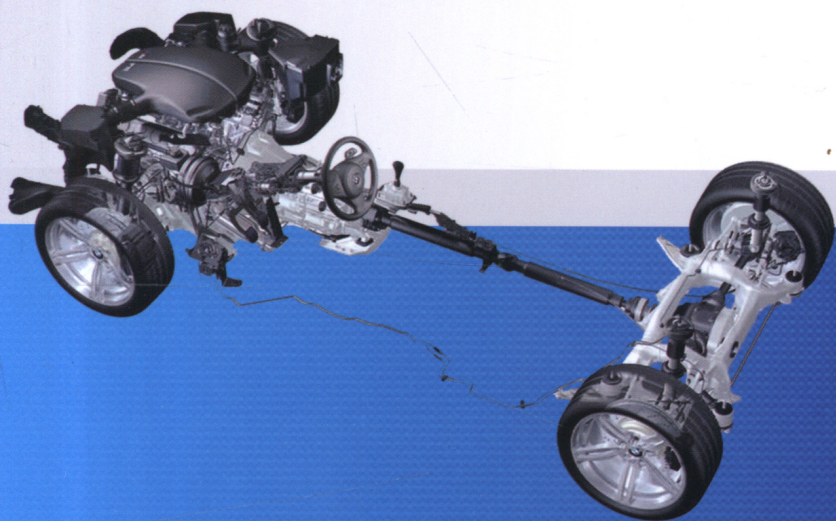


汽车检修 **一学通** 丛书

汽车发动机 电控系统 的 诊断与维修

谭克诚 ◎ 主编

QICHE FADONGJI DIANKONG XITONG DE ZHENDUAN YU WEIXIU



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车检修一学通丛书

汽车发动机电控系统的 诊断与维修

主 编 谭克诚

参 编 杨玲玲 林世明 杨 琳



机械工业出版社

本书紧密结合现代汽车发动机电子控制系统检测诊断生产实际, 特别适合融“教、学、做”为一体的教学方法和手段的改革, 符合高等职业教育推行工学结合人才培养模式的发展需要。

全书共分九章, 以汽车发动机电控系统的检测诊断为主线, 采用理论与实际一体的编写模式, 包括的内容有汽油机电子控制概述、汽油机燃油系统电子控制的检测与诊断、汽油机进气与控制系统电子控制的检测与诊断、电控发动机废气排放控制的检测与诊断、汽油机点火系统电子控制的检测与诊断、汽油机其他电子控制项目的检测与诊断、汽油机电子控制单元检测与诊断、汽油机电子控制系统车载故障诊断、稀薄燃烧和汽油直接喷射电子控制, 较全面地阐述了现代汽车发动机电子控制系统结构、工作原理及故障检测与诊断。

本书可作为高等职业院校、高等专科院校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院汽车检测与维修技术及相关专业的教学用书, 也适合作为有关从业人员的业务参考书及培训用书, 还可供汽车维修管理的工程技术人员及汽车修理工与驾驶人学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车发动机电控系统的诊断与维修/谭克诚主编. —北京: 机械工业出版社, 2011.7 (2013.7 重印)

(汽车检修一学通丛书)

ISBN 978-7-111-35099-6

I. ①汽… II. ①谭… III. ①汽车—发动机—电子系统: 控制系统—故障诊断②汽车—发动机—电子系统: 控制系统—车辆修理 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 117962 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: 连景岩 责任编辑: 管晓伟

版式设计: 霍永明 责任校对: 申春香

封面设计: 王伟光 责任印制: 杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2013 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 431 千字

3001—4500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35099-6

定价: 43.80 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

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着中国经济的快速发展，汽车技术也发生了一系列的变化，新结构、新装置、新技术在汽车上不断应用。这就要求培养一大批能够适应汽车工业发展需要的高素质技能型人才。本书是针对目前“汽车医生”需具备的对现代汽车发动机电子控制进行检测与诊断的知识、能力与素质而编写的。

为适应高职教育的要求，按教高〔2006〕16号文件精神 and 《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》，探索课堂与实习地点的一体化，以加大课程建设与改革的力度，改革教学方法和手段，融“教、学、做”为一体，将课堂搬入实训室，强化高职办学特色，提高学生职业技能，提升教学质量，因此特别需要紧密结合生产实际的教材。

本书结合了汽车维修企业的生产实践，具有较强的针对性；较好地贯彻了素质教育的思想，力求体现以人为本的现代理念，从行业岗位群的知识 and 技能要求出发，并结合了对培养学生创新能力、职业道德方面的要求。

本书配套有实训指导手册，指导手册中导入国家人力资源和社会保障部的国家技能鉴定题库，将国家技能鉴定题库全部融入到相关的教学模块中去，对职业技能进行强化训练（包括中级、高级及技师项目）。两本书配合使用，对高职学生的知识、能力与素质有很大的帮助，力求通过本书的学习，全面掌握发动机电控系统的诊断与维修。

参加本书编写的人员分工如下：谭克诚编写第一章、第二章、第三章、第五章、第六章及第八章，林世明编写第四章，杨玲玲编写第七章，杨琳编写第九章。全书由谭克诚统稿。本书的编写得到了上汽通用五菱市场与网络部的悉心指导与帮助，同时也得到了东风柳汽售后服务部的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本书的编写参考了大量的资料 and 文献，在此向相关文献的作者表示崇高的敬意。

由于编者水平有限，书中难免会有疏漏 and 不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 汽油机电子控制概述	1
第一节 化油器的功能和缺点	1
第二节 电控发动机各控制系统的功能	4
第三节 汽油喷射的分类	5
第四节 汽油喷射与电子控制	12
思考题	17

第二章 汽油机燃油系统电子控制的检测与诊断	18
第一节 电子控制汽油机的燃油供给系统 ..	18
第二节 电子控制汽油机的燃油供给系统的诊断与维修	20
第三节 电子控制汽油机的燃油系统的喷油方式和喷油正时	43
第四节 燃油定量控制的基本公式及实现方式	45
第五节 负荷信息传感方法	46
第六节 基本喷油时间的计算	48
第七节 环境参数修正、蓄电池电压修正和超速断油控制	49
第八节 起动工况燃油定量控制	51
第九节 起动后和暖机工况燃油定量控制 ..	54
第十节 倒拖工况燃油定量控制	55
第十一节 过渡工况燃油补偿	56
第十二节 部分负荷和全负荷工况燃油定量控制	58
思考题	59

第三章 汽油机进气与控制系统电子控制的检测与诊断	61
第一节 间接传感负荷信息传感器	61
第二节 直接传感负荷信息传感器	73
第三节 各种负荷信息传感器的比较	85
第四节 转速和曲轴位置信息传感方法的诊断与维修	88
思考题	96

第四章 电控发动机废气排放控制

的检测与诊断

第一节 λ 闭环控制检测与诊断	97
第二节 三元催化转化器检测与诊断	107
思考题	115

第五章 汽油机点火系统电子控制的检测与诊断	117
第一节 点火提前角及其优化	117
第二节 电子点火系统	121
第三节 微机控制点火系统故障诊断与维修	130
第四节 点火系统的维护与检修	142
第五节 爆燃及其控制检测与诊断	149
第六节 点火提前角的计算	158
第七节 闭合角电子控制	161
思考题	163

第六章 汽油机其他电子控制项目的检测与诊断	165
第一节 二次空气电子控制的检测与诊断	165
第二节 废气再循环系统的故障检测与诊断	167
第三节 可变气门电子控制检测与诊断	174
第四节 增压压力电子控制检测与诊断	183
第五节 可变进气管长度电子控制检测与诊断	186
第六节 分缸断油电子控制	190
第七节 与变速器换挡相关的发动机电子控制	191
第八节 进气量电子控制故障检测与诊断	192
第九节 停车一起动运行电子控制	198
第十节 空调压缩机电子控制	198
第十一节 冷却风扇电子控制	199
第十二节 怠速转速控制与诊断	199
第十三节 油箱蒸发排放电子控制检测与诊断	205
思考题	209

第七章 汽油机电控单元检测与		排除.....	228
诊断	211	第四节 系统故障诊断功能介绍.....	239
第一节 电子控制单元概述.....	211	第五节 电控发动机检修诊断流程.....	242
第二节 电子控制单元硬件的组成.....	212	第六节 故障应急措施（“跛行回家”）... ..	252
第三节 连接其他系统的接口.....	218	第七节 故障诊断仪的应用.....	253
第四节 电子控制单元软件概述.....	219	思考题.....	255
第五节 电子控制单元维修与故障诊断.....	220	第九章 稀薄燃烧和汽油直接喷射电子	
思考题.....	224	控制	257
第八章 汽油机电控系统车载故障		第一节 稀薄燃烧电子控制.....	257
诊断	225	第二节 汽油直接喷射电子控制.....	264
第一节 车载故障诊断概述.....	225	思考题.....	271
第二节 故障监测.....	227	参考文献	273
第三节 电控发动机常见故障的诊断与			

第一章 汽油机电子控制概述

汽油机电子控制就是以电子方式对汽油机实施控制，是汽油机控制方式的一种。在讨论汽油机电子控制之前，有必要先讨论一下究竟什么是汽油机控制。

假设汽车先是以一定速度行驶在平坦道路上，如果驾驶人希望让汽车加速，或者驶上坡道而不要减速，他就要踩下加速踏板。从表面上看，驾驶人控制着发动机。但是实际上不是这么回事。发动机本身有一个控制系统。驾驶人踩下加速踏板，只是向发动机传达了一个要求加大转矩的信息，他充其量只是在操纵发动机，却谈不上是在控制。加速踏板通过拉索使节气门开度增大，每循环吸入的空气量增大，汽油机控制系统相应地使每循环输入的燃油量也增加，结果使混合气浓度保持在一个与当时汽油机工况相适应的水平。这才是汽油机燃油定量控制。这一切都是由汽油机控制系统自动完成的，与驾驶人无关。我们要讨论的汽油机控制就是这个意义上的控制。除了燃油定量以外，汽油机还有许多控制项目，如点火正时等。

汽油机燃油定量控制与混合气生成系统不可分割。传统的汽油机利用化油器生成混合气。

第一节 化油器的功能和缺点

图 1-1 所示为化油器的基本原理。化油器的喉管截面狭小，所以喉管处流速提高，压力下降，形成真空度（负压），将浮子室中的燃油通过主量孔吸入喉管，使之在气流中雾化、汽化、扩散并与空气混合。

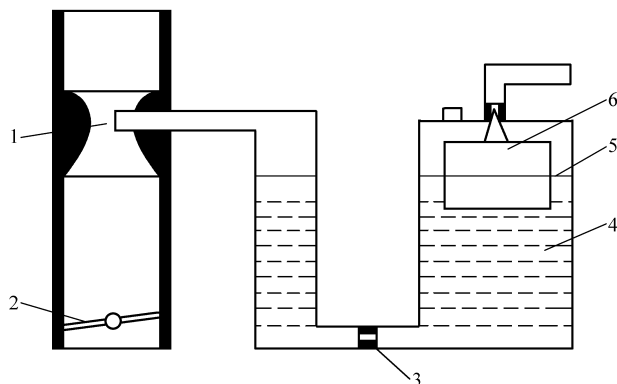


图 1-1 化油器原理图

1—喉管 2—节气门 3—主量孔 4—浮子室 5—油面 6—浮子

实际的化油器要复杂得多。在提供燃油的同时，化油器还对燃油进行定量，以适应发动机在冷起动、暖机、怠速、部分负荷、加速、倒拖及全负荷等各种不同工况下对空气/燃油混合比的各种特殊要求。概括起来，化油器的功能可以分成两个方面。一方面，对燃油进行

加工,即令其雾化、汽化、扩散并与空气混合;另一方面,化油器还控制燃油定量,即控制空气/燃油混合比(简称空燃比)。当空燃比为 14.7 时,混合气完全燃烧后空气与燃油均无过剩,故将 14.7 定为汽油的理论当量空燃比,并定义 λ 为过量空气系数。

$$\lambda = \frac{\text{实际吸入的空气量}}{14.7 \times \text{输入的燃油质量}} = \frac{\text{空燃比}}{14.7}$$

它表征混合气完全燃烧后空气过剩的程度。 $\lambda > 1$, 则空气过剩,称为稀混合气; $\lambda < 1$, 则空气不足,称为浓混合气。化油器能随工况变化调整 λ , 以满足对混合气的要求。

一、燃油雾化程度受空气密度的影响

化油器可看作一个按速度型雾化器原理工作的雾化装置,它主要依靠燃油和它周围气流之间的相对速度将燃油粉碎、雾化。对于汽油这种粘度很小的液体,可以利用下式计算气流中形成的油滴的最大半径。

$$r_{\max} = \frac{10a}{\rho_A \omega_0^2} \quad (1-1)$$

式中, a 为汽油/空气界面的表面张力系数 (N/m); ω_0 为汽油滴对于空气流的相对速度 (m/s); ρ_A 为空气密度 (kg/m^3)。

在其他条件不变的情况下,空气密度的降低将使气流中形成的油滴尺寸增大,即雾化情况恶化。所以车用汽油机在高原行驶时或航空汽油机在高空飞行时,由于空气稀薄,雾化会受到影响。

二、空燃比受空气密度的影响

在发动机部分负荷下,化油器生成的混合气空燃比与空气密度的平方根成反比。所以,在航空发动机上,随着飞行高度的增加,混合气会变浓。汽车在高原或在盛夏高温季节行驶时也会出现同样的问题。

三、多缸机混合气分配不均匀

通常所说的各缸混合气分配不均匀,应有三种含义:

- ① 各缸混合气总量不一致。
- ② 各缸混合气浓度不一致。
- ③ 各缸混合气中燃料组分不一致。

各缸混合气总量的不一致不是化油器造成的。各缸混合气浓度不一致和燃料组分不一致的问题却与化油器有关。在混合气从化油器流往气缸的过程中伴随着下列过程。

1) 燃油滴被空气流加速,使两者之间的相对速度 ω_0 迅速减小,油滴的最大半径值迅速增大,油滴呈合并趋势,见式 (1-1)。

2) 由于流道的弯曲和气缸的交替吸气,流道中各点速度的大小和方向都不一样,而且随着时间的推移而急剧变化。已经汽化的燃油和较细的油雾,比之雾化较差的油滴更快地加速和减速。于是,进气歧管中各处混合气趋于不均匀。

3) 已经汽化的燃油会凝结在进气歧管壁上。

4) 较大的油滴会逐渐滞留在进气歧管壁上,特别是当管壁粗糙、有毛刺,或从流体力学角度来看设计不当时,情况更为严重。例如气流急转弯时混合气中的油滴就可能因离心惯性力而被甩出,落在管壁上,与凝结的燃油一起形成燃油膜,积聚成小股燃油流,在气流的

带动下流往气缸。这些油流只流入其中的一个或几个气缸，引起各缸混合气浓度不一致。

5) 在流往气缸的过程中，油流中的易挥发组分可能比难挥发组分更多地汽化。所以流入气缸的燃油流中难挥发组分浓度较高，造成各缸混合气燃油组分不一致。

由于各缸混合气不均匀，化油器只能使多缸机中的一个或少数几个缸达到最佳空燃比，因而使整机的动力性、经济性和排放等恶化。

四、负荷变动造成附加的燃油耗和排放恶化

化油器发动机的进气歧管壁上有燃油膜积聚。进气歧管的压力高，则燃油不易蒸发，油膜增厚。发动机负荷增大、节气门开度增大时，正是这种情况。此时由于进气歧管的压力升高，混合气中一部分燃油进入油膜，使混合气变稀。这一方面影响了发动机对变工况快速响应的能力，另一方面使油膜增厚。增厚的油膜在发动机负荷减小、节气门开度减小时，因为进气歧管的压力降低而迅速蒸发，给进入气缸的混合气增添了额外的燃油，使原本应当减少的燃油量反而增多，混合气过浓，燃烧不完全，既增大了油耗，又恶化了排放。

