应分泵的供油提前角。这种结构因调整螺钉头部硬度的提高受到工艺上的限制，使用中容易磨损。

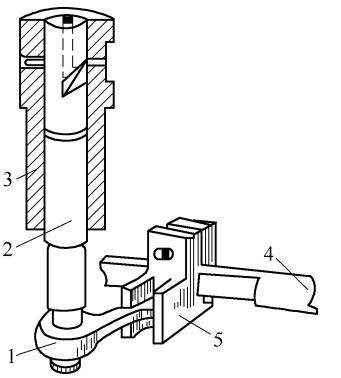


图5-14 拨叉式油量调节机构图
1—调节臂 2—柱塞 3—柱塞套
4—调节拉杆 5—调节叉

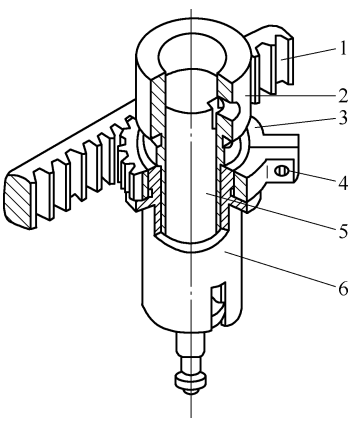


图5-15 齿条式油量调节机构
1—调节齿杆 2—柱塞套 3—齿圈
4—紧固螺钉 5—柱塞 6—油量控制套筒

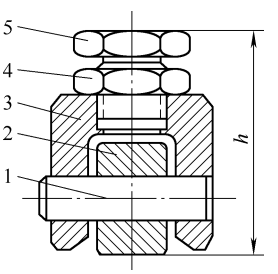


图5-16 A型喷油泵滚轮体部件
1—滚轮轴 2—滚轮 3—滚轮体
4—锁紧螺母 5—调整螺钉

三、喷油定时的检查与调整

供油提前角一般由厂家试验确定，不同机型的校正方法不同。康明斯B系列和C系列柴

油机利用两个正时销插入的方法确定供油提前角，一个为传动齿轮定时销，一个为喷油泵凸轮轴定时销，如图 5-17 所示。传动齿轮定时销在齿轮室后端面，可插入凸轮轴正时齿轮上的销孔；喷油泵凸轮轴定时销在喷油泵体上，可插入调速器飞锤上的突耳或喷油泵凸轮轴上的缺口。

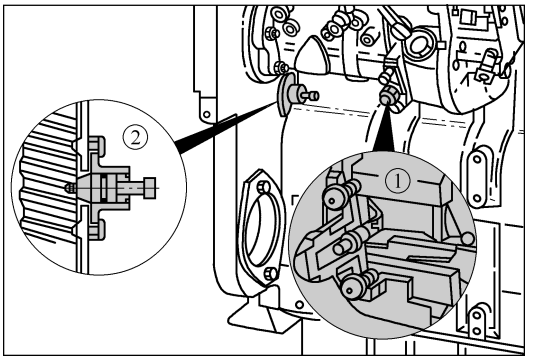


图 5-17　康明斯 B、C 系列柴油机传动齿轮定时销②和喷油泵凸轮轴定时销①位置

康明斯 B、C 系列柴油机供油提前角的确定步骤如下：要获得正确的喷油正时，首先要确定第 1 缸压缩冲程上止点。在康明斯 B、C 系列柴油机的正时齿轮中，曲轴正时齿轮和配气机构凸轮轴正时齿轮上刻有记号，装配时要对齐。但配气机构凸轮轴正时齿轮和喷油泵驱动齿轮间无正时记号，对于康明斯 C 系列和 B 系列柴油机，安装喷油泵前先用盘车工具转动飞轮，使齿轮室上的定时销能够插入正时齿轮销孔，此时活塞处于第 1 缸压缩冲程上止点对应的位置，如图 5-18 所示。第 1 缸压缩上止点确定后，应使用喷油泵凸轮轴定时销将喷油泵凸轮轴锁定在正确的正时位置。如图 5-19 所示，拆下喷油泵定时销外的检视螺塞，转动喷油泵凸轮轴，从检视孔中可观察到突耳或缺口，将定时销插入锁定喷油泵凸轮轴。此时，喷油泵凸轮轴的转角正好是规定的供油提前角，即凸轮轴处于从供油始点（出油阀紧帽处油面开始波动）继续顺时针转过一个供油提前角角度的位置。

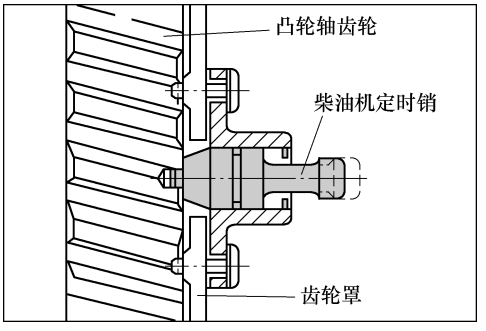


图 5-18　柴油机传动齿轮定时销

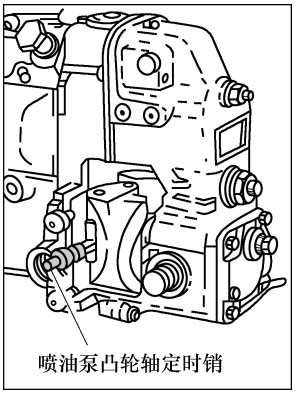


图 5-19　喷油泵凸轮轴定时销

完成上述步骤后，将喷油泵凸轮轴插入喷油泵驱动齿轮的中心孔中，并将喷油泵泵体按规定力矩安装在齿轮盖背面的固定螺栓上。再用套筒和扭力扳手以 10～15N·m 的力矩将喷油泵凸轮轴驱动齿轮的固定螺母拧紧。注意：拧紧的力矩不可超过规定力矩，以免损坏定时销。再将 2 个正时销取出并倒过来装入其安装孔中，完成喷油泵的安装及喷油定时的确定。由此可见，对于康明斯 C 系列和 B 系列柴油机，利用两个正时销插入来确定供油时间的方法简单、操作方便且可靠性高。一旦其供油正时确定，在其后的工作中一般不需再进行调整。最后，应按规定力矩将喷油泵凸轮轴驱动齿轮的固定螺母再次拧紧。

四、调速器

调速器是限制柴油机转速在一定范围内稳定工作的自动调节供油量的装置，它通常与柱塞式喷油泵安装一体。

1. 安装调速器的必要性

柱塞式喷油泵每循环供油量，主要取决于柱塞的供油有效行程。但是，在实际工作中的供油量，还与柴油机转速有关。当柴油机油量调节拉杆位置一定（即柱塞供油有效行程一定）时，喷油泵的循环供油量随柴油机转速变化的关系，称为喷油泵的速度特性，如图 5-20 所示。

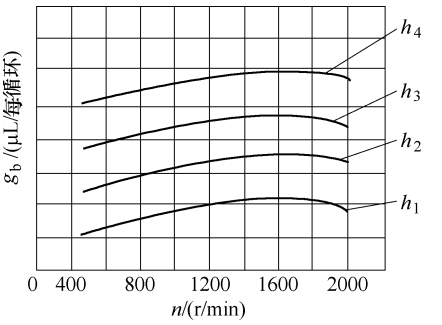


图 5-20 柱塞式喷油泵的速度特性

h_1、h_2、h_3、h_4—喷油泵油量调节拉杆位置

从喷油泵速度特性曲线可知，喷油泵的循环供油量随柴油机转速上升而增加。这是因为由柱塞套油孔的回油节流阻力而产生的出油阀早开、迟闭的程度，是随柴油机转速升高而增大。柴油机转速升高，柱塞运动速度加快，柱塞上行尚未完全关闭柱塞套油孔时，由于节流阻力，燃油不能及时挤回低压油腔，致使泵腔的燃油压力升高，出油阀提早开启；而在柱塞压油终了时，节流阻力又使燃油不能及时流回低压油腔，致使泵腔内的燃油压力不能迅速下降，出油阀延迟关闭。出油阀的早开迟闭，使柱塞的实际供油行程大于它的几何供油行程。随着柴油机转速的升高，节流阻力增大，出油阀早开、迟闭的程度相应增大，从而使柱塞实际供油行程也越来越大。反之，喷油泵的循环供油量随转速下降而减少。总之，柱塞式喷油泵的速度特性会产生不良后果，即柴油机由大负荷工作转为突然卸去负荷时，喷油泵油量调节拉杆一时来不及向减油方向移动，柴油机的转速便升高；而此时在喷油泵速度特性作用下，又自动加大循环供油量，促使柴油机转速进一步升高。这样相互作用下去，柴油机会出现超速，甚至发生“飞车”事故。因此，柴油机必须自动限制超速。

柴油机在怠速运转时，油量调节拉杆保持在最小供油量位置，此时，柴油机内部阻力如有增大，柴油机转速便会降低；并在喷油泵速度特性作用下，喷油泵自动减少循环供油量，促使柴油机转速进一步降低而熄火。反之，柴油机内部阻力如稍有减少时，柴油机怠速又将不断升高。因此，柴油机必须自动稳定怠速。

2. 调速器的性能指标

（1）调速率　调速器的工作好坏，通常用调速率来评定，调速率可通过柴油机突变负荷试验测定。试验时，先使柴油机在标定工况下运转，然后突卸或突增全部负荷，测定突变负荷前后的转速即可得。根据测定条件不同，调速率可分稳定调速率和瞬时调速率两种。

1）稳定调速率 σ_2：

$$\sigma_2 = \left| \frac{n_3 - n_1}{n_b} \right| \times 100\% \tag{5-1}$$

式中，n_1 为柴油机突变负荷前的转速（r/min）；n_3 为柴油机突卸或突增负荷后的最高稳定空载转速或最低稳定转速（r/min）；n_b 为柴油机的标定转速（r/min）。

稳定调速率表明，柴油机实际运转时的转速波动相对于全负荷转速的变化范围。如果稳定调速率太高，不仅对工作机械的稳定工作不利，而且对于空转时柴油机零件的磨损也是有害的。一般规定，工程机械用柴油机，σ_2 = 8% ~12%；对于汽车用柴油机，要求 $\sigma_2 \leqslant 10\%$；对于拖拉机

用柴油机，要求 $\sigma_2 \leqslant 8\%$；对于发电用柴油机要求高一些，希望 $\sigma_2 \leqslant 5\%$。

不同用途的柴油机对其调速率的 σ_2 要求不同。σ_2 在康明斯产品说明书上称为速度降（speed droop）。对单台柴油机运转允许 $\sigma_2 = 0$，表示该柴油机将不随外界负荷变化而保持恒速运转。但在几台柴油发电机并联工作时，为对并联运行柴油机间所承担的负荷进行自动调节，使各机负荷分配合理，各机的 σ_2 必须设置合理且不得为零。

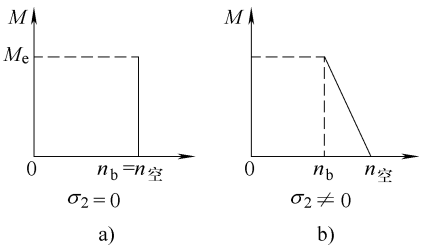


图 5-21　柴油机的调速特性

为了便于理解，将稳定调速率在调速特性曲线上示出，如图 5-21 所示。实测的调速特性曲线并非直线，此处近似地以直线示出。由图可见，若空载时转速为 $n_{空}$，则随着负荷的增加，柴油机转速相应降低，在标定转矩时转速下降为 n_b（标定转速），此转速差（$n_{空} - n_b$）的大小反映了 σ_2 的大小，如图 5-21b 所示。若（$n_{空} - n_b$）$= 0$ 则表示此时 $\sigma_2 = 0$，相当于具有积分特性调速器的调速特性，如图 5-21a 所示。

以电网由两台标定功率相等的发电机组组成为例，且假设两机组具有相等的 σ_2。并车合闸后，两台机组实际转速总是一样。下面分几种情况分析 σ_2 对负荷分配的影响。

①（σ_2）$A =$（σ_2）$B > 0$。

a. 两机组转速设定值不等。一机组 B 单独工作，转速设定在 B 线，工作点在 B 线上移动。如负荷达 100%，转速为 n_1，如图 5-22 所示。起动另一机组 A，合闸，负荷转移。如转速设定在 A 线上，此时负荷分配为：A 机 −25%，B 机 −75%，它们的转速为 n_2。这样，它们可承担的负荷为 50% ~ 150%，工作于 $n_3 \sim n_1$。工作于 n_3 时，承担的负荷最小，一台为 0，一台为 50%。工作于 n_1 时，承担的负荷最大，一台为 50%，一台为 100%。

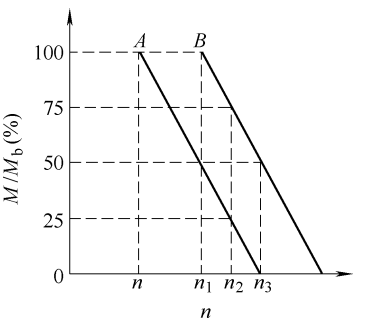


图 5-22　σ_2 相等且不为零的调速曲线

可见，这样调节不能充分发挥两机组的能力（承担 200% 的负荷）。负荷超过 150%，会使 B 机组超负荷。

b. 两机组转速设定值相等。继续调整 A 机组转速设定值（弹簧预紧力）至线 B，这时每台机组承受负荷 50%，转速为 n_3。

可见，电网中任一台机组转速设定值变化，均对电网（系统共同）转速有影响。即一台设定值增大，两台转速同步增加。例如 100% 负荷时 A 机组由合闸处（0% 负荷）调至 A 线位置，电网转速由 n_1 变至 n_2。由 A 线位置调至 B 线位置，电网转速由 n_2 变至 n_3。如要电网频率不变，可在 A 机组起动合闸后，增大转速设定值至 A 线的同时，减小 B 机组的转速设定值至 A 线。这时每台机组承受负荷 50%，转速仍保持在 n_1。

两机组转速设定值一样，均为 A（或均为 B），两机组的能力就能充分发挥，而且负荷均匀分配（总是承受相等的负荷）。负荷 200% 时，转速为 n；负荷为 0 时，转速为 n_3。

如两台标定功率相等的柴油机并联运行，其$(\sigma_2)1 = (\sigma_2)2 > 0$，则两机有重合的调速特性曲线。如图 5-23 所示。M 合为两机合成的调速特性线。由图可知，当转速为 n_1 时，每机运行点为点 2，合成工作点为点 1，两机负荷分配均匀；当外负荷增加后，两机转速同步下降至 n_2，每机运行点为点 2′，合成工作点为点 1′，负荷仍均匀分配；当转速下降至 n_b 时两机同时到达标定工况。

②（σ_2）$A =$（σ_2）$B = 0$。如两机组稳定调速率 σ_2 均等于零，则其调速特性曲线重合为一条垂

直横座标的垂直线，如图 5-24 所示。虽然总功率由用电负荷确定了，转速也一定（图中为 n_b），但两机组间负荷分配比例处于不稳定的混乱状态，无控制的随时间而任意变动。可能所有负荷都加在一台机组上，甚至另一台发电机出现倒流（即机组被带动旋转）的情况。也可能两机组间负荷不断来回转移–振荡。因此这种装置是不能使用的。

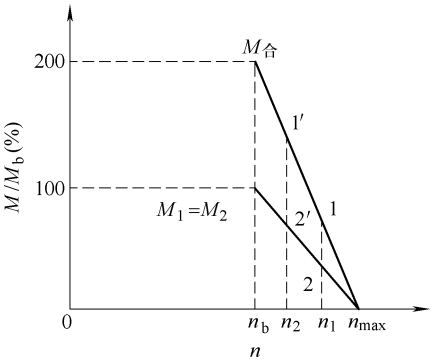


图 5-23 σ_2 相等时负荷分配

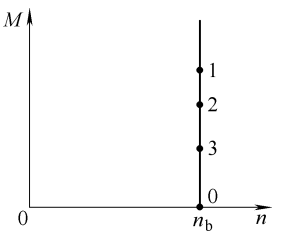


图 5-24 σ_2 为 0 时的负荷分配

可知，对于并联运行的多台柴油机发电机组，稳定调速率 σ_2 可用以来调节承担负荷的分配比例。无论并联运行的柴油机的标定功率是否相等，欲使其承担负荷合理分配，则要求各机的 σ_2 尽可能相等且大于零。

2）瞬时调速率 σ_1。瞬时调速率是评定调速器过渡过程的指标。柴油机在负荷突然变化时，转速经过数次波动后才能在新的转速下稳定工作，这个过程称为过渡过程。如图 5-25 所示为柴油机突卸负荷时，转速随时间的变化情况，t_n 为过渡时间。瞬时调速率 σ_1 表示过渡过程中转速波动的瞬时增长百分比。

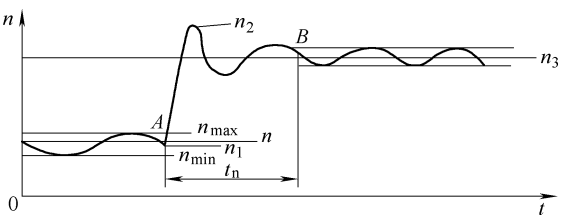


图 5-25 突卸负荷时调速过程的转速变化

$$\sigma_1 = \left| \frac{n_2 - n_1}{n_b} \right| \times 100\% \tag{5-2}$$

式中，n_1 为柴油机突变负荷前的转速（r/min）；n_2 为柴油机突变负荷时的最大或最小瞬时转速（r/min）；n_b为柴油机的标定转速（r/min）。

一般 $\sigma_1 \leqslant 12\%$，$t_n = 5 \sim 10s$；对发电用的柴油机，要求 $\sigma_1 = 5\% \sim 10\%$，$t_n = 3 \sim 5s$。

过渡过程不好时，转速不能稳定在某一转速下，会有较大的波动。严重时还会发出转速忽高忽低的响声，这种现象通常称为“游车”。调速器一旦发生“游车”，工作就会失灵，必须设法消除。

（2）不灵敏度　调速器工作时，调速系统中有摩擦存在，需要有一定的力来克服摩擦，才能移动油量调节机构。不论柴油机转速增加或减少，调速器都不会立即得到反应以改变循环供油量，因为机构中的摩擦力阻止着调速器滑套的运动。例如，柴油机转速为 2 000r/min 时，调速器可能对转速 $n_1' = 1\ 990$ r/min 到 $n_2' = 2\ 008$ r/min 范围内的变动都不起反应，这样两个起作用的极限转速之差对柴油机平均转速之比就称为调速器的不灵敏度，即

$$\varepsilon = \frac{n_2' - n_1'}{n_m} \tag{5-3}$$

式中，n_2'为当柴油机负荷减小时，调速器开始起作用时的曲轴转速（r/min）；n_1'为当柴油机负荷增大时，调速器开始起作用时的曲轴转速（r/min）；n_m为柴油机的平均转速（r/min）。

不灵敏度过大时，会引起柴油机转速不稳，在极端的情况下甚至会导致调速器失去作用，使柴油机产生“飞车”的危险。在低速时调速器的推动力小，喷油泵供油齿杆（或拉杆）移动时的摩擦力增大，结果调速器不灵敏度 ε 显著地增加。一般规定 ε 在标定转速时不超过 1.0%，最低转速时不超过 5.0%。

（3）转速波动率　转速波动率是柴油机在稳定运转时转速变化的程度，即在负荷不变的运转条件下，在一定时间内测定最大转速 n_{max}（或最小转速 n_{min}）与该时间内的平均转速 n_m 之差除以平均转速 n_m，并取绝对值的百分数计算，即

$$\psi = \left| \frac{n_{max}(\text{或 } n_{min}) - n_m}{n_m} \right| \times 100\% \tag{5-4}$$

一般测定标定功率时的转速波动率，其值应≤1%。

3. 机械离心式调速器

调速器和柴油机共同组成一个自动调节控制系统。外界负荷的变化，引起柴油机转速变化，经过一定的传动比，使调速器有一转速变化，调速器的转速变化产生一个输出信号，经过传动比直接作用在油泵齿杆上，使齿杆产生位移，位移又引起供油量的变化，最终影响到柴油机的转速，起到自动调节转速的作用。

（1）全程式机械离心调速器工作原理　调速器按其感应元件形式及作用原理可分为机械离心式、液压式和气动式三种。机械离心式调速器在中、小型柴油机上应用最广泛。机械离心式（全程式）调速器的工作原理如图 5-26 所示。其中，调速弹簧的弹力不是固定的，通过改变操纵杆的位置可使其任意改变，因而，这种类型的调速器称之为全程式调速器。柴油机工作时，利用操纵杆 2 将调速弹簧的弹力固定在某一大小上，使柴油机获得所需之转速。此时，飞球 4 在支承盘带动下旋转，飞球离心力通过滑动盘 5 对调速杠杆的作用，恰好与调速弹簧弹力相平衡。当柴油机负荷减小时，转速升高，飞球离心力作用大于调速弹簧弹力的作用，便推动调速杠杆将调节齿杆向左拉动，供油量减少，转速下降，直到飞球离心力与弹簧弹力得到新的平衡为止。当柴油机负荷增加时，转速下降，飞球离心力作用减小，在调速弹簧弹力作用下，拉动调速杠杆将调节齿杆向右推动，供油量增大，柴油机转速上升，直到飞球离心力与调速弹簧弹力再次平衡为止。

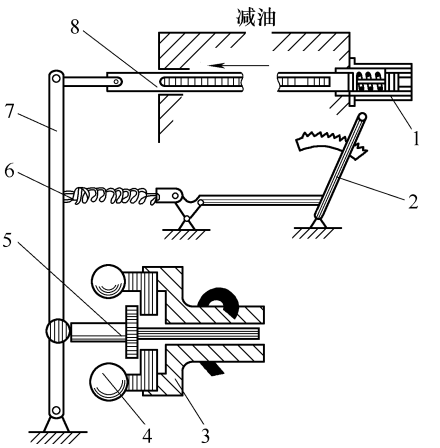


图 5-26　机械离心式（全程式）调速器的工作原理

1—齿杆限位螺钉　2—操纵杆　3—支承盘　4—飞球　5—滑动盘　6—调速弹簧　7—调速杠杆　8—调节齿杆

值得注意的是，经过调整后的转速并不能完全回到原来的转速上，有了一定的差距。增加负荷时，其稳定后的转速要比原来的转速稍低；减小负荷时，其稳定后的转速较原来的转速稍高。这种直接作用的离心式调速器难以实现恒速工作，即该类型调速器为有差调节，如图 5-26 所示机械离心式调速器的稳态调速率不会为零。

全程式调速器所控制的转速是随着操纵杆的位置而定的。操纵杆向右移，调速弹簧弹力变大，此时调速器起作用时的转速变高，即柴油机稳定工作转速增高。反之，操纵杆向左移，调速弹簧弹力减小，柴油机稳定工作转速降低。在柴油机稳定工作转速上，则是由飞球离心力与调速

器弹簧的相互作用来保持其稳定工作。

（2）RSV 型调速器（仅节选部分装配图，以配合说明其结构及工作原理，故图 5-27 ~ 图 5-32中的零件号可综合参考）RSV 调速器（见图 5-27）是一种典型的机械离心式全程调速器，可用于 P 型泵、M 型泵，A 型泵、AD 泵的配套，用途十分广泛。

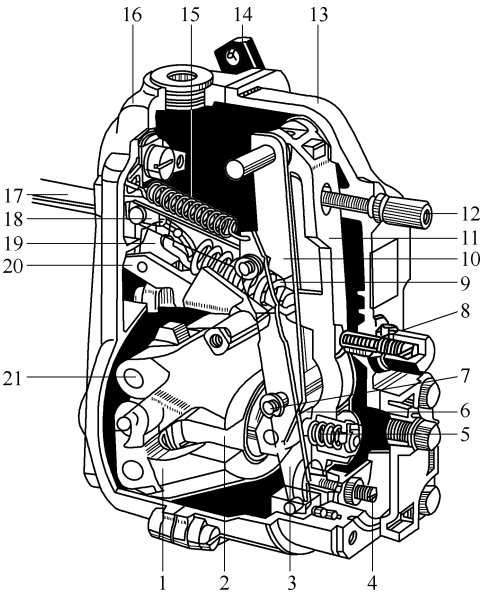


图 5-27 RSV 型机械离心式全程调速器

1—飞锤 2—调速套筒 3—浮动杆 4—齿杆行程限位螺栓 5—校正弹簧 6—丁字架 7—小轴 8—怠速弹簧 9—调速弹簧 10—支持杆 11—调速杠杆 12—停车/怠速限位螺钉 13—调速器盖 14—调速手柄 15—起动弹簧 16—调速器体 17—供油齿杆 18—连接杆 19—弹簧挂耳 20—弹簧摇臂 21—飞锤座架

1）RSV 调速器的构造如图 5-27 所示。这种调速器的结构特点是双杠杆，一根调速弹簧，转速感应元件为飞锤。调速器装在喷油泵后端，由喷油泵凸轮轴后端的调速齿轮驱动。调速器主要由飞锤 1、飞锤座架 21、调速套筒 2、支持杆 10、调速杠杆 11、浮动杆 3、调速弹簧 9、起动弹簧 15、怠速弹簧 8、校正弹簧 5、调速手柄 14 及齿杆行程限位螺栓 4 等组成。

飞锤 1 通过飞锤销装在飞锤座 21 上，并可绕飞锤销转动。飞锤座通过半圆键与喷油泵凸轮轴相连。飞锤的尾部通过滑块与调速套筒 2 相接触，因此飞锤向外张开时，可推动调速套筒向减油方向移动。调速套筒另一端装有丁字架 6。丁字架与支持杆 10 相连。

支持杆的上端挂在后盖的轴销上，并可绕轴销转动。支持杆的下端小轴上装有浮动杆 3。浮动杆的下端有一销钉插入停车机构拨叉的槽中（见图 5-32）。停车机构不工作时，浮动杆以此处为支点摆动，其上部通过连接杆 18 与供油齿杆 17 相连，其顶端则与较软的起动弹簧 15 相连。由于起动弹簧另一端勾在调速器前壳上，因此弹簧总是力图使浮动杆向左摆动，并使供油齿杆向油量增大方向移动。

当飞锤 1 受离心力作用向外张开时，滑块推动调速套筒和丁字架 6，并使支持杆 10 以上端为支点作逆时针摆动，而支持杆则借小轴 7 带动浮动杆 3 以最下端为支点作顺时针方向摆动，同时将供油齿杆 17 拉向油量减小方向（见图 5-28）。

在后盖中部还装有弹簧摇臂 20，弹簧摇臂的轴支承在后盖的孔中，轴的尾端伸出后端盖并与调速手柄 14 相连。弹簧摇臂上装有弹簧挂耳 19，弹簧挂耳一端拧有调整螺钉，可改变调速器的稳态调速率（转速降）。调速弹簧一端挂在弹簧挂耳上，另一端挂在调速杠杆 11 中部凸耳的孔中。当调速杠杆绕轴摆动时，调速弹簧将发生变形，以改变弹簧预紧力，设置柴油机转速。

调速杠杆的下部装有校正装置，它由校正弹簧 5，顶杆和调整垫片等组成。调整垫片用于调整校正弹簧的预紧力。

在后盖中还装有怠速弹簧 8，在怠速工况下，怠速弹簧与调速杠杆相接触以保持怠速稳定。后盖下部有油量限位螺钉用以限制调速杠杆向左摆动的极限位置。后盖上部有停车挡钉/怠速限位螺钉 12；前壳上装有高速限位螺钉，以调整和限制柴油机的最高工作转速。

2）调速器工作原理。

① 柴油机 RSV 调速器起动工作过程如图 5-28 所示。起动前将调速手柄 14 向左扳到与高速

限位螺钉相碰的位置。这时调速杠杆在调速弹簧 9 的作用下其下端与齿杆行程限位螺栓 4 接触。同时在起动弹簧 15 的作用下，齿杆被拉到起动加油位置，并通过浮动杆 3、支持杆 10、丁字架 6、调速套筒等零部件把飞锤压到收拢位置，这时丁字块与调速杠杆 11 上的校正顶杆 22 大端脱开，使齿杆行程达到最大的起动加油位置。当柴油机起动后转速上升，飞锤离心力增大到能克服起动弹簧拉力的作用，使齿杆向减油方向移动。当丁字块与顶杆大端接触时，在校正弹簧 5 的作用下，齿杆停止运动。起动弹簧在柴油机运转中一直对油泵起控制作用。但因其拉力很小，故除起动工况必须考虑外，其他工况时特别在全速位置分析时可略去不计。

② RSV 型调速器怠速工况。柴油机起动后，将调速手柄向右扳到怠速位置（见图5-29），调速弹簧接近于垂直位置，这时调速弹簧9 几乎完全放松。当飞锤在离心力作用下向外张开时，支持杆 10 即被推向右移动，并以小轴 7 带动浮动杆 3 以下端为支点作顺时针摆动，使供油量减小。与此同时，丁字架向右推与校正顶杆 22 大端接触后将继续右移，并通过校正装置（压缩校正弹簧 5）使调速杠杆 11 也向右摆动，压到怠速弹簧 8 上，直至飞锤离心力的轴向推力与怠速弹簧的弹力相平衡为止。此时供油量减小，柴油机在怠速下工作。如果转速升高，则怠速弹簧受到更大压缩，浮动杆在飞锤离心力作用下向减小供油量方向移动，以限制转速的上升。反之，如果转速降低，则怠速弹簧推动调速杠杆向左摆，使供油量稍许增加。如果转速降低较多，则起动弹簧的作用增大，将供油拉杆进一步拉向油量较大的位置，以保持怠速稳定。

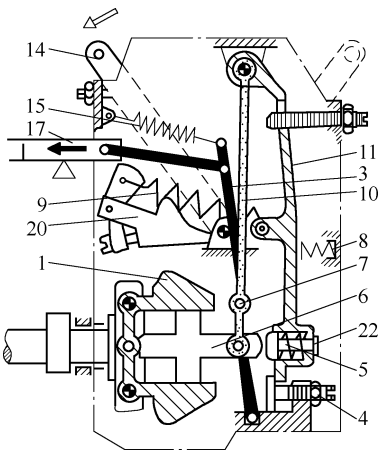


图 5-28　柴油机 RSV 型调速器起动工作过程
1—飞锤　3—浮动杆　4—齿杆行程限位螺栓
5—校正弹簧　6—丁字架　7—小轴　8—怠速弹簧
9—调速弹簧　10—支持杆　11—调速杠杆　14—调速手柄
15—起动弹簧　17—供油齿杆　20—弹簧摇臂　22—校正顶杆

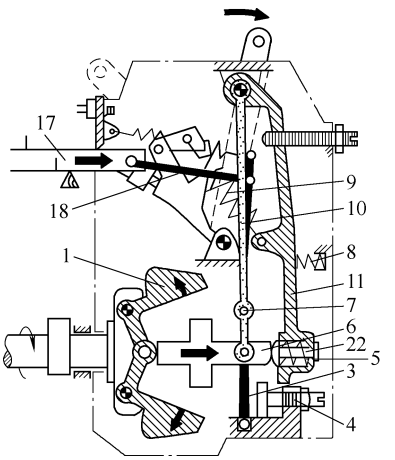


图 5-29　RSV 型调速器怠速工况
1—飞锤　3—浮动杆　4—齿杆行程限位螺栓
5—校正弹簧　6—丁字架　7—小轴　8—怠速弹簧
9—调速弹簧　10—支持杆　11—调速杠杆
17—供油齿杆　18—连接杆　22—校正顶杆

③ 中速工况。当调速手柄由怠速向高速位置扳动时，随着调速手柄的转动弹簧摇臂作逆时针摆动，调速弹簧被拉紧，预紧力也逐渐增大，调速器控制的转速也越来越高。对应于每一个手柄位置就有一个调速器控制的转速范围，柴油机就在此转速范围内稳定运转。

柴油机在某一负荷、某一转速下运转时，飞锤 1 由于离心力而向外张开，通过丁字架 6 向右推动调速杠杆 11 于某一位置（调速杠杆 11 下端离开齿杆行程限位螺栓 4，与限位螺栓间形成一定的距离），这时飞锤的离心力与调速弹簧的弹力达到平衡，并通过支持杆 10 和浮动杆 3，使油量调节齿杆也保持在某一位置，柴油机即在此工况下稳定运转。

此时，如柴油机的负荷减小，它的转速就上升，飞锤的离心力会大于调速弹簧的弹力，破坏

了原来的平衡，通过丁字架向右将调速杠杆下端更向右推（调速杠杆下端与限位螺栓间的距离变大）。由于丁字架6的右移，浮动杆3、连接杆18和供油齿杆17也跟着向右移动，于是喷油泵的供油量减小，以适应负荷减小的需要。这就限制了转速的继续升高，柴油机在新的平衡情况下稳定运转。反之，如柴油机的负荷增大，柴油机转速就下降，飞锤的离心力变小，飞锤座向内收拢，调速杠杆下端随之向左摆（它与限位螺栓间的距离变小），供油齿杆向左移动，供油量增大，与增大了的负荷相适应。于是限制了柴油机转速的继续下降，而达到一个新的平衡。

④ 标定转速与高速控制。当调速手柄扳到与高速限位螺钉23相碰的位置，调速弹簧9被拉紧（见图5-30），在此状况下柴油机的转速可在标定转速与最高空转转速之间变化（负荷在全负荷和空载间变化）。当柴油机为全负荷时，柴油机工作于标定转速，调速杠杆11因调速弹簧张力很强而使其下端压在齿杆行程限位螺栓4上。而此时由于飞锤离心力较大，丁字架将校正顶杆22向右推移，并压紧校正弹簧5。如果在高速工况下卸去全部负荷，柴油机转速将继续升高，飞锤离心力也随之增大。由于校正弹簧已被压紧而不能继续变形，丁字架便通过顶杆22进一步推动调速杠杆11右移，并带动支持杆10在向右摆动，使浮动杆3作顺时针转动，将供油量减小，使柴油机在最高空转转速下工作，并防止柴油机超速。

⑤ 校正工况。为使柴油机适应短时间超负荷的要求，在供油齿杆前端的喷油泵壳体上装有校正弹簧5，校正器的工作情况如下：

当柴油机在全负荷（标定功率）工况下工作时，调速杠杆11的下端与齿杆行程限位螺栓4相碰，顶杆22压紧校正弹簧5（见图5-30）。如柴油机的负荷超过全负荷时，柴油机的转速就下降，飞锤离心力减小。这时校正弹簧5开始张开，使校正顶杆22和丁字架6左移，通过支持杆10和小轴7带动浮动杆3作逆时针转动，使供油量增加，柴油机短时间超负荷工作。

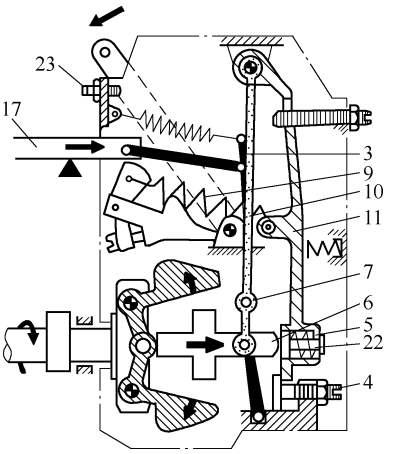


图5-30 RSV型调速器高速工况
3—浮动杆 4—齿杆行程限位螺栓
5—校正弹簧 6—丁字架 7—小轴
9—调速弹簧 10—支持杆
11—调速杠杆 17—供油齿杆
22—校正顶杆 23—高速限位螺钉

⑥ 停车工况（见图5-31）。停车时，扳动调速手柄14至最右端，使弹簧摇臂20上的弹簧挂耳19与停车/怠速限位螺钉12相碰。弹簧摇臂的三角形凸起部将推压支持杆10向右摆，浮动杆3则随之作顺时针转动，将供油齿杆17拉至停油位置。

如果调速器设有停车机构，如图5-32所示，浮动杆3的下端有一个销钉24插入停车机构拨叉的槽中，停车时只需转动停车手柄25，即可通过销钉24使浮动杆3以小轴7为支点作顺时针转动，将供油齿杆拉至停车位置。

4. 电子调速器

20世纪90年代至今，世界各国已将柴油机电控技术作为衡量柴油机先进性的重要指标，同时微电子技术和控制理论的发展及对自动化水平要求的提高，推动了柴油机电控技术特别是以计算机为核心的数字式电子控制技术的发展。电子调速技术作为柴油机电控技术的重要组成部分，在提高柴油机性能方面起到了重要作用。因为无论是机械式还是机械液压式调速器，由于转速偏差信号的测量与放大都是通过机械元件实现的，这就不可避免地存在着惯性滞后及摩擦阻力大等固有缺陷，因此，用这两种调速器就难以实现较为复杂的调节规律和控制功能，且无法满足进一步降低油耗、减少有害排放和提高调节精度和自动化程度的要求。所以研究人员便以电子器件取

代机械元件，用电信号取代机械信号来设计调速器，研制和开发电子调速器，并推出了多种型号的同类产品。其共同点是均由磁电式转速传感器、以模拟或数字 PID 或 PI 调节器为核心的转速控制器、执行器及其他一些功能附件组成。起初是模拟式电子调速器，其后出现以微处理器为核心的数字式电子调速器，后者由专用控制用微处理机和一系列输入输出接口电路组成。除输入输出信号转换之外，系统的各项功能均由软件编程实现，对硬件的依赖性降低，具有极强的适应性和功能扩展能力。

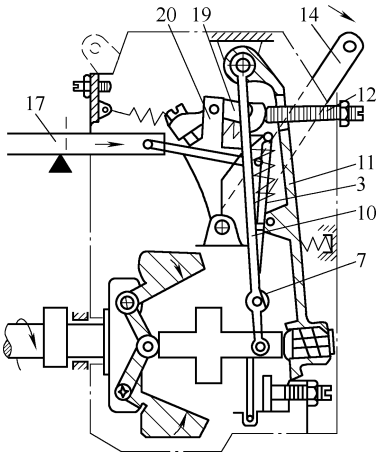


图 5-31　RSV 型调速器停车工况
3—浮动杆　7—小轴　10—支持杆
11—调速杠杆　12—停车/怠速限位螺钉
14—调速手柄　17—供油齿杆
19—弹簧挂耳　20—弹簧摇臂

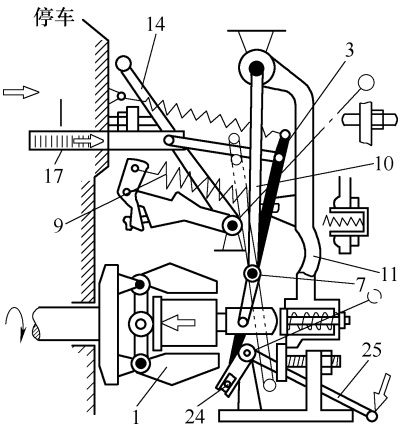


图 5-32　RSV 型全程调速器停机手柄
1—飞锤　3—浮动杆　7—小轴　9—调速弹簧
10—支持杆　11—调速杠杆　14—调速手柄
17—供油齿杆　24—销钉　25—停车手柄

下面以康明斯 C 系列柴油机所采用的电子调速系统说明其组成和工作原理（该调速系统采用 ESD5500E 型模拟式电子调速模块）。

（1）工作原理　任何调速器都要求有预先给定的理想转速。电子调速器是将要调节柴油机的实际转速与理想转速进行比较，当实际转速偏离理想转速时，调速器就通过调节执行元件给柴油机一个指令，使实际转速与理想转速趋于相同。

模拟式电子调速系统一般由控制器、转速传感器、执行器和外围控制开关及调节电位器等组成。在该调速系统中，柴油机的设定转速由转速电子控制器上的转速设定电位器设定；柴油机的实际转速由装于飞轮齿圈部位的磁电式转速传感器测取，其输出信号为频率与柴油机转速成比例的交流电压；该信号经频率/电压（F/V）变换电路转换为直流电压，与设定值比较后得到柴油机转速的偏差量 Δn；该偏差经 PID 运算后，输出控制信号至电磁执行器，电磁执行器使柴油机喷油泵供油齿杆（或拉杆）向减小转速偏差的油量调节方向运动，从而控制柴油机在所设定的转速下稳定运转，如图 5-33 所

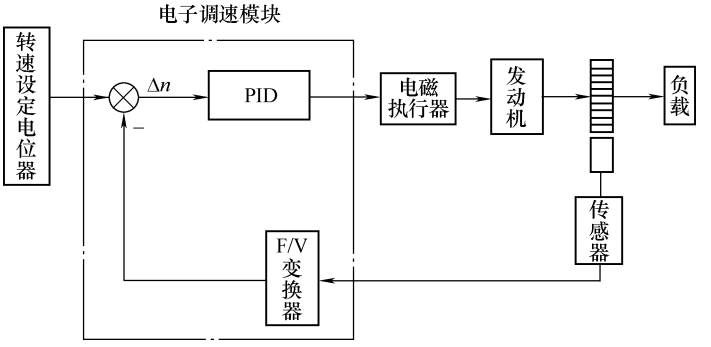


图 5-33　电子调速器工作原理

示。当外负荷变化使柴油机转速增大时，磁性测速头感应产生的交流电压频率立即增大，经速度传感器转换后的直流电压也随之增大，在控制器内它与转速设定信号之和变为“负值”。此时控制器即向执行器输出“减油”的信号，通过执行器使柴油机的燃油量减少，转速随之下降。同理，当柴油机转速减小时，控制器会立即向执行器输出“加油”的信号，通过执行器使柴油机加油，提高其转速。

如果电子调速器模块失去供电电压或检测不到转速传感器的信号，电子调速器模块输出回路会关闭送往电磁执行器的电流，在复位弹簧作用下，柴油机会停止运转。

（2）组成单元

1）转速传感器。柴油机转速传感器有电磁感应式、霍尔式、光电式等多种形式，其中电磁感应式应用广泛。电磁感应式传感器主要由外壳、永久磁铁和线圈等组成，其工作原理如图5-34所示，磁力线穿过的路径为：永久磁铁N极→定子与转子间的气隙→转子凸齿→转子凸齿与定子磁头间的气隙→磁头→导磁板→永久磁铁S极。当信号转子旋转时，磁路中的气隙就会周期性地发生变化，磁路的磁阻和穿过信号线圈磁头的磁通量随之发生周期性的变化。根据电磁感应原理，传感线圈中就会感应产生交变电动势。

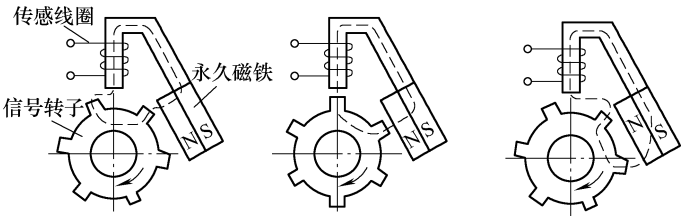


图5-34　电磁感应式传感器工作原理

当信号转子按顺时针方向旋转时，转子凸齿与磁头间的气隙减小，磁路磁阻减小，磁通量增多，磁通量变化率增大，感应电动势为正。当转子凸齿接近磁头边缘时，磁通量急剧增多，磁通变化率最大，感应电动势最高。当转子继续旋转至凸齿的中心线与磁头的中心线对齐时，此过程虽然磁通量仍在增多，但磁通变化率减小，因此感应电动势降低直至为零；当转子沿顺时针方向继续旋转，凸齿离开磁头时，凸齿与磁头间的气隙增大，磁路磁阻增大，磁通量减少，所以感应电动势为负值。当凸齿转到将要离开磁头边缘时，磁通量急剧减少，磁通量变化率达到负向最大值，感应电动势也达到负向最大值。

可见，信号转子每转过一个凸齿，传感线圈中就会产生一个周期的交变电动势，即电动势出现一次最大值和最小值，传感线圈也就相应地输出一个交变电压信号，如图5-35所示。

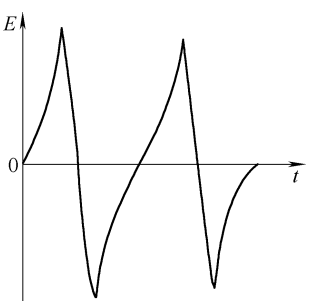


图5-35　传感线圈电动势波形

电磁感应式转速传感器可安装在飞轮壳上，利用柴油机铁磁材料的飞轮齿圈配合，即以飞轮齿圈为信号转子，如图5-36所示。其主要原因在于该处转速波动最小，而且转速传感器安装方便，并且不需外加电源。永久磁铁起着将机械能转换为电能的作用，其磁能不会损失。飞轮旋转时，线圈上就会产生一个频率与飞轮转速成正比的正弦信号。其频率f（单位为Hz）与发动机转速n和测速齿轮齿数Z成正比：

$$f = nZ/60 \tag{5-5}$$

其幅度与转速成比例，与齿顶和铁心端面的间隙大小成反比，转速越高输出电压越高，最高

时峰值可达6V。电子调速系统就是根据该信号来调整柴油机的转速。

电磁速度传感器和齿轮环齿的间隙要在柴油机停止后调节。此间隙不能小于0.45mm。通常当速度传感器接触到齿轮齿时向后再反转1/2～3/4圈，再用锁紧螺母锁紧几圈就可达到这个精确的空气间隙。在起动时，电磁速度传感器电压变化至少AC1V。

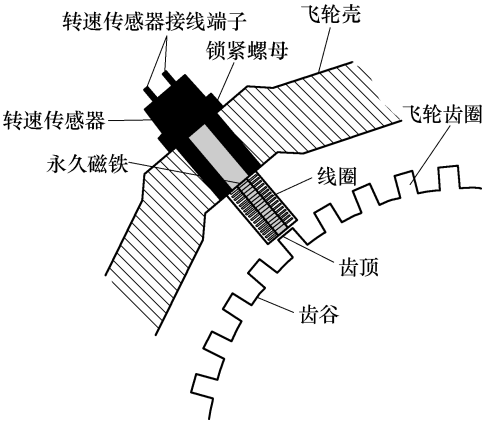


图5-36　电磁感应式转速传感器的安装

2）电磁执行器包括两位式电磁执行机构、直流比例电磁执行机构和转动式比例电磁执行机构等。

电磁执行器的电磁线圈也称螺线管，线性螺线管的结构和工作原理与电磁阀基本相同，当线性螺线管中的电枢与阀连在一起时，就成了电磁阀。

一种比例型线性螺线管用作执行器的直列泵油量调节齿杆行程或位置控制装置的结构如图5-37所示。线性螺线管由线圈、电枢（衔铁）、复位弹簧及屏蔽外壳等构成。线圈通电时，电枢在电磁力作用下克服复位弹簧力而产生位移。齿杆位移执行器为一个二阶弹簧—阻尼系统，控制电流通过螺线管时，电枢磁化，在磁饱和前，电磁力随电流的平方而变。磁饱和时，电枢产生一个与螺线管中电流成正比的力，此力的大小随电枢与螺线管磁心之间的距离而变。通过电磁力与复位弹簧力平衡，使齿杆定位。线性螺线管产生的电磁力和复位弹簧力间差值的正、负值对应于齿杆的加、减速，改变输入螺线管的电流就能精确控制齿杆的行程或位置。如图5-38所示为比例型线性电磁执行机构在直列式喷油泵上的应用，图示线性螺线管在最大电流时的控制力为60～70N，齿杆平均响应速度为300mm/s。

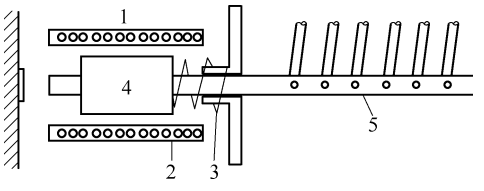


图5-37　一种比例型线性螺线管用作齿杆行程或位置控制装置
1—屏蔽外壳　2—线圈　3—复位弹簧　4—电枢　5—调油齿杆

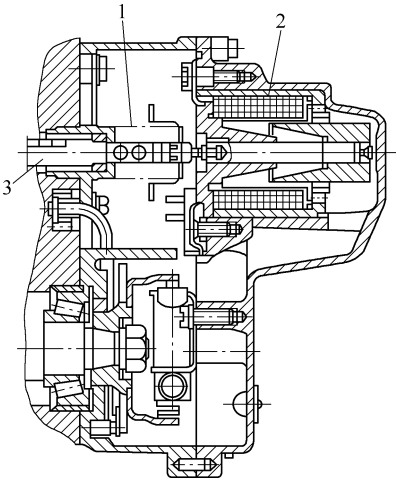


图5-38　比例型线性电磁执行机构在直列式喷油泵上的应用
1—复位弹簧　2—线性电磁铁　3—调油齿杆

转动式螺线管的基本结构和工作原理如图5-39所示。它由线圈、定子、电枢（衔铁转子）、轴和复位弹簧构成。线圈通电时，在磁场作用下，电枢在转动力矩作用下转动，直到转动力矩与

电枢复位弹簧产生的力矩平衡在某一位置为止，电枢转动的角度与线圈中通过的电流呈线性关系。

ADB225G 型电磁执行器（直流比例电磁执行）实物如图 5-40 所示。电子调速器输出相应驱动电流至直流比例电磁铁的线圈，衔铁在电磁力的作用下动作，通过转轴转换成杠杆机构的拉力，最终将喷油泵中的油量控制齿杆稳定在与设定转速对应的位置（此时驱动电流产生的电磁力与直流比例电磁铁内部复位弹簧的张力保持平衡）。负载增大，转速降低时，直流比例电磁铁中的衔铁通过杠杆机构将油量控制齿杆向增加油量的方向拉动，转速就会恢复至设定值（电磁力与复位弹簧的张力达到新的平衡）；负载减轻，转速升高时，电子调速器输出的驱动电流减小，此时油量控制齿杆在复位弹簧的作用下向减油方向运动，最终使转速稳定在设定值。如果电子调速器没有检测到转速传感器的反馈信号，驱动电流为零，油量控制齿杆在复位弹簧的作用下被拉至停机位置。

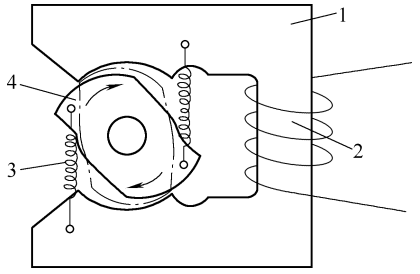


图 5-39　转动式螺线管的
基本结构和工作原理
1—定子　2—线圈　3—复位弹簧　4—转子

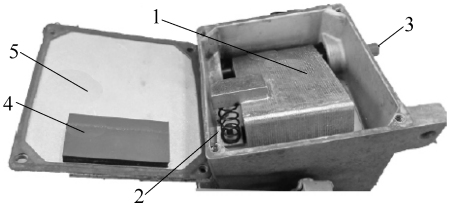


图 5-40　ADB225G 型电磁执行器实物
1—衔铁　2—复位弹簧
3—输出转轴　4—垫子　5—盖板

3）ESD5500E 型电子调速控制模块。ESD5500E 型电子调速控制模块是一个全电子装置，它对于瞬间的负载变化用快速和精确的响应去控制柴油机的转速。

控制模块主要由 F/V 转换环节、转速调节环节等组成。F/V 转换环节包括整形、低通滤波等电路，整形电路将转速传感器输出的正弦电压转换成规整的方波电压，然后利用低通滤波电路获得平均电压。

在电子调速系统中，为提高调速的稳态和动态特性，一般均采用比例积分微分（PID）控制，或取其中部分控制策略。其中，积分控制作用可以消除调速静差，提高稳态调速精度；微分控制作用则可以根据柴油机转速的变化方向和速率，在转速误差增大之前及时产生有效的修正，从而改善调速系统的动态特性。PID 控制电路一方面接收由转速传感器输入的转速信号，同时又接收由“转速设定器”（可用电位器进行调节设定）输入的转速设定信号，并对各输入信号的代数和运算后作为控制信号向执行器输出。“设定转速电位器”在这里起着类似机械调速器中“调速弹簧”的作用。

这种电子调速器还可根据柴油机使用场合的需要选择不均匀度（转速降）的大小。当进行无差调节时，电子控制系统会将负荷变化而引起的设定转速与实际转速之间的差值消除，使柴油机保持原设定的转速。根据机组需要，也可调节不均匀度电位器，以使调速系统获得设定的稳态调速率。

ESD5500E 系列速度控制板需要牢固安装于控制箱、机箱或其他专用设备内。为防止水、尘土或异物进入控制器，应垂直安装，以便液体从控制板上流走。应避免控制板过热。

为避免柴油机失控损害设备危及人身安全，应设置独立于控制系统之外的速断保护装置。不

要只依靠控制系统的电子调节器避免超速。

电磁执行器和电池连接导线截面积不应小于 1.3mm^2，长连接线应加粗，以减少电压降。电池正极（+）接线应放置 15 A 熔断器。电磁速度传感器连接线应采用双绞或全屏蔽线，电缆屏蔽层单端良好接地以防止干扰信号传入。为防电子辐射可使用金属罩，并且金属罩应当有效接地。

① 各端子的名称及作用。ESD5500E 型电子调速器模块面板如图 5-41 所示。面板上有 14 个端子，按面板上的编号分别介绍如下：

A、B：电磁执行器输出端子（ACTUATOR），向电磁执行器 YA 输出控制电流。

C、D：速度传感器输入端子（PICK-UP），转速传感器速度信号从该端子接入。

E、F：电源输入端子（BATTERY），E（-）、F（+24V）。

G、(H)、J：转速微调电位器接入端子（转速微调电位器用于微调转速设定值），端子 G 接控制器内部 0 电平点。

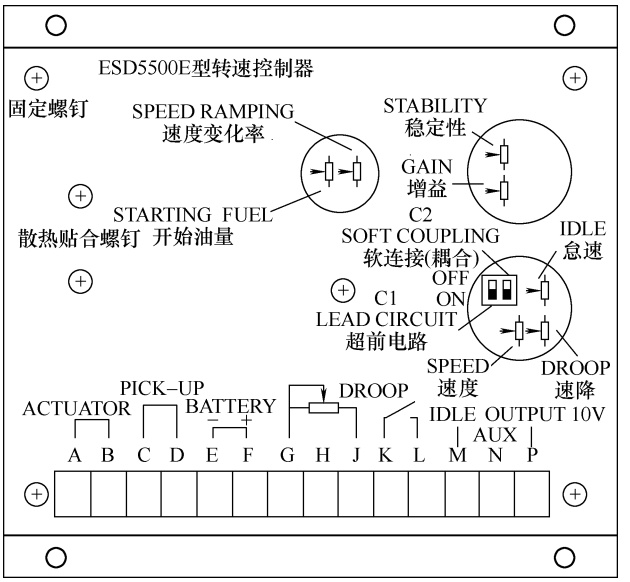


图 5-41　ESD5500E 型电子调速器模块面板

K、L：转速降选择端子（DROOP），用短路线短接时转速控制器工作在有转速降状态，开路时工作在零转速降（无差调节，同步）状态。单机工作时，可工作于零转速降同步状态。在并机时，需要通过调节机组油门来分配两台机组之间的有功功率，应设置在有转速降工作状态。

M：怠速输入端子（IDLE），该端子输入低电平时（连接端子 G），转速控制器控制柴油机怠速运行。

N：辅助报警输入端子（AUX），可接入报警控制信号控制柴油机停机，一般不用。

P：10V 电压输出端子（10V OUTPUT），一般不用。

② 调整元件的作用。ESD5500E 型电子调速器模块的面板上有三个橡胶塞子，取下塞子，可见如下调整元件（见图 5-41）：a. 起始油量调节电位器（STARTING FUEL）可调整起动时的供油量，按环保油量（尽可能小）起动，做到无烟起动；b. 速度变化率调节电位器（SPEED RAMPING）可调整怠速/全速时间曲线的斜率；c. 稳定度整定电位器（STABILITY）可调整柴油机转速的稳定度；d. 增益调节电位器（GAIN）可调整转速控制器对柴油机转速控制的反应速度和准确度；e. 怠速整定电位器（IDLE）可设定柴油机的怠速；f. 转速降整定电位器（DROOP）可调整柴油机的转速降（稳态调速率）；g. 标定转速整定电位器（SPEED）整定柴油机的空载转速；h. 软耦合开关（SOFT COUPLING）在柴油机拖动双轴承发电机时，柴油机和发电机之间采用柔性联轴器相连（即软耦合），该开关应接通（ON）；i. 超前电路开关（LEAD CIRCUIT）可用来接通或关闭控制器内的超前补偿电路（起稳定作用），一般设在接通状态（ON）。

（3）ESD5500E 电子调速器模块的性能调整　电子调速器模块出厂时已调整好，通常无需再做调整。如更换了该系统的部件后，出现转速不稳或调速器反应速度迟钝时需进行一般调整；如

更换了电子调速器模块需进行全面调整。

1）将 ESD5500E 转速控制器上的软耦合开关（SOFT COUPLING）接通（ON），超前电路开关（LEAD CIRCUIT）接通。

2）调整转速控制器上的标定转速整定电位器（SPEED），使柴油机空载时运行在大于1500r/min，而小于1545r/min，对应配电箱上频率表显示为大于50Hz，而小于51.5Hz（转速降取为3%的）。

3）动态调整，所谓动态调整是指调速器对柴油机转速变化的反应。这种反应越快越好，但反应太快会导致调节循环的不稳定，所以必须调整到最优状态。动态调整包括增益和稳定度的调整。

① 稳定度的调整。当柴油机的转速出现不稳定时，可通过调整电子调速器模块上的稳定度整定电位器（STABILITY），调整柴油机转速的稳定度。方法是：先顺时针旋转稳定度整定电位器（STABILITY），直到转速产生不稳定，然后逆时针旋转该电位器，直到转速稳定，再将该电位器逆时针旋转1/2格，以保证有一定裕度。

② 增益的调整。当柴油机出现加负载后转速下降或回升至额定转速时间过长时，就要对ESD5500E电子调速器模块的增益进行调整。调整方法如下：a. 机组接上大约1/4的额定负载，这时柴油机转速应该是稳定的，否则应首先调整柴油机的稳定度；b. 顺时针方向慢慢旋转转速控制器上的增益调节电位器（GAIN），直到柴油机转速出现不稳定为止；c. 反时针方向转动增益调节电位器（GAIN），直到柴油机转速恢复稳定，再将该电位器反时针旋转1/2格，以保证有一定裕度。

4）稳态调速率（转速降）的调整。柴油机安装电子调速器后有两种运行方法：同步，即稳态调速率等于零；有稳态转速变化，即稳态调速率大于零。稳态调速率的调整步骤如下：

将柴油机加上额定功率负载。检查频率表，保证额定功率输出时，电子调速系统应维持频率表指示为50Hz（对应柴油机转速在1500r/min）。

如果频率表指示小于50Hz，那么柴油机的转速降值比希望的多。这时应慢慢转动调整ESD5500E转速控制器上的转速降整定电位器（DROOP），反时针慢转（逆时针速降减小），直到频率达到50Hz为止；如果这时频率表指示高于50Hz，那么柴油机的转速降值比希望的少，这时应顺时针旋转转速降整定电位器（DROOP），直到频率达到50Hz为止。

断开柴油机的负载，调整柴油机的最高空载转速，调到正确为止。柴油机的转速降可设定为3%，即最高空载转速应为1545r/min（对应频率表指示为51.5Hz），在满足加额定负载柴油机转速为1500r/min的前提下，最高空载转速应在该值附近。

再将柴油机接上额定功率负载，频率表应指示为50Hz，如不正确，重复上述方法调整。为了得到准确的转速，通常要经过2次到3次连续调整。

在调整时如得不到额定负载，只有部分负载时，可利用以下公式计算出在局部负载下的转速和转速降。

$$Sal = Snl - [(\text{部分负载 kW} / \text{额定功率 kW}) \times (Snl - Sfl)]$$

式中 Sal——在可得到的负载kW下的转速；

Sfl——在额定负载下的转速；

Snl——空载转速。

例如：可得到的部分负载=60kW

额定功率=120kW

在额定负载下的转速=1500r/min

空载转速 = 1545r/min

Sal = 1545 - [(60/120) × (1545 - 1500)] = 1522.5r/min(对应频率为 50.75Hz)

即加 60kW 负载调整转速降时，频率表指示应为 50.75Hz。从而保证转速降为 3%。

5）怠速调整。将 ESD5500E 转速控制器的端子 G、M 短接，使柴油机在怠速运行，调整转速控制器上的怠速整定电位器（IDLE），使柴油机的怠速在 500 ~ 750r/min 之间；

6）起始油量调整。调整 ESD5500E 转速控制器上的起始油量调节电位器（STARTING FUEL）调整起动时的供油量，调整时按照容易起动又无烟（无烟是相对的）的原则进行。该电位器顺时针旋转起动时供油量增大，反之减少。

7）速度变化率调整。柴油机转速从怠速到全速的过渡时间，过长或过短可调节 ESD5500E 电子调速器模块上的速度变化率调节电位器（SPEED RAMPING），通常 ESD5500E 电子调速器模块出厂时已调到较为适中的位置，故除非必须则不必再进行调整。

5. 电调与机械调速器的联用

康明斯柴油机运用电控系统完成柴油机的起动、停机和监测保护，绝大部分机型特别是用于发电机组的柴油机都采用了电子调速系统，但其形式各有不同。如电站用康明斯 4BTA3.9—G2 采用孚创（FORTRUST）C1000B 转速控制器，A1000C 电磁执行器，该执行器安装在高压油泵的后端，直接驱动油量调节机构，这是一种全电子式电子调速结构。但有的机型如 6CTA8.3—G2（采用 ESD5500E 转速控制器，ADB225G 电磁执行器）、EQ6BT5.9（采用 CFKMB—Z 电控板，SK—1040—36 电磁执行器），其电子调速系统对柴油机速度的控制是通过对高压油泵上的机械调速器的操控来实现的，即在用电子调速器改装柴油机组时，充分利用了现成的机械调速器。

电子调速系统的电磁执行器与机械调速器的连接有两种方式，其一是与机械调速器的停机手柄相连，其二是与机械调速器的调速手柄相连。

（1）电调与机械调速器停机手柄连接　如图 5-42所示是将 ADB225G 旋转式比例电磁执行器与 RSV 机械调速器的停机手柄连接，其方式是使执行器的输出臂通过有 2 个关节轴承的杆系与机械调速器的停车手柄连接在一起（见图 5-32）。停机手柄转动时，将通过销钉 24 使浮动杆 3 以小轴 7 为支点转动，带动供油齿杆移动改变供油量。执行器设有回位弹簧，将提供停机手柄反向转动的驱动力。

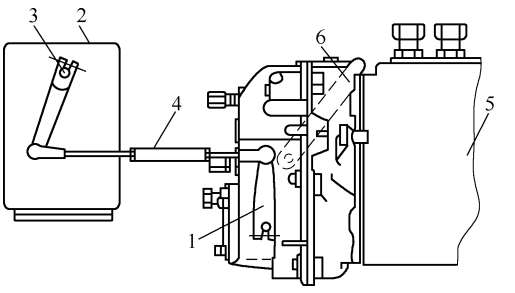


图 5-42　电磁执行器与 RSV 机械调速器的停机手柄连接

1—停机手柄　2—旋转式比例电磁执行器
3—电磁执行器输出轴　4—传动杆系
5—喷油泵　6—调速手柄

注意：①执行器摆角的变化必须与负荷控制杆增与减负荷（油量）的方向一致；② 执行器输出臂的相位角要保证与停车和满负荷相对应。约 10% 和 80% ~90%；③ 运动杆系的运动必须灵活，不得有任何干涉。

改装时不必拆掉机械调速器，而是利用它作为超速保护装置（见图 5-30）。实际应用时应将机械调速器的调速手柄重新固定在 1650r/min 的超速保护位置（可在喷油泵试验台上完成）。因为电子调速器控制的最高转速是调定在额定转速以上 4% 的位置，当额定转速为 1500r/min 时，其最高转速是 1560r/min，这时机械调速器还未起作用，不会对电子调速器产生干涉。而当电子调速器因失控造成飞车（对发电机组而言）时，机械调速器将把转速限制在 1650r/min 范围内。

如果想要减小执行器的负荷，可将机械调速器里的起动弹簧卸掉。

（2）电调与机械调速器调速手柄连接停机过程，而不使用电子调速模块，则电磁执行器可与调速手柄相连。电磁执行器拉动调速手柄时，改变的是调速弹簧的张力，实际是改变了转速的设定值，其连接如图 5-43 所示。更一般的方式是采用二位式电磁执行结构，起动后直接将调速手柄拉动到额定空转转速位置，其后的转速稳定及调节由机械调速器完成，其工作过程参见 RSV 型调速器的中速工况。若仅对机械调速器进行电控改装以完成自动起动和

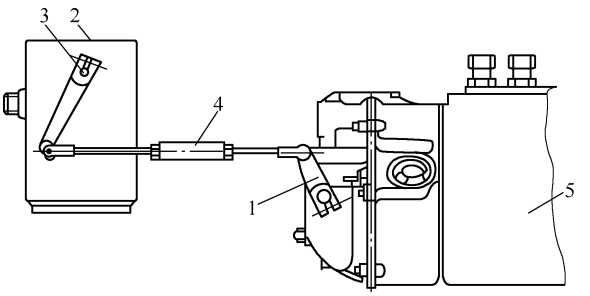


图 5-43　电子调速器与机械调速器调速手柄连接
1—调速手柄　2—旋转式比例电磁执行器　3—电磁执行器输出轴
4—传动杆系　5—RQ 喷油泵

五、燃油供给系辅助装置

1. 输油泵

康明斯 B 、C 系列柴油机燃油系统的输油泵有膜片式、活塞式两种形式，均由凸轮轴上的输油泵偏心轮驱动，如图 5-44、图 5-45 所示。B 系列柴油机采用 VE 转子分配式喷油泵（简称 VE 泵）时，采用膜片式输油泵，其余均采用活塞式输油泵。

活塞式输油泵由凸轮轴上的偏心轮驱动活塞 4 作往复运动，使活塞上方和下方的空间发生变化，出现真空或压力增高现象，燃油即能由进油管路 3 的进油口处推开进油阀进入，又能从输出管路 1 的出油口压出。活塞式输油泵上还装有手压输油泵。柴油机起动前人工反复扳动手泵，可以排出低压油路中的空气，并使燃油充满输油泵，以利于起动。使用后应将手柄拧紧，防止空气进入油路。

膜片式输油泵则以膜片的运动代替活塞运动完成泵油工作。

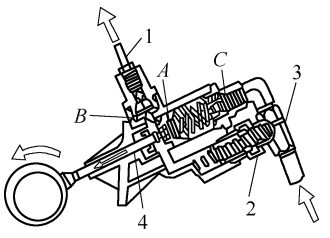


图 5-44　活塞式输油泵
1—燃油输出管路　2—手动泵
3—燃油进油管路　4—活塞

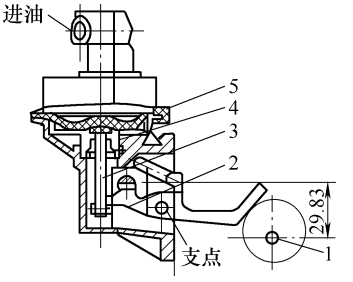


图 5-45　膜片式输油泵
1—凸轮轴偏心轮　2—摇臂
3—泵膜拉杆　4—泵膜弹簧　5—泵膜

2. 燃油滤清器和油水分离器

柴油滤清器的功用是除去柴油中的杂质和水分，提高柴油的清洁程度。各种柴油都有一定量的杂质，如灰分、残炭和胶质等。此外，在使用过程中，由于运输、贮藏或保管不当还可能混入尘土和水分等。在燃料供给系中，喷油泵和喷油器中的精密零件，即使细微的杂质进入其中，也会加速它们的磨损或者引起各种故障，因此柴油必须进行严格的滤清。柴油滤清器主要由滤清器盖，壳体和纸质滤芯组成，常用的滤芯材料是微孔滤纸。在燃油进入喷油泵和喷油器之前既需要对燃油进行过滤，又需要将燃油中的水分离去掉。因此，康明斯柴油机在燃料系统采用了油水分离器。

康明斯柴油机燃油滤清器为旋装式、双级串联形式，第一级为带有放水阀的油水分离器，第二级为燃油滤清器。每当首次起动前，应旋松油水分离器下端的放水阀，放水 20s，然后旋紧（不旋紧起动后会漏油），如果气温低于 0℃，必须在每天收车后马上放水。放出的液体可能燃油占大部分（夹带着水和杂质），这可使燃油总是处在正常状态，以避免因燃油滤清器堵塞而使柴油机在工作中途出现故障。

油水分离器（见图 5-46）可由壳体 7、液面传感器 5、浮子 6、膜片式手动泵 1 等组成。

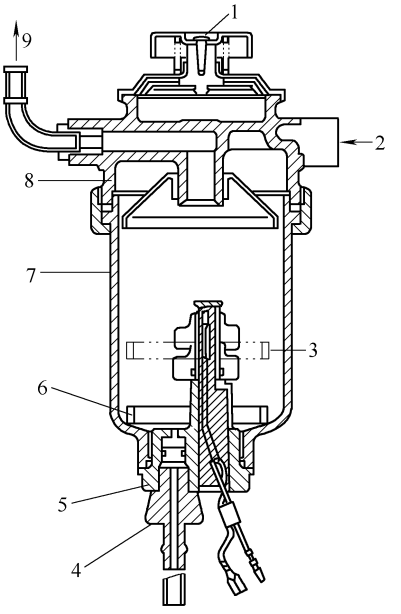


图 5-46　油水分离器
1—手动泵　2—来自燃油箱燃油
3—放水水位　4—放水塞
5—液面传感器　6—浮子
7—壳体　8—盖　9—出油道

来自燃油箱的燃油进入油水分离器，并从油道 9 流出。燃油中的冷凝水在油水分离器内分离并沉淀在壳体 7 的下部。装在壳体下部的浮子 6 随着积聚在油水分离器壳体 7 内的冷凝水的增多而逐渐上升。当浮子到达规定的放水水位 3 时，液面传感器 5 将电路接通，在仪表板上的放水警告灯就发出放水的信号，这时需及时松开油水分离器上的放水塞放水。手动泵供排水和排气时使用。

根据结构和应用情况，油水分离器可分为以下几种类型。

第一种上部为滤清器，下部为排放开关（自排气塑料排放开关）。柴油进入滤清器通过滤纸时，一方面对柴油进行过滤，滤除其中的杂质，另一方面将柴油中的水分离在滤纸的脏油侧。水因比重大于柴油而下沉在滤清器下部的储水槽中，通过旋转滤清器下部的排放开关即可排出。

第二种上部为滤清器，下部带一个透明的塑料杯，塑料杯上装有塑料旋塞式排放开关和水位指示传感器。这种油水分离滤清器在过滤介质上涂覆有分离水的聚四氟乙烯等涂层。当不使用水位传感器时，也可通过塑料杯直接观察油水分离器所分离的水量，以便维护人员根据杯中水位及时排除滤清器中的水。使用水位传感器时，可通过电缆将传感器接到指示设备上，可以凭借油水分离器水位报警灯等装置了解滤清器下部塑料杯中的水位，以决定是否需要排除滤清器中的水。

第三种结构类似图 5-46 所示，采用重力沉降法分离油水，内部有扩散锥、滤网等分离元件。也可不用水位传感器，但有放水阀。

第四种油水分离器称作喷油器保护器。它可以取代柴油机的燃油滤清器，也可以置于柴油机所装燃油滤清器的前后，参与对柴油机燃油的过滤和油/水分离。这种滤清器采用两级过滤，第一级过滤分离燃油中的水，第二级对燃油进行净化过滤。当柴油通过滤清器座进入滤清器第一级滤芯（外滤芯）外表面进行过滤时，水从油中分离出来，并形成较大的水滴而进入第一级和第二级滤芯之间的空隙腔中，最后因其比重较燃油大而沉积在燃油滤清器底部的储水槽中，并通过排放开关加以排除。而燃油则通过第二级滤芯继续进行过滤，之后经滤清器中心管进入柴油机。

六、直列柱塞式喷油泵燃油系统故障分析

1. 柱塞式喷油泵燃油系统故障的主要原因

（1）柴油供油系统“气阻”　气阻是指空气进入柴油机燃油供给系统，对流动的柴油产生

阻碍作用，它是柴油机的常见故障之一。当低压油路进入空气时，由于空气占据了一定的空间，油流截面减小，并降低管内的真空度，使油流不畅甚至断流，造成柴油机工作不稳或自行熄火，难以起动。当高压油路产生气阻时，由于空气具有很大的可压缩性和弹性，会破坏供油的连续性和均匀性，供油量减小甚至供油中断，使柴油机自行熄火或难起动。

一般，导致柴油机产生气阻的原因大致有以下几点：① 油箱中存油不足时，输油泵从油箱中吸入空气。② 油箱内的柴油用完再加油时，未放出油路中的空气。更换柴油滤清器时未将滤清器用柴油充满。③ 油箱盖通气孔堵塞，箱内真空度增大，低压油路吸力增大，易将空气从管路密封不严处吸入。④ 管路接头密封不严，衬垫损坏或油管破裂时空气进入管路。⑤ 装配或更换燃油滤清器、油泵、高压油管的过程中进气或拧紧力不够漏气；柴油机长时间未再起动工作。⑥ 膜片式输油泵的膜片破裂，当膜片下行时其上方形成真空吸力，空气从破裂处进入输油泵。⑦ 活塞式输油泵推杆与推杆孔磨损，配合间隙增大。当柴油机负荷增大时，输油泵出口处的油压降低，空气从推杆处进入油道。⑧ 手油泵上的活塞密封胶圈长期使用严重磨损或老化膨胀失效，当手油泵工作时，空气从密封胶圈处进入油道；使用手油泵后，手柄没有拧紧，空气进入油道。⑨ 喷油器若调压弹簧弹力不足或调整过松，针阀与针阀体磨损及拉伤，特别是针阀偶件咬死在开启位置时，气缸内的高压气体便会反流进入喷油泵（若出油阀密封严密，高压气体就会从喷油器经回油管再进入喷油泵）。

（2）各缸供油不均匀　当柴油机各缸供油量不均匀，偏差超出一定范围（在标定工况大于3%，部分负荷超过10%，怠速时超过15%）时，柴油机就会出现运转不稳、工作粗暴、排气冒烟、缸内积炭、功率下降和油耗增加等现象。

导致各缸供油不均匀的原因包括：① 各缸柱塞磨损程度不同，个别缸的柱塞偶件磨损较严重，密封性下降，从而使该缸供油量减少。检修时应对柱塞偶件进行密封性检查，更换磨损超限的零件；装复后，必须在喷油泵试验台上对喷油泵各缸油量均匀性进行调校。② 个别缸出油阀密封不严，出油阀弹簧弹力减弱或折断，造成该缸的供油量减少。检查方法是拆开高压油管，用手油泵泵油，若有柴油从出油阀紧帽接头溢出，可认为该缸出油阀密封不严或出油阀弹簧故障。③ 油量调节机构的构件因磨损或固定螺钉松动，出现不一致的松旷、配合位置发生变化，而使各柱塞斜槽与回油孔相对位置发生不同的变化，导致柱塞有效行程出现差异。检查配合间隙，如超过规定，应进行修理或更换。④ 针阀偶件磨损或喷油器调压弹簧弹力不一致，使各缸喷射油量不一样。应定期对喷油器进行检查和调整，更换磨损和损坏的零件，使各缸的各项技术指标尽量一致。⑤ 喷油泵驱动机构如正时齿轮磨损严重，凸轮轴轴承配合松动等原因，均会影响各缸的供油均匀度。对柴油机进行维修时，应注意喷油泵的驱动齿轮、凸轮轴及轴承等传动件的检查和维修，若磨损超限，应予以更换或修理。⑥ 输油泵输油量和输油压力不稳定，导致供油不均匀。排除低压油路供油不畅故障，对输油泵的输油压力进行检查。

（3）供油提前角不准　供油提前角是指喷油泵第一缸柱塞开始供油时，该缸活塞距压缩上止点的曲轴转角。供油提前角过小即供油时间过晚，气缸内的速燃期在压缩上止点以后较远处发生，气缸内的最高压力将降低，造成柴油机功率下降、油耗增加、起动困难、冒黑烟等现象并引起柴油机过热；如果供油提前角过大即供油时间过早，气缸内的速燃期在压缩上止点以前发生，气缸内的最高压力很高，工作粗暴，造成柴油机功率下降、油耗增加、敲缸、起动困难、冒白烟等现象。供油时间恰当，才能保证气缸内的压力升高速度和最高压力都比较适中，使柴油机获得最大功率、最小耗油率。

供油提前角不准的原因如下：①柱塞偶件、出油阀偶件磨损严重，配合间隙增大，压油过程中燃油回漏严重，造成供油提前角度变小。检修时应更换磨损严重的柱塞偶件或出油阀偶件。

②喷油泵出油阀弹簧太松或太紧，影响出油阀的开启时间，使供油提前角变大或变小。检修时对出油阀弹簧进行弹力检查。若不满足要求，应予更换，并将出油阀紧帽拧紧至规定的力矩。③凸轮轴凸轮磨损严重，挺柱、滚轮、衬套、滚轮销和柱塞尾部等磨损，导致供油提前角变小。凸轮轴凸轮外形尺寸磨损超过规定范围，即不允许继续使用。若磨损不严重，可通过调整垫块厚度来弥补传动件的磨损，使各缸供油时间相同。④喷油泵凸轮轴弯曲变形，导致柱塞滚轮体接触凸轮的时间发生变化，供油提前角变大或变小。检查凸轮轴是否弯曲，若直线度超过规定范围，应冷压校正或更换新件。⑤凸轮轴轴承磨损严重，凸轮轴径向跳动过大，造成供油提前角变小。更换磨损过大和损坏的轴承。⑥定时齿轮齿面磨损导致啮合间隙增大，造成供油提前角减小。检查正时齿轮的啮合间隙，若间隙过大应更换正时齿轮。⑦ 传动件如正时齿轮、键或键槽损坏，固定螺母松动，都会使高压泵凸轮轴的左右活动量增大，供油提前角改变。⑧ 高压油泵卡滞、高压油管堵塞或喷油器故障。高压油泵总成发生卡滞，工作时阻力增大；高压油管堵塞，柴油机工作时该高压分泵每次供给的柴油不能供给喷油器，此时该柱塞向上运动时柴油压力逐渐增大，同时柱塞尾部向上的作用力也越来越大，凸轮轴转动的阻力也随之增大，转速越高，此阻力越大；喷油器进口处的滤芯堵塞和针阀卡死，柱塞供来的高压柴油既不能喷射进气缸，也不能从喷油器上部的回油管回油，使高压油泵工作阻力增大。这些原因可能造成凸轮轴产生相对移位，供油提前角发生变化。

（4）供油系统不供油　若供油系统不供油，则喷油器喷油中断，运转中的柴油机自行熄火，再也无法起动。常见的故障原因如下：①低压油路不供油，如油箱中无油或出油口堵塞、柴油滤清器堵塞、油路漏油、有空气进入形成气阻等。②输油泵失效而不输油。应对输油泵进行检修。③ 柱塞弹簧折断，使柱塞无法回位吸油，从而导致油泵不能泵油。检修时更换柱塞弹簧。④ 柱塞因燃油有杂质或表面被拉伤而卡死在柱塞套内，挺柱体卡死，导致油泵不能泵油。更换柱塞偶件，修复或更换挺柱。

（5）喷油器故障　喷油器是柴油机的主要部件，属精密件之一。喷油器故障多数是因为柴油不清洁、使用维护、装配调整不当引起的。实际使用过程中常见的故障原因包括：喷油压力不稳、针阀卡住、密封失效等，其表现为柴油燃烧不完全，从而导致柴油机油耗上升、功率下降、缸内积炭增多、磨损加剧等。

1）喷油器与缸盖结合孔漏气、窜油。若喷油器在缸盖上的安装孔内有积炭、铜垫圈不完好，以及用石棉板或其他材质代替纯铜材质垫圈，或垫圈的厚度不合要求，都可能造成密封不良，导致喷油器与缸盖的结合孔处漏气、窜油。

安装喷油器时，应仔细清除安装孔内的积炭，且铜垫圈必须平整，不得用石棉板或其他材质代替。应按规定安装喷油器压板，按规定转矩均匀拧紧，紧固时切忌单边偏压，否则喷油器头部会因变形而产生漏气、窜油。

2）针阀卡住。针阀卡住的主要原因有：① 喷油器安装不当，导致喷油嘴局部温度过高而烧坏；② 喷油器没有进行定期保养和调整喷油压力；③ 柴油中含有杂质或过多的水分；④ 喷油嘴针阀锥面密封不严，渗漏到喷油嘴端面的柴油燃烧时导致喷油嘴烧坏；⑤ 柴油机的工作温度过高。

针阀如果在开启状态时卡住，则喷油嘴喷出的柴油不能雾化，造成不完全燃烧，同时产生大量黑烟现象。此外，未燃烧的柴油还会冲刷到气缸壁上稀释机油，加速活塞环及气缸套的磨损。如果针阀在关闭状态时卡住，不管喷油泵的供油压力多大，都不能使针阀打开，并且还会在燃烧系统中产生高压振声，甚至损坏喷油泵部件和高压油管。

喷油器卡住后不一定全部报废。用较软的工具除去针阀上的积炭，并用润滑油进行适当的研

磨后，可继续使用；若卡滞后拔不出来，可将喷油器放入盛有柴油的容器中，加热至柴油沸腾再取出夹在台虎钳上，用一把鲤鱼钳（钳口应包铜皮等软物）夹住针阀用力往外拔，一面拔一面旋转，反复多次即可将喷油器针阀拔出。

如果针阀无法用上述方法拔出或拔出过程中损坏，则必须更换新的喷油嘴偶件。为溶解新的喷油嘴偶件上的防锈油，应把新的喷油嘴偶件放在 70～80℃的柴油里煮 10min，然后在干净柴油中将针阀在阀体内来回抽动，将防锈油彻底清洗干净。如果只清洗而不煮，就不能完全洗净喷油器偶件内的防锈油，工作时容易使针阀积炭、胶结甚至卡住。另外，清洗针阀偶件时，不得与其他硬物相碰，防止刮伤针阀导向面。

3）喷油器磨损。对轴针式喷油器而言，密封锥面（针阀锥面与针阀体锥面）的磨损是由于喷油器弹簧的冲击与柴油中杂质的作用所致。密封锥面磨损后会使锥面密封环带接触面加宽、锥面变形，表面粗糙度降低。其结果造成喷油嘴滴油，喷孔附近形成积炭，甚至堵塞喷孔。喷油嘴滴油，当机油温度低时，排气管会冒出股股白烟，机油温度上升后则变成黑烟，有时排气管还会发出不规则的放炮声。若停止向该缸供油，排烟和放炮声即消失。可用少许氧化铬细研磨膏、牙膏或润滑油对锥面进行研磨，或更换针阀偶件。研磨后应注意清洁。

喷孔扩大是因喷油器工作时高压油流不断喷射冲刷喷孔导致。喷孔扩大导致喷油压力下降，喷射距离缩短，柴油雾化不良，缸内积炭增多。对于多孔直喷式喷油器，由于孔数多、孔径小，喷孔扩大的维修难度较大。一般情况下采取更换针阀偶件的办法来修复喷油器。

针阀与针阀孔导向面磨损是由于柴油中含有杂质所致。磨损后间隙增大，结果使喷油嘴的回油量增多，供油量减少，喷油压力降低，喷油时间延迟。这种状态下，柴油机即不能全负荷工作，又会造成起动困难。为防止针阀及针阀孔导向面磨损，应按时保养柴油滤清器，经常排放滤清器和油箱内的沉淀油，以防灰砂杂质的侵入而加速针阀偶件的磨损。对于磨损严重的针阀，应及时更换新的针阀偶件。

4）喷孔阻塞。喷孔阻塞的主要原因：① 柴油机长期放置，喷嘴锈蚀，导致喷孔半阻塞或完全阻塞；② 如果燃油中混进了固体杂质微粒，或因燃烧不良产生积炭，工作时间稍长就会积结在喷油器的喷孔周围，使喷孔成半阻塞状态。

喷孔一旦被阻塞，喷油泵的供油压力就会上升并伴有敲击的声音发出。防止喷油孔阻塞的方法，一方面是对进入喷油器的燃油经过严格的多道过滤；另一方面通过改进燃烧的办法，防止因积炭过多而阻塞喷孔。

喷孔阻塞的排除方法：先将喷油器拆下来，用机械方法或弱腐蚀溶液清除喷嘴上的积炭或铁锈。在保护好密封座面不受损伤的情况下，用钢丝或喷孔加工时使用的钻头清理喷孔内的积炭或铁锈。使用钢丝清除喷孔内的积炭或铁锈时，必须将钢丝装在夹头中进行，并且钢丝露出喷孔的长度不应超过 2mm，以便得到较大的弯曲强度，防止钢丝折断在孔中。

5）喷油压力过高或过低。喷油压力过高的原因是：① 针阀粘住或卡死在针阀体内；② 调压弹簧压力过大；③ 喷孔堵塞。

喷油压力过低的原因是：① 针阀导向部分与针阀体间隙过大或针阀锥面密封不严；② 喷油嘴与喷油器体接触面密封不严；③ 调压螺钉松动；④ 调压弹簧压力太小或折断。

出现喷油压力过高或过低现象时，应将喷油器拆开清洗，并进行相应的调试和修理。喷油压力调整得过高或过低，都会导致柴油机工作不稳定和功率不足，甚至导致燃烧室及活塞等零件的早期磨损。一般来说，喷油压力如果调整过低将使得喷油的雾化质量大大降低，柴油消耗量增加，且不易起动柴油机。即使能起动，因柴油机燃烧不完全，排气管会一直冒黑烟，喷油嘴针阀也容易积炭。如果喷油压力调整过高，则易引起柴油机在工作时产生敲击声，并使功率下降，同

时也容易使喷油泵柱塞偶件及喷油器早期磨损，有时还会把高压管胀裂。

通过加强柴油机喷油器的故障分析及排除工作，能有效降低柴油机的故障率。喷油器的故障会直接导致柴油机工作不正常，但柴油机的故障并非都由喷油器引起。因此，对喷油器故障的判断应仔细，不可贸然对喷油器进行拆检，从而破坏其加工与装配精度。此外，为减少喷油器故障，延长喷油器的使用寿命，定期做好对喷油器的维修、保养工作，进行油密试验，装配时针阀偶件必须成对更换。注意不同机型使用不同规格的喷油器针阀偶件，同时注重柴油机燃料系统的整体维护工作。

（6）调速器故障　调速系统故障，柴油机就不能保持稳定的转速，导致柴油机动力性与经济性显著下降。严重时转速迅速升高，易发生飞车故障，若不及时采取紧急措施，就会发生严重的事故。因此，减少调速系统的故障，对保证柴油机正常工作极为重要。

1）机械式调速器的主要故障。

① 运转不稳或“游车”。柴油机转速不稳的主要原因是：a. 供油齿杆移动阻滞；b. 调速器内部杠杆系统的连接销及销孔、飞锤组件等因磨损松旷而使自由行程增大、调节灵敏度下降；c. 调速器内部各种调速弹簧卡滞、折断、调整不当或因长期使用疲劳而变软；d. 润滑油不足、变质或过脏，使调速器部件运动阻力增大而降低动作灵敏度。

② 柴油机飞车。凡是引起调速不灵敏的原因严重时都会造成飞车。包括调速器起作用转速过高、调速部件生锈卡滞、调速器内各杠杆销子装配过紧，各杠杆虽可以移动，但不灵活；调速器壳体内的机油面过高或粘度过大使飞锤旋转甩开困难等。

③ 柴油机起动困难。有关调速器部分造成起动困难的主要原因包括起动弹簧脱钩或损坏、供油齿杆前移阻滞、供油齿杆装配位置不当等导致柴油机起动时供油量不足而难以起动；供油齿杆导动销脱落，供油齿杆将不受控制等。

2）电子调速器故障。

① ESD5500E 系列速度控制板在康明斯 C 系列柴油机电子调速系统中被采用。如果控制系统不工作，可按下述步骤进行电压检测：a. E（－）、F（＋）电源输入端子。正常时电压 DC12V 或 DC24V（视所接蓄电池而定）。若不正常，可能的故障原因是电池没连接、保险丝断、电池电压低或接线错误。b. C、D 速度传感器输入端子。起动时至少 AC1.0V。若不正常，可能的故障原因是速度传感器和齿轮齿间的间隙过大、速度传感器接线错误（在 C、D 接线端子间的电阻应为 250Ω 至 1500Ω）或速度传感器损坏。c. P、G 电压输出端子。正常 DC10V 内部电压。若不正常，可能的故障原因是接线端子 P 短接（短接该接线端子可能导致速度控制板损坏）、速度传感器损坏。d. B（－）、A（＋）端子

起动时测量电压应在 DC 6.0V ~ DC 8.0V 之间。若不正常，可能的故障原因是速度调节设定太低、电磁执行器接线短路或开路、速度控制板损坏或电磁执行器损坏。

② 采用 ESD5500E 系列速度控制板的电子调速系统，实际使用过程中常见的故障原因包括：a. 柴油机不能起动，除起动系统、燃油系统故障外，电子调速器的执行器不工作，转速传感器无信号输出也会造成这种现象。转速传感器失效和安装不当均会导致无信号输出或信号弱。转速传感器是否失效，可通过测量电阻来判断。虽然速度控制板可以处理 0.5V 的速度传感器信号，但较强的电磁速度传感信号可以避免干扰，转速信号最好能大于 3V。可以通过调小速度传感器顶端和柴油机飞轮轮齿间的间隙，提高速度传感信号的幅值。当起动柴油机时速度传感器信号电压若小于交流 1.5 V，应检查传感器顶端是否清洁或可通过拧进传感器 1/8 ~ 1/4 圈进行调整，直到符合规定为止。其次，检查电子调速器执行器是否工作（在按起动按钮的同时，注意观察执行器是否动作，有动作说明正常，反之有故障）。b. 柴油机转速不稳除喷油泵各缸供油量不均匀

等原因外，还可能是电子调速器微分（超前电路）调整、增益调整不当或失灵、电子调速器执行器与喷油泵齿条接合处有松动现象或不灵敏等。开关 C1 在 ESD5500E 内控制着“超前电路”。正常位置是“ON”。如果是系统转速波动过快且不稳定，则应转换至“OFF”位置。重新调节增益（GAIN）和稳定度（STABILITY），也可以改善稳定状况。如果转速不稳定通过以上办法无效，则应检查燃油系统和柴油机状态。另外稍微加大降速（DROOP），也可以稳定系统。c. 转速低主要原因是供油量不足。应检查执行器是否能达到满负荷。首先测量起动时的电池电压。对于电压 12V 系统低于 9V 或 24V 系统低于 18V，应更换蓄电池。蓄电池电压正常，则可短接接线端子 A 和 F，此时，执行器将达到满油位置。如不能达成该状态，则可能是执行器或电池接线问题、执行器损坏或保险断。测量执行器输出（接线端子 A 和 B），如果电压测量值约 6～8V，则执行器基本正常。达不到满油状态的原因可能是机械原因（执行器控制杆存在卡滞现象、控制杆安装问题）或速度设定过低。d. 转速高（超速）可能的故障原因是速度控制板损坏、转速信号问题或速度（SPEED）设定问题。如：a）不起动，给系统加直流电。若执行器达到满供油位置，但断开速度传感器接线端子 C 和 D 后执行器仍在满供油状态，则可能是速度控制板损坏；断开速度传感器接线端子 C 和 D 后执行器在最小供油位置，则速度信号有问题，应检查速度传感器。b）起动柴油机，测量速度控制板上的接线端子 A（+）和 B（-）间的直流电压。如果电压在 DC6.0～DC8.0V，则执行器基本正常，可能的故障原因是速度（SPEED）设定值偏高、速度控制板损坏。如果电压过高，可能的故障原因是执行器或其连接机构有问题。如果电压过低，可能的故障原因是速度控制板损坏或增益过低。e. 柴油机运行中自动停机。通常有突然停机和缓慢停机两种情况，其现象都是从额定转速迅速或缓慢降至为 0。突然停机的主要原因有电子调速器电源断电，转速传感器无信号输出或信号弱，柴油机受到的阻力矩超过了其输出转矩（如抱轴、拉缸等）；缓慢停机的原因通常是燃油供不上或油路中有空气所致。

2. 柱塞式喷油泵燃油系统故障案例分析

案例 1：油水分离器密封不严导致油路进空气

（1）故障现象　一辆东风 EQ2102 型汽车，柴油机正常起动后不久，出现自行熄火。

（2）故障查找分析　检查油箱的油量，发现油箱中油位正常。打开低压油路中的放气螺塞，用手油泵供油，发现供油系统中有空气。排除空气后，柴油机顺利起动，但工作不久，柴油机又渐渐自动熄火，同时发现，燃油回油管三通接头处有泡沫状柴油溢出。拆下接头紧固螺母后，发现接头内密封圈有裂纹，但更换此接头后起动柴油机，故障现象仍然相同。再次打开柴油滤清器上的放气螺塞时，有大量泡沫渗出，表明供油系统再次进了空气。

仔细检查油箱至输油泵进油口处，用手油泵泵油时，发现油水分离器上的旋塞处有“滋滋”的漏气现象。拆除油水分离器上的旋塞检查，发现旋塞橡胶密封垫破裂。

在日常维护中，由于油水分离器旋塞被反复拧动，造成密封垫损坏漏气，空气进入燃油系统，在油路中形成气阻，使喷油泵供油中断，柴油机便自动熄火。

（3）故障排除　更换损坏的油水分离器，排除供油系统的空气后，柴油机工作正常。

案例 2：喷油泵内有空气导致柴油机不能起动

（1）故障现象　某双桥货车采用 154kW 康明斯柴油机，在行驶途中到服务区加油后就产生无法起动故障。

（2）故障查找分析　当柴油机不能起动时，驾驶人通常会拧松油路上的放气螺钉，用手油泵将油路中的空气排净，然后起动柴油机。采取该措施后柴油机一般会着火。

但驾驶员拧松放气螺钉放气后，该柴油机还是无法起动；松掉喷油泵上的高压油管，起动柴油机踩下加速踏板，此时发现高压油管内无柴油流出。检查喷油泵齿条位置和运动状况，因为若

喷油泵的柱塞和齿条卡滞，齿条不能回到最大供油位置也可能导致起动困难。驾驶员在检查时发现齿条运动灵活，踩加速踏板时齿条也向增加供油的方向移动。仔细分析了上述情况后认为，该柴油机无法起动可能是因高压油路部分有空气所致，驾驶员松掉喷油泵所有的高压油管和出油阀座，使泵腔内没有压力，然后用手油泵泵油，在每个分泵都出油后再固紧全部高压油管，接着再起动柴油机。该货车采取了这些措施后柴油机顺利起动。

案例 3：高压油路有空气导致柴油机运转中突然熄火，无法再次起动

（1）故障现象　一辆采用康明斯 6BT 柴油机的东风货车，在正常运转中柴油机突然熄火，而后无法再次起动。

（2）故障查找分析　对柴油机燃油系统外观及管路进行检查，油路无漏油，油箱存油充足，断油电磁阀工作正常。松开油路中排空气螺栓排空气，发现油路中有空气，用输油泵泵油，来油顺畅且很快能将空气排净。排净空气后还是无法起动柴油机。再次进行检查，发现油路中又有空气了。对上述检查结果进行分析，认为输油泵来油顺畅，证明低压油路正常，空气可能来自高压油路。

因康明斯 6BT 柴油机不像其他柴油发动机，只要排空低压油路空气，柴油机就可起动，该柴油机还要对高压油路进行一次排空气。接着逐缸对高压油管进行排空气，当拆下第 3 缸高压油管时，发现喷出的不仅有柴油而且还有空气。于是立即拆检第 3 缸喷油器，发现喷油器针阀卡死在开启位置。可知故障原因是由于第 3 缸喷油器针阀出现卡死，使得气缸内气体反冲到回油管，从而进入喷油泵，致使柴油机熄火，无法再次起动。

（3）故障排除　根据检查找到的故障原因，维修人员更换第 3 缸的喷油器，故障消失。

案例 4：康明斯 6BT 柴油机出油阀偶件关闭不严导致起动困难

（1）故障现象　一辆装有康明斯 6BT 柴油机的东风汽车在正常熄火后常常不能顺利起动，特别是停放一夜后的首次起动，需连续起动多次才能使柴油机运转，而且起动后怠速不稳，换档时经常一松加速踏板就熄火。

（2）故障查找分析　根据故障现象，初步判断可能是喷油泵中的出油阀偶件关闭不严导致高压油管燃油回流所致。拆下喷油泵端的高压油管，将油量调节杆置于停止供油位置，用手油泵将油送至喷油泵油腔，此时发现第 2、4 缸喷油泵高压油管接头处有油溢出，证实故障系 2、4 缸出油阀偶件关闭不严所致。

当油量调节杆位于停止供油位置时，柱塞的直槽与柱塞套筒的油孔相对，此时手油泵泵入的低压燃油可直接经过直槽进入柱塞上方作用在出油阀上。由于出油阀被出油阀弹簧压紧在阀座上，要使其开启必须有很大的油压，在正常情况下用手油泵泵油时，由于回油油路中溢流阀的作用，其最高油压要比出油阀的开启压力小，因此出油阀不能升起。而在出油阀不能升起的情况下，高压油管接头处有油溢出证明出油阀偶件锥形密封面密封不严。停车熄火后，特别是停放一夜后高压油管内的燃油倒流回喷油泵低压油腔，下次起动时首先需补足从高压油管回流的那部分燃油，故需连续多次才能起动柴油机。同时，由于部分出油阀关闭不严，使部分缸的实际循环供油量相应减少，造成怠速不良。

（3）故障排除　更换喷油泵出油阀后再试，故障现象消失，柴油机工作恢复正常。

案例 5：P 型泵燃油泄漏导致各缸供油不均匀和转速不稳

（1）故障现象　一辆新型黄河大客车，装配二汽产康明斯柴油机，型号为 6BTAA，额定功率 154kW，喷油泵为衡阳产 P 型泵，型号为 6PN91。行驶约 50000km 左右时，柴油机出现怠速及加速不稳现象，在柴油机低转速时更明显，而且故障现象越来越严重，导致该车无法正常行驶而送厂维修。

（2）故障查找分析　针对该车故障，维修人员用断缸法检查发现喷油泵 2 缸、3 缸喷油量较少，初步断定该车故障是由喷油泵各缸供油不均匀所造成。

针对发现的问题，维修人员将喷油泵和喷油器拆下检查。在校验台上检查 6 只喷油器，喷油器开启压力正常，喷油雾化良好。在检查中发现喷油泵 2 缸、3 缸喷油量过低，应该是导致柴油机工作不稳定的直接原因。维修人员将 2 缸、3 缸柱塞、出油阀拆下进行检查，检查中观察到柱塞、出油阀并未过度磨损，出油阀弹簧、出油阀压紧座也完好无损。但在柱塞套上端面和出油阀底座表面上发现有黑色点状异物。由 P 型泵结构和工作原理可知，柱塞套和出油阀座的接合面必须清洁密封，以保证柱塞供油不会从柱塞套和出油阀的接合面流回低压供油腔，保证供油量和泵油压力。由于这些点状异物使出油阀与柱塞套不能形成密封，部分供油泄回油泵供油腔，造成该缸喷油量降低，柴油机各缸发出的功率不同，从而引起发动机工作不稳定。

（3）故障排除　根据检查找到的故障原因，维修人员对柱塞套上端面和出油阀底座表面用研磨膏进行了仔细的研磨，直到表面发光为止，最后将研磨好的柱塞和出油阀用清洁柴油清洗干净后重新装配，并按出厂数据在试验台上进行调整，喷油泵调试好后装车起动，柴油机工作正常平稳，故障消失。

案例 6：喷油泵柱塞偶件严重磨损导致起动困难

（1）故障现象　一辆柴油车，采用康明斯 B 系列柴油机，热车时柴油机无法起动，而冷车则能正常起动。

（2）故障查找分析　首先检查起动设备，蓄电池容量充足，电起动设备性能良好。进一步拆检时发现，喷油泵柱塞偶件严重磨损。喷油泵柱塞偶件严重磨损后，冷车时由于柴油的粘度较大，泄漏较少，喷油泵压出的柴油尚能满足起动需要，故柴油机能正常起动。而热车时由于喷油泵及燃油滤清器的温度较高，柴油变稀，起动转速又低，因此大部分柴油便从磨损处漏掉，从而造成起动油量不足，柴油机无法起动。

（3）故障排除　更换柱塞偶件，并按标准进行调整，故障即告排除。

案例 7：柴油机供油齿杆卡死调速器失灵导致飞车故障

（1）故障现象　一台康明斯柴油机大修完毕，试车起动时，柴油机转速失控，响声巨大，振动强烈，排气管冒出伴有火团的浓浓黑烟。修理人员迅速采用堵住进气口的办法，切断气缸空气来源，使柴油机强制熄火。瞬间，整个修理车间黑烟一片。

（2）故障查找分析　根据上述现象，断定柴油机发生了飞车故障。柴油机飞车，即柴油机的转速自行升高，甚至超过允许的限度而无法控制。柴油机产生很大的惯性力，使机件受到损伤，甚至会发生重大的机械事故。造成此故障的原因主要有三点：一是调速器本身有故障，失去了正常的调速功能；二是喷油泵柱塞卡在供油位置，使喷油泵始终供油；三是有额外的柴油或机油进入气缸燃烧。

拆下喷油泵检视窗盖板（该柴油机采用 A 型泵），用手扳动齿圈，扳不动，供油齿杆已卡死。从柴油机上拆下喷油泵总成。拆下调速器盖，使供油拉杆与调速器脱开，检查调速器各连接部位，均无松脱、卡滞、折断、锈死等现象。用手拉动供油齿杆，明显卡阻。根据以往的经验，由脏物、异物引起柱塞与套筒咬死，造成供油齿杆移动阻力大的情况较多，于是对喷油泵分解检视，逐个拧松出油阀压紧座。当松到最后一个出油阀压紧座时，只听见“啪”的一声，供油齿杆解除“制动”，再拉动供油齿杆，移动灵活，以为故障已被排除。装复后，当刚一拧紧这个出油阀压紧座时，供油齿杆又不能移动了。钩出柱塞套进一步检查，柱塞套上带出一圈泵体材料，发现泵体已严重损坏，油泵报废。

柱塞和柱塞套是经过精密加工和选配的精密偶件，为保证燃油的增压和柱塞的润滑，其配合

间隙仅约为 1.5～2.5μm。因此，柱塞或柱塞套稍有变形就会引起柱塞与柱塞筒之间的咬滞和供油齿杆的卡阻，调速器失灵。显然，上述故障是由于维修时，出油阀压紧座的拧紧力矩过大，造成泵体损坏，柱塞套严重变形而与柱塞咬死，又使供油齿杆卡死在供油较大的位置，以致调速器无法根据柴油机转速的变化及时地加、减油量，导致飞车。此例故障告诫我们，修理作业中的拧紧力“宁紧勿松”的做法是十分有害的，轻者会损害机件的使用寿命，重者会造成严重的机械事故。因此，重要部分的螺栓、螺母必须使用扭力扳手；其次，对称地按规定力矩拧紧，以确保各部件间的配合间隙正确。

（3）故障排除　更换喷油泵，在高压油泵试验台上进行检验及调整试验，装机后已能正常工作。

案例 8：柱塞弹簧规格不当导致柴油车排气冒白烟

（1）故障现象　一辆柴油汽车，装配 A 型喷油泵，在运营过程中，排气管突然出现冒白烟的现象，并且日益严重。

（2）故障查找分析　长期的修理经验告诉我们，柴油机排气冒白烟一般是燃油燃烧不充分所致。因此，怀疑是某缸喷油器出现问题。采用断缸法检查，发现第 3 缸工作不良，其余各缸正常。拆下该缸喷油器在喷油器实验台上测试，该喷油器喷油雾化良好，无油束和油滴产生。随后，检查喷油泵，发现凸轮上第 3 缸凸轮和挺柱体上的滚轮磨损严重，而其余各缸的凸轮和挺柱上的滚轮完好无损。

经多方询问得知，在修理该柴油机所用 A 型柱塞式喷油泵时，曾因第 3 缸的分泵柱塞弹簧过软而更换过。为了彻底清查故障的根源，将 6 个缸的柱塞弹簧全部拆下进行比较。发现各弹簧的高度一致，但第 3 缸的柱塞弹簧弹力过大，说明第 3 缸柱塞弹簧的规格性能不符合使用要求。因为弹力过大，极易使凸轮轴变形并使凸轮和滚轮加快磨损，当磨损严重时，造成第 3 缸供油时间太晚，导致进入气缸的燃油未充分燃烧，没有燃烧的混合气经过压缩后变成白色油雾从排气管排出，从而出现排气冒白烟的现象。

（3）故障排除　更换第 3 缸柱塞弹簧及凸轮轴、挺柱体上的滚轮等零部件，按标准调试喷油泵后，装机试车，柴油机正常工作，冒白烟故障现象消失。

案例 9：柱塞弹簧卡滞导致动力下降冒黑烟

（1）故障现象　一辆装有康明斯 B 系列柴油机（配装柱塞式喷油泵）的 8t 平头柴油汽车，起动时冒黑烟，而且黑烟浓重，有呛人气味，同时油耗也明显增加。汽车行驶无力，柴油机消声器时有放炮声。

（2）故障查找分析　首先检查燃油的品质，检查结果油质纯正，是合格柴油；接着检测喷油器，没有发现喷油不良现象。在试验台上检测喷油泵喷油量时，发现其不稳定。打开喷油泵侧盖，发现喷油泵柱塞弹簧有些发卡，伸张迟钝（经查所用弹簧品质不符合要求）。这样柱塞上行至供油位置后回位缓慢，延长了喷油泵向喷油器供油的时间，既增加了油耗，又使混合气过浓，柴油机燃烧不充分，汽车行驶无力。特别是起动时，油量调节拉杆处于最大供油量位置，因而产生浓重的黑烟。

（3）故障排除　更换喷油泵柱塞弹簧，故障现象消除。

案例 10：由于喷油泵分解装配错误造成康明斯 6CT 柴油机供油不正时

（1）故障现象　一台 6CTA8.3G2 柴油机，喷油泵因故障进行过分解、换件和试验台调校，技术参数正常，但装入柴油机上工作却出现柴油机动力不足、排气管排浓黑烟的现象。

（2）故障查找分析　柴油机动力不足、排气管排浓黑烟，是柴油燃烧不完全的结果。分析步骤如下：①检查空气滤清器没有堵塞。②按照两个正时销插入的方法检查供油是正时的。③检

查喷油器喷油压力和雾化情况。预先自制一个丁字形带接头的三通，其中一个接头装在喷油泵的任一分泵上，一个接头装上新的标准喷油器，另一个接头安装被测喷油器。用起动机带柴油机转动，观察两个喷油器是否同时喷油，若同时喷油，则说明被测喷油器的喷油压力符合要求，同时观察雾化情况。经检查喷油器工作良好。④检查气门间隙正常、无漏气声。⑤检查加机油口无漏气声、气缸垫处无异常，气缸无漏气。⑥按照溢油法检查康明斯 6CT 柴油机供油时间。排尽高低压油路空气，将调速器手柄固定在供油位置。卸掉喷油泵第一分泵高压油管，正向盘飞轮，到柴油机正时销能插入时，在飞轮壳观察孔作一标线，并在标线所正对的飞轮轮齿上作一记号。反向盘飞轮大概 40°CA，再缓慢正向盘飞轮，观察喷油泵第一分泵出油阀紧帽油面。当油面刚有轻微波动时停止盘车，在飞轮壳观察孔标线正对的飞轮轮齿上再作一记号，两次记号之间的齿数对应的曲轴转角就是实际供油提前角。经检测，实际供油提前角为 0°CA，小于规定的 15°CA。因此故障原因即是在喷油泵装配时忽略或改变了喷油泵凸轮轴与调速器飞锤的装配位置关系，导致供油不正时。正确的装配方式是在油泵试验台上装配喷油泵时，应在第一分泵出油阀紧帽油面出现轻微波动时，再使凸轮轴顺时针旋转 7. 5°CA，然后装配飞锤使其突耳与正时销配合，或顺时针旋转后使喷油泵凸轮轴上的缺口与正时销配合。若不注意装配角度，就会出现正时销可对应插入相应销孔，而供油正时不正确的现象。

（3）故障排除　可就机应急排除此故障。过程如下：康明斯 6CT 柴油机飞轮共有 138 个齿，15°CA 对应 5. 75 个齿。首先正向盘飞轮使喷油泵第一分泵处于刚开始供油的位置，打开正时齿轮室观察孔，拧下喷油泵正时齿轮锁紧螺母，用拉拔器将正时齿轮与泵轴的连接松脱，注意不要让曲轴转动而改变泵轴的角度。确认柴油机第 1 缸处于压缩冲程上止点，然后正向盘飞轮 5. 75 齿，即第 1 缸活塞在压缩冲程上止点后 15°CA 位置。装上正时齿轮与锁紧螺母，检查正时齿轮有适当齿隙。试机，排烟正常，故障排除。需要说明的是就机维修后，不能再通过正时销插入的方法来确定供油提前角，除非再次分解调校喷油泵以彻底解决。

原装的康明斯 6CT 柴油机的喷油泵正时销一经插入与飞锤突耳嵌合就表明喷油泵第一分泵供油提前角已被锁定，其本质反映的是喷油泵凸轮轴与调速器飞锤的装配位置是唯一固定的。实际工作中，应避免主动或被动的改变其配合位置关系导致供油正时被破坏。

案例 11：高压油泵工作时阻力过大造成供油不正时

（1）故障现象　一台 120kW 发电机组，所配康明斯 6CTA8. 3 柴油机（配 P 型泵）不能起动，无冒烟。经检测为转速控制器 ESD5500E 失效。更换转速控制器后，仍然不能起动，但排气管排出黑烟。

（2）故障查找分析　柴油机不能起动、排气管排黑烟一般是柴油燃烧不完全的结果。具体分析如下：①检查空气滤清器没有堵塞；②查看油水分离器中有大量水；③检查喷油器有 3 个缸喷油压力过大；④按照 2 个正时销插入的方法检查供油不正时；⑤检查喷油泵正时齿轮、锁紧螺母和泵轴上维修时刻下的记号，发现记号已经跑偏，正时齿轮相对泵轴转动了一定角度，供油时间过晚；⑥按溢油法检测供油提前角为 -150°CA。故障为供油过晚。

在此后的修理中，发现针阀偶件卡滞，重新校泵，发现两缸柱塞偶件有稍许锈蚀卡滞。更换柱塞偶件和针阀偶件，问题彻底解决。因为康明斯 6CT 柴油机的喷油泵正时齿轮与喷油泵轴采用圆锥面过盈连接，无半圆键，柴油机在工作时，喷油泵正时齿轮与喷油泵轴之间的圆锥结合面承受来自各缸柱塞泵油的反作用力、柱塞弹簧弹力、泵轴的摩擦阻力及飞锤惯性力等作用力。如果柴油有杂质和水分则会使喷油泵柱塞偶件、出油阀偶件和喷油器针阀偶件锈蚀和卡滞，加大喷油泵正时齿轮承受的载荷。可能使圆锥结合面连接发生位移，破坏供油正时。可以在喷油泵正时齿轮、锁紧螺母和泵轴前端面上作一记号，通过观察记号是否错位来判断圆锥结合面是否

滑动。

（3）故障排除　分解故障喷油器，小心取出卡滞针阀偶件，将针阀偶件放在柴油中来回拉动清洗，使针阀能自由滑动为止，试验喷油压力使雾化情况良好。按正时销插入的方法重新校正供油正时；清除高低压油路中的水分；放掉油箱中的水分，并用清洁柴油冲洗油箱。试机后正常。

案例 12：紧固件质量导致供油不正时

一台东风康明斯 6CTA8.3 柴油机，其喷油泵锁紧螺母记号两次跑偏，将锁紧螺母和弹簧垫圈与进口康明斯同型柴油机比对，弹簧垫圈的厚度和宽度及表面处理等都有差别，调换后问题解决。该故障是由于弹簧垫圈厚度、宽度以及表面处理等因素导致了锁紧螺母的力矩衰减，在柴油机带负载时锁紧螺母发生了跑偏，导致供油过晚。

案例 13：出油阀减压环带单边磨损导致供油不正时

（1）故障现象　柴油机工作粗暴、转速不稳和低速敲缸声严重。

（2）故障查找分析　检查喷油器雾化良好、柴油机其他部分正常，故障可能在高压油泵。

在油泵试验台上检查油泵供油间隔、密封性均正常，只是个别缸油量明显偏高。将偏高缸油量调到正常值，故障依旧。但在油量调整之前将油量偏高缸的出油阀换新，则故障可全部排除。

出油阀是一个单向阀，其作用是保证柴油达到出油阀开启压力时才进入高压油管，同时又可防止高压柴油从高压油管倒流入喷油泵，并且在每次供油终了时，其减压环带能迅速地将高压油管内柴油压力降低，促使喷油器迅速断油以防后滴。由于液流作用的不对称性和出油阀弹簧的振动，出油阀在落座时很容易倾斜，使减压环带单边磨损，从而容易造成出油阀减压环带与阀座配合间隙过大，减压效果变差，高压油管内残余压力比正常值高。这样，当供油柱塞向上压油时，一方面出油阀往上升，另一方面柴油越过减压环带与出油阀座间的过大间隙顶开锥面直接进入高压油管，这实际上相当于使供油始点提前。如果在调试油泵时只将相应缸供油量调少，则虽然解决了各缸油量不均问题，但原来供油偏多缸仍然较其他缸提前供油，因此柴油机故障不能彻底解决。

案例 14：喷油器压力过高导致供油不正时

（1）故障现象　高压油泵为 P 型泵的柴油机，换了 8 个缸的喷油器后，车辆运行时动力不足，与换喷油器之前比较，车速明显要低得多，挂高挡踩油门，车速上不去，加油不起作用，冷车与热车起动都困难。

（2）故障查找分析　根据上述情况，估计是新换喷油器存在问题。在喷油器校验器上检查喷油器压力时，发现新喷油器的压力为 22MPa，与维修手册规定的工作压力（17.5 +0.8）MPa、检查压力（18.0 +0.8）MPa 不符，显然新喷油器压力过高。

分析故障原因，应该是新喷油器压力比旧喷油器压力高，高压油泵要用过大的压力才能打开新喷油器，使喷油时间过迟，导致动力不足及难于起动。在校验器上把压力调整到 18.5MPa 后装车，起动快，路试动力明显上升，时速正常，故障排除。

案例 15：喷油器针阀卡死导致柴油机冒烟、动力不足、油底壳进燃油

（1）故障现象　一台康明斯 6BT 型柴油机，起动后，排气管间断冒白烟，柴油机动力不足，工作 6h 后，机油油面上升，且机油中含有大量柴油。

（2）故障查找分析　由于输油泵由凸轮轴偏心轮驱动，输油泵漏油也可导致机油污染。首先拆检输油泵是否泄漏，堵住其上的出油口，并从进油口输入压力为 0.2 ~0.3MPa 的燃油，无漏油现象，同时，顶动输油泵滚轮，感觉有空行程，表明输油泵工作性能良好。其次检查高压油管接头，发现无渗漏油迹；停机观察喷油泵各缸柱塞周围，也无泡沫状燃油，表明高压油路密封

性能良好。

起动柴油机，检查各缸的工作情况，发现在第 3 缸断油后柴油机间断冒白烟的现象消失，柴油机转速变化不大，检查第 3 缸喷油器，油嘴已烧蚀、且有大量积炭，由此可以判定，故障出现在该缸的喷油器上。由于第 3 缸喷油器的油嘴烧蚀，且有大量积炭，造成喷油器针阀卡死，导致燃油不能呈雾状喷入燃烧室，也就不能得到较充分的燃烧；致使剩余的燃油部分成蒸汽状以白烟形式冒出，部分经活塞环缝隙直接进入机油壳。

（3）故障排除　更换该缸喷油器，再次起动柴油机，排气管间断冒白烟的现象消失，且柴油机运转平稳、动力充足。更换润滑油后，润滑油油面一直保持在规定的刻线位置。

案例 16：柴油机输油泵粗滤网堵塞，造成柴油机来油不畅。

（1）故障现象　一辆装用康明斯柴油机的美国产集装箱掏箱叉车，由于柴油机一会工作，一会熄火，只能走走停停，结果 20km 的路程用了近 5h。

（2）故障查找分析　根据故障现象，初步判定是柴油机燃油系统堵塞所致。于是将喷油泵上的放气螺塞拧松，用手油泵泵油及用起动机带动输油泵工作时，喷油泵放气螺塞处的压力和油量都过小。拆下输油泵进油管向油箱吹气，油箱内燃油翻腾声很大，最后检查输油泵进油管接头，发现其中的铜质滤网严重堵塞。

集装箱掏箱叉车所用康明斯柴油机输油泵的进油口处装有粗滤网，若不定期进行维护保养或所用柴油不干净，滤网处的油泥、胶质及其他杂质便会堆积，致使油路堵塞，造成柴油机不来油或来油不畅而。

（3）故障排除　拆下手油泵，取出铜质滤网及座，用柴油清洗后再用火将滤网上的胶质烧掉，洗净后装复试机，柴油机工作恢复正常。

案例 17：输油泵“内漏”引起烧瓦、抱轴

（1）故障现象　一台康明斯柴油机使用中出现烧瓦、抱轴的严重事故。经检查，润滑油液面很高，说明润滑油已被稀释。

（2）故障查找分析　该柴油机采用 P 型泵。检查各燃油管、润滑油管，接头均良好，喷油泵密封也良好。最后发现输油泵挺柱磨损严重，于是认定故障是由于输油泵内漏引起的。该柴油机的输油泵安装在柴油机机体上，由配气机构凸轮轴驱动，挺杆上的滚轮顶靠在凸轮轴的偏心轮上，由于挺杆与壳体间的密封圈在高速运动下严重磨损，当输油泵泵油时，从输油泵泄漏的燃油会直接进入柴油机机体内，将油底壳的润滑油稀释，被稀释的润滑油进入柴油机润滑油道，破坏了柴油机的润滑，从而导致高速运转的曲轴烧瓦或活塞拉缸的严重后果。康明斯 P 型泵、A 型泵采用强制润滑方式，其柱塞副磨损或柱塞套密封不良造成燃油向泵体内泄漏，也会导致这种故障。

虽然“内漏”故障在柴油机中是较常见的，但本例故障也是不应该出现的。首先，操作员应经常观察机油压力表，当看到润滑油压力下降时，应检查润滑油液面高度，如果润滑油液面低，应及时补充润滑油；如果润滑油液面高，则可判断有“内漏”故障。

（3）故障排除　更换输油泵，修复曲轴、连杆，更换润滑油后故障排除。

案例 18：调速器怠速弹簧失效引起康明斯 C 型柴油机怠速发抖

（1）故障现象　东风 EQ4163W 新车（采用康明斯 C240 型柴油机），出现柴油机怠速发抖的现象。在东风汽车维修站先后调校了喷油泵及喷油器等，该故障未能排除。

（2）故障查找分析　开机验证其故障现象。该车排烟正常，柴油机转速超过 1000r/min 时柴油机运转发抖，随着柴油机转速升高，抖动现象却逐渐消失。逐一断缸检查，发现第 1 缸工作略差。检查第 1 缸喷油器，雾化良好；松开第 1 缸高压油管，用手油泵泵油，第 1 缸喷油泵出油阀

没有溢油的现象。拆下喷油泵，在喷油泵试验台上检查怠速工况下各缸的出油量，各缸的出油量均一致，说明供油系统基本正常；装复喷油泵，用气缸压力表测量各缸的气缸压力，各气缸压力也均正常，这就排除了因柴油机内部因素（如拉缸、气门关闭不严等）而引起的怠速抖动。

在反复排查过程中，当将柴油机怠速转速调至600r/min以下时，抖动现象明显减轻，拧开喷油器调速器弹簧室螺栓，检查调速器怠速弹簧，从外观未发现问题、将该怠速弹簧加一调整垫圈，装复后试车，发现这时柴油机抖动现象减轻，说明故障产生于怠速弹簧过软。

调速器怠速弹簧失效而引起的柴油机怠速运转时发抖的原因可分析如下（见图5-29）。柴油机起动后，调速器飞锤向外张开，调速器怠速弹簧被调速杠杆压缩。怠速时，飞锤产生的离心力较小，而且与调速器怠速弹簧的弹力相平衡，从而使调节齿条保持在一定位置，柴油机就处于平稳的怠速运转状态。当调速器怠速弹簧过软，上述平衡会被破坏。飞锤因该弹簧过软张开角度增大，浮动杠杆将向减小供油量的方向拉动调节齿杆，甚至出现断油现象；而柴油机转速下降后，飞锤的离心力减小，浮动杠杆又使调节齿杆向供油量增加的方向移动，造成柴油机不能稳定在某一转速下运转，以致柴油机怠速发抖。

（3）故障排除　更换调速器怠速弹簧试车，故障排除。

案例19：RQV—K调速器低速稳定器调整不当导致转速抖动

（1）故障现象　康明斯6BT5.9-C130型柴油机，工作中发现当柴油机转速为850～900r/min时，柴油机出现断续的喘振抖动；缓慢增大油门，这种断续的喘振抖动也随着转速缓慢增大；当转速增大到最大时（1750r/min），断续的喘振抖动最严重。关闭柴油机重新起动若干次，上述故障均未消失。在上述过程中，柴油机排气管冒烟颜色正常，未出现漏气漏油现象，柴油机无异响，柴油机仪表显示的水温、机油压力均正常。

该型柴油机由东风康明斯发动机有限公司生产，六缸四冲程涡轮增压式，130马力（1马力=735.5W），缸径102mm，冲程120mm，排量5.9L，怠速900r/min，额定转速2200r/min。柴油机配置RobertBoschP7100系列喷油泵（6缸），RQV—K调速器（RQ代表两极式调速器，RQV代表全程式调调速器，RQV—K代表全程式并带转矩控制的调速器）。

（2）故障查找分析　根据经验初步判断是柴油机燃油供给系统出现了问题。根据康明斯《B&C柴油发动机操作与保养手册》的提示，怠速时振动有以下几种原因：怠速太低；燃油系统内有空气；燃油管路、滤清器节流；油箱内油位太低；喷油泵工作不正常；喷油器工作不正常。

通过以下步骤依次排查原因：①打开电门钥匙开关，观察燃油油位表的数字显示，发现燃油油量显示在正常范围内，故排除油箱内油位太低的可能。②起动柴油机，将柴油机调至怠速状态，依次拧松燃油滤清器两端的低压油管，发现均有柴油溢出，说明燃油输油管路、燃油滤清器正常。③将柴油机保持上述怠速状态，依次松开喷油泵上的高压油管螺母，发现均有燃油喷出，燃油系统内没有空气，而柴油机的喘振抖动现象未消失，加大节气门，喘振抖动随着加大。④将柴油机保持在怠速状态，用螺钉刀调整调速器后盖上方的低速稳定器，喘振抖动有变化，初步推断是调速器出现了故障。将低速稳定器缓慢地旋入，喘振抖动有减弱趋势，当喘振抖动消失后，固定低速稳定器。加大节气门，提高柴油机转速，发现喘振抖动故障消失。关闭柴油机，重起动柴油机，柴油机运转均正常，故障排除。

调速器在调速器后壳盖上装有稳速弹簧，它能够在柴油机急剧减速时迅速地把供油齿杆送回到怠速位置。

案例20：调速器增压补偿器故障导致动力不足

（1）故障现象　某辆搭载康明斯6BTAA（155kW）增压空空中冷柴油机的东风牌载货车，装有带增压补偿器的RSV型调速器。行驶中感觉动力较以往有所下降，车辆加载后动力更加不

足，尾气为蓝烟，且曲轴箱通风管向外排放机油和气体。

（2）故障查找分析　出现故障后，该车在某修理厂按气缸“下窜气”故障对柴油机进行了一次大修，包括拆卸缸盖、取出活塞、检验活塞环、测量缸套等多项检查，并更换了活塞、活塞销及活塞环等多处部件。维修后故障依旧。

通常，柴油机气缸“下窜气”是因为气缸密封不好，导致气缸内可燃混合气泄漏至油底壳，并从曲轴箱通风管排出。柴油机起动，运转正常无异响，拔出润滑油标尺后有油气流出，曲轴箱通风管处也有油气排出。加速时，明显感觉柴油机动力不足，曲轴箱通风管排出的气、油量也随之增加，排烟呈蓝色。即压缩气体进入曲轴箱后并造成曲轴箱内压力过高，润滑油飞溅，气体携带润滑油由连通曲轴通风管排出。

既然活塞、活塞环及气缸套等部件均正常，就必须找到压缩气体的来源。

首先检查空气压缩机。维修人员怀疑有可能是空压机活塞连杆组与缸套密封不严，导致压缩空气经空气压缩机进入曲轴箱。但空气压缩机打气快，压力足，外部无渗油现象，卸载阀排气口不排油。打开储气筒排污阀，放出的气体无油污，说明空压机运转正常。

其次检查喷油泵调速器增压补偿器。将喷油泵调速器系统的增压补偿器盖上管接头与增压中冷后的管道相连接的管路断开，堵住柴油机进气管与增压补偿器连接的接口，重新起动柴油机，曲轴通风管不再排放油、气。问题出在喷油泵调速器系统增压补偿器上，检拆发现增压器补偿膜片破裂。

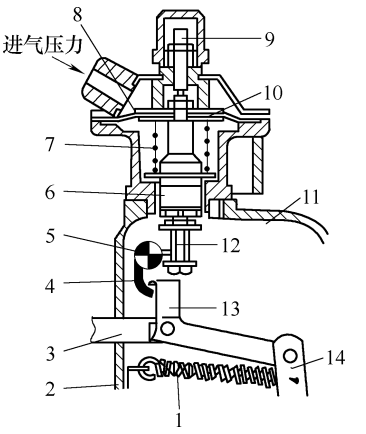


图 5-47　RSV 型调速器增压补偿器

1—起动弹簧　2—调速器壳体　3—供油齿杆　4—摇臂　5—摇臂控制轴　6—导向套　7 一调节弹簧　8—膜片　9—调整螺钉　10—固定垫片　11—调速器盖　12—调节杆　13—连接杆　14 一浮动杠杆

目前，柴油机为提升功率，大都装有涡轮增压器。增压补偿器（见图 5-47）可根据进气量的大小自动修正供油量。增压补偿器安装在喷油泵调速器壳体 2 上部，其盖上的进气管与柴油机进气管相通。在增压补偿器盖与补偿器体之间有上下 2 块夹板及膜片 8。当柴油机转速升高时，增压补偿器膜片 8 上部压力室压力大于补偿器调节弹簧 7 的弹力时，膜片连同调节杆 12 下移，通过摇臂 4 带动齿杆向大油量方向移动，提供与进气量相适应的油量；当柴油机低速运转时，增压压力减小，情况则正好相反。所以，增压补偿器既可满足增加柴油机功率的需要，又可防止低速时的冒烟现象。

增压补偿器故障导致曲轴箱通风管排放油、气的原因分析如下。康明斯 6BTAA 柴油机喷油泵润滑需要借助柴油机润滑系统主油道的压力润滑油进行，通过节流孔和泵体进油孔进入滚轮传动部件与泵体间隙的润滑油，流入泵底盖和调速器壳体中，油面高度受泵体上回油孔位置的限制，多余的润滑油经回油管流回柴油机油底壳。

增压补偿膜片破裂后，增压补偿器上部压力室与下部压力室压差较小，在增压补偿器弹簧的作用下，增压补偿器膜片 8 及调节杆 12 总处于最高位置，供油量总处于减小状态，所以，加载后感到动力不足，排烟不正常。另外，增压的空气通过破裂的膜片进入喷油泵内，压迫喷油泵润滑油从回油孔进入曲轴箱，造成曲轴箱内压力过高，形成曲轴箱通风管向外排油气现象。

（3）故障排除　更换增压补偿器膜片之后，故障随之排除。

此故障排除过程告诫维修人员应根据柴油机的结构和工作原理进行全面的故障分析，遵循由简到繁、由表及里的原则，找出产生故障的根源，避免“小故障，大手术”，造成人力和资源的浪费。

案例 21：转速传感器松动导致电子调速器无法使柴油机起动

（1）故障现象　一台某型康明斯柴油发电机组（柴油机型号 6BT5.9-G1）在重新安装，按下起动按钮后，柴油机在起动机带动下运转，不能自行发火、起动。

（2）故障查找分析　柴油机不能起动是柴油机常见故障之一，油、水、气、电及相关的部件都可能导致柴油机起动不成功。首先进行起动前的油水气电等检查工作，经检查，情况良好。其次，按下起动按钮的同时，观察油门电磁执行器的动作情况，经观察发现执行器无动作。用手拉动执行器执行机构使齿条向供油量增大的位置改变，柴油机能够发火起动了，松开后柴油机又自行停机。

基于以上操作，可以判断出该柴油机的油、气等无故障，故障出现在电子调速系统。

根据电子调速系统工作原理和过程，当柴油机起动时，传感器检测到有一定转速后，执行器将齿条拉到最大供油量位置以利柴油机的起动。柴油机起动时执行器无动作，说明电子调速器没有输出信号给执行器，原因可能在于电子调速器本身，也可能是传感器、执行器故障。按照从简单到复杂的原则，首先检查传感器。在停机状态下用万用表的电阻挡测量传感器两根引线之间的电阻，电阻基本正常；接着在机组起动时，用万用表的交流电压 10V 挡测量传感器输出端的电压。经测量，电压在 1V 以下，初步确定是传感器故障。因为这种磁性传感器和齿圈间的安装间隙直接影响传感器的输出，因此将传感器卸下重新安装。松开传感器锁紧螺母，拧下传感器，经检查传感器端部无明显损伤痕迹。将传感器重新装回安装孔里，先顺时针轻轻拧进传感器，注意速度要慢，待传感器端部与齿圈接触后，将传感器按逆时针方向拧出 3/4 圈，再将锁紧螺母拧紧。重新起动柴油机，用万用表检查传感器输出端的电压值，电压在 2V 左右，在正常范围内；停下机组，将传感器和电子调速器之间的连线接好，再次按正常步骤起动机组，机组顺利起动、运行，故障排除。

可见该故障是由于振动导致转速传感器安装间隙变化，使得传感器输出过低。由电子调速器控制模块工作过程可知，电子调速器控制模块在失去供电电压或检测不到转速传感器的信号时，其输出回路会关闭送往电磁执行器的电流；在复位弹簧作用下，柴油机会停止运转，进而无法使机组正常起动。转速传感器安装好后，最好在传感器体、锁紧螺母和机体上作上标记，并且在工作中不要轻易拆卸或拧松传感器。

案例 22：微调电位器内部接触不良导致柴油机转速不稳

（1）故障现象　某机组起动后出现转速时高时低，始终达不到额定转速，调整转速微调电位器（见图 5-41 的接线端 GHJ）时，故障依旧。

（2）故障查找分析　通过检查、测量发现转速传感器正常，电子调速板的电源稳定，说明故障出现在电子调速板内部或者转速微调电位器上。断线测量转速微调电位器时，发现其阻值较大，初步判断是由于机组长期不用而造成其内部氧化。所以电子调速板的 G、J 端电压信号不稳，从而导致转速不稳。反复转动转速微调电位器旋钮后再开机，故障排除。

案例 23：电磁执行机构故障导致柴油机转速不稳

（1）故障现象　一台机组空载全速运行时工作正常，带上负载运行时也正常；但卸掉负载后，出现转速不稳的故障现象，此时调整电子调速器不起作用；紧固各接线端子后重新开机，还是出现卸掉负载后转速不稳的故障；更换电子调速器也没有解决问题。

（2）故障查找分析　引起转速不稳的故障原因主要有燃油系统和电子调速系统等方面，由于该机组空载和负载运行时工作正常，因此基本排除了燃油系统的故障，而且转速传感器工作正常。另外，更换新的电子调速器后故障依旧，所以电子调速器也没有故障。

仔细检查发现，该机组电子调速系统采用的直流比例电磁铁中的复位弹簧的上端断了一截

(约为其长度的1/10)。由电子调速器的工作原理可知(见图5-40),衔铁的运动行程直接决定供油量。由于复位弹簧始终处于压缩状态,断了一截后,张力减小,对于相同电磁力而言,衔铁的实际运动行程变长了。机组空载全速及带载运行时,电磁铁的吸力较大,衔铁的运动行程较长,弹簧减小的张力对其影响很小,因此转速基本稳定;而卸掉负载后,衔铁受到的电磁吸力迅速减小,电磁吸力与损坏弹簧的张力无法建立稳定的平衡关系,导致衔铁上下波动较大,所以出现本例中的故障现象。对于不同机组,由于电子调速器、直流比例电磁铁等部件的性能差异,弹簧断了后,出现的故障现象可能不尽相同,而弹簧折断的程度也会导致不同的故障。

检查另外三台同型号机组的直流比例电磁铁时,未发现弹簧有裂纹或异常情况。由于四台机组是同时配发的,而且工作时间基本相同,所以基本排除了弹簧的材料和加工工艺等问题。进一步检查损坏的弹簧时发现,断裂处周围有钳子夹过的痕迹。从断口处的颜色也可以看出弹簧不是突然断裂的。因此初步判断是由于安装时用钳子夹过弹簧,造成弹簧外表有剪切伤,损伤后的弹簧的疲劳寿命大幅度降低。在弹簧的工作过程中,导致其外表损坏处应力集中,当集中的应力大于材料所承受的极限应力时,弹簧产生疲劳裂纹,最终发生早期疲劳断裂。

因此在使用维护中,应注意:① 一般情况下,直流比例电磁铁的复位弹簧是不允许拆卸的。如果确需更换,在安装时应注意方法,防止其受到“硬伤”。② 起动机组前应检查直流比例电磁铁和油量控制齿杆之间的拉杆活动是否灵活,而且向加油方向扳动后放松时应能迅速复位,否则复位弹簧可能损坏;另外,拉杆两端的可调部分在出厂时已经调整好,并用锁紧螺母锁紧,无特殊情况不要调整,同时应做好标记,防止由于振动、松脱而影响机组的正常运行。③ 直流比例电磁铁端盖背面,即衔铁与端盖接触部位装有厚度为6mm的垫子(见图5-40),其作用是限制衔铁的初始位置,如果该垫子损坏或厚度发生变化,卸掉负载时也会出现衔铁向上运动过多而导致转速不稳的故障。另外,停机时会敲击盖板而导致其损坏。④ 转速传感器的安装不当会导致传感器损坏或者机组不能起动。应按安装步骤进行。另外,为了防止干扰,应避免强磁场靠近转速传感器。

案例24:电子调速系统执行器输出控制杆装配不当导致动力不足

(1)故障现象 一台电站利用EQ6BT5.9康明斯柴油机作为动力,喷油泵为A型泵。其电子调速系统采用CFKMB—Z转速控制器和SK—1040—36旋转式电磁执行器,电磁执行器与RSV机械调速器的停机手柄连接(见图5-42)。大修后,空载时转速正常,当加负荷后转速低,无法升至额定转速值。

(2)故障查找分析 空载时转速正常,但加载后转速下降,直接的原因是供油不足。打开A型泵侧盖板,观察油量控制套筒上的可调齿圈转动情况,发现加负载时齿圈无法转到最大油量,向加油方向扳动齿圈,转速可恢复。询问维修人员,在拆卸喷油泵时,将控制杆系拆下(见图5-42),但没有作记号,装回旋转式电磁执行器输出轴上时,也未注意角度。由于执行器输出臂的相位角必须与停车和满负荷相对应,错误的安装角度导致了加负载时油量上不去。

(3)故障排除 将装在电磁执行器输出轴上的控制杆拆下,逆着加油方向旋转数齿装复,并使其对应满负荷位置。故障现象消除。

注意:执行器输出臂的相位角必须要保证与停车和满负荷相对应,若安装错误使其无法处于停车位置,则会导致机组无法熄火。

案例25:转速传感器信号错误导致柴油机超速保护

(1)故障现象 一台发电机组,柴油机起动后,转速自动升至高转速就迅速自动停机。连续起动多次都重复了上述情形。

(2)故障查找分析 无论是排除机械调速器故障还是排除电子调速器的故障,都应遵循由简到繁,由表及里的原则进行。这样才能达到迅速排除故障之目的。

1）首先，检查电子调速器电源是否有偶发断电现象，在任何情况下，都应确保电子调速器连续供电。检查结果显示正常。

2）检查执行器电缆、转速传感器电缆、微调电位器是否有接触不良现象，检查结果表明接触良好。

3）检查电子调速器。用2个22呆扳手，一个卡在下方的螺母，一个拧松上方的固定螺母，将转速传感器拆下来，检查导磁探头是否良好，并用三用表电阻挡测量线圈的电阻值，测其电阻值为570Ω，基本正常（如果阻值为0或很大均为不正常）。则故障可能是传感器与飞轮齿顶的间隙不当。

将转速传感器装回原位。按说明书的要求，将传感器上的螺纹后退回1/2～3/4圈（约为0.45mm），然后将其固定。最后进行试机，故障仍然没有排除。再把传感器上的固定螺母拧松，将其拧到与飞轮齿圈的齿顶接触后，当螺纹后退到（1/4圈）时，固定进行试机，故障消失。

起动后柴油机达到超速状态，可能的原因包括：最高转速电位器定得太高；传感器距齿顶太远，就是说只有一部分齿被计数；传感器线路中接线不良；传动杆系不能灵活运动；执行器或控制器损坏等。分析该故障可知，这是属于传感器性能下降和距齿顶太远因素的综合体现。

案例26：怠速继电器故障导致机组起动后无法全速运行

（1）故障现象　机组起动后一直怠速运行，无法全速运行。

（2）故障查找分析　电子调速控制器（ESD5500E）的怠速控制（见图5-48）是通过M端口控制的，当M端子（怠速输入端子）连接端子G时，该端子输入低电平，转速控制器控制柴油机怠速运行；当M端子与端子G断开时，柴油机工作于额定转速。M端子与G端子可以采用乒乓开关连接，从而构成怠速至全速的手动转换方式；也可以采用继电器触点连接，构成怠速至全速的自动转换方式，该机组即采用后一种方式。

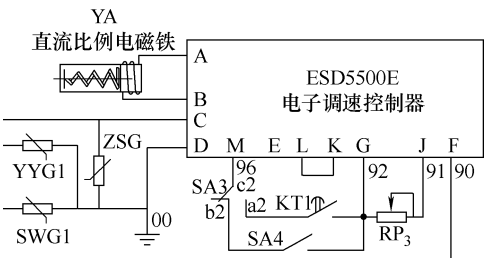


图5-48　电子调速控制器的怠速控制

因此对怠速继电器SA4进行了测量，发现其触点烧蚀不能脱开，一直处于短路状态，因而导致机组不能升至额定转速。

（3）故障排除　更换继电器SA4后故障排除。

第二节　PT燃油系统

一、PT燃料系统的组成

PT燃油系统是美国康明斯发动机公司的专利，应用在康明斯N、K系列及其他型号的柴油机上。与一般柴油机的燃油系统相比，PT燃油系统在组成、结构及工作原理上有其独特之处。

“P”、“T”分别是英文“Pressure”（压力）和“Time”（时间）的缩写，故PT燃油系统又可称为压力—时间系统，它是根据燃油泵的输出压力P和PT喷油器的计量时间T的相互配合来控制循环供油量的。

如图5-49所示为PT燃油供给系统的简图。PT燃油系统由PT燃油泵（简称PT泵），燃油箱，浮子油箱，燃油滤清器，喷油器，燃油分配歧管及回油歧管等组成。由图5-49可见，燃油箱的位置较高，为在柴油机停机时，燃油不致自行流向喷油器，从喷油器的喷孔流出，故在比喷油器较低的

位置处设有浮子油箱。浮子油箱还可使油面保持稳定，从而使 PT 泵的进油压力保持一定。

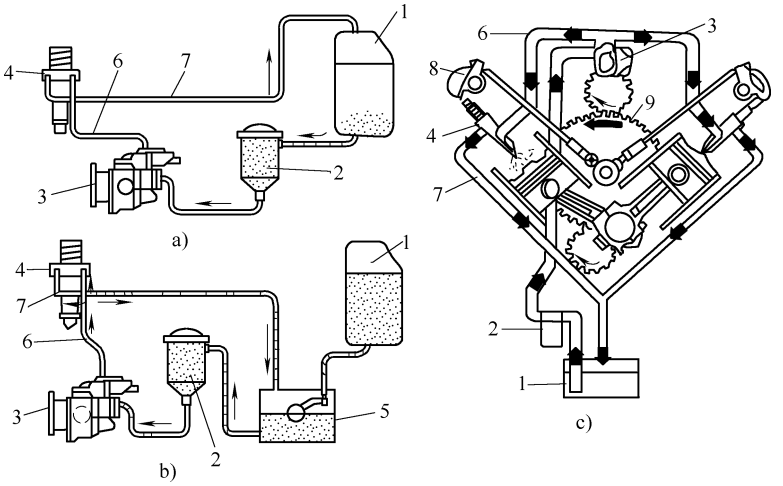


图 5-49 PT 燃油供给系统

a）直列六缸柴油机 b）工程机械用柴油机 c）V 形柴油机

1—油箱 2—燃油滤清器 3—PT 燃油泵 4—喷油器 5—浮子油箱

6—燃油分配歧管 7—回油管 8—摇臂 9—配气凸轮轴正时齿轮

燃油由 PT 泵 3 通过燃油分配歧管 6 送往各喷油器，PT 泵为低压泵（送油压力较低，约 0.8 ~1.2MPa）。喷油器分别装在各缸的气缸盖上，对 PT 泵送来的燃油进行计量，并加高压使其成雾状喷入燃烧室内，多余的柴油经回油管 7 流回柴油箱。喷油器的燃油喷射由配气凸轮轴上的一个喷油凸轮通过推杆、摇臂 8 等驱动（见图 5-49c）。PT 泵和喷油器密切配合进行燃油压力和喷油量大小的调节。PT 泵由曲轴正时齿轮通过配气凸轮轴正时齿轮 9 驱动，泵内含调速器控制，其基本型装用两极调速器（PTG 调速器），只控制柴油机的怠速和最高转速。根据柴油机用途的不同，还可在装有 PTG 调速器的 PT 泵上加装 MVS（意为“机械可变转速”）调速器，实际上是一种全程调速器。

二、PT 燃油泵

PT 燃油泵在燃油系统中起供油、调压和调速等作用。PT 燃油泵由柴油机驱动，但它与柴油机之间无传动定时关系。因此，安装时无需校对定时。

装有 PTG 调速器和 MVS 调速器的 PT 泵的结构如图 5-50 所示。如图 5-51 所示为 PT 泵中的油路及原理结构。

当柴油机运转时，曲轴的动力经曲轴正时齿轮传给配气凸轮轴正时齿轮，再经附件驱动齿轮、联轴器带动 PT 泵主轴旋转。于是就驱动了齿轮泵、PTG 调速器的飞锤和柱塞及计时器。

柴油机工作时，浮子油箱中的燃油经燃油滤清器被吸入齿轮泵 15（见图 5-51）。齿轮泵输送燃油并提供低压压力。在齿轮泵出口端有一钢片式稳压器（脉冲减振器）14，用以吸收齿轮泵输油时的压力脉冲。燃油经 PT 泵中的滤清器 13（具有滤网和磁铁）去除杂质和铁屑后，分为两路（当装有 MVS 调速器时），一路进入 PTG 调速器；一路进入 MVS 调速器柱塞端部的空腔。当只装有 PTG 调速器时，进入调速器的燃油经调速器和节流阀 12 调节压力后，经切断阀 10 和燃油分配歧管流往喷油器。调速器可以根据柴油机转速的变化自动调节供油压力，从而控制柴油机的供油量。

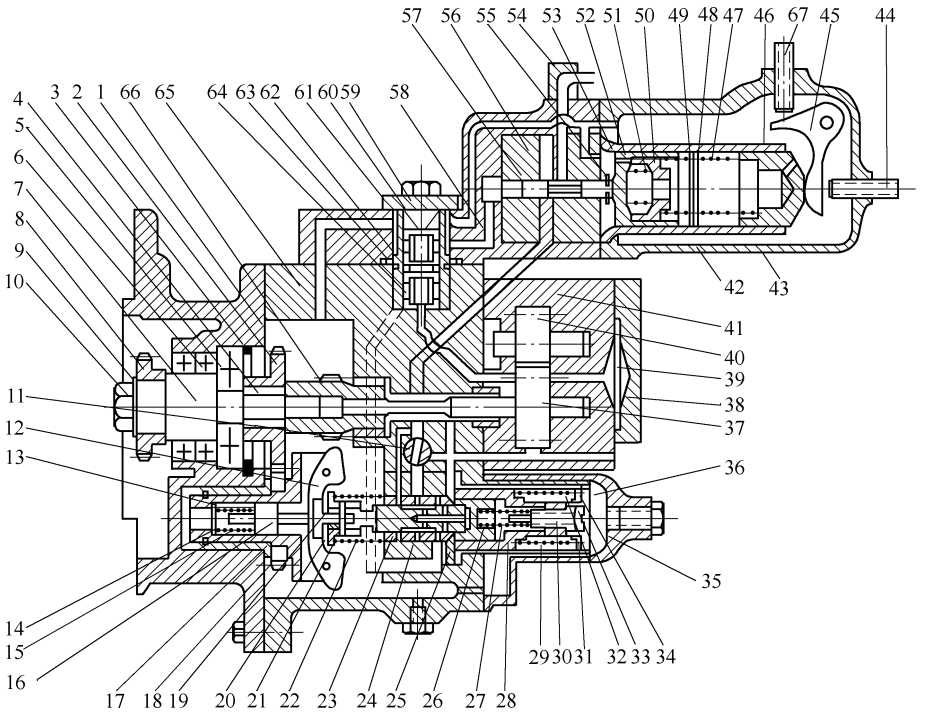


图 5-50　PT 泵的结构

1—驱动齿轮壳　2—主动齿轮　3、14、34、48、55—卡环　4—键　5—滚动轴承　6—油封　7—主轴　8—驱动齿轮　9—垫片　10—螺钉　11—节流阀　12—飞锤　13、31、49—调整垫片　15—低速转矩弹簧　16—飞锤柱塞　17—飞锤架　18—被动齿轮　19—丁字块　20—高速转矩弹簧座　21—销　22—高速转矩弹簧　23、56—柱塞套　24—柱塞体　25—柱塞　26 —压力控制钮　27、51—怠速弹簧　28—压力控制钮外套　29—弹簧外套　30—怠速调整螺钉　32—高速弹簧　33、46—弹簧座　35— PTG 调速器壳　36—PTG 调速器　37—齿轮泵主动齿轮　38—稳压器盖　39—膜片　40—齿轮泵被动齿轮　41—齿轮泵体　42—MVS 调速器壳　43—MVS 调速器　44—低速限制螺钉　45—双臂杠杆　47—调速弹簧　50—怠速弹簧座　52—滑套　53—调整弹簧套　54—切断阀　57—柱塞　58—MVS 调速器体　59—滤清器体　60—弹簧　61—上滤网　62、63—油环　64—下滤网　65—PT 泵体　66—计时器驱动齿轮　67—高速限制螺钉

1. PTG 调速器

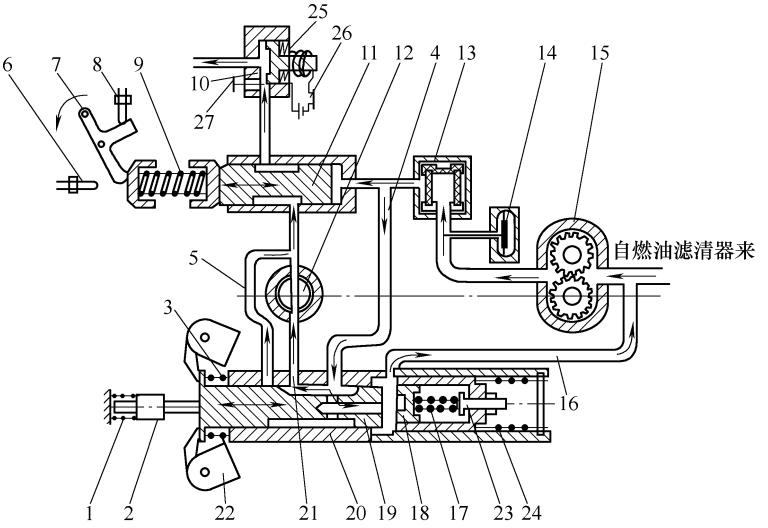
对于一般使用条件下的汽车，其 PT 泵往往只装有 PTG 调速器。PTG 调速器只控制怠速和最高转速，在怠速和最高转速之间直接由驾驶员通过节流阀控制供油。

PTG 调速器主要由柱塞 19（见图 5-51）、柱塞套 20、飞锤 22、压力控制钮 18、怠速弹簧 17、高速弹簧 24 等组成。

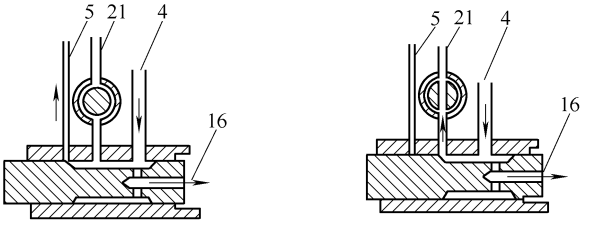
从齿轮泵经滤清器来的燃油经供油管路和柱塞套 20 上的油孔进入柱塞中段凹陷部分的环状空间，并由此经怠速油路 5 或正常工作油路 21 到喷油器。同时，燃油还由柱塞的轴向孔流到柱塞与压力控制钮之间。柴油机工作时（起动时除外），在燃油压力的作用下，柱塞与压力控制钮之间形成一个间隙，部分燃油经此间隙和旁通油路 16 回到齿轮泵的入口处。

（1）怠速控制　怠速工作过程如图 5-51a、b 所示。怠速时，节流阀 12 关闭（由驾驶员操纵），正常工作油路 21 被切断，这时柴油机转速很低，飞锤的离心力很小，怠速弹簧 17 稍被压缩，柱塞 19 处于接近最左端的位置（见图 5-51b）。怠速油路 5（它的断面较小）与从齿轮泵来的供油进油道 4 接通，燃油从怠速油路不经节流阀直接经过切断阀 10 送往喷油器，维持柴油机怠速所需的油量。此时若柴油机的转速升高，飞锤的离心力增大，超过此时怠速弹簧的作用力，

推动柱塞略向右移，柱塞上的台阶将怠速油路的流通面积遮住一部分，对燃油产生较大的节流作用，使经怠速油路到喷油器的油压下降，因而怠速油量减少，限制了怠速转速的升高。柴油机转速降低时，在怠速弹簧 17 的作用下压力控制钮 18 左移，消除间隙后推动柱塞左移，使怠速油道的通过断面积增大，喷油量相应增加，使柴油机转速回升。



a)



b) c)

图 5-51 PT 泵中的油路及原理结构

a）组成及油路 b）怠速 c）标定转速

1—低速转矩弹簧 2—飞锤柱塞 3—高速转矩弹簧 4—进油道 5—怠速油路 6—低速限制螺钉 7—双臂杠杆 8—高速限制螺钉 9—MVS 调速弹簧 10—切断阀 11、19—柱塞 12—节流阀 13—滤清器 14—稳压器 15—齿轮式输油泵 16—旁通油路 17—PTG 怠速弹簧 18—压力控制钮 20—柱塞套 21—正常工作油路 22—飞锤 23—怠速调整螺钉 24—高速弹簧 25—弹簧 26—电路开关 27—旋钮

（2）正常工况和高速控制 柴油机在正常工作时（转速在怠速与标定转速之间），驾驶员踩下油门踏板，使节流阀 12 打开，燃油通过正常工作油路 21 和节流阀 12 送往喷油器。这时由于转速的升高，飞锤的离心力通过柱塞将怠速弹簧进一步压缩，柱塞处于中间位置，柱塞上的台阶处于怠速油路与正常工作油路之间（见图 5-51a），正常工作油路始终处于接通状态。送往喷油器的油压（也就是节流阀后的油压）取决于节流阀的开度和柴油机的转速。

节流阀开度越大，送往喷油器的油压会越高（因为节流阀的节流作用减小了），喷油器计量孔每循环的进油量就越多，因而提高了柴油机负荷能力。

当柴油机转速升高时，飞锤 22 的离心力增大，推动柱塞 19 右移。由于调速器起作用前，在

燃油压力的作用下，压力控制钮 18 与柱塞 19 两者的端面保持间隙 Δ，部分燃油从此间隙经旁通油道 16 流回。柱塞右移将使间隙减小，使通过旁通油道的回油量减少，柱塞套筒内腔的油压即出油口的燃油压力随之增高，从而使喷油量不会因转速升高喷油器进油时间缩短而减少。反之亦然。

由此可见，在 PT 燃油系统中，喷油器的进油时间和 PT 泵的出油压力始终处于动态适应过程，从而使喷油器每循环的喷油量满足柴油机的不同工况要求。这就是压力–时间（PT）系统工作的基本原理。

当柴油机转速超过标定转速并继续升高时，飞锤离心力进一步增大，克服高速弹簧 24 的弹力，使柱塞继续右移，柱塞上的台阶将正常工作油路 21 遮住一部分或全部（见图 5-51c），由于出油口的节流作用，供油压力急剧下降，喷油量随之迅速减少，从而限制了柴油机超速。这时，较多的燃油经旁通油路回到齿轮泵的吸油端，PTG 调速器的作用限制了柴油机的最高转速。

（3）高速转矩校正　高速转矩校正过程如图 5-51a 所示，高速转矩弹簧 3 装在柱塞套筒 20 和柱塞 19 之间，当飞锤因离心力张开而使高速转矩弹簧压缩时，高速转矩弹簧将阻止柱塞体右移。

柴油机转速较低时，高速转矩弹簧处于自由状态。当转速升高到最大转矩转速时，高速转矩弹簧开始与柱塞套筒接触。随着转速继续升高，柱塞右移，转矩弹簧也逐渐被压缩，阻止柱塞的移动和间隙 Δ 的减小，从而延缓了燃油压力的增高，使喷油量相对减少，最终使柴油机的转矩随转速升高而有较大的下降，以提高柴油机高速时的适应性。

（4）低速转矩校正　低速转矩校正过程如图 5-51a 所示，在飞锤柱塞 2 的左端装有低速转矩弹簧 1（亦称飞锤助推弹簧）。

当转速降低时，飞锤柱塞 2 左移，低速转矩弹簧 1 被压缩，使飞锤柱塞的移动受阻，调速柱塞 19 左移亦受阻，从而延缓了间隙 Δ 的增大和燃油压力的下降，使喷油量相对增加。因此，低速转矩弹簧的作用是：当柴油机低速运转时，使其转矩适当增大，以提高柴油机在低速时的适应性。低速转矩机构的结构细节如图 5-50、图 5-56 所示。

2. MVS 调速器

在某些柴油机的 PT 泵上，除 PTG 调速器外，还装有 MVS 调速器（机械可变转速调速器）。MVS 调速器可使柴油机在驾驶员所选定的转速下稳定运转，以适应推土机工作的要求。MVS 调速器是一种全程调速器。

从油流顺序上看，MVS 调速器安装在节流阀和切断阀之间（见图 5-51a）。

MVS 调速器的柱塞 11 的一端承受来自齿轮泵并经滤清器过滤的燃油的油压，另一端与调速器弹簧滑套相接触，承受怠速弹簧和调速弹簧的弹力。

双臂杠杆 7 与驾驶室内的油门操纵杆相连，扳动油门操纵杆即可改变调速弹簧的压缩程度，从而也就改变了柴油机的转速（调速范围）。当装有 MVS 调速器时，节流阀不是由驾驶员操纵，而是调定在某一位置（通常是最大开度）上。

双臂杠杆触及低速限制螺钉 6 时，柴油机在怠速运转。这时，调速弹簧不起作用，由怠速弹簧（见图 5-50）维持怠速运转稳定。当转速变化时，由于齿轮泵输油压力的变化，使柱塞 11 移动，柱塞上的台阶变更了正常工作油路的流通面积，使送往喷油器的油压发生相应的改变，从而就变更了喷油器的每循环喷油量，保持了柴油机怠速的稳定性。

在柴油机正常工作时，转动双臂杠杆 7 压缩调速弹簧 9 使其具有一定的弹力。这时，怠速弹簧被完全压缩不起作用。调速弹簧弹力与油压的平衡，使柴油机在油门操纵杆所定的转速下运

转。如此时转速变化，则由于油压的改变使柱塞移动，就改变了正常工作油路的流通面积，从而使柴油机的转速保持稳定。

低速限制螺钉 6 和高速限制螺钉 8 都是可以调整的。

3. 切断阀

在 PT 泵出口处装有一个电磁和手动两用的切断阀（见图 5-51a 中的 10）。如图 5-52 所示为电磁式切断阀的结构示意图。通电时，阀片 3 被电磁铁 4 吸向右边，切断阀开启，燃油从进油口经切断阀供向喷油器。断电时，阀片在复位弹簧 2 的作用下关闭，停止供油，柴油机熄火。因此，柴油机起动时需接通切断阀电路，停机时需切断电路。若切断阀电路失灵，则可旋入螺纹顶杆 1 将阀片顶开，停机时再将螺纹顶杆旋出。

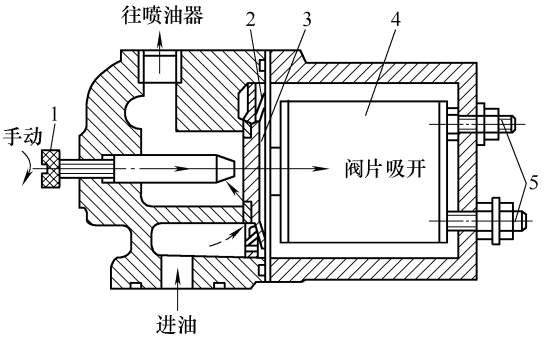


图 5-52 电磁式切断阀的结构

1—螺纹顶杆 2—复位弹簧
3—阀片 4—电磁铁 5—接线柱

4. 电磁线圈旋转阀和 EFC 电子调速器

目前，采用 PT 泵的康明斯柴油机多采用 EFC（ELECTRIC FUEL CONTROL）电子油量控制，其本质是康明斯 PT 燃油系统控制燃油供给的转速自动控制装置，主要包括电磁传感器、EFC 电子调速器和执行器三大部分，其结构如图 5-53 所示。

（1）电磁旋转阀 目前，采用电子油量控制的 PT 泵泵体中有 EFC 空腔，可装配电磁线圈旋转阀执行器。旋转阀阀门开度受电子调速器控制，随柴油机转速或负荷的变化而发生变化，从而改变进入 PT 喷油器的燃油流量。目前有常开式、常闭式两种形式的执行器，常开执行器当电源切断时处于全油门位置（油门全开），常闭执行器当电源切断时停止燃油供应。执行器有低、高和特高三种流量，其供电电压可分为 12V 或 24V 直流，要确保调速控制电压与执行器电压相同。

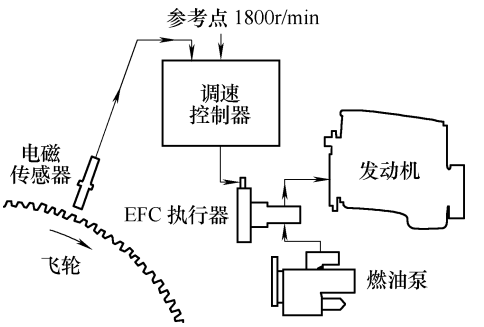


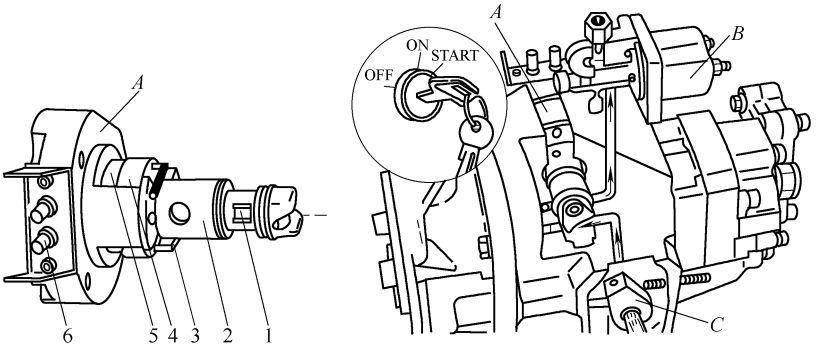
图 5-53 PT 燃油系统采用的 EFC 电子油量控制

若在 PT（G）AFC 型泵中安装 EFC 执行器，必须把 AFC 无空气调节螺钉拧到底，并将 ASA（空气信号削减器）和 AFC（空气燃料控制器）上部的通气孔去掉，再将 AFC 的膜片、膜片弹簧和膜片柱塞总成取下，然后用尖嘴钳取下桶形件及其卡环。再把 O 形密封圈装到 AFC 空腔中，在执行器上装好 EFC 垫片，用干净的柴油机机油润滑 O 形密封圈，把执行器插入油泵壳体的空腔中，当执行器法兰距离燃油泵壳体 9.5mm 时，利用手掌，紧推并转动执行器约 30°，直到执行器法兰接触到燃油泵壳体为止。在安装螺孔中装上紧固螺栓，其拧紧力矩为 5.6N·m。

当装有电子调速器时，节流阀应固定在全开位置，其作用由电磁线圈旋转阀取代。燃油经电磁线圈旋转阀后再经切断阀送往 PT 喷油器，如图 5-54 所示。

（2）电磁传感器 EFC 系统中电磁传感器安装在飞轮壳上。现在生产的康明斯柴油机飞轮壳上有一个螺塞孔，把螺塞取下后装上电磁传感器即可。若飞轮壳无此螺塞孔，可直接在飞轮壳上打一个 14.7mm 的孔，用 5/8-18UNF-2A 的丝锥攻螺纹。装上电磁传感器并拧到与飞轮齿圈相碰为止，然后把传感器拧回 1/2～3/4 圈，使这种传感器顶面与齿顶面的距离为 0.71～1.07mm，

最后把锁紧螺母拧紧。



a)　　b)

图 5-54　电磁旋转阀执行器

a）电磁旋转阀　b）装有电磁旋转阀的 PT 燃油泵

1—钢制转动轴　2—铝制外套　3—回位弹簧　4—旋转阀转子

5—旋转阀定子　6—执行器接线柱　*A*—电磁旋转阀　*B*—切断阀　*C*—节流阀

（3）EFC 电子调速器　EFC 电子调速器的面板和工作原理与 ESD5500E 型电子调速模块相似，EFC 电子调速器模块面板如图 5-55 所示。可以调成无转速降运行方式，也可调成有转速降的运行方式。

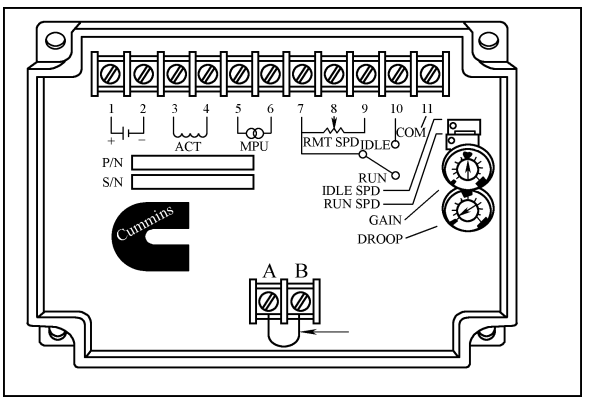


图 5-55　EFC 电子调速器模块面板

1）EFC 电子调速器模块接线端子。EFC 电子调速器模块面板上有 14 个端子，按面板上的编号定义如下：

1、2：电源输入端子，1（+）、2（-）；

3、4：电磁执行器输出端子（ACT），向电磁执行器输出控制电流；

5、6：电磁速度传感器输入端子（MPU），柴油机速度信号从该端子接入；

7、8、9：转速微调电位器接入端子；

10：怠速输入端子（IDLE），该端子输入低电平时，转速控制器控制发动机怠速运行；低电平断开时进入高怠速（最高空载转速）运转；

11：公共低电平输入端（COM）；

A、B：如果在增益调整之后，柴油机工作不稳定，就在端子 A 和 B 之间，装一个搭接线。

2）调整元件。怠速整定电位器（IDLE SPD）：设定柴油机的怠速；怠速整定电位器可以转 20 圈，顺时针转动将增加怠速转速。怠速供柴油机运动件预润滑及预热，一般定为 600 ~ 650r/min，不超过 900r/min。由怠速电位器调整。

空载转速整定电位器（RUN SPD）：用该电位器整定柴油机的空载转速；空载转速整定电位器可以转动 20 圈，顺时针转动将增加最大空载转速。

增益调节电位器（GAIN）：调整转速控制器对柴油机转速控制的反应速度和准确度；增益调节电位器为单圈式，电位器顺时针方向转动时增益加大，能缩短调速器对负荷的反应时间，但过

快柴油机将运转不稳。当对转速控制器增益重新调整时，一开始可将增益电位计调到中间位置或刻度 50 处。

转速降整定电位器（DROOP）：调整柴油机最高空载转速（高怠速）与额定转速差的大小。转速降电位器只能转一圈。可将转速降调到 0% ~ 5%。反时针方向转动将减少转速降。反时针转到底转速降为零，电位器转到刻度 50 处得到 3% 的转速降，电位计转到刻度 80 处得到 5% 的转速降。

此外，在柴油机仪表板上可安装怠速/运行开关（接到 7、10 端子），上下扳动，可以选择怠速或标定转速运行，接通时为怠速，断开时为高速。转速微调电位器也可安装在仪表板上（接 7、8、9 接线端），它用于微调转速，微调电位器为 5kΩ/2W 或 4.7kΩ/2W 多圈式线性电位器，其调速范围为 ±100r/min（顺旋升速，逆旋降速）。这种微调是在高怠速、转速降和增益调好之后进行的。

3）EFC 电子调速器模块性能调整

① 将控制屏转速调整电位器（转速微调）调整到中间位置。

② 将 EFC 电子调速器模块的电位器分别调整到如下位置：增益（AIN）20%；转速降（ROOP）0%。

③ 空载转速的调整：把柴油机仪表板上的怠速/运行开关放在怠速位置（当柴油机在怠速时，断开主线路断电器），起动柴油机，调整电子调速器模块上的怠速电位计，直到 600 ~ 650r/min 范围内运转为止。把怠速/运行开关扳到“运行”位置。调整调速控制器上的空载转速整定电位器，直到无负荷转速正确为止。

以 50Hz 全负荷运转的发电机组，必须把柴油机的无负荷转速调整到下列数值：

50Hz（1 500r/min），对于同步运行（0% 的转速降）。

51.5Hz（1545r/min），对于 3% 的转速降。

52.5Hz（1575r/min），对于 5% 的转速降。

④ 增益调整。接通电路的主断电器，接上约 1/4 的额定负荷。如果柴油机转速是稳定的，则顺时针方向慢慢转动增益（GAIN）电位计，直到柴油机转速不稳为止。然后反时针方向慢慢转动电位计，直到达到稳定转速为止。再反时针方向把电位计多转 1/2 格。

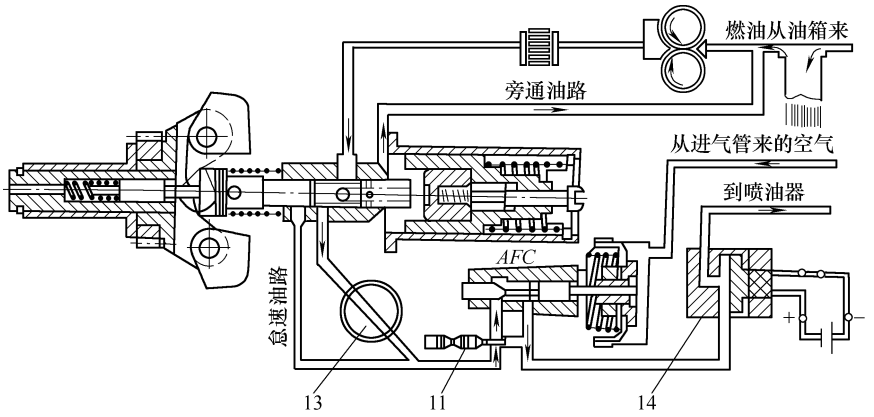
⑤ 转速降调整。接通主线路断电器，加上额定功率负荷。检查频率计，保证全负荷调速转速在 50Hz 时是正确的。检查步骤：a. 如果频率计指示小于 50Hz，则转速降值比希望的大。b. 反时针慢慢转动转速降电位计，直到达到 50Hz 为止。c. 断开线路断电器，并再次调整无负荷转速，直到正确为止。d. 闭合主电路断电器，加上负载，频率计应在 50Hz 处。e. 如果频率计不是 50Hz，重复上述方法调整。

为了得到正确的频率，通常要 2 ~ 3 次连续调整。当只有部分负荷时，也可按上节方法调整。

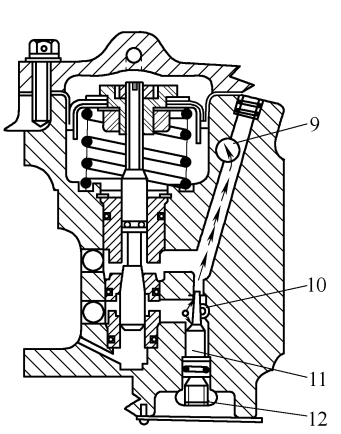
⑥ 柴油机转速微调。柴油机转速微调在转速、转速降及增益调整后进行，可能要求对全负荷时柴油机的转速进行调整，以达到希望的转速（如 50Hz，1500r/min），可利用柴油机仪表盘上的转速微调电位器进行微调。

5. 空燃比控制器（AFC）

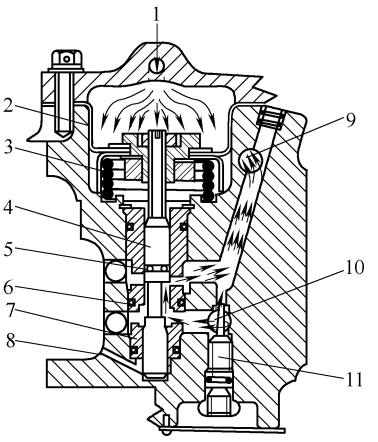
增压柴油机在低速、大负荷或加速时容易冒黑烟。因为柴油机增压后，喷油泵的供油量已经增大，而转速很低时，压气机供气不足，于是油多气少，因而引起排气冒烟。为此，康明斯增压柴油机采用了一种新式的 AFC 空燃比控制器（见图 5-56）。它可随时按照进入气缸内空气量的多少来合理供油。



a)



b)



c)

图 5-56　AFC 空燃比控制器及其空气燃油流程

a）PTG—AFC 燃油泵燃油流程　b）膜片处于无充气状态　c）膜片处于充满气位置

1—进气歧管空气压力　2—膜片　3—弹簧　4—AFC 控制柱塞　5—柱塞密封

6—柱塞套密封　7—柱塞套　8—到泵体的通孔　9—到切断阀的燃油

10—从节流阀来的燃油　11—调节针阀　12—锁紧螺母　13—节流阀　14—切断电磁阀

AFC 控制器装在 PT 泵内节流阀与切断电磁阀之间（见图 5-56a）。在 PTG—AFC 燃油泵中，燃油离开节流阀 13 后先经过 AFC 装置再到达泵体顶部的切断电磁阀 14。而在 PTG 燃油泵中，燃油从节流阀经过一条通道直接流向切断阀。

当柴油机起动和转速较低时，进气歧管压力太低，AFC 膜片 2 无法推动柱塞 4，柱塞就关闭套筒 7 上油道（见图 5-56b），由 PT 泵节流阀来的柴油只能经过无空气调节针阀 11 的油道流向断流阀。而无空气调节针阀的前端过油断面很小，限制了流向切断阀的柴油压力和流量，使喷油量减小，避免混合气过浓。当柴油机转速增高，增压器转速上升使进气歧管中气压增高时，作用在 AFC 膜片 2 上的空气压力克服弹簧 3 的张力使柱塞运动让开套筒上的油道（见图 5-56c），使燃油绕过无空气调整针阀并经套筒流向断流阀。当进气歧管压力增加时，油道燃油流量增加，反之流量减少。这样就防止了燃油空气混合气变得过浓而引起过度的排气冒烟。

因此，当柴油机节气门全开超负荷运转的工况发生时，燃油流经 AFC 装置就不受限制。在

运输中减速后、换挡期间、关闭节流阀下坡运行，或在调速特性曲线的轻负荷区段工作时，AFC装置将控制燃油的流量，故燃油经济性较好。

三、PT 喷油器

PT 喷油器装在气缸盖上，其下端伸入燃烧室。喷油器的功用是对燃油进行计量、加压并将其喷入燃烧室，集喷油泵与喷油器功能于一体，也称泵喷油器（见图 5-57）。

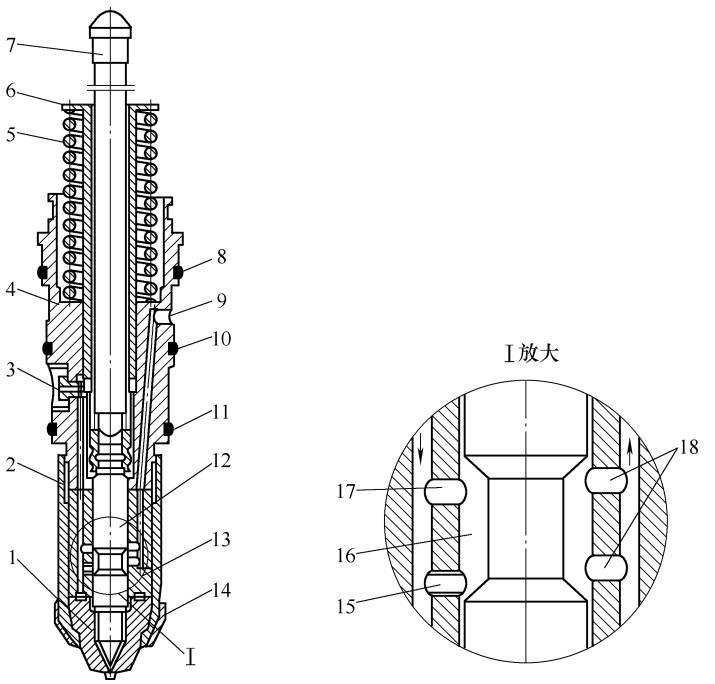


图 5-57 PTD 型喷油器

1—喷油器嘴头 2—喷油器嘴头紧帽 3—进油量孔 4—喷油器体 5—复位弹簧 6—导向套 7—顶杆 8、10、11—O 形密封圈 9、18—回油孔 12—柱塞 13—柱塞套 14—密封垫 15—计量量孔 16—环形空间 17—进油孔

PT 喷油器分为法兰型和圆筒型两种。圆筒型 PT 喷油器用于气缸盖上有进回油道的康明斯柴油机上，它有四种类型：PT 型、PT（B）型、PT（C）型和 PT（D）型。目前康明斯 N、V、K 系列柴油机均使用圆筒型 PT（D）型喷油器。PT（D）型喷油器有顶止式和非顶止式两种。顶止式 PT（D）喷油器弹簧是用顶部限位螺套锁住，其作用是限制喷油器柱塞和连接件向上的行程。非顶止式 PT（D）喷油器弹簧是用弹簧座圈锁住。

PT 喷油器主要由喷油器体 4、柱塞 12、喷油器嘴头 1、复位弹簧 5 等组成。油嘴 1 下端有 10 个直径约为 0.216mm 的喷孔（康明斯 KTA—38C）。喷油器体 4 的油道中有进油量孔 3、计量量孔 15 和回油孔 9 和 18。PT 喷油器计量量孔孔径一般为 0.43～0.64mm，进油量孔的孔径为 0.94～1.07mm，量孔大小确定了油量的变化范围。

喷油器嘴头 1 的外圆上装有 O 形密封圈 8、10、11。三个 O 形密封圈与缸盖上的孔相密封组成燃油进、回油通道。在进油量孔 3 上装有滤网和量孔塞。下部为柱塞 12 与柱塞套 13 配成精密配合偶件，柱塞套 13 用喷油器嘴头紧帽 2 和喷油器嘴头 1 共同压装在喷油器体 4 上。柱塞套与喷

油器体同喷油嘴头的接触面处靠精密研磨的方法保证密封。在进油孔道中装有一个止回球阀，以防止燃油倒流，喷油器嘴头凸出处加工有按一定角度分布的直径很小的喷孔，不同型号喷油器喷油嘴头不能互换。

1. PT 喷油器工作原理

PT 喷油器由喷油凸轮驱动（见图 5-63），其工作过程决定于喷油凸轮型线。喷油凸轮具有特殊形状（见图 5-58），它是反时针方向旋转的（自正时齿轮端看去），转速是曲轴转速的一半。

PTD 型喷油器的工作过程可分为三个阶段，如图 5-59 所示。

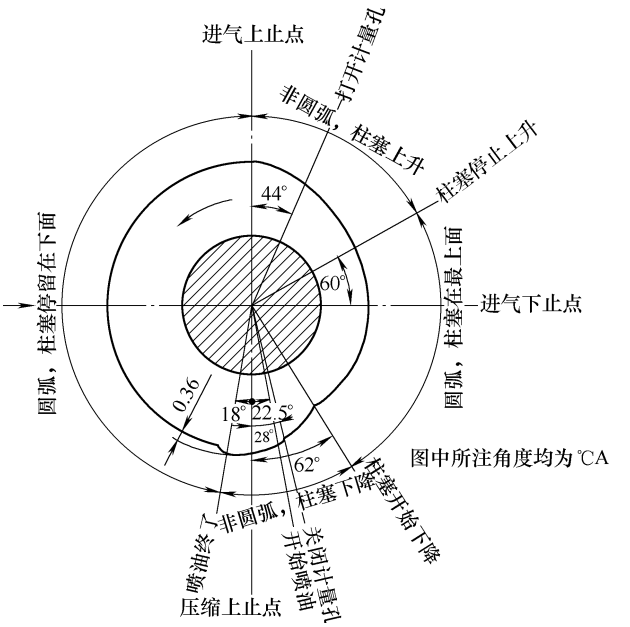


图 5-58　喷油凸轮的外廓

（1）进油–回油阶段（见图 5-59a）　进气行程中（见图 5-58），滚轮在凸轮凹面上滚动并向下移动。当曲轴转到进气行程上止点时，柱塞 12（图注同图 5-57，以下同）在弹簧 5 的弹力作用下开始上升，环形空间 16 将进油孔 17 与回油孔 18 连通。这时计量量孔 15 还处于关闭状态。从 PT 泵来的柴油经进油量孔 3、进油孔 17、回油孔 18 和 9 返回柴油箱。在此阶段，柴油在喷油器内循环流动有利于柱塞和柱塞套的冷却和润滑及排除柴油中的气泡。

（2）计量阶段（见图 5-59b）　曲轴继续转到进气行程上止点后 44℃*A* 时，柱塞升起到计量量孔 15 被打开的位置，这时进油孔 17 和回油孔 18 均被关闭。柴油经计量量孔进入喷油器嘴头 1 的内腔锥形空间。这时油压较低且喷孔直径很小，由于表面张力的作用，柴油不会从喷孔漏入气缸。曲轴继续转到进气下止点前 60℃*A* 时，柱塞上升到最高位置，随后便停驻不动，直到压缩行程上止点前 62℃*A* 柱塞才开始下降。在压缩行程上止点前 28℃*A* 时，计量量孔关闭。从计量量孔开启到关闭这段时间为柴油计量阶段，也就是喷油器的进油时间。

计量量孔的开启时间和 PT 泵的供油压力确定了喷油器的每循环喷油量。

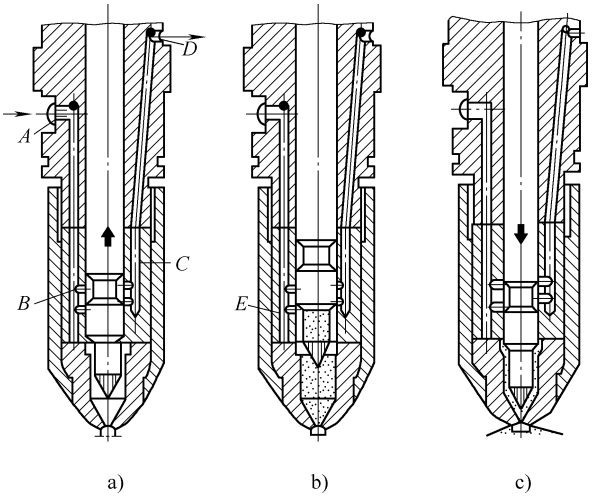


图 5-59　PTD 型喷油器的工作过程
a）进油回油　b）计量　c）喷油

（3）喷油阶段（见图 5-59c）　当曲轴转到压缩行程上止点前 22.5℃*A* 时，随着柱塞迅速下行，喷油器嘴头内腔的燃油以很高的压力喷入气缸，其压力可达 110 ~ 120MPa。到压缩行程上止点后 18℃*A* 喷油结束。此时柱塞锥面以强力压在喷油器嘴头内锥面，使柴油完全喷出，这样可以防止喷油量改变和残余的柴油形成积炭而积存在喷油器嘴头内锥面底部，柱塞压向锥形底部的压力可用摇臂上的调整螺钉调整，调整时要防止压坏油嘴。此后，由于凸轮凹下

0.3mm，柱塞在稍微升起后便保持在此高度不变，直到膨胀做功和排气行程终了。

2. 分级正时控制（STC）

柴油机在冷起动和低温运行时其状态会受到不利影响，如冬季起动困难，起动后有较浓排烟等。为克服以上不足，康明斯公司在 PT 燃油系统采用了分级正时控制装置（STC）。

在冷起动和空载状态，进入气缸的空气温度低，仅有一部分燃油获得足够热量而燃烧，未燃烧的燃油和空气的混合物形成白烟，甚至在排气管出现液态燃油。同时喷油正时对气缸状态有较大影响。当喷油发生在压缩冲程的较早时段，燃油有较长的时间与空气充分混合，燃油微粒外层首先受热燃烧，使气缸压力和温度急速升高，给气缸一个较理想的压力和温度，使其余燃油微粒迅速、完全地燃烧，从而有利于冷起动和空载状态；但这样的喷油正时在中等负载以上状态运行时，由于气缸故有温度的升高、供油量的加大会使剧烈燃烧发生在压缩冲程上止点前的较早时刻，产生压缩背压过太，气缸工作粗暴，增加燃油消耗并缩短柴油机寿命。STC 装置成功地实现了柴油机在冷起动和空载状态下以较早喷油正时（提前喷油正时）方式工作，在中等负载以上以较晚喷油正时（正常喷油正时）方式工作。

STC 系统的作用如下：

1）定时提前。①减少寒冷气候条件下的排气白烟（碳氢化合物）；②改善寒冷气候条件下的怠速运行特性；③改善小负荷工况下的燃油经济性，避免排气冒黑烟；④减少喷油器头部或喷油嘴喷头的积炭。

2）定时滞后。①提高柴油机的可靠性。②减少氮氧化物的排放。分级正时控制（STC）也曾被称为液压可变正时（HVT），其系统组成如图 5-60 所示，在柴油机起动或小负荷工况时，通过控制喷油器顶端 STC 挺杆腔 8 的充油（润滑油），使喷油定时提前并减少喷油时间及喷油量，而在中等或大负荷工况下，通过控制 STC 挺杆腔 8 的泄油，使喷油定时滞后并增加喷油时间及喷油量。

STC 分级正时控制如图 5-60 所示系统组成和 PT 泵燃油特性曲线（见图 5-61）分析如下：

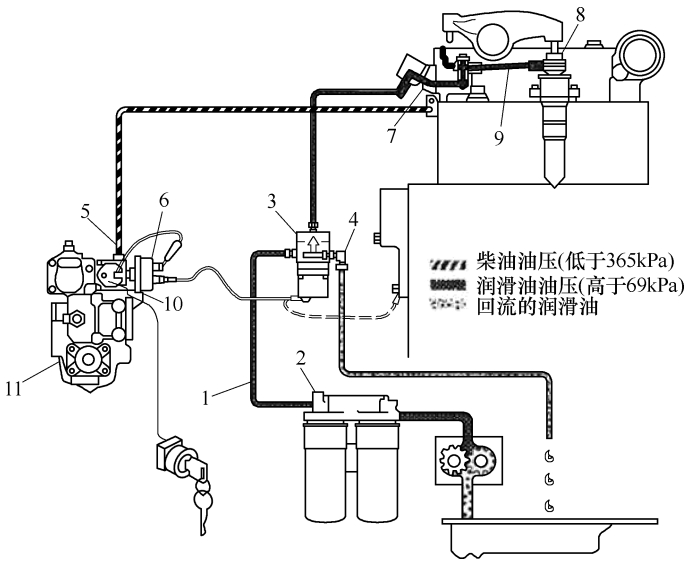


图 5-60 STC 分级正时控制

1—供给润滑油控制阀的润滑油 2—润滑油滤清器接头 3—润滑油控制电磁阀 4—卸荷阀 5—供给喷油器的燃油 6—燃油压力开关 7—润滑油歧管 8—STC 挺杆腔 9—润滑油管接头 10—PT 泵断油阀 11—PT 泵

1）柴油机怠速或低速运转时（曲线1—2段），燃油压力低于365kPa（未达到燃油压力开关的工作点），燃油压力开关6闭合，STC润滑油控制电磁阀3得电打开，柴油机润滑油在压力作用下，从润滑油滤清器接头2流入机油控制电磁阀3，少量润滑油从卸荷阀4流回油箱。从润滑油控制电磁阀3来的润滑油流入润滑油歧管7，分成六路进入润滑油管接头9，最后分别进入6个PT喷油器的STC挺杆腔8。STC挺杆腔8充满润滑油后，挺杆长度伸长，喷油定时提前。

2）当无负荷高速空运行时（曲线4—5段），工作点在4点右侧附近，燃油压力低于365kPa，达不到燃油压力开关6的工作点，此时挺杆腔8仍然充油，降低喷油量。

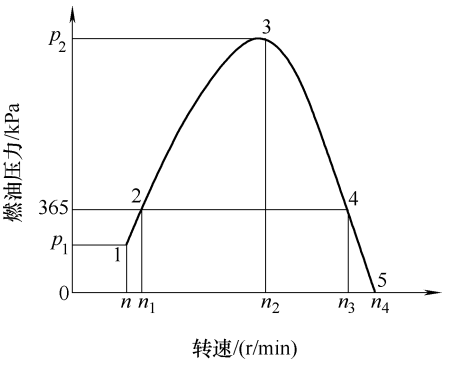


图5-61　PT泵燃油特性曲线

3）当柴油机带负荷运行时（曲线2—4段），燃油压力高于365kPa（达到燃油压力开关6的工作点），燃油压力开关6断开，STC机油控制电磁阀组3断电，润滑油歧管7内的润滑油通过卸荷阀4直接回到油底壳，挺杆腔8泄油，挺杆长度缩短，喷油滞后。

STC系统喷油器采用顶端封堵结构（见图5-62），它有2个柱塞弹簧和一个上端封堵式液压挺柱。当PT燃油泵的泵油压力低于预设值时，如柴油机在起动和小负荷期间，系统的润滑油控制阀开启，允许柴油机润滑油通过油道进入STC喷油器挺杆之中。当润滑油压力超过69kPa时，将使挺杆内的进油止回阀离开阀座，润滑油将进入挺杆的内、外活塞之间。随着喷油器凸轮转动，摇臂将推动挺杆的内活塞下移，使被封闭润滑油的压力升高，并推动挺杆外活塞向下移动。挺杆下移将推动喷油柱塞下移，所以，只要挺柱内充满润滑油，喷油器柱塞将会提前下移，从而使喷油定时提前。在喷油定时提前期间，挺杆内的润滑油就被进油止回阀和感应止回阀封闭。

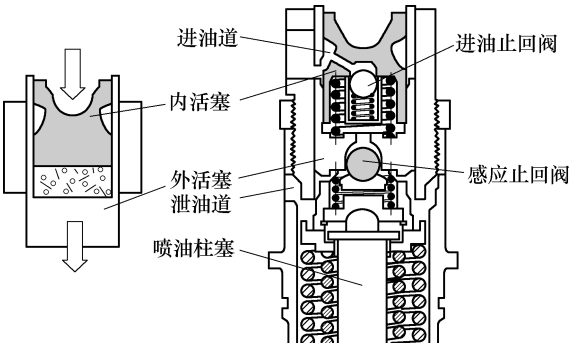


图5-62　STC系统顶端封堵式喷油器

喷油循环结束时，喷油器的作用力使挺杆内的润滑油压力增大，将喷油器柱塞稳定地压在喷油器喷头之上，使封闭润滑油的压力升高到7585～10343kPa，挺柱内的感应单向球阀离开阀座，润滑油通过喷油器接头上的油孔泄流，泄流润滑油经过气缸盖和气缸体中的泄流油道流回柴油机的油底壳中。同时，由于凸轮的继续举升，喷油器柱塞与喷油嘴头内锥面之间保持接触，从而保持喷油器柱塞的落座压力和喷油器柱塞行程量的一致性。

当柴油机的燃油压力超过预设值时，润滑油控制阀将关闭，阻止润滑油流入挺杆中。这种情况下，静止的润滑油将停留在润滑油供油管之中，对STC挺杆的工作不会产生影响。由于在挺杆的内、外活塞之间不存在被封闭的润滑油，则内活塞必须向下走完两活塞间的空隙与外活塞建立直接接触后，才能将运动传递到外活塞，从而推动喷油器柱塞下行进行燃油喷射。这和挺杆内、外活塞之间注满润滑油的状态存在一段走空行程的时间差，如果喷油器柱塞要下行到达同一位置，前者则需要更长时间，而后者只要内活塞一有向下运动就立即通过润滑油将运动传递给外活塞带动喷油器柱塞下行。显然，后者的喷油较早，即是“喷油正时提前”，而润滑油不流入挺

杆中为正常喷油正时。

3. PT 喷油器标记

圆筒型 PT 喷油器的型号标记在喷油器体出油口处圆筒外表面上。例如 PT（D）喷油器的标记为 178—A—8—7—17，其中 178—A 是喷油器在喷油器试验台上校准的流量代号，178 表示 178mL。字母 A 表示 178mL 是在进油压力为 838kPa 时 1000 次喷油量的 80%，即 800 次的喷油量。因此 1000 次喷油量为 178/0.8 = 222.5mL。若字母为 B，则表示进油压力为 838kPa 时 600 次的喷油量。若字母为 C，则表示进油压力为 559kPa 时的 800 次喷油量。无字母则为每 1000 次的喷油量（mL）。

8——喷油孔为 8 个。

7——喷油孔的孔径为 0.1778mm（0.007in）。

17——喷油孔角度即喷油孔轴线与水平面的夹角。

N 系列柴油机的喷油器以 8—7—17 和 8—8—18 较多。K 系列柴油机主要使用 10—0.0085—10 和 9—0.0085—10 的喷油器［0.0085 表示喷油孔直径为 0.215 9mm（0.0085in）］。

4. PT 燃油系统的特点

（1）PT 燃油系统的优点

1）喷油正时由配气凸轮轴决定，安装 PT 泵时无需调整喷油正时。

2）PT 燃油系统结构紧凑，整个系统中只有喷油器中有一副精密偶件，精密偶件数较采用柱塞式喷油泵的燃油系统大为减少。

3）由于高压只在喷油器中产生，PT 泵以较低的压力工作（出口压力约为 0.8 ~ 1.2MPa）。没有高压油管也没有高压接头，消除了压力波动的问题。它可以采用很高的喷油压力，燃油雾化质量好，而且也不存在高压漏油的问题。

4）由于 PT 燃油系统是利用油压调节的，在油泵磨损时，具有自动补偿的能力，供油量不会下降，不用重新调整。

5）有相当数量的燃油（约 80%）经过喷油器回流，可对喷油器进行冷却和润滑，并把可能存在于油路中的气泡带走。回流的燃油带着喷油器的热量直接流回浮子油箱，在冬季，还可以起到加热油箱中燃油的作用。

6）喷油器可单独更换，因此不必像柱塞泵那样需在试验台上进行供油均匀性的调整。

（2）PT 燃油系统存在的缺点

1）康明斯 NH、N 及 K 系列柴油机上采用的 PT 泵，由于除了 PTG 调速器外还装有 MVS 调速器，增压机型还装有 AFC 控制器，故结构上仍比较复杂。

2）PT 燃油系统的喷油器由于采用转矩调整法调整，如调整不当时可能引起燃油雾化不良，排气严重冒黑烟和功率下降，有时甚至可能将喷嘴压坏，导致喷油器油嘴脱落。

3）PT 泵需在专用的 PT 燃油泵试验台上进行调试，使用中仍感不便。

5. 装配 PT 燃料系统的康明斯柴油机的调整

PT 燃油系统是美国康明斯发动机公司的专利，应用在康明斯 N、K 系列及其他型号的柴油机上。该系统喷油正时准确，时间短，喷射压力高（超过 100MPa），燃油雾化良好，无二次喷射和滴漏现象，经济性能和排污性能都较好。与一般柴油机的燃油系统相比，在组成、结构及工作原理上有很大不同。除泵需在专用的燃油泵试验台上调试之外，PT 喷油器在柴油机上的安装、调整，必须按规定的顺序和方法进行。同时，由于喷油器的柱塞由配气机构凸轮轴驱动，PT 喷油器的调整与柴油机气门的调整必须综合考虑和同时进行。通常次序是首先调整喷油器柱塞落座压力，再调丁字压板和气门间隙。对于使用一段时间或经拆装过又重新装配的柴油机还应进行喷

油正时检查与调整。

（1）PT 喷油器柱塞落座压力的调整　PT 喷油器的驱动机构如图 5-63 所示。喷油器驱动凸轮 6 位于配气机构凸轮轴上，随动臂 7 上的滚轮在凸轮的轮廓上滚动，凸轮的转动使随动臂摆动并推动推杆 4，继而通过调整螺钉 1 推动摇臂 3，摇臂头压下喷油器柱塞 9，同时压缩弹簧 10。凸轮回转一周，完成一个工作循环，柱塞往复运动一次。

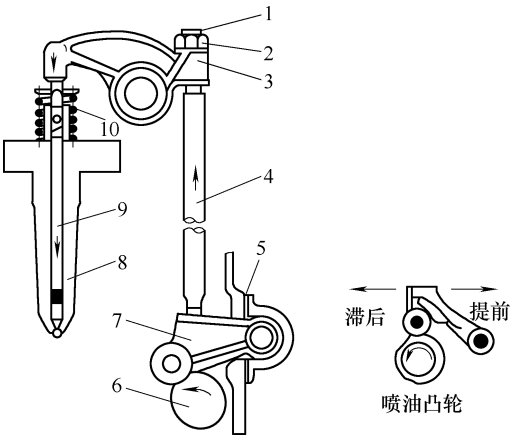


图 5-63　PT 喷油器的驱动机构
1—调整螺钉　2—锁紧螺母　3—摇臂　4—推杆
5—调整垫片　6—凸轮　7—随动臂
8—喷油器体　9—喷油器柱塞　10—弹簧

在喷油器的驱动机构中，不但在推杆与摇臂接触处无间隙，而且还要求柱塞落座后摇臂对柱塞有一定的压紧力，以便将柱塞与锥形座面之间的残余燃油全部压出，此压力称为 PT 喷油器柱塞落座压力。落座压力不能过大也不能过小。过大会使喷油器驱动机件变形，甚至顶坏喷油器嘴头；过小会使柱塞与锥形座之间有残余燃油，燃烧产生积炭而使嘴头过热，甚至脱落。

对于重新装配的柴油机，应重新调整落座压力。对于使用过一段时间（一般 2000h 左右）的柴油机，因磨损等因素会使原来正确的压力被破坏，故也应及时进行调整。

调整柱塞落座压力一般先进行冷调整，之后再进行热调整。冷调整是在柴油机冷却水温度为 60℃（140 ℉）以下进行。热调整应在柴油机油底壳温度为 88℃（190 ℉），冷却水温度为 85℃（185 ℉）以上时进行。“热调”数据是供柴油机在测功器上试验时调整用的，此时调整工作必须迅速。

PT 喷油器柱塞落座压力可用喷油器驱动机构的摇臂轴上的调整螺钉进行调整。调整方法有两种：仪表法和扭矩法。仪表法较精确，但需要量具。而扭矩法只需要扭力扳手，不需其他量具，但准确度低于仪表法。

仪表法是使喷油器柱塞上下运动的行程符合规定值的办法来调定柱塞落座压力。因此，只有当喷油器柱塞上行至最高位置时才适用仪表法调整。

扭矩法是用专用扭力扳手将喷油器调整螺钉拧到规定的力矩值的办法来调定喷油器柱塞落座压力。因此，必须当喷油器柱塞下行至其下部锥体接触到嘴头的锥形座面时才能调整，即喷油器柱塞下行至最低点位置时才适用扭矩法调整。

根据某型康明斯柴油机喷油器驱动凸轮外轮廓曲线形状（见图 5-58）计算并绘制的喷油器柱塞行程与曲轴转角关系图如图 5-64 所示，从中可以看出仪表法的调整区域（喷油器柱塞行程可调区，此时柱塞处最高位置）和扭矩法的调整区域（喷油器柱塞落座压力可调区，此时，喷油器柱塞下部锥体接触到嘴头的锥形座面，但未达到压出燃油的最低位 G）。

在实际调整中，调整位置是根据附件传动带轮上的调整记号“A”或“1—6VS”（见图 5-65）进行的。调整时记号应与齿轮室盖上的记号对准。一般康明斯柴油机带轮上都标有 TC，VS 等记号，TC 表示活塞处在压缩行程到达上止点位置；VS 表示活塞在压缩行程下止点后 90°位置（见图 5-64），是喷油器、气门可调记号。TC 和 VS 记号前面的数字表示相对应的气缸号，如 1—6VS、2—5VS、3—4VS。有的康明斯柴油机传动带盘上以记号 A、B、C 分别代替 1—6VS、2—5VS、3—4VS。