五、体积效率较低

化油器发动机由于两种原因使得体积效率降低。首先是因为喉管使流动损失增加，降低了吸气流量。其次是因为化油器发动机中为了避免在进气歧管管壁上生成油膜而往往将进气歧管与排气歧管置于同侧，使排气歧管加热进气歧管。但这样一来降低了吸入气缸的充量的密度，进而降低体积效率。

六、化油器结冰

化油器在工作过程中有两个原因会造成降温。一是燃油蒸发时吸收汽化潜热；二是喉管中流速升高，压力和温度下降。主要原因是前者。

燃油汽化速率主要取决于所处位置的压力和气流速度。凡是压力低、气流速度高的地方，只要有足够的燃油，便会因汽化而形成大的温降。怠速时，喉管中流速不大，而且没有燃油在此处汽化，所以喉管处温降不大；但节气门和怠速油道出口处压力低、流速较大，且有燃油流出供汽化，所以温降很大，可比化油器之前降温 13°C 。随着节气门逐步开大，怠速油道出口处的压力增大，气流速度和燃油流量都减小，因而温降也减小；相反，此时喉管中的气流速度和燃油流量都增大，所以温降也增大，可比化油器之前降温 $14 \sim 18^{\circ}\text{C}$ 。化油器结冰使得混合气过浓、油耗增加、排放恶化、加速困难、运行不稳、功率下降、怠速熄火，特别是加载到中速半负荷后回到怠速时更易熄火。

七、发动机倒拖影响排放和油耗

当倒拖，即点火关闭、离合器接合、变速器挂上前进挡，汽车因惯性而带动发动机继续运转，借此对汽车实施制动作用时，如不采取专门措施，则化油器依旧将燃油送入气缸。这些燃油不经燃烧便从发动机排出，既增加油耗，又污染环境。

化油器的这些不足之处是在实践中逐渐被人们所认识的。最早对化油器感到不满，试图革除之并大规模试验汽油喷射的是美国空军。当时航空发动机都是化油器式汽油机，在作特技飞行时表现出有缺陷，并因化油器结冰或起火而引起飞行事故。于是，人们开始用喷油器喷射汽油代替化油器来生成混合气，这就是汽油喷射。

第二节 电控发动机各控制系统的功能

一、电控燃油喷射（EFI）

电控燃油喷射主要包括喷油量、喷射正时、燃油停供及燃油泵的控制。

1. 喷油量控制

电子控制单元（ECU）将发动机转速和负荷信号作为主控信号，确定基本喷油量（喷油电磁阀开启的时间长短），并根据其他有关输入信号加以修正，最后确定总喷油量。

2. 喷油正时控制

在电控间歇喷射系统中，当采用与发动机转动同步的顺序独立喷射方式时，ECU 不仅要控制喷油量，还要根据发动机各缸的发火顺序，将喷射时刻控制在一个最佳的时刻。

3. 减速断油及限速断油控制

（1）减速断油控制 汽车行驶中，驾驶人快收加速踏板时，ECU 将会切断燃油喷射控制电路，停止喷油，以降低减速时 HC 及 CO 的排放量。当发动机转速降至一特定转速时，又恢复供油。

（2）限速断油控制 发动机加速时，发动机转速超过安全转速或汽车车速超过设定的最高车速，ECU 将命令在临界转速时切断燃油喷射控制电路，停止喷油，防止超速。

4. 燃油泵控制

当接通点火开关后，ECU 将控制燃油泵工作 2~3s，以建立必需的油压，此时若不起动发动机，ECU 将切断燃油泵控制电路，燃油泵停止工作。在发动机起动过程和运转过程中，ECU 控制燃油泵保持正常运转。

二、电控点火装置（ESA）

电控点火装置的控制主要包括点火提前角、闭合角及爆燃控制等方面。

（1）点火提前角控制 在 ECU 首先存储记忆发动机在各种工况及运行条件下最理想的点火提前角。发动机运转时，ECU 根据发动机的转速和负荷信号，确定基本点火提前角，并根据其他有关信号进行修正，最后确定点火提前角，并向电子点火控制器输出点火指示信号，以控制点火系统的工作。

（2）闭合角与恒流控制 为保证点火线圈初级电路有足够大的断开电流，以产生足够高的次级电压，同时也要防止通电时间过长使点火线圈过热而损坏，ECU 可根据蓄电池电压及转速等信号控制点火线圈初级电路的通电时间。在高能点火装置中，还增加了恒流控制电路，以使初级电流在极短时间内迅速增长到额定值，减少转速对次级电压的影响，改善点火特性。

（3）爆燃控制 当 ECU 根据爆燃传感器输出的信号检测到爆燃现象时，立即修正点火提前角，以免爆燃的发生。

三、怠速控制（ISC）

发动机在怠速运行时，如果空调压缩机工作、变速器挂入挡位、发电机负荷加大等怠速运转工况发生变化，由 ECU 控制怠速控制阀，使发动机都能处在最佳怠速转速下运转。

四、排放控制

1. EGR 废气再循环控制

当发动机温度达到一定温度时，根据发动机负荷和转速，ECU 控制 EGR 阀，使废气进

行再循环,以降低 NO_x 的排放量。

2. 开环与闭环控制

在装有氧传感器及三元催化转化器的发动机中,ECU 根据发动机的工况及氧传感器反馈的空燃比信号,确定开环控制与闭环控制方式。

3. 二次空气喷射控制

ECU 根据发动机的工作温度,控制新鲜空气喷入排气歧管或三元催化转化器中,以减少排气污染。

4. 活性炭罐电磁阀控制

ECU 根据发动机的工作温度、转速、负荷等信号,控制活性炭罐电磁阀的工作,以降低燃油蒸气蒸发污染。

五、进气控制

1. 动力阀控制

发动机在不同负荷下,ECU 控制真空电磁阀,以控制动力阀的开闭来改变进气流量,从而改善发动机的输出转矩与动力。

2. 涡流控制阀

ECU 根据发动机的负荷和转速信号,控制真空电磁阀,以控制涡流控制阀的开闭,改善发动机大负荷下的充气效率,提高输出转矩和动力。

六、增压控制

ECU 根据进气压力传感器 (MAP) 检测的进气压力信号去控制释压电磁阀,以控制排气通路切换阀,改变排气通路的走向,从而控制废气涡轮增压器进入工作或停止工作。

七、警告提示

ECU 控制各种指示和警告装置,显示有关控制系统的工作状况,当控制系统出现故障时能及时发出警告信号,如氧传感器失效、催化剂过热、油箱油温过高等。

八、自我诊断与报警系统

当控制系统出现故障时,ECU 将会点亮仪表板上的“检查发动机”(CHECK ENGINE)灯,提醒驾驶人注意,发动机已出现故障,并将故障信息储存到 ECU 中,通过一定程序,能将故障码及有关信息资料调出,供检修用。

九、传感器故障预诊参考系统(失效保护)

当 ECU 检测到传感器或线路故障时,即会自动按 ECU 预设的程序提供预设定值,以便发动机仍能保持运转,但性能将有所下降。

十、ECU 故障备用控制系统

当 ECU 发生故障时,则会自动启动备用系统,使发动机转入强制运转状态,以便驾驶人将车辆开到检修厂进行修理。

第三节 汽油喷射的分类

一、按喷油器数量分

1. 多点喷射

多点喷射系统中,每个气缸有一个专用的喷油器用于为该气缸提供汽油(图 1-2)。属

于多点喷射（Multi Point Injection，缩写为 MPI）的有博世公司的 L-Jetronic，Motronic 等系统。

2. 单点喷射

单点喷射系统中，几个气缸共用一个喷油器生成混合气（图 1-3）。单点喷射（Single Point Injection，缩写为 SPI）因喷油器在节气门体上喷油而得名节气门体喷射（Throttle Body Injection，缩写为 TBI），又因各缸由一个喷油器集中供油，故又称集中喷射或中央喷射（Central Fuel Injection，缩写为 CFI）。属于此类的有博世公司的 Mono-Jetronic 和 Mono-Motronic 等系统。

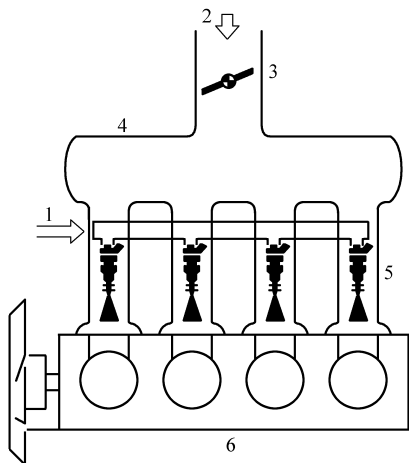


图 1-2 多点汽油喷射

1—汽油 2—空气 3—节气门
4—进气歧管 5—喷油器 6—发动机

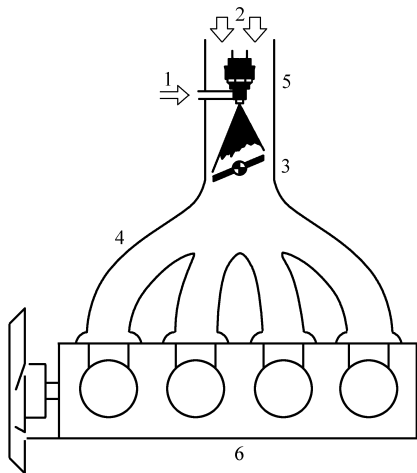


图 1-3 单点汽油喷射

1—汽油 2—空气 3—节气门
4—进气歧管 5—喷油器 6—发动机

二、按喷油地点分

1. 喷入气缸

与柴油机一样，直接将燃油喷入气缸。这种燃油喷射又称为直接喷射（Direct Injection，缩写为 DI），如图 1-4 所示。虽然同是直接往缸内喷燃油，但汽油直接喷射和柴油直接喷射有根本区别。这种区别在 20 世纪 30 年代主要表现在喷油时刻不同——汽油机直接喷射发生在压缩冲程开始前或刚开始时，而柴油机直接喷射发生在压缩冲程将要结束时。由此引出以下几点区别：

- ① 直接喷射汽油机有较长的时间用于生成混合气。
- ② 直接喷射汽油机喷油时缸内充量的温度和压力较低。
- ③ 直接喷射汽油机仍需要火花塞点火。

2. 喷在进气门前

喷油器装在进气管上，燃油喷在进气门前，又称进气口喷射（Port Fuel Injection，缩写为 PFI），如图 1-5 所示。

显然，只有多点喷射才能采用上述两种喷射方式。

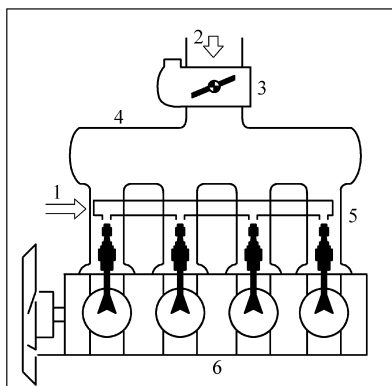


图 1-4 喷入气缸（直接喷射）

1—汽油 2—空气 3—节气门
4—进气歧管 5—喷油器 6—发动机

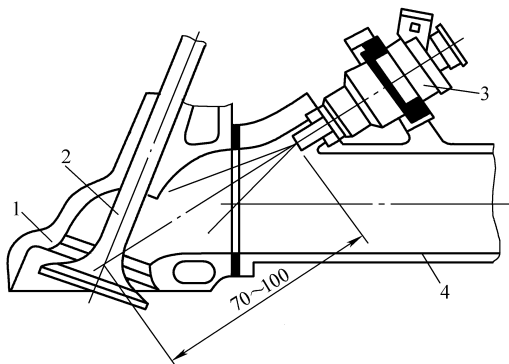


图 1-5 喷在进气门前

1—气缸盖 2—进气门 3—喷油器
4—进气歧管

3. 喷在节气门上

喷油器装在节气门体上，燃油喷在节气门阀板上，用于单点喷射，如图 1-3 所示。

后两种喷射方式又称间接喷射（InDirect In-jection，缩写为 IDI）。

三、按喷油的连续性分

1. 连续喷射

连续喷射方式也称稳定喷射方式。连续喷射方式的特点是汽油发动机运行期间，喷油器的喷油是连续进行的。这种喷射方式不需要考虑喷油定时和各缸的喷油顺序，因此控制非常简单，但混合气的均匀性、空燃比控制精度及汽油发动机对过渡工况的响应特性都较差。

在发动机运行过程中连续不断地喷油，如博世公司的 K-Jetronic 和 KE-Jetronica。连续喷射不能用于直接喷入气缸。

2. 间歇喷射

间歇喷射方式也称脉冲喷射方式。间歇喷射方式的特点是汽油发动机运行期间，喷油器按一定的规律以间歇工作的方式，把汽油喷入各缸的进气歧管内，电控汽油发动机全部采用间歇喷射方式。间歇喷射方式按各缸喷油器的喷射时序控制方式，可分为同时喷射、分组喷射和顺序喷射 3 种方式。

此时发动机一个工作循环中只在一定的曲轴转角范围内喷油。间歇喷射既可用于多点喷射，又可用于单点喷射；既可用于喷入气缸，也可用于喷在进气门前或喷在节气门上。

四、多点间歇喷射按各缸喷油相位分

1. 同时喷射

各缸喷油器同时喷油，此时各缸喷油相位不同，显然不能用于直接喷射。

同时喷射方式中，各缸喷油器开始喷油和停止喷油的时刻完全相同，为了减小各缸混合气形成时间上的差异，一般发动机每转一转，各缸喷油器同时喷油一次，发动机一个工作循环所需的油量，分两次喷入进气歧管，因此这种喷射方式也称同时双喷方式。各缸喷油器的喷油正时及工作情况如图 1-6 所示。

对于同时喷射方式，由于所有气缸的喷油是同时进行的，喷油正时与发动机各缸的工作过

程没有关系,因此各缸混合气形成的时间长短不一,造成各缸在混合气均匀性上存在较大差异。但是,同时喷射方式具有不需气缸判别信号、用一个控制电路就能控制所有的喷油器、电控单元与控制软件简单等优点,因此早期的电控汽油发动机都采用这种喷射时序控制方式。

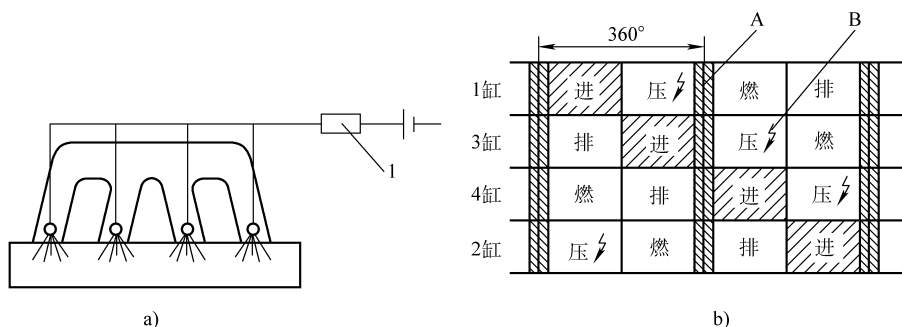


图 1-6 同时双喷喷射方式

a) 喷射喷油器工作情况 b) 喷油正时图

A—喷油 B—点火 1—电控单元

2. 成组喷射

各缸喷油器分成若干组,同组喷油器同时喷油,组与组之间以均匀的曲轴转角间隔喷油。

分组喷射方式把汽油发动机的全部气缸分成 2 组(四缸机)或 3 组(六缸机),电控系统用 2 个或 3 个控制电路控制各组气缸的喷油器。汽油发动机运行时,各组气缸的喷油器按组依次喷射,同组内 2 个喷油器按同时喷射方式工作,每个工作循环各组喷油器都喷射一次。分组喷射方式各组喷油器的喷油正时和工作情况如图 1-7 所示。