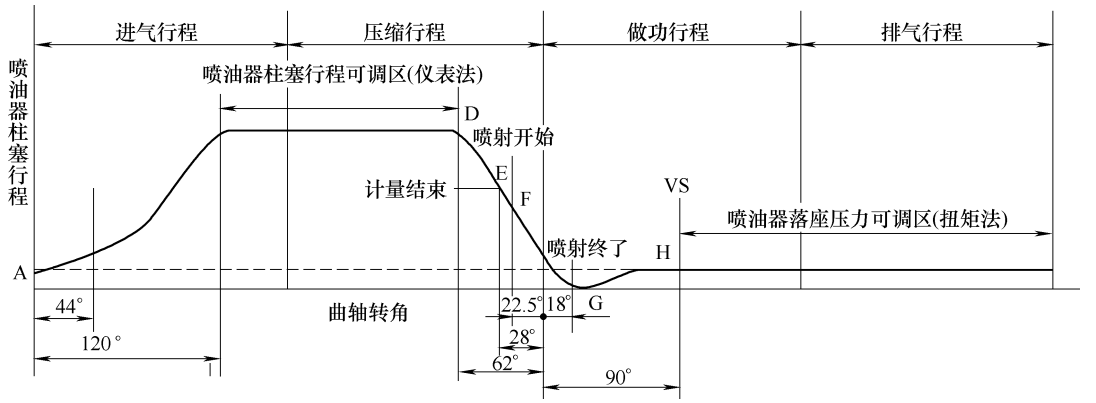


图 5-64 喷油器柱塞行程与曲轴转角关系图

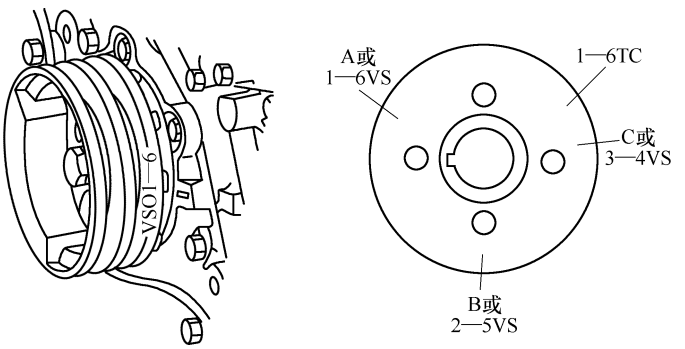


图 5-65 附件传动带轮上的记号

1）用扭矩法调整喷油器柱塞落座压力。由图 5-64 可知，当使相应 VS 记号对齐时，柱塞在 HA 区间，其下部锥体都是与嘴头锥形座面接触的，因此可调整相应气缸的喷油器落座压力。调整时，首先应使第 1 缸处于做功行程并使 1—6VS 记号与齿轮室盖上记号对准，其方法是顺曲轴转动方向转动，同时观察第 6 缸气门摇臂动作，当进、排气门交替动作时，继续转动曲轴，待 1—6VS 记号与齿轮室盖上的记号对准时停止转动，这一位置就是 1VS 的位置。调整第 1 缸后可按发火顺序逐缸进行调整。

此方法需转动柴油机同缸数相同的次数才能调完。例如，6 个缸需要转 6 次曲轴才能调整完。因此也可采用快速（2 次）调整法来进行调整。以六缸柴油机为例，从柴油机实际工作循环表（见表 5-1）中可以看出，对于 1VS 的位置，第 1 缸（做功行程 90°）、第 2 缸（排气）、第 4 缸（排气）的喷油柱塞均处于柱塞落座力可调区（见图 5-64 中的 HA 段），所以，此位置可同时调整第 1 缸、第 2 缸、第 4 缸的喷油器柱塞落座压力。

继续转动曲轴一圈（360°），并使 1—6VS 记号再次与齿轮室盖上记号对正。这一位置反应到实际工作循环表（见表 5-1）上就是 6VS 位置，即第 6 缸做功行程 90°位置。从表 5-1 不难看出，柴油机处于 6VS 位置时，第 6 缸（做功）、第 3 缸（排气）、第 5 缸（排气）的喷油器柱塞均处于柱塞落座压力可调区（见图 5-64HA 段）内，所以，在此位置可同时调整第 6 缸、第 3 缸、第 5 缸的喷油器柱塞落座压力。

调整过程如下：① 松开调节螺钉的锁紧螺母，拧紧调节螺钉直到喷油器柱塞处于升程为零的位置（与嘴头锥形座面相接触），再将调节螺钉拧进 15°，以确保喷油器嘴头中的燃油全部压

出（此时柱塞处于最低位置 G，见图 5-64），柱塞升程呈负值。将调节螺钉退出 1 圈。② 用扭力扳手（必须有螺钉旋具接头）将调节螺钉拧紧到规定的力矩。将调节螺钉退出再拧进到规定值，反复 2 ~ 3 次，以确保调整的准确性。③ 顶住调节螺钉不动，拧紧锁紧螺母到 54 ~ 61N · m。若用康明斯公司的 ST—669 接头时应拧紧到 41 ~ 47N · m。

表 5-1　柴油机实际工作循环表

曲轴转角/(°)		工作次序					
		第1个气缸	第2个气缸	第3个气缸	第4个气缸	第5个气缸	第6个气缸
0	0~60	做功	排气	进气	做功	压缩	进气
	60~120　1VS(90°)						
180	120~180	排气	进气	压缩	排气	做功	压缩
180	180~240						
	240~300			做功	进气	排气	
360	300~360		压缩				做功
360	360~420	进气					
	420~480　6VS(90°)			排气	压缩	进气	排气
540	480~540		做功				
540	540~600	压缩		进气	做功	压缩	
	600~660		排气				
720	660~720						

2）用仪表法调整 PT 喷油器柱塞落座压力。仪表法只适用于非顶止式喷油器，而不适用于顶止式喷油器。此法是通过测量并调整喷油器柱塞上下运动的行程，使其符合规定值的办法来间接地调定柱塞落座压力。

以康明斯六缸柴油机为例来说明利用仪表法调整 PT 喷油器柱塞落座压力的步骤。① 为防止喷油器驱动件过载和损坏，从正常工作位置拧松喷油器调整螺钉 0.5 ~ 1 圈，再拧紧锁紧螺母。并压下减压杆（如果有的话），使可轻便转动柴油机。② 使第 1 缸处于做功行程并使 1—6VS 记号与齿轮室盖上记号对准，即 1VS 位置。此时可调第 3 缸的喷油器柱塞行程，因为该柱塞处于其行程的顶点（见表 5-1、图 5-64）。③ 将专用工具（由千分表、接杆和支架组成）的接杆放到欲调的第 3 缸喷油器柱塞顶端，如图 5-66 所示。④驱动摇臂压杆或类似工具将第 3 缸喷油器柱塞往下压到底与嘴头锥形座面接触（反复数次以提高测量精度），如图 5-67所示。然后在最低点，将千分表对“0”。放松摇臂，使柱塞回升至顶点并读出千分表的读数，即为柱塞行程。此柱塞行程必须与说明书规定值相符。否则，应通过调拧摇臂调节螺钉使柱塞的行程达到规定值。⑤ 顶住调节螺钉不动，拧紧锁紧螺母到规定力矩。调完后，还需复调 1 次，直到合格为止。⑥ 以表 5-2 所列的顺序（右转柴油机为例），按上述方法调整第 6、第 2、第 4、第 1 和第 5 缸的喷油器柱塞行程。

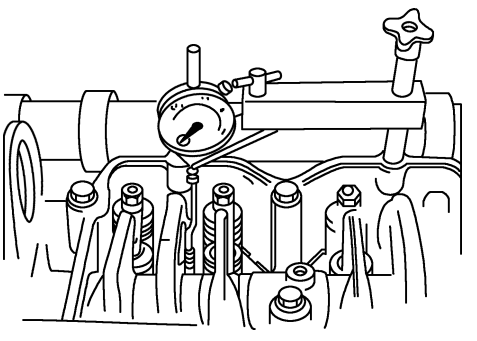


图 5-66　检查喷油器柱塞行程

（2）配气机构的调整　由于 PT 燃料系统的特点，应在柱塞落座压力调整后，进行配气机构的相关调整。

配气机构中丁字压板用于同时驱动两个气门（见图 3-13），丁字压板驱动的调整为每对气门同时动作提供保证，并防止由于气门未对准而发生变形。丁字压板调整的改变往往是由于运行中气门座磨损的结果，此时摇臂与丁字压板之间间隙减少。因此通常在发现摇臂间隙紧时调整丁字压板。丁字压板的调整通常是在喷油器柱塞调整之后进行的，随后可接着调整气门间隙。

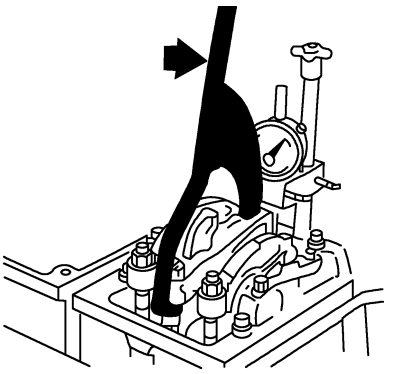


图 5-67 摇臂压杆压下喷油器柱塞

进、排气门间隙是指凸轮传动臂的滚轮与凸轮的基圆接触状态下，摇臂与丁字压板之间的间隙。由于康明斯柴油机的气门和喷油器是由共同的凸轮轴驱动的，所以气门间隙调整因喷油器柱塞落座压力调整方法的不同而异。调整方法是：

1）当采用仪表法调整喷油器柱塞落座压力后，其他缸可以调整的气门间隙即可进行调整。例如，对于发火顺序为 1—5—3—6—2—4 的柴油机，当调好第 3 缸的喷油器时，就可在同一曲轴位置上调整第 5 缸的气门间隙（见表 5-2）。然后按表 5-2 所列顺序调整第 3 缸、第 6 缸、第 2 缸、第 4 缸和第 1 缸的气门间隙。

表 5-2 柴油机柱塞落座压力和气门间隙调整位置（仪表法）

右转柴油机	发火顺序：1—5—3—6—2—4		
顺柴油机旋转方向撬转	带轮位置	调整的缸号	
		喷油器	气门
开始	A 或 1—6VS	3	5
向前转到	B 或 2—5VS	6	3
向前转到	C 或 3—4VS	2	6
向前转到	A 或 1—6VS	4	2
向前转到	B 或 2—5VS	1	4
向前转到	C 或 3—4VS	5	1

2）当采用转矩法调整喷油器时，可按发火顺序逐缸并在调好喷油器以后就调整同一缸的气门间隙（不允许先调气门，后调喷油器），也可分两步采用快速调整法进行。即调完柴油机所有喷油器后，再转动曲轴，找到第 1 缸处于做功行程 90°的位置。在 1—6VS 位置，可调第 1 缸的进排气门、第 5 缸的进、排气门、第 3 缸的排气门、第 4 缸的进气门（见表 5-1）。再转曲轴 1 圈位于 6VS 位置，在此位置可调第 2 缸和第 6 缸的进排气门、第 3 缸的进气门、第 4 缸的排气门。这样柴油机转 2 次即可将各缸的进、排气门间隙调整完毕。

（3）喷油正时的检查和调整　由于燃油的喷射和燃烧都需要一定的时间，对于高速柴油机来说，往往在活塞压缩接近上止点前一定角度时开始喷油（此角称喷油提前角），以保证燃料在最佳时刻进行燃烧。

因此，喷油是否正时，对于柴油机动力性和经济性影响很大。对于使用一段时间或经拆装过又重新装配的柴油机应进行喷油正时检查与调整。

喷油正时是当活塞处于压缩行程上止点前喷油的时刻。康明斯 N、K 系列柴油机，正时检查统一规定在活塞位于压缩上止点前 5.16mm（0.2032in）处进行。即喷油正时指活塞在上止点前

5.16mm 或曲轴转角 19°时，喷油器柱塞和油嘴之间的距离，由推杆的行程量来表示。

康明斯柴油机喷油正时，需要用专门的检查仪器正时仪（见图 5-68），正时仪有两个百分表，分别用来指示活塞行程和喷油器推杆行程。将活塞行程百分表 2 的测量杆插入气缸盖上喷油器安装孔，再将推杆行程百分表的测量杆放在喷油器推杆的凹形球座内。正时仪必须与气缸中心线平行，否则影响测量精度。有的正时仪上还刻有 45°和 90°两个行程标记，供检查调整使用。

1）喷油正时的检查。

①按曲轴转向转动曲轴，使上止点记号“1—6TC”对准正时齿轮盖上的指针或记号，使第 1 缸处于压缩终了的上止点位置，此时观察正时仪时，在压缩冲程，随着活塞向上止点移动，百分表 1 和百分表 2 的测量杆将同时上移，指针顺时针方向旋转。这一位置就是图 5-69 中的点 1 位置。

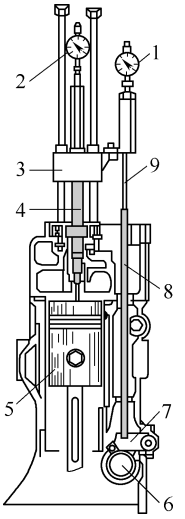


图 5-68　喷油正时仪

1—推杆行程百分表　2—活塞行程百分表
3—正时仪　4—测量杆　5—活塞
6—喷油器凸轮　7—滚轮摇臂挺柱
8—喷油器推杆　9—测量杆

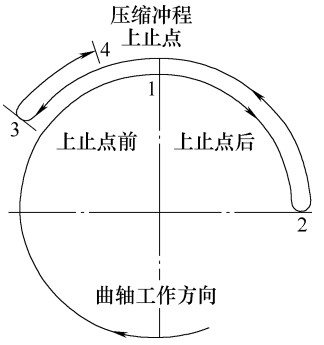


图 5-69　喷油正时检查顺序

② 表 2 调零。在点 1 位置将活塞行程表杆下移至碰到活塞顶面，并使表杆完全压缩后再升高 0.64mm（0.025in）左右（为测量留出余量）。将该表固定在测量仪上，并将活塞行程百分表调至“0”位。

③ 表 1 调零。顺曲轴转向转动曲轴至上止点后 90°CA 的位置（见图 5-69 中由点 1→点 2），在此位置确保推杆行程百分表测量杆与喷油器推杆球面接触，压缩百分表表杆到底后再升起约 0.64mm，为下一步测量预留量程，然后将百分表固定，转动百分表盘使指针对“0”。推杆行程百分表调零要在喷油器工作在大基圆上进行，此时推杆行程为零。

④ 按曲轴转向的相反方向转动曲轴并越过上止点，直到上止点前 45°CA 的位置（见图 5-69 中由点 2→点 3）。这一步骤的目的是为下一步测量时消除传动系统间隙（如齿轮啮合间隙），以使测量准确。

以上四步均为准备工作，下一步开始测量喷油提前角的大小。

⑤ 按曲轴转动方向缓慢地转动曲轴，并注意观察活塞行程表的读数，当该表量程为 -5.161mm（-0.2032in）时停转曲轴（此位置是活塞处于压缩行程上止点前 19℃A 的位置，即

图 5-69 点 4）。在此位置时读出推杆行程表的读数；若读数符合表 5-3 中所列的范围内，说明喷油是正时的；若读数大于表 5-3 中所列范围，说明喷油提前角过小；若读数小于表 5-3 中所列范围，说明喷油提前角过大。表 5-3 所示为康明斯柴油机铭牌上正时代号所对应的推杆行程范围，供使用和维修人员检查调整时参考。

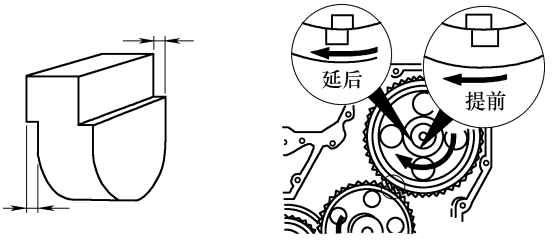
表 5-3 正时代号与调整数据 （单位：mm）

正时代号	推杆行程范围	正时代号	推杆行程范围	正时代号	推杆行程范围
AX	-1.37 ~ -1.42	GU	-2.67 ~ -2.72	IQ	-5.18 ~ -5.33
AZ	-1.47 ~ -1.52	BU	-1.63 ~ -1.68	CI	-2.85 ~ -2.95
BT	-2.03 ~ -2.08	CU	-3.32 ~ -3.30	GY	-4.37 ~ -4.47
GM	-2.54 ~ -2.59	AM	-2.95 ~ -3.05	TE	-4.72 - ~4.83
AW	-1.50 ~ -1.55	CL	-3.60 ~ -3.70	IC	-4.67 ~ -4.78
BY	-1.75 ~ -1.80	AE	-2.69 ~ -2.79	HE	-2.69 ~ -2.79
CD	-1.85 ~ -1.90	AJ	-3.15 ~ -3.25		
CH	-1.30 ~ -1.35	HC	-4.39 ~ -4.50		

2）喷油正时的调整。由于喷油推杆行程的大小决定了气缸内相对于活塞位置燃油喷射的时刻，推杆行程大，表明喷油滞后（喷油提前角小）；反之，表明喷油提前（喷油提前角大）。康明斯柴油机喷油正时调整有两种方法。

①通过调整垫片调整。如图 5-63 所示，调整滚轮摇臂挺柱盖板与机件结合面之间调整垫片的张数，即可改变挺柱与喷油凸轮的相对位置，使喷油提前或滞后。由于柴油机配气凸轮轴位置是固定的，因此增加垫片厚度，滚轮摇臂挺柱将右移，使喷油正时提前；减少垫片厚度，挺柱将左移，使喷油正时滞后。N 系列柴油机调整垫片有四种不同厚度，分别为 0.15 ~ 0.20mm，0.36 ~ 0.51mm，0.51 ~ 0.61mm 和 0.69 ~ 0.84mm，对应的喷油器推杆行程变化量分别为 0.04 ~ 0.05mm，0.09 ~ 0.13mm，0.13 ~ 0.15mm 和 0.18 ~ 0.20mm。维修中决不可用一般垫片随意更换。

②通过正时键调整。喷油正时也可利用更换不同“偏位量”的配气凸轮轴正时键进行调整。正时键分为直键和偏位键（见图 5-70），前者不改变正时，后者能够改变配气凸轮轴与凸轮轴传动齿轮（又称正时齿轮）的相对位置。在保持齿轮正时记号不变的情况下，通过更换不同的偏位键可使凸轮轴相对凸轮轴齿轮超前或滞后一个微小的角度，从而改变喷油正时。



a) b)

图 5-70 用于正时调整的偏位键
a）偏位键 b）偏位键装配

偏位键顶部在凸轮轴旋转方向的偏移量越多，相当于凸轮轴（喷油凸轮）逆曲轴工作转向转过了一个角度，喷油正时越滞后；反之，偏位键顶部在凸轮轴旋转方向的逆方向偏移量越多，则喷油正时越提前。利用偏位键调整喷油正时，只调第 1 缸（6 缸机）即可。

康明斯 N 系列柴油机通常采用第一种方法，由于两缸共用一个滚轮挺柱盖板，因此，需分别调整第 1、第 3、第 5 缸的喷油正时。K 系列柴油机只能采用正时键调整，正时键的规格可查阅柴油机维修手册。维修柴油机时，当需要拆卸凸轮轴齿轮之前，必须正确记下正时键在凸轮轴

键槽内的安装方向。正时键顶面一般都打有箭头，安装时必须按规定装配。

四、PT 燃油系统典型故障分析

1. PT 燃料系统故障的主要原因

根据 PT 燃油系统结构原理可知，该燃油供给系统可分为四大部分：喷油器部分、PT 泵部分（含 AFC 调节器、调速器、断油阀、齿轮泵、节流阀）、油箱和管路。因此分析 PT 燃油系故障时，一般也从这几个方面入手，再结合故障的特点进行分析。在分析燃油系故障时，本着先易后难，先简后繁的原则进行。

（1）检测燃油箱和管路　涉及供油管路的问题包括：机内管路，主要是柴油机缸盖内的燃油通道是否阻塞或堵塞；外管路包括两部分，一是燃油泵到缸盖的供油管路，二是油箱到 PT 燃油泵之间的管路，包含油箱通气孔堵塞和滤清器的堵塞，燃油中进入空气等，此外还应考虑燃油本身的问题，如燃油等级不正确或燃油质量过差等。

1）油路进空气。当空气进入 PT 燃油系统后，会导致喷油量减少，各缸喷油不均匀。此时柴油机将出现工作异常现象如起动困难，功率下降，转速不稳或突然熄火等。

空气渗入 PT 燃油系统的途径主要有两条。一是因进油管路各处接头密封不严而渗入，如图 5-71所示（箭头所指部位）。当浮子油箱和滤清器之间漏气或滤清器盖处渗漏时，滤清器上部会形成空腔。检查时，取下滤清器上盖，观察燃油是否充满。当发现不足时，应予以加满并换上新垫片拧紧。注意：在拧开滤清器排出水、污物后，也应按上述方法加满燃油。当空气从燃油滤清器与 PT 泵之间渗入时，一般在柴油机停机后可看到有柴油从渗漏处渗出的痕迹。空气渗入燃油泵的另一个途径是从 PT 泵自身各密封处泄漏吸入，如图 5-72 所示。PT 泵的内腔和调速器的罩盖中始终充满着燃油，这些燃油由调速器柱塞间隙和齿轮轴承间隙流入，所有这些充满燃油的空腔均与齿轮泵的吸油口相通。在 PT 泵工作时，由于泵的吸力而产生负压，这样，当密封失效时，空气就会被吸入泵体内并与燃油混合进入喷油器，使 PT 泵出口压力减小，从而破坏了供油的连续性。此时，较为明显的故障现象是柴油机会产生转速忽高忽低的“游车喘气”现象。首先出现在怠速时，如漏气严重，中速也会发生。检查时，使柴油机怠速运转，在图 5-72 所示可能漏气的部位滴上润滑油，若润滑油被吸入则说明该处泄漏；也可用手指堵住怀疑泄漏孔口处，此时若“喘气”现象减轻或消失，则说明该点漏气。PT 泵漏气的故障原因，一般是因 PT 泵长期工作后，各密封件或与之相配合的零件产生磨损或老化所致。一旦出现上述故障就应立即采取相应的措施消除故障，另外应做好定期检查保养工作。

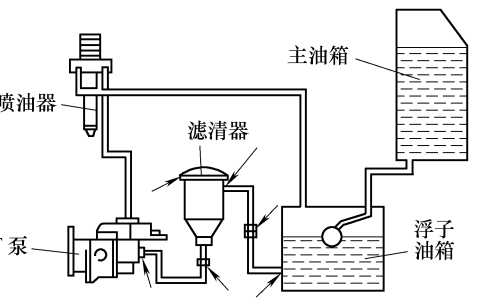


图 5-71　PT 燃油系统管路漏气处

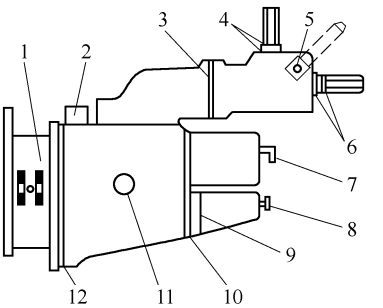


图 5-72　PT 泵可能漏气部位

1—前端油封　2—计量器油封　3—MVS 调速器垫片
4—高速螺钉垫片　5—操纵臂轴 O 形密封圈
6—怠速调整螺钉垫片　7—进油管接头
8—螺塞　9—PTG 调速罩垫片　10—齿轮泵垫片
11—节流阀轴 O 形密封圈　12—前端垫片

2）油路堵塞和燃油杂质。由于康明斯柴油机对燃油系统洁净程度要求很高，因此必须高度关注

PT 燃料系统的清洁，切不可使用劣质柴油，以免造成不必要的麻烦。如果进油管受阻，就会造成供油量减少；回油管路受阻，会使供油量增加，此时会造成冒黑烟现象。污物进入燃油系统的途径主要是添加燃油时随燃油进入系统，修理和保养时擦机布上的颗粒杂质及纤维、外部沙尘等通过燃油系统各部位孔口进入。杂质聚集较多时会堵塞进油管路，导致燃油流通不畅，从而影响柴油机正常工作。同时应注意燃油泵到缸盖的供油管路突然弯曲导致的堵塞。

PT 燃油泵中有许多精度很高的部件，如 PTG 调速器柱塞与套筒配合的间隙为 0.008 ~ 0.0125mm，怠速弹簧柱塞（压力控制钮）的端部凹面和棱角都不允许有任何损伤等。机械杂质进入 PT 燃油系统后，不但会加剧精密零件的磨损，而且使零件运动阻滞（如调速器柱塞）而影响 PT 泵的工作性能。当因磨损使间隙改变时，会使从端面间隙处泄漏出的燃油量发生改变，影响柴油机运转；当颗粒杂质卡在调速器柱塞与怠速柱塞两者端面之间时，还会造成齿轮泵不吸油故障。此外，杂质的进入会造成电磁阀关闭不严，使柴油渗漏到燃烧室并流入到油底壳，造成起动困难和其他故障。

为防止杂质进入燃油系统，加注的燃油应经过较长时间的充分沉淀并要通过滤网，要特别注意所用加注设备或工具的清洁；对于装有浮子油箱的柴油机应经常打开浮子油箱的放油塞，排除杂物和水，浮子油箱上的通气孔要保持清洁。由于浮子油箱位置较低，保养比较困难，因此对浮子油箱的保养在实际工作中应引起重视；定期对燃油滤清器进行检查和清洗，检查时可将一块真空表通过三通接头接到 PT 泵的进油接头处，然后让柴油机在标定转速下运转，若真空表中读数达到 27kPa 以上，则说明滤芯阻塞，应更换或清洗。按规定每工作 500h 应更换滤芯。重装滤清器时应更换 O 形橡胶密封圈，将细滤网装在上部，使带孔的一端朝下（否则油路不通）；粗滤网（两端有孔）应装在下部，使带磁铁的一端朝上。

3）燃油进水。水混入燃油可能是由于油中含有水或在添加燃油时带入的，也可能是在机器每次工作后未及时加油而引起的。当燃油箱未充满燃油时，由于夜间温度下降，空气中水蒸气便在油箱内壁上冷凝成水混入燃油中。因此在每班作业完毕停机后应及时将油箱加满燃油。此外盛装燃油的容器一定要注意密封，以防止雨水漏入。为排除已进入油中的水，在每班工作前要拧开油箱下面的放油开关排除沉淀的水，还可以打开燃油滤清器下面的排污塞（若滤清器有此装置）将沉积的水排出。燃油中水的含量超标，会造成部件运动发涩，阻力增加，降低供油压力，减少每循环供油量，柴油机功率下降。

燃油的油品在寒冷的冬天必须采用 -10 号或 -20 号的柴油，减小燃油在管道中的阻力，提高供油压力，保证每循环供油量，更好的发挥柴油机的功率。

（2）PT 燃油泵系统故障　其中比较容易出现的故障有 AFC 控制装置没有正确标定或自身故障，调速器故障或断油阀故障等。对于 PT 泵的维修是比较困难的，一般要求正确确定故障源，然后在 PT 燃油泵试验台上试验或就机调试。

1）AFC 控制装置。为减轻柴油机的排气污染，许多工程机械和车用康明斯柴油机的 PT 泵上都装有空气燃油控制装置（AFC）。使用中如果空气燃油控制装置出现故障，会导致柴油机运转性能不佳。

① 起动和（或）加速缓慢。如果柴油机表现出起动困难或不能起动的现象，可能的原因是 AFC 的无空气调整针阀关闭或开度不足。此时，可对 AFC 装置施加 0.17 MPa 的气压后起动柴油机，使柴油机在起动时的油流绕过无空气调整针阀。若柴油机能起动，应重新调整无空气调整针阀；若柴油机不能起动，说明故障可能在 AFC 装置，也可能由其他原因引起（注意：施加的气压不能高，否则会损坏膜片）。

如果柴油机表现出加速缓慢的现象，可能的原因是通气螺钉（连接进气歧管的螺钉）堵塞

或 AFC 装置的套筒松动。此时可将通气螺钉拆下，检查能否将其吹通。若吹不通，则应清洗或更换通气螺钉；若能吹通，则可能是套筒松动，需更换必要的零件重新进行正确安装。

② 功率不足和（或）不能加速。如果柴油机表现出功率不足的现象，可能的原因是 AFC 装置的柱塞卡在起动位置或膜片破裂。此时，可用给空气燃油控制装置通入 0.17MPa 压力气体的方法进行检查，若是柱塞卡在起动位置上，则气压对该装置无影响；若是膜片破裂，则通气螺钉上会漏气。

柴油机功率下降另一个可能原因是 AFC 装置的套筒松动。此时，判断方法如“加速缓慢”故障一段所述。

如果柴油机表现出不能正常加速的故障现象，则可能的原因是连接 AFC 装置的管子漏气、堵塞或未连接好；膜片破裂；通气螺钉堵塞；无空气调整针阀的位置调得太低（开度不足）；AFC 装置的柱塞运动不灵活；空气燃油控制装置调整错误，起作用的时间延迟过长；喷油器回油管堵塞等。此时，应首先检查 AFC 装置连接管是否漏气或堵塞、喷油器回油管是否堵塞，然后检查上述其他可能的原因。必要时应更换损坏的零件，重新进行调整。

必须注意的是，在检查处理 AFC 装置的故障时，除了像连接管漏气、喷油器回油管堵塞、油箱通气孔关闭等没有涉及 PT 泵的外部故障外，其余的故障在处理后都要在试验台上对 PT 泵进行调校，使其压力和流量的关系满足设计要求，否则会使柴油机的工作性能无法得到保证。正常使用过程中，应该每年都对 PT 泵进行校准，以确保其工作性能。

2）切断阀故障。康明斯 PT 燃油系统通往喷油器的柴油的供给和停止是靠 PT 泵上的切断阀（也称停车阀）来控制的。目前广泛使用电磁式切断阀。通电时，停车电磁阀线圈产生磁场，吸动阀芯（阀片），油路接通；断电时，磁场消失，阀芯在弹簧的作用下回位，关闭油路。若驾驶员疏忽了对此阀和线路的检查维护，常造成柴油机出现故障。

3）节流阀泄漏量过大。节流阀轴刮坏或节流阀在套筒中配合间隙过大等原因将导致节流阀泄漏。当节流阀泄漏量过大时，可换用加大的节流阀轴，必要时应研磨到正常的配合间隙。

4）输油泵起动油压低。输油泵产生损伤时，其输油压力下降、供油量减少，造成柴油机不能承受负荷，起动困难。修复之后应按照技术要求在试验台上试验。在没有试验台的情况下，可以在车上试验，方法是用油压表串接在输油泵和滤清器之间进行测量。起动柴油机到正常转速时，一般压力为 0.05 ~ 0.20MPa。

5）调速故障。

① 机械调速器。PT 泵调速器故障原因包括：零部件磨损或弹簧张力不正确，飞锤松动或破裂，飞锤销或支架破裂，飞锤件号与要求不符，柱塞在套筒中配合间隙不当，柱塞传动销剪断，套筒在壳体中的位置不对，销磨损或安装不正确使套筒定位错误，弹簧组卡环位置不对等。

② 电子调速器。a. 由于电子调速器是由电池 24V 直流电源供电，因此当蓄电池电压低于 18V 时，调速器控制板将停止工作。b. 电磁传感器是电子调速器 EFC 的速度感应元件，一旦转速信号丢失或不正常，EFC 也将停止调速功能而停止柴油机，因此电磁传感器必须正确安装和维护。c. 在 EFC 电子调速器中唯一的机械零件就是执行器，执行器长期转动会发生不同程度的机械磨损，该磨损使油泵向柴油机供油途中产生泄漏。并随着柴油机温度的提高，泄漏量也会增大。d. 当使用的柴油不清洁或维修保养不当时，造成杂物和微小颗粒进入到执行器中，就会卡住执行器，妨碍其正常转动。

使用过程中必须保持柴油清洁，燃油系统中若进入污染物，也会加剧执行器外套的磨损或卡滞，使执行器发生故障。

（3）喷油器的故障　喷油器的故障包括雾化不良、针阀卡死、喷孔堵塞和喷油压力过低等，

产生这些故障的原因是多方面的，大多数是由于喷油器偶件损伤，还有一部分是调压弹簧减弱、喷油器体下平面产生变形或者喷油器 O 形密封圈损坏等原因造成的，可以视情况进行修复或者更换喷油器。喷油器在修复之后需要进行试验，对喷油器的压力和密封性进行测试和调整。

由于喷油器及其传动机件承受频率较高的振动，互相撞击和摩擦，如锁紧螺母的拧紧力矩不够，会使已调整好的锁紧装置松动，引起喷油器计量燃油的计量时间增大，从而使喷油量超过规定值。喷油终了后的落座压力不对，柴油机会出现冒黑烟现象。喷油器嘴头有裂纹或喷孔堵塞等也会引起功率下降、冒黑烟等故障。

2. PT 燃料系统故障案例分析

案例 1：喷油器 O 形密封圈损坏导致燃油泄漏

（1）故障现象　某空调客车的康明斯 KTA—19G2 柴油机，采用 PT 燃油系统，出现柴油机工作无力；柴油机难起动，易熄火；曲轴箱内有燃油混入，润滑油位升高等故障现象。

（2）故障查找分析　拆下 PT 喷油器，查看 O 形密封圈，发现密封圈损坏。康明斯柴油机喷油器的筒体有三道 O 形密封圈（见图 5-57），组成喷油器的进油道及回油道，由于这三道 O 形密封圈在将喷油器装入气缸盖上的喷油器孔时很容易被切去边沿，造成密封不良，燃油就会因此而漏入油底壳，从而使润滑油中混入柴油，使得润滑油位升高。燃油泄漏，一部分燃油不能产生功率，故油耗过高，柴油机工作无力，难起动，易熄火。润滑油被混入燃油后，将被稀释而破坏润滑功能。

（3）故障排除　更换 O 形密封圈后工作，故障现象消除。更换时，首先应清除气缸盖中喷油器铜座套上的积炭，注意不得用刮刀或其他金属件去刮，以免损伤喷油器的铜座套。可以用一端包有干净布的木棒来清除。然后更换喷油器上的密封座。要检查密封圈安装位置是否正确，接着用清洁的润滑油来润滑 O 形密封圈。最后将喷油器放入孔中，特别小心防止密封圈的边沿被损坏，用手引导喷油器与孔对准，应顺利插入而无阻滞，再用一个干净的钝器放在喷油器体上并将其用力一推使喷油器落座。当喷油嘴头在铜套中落座时，应听到“啪”的一声，喷油器就安装到气缸盖孔中了。

案例 2：PT 喷油器喷油嘴头开裂导致喷油不良

（1）故障现象　大修后的柴油机，在使用较短时间内即发现排气烟色加浓，功率减小，同时曲轴箱内润滑油位升高

（2）故障查找分析　拆下 PT 喷油器后发现 PT 喷油器喷油嘴头开裂，使得燃油每循环油量增加，并且雾化效果不好，燃油不能充分燃烧，导致柴油机排气烟色加浓，输出功率下降。由于进入气缸内的燃油增多，使得部分燃油漏入曲轴箱内，润滑油油位升高。

油嘴头开裂原因可能是喷油器在柴油机上的安装、调整未按规定的方法进行，同时，喷油器调定流量偏高也可能使油嘴头过热损坏。

这一故障与喷油器 O 形密封圈损坏基本相似，但前者功率下降不明显，而后者功率下降明显，有负载时大量冒黑烟，柴油机起动困难，怠速时冒大量黑烟，或冒白烟过多，如果增加负载，则会增大冒烟量。燃油不能被充分燃烧，经济性、动力性下降。

（3）故障排除　更换喷油嘴或喷油器，故障排除。更换喷油器后，应先检查喷油器流量，如果供油量大于规定值，必须在喷油器上安装一个新的量孔塞，如果供油量低于规定值，可以用修磨工具修整量孔。然后重新进行喷油器调整。

案例 3：PT 喷油器柱塞落座压力调整不当导致冒黑烟，运转不稳

（1）故障现象　1 台 NT855C280 柴油机修理时更换了缸套、活塞、活塞环及气门等，组装调整完毕后起动柴油机，柴油机冒黑烟严重并且运转不稳定。

（2）故障查找分析　因为缸套活塞等部件为更换的新件，因此首先可排除缸内压力不足的可能性；检查进气管路，各部密封良好并且进气畅通，进气阻力正常；涡轮增压器工作也正常。因而故障原因可确定在燃油供给系统。在排除了油路堵塞的可能性后，可初步判断故障产生于喷油器。询问修理人员得知，调整喷油器时采用了扭矩法，但使用了普通大量程力矩扳手进行力矩调整。这样会产生较大的误差，喷油器扭矩值与规定值相差较大，并且各喷油器扭矩值不均匀，导致柴油机工作不正常。

喷油器调整螺钉的扭矩值调整得过大或过小都会影响到喷油器的正常工作，当力矩调整过大时，有可能顶坏喷油器油杯；当力矩调整过小时，会使喷油器柱塞锥形头部与油杯锥形座面接触不良，严重影响燃油的雾化，结果造成柴油机冒黑烟，同时，燃烧的炽热气体进入嘴头内部，使喷孔和锥形配合面处形成积炭。发现此种现象时，要停机检查喷油器或油杯，重新按规定进行调整。

案例 4：康明斯 K2000E 柴油机喷油器顶杆断裂

（1）故障现象　康明斯公司大型高速柴油机 K2000E，功率 2000 马力，采用 CENTRY™电控系统。在某铜矿使用过程中经常出现喷油器顶杆断裂故障，造成相应喷油器不能正常工作，柴油机动力下降。

（2）故障查找分析　该柴油机采用 PT 燃油系统，其喷油器顶杆为细长杆件，一端为球头，顶在随动件的球窝内；另一端为球窝，喷油器摇臂调整螺钉的球头压在球窝内；喷油器顶杆中段比两端略细。喷油器顶杆的作用是在随动件被凸轮顶起时，将运动传递给喷油器摇臂，顶起喷油器摇臂调整螺钉端，让摇臂另一端压下，使喷油器喷油。同时，K2000E 柴油机采用分级正时控制，在轻载荷时，ECU 给出信号开启 STC 阀，润滑油经过 STC 阀进入喷油器 STC 挺杆中，当摇臂下压时，STC 挺杆提前将喷油器柱塞压下，燃油提前喷入气缸，喷油完成后，STC 挺杆中的润滑油排出；当载荷大于 260hp 时，ECU 给出信号关闭 STC 阀，润滑油不能经过 STC 阀进入喷油器 STC 挺杆中，喷油器正常喷油。

喷油器顶杆断裂故障的原因包括：①喷油器调整不当。如果在喷油器调整时，拧紧调整螺钉的转矩过大，导致在柴油机运转过程中顶杆承受过大压力，从而顶杆因受力过大而断裂。②喷油器 STC 挺杆无法卸压。K2000E 柴油机采用分级正时控制，若 STC 挺杆因感应止回阀卡死等原因无法卸压；或在柴油机重负载情况下，STC 阀关闭不严，仍有润滑油进入喷油器 STC 挺杆中，而在柴油机重负载情况下，因为柴油机转速高，且喷油器喷油量大，顶杆的受力大，这些因素加大了顶杆的受力，从而导致顶杆断裂。③喷油器故障。喷油器出现故障，也会导致顶杆断裂。如有异物进入喷油器，导致喷油器柱塞卡死，顶杆受力过大，从而使顶杆断裂。④顶杆缺陷。顶杆本身存在缺陷，如有裂纹等缺陷，容易造成顶杆在柴油机运转过程中断裂。

分析认为，喷油器调整不当是顶杆断裂的主要原因。K2000E 柴油机用转矩法进行喷油器调整，根据柴油机点火顺序，按照柴油机前端指针和减振器上的记号，遵照 K2000E 柴油机气门和喷油器调整表对相应缸的喷油器进行调整。顺时针旋转调整螺钉，并用扭力扳手拧紧调整螺钉至 11N · m，然后逆时针松开调整螺钉，至少松开 1 圈以上，再次顺时针旋转调整螺钉，并用扭力扳手拧紧至 10N · m，最后顶住调整螺钉，拧紧锁紧螺母至 60N · m。通过两次拧紧调整螺钉，可利用柱塞将喷油器中燃油挤干净，保证喷油器调整正确。然后依次调整其他缸的喷油器，直到完成所有喷油器的调整。

综上所述，必须规范 K2000E 柴油机喷油器调整工艺，要求所有修理人员掌握喷油器调整工艺，并严格按照工艺进行喷油器调整。同时要求进行喷油器调整前，对专用扭力扳手进行校对，保证所紧力矩准确，避免因超力矩导致的喷油器顶杆断裂。此外，在紧固锁紧螺母时必须顶住调

整螺钉，防止调整螺钉随锁紧螺母一起转动，一旦发生调整螺钉转动，必须重新调整，确保喷油器调整的准确。

通过采取以上措施，K2000E 柴油机发生喷油器顶杆断裂的故障明显减少。

案例 5：PT 喷油器无柴油润滑、冷却而烧蚀卡死

（1）故障现象　一辆装用康明斯 M11 型柴油机的载货车，在一次运输物资途中，经过一段长距离的坡道时，驾驶员为了节油，关闭了电源，采用熄火滑行。下坡后，驾驶员重新起动柴油机时，发现无法起动。

（2）故障查找分析　停车后，驾驶员用手动的方法进行起动。在拧进 PT 燃油泵手动控制螺钉后，连续两次未将车辆起动。对油路进行检查，油箱中柴油充足，输油管路畅通，电磁阀完好，排除了外部出现故障的可能。检查 PT（D）STC 喷油器，将 PT（D）STC 喷油器拆下分解后，发现有 4 只喷油器的柱塞严重烧蚀卡死，另外两只喷油器也出现了轻微的烧蚀。

PT 泵中的柴油必须经过熄火电磁阀（切断阀）才能进入 PT 喷油器，当关闭电源后，电磁阀关闭，柴油无法进入喷油器，而进入喷油器中的柴油，除了一部分燃烧做功，大部分在润滑、冷却喷油器的柱塞和柱塞套后流回油箱。由于 PT 喷油器结构特殊，不论 PT 喷油器内是否有柴油，只要柴油机曲轴转动，PT 喷油器摇臂均会顶动喷油器顶杆使喷油器的柱塞运动。所以，下坡时，当熄火阀关闭后，柴油机曲轴仍在转动，PT 喷油器柱塞仍在往复运动，但由于柴油无法进入喷油器，此时柱塞与柱塞套出现干摩擦，使其严重烧蚀、卡死。

（3）故障排除　将喷油器修复后装车，故障现象消失。

案例 6：PT 喷油器 O 形密封圈损坏导致熄火困难

（1）故障现象　安装 PT 燃油系统的康明斯柴油机，停机时熄火时间延长，出现熄火困难现象

（2）故障查找分析　逐缸拔出喷油器进行检查，发现其中数只有中间 O 形密封圈破损情况。

喷油器插入缸盖后，三只 O 形密封圈中的中间 O 形密封圈将缸盖中的油道分隔为进油道和回油道（上部为回油道）两部分。因进油道的油压高于回油道的油压，当中间 O 形密封圈破损后，进油道的油就会进入回油道，从而增加回油道的压力。当停机熄火时，回油道中的压力会反压到进油道中，使喷油计量孔前的油压不能及时降至熄火油压，从而发生熄火困难。熄火时间的长短视 O 形密封圈破损的严重程度而异。

（3）故障排除　更换破损的 O 形密封圈。应将 O 形密封圈正确安装在喷油器槽内，不可扭曲，装入缸盖前应涂上润滑油。一般情况，应重新调整喷油器的柱塞行程。

案例 7：进气歧管至 PT 燃油泵 AFC 装置的气管漏气，导致柴油机不能加速

（1）故障现象　一台康明斯 M11 型柴油机，安装带 AFC 装置的 PT 燃油泵，在工作中出现工作无力，转速无法提高的故障。

（2）故障查找分析　检查发现，进气歧管至 PT 燃油泵上的 AFC 装置的气管漏气，更换该气管后，转速恢复正常。

根据 PT 供油系统 AFC 原理，即可知不能提速的原因。当连接在增压器之后的进气歧管与 AFC 装置的管子漏气时，将导致作用在膜片上的空气压力不能克服 AFC 弹簧的作用力，使 AFC 柱塞移动（见图 5-56）。AFC 套筒上的油道无法完全打开，使流向切断阀的燃油压力、流量减小，喷油器的喷油量也相应减小，从而导致柴油机转速无法提高。

案例 8：PT 泵 AFC 盖板漏柴油

（1）故障现象　一台 RD030 自卸车，该车装配康明斯 NTA—855—C310 直列 6 缸涡轮增压柴油机，功率 234kW/2100r/min。当柴油机起动时，AFC 盖板上的流量阀中总有燃油滴漏。

（2）故障查找分析　出现此种现象时，一般都是由于 AFC 膜片（见图 5-56）出现折皱形成破损，使得 PT 泵燃油渗漏到 APC 膜片腔内造成泄漏。只要更换 AFC 膜片，此故障即可排除。

案例 9：切断阀电路断路导致突然熄火

（1）故障现象　一台 TY160 型推土机，在一次野外作业中突然熄火后再也不能起动。

（2）故障查找分析　驾驶员首先认为是柴油用完所致，但重新将油箱加满柴油后，却仍无法起动。由于起动机能带动柴油机转动，但排气无烟，因而判定为油路有故障。检查柴油滤清器里有柴油，但起动时却无柴油通往喷油器，从而判定是切断阀有故障。检查切断阀的线路，发现由于经常在坑洼不平的场地作业，起动开关通往切断阀的线路脱落，切断阀无控制电流，导致切断阀阀片关闭，柴油无法通过。

（3）故障排除　紧固接头后重新起动，故障现象消失。

案例 10：切断阀电路内部短路导致无法起动

（1）故障现象　一台 TY160 型推土机，开始时起动困难，但反复起动还能着火。一段时间后，从起动困难发展到无法起动。

（2）故障查找分析　根据故障现象，首先检查油路是否有漏气的地方，燃油滤清器是否堵塞，燃油箱中燃油是否足够或是否有水，以及是否有棉纱之类的东西堵住燃油箱的出油管口等。上述检查均没有发现问题，且 PT 泵至切断阀有柴油溢出。切断阀通往起动开关的线路外表无损坏，但测量有短路现象。由此判定切断阀内部出现故障导致油路不通。拆检切断阀时发现，阀片、回位弹簧都符合规定要求，检测电磁铁时，发现磁力不足，无法吸动阀片，柴油没有进入喷油器。由于机器长期在野外作业，而驾驶员经常盲目地起动，导致线路内部短路，造成切断阀电磁铁磁力消失。

（3）故障排除　更换线路和电磁铁后，故障现象消失。

野外作业时遇到切断阀无法起动的故障时，可将手控螺钉拧进，但作业完毕后必须将其拧出。如果不及时拧出，停机后又不及时将油箱底部的开关关闭，则柴油就有可能通过封闭不严的喷油器进入气缸内，柴油积累较多后即有可能造成“液锁”现象，柴油机再次起动时会感到转动阻力特别大，同时使油底壳中的油位升高，润滑油被柴油稀释，从而造成不应有的损失。

案例 11：切断阀密封不严导致不能熄火

（1）故障现象　一台 TY220 型推土机，一次冬季作业后，柴油机不能熄火。

（2）故障查找分析　检查时发现，加大节气门，柴油机转速随之增高但伴有黑烟。拆下起动开关通往切断阀的线路后，仍不能熄火。只有当人为切断 PT 泵的进油时，柴油机才能停机。检查油路时，发现燃油滤清器滤芯损坏且有杂物。根据切断阀工作原理知，当切断阀的阀片开启时，燃油进入喷油器，若关闭起动开关不能熄火，则可能是切断阀无法关闭。拆检切断阀时，发现阀片的密封面夹有杂物，导致熄不了火。

电磁阀关闭不严，会继续向燃油道供油，使喷油器计量孔前的油压不能及时降至熄火油压，从而造成熄火困难。电磁阀关闭不严的程度不同，则熄火时间的长短也不同，可达几十秒至数分钟。停机电磁阀关闭不严，除加工制造的原因外，与燃油的清洁度有很大关系。当燃油清洁度低时，杂质会侵入电磁阀，将阀片垫起或使其运动卡滞，造成关闭不严。该故障发生后，应清洗电磁阀，但最重要的是提高燃油的清洁度。

由于 PT 泵是通过切断阀停机，燃油中的杂质、水分、阀芯光洁度、复位弹簧压力均能影响停机的可靠性，随着 PT 泵在柴油机上的广泛应用，不停机故障应重视切断阀的检查。

（3）故障排除　清洁阀片的密封面以及阀体和油路，更换燃油滤清器的滤芯并加注 –35 号轻质柴油后，故障现象消失。

案例 12：切断阀关闭不严导致排气管喷柴油

（1）故障现象　一台 TY220 型推土机（配康明斯 NT855 型柴油机）冷起动时从排气管喷出少量柴油。

（2）故障查找分析　康明斯 NT855 型柴油机采用 PT 泵燃料供给系统。喷油器柱塞运动靠凸轮驱动推杆、摇臂等，使喷油器定时打开和关闭。但在熄火时可能某缸喷油器处于打开位置，当推土机燃油箱内燃油较多时，液面较喷油器安装位置会高出 0.5m 左右，而该柴油机 PT 泵燃料系统没有安装浮子箱。柴油机熄火后仅靠 PT 泵出口处的电磁切断阀和输油管路上的单向阀切断油路（见图 5-73）。当柴油机工作一段时间后由于柴油中有杂质，出现电磁阀和单向阀关闭不严，将造成柴油机不工作时，柴油从燃油箱经滤清器、PT 泵电磁切断阀、单向阀和处于打开位置的喷油器流入气缸。虽然流量很小，但经过一夜的积累也足以造成第二天早晨冷起动时从排气管喷出柴油。

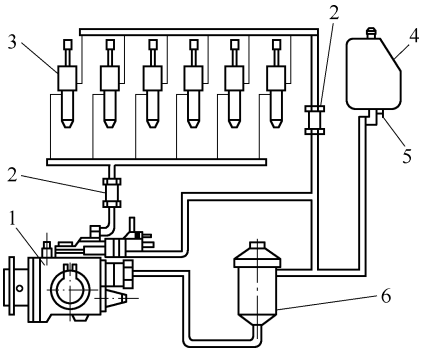


图 5-73　PT 燃油系统油路
1—燃油泵　2—单向阀　3—喷油器
4—燃油箱　5—开关　6—燃油滤清器

（3）故障排除　排除该故障的方法是，在 PT 泵入口安装一个球阀，每天工作结束后及时将该阀关闭，早晨冷起动前再将此阀打开，这样就可以防止排气管喷柴油。同时，应注重燃油质量和清洁。

案例 13：切断阀手动断油螺钉操作不当导致漏油、起动困难，冒黑烟

（1）故障现象　一台 TY—180 推土机，在使用过程中各部工作均属正常，柴油机功率也无明显下降，但停机后再次起动却比较困难，且排气管冒出大量黑烟，如果停机时间较长（3 天左右），则机器几乎不能起动，严重影响了正常作业，因此对机器进行了检修。

（2）故障查找分析　该推土机配备的是 NT855—280 型康明斯柴油机。经检查，其气门间隙、PT 泵、PT 喷油器及各部连接处均未发现异常现象；但发现当柴油机停机时间较长时，油底壳内油面略有升高，且伴有涩辣味，因此基本断定是油底壳内混入了柴油。当打开缸盖检查时，发现柴油机第 3、4 和 5 缸内都积存有大量柴油。于是，对缸盖内油道及缸盖间的跨接油管进行了检查、清洗和更换，同时更换了喷油器总成，再次起动机器，故障依旧。对柴油机的 PT 供油系统各部件逐一进行了分析，认为故障可能出在 PT 泵上。

将切断阀上出油管拆下检查时，发现柴油机熄火后仍有柴油流出，于是将切断阀手动断油螺钉退回数圈，装复后试机表明，全机故障被彻底排除。

康明斯柴油机的 PT 供油系统当切断阀关闭不严（如本例中，手动断油螺钉拧进太多，端头已抵住阀门）时，柴油将顺着油管进入喷油器，此时，停机后处于量油行程的喷油器，其油嘴腔中的柴油将和机器燃油箱沟通，在外部大气压力的作用下通过喷孔漏入燃烧室，使柴油机难于起动，进而顺着气缸壁流入油底壳，一段时间后还会稀释润滑油，引起柴油机曲轴“抱轴”等重大事故。

（3）故障排除　将切断阀手动断油螺钉旋出至关闭位置。

在操作维护柴油机时，要熟悉结构原理，熟读机器的随机说明书，详细了解该机的使用保养规程和调整操作方法。出现故障时不要急于拆卸（如本例在未对 PT 供油系统进行仔细分析，进行了不必要的拆卸和配件更换）。如果机器安装的柴油机没有浮子油箱，当柴油机停止工作后一定要注意关闭油箱开关，防止燃油倒流。

案例 14：油管破损吸入空气使柴油机工作不稳定

（1）故障现象　一台 D85A18 推土机（柴油机为 NT855—C280）在工作过程中出现功率下

降、转速不稳、加速时反应迟缓，而且有时会突然自动熄火的现象。

（2）故障查找分析　初步判断是柴油机工作时从油管破损处吸入了空气。逐步排查发现燃油滤清器与 PT 泵之间油管接头有松脱现象。

案例 15：柴油牌号选用不当导致功率不足

（1）故障现象　一辆装有康明斯 NH220 型柴油机的重型汽车，一次在外作业中，空载时柴油机运转正常，但一挂档转速立即下降到 600r/min 左右，车辆不能起步。

（2）故障查找分析　开始怀疑 PT 燃油泵调速器有故障，于是把另一辆车上的 PT 泵拆下装到该车上，再起动试车，故障同前，说明故障不在 PT 泵。又考虑可能因缺缸而使柴油机动力不足，为此起动柴油机，空载运转一阵后熄火，手摸各缸排气歧管温差不大，基本排除了缺缸的可能。最后拆卸燃油滤清器，取出滤芯后发现滤芯较脏，经清洗后再试机，情况稍有好转，勉强可以使用。可是运转不到 1h 又出现原来的故障。后经询问得知驾驶员加注的是 0 号柴油，在用车季节无法适应环境温度。

该车在当时温度条件下本应使用 -35 号柴油，而在外作业时却加注了 0 号柴油，由于柴油流动不畅导致各滤网或滤芯发生堵塞，使柴油供应不足，而空载时所供柴油则基本上能维持柴油机正常运转。据此，在排除柴油机动力不足的故障时，不可忽视对柴油的检查。

（3）故障排除　把油箱内燃油全部放出，清洗油箱、燃油管路及各滤清器后，加注 -35 号柴油，起动试机，柴油机转速提高，工作正常。

案例 16：燃油滤清器堵塞导致功率不足

（1）故障现象　一台 D80A12 推土机（柴油机为 NH220C1），起动困难、带负荷及加速时功率不足。

（2）故障查找分析　在确认进气系统空气滤清器通气良好，进气管路无阻塞后，打开浮子油箱放油塞时放出不少污物和水，检查燃油滤清器发现堵塞严重，经清洗燃油箱、浮子油箱及滤清器后机器恢复正常。

该故障是驾驶员保养不及时所致，说明供油系统不仅被污物堵塞，而且由于污物和水的进入，使燃油油质变差，这也是导致柴油机工作不正常的重要原因。

案例 17：回油管堵塞导致柴油机调速慢

（1）故障现象　北京重汽厂产 BJ3364 矿用自卸车，配置 NT855—C250 型康明斯柴油机。在使用过程中，有两辆车先后出现驾驶员踩下或松开加速踏板时，柴油机转速不能立即升高或降低，而要等 1～2min 后才能达到要求转速（柴油机调速慢）的状况，导致车辆无法正常行驶。

（2）故障查找分析　维修人员将 PT 燃油泵油量操纵杆与脚控加速装置解除后，用手直接控制操纵杆来调整柴油机的转速，故障依然存在；又检查进气系统和燃油供给系统，均未查出故障点。后将燃油泵送修，将校验好的 PT 燃油泵分别装到两台柴油机上试机，故障仍然没有消除。

经过分析认为故障不应在 PT 燃油泵上。于是再次对燃油系统进行彻底、仔细的检查：拆除缸盖上的燃油管，疏通气缸盖内部的两条燃油油道及柴油机相应的进、回油钢管，结果从回油道和回油钢管内清理出不少油泥。清洗这些管路后，再用高压气吹净，复试柴油机时故障已排除。

此故障系由于气缸盖内回油管路及柴油机回油钢管堵塞，造成 PT 燃油泵输出燃油压力过高，使 PTG 调速器移动、调整困难，无法对操纵杆动作作出及时反应，从而导致柴油机转速调整慢。

案例 18：PT 泵进入异物导致柴油机停机后不能起动

（1）故障现象　某施工单位有一台 D80A－12 推土机，在施工中途停机 1.5 h 后，柴油机不能再起动。发生故障时，环境气温约 15℃，柴油机处于热车状态，起动电压和起动转速均正常，

油箱内燃油足量，供油系统的油路没有泄漏现象。

（2）故障查找分析　修理人员进行了全面检查，发现齿轮泵的泵体和齿轮有明显的损伤痕迹，其他部分基本正常。更换齿轮泵后，柴油机仍无法起动。最后将 PT 泵装到 Series120 型 PT 燃油泵试验台上试验。结果，在任何转速下均不泵油。经过认真地检查分析，发现柱塞和压力控制钮的接触面间夹有硬物（铁锈）。

该推土机属多年未用设备，燃油箱内壁锈蚀极为严重，由于使用前未能彻底清洗，加之过滤效果不佳，致使硬物通过齿轮泵进入油道、柱塞孔到达柱塞与压力控制钮的接触面，由于此处四周通油，间隙较小，从而将硬杂物卡死在接触面之间。当柱塞与压力控制钮的接触面间隙过大且柱塞无法移动时，会造成齿轮输油泵的进、出油口直通，致使柴油机无法起动。

（3）故障排除　拆下 PTG 调速器外壳，取出卡环，卸下压力控制钮外套、压力控制钮、怠速弹簧、弹簧外套、怠速调整螺钉、调整垫片、高速弹簧、弹簧座等，清除压力控制钮与柱塞端面间的异物。在 PT 泵试验台进行试验，通过检验 PT 泵的各项技术性能指标，一切正常后装机，故障排除。

案例 19：PT 泵 MVS 调速器故障导致柴油机失速

（1）故障现象　一台郑州宇通重工产高原型装载机，配置 M11—C225 型康明斯柴油机，额定转速为 2100r/min，在行驶中突然转速下降，不论怎样踩踏加速踏板，转速一直维持在 700r/min（怠速）左右。

（2）故障查找分析　根据维修经验，对于 PT 燃油系统柴油机出现突发性失速故障，应首先确认两点：一是节气门拉杆传动是否正常；二是 PT 燃油泵 MVS 调速器是否正常。

首先踩踏加速踏板，观察调速器节气门手柄有往复动作，说明节气门拉杆传动正常。起动柴油机，扳动 MVS 调速器节气门手柄，发现无阻力且柴油机转速无变化，由此判断故障可能在 MVS 调速器上。

拆下 MVS 调速器后盖，用手推压高速弹簧座，无阻滞现象。随后扳动节气门手柄，发现双臂杠杆轴间的固定螺栓松脱（见图 5-51a），由此导致双臂杠杆不能正常动作，无法改变调速弹簧的压缩程度，从而也无法改变柴油机的转速，使柴油机只能工作于怠速状态。

（3）故障排除　重新安装固定螺栓后，起动柴油机，故障消失。

案例 20：传感器故障导致柴油机无法起动

（1）故障现象　一台带电子调速控制器的康明斯 150 kW 发电机组，其柴油机为 NT855C 型，维护保养后停放一段时间再使用时，起动了数次均不能正常起动，且排气管口无排烟迹象。

（2）故障查找分析　起动柴油机，松开喷油器进油管（缸体旁），发现无燃油流出，说明故障出在燃油进缸盖之前。检查 PT 燃油泵进油口处进油正常，用万用表检查切断阀，工作正常。检查执行器，用手转动阀芯无卡滞现象，回位弹簧完好，O 形密封圈无损坏、内部无缺陷及异常磨损；接通电源开关时能够听到执行器发出“咔嗒”声，用万用表测量电磁线圈电阻为 30Ω，无短路、断路现象。检测电磁线圈输入电流只有 50mA，比正常值（800mA）小得多，证明执行器输入信号不正确，故问题出在执行器之前。

在对 EFC 电子燃油控制系统进行检查之前，先检查了柴油机转速传感器的输入信号是否正确。起动柴油机（马达起动），测量电磁传感器输出电压，非常微弱（正常值为 1.5V）。拆检发现，传感器头部油污很多、很厚，影响传感器传感效果。检查发现油污为曲轴后油封漏油严重所致。

（3）故障排除　更换柴油机曲轴后油封，清洗电磁传感器，重新调整电磁传感器与飞轮齿圈齿顶间隙（轻轻旋进接触到齿顶后再将电磁传感器旋出 1/2～3/4 圈，使传感器顶端与齿顶的距离保持在 0.75～1.07mm，然后拧紧螺母将传感器紧固在飞轮壳上，防止松动）后，试机故障

排除，运转正常。

案例 21：执行机构故障导致柴油机转速不稳定

（1）故障现象　集装箱龙门起重机一般采用柴油机—发电机—电动机来驱动各运行机构。配备的柴油机为美国康明斯 NTA—855G3 型柴油机，其上配有 EFC（电子燃油控制调速器）。该龙门起重机在工作中出现过下列故障现象：①柴油机在无外负荷时能稳定运行（额定转速 1800r/min），当龙门起重机带负荷工作时，柴油机转速急剧下降至低速，使低速保护功能动作，造成柴油机自动停机。②柴油机刚起动开始工作时转速平稳，当工作到正常温度后，转速失控升高，并随运行时间的延长，升高的速度值加大，最终升到柴油机超速保护功能动作，造成柴油机自动停止工作。③柴油机起动后，不论速度控制开关放置在怠速或高速位置，柴油机转速立即升到使超速保护功能动作，使柴油机停机。④柴油机起动后，虽然速度控制开关放在怠速位置，但柴油机转速超过怠速值 650r/min，运行在 1100～1500r/min。⑤柴油机起动后，虽然速度控制开关放在高速位置，但柴油机转速不能升高到额定转速，仍维持在怠速范围。⑥起动困难或不能起动。

（2）故障原因分析　龙门起重机每进行一个操作动作或每起吊一个集装箱，各机构速度和负荷都在不断变化，柴油机需要输出的功率也就不一样。要保证龙门起重机工作稳定，就要使柴油机工作转速维持在一个恒定的范围内，相应调控柴油机供油量的 EFC 执行器需要不断地调节其供油开度来满足这一要求，所以执行器会经常处于急剧转动中。而在实际工作中发现，每当发生故障后，更换一个新的执行器则柴油机又可正常工作，再通过对失控的 EFC 调速器各组成构件拆解分析，可以说明 EFC 调速器的故障主要是由于执行器的故障而引起的。

通过观察和分析，执行器的主要故障原因是：①由于执行器经常处于急剧转动中，其铝质的外套（图 5-54）极易发生不同程度的机械磨损。该磨损使油泵向柴油机供油途中产生泄漏而不受执行器旋转阀 13 控制，并随着柴油机温度的提高，执行器泄漏量也会增大，EFC 调速执行器电压的改变已经不能精确控制执行器供给柴油机的柴油量，造成失控，引起柴油机超速。如果执行器磨损达到极限，造成泄漏量超过柴油机额定转速柴油供给量，则柴油机起动后会立即使超速保护动作而停车。②由于执行器装于 PT 泵的内部，受空间限制，驱动功率小，当使用的柴油不清洁或维修保养不当，造成杂物和微小颗粒进入柴油机的燃油系统内，并进入到执行器中，就会卡住执行器，妨碍其正常转动。如果执行器在开口最小位置卡住，则柴油机仅能维持怠速运转，没有高速。有时会因供油量不足引起起动困难，甚至不能起动。如果执行器在柴油机高怠速（＜1800r/min）空负荷位置卡住，柴油机会一直维持高怠速运转。当工作时负荷加大，执行器不能提供相应的柴油供给量时，柴油机转速立即下降直至停车。如果执行器在最大开口位置卡住，柴油供给量超过柴油机额定转速供给量，则柴油机起动后立即达到高速使超速保护动作。③使用的柴油和维修保养中进入的污染物也会加剧执行器外套的磨损或卡滞，使执行器发生故障。

（3）处理措施　为了永久改善这种状况，可采用电磁式外置执行器取代内置执行器起作用。

首先，将已磨损的旧执行器回位弹簧拆下，改变弹簧安装方向，使执行器保持在开口常开位置，将改装完的执行器装回原位置，保证原 PT 泵的油路不发生改变，即不让内置执行器起作用，这样也就不会发生执行器的磨损和卡滞。其次，把 PT 泵油门轴的固定最大位置的紧定螺钉松开，并调整油门最小位置固定螺钉，使柴油机转速在 600r/min 左右。最后，为保证柴油机的转速，在 PT 泵相邻位置安装一个 GAC 电磁式外置执行器，其摆动臂和 PT 泵的油门轴相连，并更换与外置执行器相配套的 GAC 控制板，调整好调速系统的放大增益、稳定性、允许转速降、怠速时的转速和最大转速，就能在负荷变化时对柴油机的供油量进行自动调节，使柴油机的转速稳定在允许的工作范围内，保证集装箱场桥各运行工况下柴油机平稳运转。

由于对原有柴油机调速系统的改进所采用的外置执行器不受安装空间位置的限制，可以选用

不同功率的执行器，因而提高了执行器驱动功率，避免了内置执行器采用铝质外套导致执行器磨损、卡滞的弊病。另外，钢制的油门轴通过表面硬化处理，比铝制外套有更高的耐磨性能。

第三节　VE 分配泵燃油系统

一、BoschVE 分配泵的结构及基本工作原理

转子分配式喷油泵（简称分配泵）按其结构不同，分为径向压缩式分配泵和轴向压缩式分配泵两种。径向压缩式分配泵由于主要零件的配合精度要求高，且加工不方便等缺点，近年来已较少应用。轴向压缩式分配泵又称 VE 分配泵，是德国波许公司于 20 世纪 80 年代初研制出来的一种新型分配泵，现已广泛应用在小型高速柴油机上。

与直列式柱塞喷油泵相比，VE 型分配泵具有许多优点：①体积小，零件少，质量轻。②供油均匀性好。VE 分配泵的供油均匀性完全由制造精度保证，有助于降低柴油机的噪声。③高速适应性好。直列式柱塞喷油泵最高转速为 2000r/min，而 VE 分配泵可达到 3000r/min。④ 直列式喷油泵燃油与润滑油分开，密封性要求较高，一旦柴油泄漏稀释润滑油，会加速机件磨损，易引发故障。而 VE 分配泵泵体内部充满柴油，具有自润滑作用，无需定期更换机油。但同时对柴油的清洁度要求很高。⑤ VE 分配泵的各种控制机构有相对的独立性。可按柴油机的不同需要，组合成相应的控制机构。在柴油机上的安装位置灵活，水平、垂直安装均可。

1. 基本结构和工作原理

VE 分配泵喷油系统的油路如图 5-74 所示。柴油机起动前，先用手油泵 25 泵油，通过顶盖上的溢流阀排除柴油管路中的空气。柴油机运行时，由曲轴齿轮带动分配泵的传动轴。其前端的

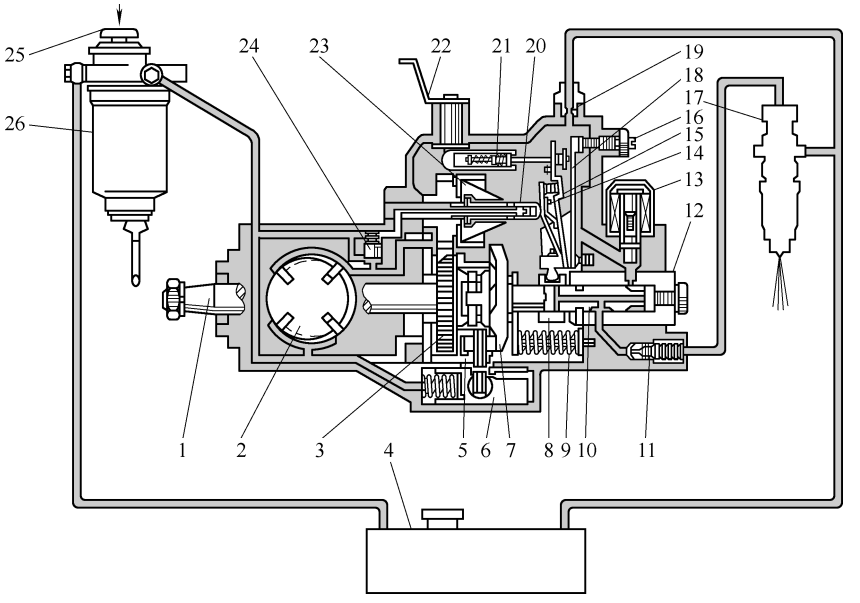


图 5-74　VE 分配泵喷油系统的油路

1—驱动轴　2—滑片式输油泵　3—调速器驱动齿轮　4—油箱　5—滚轮机构　6—液压式喷油提前器　7—平面凸轮盘　8—油量调节套筒　9—柱塞弹簧　10—分配柱塞　11—出油阀　12—柱塞套　13—切断阀　14—起动杠杆　15—张力杠杆　16—最大油量调节螺钉　17—喷油器　18—预调杠杆　19—溢流节流孔　20—调速套筒　21—调速弹簧　22—调速手柄　23—飞锤　24—调压阀　25—手油泵　26—柴油滤清器及油水分离器

滑片式输油泵2将柴油从油箱4中抽出，经过柴油滤清器和油水分离器26，滤掉柴油中的杂质和水分后进入分配泵泵体，产生高压后，燃油经泵体上相应气缸的油道，再经过出油阀11、高压油管和喷油器17喷入对应的气缸。泵体内多余的柴油从顶盖上的溢流阀返回油箱。柴油如此循环流动即可带走油路中的气泡和零件摩擦产生的热量，又可润滑各个运动零件。

分配泵是系统中的核心部件，它主要由滑片式输油泵、高压分配泵及其驱动机构、电磁式断油阀等部分组成。此外，机械式调速器和液压式喷油提前器也安装在分配泵体内。

（1）输油泵及调压阀　滑片式输油泵及调压阀如图5-75所示。当滑片式输油泵旋转时，由于转子3与泵壳偏心，滑片2之间的容积变化将使柴油加压到0.6～0.8MPa，进入泵体内腔，而调压阀则用来调节柴油压力。当柴油压力太高时，调压阀活塞5打开回油口，柴油返回进油口，使压力下降（见图5-75b）。压力越高，弹簧压缩量越大，油孔开启截面积越大，回油量就越多，起到自动调节输油压力的作用。

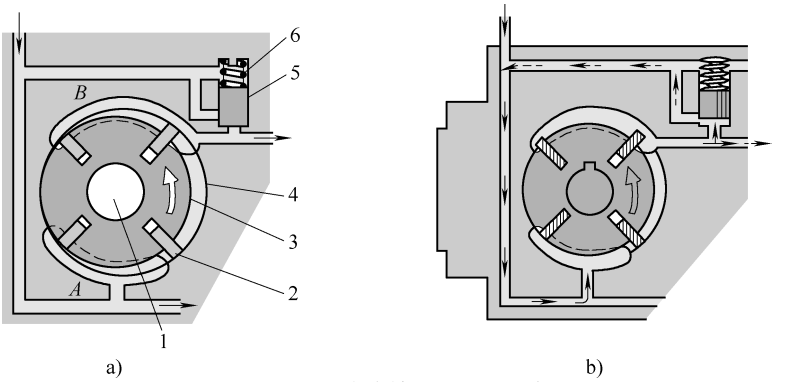


图5-75　滑片式输油泵及调压阀
a）进油侧　b）出油侧
1—驱动轴　2—滑片　3—输油泵转子　4—偏心环　5—调压阀活塞　6—调压阀弹簧

（2）泵油分配机构及工作过程　VE分配泵的高压系统如图5-76、5-77所示（两图图注一致），用作高压油的产生和分配，主要由滚轮机构2、平面凸轮盘4、分配柱塞5及分配头（装有柱塞套）等部分组成。

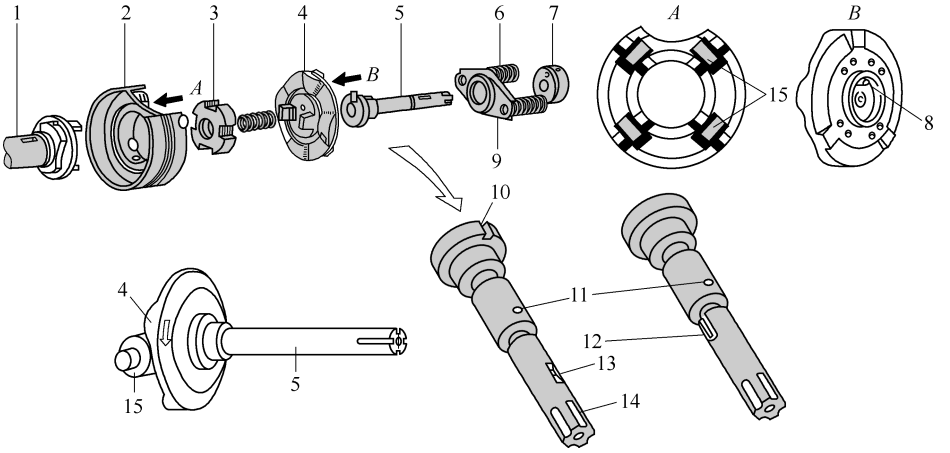


图5-76　驱动机构零部件构造及传动关系
1—传动轴　2—滚轮机构　3—联轴器　4—平面凸轮盘　5—分配柱塞　6—柱塞弹簧
7—油量调节套筒　8—传动销　9—柱塞弹簧座　10—导向槽　11—泄油孔
12—压力平衡槽　13—燃油分配槽　14—进油槽　15—滚轮

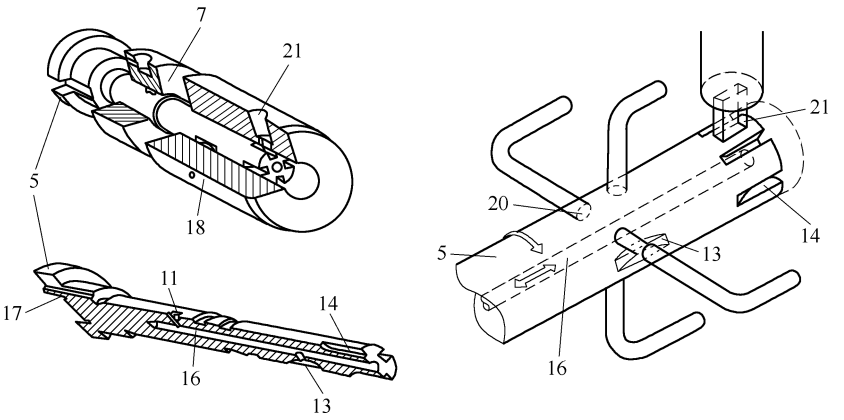


图 5-77 VE 泵分配柱塞柱塞套配合关系
16—柱塞中心油孔 17—柱塞驱动槽 18—柱塞套
20—柱塞套出油孔（道） 21—柱塞套进油孔

对于四缸柴油机而言，分配泵的平面凸轮盘 4 上有 4 段凸轮型线，相互间隔 90°；滚轮机构 2 中装有 4 个滚轮，相互间隔也是 90°。柱塞弹簧 6 将分配柱塞 5 压紧在平面凸轮盘 4 上，并使平面凸轮盘压紧滚轮机构 2 中的滚轮。当驱动轴旋转时，传动轴 1 通过十字联轴器 3 带动平面凸轮盘 4 旋转，并利用平面凸轮盘上的传动销 8 带动分配柱塞同步旋转。同时，在滚轮、平面凸轮和柱塞弹簧的共同作用下，凸轮盘还带动分配柱塞在柱塞套内作往复运动。往复运动使柴油增压，旋转运动进行柴油分配。

在分配柱塞的中心加工有轴向中心油孔 16、径向贯通泄油孔 11、进油槽 14（四道）、燃油分配槽 13（一道）、外圆周上的压力平衡槽 12 等，中心油孔与泄油孔相通。相应的分配套筒（柱塞套）18 上有一个进油孔 21 和四个分配油道 20（见图 5-77）。每个分配油道都连接一个出油阀和一个喷油器。

油泵传动轴每转过 90°，在凸轮和柱塞弹簧的配合作用下，拉推柱塞往复运动一次的同时转动 90°，柱塞就相应完成一次进油、压油和分配的供油过程。这样的供油过程重复四次，分别向 4 个气缸喷油。在柴油机的一个工作循环中，分配泵传动轴旋转一周。

VE 型分配泵的工作原理如图 5-78 所示。

1）进油过程（见图 5-78a）。当平面凸轮盘 12 的凹下部分转至与滚轮 13 接触时，柱塞弹簧将分配柱塞 14 由右向左推移至柱塞下止点位置，这时分配柱塞上的进油槽 3 与柱塞套 20 上的进油孔 2 连通，柴油自喷油泵体 19 的内腔经进油道 17 进入柱塞腔 4 和中心油孔 10 内。

2）泵油过程（见图 7-78b）。当平面凸轮盘由凹下部分转至凸起部分与滚轮接触时，分配柱塞在凸轮盘的推动下由左向右移动。在进油槽转过进油孔的同时，分配柱塞将进油孔封闭，这时柱塞腔 4 内的柴油开始增压。与此同时，分配柱塞上的燃油分配孔（槽）18 转至与柱塞套上的一个出油孔 8 相通，高压柴油从柱塞腔经中心油孔、燃油分配孔（槽）、出油孔进入分配油道 7，再经出油阀 6 和喷油器 5 喷入燃烧室。

平面凸轮盘每转一周，分配柱塞上的燃油分配孔依次与各缸分配油道接通一次，即向柴油机各缸喷油器供油一次（见图 5-77）。

3）停油过程（见图 5-78c）。分配柱塞在平面凸轮盘的推动下继续右移，当柱塞上的泄油孔 11 移出油量调节套筒 15 并与喷油泵体内腔相通时，高压柴油从柱塞腔经中心油孔和泄油孔流进喷油泵体内腔，柴油压力立即下降，供油停止。

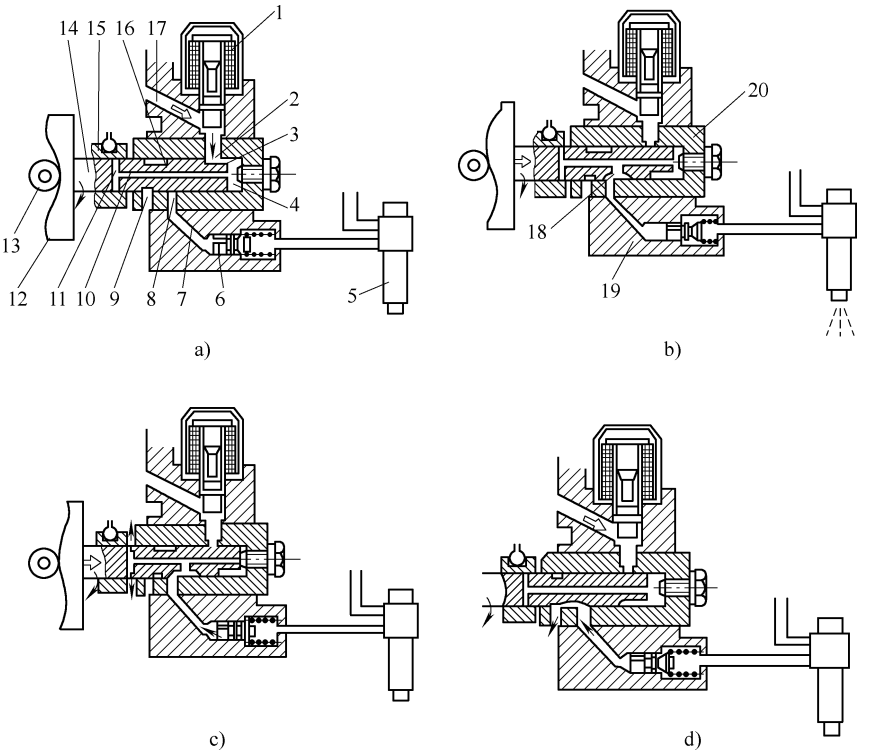


图 5-78　VE 型分配泵的工作原理

a）进油过程　b）泵油过程　c）停油过程　d）压力平衡过程

1—切断阀　2—进油孔　3—进油槽　4—柱塞腔　5—喷油器　6—出油阀　7—分配油道　8—出油孔　9—压力平衡孔　10—中心油孔　11—泄油孔　12—平面凸轮盘　13—滚轮　14—分配柱塞　15—油量调节套筒　16—压力平衡槽　17—进油道　18—燃油分配孔　19—喷油泵体　20—柱塞套

从柱塞上的燃油分配孔 18 与柱塞套上的出油孔 8 相通的时刻起，至泄油孔 11 移出油量调节套筒 15 的时刻止，这期间分配柱塞所移动的距离为柱塞有效供油行程。显然，有效供油行程越大，供油量越多。移动油量调节套筒即可改变有效供油行程，向左移动油量调节套筒，停油时刻提早，有效供油行程缩短，供油量减少；反之，向右移动油量调节套筒，供油量增加。油量调节套筒的移动由调速器操纵。

4）压力平衡过程（见图 5-78d）。分配柱塞上设有压力平衡槽 16（在柱塞上燃油分配槽 180°角对面），在分配柱塞旋转和移动过程中，压力平衡槽始终与喷油泵体内腔相通。在某一气缸供油停止之后，且当压力平衡槽转至与相应气缸的分配油道连通时，分配油道与喷油泵体内腔相通，于是两处的油压趋于平衡。在柱塞旋转过程中，压力平衡槽与各缸分配油道逐个相通，致使各分配油道内的压力均衡一致，从而可以保证各缸供油的均匀性。

对于六缸柴油机而言，分配泵的平面凸轮盘上有六段凸轮型线，相互间隔 60°；滚轮座中装有 4 个滚轮，相互间隔分别为 60° 和 120°。柱塞顶端有六条进油槽，而圆周上仍只有一条出油槽，相应的分配套筒上也有 1 个进油孔和 6 个出油道。油泵传动轴每转过 60°，柱塞就完成一次进油、压油和分配的供油过程。这样的供油过程重复六次，分配泵传动轴旋转一周。

（3）电磁式切断阀　VE 型分配泵装有电磁式切断阀，如图 5-79 所示。此装置中的电磁阀是一种将电磁能转换为机械能的油路开关，它是控制柴油油路通断的关键部件。该装置的阀门与供油管成 T 形装配，以使阀门在外力作用下拔出或插入油管内腔，控制柴油通断。该装置由点火开

关板、电阻、线圈、阀体、阀门、密封胶垫、弹簧等组成。

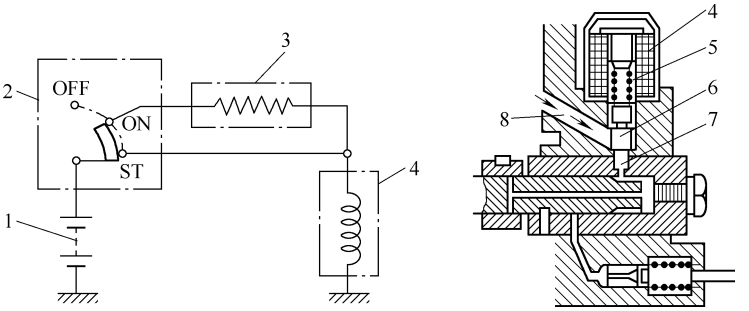


图 5-79 电磁式切断阀

1—蓄电池 2—起动开关 3—电阻 4—电磁线圈 5—回位弹簧 6—阀门 7—进油孔 8—进油道

起动时，将起动开关置于 ST 位置，从蓄电池来的电流不经过电阻 3，直接流过电磁线圈 4。因此，电流大而产生的电磁吸力强，压缩弹簧将阀门 6 吸离阀座，打开燃油通道。

起动完毕，将起动开关置于 ON 位置，电流流经电阻 3，可以减小流过电磁线圈 4 的电流，并使阀门保持在保证柴油油路畅通的位置，使柴油机正常工作。

停机时，将起动开关 2 置于 OFF 位置，电路断开，阀门 6 在回位弹簧力的作用下返回阀座，从而切断油路，使柴油机熄火。

（4）提前角自动调节 在 VE 型分配式喷油泵体的下部安装有液压式喷油提前器，如图 5-80 所示。在喷油提前器壳体内装有活塞 4，活塞左端与滑片式输油泵的入口 *R* 相通，并有弹簧 1 压在活塞上。活塞右端与喷油泵体内腔相通，其压力等于滑片式输油泵的出口 *C* 的压力。当柴油机在某一转速下稳定运转时，作用在活塞左、右端的力相等，活塞处于某一平衡位置。若柴油机转速升高，滑片式输油泵的出口压力增大，作用于活塞右端的力随之增加，推动活塞向左移动，并通过连接销 3 和传力销 2 带动滚轮架 6 绕其轴线转动一定的角度，直至活塞两端的力重新达到平衡为止。滚轮架的转动方向与平面凸轮盘的旋转方向正好相反，使平面凸轮提前一定角度与滚轮接触，供油相应提前，即供油提前角增大。反之，若柴油机转速降低，则滑片式输油泵的出口压力也随之降低，作用于活塞右端的力减小，活塞向右移动，并带动滚轮架向着平面凸轮盘旋转的同一方向转过一定的角度，使供油提前角减小。

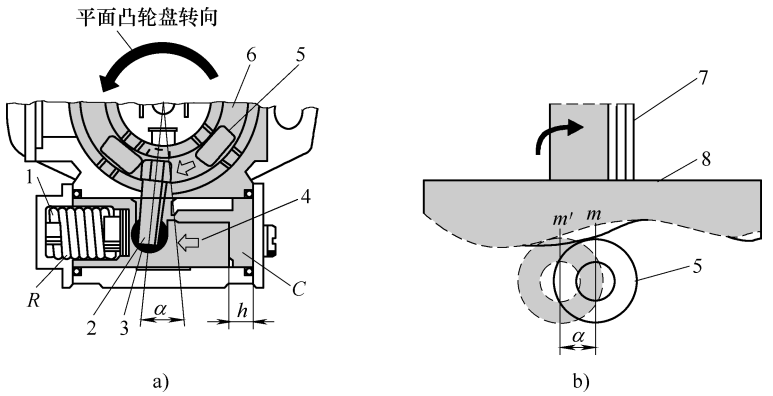


图 5-80 液压式喷油提前器

1—弹簧 2—传力销 3—连接销 4—活塞 5—滚轮 6—滚轮架 7—分配柱塞 8—平面凸轮盘

R—输油泵入口侧 *C*—输油泵出油侧 *α*—自调供油提前角 *h*—活塞行程

2. VE 型分配泵的调速机构

VE 型分配泵调速器（见图 5-81）由飞锤 3、调速手柄 5、杠杆系（包括张力杠杆 12、起动杠杆 15、导杆 16）和调速弹簧 8、起动弹簧 13、怠速弹簧 10 等组成。飞锤组由分配泵轴通过齿轮驱动。杠杆系中的导杆 16 通过销轴 *M* 固定在泵体上；张力杠杆 12、起动杠杆 15 通过销轴 *N*（可动）与导杆 16 连接在一起，可分别绕销轴 *N* 摆动。起动杠杆 15 的下端是球头销，嵌入供油量调节套筒 21 的凹槽中。当起动杠杆 15 绕销轴 *N* 转动或随导杆 16 绕 *M* 销轴转动时，都可改变供油量调节套筒 21 与分配柱塞 19 上的泄油孔 20 的相对位置，从而改变有效供油行程。张力杠杆 12 上端通过怠速弹簧 10 与调速弹簧 8 连接，调速弹簧的另一端挂在调速手柄 5 的销轴上。导杆 16 的下端受复位弹簧 17 的推压，使其上端靠在最大供油量调节螺钉 11 上。

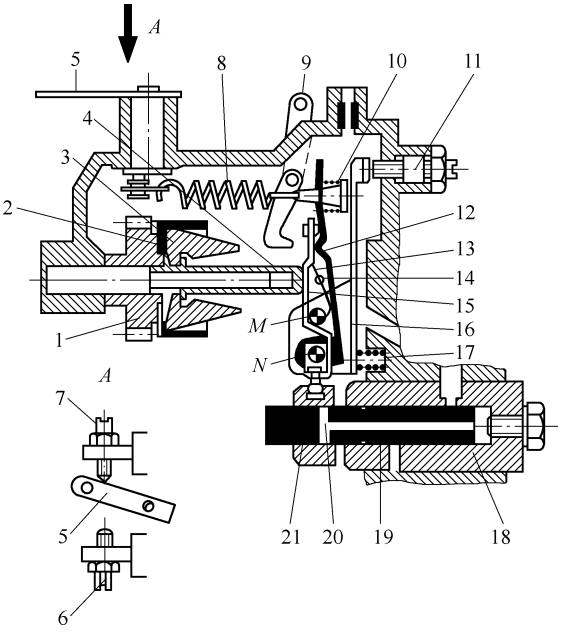


图 5-81　VE 型分配泵调速器结构

1—调速器传动齿轮　2—飞锤支架　3—飞锤　4—调速套筒
5—调速手柄　6—怠速调节螺钉　7—最高速限位螺钉
8—调速弹簧　9—停车手柄　10—怠速弹簧
11—最大供油量调节螺钉　12—张力杠杆　13—起动弹簧
14—张力杠杆挡钉　15—起动杠杆　16—导杆　17—复位弹簧
18—柱塞套　19—分配柱塞　20—泄油孔　21—供油量调节套筒
M—导杆支承销轴（固定）
N—起动杠杆、张力杠杆及导杆支承销轴（可动）

（1）起动工况（见图 5-82，图注与图 5-81相同）　起动时，调速手柄 5 紧靠在最高速限位螺钉 7 上，调速弹簧 8 被最大程度拉紧。怠速弹簧 10 被压并迫使张力杠杆 12 绕 *N* 销轴逆时针方向转动，直至被固定在泵体上的张力杠杆挡钉 14 挡住。由于柴油机转速极低，起动弹簧 13 张力克服飞锤 3 离心力，迫使起动杠杆 15 绕销轴 *N* 逆时针方向转动，推动调速套筒 4 左移，飞锤完全收拢，起动杠杆 15 下端的球头销使供油量调节套筒 21 右移到最右位置 *C*，柱塞的有效压油行程最大，供油量最大。

起动后，飞锤的离心力克服柔软的起动弹簧力，调速套筒 4 右移，推动起动杠杆 15 顺时针方向转动，供油量调节套筒 21 左移，供油量减少，直至起动杠杆 15 上端靠在张力杠杆 12 上。

（2）怠速工况（见图 5-83，图注与图 5-81 相同）　柴油机起动后，将调速手柄 5 靠紧在怠速调节螺钉 6 处，调速弹簧处于最松状态，飞锤向外张开，调速套筒 4 右移，推动起动杠杆 15 及张力杠杆 12（两者靠紧在一起）顺时针方向绕销轴 *N* 转动，供油量调节套筒 21 左移到最左端位置 *D*，供油量最小。张力杠杆 12 顺时针方向转动时使怠速弹簧 10 受到压缩，最终飞锤离心力与调速弹簧张力平衡于某一位置，柴油机处于怠速稳定运转。

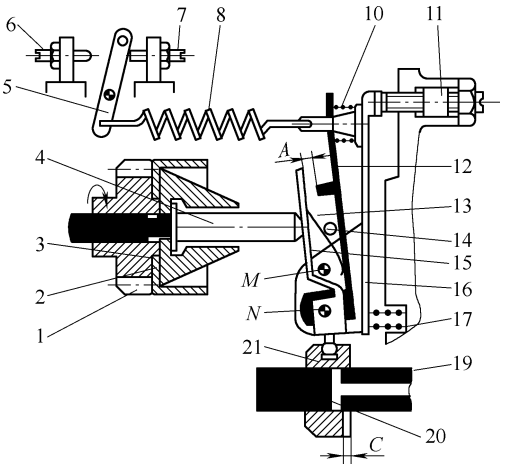


图 5-82　起动工况

（3）中间转速和最高转速工况　欲使柴油机

在高于怠速而又低于最高转速的任何中间转速工作时，需将调速手柄5置于怠速调节螺钉6与最高速限位螺钉7之间某一位置（见图5-84）。这时，调速弹簧8相对于怠速位置被拉长，张力杠杆12及起动杠杆15（压紧在一起）逆时针方向绕*N*销轴转动，供油量调节套筒21右移，供油量增加，柴油机处于中间转速状态。此时，调速手柄的某一位置控制了柴油机在某一转速下稳定运转，调速弹簧张力与飞锤离心力处于平衡状态。

调速手柄靠紧最高速限位螺钉7时（见图5-85），柴油机在最高转速稳定运转，原理同上。

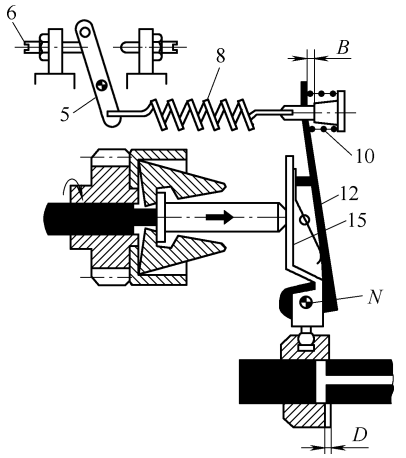


图5-83 怠速工况

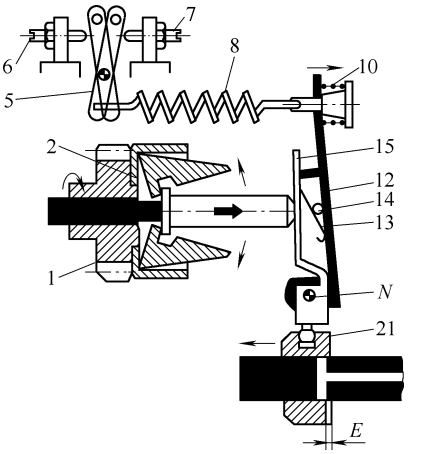


图5-84 中间转速工况

（4）最大供油量的调节（见图5-85，图注与图5-81相同） 调速手柄靠紧高速限位螺钉，若向内拧入最大供油量调节螺钉11，导杆16克服下端的复位弹簧17的张力，绕固定于泵体上的*M*销轴逆时针方向转动，由于*N*销轴也通过导杆16下端，因此*N*销轴也绕*M*销轴逆时针方向转动，即起动杠杆15、张力杠杆12一起绕*M*销轴逆时针方向转动，供油量调节套筒21右移，最大供油量增加。反之，最大供油量减少。

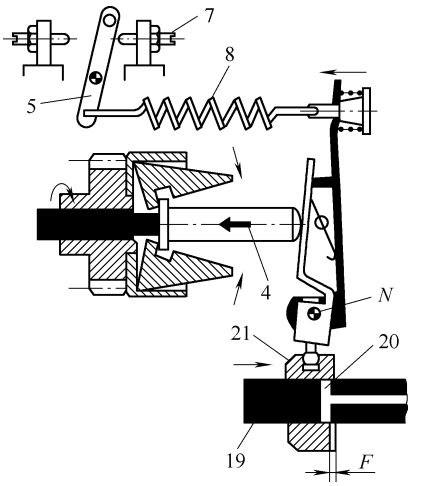


图5-85 最高转速工况

3. 增压补偿器

在增压柴油机上装用的分配式喷油泵附有增压补偿器，其作用是根据增压压力的大小，自动增减供油量，以提高柴油机的有效功率和燃油经济性，并可降低低速烟度及减少有害气体的排放。

增压补偿器结构如图5-86所示，在补偿器盖3和补偿器体7之间装有膜片2，膜片把补偿器分成上、下两个腔。上腔与进气管相通，其中的压力即为增压压力。下腔经通气孔与大气相通，膜片下面装有弹簧。补偿器阀杆4与膜片2相连，并与膜片一起运动。阀杆的中下部加工成上细下粗的锥体，触针（校正销）6在锥面上移动，另一端则与补偿杠杆的上端接触。补偿杠杆可绕销轴*D*转动，其下端靠在张力杠杆上（见图5-87）。在阀杆上还钻有纵向长孔和横向孔，以保证阀杆在补偿器体内移动时不受气体阻力的作用。

增压补偿器工作原理如图5-87所示。当进气管中的增压压力增大时，膜片带动补偿器阀杆4向下运动，补偿杠杆5绕销轴*D*顺时针方向转动，张力杠杆2在调速弹簧3的作用下绕销轴*N*逆

时针方向转动，从而使起动杠杆下端的球头销向右拨动供油量调节套筒 1，供油量增加（见图 5-87a）；反之亦然（见图 5-87b）。

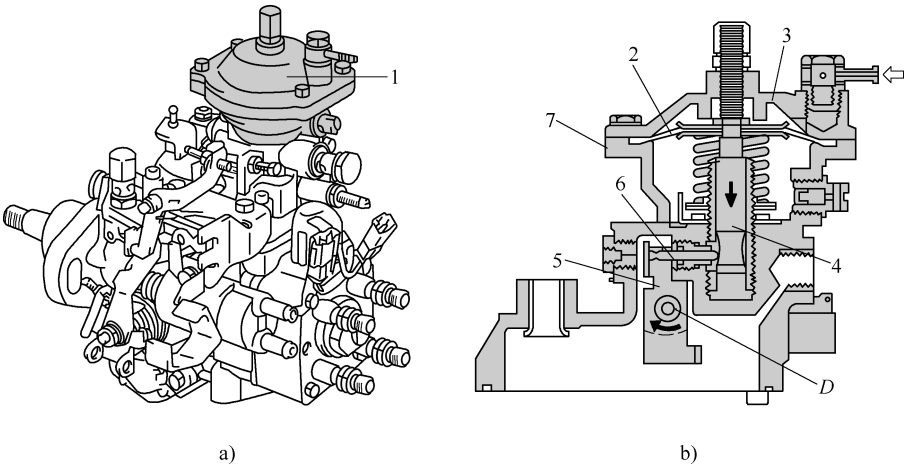


图 5-86　增压补偿器结构

1—增压补偿器总成　2—膜片　3—补偿器盖　4—补偿器阀杆
5—补偿杠杆　6—触针　7—补偿器体　*D*—销轴

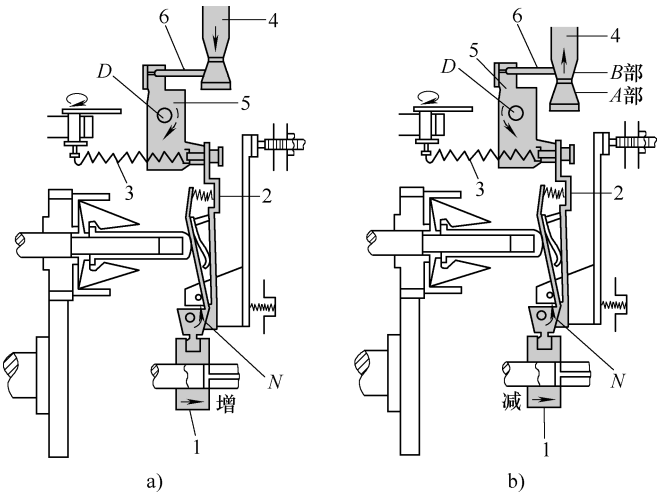


图 5-87　增压补偿器工作原理

1—油量调节套筒　2—张力杠杆　3—调速弹簧　4—补偿器阀杆
5—补偿杠杆　6—触针　*D*—销轴　*N*—销轴

二、BoschVE 型喷油泵的调试和使用

1. VE 泵的调试

（1）供油量的调整　VE 型喷油泵的供油量的大小是靠油量调节套筒（泄油环）打开柱塞油孔的行程长短来调节的（见图 5-81），如需油量增加，则可将最大供油量调节螺钉 11 旋入，导杆 16 绕 *M* 点逆时针方向转动，此时泄油环被起动杠杆 15 推向右边，使泄油环行程加大，供油量相应增加；反之，若将最大供油量调整螺钉旋出，则泄油环行程缩短、供油量减小。

（2）调速器速度的整定　在喷油泵供油量调整完毕后，必须进行调速器的调整，以获得额定转速（额定供油量时的转速）、最高断油转速（飞车转速）和怠速转速（最低稳定转速），最

高速限位螺钉 7 和怠速调节螺钉 6 的位置如图 5-81 所示。

1）最高速限位螺钉的调整——调速器“飞车”转速试验。将调速手柄靠紧高速限位螺钉 7，在试验台上检查柴油机额定转速时的供油量，应符合柴油机供油的规定要求。逐步增加油泵转速，使之达到最高断油转速，此时，单缸平均供油量应不大于 1mL/200 次。如果此时供油量大于规定值，则可将高速限位螺钉旋入一些，以使供油量减小。

2）怠速螺钉的调整——怠速试验。将调速手柄完全放松，触到怠速调节螺钉，使喷油泵以 250～300r/min 的转速运转（可遵照柴油机具体要求），其单缸供油量应符合柴油机的怠速规定。

当喷油泵在怠速运转时，如果供油量低于规定值，则可将怠速螺钉旋入一些，如果供油量大于规定值，则可将怠速螺钉旋出一些，直到调整合适为止。

3）喷油泵装机前供油正时的调整。喷油泵在不同转速时，供油提前机构的活塞行程应符合规定要求。在检查活塞的行程时，可拆下装有弹簧一端的盖板，装上测量工具以测量活塞行程。当活塞的行程达不到规定值时，可相应地增加或减少垫片的厚度以进行调整，在弹簧的两端至少应各装一片垫片，防止零件磨损影响而使供油正时发生变化。

4）喷油泵装机后供油正时的调整。喷油泵装机后应进行最佳供油提前角的调整，以使柴油机获得最佳的经济性和动力性。喷油泵各缸供油次序是按油泵的旋转方向先后依次供油的。当传动轴上键槽对准某缸出油接头时，即为该缸出油。油泵装机后供油提前角的调整方法一般可按以下步骤进行：①在喷油泵的传动轴端装上传动齿轮，再使油泵内腔充满柴油，接通电磁阀电源。然后缓慢地转动传动齿轮，当第 1 缸出油接头刚开始出油时，应立即停止转动传动齿轮。②缓慢转动柴油机，使第 1 缸处于规定的最佳供油提前角位置。③将喷油泵装在柴油机上，使传动齿轮与柴油机上相对应的驱动齿轮相啮合。注意：在装配过程中必须小心，防止喷油泵的传动齿轮转动，以保证喷油泵开始供油的正确位置。④旋紧喷油泵法兰上的紧固螺母。⑤转动柴油机曲轴，仔细观察喷油泵第 1 缸开始出油时的提前角是否符合规定要求。

如果此时供油提前角已达到要求则调整完毕。如果供油提前角与规定值相差甚微，可转动油泵外壳进行调整。当油泵外壳向油泵转动方向旋转，则供油推迟；反之，则供油提前。如果转动油泵外壳还达不到规定要求，那么必须将油泵拆下，再重新调整传动齿轮的啮合位置，直至供油提前角调整到符合规定要求为止。

2. VE 泵的使用维护

Bosch 公司生产的 VE 型分配式喷油泵，只要使用、保养得当，使用寿命一般可达到行车 20 万 km 不检修，另外，其供油量的调整也更为方便。但是其使用条件要求比较苛刻，加之结构类型及附件种类较多，如果使用不当 VE 泵的寿命就会急剧下降。VE 型分配泵在使用过程中应注意以下几点：

1）保持柴油高度清洁，使用前充分沉淀，定期清洗油箱。VE 型分配泵高压部分及喷油器的配合偶件要求千分之几毫米量级的精度，因此这种泵在使用中要求柴油必须具有较高清洁度，以免因杂质造成分配转子严重磨损或卡滞。柴油在加入油箱前必须沉淀 72h 以上；柴油中不能含有汽油，也不能含水分。柴油的沉淀和滤清是延长分配泵使用寿命的关键。一般，行驶 5 万 km 左右后应对油箱和管路进行一次清洗。油箱加油口、柴油机燃油系统管路也应保持高度清洁。

2）使用优质轻柴油，凝点低于环境温度 5～10℃。应使用符合国标的柴油。并根据分配泵的工作环境和气温，选用合适牌号的柴油。

3）避免水分、杂质、空气进入油泵。不要将油箱中的油用完，每天起动柴油机前要放掉第一级燃油滤清器（油水分离器）中的水分。另外，要经常检查油水分离器报警开关，发现故障必须及时排除。

4）使用两级高级滤清效能的纸质滤芯，定期更换滤清器。一般在柴油机使用500h或行驶1.6万km后，必须更换专用的双级燃油滤清器。这种滤清器为不可拆式，需整体更换。工作环境恶劣时，应视情缩短更换周期。

应按车辆维护规程定期检查输油泵盖的滤网，清除滤网中的污物，如滤网有破损，应及时更换。

5）应经常检查输油泵的输油压力，如发现油压过低，需查明原因，及时排除。

6）分配柱塞、柱塞套、油量调节套筒及出油阀是精密偶件，机器长期不用时应放掉油泵中的柴油，注入防锈油。

7）不得拆卸加了铅封的调整螺钉。VE型分配泵是一种极其精密的总成，其外表有2个铅封：一个是油量调节螺钉，一个是最高转速限位螺钉。调整这2个螺钉虽能改变柴油机的性能，但是随意拆除铅封后意味着出现意外故障将放弃索赔权，因此不得随意拆除铅封，而应到厂家指定维修点进行检修。

8）不许长期超负荷运转，避免机温过高导致柱塞卡死。

9）停车前应空载、低速运行片刻后再停机。

三、VE分配泵燃油系统故障分析

1. VE分配泵常见故障现象及其原因分析

由于分配泵的构造和工作都与柱塞泵有差别，因此，在采用分配泵的柴油机燃料系中，故障的种类，外表特征及分析、诊断和排除方法等也不同，分配泵几种常见的故障及其产生的原因可叙述如下。

（1）柴油机起动困难或不能起动　这一故障的根本原因是分配泵不能供油或供油太少。可能的原因有：

1）分配柱塞卡滞不能动作或动作不灵活；油量调节套筒卡在停车位置；分配柱塞尾端密封螺塞松动漏油；调压阀不起作用等。可视情拆解检查，作相应的处理。

2）断油电磁阀损坏或电磁阀的电源线接触不良，使电磁阀不能正常工作，喷油泵高压腔中不能进油。可更换电磁阀或排除线路故障。

对于装有VE喷油泵的柴油机，当起动柴油机时，出现曲轴能转动而柴油机不能起动的故障时，应重点考虑并检查燃油供给系统电磁式停油装置是否将电能转变为机械能，继而控制阀门打开或关闭油路。

检测方法是：用检测灯测量断油电磁阀电源线接头有无电流通过，若无电，说明驾驶室线束插头或熔体盒插头脱落，或是熔体被烧断；如果断油电磁阀电源线接头有电，应检查断油电磁阀工作是否良好。

检查断油电磁阀工作状态的方法是：将起动开关在“ON”档和“OFF”档上进行切换，仔细查听断油电磁感应阀内有无轻微的磕碰声，若有声音，说明断油电磁阀工作良好；若无声音，说明断油电磁阀有故障。阀门不能开启，一般是由于电阻和电磁线圈损坏，不能控制阀门动作。此时可采取将阀体内弹簧和阀门取出这一应急措施，强迫油路畅通，即可起动柴油机，但是，回场后应该立即更换电磁式停油装置。

3）分配柱塞、分配套筒、油量调节套筒等精密件过度磨损，间隙过大，造成供油不足，可修复或更换磨损零件。

4）二级输油泵（滑片式输油泵）输油压力不足。VE型分配泵为整体密封结构，其供油提前角的提前特性和充油效率时刻受到输油泵输油压力的影响。一般而言，输油泵压力不足将直接

影响柴油机的起动甚至正常工作。

主要因素有：①输油泵过度磨损，特别是滑片与两侧盖板的配合间隙过大，引起较高转速时泵腔内压正常而低转速时泵腔内压过低，引起柴油机起动困难或低速时功率不足。②泵体内侧面磨损或拉伤引起的在泵油过程中窜油。

分配泵可在车上就机检查输油压力，先拧下喷油泵壳体上的放气螺钉，在该位置接上装有0～980kPa压力表的接头，起动柴油机测量其输油压力（如英国产 DPA 型喷油泵：500r/min 时不小于 2.45kPa，2700r/min 时不小于 64kPa）。

5）调速器故障。起动弹簧变形或调速杠杆球头销变形，使柱塞供油有效行程减小，起不到起动加速作用。

6）安装调试故障。输油泵装反，不但供不了油，相反从泵腔中吸出柴油；凸轮盘定位销与驱动轴键槽不在同一条直线上，导致供油顺序发生变化；进油接头与回油接头装反，不能向喷油泵供油，引起柴油机起动困难或无高速且低速工作不稳；预行程和 MS 行程调整不当。

7）燃油管路中有空气。排除方法是：用扳手放松喷油泵溢流阀上的放气螺钉；用手扳动输油泵手柄泵油，直至出油阀处出现燃油为止；放气后，顺时针方向转动放气螺钉，并拧紧。油水分离器中空气排放的方法是：在油水分离器排放螺塞下面的乙烯软管端放置容器；逆时针方向转动约 5 圈松开排放螺塞，然后用手扳动输油泵手柄泵油，直到油水分离器内充满燃油为止；当放完空气后，拧紧排放螺塞，然后再泵几次油即可。注意：柴油机起动运转后，油水分离器的排放螺塞处不应有漏油现象。

（2）柴油机突然熄火　这一故障的常见原因是低压油路不能连续供油或供油不足。可能的原因如下：① 油路中有空气，可视情排除空气。② 断油电磁阀损坏或电路出现故障，应更换断油电磁阀或排除电路故障。③ 柴油箱内的柴油不足或无油，应加注柴油。④ 燃油滤清器或管路被脏物堵塞，应清洗燃油滤清器或管路，并更换滤芯。

（3）功率不足排气冒烟　可能的原因如下：①供油时间调整不当。供油时间不当，柴油燃烧不完全、不及时，可调整供油时间。②压力控制阀故障。油泵泵腔压力随着柴油机转速的增高而增大，压力的大小是通过控制阀自动调节而实现的，如果压力控制阀出现问题，将影响整个柴油机的特性。压力控制阀常常因为堵塞而卡滞或卡死，引起泵腔压力过高或过低，从而造成自动提前装置提前过多（内压过高）或滞后（内压过低），产生冒烟现象，引起柴油机功率不足。③增压补偿器 LDA 问题。增压补偿器的作用是随着柴油机转速的变化而自动增加或减少喷油泵供油量，一旦出现问题将影响柴油机中高速的运转。如连接销或销轴卡滞（卡死），引起柴油机排烟异常或功率不足，主要是因为低速供油量高于正常值，而高速供油量低于正常值；膜片破裂起不到加减油效果；补偿器行程取决于弹簧预紧力的大小，预紧力大，行程减小，起作用晚，造成提速缓慢甚至无法提速；反之，由于供给过多的燃油，就会产生冒烟没劲现象。④柱塞弹簧折断。柱塞的回位是通过弹簧的压缩力来实现的，如果断裂，柱塞行程就会减小，燃油腔容积亦减小，进入的燃油就减少，主要表现在无中高速，工作无力。⑤出油阀严重磨损及出油阀弹簧折断。出油阀严重磨损使配合间隙增大，密封性能被破坏。当停止供油时，高压油管的残余压力降低，在下次喷油时，为使高压油管的油压达到喷油器开启压力，则需要更长的时间，这样喷油时间就滞后了，同时由于出油阀的泄漏，关闭就会提前；如果出油阀弹簧折断，不能使阀芯迅速落座，同样会使喷油时间滞后，从而产生柴油机冒烟没劲、加速性差、功率不足等故障现象。⑥分配柱塞、分配套筒或油量调节套筒磨损，使供油量不足。⑦喷油器有故障。

（4）转速不稳定

1）飞锤架轴向间隙过大，引起怠速游车。

2）调速杠杆球头销磨损、松动及整个杠杆变形，影响油量的稳定性，从而产生调速不良、转速不稳甚至飞车等故障现象。

3）油量调节套筒（泄油环）卡滞。柴油机在不同转速下，调节套筒处在相应的位置，通过其位移的大小来控制油量的大小及停油早晚，但当其卡滞在不同位置时，就会出现无高速/加不上速或者无低速/转速下不来等故障现象；如果调节套筒运动不灵活，就会出现柴油机工作不稳或者加速（降速）慢等现象。此外，柱塞不灵活或偶件密封性差等也会导致该故障。

4）二级输油泵叶片滑动不灵活，造成泵腔压力不稳，引起正时活塞抖动，使柴油机不能稳定工作。

（5）VE 型分配泵卡死原因分析　VE 泵的柱塞，工作时即有压油作用又有分配作用，旋转速度为 1000～2000r/min，每转 1 圈泵油 4～6 次，其配合间隙仅为 3μm，稍有不慎，极易卡死。

卡死位置通常是在 2 个部位。一是柱塞与套筒之间卡死。此时柱塞很可能被扭断，柴油机熄火后，再也无法起动，无油从油泵头喷出，加大节气门也无反应。二是柱塞与油量调节套筒之间卡死。油量调节套筒工作时仅在柱塞表面滑动，并不转动，一旦卡死，油量调节套筒与柱塞同步旋转，而调速杠杆总成上的球头又不让环转动，因此，在强大的回转力矩作用下，球头被挤落，杠杆总成被强行扭弯。在卡死的瞬间，凸轮盘上的定位销有被切断的可能。

1）燃油不清洁是卡死的主要原因：①油中含水或腐蚀性液体，误加入汽油、低品质柴油等，导致锈蚀、破坏润滑油膜，造成卡死。②过滤器失效，微小硬质颗粒进入泵内导致卡死。③油泵长期运转不维护。由于泵安装在柴油机侧面，经常处于高温状态，燃油中烃化合物裂解成微小炭粒，附着在各零件壁上，逐渐积累成微小颗粒，此微小颗粒一旦进入高速运转的精密运动副中，也是造成卡死的原因之一。④泵内缓冲块系橡胶件，长期经受转矩作用，并不断承受冲击载荷，容易老化，老化后易剥落成碎小颗粒，这些小颗粒一旦进入柱塞腔，也有可能使柱塞卡死。

2）调试时操作不当也是卡死的原因之一。柱塞在柱塞套中高速旋转，它们表面之间的润滑与散热，全靠泵油分配过程中泄出的少量燃油进行，一旦无油泄出，柱塞即不能散热与润滑，严重故障即可能发生。例如调试中电磁阀没有接通电源，或接通电源后电磁阀不起作用；再如，在调试停油转速时，试验台长时间运转，大量燃油从油量调节套筒泄出，而无油从分配孔压出。在这些情况下，柱塞与套表面无油润滑与散热，极有可能卡死。

3）热车浇凉水也可能使油泵卡死。正常运行时，油泵一般较热，此时不宜使油泵遭遇凉水，避免泵头外壳收缩导致柱塞卡死。

2. VE 分配泵故障案例分析

案例 1：电磁式断油阀电路中电阻损坏导致柴油机起动后熄火

（1）故障现象　一辆 EQ1141G 型载货汽车，装配的是 VE 型分配式喷油泵。将点火开关转到“起动”位置，柴油机起动，松开点火开关待其自行回到“工作”位置后，柴油机立即熄火。

（2）故障查找分析　首先检查油箱，油量充足。检查低压油路，油路正常。拆开高压油管接头，起动柴油机，检查高压油路，油压充足。怀疑喷油器工作不正常，拆下喷油器，在喷油器手泵试验台上检查，喷油压力和喷雾质量均符合标准。由于起动柴油机检查高压油时油压充足，开始误以为 VE 型分配泵熄火电磁阀（电磁式断油阀）工作是正常的，再次检查熄火电磁阀，发现点火开关处于“工作”位置时，熄火电磁阀的接线柱上无电流通过，检查熄火电磁阀电路，发现电路中的电阻损坏（断路）。

由前述熄火电磁阀的工作原理（见图 5-79）可知，点火开关处于“起动”和“工作”位置，流过线圈的电流通过了不同的线路。将点火开关转到“起动”位置，从蓄电池来的电流直

接流经熄火电磁阀感应线圈，而将点火开关转到“工作”位置时，从蓄电池过来的电流通过电阻后再流经线圈，以避免线圈长时间通过较大的电流而导致过热烧坏。当该电阻断路损坏，起动后点火开关回到“工作”位置时，线圈无电流，阀门关闭高压油路，因而柴油机熄火。

（3）故障排除　更换同型号的电阻，故障排除。

案例 2：电磁式断油阀阀芯尺寸大导致速度下降，行驶无力

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车上安装的喷油泵为 VE 型分配式单柱塞喷油泵（简称 VE 型分配泵），柴油机因喷油泵上的燃油电磁式断油阀（以下简称电磁阀）有缺陷而起动不着。换上一个新的电磁阀，柴油机能顺利起动。然而在汽车行驶中发现行驶速度明显降低，并且行驶无力。于是汽车停驶，并作了如下试验：扳动喷油泵上的操纵臂向增油方向徐徐转动，柴油机转速平稳提高，当柴油机转速增至近 1600r/min，再继续扳动操纵臂向增油方向转动时，柴油机转速不但不提高，反而有所降低，并随之出现了转速忽高忽低、排气管随着转速波动而一股一股地向外冒黑烟的现象。

（2）故障查找分析　根据上述故障现象，我们认为故障的原因可能是新换上的电磁阀仍有缺陷。为此，将喷油泵从车上拆下来，安装到喷油泵试验台上进行检测，其结果是：喷油泵操纵臂在大节气门位置，泵速 300r/min 时，供油正常；当泵速达到 800r/min 时，供油量大幅度下降；当泵速再提高时，喷油泵竟然停止供油了。而后，我们试着将电磁阀阀芯和回位弹簧一起去掉，电磁阀阀体仍装到喷油泵上，经试验喷油泵各种转速供油恢复正常。将原电磁阀拆下，换上一个新的进口电磁阀，经过试验，喷油泵燃油供给或切断正常，各种转速供油量也正常。由此说明原先换上的电磁阀确有缺陷。

将原电磁阀和新的进口电磁阀在电磁吸力、外壳尺寸等方面进行了比较，结果加上规定电压后，电磁吸力相同；外壳尺寸相同，回位弹簧完全一样，唯阀芯尺寸有所差异（新换上的正常阀芯总长度为 25.9mm，如图 5-88 所示，而原阀芯总长度为 26.5mm）。

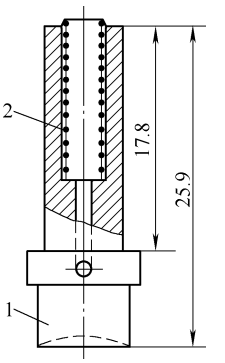


图 5-88　正常阀芯尺寸
1—阀芯　2—回位弹簧

从上述两个电磁阀的比较情况来看，其差异在阀芯总长度上，出现故障的原阀芯比新换上的正常阀芯长 0.6mm。测量电磁阀壳体内径尺寸、安装长度及泵头上电磁阀相应安装孔的尺寸，经过计算，在电磁阀安装到泵头上后，当电磁阀通电开启时，正常阀芯端面距泵头上阀座有 1.9～2.0mm；而故障阀芯端面距泵头上阀座只有 1.3mm 左右。由此说明，由于原阀芯开启高度小，喷油泵在柴油机加速时供油不足，因此柴油机也就达不到预期的转速（最高空转转速只能达到 1500r/min 左右），并且柴油机转速出现波动，功率随之下降，使汽车行驶速度降低，行驶无力。

（3）故障排除　上述喷油泵在换上一个新的进口电磁阀并在喷油泵试验台上校正后，安装到柴油机上。经发动试车，起动容易，柴油机最高空转转速达到 2800 r/min，高速时转速波动现象消除。该汽车经长途运行，表明柴油机运转平稳、功率充足。

案例 3：电磁断油阀阀芯异物导致柴油机不能熄火

（1）故障现象　一辆 EQ1141G 型载货汽车，停车后关闭点火开关，柴油机不能熄火。

（2）故障查找分析　柴油机不能熄火，说明气缸还有燃料供给，据此推断熄火电磁阀工作不良。检查熄火电磁阀电路，未见异常；拆下熄火电磁阀，发现阀芯端面上附有铁屑等异物；将 VE 型分配泵从车上拆下分解检查，发现凸轮盘、滚轮的工作面均磨损出现麻痕。

熄火电磁阀当点火开关处于“OFF”档时，感应线圈电路被切断，电磁吸力消失，在阀芯回

位弹簧弹力和阀芯自身重力的作用下，阀芯向下落座，关闭油路，使柴油机熄火。在上述故障中，由于 VE 型分配泵的凸轮盘与滚轮异常磨损，产生的铁屑随柴油的流动到达阀芯端面被吸附在阀芯端面上，导致点火开关关闭后，阀芯虽向下落座，但关闭不严，仍有少量柴油通过，造成柴油机不能熄火。

VE 型分配泵对柴油品质的要求较高，上述故障中凸轮盘与滚轮的异常磨损，很可能是由于柴油品质不合格，润滑效果差造成的。

（3）故障排除　彻底分解、清洗分配泵的各零部件，更换凸轮盘及滚轮，装复后在喷油泵试验台上进行校正。校正后将 VE 型分配泵装到车上，排除油路中的空气，起动柴油机试车，关闭点火开关，柴油机顺利熄火。

案例 4：调压阀 O 形密封圈损坏导致油路进空气

（1）故障现象　一辆东风 EQ1141G 型汽车，在平坦的路面上行驶时，一切正常；但当汽车上坡时，柴油机出现自行熄火现象。

（2）故障查找分析　经检查，油箱中的柴油充足，但油路中有空气，把空气排除后，柴油机能够起动，可是汽车上坡时，柴油机又自行熄火。于是拆下喷油器，在试验台上检查，喷油器雾化良好、喷油压力正常。对低压油路中的油管、一级输油泵、柴油滤清器等件进行检查，也未发现问题。将 VE 型分配泵从车上拆下，清洗后解体检查，发现调压阀下 O 形密封圈（见图 5-89）外部已与壳体圆柱面相平，密封圈不仅老化，而且严重变形。

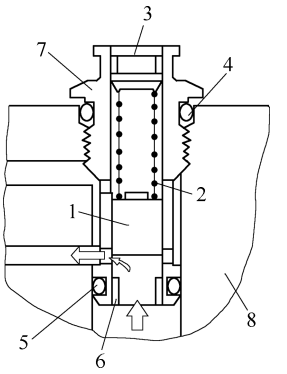


图 5-89　VE 型分配泵调压阀结构
1—活塞　2—弹簧　3—弹簧座
4、5—O 形密封圈　6—挡圈
7—内压控制体　8—泵体

调压阀上 O 形密封圈外部是空气，内部是柴油低压部分并与 VE 型分配泵进油侧相通。由此可知，调压阀上 O 形密封圈的作用是将外部空气与柴油低压油路隔开，防止空气进入到 VE 型分配泵低压油路中。当调压阀上 O 形密封圈因严重老化而出现变形之后，将造成密封不严。当汽车行驶在平坦路面时，油面较深，使进油管下端进油口处静态油压较高。此时一级输油泵和 VE 型分配泵内的二级输油泵将柴油足量地输送到 VE 型分配泵泵室内，以供柴油机正常运转。这时，低压油管及 VE 型分配泵进油口处的油压高于外界大气压，外部空气不会从调压阀上 O 形密封圈密封不严处进入到 VE 型分配泵进油口。当汽车上坡时，汽车前高后低，由于油箱中油面波动、倾斜，以及坡度缘故，可能造成低压油管内和滑片式输油泵进油口处的柴油压力低于外界大气压，外部空气便从调压阀上 O 形密封圈密封不严处进入到 VE 型分配泵进油口，尔后被 VE 型分配泵中的滑片式输油泵吸入到泵室内，最后导致 VE 型分配泵供油中断、柴油机自行熄火。

（3）故障排除　更换调压阀的上、下 O 形密封圈，并按要求将调压阀装复，将装好的 VE 型分配泵在喷油泵试验台上校正后装回到车上，经数次上坡试车，柴油机再没有出现自行熄火现象。

案例 5：低压油道堵塞导致调压阀故障

（1）故障现象　一辆东风 EQ2102 型汽车，喷油泵维修后，行驶约 60km 时，出现行驶无力、时而自行熄火现象，且熄火后柴油机起动困难。

（2）故障查找分析　该车因维修后行驶里程较短，根据故障现象怀疑喷油泵出现故障。将 VE 型泵从车上拆下，清洗后安装到喷油泵试验台上进行检查，发现泵内柴油压力极低，故怀疑 VE 型分配泵的调压阀有问题。将调压阀拆下检查，发现其内部的零件全部脱出。将调压阀、喷

油泵按照要求装复并再次检查试验，发现泵内柴油压力仍然很低；再次检查调压阀，发现调压阀内部零件又全部脱出。更换新的调压阀总成，情况依旧。分析认定调压阀无故障，故障应该是喷油泵低压油道堵塞导致。将喷油泵分解检查，发现喷油泵的进油口处有异物。

在检修喷油泵时，维修人员为防止杂物进入喷油泵内，曾使用棉布堵塞过喷油泵进油口，致使少量棉布掉进了喷油泵的进油道中。车辆行驶一段里程后，棉布被吸到喷油泵的进油口处，并堵塞了部分进油口，使堵塞部位前的油路压力升高。该压力经过调压阀体上的回油孔作用于调压阀顶部，推动滑阀，进而推动弹性座克服其与调压阀体的摩擦力，将滑阀和弹性座推出阀体，同时阀体内弹簧随之脱出，导致输油泵的进油道与出油道直接连通，使泵腔内燃油压力无法升高，喷油泵供油不足；最后体现为柴油机起动困难、行驶无力，并伴有自行熄火现象。

（3）故障排除　将喷油泵进油口处异物清除后，安装到喷油泵试验台进行试验，喷油泵高速运转时泵内燃油压力达到0.8MPa，将喷油泵装车后进行试车，该车起动顺利。

案例6：调压阀活塞卡死导致怠速不稳

（1）故障现象　一辆东风EQ1118G型汽车，柴油机怠速不稳，转速忽高忽低，高速时运转基本正常。

（2）故障查找分析　根据对东风柴油车的维修经验，怠速不稳、转速忽高忽低，一般为VE型分配泵调速部分有缺陷或油量调节套筒在其柱塞上移动不灵活所致。为此，将喷油泵从车上拆下来，首先清洗其外部，然后将喷油泵解体进行检查，结果未发现调速部分有缺陷，油量调节套筒在其柱塞上移动也很灵活。在对喷油泵其他部分进行检查时，发现喷油泵上的供油提前器活塞卡在最大提前角位置上。接着将喷油泵装复后安装到喷油泵试验台上进行检测，又发现喷油泵泵腔压力过高，当泵速为300r/min时，泵腔压力高达0.8MPa（规定为0.2～0.3MPa），拆卸调压阀检查，发现喷油泵上的调压阀活塞卡死在关闭位置上。

由调压阀原理可知，调压阀的作用是控制泵腔内的柴油压力在规定范围内。当作用于活塞上的柴油压力超过弹簧力时，弹簧被压缩，活塞向上移动，当活塞打开调压阀壳体上的回流孔时，泵腔内的压力通过回流柴油进行调节。当喷油泵上的调压阀活塞卡死在关闭位置时，调压阀将失去其功能，致使喷油泵泵腔压力过高。在这种情况下，供油提前角调节器活塞逐渐移至最大供油提前角位置，结果导致喷油泵在柴油机怠速或低速时供油提前角不适当地增大，造成柴油机工作粗暴，并且使得怠速不稳定，转速忽高忽低。

当柴油机工作在高速时，虽然喷油泵供油提前角调节器的活塞同样在最大供油提前角位置，但由于此时喷油泵的供油提前角与柴油机的转速基本相匹配，所以柴油机在高速时运转基本正常。

（3）故障排除　先将喷油泵上的调压阀解体进行维修，使活塞在调压阀壳体内移动自如，然后将调压阀装复，并安装到喷油泵上，再将供油提前角调节器活塞整修灵活，最后将喷油泵在喷油泵试验台上进行测试。通过调整，当泵速为300r/min时，喷油泵泵腔压力达到0.25MPa。喷油泵安装到车上，经发动试车，柴油机怠速平稳，转速忽高忽低的现象消失。

案例7：VE型泵回油螺钉堵塞导致柴油机热车加速困难

（1）故障现象　一部东风EQ1141G型汽车，在炎夏之季，当汽车行驶一段路程柴油机走热后，发现功率明显不足。当汽车行驶遇到障碍降速后再加速时，一次踏下加速踏板，车速难以提高，需踏2或3次加速踏板，车速方能提高。再继续行驶一段路程遇障碍时，无论踏多少次加速踏板，车速总是提高不起来。停车后，直接扳动喷油泵上的操纵手柄向加油方向转动，柴油机转速仍然提不高。经全面检查，燃油路无异处，但喷油泵有过热现象。接着柴油机已不能起动。试着将一桶冷水徐徐地浇在喷油泵上进行冷却，尔后起动柴油机，起动着了，并且也能加速。继续行驶，上述故障现象又出现，这充分说明故障原因是由于喷油泵过热所致。

（2）故障查找分析　东风 EQ1141G 型汽车上装用康明斯柴油机，匹配的喷油泵为 VE 型单柱塞分配式喷油泵。将喷油泵从汽车上拆下来解体，喷油泵各个零件经全面检查和测量，并未发现可疑之处，只是柱塞磨损较重，但这只会造成加速迟缓，而不会导致过热。在清洗回油螺钉时发现堵塞严重，用气吹不通。

在 VE 型单柱塞分配泵回油口上安装的回油螺钉（溢流阀），其结构如图 5-90 所示。在空芯螺钉的中孔安装有一个滤网，在其圆柱面上有一个 ϕ0.6mm 的回油孔。回油螺钉的作用是对返回柴油箱的柴油进行节流以保持泵腔柴油具有一定的压力，并且柴油从回油孔流出能把泵腔内的热量带走以保持泵腔内不致过热；其内的滤网是将回油进行过滤，使柴油里的杂质不能进入油箱内。

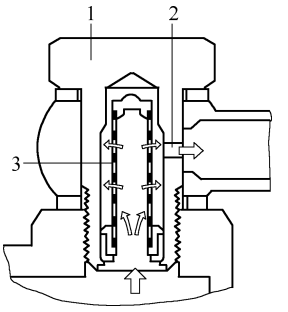


图 5-90　VE 型分配泵回油螺钉
1—回油螺钉　2—回油孔　3—滤网

因此，当回油螺钉严重堵塞后，喷油泵在运转时，泵室内的燃油经回油螺钉处回流油箱的燃油极少，甚至不回油。致使泵室内各配合零件在运转中摩擦所产生的热量不能带走，最终导致喷油泵过热。喷油泵过热后，使泵室内燃油温度也过高，燃油粘度严重降低，在柱塞压油时泄漏太多（柱塞磨损更加大泄漏），供油量大减，所以柴油机转速提高不起来，自然汽车就加不上速。同理，由于起动油量也大减，所以柴油机不能起动。

当喷油泵过热时用冷水降温，将减少喷油泵柱塞在压油时的泄漏，情况会好转，回油螺钉严重堵塞问题不解决，故障现象将不可消除。

（3）故障排除　清洗回油螺钉、回油孔和滤网，重新装复故障消除。

案例 8：回油螺钉装配错误导致无法加速

（1）故障现象　有一部东风 EQ1118G 型汽车，柴油机因起动困难，VE 型分配式喷油泵泵头柱塞磨损而更换了新泵头，并进行了校正。之后，将喷油泵安装到车上，排尽油路中的空气，柴油机起动后怠速运行正常。可是，在怠速的基础上却加不上速，即柴油机转速不仅不提高，而且有熄火的趋势。数次试验均如此，将喷油泵从车上拆下来重新进行校正，结果依旧。

（2）故障查找分析　将重新测试的喷油泵安装到车上，当安装喷油泵上的回油管时，发现回油螺钉是一个一般的空心螺钉。又经仔细检查发现柴油滤清器出油口上安装的是回油螺钉。在柴油滤清器进油口上安装的是出油口上的空心螺钉。

事实上，喷油泵上的回油螺钉与一般的空心螺钉是不同的（见图 5-90）。其回油孔有节流作用。而柴油滤清器出油口上的空芯螺钉与一般的空心螺钉也不一样，在其上面还有一个小空心螺钉，这个小空心螺钉是用于柴油滤清器放空气。当上述 3 个不同空心螺钉的位置安装错误后，将对进入喷油泵泵腔内的柴油进行节流，造成进入喷油泵内的柴油量大量减少。进入喷油泵内的柴油量能够维持着怠速运转，但是在怠速运转的基础上，再增加柴油机转速时其油量就不够用了，故导致柴油机无法加速。

（3）故障排除　重新按要求装复回油螺钉、空心螺钉等到正确位置，故障消除。

案例 9：供油提前角自动调节器活塞行程过小导致车辆在行驶中加速缓慢

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车，在行驶中加速缓慢，经拆卸和校正喷油泵，检测各转速下供油均正常，但仍然加速缓慢。

（2）故障查找分析　拆检 VE 型分配式喷油泵上的供油提前角自动调节器（见图 5-80），其内部活塞移动自如。进一步检查发现，当喷油泵转速为 1300r/min 时，泵腔燃油压力只有 0.6MPa，而规定值为 0.81～0.87MPa；再测量供油提前角自动调节器活塞行程，当喷油泵转速为

1300r/min 时，活塞行程为 1mm，但规定值为 1.7～2.5mm。

泵腔燃油压力过低，提前角自动调节器弹簧的预紧力过大，均会使提前角自动调节器的活塞行程减小。活塞行程减小后，喷油泵在中、高速时的供油提前角相对减小，燃油不能在上止点附近燃烧，造成后燃等不利影响，使柴油机功率发挥受到影响，也影响了加速性能。

（3）故障排除　当喷油泵转速为 1300r/min 时，将泵腔燃油压力调到 0.9MPa；调整后，测量该活塞行程，比调整前增加了一些，但仍未达到规定值。为使活塞行程达到规定值，又通过减少该活塞弹簧处的调整垫片来降低弹簧的预紧力，直到活塞在喷油泵转速为 1300r/min 时的行程为 2.4mm。将喷油泵装车路试，加速良好。

案例 10：VE 型喷油泵柱塞与套筒抱死扭断

（1）故障现象　一台东风 EQ1141 平头货车，装配康明斯 6BT5.9 型柴油机，喷油泵为 VE 型高压分配泵。该车由于柴油机气门头断裂到某汽车修理厂进行修理。在柴油机修理完成冷磨 4h 后，由低速 300r/min 升到 900 r/min 左右时，突然听到喷油泵一侧发出“嘎巴”一声，同时看到喷油泵泵头处冒出一股白蓝色烟。拆检后发现，喷油泵的柱塞与套筒相互抱死并被扭断。

（2）故障查找分析　此事故发生的原因与曲轴抱瓦是一个道理，有三种可能：一是柱塞与套筒的间隙过小；二是柱塞副之间进入杂质；三是缺少润滑。在冷磨过程中。维修方没有将低压柴油管连接到喷油泵上，因而在冷磨过程中也就不可能有柴油进入喷油泵中去；也就是说，在冷磨时燃油泵的调速器和泵头（分配阀总成）都没有柴油进行润滑和冷却，造成干摩擦，导致事故发生。修理方冷磨过数十台康明斯柴油机，从来未连接过低压柴油管，也没有发生过这种事故，但这实属侥幸。因为这类喷油泵的调速器、分配阀总成和出油阀在工作时都是靠柴油润滑的，故在冷磨前必须将低压柴油管接到分配泵上，并用手动输油泵将喷油泵泵满油后方可开始冷磨。修理方以前的违规操作未出问题，这里有两种可能：一是燃油分配泵内残留的柴油较多没有流掉，这与喷油泵拆装过程中摆放方式有关（柴油是否能够流出来）；二是与泵头上的电磁阀是否拆掉有关，因为电磁阀在断电情况下可将油道堵死，分配阀总成内柴油是流不出来的。如果卸掉了电磁阀，阀内柴油流出来（修理方此次卸掉了电磁阀）必然会出现上述事故。

冷磨时间 4h 也偏长。按交通部有关规范，冷磨只需 2h，热磨 1.5h。长时间冷磨且泵体中无柴油，无法润滑与冷却柱塞将造成柱塞被抱死。

案例 11：VE 型分配泵油量控制套筒卡死导致不能起动

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G6D1 型汽车，行驶里程达到 7.5 万 km 时停车后，柴油机突然出现起动不着的故障。

（2）故障查找分析　检查电路，没有问题；检查油箱、油管和燃油滤清器，也没有发现漏油、进气现象。将燃油滤清器拆下检查，发现里面有很多杂质（燃油渣）。更换燃油滤清器，并将油箱里的燃油换成沉淀过的清洁燃油，排除低压和高压油管里的空气后，起动柴油机，柴油机仍然不能着车。将高压油管拆下，用起动机起动柴油机，发现高压油管里只有少量的燃油流出，而且没有油压。根据这一现象分析，判断故障很可能出现在高压油泵。

该车使用的是 VE 型分配泵，拆下高压油泵并分解检查，发现其柱塞和油量控制套筒（油量调节套筒）卡滞。拆下柱塞和油量控制套筒，发现柱塞上有轻微的拉伤，油量控制套筒孔也有被杂质拉伤的痕迹。因此，分析故障原因可能是 VE 型分配泵的油量控制套筒正好卡死在柱塞上的溢油口处时，柱塞上方压油腔的燃油经轴向油道，通过溢油口流回壳体油腔内，柱塞上方压油腔的燃油不能产生高油压，所以分配泵上没有高压油流出。造成这个故障的主要原因是燃油清洁度不够，油质较差。

（3）故障排除　将柱塞、油量控制套筒用研磨膏进行研磨，直到油量控制套筒能够在柱塞上灵活自如地前后移动为止。装复分配泵，在试验台上试验，供油良好。将分配泵装复到柴油机

上，柴油机能够顺利起动。

案例 12：柱塞磨损比较严重导致供油不均

（1）故障现象　有一部东风 EQ1118G 型汽车，发现行驶速度由低速向中速过渡时柴油机振动较大，同时排气声音异常。停驶后，柴油机在怠速时运转平稳，由怠速向中速过渡时柴油机振动较大。初步认为是喷油器工作不良，为此，将 6 个喷油器从柴油机上拆下进行清洗校正，结果 6 个喷油器雾化良好，仅喷油压力有差异（差值为 1MPa 左右）。将 6 个喷油器通过调整内部垫片厚度将喷油压力调至 25MPa（规定为 24.5～25.3MPa）。装车试验，结果故障依旧。

（2）故障查找分析　根据上述故障现象，问题可能出在喷油泵上（该柴油机上匹配的喷油泵为 VE 型分配式喷油泵）。将喷油泵从车上拆下，经清洗后，装到喷油泵试验台上进行测试检查。发现喷油泵在怠速时各缸供油量基本一致，可是喷油泵在 800r/min 时的供油量：第 2 缸为 4mL/100 次供油，第 6 缸为 8mL/100 次供油，其余缸为 7mL/100 次供油，各缸供油量差值较大，不是正常现象，因为分配式喷油泵供油均匀性好是它的一大特点。

将这台分配式喷油泵解体进行检查，结果发现柱塞磨损比较严重，并且发现柱塞头部各进油槽边缘磨损程度不一致，导致上述中速时出现供油差距较大、中速运转不稳、振动大、排气管排气声音异常现象。

（3）故障排除　根据上述的检查和分析，更换了一个新品泵头，并在喷油泵试验台上进行调试。装车后故障现象消除。

案例 13：VE 泵油量控制套卡滞导致某个转速“游车”

（1）故障现象　有一辆东风 EQ1118G 型汽车，装配 VE 型分配式喷油泵。柴油机工作于某一转速时，出现转速忽高忽低现象，并且在汽车空载时较轻，载货时较重，特别在上坡时更严重。

（2）故障查找分析　上述故障现象一般出在喷油泵上，是喷油泵上的调速器有问题或柱塞油量控制套在柱塞上移动不灵活。为此，将喷油泵从车上拆下进行外部清洗，并检查了外部附件，未发现异常。将 VE 型泵解体进行检查，结果发现柱塞油量控制套在柱塞中、大油门位置上移动卡滞。调速器及其他零部件未发现异常。

由 VE 型泵调速器工作过程可知，当调速手柄定在某一位置时，柴油机转速升至某个值，此时调速器飞锤的离心力与调速弹簧的拉力达到了平衡。而此时若油量控制套筒在柱塞相应位置移动卡滞，就不能随转速变化而及时变化其位置。当转速升高时不能及时加油，直至转速更高调速器飞锤离心力更大时才能通过杠杆机构使油量控制套移动；而转速降低时，只有转速更低时弹簧力才能使油量控制套在柱塞上向减油方向移动，致使柴油机转速不能及时恢复到原来的转速，出现柴油机转速忽高忽低现象。

（3）故障排除　将互研膏涂于 VE 型泵柱塞上，然后，将油量控制套筒套在柱塞上进行互研，直至控制套在柱塞上移动灵活为止。再将 VE 型泵全部零部件彻底清洗干净后装复，并在喷油泵试验台上进行调试后装到车上。该汽车柴油机经过柴油试车和长途运输，结果表明故障现象不复存在。

案例 14：VE 型泵调速杆球销变形导致柴油机转速下降

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车，曾发生过柴油机突然熄火故障。经排查，是由于 VE 型分配泵柱塞卡死在泵头内，造成凸轮盘上的驱动销折断所致。更换 1 个新的泵头和 1 个新的凸轮盘后，将分配泵装复，并装入喷油泵试验台进行校正，校好后装车，经试车一切正常，于是又将该车投入使用。但当继续行驶了约 600km 时，柴油机最高转速降至 1700r/min 左右（额定转速 2600r/min）。

（2）故障查找分析　由于该车喷油泵维修后只行驶约 600km 就出现上述故障，仍怀疑喷油

泵有问题。于是又将喷油泵拆下，将其装到喷油泵试验台上进行检测，发现该泵在各转速下的供油量均较少。因此，将喷油泵分解，对每个零部件进行仔细检查，发现调速杠杆上的球销已变形(向减油方向歪斜)，且稍用力就能使球销相对于调速杠杆转动。

分析认为，VE 型分配泵柱塞卡死后，使控制套在柱塞上移动受阻，造成调速杠杆上的球销变形（向增油方向歪斜)。由于该泵装入喷油泵试验台上校正时是在球销向增油方向歪斜的状态下进行的，所以该泵装车后经试车一切正常。但该车行驶一段里程后，由于球销在驱动控制套前、后移动时受力，造成球销与调速杠杆的配合松动，并使球销相对于调速杠杆转过一定角度，使得球销由原先向增油方向歪斜变成向减油方向歪斜，所以柴油机转速也逐渐下降。

（3）故障排除　更换 1 个新的调速杠杆总成，并将该泵装复、校正后装车，经试车，一切正常。

案例 15：VE 型分配泵传动轴键脱落导致自行熄灭，无法起动

（1）故障现象　有一辆东风 EQ1118G 型汽车，因柴油机起动困难而更换了 VE 型分配泵泵头。更换泵头后，柴油机起动容易、加速灵敏。但当汽车正常行驶约 80km 后，柴油机自行熄火，再也无法起动。

（2）故障查找分析　经检查，柴油低压油路无空气。用起动机带动柴油机转动，高压油管出油，安上喷油器也喷油，但柴油机不着车。初步判断，问题可能在 VE 型分配泵内部。

将 VE 型分配泵从车上拆下，拆下时发现传动轴上没有键。由于该 VE 型分配泵传动轴上相应的键槽磨损变宽，造成键在键槽内紧度不够。当将 VE 型分配泵安装到柴油机上时，把传动轴上的键碰掉了。这样 VE 型分配泵齿轮上的锥孔与 VE 型分配泵传动轴上的锥体吻合后，仅靠传动轴上的螺母将二者固定在一起。经过一段时间受力，其内孔与 VE 型分配泵传动轴锥体之间逐渐失去紧度而产生相对转动，致使 VE 型分配泵供油时间严重落后，柴油机被迫自行熄火，并且起动不着车。

（3）故障排除　将一个同型号的新键安装在传动轴上，并将键面用喷针尖打毛以增加键的厚度，经检查紧度合适。将 VE 型分配泵安装到车上，在排除低压油路中的空气、又排除高压油管中的空气后，柴油机顺利起动工作正常。

案例 16：分配头柱塞套长形进油孔堵塞导致功率严重下降

（1）故障现象　有一辆东风 EQ1118G 型汽车，车用康明斯 6BT114B-011 型柴油机上匹配的喷油泵为德国波许公司的 VE-14 型分配泵。在行驶途中突感柴油机功率严重下降，车速提不起来。

（2）故障查找分析　停车检查，发现油路中无空气，VE 型分配泵上的供油电磁阀工作正常，供油正时经核对无误，喷油器开启压力正确，雾化良好，柴油机气门间隙无误，气缸压缩力亦在规定范围内。

根据上述故障现象及检查情况，分析认为，问题可能出自 VE 型分配泵。将 VE 型分配泵从车上拆下，清洗、解体，对 VE 型分配泵的每个零、部件及其油道进行仔细的检查，最后发现泵头泵套上的长形进油孔（见图 5-91）上卡有一节残胶圈（残胶圈长约 5.5mm，直径为 2mm)，当 VE 型分配泵泵头泵套上的长形进油孔被一段残胶圈堵塞后，从此处进入的油量将大量减少，在柴油机起动和怠速时，由于泵速低，因此进入的油量还够用，能起动着车和能维持怠速运转。但在全油门时，因节流作用大，从泵头泵套上的进油孔进入的油不够，柴油机出现功率严重下

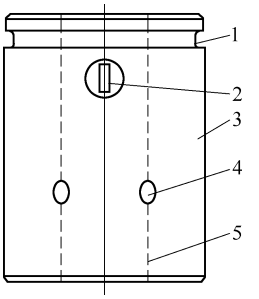


图 5-91　VE 型分配泵头柱塞套
1—卡簧槽　2—进油孔　3—泵套
4—出油孔　5—泵套内孔

降，汽车转速提不起来的故障现象。

（3）故障排除　根据上述故障原因，将泵头泵套上的进油孔上的残胶圈清除，并将 VE 型分配泵零、部件装复。之后将该 VE 型分配泵装到喷油泵试验台上进行测定，结果表明该 VE 型分配泵各转速供油量恢复正常。然后再将该 VE 型分配泵装到车上，经运行试验各转速均运转正常。该汽车经长途运输显示柴油机功率充足。

案例 17：VE 型分配泵传动轴油封漏油导致油底壳油面上升

（1）故障现象　有一辆东风 EQ1141 G 型汽车，发现柴油机油底壳内的机油有增多现象。

（2）故障查找分析　经过检查认为是 VE 型分配泵传动轴油封老化所致，为此，更换了一个新品油封装复。可是更换新油封后柴油机油底壳内的润滑油仍有增多现象。一连换了几个新品油封也解决不了问题。

针对上述故障现象，将 VE 型分配泵从车上拆下，清洗后进行彻底检查，观察到 VE 型分配泵传动轴安装油封处有明显的螺钉顶的痕迹。之后将传动轴油封拆下发现油封安装孔变形，位置就在螺钉的痕迹处。VE 型分配泵传动轴油封安装孔产生变形，在油封装入后油封外圆与油封安装孔贴合不严实，当 VE 型分配泵工作时，油封内端面处具有一定压力的柴油就会从油封外圆与油封安装孔间漏入柴油机油底壳内，导致润滑油增多。

（3）故障排除　用刮刀修整 VE 型分配泵传动轴油封安装孔变形处。用完整的旧油封试装，如果发现旧油封外圆有摩擦痕迹，应将旧油封外圆有摩擦痕迹处与油封安装孔对应处作一步修整，直至无摩擦痕迹为止。修整并清洗后可进行安装新品油封。在安装油封之前可在油封外面涂薄薄一层密封胶，然后装复，使油封外端面与油封安装孔外端面平齐即可。

该 VE 型分配泵传动轴油封装复后，装到喷油泵试验台上进行运转试验，在 VE 型分配泵高速较长时间运转，泵腔柴油压力达到 0.8MPa 时，油封无渗漏现象。装车后，经柴油试车和长途运输表明，油底壳内机油增多现象消除。

当拆卸 VE 型分配泵传动齿轮时必须按规范进行，否则可能导致传动轴油封安装孔变形。VE 型分配泵传动齿轮端面上有 2 个螺孔，在不熟悉 VE 型分配泵拆卸规范的情况下，拆卸者会将这 2 个螺孔误认为是顶丝孔。通过两螺孔拧入 2 个螺钉，使 2 个螺钉的一端顶在 VE 型分配泵传动轴油封安装孔的端面上，将传动齿轮顶出，致使 VE 型分配泵传动轴油封安装孔顶变形。而 VE 型分配泵传动齿轮端面上的 2 个螺孔是供专用工具将传动齿轮拉出而设置的。正确拉出传动齿轮的步骤如下：① 将柴油机定时齿轮室盖上 VE 型分配泵传动齿轮的检视孔盖拧下，然后用 22 号套筒扳手拧下 VE 型分配泵传动齿轮固定螺母。②将专用工具（见图 5-92）上的 2 个螺栓通过支承板上的两个螺栓导向长孔穿入，然后分别拧入到传动齿轮端面上的 2 个相应螺孔内。③将顶丝头部对准 VE 型分配泵传动轴中心孔拧入，即可将传动齿轮拉出。如果在拉出时拧动顶丝的扭力矩感到很大，但是传动齿轮还未拉下，说明传动齿轮上的锥孔与传动轴上的锥体结合得太紧。此时，可用榔头敲击几下顶丝端头（或敲击几下顶丝），传动齿轮就会从传动轴上脱下。

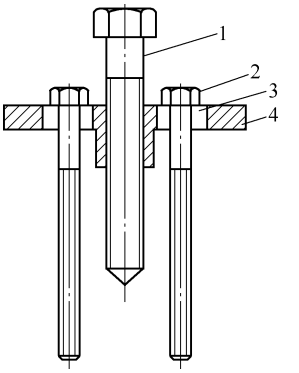


图 5-92　VE 型分配泵传动齿轮拆卸专用工具
1—顶丝　2—螺栓
3—螺栓导向长孔　4—支承板

案例 18：增压补偿器校正销动作卡滞导致柴油机加速迟缓

（1）故障现象　一辆 EQ1141G 型柴油汽车，柴油机配备 VE 型分配泵，因分配泵上的增压补偿器膜片下腔通气孔处漏柴油而进行修理，修理后发现柴油机功率明显下降，加速迟缓。修理

前汽车行驶有力，加速也快，修理后漏油问题解决了，却出现了上述新问题。

（2）故障查找分析　从车上拆下 VE 型分配泵，装到喷油泵试验台上进行检查，分配泵各转速下的供油量均符合标准，但是高速时在增压补偿器进气口处通入 0.1MPa 的压力空气后，其供油量没有增加。拆下增压补偿器进行检查，发现增压补偿器中的校正销（触针 6，见图 5-86、图 5-87）被卡在导向轴套内。分解校正销总成，发现校正销与其上的 O 形密封圈配合过紧。

该车装配康明斯 6BT 柴油机（增压柴油机），该增压柴油机配备 VE 型分配泵并采用了增压补偿器。校正销一端在泵腔与压力柴油接触，一端在橡胶膜片下腔与空气接触。当发现通气孔向外漏油时，说明校正销中部的 O 形密封圈已老化或损坏，致使泵腔内的压力柴油从校正销和老化或损坏的 O 形密封圈之间进入膜片下腔，而后从通气孔处漏出。

而更换的新 O 形密封圈与校正销不配套，两者配合过紧，校正销被卡在导向轴套内，使校正销不能在补偿器阀杆的锥面上移动，使增压补偿器不起作用，导致在气缸进气量增加时，其供油量没有得到相应的增加，从而造成柴油机功率明显下降，加速迟缓。

（3）故障排除　更换与校正销配套的 O 形密封圈，修复后故障现象消除。

案例 19：增压补偿器漏油导致柴油机转速失控

（1）故障现象　有一辆 EQ1118G6D 型汽车柴油机由高速降到低速时，降速很慢，且柴油机在高速运转时转速有自行升高现象。

（2）故障查找分析　将 VE 型分配泵分解检查，经检查调速器部分无缺陷。根据上述故障现象和检查结果，认为柴油机除了 VE 型分配泵正常供给柴油外，可能有额外柴油进入柴油机燃烧室。检查柴油机起动预热系统，工作正常，不存在漏油现象。最后将 VE 型分配泵增压补偿器与柴油机进气管之间的连接管拆下，发现该连接管接头处有油滴滴出，据此判定增压补偿器有故障。

将增压补偿器分解检查，发现增压补偿器膜片破裂；校正销上的橡胶密封圈老化，引起密封不严；增压补偿器通气塞处较脏，已造成通气塞堵塞。当增压补偿器校正销上的橡胶密封圈老化，又遇增压补偿器膜片下室与外界的通气孔堵塞时，泵腔内的压力柴油通过校正销与橡胶密封圈的密封不良处进入膜片下室，冲破膜片进入膜片上室，通过膜片上室与柴油机进气管之间的连接管进入燃烧室，使得燃烧室得到一些额外燃油。由于这部分燃油不受节气门控制，造成柴油机在高速转动和降速时出现失控现象。

（3）故障排除　更换新的增压补偿器膜片和校正销上的橡胶密封圈，疏通通气塞，并将该泵装入试验台上调试后装车，上述故障得以排除。

案例 20：VE 型泵二级输油泵滑片卡死导致无法加速

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118 型载货汽车，柴油机为康明斯 6BT，行驶速度在 60km/h 以下时，工作正常。但加速却加不上去，于是送厂检修。

（2）故障查找分析　经检查油路后确定是喷油泵故障，此泵是 VE 型分配泵。将油泵装在试验台上检查，发现转速在 2000r/min 以下时，出油正常；超过 2000r/min 后，有 2 个缸出油开始减少，至 2600r/min 时，这 2 个缸便完全停止供油。通过解体喷油泵，发现其输油泵的 1 个滑片卡死。

VE 型分配式喷油泵采用滑片式输油泵，其构造如图 5-93 所示，它由转子、偏心环（外圈）、滑片、输油泵盖等零件组成。偏心环中心和转子中心之间存在着一个偏心，滑片装在转子槽内能灵活滑动。当转子在传动轴驱动下旋转时，滑片在其离心力的作用下向外甩开，使外端紧贴偏心环内表面起密封作用。这样在偏心环、转子、滑片、输油泵盖和泵体内端面之间形成了 4 个密封空间。随着转子转动，由于偏心的影响每个密封空间的容积不断发生变化（见图 5-75），当转子

与偏心环的间隙不断加大，两滑片之间包络的工作容积不断加大时，将形成局部真空，从而将柴油从进油口吸入腔内。当转子与偏心环的间隙不断减小，两滑片之间的容积逐渐缩小时，柴油被压缩，并从出油口排到泵室内，向泵室内提供所需的油压及流量。

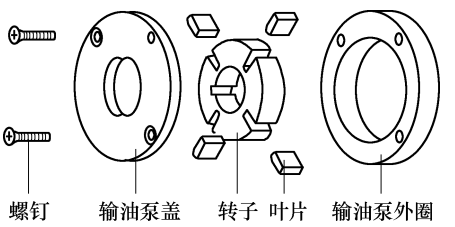


图 5-93　VE 型泵采用滑片式输油泵的构造

当滑片式输油泵的 1 个滑片卡死在转子槽内后，原来构成的密封空间连通在一起，可以将进油口和出油口沟通，使得泵腔内刚增加的一些压力又被卸压。因此，泵腔内的柴油压低。只能满足柴油机在中速运转。

（3）故障排除　修磨后，故障排除。

案例 21：VE 型分配泵二级输油泵安装不当导致高速不供油

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车，柴油机最高转速只能达到 1600r/min，功率严重下降。初步认为是柴油机上匹配的 VE 型分配式喷油泵有问题。将 VE 型分配泵从车上拆下清洗，在喷油泵试验台上校正，发现当操纵手柄在大油门位置，泵速 800 r/min 以上时，喷油泵就逐渐不供油了，与柴油机上的故障一致。

将喷油泵进行解体检查，发现泵头柱塞磨损严重，滑片式输油泵磨损也比较明显，且调压阀活塞卡在开启位置，调压阀下部密封圈老化，已不起密封作用。为此解体调压阀进行彻底清洗，直至活塞在阀内灵活移动为止，组装好调压阀，并更换新品密封圈。同时更新了泵头和输油泵。

当将 VE 型分配泵装复后在喷油泵试验台上校验时，泵速 300r/min 供油正常，但是，当操纵手柄放置到大油门，逐渐提高泵速至 400r/min 以上时，喷油泵供油就逐渐中断，经过几次试验均如此。这时认为，VE 型分配泵上的供油电磁阀可能有问题。将供油电磁阀阀芯及回位弹簧摘掉，重新试验，故障依旧。后来又将 VE 型分配泵拆装两次进行检查，结果未发现问题，故障也未解决。

（2）故障查找分析　经过分析，认为新装的 VE 型分配泵内滑片式输油泵可能有问题，滑片可能卡在转子槽内。遂将 VE 型分配泵再次解体，经检查，滑片在转子槽内并未卡滞，而是移动灵活。该 VE 型分配泵在未换件之前，上喷油泵试验台试验，泵速 800r/min 以上时，喷油泵逐渐停止供油，可是经过更新泵头和输油泵，修复调压阀之后，再上喷油泵试验台试验，泵速 400r/min 以上时，喷油泵就逐渐停止供油了。故障没有得到解决，怀疑是新换上的泵头和输油泵在质量上和装配位置上有问题。为此就将 VE 型分配泵重新解体，经过检查，换上去的新泵头没有发现有缺陷，并且安装位置无误。换上去的新输油泵，泵盖没装错，滑片在转子槽内装配位置也正确。当检查到偏心环时，发现装配位置有误，将偏心环的装配基准孔装在（面对 VE 型分配泵传动轴）了左边，这就是故障的根源。

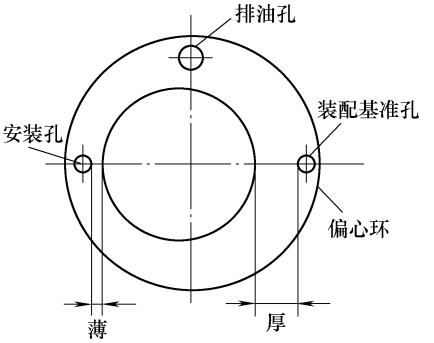


图 5-94　VE 型分配泵上的偏心环

VE 型分配泵上的偏心环（见图 5-94）上有 2 个安装孔和 1 个排油孔。偏心环的安装孔（相对的二孔）对偏心环内壁并不是等距离的。制造厂规定，把内壁较厚的安装孔作为装配偏心环的基准孔。偏心环装配于泵壳内，其正确方向是：当 VE 型分配泵的转动方向为右（标记为 R）时，从传动轴方向看输油泵，偏心环上的装配基准孔在泵壳内应位于右侧；当 VE 型分配泵的转

动方向为左（标记为 L）时，偏心环上的装配基准孔在泵壳内应位于左侧。当偏心环不按上述规定左右装反时，输油泵将不会排出油。东风 EQ1118G 型汽车柴油机上的 VE 型分配泵传动轴转动方向为右转，安装时却将输油泵上的偏心环装配基准孔装在泵壳内左侧。

当输油泵上的偏心环在泵壳内的位置装错以后，输油泵失去输油功能，不向泵腔内输油。校泵时，泵腔内的柴油是喷油泵试验台上配置的专用输油泵提供的 0.02MPa 压力柴油。当泵速较低时，进入泵腔内的 0.02MPa 压力柴油还能够供应上，但当泵速增至 400r/min 以上时，泵腔内就出现逐渐断油现象。

（3）故障排除　将输油泵上的偏心环正确装配到泵壳内，再在喷油泵试验台上进行校正，经检测，泵腔内柴油压力显示正常。将 VE 型分配泵的各项指标核准后，再将该泵安装到车上，经柴油试车，柴油机空转转速可达 2800 r/min，该汽车经长途运输，一切正常。

案例 22：一级膜片式输油泵故障导致汽车无法加速

（1）故障现象　有一辆东风 EQ1141G 汽车，VE 型分配泵校泵后柴油机起动顺利，怠速运转平稳，但一加速柴油机就熄火。

（2）故障查找分析　检查低压油路无阻塞现象。经分析认为，校泵前用户反映只是柴油机功率有所下降，没有反映无法加速问题。经询问用户得知在校泵期间用户换了一个一级膜片式输油泵（该膜片式输油泵安装在机体上，由柴油机配气凸轮轴上的偏心轮驱动）。该类型输油泵具有手动输油和自动输油两种功能。使用中手动部分能向 VE 型分配泵内输油，故怀疑输油泵自动部分有故障，更换一个新的一级膜片式输油泵装复，将油管连接好，并用手动泵排除油路中的空气。柴油机经过运行试验表明，起动顺利，怠速运转平稳，加速时柴油机不再熄火，并且高速运转正常。

案例 23：喷油器针阀卡死导致 VE 型泵进空气，柴油机不能起动

（1）故障现象　一辆 EQ1141G 型载货汽车，起动时起动机工作正常，但柴油机无法起动。

（2）故障查找分析　首先检查低压油路，油路工作正常；拆开各缸高压油管接头，接通起动机，发现出油压力较低，并有气泡冒出，从柴油机上拆下喷油器检查，发现第 2 缸喷油器针阀卡死在开启位置。

该车装配的 VE 型分配式喷油泵，其泵头上安装的出油阀与其他类型喷油泵上的出油阀相比有明显不同。一般出油阀上都有密封锥面和减压环带，前者起单向阀的作用，后者起降低高压油管剩余油压的作用。而康明斯柴油机 VE 型分配泵上的出油阀（具有油量校正作用的出油阀），如图 5-95 所示，由于在出油阀芯密封锥面上铣削去一部分，故该出油阀只能起降低高压油管剩余油压的作用，而不能起单向阀的作用。在出油阀减压带上磨出一个或多个小平面，其目的是分配泵在低转速供油时，柴油可通过小平面与阀座之间的间隙流入高压油管，使出油阀的升程和减压行程都相对减小，卸载油量随之减少，实际供油量增加；高转速供油时，由于节流作用增大，通过小平面间隙流入高压油管的柴油相对减少，出油阀升程和减压行程都相对增大，卸载油量增加，实际供油量减少。这样，当分配泵调速手柄处在全负荷位置时，供油量具有随转速下降略有增加的校正特性，正好满足了柴油机转矩储备的要求。

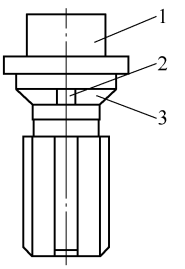


图 5-95　VE 型分配式喷油泵上的出油阀
1—出油阀芯
2—铣削部分　3—锥面

所以，当第 2 缸喷油器针阀卡死在开启位置后，第 2 缸中的高压气体会通过喷油器、高压油管进入喷油泵内。此外，由于 VE 型泵为单柱塞式喷油泵（即一个柱塞依次向各个气缸供油），因此导致各缸供油压力均不足，使柴油机无法起动着车。

（3）故障排除　将第 2 缸的喷油器针阀及阀体进行清洗和研磨，使针阀在阀体内的滑动性

达到要求。装复喷油器并在喷油器手泵试验台上调试，使喷油器喷油压力和喷雾质量均符合要求。将喷油器装到柴油机上，排除油路中的空气，接通起动机，柴油机立即成功起动。

案例 24：泵头螺塞密封不严导致柴油机不能起动

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车，因柴油机不能正常起动而进厂报修。据驾驶员反映，该车柴油机每次起动时，必须先拧下供油电磁阀，拆装供油电磁阀的阀芯及回位弹簧后才能起动柴油机。具体过程是：初次起动柴油机时，要先拆下阀芯及回位弹簧，然后起动柴油机，但当汽车行驶 50km 停车后，再次起动时，柴油机又起动不着，此时又要将阀芯及回位弹簧装回电磁阀内，柴油机才能起动。起动时能听到阀芯正常工作的声音。

（2）故障查找分析　先将其 VE 型分配式喷油泵从车上拆下来，装到喷油泵试验台上试验。试验结果起动供油量正常，供油电磁阀及电路也均正常，在较长时间的试验中无断油现象。

将喷油泵解体检查，发现泵头上的三角螺塞（见图 5-96）拧紧力矩仅为 19.6N · m（规定值为 58.8 ~ 78.5N · m），且三角螺塞的圆形密封带上出现麻点，其上的密封圈老化，出现裂纹。

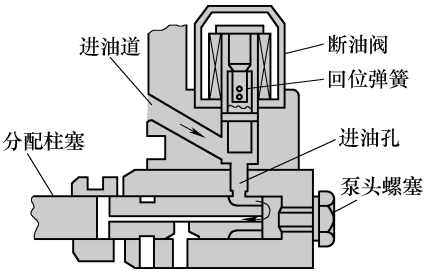


图 5-96　VE 型泵头上的三角螺塞

由于以上原因，造成泵头柱塞上部燃油高压腔、低压腔与外界空气之间密封不严。在柴油机熄火，电磁阀断电切断柱塞供油后，喷油泵由于柴油机运转惯性会空转一会，泵头柱塞下行时，在柱塞上端面与三角螺塞下端面之间的空间将形成真空，此时外界空气因压差而进入泵头柱塞上方。在这种情况下，即使泵腔内无空气也起动不着柴油机。在供油电磁阀开启时，泵头柱塞上方的空气也不能排出，柴油机同样不能起动。

车辆报修前，每次起动之前先拧下供油电磁阀，取出或装回阀芯和回位弹簧后柴油机能起动，是因为拧下供油电磁阀后，泵头柱塞上方的空气就会排到外界，泵腔内的燃油就能充满泵头柱塞上方及中心油道，所以拆装供油电磁阀后柴油机能起动。

（3）故障排除　更换新的三角螺塞和密封圈，用 78.5N · m 的拧紧力矩将三角螺塞拧紧。将喷油泵装复后在喷油泵试验台上校正。校好后装到车上起动试车，柴油机每次都能顺利起动。

第六章　润滑系统构造及故障分析

第一节　康明斯柴油机润滑系统构造

一、润滑系统的功用及润滑方式

1．润滑系统的功用

柴油机工作时，运动件的表面间有高速的相对运动，如曲轴与主轴承、活塞与气缸壁、凸轮轴与凸轮轴轴承、气门与气门导管、正时齿轮副的齿轮之间等等。零件的表面即使在精密加工后仍有一些粗糙度，当这些表面作相对运动时，会产生阻碍运动的摩擦力。

如果金属表面间是直接摩擦，摩擦力将很大，会增大柴油机功率消耗，零件工作表面将迅速磨损，而且摩擦产生大量的热甚至可能使某些零件的表面熔化。为避免发生上述现象，柴油机必须有润滑系统。

润滑系统的主要功用就是在柴油机工作时连续不断地把数量足够、温度适当的洁净润滑油以一定的压力输送到各运动摩擦表面，并在摩擦表面形成油膜，减少摩擦阻力、降低功率消耗、减轻零件的磨损，以达到提高柴油机工作可靠性和耐久性的目的。另外，润滑系统除润滑作用外，还有冷却、清洗、密封和防锈作用。

2．润滑方式

由于柴油机各运动副的工作条件不同，对润滑强度的要求也不同，采用的润滑方式主要包括：

（1）压力润滑　对负荷大，相对运动速度高的摩擦面，例如主轴承、连杆轴承、凸轮轴轴承和气门摇臂轴（因位置偏高）等都利用机油泵采用润滑强度较大的压力润滑。

（2）飞溅润滑　对外露表面、负荷较小的摩擦面，例如凸轮与挺杆、活塞销与销座及连杆小头等，一般采用飞溅润滑。即依靠从主轴承和连杆轴承两侧漏甩出的润滑油和油雾来进行润滑。

（3）喷油润滑　某些零部件如活塞的热负荷非常重，如康明斯柴油机，在活塞下方的主轴承座上装了一个活塞冷却喷嘴，将润滑油向上喷到活塞的底部来冷却活塞。但一般低负荷的发动机，活塞与气缸壁之间虽然工作条件较差，为了防止过量润滑油进入燃烧室而使柴油机工作恶化，都采用飞溅润滑。事实上喷油润滑与飞溅润滑没有本质区别。

（4）复合式润滑　复合式润滑是同时采用上述三种润滑方式中的两种或三种的供油方式，分别对柴油机各摩擦表面的润滑。现代多缸柴油机普遍采用这种润滑方式，不但工作可靠，而且可使整个润滑系统结构简化。

柴油机的某些辅助装置（如风扇、水泵、发电机等），只需定期地向其加注润滑脂。

二、润滑油路

1．润滑系统的组成

润滑系统的组成是根据柴油机的具体需要确定的，可以由以下几个基本部分组成：

1）润滑油贮存和输送装置包括：机油泵、输油管道和油底壳等，使润滑油在柴油机内循环流动。

2）润滑油滤清装置包括：集滤器、机油滤清器等，用以过滤润滑油中所含的各种杂质。

3）润滑油冷却装置包括：机油冷却器或机油散热器，用来冷却润滑油，防止润滑油温度过高而影响柴油机正常工作。

4）安全保护装置包括：旁通阀（安全阀）、限压阀及大功率柴油机各种报警装置和油压过低自动停车装置等。

5）指示装置包括：油温表、油压表等，用以监视润滑系统的工作情况。

2．典型康明斯柴油机润滑油路

（1）康明斯 B 系列柴油机的润滑油路　康明斯 B 系列柴油机的润滑油路如图 6-1 所示。

B 系列柴油机采用复合式润滑系统。由转子式机油泵供油进行压力润滑和连杆曲轴等运动件激溅进行飞溅润滑。压力润滑的对象为曲轴主轴承、连杆轴承、凸轮轴轴承和气门摇臂机构。柴油机的附件如高压油泵、增压器也采用压力润滑。通过主轴承上方设置的活塞冷却喷嘴，喷出带有压力的润滑油对活塞进行冷却。采用飞溅润滑的摩擦副有活塞和气缸壁、活塞销、凸轮挺杆、齿轮传动系统等。

柴油机起动后，机油泵将润滑油从油底壳中吸出，加压输送至整个润滑系统（见图 6-1）。润滑油从机油泵 1 中流出后，经过气缸体上的油道进入机油冷却器座。在机油冷却器座上装有润滑油压力调节阀 2，调节阀的作用是当润滑油压力过高时，使部分润滑油直接从回油管 7 流回油底壳。机油从机油冷却器 3 流出后，经过滤清器 5 滤清，返回到气缸体上的油道中。经过气缸体上的中间横向油道，润滑油进入缸体另一侧（高压油泵侧）的主油道中，再流向主轴承、冷却喷嘴、曲轴连杆轴颈、凸轮轴轴颈，并经 6 条垂直油道流至气门摇臂等。在机油冷却器座中还设有一个机油滤清器旁通阀 4。在机油滤清器被污物堵塞时，允许未经滤清的润滑油直接流向主油道，确保柴油机不缺油。

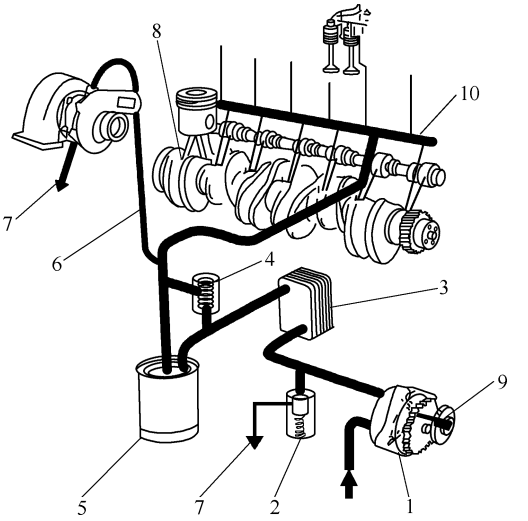


图 6-1　康明斯 B 系列柴油机的润滑油路

1—机油泵　2—机油压力调节阀　3—机油冷却器　4—旁通阀　5—机油滤清器　6—增压器供油管　7—回油管（回油底壳）　8—活塞冷却喷嘴　9—机油泵惰轮　10—主油道

（2）康明斯 C 系列柴油机的润滑油路　康明斯 C 系列柴油机润滑系统由转子式机油泵、机油冷却器、机油冷却器节温器、组合式机油滤清器、旁通阀、压力调节器、压力传感器、压力表等组成。康明斯 C 系列柴油机的润滑油路如图 6-2所示。

转子式机油泵 1 通过内置式吸油管从油底壳内吸出润滑油开始其循环。润滑油通过冷却器 3 盖内部油道由底部进至机油冷却器顶部，对润滑油进行冷却。润滑油流出机油冷却器后，流向组合式机油滤清器 4，旁通阀 5 和压力调节阀 2。当油道压力大约上升到 45kPa 时，调压阀打开，一部分润滑油流回油底壳，以调节压力。如果机油滤清器滤芯阻塞，滤清器入口和出口的压力差达到 137kPa，旁通阀打开，润滑油将直通主油道。由机油滤清器流出的润滑油为涡轮增压器提供润滑，润滑油在压力的推动下，供往增压器轴承轴。其后在重力作用下，流回油底壳。

经过冷却和滤清的润滑油送至机体的主油道 8 中。来自主油道的润滑油流往凸轮轴轴套和主轴承，并送入安装在主轴承上瓦座处的活塞冷却喷嘴。进入主轴承的润滑油进入曲轴，通过曲轴内的横向油道润滑连杆轴承。

润滑油通过第七道凸轮轴轴套的油道流往垂直油道并送入气缸盖，再通过输油管 9 向摇臂总成供油。摇臂上有一个短的油孔，通过该油孔把润滑油从摇臂孔送到摇臂顶部的油槽中。机油从每个摇臂的两侧向下流动以润滑推杆和气门杆。

齿轮箱依靠润滑油飞溅和压力润滑组合方式进行润滑，润滑后的润滑油流回油底壳，重复循环。

通过机体和齿轮室壳体内的油道和第一道凸轮轴轴套外表面的油槽，向喷油泵供油，再通过喷油泵轴上的溢油孔流回油底壳。

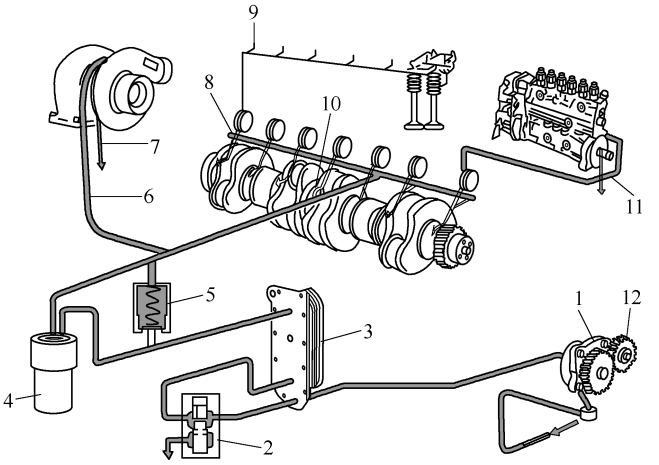


图 6-2　康明斯 C 系列柴油机的润滑油路

1—机油泵　2—机油压力调节阀　3—机油冷却器　4—机油滤清器
5—旁通阀　6—增压器进油　7—增压器回油　8—主油道
9—摇臂轴供油　10—活塞冷却喷嘴　11—喷油泵供油　12—机油泵惰轮

C 系列柴油机的油底壳容量是 19L。在正常运转温度下，怠速时最低润滑油压力为 69kPa。额定转速时最低的润滑油压力是 207kPa。

（3）K19 柴油机的润滑油路　K19 柴油机的润滑油路流程如图 6-3 所示。

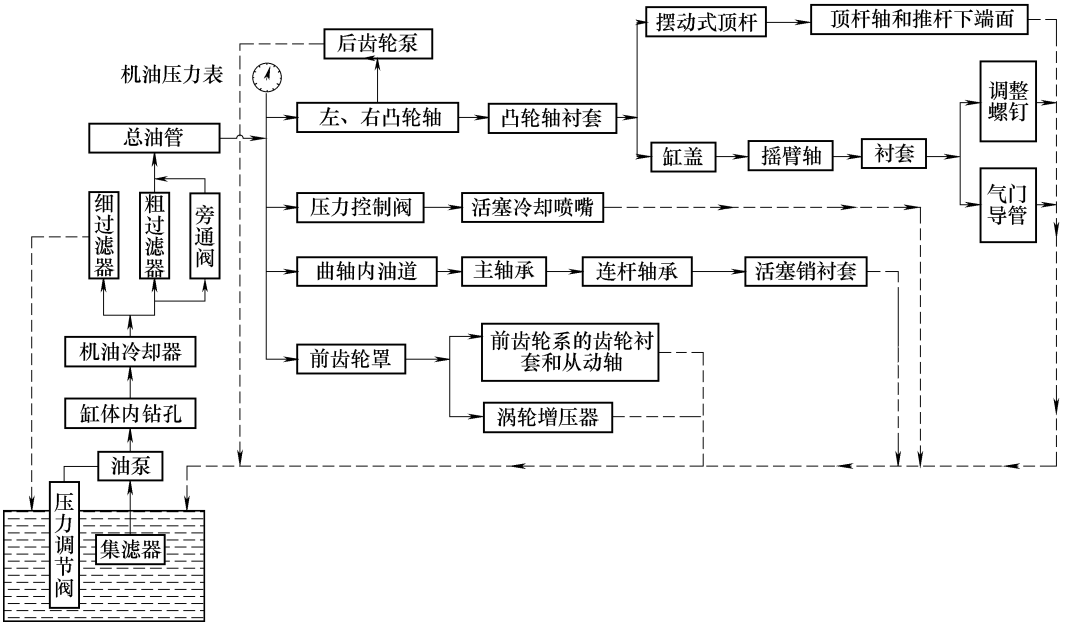


图 6-3　K19 柴油机的润滑油路流程

油底壳的润滑油经可拆式粗滤网和吸油管被吸入机油泵，机油泵将润滑油压送到机油冷却器进行冷却，冷却后的润滑油经过气缸体上的中间横向油道进入缸体另一侧的机油滤清器座，经机

油滤清器过滤后的清洁润滑油分为两路，一路经活塞冷却控制阀和活塞冷却油道流到活塞冷却喷嘴，从活塞冷却喷嘴喷出的润滑油保证了对活塞的冷却效果，也可更好地对活塞销及活塞裙部进行润滑；另一路进入润滑油主油道。

进入主油道的润滑油又沿各个油道分支（大致分为三路），流向不同的润滑部位。

首先，主油道的大部分润滑油通过各斜向油道分别进入各缸曲轴主轴颈和凸轮轴轴颈。在主轴颈处通过曲轴内的油道流向连杆轴颈，在连杆轴颈处又通过连杆体上的油道流向连杆小头的活塞销衬套。连杆大头轴承流出的润滑油由于离心力作用飞溅至气缸壁上以润滑活塞和缸套。流向凸轮轴轴颈的润滑油，经过凸轮轴轴颈上的环形油槽和机体上的油道分别流向凸轮从动臂和气门摇臂机构。流向凸轮从动臂的润滑油润滑了凸轮从动臂轴颈和推杆下端。而流向气门摇臂机构的润滑油则对摇臂轴进行润滑，并通过摇臂上钻出的小孔溢出润滑油，润滑气门杆和推杆窝槽。

其次，主油道内的一小部分润滑油流向柴油机前端（正时齿轮室一侧）的各分支油道，分别供油给风扇轮毂、水泵轴承、惰齿轮和燃油泵驱动齿轮等。柴油机的齿轮传动系统中，大部分齿轮啮合面都是靠飞溅润滑。

最后，在通向风扇轮毂的分支油道上设置了一个接头，增压器的润滑油就是取自这个接头，通过连接软管输送至增压器中间体的进油口。增压器的回油是通过一根回油管，靠重力流回曲轴箱中。

康明斯 K19 柴油机的润滑油路在机体中的具体布置如图 6-4、图 6-5 和图 6-6 所示。

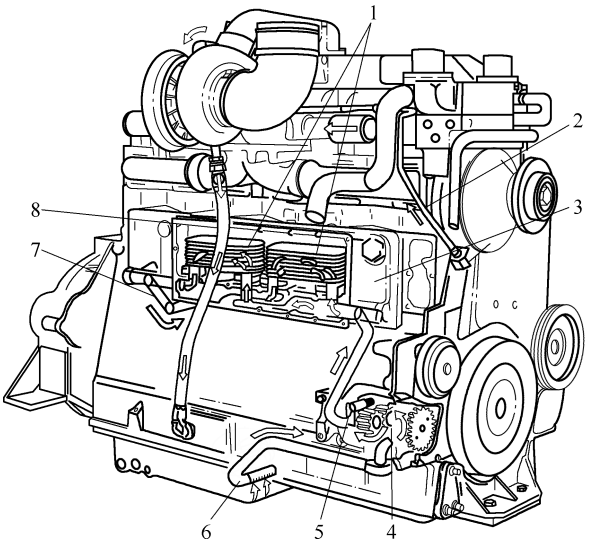


图 6-4　康明斯 K19 柴油机润滑油路（左侧）
1—机油冷却器芯　2—涡轮增压器供油管　3—机油冷却器壳体
4—机油泵　5—机油泵压力调节阀　6—吸油管
7—至滤清器座的润滑油　8—涡轮增压器回油

三、润滑系统主要零部件

润滑系统的主要部件有机油泵、机油滤清器及机油散热器等。

1．机油泵

（1）转子式机油泵　康明斯 B、C 系列柴油机的机油泵为转子式，机油泵由曲轴正时齿轮通过一个惰轮驱动。

转子式机油泵的原理结构如图 6-7 所示。内转子 8 固定在主动轴上，外转子 7 在壳内可以自由转动，两者之间有一定的偏心距。当内转子旋转时，带动外转子一起转动，所以在内、外转子及壳体端面间形成 4 个工作腔。某一工作腔从进油孔转过时，容积增大，产生真空，润滑油便经进油孔 12 吸入；转子继续旋转，腔内容积减小，油压升高，当该工作腔与出油孔 13 相通时，润滑油便经出油孔压出。

转子式机油泵结构紧凑，吸油真空度高，泵油量较大且供油均匀，噪声小。因此在中小功率高速柴油机上应用越来越广泛。

（2）齿轮式机油泵　N、K 系列康明斯柴油机采用齿轮式机油泵，N 系列柴油机机油泵采用外置式单级齿轮泵，齿轮泵通过外接的油管与油底壳中的集滤器相连吸油。K 系列所有的机油泵

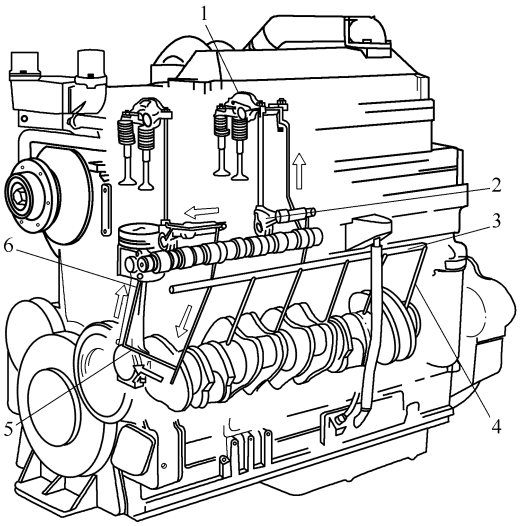


图 6-5 康明斯 K19 柴油机润滑油路（右侧）
1—摇臂 2—凸轮随动件 3—主油道
4—通向主轴承供油道 5—通向连杆的供油道
6—通向活塞销衬套的供油道

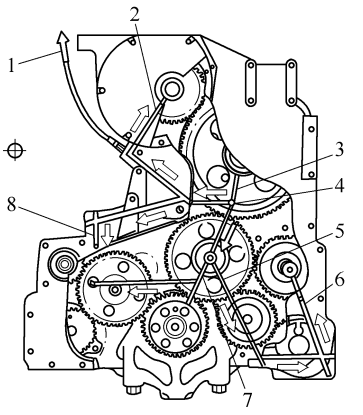


图 6-6 康明斯 K19 柴油机润滑油路（前端）
1—流向涡轮增压器的润滑油 2—流向风扇毂的润滑油
3—流向凸轮轴套的润滑油 4—主油道
5—流向惰轮和液压泵驱动轴的润滑油
6—流向空压机和燃油泵驱动轴的润滑油
7—流向主轴承和惰轮轴的润滑油
8—流向水泵和壳体的润滑油

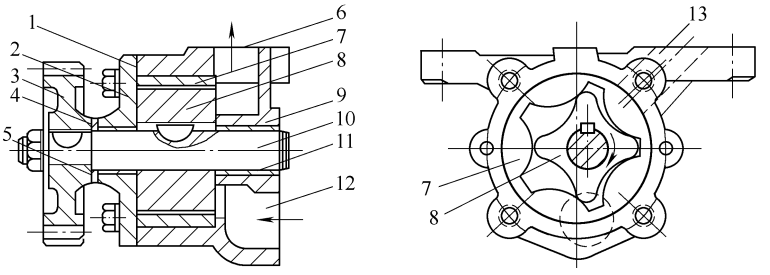


图 6-7 转子式机油泵
1—调整垫片 2—盖板 3—传动齿轮 4、11—滑动轴承 5—推力轴承 6—调整垫片
7—外转子 8—内转子 9—外壳 10—转子轴 12—进油孔 13—出油孔

都装于缸体后端的底部，并由曲轴后端的齿轮驱动。机油泵泵体内装有主动齿轮和从动齿轮，每个齿轮轴两端有衬套支承，机油泵共有 4 个衬套，其中 2 个在泵盖内，另外 2 个在泵体内。机油泵总成的出口处装有一个高压泄压阀，泄压阀的作用是当润滑油压力过高时使部分润滑油直接流回油底壳，避免过高的润滑油压力造成机油泵、机油冷却器、机油滤清器等一系列零部件的损坏。特别在冷起动时，过高的机油压力会损坏润滑系统的其他部件。K50 柴油机机油泵构造如图 6-8所示。

机油泵的使用性能取决于齿轮与泵体的配合间隙。齿轮与泵体的径向间隙一般不超过 0.2mm，齿轮端面间隙不超过 0.05 ~ 0.2mm。间隙过大，润滑油压力降低，泵油量减少。在泵体与泵盖之间有调整垫片，既可以用来调整齿轮的端面间隙又可以防止漏油。

机油泵不可修理，如果机油泵内部的零件有超出技术规格的过度磨损，则必须更换机油泵。

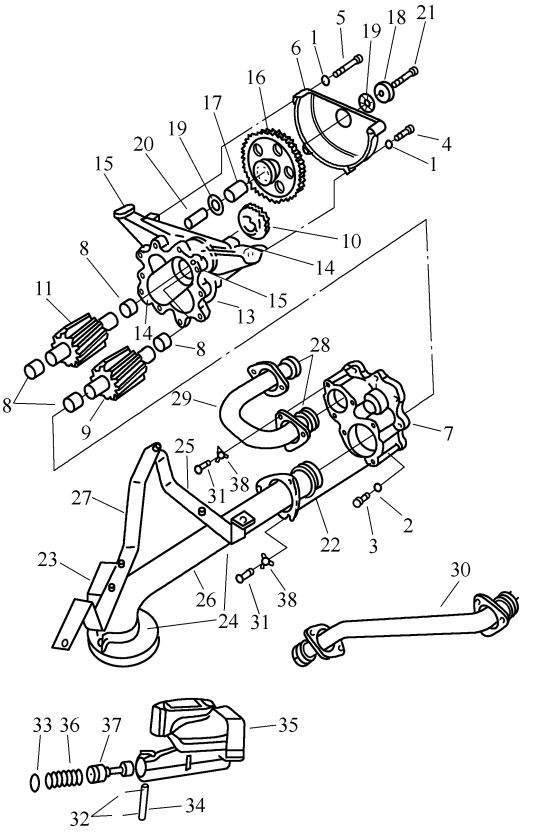


图 6-8　康明斯 K50 柴油机机油泵、吸油管总成（主要部件释义）
6、7—机油泵齿轮盖　8—机油泵衬套　9—从动齿轮和轴　10—机油泵驱动齿轮
11—主动齿轮和轴　13—机油泵体　14、15—定位销　16—机油泵驱动齿轮（中间齿轮）
26—润滑油吸油管　30—润滑油输油管　35—泄压阀阀体　36—泄压阀弹簧　37—泄压阀柱塞

2．机油冷却器

机油冷却器的作用是用来冷却润滑油，使机油温度保持在最有利的温度范围内（80 ~ 105℃），以保证润滑油具有正常的润滑作用。润滑油在柴油机高温区工作时，吸收了大量的热量，同时润滑油又作为冷却介质用来冷却活塞，因此使润滑油温度升高，润滑油粘度下降，还容易氧化变质，因此必须及时降低润滑油的温度，以保证柴油机的正常工作。

B、C 系列柴油机的机油冷却器盖和机油滤清器座是连在一起的一个铸件。润滑油压力调节阀和滤清器旁通阀都安装在铸件里面。机油冷却器（见图 6-9）为板翘式，各芯片之间、芯片与底板之间的垫片焊在一起。机油冷却器为内藏式，安装在缸体水套内，散热片浸泡在气缸体水腔中，高温润滑油从进油孔流入机油冷却器，各散热片将热量传递给冷却液，从而降低润滑油温度，以防止由于润滑油温度过高、润滑不良造成柴油机各部件的损坏。

实际工作中，柴油机的润滑油压力随着工作环境、条件等情况不断发生变化，机油压力调节阀在柴油机冷起动时，可以减小润滑系统的润滑油压力，而当润滑油温度升高后，可以调节系统的润滑油压力。润滑油压力调节阀（调压阀、回油阀）由弹簧、柱塞（钢珠）及阀座等组成。当机油压力小于压力调节阀的开启压力时，调压阀处于关闭状态。而当润滑油压力大于压力调压阀的开启压力时，调压阀打开，部分润滑油直接回到油底壳，压力越大，阀门开度越大，从而保持润滑油压力在正常范围内。

康明斯 C 系列柴油机在机油冷却器盖的顶部装有一个机油节温器，当润滑油温度在 100 ~ 115℃时，该节温器调节通过机油冷却器的润滑油流量；如果润滑油温度低，节温器打开，允许一部分润滑油直接流向滤清器。当润滑油温度升高至 115℃时，节温器让润滑油全部通过机油冷却器。该节温器也装有一个压力调节装置，当机油冷却器发生堵塞时，该装置起到旁通阀的作用，可以使润滑油绕过冷却器。康明斯 C 系列柴油机的机油冷却器调压阀和节温器的安装位置如图 6-10 所示。

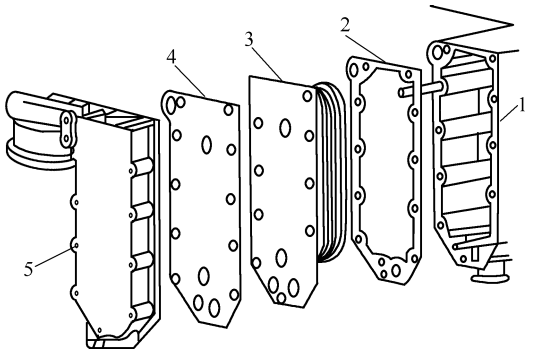


图 6-9 康明斯 B、C 系列柴油机的机油冷却器
1—气缸体 2—机油冷却器芯密封垫
3—机油冷却器芯 4—机油冷却器座密封垫
5—机油冷却器盖和机油滤清器座

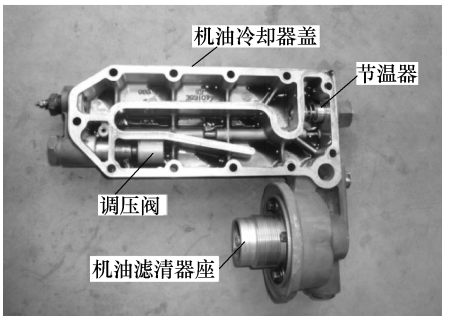


图 6-10 康明斯 C 系列柴油机的节温器和调压阀

康明斯 K 系列柴油机机油冷却器也采用板翅式结构，内置于缸体侧面水腔中，结构紧凑，不易破损。但 N 系列柴油机机油冷却器采用管束式（见图 6-11），置于柴油机排气管侧，由冷却器芯、壳体、前盖、后盖、O 形密封圈等构成。

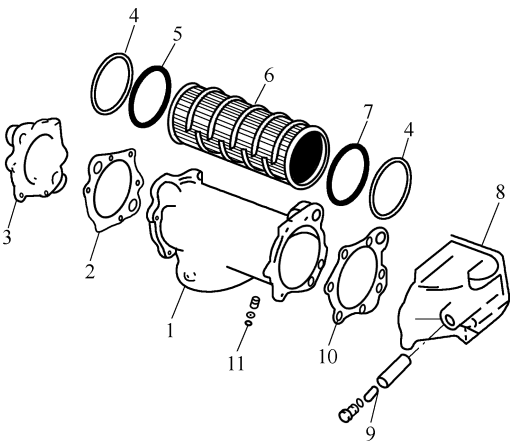


图 6-11 康明斯 N 系列柴油机机油冷却器
1—冷却器体 2、10—垫片 3—盖
4—挡圈 5、7—O 形密封圈 6—冷却器芯
8—支座 9—调压阀 11—放水开关

3. 机油滤清器

机油滤清器的作用是滤去润滑油中各种有害杂质，防止零件配合表面的磨损，延长其使用寿命。

通常在润滑系统中装有几个不同滤清能力的滤清器——粗滤器和细滤器，分别和主油道串联和并联，故滤清器可分全流式和分流式。

全流式滤清器即粗滤器是和主油道串联在一起，因而柴油机大部分输送润滑油都通过它，它能滤去润滑油中粒度较大的杂质。分流式滤清器即细滤器，细滤器可以滤去极细小杂质，它和主油道并联。润滑油经细滤器滤清后回到油底壳，由于在柴油机工作过程中总有一部分润滑油通过细滤器进行过滤，因此提高了总体滤清效果，延长了润滑油使用寿命。

康明斯 C 系列柴油机全流式滤清器和分流式滤清器组成组合式机油滤清器，如图 6-12 所示。滤清器的上部含有全流式滤芯，下部含有旁通（分流）滤芯。流过机油滤清器全流式滤芯的润滑油，进入主油道，流过滤清器旁通滤芯的润滑油通过中心管和机油冷却器座上的管道流回油

底壳。

为了防止因粗滤器堵塞而断油，在机油滤清器座中还设有一个机油滤清器旁通阀，如图 6-13所示。正常情况下，旁通阀关闭，如图 6-13a 所示，机油经滤清器过滤后再进入主油道；当机油滤清器堵塞时，润滑油压力升高，达到旁通阀的开启压力后，旁通阀打开，如图 6-13b 所示，润滑油直接进入主油道，从而保证柴油机的润滑。未经滤清的润滑油将对柴油机带来不利的影响，所以应定期更换滤清器，以保证柴油机能良好地工作。

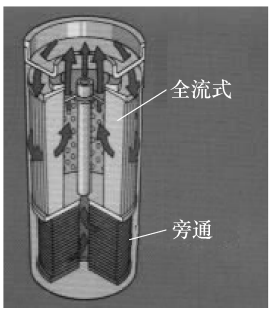


图 6-12　康明斯 C 系列柴油机
组合式机油滤清器

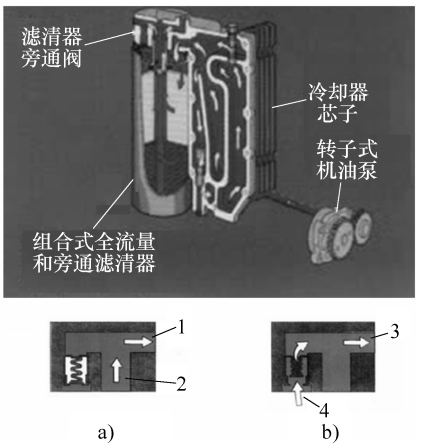


图 6-13　康明斯 C 系列柴油机机油滤清器旁通阀
a）关闭状态　b）开启状态
1—至主油道　2—来自机油滤清器
3—至主油道　4—来自机油冷却器

康明斯 N 系列柴油机机油滤清器设置在机油冷却器下部，仅有一个滤芯，滤清器座上设有旁通阀。

康明斯 K 系列柴油机机油滤清器采用的是旋装式纸芯滤清器，由滤清器座和滤芯组成。K19 型机油滤清器有两个滤芯，结构如图 6-14 所示。机油滤清器上有 2 个柱塞—弹簧阀，一个是用来控制活塞冷却喷嘴处的油压，即活塞冷却阀，另一个的作用是当滤芯发生堵塞时旁通机油，即滤清器旁通阀。

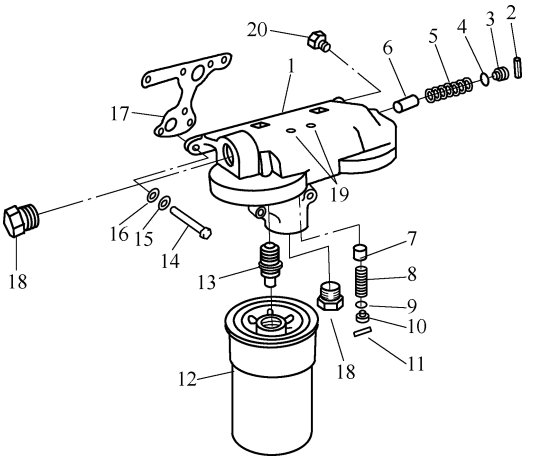


图 6-14　康明斯 K19 型机油滤清器结构
1—机油滤清器座　2、11—锁销
3、10—调压螺栓　4、9—O 形密封圈　5—旁通阀弹簧
6—旁通阀柱塞　7—活塞冷却阀柱塞　8—活塞冷却阀弹簧
12—机油滤清器滤芯　13—机油滤清器连接体　14—螺栓
15—弹簧垫圈　16—平垫圈　17—机油滤清器座密封垫
18—1in 管堵头螺塞　19—1/8in 管堵头螺塞
20—3/8in 管堵头螺塞

4．曲轴箱通风

柴油机工作时，气缸中的一部分混合气和废气会经过活塞环与气缸壁之间的间隙漏入曲轴箱内，其中燃油蒸汽凝结以后将使润滑油变稀，而高温废气进入曲轴箱，会使润滑油氧化变质，缩短润滑油的使用期限。废气中的水蒸气和二氧化硫，遇冷后会形成亚硫酸或硫酸，即使润滑油中含量很少，也会对零件起强烈的腐蚀作用。此外，曲轴箱内压力升高，润滑油经油封、衬垫等处渗出，造成漏润