分组喷射方式的控制电路虽然比同时喷射方式复杂,但各缸混合气的均匀性及空燃比控制精度都有了较大的提高,广泛应用于以满足国 II 排放法规要求为目标的中低档轿车电控汽油发动机中。

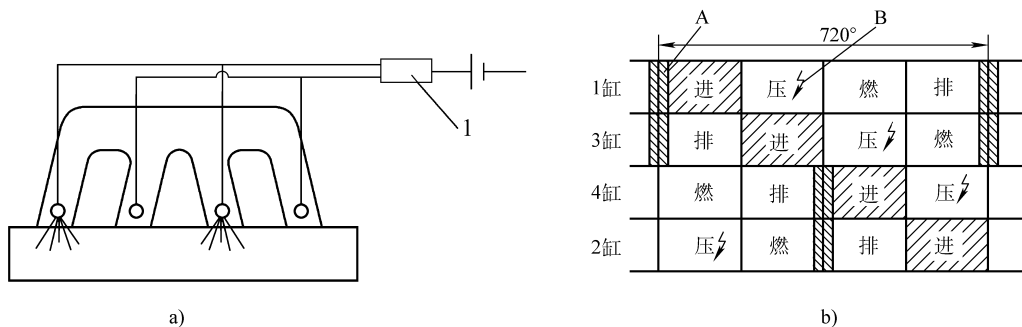


图 1-7 分组喷射方式

a) 喷油器工作情况 b) 喷油正时图

A—喷油 B—点火 1—电控单元

3. 顺序喷射

各缸喷油器都在各自固定的曲轴相位喷油,效果最佳,目前盛行。在连续喷射的场合不存在喷油相位的问题。

顺序喷射方式也称独立喷射方式。发动机运行时,各缸喷油器按各缸的工作顺序,依次

把汽油喷入各缸的进气歧管，发动机曲轴每转两转，各缸喷油器按各缸点火顺序依次喷油一次，如图 1-8 所示。由于顺序喷射方式是按各缸的工作顺序进行喷油，为此在电控系统中，必须设置检测基准气缸活塞所处工作行程的传感器，由此得到判缸信号，据此控制各缸喷油器的工作顺序。各缸喷油开始时刻固定不变，一般在排气行程上止点前 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 曲轴转角。

顺序喷射方式需要有与喷油器数目相同的控制电路，在控制程序中需增加基准气缸判别、正时计算、喷油时序控制等内容，因此硬件设计和软件设计都比分组喷射控制复杂。但是，顺序喷射方式可以使每个气缸都具有相同的最佳喷油正时，对提高各缸混合气的品质，保证各缸混合气质量的一致性，具有十分重要的意义。现在，以满足国Ⅲ排放法规要求为目标的轿车电控汽油发动机，都已采用顺序喷射时序的控制方式。

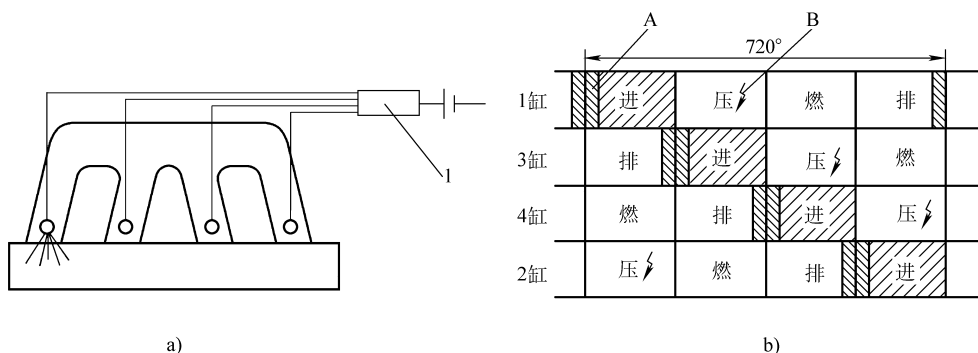


图 1-8 顺序喷射方式

a) 喷油器工作情况 b) 喷油正时图

A—喷油 B—点火 1—电控单元

五、按汽油喷射控制方式分

1. 机械控制

通过机械装置将发动机负荷、转速、冷却液温度、进气温度、大气压力等信息传递给喷油装置以实现燃油定量控制。博世公司的 K-Jetronic 是一种机械控制的汽油喷射系统。

2. 电子控制

利用传感器采集发动机负荷、转速、冷却液温度等信息，利用电子控制单元对这些信息进行分析处理，最终由电子控制单元发出指令，通过电动燃油泵、喷油器等执行器控制燃油定量。

现代汽车发动机汽油喷射装置都是电子控制的。

六、电子控制按负荷信息传感方法分

1. 间接传感

用转速—密度法或转速—转角法确定每循环吸气量。

(1) 转速—密度法 转速—密度方式所需测量的参数是进气歧管绝对压力和发动机转速。由于进气歧管绝对压力、发动机转速与进气量之间的函数关系比较复杂，特别在过渡工况和采用废气再循环时，由于进气歧管内绝对压力波动较大，在这些工况点计算得到的进气量误差较大，影响空燃比控制精度，因此需要对进气量进行修正。

早期采用转速—密度方式的典型电控系统是博世公司的 D-Jetronic 系统，现在已全部升级为 D-Motronic 系统，如图 1-9 所示。转速—密度方式测量方法简单，喷油量精度容易

调整和控制,因此在国产轿车中应用比较广泛,如上海大众的桑塔纳 99 系列、广州本田的雅阁,以及上海通用的雪佛兰、凯越及赛欧等采用或曾经采用过这种进气量测量方式。

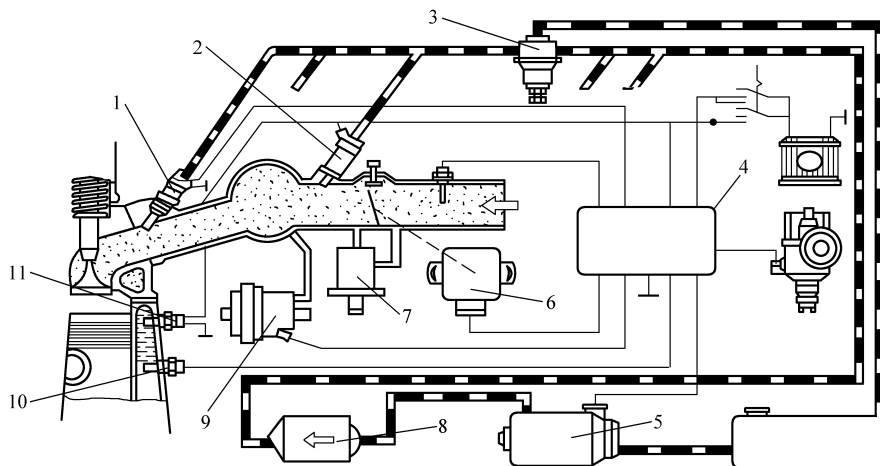


图 1-9 D-Jetronic 电控汽油喷射系统

- 1—喷油器 2—冷起动喷油器 3—压力调节器 4—电控单元 5—电动汽油泵
6—节气门位置传感器 7—怠速空气调节器 8—汽油滤清器 9—进气歧管压力传感器
10—温度传感器 11—热控正时开关

(2) 转速—转角法 转速—转角法所需测量的参数是节气门开度和发动机转速。采用转速—转角法的电控汽油发动机具有较好的过渡工况响应特性,因此一些赛车采用这种测量方式。

但是节气门开度、发动机转速与进气量之间的函数关系相当复杂,进气量的精确计算比较困难,因此空燃比控制精度相对较差。在一般的电控汽油发动机中,转速—转角法仅作为其他空气计量方式的备用方式,当主要空气计量装置出现故障时,电控系统可以采用这种方式对进气量进行测量和计算。

2. 直接传感

用空气流量传感器直接测定单位时间吸气量,再根据发动机转速算出每循环吸气量。

直接测量方式电控系统采用空气流量计,直接测出单位时间汽油发动机吸入空气的质量流量或体积流量,然后根据发动机的转速,计算出发动机每一工作循环吸入的空气量。在所用的直接测量方式电控系统中,按空气流量的量纲特征,可分为体积流量方式和质量流量方式。

(1) 体积流量方式 体积流量方式采用翼片式空气流量计或卡门漩涡式空气流量计,测量汽油发动机单位时间吸入的空气体积,即空气的体积流量。电控系统根据测得的空气体积流量和发动机转速,计算出每一工作循环汽油发动机吸入的空气体积,然后根据进气压力和温度,计算出对应的空气质量。体积流量方式与间接测量方式相比,测量精度较高,有利于提高空燃比的控制精度。

体积流量方式测出的是空气体积,而电控系统计算循环喷油量所需的是空气质量,因此测出空气体积后,还需要根据进气压力和温度,换算成对应的空气质量。因此,系统构成、程序设计和数据处理相对都比较复杂,现在这种测量方式已全部改为质量流量方式。采用体积流量方式的典型电控系统是博世公司的 L-Jetronic 系统,如图 1-10 所示。

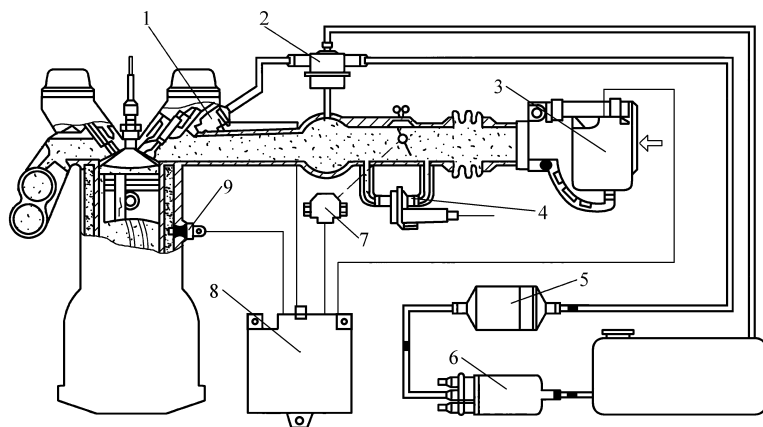


图 1-10 博世公司 L-Jetronic 电控汽油喷射系统

1—喷油器 2—压力调节器 3—翼片式空气流量计 4—怠速辅助空气阀 5—汽油滤清器
6—电动汽油泵 7—节气门位置传感器 8—电控单元 9—冷却液温度传感器

(2) 质量流量方式 质量流量方式采用热线式或热膜式空气流量计测量汽油发动机单位时间吸入的空气质量，即空气的质量流量。电控系统根据测出的空气质量流量和发动机转速，计算出每一工作循环发动机吸入的空气质量。质量流量方式具有测量精度高、响应速度快、结构紧凑以及不需要进行质量换算的突出优点。

早期采用质量流量方式的典型电控系统是博世公司的 LH-Jetronic 系统，现在已全部升级为 LH-Motronic 系统，如图 1-11 所示。

国产轿车中，上海通用的别克和君威、一汽大众捷达王和奥迪、二汽的神龙富康，以及上海大众的 2000 型、3000 型桑塔纳和帕萨特等都采用这种进气量测量方式。

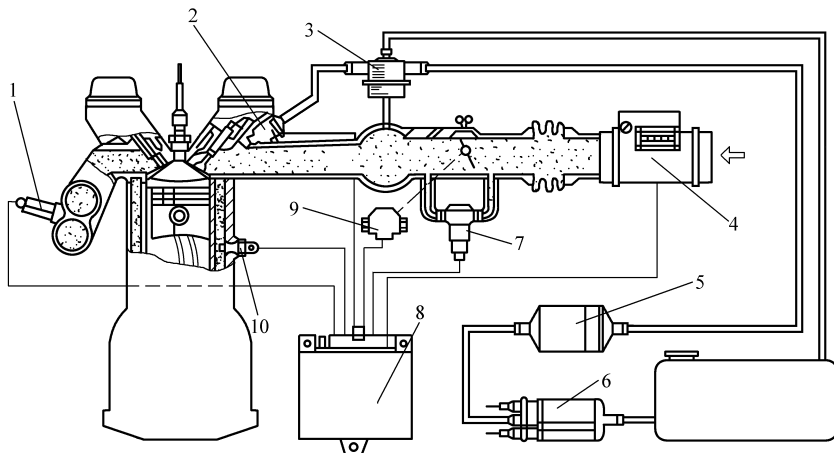


图 1-11 博世公司 LH-Jetronic 电控汽油喷射系统

1—氧传感器 2—喷油器 3—压力调节器 4—热线式空气流量计 5—汽油滤清器 6—电动汽油泵
7—怠速空气调节器 8—电控单元 9—节气门位置传感器 10—冷却液温度传感器

七、电子控制按信息处理方式分

1. 模拟式

采用模拟电路处理数据（信息），早期用于 D-Jetronic 和 L-Jetronic，现已淘汰。

2. 数字式

采用数字电路处理数据，目前为电子控制汽油喷射所普遍采用，如 L3 - Jetronic, Motronic, Mono - Jetronic 等。传感器输出的模拟信号先经模/数 (A/D) 转换，然后送往数字计算机进行处理，得到的结果用于推动执行器工作。

第四节 汽油喷射与电子控制

汽车电子控制始于发动机，发动机电子控制始于汽油喷射。汽油喷射只有与电子控制相结合，方能尽显其优点。

一、汽油喷射电子控制系统的组成

与一般的电子控制系统一样，汽油喷射电子控制系统也是由三部分组成的，即传感器，电子控制单元和执行器。

1. 传感器

传感器的功能是将传递发动机状态信息的各种非电物理量转变成电信号输送给电子控制单元。汽车发动机燃油定量控制常用的传感器包括：负荷传感器，直接或间接测定空气流量，进而算出每循环吸气量；转速传感器，测定曲轴转速；曲轴位置传感器，测定离开第 1 缸上止点的曲轴转角；凸轮轴位置传感器；节气门位置传感器；冷却液温度传感器；进气温度传感器；大气压力传感器；进气歧管绝对压力传感器；空调制冷剂压力传感器；氧传感器；缸内压力传感器等。

发动机控制系统的信号输入主要是通过各种传感器或其他输入装置将各种控制信号输入 ECU 的。发动机控制系统的传感器和输入信号主要有下列种类。

(1) 空气流量计 在 L 型 EFI 中，由空气流量计测量发动机吸入的空气量，并将信号输入 ECU，ECU 将该信号和发动机转速作为燃油喷射和点火控制的主控制信号。

(2) 进气压力传感器 在 D 型 EFI 中，由进气压力传感器测量进气管压力（真空度），并将信号输入 ECU，ECU 将该信号和发动机转速作为燃油喷射和点火控制的主控制信号。