滑油现象。

为了延长润滑油的使用期限，减小零件的磨损和腐蚀，防止柴油机漏油，必须采用曲轴箱通风装置。曲轴箱通风的方法有两种；一是利用机械运行和风扇所造成的气流，使与曲轴箱相连的出气管口处形成一定的真空度，从而将气体抽出曲轴箱外，这种通风方式称为自然通风；二是利用柴油机进气管道的真空度作用，使曲轴箱内气体被吸出而进入气缸的所谓强制通风法。

康明斯柴油机采用自然通风方式，其 B、C 系列的曲轴箱通风方式如图 6-15 所示。C 系列通风管从气门罩盖引出，B 系列从气门推杆室盖板引出。

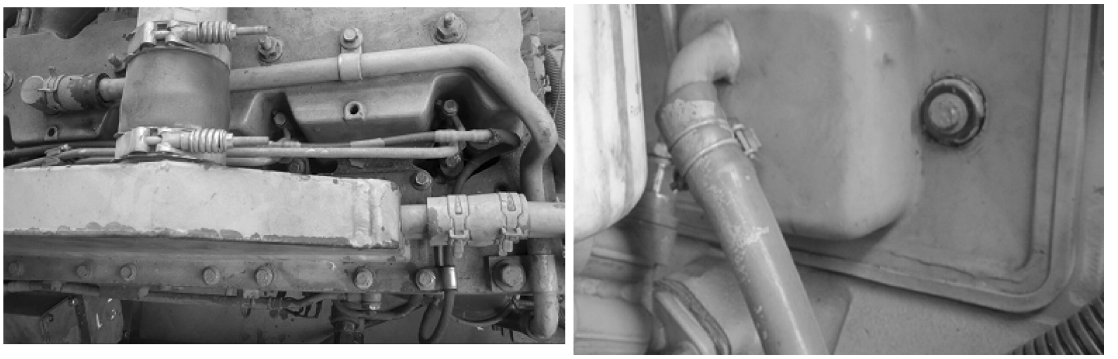


图 6-15　康明斯 B、C 系列柴油机的曲轴箱通风方式

第二节　润滑系统故障分析

一、润滑系统故障的主要原因

1. 润滑油压力过低

（1）润滑油牌号选错或质量不合格　由于低粘度的润滑油挥发性高，同时密封性也较差，使用中会造成大量消耗及泄漏。同时，粘度过低的润滑油，由于承载能力低，易使油膜产生破裂，从而引起润滑油压力明显下降。而润滑油牌号选错或质量不合格均可能导致润滑油粘度过低。因此，应正确地选用润滑油，而且随着季节变化或地域不同来合理地选用润滑油。同时，柴油机必须采用柴油机润滑油，不能以汽油机润滑油代替。

（2）润滑油油量不足　若油底壳内的润滑油油量不足，机油泵的泵油量就会减少或者泵不上润滑油，致使润滑油压力过低，从而导致曲轴与轴承、缸套与活塞等部件润滑不良而加剧磨损。因此，应在开机前检查油底壳中的润滑油量，保证润滑油在规定的范围内。

（3）润滑油中渗入了柴油或水　如果燃油输油泵、喷油泵磨损过大，燃油就会漏入油底壳内，导致润滑油粘度降低，润滑性能变差，造成润滑油压力降低。另外由于气缸盖、气缸套破裂，气缸套下部水封圈密封不良，使冷却水漏入油底壳内，不仅使润滑油粘度降低，还会形成大量泡沫，导致润滑油不能连续输送，也会造成润滑油压力过低。因此，开机前应检查润滑油的质量，若润滑油粘度小，油平面升高且有生油味，则是润滑油中混入了燃油；若润滑油颜色呈乳白色，则是润滑油中混入了水分，必要时应按规定更换润滑油。

（4）润滑油温度过高　如果润滑油温度过高，不但加速润滑油的变质，也容易使润滑油被稀释导致粘度过低，从曲轴与连杆轴瓦等部位的配合间隙中大量流失而导致润滑油压力下降。柴

油机长时间超负荷工作、喷油泵的供油时间过迟、冷却系统水垢严重时，均会导致润滑油温度过高。因此，应让柴油机在额定负荷下工作；调整供油时间并且及时清除冷却系统水道中的水垢。

（5）旁通阀不密封或弹力过低　由旁通阀原理可知，旁通阀开启后，润滑油不经过机油滤清器直接进入主油道，此时，流通阻力减小，压力就会下降。如果旁通阀不密封或者弹簧失效、折断，旁通阀的开启压力很小或者一直处于开启状态，润滑油压力就会过低。因此，要定期检查旁通阀是否工作正常。

（6）压力调节阀损坏或开启压力过低　由压力调节阀工作原理可知，当润滑油压力大于压力调节阀的开启压力时，调节阀打开，通过将部分润滑油直接回流到油底壳的方式调节机油压力。如果压力调节阀的弹簧疲劳软化、折断或调整不当会导致弹力不足，以及阀座与钢珠（或柱塞）的配合面磨损或者被脏物卡住而关闭不严时，回油量便明显增加，主油道的油压随之下降。此时，应检修或者更换压力调节阀，将其开启压力调整至规定值。

（7）机油冷却器堵塞　机油泵泵出的润滑油经机油冷却器冷却，再经过机油滤清器后送入主油道。当机油冷却器堵塞时，润滑油的流通阻力增大而使润滑油的流量减少，导致油压过低，此时，应清洗或更换冷却器。

（8）集滤器堵塞　当润滑油过脏、过粘导致集滤器堵塞时，如果柴油机低速运转，由于机油泵吸油量不大，主油道尚能建立起一定的压力，因而油压正常；但是柴油机高速运转时，机油泵的吸油量会因集滤器阻力过大而明显地减少，导致主油道供油不足，产生润滑油压力过低的现象。此时，应清洗集滤器，必要时应更换润滑油并且清洗油道。

（9）机油泵泵出油量不够　无论是转子式机油泵还是齿轮式机油泵，当机油泵转子（齿轮）间、泵盖平面与转子（齿轮）间等部位的间隙因磨损而超过允许值时，都会导致机油泵的泵油量减少，造成润滑油压力过低。应及时更换间隙超过规定值的机件，或者研磨泵盖平面，并且调整泵盖与转子（齿轮）端面的垫片，使间隙符合要求，必要时应更换机油泵总成。

（10）润滑系统油道堵塞　柴油机润滑系统中，当主油道以前的油道，如机油泵至机油冷却器或机油滤清器至主油道等润滑油道堵塞时，会导致润滑油的流通阻力增大而使润滑油的流量减少，致使润滑油压力过低，此时，应对油道进行清洗。

（11）润滑系统油道漏油　当润滑系统的油道有漏油现象时，润滑油压力便明显地下降。可在柴油机低速空载运转时，观察各油管、接头和其他泄漏点，根据涌出润滑油的情况确定故障部位。发现故障点后，应焊补并且进行压力试验确保不再泄漏时才能使用。

（12）机油压力传感器失效　正常情况下，机油压力传感器的阻值是随着压力的变化而有规律的变化，但是当机油压力传感器失效后阻值过大时，机油压力表的指示值就会过低。此时可将传感器的接线断开，然后用万用表进行测量，若阻值过大则说明传感器失效。

（13）机油压力表失效　机油压力表指示值过低时，经过测量机油压力传感器没有损坏后，可用万用表测量压力表的阻值，若阻值过高，则说明机油压力表失效。也可在柴油机低速空载运转时，慢慢地松开机油压力传感器，若润滑油涌出量正常，则说明机油压力表失效。

（14）曲轴与轴瓦配合间隙过大　当柴油机长期使用后或者由于修配不当而导致曲轴连杆轴颈与连杆轴瓦的配合间隙增大时，曲轴轴颈和轴瓦间形不成油膜，润滑油的泄漏量增大，致使润滑油压力过低。由实验结果可知，该间隙每增加 0.01mm 时，油压就下降 10kPa。此时，可通过磨修曲轴、选配相应尺寸的连杆轴瓦，使配合间隙恢复到规定值，必要时应更换曲轴。

（15）曲轴油封泄漏　曲轴前后油封主要用来密封，在装配过程中如果方法不当，或者在柴油机的使用过程中，造成油封磨损严重时，都会出现润滑油泄漏而导致润滑油压力过低的故障。因此，拆装曲轴后应及时更换油封，而且在装配过程中要小心谨慎，保证密封性良好。

（16）摇臂轴与摇臂的间隙过大　康明斯柴油机的润滑油从主油道通过垂直油道进入配气机构摇臂轴进行润滑，然后回到油底壳。如果配气机构中的摇臂轴与摇臂的间隙过大会造成较多润滑油直接流回油底壳，就会导致润滑油压力过低。判断该间隙是否过大可在起动柴油机后，打开气门室罩盖观察摇臂架上润滑油的流量。

2．润滑油压力过高

柴油机的润滑油压力过高时，会影响柴油机的起动性能和经济性，严重时会出现撑破机油滤清器等部件的事故。需要注意的是，在冬季，刚起动柴油机后会发现润滑油压力偏高，待温度升高时油压会降至正常值。

（1）润滑油粘度过大　柴油机润滑油的粘度牌号应根据使用的环境温度和零件的最大温度来选择。如果用错或牌号不对，柴油机运转时会因润滑油粘度过大而导致流动性能变差，从而出现润滑油压力过高的故障。因此，应正确地选用润滑油，随着季节变化或地域不同来合理地选用润滑油。

（2）柴油机的工作温度过低　柴油机工作正常时，温度会逐渐升高，最终稳定在一个正常范围内。由于润滑油的粘度随着温度的升高而减小，所以如果柴油机工作时，温度一直过低，润滑油的粘度就会过大而导致流动性能变差，从而出现润滑油压力过高的故障。

（3）压力调节阀弹簧压力调整不当或卡死　压力调节阀通过顶开阀门使部分润滑油回流到油底壳来保持润滑油压力在正常范围内。若压力调节阀的弹簧预压力调整过大或卡死，当柴油机的油压过大时，阀门不能及时打开，就会导致柴油机的润滑油压力过高。此时，应将其开启压力调整至规定值。

（4）机油滤清器滤芯堵塞，且旁通阀开启困难　旁通阀的作用是当机油滤清器过脏而堵塞时，润滑油压力升高，顶开旁通阀阀门使润滑油直接进入主油道。如果旁通阀出现卡滞或者开启压力调得过高，滤清器被堵塞时就不能及时顶开，润滑油的流通阻力增大，油压就会过高。因此，一方面应按规定及时更换机油滤清器；另一方面要正确地调整旁通阀的开启压力，必要时应更换。

（5）机油压力传感器失效　正常情况下，机油压力传感器的阻值是随着压力的变化而有规律的变化，但是当机油压力传感器失效后阻值过低时，机油压力表的指示值就会过高。此时可将传感器的接线断开，然后用万用表进行测量，若阻值过低则说明传感器失效。

（6）机油压力表失效　机油压力表指示值过高时，经过测量机油压力传感器没有损坏后，可用万用表测量压力表的阻值，若阻值过低，则说明机油压力表失效。

（7）润滑系统油道堵塞　长期不更换润滑油或者柴油机的工作环境较差时，油道会出现堵塞的现象。当主油道以后的油道堵塞时，润滑油的流通阻力变大，润滑油压力便会过高。可在柴油机低速空载运转时，慢慢地松开各油管接头，根据涌出润滑油的情况确定故障部位，然后对堵塞油道进行清洗。

（8）曲轴主轴承、连杆轴瓦等配合间隙过小　长期使用低级别或者低性能的柴油机润滑油时，会在柴油机内部形成较多的油泥和积炭，导致曲轴主轴承、连杆轴瓦等配合间隙过小，从而出现润滑油压力过高的现象。

（9）曲轴箱的通气孔堵塞　曲轴箱的通气孔主要用来排除燃烧室漏入的少量高压气体，从而保持压力平衡。如果通气孔堵塞就会导致曲轴箱内的压力过高，特别是当活塞环与气缸的配合间隙过大时，进入曲轴箱的高压气体就会过多，从而导致润滑油压力过高。

3．润滑油压力波动

柴油机在运转中，机油压力表有时会出现指针左右摆动的现象，说明主油道的润滑油压力不

稳，应立即停车检查。

（1）机油泵吸入空气　当油底壳润滑油油量不足，而且柴油机在高低不平的地面上运行时，集滤器可能会露在润滑油外，此时机油泵就会吸入空气，引起润滑油压力波动。另外，机油泵泵体与泵盖及缸体间的纸垫破损或未压紧时以及集滤器与机油泵的连接处未压紧，也会使机油泵吸入空气。

（2）旁通阀频繁开启　当机油滤清器堵塞，而且旁通阀弹簧疲劳软化或者调整不当时，其开启压力较小，导致润滑油压力稍有上升时，旁通阀就会开启，润滑油压力降低后，旁通阀又关闭。此时，润滑油压力会由于旁通阀频繁开启和关闭而产生波动。

（3）机油压力调节阀频繁开启　当机油压力调节阀的滚珠（柱塞）锈蚀、阀座偏磨或者弹簧严重变形时，机油压力调节阀就会产生卡滞现象，即不能随着润滑油压力的变化灵敏地开启或关闭，而是间歇性地时开时关，此时会出现压力忽高忽低的现象。另外，当机油压力调节阀弹簧疲劳软化或者调整不当时，其开启压力较小，当润滑油压力上升时，阀门就会开启，而当润滑油压力降低后，阀门又关闭，压力又上升，从而导致润滑油压力波动。

（4）机油压力表或传感器故障　当机油压力表或传感器有故障时，会出现润滑油压力指示值波动的现象。

（5）机油压力表与传感器的接线接触不良　如果机油压力表与传感器的相关接线接触不良或者松动，会导致测量回路中的阻值不断发生变化，从而使机油压力表的指示值产生波动的现象。

4．没有润滑油压力

柴油机在运行过程中，如果没有润滑油压力，应立即停机，查明原因后才能继续工作。

（1）机油泵停转　当机油泵损坏或者驱动齿轮与驱动轴的固定销剪断、连接键脱落及机油泵吸入异物而将机油泵齿轮卡死，都会使机油泵停止转动，这时润滑油压力会随之降为零。

对于转子式机油泵，如果机油泵轴与内转子间的过盈量没有或者极小，在机油泵工作时，由于内转子与泵轴相互移动，固定销很容易被切断。所以保养时应检查泵轴在内转子上是否晃动，有少许晃动即应修复或者更换。

在安装机油泵总成时应检查转子平面与壳体的间隙，即将平板尺平放在壳体上，用塞尺测量转子平面和平板尺下面之间的间隙，不得大于0.15mm，如果超过极限，应更换整套转子。

（2）润滑油管道破裂　机油油道破裂而导致润滑油大量泄漏时会造成没有润滑油压力。

（3）机油压力传感器损坏或导线开路　当机油压力传感器损坏或导线断开时，压力表与传感器相当于开路，机油压力表就没有指示。此时可将传感器的接线断开，然后用万用表进行测量，若阻值为无穷大则说明传感器损坏。

（4）机油压力表损坏　机油压力表指示值为零时，经过测量机油压力传感器没有损坏后，可用万用表测量压力表的阻值，若阻值过大，则说明机油压力表损坏。也可在柴油机低速空载运转时，慢慢地松开机油压力传感器，若润滑油涌出量正常，则说明机油压力表损坏。

5．润滑油消耗量过大

柴油机运转时，机油有一定的消耗，并且随着其工作环境及负载的不同而有所变化。但当润滑油消耗量远大于额定消耗量时，则表明为过量消耗。润滑油过量消耗，不仅不经济，而且还会导致柴油机各部件严重磨损和早期损坏等事故。因此，保持柴油机机油适量的消耗，是持续发挥柴油机性能的必要条件，是延长其使用可靠性的重要保障。

（1）润滑油性能不佳　如果机油的挥发性和抗泡性不佳，润滑油消耗量就会过大。试验表明，油的馏分范围越轻，挥发性越大，润滑油的消耗也越大。另外，油温、机体温度过高也会造

成润滑油挥发过大、润滑油消耗增加。

润滑油的抗泡性是指润滑油在激烈的搅拌过程中抗泡沫形成的能力。如果抗泡性较差，在工作时就会产生较多泡沫，这样会导致润滑油的密封性和润滑效能下降，而且形成绝热层使传热效果下降，从而加速缸壁、活塞和环壁的磨损，引起机油的上窜，增大润滑油的消耗。

（2）润滑油粘度等级选择不当　据调查资料显示，因润滑油粘度等级选用不当引起柴油机过度磨损是造成润滑油过量消耗的主要因素之一。

油的粘度过高时，其残炭含量较大，凝点较高，热氧化安定性、低温起动性、润滑性、洗消作用及泵送性也较差，极易引发活塞（环）与缸壁间产生半干（干）摩擦而导致活塞环（气缸）过度磨损、弹力减弱、粘环及油环回油孔被沉积物堵塞等，造成大量润滑油窜入燃烧室引起过量消耗。润滑油粘度低，流动性、冷却性及洗消作用较好，但粘度低于一定值时，油消耗会大大增加（见表 6-1）。因为低粘度润滑油挥发性高，同时密封性也较差，造成大量消耗及泄漏。同时，粘度过低的润滑油，由于承载能力低，易使油膜产生破裂，从而引起润滑油压力明显下降，使之不能有效输送到各工作部位，导致机件得不到正常的润滑，加速气缸、活塞环的磨损。

表 6-1　润滑油粘度与消耗关系

润滑油粘度 μ(98.9℃)/(mm^2/s)	6	8	10	12	14
润滑油消耗/(L/1000km)	1.55	1.10	0.80	0.65	0.50

（3）润滑系统泄漏　润滑系统各油路接头、油管、衬垫、油封等处的漏油，均会增大润滑油的消耗量。应加强对气缸垫、气门阀座、导管密封圈及喷油器等机件的密封性检查，并保持其良好的技术性能。

（4）油底壳润滑油油面过高　如果油底壳内的油面过高，曲轴旋转时，曲柄、平衡块和连杆大头会激溅过多的润滑油飞落到气缸壁上，而且由于油环在高速滑动时的刮油性能下降，使油环刮不净气缸壁上多余的润滑油，造成部分润滑油窜入燃烧室中烧掉。这不仅增加了润滑油的消耗量，而且使燃烧室积炭增多，加速了活塞、活塞环和气缸套的磨损，增大了活塞环胶结和喷油器喷孔堵塞的可能性。

（5）润滑油压力过高　润滑油压力过高时，润滑油的挥发性等方面也发生相应变化。实验表明，润滑油压力越高，润滑油的消耗量也越大（见图 6-16）。因此，在使用过程中，应将润滑油压力调整至规定值。

（6）冷却液温度过高　如果柴油机工作时冷却液温度过高，就会引起润滑油的粘度降低，造成润滑油的挥发加快，从而增加润滑油的消耗量。冷却液温度与润滑油消耗关系如图 6-17 所示。应定期清洁冷却系统，检查节温器等部件，使冷却液温度保持在正常范围内。

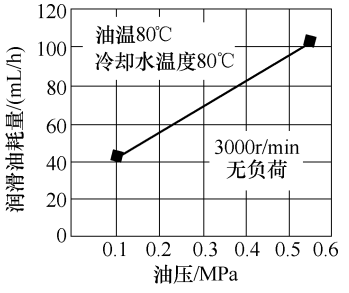


图 6-16　润滑油压力与润滑油消耗关系

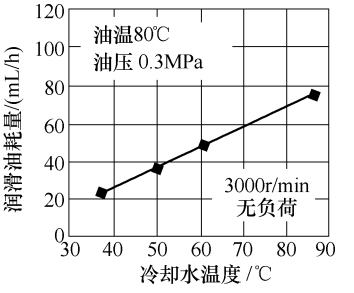


图 6-17　冷却液温度与润滑油消耗关系

（7）气环过度磨损　柴油机工作时，气环随活塞作高速往复运动，存在气环泵油作用。当活塞环端面间隙正常时，气环的泵油量是有限的；当气环端面因磨损使间隙过大或者破裂时，活塞环的泵油作用会大大增强，使得润滑油从开口间隙进入燃烧室燃烧，润滑油的消耗量明显增多。

（8）油环过度磨损或断裂　油环的功用是将气缸表面多余的机油刮下，不让它窜入燃烧室，同时使气缸壁上的油膜均匀分布，从而改善活塞的润滑条件。当油环过度磨损或断裂时，油环刮油作用减弱或消失，致使气缸壁上的润滑油窜入燃烧室，增大润滑油的消耗量；另外，当油环胶结咬死在环槽中，也会使其失去刮油作用。

（9）气缸套与活塞配合间隙过大　由于磨损使气缸套与活塞的配合间隙过大，将导致活塞在气缸内上下运动时产生偏摆，活塞下行时，大量的润滑油进入活塞环与环槽；活塞上行时，将过量的润滑油压入燃烧室造成消耗。当空气滤清器失效，润滑油选用不当或污染变质，燃油的品质差或燃烧不良时均会引起过度磨损。

柴油机运转过程中，当气缸热变形超过某一限度时，活塞、活塞环不能充分适应气缸的变形量，在局部也会出现较大的间隙造成大量的润滑油窜入燃烧室。同时，气缸变形还将导致活塞环在气缸内高速滑动时的运动状态发生变化，产生轴向和径向的扭曲和变形，增大磨损量，更加速了润滑油的消耗。造成气缸变形的原因主要有以下几点：缸套壁厚不均匀或装配过盈量大；缸套装入缸体后上平面凸出量过大（湿式缸套）；气缸盖螺栓松动或紧固时扭力不均；柴油机爆燃以及气缸套加工精度低，材质不良或壁厚不均匀。因此，在维修和装配时要加强对气缸及其他配合间隙的检查。

（10）气门导管过度磨损或油封损坏　柴油机工作时，如果气门导管过度磨损或油封损坏，将导致气缸盖顶部大量的润滑油漏入进、排气腔及滞留在气门导管和气门杆间隙内。在进、排气过程中，由于气体流速较大产生很大的负压，使漏入进、排气腔和滞留在气门导管内的润滑油被吸入气缸内或排到大气中去，造成润滑油过量消耗。

（11）涡轮增压器损坏　涡轮增压器的压气机叶轮和中间壳之间的 O 形密封圈和密封环损坏时，会导致润滑油从涡轮增压器中间壳经压气机叶轮室进入气缸。另外，当增压器回油管堵塞、变形或其他原因造成的回油不畅时，增压器中间壳内的润滑油压力增大，以致润滑油从增压器两端密封环处漏出。以上两种情况都会导致润滑油消耗量过大。

（12）其他原因　柴油机的运行方式不同，润滑油消耗量也有较大差异。实验表明，起动、停机频繁；反复多次加、减速及经常在制动状态下运转的柴油机，其润滑油耗量比稳定转速下的消耗量增加 10% ~30% 。

6. 油底壳内润滑油油面升高

（1）空气滤清器堵塞　空气滤清器堵塞时，柴油机进气不足，燃烧不完全，多余的柴油一部分随废气排出，另一部分会沿着缸壁流进油底壳，导致润滑油油面升高。

（2）喷油器喷油压力过低　当喷油器的压力调整不当造成喷油压力过低时，柴油机运转中由于油量过多导致燃烧不完全的柴油会沿气缸壁流入油底壳中，从而抬高润滑油油面。

喷油嘴偶件严重磨损或卡死，也会造成喷油压力过低或者滴油，燃烧不完全的柴油会沿气缸壁流入油底壳中，从而抬高润滑油油面。

（3）柱塞偶件磨损严重　柱塞偶件磨损严重时，柴油会渗入高压油泵后流入油底壳。

（4）气门间隙过大　如果气门间隙调整不当或者其他原因导致气门间隙过大，喷入气缸内的柴油得不到充分的燃烧，未燃烧完的燃油就会顺缸壁流入油底壳。

（5）PT 泵主轴油封失效　如果 PT 泵主轴油封由于磨损过度而失效，柴油就会由此进入正

时齿轮箱后到达油底壳。

（6）机油冷却器损坏　机油冷却器芯损坏或密封不严均会导致冷却液混入机油中，导致油底壳润滑油油面升高。

（7）气缸垫损坏　气缸盖与柴油机缸体间是靠气缸垫来密封的，缸体水道在气缸垫上有相应的密封圈，以保证冷却液不泄漏。如果柴油机缸盖或缸体平面的平面度误差超出允许范围，势必造成气缸垫密封不严，冷却液就可能漏进油底壳内。另外，如果柴油机缸盖螺栓未按规定拧紧或在清洗过程中表面未处理干净，造成气缸垫未压紧，此时也会造成冷却液泄漏。

（8）气缸套封水圈损坏、缸套穿孔或缸体等有裂纹　如果气缸套封水圈变形、损坏导致密封不严或缸套穿孔，冷却液就会流入油底壳。缸体等有裂纹时，也会出现该故障。

（9）水泵水封失效　康明斯柴油机的水泵组合在缸体内，并且通过正时齿轮室的齿轮来传动。如果安装在主动轴的水封损坏，冷却液就会从主动轴进入齿轮室后再流入油底壳。

7．润滑油变质

润滑油在使用过程中，由于来自外界的灰尘或者运转机件过度磨损产生的金属屑及零件受侵蚀而形成的金属盐等会使润滑油变质。润滑油变质后呈深黑色、泡沫多，用手指研磨，无粘稠感，滴在白试纸上呈深褐色。被污染氧化变质的润滑油在使用过程中会产生可溶性酸性物质和不可溶性胶状沉淀物而沉积在油道孔口、滤清器及各零件间隙内，造成各零部件运动副表面供油不足，使之发生金属之间的直接干摩擦和磨料磨损，从而造成柴油机抱轴、拉缸等严重事故，柴油机的使用可靠性严重下降。主要原因包括：

（1）杂质混入润滑油　杂质侵入润滑油后会像磨料那样渗进各运动件的配合面，将大大缩短机件的使用寿命。因此，加注润滑油时一定要确保清洁，防止灰沙、尘土侵入。另外，应按时保养空气滤清器和柴油滤清器，以免杂质从气缸进入油底壳。

（2）新、旧机油相互混合　在旧润滑油尚在使用的情况下，加入不同成分和特性的新润滑油，使得新、旧润滑油因特性不同发生化学反应，造成润滑油颜色变黑。

（3）人造润滑油与矿物润滑油相互混合　润滑油可分为人造润滑油和矿物润滑油两大类。人造润滑油中含有一定数量的胶状石墨，如果与矿物质润滑油混合，就会发生化学反应，使胶状石墨分解，不仅使润滑油颜色变黑，同时破坏了润滑油的润滑性能。

（4）缸套活塞不密封　当缸套磨损过大时，缸套和活塞就会不密封，从而导致严重漏气或废气进入曲轴箱，使机油过早变黑。

（5）机油滤清器过脏　柴油机工作时磨损下来的金属屑、尘土和燃烧杂质等与润滑油掺和，润滑油经过机油滤清器过滤后，进入下一个循环。如果滤清器过脏而被堵后，未经过滤的润滑油就会从旁通阀直接进入主油道，将大大加剧机件的磨损，因此必须按时保养机油滤清器。有些进口柴油机上采用一次性机油滤清器，即到期必须更换，不准清洗后再用。

（6）曲轴箱通风不畅　柴油机在速燃期的过程中，总有一些高压废气从燃烧室窜入曲轴箱，如果通风管被堵住，废气就排不出去，从而会与油底壳里的润滑油发生化学反应，加速润滑油的氧化变质，并形成胶质、积炭、水分或酸性有害物质。废气即腐蚀了柴油机的零部件，又降低了润滑油的润滑效果，因此，一定要保持曲轴箱通风管的畅通。另外，当活塞与缸套、气门与气门导管的配合间隙过大时，高温高压废气也会由此处大量地窜入曲轴箱，加速润滑油的氧化变质，因此，要及时更换被磨损的活塞、缸套或气门导管组件。

（7）柴油机工作时温度过高或过低　水冷式柴油机的正常工作温度应保持在 80～95℃。温度过高会使机油变稀，加速润滑油的氧化变质，降低润滑油的作用。温度太低则会使喷入燃烧室内的柴油得不到充分燃烧，一部分油气就会冷凝成液态顺着缸套流入油底壳使机油稀释。寒冷地

区工作的柴油机在起动后应怠速运转几分钟，待机体温度升高后再加负荷作业。

（8）燃油混入润滑油　如果柴油机高压油泵供油压力低、供油过多，或者喷油器雾化不良，都会使喷入气缸内的柴油得不到充分的燃烧。未燃烧完的燃油就会顺缸壁流入油底壳使润滑油变稀、粘度下降，过早地失去润滑作用。因此要及时调整喷油器，更换已磨损失效的柱塞、喷油嘴等偶件。

（9）冷却液混入润滑油　润滑油进水后就变成乳白色，并迅速变质，失去润滑作用。因此，加油时要防止水分混入润滑油中。若发现润滑油油面上升很快，应立即找出原因、排除故障，以免润滑油中混入冷却液。

二、润滑系统故障案例分析

案例 1：机油泵安装不当导致润滑油压力过低

（1）故障现象　一台康明斯 6CTA 型柴油机，维修后发现润滑油压力过低，调整机油压力调节阀时，压力有所上升，但无法恢复正常状况。测量发现机油压力表和传感器无故障，润滑油的质量和数量均符合规定。

（2）故障查找分析　由于该型柴油机自运行以来，严格按照维护规程更换润滑油和滤清器，工作环境较好，而且检查时也发现机油较干净，集滤器网也完好，因此，不存在油道堵塞的现象。由于调整机油压力调节阀时，压力有所变化，所以初步判定故障可能是机油泵泵油不足或者是润滑油油道严重漏油及曲轴和轴瓦等配合间隙过大。为了进一步缩小故障范围，开机进行检查。发现机油压力传感器松开后润滑油涌出量较小，因此基本可以排除曲轴和轴瓦等配合间隙过大的故障。

根据以上分析，首先对机油泵进行检查，发现盖板与壳体之间有两层纸垫，经询问得知，维修人员怕密封不严，所以在原有垫子的基础上又安装了一层纸垫，这显然就是故障原因。转子式机油泵的泵体与泵盖之间有起密封作用及控制转子两侧端面间隙的耐油纸质调整垫片，转子式润滑油依靠内、外转子及壳体端面间形成的工作腔来产生真空而将润滑油吸入，当内、外转子与壳体端面的间隙超过规定值时，机油泵会因内漏严重而使产生的真空度较小，吸入的润滑油量也随之减小，供油压力和供油量明显下降。因此，如果内、外转子与壳体端面纸垫过厚，就会严重影响机油泵的泵油量，导致润滑油压力过低。

检修时，通常按如下方法检查机油泵：将机油泵的进油孔浸入干净的润滑油中，用工具使泵轴按顺时针方向旋转，润滑油应从出油孔溢出。然后堵住出油孔，继续转动泵油，转动阻力应明显增加，反之则为压力不足，应成套更换转子。

（3）故障排除　将多余的垫子卸下后，装复机油泵后试车，故障排除。

案例 2：机油泵主动齿轮与惰性齿轮配合间隙过小导致润滑油没有压力

（1）故障现象　一台发电机组配备 C 系列康明斯柴油机，维修后试机时，润滑油压力基本正常，但工作一段时间后，润滑油压力突然降为零。

（2）故障查找分析　开始时润滑油压力指示基本正常，说明机油压力表和传感器无故障，检查接线时也未发现异常情况。由于维修时清洗了机油泵，所以接下来的检查重点就是机油泵。拆检机油泵时发现机油泵主动轴轴端断裂，造成机油泵停止工作，导致机油没有压力。分析认为，造成机油泵主动轴轴端断裂的主要原因是主动齿轮与机油泵惰性齿轮的间隙过小。即两者的啮合间隙过小或有的部位根本没有间隙，使机油泵传动轴受到很大的弯曲载荷，导致传动轴在内主动齿轮端面结合部位出现应力集中现象，久而久之就造成了主动轴轴端断裂。

（3）故障排除　由于影响主动齿轮与机油泵惰性齿轮间隙的环节较多，累积误差较大，所

以通常采用调整机油泵体与机体连接端面间的垫片来解决。显然此次故障主要是因为维护后装配时，没有对此间隙进行检查，导致配合间隙过小，从而造成机油泵轴端断裂的故障。更换机油泵，并且将主动齿轮与机油泵惰性齿轮的间隙调整至规定值后试机，柴油机工作正常。

案例 3：机油冷却器堵塞导致机油压力过低

（1）故障现象　一辆 EQ1141G 型东风车，装用康明斯 B 系列柴油机，由于润滑油压力低送修未果后，带故障行驶，结果造成连杆瓦烧结，曲轴报废。更换曲轴、机油泵等部件后，故障仍未排除。

（2）故障查找分析　确认润滑油的质量和数量正常后，将压力表接于机油滤清器的出油管处，开机检查发现润滑油压力远远低于正常情况，而且怠速和高速时的压力变化不大，根据以上测量结果和现象分析，可先排除机油泵至机油滤清器的油道之间的故障。

在对机油冷却器进行加压实验时发现其润滑油通路堵塞严重，而且发现机油冷却器盖板内润滑油油道有结胶现象。即机油冷却器堵塞是本例故障主要原因。经了解得知，该用户在车辆行驶了 10 多万公里时，发现动力有所下降，便给柴油机使用了润滑油添加剂。使用初期，动力有所提高，但几个月后，润滑油压力就开始逐步减小，最终导致烧瓦抱轴的故障。显然，这是因为润滑油添加剂在高温下结胶，从而附着在部件和油道上，最终导致机油冷却器及油道部分堵塞，引起润滑油压力下降。

（3）故障排除　采用醋酸溶液浸泡等方法，清除冷却器导热芯表面水垢，然后用汽油注入冷却器导热芯内，反复浸泡清洗机油冷却器并且清洗油道后故障排除。

案例 4：压力调节阀调整不当导致压力过高

（1）故障现象　一辆东风 EQ1090 型汽车，装配康明斯 B 系列柴油机，行车时出现润滑油压力过高，并且损坏机油滤清器的故障。

（2）故障查找分析　由于故障导致机油滤清器损坏，所以排除此故障时，没有开机检查，在停机状态依次逐项进行了排查。首先检查润滑油的质量、数量及机油压力表和传感器，没有发现异常。然后检查压力调节阀（压力调节阀组成及安装位置如图 6-18 所示）。打开机油冷却器的盖子（机油冷却器座总成）后看到压力调节阀的调整螺栓上垫有 4 个垫片，显然这就是引起故障的重要原因。

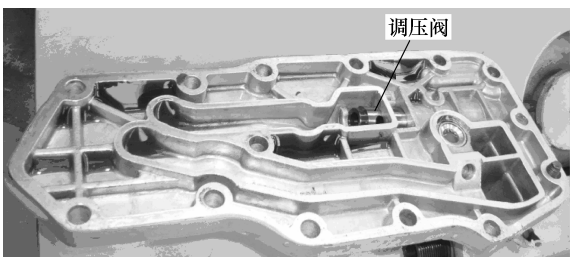


图 6-18　B 系列柴油机压力调节阀安装位置

原来，该车出现过润滑油压力过低的故障，维修人员检查发现压力调节阀弹簧弹力略小于正常值，所以将垫片垫入，压力升高至略低于正常值。后来大修时，发现机油泵磨损严重，更换了机油泵，同时更换了轴瓦，试车时，发现润滑油压力过高，维修人员认为是由于轴颈和轴瓦的配合间隙过小引起的，属于正常情况，柴油机磨合一段时间后就会正常，所以没有进一步检查，因而导致行车时出现压力过高而损坏机油滤清器的故障。显然，该车出现润滑油压力低的主要原因是机油泵磨损所致，大修后更换机油泵又没有将调压阀垫片取出，导致润滑油压力过高。

（3）故障排除　更换压力调节阀弹簧经过调整后，故障排除。

案例 5：机油压力调节阀卡滞导致润滑油压力波动

（1）故障现象　某运输车装配康明斯 B 系列柴油机，执行任务时发现润滑油压力波动后进厂维修。

（2）故障查找分析　起动后进行检查，发现低转速时，油压基本正常，但转速升高后，油压出现波动现象，特别是加大节气门的瞬间波动较大。出现该故障的原因主要有柴油机工作时润滑油内产生的泡沫较多；旁通阀或者机油压力调节阀频繁开启。首先检查润滑油的质量，没有发现异常现象。在检查机油压力调节阀时发现其柱塞有锈蚀现象。经分析认为，可能是冷却液进入润滑系统后，导致调节阀柱塞锈蚀。当润滑油压力较低时，调节阀不开启，因此压力基本正常。当转速升高后，在润滑油压力的作用下，调节阀开启，但是由于柱塞锈蚀出现卡滞现象，所以不能随着润滑油压力的变化灵敏地开启或关闭，而是间歇性地时开时关，此时会出现压力忽高忽低的现象。

经了解得知，该柴油机曾出现过油底壳进水的故障。而在维修过程中，由于不是调节阀的故障，所以没有对其进行清洗，导致调节阀积水而锈蚀。

（3）故障排除　更换调节阀柱塞，并将调节阀的开启压力调至规定值后，装复柴油机，工作正常。由该故障可知，日常维护中要加强对机油压力调节阀的检查，特别是柴油机出现冷却液进入润滑油后，防止其工作不正常而导致润滑油压力异常的故障。

案例 6：旁通阀弹簧失效导致润滑油压力波动

（1）故障现象　一台 C 系列康明斯柴油机三级保养后进行试运转，出现怠速时润滑油压力相对稳定，但全速时机油压力发生波动的现象。保养时更换了润滑油和滤清器，清洗了冷却器，拆检了机油泵。

（2）故障查找分析　首先对机油压力表和压力传感器进行了检查，没有发现异常。由于保养时拆检了机油泵，所以对机油泵进行检查，发现机油泵及集滤器与机油泵的连接处紧固无损，而且泵体与泵盖及缸体间的纸垫完好；因此，排除了机油泵吸入空气而导致压力不稳的原因。于是将故障锁定在压力调节阀和旁通阀。

检查旁通阀时，发现其弹簧断了一截，由于弹簧断了一截，当机组低速运转时，机油泵排量小、压力低，润滑油不足以顶开旁通阀；当机组高速运转时，压力升高后，旁通阀打开，旁通阀打开又会导致压力降低，钢球又在自身重力的作用下落下，如此循环造成了压力波动的现象。C 系列康明斯柴油机旁通阀安装在机油滤清器座上，如图 6-10、图 6-13 所示。

（3）故障排除　更换后试机，故障排除。

案例 7：集滤器变形导致润滑油压力过低

（1）故障现象　一台 6CTA8.3 型康明斯柴油机大修后试机时，发现怠速和全速工作状态下，润滑油压力均偏低，调整机油压力调节阀时，压力变化不大。

（2）故障查找分析　由于在大修过程中对机油泵、散热器、机油滤清器，机油冷却器等部件及油道进行了检查和仔细的清洗，对旁通阀、压力调节阀和节温器也进行了试验，均工作正常。而且连杆轴瓦与轴颈等部件的配合间隔也在公差范围内，所以基本排除以上部件的故障。检查了机油压力传感器和压力表，并且对各接线进行了紧固后，开机检查时故障仍未排除，但是发现机油压力传感器松开后与机体连接处润滑油涌出量较少，所以故障可能是机油泵吸入油量不足或者润滑油道泄漏严重。

根据以上分析，首先对集滤器进行检查。卸掉油底壳，拿出集滤器后发现滤网被压扁，而油底壳和滤网对应处严重变形，这显然是由于吊装机器时不慎将油底壳碰撞后凹陷所至。滤网变形后，机油泵吸入油量过小而导致润滑油压力过低。

（3）故障排除　更换滤网，并将油底壳敲平后故障排除。

案例 8：集滤器堵塞导致润滑油压力过低

（1）故障现象　一台 6CTA8.3 型电站用柴油机，由于气缸套磨损过大，大量机油窜入燃烧

室，导致润滑油消耗严重，因而对柴油机进行大修。大修后的柴油机，怠速运转时，润滑油压力正常；但进入到全速工作状态时，油压低报警灯点亮后机组自动停机。

（2）故障查找分析　对于刚大修的柴油机，如果出现润滑油压力过低的情况时，起动次数不宜过多，时间不宜过长，否则可能会由于曲轴和轴瓦的润滑不良造成烧瓦的事故。首先对油压低报警、停机控制电路及机油压力传感器进行了检查，没有发现故障；并且对连接线路进行了紧固，机油压力表和传感器也未见异常。然后开机试验，故障现象没有变化，而机油压力传感器连接处润滑油涌出量较少。由于是刚大修的柴油机，所以故障可能是在维修过程中，没有严格遵守操作规程，致使润滑系统某部件安装不到位导致润滑油泄漏严重；或者是集滤器有堵塞现象，或是润滑油中有杂质导致压力调节阀关闭不严等原因造成。

根据以上分析，对机油冷却器、机油泵、集滤器等部件进行检查时，发现集滤器的滤网上粘附了一层布毛。出现此类故障的原因主要是在清洗柴油机部件后，不是按规定用压缩空气将部件吹干净，而是用抹布擦洗部件，致使抹布上的布毛粘在部件上。柴油机运行时，粘附在部件表面的布毛被润滑油带到油底壳中。由于机油泵在不停地工作，所以较大的布毛及杂质被集滤器的滤网吸附。当滤网吸附的杂质较多时，将堵住机油集滤器的滤网孔隙，使机油泵进油口的进油量不足，而柴油机怠速运转时透过集滤器的润滑油量基本上能满足柴油机工作时的需要，因此柴油机全速时润滑油压力过低，而怠速时润滑油压力正常。

（3）故障排除　将集滤器清洗干净，装好集滤器、机油泵和油底壳后开机，润滑油压力正常，故障排除。

案例 9：集滤器滤网破损引起机油泵故障

（1）故障现象　一台装配康明斯 B 系列柴油机的装载机在施工时，驾驶员感到机器装载逐渐无力，观察仪表时发现水温高、润滑油无压力。检查时发现，机油泵主动齿轮断裂，连杆轴瓦刮伤严重。维修人员没有找出故障点就现场更换了机油泵和连杆轴瓦，继续工作时又发现机油压力过低，新换的机油泵主动齿轮又断裂了。

（2）故障查找分析　机油泵损坏的原因主要有以下四个方面。一是机油泵惰齿轮与曲轴齿轮的间隙过小时，机油泵齿轮作用力较大而损坏。二是当机油泵出口油路堵塞，润滑油压力过高时会导致主动齿轮断裂。三是由于机油泵齿轮间的间隙较小，若润滑油中有金属杂质时机油泵也可能损坏。四是机油泵质量有问题。

在本例中，更换新机油泵时，维修人员对机油泵惰齿轮与曲轴齿轮的间隙进行了测量，在正常范围内。因此，故障点在润滑油和油道上。停机后放出油底壳的润滑油时发现机油太脏，而且含有铁屑和轴瓦减磨合金屑，同时机油集滤器的滤网有一个小洞。显然，润滑油中的金属屑不断进入机油泵，从而导致机油泵主动齿轮断裂。

（3）故障排除　更换相应部件后，对润滑体油道和机油冷却器等进行了清洗，装载机工作正常，故障排除。需要维修人员注意的是，机油泵损坏会造成烧瓦抱轴等严重事故，因此，必须在查明故障原因后才能继续工作。

案例 10：凸轮轴衬套脱落导致润滑油压力过低

（1）故障现象　一辆装配康明斯 6BT 型柴油机的金龙牌大客车，行驶中突然出现组合仪表上的机油压力报警灯报警，驾驶员随即靠边停车进行检查，润滑油数量足够，而且未发现漏油等异常情况。

（2）故障查找分析　据驾驶员反映，该车 2 个月前刚进行了维修，维修时更换了连杆轴瓦等部件，由于润滑油油泥较多，所以清洗了机油冷却器和润滑油油道，并且更换了润滑油，最近该车行驶一直正常。根据以上情况可知，该车润滑油压力过低的原因主要有：机油压力表或机油

压力传感器故障；机油集滤器堵塞或压力调节阀失效；机油泵泵油不足；主油道严重漏油。

经检查，发现机油压力表和机油压力传感器没有故障。放掉机油检查集滤器时，发现油底壳内有铜套碎块，由于只有连杆衬套和凸轮轴衬套是铜套，而连杆衬套脱落也不会造成主油道无润滑油压力，所以可能是凸轮轴衬套损坏。由于该型柴油机体第 2 至第 7 道凸轮轴座孔与凸轮轴间没有衬套，因此，拆下前齿轮室盖后，发现气缸体第 1 道凸轮轴座与凸轮轴间的衬套已完全脱落，机油泵泵出的高压油直接从此处流回油底壳，导致主油道润滑油压力降低，机油压力报警灯报警。

（3）故障排除　更换了该衬套，装复柴油机后试车，润滑油压力恢复正常，故障排除。

案例 11：堵头穿孔导致润滑油压力过低

（1）故障现象　一台车用康明斯 EQ6BT5.9 型柴油机，平时润滑油压力在高速时略低于正常值，但在一次满载运输途中发现润滑油压力过低，更换机油压力传感器后，故障依旧。

（2）故障查找分析　由于该故障是在车辆行驶过程中出现的，而且更换润滑油的时间不长，润滑油的数量和质量均符合规定，润滑油中只有少量金属屑，另外，机油压力表和传感器也未见异常。所以，出现该故障的原因可能是压力调节阀关闭不严、机油泵泵油量不足或者润滑系统局部泄漏等。

首先对压力调节阀进行了检查，发现其弹簧压力正常，阀座与钢珠的配合面接触良好；然后对机油泵进行了检查，发现各项配合间隙均在规定范围内，而且润滑油中也没有冷却水和柴油。因此怀疑润滑系统有局部泄漏的现象，导致润滑油经过某一部位直接回到了油底壳中，所以润滑油压力无法升高。装复柴油机后，短暂起动柴油机进行进一步的观察，润滑油压力还是过低，并且发现在柴油机工作过程中从推杆室盖的密封垫处渗出润滑油，显然是推杆室腔内润滑油过多所致。停机后打开推杆室盖，其内有大量润滑油溢出，仔细检查发现推杆室前部的 1 个堵头穿孔了。

原来，康明斯 EQ6BT5.9 型柴油机的气缸体上有 3 个主油道孔，通常用堵头（水堵）堵上。可能是由于安装堵头时没有使用专用工具或者不慎将其碰伤，在柴油机长时间工作后产生了裂纹，使润滑油压力略有下降；最后在较高润滑油压力的冲刷下穿孔，润滑油涌入推杆室后流回油底壳，导致压力过低。而且该堵头位于推杆室内，不易发现，因此出现了以上故障现象。

（3）故障排除　用专用工具安装好堵头，装复后重新起动，怠速及各工况下的润滑油压力均正常，故障彻底排除。

案例 12：气门导管内壁磨损严重导致润滑油消耗量过大

（1）故障现象　某型推土机装配康明斯 N 系列柴油机，工作过程中出现过热和润滑油消耗过快的故障。起动柴油机，发现稳定运转时排气管冒蓝烟。

（2）故障查找分析　首先拆下空气滤芯后起动柴油机，发现排烟现象并未发生变化，说明冒蓝烟现象不是由于进气不充分引起的。初步判断柴油机存在烧润滑油现象。考虑到该推土机已经使用了较长时间，可能是由于缸套过度磨损或活塞环损坏引起的烧机油。因此拆下柴油机缸盖，发现活塞顶部有未燃烧完的润滑油，并且燃烧室内积炭较多。然后观察缸壁磨损情况，发现缸壁磨损并不严重。拿出活塞后，活塞环也没有装反，检查活塞环槽、活塞裙部、缸壁及活塞环的状况，并没有发现异常；因此排除了润滑油从活塞与缸套间进入燃烧室的可能性。进一步判断，燃烧的润滑油极有可能是沿气门导管进入燃烧室的。拆下进排气门，检查发现气门在导管内上下移动的同时径向也可微量晃动，气门杆和气门倒角锥面上有残留润滑油。

经过测量，发现有的气门导管管径过大。用棉纱将气门导管内壁擦干净，通过仔细观察，发现气门导管内壁磨损严重，由此可以判断烧润滑油的现象就是由于气门导管过度磨损引起的。推

断可能是维修更换新气门导管时，有的气门杆穿过气门导管时发紧发涩，修理工对其进行了修磨，导致管径偏大。而且损坏了存油的螺纹线，这样造成柴油机运转时，摇臂室里的润滑油就容易沿气门导管内壁或气门杆经气门头部流进燃烧室，造成润滑油消耗异常，排气管排烟不正常。

（3）故障排除　更换一组新的气门导管。在装配时，使用锤子和胎具镶装导管，敲击的同时应不断地旋转胎具，这样能保证导管镶装不偏斜。气门杆在装配后的导管内上下运动时应不发涩，气门落座应迅速准确并与气门座接触良好，从而起到良好的密封作用。装复后试机，排烟和润滑油消耗均正常。

案例 13：喷油泵油封损坏导致柴油混入机油

（1）故障现象　一辆东风 EQ1118G 型汽车，装配康明斯 6BT5.9 型柴油机（配 VE 分配泵）在正常行驶过程中，发现耗油量增大，且柴油机在怠速运行时，润滑油压力偏低。汽车在中、高速运行时，润滑油压力基本正常，柴油机排气管也未出现冒黑烟和冒白烟等不良现象。

（2）故障查找分析　抽出机油标尺观察，发现油底壳内油平面过高，而且润滑油变稀，很显然，润滑油中有柴油混入。由于柴油机在运行时声音正常，并未出现冒黑烟和冒白烟等不良现象，所以判断不会是由于喷油器喷油压力过低导致柴油沿着气缸壁流入油底壳与润滑油混合的。进一步检查输油泵的密封性能，发现输油泵密封性能良好。检查喷油泵，拆下喷油泵传动齿轮检视盖板后，起动柴油机时，发现从喷油泵驱动齿轮后面有大量的柴油喷出。遂拆检喷油泵，发现喷油泵前端齿轮轴颈处油封和油封座已变形，于是断定燃油是由此处泄漏后进入油底壳与润滑油混合的。

进一步检查时，发现油封座和油封有被螺钉顶过的痕迹。由于油封座材料为铝合金，所以容易产生变形，造成油封密封不严，引起燃油泄漏。因此，在拆卸喷油泵时，使用的专用螺钉不宜过长，否则会顶坏高压油泵前端的油封座和油封，损坏高压油泵。

（3）故障排除　由于油封座已经变形损坏，无法修复。更换喷油泵后试机，柴油不再进入油底壳中，柴油机的润滑油压力也正常。

案例 14：曲轴箱通风口被堵塞导致润滑油消耗量过大

（1）故障现象　一台配有康明斯 6CTA8.3 型柴油机的 120kW 的柴油发电机组，在工作过程中每天都要添加润滑油。

（2）故障查找分析　导致润滑油消耗量过大的原因主要是“漏”掉了或“烧”掉了。因此，应首先检查柴油机外部是否有润滑油泄漏现象；然后再开机，根据排烟的颜色判断是否“烧润滑油”。如果“烧润滑油”，柴油机工作时会冒蓝烟。起动柴油机，全速运转时，发现排烟颜色正常，说明润滑油是“漏”掉了。

将汽车罩盖掀开后，加大节气门时，发现机油尺管口处有润滑油喷出，说明曲轴箱内的压力过大导致油底壳内的润滑油喷出。进一步检查时发现，曲轴箱通风口被堵死，导致该现象发生。

（3）故障排除　清洁通风口后故障排除。

案例 15：怠速过低导致机油报警灯亮

（1）故障现象　某车用康明斯 6BT5.9 型柴油机在额定转速状态下工作时润滑油压力正常，但在怠速状态下运转时，机油报警灯亮。

（2）故障查找分析　柴油机工作在额定转速时润滑油压力正常，说明机油冷却器、机油滤清器等部件和油道基本正常。开机时测量机油滤清器出油管的油压，发现怠速时油压小于报警值，慢慢提高转速时，油压逐渐上升，当压力高于报警值时，报警灯灭，因此，报警灯电路正常。最后发现怠速时的柴油机转速仅为 600r/min 左右，小于正常值 800r/min。原来，驾驶员认

为将柴油机的怠速调低可以省油，所以调低了怠速转速。此时，润滑油压力小于油压报警值，因此机油报警灯亮。

（3）故障排除　将怠速转速调至正常值时，故障排除。

案例 16：低级别润滑油导致润滑油压力过高

（1）故障现象　一辆装配康明斯 B 系列柴油机的 EQ1141G 型东风车，行驶中出现润滑油压力过高的故障，对润滑油的质量和数量、机油压力传感器、机油压力表等进行了初步检查，没有发现问题。

（2）故障查找分析　当柴油机的主油道以后的部件配合间隙过小、或者油道堵塞及压力调节阀调整不当时都会导致润滑油压力过高。因此，首先检查压力调节阀。试验时，发现其开启压力正常，但是机油冷却器的油道中的油泥较多。然后将压力表接于机油滤清器的出油管处，开机检查时发现机油滤清器的出油管处润滑油压力远高于正常值。根据以上现象分析可得，故障可能是油道、曲轴主轴承、连杆轴瓦等部件的配合间隙被堵塞而导致的。

（3）故障排除　经了解得知，在一次更换润滑油时，没有相应牌号的润滑油，所以添加了低级别的润滑油，行车时没有发现异常。因此，以后更换的一直是低级别的润滑油。这就是故障所在，低级别的润滑油会在柴油机内部形成较多的油泥和积炭，导致油道堵塞，曲轴主轴承、连杆轴瓦等配合间隙过小，从而出现润滑油压力过高的现象。进行清洗后，检查了相关配合间隙，均在正常范围内，装复后故障排除。

案例 17：冷却系统节温器损坏导致润滑油压力过低

（1）故障现象　康明斯 6BT5.9 型柴油机开机运行初期润滑油压力正常，但运行一段时间后，就出现润滑油压力逐渐下降的故障。

（2）故障查找分析　柴油机运行一段时间后，润滑油温度升高（正常范围内），如果添加的润滑油质量有问题（粘度太低），就会导致润滑油压力过低的故障。因此，首先应在机器停止工作 5min 后，检查润滑油的质量。另外，柴油机运行时可以观察润滑油压力过低时油温和水温是否正常。因为水温和油温过高时，同样会导致润滑油粘度过低，致使润滑油压力过低。若水温变化不大，则说明机油冷却器冷却效果不好；若水温和油温均过高，则说明冷却系统有堵塞或者节温器有故障。

该柴油机在运行初期，油温正常，润滑油压力也正常。但运行一段时间后，水温和油温逐渐升高，润滑油压力随之降低。对节温器进行试验时发现，温度超过规定值时，节温器仍关闭，说明节温器损坏。

（3）故障排除　更换节温器后故障排除。

第七章　冷却系统构造及故障分析

第一节　康明斯柴油机冷却系统组成及工作方式

一、冷却系统的功用

柴油机工作期间，气缸内燃烧温度高达1800～2000℃，瞬时温度高达3000℃。燃烧所产生的热量只有一部分转化为机械功，使柴油机运转并对外输出做功；另一部分热量被排出的废气带走；还有一部分热量（约占燃烧热量的三分之一）经各种传热方式传给柴油机组件。特别是直接与燃烧气体接触的气缸盖、活塞、气缸套和气门等零件，使之强烈受热，若不及时加以冷却或冷却不足，柴油机会过热、充气系数下降、燃烧不正常，易发生早燃和爆燃现象；其次，与高温接触零件过热，会导致材料力学性能降低和产生严重的热应力，导致变形和裂纹；第三，温度过高，会使润滑油变质、烧损和结焦失去润滑性能，破坏润滑油膜，零件的摩擦加剧和磨损加重。由此可见，机体温度过高易引起柴油机的动力性、经济性、可靠性和耐久性全面恶化。因此，柴油机不能在过高的温度下工作。

但如果系统的冷却能力过强，亦会影响柴油机的工作性能。润滑油有可能被燃油稀释（因缸壁过冷，可燃混合气体在缸壁冷凝并聚集，冲刷气缸壁上的润滑油膜，未蒸发的燃油经气缸壁流到油底壳，稀释润滑油），恶化混合气体形成和燃烧，增加润滑油粘度和摩擦功率，造成零件间的磨损加剧、摩擦损失增加、柴油机工作粗暴。另外。通过冷却系统带走的热量是燃油燃烧产生的热量，一般约占燃烧热量的20%～30%，这是一种损失。冷却强度过大，散热损失增加，会降低柴油机的经济性。

因此，柴油机过冷或过热（即柴油机冷却系统冷却能力过强或过弱）都会对柴油机的经济性、动力性、工作可靠性带来不利的影响。冷却系统的功用是用来保证柴油机在最适宜的温度状态下工作（通常以气缸盖中冷却水的温度保持在80～90℃为宜）。起动时，应能使柴油机尽快加热到正常工作温度，并能在随后的工作中保持这一温度。

根据冷却介质的不同，柴油机的冷却系统有水冷和风冷两种形式。以空气为介质的冷却系统称为风冷系统，以冷却液为冷却介质的系统称为水冷系统。工程机械和车用柴油机普遍使用的是水冷系统。只有少数使用风冷系统。

二、冷却系统的组成与大小循环

康明斯柴油机主机冷却系统采用封闭式强制循环水冷却系统，利用具有较强供水能力的水泵和较强散热能力的水散热器，保证柴油机在各种苛刻使用情况下，都能始终处于良好温度条件下正常工作。

它主要由下列装置组成：①冷却液容器和散热装置，即散热器（水箱）、风扇。②冷却强度调节装置，即节温器。③冷却液循环驱动装置，即水泵。④冷却液清洁及添加剂释放装置，即水滤清器。⑤冷却液吸热和流动通道，即缸体水套、缸盖水套、润滑油冷却器、水管等。⑥温度检测显示装置，即水温传感器和水温表。

当工况和环境条件变化时，冷却系统应能保证柴油机可靠地工作和维持最佳的冷却水温度，正常工作的水温一般在 80 ~ 90℃之间，这主要是利用冷却系统冷却液的大小循环来实现的。冷却液在强制循环水冷系统中的流动如图 7-1所示。柴油机的气缸盖和气缸体中都铸造有水套。冷却液经水泵 5 加压后，经分水管 11 进入缸体水套 10 内，冷却液在流动的同时吸收气缸壁的热量并使温度升高，然后流入气缸盖水套 7，在此吸热升温后流经节温器 6，节温器是保证柴油机工作在最适宜的温度的关键部件，可根据柴油机负荷和水温的大小调节冷却液的冷却强度（路线和流量）：当柴油机内水温高于某一温度时，节温器全开，冷却液经大循环管全部流进散热器 2，同时，由于风扇 4 的旋转抽吸，空气从散热器芯吹过，使流经散热器芯的冷却液的热量不断地散到大气中去。此时，冷却强度大，使水温不致过高。由于这时的冷却水流动路线长因而称为大循环，循环水路为水箱→水泵→机油散热器→水套→节温器→散热器；柴油机温度较低时，节温器关闭至散热器的水道，冷却水只能经旁通循环管直接流回水泵的进水口，然后又被水泵压入冷却管路，这样的循环水路称为小循环。水流路线是节温器→旁通管→水泵→机油散热器→水套→节温器，由于冷却液直接从水泵重新进入缸体，而不经由散热器，避免了不必要的冷却，机器温度迅速上升；当柴油机内冷却液处于上述两种温度之间时，节温器部分开放，冷却水的大小循环同时存在，此时冷却液的循环称为混合循环。

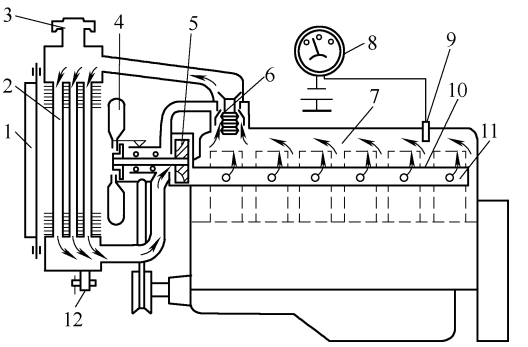


图 7-1　冷却液在强制循环水冷系统中的流动
1—百叶窗　2—散热器　3—散热器盖　4—风扇　5—水泵
6—节温器　7—气缸盖水套　8—水温表　9—水温传感器
10—缸体水套　11—分水管　12—放水阀

冷却液还会流向中冷器以冷却增压后的空气，流经水滤器以过滤冷却液并将添加剂稀释到冷却液中。为了使多缸机前后各缸冷却均匀，一般柴油机在缸体水套中设置有分水管或铸出配水室。分水管是一根金属管，沿纵向开有若干个出水孔，离水泵愈远处，出水孔愈大，这样就可以使前后各缸的冷却强度相近，整机冷却均匀。

三、冷却系统主要零部件

1. 散热器

散热器作为柴油机冷却系中的重要部件，它的散热能力在很大程度上决定了冷却系统的工作温度。康明斯柴油机水散热器通常是封闭直流强制循环铜质管带式。散热器芯部结构为管带式，芯管（即冷却水管）呈扁平形，以减少空气阻力，增加散热面积。散热带为波浪形，其上开有按规则排列的许多小窗口，如图 7-2 所示，增加了空气紊流，提高了散热效率。

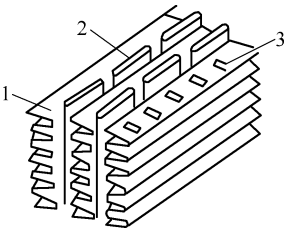


图 7-2　管带式散热器芯
1—散热带　2—冷却扁管
3—缝槽

在高速柴油机水冷系统的循环水中，往往含有少量的空气和蒸汽。这些空气和蒸汽来源的主要原因包括：由于结构设计的限制，柴油机水套中和某些零件内部有“死区”存在，积滞了一部分空气；在加注过程中，总有部分空气吸附在冷却液中加注进系统；柴油机在高负荷工作时，冷却水在高温区产生沸腾而出现蒸汽泡，当蒸汽泡增多连成一片时就形成气囊；水管接头或水泵本身密封不良时，空气渗入到冷却系统的内部形成空气泡；柴油机燃烧时燃烧压力很高，气缸垫稍有密封不良，或缸盖螺栓稍有松动，高压

燃气就很容易从气缸内窜入冷却系统中而形成气囊；在冷却系统中，若冷却液面太低，在冷却系统的空间也会存在大量的空气。这些气体如果不能排出就会在冷却液循环时产生气阻。气阻对柴油机危害是相当大的：①水泵在工作时，气体和冷却液一起循环而减少了水的流量，引起柴油机内部温度升高，甚至会造成柴油机过热，导致柴油机水套内局部沸腾，致使局部的热应力猛增。②在冷却液中残留的空气会造成局部冷却不均匀，以及燃烧的废气溶解在冷却液中易形成酸，引起零件生锈和腐蚀，使零件的寿命缩短。③渗入的气体会使缸套、水泵产生穴蚀而加速损坏。

为了解决水泵产生穴蚀，散热器上水室低、去除冷却系统中的空气和水蒸气等问题，康明斯柴油机采用了高位后置式强制除气装置——膨胀水箱，膨胀水箱的主要功能是：

1）在冷却回路中提供冷却液的膨胀空间（即作为膨胀室），使冷却液和空气分离，驱除水路中的气体，消除冷却液的气阻。

2）容纳从散热器溢流出来的冷却液，并使之流回到冷却系统中去，防止冷却系统中冷却液的减少。这对于加注防冻液、防锈剂的冷却系统更为重要，因为一般柴油机的冷却系统中如果没有膨胀水箱，水受热膨胀后，水蒸气将通过散热器的蒸汽阀排出；且随着时间的推移，冷却液逐渐减小，而膨胀水箱可减少冷却液的损耗。膨胀水箱也可用于贮存因柴油机熄火之后发生的后沸腾而失去的冷却水。柴油机在长时间热运转或高速大负荷运转后，立即停止运转或怠速运转时就会发生后沸腾现象。这是因为此时冷却液停止或大大减慢了循环速度，使冷却液的热量散发不出而产生了后沸腾。总之，膨胀水箱能避免冷却液的损失。

膨胀水箱在冷却系中的布置如图 7-3 所示，膨胀水箱与散热器并联在水路中，并高于散热器，其位置越高，对抑制气囊形成的作用越有利，但对系统的耐压性要求也越高，一般膨胀水箱的底部至少高于出水总管 600mm。

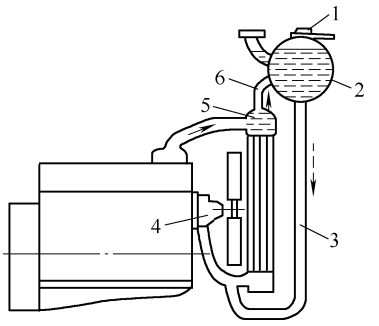


图 7-3 膨胀水箱

1—呼吸阀 2—膨胀水箱 3—平衡管 4—水泵 5—上水室 6—除气管

冷却系统的最低压力出现在水泵叶轮进口处，所以膨胀水箱通过平衡管 3 和水泵 4 的进口处相连，以防止该处压力下降。膨胀水箱由于设置的位置比柴油机水路中任何一点都高，利用它的水位压力就可以部分甚至全部平衡水泵吸水处可能产生的真空度，这有利于减少水泵叶轮和壳体上的穴蚀，延长水泵的使用寿命。在散热器的上水室 5 容易发生气滞的地方利用除气管 6 与膨胀水箱相连，这有利于把空气引至膨胀水箱，使气水分离。一般在缸盖出水管的一端也接有除气管，该位置是缸盖水套的最高点。冷却系统大循环开始后，汽水混合物流经除气管进入膨胀水箱，气（汽）水混合物进入膨胀水箱后发生分离，并使气（汽）体排除，维持系统压力在一定的范围。不含气（汽）体的冷却液从水箱底部流经回水管回到水泵进水口，重新参加循环。

工作时，被柴油机加热的冷却液具有膨胀空间，很少从溢流管滴漏出去，从而避免冷却液的损失。膨胀水箱提供一定量的冷却液储备，可保证长期不需加水，也便于添加冷却液。在这个闭式冷却系统中，冷却液在散热器和膨胀水箱之间来回流动，虽然膨胀水箱中冷却液液面有时升高或降低，但散热器中总是充满冷却液。同时，在强制除气循环中，除气管口径与回水管口径的匹配很重要，除气管口径过大，则除气循环流量增加，回水流量加大，气（或蒸汽）水混合物在膨胀水箱中的除气时间减少，部分气泡未来得及排入膨胀空间又被带回柴油机水套中，除气不净；除气管口径过小，则除气循环流量减小，部分气体或蒸汽无法进入除气循环中，而被大循环或小循环带走，同样产生除气不净。因此柴油机除气管与回水管是经过多次试验选定的，不能随意用其他口径的管子代替。

带有膨胀水箱的冷却系统中，散热器盖基本上是永久安装而不拆卸的，只有在大修时，彻底清洗冷却系统才可拆开。当仅仅是为了检查冷却液液面高度或添加冷却液时，不应拆下散热器盖。液面高度可在膨胀水箱上检查（一般在膨胀水箱上都作有标记，以指出正常的、热的和冷的冷却液的液面位置），冷却液可从膨胀水箱加入。

2．水泵

水泵的作用是对冷却液加压，使冷却液在冷却系统中加速循环流动，增强冷却效果。

康明斯 B、C 系列柴油机冷却系统所采用的水泵总成结构如图 7-4 所示，水泵由传动带驱动，为半开单级蜗壳离心式，安装在柴油机缸体的前端面上。水泵蜗壳坐落在缸体前端，与缸体铸成一体。其进水口与旁通管路作为气缸体的一部分均在气缸体内部。它由水泵壳体 1、水泵带轮 2、滚针轴承 3、水泵水封 4、水泵叶轮 5、矩形密封圈 6 组成。

水泵叶轮装配在轴上，与轴的连接是压入配合，必须经 3.46kgf · m 的转矩试验而不松动，以防止冷却液的泄漏。水泵叶轮 5 和水泵壳体 1 之间靠水泵水封起密封作用。水泵水封 4 是由紧压在水泵壳体座圈上的烧结石墨静环和紧压在联轴滚针轴承轴上的陶瓷动环组成，静环和动环的摩擦面都经过仔细的研磨，具有良好的密封性能。水封的外径涂用密封胶，保证水泵静环与壳体相对静止不运动，并提高密封效果，烧结石墨静环具有较好的技术性能，使用寿命较高。矩形密封圈 6 实现水泵壳体与缸体间的密封。水泵壳体下部有一个 7mm 的泄水孔，由水封处渗漏的水可以从泄水孔流出，不能将此孔堵住来防止漏水，以免水积聚在水泵腔内浸泡轴承，破坏轴承润滑。如果水泵运转时或柴油机停机时从孔中漏水不止，必须将水泵总成拆下仔细检查，确定是水泵故障必须更换水泵总成，水泵总成不能分解检修。

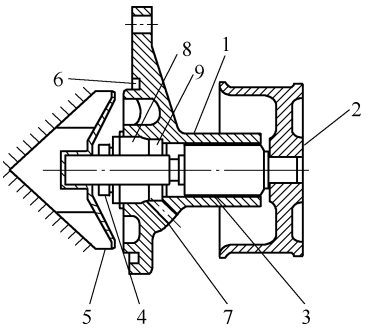


图 7-4　水泵总成结构

1—水泵壳体　2—水泵带轮　3—滚针轴承　4—水泵水封　5—水泵叶轮　6—矩形密封圈　7—泄水孔　8—陶瓷动环　9—石墨静环

柴油机运转时，曲轴带轮通过传动带传动，带动水泵叶轮和冷却液旋转。在自身的离心力作用下，冷却液沿叶片向叶轮的边缘甩出，并被叶轮排出的冷却液沿着蜗壳上与叶轮成切线方向的缝隙通道，进入压出室。其大部分速度能转换成压力能，然后被压送进柴油机气缸体和缸盖的水套中去。此时，叶轮进口处因液体的排出而形成低压或真空，对水泵进水口产生一定的吸力，并使水箱中的冷却液经进水管被强制吸进水泵的叶轮进口。旋转着的叶轮连续不断地吸入和排出冷却液，形成冷却系统内的强制循环。

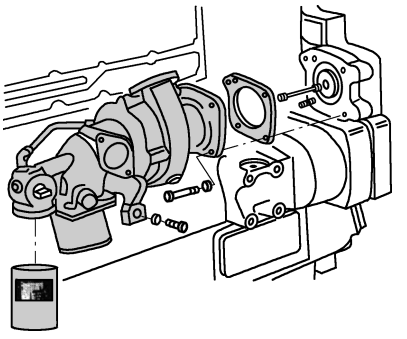


图 7-5　康明斯 K19 柴油机水泵总成

某些康明斯柴油机使用的离心水泵，泵体不铸在机体上，如 K19 系列柴油机水泵装于柴油机的左侧。康明斯 K19 柴油机水泵总成如图 7-5 所示。水滤清器装在水泵上。水泵由花键轴带动的齿轮驱动，水泵有 2 个防摩擦的球轴承，由来自柴油机的压力润滑油进行润滑。水泵轴两端装有水封和油封。油封和水封之间的空腔通向通气口，这样可以防止在发生泄漏时润滑油或冷却液造成的污染。从通气口渗出的润滑油或冷却液不会影响柴油机运行。在推荐的保养间隔期应检查通气口是否堵塞。

3．节温器

康明斯 B、C 系列柴油机采用的是蜡式、底通型节温器，如图 7-6 所示。推杆 3 的一端固定

在支架1的中心处，另一端插入胶管5的中心孔中。胶管与节温器外壳7之间形成的腔体内装有精制石蜡4。常温时，石蜡呈固态，弹簧8将主阀门2推向上方，使之压在阀座上，主阀门关闭；而副阀门随着主阀门上移，离开阀座打开。当柴油机水温升高时，固态蜡逐渐变成液态，其体积膨胀，迫使胶管收缩，从而对推杆锥状端头产生上举力。固定不动的推杆对胶管、节温器外壳产生向下的反推力。当柴油机水温达到规定的水温时，推杆对节温器外壳的反推力可以克服弹簧8的预压力，主阀门下移开始打开，副阀门下移逐渐关闭。当水温达到和超过主阀门全开温度时，主阀门全开，而副阀门正好完全关闭。

以康明斯B系列柴油机节温器为例（见图7-7），说明其工作过程。当柴油机开始运行时，冷却液温度较低（低于83℃），节温器主阀门全闭，而副阀门全开，来自柴油机缸盖出水口的循环热水从节温器副阀门的通道流回水泵进行小循环。当冷却液温度达到节温器主阀门开启温度时（≥83℃），随着温度的逐渐升高，主阀门慢慢开启，副阀门慢慢关闭，节温器主阀门、副阀门均处于半开状态，冷却液的大、小循环同时进行。当温度达到和超过主阀门全开温度时（≥95℃），主阀门全开，达到最大升程，节温器副阀门正好全部关闭了小循环通道，这时全部冷却液沿出水管进入散热器进行冷却，进行大循环。

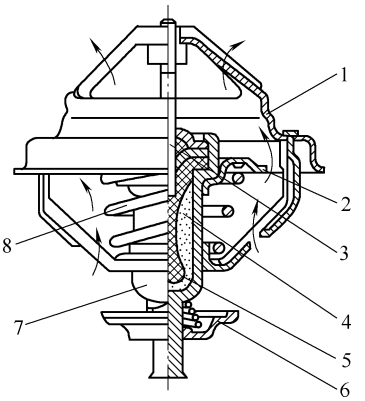


图7-6 蜡式节温器
1—支架 2—主阀门 3—推杆 4—石蜡
5—胶管 6—副阀门 7—节温器外壳 8—弹簧

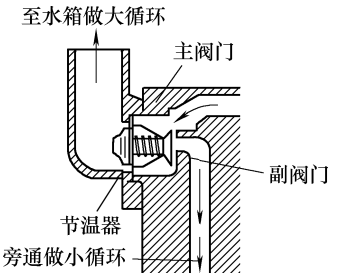


图7-7 康明斯B系列柴油机节温器工作过程

4. 水滤器

康明斯C系列、N系列柴油机都装有水滤器。水滤器滤芯装在壳体内，需定期更换。水滤器中装有由多种化学元素组成的DCA滤芯，这种滤芯可与清水或永久性防冻剂（防漏防冻剂除外）配合使用。冷却系统中一小部分冷却液流经DCA水滤器，对冷却液进行滤清并释放DCA成分，以保证冷却液中必要的DCA浓度。其作用是调节冷却液酸碱度；抑制和防止水垢及沉淀物的堆积；防止气缸套被穴蚀和腐蚀；消除和防止冷却系统产生气泡。DCA在冷却液中的浓度随柴油机工作时间的延长不断地被稀释，因此应定期更换滤芯（每250h或6个月进行B级保养时更换）。若使用中需要增加冷却液，则必须按照维修规程，对冷却液中的DCA含量用随机所带的“冷却液检查包”中的药品进行检查，以确定所应添加的DCA数量，DCA的含量应维持在0.32～0.79单位/L之间。需要说明的是，检测的整个过程需在75s内全部完成。

此外，还应注意的是：

1）B级保养时所更换的DCA滤芯与新柴油机上所装的预装滤芯不同。因为B级保养时冷却液已有DCA含量，而新柴油机中是清水，两者的DCA含量不同。

2）在冬季，最好在冷却液中加用防冻液，以免冷却液冻结，而不需要采取每天放掉冷却液的办法，因为这样会浪费 DCA。如光用清水则会使气缸套严重穴蚀。

3）在装有 DCA 水滤器的柴油机上不能使用防漏剂，因防漏剂会堵塞 DCA 水滤器，所以“防漏防冻液”不可用在康明斯柴油机上。

4）如果需补充加入冷却水，则应使用预先经处理的冷却水。

5）每次放空冷却系统中冷却水后，应装入预装滤芯。

6）为确保有效的防护作用，每换三次滤芯或间隔更短的时间内就应检查一次冷却液。

水滤器座可装到节温器壳上或远距离安装在水滤器歧管上。水滤器座有两种形式阀门，即阀式水滤器座（见图 7-8）和柱塞式水滤器座。它们的作用都是在更换水滤芯时关闭柴油机的水路，这样在更换水滤芯时就不必放尽冷却液。

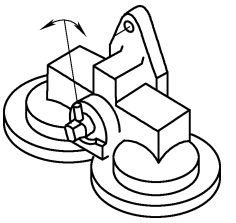


图 7-8　阀式水滤器座

5．风扇

风扇安装在散热器的后面，其功用是当风扇旋转时，使冷空气以一定的速度和流量通过散热器，以增强散热器的散热能力，加速冷却液的冷却。风扇的位置应尽可能对准散热器芯的中心，以提高散热效果。为了提高冷却效率，在散热器上安装有导风罩，使通过散热器芯部的气流分布更均匀；同时集中穿过风扇，减少空气回流现象，由于散热器是安装在机架上，风扇安装在柴油机上，各自部位所承受的振动不同，因此风扇叶端与导风罩之间应保持 15～20mm 的间隙。风扇的扇风量主要与转速、直径、叶片形状、叶片数目及叶片安装角度有关。叶片数目通常为 4～7 片，安装时与风扇的旋转平面成 30°～45°倾斜角。为了减少叶片扇风时的振动和噪声，叶片间往往相互成不等角安装，一些康明斯柴油机还在风扇与连接法兰之间安装橡胶减振块，用于吸收曲轴的扭振，以达到保护风扇叶片，并使它不致因扭振的影响而发生断裂。风扇传动带应保持一定的张力，若传动带过松，传动带与带轮之间就会打滑，使风扇和水泵的转速下降，影响散热效果，传动带也易磨损；若传动带过紧，则会使水泵轴承受的侧向力增加，加速水泵和传动带的磨损。康明斯柴油机多采用张紧轮来自动调节传动带张紧度。

在使用中不要用拉动或撬动风扇的方法来转动柴油机，否则会造成严重的人身伤害或使风扇损坏。不要试图修理断裂或弯曲的叶片或缺少平衡重的叶片，否则会破坏风扇的动平衡。不要用通过弯曲叶片的方法来增加送风能力。弯曲叶片会造成材料的应力增加，从而造成风扇故障。

6．冷却液

对于冬季温度在零度以下的地区，必须使用防冻液，否则可能会冻裂机体和机油冷却器等部件。康明斯系列柴油机冷却系统要求使用长效防冻防锈液，它含乙二醇 50%（容积比），在标准大气条件下，沸点为 109～110℃、冰点为 －40℃。经试验证明，该冷却液对各种金属和橡胶都无腐蚀作用。

使用防冻防锈液主要优点是：

1）保证柴油机冷却系统水道内腔不会结垢，以免影响散热性能。

2）防冻防锈液的沸点比水高，提高了冷却系统性能，防止柴油机冷却系统产生“开锅”现象。

3）可调节乙二醇配比，满足极寒地区的使用要求，保证柴油机在所有地区均能安全过冬。

在密封良好的除气循环冷却系统内，只要整个系统无泄漏现象，无需经常添加冷却液，并可长时间使用，大大减少了维修保养工作量。

第二节 冷却系统典型故障分析

一、冷却系统故障的主要原因

柴油机工作时，与高温燃气相接触的活塞、气缸套、气门等零部件，从燃气中吸收了大量的热量，具有很高的温度。因此，柴油机通常采用水冷方式，因为水冷系统更便于温度调控，有利于提高柴油机的使用寿命与降低燃油油耗，而且还可利用冷却液的热量来提高驾驶室与车内的温度，用做暖风装置的热源。但如果冷却系统失效，也会导致一系列不利后果，因此，应及时排除冷却系统故障。冷却系统典型故障主要包括过热和过冷。

1．柴油机过热

柴油机工作时，如果冷却液温度过高，会降低活塞、气缸套等零部件的强度，并过早地发生磨损，甚至变形。同时，过高的温度将使零部件的膨胀量过大，零件之间的配合间隙过小，造成运动件表面拉伤，甚至卡死。此外，机体温度过高时，进入燃烧室内的气体温度也会升高，密度减小，实际进入燃烧室内的气体量减少，导致柴油机功率下降。

柴油机过热的主要原因有 2 个方面：首先是冷却系统的散热能力下降，其次是柴油机产生的热量增加。

（1）冷却液过少　如果冷却液在正常消耗中减少后没有及时补充，或者由于泄漏等原因造成冷却系统缺少冷却液，柴油机工作时产生的热量就不能被及时带走，从而导致冷却效率降低，冷却液温度过高。

因此，在日常工作中，应定期检查液位，若发现冷却液缺少应及时补充。

导致冷却液消耗量过大的原因包括：

1）气缸垫局部损坏或变形。若气缸垫在气缸套附近有局部损坏，或者由于未按规定顺序和扭力拧紧气缸盖螺栓而使气缸垫变形时，都会导致燃烧室周围出现极小的缝隙。柴油机工作时，冷却液在活塞下行吸力的作用下会被吸入气缸，再经高温高压作用蒸发后，同废气一起排入大气，造成冷却液消耗过大。

2）气缸盖有裂纹。若龟裂发生在进、排气门座鼻梁处，当柴油机工作一段时间后，机器温度升高、水压增大，裂纹处的缝隙就会增大，于是冷却液便从裂纹缝隙处漏出，直接沿排气歧管排入大气。这种原因引发的故障多发生在冬季。如起动机器时，先起动后加冷却液，就会使高温气缸盖急剧降温而产生应力、出现裂纹；冬季放冷却液时，应先让柴油机怠速运转几分钟，待水温下降后再放尽，否则也会使高温机件急剧降温而出现裂纹。

3）缸盖上喷油嘴铜套泄漏。柴油机工作过程中，如果缸盖上喷油嘴铜套漏水，冷却液就会进入气缸中，最终经排气管排入大气，导致冷却液消耗过量。如果泄漏严重，会导致冷却液混入润滑油中。

4）其他原因。当冷却系统连接部位出现泄漏现象时，冷却液会消耗过量。

（2）冷却系统水垢过多　由于水垢的热导率很小，所以如果冷却系统的水垢过多，势必严重影响冷却系统的散热效果，致使冷却液温度过高。积垢过多使水道堵塞，分水不畅也会导致过热。

如果柴油机冷却系统加注的是含矿物质较多的井水或泉水等硬水，柴油机工作时，由于冷却液吸收热量、蒸发后，使水中的矿物盐浓度逐渐增加，达到饱和状态时，矿物盐析出后沉积在冷却系统的管壁或水套内，导致温度过高。因此，在实际工作中，应添加自来水、雨水或雪水等清

洁软水，最好采用纯净水。

对于长期未清洗水垢的柴油机，若出现过热无法排除时，应考虑是否水套内积垢太多。检查时，可先把冷却液放空，再加满冷却液，并计量注入的体积，若比规定值明显减少，则减少的体积即被水垢所占据，可采用化学溶剂法清洗水垢。

（3）风扇传动带松弛、断裂或张紧轮调节不当　风扇传动带过松或因油污而打滑时，动力难以传递，致使风扇转速低、冷却液流量减小，引起冷却液温度过高。对于车用柴油机来说，如果风扇的控制电路出现故障，也会导致转速不够或者停止转动，而使冷却液温度过高。

出现故障时应先检查风扇的转动情况及风扇传动带是否打滑。如风扇不转或转速太低，可检查风扇传动带的松紧度。若过松，应检查传动带张紧器是否损坏，若损坏应更换新件。检查风扇传动带的张力是否合适，采用的方法一般是在传动带的最长跨度处用 30～40N 的力按压传动带，其挠度为 9.5～12.7mm 即可（见图 7-9）。对于车用柴油机来说，还应观察工作时，风扇的转速是否随着冷却液温度的变化而变化。

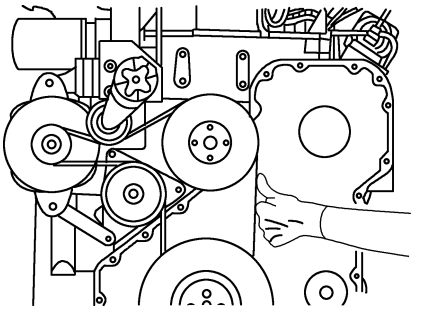


图 7-9　风扇传动带张力的检查

冷却风扇装反、扇叶角度变小或新换的风扇规格不合要求等也会导致柴油机过热。

（4）水泵故障　水泵主要用来对冷却液加压，使之在冷却系统中加速循环流动。在使用中，水泵可能出现漏水、工作不良、甚至停止工作等故障。

1）水泵叶轮松脱。如果叶轮与水泵轴连接处配合松动或松脱，会引起水泵轴不能带动叶轮旋转，水泵停止工作，导致冷却液温度过高。

2）水泵轴折断或磨损。水泵轴折断或磨损后，会引起水泵轴不能带动叶轮旋转，水泵停止工作。

3）水泵叶轮与泵壳及泵盖端面间隙过大。如果叶轮与泵壳及泵盖端面的间隙过大，叶轮旋转时，一部分冷却液会从间隙处泄漏，导致压力不高，冷却液的流量不足，致使温度过高。

4）水泵水封损坏。离心式水泵的轴承处安装有水封，用来防止冷却液泄漏。检查如果发现水泵泄水孔漏水，说明水封已经破损，应及时拆卸检查。

（5）节温器故障　一般情况下，柴油机起动后，冷却液温度低于节温器的开启温度时，冷却液作小循环，只吸热而不经散热器散热，冷却液温度升高较快。如果节温器失灵，主阀门无法开启或者开启温度过高，则散热器和柴油机之间的冷却液无法流动，造成冷却液散热不良，导致其温度过高。

拆松散热器进水管，进行起动试验，冷却液应能有力排出。否则，若故障不在散热器出水管，则说明水泵或节温器有故障。进一步拆下节温器进行起动试验，若散热器的进水管仍不排水，则说明水泵有故障。若拆下节温器后，散热器的进水管变得排水有力了，则故障出在节温器，应换新件。

（6）水温传感器故障　正常情况下，冷却液温度变化时，水温传感器的阻值也随之相应变化，但当水温传感器失效阻值过小时，水温表的指示值就会过高。此时可将传感器的接线断开，然后用万用表进行测量，若阻值过小则说明传感器失效。

（7）水温表故障　水温表指示值过高时，经过测量水温传感器没有损坏后，可用万用表测量水温表的阻值，若阻值过低，则说明水温表失效，应更换新表。

（8）散热器故障

1）散热器芯表面堵塞。柴油机在工作过程中，散热片间有油泥杂物等堵塞，造成散热不良。遇到此类情况，可在柴油机熄火后，从散热器后面用压缩空气吹或用低压水流冲洗，除去杂物，然后再用软毛刷清理芯部。

2）散热器芯内部堵塞。由于柴油机工作后冷却液温度升高时水中的矿物盐就会沉积在散热器芯子内壁，形成水垢，导致芯管不通畅或被堵塞，散热效果不好，冷却液温度过高。可采用以下方法检查，首先将散热器内原冷却液放掉，然后关闭放水开关，用量器将水加入散热器，比较加入的水量与标准容量之差，即可判断散热器是否有堵塞。如果芯管有堵塞现象，应对其进行除垢清洗。若散热器堵塞较轻时，一般可用具有一定压力的自来水沿冷却液循环的相反方向清洗冷却芯管。若散热器水垢堵塞严重时，可选择除垢除锈清理剂来清除水垢。

散热器出水胶管老化吸瘪或内壁脱层堵塞等，也会导致水温过高。若散热器温度低，而柴油机温度高，说明冷却液循环不良。检查散热器出水胶管是否被吸瘪，或胶管内壁是否有脱层堵塞，若胶管被吸瘪应更换新管。应急处理时，可在吸瘪的胶管内放适当的弹簧进行支承。

3）散热器芯子变形或破裂。由于机械损伤等原因，造成散热器芯变形或散热片大面积倒伏，使气流不能通畅穿过散热器芯，散热面积减少，造成散热不良。此时，应将散热器翅片拨至原位，恢复散热器芯的平直形状，并且检查是否有破损现象导致漏水。

检查水散热器各部温度是否均匀。如果散热器冷热不均，说明内部芯管有堵塞或散热片倾倒过多。

（9）散热器冒气泡

1）气缸垫损坏。气缸垫损坏俗称“冲缸垫”。当气缸垫被燃烧产生的高温、高压气体损坏后，气体就会冲入冷却系统，导致水温过高。一方面可通过观察缸体和缸盖结合处是否有气泡；另一方面可起动柴油机并升高转速，观察散热器中是否有大量气泡冒出。若有气泡，则说明气缸垫可能损坏；若确认缸垫损坏，应更换新件。

2）气缸、气缸盖有裂纹或缸套穿孔。如果气缸、气缸盖有裂纹或缸套穿孔，柴油机工作时的高压气体就会从裂纹或破损处进入冷却液道，造成水温迅速升高。这种故障的主要特征是打开散热器盖时，有气泡冒出，而且冷却液表面有一层油渍，如果发现这种现象，应及时查明原因，然后根据故障情况进行焊补或更换。

3）缸盖螺母未拧紧。未按规定力矩拧紧缸盖螺母。若力矩太小，缸盖没压紧，高压燃气就会窜入水道。应按规定力矩拧紧缸盖螺母，并定期重新拧紧。

4）缸盖平面变形。缸盖平面加工不平或变形，造成漏气。应磨削缸盖平面或更换缸盖。

（10）柴油机长时间超负荷运行　柴油机超负荷运行，会造成供油量过多。当产生的热量超过柴油机冷却系统的散热能力时，也会使冷却液温度升高。此时，柴油机大多有冒黑烟，耗油增大，声音异常等现象。

（11）供油时间过迟　供油时间是决定燃烧过程的重要因素，如果供油提前角过迟，就会产生强烈的后燃，使冷却液接触高温气缸壁的时间相对延长，传递给冷却液的热量增加，导致冷却液温度过高。

（12）喷油器滴油、漏油、雾化不良　喷油器工作正常时，雾状的柴油在气缸内气体涡流的作用下，形成混合气，着火滞后期短且燃烧过程正常。喷油压力低，雾化质量差；喷油压力高，有利于雾化，但喷油压力过高时，会导致大量燃油喷在燃烧室壁上，形成油膜，不能良好燃烧，导致排气管冒黑烟或者白烟。可采用逐缸断油法进行检查。

（13）气门间隙过大或过小　气门间隙过大或过小时，会导致配气相位失准，从而使压缩终了时，压缩压力降低。进气不充分，排气不彻底，使缓燃期和后燃期延长而产生水温过高的现

象。因此首先应正确调整气门间隙和凸轮轴的轴向间隙，并且在更换凸轮轴、正时齿轮时，应注意新旧零件的对比，装配时应使各标记点按要求对准。实验测得气门间隙增大或减小 0.1 ~ 0.2mm 时，配气相位可能提前或滞后 4° ~6°。

（14）气门、活塞和气缸过度磨损　气门与气门座圈或活塞与气缸磨损过度时，会导致气缸漏气，致使压力下降，燃烧不良，从而引起缓燃期、后燃期过长，出现冷却液温度过高，动力下降，燃油消耗量增加等现象。

气门与气门导管、活塞与气缸磨损过度时，排气管冒蓝烟，这是由于大量润滑油进入燃烧室，蒸发后未能燃烧的结果。因此，在维修或者安装时，应仔细检查气门与气门导管、活塞与气缸的配合间隙，如不符合规定，应更换或者修配。

（15）空气滤清器堵塞　空气滤清器堵塞，会使混合气过浓，柴油机工作时排气管冒黑烟，动力下降，且冷却液温度过高。特别是在工程机械上使用的柴油机，由于工作条件恶劣，要特别注意加强空气滤清器滤芯的保养和维护。

康明斯柴油机通常采用机械式空气阻力指示器来检测空气滤清器的空气阻力，以此判断空气滤清器的清洁程度。当滤芯堵塞严重时，空气阻力指示器衔铁会被磁铁吸住，从而一直显示红色，此时应清洁或者更换滤芯。滤芯清洁或更换后，按下复位按钮，指示器恢复正常。

（16）柴油机在 2500m 以上的高原地区使用　高原地区的气压低，所以冷却液的沸点降低，柴油机工作时冷却液挥发加快，导致冷却液减少而使冷却液温度过高；另一方面，高原空气中含氧量少，燃烧过程恶化，随着排气温度的升高而产生后燃现象，导致冷却液温度过高。

此时，可以适当增加散热器盖蒸汽阀弹簧的张力，即增大蒸汽阀的开启压力。使冷却系统内的绝对压力与普通条件下的压力相当。这样既能减少冷却液的蒸发损失，又能提高冷却液的沸点。

（17）其他可能导致冷却液温度过高的原因

1）炎热季节在闹市区行车，因频繁起动和长时间怠速运转，散热不良，造成高温。

2）在超载情况下高速行驶容易造成高温。

3）在长距离的上坡路上连续行驶会导致高温。

2．冷却液温度过低

如果柴油机过冷，散发的热量过多，柴油机燃烧转化成的有效功就会减少，柴油机的燃油消耗率就会增加；零部件温度过低时，膨胀量不足，相互间的配合间隙过大，在运动中发生相互撞击，磨损也会增加。由此可见，冷却过度对柴油机的工作也是十分有害的。

（1）节温器故障　正常情况下，节温器的主阀门应处于关闭状态。只有当冷却液温度高于开启温度时，节温器才开始开启，冷却液进入散热器进行散热。

如果节温器失灵，阀门无法关闭或者卡滞，则柴油机起动后，部分或全部冷却液直接进入大循环，造成散热过度，从而导致其温度过低。

（2）水温传感器故障　正常情况下，水温传感器的阻值是随着冷却液温度的变化而有规律的变化，但是当水温传感器失效后阻值过大时，水温表的指示值就会过低。此时可将传感器的接线断开，然后用万用表进行测量，若阻值过大则说明传感器失效。

（3）水温表故障　水温表指示值过低时，经过测量水温传感器没有损坏后，可用万用表测量水温表的阻值，若阻值过高，则说明水温表失效，应更换新表。

也可在柴油机起动时，用手触摸散热器，如果感觉冷却液温度并不低，则为水温表或传感器及线路有故障。

二、冷却系统故障案例分析

案例 1：节温器故障导致冷却液温度过高

（1）故障现象　某电站用康明斯 C 系列增压型柴油机，空载运转时，冷却液温度达到正常值后，逐渐缓慢上升，但是带负载后，冷却液温度上升幅度较快，直至“开锅”，但卸掉负载后，温度又慢慢下降。

（2）故障查找分析　由于该型电站使用时间不长，而且是按标准加注的冷却液。因此，故障点可能是冷却液有泄漏或者节温器有故障。在确保冷却液的数量符合规定后开机并且带负载进行检查，发现冷却系统外部无泄漏现象，而且排烟无明显异常。将 2 个节温器拆卸后进行试验，即将节温器放入带温度计的盛水容器内，然后缓慢加热到节温器的开启温度，如图 7-10 所示，发现右侧的节温器不能正常开启。

C 系列康明斯柴油机有 2 个节温器，温度较低时，2 个节温器处关闭状态，即主阀门均关闭（见图 7-10a），而副阀门打开，冷却液流向旁通水道，进行小循环；当温度达到节温器主阀门开启温度时，2 个节温器主阀门开始开启，处中间状态（见图 7-10b），此时主、副阀门均打开，部分冷却液流向散热器，大、小循环同时进行；当温度达到节温器主阀门全开温度时，2 个节温器主阀门全开，而副阀门全关，冷却液全部流向散热器进行大循环（见图 7-10c），此时左边节温器的副阀门将旁通通道关闭。

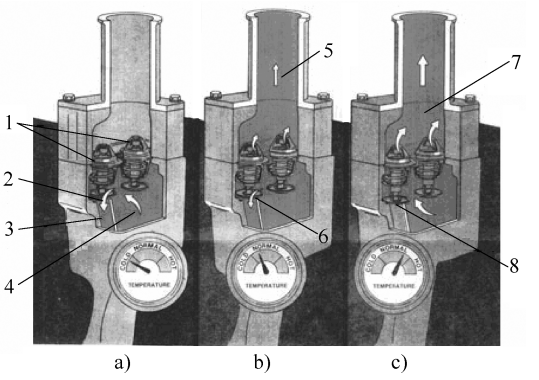


图 7-10　C 系列康明斯柴油机节温器
a）关闭状态　b）中间状态　c）开启状态
1—节温器　2—流向水泵进口　3—旁通通道
4—冷却液流向旁通通道　5—部分冷却液流向散热器
6—部分冷却液流向旁通通道
7—冷却液流向散热器　8—旁通关闭

可知，若图 7-10 中 2 个节温器中右侧的节温器不能正常开启，将使大循环的水流量减少，导致带负载后水温过高。由于大循环仍能部分进行，因而空载时水温正常。

检查节温器工作是否正常的方法有：将节温器放入带温度计的盛水容器内；缓慢加热到节温器开启温度，保持 5min，检查节温器是否开启；继续加热使水温达到节温器阀门全开的温度，保持 5min，测量节温器的升程；另外，当温度下降时，检查节温器阀门是否紧贴阀座。上述检查中若有一项不良，则应更换节温器。

（3）故障排除　更换节温器后，故障排除。

案例 2：高压洗车导致散热器芯变形

（1）故障现象　一台车用康明斯柴油机，由于水温偏高而报修。

（2）故障查找分析　维修人员进行了如下检查：打开散热器盖观察水流情况，水流量较大，证明节温器已打开，水泵泵水正常。检查风扇传动带预紧度亦符合规定。检查点火正时，发现点火较迟，调整后试车，故障依旧。触摸散热器上、下水管，发现其上、下温差不大，故断定是散热器水垢太厚，影响了散热效果。对散热器进行了大修，清除水垢后装复试车，效果还是不太明显。仔细观察散热器表面，发现了故障所在。散热器散热管上的散热铜片有多处大面积凹瘪封堵，造成了散热器前后空气流通受阻，且散热铜片上污垢太多，也大大影响了散热器的散热效果。

询问驾驶员得知，该车多次使用高压水枪洗车，该故障就是高压水流冲击散热铜片导致凹瘪封堵所致。

（3）故障排除　将凹瘪的铜片复原，并用1.0MPa的压缩空气将散热器表面的污垢清除干净，试车，水温恢复正常。该故障也提示广大车主朋友，当用高压水枪清洁车辆时，要避免水枪直射电器元件、散热器等部件，以免造成意外故障和不必要的损失。

案例3：空气—蒸汽阀损坏导致散热器损坏

（1）故障现象　某部一车用C系列康明斯柴油机，行驶过程中发现冷却液温度过高，经检查发现冷却液过少，添加到规定值后，继续行驶。半小时以后，水温又偏高，停车检查时，冷却液又减少了。检查发现散热器下部有漏水现象，对其进行焊接后，试机发现冷却液温度正常，冷却液也没有过量减少现象。但是该车高速行驶过后，又出现散热器漏水和冷却液温度过高的现象。

（2）故障查找分析　显然，这起冷却液温度过高的故障是由于散热器中冷却液泄漏导致的，而散热器芯屡次破损可能是由于质量较差或者是冷却系统压力过高造成的。经过检查，排除了第一种原因。接下来查找压力的来源。如果是气缸内的高压气体进入散热器，那么柴油机工作时，散热器内应有较多水泡逸出，因此旋掉散热器盖后开机，没有发现异常现象。最后检查散热器盖上的空气—蒸汽阀，检查发现蒸汽阀被异物卡死。

为了防止冷却液溅出，散热器的加水口平时用散热器盖盖住。但是由于柴油机工作后温度升高，冷却液会产生水蒸气，从而使冷却系统的气压升高，如果冷却系统完全封闭，可能会胀裂散热器的芯子。因此，通常在散热器盖内安装空气—蒸汽阀。如图7-11所示，空气—蒸汽阀主要由蒸汽阀、空气阀和蒸汽排出管等部分组成。