(3) 转速和曲轴位置传感器 曲轴位置传感器检测曲轴转角信号（转速信号），并将信号输入 ECU，作为燃油喷射和点火控制的主控制信号。

(4) 凸轮轴位置传感器 凸轮轴位置传感器向 ECU 输入凸轮轴位置信号，是点火控制的主控制信号。

(5) 冷却液温度传感器 检测发动机冷却液温度，向 ECU 输入温度信号，作为燃油喷射和点火正时的修正信号，同时也是其他控制系统的控制信号。

(6) 进气温度传感器 检测进气温度，向 ECU 输入进气温度信号，作为燃油喷射和点火正时的修正信号。

(7) 节气门位置传感器 节气门位置传感器检测节气门的开度状态及节气门开、闭的速率信号，输入 ECU，控制燃油喷射及其他控制系统。

(8) 氧传感器 检测排气中氧的含量，向 ECU 输入空燃比的反馈信号，进行喷油量的闭环控制。

(9) 爆燃传感器 爆燃传感器向 ECU 输入爆燃信号，经 ECU 处理后，控制点火提前角，抑制爆燃产生。

(10) 大气压力传感器 检测大气压力, 向 ECU 输入大气压力信号, 修正喷油和点火控制。

(11) 车速传感器 检测车速, 向 ECU 输入车速信号, 实现超速断油控制。在发动机和自动变速器共同控制时, 也是自动变速器换挡的主控制信号。

(12) 起动信号 发动机起动时, 由起动系向 ECU 提供一个起动信号, 作为喷油量、点火提前角的修正信号。

(13) 发电机负荷信号 当发电机负荷因开启用电量较大的电器设备而增大时, 向 ECU 输入此信号, 作为喷油量与点火提前角的修正信号。

(14) 空调作用信号 (A/C) 当空调开关打开, 空调压缩机进入工作, 发动机负荷加大时, 由空调开关向 ECU 输入空调作用信号, 作为对喷油量及点火提前角控制的修正信号。

(15) 挡位开关信号和空挡位置开关信号 自动变速器由 P 位或 N 位挂入其他挡位时, 发动机负荷将有所增加, 挡位开关向 ECU 输入信号, 作为对喷油量及点火提前角的修正信号。当挂入 P 位或 N 位时, 空挡位置开关提供 P 位或 N 位位置信号, 在 P 位或 N 位时允许发动机起动。

(16) 蓄电池电压信号 当 ECU 检测到蓄电池和电源系的电压过低时, 将对供油量进行修正, 以补偿由于电压过低, 造成喷油量减少所带来的影响。

(17) 离合器开关信号 在离合器接合和分离过程中, 由离合器开关向 ECU 输入离合器工作状态信号, 作为喷油量及点火提前角控制的修正信号。

(18) 制动开关信号 在制动时, 由制动开关向 ECU 提供制动信号, 作为对喷油量、点火提前角、自动变速器等的控制信号。

(19) 动力转向开关信号 采用动力转向装置的汽车, 当转向盘由中间位置向左右转动时, 由于动力转向油泵工作而使发动机负荷加大, 此时动力转向开关向 ECU 输入修正信号, 调整喷油量及点火提前角。

(20) EGR 阀位置传感器 EGR 阀位置传感器向 ECU 提供 EGR 阀的位置信号, 以检测 EGR 阀动作是否正常。

(21) 巡行 (定速) 控制开关信号 当进入巡行控制状态时, 由巡行控制开关向 ECU 输入巡行控制状态信号, 由 ECU 对车速进行自动控制。

随着控制功能的扩展, 输入信号也将不断增加。从上述所列传感器及输入信号中可以看出, 发动机集中控制系统所用的传感器及输入信号有很多都是相同的。这就意味着在发动机集中控制系统中, 可以减少大量的传感器数目, 一个传感器或一个输入信号, 可以多次重复使用, 作为几个控制系统的输入信号。

2. 电子控制单元

电子控制单元 (Electronic Control Unit, 简称为 ECU) 的功能是分析和处理由传感器提供的发动机的各种信息, 发出指令给各种执行器, 借此控制发动机。

早年 ECU 采用模拟电路技术, 近年则改用数字电路技术。ECU 的核心部件是模拟式或数字式微型计算机。

ECU 是一种电子综合控制装置, 它所具备的基本功能如下:

1) 接受传感器或其他装置输入的信息, 给传感器提供 5V、8V、12V 参考 (基准) 电压等, 将输入的信息转变为微机所能接受的信号。

2) 存储、计算、分析处理信息。存储计算所用的程序, 存储该车型的特点参数存储运算中的数据 (随存随取), 存储故障信息。

3) 运算分析。根据信息参数求出执行命令数值, 将输出的信息与标准值对比, 查出故障。

4) 输出执行命令。输出喷油、点火等控制命令, 输出故障信息。

5) 自我修正功能 (自适应功能)。

在发动机控制系统中, ECU 不仅用来控制燃油喷射系统, 同时还具有点火提前角控制、怠速控制、排放控制、进气控制、自诊断、失效保护和备用控制系统等多项控制功用。

3. 执行器

执行器是受 ECU 控制, 具体执行某项控制功能的装置。ECU 控制执行器电磁线圈的搭铁回路, 或控制某些电子控制电路, 如电子点火控制器等。

在发动机控制系统中, 执行器主要有列各种形式: 电磁式喷油器、点火控制器 (点火模块)、怠速控制阀、怠速电动机、EGR 阀、进气控制阀、二次空气喷射阀、活性炭罐排泄电磁阀、车速控制电磁阀、燃油泵继电器、冷却风扇继电器、空调压缩机继电器、自动变速器挡位电磁阀、增压器释压电磁阀、自诊断显示与报警装置、故障备用程序启动装置以及仪表显示器。

必须指出, 现代汽油机电子控制已经远远超出了汽油喷射的范围, 因此汽油机电子控制所用的传感器和执行器也不止上述这些。

二、汽油机电子控制的多样性

汽油机电子控制始于汽油喷射。常有人将汽油机电子控制系统称为电子控制燃油喷射系统, 简称为电喷。这样做, 极易使人误以为汽油机电子控制与电子控制汽油喷射是一回事。其实, 电子控制汽油喷射的内容只涉及与燃油定量有关的电子控制, 英语称为 Electronic Fuel Injection, 缩写成 EFI。可是, 除了燃油定量以外, 还有许多因素对汽油机的性能有十分重要的影响, 其中首先是点火提前角。今天已经实用化了的汽油机电子控制项目至少覆盖以下范围: 燃油定量电子控制、点火正时电子控制、油箱蒸发排放电子控制、怠速转速电子控制、爆燃电子控制、增压压力电子控制、排气再循环电子控制、二次空气电子控制、可变气门正时电子控制、可变进气系统电子控制、冷却风扇电子控制、空调压缩机电子控制、稀薄燃烧电子控制等。由此可见, 汽油机电子控制的内涵远比电子控制汽油喷射丰富。

三、汽油机电子控制中的控制变量

控制变量就是 ECU 借以决定发出何种指令给执行器的变量, 例如汽油机的负荷、转速、冷却液温度、进气温度、进气压力等参数。一般说来, 每一个传感器都提供一种控制变量的信息。

汽油机电子控制系统众多的控制变量中, 有两个控制变量最为重要, 称为主控制变量, 即发动机的负荷和转速。

在汽油机中, 每循环吸气量代表了负荷的大小。而在已知发动机转速的情况下, 可以根据单位时间的吸气量算出每循环吸气量。所以通常也将进入发动机的空气流量当作负荷信息。

电子控制单元 ECU 根据由传感器提供的主控制变量的信息确定基本喷油量和基本点火提前角等, 然后根据其他辅助控制变量如冷却液温度、进气温度等的信息对基本喷油量和基

本点火提前角进行修正，得出最终的喷油量和点火提前角等数据，并根据这些数据发出指令给执行器，对发动机实施控制。

这些辅助控制变量之所以要在控制过程中加以考虑，其原因有三：

- 1) 提高控制精度，例如冷却液温度、进气温度、大气压力、蓄电池电压等。
- 2) 通过闭环控制实现某个预定的目标，例如氧传感器提供的关于混合气中是氧过剩（称为稀混合气）还是燃油过剩（称为浓混合气）的信息、爆燃传感器提供的爆燃信息等。
- 3) 实现过渡工况控制，例如节气门位置等。

四、汽油机电子控制系统中的信息流动过程

图 1-12 给出了常见的汽油机电子控制系统中的信息流动过程。

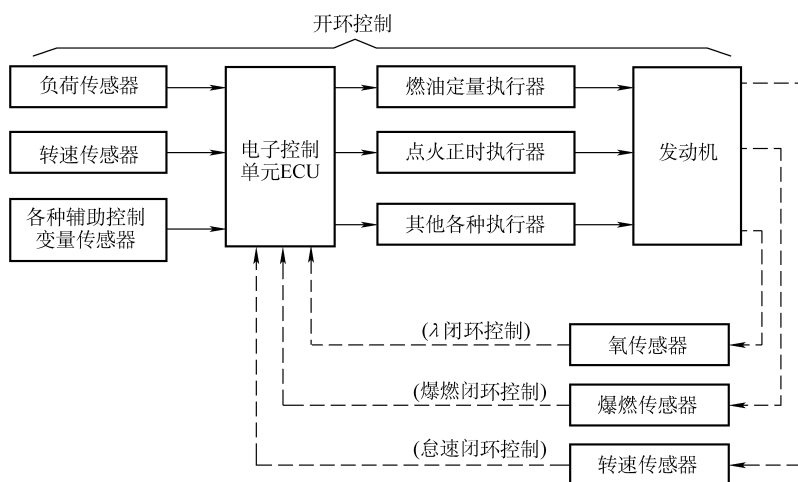


图 1-12 汽油机电子控制系统中的信息流动过程

尽管模拟式电子控制系统和数字式电子控制系统中信息处理的方式有所区别，不同的电子控制系统在具体组成上也会有所区别，但信息流动过程大体上都如图 1-12 所示。

传感器将发动机的各种信息传递给 ECU。ECU 对这些数据进行处理，然后发出指令给各种执行器，如执行燃油定量的电动燃油泵、电磁喷油器和冷起动喷油器等，又如执行点火正时的点火线圈等，使发动机得到最佳控制。

到此为止，其实已经形成了一种控制过程。但是在此过程中 ECU 并不知晓发动机执行指令的结果究竟如何。某些场合下恰恰要求将发动机的某个参数控制在某个范围内，例如要求混合气的空燃比保持在理论空燃比 14.7 附近，或者要求怠速转速保持在某一数值，如 800r/min 附近。又有些场合下要求发动机不出现某种现象，例如爆燃。为了解决这些问题，在发动机上专门设置一些传感器来监测相关的参数。例如，用氧传感器监测混合气的空燃比是大于还是小于理论空燃比 14.7，用爆燃传感器监测是否发生了爆燃。至于对怠速转速的监测，完全可以利用本来就必需的转速传感器，不必另设。这些传感器将监测到的信息反馈给 ECU，ECU 将这些参数的实际值与期望的设定值相比较，若两者不一致，则调整发送给执行器的指令，借此使发动机保持在期望的状态下运行。这部分的信息流动过程用虚线表示，与实线表示的部分组成一个封闭的回路，故称闭环控制。相比之下，实线表示的信息流动过程虽然也构成了一种控制过程，却不构成封闭的回路，故称开环控制。

五、汽油机电控系统的作用剖析

发动机的工况是由负荷、转速及一系列辅助控制变量确定的。图 1-12 表明,汽油机电控系统的作用是根据汽油机的工况,通过执行器来调节各种控制对象,诸如燃油定量、点火正时及其他参数,诸如排气再循环率、排气旁通放空阀开度、活性炭罐清除阀(又称活性炭罐再生阀或吹洗阀)开度、二次空气控制阀开度及气门正时等,以使发动机在该工况下的各种性能及排放得到优化。

六、汽油机电控的优越性

相对于机械控制而言,汽油喷射电子控制具有无与伦比的优越性,这些优越性同样体现在整个汽油机的电子控制中。

1. 控制元件引起的偏差较小

控制元件的尺寸和性能偏差会使控制精度下降。在机械控制的场合,控制元件的机械加工尺寸误差和磨损造成的尺寸误差都会带来较大的控制偏差。可是电子控制元件的性能偏差相对较小,而且不存在磨损问题,所以电子控制元件带来的偏差较小。

2. 控制精细

控制装置对转速、负荷等工况参数的分辨率高,因此电子控制比机械控制精细。

3. 对一个工况的优化控制不影响对其他工况的优化控制

在数字式电子控制的场合,不同工况下的控制数据储存在计算机的各个存储单元中,它们是孤立的、离散的、互不相关的,因此对每一个工况都可以实现最佳控制。

4. 可以考虑更多的控制变量

在机械控制汽油喷射中,有些变量如负荷、转速、温度及压力等能利用机械的探测器来探知,并用于控制燃油定量。但是发动机其他许多状态信息如节气门位置、是否爆燃、空燃比是大于还是小于理论值 14.7 等却是很难探测,甚至无法用简单的机械装置探测到的。电子元件传感器可以从发动机提取几乎全部的状态信息供 ECU 处理。这使汽油机电控比机械控制具有更高的精度和更强的功能。

5. 可以执行更多的控制项目

与传感器在发动机状态信息的探测方面给电子控制带来优越性一样,电子控制系统的执行器也带来很大的优越性,它们可以执行机械执行机构很难,甚至无法执行的许多任务,例如怠速转速电子控制、爆燃电子控制、可变进气系统电子控制等。

6. 可以实现闭环控制

发动机控制的任务就是根据发动机当时的工况来调节一系列参数使之优化。而闭环控制则可将发动机某一特定参数调节到预定目标值。机械控制的场合,如果说发动机工况参数的信息可以通过机械控制装置对执行机构产生影响的话,那么这种影响对发动机产生的结果却难以反馈给机械控制装置。而电子控制系统借助于传感器,很容易将执行器指令执行结果的信息反馈给控制装置,形成闭环控制。

7. 响应迅速

任何机械装置都有间隙和惯性,流体都有摩擦,特别是气体还有可压缩性。所以涉及机械和流体的控制系统往往会产生信息传递和处理的迟延。这种迟延虽然极其短暂,却是存在的,有时会产生不良影响。电子控制系统则不同,因为它的信息传递过程瞬息完成。

必须指出,有些传感器是根据流体力学—机械—电学原理设计的,另有些传感器是根据

热学—电学原理设计的，这些传感器有可能因为流体可压缩性和热惯性（由热容量引起）而造成信号转换的迟延，进而影响整个控制过程的响应速度。

思考题

1. 为什么化油器发动机有高空燃油雾化欠佳的问题？
2. 化油器发动机的混合气夏天比冬天浓的原因是什么？
3. 化油器生成的混合气各缸不均匀分配有哪几种情况？原因是什么？
4. 为什么化油器发动机的转矩比同样排量的汽油喷射发动机低？
5. 什么叫汽油直接喷射？和间接前喷射相比有什么优缺点？哪两种汽油喷射方式不能用于汽油直接喷射？为什么？
6. 单点喷射继承了化油器的什么缺点？多点喷射为什么能革除这一缺点？
7. 汽油直接喷射与柴油喷射技术有何异同？
8. 多点间歇喷射按喷油相位可分为哪几种类型？
9. 汽油喷射的诸多优点中，哪些是由于汽油引入的方式造成的？哪些是由于汽油引入的位置造成的？
10. 汽油喷射对汽油提出了什么新要求？怎样满足这些要求？
11. 汽油喷射电子控制系统由哪 3 个部分组成？
12. 试举出汽油机电子控制系统中与燃油定量控制有关的 10 个传感器和 2 个执行器。
13. ECU 的中、英文全称是什么？其中的核心部件是什么？
14. 电子控制汽油喷射与汽油机电子控制是否一回事？为什么？
15. 试举出汽油机中 10 个与燃油系统无关的电子控制项目。
16. 汽油机燃油定量电子控制的主控制变量是什么？
17. 简述汽油机电子控制系统中的信息流动过程。
18. 为什么电子控制发动机对一个工况的优化控制不影响其他工况？