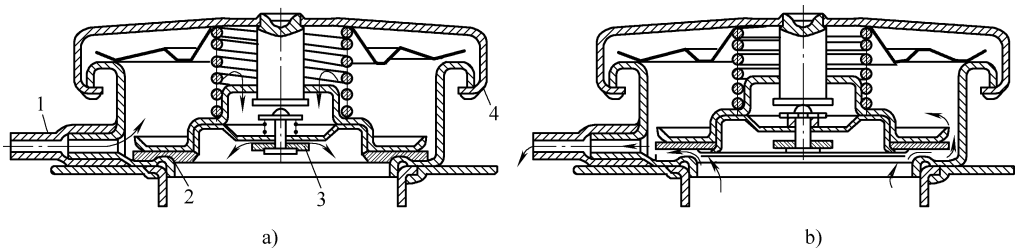


图7-11　安装空气—蒸汽阀的散热器盖

a）空气阀开启　b）蒸汽阀开启

1—蒸汽排出管　2—蒸汽阀　3—空气阀　4—散热器盖

柴油机正常工作时，蒸汽阀2和空气阀3均因弹簧的压力处于关闭，将冷却系统和大气隔开，防止水蒸气溢出，使冷却系统的压力稍高于大气的压力，从而提高冷却液的沸点，增大散热器与空气间的温差，提高了散热器的散热能力，这对于在高原和热带工作的柴油机更为有利。当冷却系统内压过高时，蒸汽阀2被蒸汽压开，经蒸汽排出管1排出一部分水蒸气，使其内压降低，保护了散热器芯不至于被过高的内压胀裂。当冷却系统内压过低时，空气阀3被大气压力压开，外界空气经蒸汽排出管1进入散热器中，防止散热器的冷却液管被大气压力压瘪。因弹簧的预紧力不同，蒸汽阀和空气阀的开启压力也不同。一般蒸汽阀在散热器内压力比大气压力高出20～30kPa时开启。由于空气蒸汽阀的自动调压作用，闭式水冷系统的沸点较高，当冷却系统内蒸汽压力保持在130kPa时，水的沸点可提高到108℃，这使柴油机机与空气间的温差增大，提高了散热能力和对气候条件的适应性，同时减少了冷却液的消耗。故目前散热器上普遍采用空气蒸汽阀。

可知，当蒸汽阀无法开启，冷却系统内部压力过高时，会导致散热器芯损坏。

在柴油机的使用过程中，如果需要打开散热器盖进行检查，必须使冷却液温度低于50℃，否则就会出现如图7-12所示的冷却液向外喷射而被烫伤的现象。



图7-12　冷却液温度过高时打开散热器盖

（3）故障排除　焊接散热器并更换散热器盖总成后，故障排除。

案例4：膨胀水箱喷水

（1）故障现象　一台山东推土机总厂生产的TY220型推土机，柴油机的散热器在使用过程中经常有喷水现象，使冷却水迅速减少，并产生高温，无法正常工作。

（2）故障查找分析　对该机进行大修时，曾更换了缸套、气缸垫、风扇传动带、水泵易损件和节温器，并对散热器内部进行了彻底的清洗，对缸盖进行了水压密封试验，均未发现异常现象。但在试机时，仍出现喷水现象。针对上述故障，对该机的冷却系统进行了认真分析。

该机所用康明斯NT—855型柴油机，冷却系统采用独特的膨胀水箱，膨胀水箱的结构示意图如图7-13所示。散热器的上水室被隔板5分成两部分，一部分为膨胀水箱。膨胀水箱由两根细中心管（除气管）2与散热器上水室相连通。膨胀水箱顶部设有加水管口，管下部有一小孔，该孔限制了冷却水的膨胀高度。膨胀室的右上方装有空气蒸气阀，它可以使膨胀水箱内的压力保持在49kPa，冷却水沸点111.7℃。当膨胀水箱内的压力高于49kPa时，空气—蒸气阀开启并排气，当箱内的压力低于大气压时，空气—蒸气阀也能开启并吸气。

如图7-14所示为装有上述膨胀箱的NT—855型柴油机冷却系统。由图可见，膨胀水箱9与水泵吸水侧通过平衡管8相连通，可以防止该处的冷却水产生较大的负压，防止汽蚀现象。缸盖出水管的一端有除气管1与膨胀水箱相连接。

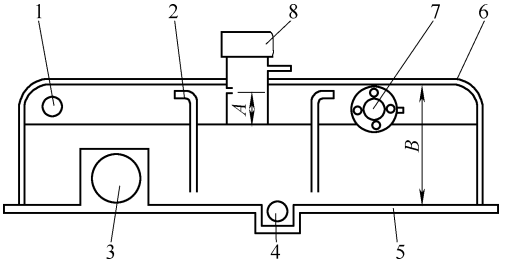


图7-13　膨胀水箱的结构示意图

1—除气管口　2—中心气管　3—进水管　4—平衡管口　5—隔板　6—上水室　7—空气—蒸气阀　8—加水口盖　*A*—膨胀高度　*B*—驱气高度

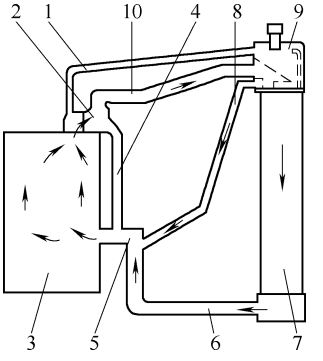


图7-14　NT—855型柴油机冷却系统

1—除气管　2—节温器　3—气缸体　4—旁通水管　5—水泵　6—水泵进水管　7—散热器　8—平衡管　9—膨胀水箱　10—散热器进水管

除气管和两根细中心管能有效地分离水中的蒸汽和空气。在系统压力的作用下，气（或蒸汽）水混合物从膨胀水箱上部的除气口进入。在正常情况下，除气口与膨胀水箱中储备的冷却液的液面总保持一定的距离。气（或蒸汽）水混合物在降落过程中，大的气泡膨胀破裂；另外，小的气泡随冷却液落入储备的冷却液中，由于气泡比水轻，会自行向上运动，最终越出液面，进入膨胀空间，实现气水分离，并产生使系统释压的作用。膨胀空间中的蒸汽在适当的强度下冷凝，重新进到冷却液中参加循环。

针对该机出现的故障现象，先排除了缸盖与缸体之间漏气、缸套断裂、传动带打滑、水泵性

能不良等可能引起故障的因素，重点对水箱上部的膨胀水箱进行了充气密封试验。试验结果发现，隔板上有许多针眼状的气孔，因此造成了漏气现象，破坏膨胀水箱独特的气、水分离作用。这样，就加剧了冷却系统的气阻现象，减少了水泵的出水量，造成冷却系统的高温。

（3）故障排除　更换散热器中的隔板后，装配试机，此故障排除。

案例 5：水泵轴与叶轮断裂脱落导致冷却液温度过高

（1）故障现象　一辆货车，已行驶 10 万多公里，某次执行任务，在高速公路上行驶时，车辆报警，提示冷却液温度过高。

（2）故障查找分析　检查时发现气缸盖上的水堵脱落，由于水堵无损坏和锈蚀现象，所以将其安装好进行试机，结果冷却液温度还是过高。显然，水堵不是由于安装不到位而脱落的。初步判断可能是冷却液温度过高导致气缸盖上的水堵孔径变大，水堵与水堵孔的过盈量减小。同时，高温导致冷却液膨胀产生大量的气体，使冷却系统内产生高压，所以导致水堵脱落。

首先检查节温器，未发现异常。然后起动柴油机，检查水泵的运行情况时，发现即使冷却液温度达到节温器全开温度，也无明显流动现象，所以故障原因是水泵不工作。并在拆检水泵时，发现叶片与水泵轴之间已经断裂脱落。

（3）故障排除　从以往情况了解得知，该车保养时从未检修过水泵。由于柴油机在大负荷运转时，水泵叶轮上的工作压力较大，又因水泵叶轮老化、强度变差，致使其断裂脱落，柴油机冷却液便不能正常循环，致使温度上升。更换了同型号的水泵后试车，工作正常。

案例 6：水泵安装不当导致冷却液温度过高

（1）故障现象　某部一辆东风 EQ1092 型汽车，行驶途中发现冷却液温度过高后报修。

（2）故障查找分析　在排除了水温表及传感器的故障后，检查节温器，未发现异常。起动柴油机，检查水泵的运行情况时，发现冷却液有流动现象，所以初步检查时排除了水泵。由于柴油机工作时，散热器内无明显水泡冒出，而且工作一段时间，冷却液也未见明显减少，说明冷却系统无泄漏现象。最后还是将故障原因集中到水泵上，拆检水泵时发现叶轮与泵盖之间垫有 2 层垫片，这就是故障所在。

该型柴油机采用的是离心式水泵，柴油机工作时，水泵叶轮在水泵轴的带动下旋转，产生的离心力使冷却液的压力提高后进入到冷却系统中进行循环。一般情况下，泵壳相对叶轮部分的高度与叶轮的厚度相差很小，为了保持密封性，安装泵盖时，通常只垫入厚度小于 1mm 的垫片。如果叶轮与泵壳的间隙过大，叶轮旋转时，一部分冷却液从该间隙中流失，导致冷却液压力下降。即叶轮与泵盖之间的间隙直接影响水泵的泵水量及泵水压力，且间隙过大时，水泵产生的压力降低，进而导致泵水量急剧减少，造成柴油机散热不良，冷却液温度过高。

（3）故障排除　这起故障是由于维修不当引起的，而在检测故障点时，又出现判断不准的失误。即对水泵工作正常时冷却液的流量判断不准，以上均是由于维修人员实践经验不足而导致的。将叶轮与泵盖间多余的垫片拆除后，装复水泵试机，恢复正常。

案例 7：风扇叶装反导致冷却液沸腾

（1）故障现象　一台刚刚完成大修的大宇挖掘机，配置的康明斯 6BT 型柴油机，运转一段时间后，其水散热器中的水就发生沸腾。

（2）故障查找分析　首先在柴油机运转的情况下，从水散热器的加水口处观察水泵出水情况良好，说明水泵与节温器正常。然后对柴油机冷却系统的水道进行了清洗，试机后柴油机水散热器内冷却水仍旧沸腾。为此，又对柴油机的配气机构、供油系统等逐项检查，故障仍未排除。

继续仔细检查，发现水泵上的风扇叶装反了。风扇叶装反后，冷却效率下降，最终造成水散热器内的冷却水沸腾。

（3）故障排除　正确安装风扇叶后试机，冷却水不再沸腾。

案例 8：机油冷却器损坏导致冷却液泄漏

（1）故障现象　某单位一台推土机，开机前检查时发现有水从润滑油量油尺孔边缘不断地向外滴，散热器中的冷却液已所剩无几。

（2）故障查找分析　经了解可知，推土机出现该故障前，在工地上施工，一直没有发现异常现象。说明冷却液是在柴油机停机后泄漏到油底壳中的。而导致该故障的原因主要有机油冷却器泄漏或者气缸套封水圈损坏。于是首先对机油冷却器进行加压试验，即拆掉机油冷却器的冷却液以及润滑油的进口和出口连接管，然后堵住冷却液出口，在冷却液进口处通以一定压力的水，结果发现润滑油口有水流出，说明漏水的故障出在机油冷却器内。冷却液泄漏故障是冷却器芯焊接处开焊造成的，而且可能是在柴油机停机过程中出现的，所以推土机工作结束时，没有出现异常现象。但是当柴油机熄火后，润滑油压力接近零，而散热器有一定高度，这时冷却液压力大于润滑油压力，冷却液就会从冷却器芯开焊处流入油底壳，从而造成水从机油量尺孔边缘向外滴的现象。

（3）故障排除　拆检机油冷却器，找到了开焊处的位置，重新焊好后故障即被排除。

案例 9：气缸套漏气导致冷却液温度过高

（1）故障现象　一辆豪华旅行大客车，配备后置式康明斯 B 系列柴油机。该车在修理厂进行大修时，更换了活塞、活塞环、轴瓦等零部件，磨削了气缸盖平面，更换了气缸套。大修完毕后，在厂内进行磨合时未见异常，但交付车主使用后，出现冷却液温度过高的故障。据车主反映，该车在达到正常工作温度后，再行驶 3 ~ 5km，冷却液温度便会达到 100℃。若停放一段时间，待水温降低后继续行驶时，在很短的时间内又会升高到 100℃。柴油机没有异响，也未见有水从气缸体渗出。

（2）故障查找分析　柴油机没有异响，排气管冒烟也基本正常，可以判断气门、气门与导杆等配合间隙基本正常。首先对冷却系统进行基本检查，未发现漏水、渗水的现象，散热器里的冷却液位也符合规定。起动后检查水泵的运行情况时，也没有发现异常，而且散热器上、下水室没有明显的温差，但是发现有少量气泡，于是怀疑是气缸垫冲坏了。因此，拆下气缸盖后检查气缸垫，却没有发现明显的烧蚀现象。经过仔细观察发现，气缸套顶部高出气缸体上平面的部位有一个破损，装上气缸垫时，其活塞孔正好套在破损处的外圆上，且气缸垫与破损口的上平面平齐。由此可以判断是由于气缸垫密封不严导致高压燃气窜入水道，造成冷却液温度过高。

（3）故障排除　更换气缸套，并且按规定扭力拧紧缸盖螺栓后，再没有出现冷却液温度过高的现象。

案例 10：缸盖裂纹导致冷却液消耗过度

（1）故障现象　某推土机配置的是 NTA855 型康明斯柴油机，工作过程中出现冷却液温度过高的故障。停机检查，发现散热器中冷却液不足。加足冷却液后，故障消除；但运转一段时间，故障再次出现。停机检查，发现散热器中冷却液又少了很多。

（2）故障查找分析　拆下气门室罩盖检查时，发现缸盖上面有少量白色泡沫，而机油无明显增加，说明有少量冷却液泄漏到润滑油中，以上现象说明冷却液是蒸发掉了，即可能是气缸盖或者缸套等部件有裂纹，导致在进气冲程中，气缸内形成负压，冷却液由裂纹进入气缸，而压缩和做功冲程中，部分冷却液在高温的作用下汽化。在排气冲程中，大量汽化了的冷却液排入大气，致使冷却液消耗过量，而残留的少量冷却液沿气缸壁流入油底壳，导致润滑油中有少量冷却液而产生白色泡沫。

对缸盖和缸套进行检查。拆下气缸盖后，发现第 1 缸积炭严重，活塞顶部有水，说明该缸有

冷却液泄漏现象，但是检查缸套时却没有发现裂纹。对缸盖进行水压试验，结果发现有水从第1缸排气门处流出。拆下排气门时，发现缸盖上的气门座附近有一条清晰可见的裂纹，表明冷却液就是从这里泄漏的。检查缸盖时，发现水套内壁有厚厚的一层水垢。分析认为，由于排气门座附近温度高、散热条件差、结构单薄，而水垢的隔热作用使散热条件进一步恶化，因而在应力集中的作用下产生了裂纹。

（3）故障排除　更换缸盖，并清洗水套后装机试车后，故障排除。

案例11：气缸体水堵穿孔导致冷却液温度过高

（1）故障现象　某车发现行驶约20km后出现冷却液温度过高的现象，停车检查时发现散热器冷却液不足，添加约5L自来水后上路行驶。约20km后，冷却液温度再次过高，检查散热器时，发现冷却液又减少了。该车驶回修理厂报修，经维修人员检查，水泵工作正常，节温器也无异常，而且冷却系统外部无泄漏现象，润滑油油面无升高现象，机油也未变质。

（2）故障查找分析　为查明故障原因，首先对该柴油机的气缸垫进行拆检。在拆卸过程中，发现每缸的气门罩盖内均有少量水珠，废气涡轮增压器的压气道内也有少量水珠。起初认为这些冷凝水是因为柴油机温度过高而使曲轴箱内空气中的水分蒸发凝结而成。拆下气缸垫检查时，未发现异常现象，以为是气缸盖扭力不均导致有泄漏，于是更换气缸垫并按维护规程拧紧气缸盖螺栓后试机，故障依旧；观察缸盖与缸体结合部位时，也无明显气泡。因此怀疑缸体或缸盖有裂纹，于是对气缸盖和缸体进行检查。经过仔细检查，发现缸体左侧气门推杆室内的水堵有一个小孔，显然，由于该水堵锈蚀严重，导致穿孔。但是由于孔径较小，柴油机只有在高速运转时，漏水量才较大，而运转中柴油机温度较高，所以进入曲轴箱的冷却液大部分变成了水蒸气；在曲轴箱强制通风装置的作用下，水蒸气从进气通道被吸进燃烧室，并在气门罩盖内和增压器压气道内凝结成少量水珠，最后从排气管中排出。因为水蒸气较少，所以排出的烟色变化不明显，而且润滑油也难以看出油质及油面的变化。

（3）故障排除　更换水堵，装复柴油机后试机，冷却液温度正常，以后也没有出现冷却液过度消耗的现象。显然，如果发现不及时，水堵穿孔过大时，冷却液就会混入润滑油使润滑油变质，导致润滑不良，出现损坏增压器，甚至烧瓦抱轴的严重事故。

案例12：空压机缸盖冷却管道裂纹导致散热器“开锅”假象

（1）故障现象　一辆正在行驶中的东风EQ2100E6D型汽车，突然出现散热器“开锅”现象，从加液口“扑哧、扑哧”地喷出大量白气。

（2）故障查找分析　经检查，柴油机能顺利起动，低、中、高速运转正常，加速性能良好，润滑系统也无故障。但只要一起动柴油机，散热器加液口就“扑哧、扑哧”地喷出大量气体，水温表显示不到60℃，喷出的气体也不是热水蒸气。当拆下空压机气缸盖时，发现缸盖内部靠近出气腔一侧的冷却管道有裂纹。由此可见，该故障并非冷却液温度过高而引起“开锅”，而是因空压机缸盖冷却管道出现裂纹后压力空气进入冷却水路造成的“开锅”假象。

（3）故障排除　拆下空压机，更换缸盖后装复试机，“开锅”现象消失，柴油机工作正常。

第八章　电气和控制系统

康明斯柴油机的电气设备是其重要的组成部分。在传统的柴油机上，电气设备所占比例较小，随着机电一体化技术的发展，人们对柴油机的动力性、经济性、安全性和环保提出了更高要求，传统的机械控制方式已不能完全满足。电子技术和电控系统在康明斯柴油机上得到广泛使用，其电气设备在柴油机的工作中发挥出重要作用。

第一节　康明斯柴油机起动电气系统

柴油机不能自动从静态进入工作状态，必须先借助外力转动曲轴，使缸内燃烧做功，才能转入自动循环工作，这一过程称为柴油机的起动。使用外力或起动装置使内燃机获得所需的起动转速，是能否顺利起动内燃机的外部必要条件。从使用角度而言，燃油的品质、混合气形成的质量、环境温度、润滑状况等，都将直接影响起动性能。一般而言，冷机起动比热机起动难，冬季起动比夏季起动难。柴油机燃料靠压缩时高温自燃，故要求较高的起动转速，为 150 ~ 300r/min。汽油机是电火花强制点燃，因而起动转速低于柴油机，为 50 ~ 70r/min。环境温度越低则所需的起动转速就越高。

柴油机常用的起动方式有人力起动、电动机起动和辅助汽油机起动等。康明斯柴油机普遍应用电动机起动方式，系统主要由蓄电池、起动机、充电发电机、发电机调节器等组成，以实现起动和蓄电池就机充电的功能。

一、蓄电池

蓄电池是起动机的电源。目前柴油机上普遍采用铅蓄电池作为起动用蓄电池，由于其内阻小，故在柴油机起动时能在短时间内供给起动机 200 ~ 600A 的强大直流电流。蓄电池是一个化学电源。充电时，利用内部的化学反应将外部电能转变为化学能储存起来，通常是当柴油机转速较高时，储存充电发电机所发出的部分电能；放电时，利用化学反应将储存的化学能转换为电能输出，即在柴油机起动时向起动机和用电设备供电，并在柴油机不工作或低速运转时，向所有用电设备供电。

铅蓄电池的结构如图 8-1 所示，它由外壳、正极板、负极板、隔板、电解液等组成。

蓄电池容器由外壳和盖板组成。外壳通常用硬橡胶或塑料制成若干单格的容器（三格或六格）。每个单格内放入极板组和电解液，形成一个单格电池。各单格都有盖，盖上有 3 个孔，电桩头从两边的孔穿出，中间的孔用来加蒸馏水或电解液，孔上的塞子有通气小孔。

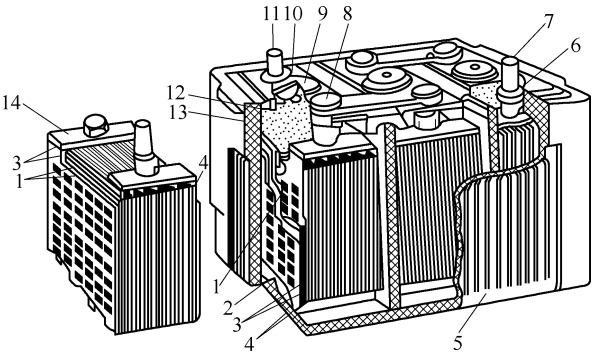


图 8-1　铅蓄电池

1—隔板　2—凸棱　3—负极板　4—正极板　5—壳体　6—密封环
7—正电极桩　8—连接片　9—加液孔盖　10—蓄电池盖
11—负电极桩　12—封口料　13—护板　14—横板

盖与外壳的接缝用沥青封口剂密封。外壳的底部有肋条，避免搁在肋条上的极板组脱落物质造成短路。单格电池的电压为2V，各单格电池的正负电桩头用铅条连接，使各单格电池串联起来，形成6V或12V蓄电池。汽油机所用蓄电池一般为12V，柴油机由于起动机的电压一般为24V，常将两个12V蓄电池串联使用。

蓄电池极板是在由铅锑合金浇铸成的栅架上，涂敷活性物质经干燥和处理而成的。正极板的活性物质为二氧化铅（P_bO_2），负极板的活性物质为海绵状纯铅（P_b）。为增大蓄电池的容量，将多片正极板和负极板分别焊在一根横条上，组成正、负极板组，交错放置，因正极板上的活性物质机械强度较低。因此将其夹在两块负极板之间，以免工作时极板翘曲变形而使活性物质脱落。同时为了防止正负极板之间短路，两极板之间加有一片多孔性的隔板。

电解液是由化学纯净的硫酸（相对密度为1.835、沸点约为338℃、含纯硫酸约93.2%的浓硫酸）与蒸馏水按一定比例配制而成。不能用工业硫酸（因含有钢、铜等杂质）或非蒸馏水配制电解液。否则，将引起极板的损坏和蓄电池容量的降低。电解液的密度（浓度）对蓄电池的工作有很大影响，密度大可提高蓄电池的容量，但密度过大时，由于电解液粘度大，渗入极板内部缓慢，反而会降低蓄电池的容量。电解液密度过小，则在低温环境使用时容易结冰。通常根据环境温度选择电解液密度。蓄电池的电解液相对密度一般为1.24～1.31，冬季和严寒地区，电解液的密度应该稍大；而夏季和炎热地区，电解液的密度应该稍小。

放电和充电时，蓄电池中所发生的化学变化见表8-1。放电时，电解液中硫酸减少而水分增加，因此电解液密度下降；充电时，水分减少而硫酸增加，电解液密度增高。这种充电和放电时电解液密度的变化，可以用来测定蓄电池的充放电程度。为了保持蓄电池的使用性能，延长寿命，使用中的蓄电池应经常保持在全充电状态。充电时应注意，在充电过程完成后若继续充电，电流将使电解液中的水分解为氢气和氧气，这些气体成为小气泡逸出电解液，造成好像“沸腾”一样的冒气现象；这时表明电池已充足电，因而在充电过程中应旋开加液孔上的塞子。

表8-1　蓄电池充放电过程

蓄电池情况	完全充电的蓄电池	放电 ⇌ 充电	完全放电的蓄电池
正极板	二氧化铅（P_bO_2）	⟷	硫酸铅（P_bSO_4）
电解液	硫酸（$2H_2SO_4$）	⟷	水（$2H_2O$）
负极板	海绵状纯铅（P_b）	⟷	硫酸铅（P_bSO_4）

蓄电池应按容量选用。蓄电池容量是指在放电允许的范围内，蓄电池输出的电量，单位是A·h。若以Q表示容量，则

$$Q = \int I\mathrm{d}t$$

式中，I为放电电流，单位为A；t为放电时间，单位为h。

Q并不是一个常数，它与放电电流I的大小及放电时间的长短有关，与放电时的温度也有关。蓄电池上标定的容量是在温度为30℃、以一定的电流值连续放电10h，到单格电压降到1.7V时所得的电量，称额定容量。如3-Q-84型（3表示有3个单格、Q表示起动型、84表示10h放电制时的额定容量）蓄电池，在10h放电制下放电电流为8.4A，单格电压将降到1.7V。但相同温度下（30℃），以250A电流放电5min，单格电压便会降至1.5V，蓄电池在这种条件下的容量称为起动容量，其大小不足额定容量的1/4。若温度降低，容量还要降低。所以，冬季蓄电池的容量比夏季要小，这将进一步增加了柴油机冬季起动的困难性。

上述铅蓄电池在使用中需要经常维护。目前广泛使用的一种新型蓄电池，称为免维护蓄电池。这种蓄电池的电解液，由制造厂在出厂前一次性加注，并密封在壳体内，因此电解液不会泄漏、腐蚀机体和接线柱。其特点是通气孔塞采用新型安全通气装置，孔塞内装有氧化铝过滤器和催化剂钯：过滤器能阻止水蒸气和硫酸气体通过，减少泄漏并避免与外部火花接触产生爆炸；催化剂能促使氢氧离子结合，生成水返回池内减少水耗。另外，这种电池由于结构、材料和加工工艺等方面的改进，使它还具有耐振、耐高温、自放电小、体积小、使用寿命长等优点，其结构如图 8-2 所示。

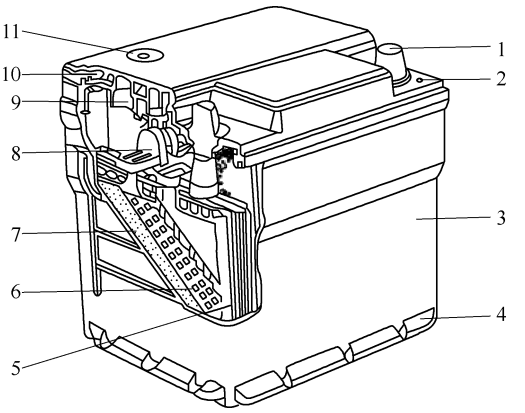


图 8-2 免维护蓄电池

1—接线柱 2—模压代号 3—壳体 4—用于安装的下滑面 5—袋装隔板 6—铅钙合金的栅架 7—活性物质 8—极板连接夹和单格连接器 9—液、气隔板 10—安全通气孔 11—电解液密度观测孔

二、电动机起动装置

高速柴油机广泛采用串励式直流电动机作为起动机，该起动装置主要由直流电动机、操纵机构和驱动离合机构三部分组成。

1. 串励式直流电动机

串励式直流电动机励磁线圈和电枢线圈串联，在低转速时转矩很大，随着转速的升高，其转矩逐渐减小，这一特性很符合柴油机的起动要求。起动机所需的功率与柴油机的总排量有关，汽油机约为 0.19～0.35kW/L，柴油机是 1.10～1.47kW/L。电动机所需电源一般为蓄电池，汽油机为 12V 蓄电池；柴油机为 24V 的蓄电池。由于电动机的起动电流很大（200A 以上），电动机只能短时间工作，每次连续工作时间不超过 5～10s。

电动机由外壳、电枢、磁极和前、后端盖等组成，如图 8-3、图 8-4 所示。外壳内固装有 4 个磁极，其上绕有励磁线圈。电枢由铁心及电枢线圈构成，起动机为了获得较大的转矩，流经电

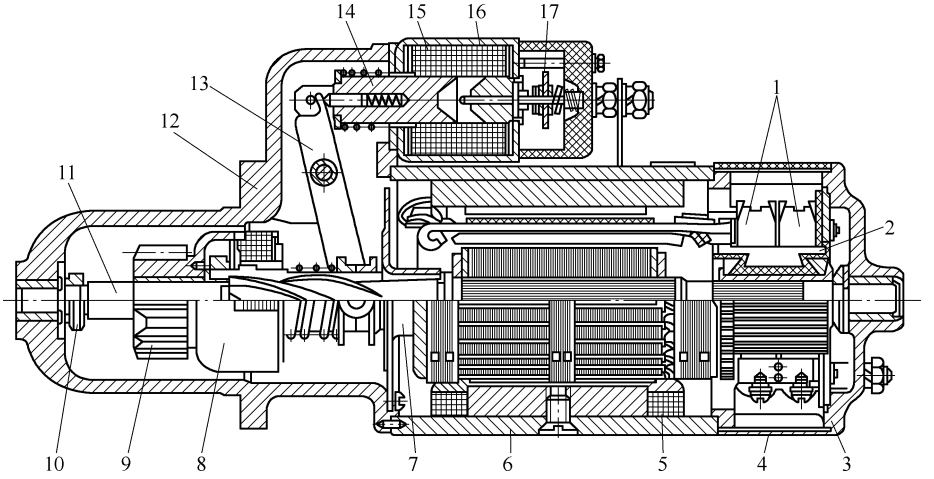


图 8-3 电动机的结构

1—电刷 2—换向片 3—前端盖 4—换向器罩 5—磁极线圈 6—机壳 7—啮合器滑套止盖 8—摩擦片啮合机构 9—啮合齿轮 10—螺母 11—起动机轴 12—后端盖 13—驱动杠杆（移动叉） 14—铁心 15—吸动线圈 16—保持线圈 17—起动开关接触盘

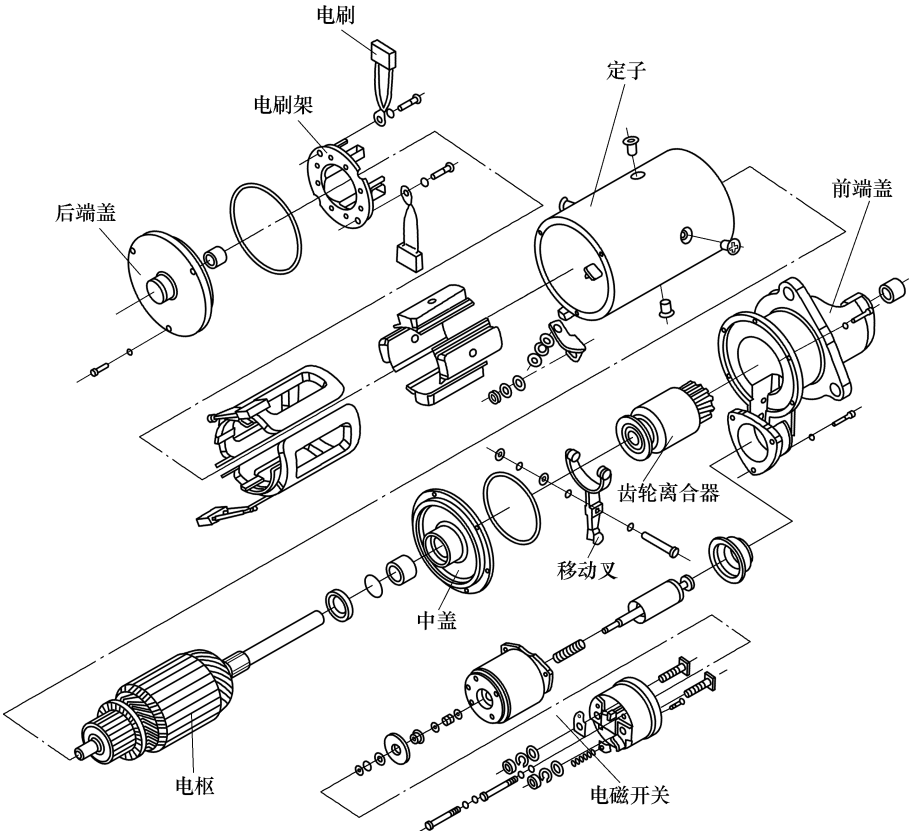


图 8-4　电动机零件分解图

枢线圈和励磁线圈的电流将达几百安，因此，通常用粗大的扁铜线绕制而成。电枢轴支承在前后端盖和中间支承板的衬套内，电枢轴的前部有换向器，后部的螺旋花键上套有驱动离合机构。前端盖的内侧装有两对电刷与换向器接触，2 个正电刷与盖绝缘，2 个负电刷搭铁。后端盖上装有电磁开关和驱动机构的拨叉。外壳上有一个与壳绝缘的接线柱，励磁线圈的一端从此引出，经扁铜条与电磁开关的起动机接线柱相连。

直流电动机是根据通电导体与磁场相互作用产生电磁力，使导体运动，把电能转换为机械能的原理制成的。

2．*电磁开关*

电磁开关是用来接通或断开起动电路，并经拨叉使起动机齿轮与飞轮齿圈啮合。电磁开关由外壳、吸动线圈、保持线圈、铁心、衔铁、接触片、触点、回位弹簧等组成，如图 8-5 所示。

在外壳内装有固定铁心，铁心的外面绕有与起动机励磁线圈串联的吸动线圈和与励磁线圈并联的保持线圈。外壳另一端的胶木绝缘体上有起动机蓄电池接线柱和起动机接线柱，蓄电池接线柱通过导线与蓄电池正极连接。两个接线柱内端的平面作为触点。衔铁位于线圈的中间，衔铁的内端向内凹进呈锥形，以便与接触片的杆端正确配合，衔铁向外的一端通过拉杆与拨叉连接。

按下起动按钮时，电磁开关电路接通。这时，吸动线圈和保持线圈内均有电流流过，产生的磁场极性相同，在其合成磁场的作用下，活动铁心左移推动推杆使电磁开关的接触盘与 2 个触点接触，从而接通了起动电路。于是吸动线圈被短路，而保持线圈仍有电流通过，它产生的磁场继续吸住衔铁，以保持接触片与触点接触。

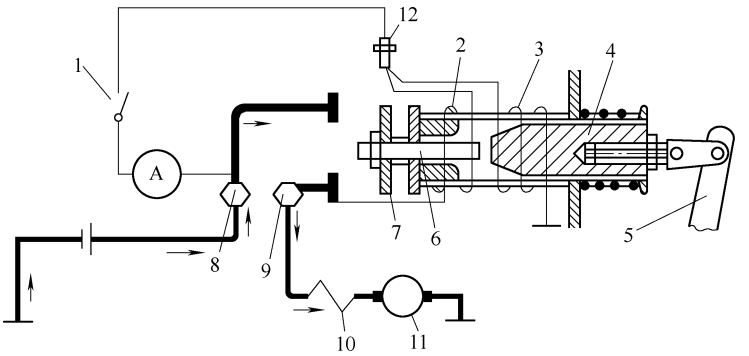


图 8-5 电磁开关及其电路

1—点火开关 2—吸动线圈 3—保持线圈 4—活动铁心 5—拨叉 6—推杆 7—接触盘
8—起动机蓄电池接线柱 9—起动机接线柱 10—励磁绕组 11—电枢绕组 12—起动开关接线柱

当起动按钮断开后，磁场消失，回位弹簧使衔铁回到原来位置，接触片与触点分开，起动机的电路被切断而停止工作。

3. 驱动离合机构

柴油机起动后，曲轴转速迅速升高。此时起动机的驱动齿轮和飞轮齿圈如不及时分离，则反过来变为柴油机驱动电动机，这时电动机按传动比以高于柴油机 10～20 倍的速度旋转，使电枢产生极大的离心力，造成起动机损坏。为此，起动机中装有离合机构，起动时，先使起动机的齿轮与飞轮齿圈啮合，带动曲轴旋转，起动后，使起动机与飞轮迅速脱开，以免飞轮带动起动机的电枢超速旋转，从而保护了起动机。如图 8-6 所示为一种摩擦片式单向离合器，内结合鼓 9 的内孔上有右旋内花键，花键套筒 10 的左端外圆上有右旋外花键，内结合鼓套在花键套筒上。花键套筒相对内结合鼓 9 发生右旋转时（从齿轮端看），内结合鼓向左移；发生左旋转时，内结合鼓向右移。外结合鼓 15 左端与驱动齿轮 1 固定在一起，右端装有被动摩擦片 6。花键套筒 10 上装有主动摩擦片 8，主动摩擦片和从动摩擦片相间排列，平时并无压紧力。起动时，起动机驱动轴带着花键套筒 10 顺时针旋转（从齿轮端看），内结合鼓 9 在花键套筒 10 上左移而将主动摩擦片和从动摩擦片压紧，此时离合器处于结合状态，起动机转矩传给驱动齿轮，带动飞轮旋转。柴油机起动后，齿轮 1 变成从动齿轮，而且转速比花键套筒 10 快。于是内结合鼓 9 在花键套筒 10 上右移，摩擦片松开，离合器处于分离状态，柴油机转矩便不能传给电动机。

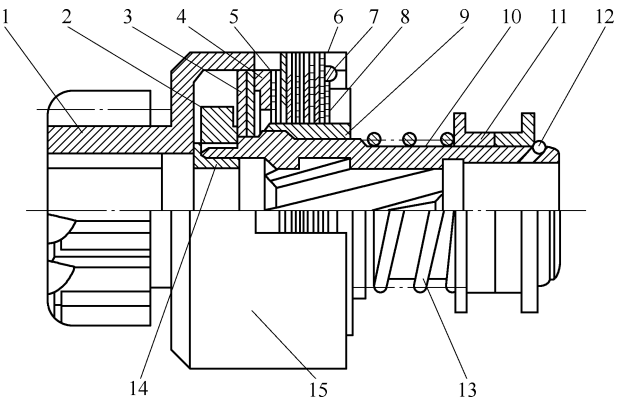


图 8-6 摩擦片式单向离合器

1—驱动齿轮与外结合鼓 2—螺母 3—弹簧垫圈 4—压环
5—调整垫圈 6—被动摩擦片 7、12—卡环 8—主动摩擦片
9—内结合鼓 10—花键套筒 11—移动衬套 13—缓冲弹簧
14—挡圈 15—外结合鼓

当起动电动机向柴油机传递超负荷转矩时，压环 4 压在弹簧垫圈 3 的外缘使其向左弯曲，致使垫圈的中部向右凸出顶住内结合鼓 9 的左端部，从而限制了主从动摩擦片之间的压紧力，离合器开始打滑。这样，便限制了转矩的过分增大。同时利用调整垫圈 5 可以改变内结合鼓 9 端部与弹簧垫圈 3 之间的间隙，以控制弹簧垫圈的变形量，调整离合器所能传递的最大摩擦力矩。

4．减速型起动机

随着工业技术水平的不断进步，起动机正朝着小型轻量化和装配自动化方向发展。现在汽车上广泛采用体积小、转速高、转矩大的起动机，这类起动机包括刚性啮合式起动机、永磁起动机和减速型起动机等。其中，减速型起动机应用最广、发展最快，代表着现代汽车起动机发展的主流。

如图 8-7 所示为减速型起动机系统原理简图。可见，减速型起动机通过在电枢轴与传动轴之间增设一级减速机构内啮合式减速齿轮 17，使得电机在同等输出功率的情况下可以将电枢转速提高，将转矩减小。这样，电动机的尺寸、材料消耗就可以大大减小，整个起动机可以被设计得精致而紧凑，同时还能使蓄电池的负担减轻。一般减速型起动机的传动比在 3～4 左右，总质量比同等功率非减速型起动机减少约 35%，长度能减少约 29% 左右。

当按下起动开关 2，起动继电器线圈 3 得电，触点 4 吸合，吸引线圈 9 和保持线圈 10 的电路接通。其电路为：蓄电池 1 正极→起动继电器 3、4→起动开关接线柱 5，然后分两路。一路为保持线圈 10→搭铁→蓄电池负极；另一路为吸引线圈 9→起动机磁场绕组 20→搭铁→蓄电池负极。

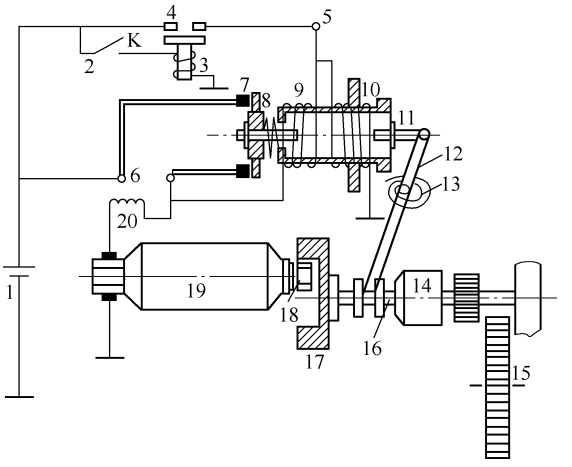


图 8-7　减速型起动机系统原理简图
1—蓄电池　2—起动开关　3—起动继电器线圈
4—起动继电器触点　5—起动开关接线柱
6—起动机蓄电池接线柱　7—主触点　8—接触盘
9—吸引线圈　10—保持线圈　11—活动铁心　12—拨叉
13—复位弹簧　14—单向离合器　15—负载飞轮
16—螺旋花键轴　17—内啮合式减速齿轮　18—主动齿轮
19—电枢绕组　20—磁场绕组

活动铁心 11 在 2 个线圈吸力的共同作用下，克服复位弹簧 13 的弹力而向左移动，带动拨叉 12 将单向离合器 14 推出与负载飞轮 15 啮合。由于此时吸引线圈的电流流经磁场绕组和电枢绕组 19，能产生一定的电磁转矩。所以单向离合器的小齿轮是在缓慢旋转的过程中与飞轮啮合的。在齿轮啮合的同时，由于活动铁心的继续向左运动，使得接触盘 8 与主触点 7 接通，于是蓄电池的大电流流经起动机的电枢和磁场绕组，产生较大的转矩，起动机正常起动，带动发动机旋转起动发动机。与此同时，吸引线圈被短路，齿轮的啮合位置由保持线圈的吸力来保持。

当发动机被起动、松开起动开关的瞬间，保持线圈中的电流只能经吸引线圈构成回路。由于这 2 个线圈的绕向、匝数相同，此时它们所产生的磁通方向相反而相互抵消，于是活动铁心在复位弹簧的作用下回至原位，单向离合器小齿轮退出啮合，接触盘脱离与主触点的接触，切断主回路，起动机停止运转。

5．起动辅助装置

柴油机在严寒季节起动困难，这是由于润滑油粘度增高，起动阻力矩增大，蓄电池工作能力降低，以及燃料汽化性能变坏的缘故。为便于起动，在冬季应设法将进气、润滑油和冷却水预热。也可采用一些用以改善燃料的着火条件和降低起动转矩的起动辅助装置，如电热塞、进气预热器（预热塞）、起动液喷射装置以及减压装置等。

（1）电火焰预热器　进气预热器（预热塞）通常装在柴油机进气管上，其作用是预热柴油机的进气。预热器的结构如图 8-8 所示，外表绝缘的空心阀体 2 由线膨胀系数较大的金属材料制

成。一端与进油管接头5相连，另一端通过内螺纹与带有外螺纹的阀芯3连接。阀芯的锥形端在预热器不工作时将油管接头的进油孔堵塞。阀体外绕有外表绝缘的电热丝1。

起动时，接通预热器电路后，电热丝通电发热并加热阀体，阀体受热伸长，带动阀芯移动，使阀芯的锥形端离开进油孔。燃油流入阀体内腔受热而汽化，从阀体的内腔喷出，并被炽热的电热丝点燃生成火焰喷入进气管，使进气得到预热。当关闭预热开关时，电路切断，电热丝变冷，阀体冷却收缩，其锥形端又堵住进油孔而截止燃油的流入，于是火焰熄灭，预热停止。

该装置的最低工作温度为 -40℃，使用简单、可靠性高，起动效果良好，但在起动发动机后立即应切忌加大油门运转，否则易造成拉缸事故。

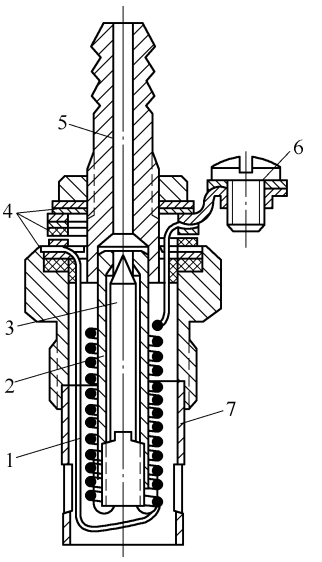


图8-8 进气预热器
1—外表绝缘的电热丝
2—外表绝缘的空心阀体 3—阀芯
4—绝缘垫圈 5—油管接头
6—预热开关接线螺钉 7—稳焰罩

（2）起动液 有的康明斯柴油机在进气管上装有起动液喷射器。冷起动时将一些易燃燃料喷入进气管，使其与空气一起进入气缸，促使混合气的初次着火。起动液一般由乙醚（64%）、丙酮（16%）、11号润滑油（10%）、硫（添加剂）和石油醚（10%）等混合而成。

（3）PTC预热器 PTC预热器是在进气系统布置一个具有一定质量的加热储能体，起动前用小电流将储能体加热到设定温度，起动时储能体可以作为一个热源不断地向进气管内空气提供热量。PTC预热器装置是一种储能型电热陶瓷进气预热加热器，它采用正温度系数热敏陶瓷作为热体。以储热—热交换方式工作，结构为同心分布多级串联散热片形式。正温度系数的PTC电热陶瓷材料是属于铁钛酸钡类半导体，其电阻值可随温度变化而改变，使加热器的电流发生变化，加热温度得到自动控制。当外界温度为20℃时，其电阻仅为0.2~0.4Ω。电路一接通，即柴油机起动开关一打开，瞬时加热电流很大，温度迅速升高，1min内即可达到60~80℃，3min内即可达到200℃。此时，电阻值趋向无穷大，电流趋于0，温度不再升高，电路几乎切断。

康明斯6BT5.9柴油机装配的PTC预热器（K—06C型柴油机进气预热起动器，蜂窝状），装配在柴油机增压器至进气管盖总成之间。PTC预热器电路系统如图8-9所示，主要由预热器保险、预热开关、预热时间控制器、预热指示灯、预热继电器和预热器等组成。该装置与常用的火焰塞、电热塞相比，具有结构紧凑、热量集中、热效率高、功耗低、可靠性好、发热体不氧化、寿命长、适用温度范围广等优点。

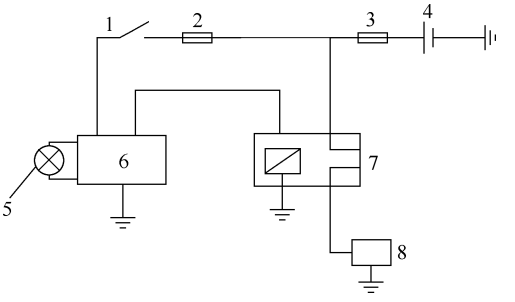


图8-9 PTC预热器电路系统
1—预热开关 2—熔丝 3—易熔丝 4—蓄电池
5—预热指示灯 6—控制器 7—预热继电器 8—预热器

PTC柴油机进气预热器基本性能与参数如下：

适用温度：5~-41℃；预热时间：4~8min；加热方式：DC/AC电加热；气门控制：手动拉线机构；发热元件：PTC热敏陶瓷；转换效率：>80%；温度控制：自动恒温；工作方式：断续；起动排放：降低率>90%。

额定工作电压：DC24V；工作电压范围：DC22~30V；额定功率：>960W；恒温功率：

＜280W；峰值电流：60～75A；恒温电流：＜10A；功耗：＜1.6Ah/次；主机外形尺寸：125mm×100mm；主机重量：1.3kg（不含接口）。

当柴油机在5～－40℃因低温起动困难时，可利用PTC进气预热器先行预热后再起动柴油机。其工作过程是：拉出预热器气门机构手柄，按下预热开关1（见图8-9），时间控制器6工作使继电器7得电闭合，PTC预热器8通电开始预热。经过设定的预热时间（一般为6min），控制器6使继电器7失电断开，切断预热器8电路，同时指示灯5闪烁，蜂鸣器鸣叫。此时可起动柴油机。起动后关闭预热开关，推回气门手柄。

预热器气门机构用以控制进入柴油机进气支管的空气流量（车用）。在加热时，减小流量，提高预热效果；工作时则恢复流量。如果使用不当或调整不当，都能造成预热效果不良，或柴油机动力下降等人为故障。

（4）循环水加热系统　也称燃油加热器加热系统。燃油加热器的工作由电脑控制，驾驶员可以通过定时器来预选加热时间。燃油加热器不仅可以与发动机冷却系统相连，通过加热由附带水泵强制循环的冷却液在低温起动前对发动机进行预热，而且还可以与汽车供暖系统相连，在发动机不工作时，也可以用来对车内供暖。这种低温预热方式的整个加热过程需30～40min，能将发动机机体温度加热到40～50℃左右。此时发动机的润滑油也得以加热，润滑油的粘度降低，发动机在低温条件下的润滑条件改善，使发动机顺利起动。该系统在大货车、大客车上普遍使用，在柴油发电机组也有使用，但结构安装尺寸过大，在小轿车上无法安装使用。

燃油加热器是与发动机相对独立的采暖设备，即在发动机不起动的情况下，可以独立达到车厢采暖、除霜的效果。

三、无刷式充电发电机

康明斯柴油机的电源系统一般由发电机及蓄电池组成。由于采用了蓄电池，柴油机的电源都是直流电源。电源除必须保证柴油机起动用电外，还要同时满足监控系统、电子调速装置等的供电要求。充电发电机除满足柴油机正常工作时的全部用电量外，还必须给蓄电池充电，以补充蓄电池在起动柴油机时电能的消耗。

硅整流充电发电机具有体积小、结构简单、重量轻、成本低、工艺简单、维护方便、低速发电性能好和允许高速旋转等优点，目前常用的硅整流充电发电机主要有电刷式和无电刷式两种。无电刷式充电发电机省去了有刷式充电发电机易出问题的集电环和电刷装置，因而在康明斯柴油机上得到广泛应用，但同时增加了励磁损耗，影响了发电机的输出功率。

1．无刷式充电发电机的结构

无刷式充电发电机主要由转子、磁场绕组、定子、端盖、元件板、调节器、风扇和带盘等组成，如图8-10所示（图8-10是一种带泵无刷交流发电机，其发电机与普通无刷交流发电机完全一样，不同的是转子轴很长并伸出后端盖，利用外花键与真空泵的转子内花键相连接，驱动真空泵给汽车制动系统中的真空筒抽真空）。

（1）转子　无刷式充电发电机转子是充电机的磁场部分，使用了一个与普通交流发电机转子铁心形状相同的爪极转子，转子由爪极、转子磁轭组成，但磁场绕组是固定在端盖的磁轭上，如图8-11所示。两组磁爪（又叫鸟嘴形磁极）中每组磁爪的爪数为6，同组磁爪极性相同，每个磁爪是一个磁极。两个爪极中的一个爪极固定在转子轴上，另一个爪极的后端制成中空，并用非导磁材料与前者焊接在一起。放置励磁绕组的圆柱形磁轭通过螺钉固定在后端盖上，电流直接由导线引入。安装时磁场绕组伸入转子磁轭和爪极的空腔内，与两者都保持有一定的间隙。工作时转子磁轭和爪极随电枢轴转动而磁场绕组不动，因而不需要电刷和滑环，便可输入励磁电流。

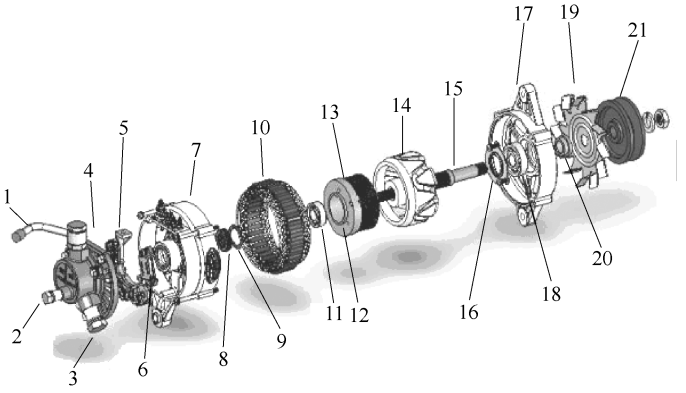


图 8-10　无刷交流发电机结构

1—抽气管　2—进油管　3—出油管　4—真空泵　5—整流桥　6—调节器　7—后端盖　8—油封　9—碟形垫圈　10—定子总成　11—后轴承　12—励磁绕组磁轭　13—磁场绕组　14—磁爪　15—轴　16—轴承盖板　17—前端盖　18—前轴承　19—风扇　20—轴套　21—带轮

由于没有电刷和集电环等导电元件，克服了接触火花，不存在集电环表面污染和电刷磨损造成功率输出不足等问题，减少了维护工作，提高了交流发电机工作的可靠性，延长了其寿命。

（2）定子　定子由铁心及定子绕组组成。定子铁心由内圆槽的环状硅钢片叠制而成，固定在后端盖中。定子槽内置有三相绕组，按星形接法联结。每相绕组的尾端联接在一起，首端分别与元件板上的硅二极管相接。

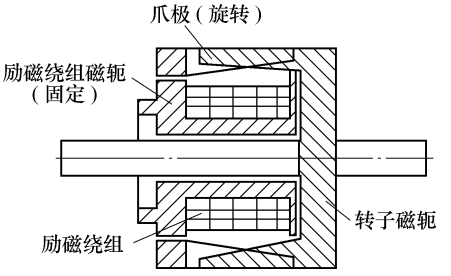


图 8-11　无刷励磁转子

（3）端盖　充电机的前端盖和后端盖都是用铝合金铸成，两个端盖上有轴承座。后端盖内装有元件板和调节器（见图 8-10），其典型线路如图 8-12 所示。元件板上压装有 11 只二极管，其中 6 只二极管组成三相桥式整流电路（VD_1、VD_2、VD_3、VD_4、VD_5、VD_6），输出充电机直流电压。3 只小功率励磁二极管（VD_7、VD_8、VD_9），与发电机的 3 只负二极管组成另一组三相桥式整流电路，向发电机磁场绕组提供励磁电流和连接充电指示灯。余下 2 只中性点二极管（VD_{10}、VD_{11}）并联于三相整流桥一侧，可用以提高发电机的输出功率。电子调节器与发电机组合安装，简化了电路，电子调节器有一根检测线与发电机输出端 B 相连接，用以测量发电机输出端电压。并根据该电压改变励磁电流，实现对发电机输出电压的调节。

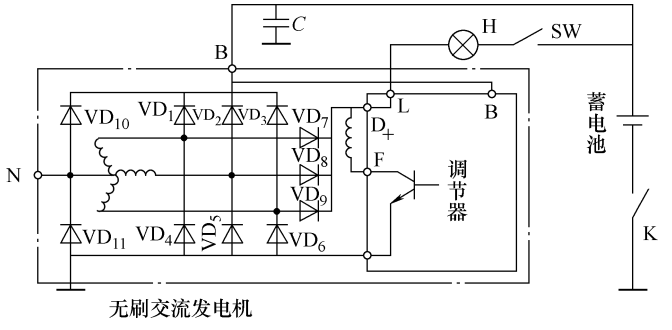


图 8-12　无刷式充电发电机原理电路

2. 无刷充电机的工作原理

发动机起动期间，发电机电压小于蓄电池电压时，整流二极管截止，发电机不能对外输出，由蓄电池供给磁场电流。路径为：蓄电池正极→点火开关 SW（或点火继电器触点）→磁场绕组→调节器→搭铁→蓄电池负极。

流入励磁绕组的电流，在励磁铁心中建立一个带状的磁通量，如图 8-13 所示。这个带状磁通量沿着各个导磁元件环行，在整个磁回路中，这个磁通量将在励磁绕组周围找到一个最低磁阻的通道：励磁电流产生的磁力线通过励磁铁心（磁轭托架）→辅助气隙 g_1→转子 N 极→主气隙 g→定子铁心→主气隙 g→转子 S 极→辅助气隙 g_2→励磁铁心形成一个闭合的磁路系统。这种结构除转子爪极外径与定子内表面之间的气隙（称为主气隙）外，在闭合的磁路系统中，增加了两个有相对运动的径向附加气隙，使闭合回路的磁阻增大。所以必须通过增加磁场绕组的激磁安匝来补偿有效磁通量所减小的部分，才能保证无刷交流发电机的输出。

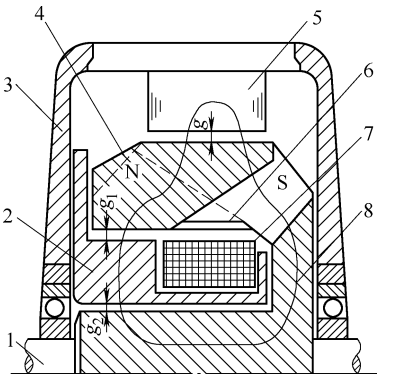


图 8-13　爪极式无刷交流发电机的磁路
1—转子轴　2—磁轭托架　3—后端盖
4—爪形磁极　5—定子铁心
6—非导磁性连接环　7—磁场绕组
8—转子磁轭

随着转子的旋转，使通过定子铁心的磁通量发生变化，定子绕组切割磁力线而产生感应电动势，定子绕组发出三相交流电压，通过三相桥式整流电路整流成直流。当转速达到 1000r/min 左右时，发电机应能正常发电并对外输出，经滤波电容 C 后输出 28V 直流电压，发电机电压大于蓄电池电压，发电机自励，并对蓄电池充电，或对其他负载供电。N 端通过 VD_4、VD_5、VD_6 中的一个硅管整流，与对地端形成半波整流电压，被称为中性点电压，其输出信号为 14V 直流脉动电压（最大负载不能超过 2A），N 端可用于接转速表。中性点电压除了直流成分外，还含有交流成分，且幅值随发电机的转速而变，与中性点相连的二极管（VD_{10}、VD_{11}）就称为中性点二极管。当中性点二极管的正极管（VD_{10}）电位最高或负极管（VD_{11}）电位最低时，中性二极管亦处于正向导通，可对外输出，能有效利用中性点电压来增加发电机的输出功率。实践证明，在交流发电机上安装中性二极管后，输出功率可增加 10% ~15%。

定子绕组的三相交流电压经三相全桥整流后，经调节器向励磁绕组供电。调节器以通/断方式调节励磁电流，使充电机的输出电压保持在（28 ±0.3）V 范围内波动，给蓄电池浮充电。发电机调节器电路如图 8-14 中调节器部分所示，主要由 3 个电阻 R_1、R_2、R_3，2 个三极管 VT_1、VT_2 和 1 个稳压管 V_R 组成。R_1、R_2 为分压电阻，VT_1 为小功率三极管，接在大功率管的前一级，起功率放大作用，也称前级放大。三极管 VT_2 为大功率三极管，其集电极与发电机磁场绕组相连，磁场绕组为 VT_2 负载，VT_2 导通时，磁场电流接通；反之磁场电流切断。因此，可以通过控制三极管 VT_2 的导通与截止，改变磁场电流使发电机输出电压稳定。

稳压二极管 V_R 是感受元件，其一端接三极管 VT_1 的基极，另一端接分压电阻 R_1、R_2，以组成电压检测电路，监测发电机电压的变化。当发电机的输出电压在分压电阻 R_1 上的电压达到 VR 的设定电压时，V_R 击穿，VT_1 有基极电流使 VT_1 导通，VT_2 截止，这就使发电机的 F 点不接地而切断了磁场绕组的电路，发电机电压便会下降。发电机电压下降时又使 V_R、VT_1 截止，VT_2 导通，发电机电压重又升高；如此反复作用，使发电机端电压被控制在一定的范围内。

现在集成电路电压调节器也被广泛使用。用集成电路开发的电压调节器体积很小，可方便地安装在发电机的内部与发电机组成一个整体，称之为整体式交流发电机。集成电路调节器的基本

工作原理与晶体管调节器完全一样，都是根据发电机的电压信号（输入信号），利用三极管的开关特性控制发电机的磁场电流以此达到稳定发电机输出电压的目的。集成电路调节器有内、外搭铁之分，以外搭铁形式居多。

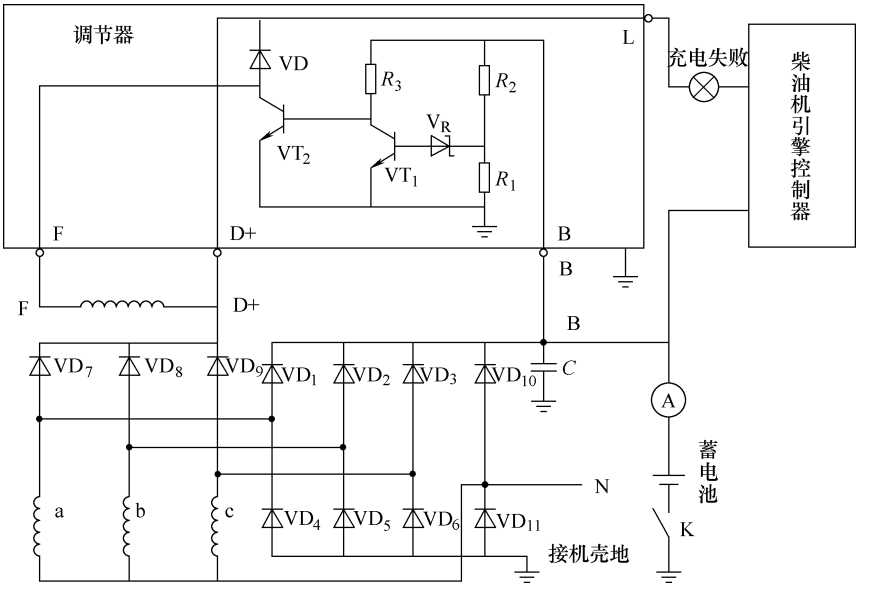


图 8-14 无刷硅整流交流发电机及调节器线路图

3．无刷充电发电机的使用维护

1）一般发电机为负极搭铁，不能用普通试火法将蓄电池正负极短路，以防将二极管烧坏。

2）汽车停驶时应及时断开电源开关，如果电源开关长时间不断开，蓄电池通过充电指示灯、电子调节器向发电机磁场绕组供电，这样会将蓄电池的电放光（见图 8-12）。

3）充电指示灯损坏及相关电路断路，发电机将无励磁电流而不能发电。当闭合点火开关后，充电指示灯不亮时，应查明原因并排除。

4）从电子调节器到整流器正元件板（即输出端）上安装有一根检测线，在拆装检修时应安装牢固。如果此线未装或接触不良，调节器将失去对发电机输出电压的控制，造成发电机或其他电器损坏。在电子调节器上，用于固定连接检测线的固定螺钉有绝缘垫圈，拆装检修时要防止漏装。如果固定螺钉上的绝缘垫圈漏装，将造成发电机输出接柱短路，损坏发电机。

5）在电子调节器上，用于固定连接磁场绕组的固定螺钉也有绝缘垫圈，在拆装检修时也要防止漏装。如果固定螺钉上的绝缘垫圈漏装，造成搭铁，电子调节器便失去了对发电机输出电压的控制，用电设备和发电机将因发电机输出电压过高而损坏。

第二节 康明斯柴油机监控电路

柴油机自动控制和监测系统主要由传感器、电子控制单元（ECU）、执行机构等组成，主要用于电子控制柴油喷射系统、增压控制、柴油机起动、在线故障检测、报警、保护及停车系统。目前，自动控制技术已广泛应用于康明斯柴油机上，它不仅提高了柴油机的性能，而且在一定程度上改善了柴油机的使用性和可靠性，自动控制技术应用程度已成为衡量柴油机先进性的重要标志。

一、康明斯柴油机常用监控传感器

电子自动控制的工作要依赖传感器提供信息反馈。传感器是柴油机控制系统的输入装置，它把柴油机运行中各种工况信息转化成电信号，输入给电控单元，以对柴油机进行状态监控，使其处于最佳工作状态。柴油机传感器很多，主要包括转速、润滑油压力、油温、水温、液位等，其中转速传感器与电子调速系统所用传感器相同。

1．机油压力传感器

（1）电位器式压力传感器　柴油机都是靠润滑油润滑的，一旦润滑油压力过低，就会因缺油发生干摩擦，造成剧烈的磨损和发热，从而损坏柴油机。因此柴油机上均安装有油压测量装置，以监测润滑油压力，目前康明斯柴油机多采用电位器式压力传感器测量油压。该传感器由一个波纹膜片和一个滑线电位器组成。在柴油机油压发生变化时，波纹膜片产生位移，带动电位器上的触点滑动，从而改变电阻值。单线制下该传感器带一个接线端，其中的电位器通过一根导线与柴油机控制单元或油压指示表连接，另一极则搭铁，如图 8-15 所示。当与油压指示表连接时，若电位器阻值改变，油压指示表内部线圈通过的电流发生变化，从而带动指针偏转，指出润滑油压力值。油压增高时，传感器可变阻值下降，输出电流增大，油压降低时，情况正好相反。

当与控制单元连接时，传感器电位器与 ECU 内部上拉电阻分压后，产生一个随电位器阻值变化而变化的电压，柴油机 ECU 根据这一电压的变化测得柴油机润滑油压力，如图 8-16 所示。

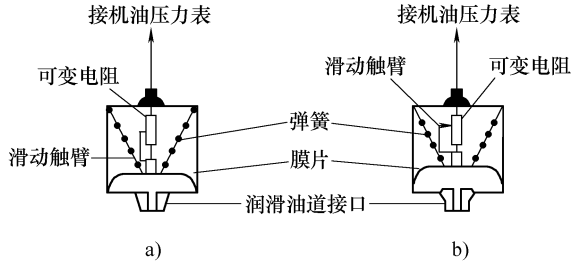


图 8-15　电位器式机油压力传感器
a）油压下降时　b）油压上升时

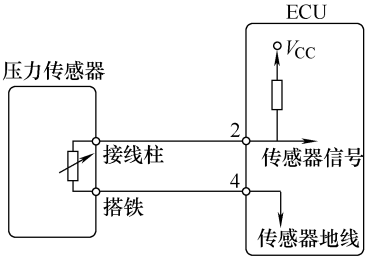


图 8-16　电位器式压力传感器与 ECU 连线

这种油压测量装置中的滑线电位器具有机械触点，并且该触点要通过最大达 100mA 的电流，而柴油机存在较大的振动，使得该传感器的机械、电气寿命受到一定影响。

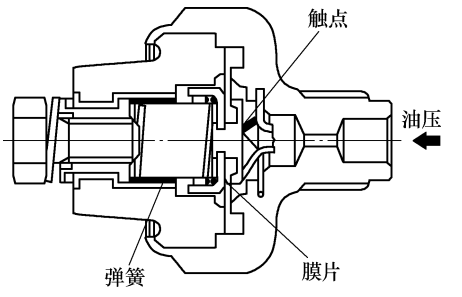


图 8-17　油压开关的构造

（2）开关式压力传感器　润滑油油压开关也用于检测柴油机油压，它由膜片、触点和弹簧组成，其结构如图 8-17 所示。工作过程中，当油压开关的膜片没有压力作用时，触点在弹簧力的作用下闭合；当有压力作用于膜片时，弹簧被压缩，触点张开。

开关式压力传感器一般与油压指示灯相连，如图 8-18所示为开关式机油压力指示器的工作原理图。当柴油机没有润滑油油压时，膜片不受压力作用，油压开关的触点闭合，油压指示灯亮；当柴油机油压正常时，膜片受到压力作用，压缩弹簧，使触点张开，油压指示灯熄灭。

也有的机油压力传感器将电位器式和开关式结构结合在一起，若负极搭铁，其接线柱有两个，其中一个输出电位器阻值变化信号，另一个输出开关信号。

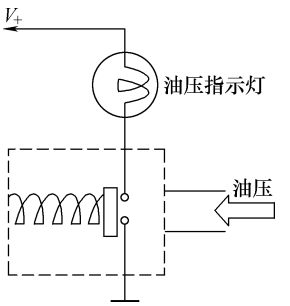


图 8-18 油压指示器的工作原理

2．温度传感器

（1）温度传感器的分类 温度传感器有线绕电阻式、热敏电阻式、扩散电阻式和热电耦式等，以热电偶、热电阻所用最多。

1）热电偶。热电偶将两种不同性质的金属贴合在一起，当环境温度变化时，在其结合面上将产生电位差，这一原理可以用来测量温度。

2）热敏电阻。热敏电阻利用导体的电阻随温度变化而变化的特性来测量温度。热敏电阻是属于在温度变化时电阻值变化较大（温度系数大）的一种硅半导体，由镍、铜、锌、镁、锰等金属与一些金属氧化物以适当比例混合并在高温下烧结而成。所掺金属氧化物的比例和烧结温度的不同，可制成用于不同温度范围的热敏电阻。

在一般情况下，将工作温度范围在 -20 ~ 130℃的半导体用作水温传感器；将工作温度范围在 600 ~ 1000℃的半导体用作检测触媒温度的传感器（如排气温度传感器）。

按电阻值随温度变化的特性，可将热敏电阻分为 NTC 型、PTC 型和 CRT 型三类。

① NTC（负温度系数）型：随着温度上升电阻值减小的热敏电阻。

② PTC（正温度系数）型：随着温度上升电阻值增大的热敏电阻。

③ CRT（临界温度系数）型：随着温度上升电阻值按指数函数减小的热敏电阻。

在上述三种热敏电阻中，NTC 型热敏电阻较多地应用于柴油机传感器。在工程上，热敏电阻可根据需要制成各种不同形状，其可测阻值范围在几欧姆至几兆欧姆。NTC 热敏电阻温度传感器线性较差，利用铂丝电阻随温度线性变化的特性可制成铂热敏电阻传感器。

（2）水温和润滑油温度传感器 水温传感器一般安装在缸体水套、缸体出水口上，与冷却水接触，以尽量准确地检测到缸体水温的状况，机油温度传感器则可安装于机油冷却器等处。温度传感器总成一般是由垫圈、水温传感器、导线接头三部分组成。

1）NTC 型传感器。NTC 热敏电阻式温度传感器内部是一个半导体热敏电阻，具有负的温度电阻系数，可用于测量水温和油温。水温、油温愈低，电阻愈高；反之，温度愈高，电阻愈低。温度传感器可以与水温表、油温表连接，也可与柴油机 ECU 连接。

以水温传感器为例，当与水温表连接时，若外壳搭铁，则可只用一根连线。水温传感器与水温表的组合可分为热敏电阻式传感器与双金属片式水温表、热敏电阻式传感器与电磁式水温表、热敏电阻式传感器与动磁式水温表等数种。其中热敏电阻式传感器与双金属片式水温表的线路连接如图 8-19 所示。当水温低时，热敏电阻值高，回路中电流较小，电阻丝的发热量小，双金属片稍有弯曲，指示针在低温区（C 区）。当水温高时，热敏电阻值小，通过回路的电流较大，电阻丝的发热量较大，双金属片弯曲变形较大，指示针指向高温区（H 区）。

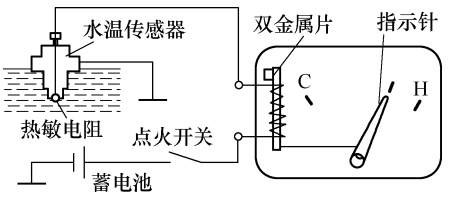


图 8-19 热敏电阻式传感器与双金属片式水温表的线路连接

水温传感器和柴油机 ECU 的连接与图 8-16 所示类似。传感器的热敏电阻与 ECU 内部上拉电阻分压后，产生一个随热敏电阻阻值的变化而变化的电压，柴油机 ECU 根据这一电压的变化测得柴油机冷却水温度。

有些水温传感器包括2个热敏电阻，有4个接线柱（四线型），2个接柱与柴油机ECU连接，另外2个接柱与水温表连接。如图8-20所示，1、3接线柱与柴油机ECU连接，向ECU提供水温信号。2、4接线柱与水温表连接，显示水温读数。

2）开关型水温传感器。双金属片式水温传感器可构成开关型传感器，可与水温过高报警灯连接，其电路如图8-21所示。当冷却水温正常时双金属片变形小，触点分开，报警灯不亮。如果冷却水温升高到95～105℃以上，双金属片由于温度升高而弯曲变形较大，使触点闭合，报警灯电路接通发亮。

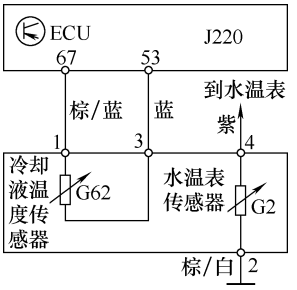


图8-20　四线型水温传感器

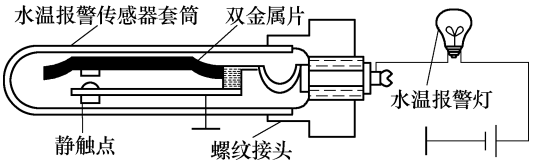


图8-21　水温过高报警灯电路

3．液位传感器

柴油机液位传感器，主要包括浮子–簧片开关式、可变电阻式、热敏电阻式、电极式液位和电容式传感器。可用于检测柴油机机油盘内的机油油位、柴油机散热器内的冷却液液位、燃油箱内的燃油油位及蓄电池内电解液液位等。

（1）浮子式液位传感器

1）浮子–簧片开关式。浮子–簧片开关式液位传感器，主要由内装簧片开关的树脂空心轴管和嵌有永久磁铁的环状浮子组成，如图8-22所示。簧片开关内有两片很薄的金属触点。当液位低于规定位置时，浮子及嵌入的永久磁铁下移，接近簧片开关，通过簧片开关的磁力线增多，两触点相互吸引而闭合，电路接通，警告灯点亮示警。当液位在规定位置时，浮子上移，没有磁力线穿过簧片开关，触点在自身弹力的作用下打开，仪表停止提示。

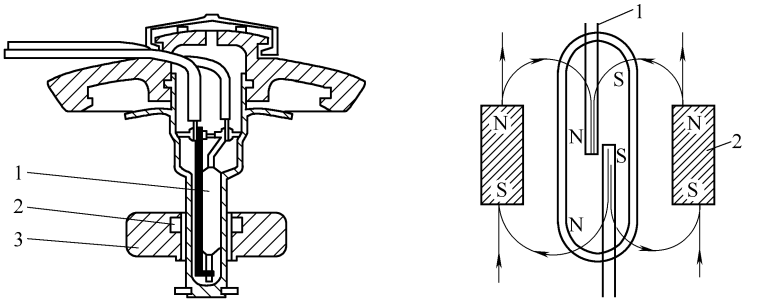


图8-22　浮子–簧片开关式液位传感器
1—簧片　2—铁氧体磁铁　3—浮子

该类型传感器通常用于冷却液液位、润滑油液位等的检测。

2）浮子–可变电阻式。可变电阻式液位传感器是由内装滑动电阻的浮子本体及连接两者的浮子臂构成。传感器中的浮子可随液面上下移动，通过滑动臂在电阻上的滑动，从而改变电阻器的

电阻值，并利用这一电阻值的变化控制回路中电流的大小，最终通过仪表显示出来或将信号传送至柴油机控制器。

这种传感器大多与燃油表相配合，用于检测燃油箱中的燃油量（液位）。

（2）热敏电阻式液位传感器　主要由传感器本体和热敏电阻组成，多用来检测燃油箱中燃油的液位。其工作过程是，对热敏电阻施加电压，并在通电电流的作用下，其自身就会发热。当将热敏电阻浸没在燃油中时，由于散热快，温度不上升，电阻值较高；反之，当热敏电阻暴露在空气中时，由于散热慢，温度升高，使其电阻值减小。利用这一原理。将其连接在电路中，即可检测出燃油箱内燃油的液位，通常与液位警告灯相连接。

（3）电极式液位传感器　电极式液位传感器由铅棒电极及相关电路组成，主要用于检测蓄电池内的电解液液位（液量）。其实用电路如图 8-23 所示。当蓄电池内的电解液液位符合规定值时，传感器铅棒的端部浸没在电解液中，铅棒上产生电动势，三极管 T_1 导通，此时 A 点的电位接近于零，三极管 T_2 处于截止状态，警告灯不亮。当蓄电池内的电解液液位低于规定值时，电解液与传感器铅棒的端部分离，铅棒不再浸没在电解液中，铅棒上不产生电动势，三极管 T_1 截止；此时 A 点的电位升高，三极管 T_2 导通，警告灯点亮，告知蓄电池中电解液液量不足，应予加添。

（4）电容式液位传感器　电容液位传感器是把液位转换成电容的变化，然后再用测量电容的方法求知液位，它是根据圆柱形电容器原理工作的。电容式传感器的取样部件是分别涂有绝缘漆的两金属同心圆柱，它们作为电容的内、外两电极。如图 8-24 所示为圆柱形电容器，其中 R_1，R_2 分别为外电极内径和内电极外径，ε_0、ε_r 分别为空气和被测液体的介电常数，L 为两极板相互重叠部分的长度，h 为液位高度。

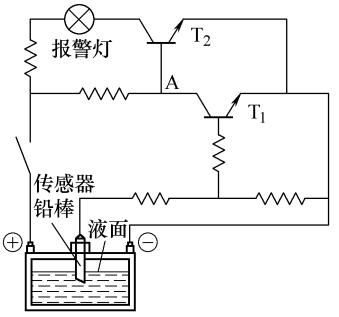


图 8-23　电极式液位传感器实用电路

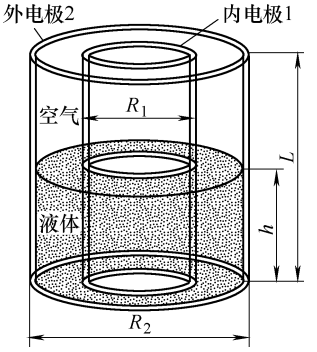


图 8-24　圆柱形电容器

如果在圆柱形电容器的中间有液体存在，则有

$$C=\frac{2\pi}{\ln\dfrac{R_2}{R_1}}\cdot[\varepsilon_0\cdot L+\varepsilon_0\cdot(\varepsilon_r-1)\cdot h]=C_0+C(h)$$

可见，如果圆柱形电容传感器内的液位高度 h 发生变化，电容式液位传感器两极间总的介电常数随之变化，传感器的电容值也发生了变化，测量此时的电容值就可以推算出物质的液位高度。由上式可以看出，液位的高度 h 与电容值之间是线性关系，电容式液位传感器的灵敏度主要取决于两种介电常数的差值。常见的电容传感器测量电路有变压器电桥式、运算放大器式及脉冲宽度式等。这类传感器适用于液体液面的连续测量与位式测量，用于位式测量的电容液面计宜采用垂直安装型，用于连续测量的电容液面计宜采用水平安装型。

由于水的介电常数远大于空气，因此当电容传感器浸入水中时，其电容量将明显增大，利用

这一特点可实现水位的测量。将传感器电容与电阻组成 RC 振荡电路，电容增大时，电路阻抗降低，流过的电流增大，取出相应的电流变化即可确定水位的高低。

康明斯 KTT-19G2 柴油机水位传感器为电容式，其电路图如图 8-25 所示。该水位器装于机组水箱上部，它有 1 个插入水中的探头，1 个工作指示灯和 3 个接线端，分别是接地端、电源端、控制信号输出端。当机组正常起动后，主控板为其提供 24V 的工作电压，此电压经二极管 D_1 后分两路，一路为继电器供电，另一路经 100Ω 电阻为运放 ICLM258 供电。

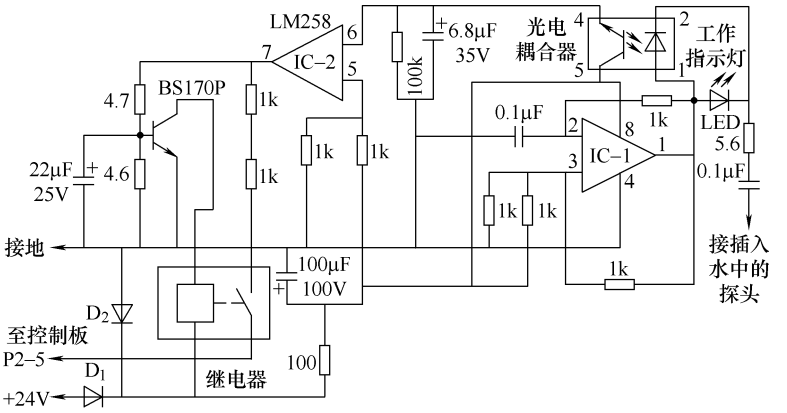


图 8-25　康明斯柴油机电容式水位传感器工作电路

运放 IC-1 与外部电阻电容组成一个方波振荡器，产生几百赫兹的方波。此方波电压加到光耦的 1 脚，经 2 脚、5.6Ω 电阻和 0.1μF 电容接插入水中的探头至地（机组以机身为公共地）由于此时电流大，使光耦内部发光。光耦 4 脚经阻容滤波平滑后输出一个高电平 16V 加到运放 IC-2 的 6 脚。

运放 IC-2 为一个电压比较器，5 脚由两个 1kΩ 电阻提供基准电压 8V。此时加到 6 脚的电压高于 5 脚电压，7 脚输出高电平加到三极管 BS170P 的基极使其导通。继电器动作，其常开触点闭合，使串接于常开触点电路中的主控制板 P2-5 端保持高电平，主控制板检测到水箱水位正常。如果水位过低，探头未能与水接触，振荡电路电流小或未起振，光耦 4 脚输出电平低于电压比较器 5 脚基准电压，则主控制板 P2-5 端无高电平输入。

本控制器易损件为 LM258 和 BS170P。LM258 可用 LM358 直接代换。BS170P 用易购的 S9018 代换，能照常工作。

二、康明斯柴油机典型监控电路

与康明斯柴油机配套的监控电路形式各异，但其实现的基本功能基本相同。监控电路基本组成框图如图 8-26 所示，控制的核心部件是柴油机引擎控制器，它接受柴油机的操控信号和传感信号，并通过对柴油机燃油系统、起动系统等的控制完成柴油机的起动、停机、状态监测和故障保护等工作。

下面以某型柴油发电机组中的康明斯 6CTA8.3-6 型柴油发动机起动及监控电路为例说明其功能及其实现过程。该型柴油机监控电路分为两种类型，其一为柴油机引擎控制器与电子调速器配合实现柴油机的起动和调速控制；其二为柴油机引擎控制器直接与机械调速器配合实现柴油机的起动和调速控制。

如图 8-27 所示的柴油机监控电路主要由柴油机引擎控制器（T-P 模块，简称 T-P 表）、电子

转速控制器 ESD5500E、传感器、显示仪表及相关电路组成。

1. 柴油机引擎控制器

柴油机 T-P 引擎控制器是一种专用的 ECU 控制模块，能完成柴油机的手动及自动起动过程，与电子转速控制器 ESD5500E 配合控制柴油机转速。线路中的仪表用于显示柴油机的运行参数，如温度、油压、转速及运行时间等。当发生故障时将进行报警并可实现自动停机控制。

T-P 引擎控制器共有 21 个端口（见图 8-27T-P 表），其功能如下：

1）电池组（+）输入（8～32V）：接蓄电池 24V + 端。经 5A 熔丝 FU，电源开关 KEY 接入。

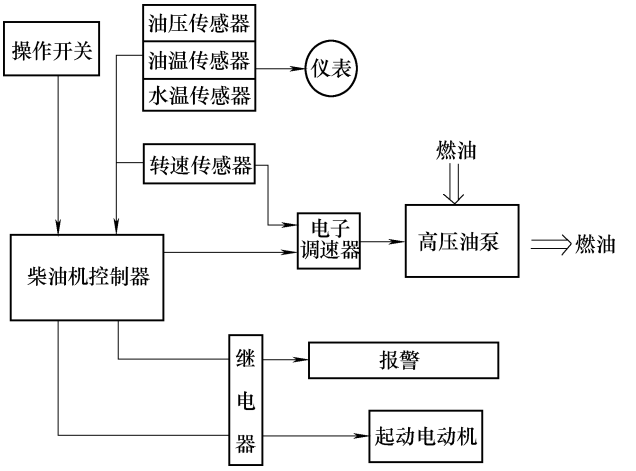


图 8-26 康明斯柴油机监控系统框图

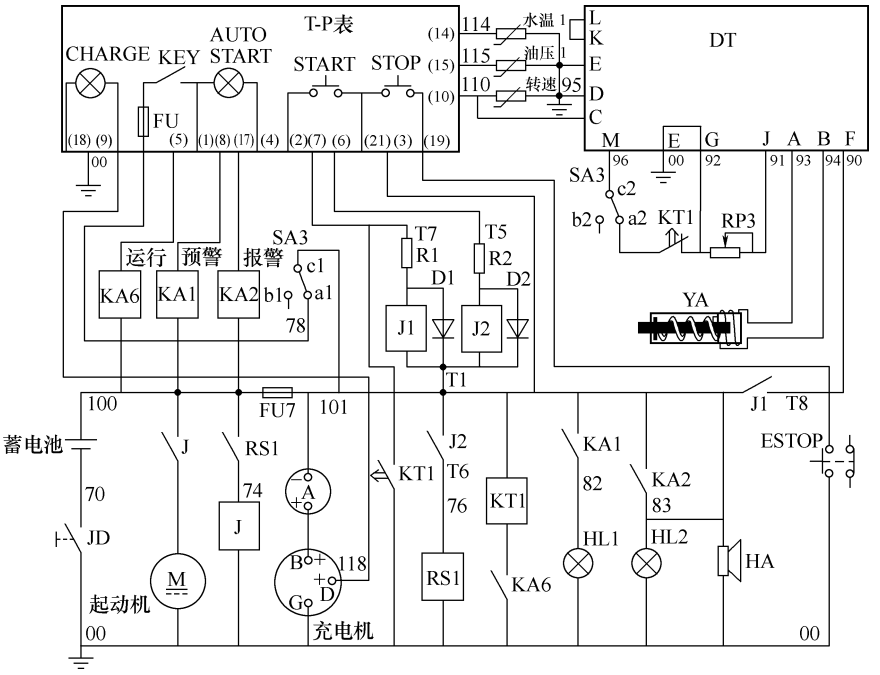


图 8-27 康明斯 6CTA8.3-6 型柴油机某型监控电路

2）起动信号输入：通过起动按钮 START 向该端子提供起动信号（低电平有效）。

3）仪表电源输入：接蓄电池 24V + 端，向 T-P 的仪表灯和关机后需要维持高电位的端子提供电源。

4）市电故障/自动起动指示灯输出：当市电故障时，T-P 进入自动起动状态，向黄色自起动指示灯输出低电平信号，点亮自起动指示灯。

5）柴油机运行输出：柴油机起动结束后，送出低电平信号，控制外电路继电器使电子调速

器从怠速状态进入全速工作状态。

6）起动机控制输出：按下起动按钮后，该端子输出低电平信号，控制外电路继电器接通柴油机起动电路。

7）喷油泵控制输出：按下起动按钮后，该端子输出低电平信号，控制外电路继电器进入工作状态，控制柴油机的供油执行器或接通电子调速器电路。

8）预报警输出：当柴油机故障时，输出低电平信号，控制外电路继电器接通预报警电路。

9）蓄电池组（－）输入：接蓄电池负极。

10）转速信号输入：接入转速传感器信号。

11）RS485-B（－）通信接口：用于远程监控。

12）RS485-A（＋）：同上。

13）机组备用故障输入：该输入端可接入其他监控输入信号（低电平有效），如配电故障、水位低、燃油不足等信号，由用户自选。

14）温度传感器输入：接入水温传感器信号。

15）油压传感器输入：接入机油压力传感器信号。

16）预热器输出：起动时输出一低电平，控制外电路继电器进入工作状态，接通柴油机预热电路。

17）报警输出：当柴油机的监控参数（转速、油压、温度）到达所设定的保护阈值时，输出低电平信号，控制外电路继电器进入工作状态，接通报警灯和电喇叭（同时 T-P 自动送出关机信号，关闭柴油机，并记忆故障）。

18）充电指示灯输入：面板上的充电指示灯一端接入该端子，充电失败指示灯亮。

19）紧急/停机输入：需要停机时，向该端子输入低电平信号。

20）自动起动输入：该端子输入低电平，机组自动起动，低电平信号消失，机组执行自动停机程序。有线控制距离 50m。

21）公共低电平：该端子为 T-P 的公共低电平端。

2．起动电路工作情形

在图 8-27 中接通电源开关 JD（也称接地开关），按下 T-P 上的起动按钮 START（起动是一个点操作动作，T-P 表响应后即可松开），T-P 表的 2 端子输入低电平，触发 T-P 进入起动程序；端子 6、7 输出低电平，使继电器 J1、J2 获得工作电压。J1 的常开触点接通，电子调速控制器 DT（ESD5500E）得电（F 端口获得工作电压）；同时 J2 的常开触点接通，使起动继电器 RS1 线圈得电吸合，RS1 常开触点接通，起动机吸合继电器 J 线圈得电，接通起动电动机 M 的电磁开关及其电路（见图 8-5，起动机吸合继电器 J 的常开触点相当于图 8-5 中的开关 1），起动电动机运转，带动柴油机起动。转速传感器从柴油机飞轮上读取转速信号，送至电子调速控制器 DT，DT 收到柴油机转速信号后开始工作，将执行器输出轴转至最大供油位置（该机组电子转速控制器 ESD5500E 是通过 P 型喷油泵的 RSV 机械调速器实现转速控制的，其执行机构 YA 与机械调速器停机手柄连接，见图 5-42）。此时 DT 的 G 和 M 端子通过延时继电器 KT1 的常闭触点接通，M 端子输入低电平，DT 在起动后工作在怠速状态。

当柴油机的转速超过 300r/min 时，T-P 表 6 端输出高电平，J2 失电断开其常开触点，起动继电器 RS1 失电断开，起动电动机吸合继电器 J 失电，起动机与柴油机飞轮分离，柴油机起动成功，进入怠速运行。起动成功后，T-P 表的端子 5 送出低电平，继电器 KA6 得电，其常开触点接通，触发延时继电器 KT1 动作，经过设定的延迟时间后，其常闭触点断开，DT 的 M 端子失去低电平，使柴油机怠速运行一定时间后进入全速工作状态，A、B 端送出额定转速工作电流驱动电

磁执行器 YA，将柴油机油门拉杆置于全速位置。当需要微调柴油机转速时，可调整控制屏面板上的转速微调电位器 RP3，其调整范围为 ±100r/min。

同时，KT1 的常开触点接通，使 7 端子可靠的维持低电平，以保证 DT 的电源供电可靠。

在起动过程中，柴油机引擎控制器 T－P 根据所设定的延时时间，有一个延时监控阶段，在此阶段中，会分析判断转速和机油压力的建立过程，避免误操作（如起动开始时不会因机油压力低而紧急停机）。完成后转入运行阶段。

当起动失败后，系统会自己控制循环进行三次起动，若三次起动不成功，系统报警，不再进行起动操作。此时，应检测分析不能起动的原因。

3．停机电路工作情形

（1）正常停机　按下图 8-27 中的停止按钮 STOP，T-P 表的 19 端子输入低电平，T-P 进入关机程序，端子 5 由低电平变为高电平，KA6 失电。延时继电器 KT1 因 KA6 触点断开而停止工作，其常开触点 KT1 断开，T-P 表端子 7 输出高电平，继电器 J1 失电，J1 触点断开，断开控制器 DT 的工作电压（F 端口失电），电磁执行器 YA 失电，在复位弹簧的作用下，关闭柴油机的油门，柴油机停机。

（2）紧急停机　按下紧急停机按钮 ESTOP，T-P 端子 19 输入低电平，T-P 进入关机程序。关机过程与正常关机过程相同，该按钮较大，便于操作。该按钮有自锁功能，按下自锁，顺时针旋转时解锁，若按钮处于自锁状态，柴油机将无法起动，以避免故障未排除而起动柴油机。

4．监控与保护电路的工作情形

柴油机监控与保护由图 8-27 中电路的柴油机引擎控制器 T-P 表，控制器 DT，转速传感器，机油压力传感器，水温传感器，继电器 J1、KT1、KA1、KA2、KA6，故障喇叭 HA，预报警灯 HL1，报警灯 HL2，充电失败指示灯等完成。

（1）监测电路　在起动完成并进入运行期间，T-P 将转速传感器、机油压力传感器（油压 1）、水温传感器（水温 1）及蓄电池送来的信号，处理后在 T-P 表上显示。充电机正常工作时，充电失败指示灯的两端因无电位差而熄灭，表明充电机工作正常，否则将点亮。

（2）保护电路

1）当系统得电进入起动操作时，T-P 表对机组参数的检测与保护会根据事前设定的延时进行，以避开柴油机起动过程的误检与误保护。

2）当水温高时，T-P 检测到水温传感器的阻抗减小达到预报警阈值时，T-P 使预报警端子 8 变为低电平，KA1 得电，其触点接通，故障预报警灯 HL1 亮，但并不关机，报警设定阈值可设置为 98℃；当 T-P 检测到水温升高到设定的报警值时，T-P 使报警端子 17 变为低电平，KA2 得电，其触点接通，报警灯 HL2 亮，电喇叭 HA 响，T-P 同时进入停机程序，关闭柴油机并将故障记忆，多功能报警表上显示“TEMP”字样。

3）当柴油机的机油压力低时，T-P 检测到机油压力传感器的阻抗减小达到报警值后，T-P 使预警报警端子 8 和 17 变为低电平，KA1、KA2 得电，此时故障预警灯 HL1 及故障报警灯 HL2 亮，电喇叭 HA 响，T-P 同时进入停机程序，关闭柴油机。并将故障记忆，多功能报警表上显示“OIL”字样。

4）当蓄电池电压过高或过低时，T-P 通过端子 3 检测后也会发出预报警信号（使 T-P 端子 8 产生低电位），故障预报警灯 HL1 亮，但并不关机，多功能报警表显示“HVOLT”或“LVOLT”但不停机。

5）当柴油机转速过高时，T-P 检测到转速传感器输入到端子 10 的脉冲频率过高，T-P 使预警报警端子 8 和 17 变为低电平，接通报警电路，此时故障预警灯 HL1 及故障报警灯 HL2 亮，电

喇叭 HA 响，T-P 同时进入停机程序，关闭柴油机。并将故障记忆，多功能报警表上显示“OR-EV”字样。超速保护阈值可设置为 1650r/min。

5. 应急控制电路

应急控制电路如图 8-28 所示，作为机组的应急系统，主要由开关 DS、“备用–常用”开关 SA3、“全速–怠速”开关 SA4 及预热按钮 SB、水温传感器 SW2 及水温表、油压传感器 YY2 及油压表、油温传感器 YW 及油温表、充电电流表等组成。

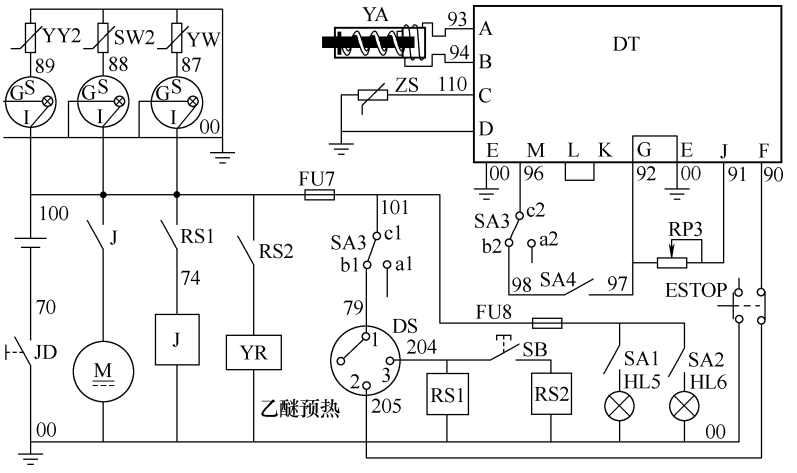


图 8-28　应急控制电路

（1）起动　将控制屏上 T-P 的电源开关 KEY 断开，切断 T-P 表的工作电压及其控制作用。同时，将“备用–常用”按钮 SA3 扳至“备用”位置（这时 DT 的 M 端子通过 SA3 的 b2、c2 触点与“全速–怠速”开关 SA4 相连），将柴油机机旁操作面板上的“全速–怠速”开关 SA4 扳到“怠速”位置（这时 DT 的 M 端子与 G 端子相连为低电平）。起动时，先将电锁开关 DS 旋转到“工作”位置，触点 1、2 接通，这时 DT 的 F 端子得电，有转速传感器信号后 DT 便将油门拉在起动油量。观察柴油机操作台上的各仪表参数，如各仪表指示值正常则将电锁开关 DS 转到起动位置，DS 的 1、2、3 端均接通，RS1 得电，起动电动机工作，起动柴油机，大约 2～3s 放开 DS，电锁开关 DS 自行复位至“工作”位置，起动后的柴油机进入怠速运行状态。将“全速－怠速”开关 SA4 扳至“全速”位置，SA4 将 DT 的 M 端子与 G 端子分离，柴油机工作在“全速”状态。

（2）预热　如果天气太冷，柴油机需要预热，在将电锁开关 DS 转到起动位置的同时，按下预热按钮 SB，预热继电器 RS2 得电，其常开触点 RS2 接通，使控制乙醚流出的电磁阀“YR”打开，将乙醚喷入柴油机，由于乙醚容易燃烧从而使得柴油机容易起动。按下预热按钮的时间不得超过 3s，否则会损坏电磁阀的线圈。

（3）停机　先将“全速—怠速”开关 SA4 扳至“怠速”位置，使柴油机怠速运转一段时间，然后将电锁开关 DS 转到“停机”位置（触点“1”停在空档位置），电子调速控制器 DT 失电，在直流比例电磁铁弹簧的作用下，柴油机油量调节拉杆处停机位置，柴油机停机。

6. 不使用电子调速器的控制电路

如果不使用电子转速控制器，柴油机引擎控制器 T-P 表也可直接控制 RSV 机械调速器以实现机组起动和调速，此种情形 T-P 表控制的二位式电磁执行机构与 RSV 调速器调速手柄连接（见图 5-43 的连接方式）。不使用电子调速器的康明斯机组控制电路如图 8-29 所示。

起动时，接通电源开关，按下 T-P 表上的启动按钮，T-P 的端子 2 输入低电平，触发T-P进入

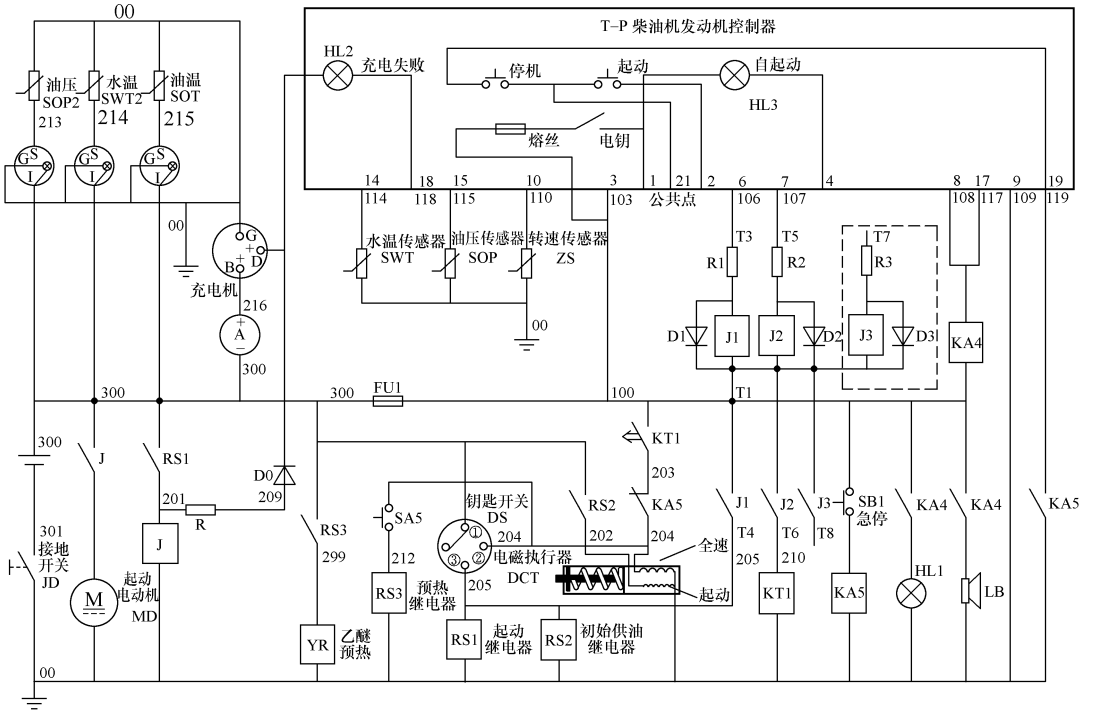


图 8-29 不使用电子调速器的康明斯机组控制电路

起动状态；端子 6、7 输出低电平，使继电器 J1、J2 线圈获得工作电压。

J1 的常开触点接通，初始供油继电器 RS2 线圈得电，RS2 常开触点接通，电磁执行机构 DTC 的起动线圈得电，将调速手柄拉至起动工况位置（见图 5-28）；同时 J1 使起动继电器 RS1 线圈得电吸合，RS1 常开触点接通，起动机吸合继电器 J 线圈得电，接通起动机 M 的电磁开关及其电路，起动电动机运转，带动柴油机起动。

J2 的常开触点接通，使延时继电器 KT1 得电，经过设定的延迟时间后，其常开触点将闭合，使电磁执行机构 DTC 的全速线圈得电，柴油机起动后能进入全速运行状态。全速线圈得电时间应在起动程序结束前。

起动机转动并使柴油机转速超过 300r/min 时（或达到机组设定的起动时间），T-P 使 6 端输出高电平，J1 失电断开其常开触点，起动继电器 RS1 和初始供油继电器 RS2 失电断开，起动电动机吸合继电器 J 失电，起动机与柴油机飞轮分离。同时，电磁执行机构 DTC 的起动线圈也失电，柴油机在电磁执行机构 DTC 的全速线圈控制下使调速手柄处于标定转速位置，柴油机起动成功并进入标定转速运行状态。

由上述过程可知，KT1 延时时间必须早于 T-P 表的起动程序的结束时间，否则 T-P 表在结束起动程序并断掉电磁执行机构 DTC 起动线圈的供电时，DTC 将无电磁吸力而使柴油机停机。

停机时，按下停机按钮 STOP，T-P 表的 19 端子输入低电平，T-P 进入关机程序，端子 7 由低电平变为高电平，继电器 J2 线圈失电，其触点断开，延时继电器 KT1 失电，KT1 触点断开 DTC 的全速线圈供电，DTC 失去电磁力而在复位弹簧作用下使 RSV 调速器调速手柄处于停机位置，柴油机停机。

由此可见，在该控制方式，T-P 表的喷油泵控制输出端口 7 不再用于电子调速控制器 ESD5500E 的工作电压控制，而是直接用于电磁执行机构的控制，通过与 RSV 机械调速器的配合

实现起动过程和调速过程。电磁执行机构改变调速手柄的位置实际上改变的是 RSV 调速器的弹簧张力和转速设定值。同时，柴油机直接从起动状态进入高速控制状态，控制过程不尽合理。

应急控制电路主要由钥匙开关 DS，柴油机参数表及传感器等组成。将 DS 旋至“工作”位置时，①、②端子接通，电磁执行器 DCT 中的全速线圈得电，其阻值较大，产生的吸力不足以使其动作。将 DS 旋至“起动”位置时，①、②、③端子均接通，继电器 RS1 得电，常开触点闭合，接通起动电动机电路，柴油机起动。同时，RS2 得电，触点闭合，DCT 起动线圈也得电，执行机构在电磁吸力的作用下将油量控制齿杆拉至起动供油量位置。柴油机起动后，DS 回复至工作状态，此时执行机构被全速线圈产生的吸力使其保持在标定转速位置，柴油机工作在标定转速。将 DS 旋到“停机”位置时，全速线圈失电，电磁执行器在弹簧的作用下将油量控制机构拉至停止供油位置，机组停机。

第三节　电气与控制系统故障分析

一、电气与控制系统故障的主要原因

1. 起动机主要故障原因及处理

（1）起动机不转动

1）连接线松动、接触不良。

2）起动继电器损坏。

3）蓄电池充电不足或有故障。

4）电刷接触不良。

5）开关线端脱焊。

6）起动机本身短路。

处理措施包括：清洁和紧固接触点；修理或更换起动继电器；检查、充电或更换蓄电池；清洁换向器表面；重焊导线等。

用粗导线使起动机电磁开关的两个接线柱短路，若起动机此时运转正常，则可判断故障不在起动机。若将起动继电器触点短接，起动机能运转正常，则起动机和电磁开关均完好，可检查起动继电器及其他线路。若在电磁开关接线柱短路时有强烈火花，但起动机不转，则说明故障在起动机，通常是励磁线圈短路、电枢线圈短路等，应拆下修理。若电磁开关接线柱短路时无火花，则可能是电刷磨损后与换向器接触不良。此时应检修电刷、电刷架和换向器。

（2）起动机可以空转但无起动力

1）轴衬套磨损。

2）电刷接触不良。

3）换向器不清洁或烧毛。

4）开关接触不良。

5）蓄电池充电不足或容量过小。

6）润滑油太冷粘度大。

处理措施包括：调换新的轴衬；清洁电刷、换向器接触面并用砂纸磨光；检查开关、导线接触状况；检查、充电或更换蓄电池；烘暖柴油机等。

（3）起动机的驱动齿轮与飞轮齿圈啮合不进，有撞击声　按下起动按钮，听到起动机齿轮与飞轮齿圈的撞击声，但啮合不进。这主要是电磁开关行程不对，闭合过早，齿轮尚未到位啮合

进去，而起动机的主回路已接通，使电枢高速空转。遇到这种情况，可调整偏心螺钉。此外由于飞轮齿圈与起动机的驱动齿轮打坏，或齿面打毛及起动机与飞轮齿圈轴线不平行等，也会发生上述情况。

（4）起动机小齿轮退回困难

1）起动机继电器接触点烧熔粘牢。

2）电磁开关接触片与接触螺钉烧熔粘牢。

处理措施包括：修理或更换起动继电器；修理或更换起动机电磁开关。

2. 无刷充电发电机故障原因

发电机故障一般可分为机械故障和电路故障两类。机械故障主要是运动件磨损、紧固件松动等，这些故障一般都容易检查排除。电路故障主要是发电机内部器件及内部电路断路、短路、搭铁或接触不良等，这些故障一般可用数字式万用表检查排除，电子调节器的技术状况可用直流可调电源进行试灯检验。汽车每行驶一定里程时应检查传动带的传动和发电机的运行情况，当发现或怀疑发电机不发电或发电电压过高、过低时，应先检查传动带的传动、发电机的运行及外部电路的连接等情况，再用万用表电压档检查发电机的输出端电压。若柴油机未起动时电压表指示为蓄电池端电压，柴油机中速运转电压仍不变或不符合发电机额定输出电压时，说明发电机有故障，这时应对发电机进行逐项检修。检修时应按先易后难、先外后内的方法进行。

结合 JFW282N 型充电发电机原理电路（见图 8-30）说明无刷充电发电机故障现象及其原因。

（1）充电指示灯只亮不灭，或时亮时灭　充电指示灯点亮主要是因为充电指示灯两端出现压差，因而可能的原因是发电机不发电或输出电压低，以及线路接触不良等。具体原因包括：

1）线束因某种原因断路、松脱接触不良或间接电阻过大，触点氧化造成接触不良。

2）定子绕组之间或绕组与发电机壳体之间短路。

3）发电机励磁绕组搭铁或短路，L 接线柱上的导线断路。

4）整流器上的硅二极管损坏。

5）调节器作用不良，晶体管元件老化、断路或稳压二极管失效。

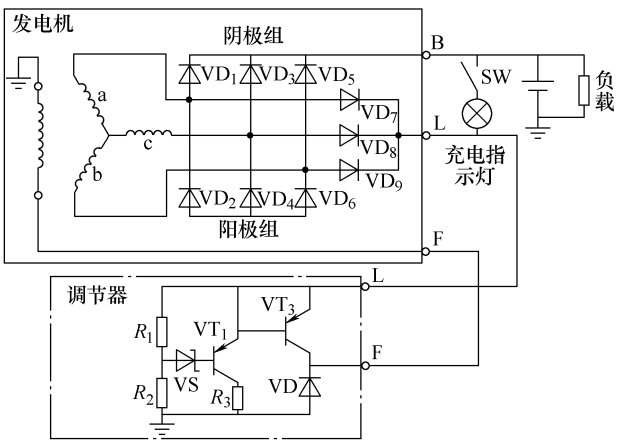


图 8-30　JFW282N 型充电发电机原理图

6）传动带打滑。

排除方法：检查皮带张紧度是否符合标准，若不符合应调整。电流表读数若随车速变化，说明发电机无故障，若无变化则应依次检查其充电元件，若损坏应予以更换或修复。

（2）柴油机运行时，充电电流过小，蓄电池亏电严重，且柴油机低速运转时不充电　充电不正常的原因通常包括：

1）发电机输出电压偏低。

2）发电机内部整流器部分二极管损坏。

3）定子绕组有一相或三相接触不良或松脱。

4）传动带过松或打滑。

（3）车辆运行过程中，仪表指示有时充电，有时不充电　仪表指示不正常的原因通常包括：

1）传动带过松，并伴有打滑现象。

2）发电机内装调节器工作不稳定。

3）发电机接线柱各触点松动、接触不良，发电机内部接线松动。

4）仪表自身故障。

（4）发电机电枢（B）接线柱上导线易烧损　其原因如下：

1）发电机本身故障。电枢（B）接线柱搭铁、整流二极管击穿短路、漏电严重等导致电流大而烧损。

2）线路故障。电线束被线卡子飞边磨破；线束安装位置不当，发电机电枢（B）接线柱上导线碰柴油机排气歧管等。

（5）发电机运转时有异响　其主要原因有：

1）传动带张紧度过大或磨损严重。

2）转子轴承损坏或间隙太大，运转时晃动；或转子与定子相碰撞。

3）发电机安装支架松动。

3．PTC 低温预热起动器系统常见故障原因

以 CK—06C 型为例说明故障原因如下：

（1）预热开关闭合无反应　正常情况下，闭合预热开关，绿色指示灯应亮（见图 8-9），说明预热系统进入工作状态。造成指示灯不亮的原因是：预热熔丝烧断；保险—控制器导线插头漏接、接错，或接触不良；预热开关指示灯损坏；控制器导线接错等。

排除方法：检查熔丝烧断的原因。排除因导线划伤、压破造成的搭铁。检查导线插头是否按规定连接，并排除漏接或接触不良现象。根据接线图分段测量导线是否有断路情况存在。打开电器安装板，观察控制器上红色灯是否亮，灯亮说明开关指示灯损坏或开关指示灯导线接错，可根据接线图纠正。根据 PTC 柴油机进气预热器接线图检查导线与控制器插头导线连接，如有错误应及时更正。注意更换导线插头位置时，应用挑线针将导线从插头内挑出，不可硬拉，否则会造成导线与插头损坏。

（2）预热时间超过 8min，指示灯不闪烁　预热时间超过 8min（大于标定时间的 20%）时，指示灯不闪烁，蜂鸣器不响。出现这种故障的可能原因是预热控制器内部电路损坏。排除方法是更换预热时间控制器。

（3）打开电源开关，或打开预热器开关时烧断易熔线　易熔线是为了防止预热器正极导线在汽车使用修理过程中造成搭铁而烧坏导线设置的，当预热器正极导线发生搭铁时，易熔线会首先烧坏而切断电源。造成易熔线烧断的原因可能是：正极导线划伤或磨破；导线接头与架接触；预热继电器接柱与金属物接触。

排除方法：当打开电源开关或打开预热器开关，易熔线烧断时，应将开关关闭，认真检查导线是否有固定螺栓压线现象，并及时排除。由于预热器正极导线较长，通过空间小，判断也较困难，因此可用分段方法判断排查。当打开电源开关易熔线烧断，说明蓄电池至预热继电器接线柱一段导线有压破磨破的地方。当打开预热器开关易熔线烧断，说明预热继电器另一接线柱至预热器正极导线接线柱一段导线中有搭铁。在排除故障时应注意检查预热继电器导线接头是否与车架相接触，预热继电器接线柱下是否有金属物存在。

（4）预热指示灯亮，预热器不加热　这类故障较常见，排除也较复杂，其原因是：预热器电路中的易熔线烧断；预热控制器到预热继电器导线插头脱落或导线断路；预热继电器触点不吸

合；预热器损坏或预热负极线断路。

排除方法：为及时准确排除故障，将 PTC 柴油机进气预热电路系统分成预热器控制电路和预热电路两部分来判断排除。首先将预热继电器上的黑色导线插头拔出，用测量灯泡测量预热控制器至预热继电器的绿白线，正常情况下测量灯泡应亮，不亮说明故障在预热控制电路，应根据接线图检查导线各插头插接是否正确牢固，导线是否断路，并及时排除。若测量时灯泡亮，说明故障在预热电路，可用测量灯泡分别测量预热继电器上两个接线柱；若测量时灯泡都不亮，说明易熔线烧断或正极导线断路，应排除搭铁原因，并更换易熔线；若有一接线柱灯泡亮，另一接线柱灯泡不亮，说明预热继电器触点不能吸合，应更换预热继电器。在预热导线接线柱上测量灯泡亮，说明预热器损坏，在确定预热器损坏时，应检查预热器负极线连接是否正确牢固。负极线漏装或断路也可能造成预热器不加热的故障。

（5）预热效果差或柴油机动力不足　这主要是操作不当，可能的原因是：气门手柄未拉出或未拉到位；柴油机发动后气门手柄未退回。

4. 传感器故障及检修

康明斯柴油机常用的润滑油压力和油温、水温传感器，多利用阻值随压力、温度的变化特性制成，因而故障的判断可通过测试电阻值和测量电压值的方法实现。

（1）测试电阻值

1）单体检查。从车上拆下冷却液温度传感器，并将其置于水杯中，缓慢加热提高水温；同时用万用表测量传感器两端子间的电阻值，应在正常范围内；否则表明传感器已损坏，应换用新的传感器。冷却液温度传感器阻值的参考变化范围为：正常的传感器 20℃时的电阻值为 2～3kΩ，40℃时的电阻值为 0.9～1.3kΩ，80℃时应为 0.2～0.4kΩ 左右。如果测量结果不符合规定要求，应更换。

机油压力传感器可利用压气机气压测试，并用万用表测量传感器两端子间的电阻值，应在正常范围内（参考说明书）。

2）就车检查。将冷却液温度传感器的连接线断开，用万用表测定传感器两端子间的电阻值，判断传感器的好坏。

（2）测量电压值　可就机测试传感器输出的电压值。传感器正常连接和工作时，从传感器信号接线柱对地测试传感器输出的电压信号，其电压值应随温度或压力的变化而变化，测量电压并与正常参数值相比较，即可判断温度传感器是否在正常工作。

对于康明斯柴油机所用转速传感器，因其多是磁脉冲式的，能发出交流电压信号，故检修时可使用万用表或示波器。

一个性能良好的转速传感器在用万用表交流电压档测量时，其输出电压应在 1.5～3.0V 范围内。若无交流电压输出或输出电压不符合规定，则传感器故障或安装不当。

如果怀疑传感器内部导线接触不良，可将万用表置于电阻档，与传感器导线相连接，然后晃动导线看万用表指针是否摆动，如果摆动则证明传感器内部导线接触不良，应排除。

二、电气与控制系统故障案例分析

案例 1：柴油发电机组因铅酸蓄电池极桩氧化无法起动

（1）故障现象　某柴油机电站额定功率为 50kW，采用东风康明斯柴油机为原动力，起动电动机功率为 2.2kW，起动电压为 DC 24V，采用两块风帆蓄电池厂的 68025 D 低温起动铅酸蓄电池串联作为柴油机的起动电源。起动电路如图 8-31 所示。JDK 为电源总开关（接地开关），QF 为起动电源开关，SA1 为点火开关，M、Q 为起动电动机和电磁开关线圈，ZJ 为直流继电器。正

常起动过程为：合上电源总开关 JDK 及起动电源开关 QF，将点火开关 SA1 打至“起动”位置，这时直流继电器 ZJ 线圈得电，其常开触点闭合，电磁开关线圈 Q 得电从而接通起动电动机 M，起动电动机带动柴油机起动。

而该电站接通起动回路给起动电动机供电后，听见起动电动机周围发出固定频率的“哒哒”声，起动电动机不动作，柴油机不能起动。

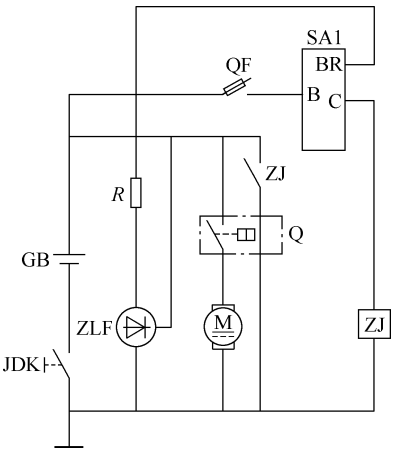


图 8-31　某型康明斯柴油机起动电路

（2）故障查找分析　因起动电动机未动作，先检查起动时电动机是否上电，且电压是否在 24V 左右。用万用表测起动电动机两端电压，发现万用表指针（指针式万用表）按固定频率不停摆动。反复几次起动，发现“哒哒”声是起动继电器 ZJ 的常开触点不停的断开和闭合时发出的，和前面起动电动机两端的电压时有时无的现象一致，因而判断故障是由于起动电源供电不正常造成的。分析认为，当起动电钥匙 SA1 打开并起动瞬间，蓄电池电压全部加在起动继电器线圈两端，起动继电器常开触点闭合，起动电动机加上电，整个回路瞬间产生大电流。这时，如果起动回路的某一点阻值很大，则大部分电压将降在该点，从而使起动继电器线圈两端电压降低。当低于继电器的吸合电压时，常开触点会断开，整个起动回路断电，电流消失，该点没有电压降；起动电源电压又全部加在起动继电器线圈两端。重复刚才过程，回路断开、闭合循环进行，起动继电器“嗒嗒”声也就不断产生。为了找到影响回路的这个点，逐步检查了回路中各元器件及其接线，元器件完好，接线可靠；用蓄电池检测仪检测蓄电池电量，电量充足；对蓄电池进一步检查发现，在蓄电池的卡子与蓄电池接线端头的接触处周围有白色真菌，同时发现其端头周围有黑色氧化物。根据以上现象进行分析，初步判断是蓄电池接线端头接触故障导致柴油机无法起动。因为，在南方寒冷潮湿地区，电气元件及各接线端头很容易因真菌腐蚀形成一层氧化膜，这层氧化膜电阻较大，当回路接通产生电流后，在该端头上产生较大压降，使起动接触器线圈两端电压低于吸合电压，造成柴油机无法起动。

（3）故障排除　由于是真菌腐蚀造成的接线端头表面产生氧化膜，只要将氧化膜除去即可，先用开水清洗蓄电池接线端头和蓄电池卡子，直到接线端头和蓄电池卡子显现材料本色，然后用毛巾将其擦拭干净，重新接好蓄电池卡子并开机，柴油机顺利起动。

案例 2：蓄电池搭铁线接触不良导致柴油机起动无力

（1）故障现象　一台康明斯 C 系列柴油机，起动时有起动无力现象。

（2）故障查找分析　导致起动无力的常见原因有以下几点：蓄电池电量不足、起动机自身故障、蓄电池极桩连接线等相关线路接触不良以及柴油机转动阻力过大等。

首先测量蓄电池电压，静态电压为 25. 6V，起动电压为 23V，这说明蓄电池电压正常。检查起动机电源线和搭铁线，连接正常。于是维修人员决定拆下起动机检查，检查起动机时发现起动机衬套已经松旷。更换起动机后，柴油机能够正常起动。但是工作一段时间后，起动机又出现转速非常低以至于无法起动柴油机。尝试再次起动，柴油机又可顺利起动。

再次进行检查，在连续起动几次后，起动无力的故障再次出现。因为之前的检查中测量蓄电池电压没有发现问题，于是决定采用测量电压降的方法进行检测。具体方法是将万用表调到电压档，将一支测试笔接到蓄电池负极接线柱，另一支测试笔接到车身某处妥善搭铁，然后起动柴油机，读取万用表上显示的电压差值。正常情况下显示值应该是 0V，但是实际的显示值是 2V，这

说明蓄电池负极接线柱与车身之间有接触不良的地方。继续采用电压降检测的方法缩小故障范围，最后故障点集中在蓄电池的搭铁线上，应是搭铁线老化后导致接触不良，更换了一根搭铁线，试着起动多次，故障再也没有出现。

故障排除后，大家都认为比较简单，但该柴油机却反复修理多次。因此，在排除故障时，应严格按照先易后难，由外及里的程序进行。根据柴油机相关系统工作原理进行分析，认真地进行相关检查，不放过故障检修中的每一个细节。

案例 3：蓄电池仅有虚电压导致柴油机无法起动

（1）故障现象　一台康明斯 B 系列柴油机，此前未出现任何故障。某天早上出现起动困难现象，但起动后，柴油机运转正常。再次起动柴油机突然出现无法起动故障，起动时无任何起动征兆，起动机不转动。

（2）故障查找分析　首先应检查蓄电池电量是否充足。检修人员用随身所带的数字万用表检测，发现电压为 25V，属于正常范围。又怀疑起动电动机或起动线路有故障。对起动线路进行检查，发现线路无任何故障，把起动电动机两主接线柱短接，起动电动机无起动迹象，因而确信为起动机故障。但是当拆检起动电动机后，发现起动电动机并无任何故障。

维修人员怀疑蓄电池电量不足，用蓄电池检测仪检测，仪器显示蓄电池电量严重不足。

该柴油机使用时间一直较短，并且起动次数较多，蓄电池长期处于亏电状态使用，导致蓄电池极板损坏。而单块蓄电池在电量不足时，电压仍然有 12V 左右，只有当放电时电压才会急剧下降。因此在使用万用表检测蓄电池电压时，应该进行动态检测，或者使用高率放电计、蓄电池检测仪等专业仪器测试，避免被“虚电压”造成的假相蒙蔽。

（3）故障排除　更换蓄电池后故障消失，柴油机正常运行。

案例 4：起动机电刷连线松动导致起动无力

（1）故障现象　一辆装载康明斯柴油机的汽车起动无力，不能起动柴油机。

（2）故障查找分析　故障排除检修时，先用蓄电池测试仪对该车蓄电池进行测试，两蓄电池电荷量均足。检查蓄电池电压与连接线也接触良好，故判断为起动机故障。

卸下起动机将其解体，发现其前、中、后 3 个铜套均已磨损，其前铜套与起动齿轮相近的铜套磨损尤为严重，其他看起来均正常，故更换了 3 个铜套。对起动机实行了保养，空载试机，转速较高，但装车后起动机依然起动无力，无法起动柴油机。怀疑柴油机是否搭铁不良。经检查，柴油机搭铁良好。再次卸下起动机，将其解体检查，转子与磁场绕组均正常，没有短路与断路。电刷也没有磨去 1/3 的长度，但仔细观察其电刷连接铜线，有烧变色的现象（为深紫色），用手拉铜线时，在电刷与铜线连接处有松动感。

这是一例由于起动机内部电路接触不好所引起的故障。因为车用起动机为了提高它的转矩，均采用串激式连接方式的直流电动机。故当起动机工作时，电流回路为：蓄电池正极→起动机励磁绕组→正极电刷→起动机电枢→负极电刷→起动机后端盖，再回到蓄电池负极。如果此时正负极电刷连线松动，就会因接触不良而增大接触电阻，因而通过起动机的电流将会减小，故带负荷后的起动机起动无力。当大型柴油发动机起动机无力、转速达不到无法正常起动机器时，在检修时不要忘记仔细检查电刷。

（3）故障排除　更换一副新电刷，装好上车起动，柴油机起动正常，故障排除。

若无法买到与原机相同品质的电刷，也可自己修复，具体操作如下：用铁钉尖部扎电刷引线根部的中心，使引线根部膨胀与碳体紧密接触，再将周围粉尘吹干净，最后用 502 速干万能胶滴入根部，使之定型，1min 后便可装机使用，起动无力（着火困难）的故障便会排除。

案例 5：起动机内部短路烧毁

（1）故障现象　一台 TY220 型推土机在工作过程中先后出现起动机烧毁故障，还将起动机上的负极搭铁线也烧断了，推土机的发动机为重庆康明斯 NT855-C280 型涡轮增压柴油机。

在起动机烧毁前推土机出现的故障现象是：转动点火钥匙起动推土机时，起动机没有反应，用旋具直接搭接起动机电磁开关上的 2 个接线柱，起动机运转直接起动柴油机，而且未发现起动机有任何异常现象；当再次起动柴油机时发现起动机烧毁。

（2）故障查找分析　拆解烧毁的起动机，发现起动机内转子与定子之间充满了黑色黏稠的润滑油，并且在电磁开关内同样有大量黑色黏稠的变质润滑油。转子线圈已经烧毁，移动触盘和静触点烧结粘连在一起。

该型推土机采用了较为先进的电磁开关和电压灵敏继电器，如图 8-32 所示，用来保护起动机和起动开关。当起动电流过大或柴油机起动后发电机开始发电，起动电路中的电压灵敏继电器自动切开起动电路，电磁开关中移动触盘回位，起动机停止工作，起到保护作用。

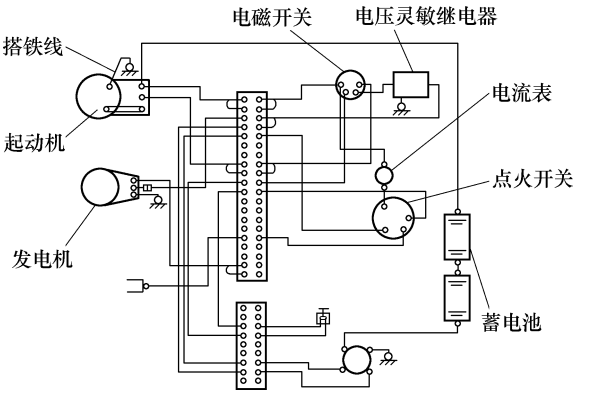


图 8-32　康明斯 NT855—C280 型柴油机起动电路

同时，TY220 型推土机的传动系统为液力机械传动结构型式，其柴油机的飞轮和起动机的驱动齿轮都浸在润滑油内。为防止润滑油进入起动电机，在起动机驱动端盖与单向离合器间装有密封圈。

通过拆检起动机，发现该密封圈已变软失效，飞轮壳体内的润滑油通过起动机驱动端盖与单向离合器间的密封圈进入起动机内，在起动过程中导致起动机内部电路短路。在起动机烧毁前，转动点火钥匙起动柴油机时，由于起动机内部电路短路，造成起动电流过大、压降过低，激发电压灵敏继电器工作，遂出现起动机无反应的现象。而操作手对起动电路了解甚少，在起动机没有反应的情况下，未仔细查清起动电路故障，而是强行用起子搭接电磁开关接线柱直接起动柴油机；在起动大电流作用下导致起动机电磁开关移动触盘烧结，无法自动回位，进而烧毁起动电机的转子线圈和起动机负极搭铁线。

（3）故障排除　更换新起动机。转动点火钥匙，起动机可以直接起动柴油机，放开点火钥匙后，起动机停止工作，证明起动机及起动电路工作正常。

案例 6：起动机电磁开关活动接触盘烧断导致柴油机不能起动

（1）故障现象　起动时，单向离合器齿轮能与飞轮齿圈接合（听到咔咔声），但起动机不运转。

（2）故障查找分析　在电磁开关的起动机接线柱（串励电动机励磁绕组供电端见图 8-5）与外壳上接一个试灯，再次起动，仍能听到咔咔的单向器齿轮与柴油机飞轮齿圈的啮合声，试灯不亮，起动机不转，表明主触点不导电。拆卸后，发现活动接触盘烧断。在报废的电磁开关上找到了一个旧接触盘，装机修复后，顺利起动，故障排除。

案例 7：起动机电磁开关活动接触盘烧蚀严重导致柴油机起动无力

（1）故障现象　起动时柴油机转动无力，不能着车。

（2）故障查找分析　检查蓄电池电量充足，连线可靠。拆卸起动机后，发现后套磨损，定、转子扫膛，换新后故障依旧。在起动机工作时用万用表直流电压档测起动机接线柱和起动机蓄电

池接线柱之间的电路（见图 8-5），有电压 1.5V，表明电磁开关的主触点接触电阻过大，拆卸后发现接触盘烧蚀严重，将接触盘反过来安装使用，故障排除。

案例 8：起动液频繁使用导致康明斯柴油机烧瓦

（1）故障现象　工程机械用康明斯柴油机，在内蒙古自治区札鲁特旗地区施工。当地年平均气温只有 10℃左右，最低气温为 –42.7℃，年平均封冻期长达 134 天。柴油机在该气候环境下进行作业，起动液使用过频、过量，导致曲轴烧瓦。在喷注起动液冷起动时，应注意不能过量，起动后不可立即加速，需经怠速暖车后再加速。

（2）故障查找分析　在寒冷地区柴油机作业时，使用起动液起动是必不可少的，但必须要有切实可行的低温运行的管理措施。如果不解决好影响起动的主要因素（如蓄电池容量不足、柴油喷射不佳、供油时间不当、缸内压缩力不足等），频繁依靠起动液来起动机器，在进气道喷入乙醚助燃，迫使柴油机在着火初期高速运转，由于润滑油温度低、粘度大，油膜难以建立，因而轻则加速柴油机磨损，重则给柴油机造成不可估量的损失。

案例 9：起动继电器触点烧蚀导致起动困难

（1）故障现象　一辆装用康明斯柴油机的汽车，柴油机偶尔能够起动，多数时候起动时只听见起动机“哒”的一声就无动静了。

（2）故障查找分析　短接起动机后运转有力，转速正常，说明起动机良好。根据故障现象，拆下起动机电磁开关火线，将点火开关转至 ST（起动）档，用试灯测试发现，起动机电磁开关火线时有电、时无电，而起动熔丝良好；据此判断点火开关至电磁开关火线之间接触不良。进一步检查拆检起动继电器，证实继电器的触点大部已烧蚀。

由于起动机继电器的触点大部烧蚀，致使工作中接触不良，偶尔接触较好时柴油机便能起动，多数情况接触不良，故柴油机起动困难。

（3）故障排除　更换起动继电器后，柴油机即能顺利起动，故障彻底排除。

案例 10：起动继电器触点不能断开导致起动机线圈烧损

（1）故障现象　一台康明斯柴油机不能起动，要求检修。

（2）故障查找分析　康明斯柴油机起动时无动作常有以下原因：①蓄电池严重亏电或内部硫化；②起动开关或起动继电器损坏；③蓄电池与起动电动机的连线不良、连接松动、接线柱氧化；④ 起动电动机烧坏；⑤柴油机自身故障。现场检查时按先易后难原则检查以上各项，最后确定故障为起动电动机电磁开关吸动线圈毁坏。

更换电磁开关吸动线圈后进行起动试验。柴油机能起动，但接线柱处越来越红，为避免吸动线圈再次被烧毁，及时停机。分析原因时认为，可能是起动继电器不能在柴油机起动后自如脱开，最终确定起动继电器存在质量问题，触点在长期使用过程中烧结不能脱开，起动机电路长时间通电，柴油机拖动起动电动机旋转，最终烧毁起动电动机。

（3）故障排除　更换起动继电器后，柴油机正常起动，故障现象消失。

案例 11：起动继电器线圈断路导致无法起动

（1）故障现象　一台进口 880DFJD 康明斯柴油发电机，配有较先进的 PCC 智能控制盘，能随时显示发电机的运行状况，且故障发生时，有显示故障发生类型的代码。该机功率为 880kW，配有两个起动电动机，四块 12V、200Ah 铅蓄电池。电池两两串联后并联，输出 24V 直流电给起动电动机，其控制电路如图 8-33 所示。

在一次起动过程中，闭合 S1 运行开关，机组无反应，不能起动。

（2）故障查找分析　用万用表检查电池输出电压 24.3V，符合要求；又用蓄电池容量检验计（高率放电计）检查电池，指针指在绿色范围，电量较充足；怀疑蓄电池的接线端子氧化接触不

良，检查清洁后紧固，也不能起动；再查 PCC 控制箱内的电子控制板上的熔丝，正常。因此准备检查起动电动机电刷和控制电路问题。

对照起动控制电路，首先检查了凸台状的起动继电器 K2，测量 K2 两个线圈端子，不通，由此判断出起动继电器损坏，换上新的起动继电器后合闸起动，柴油机正常运行。

案例 12：燃油控制继电器故障导致柴油机无法起动

（1）故障现象　一辆东风 153 载货汽车的柴油机，出现起动机运转但柴油机不能着火故障。该柴油机为美国康明斯公司产品，采用德国 Bosch 公司生产的 VE 型分配泵。

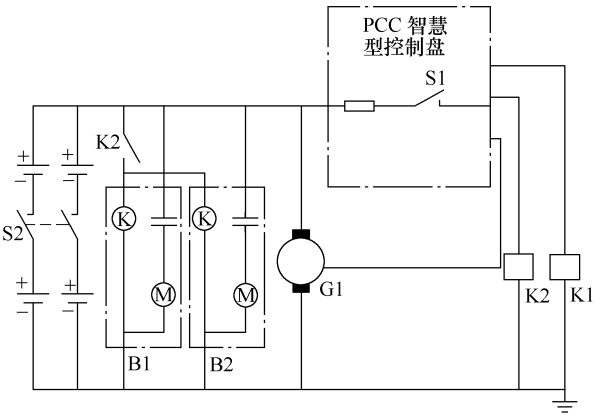


图 8-33　880DFJD 康明斯柴油发电机起动控制电路
K1—燃油控制继电器　K2—起动继电器　G1—充电发电机
S1—手动、自动、停起动切换开关　S2—蓄电池电源开关
B1、B2—起动电动机

（2）故障查找分析　根据故障现象，先从起动机运转的声音判断，起动系统无故障；点火开关转到 ON 位，燃油表、水温表等仪表无显示；按副起动按钮，起动机不动作。因而判断故障可能出在电路上。检查所有线路熔丝无一损坏。起动柴油机，用试电笔检测 VE 喷油泵燃油切断电磁阀的供电状态，发现无论点火开关转到 ON 位还是 ST（起动）位，电磁阀线圈都没有电。检测副起动按钮的电源线，也无电。对照电气原理图（见图 8-34）进行分析。切断阀线圈和副起动按钮的电源线无电，说明控制电路中燃油控制继电器常开触点不能接通，切断阀线圈电路在点火开关接通后未能接通，VE 喷油泵供油油路始终处于被切断状态，因此柴油机不能起动。在这种情况下，按副起动按钮起动也无效。

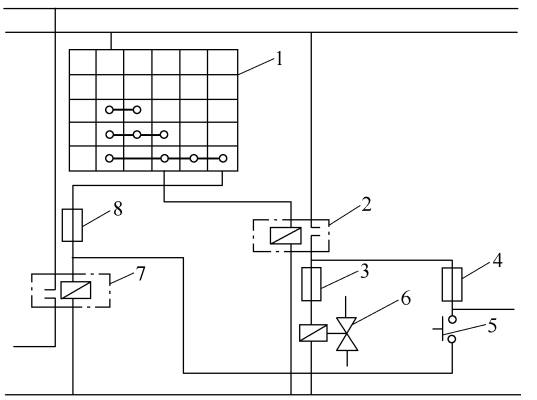


图 8-34　东风 153 载货汽车康明斯柴油机起动控制电路
1—点火开关　2—燃油控制继电器　3、4、8—熔丝
5—副起动按钮　6—VE 泵切断阀　7—起动继电器

（3）故障排除　显然一故障是由于燃油控制继电器损坏所致，更换继电器后，柴油机起动正常，故障排除。

案例 13：无刷充电发电机因爪极变形发电不正常

（1）故障现象　一辆东风 EQ2102 型汽车，柴油机充电发电机（JFW2621 型，28V，45A）充电电流过小，柴油机中、高速时其输出电流只有 5～6A，电压只有 20V；而该发电机正常充电电流应为 40～45A，电压应为 28V。

（2）故障查找分析　经检查，调节器和发电机的磁场绕组、定子绕组均无断路、短路现象，整流器元件也无异常。最后，经过仔细检查发现发电机转子轴与相对转子轴悬空的爪极之间相对位置发生了变化，即两爪极与转子轴不同心。

该柴油机充电发电机为无刷发电机，其两爪极中只有一个爪极直接固定在发电机转子轴上，

另一个爪极则是用非导磁材料焊接在固定的爪极上。这样，驱动带轮带动转子轴转动时，固定在转子轴上的爪极就带动另一个爪极在定子内一起转动。当磁场绕组中有直流电通过时，其主磁场路径由转子磁轭出发，经附加间隙 g_1→磁轭托架→附加间隙 g_2→爪极的磁极 N→主气隙 g→定子铁心→主气隙 g→爪极的磁极 S→转子磁轭形成闭合回路（见图 8-13）。出现上述异常后，由于改变了附加间隙 g_1、g_2 和主气隙 g，致使磁路的磁阻增加，穿过定子绕组的磁通量便大大降低，从而造成发电机充电电流过小。经分析认为，上述故障是由于拆卸发电机的方法不当造成的。由于该发电机长期未拆修，前端盖及轴承已锈死，拆卸时又没有用专用拉器拉出，而是用手锤敲打，致使爪极变形，从而导致了上述故障。

（3）故障排除　将两爪极与转子轴间的相对位置调整到正常状态，装复后试机，发电机充电电流、电压均恢复正常。

案例 14：带轮打滑导致无刷发电机加速时电压下降

（1）故障现象　一辆中型客车，所用充电发动机是无刷发电机 28V/500W，带真空泵。电源为 24V，两只 12V/100Ah 蓄电池串联连接。充电指示灯在提高柴油机转速时闪亮，怠速时又不亮。

（2）故障查找分析　对该车的充电线路进行仔细检查，没发现充电线路的故障部位；又检查了发电机的各接线端和发电机风扇皮带的松紧度，均属正常。

让车起动着火，进一步查找故障。用数字万用表直流电压 200V 档，测量充电指示灯继电器的发电机中性点电压，怠速时是 14V；当提高柴油机转速时，电压最低下降到 7V，充电指示灯闪亮；当停止加速后，中性点电压又上升到 14V，充电指示灯熄灭。通过测试判断，故障可能出在发电机本身。

停止柴油机运转，将发电机从车上卸下。分解检测发电机磁场绕组，电枢绕组和整流二极管，结果均正常。同时进行了给各轴承注油等发电机修理维护的例行项目。当卸带轮螺母时，没费劲就松开了带轮紧固螺母（标准的带轮螺母拧紧力矩为 55～65N·m）。该类型的发电机转子轴上没有键槽，带轮的传输转矩完全靠带轮紧固螺母的紧固力矩来保证，一旦带轮紧固螺母松动，就有可能引起带轮打滑，“丢转”使发电机的电压降低。在检查带轮内径和转子轴时，有自转的痕迹。此即充电指示灯在柴油机加速时闪亮的故障原因。

（3）故障排除　前后轴承注完油后，组装发电机时，按带轮螺母标准力矩紧固发电机带轮螺母。组装完后进行发电实验：用 12V 的蓄电池正极接发电机磁场接线柱 F（见图 8-30），负极接发电机的搭铁接线柱。用试灯一端接发电机电枢接线柱 B，另一端接发电机的搭铁接柱 B，用手快速转动带轮，试灯发亮，说明发电机发电。发电机发电后安装到汽车上再次试验，怠速、加速充电指示灯都正常熄灭，用数字万用表直流 200V 电压档检测发电机中性点电压为 13.2～14.2V，发电机发电正常。故障排除。

案例 15：康明斯柴油机控制电路故障（见图 8-29）

（1）应急控制和常用控制系统均不能起动机组

1）故障查找分析。出现该现象的原因主要是钥匙开关 DS，起动电动机 MD 和电磁执行机构 DCT 及其连接电路有故障。检测步骤如下：① 断开接地开关 JD，测量 DS，各继电器常开触点及其连接线路；② 接通 JD 时测量 RS1，RS2 和 J 的线圈及其触点两端的电压；③ 通电后，断开电磁执行机构电路，测量 MD 两端的电压，即不供油测试起动电动机工作状况；④ 通电后，断开马达电路，测量起动线圈和全速线圈两端电压，即不转动柴油机测试电磁执行机构工作状况。

应急控制状态下，DS 旋至工作状态时，RS1、RS2、J 的线圈两端无电压，其常开触点两端电压约为 DC 24V，DCT 全速线圈两端为 DC 24V，起动线圈无电压；起动时，RS1、RS2 和 J 的

线圈以及 DCT 的两个线圈电压均应为 20V 左右。

本例中 DCT 起动线圈两端电压始终为 DC 24V 左右，说明线圈烧断，进一步检查发现 RS2 触点始终闭合，说明触点烧蚀后粘连。由以上分析可知，该故障的主要原因是由于起动时电流过大，导致 RS2 粘连，所以 DS 旋至工作状态时，DCT 起动线圈仍通电，电流过大而烧坏。

2）故障排除。更换继电器 RS2 及电磁执行机构 DCT，起动试机故障现象消失。

（2）应急控制电路能正常起动，常用系统不能起动（TP 表自检正常）

1）故障查找分析。出现该现象的原因主要是 TP 表和 J1 及其连接线路有故障。检测步骤如下：① 断电测量 J1 的线圈及触点及其与 RS2 连接线路；② 打开电钥后，按下起动按钮，测量 TP 表 2 和 6 端；③ 通电后测量 J1 的线圈及触点的电压。

正常情况下，按下起动按钮时，2、6 端为低电平，J1 线圈两端有电压，触点无电压。

本例中，TP 表输出和 J1 的触点状态正常，但 RS2 两端一直没有电压。经检查发现 205 错接至 T8，导致 RS2 不闭合，DCT 不动作。

2）故障排除。更改接线，使 205 接至 T4，起动试机故障现象消失。

（3）系统起动后，只能通过急停按钮停机

1）故障查找分析。出现该现象的原因是 KT1 触点没有断开，主要是 TP 表和 KT1 及其连接线路有故障。检测步骤如下：① 断电测量 J2、KT1 的线圈、触点及其连接线路；② 按下停止按钮，测量 TP 表 19 和 7 端；③ 通电测量 J2、KT1 的线圈、触点电压。

正常情况下，按下停止按钮时，19 端输入低电平，7 端输出高电平；J2、KT1 线圈两端没有电压，触点断开。

本例中，断电时测量 J2、KT1 线圈阻值及触点的状态，均正常；按停止按钮时，TP 表输出正常，但 KT1 线圈始终有电压。由以上分析可得，该故障是由于接线错误导致 KT1 一直得电，其触点不能断开形成的，经检查 107 与 210 接反。预防这一故障的方法就是，JD 合闸后，按下急停按钮，测量 KT1 延时触点的导通状态。

2）故障排除。更改接线，起动试机故障现象消失。

在使用改型康明斯柴油机控制电路时，应注意：① 在合上 JD 或将 DS 旋至工作状态时，应观察 DCT 和电动机是否动作，并且测量部分参数。这样就可以防止接线错误而烧坏器件。② 由于起动时，DCT 起动线圈电流较大，所以频繁起动也会导致起动线圈过热而损坏，因此在使用中要特别注意。③ 机组起动后，转速传感器会输出一交流电压至 TP 表 10 端子，从而结束起动程序，如果没有该信号，常用系统起动后，电动机一直得电。④ TP 表与应急系统柴油机仪表的传感器阻值不同，所以不能接错。否则就会出现应急控制系统的仪表满偏，而常用系统不能起动的故障。实验测得，TP 表油压传感器的阻值大于 30Ω 时，就不能起动。表 8-2 给出了各传感器的阻值。

表 8-2　电气控制部分常用数据　　（测量温度：25℃）

传感器	阻值	传感器	阻值	DCT	阻值
SOP	9.7Ω	SOP2	233Ω	起动线圈	40Ω
SWT	630Ω	SWT2	1.4kΩ	全速线圈	1.2Ω
ZS	<300Ω	SOT	3kΩ		

案例 16：低油压传感器电路开路导致发动机无法起动

（1）故障现象　某单位备用电源——金钟康明斯 P344 柴油发电机组在使用的过程中，机组控制电路正常，但控制器无起动信号输出。

金钟康明斯柴油发电机组是采用专用控制器控制的半自动化柴油发电系统，可以远、近程自动起动和停机，三次循环起动控制。起动失败、低油压、高水温、超转速时快速有效保护，并发出报警信号。该系统外围元件少，只设置起动继电器 J_2 及 PT 泵电源继电器 J_1，控制电路如图 8-35所示。

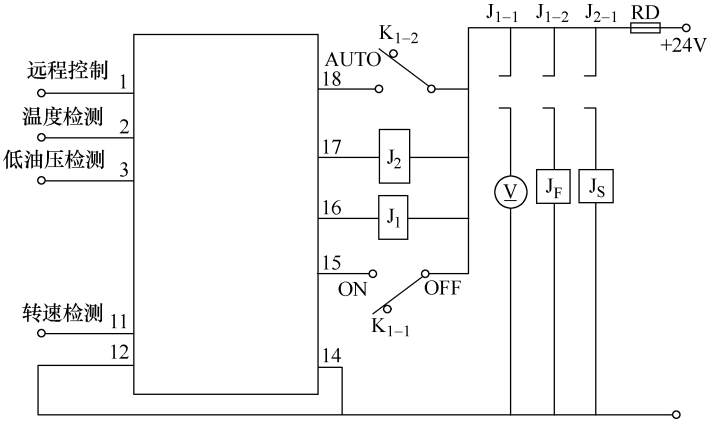


图 8-35 金钟康明斯柴油发电机组控制电路

出现的故障现象是：当置 K_{1-1} 于“ON”位置时，专用控制器进入起动程序，自动巡检并显示正常后，J_1 吸合动作，接通 PT 泵切断阀供油，但 J_2 经延时不吸合，在其自动三次起动程序内，J_2 仍无反应（J_2 用于控制起动继电器），J_1 释放，LED 显示起动失败。

（2）故障查找分析 经测量，在 K_{1-1} 置于“ON”时及三次自动起动时间内，16 线输出高电平 24V，而 17 线始终无起动驱动输出，然后 16 线输出低电平；检测水温高信号线时为高电平，正常；而低油压信号线在机组起动前应为低电平，但测试结果为高电平，与机组正常运转时相同，根据低油压保护传感器（开关式）原理和专用控制器的控制过程，即可判断为低油压传感器电路开路。

油压低检测电路（传感器），在机组润滑油压力大于 0.2MPa 时油压传感器开路（高电平），而在油压低于 0.2MPa 时触点闭合与机壳接通，输出为低电平。

专用控制器或 PLC 在起动时，首先要确认是否存在润滑油压力，即机组是否处在运行状态。若在运行状态，即机油油压传感器电路为高电平信号时，将禁止起动过程，防止误操作。因而当该信号为高电平时，17 线不输出起动信号而不能起动。油压低信号（低电平）在起动中，会有近 60s 的延时监控（具体延时时间因设定可改变），若润滑油压力不能建立，LED 会显示油压低信号指示而停止起动过程。

在故障检测时，应注意区分油压低检测电路在停机、机组起动过程和运行过程等不同阶段其信号输出的不同状态。

（3）故障排除 在将低油压检测信号电路的开路故障排除后，机组即实现了正常起动及运行。

案例 17：康明斯柴油机油压传感器故障导致自动停机

（1）故障现象 一台某型康明斯柴油发电机组（柴油机型号：6BT5.9—G1），按正常操作步骤，可以起动运行，空载运行时油压、油温、水温、转速等均正常，机组带负载约 0.5h 后（空载约 1h 后），柴油机会自动停机，同时低油压声光报警。

自动停机后，再次起动柴油机，当转速达到额定转速后，又出现油压低声光报警并自动

停机。

（2）故障查找分析　从现象看，故障原因是润滑油压力低。一般来说，柴油机润滑油压力低的原因有：润滑油粘度低、压力表损坏、机油滤清器堵塞、机油泵不泵油、轴承间隙过大等。

按照从简到繁的原则，对润滑系统进行检查。首先基于该机组润滑油已用了很长一段时间，按照要求重新更换了 CF—15W/40 型的康明斯专用润滑油，试机，运行 1h 左右，机组再次自动停机，故障依旧。停机后检查润滑油的粘度和机器上是否有润滑油泄漏，经检查，润滑油粘度合格、机器上也无泄漏润滑油。

检查润滑油压力，由于该机组润滑油压力检测是利用压力传感器将润滑油压力转换为电阻输出给仪表和电控系统，为此给柴油机安装上直通式机油压力表，开机运行机组。在机组整个运行阶段，密切监视润滑油压力。运行大约 1h 时，机组再次自动停机，观察外接的压力表指示发现油压正常，至此可以断定机器油压没有问题，问题应该是出在油压传感器。换上新的压力传感器，开机运行，机器运行 2h 后未出现上述的自动停机现象，故障排除。

在机器运行 1h 左右时，传感器出现问题，可能是由于机器运行后油温升高。高温时，传感器因长期使用性能下降而使工作曲线发生变化，出现了误报警；机器冷却下来后，传感器又恢复正常，因此才出现冷机时工作正常、热机后自动停机的故障。

第九章　康明斯柴油机综合故障分析

一、功率不足的主要原因

1. 进排气系统故障

（1）空气滤清器堵塞　柴油机空气滤清器脏污或堵塞会造成阻力增加、空气流量减少、充气效率下降，会使柴油机排气管冒黑烟、排气声音发闷和动力不足。应根据要求清洁保养空气滤清器滤芯，必要时更换滤芯。

（2）排气管阻塞　排气管阻塞会造成排气不畅，影响下一循环的进气和柴油充分燃烧而使动力下降。应检查排气管内是否积炭太多，一般排气背压不宜超过 3.3kPa，平时应经常清除排气管壁积炭。

柴油机熄火后，可卸下其排气管，检查排气口积炭情况，能够判断柴油机的工况。积炭呈黑灰色，表面像覆盖一层白霜，积炭层极薄，说明柴油机工况良好；积炭色泽黑亮，但不湿，说明柴油机轻微烧润滑油，个别排气口湿润或有润滑油的，说明该缸大量排润滑油；排气口积炭厚度明显高于其他缸排气口的，说明该缸喷油器工作不良或气缸密封性变差；各缸排气口积炭层均较厚，且色泽较深的，多因工作温度过低，或喷油过晚，柴油后燃严重所致。

（3）增压器故障　如果增压器轴承磨损、压气机及涡轮管路被污物阻塞或漏气，可使增压器转速下降或增压不足，从而导致柴油机功率下降。当增压器出现上述情况时，应检修或更换轴承，清洁管路、外壳、叶轮，拧紧接合面螺母和卡箍等。

2. 燃料系统故障

（1）柴油滤清器堵塞或输油管路泄漏　当柴油滤清器堵塞或输油管路泄漏时，柴油机会因供油量减少而转速下降、功率不足，还容易引起自动熄火。解决方法是，及时保养柴油滤清器，排除输油管路的泄漏故障。

（2）使用的柴油牌号不对　车用柴油机以轻柴油作燃料，若柴油牌号不对或质量不合格，则燃油燃烧不完全，其功率也随之下降。

（3）喷油泵磨损严重　当柱塞或出油阀磨损严重时，会出现喷油泵供油量下降、各缸供油量不均、供油压力下降或供油时间延迟的故障，柴油机功率也随之下降。解决方法是拆下喷油泵在试验台上重新调整。

（4）喷油器工作不良　当针阀偶件咬死、磨损严重、喷孔为积炭堵塞或压力调整不当、喷油器铜垫损坏与气缸盖封闭不严时，喷入缸内的柴油就不能充分雾化与燃烧，因而气缸内积炭增加，功率下降。解决方法是重新清洗、研磨或换新并校正喷油器。

（5）调速器磨损失灵　当调速器磨损、卡滞或安装不当时，调速器不能随车辆负荷变化而正确调整喷油泵的供油量，除功率下降外，还容易使柴油机熄火或引发飞车事故。解决方法是将调速器在试验台上进行调整、修复或更换个别零件。

（6）供油提前角过大或过小　供油提前角过大或过小均会造成功率不足。喷油过早，活塞上行功率消耗大、振动加剧；过晚，则后燃严重，燃油消耗上升，使燃烧过程不是处于最佳状态。此时应按要求重新调整供油提前角。

3. 曲轴连杆机构故障

（1）活塞与缸套故障　由于活塞与缸套拉伤严重或磨损过大，以及活塞环结胶、各环口处于同一直线上等原因，造成摩擦损失增大或漏气严重，导致动力下降。

当柴油机工作时，打开加机油的口盖，如有一股股浓烟从口盖冒出，说明缸壁活塞环各间隙过大或超限，燃气下泄到曲轴箱，并从加机油口中冒出（称下冒烟）。

处理时可更换缸套、活塞和活塞环。

（2）缸盖组有故障　气缸盖与机体的结合面密封不严会使缸内燃气、冷却液、润滑油泄漏或交互接触，使柴油机动力不足，并导致一系列故障。此时应按规定扭矩拧紧气缸盖螺母或更换气缸盖垫片。若柴油机行驶不久又磨损缸垫，则应检查缸体与气缸盖结合面的不平度和缸套台肩的凸出量是否在技术规定范围内，必要时予以磨修或重装。

（3）连杆轴瓦与曲轴连杆轴颈拉伤烧蚀　这多由润滑油不足等原因造成。应检修润滑状态或更换连杆轴瓦。

4．配气机构故障

（1）气门漏气　若气门弹簧折断或弹力不足、气门烧蚀或配气正时不正确，都会使柴油机因气门漏气引起进气量不足或进气中混有废气，继而导致燃油燃烧不充分，功率下降。解决方法是，更换气门弹簧、研磨气门，重新检查并正确调整配气正时。

气门漏气应修磨气门与气门座的配合面，必要时换新。

（2）气门间隙不正确　会造成进气不足或缸内漏气，致使柴油机动力下降，甚至着火困难。应重新调整气门间隙。

打开气门室盖，如有一丝青、白色的烟从气门杆部冒出，说明气门或气门座磨损过大或烧蚀，或气门间隙过小甚至没有间隙，在活塞压缩时，气缸内有混合气、混合物渗出（称上冒烟），从而可直接看出哪个气门漏气，应及时修理。

（3）配气相位不对　柴油机在长期工作中，曲轴、凸轮轴受到不正常的冲击力而产生扭曲变形，正时齿轮、凸轮表面、随动柱和推杆就会磨损，使进、排气门开闭时间向后推迟而偏离最佳配气相位，使充气效率降低，柴油机功率下降。因此，要定期检查柴油机配气相位，若不符合要求应及时调整。

5．柴油机温度不正常

过热易引起柴油机爆燃，水温和油温过高还会导致拉缸或活塞环卡死，使柴油机功率下降。当柴油机温度增加时，应检查机油冷却器和散热器，清除水垢。

若机体温度太低，会导致散热损失增大，喷入燃烧室的柴油不能完全燃烧，排气管冒白烟，柴油机无力。

6．柴油机未经充分磨合

新机或大修后的柴油机，必须经过充分的磨合后，方可投入满载运行。磨合期内的负荷应以满负荷的50%为宜，车辆行驶速度不大于额定速度的80%为宜。若未经磨合就投入满负荷运行，不但其功率明显下降，而且还容易发生烧瓦、抱轴及拉缸等事故。

二、冒烟的主要原因

柴油机排气是燃烧室内燃料燃烧后向外排放的废气，能直接反映整个燃烧室内的工作状况。燃料的燃烧，主要是燃料中碳、氢等元素和空气中的氧之间剧烈的氧化反应，分别生成 CO_2 和 H_2O，完全燃烧，烟色正常，一般为淡灰色，负荷略重时为深灰色。若有杂质，则会出现排气冒黑烟、白烟或蓝烟等。

1．排气冒黑烟

柴油机排气冒黑烟主要是由于燃烧不完全，即缺氧状态，使一些未燃烧完的碳元素形成游离碳悬浮在燃气中，随废气一起排出，成为黑烟，此时过量空气系数 $q<1$，排气中主要有大量的多孔性炭粒、CO 等。

形成原因：①空气滤清器严重堵塞或废气涡轮增压器损坏，造成进气不足；②排气背压太高或排气管道阻塞；③喷油泵供油量过多或各缸供油不均匀度太大；④冒烟限制器失效；⑤喷油器喷雾质量严重恶化（常伴有排柴油、排火、放炮等现象）；⑥供油正时太迟；⑦气缸工作温度太低或气缸压力不足；⑧柴油质量低劣；⑨在超负荷下工作；⑩润滑油窜入燃烧室过多。

排除方法是首先检查空气滤清器或排气管道是否堵塞。若空气滤清器堵塞严重，则用压缩空气吹空气滤清器或更换空气滤清器（干式），如是湿式则需换油清洗。其后检查废气涡轮增压器工作状态。以上状况良好，怠速时冒黑烟说明怠速供油量过大，额定时冒黑烟说明额定循环供油量大，应在试验台上将喷油泵供油量调至规定值。同时可检查冒烟限制器连接进气歧管的气管接头是否严重漏气，冒烟限制器膜片是否破损漏气等。在调校喷油泵时，冒烟限制器起作用点应正确。在供油量不大，但柴油机运转不太平稳时，可采用断缸法检查。若发现断掉某缸供油后柴油机改变不大，但排出黑烟消失，则说明该缸工作不良，可考虑喷雾不良、气缸压力不足等原因。进一步查找：①在喷油泵试验台上检查校正油量均匀度。②各缸油量正常，检查供油正时是否太晚，如康明斯 6BT 采用无锡 A 型泵时，静态供油提前角是上正点前 20°。③供油时间若正确，则应检查喷油器是否有滴油或喷雾不良等，若有，则应重新调校或更换针阀配件。④若上述情况都无异常，则应用气缸压力表测气缸压缩压力是否过低，如康明斯 6BT 气缸压缩压力要求是大于 2413kPa（250r/min 时）。检查柴油质量是否低劣，是否有太多的润滑油窜入燃烧室造成燃烧不良等原因导致排气冒黑烟。

2. 排气冒白烟

柴油机排气冒白烟主要是柴油未着火形成蒸气或柴油中有水的表现，主要以 H_2O 为主。

原因主要是：①气缸温度太低或气缸压缩压力不足。此时，白烟呈白色烟雾排出，是柴油不易燃烧所致。②柴油中有水或因气缸衬垫烧蚀，气缸套、气缸盖破裂漏水等原因造成气缸进水，在燃烧过程中受热后呈水蒸气状排出，引起排气冒白烟，且排气管出口处呈现水滴。③喷油器喷雾质量不佳，喷油压力低或喷嘴有严重的滴油现象造成柴油未着火燃烧完形成蒸气。这种原因造成的排气冒白烟，通常是发生在柴油机起动阶段或起动运转初期，随着柴油机温度的升高，白烟会逐步减弱或消失，而在柴油机带较大的负荷工作时，可能出现冒黑烟现象。④供油时间太迟。此时，白烟也呈白色油雾蒸气排出，是燃烧不良所致。

排除方法主要有：①起动柴油机，旋松喷油泵放气螺钉，检查油流中是否有水珠。若有，则说明柴油中混有水，应将油管、柴油滤清器、低压油路中的水排除干净。②若喷油泵中无水，则打开散热器盖，倾听并观察散热器内有无气泡冒出。若有，则表明冷却系统的水由于气缸垫烧蚀或气缸盖、气缸套破裂进入燃烧室。应拆检后更换相关损坏件。③若无水进入气缸，即散热器无气泡之类冒出，可考虑燃烧室燃油蒸气未燃烧而造成排气冒白烟。可进行下述检查：a. 在冬季，可检查柴油机外部保温情况和水温表指示值。如康明斯 6BT 的正常工作温度应是 90～95℃。若柴油机经常在低温状态下工作，则故障在此。b. 柴油机温度正常，应逐缸检查气缸压缩压力，若压力太低，则应拆除，看气缸套、活塞、活塞环是否不密封或气门不密封而造成气缸压缩压力下降，若是，则更换修复相关部件。c. 气缸压力正常，则检查喷油器的喷雾质量，主要是喷射压力和射程以及喷注锥角，若喷雾质量不佳，则将喷油器重新调试修复，康明斯 6BT 喷油器的开启压力应是 24.5～25.3MPa（24.5～253bar）（参考说明书具体规定）。d. 上述检查都无异常，则检查供油正时，若供油正时太迟，则应将供油时刻提前。

3．排气冒蓝烟

柴油机排气冒蓝烟主要是润滑油进入燃烧室受热蒸发成油汽的结果。此时主要以 HC 为主，主要原因有：①柴油机油底壳内润滑油油面太高。②空气滤清器内润滑油平面太高。③由于气缸间隙太大，气缸漏光度太大，活塞环槽或活塞环磨损过大，活塞环弹力太低，活塞环用错或装反等原因造成润滑油窜入燃烧。④进气门与气门导管配合过松，造成润滑油窜入缸内。⑤曲轴箱通风不畅。⑥气缸垫烧损。⑦废气涡轮增压器漏油。

排除方法有：①检查油底壳里润滑油油面是否过高，空气滤清器内润滑油是否过多，若是，则应将其放至标准位置。②若油面正常，则可拆取喷油器，检查喷油器头是否严重积炭或有油污。若是，则必须拆气缸盖检查。先看气门与气门导管之间配合是否松旷，如康明斯 6BT 要求气门与气门导管的间隙是 0.039～0.079mm。若不松旷，则可拆活塞，检查活塞与缸套、活塞与活塞环及每个部件本身的质量，康明斯 6BT 的配缸间隙要求是 0.101～0.179mm，第一环开口间隙要求是 0.40～0.70mm，二、三道环开口间隙要求是 0.25～0.55mm，气缸套的圆度要求是 0.038mm，圆锥度要求是 0.076mm。经测量后进行更换修复至标准，则可将冒蓝烟排除。其他可考虑曲轴箱通风、涡轮增压器漏油等原因。

新装配的柴油机，在试车阶段或运行初期（数十小时以内）有轻度的冒蓝烟是正常的。因为，经拆装和检修、更换的机件，如活塞环、气缸套等相对运动机件，需要有一个磨合过程，才能达到配合良好。所以，在试车或运行初始阶段比正常使用有更多的润滑油窜入燃烧室内，有的柴油机在排烟管口还出现油滴。但随着柴油机磨合的逐步完善，油滴或蓝烟应该消失。

三、柴油机常见异响的诊断

技术状况良好的柴油机，在各种工况下应运转平衡、响声纯正、没有明显的杂音。如果柴油机的某一部位出现故障，如机件松旷、配合间隙失调、燃烧不正常等，则柴油机在工作中的最初表现就是异响。

柴油机异响通常有下列规律：

柴油机振动异常主要是由于柴油机支撑不牢所致。

柴油机转 2 圈（即柴油机的一个工作循环）异响出现一次，其故障原因多出现在与凸轮轴有关的零部件，如气门、推杆、气门弹簧及正时齿轮等。

柴油机转一圈异响出现一次，故障原因多存在于与曲轴有关的零部件，如活塞、活塞销、活塞环及连杆轴承等。

异响连续发生，且有一定规律，则故障部位大都为旋转部件，如连续敲击声多发生在飞轮、正时齿轮等部件。

异响间歇发生，且没有规律，故障原因主要来自柴油机的附件，如发电机、水泵、空气压缩机、起动机等，原因是安装出现松动或其内部有刮碰等。

（1）整机振抖　柴油机起动后产生没有规律的振抖响声，且随着柴油机转速的增高而加剧。产生振抖异响的主要原因：柴油机支承螺栓松动或悬置、断裂；柴油机悬置位置不当，致使曲轴与第一节传动轴不同轴；柴油机悬置缓冲件损坏等。发现柴油机有振抖现象，应根据上述原因直接进行检查、排除。

（2）活塞运动部位异响　活塞运动部位异响主要包括活塞敲击声、活塞环漏气声、活塞销声等。

1）活塞敲击声。柴油机运转时在气缸的上部可以清楚地听到一种有节奏、清脆的“咚咚咚”活塞敲击缸体声，就是常说的“敲缸”。这种现象一般是由于柴油机供油时间过早（喷油提

前角过大）引起的，如喷油正时齿轮安装不当，喷油泵出油阀环带严重磨损或喷油时间过早等。喷油提前角过大，喷入气缸内的柴油在活塞上升阶段提前与吸入气缸内的空气形成可燃气体燃烧，从而导致燃烧不稳定，在活塞的上行阶段产生侧向偏移与缸壁接触发生碰撞，敲击缸体产生敲缸的声音。出现该现象，应首先校验供油时间，供油时间正确，可检查零部件状况。

若柴油机怠速或低速运转时，在气缸的上部发出清晰而明显的“嗒、嗒”的敲击声，随着转速的升高而逐渐减弱或消失；一般情况下，这种响声冷车时明显，热车时减弱或消失。造成活塞这种敲缸响声主要原因是活塞与气缸套配合间隙太大、活塞与气缸套间润滑条件较差及活塞失圆等。可先在柴油机低温下判断，在怠速或低速下找出响声明显的转速，然后缓慢加速至中速以上，若响声减弱或消失，可断定为活塞敲缸。可采用断缸法逐缸检查，以便找出发生活塞敲缸的具体位置。

活塞顶气缸盖，此时多系气门与活塞顶相撞，在气缸盖与机体结合处，能听到金属撞击声。响声多在柴油机高速运转时出现，且响声严重。加大节气门时，在气缸上部可听到连续不断的“嗒、嗒”声，响声清脆震耳。主要原因：气门弹簧折断、气门间隙失调、减压机构调整不当等。

2）活塞销响。活塞销响的主要原因是活塞销与连杆衬套配合间隙过大、连杆衬套与连杆小头轴承孔配合松旷所致。

由于活塞销与连杆衬套间隙过大造成的活塞销响的主要特征是：当柴油机在怠速或低速运转时，无异常响声；从怠速向中低速使柴油机加速运转，直至响声出现，如听到明显、清晰而尖脆的“当、当”的金属敲击声，当转速突然变化时，此敲击声更为明显、强而有力。

活塞销与连杆衬套或活塞销与活塞的销座孔松旷时，活塞在运动过程中会发生摆头与气缸套相撞，发出“空咚、空咚”的响声，当柴油机突然改变转速或低转速时，响声更为明显，此种响声在气缸套的全长上都可清晰地听到。

活塞销响与供油时间过早引起的敲击声相似，要注意区分。可用如下方法判断：将某缸供油时间适当调迟些，如敲击声消失，说明供油时间过早；如仍有敲击声，则为活塞销与连杆衬套的间隙过大。

3）活塞环漏气响。活塞环漏气响的主要特点是：柴油机运转时，从加注机油口处听到曲轴箱内发出“呲、呲”的声响，负荷越大时响声越强；随着响声的出现，加注机油口处向外冒烟。

造成活塞环漏气响的原因是活塞环与气缸套间隙过大、活塞环开口间隙太大或各环开口重合、活塞环卡死或折断等。

判断时可打开加润滑油口盖，柴油机高速运转时，可听到曲轴箱内发出“呲、呲”的声响，加注润滑油口处向外冒烟；减小节气门时响声减弱或消失。断缸试验时，如停止某缸工作后异响瞬时消失或减弱，注润滑油口冒气明显减少，说明是该缸漏气。

（3）气门处异响　在工作过程中，气门处发出一种类似于“的嗒、的嗒”的敲击声，音调均匀、连续不断，这主要是由于气门间隙过大所致。当气门烧损时，由于密闭不严，在空气滤清器处往往也会听到一种“哧、哧”的声音。严重时，摸一摸进气管有烫手的感觉。除此之外，当带有座圈的气门座口松动时，会发出一种“嚓、嚓”的声音。伴随着这种声音的还有一股气流声，在柴油机熄火时最为明显。气门座圈松动时的响声特点是时大时小，并带有破碎声。柴油机在低速运转时，响声比较清晰，高速时声音增大并变得杂乱。

气门杆与气门导管的间隙过大，也会产生敲击声。配气凸轮磨损后，其凸轮型线发生变化，气门挺柱在凸轮上有跳动，并发出类似响声。

顶置式气门的柴油机，如果摇臂轴弹簧与摇臂接触不良，当摇臂移动时，弹簧与摇臂发生摩

擦，易出现有节奏的“唧、唧”间响。在怠速运转时，响声较明显、清晰，中速以上时，声音变得钝哑或消失。

（4）轴承异响

1）曲轴轴承响。柴油机在急加速过程中，发出连续而有节奏的“咚、咚”的金属敲击声，响声沉重而发闷且随负荷的增加而加重，这种现象就是曲轴轴承响。响声严重时，机体会随着响声抖动，润滑油压力下降。这是由于主轴瓦与轴颈因磨损间隙过大、配合松旷引起的。检查时，用螺钉旋具在气缸体（机体）的中下部靠近主轴承的两侧通道听诊比较，找出响声最大的某一道主轴承，或者将曲轴箱通气孔盖打开，用耳侧听。

保持柴油机低速运转，并反复加大节气门。若在慢加速中，响声随转速的升高而增大，可从中速急加速到高速，如沉重发闷的“咚、咚”声明显，润滑油压力降低，一般是曲轴轴承松旷、烧损或抗磨合金层脱落。如柴油机在怠速或低速运转时响声明显，高速时响声杂乱，一般是曲轴弯曲所致。

柴油机在低速运转的短过程急加速中，非常沉重的“咯噔”声，好似不连续撞击声，又像压路机铁轮在不平坦的石头上碾压的声音，这是由于曲轴轴向窜动引起的。此时断缸试验无反应，润滑油压力不会改变，温度变化也不受影响。

2）连杆轴承响。连杆轴瓦松旷，会出现“嗒、嗒”连续明显、轻而短促的敲击声，打开加油口盖或拔出油标尺后，异响声音更加清晰。辨别时，可从高速突然减速中查出，因为间隙过大时将会听到一种清脆的敲击声。响声的特点是，随着柴油机转速的升高而增大，随着负荷的增大而增强，此时润滑油压力因配合间隙增大而有漏油部位所以下降。

造成连杆轴承响的主要原因是连杆螺钉松动（这是十分危险的）；连杆轴瓦合金烧损或脱落；轴瓦和轴颈严重磨损后，配合间隙太大等。如果是轴承间隙过大所产生的敲击声，声音相对比较轻，且是钝哑的；若轴承烧损脱落，使得配合间隙很大（可达几毫米）产生的敲击声清晰可辨。

3）烧瓦。烧瓦是指曲轴的主轴颈与主轴瓦之间或连杆轴颈与连杆轴瓦之间因缺少润滑油润滑而咬死。柴油机在工作中，如果突然在曲轴箱部位听到一种“唧、唧”的响声，这一般是缺油烧瓦的前兆，应及时停车检查。通常同时出现以下情况，可断定该柴油机的轴瓦已烧损：①润滑油压力原来正常，突然有明显下降；②润滑油温度急剧升高达 90℃以上；③拆开机油滤清器或清洗油底壳时发现许多轴瓦合金粉末。

（5）正时齿轮响　齿轮经长期使用后磨损的间隙很大，柴油机运转时便会发出“咔啦、咔啦”的声音。其特点是具有连续性，低速、怠速时更为明显，高速时变得杂乱并带有破碎声，正时齿轮盖上有振动。

若齿轮间隙过小，会发出“嗡嗡”呼啸声，转速越高，响声越大。如齿面有损伤或脱层，在怠速时发出“哽、哽”的有节奏的声响；中速以上时变为紧凑的“嗒、嗒”响声。故障发生在曲轴正时齿轮上时为连续响声，在凸轮轴正时齿轮上则为间响。

磨曲轴或凸轮轴轴颈时，没有精确找正，使磨好的轴颈与同齿轮配合的轴颈不在同一中心线上，此时会发出一种“嘶啦啦”的声音。凸轮轴的轴向间隙过大，也会发出间歇性的敲击声。

（6）飞轮松旷响　飞轮松动时常常发出“哐当、哐当”或“嘎嘎”的响声，这种响声比较大，特别在柴油机转速突然变化时更剧烈，通常在柴油机后部听得比较清楚，而某些时候响声又很小，因此这种响声没有一定规律。如果停车后不供油，使气缸减压阀减压开启，快速摇转曲轴，然后突然撤掉减压，此时也能听到“哐当、哐当”响声。如果飞轮松旷严重，在柴油机停机状态下用手扳动飞轮，还会有间隙松动感觉。飞轮松旷的主要原因：飞轮紧固螺母在工作中因

振动松动，安装飞轮时螺母没有拧紧。若发现飞轮松动，应及时紧固螺母，否则会引起严重后果。

四、柴油机起动困难

1．柴油机起动困难的原因

柴油机的起动必须具备两个条件：一是油量充足、雾化良好的柴油能及时到达燃烧室；二是燃烧室的空气温度要高到能使柴油着火。柴油机难以起动主要是两个条件不具备或不完全具备。一般说来，柴油机难起动多是燃油系统有故障，压缩压力不足，燃烧室的气温太低等原因。

（1）柴油没有进入气缸引起起动困难　如果柴油机在起动机带动下，以正常的转速运转但不能起动，并且无爆发声，排气管口也没有柴油味和烟雾排出。这种情况说明没有柴油喷入燃烧室，不能形成可燃混合气，所以柴油机也无法起动。原因如下：

1）油箱内柴油太少或没有柴油。

2）油箱内有充足的柴油，但油箱开关未打开。

3）油箱通气阀堵塞。

4）油箱油管堵塞或漏气。

5）油箱至输油泵间的油管破裂、漏气或堵塞。

6）输油泵工作不良或滤网堵塞。

7）低压油路中有空气（即产生气阻现象）。

8）喷油泵出现故障。

9）调速器与喷油泵的供油拉杆连接部分脱开。

10）高压油管破裂或其接头松动、高压管路中有空气。

11）喷油器出现故障。

12）驱动连接部件故障。

（2）柴油已进入气缸而起动困难　柴油机在起动机的带动下，可听到断续的爆发声，并且排气管口有柴油味，有白烟、黑烟或蓝烟排出，这种情况说明柴油已经进入气缸内，但由于气缸内的混合气体不具备着火条件（压力温度、一定质量的混合气等），所以柴油机仍然无法起动。原因如下：

1）喷油泵故障。当喷油泵柱塞磨损严重、喷油泵滚轮或凸轮磨损严重等都会导致供油压力降低和供油量减少。

2）喷油器故障。当喷油器针阀黏滞、喷油器针阀与阀座接触不良、喷油器喷油压力调节螺钉松动等，都会导致喷油器雾化不良、漏油、喷油压力过低及喷油量过小。

3）调速器调整不当。

4）空气滤清器堵塞（或进气管路漏气）。这两种故障均可造成进气不足，无法起动。

5）进油管路堵塞造成供油不足。

6）柴油油质低劣。当燃油中有杂质颗粒或水分时，会造成堵塞，喷油泵和喷油器磨损加剧，且燃油不易燃烧。

7）排气控制阀未全开。

8）排气不畅造成废气排不尽。

9）气缸套与活塞环磨损、活塞环开口对齐，导致气缸套、活塞环、活塞配合不当而漏气。

10）气缸盖密封不当。气缸垫烧蚀或损坏、气缸盖螺栓松动、气缸盖翘曲变形等，都会引起气缸盖密封不良，造成气缸压力不足。

11）气缸盖或气缸套有裂纹。转动曲轴，散热器冷却水中有气泡上冒，还可能有冷却水外流或流入曲轴箱，使润滑油面升高。应找出裂纹部位，更换或焊修。

12）气门密封不严。当气门磨损、烧蚀或气门间隙过小时，都会导致气门密封不严，从而引起气缸漏气。

13）环境温度过低。造成燃油不易蒸发燃烧，所以，环境温度的高低直接影响柴油机的起动性能，对于没有安装起动预热装置的柴油机来说，冬天难以起动的现象特别严重。

14）供油提前角失准。供油提前角对柴油机各个方面的性能影响都很大，对其起动性能影响也不例外。

2．柴油机起动困难的对策

当气温低而造成起动困准时，一般可通过预热或更换燃油、加注起动液。当柴油机不仅冷起动困难，热起动也有困难时，检查中应注意综合分析。对于原来一直工作正常的柴油机来说，起动困难多由起动装置不良（对于使用电起动机的柴油机，如果起动转速极其缓慢，大多是起动机无力，并不说明柴油机本身有故障。应对电气线路方面进行详细检查，判断是否是因蓄电池未充足电，各导线连接未紧固及起动机工作不正常）、供油量下降、输油泵弹簧折断、喷油器不良、气缸压力下降、柴油滤清器或空气滤清器堵塞所造成；而对刚修过喷油泵的柴油机来说，起动困难则多数为供油不正时（安装错误所致）、低压油路漏油、溢流阀的低压油管接头装错所造成。

（1）低压油路的检查

1）先检查油箱内有无柴油（若有柴油，应检查油量是否充足、燃油箱开关是否打开或油箱盖通气阀是否正常）。

2）若以上正常，可用手油泵泵油。如果拉出手油泵手柄时，感到不易拉出，松手后又自行回位，表明油箱至输油泵间的油路堵塞；如果拉出手油泵时，感到无吸力，下压时感到阻力较大，表明柴油滤清器或输油泵至喷油泵的油路堵塞，此时一般应检查柴油滤清器是否堵塞；如果上下拉动手油泵时均无正常的吸、泵油阻力，说明手油泵失效，此时应对手油泵进行彻底的检查并维修。

油路被杂质堵塞的原因有以下几方面：①若燃油箱长期不清洗，内部杂质被吸入油路并聚集在油路狭窄处或滤清器中而使油路堵塞。②由于柴油的腐蚀作用，橡胶油管内壁胶层脱离或脱落而使油路堵塞。此时若用手油泵泵油，当泵油频率慢时燃油能被吸出，随着泵油频率的加快，燃油量并不增加或反而越来越少，严重时甚至完全不出油，但若放慢泵油频率则又会有燃油被吸出。③蜡质堵塞油路。检查故障时可结合环境温度和燃油牌号来判断，也可在滤清器里或油管接头处直接观察到。④“水”堵塞油路。有的机型上在油路中加装了油水分离器，当沉淀水腔中的水达到一定水位后，其水浮子会将油路关闭，以避免水进入喷油泵。因此，当泵不上油时，应从油水分离器进水开关处将水放净。另外，当气温降至0℃以下时，沉淀的水被冻成冰，会将油水分离器中的油路堵塞。此时，应拆检油水分离器以清除冰碴。

若油路无堵塞，可拧松油路放气螺钉，用手油泵泵油。若流出来的油流里有空气（一般呈泡沫状油流），表明低压油路有漏气现象。应着重检查油箱至输油泵段的油路有无破损处（重点是油管接头），对密封处应拆下仔细查看后再重装，垫片不良要更换。

3）最后检查输油泵，查看输油泵出油阀是否黏滞或不密封，查看弹簧是否折断，如果折断就应更换新品。

（2）高压油路的检查　当松开喷油泵放气螺钉，提压手油泵放气螺钉处出油正常，但各缸或部分缸喷油器无油喷出时，检查步骤如下：

1）首先起动柴油机，查看喷油泵输入轴是否转动，如果喷油泵输入轴不转或转得太慢，应检查驱动部件或半圆键是否完好。

2）如果正常，可在转动柴油机时，用手触摸各缸高压油管，如果感到喷油有脉动，说明故障不在喷油泵而在喷油器，如果无脉动或脉动微弱，说明故障在喷油泵。

喷油泵本身的故障有以下几种：① 若柱塞偶件磨损严重，将使起动时的供油压力低、油量少、喷油器喷入气缸的燃油不能雾化，不能满足柴油机起动时对浓混合气的需求。应更换柱塞偶件，并对喷油泵进行校正。② 若柱塞套与喷油泵壳体之间不密封，在长时间停机后会使喷油泵低压油腔内不存油，从而造成柴油机难起动。此时还会伴有泵腔润滑油增多而溢出或柴油机油底壳润滑油面增高的现象。对于 A 型、B 型及Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号泵，应对其密封面进行研磨或加密封铜垫；对于 P、P7、MW 等型泵应更换 O 形密封圈。③ 柱塞卡滞导致柴油机难起动，一般有四种情况：a. 柴油机起动时，在调速器的作用下齿条向起动油量位置运动并带动柱塞转动，使起动时供油量增加。若由于柱塞卡滞而使喷油泵不能完成向气缸供油的工作，将导致起动失败。如燃油中未经过滤的杂质进入柱塞偶件、长期停机后油中的水使偶件锈蚀、过度磨损等都会使柱塞偶件在工作中产生两种卡滞现象。一是柱塞不能转动，喷油泵无法完成油量调节过程，因而不能起动柴油机；二是柱塞在喷油泵凸轮轴的驱动下，向上运动后严重卡滞在上止点位置，造成柱塞弹簧不能使其复位从而不能完成泵油过程，因而导致柴油机起动失败。这两种情况有时单独出现，有时会同时出现。在对喷油泵进行维修校验时要对柱塞偶件进行更换。b. 出油阀压帽的拧紧扭矩过大、柱塞套筒变形，致使柱塞卡滞、转动迟缓，这种情况通常在喷油泵刚修理后可能出现。引起出油阀压帽拧紧扭矩过大的原因是：因压帽与高压油管相接部分的金属疲劳而造成漏柴油，压帽防松锁片又已松动失效，因此在拧紧高压油管时会带动压帽一起转动，使压帽拧紧力矩过分增大致使柱塞卡滞。在修理时应将出油阀压帽松开，重新按规定力矩扭紧，然后锁紧压帽锁片。c. 康明斯柴油机上喷油泵的润滑多是靠柴油机润滑系统完成的。如果长期不更换润滑油，机油会产生胶质，并与柴油机运动件产生的磨料、炭粒等杂质混合，且粘附在柱塞下部，当柱塞向上止点运动时，将粘附的杂质带入柱塞套筒下部而使柱塞卡滞。此时，可通过肉眼直接观察到柱塞下部有明显的粘附物并有“梳状”划痕，严重时柱塞卡滞在上止点且不能回位。修理时，应将柱塞卸下，对柱塞偶件下部的油泥杂质等粘附物进行清理，并研磨柱塞使之活动灵活。d. 柱塞油量控制齿套与齿条间有异物进入，使齿套与齿条卡滞，导致柱塞不能向起动油量位置转动，使喷油泵不能供油。应逐缸仔细检查并进行清理或相应的维修。e. 调速器有故障（如起动弹簧折断或脱落、调速弹簧折断和齿条弯曲等）也会引起柴油机不能起动。可根据不同型式的调速器进行相应的检查和维修。怠速调整过高有时会使起动困难，如喷油泵配 RQV 型调速器，由于其结构的特点，当怠速太高（800～900r/min）时，熄火后齿条不能回到原熄火位置，因而重新起动时，踏下加速踏板后油泵齿条不能到达起动位置，使起动油量低而不能起动，这一情况通常是在将怠速调高后才出现。这时，只要将加速杆向熄火位置推进后，再向加速位置扳动一定角度，然后再起动便能成功。

其他可检查齿杆运动是否过紧、调节齿圈的螺钉是否松脱、出油阀是否密封不良或出油阀弹簧是否断裂（将高压油管拆下，用手油泵泵油，这时如果喷油泵的出油阀处有油溢出，说明出油阀密封不良）。用手推动停机拉杆，看供油齿圈是否能在大范围内移动；松开停机拉杆，看其弹簧是否自动回位。若加油行程短则节气门操纵臂转轴的定位可能松动或错齿，这时可拆下检修后重新紧固。

喷油器故障主要包括：① 喷油嘴的针阀卡滞在开启位置，加之喷油泵出油阀不密封，使气缸中的压缩空气通过高压油管窜入喷油泵低压油腔中，使柴油机不能起动。这一故障的特征是，

起动后柴油机只能运转1min左右便熄火，低压油路中有空气存在，排气管伴有间断性白烟排出，此时若逐缸断开高压油管，便会发现故障缸的高压油管内有大量油沫，将此缸完全断开，故障便不再重复。应更换故障缸的出油阀和喷油嘴偶件。② 喷油器的喷油嘴由于过度磨损，导致喷油压力低，柴油雾化差，使可燃混合气不能形成。这一故障的特征是，通常在进气道用火加热进气时，排气管会有少量白烟冒出，当起动成功后从排气管将排出大量白烟，随着柴油机温度的升高白烟会逐渐变成黑烟。应对喷油器进行调试校正，必要时更换喷油嘴。

可将喷油器从缸体上卸下，仍接到高压油管上，用螺钉旋具撬动喷油泵柱塞弹簧座做喷油动作，如果喷油雾化不良和油嘴堵塞，说明故障在喷油器。应予以拆检。

（3）供油正时的检查　供油不正时会给起动带来很大困难。应按要求校核供油正时。对于带有提前器的喷油泵，应检查提前器的工作状况，使其工作正常。

（4）判断气缸的密封性

1）先用气缸压力表测定各气缸的压力值。其方法是：先将被检查气缸的喷油器拆掉，将气缸压力表抵在喷油器座孔。

2）用起动机带动柴油机运转，读取气缸压缩压力，每个气缸测3次，最后取平均值。

3）若气缸压力表指示测试结果低于2.4MPa，起动就比较困难了。若无气缸压力表，可以通过观察气门室和曲轴箱的冒烟情况进行判断：将空气滤清器拆下，并打开气门室密封盖，用起动电源起动，边运转边观察，若从此气门有断续气体冒出，说明气门关闭不严，需要修磨气门；若在机油加注口（或油标尺插孔）处有烟冒出，说明活塞环与气缸套配合间隙过大，燃烧的气体通过较大的间隙窜入曲轴箱并从机油加注口冒出。这种故障现象说明已无法通过简单的应急处理来解决，必须对柴油机进行大修。

（5）电气电路检查　对于配装有VE泵的康明斯6BT型柴油机，其电磁断油阀本身或线路有故障会使油路封闭而不能起动成功；对于配装有无锡A型泵的6BT型柴油机，其齿条行程控制锁销是由一电磁阀控制，若电磁阀或线路有故障，会使锁销不能打开而使起动困难或不能起动；对于康明斯N、NH系列柴油机及IVCO发电机组，若其熄火断油阀本身或线路有故障，会使油路不能打开，柴油机则不能起动。IVCO发电机组排除空气时，应将机组起动电源打开，以便将油路中的空气排除干净。为了获得较低的燃烧噪声、降低排放，有的柴油机的燃烧室设计为预燃式，这种燃烧室起动性能差，为提高起动性在预燃室内装有预热塞，如果预热塞或其线路有故障，会使柴油机起动困难。

五、柴油机转速异常原因

1．柴油机转速不稳

柴油机工作时转速不稳，反映在转速表上指针波动较大（柴油发电机组，从频率表上也可看出），通常在怠速时更为明显，从柴油机工作噪声中也可以明显地感觉到。柴油机转速不稳有多方面的原因，如果是因调速系统的作用失常造成的，可能造成“游车”。

故障原因：

1）燃油系统中有空气或油路中有阻塞、泄漏（常发生在输油泵进口管路，工作时吸入空气）、供油不畅、断续或个别缸没有供油等。

检查时，用临时油桶（位置稍高于喷油泵）直接给喷油泵低压腔供油，再起动柴油机试验，如故障现象消失，则说明低压油路供油不正常，再进一步查找低压油管中的故障部位。

2）调速器工作不正常。如调速器部件运动阻尼增大，调速弹簧弹力减弱过多，轴承损坏等将造成调速器性能降低，从而使调速器的稳定性变差，造成“游车”现象。

3）喷油泵工作不良。如柱塞有轻微卡阻；油量调节齿杆移动不灵活；油量调节齿杆与齿圈，柱塞突耳与调节套筒配合松旷；各缸供油量不均匀等。

在查找以上两项故障原因时，如有可能，先拆下喷油泵检查盖板，起动柴油机，并把其转速调到波动最明显的范围，再用手握住喷油泵的油量调节齿圈，不让其来回抖动，然后观察柴油机转速波动情况，如果转速变为稳定，说明故障在喷油泵调速器总成上。

对有故障的喷油泵调速器，在分解后逐项进行检查，尤其是对油量调节机构，运动应十分灵活，无任何卡阻现象，又不能松旷，影响油量调节的灵敏性。经全面检修、重新装配后，再上喷油泵试验台进行调试。调试合格后才能装上柴油机进行试车。

2．游车

游车是指柴油机转速忽高忽低、飘忽不定，并且呈现出一定规律性。它通常出现在低速或中速范围内。发生游车时，调节齿杆会规律地往复移动，轻微时调节齿杆会抖动。

原因：

1）柱塞转动、控制套筒发生阻滞，调节齿杆和调节齿圈间有异物、调节齿杆在衬套中移动发生阻滞，使调节齿条发涩。当调节齿杆移动阻力增加时，调速器灵敏度降低，从而产生游车。

2）调速弹簧失效、各铰链处磨损综合间隙增大、运动件卡滞。

柴油机转速发生变化，调速器要克服阻力或先消除间隙，才能移动调节齿杆增减供油量，致使调速不及时，柴油机的转速忽高忽低。

3）调速器内的机油过多过粘。

排除时，首先检查调速器内机油是否过多过粘，多的要放出，过粘要更换。其次应检查调速器铰链连接处的松旷程度，如间隙过大应排除。拆掉齿杆与调速器的连接销，转动柴油机曲轴，同时用手移动齿杆，若喷油泵齿轮轴转至任何位置，齿杆都能灵活平顺地移动，说明故障在调速器；若凸轮轴转至某一位置，齿杆被卡滞，则故障在齿杆。

3．飞车

飞车是指柴油机转速失去控制（即转速自行升高），超过标定转速 110% 以上，并伴有巨大声响的故障现象。飞车时，往往停车手柄失去控制作用，转速直线上升，在很短的时间内，转速会大大超过标定转速，如不及时采取紧急措施，强行停车，很可能造成重大的机械事故，并威胁人身的安全。

原因是喷油泵有故障、调速器失去作用或缸内额外进油，具体分析如下：

1）喷油泵油量调节齿杆在最大（或比较大）的油量位置卡死，因而柴油机起动后，不能及时地自动减油，转速就急剧上升而造成飞车。如果在柴油机运转过程中齿杆卡死，当负荷减小或卸去时，转速就会急剧上升，造成飞车。

2）喷油泵柱塞与柱塞套筒装配不正确或卡死，其结果也是造成油量调节齿杆不能移动，即不能自动减油而造成飞车。

3）油量调节齿杆和调速器拉杆的连接件脱落，或拉杆螺钉脱落等，使得调速器失去作用，因而当柴油机负荷减小时，不能自动地减小供油量，造成飞车。

4）喷油泵调速器调整不当或最高转速限位螺钉松脱，使柴油机超过标定转速时，还不能自动减油，当转速达到飞车转速时，不能完全停油。

5）调速器飞锤松脱、折断或卡死；或者飞球（钢球）支架损坏，飞球脱落等造成飞车。

6）柴油机停放时间太久，保养不好，喷油泵和调速器的某些控制零件锈死在比较大的供油量位置（因在停机时，油量齿杆位于最大供油位置），当柴油机起动时，转速就急剧上升，造成飞车。

柴油机飞车时，从柴油机运转响声和转速表上可以明显地感觉到。当出现飞车时，应采取紧急停机措施。紧急停车的方法应根据各种机型的结构和现场实际情况进行。常用的紧急停车方法有：

1）切断进气。堵塞进气口，切断新鲜空气的进入，这是最有效、最迅速的紧急停机方法，并且对柴油机没有任何损害性。

2）切断油路。在飞车时，若停车手柄尚能拉动，则迅速地把停车手柄拉到停车位置，并关闭柴油管路阀门，使喷油泵不供油，则柴油机也能迅速停车。但由于发生飞车时，有很多原因是停车手柄失去控制或拉不动，并且在柴油管路中尚有存油，则不能迅速及时地停车。此时，应快速松开高压油管紧固螺母。

柴油机紧急停机后，应立即人工盘车数圈，检查机器有无因飞车而造成机件损坏、卡滞等异常现象，并根据情况作必要的拆检和修理。同时，还应分析、查找发生飞车的原因，及时地进行排除，保证柴油机的安全运转。

第十章　康明斯柴油机使用维护与保养

第一节　柴油机的正确使用

一、燃油系统的使用维护

1．柴油的选用

用于压燃式发动机（柴油机）中作为能源的石油燃料称为柴油，柴油分为轻柴油和重柴油。轻柴油适用于全负荷转速不低于960r/min的高速柴油机；重柴油适用于全负荷转速在300r/min以上的中速柴油机及300r/min以下的低速柴油机。汽车、拖拉机及工程机械使用的都是高速柴油机。因此，以下主要介绍轻柴油的规格及其使用性能，为叙述方便，将轻柴油简称为柴油。

（1）柴油的质量要求　为了保证柴油在高速柴油机中能正常燃烧，对柴油的质量要求如下：

1）良好的燃烧性，十六烷值适当，自燃点低，燃烧完全，柴油机工作稳定性好，不发生爆震现象。

2）良好的蒸发性能，蒸发速度适当，轻馏分所占比例大，以减小柴油机油耗、磨损，保证足够功率。

3）柴油的粘度应适当，即具有良好的流动性，以保证高压油泵的润滑和喷油雾化的质量，形成良好的混合气。

4）含硫量低，以保证不腐蚀柴油机。燃油含硫量的分类见表10-1。

5）安定性好，在储存时生成胶质及燃烧后形成积炭的倾向都较小。

表10-1　燃油含硫量的分类

含硫量（%）	小于0.5	0.5～2.0	大于2.0
分　类	低硫燃油	含硫燃油	高硫燃油

（2）柴油的牌号及规格　柴油按质量分为优级品、一级品与合格品三个等级，每个等级的柴油按其凝点又可分为10号、0号、－10号、－20号、－35号和－50号六种牌号。10号柴油表示其凝点不高于10℃，余者类推。

一般而言，各号柴油都是由直馏馏分与二次加工馏分调和而成，低凝点的柴油中，还要根据使用性能的要求，适当调入煤油馏分。通常在10号与0号柴油中，调入直馏馏分比例较大，而调入煤油的比例较小；而在－10号、－20号、－35号和－50号柴油中，调入直馏馏分比例稍小，调入煤油的比例较大。

（3）柴油的选择与使用　柴油机的构造、性能、工作状态和环境温度是选用柴油的依据。对于全负荷转速高于960r/min的柴油机，选用轻柴油。预燃室式与涡流室式柴油机可选用馏分较宽、较重（自燃温度为150～400℃）的柴油；而直喷式柴油机必须使用馏分较窄、较轻（自燃温度为200～360℃）的柴油。

康明斯柴油机所用柴油必须满足粘度、十六烷值、含硫量、水和沉淀物以及浊点等性能指标的要求：环境温度在40℃时，粘度应保持在（1.3～5.8）×$10^{-6}m^2/s$之间；环境温度高于0℃时，

十六烷值不应低于40，在环境温度低于0℃时，十六烷值不应低于45；含硫量不能超过0.5重量百分比；水和沉积物不得超过0.05体积百分比，应保持燃油洁净和不含水分或杂质，否则会导致燃油泵和喷油器严重损坏。

在选择柴油时，柴油机使用时的环境温度是最重要的考虑因素。柴油的冷凝点与实际操作使用温度之间有着直接的对应关系。选择柴油时，柴油的冷凝点应低于当地最低气温5℃。具体可参照以下原则进行选用：① 10号柴油适合于有预热设备的高速柴油机上使用。② 0号柴油适合于最低气温在4℃以上的地区使用。③ －10号柴油适合于最低气温在－5℃以上的地区使用。④ －20号柴油适合于最低气温在－5～－14℃的地区使用。⑤ －35号柴油适合于最低气温在－14～－29℃的地区使用。⑥ －50号柴油适合于最低气温在－29～－44℃的地区使用。

不同牌号的柴油可掺兑使用，不需进行专门的换季换油。

柴油中不能掺入汽油，柴油中掺入汽油后，降低燃油的粘度，增加喷油泵、喷油器等机件的磨损。同时，混有汽油、酒精的柴油十六烷值会降低，造成柴油机冷起动困难甚至不能起动。

改善柴油机低温起动性时，起动液不能直接加注于柴油箱中，以免引起气阻甚至火灾。

冬季使用桶装高凝点柴油时，不得用明火加热，以免爆炸。

2．燃油滤清器维护保养

燃油滤清器一般分为粗滤器和细滤器两大类。有些柴油机不单独设置粗滤器，而是在燃油箱出油口处加滤网，起粗滤作用。有的柴油机还装有油水分离器。如6CTAA8.3—300型柴油机配有双级燃油滤清器，第一级为带有放水阀的油水分离器；第二级为燃油滤清器。

每日首次起动前，应旋松油水分离器下端的放水阀，放水20s，然后旋紧。如果气温低于0℃时每天在停机后必须马上放水。放出的液体可能燃油占大部分（夹带着水和杂质），但这可使燃油在更换前总是处于正常状态，以避免因燃油滤清器堵塞而发生中途停车。

康明斯柴油机每运转500h或6个月，应更换燃油滤清器及油水分离器。更换时，关闭油箱供油开关，用专用工具卸下燃油滤清器和油水分离器。安装新的燃油滤清器和油水分离器时，先将接合面擦干净，并在燃油滤清器和油水分离器中注满清洁的燃油，然后用手旋装，待密封面与接合面接合时，再用手旋紧3/4圈(见图10-1)。更换燃油滤清器时，拧下旧燃油滤清器连同里面的燃油一起报废，不能将旧燃油滤清器的燃油倒入新燃油滤清器中，因旧燃油滤清器中残存的柴油带有很多过滤出来的微粒，倒入新燃油滤清器后会使喷油泵、喷油器加剧磨损。

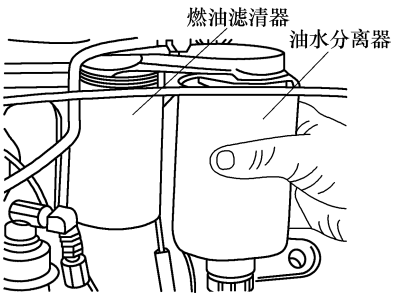


图10-1　装复燃油滤清器和油水分离器

注意：安装时不准用滤清器专用工具旋紧燃油滤清器和油水分离器，否则将使螺纹变形和损坏燃油滤清器。油水分离器放水阀只能用手旋紧，不得使用任何工具。放水时，不能将放水阀全部打开。

在实际工作中，有时会出现燃油滤清器未到规定的使用期限，就发生堵塞的现象。这是因为将含有大量胶杂物或将未经沉淀过滤的燃油加入油箱所致。

3．燃油箱的维护保养

使用清洁的柴油，对柴油机的正常工作有着特别重要的意义。柴油不干净，会加剧燃油系统柱塞、出油阀和喷油嘴针阀等精密偶件的磨损或锈蚀，从而大大降低机器运转的可靠性与耐久性。为此，柴油加入油箱前，必须经过72h以上的沉淀，以免油中杂质和水分被带进油箱。桶装柴油的抽油机必须干净无污染，抽油时油管应插在油箱底部五分之一以上高度，避免将桶底沉淀