第二章 汽油机燃油系统电子控制的检测与诊断

汽油机燃油系统电子控制的核心问题是燃油定量电子控制，实际上就是对过量空气系数 λ 的电子控制。因为汽油机的吸气量是由驾驶人通过加速踏板决定的，所以 λ 确定后，燃油量也就确定了。本章围绕对 λ 的电子控制进行讨论，简述喷油正时的电子控制构造、工作原理与故障诊断。

现代汽油机普遍采用间歇喷射系统，所以本章主要讨论间歇喷射系统。

连续喷射系统的机械结构及电子控制原理与间歇喷射系统有很大的差别。这种喷射系统虽然还在生产，但只是用作维修备件，不再用于新车配套。所以本书将仅简述连续喷射系统。

第一节 电子控制汽油机的燃油供给系统

电子控制汽油机的燃油供给系统的构造

燃油系统主要由燃油箱总成、燃油泵总成（包括油位传感器）、输油管总成等组成。如图 2-1 所示。

1. 多点喷射燃油供给系统简介

多点喷射燃油供给系统如图 2-2 所示。燃油由电动燃油泵 2 从燃油箱 1 经燃油滤清器 3 滤清后送往燃油分配管 4。燃油分配管又称油轨，装有若干个喷油器 5，每缸一个。燃油经喷油器喷射入发动机，剩余的燃油经燃油压力调节器 6 进入回油管，流回燃油箱。

电动燃油泵因其安装位置不同而分成两种。一种叫在线泵，安装在燃油箱外，串接在燃油箱和燃油滤清器之间，紧贴在车身底板上。另一种叫在箱泵，安装在燃油箱内，进口侧装有燃油滤清器和旋流盆，后者用于去除热燃油中可能产生的燃油蒸气泡，如图 2-3 所示。在箱泵可去除燃油蒸气泡，且能借助燃油箱隔声，所以目前通常用在箱泵。

间接喷射的燃油泵供油压力约 350kPa，直接喷射约 5.0MPa。

多点喷射的喷油器安装在气缸盖上（喷入缸内）或进气管上（喷在进气门前）。这个区域温度很高，为了防止汽油受热蒸发生成气泡阻碍汽油流动和喷射，采取两项措施来保证良好的热起动性能。

- 1) 喷油器与进气管之间用特制的耐热橡胶件隔开以求隔热。
- 2) 采用大大超过实际消耗的燃油量流过喷油器再流回油箱以求冷却喷油器。

2. 单点喷射燃油供给系统简介

单点喷射燃油供给系统如图 2-4 所示。单点喷射与多点喷射的主要差别在于它只有一个喷油器，因此不需要燃油分配管（油轨），燃油压力调节器就可以与喷油器集成于一体。又因为一个喷油器要向多个气缸供油，所以喷油器不能安装在进气歧管上，而必须安装在进气总管上，将燃油喷射在节气门上。于是喷油器、燃油压力调节器和节气门集成于一体，称为节气门体。

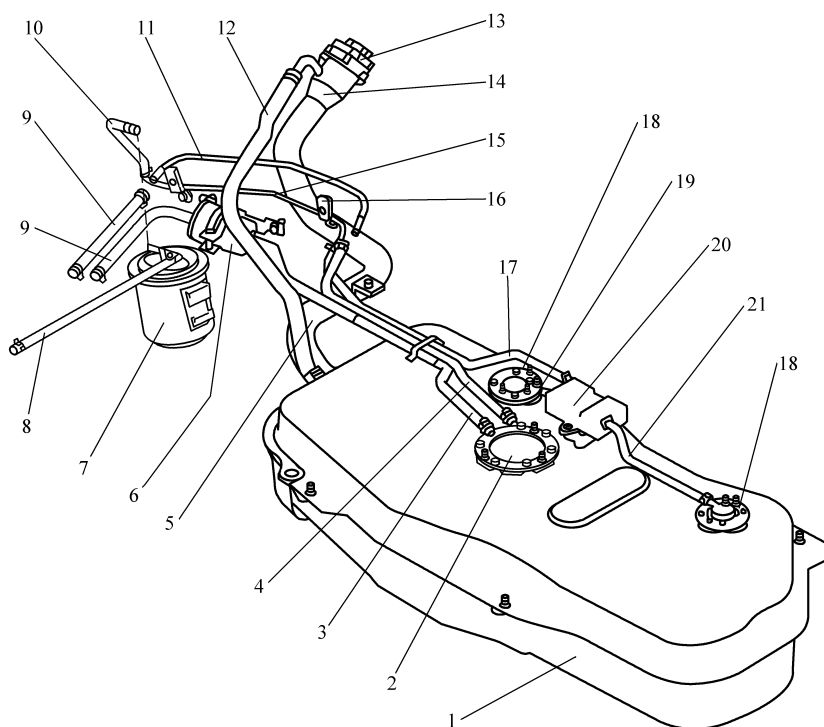


图 2-1 电子控制汽油机的燃油供给系统

- 1—燃油箱焊合件 2—燃油泵总成 3—输油软管 I 4—回油软管 I 5—注油管 6—燃油滤清器总成
7—炭罐总成 8—脱附胶管 9—输油胶管 II 10—吸附胶管 11—回油管（硬管） 12—通气胶管
13—燃油箱盖总成 14—注油管焊合件 15—燃油蒸发管（硬管） 16—油管夹 17—透气胶管 I
18—翻车阀 19—透气胶管 II 20—燃油分离器 21—透气胶管 III

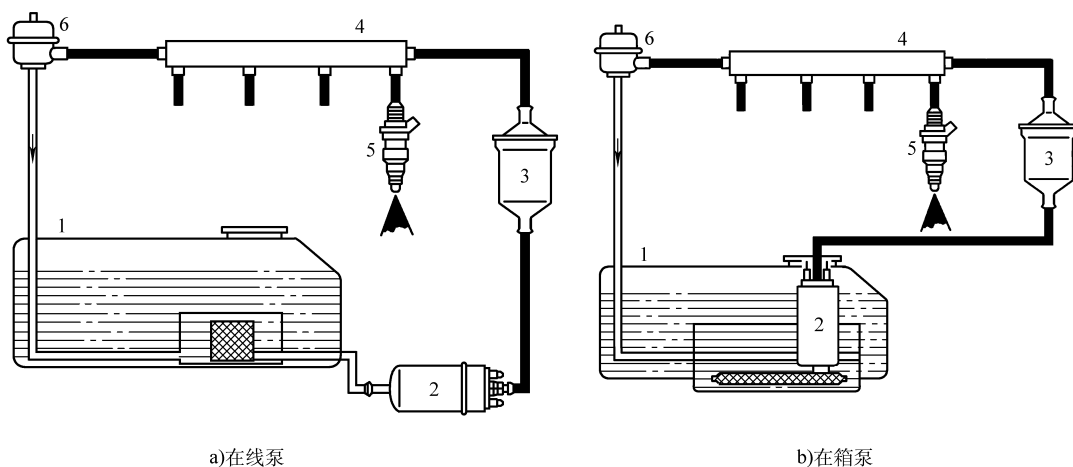


图 2-2 多点喷射燃油供给系统

- 1—燃油箱 2—电动燃油泵 3—燃油滤清器 4—燃油分配管（油轨） 5—喷油器 6—燃油压力调节器

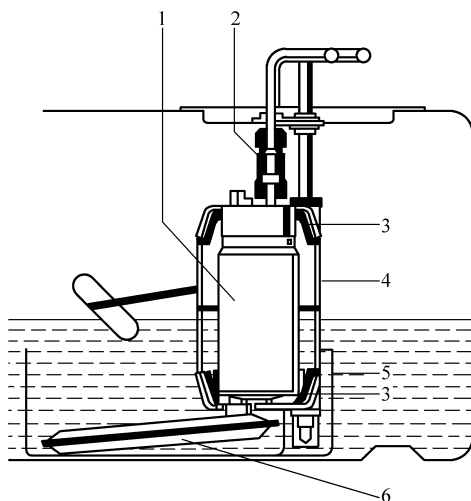


图 2-3 带隔声罩壳的在箱式燃油泵

1—电动燃油泵 2—橡胶软管 3—橡胶套圈 4—塑料罩壳 5—旋流盆 6—燃油滤清器

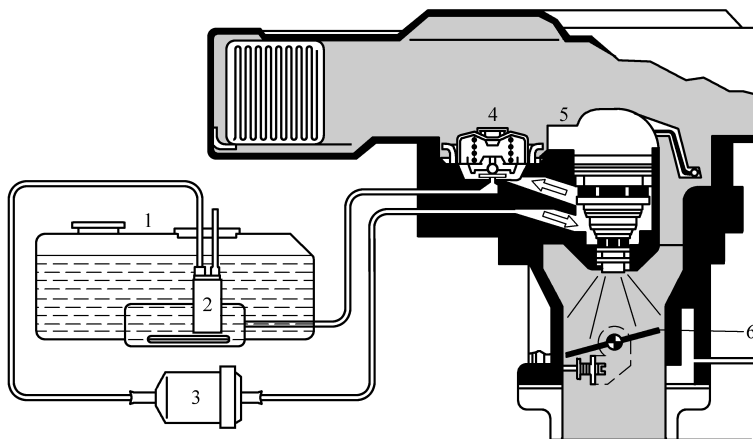


图 2-4 单点喷射燃油供给系统

1—燃油箱 2—电动燃油泵 3—燃油滤清器 4—燃油压力调节器 5—喷油器 6—节气门

单点喷射也采用间歇喷油。四冲程发动机曲轴转两转为一个工作循环，在此期间单点喷射喷油次数与气缸数目相等。所以每次喷油的时间和混合气生成的时间都比较短，发动机转速较高时更是如此。

第二节 电子控制汽油机的燃油供给系统的诊断与维修

一、燃油箱的构造与维修

1. 燃油箱的构造

燃油箱通常用经过特殊处理的耐腐蚀薄钢板冲压后焊接而成。燃油箱在比正常压力高出一倍的压力下也不准泄漏。燃油箱应设置开口和安全阀，以便在压力过高时能够泄压，如图 2-1 所示的注油管焊合件 14 和翻车阀 18。但是燃油既不得从加油口也不得从压力平衡装置

处逸出。在道路不平、车辆受到冲击、弯道行驶以及汽车侧倾时都要满足这个要求。

燃油箱必须远离发动机布置,以便即使在发生意外事故时也不会引起燃油起火爆炸。通常轿车发动机安置在前部,燃油箱则布置在后部,用钢带紧固。

燃油箱使用日久,污垢累积,影响燃油清洁度,必须对燃油箱进行清洗。清洗时要严格按照安全规范进行。

燃油箱内设有油位开关,用于指示燃油箱内的燃油量,当燃油量低于一定数值时报警。

2. 燃油箱的维修

(1) 燃油箱的拆卸

1) 按燃油减压程序给供油管路减压。

2) 拆下图 2-1 所示的输油软管 I 与燃油滤清器总成的接头,将拆开的软管端对准一个事先准备好的盛油容器。

3) 将点火开关打到“ON”(起动燃油泵总成),排出燃油箱焊合件内的剩余燃油,然后将它关闭。(若燃油泵总成损坏不能工作,则先从车内地板上的圆形孔处拆下燃油泵总成,用手动泵抽油)。

4) 拆开燃油泵总成线路接头。

5) 从注油管焊合件上拆下注油胶管、通气管。

6) 用千斤顶顶住燃油箱焊合件后,拧下固定螺钉。

7) 将燃油箱焊合件降低一点,从燃油箱焊合件上拆开图 2-1 所示的输油软管 I、回油软管 I 以及透气胶管 I。

8) 放下燃油箱焊合件,从燃油箱焊合件上拆除注油胶管和通气胶管。

9) 拆除燃油分离器以及透气胶管 II 和 III。

10) 拆除燃油泵总成,用手动泵抽出燃油箱焊合件内的剩余燃油。

11) 拆除翻车阀。

(2) 燃油箱的拆卸注意事项

1) 维修与汽油有关的部件时,严禁火源或热源。

2) 切勿用敞开的容器盛汽油,否则易发生火灾。

3) 若不能立即清洗燃油箱焊合件,则先不拆燃油泵总成和翻车阀,且要封住各管路出口,因为此时燃油箱焊合件内仍有剩油和油气,容易产生危险。

(3) 燃油箱的清洗

1) 清空燃油箱焊合件内的残油。

2) 用温水或自来水反复清洗。

3) 晾干。

(4) 燃油箱清洗注意事项 燃油箱焊合件内不能留有水分,否则会产生锈蚀。若燃油箱焊合件内部生锈,则应更换。

(5) 燃油箱安装注意事项

1) 先装上燃油泵总成、翻车阀及燃油分离器。

2) 接上注油胶管、通气胶管、输油软管 I、回油软管 I 以及透气胶管 I、II、III。

3) 顶起燃油箱焊合件,装好螺钉。

4) 接好燃油泵总成线路接头。

- 5) 接好各管路的其他端。
- 6) 加油。
- 7) 执行燃油泄漏检查程序，检查管子是否连接牢固，是否有漏油现象。

二、燃油管的构造与维修

1. 燃油管的构造

燃油管可用柔性的无缝金属管或耐火、耐油的合成材料软管制造。燃油管不允许有破损、泄漏或堵塞。安装燃油管时必须防止机械损伤和热烤的可能性。例如汽车运动时不能让燃油管与其他金属零部件摩擦而破损，也不能因为燃油管所连接的两个零部件之间相互错位、扭转而使燃油管打结、弯折和压扁。燃油管不能紧贴或靠近排气歧管、排气管、三元催化转化器和点火线圈等高温部位。非但如此，而且要杜绝燃油滴漏、燃油蒸气泄漏导致燃油滴或燃油蒸气累积在热的零部件或电气装置上，从而有被点燃的可能性。

如果发现燃油管有异物堵塞，必须立即排除。破损、压扁、弯折的燃油管必须立即更换，不可勉强维修使用。

2. 燃油管的维修

燃油管和燃油系统零部件、燃油管和燃油管之间可用专门的快速接头连接，既牢靠又方便。

(1) 管路连接 燃油管路的连接方法因管而异，当重新连接时，应确保连接正确并确保夹紧每根软管，如图 2-5 所示。当与下列类型的硬管连接时，应将软管插到凸起处，如图 2-5a 所示；当与直管或弯管连接时，应将软管插入深度为 $\Delta 2$ ，如图 2-5b 所示。其中 $\Delta 1$ 距离软管端部 3~5mm 处可靠夹紧； $\Delta 2$ 硬管与软管的插入深度为 20~30mm。

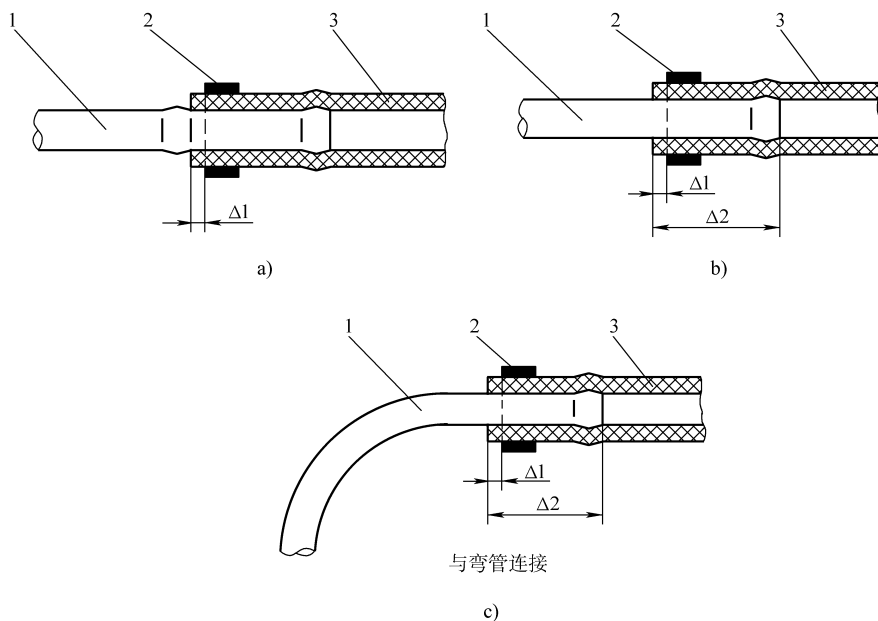


图 2-5 燃油管路的连接方法

1—硬管 2—管夹 3—软管

(2) 燃油管的拆卸与安装

1) 燃油管拆卸注意事项。在拧松或拆卸燃油管路以前,必须经过燃油减压程序,否则极易被管内的高压燃油所伤。

2) 燃油管的拆卸。

① 按燃油减压程序给供油管路减压。

② 用专用卡钳夹住夹箍,拆开管接头,如图 2-6 所示。

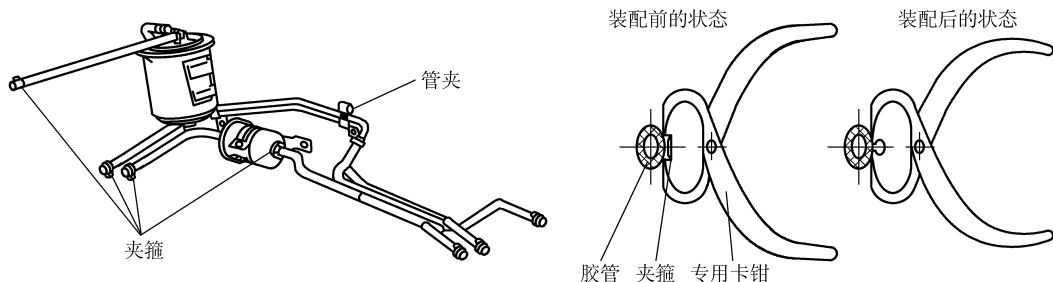


图 2-6 燃油管的拆卸

注意:在油管被拆开之后,可能会有少量燃油流出,为了避免拆卸时对人员造成伤害,应用布盖住要拆卸的接头,拆完后将布妥善处理,以免污染环境或引发火灾。

③ 在燃油管上标出夹箍的位置,便于过后安装。

④ 专用卡钳的使用方法:拆卸时,将卡钳口侧置于夹箍耳部,将其完全切断(注:此类夹箍是一次性的)。

3) 燃油管的安装

① 将燃油软管和硬管用夹箍连接起来。

② 将夹箍装在先前管上标示的位置。

③ 执行燃油泄漏检查程序,检查管子是否连接牢固,是否有漏油现象。

三、电动燃油泵的构造与维修

1. 电动燃油泵的构造与工作原理

(1) 电动燃油泵的构造 如前所述,电动燃油泵按照安装位置的不同可分为在线泵和在箱泵。在箱泵因其性能优越而得到更为广泛的应用。电动汽油泵总成,如图 2-7 和图 2-8 所示,由电动汽油泵泵芯及托架构成。

(2) 电动燃油泵的控制电路 电动燃油泵由蓄电池通过燃油泵继电器供电。燃油泵继电器由 ECU 控制闭合或断开。点火开关的钥匙放在点火位置时,电动燃油泵不一定通电。钥匙转到起动位置时,ECU 将燃油继电器闭合,电动燃油泵立即运转并连续供油。钥匙从起动位置转到点火位置时,电动燃油泵继续运转,这与起动前钥匙处在点火位置时的情形不同。因为,ECU 只有在发动机旋转的条件下才会令燃油继电器闭合。这样,可以杜绝发动机停止工作时还继续喷入燃油造成溢油的可能;在汽车发生事故、发动机熄火的情况下,可以防止燃油从可能已破损的燃油管流出。

(3) 电动燃油泵的组成 电动燃油泵由泵、电动机及泵盖三部分组成,如图 2-9 所示。按所涉及的不同应用场合,应采用不同原理的泵,这将在后面详细说明。

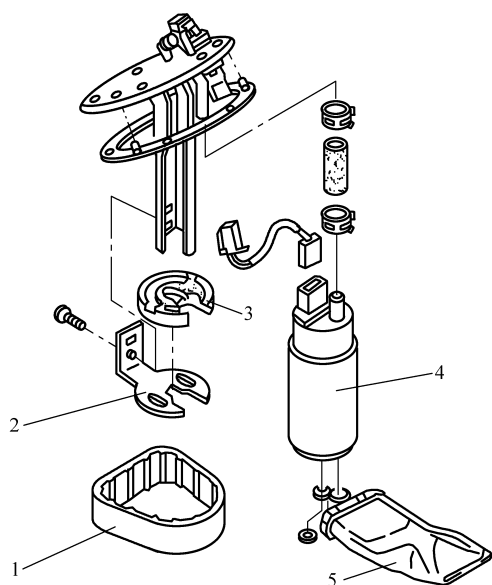


图 2-7 电动汽油泵总成图

- 1—橡胶圈 2—固定座 3—橡胶缓冲垫
4—电动汽油泵 5—滤网

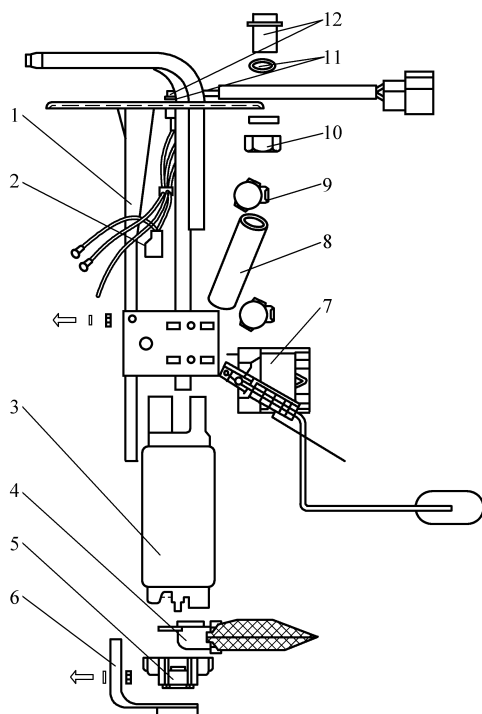


图 2-8 燃油泵总成（包含油位传感器）

- 1—铁支架组合件 2—线束接头 3—泵芯 4—滤网组合件
5—橡胶座 6—固定板 7—油位传感器 8—胶管 9—夹箍
10—螺母 11—密封圈 12—连接套

电动机由一个永久磁铁系统和一个电枢组成。其构造由特定的系统压力决定。泵盖上设有电接头、出油管接头和单向阀。单向阀用于在电动燃油泵停止运转以后仍使发动机燃油系统保持在一个给定的压力水平上。如果没有这个单向阀，那么在燃油系统中，高于常压的燃油将流回燃油泵和燃油箱而使系统泄压，系统中的燃油则因高温而汽化，生成蒸气气泡，造成气阻，此乃燃油系统之大忌。泵盖上还可设置抗无线电干扰的装置。

各种电动燃油泵都有一个共同的特点，即泵和电动机处在同一个燃油泵壳体里面，而且始终被燃油所包围。这就解决了润滑和电动机散热的问题，有利于提高电动机功率。此外，在泵和电动机之间也不需要复杂的密封装置。

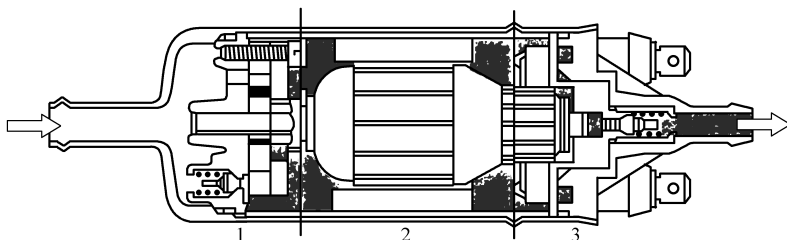


图 2-9 电动燃油泵

- 1—泵 2—电动机 3—泵盖

(4) 泵的类型及工作原理 用于间接喷射的电动燃油泵可分为变容泵和流动泵两类。

每一类泵又可分成两种。

1) 变容泵。变容泵是根据变容原理工作的。多点喷射系统中多数采用变容泵。

① 辊子泵 (图 2-10a)。这是变容泵的一种, 可产生高达 650kPa 的压力。一个开槽的转子偏心安装在一个燃油腔内。每个槽内设有有一个浮动的辊子。当转子旋转时, 离心力在刚建立起来的燃油压力帮助下迫使这些辊子朝外压在燃油腔周边的外辊子道上和转子槽的后侧面上。这样, 两个相邻的辊子和开槽的转子及燃油腔的外辊子道之间构成了一个密封的空腔, 而这两个辊子恰好起到密封的作用。燃油从进口 A 进入肾形进油道。密封腔形成之初与肾形进油道连通。随着转子的旋转, 密封腔容积不断扩大, 从进油道吸入燃油。最后, 肾形进油道与密封腔的通道将被切断, 密封腔的容积将不断缩小, 于是形成泵油作用, 密封腔中的燃油通过肾形出油道经转子上的小孔和出口 B 离开辊子泵, 再经电动机由高压侧的泵盖流出。

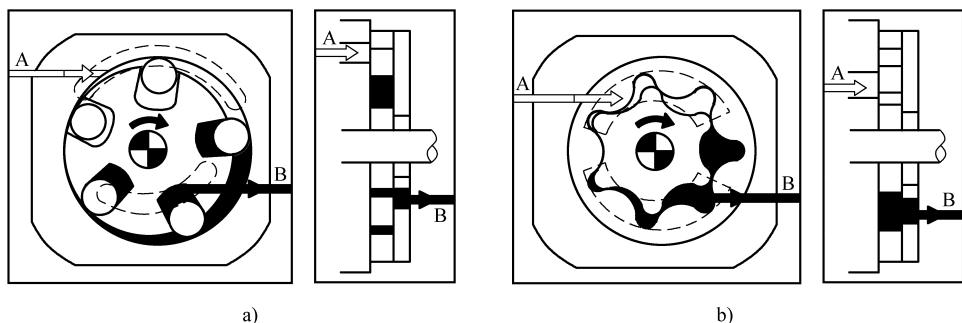


图 2-10 燃油泵的类型

a) 辊子泵 b) 内齿轮泵

② 内齿轮泵 (图 2-10b)。这也是一种变容泵, 可产生高达 400kPa 的压力。它由一个外齿轮和一个内齿轮组成。电动机驱动外齿轮, 内齿轮被外齿轮带动而旋转。因为内齿轮比外齿轮多一个齿, 所以旋转时两个齿轮之间所夹的空腔容积是变化的。在空腔容积增加期间, 空腔与肾形进油道连通。燃油被吸入。一旦转子转过最大容积点, 空腔就切断与肾形进油道的通道。接着, 空腔容积逐步缩小, 而且空腔与肾形出油道连通, 燃油便通过电动机和燃油出口流出。

2) 流动泵。流动泵是根据流体动力学原理工作的, 特别适用于必须尽可能避免噪声的场合。

① 圆周泵 (图 2-11a)。这是流动泵的一种。可产生高达 300kPa 的压力。它有一个叶轮, 围绕着叶轮的圆周装有许多叶片。泵的外壳被分成两个部分, 一条流道环绕着外壳整个圆周的叶片。旋转着的叶轮环内的叶片将泵出的液体加速, 往外甩入流道。在流道内, 速度能转变成压力能, 建立起几乎稳定的压力。这种液流实际上是没有脉动的, 因此它引起的振动与噪声较低。

② 侧面流道泵 (图 2-11b)。这也是一种流动泵, 可产生 100kPa 以下的压力。侧面流道泵的工作原理类似于圆周泵, 也是依靠离心力泵油的。两者的主要差别在于叶轮的设计不同。侧面流道泵的流道在叶轮的侧面, 由相邻两叶片围成, 而且叶片的数目较少。侧面流道泵产生的压力往往低于圆周泵, 所以适合于用作前置泵, 或称增压泵, 用于在双级泵中去除热燃油中可能产生的燃油蒸气泡, 或者使得燃油蒸气泡根本就不产生。在线泵因为无法像在

箱泵那样用旋流盆去除燃油蒸气气泡（图 2-2），所以必须用这种泵作增压泵。

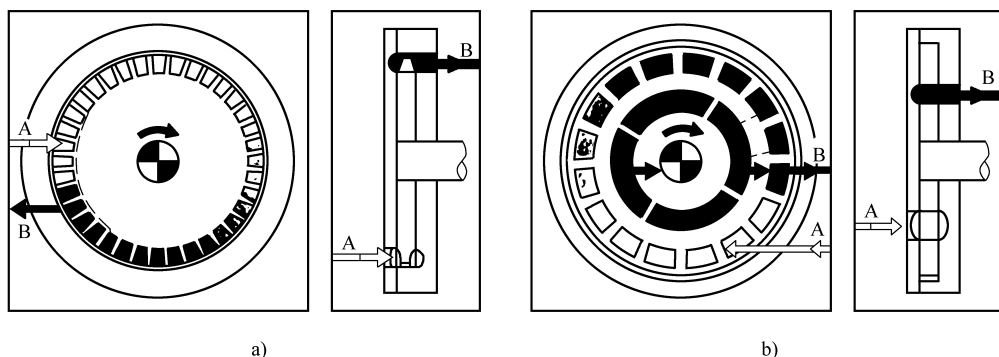


图 2-11 燃油泵的类型

a) 圆周泵 b) 侧面流道泵

(5) 单级泵与双级泵 早年的汽油喷射系统如博世公司的 K-Jetronic, L-Jetronic 和 KE-Jetronic 等都采用单级转子泵，如图 2-12 所示。后来为了去除燃油蒸气气泡，采用侧面流道泵作为增压泵，形成了双级泵，用于 Motronic 和 Mono-jetronic 等系统。

1) 单级泵。转子泵中转子 9 偏心地安装在泵体 7 内，滚柱 8 装在转子的凹槽中。当转子旋转时，滚柱在离心力的作用下紧压在泵体的内表面上。同时在惯性力的作用下，滚柱总是与转子凹槽的一个侧面贴紧，从而形成若干个工作腔。在汽油泵工作过程中，进油口 1 一侧的工作腔容积增大，成为低压吸油腔，汽油经进油口被吸入工作腔内。在出油口 6 一侧的工作腔容积减小，成为高压压油腔，高压汽油从压油腔经出油口流出。