油抽入油箱，加油前应将加油口处滤筒取出，进行仔细的清洗。每天停机前，应将油箱加满油，避免夜间空油箱内壁因冷凝而产生水珠流入柴油内。应经常检查油箱的油面高度，如油箱内燃油存量不足，应予补充，以防因用尽存油而导致箱底脏油或空气进入燃油系统。开机前，应首先打开油箱排污阀，排出箱底沉淀的脏油或水分。油箱盖上的通气孔要经常疏通，防止因堵塞使油箱内产生真空，造成供油量减小或断油现象。燃油箱应定期进行清洗，机器经长期使用，油箱中的柴油同空气或箱壁接触会生成不少污垢，其中一部分沉入箱底，另一部分则附着在箱壁上。同时，每天加油过程中也难免有灰沙尘土或水分被带入油箱。因此，机器每工作 1500～2000h，应清洗一次油箱，否则即使加入的全是干净柴油，也会受到污染。当油箱较为笨重时，可自制一简易工具，利用压缩空气来清洗油箱，具体方法如下：①用 0.5in 的钢管自制一个喷管，长约 1m，下端孔口焊死，并在其周围钻几个直径 1～2mm 喷孔，上端与来自气泵的软管相连。②放净油箱存油，另加部分干净柴油。③将喷管伸入油箱底部。④开动气泵，当气压升至 0.6～0.7MPa 时，打开气阀，湍急的气流冲入油箱底部的存油中，引起油液剧烈飞溅与晃荡，可将油箱内壁冲刷干净。这时，要用棉纱塞住油箱口，以免油雾喷出。⑤将污油排出。

应经常检查各燃油管路是否有漏油现象，如有渗漏现象要及时排除。尤其是喷油器与高压油管连接处，喷油器回油管紧固螺钉处，一定要密封可靠，不得有滴漏或渗漏现象，否则会导致燃油浪费、动力下降和机体污染。

4. 排出燃油系统中的空气

燃油系统在油泵和油箱之间的燃油管路不密封或燃油用完时，以及在更换燃油滤清器、油泵、高压油管的过程中会形成油路进气现象。如果燃油系统中有空气，会导致起动困难或运转不稳，因此要进行排气。油路排气时，用扳手拧松各处排气螺钉（见图 10-2），上下扳动输油泵手柄泵油，直至出油中没有气泡后拧紧排气螺钉即可。康明斯柴油机更换喷油泵时，可通过起动机起动柴油机，使喷油泵在起动机的带动下，将泵内的空气通过喷油泵上的回油管排出。此时，每次起动时间不超过 30s，连续使用要间隔 2min。更换高压油管后，要排出高压油管中的空气，方法是用扳手拧松喷油器上的高压燃油管的管螺母（见图 10-3），起动柴油机，让截留的空气从管路中放出，再拧紧螺母，逐个将高压油管内的空气排出，直到柴油机转速平稳为止。使用此方法后，如果气体仍不能排净，应检查管路是否有漏气情况。

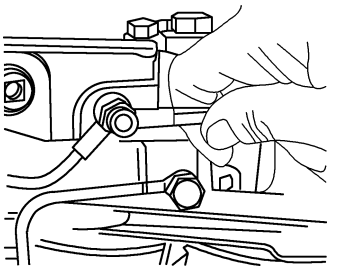


图 10-2 松开放气螺钉

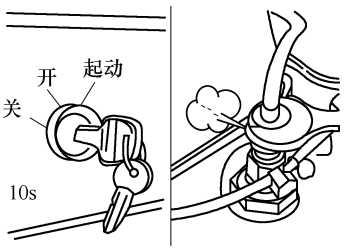


图 10-3 松开喷油器螺母排气

注意：不可在柴油机热机状态排气，燃油如果喷到炽热排气管上，将会造成火灾，另外应防止高压燃油损伤皮肤。

5. 喷油泵的维护保养

喷油泵是柴油机的心脏，内含许多精密零部件。喷油泵在使用过程中，最为重要的是必须保证进入喷油泵的柴油清洁，并使用符合国家标准（GB252—2000）的轻柴油，避免杂质和水分的侵入。

喷油泵及其连接机件要保持清洁、紧固，以保证工作可靠。对于泵体带有加油口及盖板的喷油泵，在进行整部柴油机的清洁工作时，不要用水猛烈冲刷喷油泵，以免水漏入使柱塞弹簧等机件锈蚀，工作中导致柱塞弹簧的疲劳破坏和断裂。

需加润滑油的喷油泵泵体凸轮室和调速器应加注符合标准的润滑油，并要经常检查油面。新机或新泵在试运转后应更换润滑油。加注润滑油时量要适中，太少润滑不可靠，太多可能造成调速器离心元件的旋转阻力增加，使调速器灵敏度降低，轻者发生游车，重者会造成飞车的严重事故。

二、润滑系统的使用维护

1. 润滑油的选用

润滑油包括全损耗系统用油、内燃机油、压缩机油、齿轮油及润滑脂等。内燃机油有汽油机油和柴油机油两种。由于柴油机的机械负荷和热负荷都较重，柴油机应使用柴油机油。

（1）润滑油的成分　润滑油首先来自基础油，它能为发动机提供基本的润滑能力，但是它很容易变质、退化，因此常在润滑油中加入 10% 左右的添加剂，以改善基础油的品质特性。这些添加剂中，有防止金属锈蚀的防锈添加剂；有用以增加润滑油粘度的增粘添加剂；有用以降低润滑油凝点的降凝添加剂；有防止润滑油对金属腐蚀和润滑油自身氧化的抗氧化、抗腐蚀添加剂；有促使沉积油中的淤渣、胶泥、积炭分散的清净分散添加剂等。

依据习惯，把通过物理蒸馏方法从石油中提炼出的基础油称为矿物油（部分非深度加氢基础油也称为矿物油）。而合成油，是通过化学合成获得的基础油，其成分多数并不直接存在于石油中。

（2）内燃机对润滑油的要求

1）良好的粘温特性，适应发动机从冬季冷起动到全负荷运转要求。

2）良好的抗氧化性能，确保在整个换油期内保持润滑和抗腐蚀能力，有效延长换油期。

3）良好的清洁分散性，将燃油燃烧附着在零件上的胶状物和积炭清洗下来，并使其分散在润滑油中，避免聚集。

4）良好的抗磨损性能，防止高温运转机件的磨损和擦伤。

5）足够的碱性，能有效快速地中和含硫燃油燃烧后产生的硫酸、盐酸等酸性物质，保护零件不受腐蚀，减少腐蚀性磨损。

（3）润滑油的分级　国际上广泛采用美国 SAE 粘度分类法（粘度等级）和 API 使用分类法（质量等级），它们已被国际标准化组织（ISO）确认。润滑油粘度等级用于确定油品的使用环境温度，质量等级用于确定油品适用于何种苛刻程度的发动机。

1）润滑油的粘度分级。粘度是润滑油品质的重要指标，也是润滑油最重要的使用性能，是选用润滑油的主要依据。润滑油的粘度受温度变化的影响较大，温度高时粘度变小，温度低时则变大。因此夏季要用粘度较大的润滑油，冬季则要用粘度较小的，才能获得适当的润滑。

目前，国际上普遍采用的是 SAE 标准对润滑油的粘度等级分类，以 SAE 字样作前缀，即美国汽车工程师协会粘度等级，如润滑油罐上会有 SAE40，SAE 50 或 SAE15W/40、SAE 5W/40 这样的标记。我国粘度分级是等效采用美国 SAEJ300 粘度分级法。采用了 5W、10W、20W、20、30、40、50 等 7 个等级，能满足低温标准（－18℃）的润滑油后面带有“W”，代表冬季使用的润滑油。粘度等级数值越小，润滑油越稀，可供使用的环境温度越低；数值越大，机油越稠，可供使用的环境温度越高。

粘度指数的含义：字母 W 表示在 20℃时测量到的润滑油粘度，低粘度润滑油有利于在较冷

的气候下起动发动机。无字母的数值表示100℃时测量到的润滑油粘度。

若润滑油等级编号只有一组数值，则只满足高温或低温一种温度的粘度要求，所以称为单级油，应按不同的季节和地区选用。单级润滑油适用的温度范围见表10-2。

为了能同时满足对高、低温粘度的要求，在润滑油中加入了改善粘度指数的添加剂，这种润滑油称为多级润滑油。用添加剂后，可推迟低粘度等级润滑油在发动机运转温度下发生的稀释。先进的“多级润滑油”有两组数值，如20W/30的润滑油，它表示在255.37K温度时，可以像20W单级油一样稀，而在372.04K时又可以像30单级油一样稠。因而适合从低温到高温的广泛区域使用，其粘度值会随温度的变化给予发动机全面的保护。

表10-2 润滑油粘度等级与适用的环境温度

SAE粘度等级	适用的环境温度/℃
5W	-30
10W	-25
15W	-20
30	30
40	40
50	50

康明斯公司推荐使用具有表10-3所示粘度等级的多级润滑油。该表列出的数值是在各种环境温度下推荐的粘度级。

表10-3 推荐的润滑油粘度等级及其相应的环境温度

推荐的SAE粘度级	环境温度/℃
10W/30	-25~35
15W/40	-10或更高
20W/40	0或更高

康明斯公司认为使用多级润滑油，有利于控制润滑油耗损，在保持高温下润滑作用的同时改善柴油机的冷起动性能，还可降低油耗。康明斯公司不推荐用单级润滑油。

2）润滑油的质量分级。润滑油的粘度等级是衡量、评定润滑油的重要品质之一，但它不能满足内燃机对润滑油品质的全面要求。为此还需对润滑油质量进行分级。

美国API（美国石油协会简称）把润滑油分为S系列和C系列两类。S系列为汽油机机油，目前有SA、SB、SC、SD、SE、SF、SG和SH 8个级别。C系列为柴油机机油，目前有CA、CB、CC、CD和CE 5个级别。每递增一个字母，润滑油的性能都会优于前一种，机油中会有更多用来保护发动机的添加剂。级别越向后，质量等级越高，润滑油的粘温特性、清净分散性、抗氧化、抗腐蚀性等越好。其中SA、SB、SC和CA等级别的润滑油除制造厂特别推荐外，否则不再使用。

当“S”和“C”两个字母同时存在，如SF/CC，则表示此润滑油为汽柴通用型。如“S”在前，则主要用于汽油发动机。反之，则主要用于柴油发动机。

我国润滑油质量分级和分级方法与API类似。柴油机油质量分为CC、CD、CD-H、CE和CF等5个级别。区分润滑油质量级别的评定标准和方法，通常是在规定的条件下在专用发动机上进行一段时间的试验，然后评定其结果，如机油的清净分散性。当其结果达到规定的要求，就

认为这种油达到某一质量级别标准。

（4）润滑油的选用　每一润滑油的质量等级可以有不同的粘度等级。所以在选用内燃机润滑油时首先要根据内燃机类型（汽油机还是柴油机，水冷还是风冷），性能强化程度，轴瓦材料，工作环境温度甚至还要注意内燃机的磨损程度等确定润滑油的质量等级，然后再合理选用粘度等级。此外还要注意合理的换油周期。

具体有下面几点可供参考：

1）通常按地区气温条件及发动机磨损状态来选用。气温较高地区选用粘度较大的牌号。新出厂或刚大修的发动机，由于装配间隙比较小，应选用粘度较低的润滑油。磨损较大的旧发动机则应选用粘度较大的润滑油。

2）根据发动机的负荷与转速来选用。负荷大、转速低的发动机应选用粘度较大的润滑油；反之，用粘度较小的润滑油。

（5）多级润滑油性能特点及使用注意事项　多级润滑油又称稠化润滑油，由于此油融合了粘度指数改进剂，其粘度指数比较高，冷起动性能良好，能满足发动机寒区润滑及起动的要求，可以南北通用，冬夏通用。此外，它还能节约燃料和降低发动机的磨损。

在寒区工作的发动机，如果润滑油粘度很大，冬季发动机就难以起动和保证良好的润滑，为此，应采用粘度小的润滑油。但是粘度小的润滑油，又难以满足发动机正常工作时气缸、活塞等高温机件的可靠润滑。稠化润滑油是由低粘度润滑油加入增粘剂及其他添加剂制成的。在低温下，增粘剂这一高分子化合物卷曲成小球状，使低粘度润滑油的粘度增加不多；而在高温下，润滑油粘度变小时，增粘剂却膨胀伸长，增大了润滑油的内摩擦，使润滑油粘度在高温下下降不多。由于增粘剂在不同温度下具有不同的形态，从而改善了润滑油的粘温特性，因而能同时满足低温和高温下的使用要求，并对改善润滑和低温起动特别有利。

多级润滑油在使用时，应注意以下几点：

1）润滑油不能混储，因混合后虽能使用，但对低温使用性能有影响。

2）使用一段时间后，润滑油颜色变黑，这是加入的清净分散剂使机件上沉积物分散于油中的结果，属正常现象。

3）不同厂家生产的不同牌号的多级润滑油可以混用，但不能混储。

4）多级油在储存时要严防混入水分，以免引起清净分散剂的乳化，影响使用。

5）合理使用内燃机油的关键是选择合理的换油周期。换油周期过长会增加发动机的磨损，换油周期过短会造成润滑油的浪费。换油周期的长短是由油品质量变化情况和报废指标所决定的。

（6）润滑脂　内燃机上有些地方是用润滑脂润滑的。润滑脂（通称黄油）是一种半流体状胶性物质，是用稠化剂稠化润滑油得到的。常用的润滑脂有以下几种：

1）钙基润滑脂。它具有耐水、耐潮湿的特点，但不耐高温。

2）铝基润滑脂。具有高度耐水性。

3）钙钠基润滑脂。它的耐水性比钙基润滑脂稍差，但较耐高温。

4）合成钙基润滑脂。它可用于汽车和拖拉机及其他工业设备、机械工具的摩擦部分的润滑。

钙基、钙钠基和合成钙基润滑脂又按针入度各分为几种牌号，应按季节选用。针入度表示润滑脂的粘稠情况，它表示的是在一定的时间内，一个标准圆锥在其自身重量的作用下沉入润滑脂中的深度。针入度愈小（号数愈大），表明润滑脂愈稠，愈不易熔化，适用于温度较高的场合。

2．润滑油油面高度的检查

柴油机起动前一定要检查油底壳内油面的高低，符合规定方可开机。若油面低于机油标尺的

下刻度线，则不能保证柴油机的正常润滑，勉强工作容易烧坏轴瓦等；若油面高于标尺的上刻度线，则会增加柴油机运转时的阻力，造成不必要的功率损失。同时，润滑油容易窜入气缸引起燃烧室积炭，排气冒蓝烟。当润滑油数量严重不足时，除应添加到规定的油面外，还应分析并找出润滑油过快消耗的原因。如果油面过高，应检查润滑油中是否有水或燃油漏入，找出原因并更换新的润滑油。在添加机油时，要保证润滑油的清洁，加入柴油机之前最好经过较长时间的沉淀，加注时要使用带滤网的清洁漏斗，以防杂质进入油底壳。

3．润滑油质量的检查

柴油机润滑系统中的润滑油在使用一段时间后，由于燃烧所产生的炭渣、二氧化硫、水分、零件磨损后的磨屑以及空气中灰尘混入等综合作用，会产生变稀、变质等结果。当润滑油变稀或变质时，一方面会降低润滑效果，另一方面会使零件的磨损、腐蚀加剧。因此必须注意经常检查润滑油质量的变化，定期更换。检查润滑油中机械杂质应在热机时进行，此时杂质悬浮在润滑油中。润滑油质量的简易鉴别方法有：

1）抽出机油标尺对着光亮处查看，如发现标尺上有晶亮的微粒或不能看清标尺刻度时，则说明润滑油内杂质过多。当润滑油中含有水分时，可取出一定数量的润滑油样本，并将一片铜丝网烧热后置入油中，如油中出现“噼啪”的响声，则表明油中有水。

2）手捻法。将润滑油捻在大拇指与食指之间反复研磨，较好的润滑油手感有润滑性、磨屑少、无摩擦，有粘性感觉并有拉长丝现象。若感到手指之间有砂粒类的较大摩擦感，则表明润滑油内杂质多，不能再用，应更换新润滑油。

3）油滴痕迹法。取一张干净的白色滤试纸，滴油数滴在滤试纸上，待润滑油渗漏后，若表面有黑色粉末，用手触摸有阻涩感，则说明润滑油里面杂质已很多，好的润滑油无粉末，用手摸上去干而光滑，且呈黄色痕迹。

4．润滑油和机油滤清器的更换

对于康明斯柴油机，每运转 250h 或 3 个月，应更换柴油机润滑油及机油滤清器。更换润滑油时，先将柴油机温度提升至 60℃ ，此时润滑油温度升高，润滑油中的污染物处于悬浮状态，污染物就比较彻底的随油流出。污油放净后，检查、清洁并装复放油螺塞。

更换机油滤清器时，应先清洁机油滤清器外部，然后用专用工具拆下滤清器（见图 10-4）。安装新的滤清器时，先将接合面擦干净，将洁净的润滑油注入新滤清器。然后在滤清器密封垫圈表面涂一层润滑油，用手旋装滤清器（见图 10-4），待密封垫圈与缸体接合时，再用力拧紧 3/4 圈。注意：过紧地装复滤清器，将使螺栓变形或降低滤清器密封垫圈的性能。康明斯柴油机的机油滤清器按机型有四缸、六缸之分，换下的机油滤清器要报废，机滤和润滑油要一起更换。

旧润滑油放净及机油滤清器装复后，将清洁的润滑油注入柴油机至标准的油面高度。起动柴油机，在怠速运转的情况下，检查滤清器和放油螺栓处是否漏油；停机后等待 5 ~ 10min，待润滑油流入油底壳，再检查油面高度是否处于“L-H”标记之间。

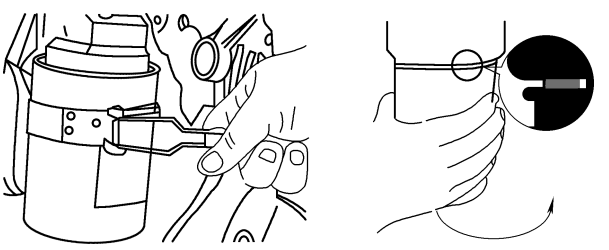


图 10-4　更换机油滤清器

5．润滑油路的清洗

柴油机长期运转后，润滑油中的杂质逐渐沉积到润滑系统管路和各部件内，对正常润滑产生不利影响。机油冷却器中积沉的油垢还会增大传热热阻，影响热交换。为此，要对润滑系统按期进行清洗。润滑系统的清洗一般在更换机油时进行。

润滑系统的部件及油管可放到煤油或柴油中进行清洗，然后擦净吹干后复装。一些中、小型柴油机可采用将一定比例的煤油或柴油放入润滑系统内，通过外力作用使柴油在润滑系统内进行循环的方法进行清洗。其方法是：首先在停机后立即放出曲轴箱和滤清器内的润滑油，然后加注相当于润滑系统容量60%～70%的混合油（在润滑油中渗入15%～20%的柴油或煤油），使柴油机以700r/min空转5～8min，然后停机放出混合油，并清洗机油滤网、机油滤清器和冷却器等机件。

清洗工作结束后，必须加注规定级别的润滑油。转动曲轴使润滑油充满油路，并起动柴油机以怠速运转2～3min。此时要注意观察润滑油压力，如不正常应停机检查排除，直至正常为止。停机0.5h后应复查油底壳内油面高度，如不足应补充到标准高度，柴油机即可转入正常使用。

三、冷却系统的使用维护

1．防冻液的选配

据统计，全球50%以上的汽车发动机故障源于冷却系统，由此可见合理选配防冻液的重要性。目前市场上所销售的大部分防冻液是以乙二醇为主要原料的产品，再加入适量的有机或无机盐类来达到防腐防锈的作用。

（1）防冻液的性能

1）防结冰。防冻液沸点越高冰点越低，优质防冻液冰点约为－25～－60℃，可防止结冰，避免散热器和气缸体等机件结冰而出现“冻裂”现象。

2）防开锅。优质防冻液的沸点在107℃以上，如果闭式散热器盖的密封性良好，加上水蒸气压力的作用散热器内防冻液的沸腾温度可达110℃以上，能有效防止开锅。

3）防水垢。防冻液中添加阻垢剂，阻垢率可达98%，大大减少了水垢的产生，保证冷却系统良好的散热效果。据调查，高达70%以上的汽车冷却系统生有水垢和铁锈，严重影响冷却系统散热功能。严重时将导致开锅、缺水，甚至粘缸、烧瓦。

4）防腐蚀。防冻液中添加有防腐剂，能有效地对铸铁、铸铝、钢和铜等材料的表面起到保护作用，延长其使用寿命。长时间受到腐蚀的金属部件会生成大量的铁锈，严重的会逐渐穿蚀金属板而导致渗漏，这直接影响到柴油机冷却系统的使用寿命。

5）防穴蚀。穴蚀是一种物理现象，在采用自来水作为冷却介质的柴油机上，水在水泵的低压腔内产生气泡，压出水泵后气泡破裂，产生较高的气体压力，使气缸外表面产生腐蚀，即穴蚀。为防止此类现象的发生，防冻液中添加有防穴蚀剂，能有效地保护水泵和气缸外表面。

采用乙二醇作为防冻剂，其防冻温度与防冻液浓度的对应关系见表10-4，超过60%的浓缩防冻液慎用。

表10-4　防冻温度与防冻液浓度的对应关系

防冻温度/℃	乙二醇的稀释比例
防冻至－15	30%乙二醇＋70%水
防冻至－23	40%乙二醇＋60%水
防冻至－37	50%乙二醇＋50%水
防冻至－51	60%乙二醇＋40%水

防冻液的粘度比水大，流动性差。凡使用防冻液的车辆，柴油机温度均比水冷柴油机略高，

这是正常现象。发现柴油机过热时，可检查并调整防冻液的冰点。

优质防冻液颜色醒目、清亮透明无异味；加热一杯防冻液，用温度计测沸点，沸点在108℃以上。而劣质防冻液大多是用醇和水混合后添加色素制成，没有任何防冻液具有的防腐剂、阻垢剂等，沸点在90℃左右，腐蚀性较强，易导致柴油机过热现象的发生。

目前已出现一种全新的高质量的防冻液，它不同于现有市场上所销售的乙二醇基型常规防冻液。大多数普通防冻液基本上是靠添加有机或无机盐来解决锈蚀问题，而高质量的新型防冻液采用低耗点化学反应技术进行生产，含有稳定的亚硅酸盐（不含磷酸盐），并通过严格的热表面铝腐蚀 ASTMD 4340 测试，它可控制硬水中沉淀物的数量，并给冷却系统提供卓越的抗腐蚀保护。

高质量的防冻液优点是：防凝结、过热、生锈和腐蚀，保护冷却系统的所有金属表面，包括铝制零件。不会损坏散热器软管、垫圈等橡胶部件；同时，还能防止产生过多的泡沫，防止由于水的硬度所引起的钙镁沉淀，从而避免在端部和堵塞部位形成热点。可用于重型柴油发动机并无需购买附加冷却添加剂（SCA），能与所有牌号的乙二醇防冻液和辅助添加剂兼容，也可用于所有铝或无铝部件的各类水冷式客车、小型轿车和重型车辆的冷却系统。

（2）浓缩防冻液的稀释　为便于运输与储藏，有些防冻液加工成浓缩液状。使用时必须加水稀释，才能取得最佳防冻效果。防冻液最好使用去离子水或蒸馏水稀释，不得已时也可使用冷却后的开水稀释，切不可使用自来水、地下水或地表水稀释。

加水稀释的比例，应依据防冻液外包装上的使用说明，结合使用地区和季节确定，调配后的冰点值，原则上应低于所在地区最低气温10℃。配比值夏季为：浓缩液、蒸馏水体积比40∶60；冬季为：浓缩液、蒸馏水体积比50∶50。

（3）防冻液的更换周期　防冻液在高温状态下长期使用，必然会导致变质，使用性能下降。为此，应定期更换防冻液。一般每行程40000～50000km或2000h（或两年）更换一次。

2．冷却液的使用

冷却水必须使用清洁的软水，冬季温度下降，可能使冷却水结冰，造成机体、缸盖及一些零件冻裂，因此，单纯使用冷却水时冬季应注意冷却系统的放水。应尽量采用防冻液作为冷却介质。使用防冻液时应注意防冻液有毒，严禁饮用。同时，防冻液价格较贵，使用时不要漏失，一般可连续使用两年。如康明斯系列柴油机冷却系统加注的是防锈防冻液，康明斯C系列以上柴油机除加注防锈防冻液外，还通过水滤器加入SCA—DCA4添加剂，从而有效地保证了冷却系统的良好状态，加注冷却液后应将水滤器安装座上的阀门打开，使DCA4添加剂能够与冷却液混合进入冷却系统。

柴油机每工作250h或3个月应更换水滤器。DCA4添加剂的浓度一般要求保持在每升水中含有0.32～0.79单位，可以通过DCA4检测包来检测。检查水滤器DCA的浓度时，从水散热器或放水口取出一小杯冷却液（不能从膨胀水箱取水），冷却液的温度应为10～54℃。取出一条试纸（注意：从试纸瓶中取出后立即盖上瓶盖，避免其他试纸吸收空气中的水分而失效），将试纸深深地插入冷却液水样中，等待1s后取出，甩掉试纸上的水，再等待45s，将变了颜色的试纸与标准色卡比较。第一格的颜色对应防冻液的浓度；第二、三格配合检查DCA4的浓度：第二格对应色卡上的纵坐标，第三格对应色卡上的横坐标，找出第二和第三格在纵横坐标上交叉处的数字，即为DCA的浓度。整个测试过程应在75s之内完成。当检测的DCA的浓度小于0.32单位/L时，应更换水滤器，并按0.33单位/L额外补充DCA。如果检测的DCA的浓度在0.32～0.79单位/L时，可按正常保养时间（250h）更换水滤器。如果检测的DCA的浓度大于0.79单位/L时，不用更换水滤器。

防冻液在使用过程中，由于水分蒸发，冷却液会减少，并变得黏稠，此时可向冷却系统中添

加适量的纯净软水。

3．检查散热器水面的高度

柴油机起动前和运行中应经常检查水箱水面的高度，必要时进行添加，以保证柴油机冷却所必需的冷却水量。加注防冻液时应预留5%的膨胀空间。检查冷却液平面只可在冷却系统冷却后进行，当冷却液温度高于50℃时，不要打开散热器压力盖，以免被灼热的冷却液烫伤。加注冷却液时不要过急以免形成气阻，加满冷却液后，柴油机热机后应停机检查一次，直至加满为止。系统若装有放气阀必须打开，加注完毕后，将放气阀门关闭，当柴油机运行中发现水量不足时，不要突然加入冷水，以免使柴油机零件损坏。正确的方法应首先除去负荷，使柴油机低速运转，等温度降下来再慢慢停车，待温度下降后再加入冷水。

4．冷却系统部件的维护

1）节温器的检查。为保证节温器可靠地工作，节温器必须定期进行检查。首先将节温器从冷却管路中拆下，放到盛有水的透明容器或烧杯中，但不放到杯底，可用小线绳将节温器在水中挂起（见图10-5）。然后再逐渐将容器中的水慢慢加热，注意观察节温器伸缩波纹筒的变化。正常情况下，70℃ ±2℃时伸缩管开始伸长，温度上升到83℃ ±3℃时，伸缩波纹筒完全张开。若节温器失效或主阀门开启和完全开启的温度不符合要求时，应予以更换。

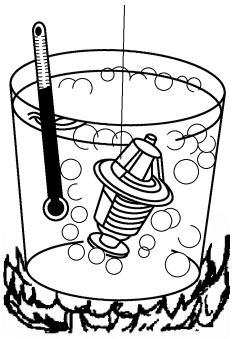


图10-5　节温器开启温度的检查

表10-5给出了电站用B、C、N系列康明斯柴油机采用的节温器的性能指标。

表10-5　节温器的性能指标

机　　型	B、C系列	N系列
节温器形式	蜡式	蜡式
主阀门开始开启温度/℃	83	82
主阀门全开温度/℃	95	93
主阀门全开升程/mm	≧8	8～12

2）风扇传动系统的调整。驱动风扇运转的传动带传动机构，是依靠传动带的张力与带轮产生一定的摩擦来实现机械传动的。因此，传动带安装必须保证具有一定的张力。传动带装配过松，会使传动带与带轮之间产生相对滑动，降低风扇转速。反之，带轮装配过紧，会使机件磨损加剧，传动带使用期限减少。因此，使用过程中必须仔细调整。一般内燃机传动带传动机构中都装有传动带张紧轮，通过调整张紧轮安装位置，就可以改变传动带张力的大小。调整时可在带轮中间位置用手按压传动带，检查其凹下距离。根据传动带传动机构的不同，传动带凹下尺寸要求也不同，一般应在12～30mm，如康明斯系列柴油机最大挠度在9.5～12.7mm。张紧轮轴承在手压下，应自由转动，没有卡滞现象，风扇轮毂应自由旋转。如发现传动带最大挠度大于12.7mm，轴承发卡或风扇轮毂轴向窜动大于0.15mm，应及时修理或更换。

3）定期向水泵、风扇等部件润滑部位加注润滑油或油脂。采用润滑脂润滑的水泵，一般加注钙基润滑脂。

4）注意检查各部件和管路有无漏水的地方，如发现漏水现象应及时排除。

5）大修时应认真清洗柴油机冷却通道。柴油机大修若忽视对冷却系通道的彻底清洗，如修理时散热器和缸盖拆下后扔到一旁，到总装时再将其表面擦拭装上，往往会造成冷却系产生故障。例如散热器上水室顶部和气缸盖出水管一端的两根除气管不通，会导致在加注冷却液时，积聚在气缸体水套的空气和气、水混合物无法排出，冷却液也无法充满水套；在柴油机工作过程中，当积滞的气体量达到一定限度时，还会造成水泵流量下降。其结果在气缸体水套内部产生局部高

温，最终造成气缸体局部热应力猛增而破裂。因此，应认真清洗冷却系统，切不可马虎处理。

5．冷却系统的除垢

冷却系统所用的水应该是清洁软水。雨水、雪水、河水是含有矿物质较少的软水。硬水是含有较多矿物质的井水、泉水等。硬水不宜直接用作冷却水，因为硬水长期使用后会在冷却系统内（如管壁、水套和散热器内壁）形成水垢，使传热热阻增大，不利于冷却。

柴油机在长期使用中，应定期清除冷却系统内所沉淀下来的水垢。常用的是化学清洗方法即配制清洗液对水垢进行清除。清洗液可按750g苛性钠（KOH）、150g煤油和10L水的配比配制。

清洗时先将冷却水全部放出，并将节温器拆下。然后将清洗液注入冷却系统中，并起动柴油机以中速运转5～10min，然后停机并停留10～12h。再次起动柴油机，并以中速运转10～15min，然后停车并趁热放掉清洗液（使悬浮在清洗液中的颗粒来不及沉淀）。按上述过程反复进行，清洗2～3次，最后再注入清洁水即可转入正常使用。

四、进气系统的使用维护

1．空气滤清器和进气管路维护

在没有空气滤清器的情况下不要运转柴油机，应记住规定的保养及更换周期，按保养要求清洁空气滤清器或更换滤芯。在灰尘较多的环境中使用时，应适当缩短滤芯清洁更换周期。当进气阻力过大、空气滤清器阻塞报警器报警时也应对空滤芯进行清洁或更换。在进行空滤器保养工作前，必须了解空滤器的结构和工作原理，避免漏装重要部件或发生错误动作。柴油机每运转250h或3个月要清洁外滤芯，每运转1000h或1年要更换滤芯。清洁时，首先彻底清洁工具，手上不得粘有任何油污，然后拆下外滤芯，用干净的压缩空气从内向外冲吹滤芯，不可从外向里吹，且空气压力不能过高（压缩空气压力应为400kPa）。通常滤芯经5～6次压缩空气吹过后就应报废，应更换新滤芯。清除滤芯上的灰尘时，纸质滤芯切不可用汽油和水洗刷，经常浸水会导致纸滤芯破损。清洁完滤芯后检查滤芯是否有破损，检查方法：将照明灯放入外滤芯内部，观察有无损伤。同时仔细检查滤芯的密封圈是否完好或脱胶，根据情况重新用胶粘好或更换，更不可漏装密封圈。空气滤清器若带有安全滤芯，在整个使用期间不用拆下清洁，直至重新更换（更换外滤芯时同时更换）。对于旋风式滤清器需正确安装导流罩，其外滤芯端部的塑料罩即为导流罩。罩上的叶片使空气旋转，80%的灰尘在离心力的作用下分离，收集在尘杯中。空气滤清器外滤芯的吸尘量只有19.7%，也就说，空气滤清器的滤清效率80%要依靠导流罩来实现。所以，任何情况下不要漏装外滤芯端部的塑料导流罩，且要安装正确。

存放空滤芯时不要打开存放，或堆放在潮湿地的地面。使用滤芯前要检查，要使用推荐型号滤芯。随意更换不同规格的滤芯也是引发柴油机故障的主要因素。若选用的滤芯孔隙过大（滤清精度过低），会加速气缸的磨损（如同空气滤清器短路时的危害）；若选用的滤芯孔隙较小（滤清精度过高），会引起吸入气缸的空气不足，将导致混合气燃烧不良。同时，还会引起进气时燃烧室负压过大（远低于曲轴箱内的气体压力），从而造成大量润滑油窜入燃烧室等。

应定期或不定期地检查进气管是否损坏、软管是否开裂、卡箍是否松脱等，若发现固定螺栓松动、连接软管有老化、破损现象，应及时处理和更换，尤其是空气滤清器至涡轮增压器之间的管路（见图10-6）应特别重视。柴油机长时间在连接软管密封不严或破损的状态下（空气滤清器短路）工作，会造成进入气缸的空气过脏，砂粒和灰尘超标，从而

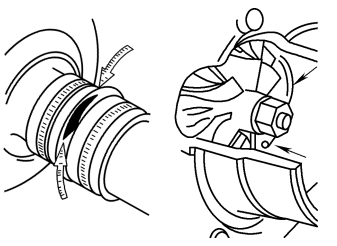


图10-6　增压器及其连接管路检查

加速气缸、活塞和活塞环的早期磨损，继而引发拉缸、窜气、粘环和烧润滑油等故障，并且还会加速润滑油的污染。

2. 增压器的使用维护

增压器的转速每分钟高达几万至十几万转，且长期在高温下运转，如果使用不当，就会加剧磨损，过早地失去应有的工作性能，导致柴油机功率下降、油耗上升，甚至不能带负荷作业的严重后果。增压器一旦损坏柴油机就无法工作，为此，对于增压器的正确使用必须予以高度重视。

（1）起动后应先怠速运转　柴油机起动后不可立即高速运转。因为刚起动时润滑油的油温和油压未达到正常值，润滑油膜未形成，如果立即高速运转，易导致增压器轴承烧坏。为此，柴油机起动后应空转一会，待润滑油温度上升，流动性能好转，增压器得到充分润滑后方可提高转速，这一点在寒冷的冬季尤为重要。

（2）柴油机怠速运转时间不宜过长　怠速运转时，涡轮端的废气压力和压气机端的空气压力均较低，低于中间体内的润滑油压力，容易导致机油泄漏，增加润滑油消耗。同时，涡轮增压器低速运转时，密封环与环槽侧间隙中的油膜不易形成，会导致润滑不良而烧坏轴承。

（3）满负荷运行后不应立即停机　高速运转的柴油机如果突然熄火，机油泵随即停转，增压器内的润滑油也中止流动，但转轴在惯性作用下仍在高速旋转，容易因断油而与轴套咬死。因此，熄火前应先卸去负荷，怠速运转一段时间让柴油机和增压器转轴都减速后再熄火。

（4）保证润滑良好　更换润滑油、清洗机油滤清器、更换增压器后或长期停止使用的增压柴油机（停机半月以上），起动前还应松开进油管接头，向进油口加注润滑油，并转动涡轮或盘动曲轴几次，使其得到充分的润滑，然后拧紧进油管接头，以防止因缺油而烧死轴套。

增压器转轴与轴套的配合间隙为0.10～0.15mm，润滑油脏污或变质失效，会使上述配合面加速磨损或卡滞导致转速下降或引发转轴与轴套咬死的故障。因此，柴油机必须选用规定牌号的润滑油，而且要清洁合格。增压器工作时，油管与接头不得漏油。润滑油压力不应过小，以免润滑不良。润滑油压力也不可过高，以防润滑油窜入涡轮室与压气机室，导致润滑油的过量消耗，还有发生飞车的危险。润滑油温度和水温均不宜过高，以免增压器内的润滑油得不到充分冷却而被烧结在油管内壁上，并逐渐堵塞油管，引起转轴与轴套咬死的事故。运转过程中，需经常判断涡轮增压器有无异响，如有异声应立即停机检查。

（5）保证进气滤清质量　装有增压器的柴油机，由于喷油泵供油量加大，因而要求吸入的空气量相应增加。如果空气滤清器堵塞，柴油机会因进气不足而功率下降，增压器压气机室由于压力差过大还会形成负压，并引起润滑油泄漏。因此应认真保养空气滤清器，确保其畅通。若空气滤芯破损或密封胶圈老化失效，增压器会因灰砂侵入而转速不稳，噪声加剧，并导致轴套、油封和气封组件的加速磨损。此外，空气中的尘埃通过增压器时，也会沉积在压气壳喉口上，有时厚达2mm，这就增大进气阻力，使缸内进气量减少，应及时刮除尘垢，恢复柴油机的进气量。因此应避免空气滤清器短路现象出现。

（6）涡轮增压器的维护保养

1）经常性的维护保养。检查涡轮增压器与柴油机连接的进排气管和润滑油管是否完好，检查油管接头是否松动，消除漏气、漏油现象；检查润滑油的数量和质量是否符合要求，确保润滑可靠；检查增压器壳体有无裂纹、损坏现象。拧紧增压器涡轮壳，中间壳与压气机壳之间的螺栓。

2）定期维护保养。定期更换润滑油；定期清洗空气滤清器；定期检查增压器状况，超过技术要求应及时维修。一般情况下涡轮增压器每工作1000h，应对压气机叶轮清洗1次（清洗时，不可用对铝有腐蚀作用的清洗液和使用钢丝刷清洗）。检查叶轮有无损伤及细小裂纹、转子轴和

浮动轴承之间的间隙及转子的轴向移动量、转子静平衡和动平衡等。增压器转子的轴向间隙叶轮与压壳的径向间隙如不符合规定或转子有损伤，应调整、修复或更换。特别注意的是：在不装进气管和未连接空气滤清器的情况下使涡轮增压器运转，极易造成人员伤害。

五、电气设备的使用维护

1．蓄电池的使用维护

蓄电池的性能好坏直接影响到柴油机的正常工作。若对蓄电池的使用维护不了解或不重视，极易造成蓄电池的早期损坏，甚至损坏其他电气设备。因此应重视蓄电池的使用维护和日常保养。

1）选用蓄电池时应根据柴油机类型和使用条件合理选用蓄电池的电荷容量，这是提高蓄电池的经济性，延长其使用寿命的重要途径之一。起动柴油机时，蓄电池输出的电流很大。如果蓄电池电荷容量偏小，则在起动阻力大时，小电荷容量的蓄电池在剧烈放电的情况下，势必加速单位时间内活性物质与硫酸的反应；并使蓄电池温度升高，极板因超负荷而弯曲，以致造成活性物质大量脱落，极板早期损坏。蓄电池电荷容量偏大，虽然不会出现上述问题，但不能充分利用其活性物质，且使蓄电池经济性下降。因此蓄电池的电荷容量，一定要与柴油机相匹配。

2）配制电解液时，只能将硫酸缓慢倒入蒸馏水中，不得将蒸馏水倒入硫酸内，以免引起爆溅烧伤人体。同时，作业人员应戴保护眼镜、橡胶手套和围裙，以免被硫酸烧伤。

蓄电池电解液液面高度应定期检查。应保持液面高于极板 10～15mm，不足时应添加蒸馏水或相同密度的电解液。一般在冬天半个月应检查 1 次，夏天高温水易蒸发，每周应检查 1 次。目前多数蓄电池在外壳上都有电解液液面高度上、下限标记，电解液液面在规定范围内即可。若电解液数量不够，会导致极板上部与空气接触而产生硫化现象，降低蓄电池的电荷容量，缩短其使用寿命。当电解液不足时，一般应补加蒸馏水，应在柴油机发动前添加蒸馏水，工作时发电机不断给蓄电池充电，可使所加的蒸馏水与蓄电池内原电解液充分混合，冬季时采用该步骤还可避免蒸馏水和电解液混合不均而引起结冰。如果电解液减少是由于蓄电池壳体破损、加液孔盖扣不严或意外倾出电解液时，则应加同样密度的电解液。

3）应对蓄电池定期进行补充充电，使其处于充足电状态。可经常用万用表检查蓄电池的荷电量（也可使用密度计，当需要全面检查蓄电池的技术状态时，应使用高率放电计），其标准电压应保持在 2.1～2.2V，如低于 1.7～1.8V 时必须进行充电。如果蓄电池充电不彻底，易造成极板硫化；同时，在使用中充、放电的电量是不平衡的，倘若放电大于充电而使蓄电池长期处于亏电状态，蓄电池极板就会慢慢硫化，使蓄电池电荷容量不断降低，直到起动无力，大大缩短蓄电池的使用寿命。充电时，应避免过充电情形出现，蓄电池经常过量充电。即使充电电流不大，但电解液长时间“沸腾”，除了活性物质表面的细小颗粒易于脱落外，还会使栅架过分氧化，造成活性物质与栅架松散剥离。

冬季应特别注意经常保持蓄电池处于充足电状态，以防电解液比重降低而结冰，导致容器破裂，极板弯曲和活性物质碎落。为此，冬季可适当增加电解液密度。

4）暂不使用的蓄电池，可先将蓄电池充足电，再将加液孔盖上的通气孔密封；然后将蓄电池放在阴凉通风的室内，避免阳光直射，储存时间不宜超过 6 个月。在储存期间，为弥补自行放电的损失及可能产生的硫化，每月应进行补充充电。

新旧蓄电池不应混合使用，这种做法会缩短新蓄电池的使用寿命。因为，新蓄电池由于化学反应物质较多，端电压较高，内阻较小；而旧蓄电池端电压较低，内阻较大。一般 12V 新蓄电池内阻为 0.015～0.018Ω，旧蓄电池的内阻却多在 0.085Ω 以上。如果将新旧蓄电池串联混用，

那么在充电状态下，旧蓄电池两端的充电电压将高于新蓄电池两端的充电电压，结果造成新蓄电池尚未充满，而旧蓄电池早已过高；而在放电状态下，由于新蓄电池的容量比旧蓄电池的容量大，结果造成旧蓄电池过量放电，甚至造成旧蓄电池反极。因此，蓄电池不能新旧串联混用，同样在修理蓄电池时也不宜将新旧单格电池混装。

5）为避免蓄电池自行放电，应保持蓄电池的清洁，及时冲洗蓄电池的外表面，避免杂质进入蓄电池内。蓄电池短期不用存放时，要定期检查和充电，防止电解液的硫酸下沉，引起上、下部电位差。柴油机停机后，也应及时拆掉搭铁线，以减少蓄电池的自放电。

6）蓄电池桩头上的连接线应接触良好。及时清理电极桩头上的氧化物。有时蓄电池盖、极桩周围会产生黄色、白色糊状物，这是由于蓄电池盖上溅有硫酸溶液，使极桩、线夹和固定架受到腐蚀的结果。白色糊状物主要是硫酸铅，黄色糊状物主要是硫酸铁。这两种糊状物电阻很大，若处于导线接触处，会造成导电不良。此时可用浸过 10% 苏打溶液的抹布擦净蓄电池和外壳上溅出的电解液，若有导电不良的氧化物时，应用小刀刮净，最后在极柱和线夹紧固后在其表面上涂一层凡士林即可。

另外，还应注意疏通加液盖上的通气孔。取下蓄电池时应先拆搭铁线，安放蓄电池时应后装搭铁线，以防止扳手万一接铁使蓄电池短路。蓄电池接线时应注意搭铁极性。蓄电池无论是正极搭铁，还是负极搭铁，其优缺点基本一样，而搭铁极性确定后，使用中就不能随意更改。现代柴油机所配用的硅整流发电机，规定蓄电池负极搭铁。如搭铁极性接反，致使蓄电池和硅整流发电机的极性不一致，在采用单联调节器时，会立即烧毁硅整流二极管和导线；在采用双联调节器时，会造成发电机不发电。不仅如此，对于晶体管电器、集成电路电器使用寿命也会有很大的影响。蓄电池不应长时间大电流放电，必须按操作规程起动柴油机。蓄电池安装环境若振动较大，蓄电池底部应垫好毡垫或厚胶垫，以免振破壳体。不得在蓄电池上放置东西，特别是金属工具，以免造成短路，并注意外部线路不能与机体搭铁。

在工作中，应经常注意电流表的读数是否正常。在柴油机正常工作和用电设备不用电时，如发现电流表指针向“负”值，必须立即检查蓄电池放电原因并予以排除。

7）应按规范完成蓄电池的充电。新蓄电池或修复后的蓄电池（更换极板）使用之前的首次充电为初充电，首次充电好坏对蓄电池使用寿命影响极大。充电时，将蓄电池正负极分别与充电机正负极相连，初充电应选用较小的电流，充电过程通常分两个阶段进行，第一阶段的充电电流约为额定容量的 1/15，充至电解液放出气泡，单格电池端电压达 2.4V 为止。此段充电时间约 25～35h。然后将电流降低一半，转入第二阶段，直到充足为止，时间约为 20～30h。初充电时应连续进行，不能长时间间断。使用中的蓄电池需进行补充充电，第一阶段的充电电流约为额定容量的 1/10，一般约需 10～12h，第二阶段的充电电流减半，约需 3～5h。干式荷电铅蓄电池在规定的保存期内（两年）如使用，只需灌入符合规定密度的电解液，搁置 15～20min，调整液面高度至规定标准后，不需要进行充电即可使用。在充电过程中，密切注意电池的温度，如果充电时电解液的温度上升到 40℃时，则应停止充电，要将充电电流减半；如果温度继续上升到 45℃时，则应停止充电，采用水冷或风冷的办法实行人工降温，待冷至 35℃以下时再继续充电。蓄电池在充电终了时，要放出大量的氢气和氧气，其混合物是一种易燃的爆炸性气体，因此充电时必须拧开蓄电池加液孔盖，不能用高率放电计检查蓄电池，并严禁在充电间吸烟、用火取暖和明火照明等，以防引起爆炸，造成火灾。

2．起动电机的使用维护

1）在正常情况下，柴油机一次就能起动，但起动电机每次运转时间不允许超过 15s。

2）起动成功后，应立即放开起动按钮，并断开起动开关，避免在柴油机运转时的误起动。

3）若一次不能起动，需作第二次起动时，两次起动的时间间隔应在2min以上。

4）冬季冷车起动时，必须对柴油机进行充分预热，并进行盘车后方可进行起动，否则会因起动阻力过大，使电动机中通过大电流而被烧坏。

5）定期向起动机前后轴承内加注黄油，保证正常润滑。注意：加注黄油不宜过多，油量过多也容易引起轴承发热，产生溢油，导致电动机绝缘损坏。

6）保持起动电机清洁，防止其受潮或油渍沾污。

7）电刷和换向器接触不良多是由于换向器上有油污不清洁所致。可打开整流器护罩，仔细清除掉换向器上的油污，并用细砂纸打磨光。

8）如电磁开关接触盘的接触面不平而产生火花，会使触点烧损，造成电阻加大。可用锉刀将接触面锉平，使其接触严密。

9）蓄电池搭铁极性改变对起动电机无影响，因为起动电机是一个直流串励电动机，当搭铁极性改变时，由于流过电枢绕组和激磁绕组中的电流方向同时改变，根据左手定则可知电磁力矩的方向不变，因此起动机的转动方向不变，仍可照常起动柴油机。但蓄电池搭铁极性接反对充电发电机有影响，故仍应注意规定的搭铁极性。

3．充电发电机的使用维护

（1）直流发电机使用维护　为使发电机正常工作，其V带应有适当的张紧度，一般用手指压下V带，其弯度在12～15mm为宜。

轴承用钙基复合润滑脂润滑，要确保纯净，约1000h更换一次，填充轴承空间三分之二为宜。轴承如漏油，应检查轴承油封盖是否平整，及时补加新的润滑脂。轴承如径向松动，应换新轴承。

运转时换向器表面会出现均匀光泽的紫红色的氧化膜，它具有良好的减磨性，不要用砂布乱擦，如果有火花烧黑斑迹，可用“0”号砂纸擦光。如换向器表面沾有油污，应用清洁布块沾少许汽油擦除。

电刷磨损过多后，电刷弹簧的压力也渐渐减小。由于柴油机的振动，电刷下端与整流子的接触面易引起火花，应予以更换。当更换新电刷时，应研磨电刷，使电刷与换向器的接触面达到四分之三以上方可。研磨电刷的方法是先将换向器缠上“0”号砂纸（砂面向外），装在发电机端盖和需要研磨的电刷之间，并转动电枢进行研磨。

（2）硅整流发电机使用维护　硅整流发电机必须与蓄电池配合使用，不允许单独运转，因发电机在开路状态下运转时，硅二极管上承受的反向电压可能超过其额定值而被击穿。

硅整流发电机在与蓄电池连接时，要注意蓄电池的搭铁极性应一致，否则硅二极管会因通过的正向电流过大而烧坏。

不允许采用在电枢接线柱和外壳之间搭铁的方法来检查硅整流发电机是否发电，因为此时发电机内可能出现过大的短路电流而烧坏二极管。在检查维修时，只许用三用表，禁止使用绝缘电阻表和220V、110V交流电来检查，否则会击穿硅二极管。

硅整流发电机接线柱（+）和磁场接线柱（F）之间严禁短路，否则会烧坏调压器上的触点，甚至烧坏二极管。

在更换硅整流二极管时应注意二极管上的红色和黑色标记。如果发电机是负极搭铁，则应将三只有黑色标记的二极管装入发电机的端盖，有红色标记的三只二极管装入元件板相应孔内。

若需拆检硅整流发电机，可首先旋下3个对销螺钉，使转子、前端盖与定子、后端盖分离。然后用压缩空气或“皮老虎”吹净各部件的灰尘，用汽油揩净集电环和线圈等部分的油污。紧接着清洗轴承，更换润滑脂。最后对线圈、转子、整流元件及电刷仔细检查，已经损坏的应予以

更换。在拆检工作完成后，以拆卸程序相反的过程安装好硅整流发电机，这时转动转子应无卡滞现象。

六、柴油机的操作

1．柴油机的起动

（1）起动前检查与准备

1）每天首次起动时要检查冷却液面、机油标尺，燃油液位。

2）检查风扇传动带的张紧程度。

3）检查电路是否正确、牢固，蓄电池充电是否充足。

4）正常后，开启燃油箱有关阀门，柴油机用输油泵上的手泵排除燃油系统中的空气。

5）对中小型柴油机冬季起动，应在起动前用人工方法进行盘车，以减小柴油机起动阻力。

6）柴油机在冬季起动前，可采取润滑油预热预供，冷却水预热或其他冷起动措施，如喷注冷起动液、采用火焰式预热器等。

（2）柴油机起动

1）常规起动程序：① 起动机起动时间在15s范围内，连续起动要间隔2min以上；② 柴油机起动后，在15s钟内，注意观察润滑油压力的变化；③ 每日首次起动后，应中怠速暖机3～5min才能升至额定转速；④ 柴油机在起动预热运行时，应逐渐提高柴油机转速；⑤ 柴油机怠速运转严禁超过10min；⑥ 对－20℃以下使用的柴油机，应采用特殊措施，如柴油机的保温、采用低温蓄电池、特殊规格的润滑油和燃油等。

2）康明斯柴油机正常的电起动程序：① 对于装有气动预先润滑装置的柴油机，应打开通往预先润滑装置工作活塞的空气阀，使预先润滑装置的润滑油能够润滑柴油机所有运动零件。对于装有润滑油压力安全开关的柴油机，应将燃油旁通开关保持在“起动”位置，直到润滑油压力达到48～69kPa，然后，再将其转到“运转”位置。② 如果装有手动燃油截流阀，应将其打开。电动截流阀在开关接通时就会工作。手动控制旋钮装在电动截流阀的前端，当电路出现故障时可利用其使阀打开。使用手动控制旋钮时，按顺时针方向将它转到底，待电路修复后再将它转到原来位置。③ 若是装有减压杆的柴油机，起动时应拉起减压杆，并按下起动机按钮或将钥匙开关转到“起动" 位置。起动机通电转动，转动3～4s后，放下减压杆并继续转动柴油机直到着火为止。④ 如果柴油机是第1次起动或更换过润滑油或机油滤清器后起动，应在柴油机起动运转几分钟后停机，并等待15min，待润滑油流回到油底壳后，再次检查柴油机油平面。如不足应予以添加，使机油平面达到机油尺上高（即H）标记处。润滑油平面下降是由于滤清器吸收部分润滑油的缘故。润滑油平面低于低（L）标记或高于高（H）标记时，不可起动柴油机。

3）康明斯柴油机在寒冷气候下的起动。

① 进气空气预热器预热。当温度为5℃或更低时，为帮助起动柴油机可采用进气空气预热器，预热设备的电热塞由蓄电池通电加热，并接通燃油使之在进气歧管中燃烧以加热进入气缸的空气。电热塞系统向气缸中提供的热量使压缩空气温度足以点燃燃油。注意：起动液与预热器不可联合使用，否则会引起火灾。

冷车起动使用预热器的操作步骤：a．将电热塞开关转到“开”（ON）的位置上，红色指示灯应亮。b．红色指示灯点亮20s后，开始起动柴油机。c．如果柴油机在30s内不能起动，应停止转动柴油机，等1～2min后再起动。d．当柴油机起动之后，关断电热塞拨动开关，红色指示灯熄灭。

若柴油机在预热后连续三次起动无起动迹象，可用手摸进气歧管是否热，如果不热应检查电

路情况。若电路良好，应卸下进气歧管上靠近电热塞处的1/8in管塞。然后合上电热塞手动开关15s，观察1/8in管塞孔，电热塞应呈白热状态；如果不是这种状态，将电线接到6～12V电源上，测量其电流值，最小电流应为30～32A 。若电热塞良好，再检查手动开关和电阻情况，必要时予以更换。

② 起动液辅助起动装置。起动液是高挥发性燃料，可在较低的气缸温度下燃烧。用一个压力喷雾器或一块用起动液蘸湿的布片通常能在－23℃的低温下实现快速起动。

喷雾器接头必须安装在柴油机进气歧管上或进气管接头上，以便向各缸供应等量的起动液。喷雾器上的两个喷油孔相隔180°布置，以使喷雾器喷雾顺着进气歧管的孔道喷射，否则喷雾就会喷向进气歧管的管壁上，效果降低。

在无压力喷雾器设备情况下使用起动液注意的问题：当一个人起动柴油机时，另一个人向空气滤清器中喷雾状起动液。起动液雾状物被吸入到柴油机的进气歧管中，柴油机就容易发动起动。

由于起动液是挥发性很强的燃料，不允许起动液与明火靠近，也不允许将其与预热器或火焰喷射装置一起使用，不得吸入起动液烟雾，起动液使用量过多会导致压力过高，引起爆震或使柴油机超速运转，因此，使用起动液时，一定要注意安全。

起动液辅助装置只能在－23℃低温下实现快速起动。若低于此温度，就需要采用直接向进气歧管中喷射蒸气的办法帮助起动。

2．柴油机运转

康明斯柴油机和其他柴油机一样，起动后应先在低速下进行暖机，一般为600r/min，然后才能逐渐提高转速，不允许猛加大节气门使转速突然升高。其原因是：①柴油机刚起动温度低，润滑油粘度大，润滑油不能迅速进入各轴承间隙内及活塞与气缸套之间；②柴油机未运转时，各轴颈全部压在轴承上，在正常情况下，轴颈与轴承之间仅有极少量的油膜存在，刚起动时，各轴颈与轴承之间几乎处于干摩擦状态，只有机器逐渐走热，机温逐渐上升时，润滑油变稀后逐渐被压入轴承内和各运动件间隙之间，才形成油膜得到润滑；③柴油机刚起动，若猛加大油门将会引起下列后果：a．猛踏加速踏板，供油量突增，转速由低速猛增到高速，对曲轴连杆机构产生一个冲击力，有间隙的部位会产生敲击，加大磨损；b．由于油量猛增，而吸气量短时间供应不足，就会产生冒黑烟，既浪费油料又会产生积炭增加磨损；c．猛踏加速踏板，转速突增，调速器动作来不及起调速作用，往往会产生瞬间超速等后果。

当柴油机的温度、润滑油压力等均已正常时，转速可逐渐增加至1000～2000r/min，然后进入部分负荷运转，待水温度高于55℃，润滑油温度高于45℃时，才允许进入全负荷运转。负荷与转速的提高均应逐渐上升，尽量避免突加或突卸负荷。

柴油机起动后，在带负荷前的暖机运转中，应注意观察：①各缸燃烧是否正常，发火顺序是否正确，喷油泵工作是否正常。②冷却系统，注意水泵是否工作，供水是否充足，水温是否正常，如康明斯柴油机水温一般应在74～91℃之间。③机油压力和温度，机油压力表如无显示，应立即停机检查。康明斯柴油机机油压力在怠速时应大于70kPa，在1200r/min以上时应在276～517kPa的范围内。④排气烟色和响声，以判断工作情况。

柴油机长期运转时，应以90%额定功率为宜，最大功率运转时间不超过1h，并且是在90%额定功率运转1h后才能进行。以额定功率工作时，连续运转不得超过12h。同时，必须随时注意仪表读数的变化。

康明斯柴油机运行时，润滑油温度应在82～107℃之间，满负荷时，润滑油温度短时间达到108℃时不必惊慌，但是，润滑油温度的突然增高，如果不是因为负荷增加所引起的，那就预示

很可能有机械故障，应立即进行检查。冷却水温度在74～91℃之间最为理想，此时柴油机的工作零件得到均匀的膨胀，从而获得最佳油膜间隙。若采用柴油机防冻液，其最高温度不得超过93℃。

3．柴油机的停机

（1）正常停机

1）停机前应做一次全面检查，看柴油机有无故障和异常现象，以便停机后检查和排除。

2）停机前，应逐渐卸去负荷，然后怠速运转3～5min，待油温、水温下降后再停机。柴油机每次停机前的怠速运转可让机油带走燃烧室、轴承和油封等处的热量，特别是增压器，可避免机件咬死；冷却系统的继续工作也可避免柴油机过热。

停机前怠速运行时间不宜过长。如果怠速时间过长，燃烧室温度过低，使燃油不可能完全燃烧，这将引起积炭，造成喷油器喷孔堵塞，气门被卡住；一些未燃烧的柴油将冲刷气缸壁上的润滑油并稀释曲轴箱中的机油，使柴油机中的所有运动零件润滑不良。

对装有电动截流阀的康明斯柴油机，通过关掉钥匙开关或转动截流阀手动旋钮均可使柴油机停机。但当柴油机停机时，不要将钥匙开关或控制旋钮放在使截流阀打开的位置或运转位置。

3）停机后应检查蓄电池是否充足了电，如果不足，应给蓄电池充电，为下次起动做好准备。停机后，电钥匙应拨回到中间位置，以防止蓄电池倒流。

4）在冬季或寒冷地区停机后，未使用防冻液的柴油机，在大气温度低于5℃时，停机后应将冷却水全部放出以防止冻裂机件。放水应在停机半小时后进行，否则由于零部件温度很高，会将气缸壁、活塞环等处的机油蒸发掉，造成下次起动困难，同时也加剧了磨损。

（2）紧急停机　当出现下列情况之一时，柴油机应紧急停机，否则会发生严重事故。

1）机油压力表上的指针突然下降或无压力。

2）冷却水温或油温急剧上升。

3）转速自动升高，有飞车现象。

4）出现异常敲击声，飞轮有松动现象或传动机构有重大不正常的情况。

5）管路出现断裂。

6）运动部件如活塞、调速器等发生卡滞现象。

7）柴油机使用现场出现易燃、易爆潜伏事故。

紧急停机采取的正常方法是快速、果断地按下紧急停机按钮。如果正常方法失灵，可以采用以下三种特殊紧急停机方法，即切断油路法、切断进气通路法和切断排气通路法。

紧急停机后应立即打开气缸盖上的放气螺塞，用人力转动曲轴2～3圈，然后进行检查分析原因。

柴油机“急停”按钮必须“复位”，柴油机才能重新起动。

第二节　柴油机分级技术保养

严格遵守保养规则，能延长柴油机的使用寿命，提高工作效率，节约修理费用，降低使用成本。柴油机的正确保养，特别是预防性的保养，是最容易、最经济的保养，也是保证柴油机可靠工作、延长使用寿命的重要环节。

柴油机的技术保养，就是按各种柴油机的要求，定期地对柴油机各部件进行清洁、紧定、调整、润滑，排除在工作中发现的故障。柴油机日常维护中最重要的是遵循分级技术保养制度。

康明斯柴油机维护保养分为 A 级（每日、每周）、B 级、C 级、D 级、季节性保养共五种。详细内容和保养时间可参照康明斯相关随机维护说明书。

一、A 级保养检查

1．A 级保养检查——每日

（1）柴油机工作日报　保养部门需要从油机员（专指维护保养发电机组、柴油机的人员）那里得到每日运行报告，以了解柴油机的工作状态，并根据报告所提需要，安排保养工作的时间和项目，指导提示应采取的措施，消除绝大部分故障隐患。

向保养部门提交的报告内容重点包括：①润滑油压力是否过低。②柴油机动力是否不足。③冷却水或润滑油温度是否异常。④柴油机声音是否异常。⑤柴油机排烟是否异常。⑥冷却液、燃油或润滑油是否超耗。⑦燃油、冷却液或润滑油是否渗漏。

（2）检查柴油机

1）检查柴油机润滑油平面。用柴油机上的机油标尺检查润滑油平面。为了得到精确的读数，润滑油平面应在柴油机停机 15min 后检查。机油标尺应和原装的油底壳匹对。尽可能地保持润滑油平面接近高位“H”标记处。如果需要，添加与柴油机中质量和牌号相同的润滑油。

2）检查柴油机冷却液平面。保持冷却系统冷却液加满到工作平面。每天或每次加注燃油时检查冷却液平面。检查冷却液平面只可在冷却系统冷却后进行，并查明冷却液消耗的原因。

3）检查传动带是否松弛。如果存在传动带打滑现象，可使用合适的张力计，检查并调整传动带张紧度。

4）检查油浴式空气滤清器的润滑油平面。每天要检查油浴式空气滤清器中的润滑油平面，一定要使盘中的润滑油平面达到指示的标记处，需要时重新加满。康明斯柴油机公司建议使用干式空气滤清器。

5）检查损坏情况。检查柴油机部件是否有碰伤和松动的情况；检查所有接头有无渗漏或损坏。

2．A 级保养检查——每周

（1）检查空气滤清器　在灰尘极多的情况下，可使用空气初滤器。每天清洁初滤器筒和干式空气滤清器集尘盘，或根据工作情况更频繁地检查。

（2）检查进气阻力

1）用机械式指示器测量进气阻力。机械式阻力指示器可以安装在空气滤清器的出口处或车辆的仪表板上。当滤芯被灰尘堵塞时，窗口中的红色标记就逐渐升起。更换或装回滤芯后，通过按下复位按钮使指示器复原。

注意：不要拆掉指示器上的毡质垫圈，该垫圈用来吸湿。

2）用真空式指示器测量进气阻力。也可采用真空式指示器显示空气滤清器的进气阻力，当进气阻力过大时指示器将接通仪表板上的警报灯。

真空式指示器其进气阻力一般设置为：① 增压式柴油机在满负荷状态下进气阻力不得超过 635mm H_2O 或 46mm Hg。② 自然进气式柴油机进气歧管中的进气阻力在额定转速时不得超过 508mm H_2O 或 38mm Hg。

（3）清洁或更换空气滤清器芯子　干式空气滤清器中的纸质滤芯，可以多次地用压缩空气吹除灰尘或用不起泡沫的家庭用洗涤剂在 49～60℃热水中清洗，然后用压缩空气吹干。空气压力约为 207kPa，不要使空气喷嘴太靠近滤芯。

滤芯经过几次清洗后还会堵塞，应按前述方法检查阻力。当出现穿孔、端部密封松动、密封

表面凹陷及其他形式的损坏时，应立即更换滤芯。拆卸滤清器前，应擦去滤清器盖和滤清器上部的灰尘。安装滤芯时，一定要使滤芯坐落到空气滤清器出口端的密封垫上。

（4）更换油浴式空气滤清器中的机油　在灰尘堆积到 12.7mm 之前，从滤清器上卸下油底壳。倒掉润滑油并在清洁的溶剂或燃油中清洗。

将清洁的、与柴油机使用的相同等级的润滑油加到滤清器油盘中，油面加到其侧面圆点所示的位置。在寒冷的气候下，可使用较轻级的润滑油或加有无泡沫清洁剂或无泡沫添加剂的纯矿物油。注意：不可使用脏的或用过的润滑油。

（5）放出储气筒中的积水　在寒冷的气候下，储气筒和管路中的冷凝水蒸气可能冻结而使控制机构失灵，放出储气筒中的积水以保持压缩空气系统中无水。

（6）从燃油箱中放出沉积物　松开燃油箱放油开关或螺塞（如果有的话），放出约一杯的燃油以清除油中的水分和沉积物。关闭放油开关或螺塞。

在检查燃油箱时，如发现油箱中的水较平常多，需安装一个水分离器。

放油塞位于燃油滤清器壳或油水分离器壳以及燃油箱的底部。未装满油的油箱中生成的冷凝水多于满油箱中的冷凝水。所以，油箱应尽可能保持接近于加满状态。从喷油嘴中流回的温暖的燃油将加热燃油箱中的燃油。如果在寒冷气候下油箱油面低，油箱的上部不能被流回的温暖燃油所加热，从而增加了水蒸气的冷凝倾向。在暖和的气候条件下，燃油箱和燃油都是暖的。但是在夜间，冷空气使油箱温度下降的速度远快于燃油温度下降的速度，再一次增加了水蒸气的冷凝倾向。

二、B 级保养检查

每次进行 B 级保养检查时，除 A 级（每日、每周）保养检查内容外，还包括以下内容：

1）更换柴油机润滑油

① 更换润滑油。起动柴油机使之达到工作温度，停下柴油机，从油底壳底部卸下放油螺塞，放出润滑油；其后将放油螺塞按规定力矩装回油底壳上；向曲轴箱中加注润滑油至油标尺上的“H”高位标记处；起动柴油机，目检有无漏油现象；停下柴油机，等 15min 待润滑油流回到油底壳中以后，重新用油标尺检查机油平面，如需要应予以添加。

润滑系统的总容量可以通过油底壳（高油位）、全流式滤清器和旁流式滤清器的容量相加而求得。

② 润滑油更换周期。润滑油更换周期是用“图表法”来决定的，如图 10-7 所示。此法是根据燃油消耗量和润滑油添加量来决定更换周期。“图表法”上的时间周期为 250h 或 6 个月。

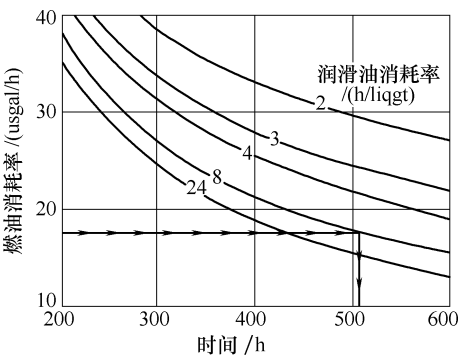


图 10-7　润滑油更换周期

注：1usgal = 3.785dm³，1liqgt = 0.946dm³。

康明斯柴油机厂家不赞成润滑油更换周期超过 600h。因此，曲线被限制在 600h 之上，不得延伸。

2）更换润滑油滤清器。

3）更换燃油滤清器。

4）检查柴油机冷却液。对柴油机冷却液应该定期进行检查，以确定冷却水滤清器的保养次数或 DCA 防蚀剂的浓度能否满足任何特殊工况下控制腐蚀的要求。必须经常补充水时，建议加处理过的水并按需要加入。如 DCA 浓度低而冷却液液面高，可将相应数量的 DCA 直接加入散热器中。

5）更换 DCA 水滤清器。在每次执行“B”级保养时要更换水滤清器或滤芯。更换 DCA 水滤清器旋装式滤芯步骤如下：①关闭进水口的截流阀，打开出口放水。②拧下滤清器滤芯。③安装新滤芯，并拧紧到密封垫和滤清器头接触，然后，再拧紧半圈到 3/4 圈，打开截流阀。④检查各接头有无渗漏现象。

6）检查润滑油液面。

7）清洗/更换曲轴箱通风器。卸下通风器本体，取下盖子，取出滤芯和衬垫等。在规定的洗涤溶剂中清洗所有金属件和橡胶件。然后用压缩空气吹干。检查橡胶密封垫，必要时更换。检查本体和盖子，看有无碎裂、碰瘪或破损；丢弃不能用的零件。将通风器装复。

8）清洗空气压缩机通风器。当装有通风器时，应从空气压缩机上取下通风器。解体通风器，在溶剂中清洗所有金属件，然后用压缩空气吹干。在溶剂中清洗滤芯，然后除去滤芯中的全部溶剂，将滤芯在清洁的机油中浸一下，再挤出滤芯中多余的机油。最后装复。

9）清洗托盘筛。

10）检查锌塞。

三、C 级保养检查

每次进行 C 级保养检查时，除重复 A 级和 B 级保养检查内容外，还包括以下内容：

1）调整喷油器和气门间隙。要使柴油机能正常运转，必须始终保持喷油嘴和气门调整正确。这两项中一项控制柴油机的进排气，另一项控制进入气缸的燃油。

调整时，分“冷调”和“热调”。

“冷调”的定义：柴油机应在要进行调整的环境温度下停止工作至少 4h，以达到一个稳定的温度。

“热调”的定义：①柴油机在集油器的润滑油温度为 99℃的工况下至少运转 10min 以后，立即调整喷油器和气门，或者在达到正常的润滑油温度后进行调整。②若没有润滑油温度计，则使柴油机在额定转速和载荷下或在高怠速下至少运转 40min，然后立即进行调整。

检查常规喷油器的喷油压力和喷油情况，必要时清洗喷油器再调整。

用转矩法或千分表法调整 PT 燃料系统喷油器柱塞，喷油器的调整应在气门调整之前。在调整喷油器和气门之前，应先弄清楚摇臂室盖是铸铁的还是铝的，然后进行相应的调整。

2）彻底检查、清洗润滑系统包括曲轴箱、油管、机油滤清器、机油泵、机油冷却器等零部件，并更换机油，特别应检查机油冷却器的油管是否锈蚀或损坏，有无渗漏现象。

3）检查张紧轮总成。

4）清洗油浴式空气滤清器。

① 蒸气清洗。用蒸气清洗空气滤清器本体滤网。用蒸气喷嘴从空气滤清器的空气出口一头向里吹，将污物沿与空气流动方向相反的方向吹出。

② 溶剂—空气清洗：用蒸气清洗滤清器外部；卸下空气滤清器油杯；将压缩空气软管接上空气滤清器的出气口；将空气滤清器浸入清洗溶剂中；用 21～34kPa 的空气吹洗后留在清洗溶剂中 10～20min；将空气滤清器从溶剂中取出，用蒸气吹去沾在空气滤清器上的残余溶剂，最后用压缩空气吹干。注意：如果不将沾在空气滤清器上的溶剂除尽的话，将会引起柴油机超速直到全部溶剂都被吸去为止。如果空气滤清器要贮存起来，就应将空气滤清器在润滑油中浸一下，以防止滤网生锈。注意：如果不能用上述两种方法之一对滤网进行全面清洗，或本体穿孔，或有其他损伤，应换装新的空气滤清器。

四、D 级保养检查

每次进行 D 级保养检查时，除重复 A 级、B 级和 C 级保养检查内容以外，还需检查下列内容。这些项目中的大多数应当由康明斯的分销商或经销商来完成的，在他们那里能得到康明斯修理手册，其中有全部说明。

（1）清洗和校准喷油器　定期清洗和校准喷油器可以避免燃烧室供油的阻滞。由于校准工作需要专用工具，所以可让康明斯分销商去完成清洗和校准工作。

（2）清洗和校准喷油泵　检查和校准喷油泵。可从康明斯分销商或经销商取得数据。

（3）清洗和校准喷油泵真空控制器

1）取下从真空控制器盖到进气歧管的软管或管子。

2）若有铅封时取下铅封，取下螺钉和真空控制器盖。

3）从真空控制器本体中取出感压盒、活塞、两截轴的上部和弹簧。

注意：计数并记下从下半轴上取出上半轴、活塞和感压盒所拧的螺纹圈数。

4）将轴的六方头夹紧在台虎钳上，卸下自锁螺母、弹簧垫圈和感压盒。

5）在规定的溶剂中清洗零件。

6）将新的感压盒装到轴上的活塞上，用弹簧垫圈和自锁螺母拧紧。用 27 ~ 34N · m 力矩，拧紧自锁螺母。

7）将弹簧、轴、活塞和感压盒总成装入真空控制器本体。在将两截轴装合时，上半轴要按照拆下时所记圈数拧回。

注意：装回时所拧圈数必须和拆下时所拧圈数一样，否则就会改变真空控制器的调整设定。

8）将感压盒的孔和真空控制器上的螺钉孔对准。

9）将盖放到本体上，用平垫圈、弹簧垫圈和有槽凸圆头螺钉上紧。

10）按照 3379084 号通告有关密封说明和校准程序装上密封垫。如果需要校准，应当由康明斯分销商在喷油泵试验台上进行。

11）装复真空控制器盖至进气歧管的软管或管子。

（4）检查和在必要时修复下列部件　检查水泵和风扇毂：检查水泵和风扇毂有无晃动和漏油。必要时换装修复，并预先润滑。检查张紧轮：检查、修复张紧轮，并重新加注规定的润滑脂。按照柴油机修理手册所规定的程序进行修复和润滑。

（5）检查涡轮增压器　检查涡轮增压器轴承间隙，增压器不需从柴油机上拆下，使用一个千分表测量转子轴的端隙，用塞尺测量径向间隙。

检查程序如下：

1）从涡轮增压器上卸下排气管和进气管，将转子总成的端头暴露出来。

2）从前板（压缩机叶轮端）卸下一个紧固螺钉并换上一个长螺钉。将千分表装在长螺钉上并使千分表触头抵住转子轴端面。轴向推动轴，记下千分表上的读数。

3）将叶轮推向腔体一侧。

4）用塞尺检查叶轮尖端和腔体之间的间隙。

5）如果端隙超过规定，将这台涡轮增压器从柴油机上卸下，换装一台新的或大修过的增压器。

6）将排气管和进气管接装在涡轮增压器上。

（6）检查扭转减振器

1）橡胶减振器的检查。应注意减振器毂和惯性元件上的标记，以便检查这 2 个减振件的相

对运动。毂和惯性元件不应由于柴油机工作而产生相对转动。检查毂和惯性元件之间有无挤出物或橡胶颗粒。如果发现惯性元件运动和橡胶挤出，应更换减振器。

2）硅油扭转减振器的检查。检查减振器有无液体渗漏、碰瘪和晃动。目检减振器的厚度，看有无变形或减振器前盖板有无高起。如：① 如果减振器周围空间太小无法进行目检，用手指摸前盖板内侧和外侧一圈，如果发现有变化或变形的地方，将减振器拆下检查。② 将减振器前后表面分成 4 个等分的区域来清除油漆、垢物和烟灰。用油漆溶剂和细砂布清除表面。③ 使用千分尺来测量减振器的厚度，测量按上述等分的 4 个区域分别进行，并距前盖板外边约 3.18mm 处。④ 如果在 4 个区域所测得的厚度值彼此相差超过 0.25mm 时，就要更换减振器。

（7）检查空气压缩机　检查空气压缩机，看有无润滑油和冷却液的泄漏痕迹。将贮气筒排水，检查空气压缩机气缸是否窜油，需要时换装空气压缩机。

检查后部风扇传动带张紧轮时，卸下转动臂总成，拆散并进行清洗。换上新的聚四氟乙烯衬套，检查止推垫圈，必要时更换。在聚四氟乙烯衬套中装填润滑脂，然后重新装复张紧轮总成。

五、季节性保养检查

季节性保养检查内容中，有些项目可能包含也可能未包含在按照行车里程数或工作小时数来确定的保养日程中。季节性保养可在一年内进行一次或两次。

（1）清洗冷却系统（秋季）　冷却系统必须清洁以使其工作正常。系统中的水垢降低了它从水套吸收热量和向散热器排出热量的能力。使用清洁的水以避免堵塞散热器和缸体中几百条细小的水道。对于被水垢和沉积物堵塞了的散热器芯、加热器芯、机油冷却器和气缸体中的水道，用化学清洗剂清洗、中和和冲洗。

1）化学清洗。如果铁锈和水垢多了，应对系统进行化学清洗。使用硫酸氢钠或草酸清洗剂，然后用中和剂冲洗。

2）压力冲洗。在加入防冻剂之前先要冲洗散热器和气缸体。

压力冲洗散热器时，打开上下软管接头并拧紧散热器盖。在上下水管接头上使用软管接头可以方便工作。将水枪喷嘴连到下水管让水充满散热器。然后逐步加大气压以免胀裂散热器芯子。停止进气，并重新换水。然后又加气压，如此反复进行，直到从散热器出来的水变清为止。

沉积物和脏物，除了积沉在散热器芯子中外，也沉积在气缸体的槽、坑中。卸下节温器，用水冲洗气缸体，将下面出水口关小直到气缸体中充满了水。施加空气压力迫使水从下面出水口流出。如此反复进行，直到流出的水变清为止。

（2）更换水管（需要时）　检查机油滤清器和冷却系统的软管和软管接头，看有无渗漏及损坏。损坏软管的碎片进入冷却系统或润滑系统会减小甚至堵塞散热器芯子的细小水道和机油冷却器的流通面积，使冷却系统部分地停止循环，所以需要时应更换。

（3）检查冷起动预热器（秋季）　从进气歧管上靠近电热塞处卸下 1/8in 管螺塞，检查预热器的工作状况。

（4）检查自动百叶窗和自动风扇（秋季）　自动百叶窗和自动风扇的开关温度应当调到所使用的节温器开关温度范围内。如 82～91℃的节温器只能和 86℃关闭、91℃开启的自动百叶窗配套工作。

（5）检查节温器和密封垫（秋季）　从节温器壳上取下节温器，检查它的开闭温度。

大多数康明斯柴油机装配 77～85℃中温节温器和 71～79℃低温节温器，在少数情况下针对柴油机负荷使用情况，装配 82～91℃高温节温器。

（6）用蒸气清洗柴油机（春季）　蒸气清洗是清洗脏柴油机最有效的方法。如果没有蒸气，

可使用规定的溶剂清洗柴油机。

注意：冲洗的强度不必太大，应保护好所有电气部件和电线。

（7）检查柴油机悬挂装置（春季）　柴油机安装螺栓的松动会使柴油机悬挂装置和支架磨损加剧，因此，需要时上紧所有的螺栓和螺母，损坏的要更换，丢失的应补上。

（8）紧固涡轮增压器安装螺母（需要时）　拧紧所有涡轮增压器安装螺钉和螺母，并确定它们是否确实上紧。上紧安装螺栓和支架可将振动减至最小。

（9）检查风扇和带轮的安装（春季）　检查风扇是否牢固装好，需要时上紧固定螺钉。检查风扇有无晃动或叶片弯曲。

检查风扇毂和曲轴带轮是否安装牢固；检查风扇毂带轮有无松动和晃动；必要时拆下风扇导向毂并紧固轴上螺母；上紧风扇支架螺钉。

（10）检查曲轴端隙（春季）　新的或大修过的柴油机的曲轴端隙应符合规定。柴油机因磨损而使其端隙超过极限，就不能使用。将柴油机拆开，并装上新的止推环。

检查端隙的办法是将千分表指针抵住扭转减振器或带轮的端面，然后抵住减振器或带轮的内部和前盖来撬动。当柴油机装在机组上并和变速器或变扭器装在一起时，必须有端隙。注意：不能抵住减振器外环撬动。

（11）检查热交换器锌塞（春季）　检查热交换器锌塞，如腐蚀严重就要更换。

参 考 文 献

[1] 邱建平. 从 880DFJD 柴油发电机故障到进口设备电路的检修 [J]. 电机电器技术，2004（4）：17-18.

[2] 金锐，石磊，郭业伟. 该东风 EQ2102 型汽车无刷发电机为何发电量不足 [J]. 汽车运用，2008（10）：51-51.

[3] 刘谊露，夏斌. 康明斯柴油发电机组电气控制系统故障分析 [J]. 工程机械，2010（11）：60-63.

[4] 刘夏伦. JFW2621 型交流发电机结构特点和使用维护 [J]. 汽车电器，2004（2）：39-39，41.

[5] 窦春雨，刘安. TY220 型推土机起动机烧毁原因分析 [J]. 建筑机械，2008（9）：113-114.

[6] 石楚生，韩卫东. 半自动化柴油发电机组故障两例 [J]. 移动电源与车辆，2000（2）：29-30，42.

[7] 李卉斌. 场桥发动机调速执行器故障原因分析和改进 [J]. 港口装卸，2002（3）：33-34.

[8] 刘桃生，于富强，朱海庆. 传感器问题导致康明斯柴油机故障检修两例 [J]. 柴油机，2010（5）：50-52.

[9] 邵先平，彭德豹. 从一起发动机无法起动故障谈蓄电池的检测 [J]. 汽车电器，2005（4）：53-53.

[10] 杨兵，陈锡锐. 发动机起动困难故障 1 例 [J]. 汽车与驾驶维修：维修版，2006（2）：39-39.

[11] 刘谊露，张友荣. 康明斯 6CTA8. 3-G 型柴油机电气故障分析 [J]. 内燃机，2010（3）：59-62.

[12] 韩卫东，石楚生. 康明斯发电机组柴油机电控系统故障诊断 [J]. 移动电源与车辆，2003（3）：32-35.

[13] 燕来荣. 推土机疑难故障排查 6 例 [J]. 建筑机械：上半月，2008（10）：110-112.

[14] 梁乃胜. 无刷交流发电机的特殊故障 [J]. 汽车电器，2005（5）：48-48.

[15] 刘国延. 一起康明斯发动机不能起动的故障 [J]. 汽车维护与修理，2000（4）：26-26.

[16] 姚继蔚. 柴油机缸体裂纹的焊接修复 [J]. 工程机械，2009（7）：70-71.

[17] 陆建平. 东风康明斯 6BT 发动机故障 [J]. 汽车维修，2004（3）：43-43.

[18] 李景国. NTA855 型柴油机敲缸故障分析 [J]. 工程机械与维修，2010（11）：191-191.

[19] 庞丽萍. 不能忽视曲轴轴向间隙的调整 [J]. 重型汽车，2003（6）：40-40.

[20] 张国旗，周安新. 柴油机缸盖爆裂的原因 [J]. 工程机械与维修，2010（7）：188-189.

[21] 杜道群，郭永强. 柴油机机油耗量突然增多的原因 [J]. 工程机械与维修，2010（9）：175-175.

[22] 刘勇. 柴油机气缸垫的损伤与预防 [J]. 交通科技与经济，2010（3）：117-119.

[23] 马大为，乔刚. 柴油机油底壳进水故障的排除 [J]. 工程机械与维修，2009（7）：191-191.

[24] 陆刚. 车用柴油机故障分析及故障后的检修 5 例 [J]. 农业机械，2009（3）：99-100.

[25] 刘全胜. 发动机连续烧瓦的原因分析 [J]. 山西机械，2001（增）：102-102，104.

[26] 高会杰，鲁军. 康明斯 6BT 型发动机缸体破裂析因 [J]. 汽车运用，2003（4）：42-43.

[27] 李晓春. 康明斯 KT（A）19－C525 型发动机烧瓦诱因及防范措施 [J]. 矿山机械，2003（7）：65-66.

[28] 李文，姚焱彬. 康明斯 NT 系列强化柴油机曲轴断裂原因分析 [J]. 新疆钢铁，2004（3）：44-45.

[29] 蒙留记. 康明斯柴油机气缸磨损规律和原因及检修 [J]. 汽车科技，2002（2）：48-49.

[30] 李一之. 康明斯柴油机气缸套穴蚀的原因及预防 [J]. 汽车技术，1999（12）：41-42.

[31] 吐尔迪·赛米西丁. 康明斯发动机为什么拉缸 [J]. 汽车维护与修理，2001（8）：47-47.

[32] 肖生发，田世明. 康明斯发动机轴瓦失效分析 [J]. 汽车技术，2000（11）：37-38.

[33] 陈明辉，崔宇峰. NTA855 型柴油机排气及出水温度故障分析与排除 [J]. 江苏船舶，2008（5）：27-28.

[34] 陈梅干，江玉婷，须文雅，等. TY220 型推土机的常见故障及其排除 [J]. 筑路机械与施工机械化，2009（12）：85-87.

[35] 赵兵. 柴油机膨胀水箱喷水故障的排除 [J]. 工程机械，1999（1）：41-42.

[36] 张培广，李晓政. 柴油机启动困难的排除 [J]. 工程机械与维修，2010（2）：194-194.
[37] 石国荣，李伏俊，邹良发. 柴油机水箱和机油中进柴油的原因 [J]. 工程机械与维修，2004（3）：167-167.
[38] 杨兴成. 康明斯 6BT5. 9 柴油机二例故障 [J]. 汽车运输，1998（10）：95-96.
[39] 田科桥. 康明斯 NT855 型柴油机故障排除一例 [J]. 工程机械，2006（10）：69-69.
[40] 李胜强. 矿用车水散热器喷水故障排除 [J]. 工程机械与维修，2010（5）：177-177.
[41] 李小平. 从一例康明斯发动机故障浅谈发动机异响判断 [J]. 汽车维修，2003（11）：54-56.
[42] 袁建设. 发动机动力不足故障的排查 [J]. 工程机械与维修，2004（3）：168-169.
[43] 刘磊. 故障排除经验点滴 [J]. 汽车维护与修理，2002（4）：27-27.
[44] 程长安，叶炜. 康明斯 6BT 发动机大修工艺 [J]. 汽车维修与保养，2003（12）：53-54.
[45] 李双岭，孔宁宁. 康明斯发动机气门挺杆断裂 [J]. 汽车维修，2008（8）：36-36.
[46] 吕鸿儒，宗明建. 柴油机机油消耗过快的排查 [J]. 工程机械与维修，2009（10）：184-184.
[47] 张孝胜，苏家安，黄本举. 气门间隙过大引起的发动机无力故障 [J]. 汽车运用，2011（5）：47-47.
[48] 张德军，李金辉. 一起气门头断裂“捣缸”事故 [J]. 汽车维护与修理，2003（1）：43-43.
[49] 刘志鹏，刘进军. 柴油机机油面升高的原因 [J]. 工程机械与维修，2009（12）：182-182.
[50] 张传军. 柴油机渗漏油三例故障 [J]. 工程机械与维修，2010（1）：160-160.
[51] 燕来荣. 车用柴油机典型故障检查实例 [J]. 设备管理与维修，2008（2）：28-29.
[52] 庄书娟，杜道群，王建国. 康明斯 6BT/6CT 型柴油机油底壳进水的原因 [J]. 工程机械与维修，2010（7）：185-185.
[53] 张晶. 康明斯柴油机维修两例 [J]. 工程机械与维修，2000（3）：67-67.
[54] 甄凯玉. 康明斯发动机润滑油增加故障分析 [J]. 内燃机，1999（1）：45-47.
[55] 周品和. NTA855-C360 型柴油机排气管喷水故障的排除 [J]. 工程机械与维修，2004（4）：142-142.
[56] 王志欣，闫柏林. 柴油机增压补偿器故障的排除 1 例 [J]. 商用汽车，2010（7）：122-123.
[57] 柏劲松，廖永华. 东风 EQ1108 型汽车发动机低转速冒黑烟故障排除一例 [J]. 汽车运用，2010（7）：48-48.
[58] 江联营. 东风 EQ1141G 型汽车发动机废气涡轮增压器油封损坏造成的“飞车”特殊故障排除一例 [J]. 汽车运用，2010（8）：51-51.
[59] 秦龙银，魏立召. 废气涡轮增压器损坏带来的“飞车”[J]. 汽车运用，2006（8）：40-41.
[60] 柏劲松，李文治. 衡山 HSZ6102 型客车行驶无力故障排除一例 [J]. 汽车运用，2010（8）：49-49.
[61] 黄德华. 康明斯 6BT5. 9 型柴油发动机动力不足故障修理 [J]. 汽车维修，2011（11）：27-27.
[62] 姚士颖. 康明斯 NTA—855—C360 发动机动力不足排气支管和增压器过热发红故障的探讨和解决办法 [J]. 冶金设备管理与维修，1995（1）：30-32.
[63] 郑世闩. 康明斯发动机严重冒黑烟 [J]. 汽车运用，2011（1）：44-44.
[64] 王国利. 曲轴箱排气不畅也会引起车辆故障 [J]. 汽车科技，2008（3）：66-66.
[65] 刘会力. 一例发动机加速不良故障的排除 [J]. 重型汽车，2003（4）：41-41.
[66] 肖永华. 一辆东风 EQ2102 型汽车发动机自行熄火故障排除 [J]. 汽车运用，2009（11）：54-54.
[67] 李兆民. 增压发动机轴承引起的减速熄火故障排除 [J]. 汽车维修，2010（7）：26-27.
[68] 俞渭明，张天如. 中冷器堵塞使柴油机工作失常 [J]. 汽车运用，2000（10）：44-44.
[69] 吕学昌，杜道群. 柴油机不能加速的原因 [J]. 工程机械与维修，2009（2）：181-181.
[70] 蒋东. 柴油机水箱进柴油故障的诊断 [J]. 工程机械与维修，2002（5）：130-130.
[71] 杨学威. 柴油机熄火困难的原因 [J]. 工程机械与维修，2009（10）：178-178.
[72] 刘清国. 该康明斯 M11 型柴油发动机为何无法启动 [J]. 汽车运用，2009（3）：47-47.
[73] 叶兴权. 工程机械柴油机故障四例 [J]. 工程机械与维修，2009（7）：194-196.
[74] 刘继锋. 康明斯柴油机不能启动故障的诊断 [J]. 工程机械与维修，2002（12）：136-136.

[75] 敖利军. 康明斯柴油机油底壳进柴油的原因及处理 [J]. 工程机械与维修，2003（1）：122-122.
[76] 邓集成. 履带式推土机故障的分析与排除 [J]. 工程机械与维修，2002（7）：123-123.
[77] 兰洪斌. 康明斯 NTC—290 发动机熄火电磁阀特殊故障 [J]. 汽车维护与修理，2003（2）：19-19.
[78] 薛汉忠. 康明斯柴油机停机困难故障的原因与排除 [J]. 工程机械与维修，2003（2）：119-119.
[79] 胡建川. 发动机冒蓝烟和调速慢故障的排除 [J]. 工程机械与维修，2001（8）：109-109.
[80] 张彦生. 康明斯柴油机动力不足探因 [J]. 汽车运用，2001（4）：43-43.
[81] 张新义. NTA—855C 发动机故障排除两例 [J]. 重型汽车，1998（6）：44-44.
[82] 李明豹. 空调发电车柴油机常见故障分析 [J]. 上海铁道科技，2004（3）：45-46.
[83] 马选斌. 柴油机排气管喷柴油故障的排除 [J]. 工程机械与维修，2008（12）：194-194.
[84] 甄凯玉. PT 燃油系 EFC 结构与故障诊断（二）[J]. 内燃机，2000（3）：41-43.
[85] 王宝琳. 电子调速器在船舶柴油机上的使用与维修 [J]. 中国修船，2004（3）：25-27.
[86] 王建生. NTC—290 康明斯发动机超速运转剖析 [J]. 太钢科技，1999（2）：60-62.
[87] 杨新勇，吴敏亚，薛银彦. 柴油机难启动故障的排除 [J]. 工程机械与维修，2004（1）：132-134.
[88] 吴哲喜，沈福良. 发电机组电子调速系统故障排查 [J]. 工程机械与维修，2008（5）：168-168.
[89] 周安华. 柴油机无法启动二例 [J]. 工程机械与维修，2010（6）：170-171.
[90] 张学臣，夏方章. 一辆东风 EQ1141G 型汽车上坡时发动机自行熄火故障的排除 [J]. 汽车运用，2010（1）：48-48.
[91] 李婷. 柴油机启动后易自动熄火 [J]. 现代车用动力，2010（2）：56-56.
[92] 周安华. 柴油机转速明显下降原因 [J]. 工程机械与维修，2010（3）：181-181.
[93] 徐世雄. VE 泵怠速不能断油原因 [J]. 内燃机燃油喷射和控制，2000（3）：52-52.
[94] 丁善德，瞿文锋. 电磁式停油装置故障判断与应急措施 [J]. 汽车维修，2003（8）：23-23.
[95] 张燕鸣，张家元. 发动机燃油系统故障排除实例 [J]. 重型汽车，1999（6）：42-42.
[96] 李国岫，张幽彤，韩秀坤. VE 型分配式喷油泵电子控制的研究 [J]. 兵工学报：坦克装甲车与发动机分册，1999（2）：45-50.
[97] 吉国光. VE 型分配式喷油泵故障四则 [J]. 汽车维修，2004（12）：40-41.
[98] 惠东杰. 打磨调速器引起的故障 [J]. 汽车维护与修理，2001（3）：16-17.
[99] 惠东杰，赵宝瑜. VE 型分配泵两个阀门引起的故障 [J]. 汽车维护与修理，2000（3）：23-24.
[100] 夏怀成，李铃，张恩元. 东风 EQ1061 型柴油车故障实例 [J]. 汽车维修，2004（1）：43-43.
[101] 徐业茂. 东风 EQ1118G 型汽车发动机转速逐渐下降故障排除一例 [J]. 汽车运用，2010（8）：52-52.
[102] 范树军，聂永涛，臧宏辉. 康明斯 EQ6BT5.9 型发动机故障一例 [J]. 汽车维护与修理，2011（1）：49-49.
[103] 麻伟. EQ1141G 型汽车故障 4 例 [J]. 汽车维修，2002（12）：47-48.
[104] 王凡，张友荣. 康明斯 6CT 柴油机供油不正时的就机诊断与排除 [J]. 移动电源与车辆，2011（1）：44-46.
[105] 胡景昌，东志路，樊明. ESD5500E 系列速度控制板 [J]. 国外铁道车辆，2001（5）：42-46.
[106] 支剑锋. 柴油机超速故障的机理分析及对策 [J]. 煤矿机械，2004（1）：124-126.
[107] 栾登旺，赵德龙. 柴油机调速器引发的五起故障 [J]. 工程机械与维修，2007（1）：150-151.
[108] 李效民. 柴油机突然无法启动 [J]. 工程机械与维修，2007（2）：158-158.
[109] 惠大卫. 柴油机常见油路故障的排除 [J]. 汽车维护与修理，2003（10）：17-17.
[110] 纪铁辉. 机械调速器改装电子调速器时的匹配 [J]. 国外内燃机，1995（3）：54-55.
[111] 付君，郭超，董超，等. 康明斯 6BT5.9-C130 型发动机的维修分析 [J]. 农业装备与车辆工程，2009（8）：57-59.
[112] 南林，梁晓涛. 康明斯 B 系列发动机低压油路漏气部位的经验判别方法 [J]. 汽车运用，2009（8）：

49-49.
[113] 张天如. 康明斯柴油机疑难故障析因 [J]. 汽车运用, 2004 (12): 43-43.
[114] 张晶. 康明斯柴油机起动困难的原因 [J]. 工程机械与维修, 2001 (3): 83-83.
[115] 狄占元. 柴油发动机调速器故障分析 [J]. 当代农机, 2009 (3): 58-59.
[116] 马朝印. 发动机水箱中进油的故障分析 [J]. 工程机械, 2009 (7): 71-72.
[117] 朱言春. NT855 型柴油机断油阀故障 3 例 [J]. 工程机械与维修, 2003 (2): 143-143.
[118] 李金辉, 赵喜海. 燃油分配泵柱塞扭断 [J]. 汽车维护与修理, 2003 (7): 44-44.
[119] 惠东杰, 赵宝瑜. 东风 EQ1118G 型汽车发动机的故障及其排除 [J]. 内燃机燃油喷射和控制, 2000 (1): 58-60.
[120] 惠东杰. 几例 VE 分配泵的故障分析和排除 [J]. 现代车用动力, 2002 (2): 47-49.
[121] 郑大仁, 郑建中. VE 型分配式喷油泵泄油环卡滞时的故障现象及其处理方法 [J]. 农业机械, 2002 (6): 67-67.

工业出版社工程机械设备及维修书目（部分）			
书 号	书 名	作 者	定 价
26750	推土机、铲运机、装载机、平地机、挖掘机故障诊断与排除	杨国平	29.00
26749	压路机、摊铺机、拌和机、混凝土搅拌输送设备、工程起重机故障诊断与排除	杨国平	39.00
26748	凿岩机、钻机、打桩机、掘进机、破碎机故障诊断与排除	杨国平	19.00
26747	工程汽车、叉车故障诊断与排除	杨国平	19.00
14103	工程机械液压传动原理、故障诊断与排除	刘忠	48.00
18457	现代工程机械故障诊断与排除大全	杨国平	78.00
14460	现代工程机械柴油机	王定祥等	35.00
19038	工程机械维修问答	中国机械工程学会设备与维修工程分会	52.00
37349	工程机械液压故障在线监测与智能诊断	黄志坚	59.00
33640	汽车起重机.履带起重机结构原理与维修	曾祥东等	73.00
36420	压路机结构原理与维修	王凤喜等	48.00
36544	叉车结构原理与维修	王苏光等	39.00
37354	混凝土设备结构原理与维修	王凤喜等	45.00
40731	柴油机结构原理与维修	蒋世忠等	49.00
35556	挖掘机液压系统维修速查	黄志坚	69.00
36435	叉车维修速查	王凤喜等	82.00
37718	汽车起重机、履带式起重机维修速查	蒋世忠等	109.00
37599	工程起重运输机械液压故障案例分析	黄志坚	52.00
41220	建筑施工机械液压故障案例分析	黄志坚	59.00
43373	挖掘与铲土运输机械液压故障案例分析	黄志坚	59.00
43032	汽车起重机、履带起重机使用与维修一点通	王凤喜等	39.00
工程机械日常使用与维护丛书			
28430	叉车日常使用与维护	王凤喜等	19.00
29547	混凝土机械日常使用与维护	刘丽华等	25.00
29598	汽车起重机日常使用与维护	谭延平等	29.00
29988	压实机械日常使用于维护	陈国平等	36.00
30108	挖掘机械日常使用与维护	杨申仲等	17.00
28953	装载机械日常使用与维护	王文兴等	17.00
29987	推土机械日常使用与维护	郝杰忠等	19.00

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 交通运输/汽车工程/汽车发动机

ISBN 978-7-111-44184-7
策划编辑◎沈红

ISBN 978-7-111-44184-7
9 787111 441847 >
定价：58.00元