限压阀 2 的作用是当油压超过 0.45MPa 时开启，使汽油回流到进油口，以防止油压过高损坏汽油泵。在出油口处装设单向止回阀 5，当发动机停机时，单向阀关闭，防止管路中的汽油倒流回汽油泵，借以保持管路中有一定的油压，目的是再启动发动机时比较容易。

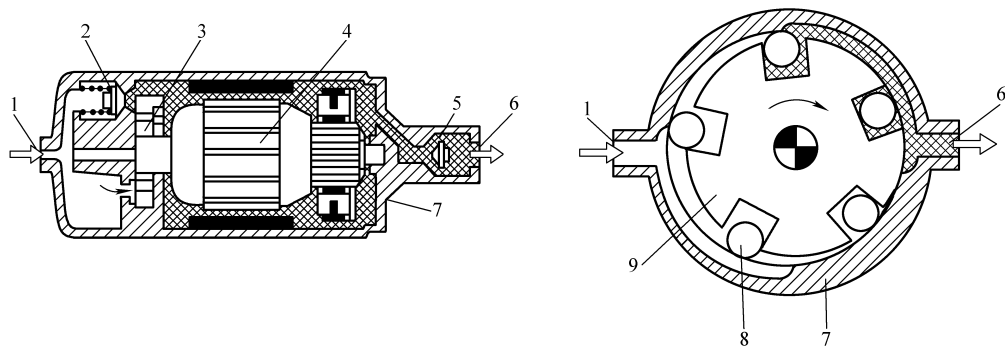


图 2-12 滚柱式电动汽油泵

1—进油口 2—限压阀 3—滚子泵 4—电动机电枢 5—单向止回阀 6—出油口 7—泵体
8—滚柱 9—转子

2) 双级泵。双级泵有以下两种：

① 内齿轮泵组成的双级电动燃油泵，这种泵的第一级为侧面流道泵，主级为内齿轮泵，如图 2-13 所示。

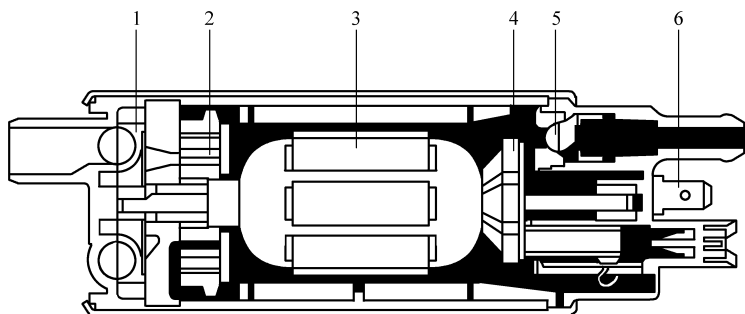


图 2-13 内齿轮泵组成的双级电动燃油泵

1—第一级（侧面流道泵） 2—主级（内齿轮泵） 3—电动机电枢 4—整流器 5—止回阀 6—电接头

② 圆周泵组成的双级电动燃油泵。这种泵的第一级也是侧面流道泵，主级为圆周泵，如图 2-14 所示。

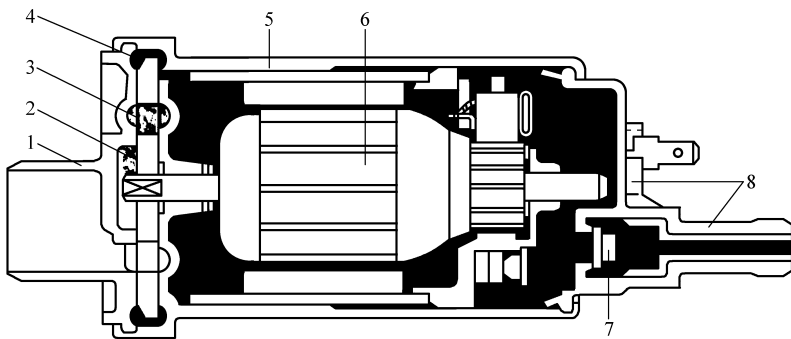


图 2-14 圆周泵组成的双级电动燃油泵

1—带进油管接头的进油盖 2—叶轮 3—第一级（侧面流道泵） 4—主级（圆周泵）
5—泵外壳 6—电动机电枢 7—止回阀 8—带出油管接头的端盖

2. 电动燃油泵的维修与故障诊断

(1) 电动燃油泵的拆卸 电动燃油泵的拆卸如图 2-8 所示。

- 1) 拆下铁支架组合件下端的螺母，依次取下固定板、橡胶座、滤网合件。
- 2) 用专用卡钳拆除两个夹箍。
- 3) 断开线束接头。
- 4) 向下取出泵芯、胶管。
- 5) 拆下线束尾端的同定螺母，拆开油位传感器。

(2) 电动燃油泵拆卸注意事项

- 1) 一般情况不要拆油位传感器，若确有需要，请特别注意与其相连的导线。
- 2) 拆油位传感器时，不要接触电阻板或损坏传动臂，否则可能导致油位器失灵。

(3) 电动燃油泵的安装

- 1) 先将油位传感器装在铁支架上（注意导线是否接好）。
- 2) 线束接头插入泵芯插孔，同时套紧带夹箍的胶管。
- 3) 夹好夹箍。
- 4) 依次将滤网、橡胶座、固定板装好，接着上紧螺母。
- 5) 执行燃油泄漏检查程序，检查管子是否连接牢固，燃油泵总成是否能正常工作。

(4) 电动燃油泵的故障诊断

1) 电动汽油泵的检修。电动汽油泵最常见的故障是泵内阀泄漏和电动机故障, 油泵磨损而使泵油压力不足也偶有发生。

① 就车油压检查法。用一跨接软线分别连接蓄电池 (+) 和汽油泵继电器“Fp”接柱, 使汽油泵工作, 测量输油管路中的油压。

a) 如果油压正常, 说明汽油泵、油压调节器均良好。

b) 如果油压偏高, 则一般为油压调节器不良。

c) 如果油压偏低, 则将油压调节器回油管拆下并将接口堵住, 再使汽油泵工作, 测量输油管中的油压。如果此时油压能达到正常值, 说明是油压调节器不良, 需更换油压调节器; 如果压力仍然偏低, 则为汽油泵安全阀或汽油泵本身不良。

d) 如果测量出油口压力为零, 则为汽油泵电动机不工作或油路堵塞。

② 测量电阻检查法。用万用表电阻挡测量汽油泵电动机电阻, 一般为 $0.5 \sim 3\Omega$, 如果电阻很大, 则说明电动机内部接触不良或有断路。

2) 汽油泵控制电路的常见故障及检查。

① 汽油泵不工作的原因。汽油泵不工作是造成发动机不能起动或起动后随即熄火的常见故障原因之一。造成汽油泵不工作的原因有。

a) 汽油泵电动机不能转动。

b) EFI 主继电器故障。

c) 汽油泵继电器故障。

d) 空气流量传感器汽油泵开关接触不良。

e) ECU 或转速传感器故障 (空气流量计不带汽油泵开关或 D 型 EFI 系统)。

f) 线路插接器松动、接触不良、熔丝烧断以及点火开关不良等。

② 故障的诊断方法。电动汽油泵的控制参见电路图, 可用如下方法确定故障的具体部位。

a) 用一导线将汽油泵检查插头跨接, 接通点火开关, 看汽油泵工作与否。

若汽油泵工作, 可判定为空气流量传感器汽油泵开关或汽油泵继电器至空气流量计之间的线路不良, 需检查空气流量传感器汽油泵开关能否通路。如果能通路, 则为有关线路问题, 检查线路和插接器; 如果不能通路, 则需更换空气流量传感器。

对于由 ECU 控制汽油泵的 EFI 系统, 则先检查转速与曲轴转角信号是否正常, 如果信号不正常, 需更换转速信号传感器; 如果信号正常, 线路连接也无问题, 则说明故障在 ECU。

若将汽油泵检查插接器跨接后汽油泵仍不工作, 则需作下一步检查。

b) 用万用表的电压挡测量检查插孔 + B 对地电压, 正常电压应为蓄电池电压。

若指示电压低或无电压指示, 则为汽油泵继电器前的电源电路有故障, 需检查有关的保险器、线路插接器以及点火开关等。

若电压正常, 则作下一步检查。

c) 用万用表电压挡测量检查插孔对地电压, 正常值也应为蓄电池电压。

若电压正常, 可判定为汽油泵及有关电路有故障。检查有关的线路, 如果无问题, 则说明故障在汽油泵。

若电压不正常,则需检查或更换汽油泵继电器。

四、燃油滤清器的构造与维修

1. 燃油滤清器的构造与作用

汽油喷射与化油器对燃油供给系统的要求有很大的差别。因为喷油器是一个高度精密的部件,容不得燃油中的一点杂质。燃油中的固体微粒会引起磨损,水分会导致锈蚀和鼓胀,因此必须用专门的滤清器去除之。

滤清器通过一系列效应去除固体微粒,诸如过滤、扩压、撞击和阻塞。这些单独作用的过程的过滤或阻留效率与微粒尺寸和通流速度有关。滤清器的厚度(取决于微粒在滤清器材料中逗留的时间)是与这些因素相关的。

当受污染的液体流过滤清器时,杂质微粒沉积在滤清器表面,累积起来形成一层结构极细的“滤泥”,且随着时间的推移而增厚。这层滤泥具有阻留特性,如同实际的过滤材料一样。所以,只有在形成滤泥之后才能达到最大过滤效率。

与毛毡滤清器和流线式(又称盘式)滤清器相比,纸是滤清器的最佳材料。从纸纤维中加工出纸纤毛,并且浸透树脂类物质。纸纤毛以一种特别的方式与燃油通路融合成一体,使得燃油尽可能以相同的速度流过滤清器的每一个表面。定期更换燃油滤清器可确保汽油喷射系统有效地防止燃油污染和磨损。

图2-15所示为一种燃油滤清器的构造。燃油滤清器的寿命通常在汽车行驶30000~80000km,视燃油污染程度和滤清器容积而定。

2. 燃油滤清器的维修

(1) 燃油滤清器总成拆卸

- 1) 按燃油减压程序给供油管路减压。
- 2) 在燃油滤清器总成的正下方放一个接油的容器。
- 3) 用专用卡钳拆下燃油滤清器总成两端的一次性夹箍,拔出软管,如图2-16所示。
- 4) 松开支架上的螺栓,取下燃油滤清器总成。

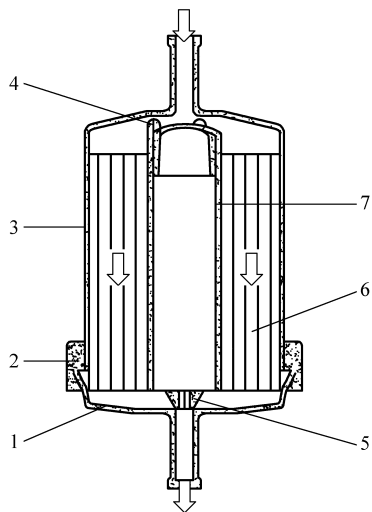


图 2-15 燃油滤清器

1—滤清器盖 2—密封圈 3—滤清器外壳
4—塞头 5—支承肋板 6—纸质滤芯 7—纸管

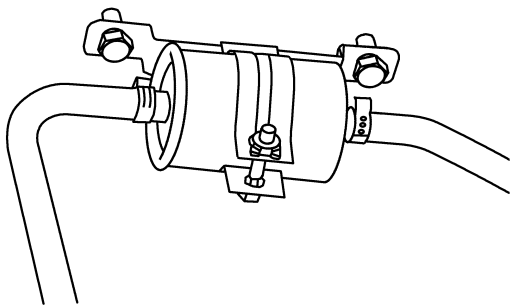


图 2-16 燃油滤清器拆装示意图

(2) 燃油滤清器总成安装

- 1) 将新的燃油滤清器总成卡进支架圈内。
- 2) 将套有新夹箍的软管接上燃油滤清器总成两端，用专用卡钳上紧夹箍。
- 3) 上紧支架上的螺栓。
- 4) 执行燃油泄漏检查程序，检查管子是否连接牢固，是否有漏油现象。

五、燃油分配管（油轨）的构造与维修

燃油分配管功用是将汽油均匀、等压地输送给各缸喷油器。由于它的容积较大，故有储油蓄压、减缓油压脉动的作用。在多点喷射的场合，所有的喷油器都直接与燃油分配管相连接，并从那里得到燃油供应，油轨总成如图 2-17 所示。除了喷油器以外，通常燃油分配管上还装有燃油压力调节器，有的还装有燃油压力阻尼器。

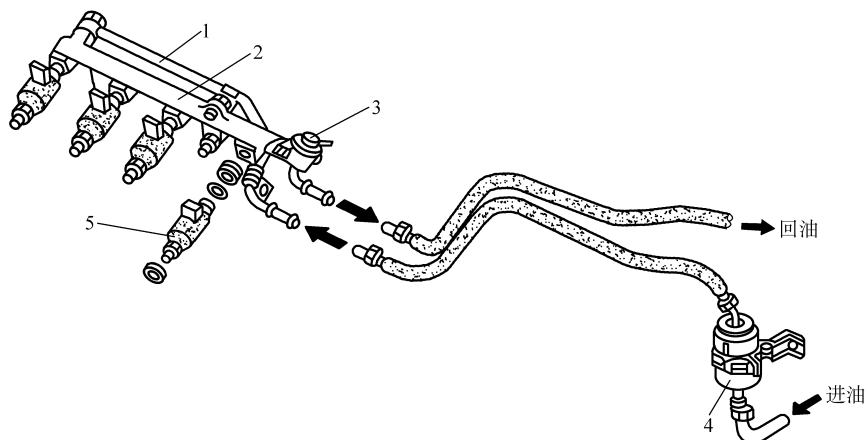


图 2-17 油轨总成

1—进油管 2—燃油分配管 3—油压调节器 4—汽油滤清器 5—喷油器

燃油分配管的尺寸要经过仔细的考虑，以防止局部的燃油压力波动，否则会由于喷油器开启与关闭时产生的扰动引起共振而触发这种压力波动。这样，才能防止喷油量因压力波动而受影响，引起发动机负荷和转速的改变。根据特定的车型及其特殊要求，燃油分配管可用钢、铝合金或塑料制成。

燃油分配管也可以包含一个与它做成一体的检测阀，用于维修时泄放压力以及检测。

多点喷射的喷油器按燃油进入部位的不同而分成顶注式和底注式，如图 2-18 和图 2-19 所示。顶注式喷油器从顶部进油，只有顶部插入燃油分配管，喷油器其余部分突出在燃油分配管外面，如图 2-18 所示。喷油器底部安装在进气歧管上，燃油分配管并不直接与进气歧管连接。底注式喷油器从侧面进油，整个喷油器插入燃油分配管，浸没在流动的燃油中，如图 2-20 所示。燃油分配管本身直接安装在进气歧管上。喷油器或者用锁夹，或者用燃油分配管上罩住电接头的盖罩固定在燃油分配管上。这种结构使喷油器冷却得较好，且安装高度较低。

六、燃油压力调节器构造与维修

1. 多点喷射燃油压力调节器构造与工作原理

多点喷射燃油压力调节器装在燃油分配管的末端，如图 2-18 和图 2-19 所示。燃油压力调节器的功能不是使燃油分配管和喷油器内的燃油压力（两者相等）保持恒定不变，而

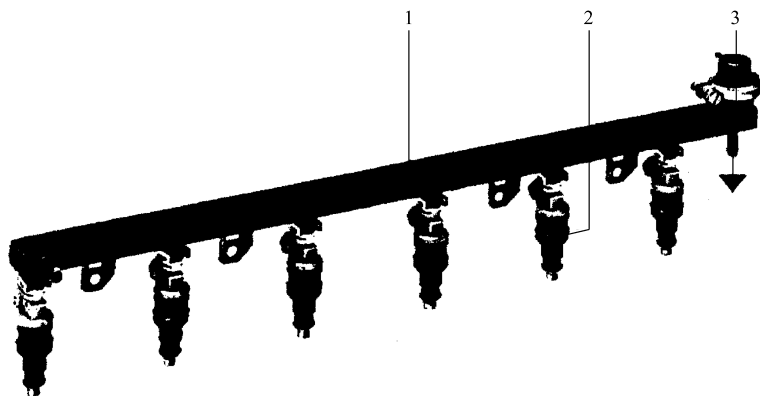


图 2-18 安装顶注式喷油器的燃油分配管

1—燃油分配管（油轨） 2—顶注式喷油器 3—燃油压力调节器

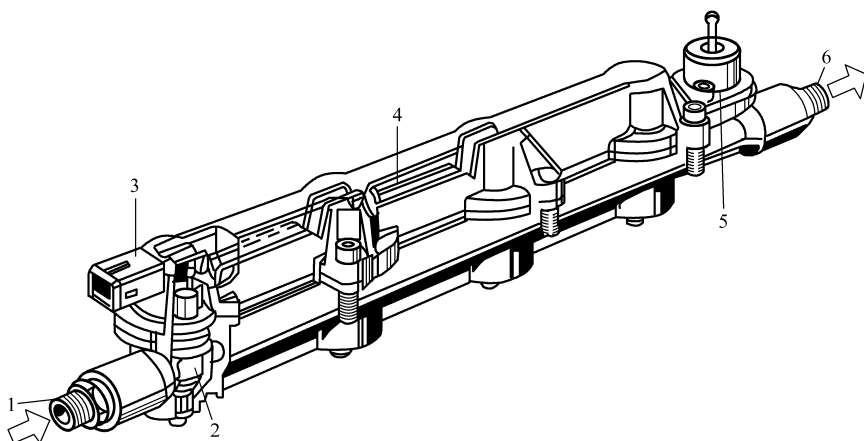


图 2-19 安装底注式喷油器的燃油分配管

1—进油口 2—底注式喷油器 3—电接头 4—供电接触轨 5—燃油压力调节器 6—回油口

是使燃油供给系统的压力与进气歧管压力之差值保持恒定不变。

多点喷射燃油压力调节器的构造如图 2-20 所示，薄膜 4 将燃油压力调节器分隔成上、下两个腔。上腔内有弹簧 2，并用软管与进气歧管相连接。下腔内充满从燃油分配管经过进油口 6 流入的燃油。柔性的薄膜由橡胶—纤维制成，它可变形而带动阀座 3，使阀 5 开启或关闭，但因其变形量很小，弹簧 2 的作用力可认为保持恒定，所以阀 5 的启闭主要由下腔的燃油压力与上腔的进气歧管压力之差决定。假定起初阀 5 关闭，后来发动机负荷减小，进气歧管压力减小，上述的压力差增大，直到薄膜被燃油压力顶起，阀 5 开启，燃油通过回油口 7 泄流，燃油压力下降，直到阀 5 关闭。如此，使得燃油压力与进气歧管压力之差在任何负荷下都保持恒定不变，如图 2-21 所示。

燃油供给系统的压力与进气管压力之差由油压调节器中的弹簧 2 的弹力限定，调节弹簧预紧力即可改变两者的压力差，也就是改变喷油压力。

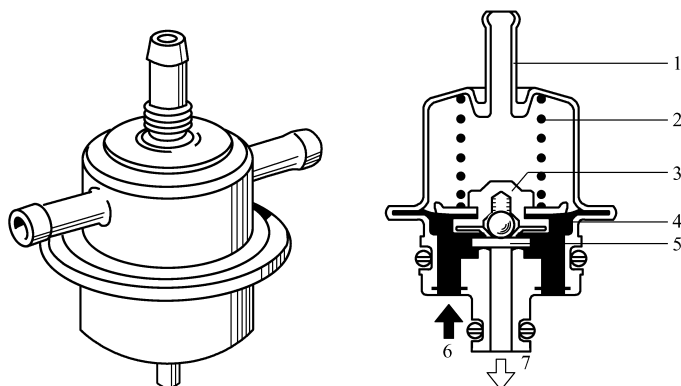


图 2-20 多点喷射燃油压力调节器

1—进气歧管接头 2—弹簧 3—阀座 4—薄膜 5—阀 6—进油口 7—回油口

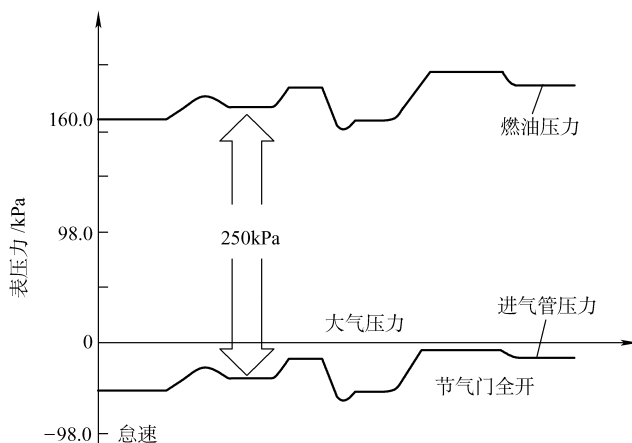


图 2-21 油压调节器调节工作示意图

2. 多点喷射燃油压力调节器的维修

检测发动机运转时汽油管路内的油压，可以判断电动汽油泵或油压调节器有无故障，汽油滤清器是否堵塞等。检测汽油压力时，应准备一个量程为 1MPa 左右的油压表及专用的油管接头，按下列步骤检测汽油压力。

(1) 油压表的安装

1) 将汽油系统卸压。起动发动机，在发动机运转时拔下电动汽油泵继电器（或拔下电动汽油泵电源插头），待发动机自行熄灭后，再转动起动开关，起动发动机 2~3 次，汽油压力即可完全释放，然后关闭点火开关，装上电动汽油泵继电器（或插上电动汽油泵电源接线）。

2) 拆下蓄电池负极搭铁线。

3) 拆除冷起动喷油器油管接头螺栓（拆开螺栓时，要用一块棉布包住油管接头，以防汽油喷溅），将油压表和油管一起安装在冷起动喷油器油管接头上，如图 2-22a 所示。

油压表也可以安装在汽油滤清器油管接头、汽油总管接头或用三通接头接在汽油管道上便于安装和观察的任何部位,如图 2-22b 所示。

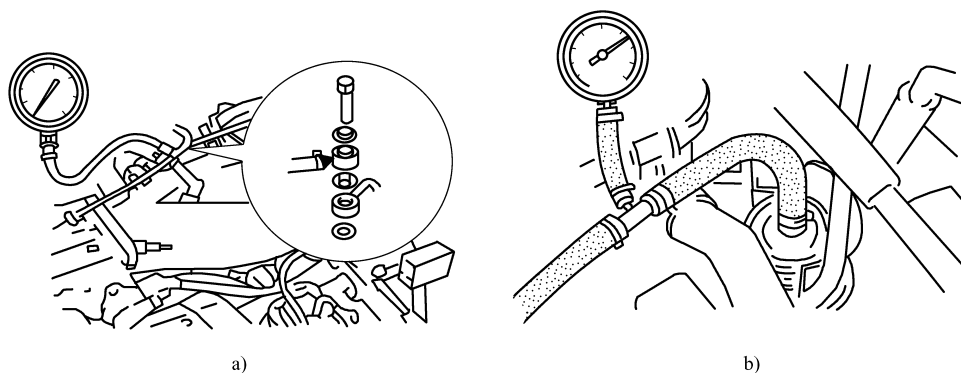


图 2-22 油压表的安装

a) 油压表装在喷油器接头上 b) 油压表装在滤清器油管接头上

4) 擦干溅出的汽油。

5) 重新装上蓄电池负极搭铁线。

(2) 汽油系统静态油压的测量

1) 用一根短导线将电动汽油泵的两个检测插孔跨接。

2) 打开点火开关(但不要起动发动机),让电动汽油泵运转。

3) 测量汽油压力。其正常油压应为 300kPa 左右。若油压过高,应检查油压调节器;若油压过低,应检查电动汽油泵、汽油滤清器和油压调节器。

4) 拔掉电动汽油泵检测插孔的跨接线,关闭点火开关(OFF)。

(3) 汽油系统保持压力的测量 静态油压结束 5min 后,再观察油压表指示的油压。此时的压力称为汽油系统保持压力,其值应 $\geq 147\text{kPa}$ 。若油压过低,应进一步检查电动汽油泵、油压调节器及喷油器有无故障。

(4) 发动机运转时汽油压力的测量

1) 起动发动机。

2) 让发动机怠速运转,测量此时的汽油压力,如图 2-23a 所示。

3) 缓慢开大节气门(踩下加速踏板),测量在节气门接近全开时的汽油压力。

4) 拔下油压调节器上的真空软管,并用手堵住,如图 2-23b 所示。让发动机怠速运转,测量此时的汽油压力。该压力应和节气门全开时的汽油压力基本相等。

不同车型汽油系统的汽油压力各不相同。测得油压过高,应检查油压调节器及其真空软管;若测得的油压过低,则应检查电动汽油泵、汽油滤清器及油压调节器。

(5) 电动汽油泵最大压力和保持压力的测量

1) 将汽油系统卸压。

2) 拆下蓄电池负极搭铁线。

3) 将油压表接在汽油管路上,并将出口口塞住,如图 2-24 所示。

4) 接上蓄电池负极搭铁线。

5) 使用一根导线将电动汽油泵的两个检测插孔跨接。

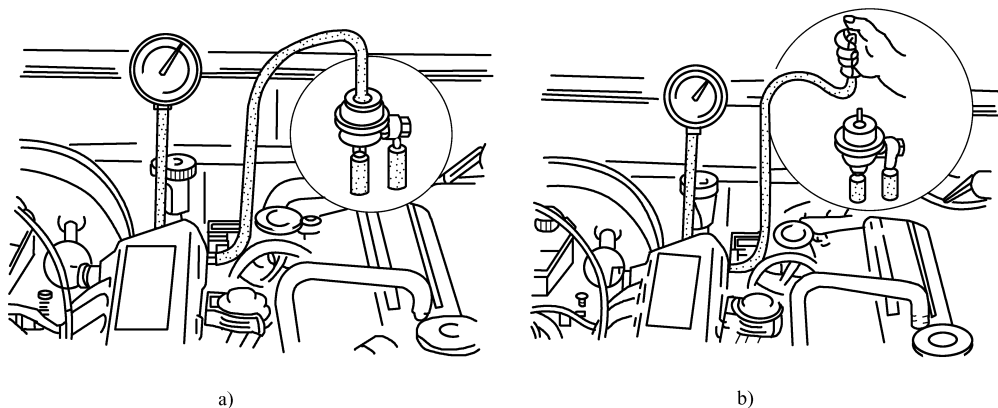


图 2-23 汽油压力的测量

a) 测量怠速及节气门全开时的燃油压力 b) 测量拔下油压调节器真空软管后的燃油压力

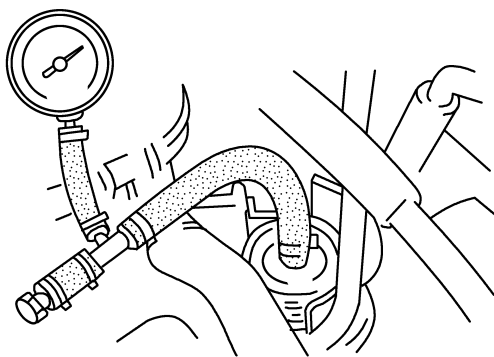


图 2-24 电动汽油泵最大压力和保持压力的测量

6) 打开点火开关, 持续 10s 左右 (不要起动发动机), 使电动汽油泵工作, 同时读出油压表的压力, 该压力称为汽油泵的最大压力。它应当比发动机运转时的汽油压力高 200 ~ 300kPa, 通常可达 490 ~ 640kPa。如不符合标准值, 应更换电动汽油泵。

7) 关闭点火开关, 5min 后再观察油压表的压力, 此时图 2-24 所示的电动汽油泵最大压力称为汽油泵的保持压力。其值应 $>340\text{kPa}$ 。如不符合标准压力的测量值, 应更换电动汽油泵。

8) 拆下油压表。

(6) 油压调节器保持压力的测量 当汽油系统保持压力不符合标准值 ($<147\text{kPa}$) 时, 应作此项检查, 以便找出故障原因。其检查方法是:

- 1) 将油压表接入汽油管路上。
- 2) 用一根短导线将电动汽油泵的两个检测插孔跨接。
- 3) 打开点火开关 (ON), 并保持 10s, 让电动汽油泵运转。
- 4) 关闭点火开关 (OFF), 拔去电动汽油泵检测插孔上的跨接导线。
- 5) 用包上软布的钳子将油压调节器的回油管夹紧。

6) 5min 后观察汽油压力, 该压力称为油压调节器保持压力。如果压力仍然低于汽油系统保持压力的标准 (147kPa), 则说明汽油系统保持压力过低的故障不在油压调节器; 相反, 若此时压力 $>147\text{kPa}$, 则说明油压调节器有泄漏, 应更换。

7) 拆下油压表。

(7) 拆卸油压表 油压表的拆卸应该在测量完汽油压力后, 按下列拆卸油压表拆卸油压表。

- 1) 释放汽油系统的油压。
- 2) 拆下蓄电池负极搭铁线。
- 3) 拆下油压表。
- 4) 重新装好油管接头。
- 5) 接好蓄电池负极搭铁线。
- 6) 预置汽油系统的油压。
- 7) 检查油管各处有无漏油。

检修前注意事项: 松开连接部位前, 要清洗该部位及周围; 拆下的零件要放到干净的地方, 并仔细盖好; 严禁使用掉纤维的抹布, 严禁烟火; 松开连接部位时, 为避免汽油喷溅, 要在各连接部位周围放上抹布; 蓄电池电压及油泵工作正常。

七、燃油压力阻尼器

燃油系统的压力可能由于以下两个原因而波动: 喷油器的开启与关闭是周期性的; 用作电动燃油泵的变容泵是周期性出油的。

燃油系统的压力波动带来振动和噪声。在情况不好时, 电动燃油泵支架、燃油管和燃油分配管能把这种振动传递给汽车车身和发动机, 引起噪声。燃油压力阻尼器正是为了防止这种振动和噪声而设置的。

燃油压力阻尼器的作用就是减小燃油管路中油压的脉动和脉动噪声, 并能在发动机停机后保持油路中有一定的压力, 以利于发动机重新起动。

燃油压力阻尼器的结构如图 2-25 所示, 膜片 3 将缓冲器分成空气室 6 和燃油室 7 两部分。当发动机工作时, 燃油从进油口 1 流进燃油室, 由出油口 8 流出。压力脉动的燃油使膜片弹簧 4 或张或弛, 燃油室的容积则或增或减, 从而消减了油压的脉动。发动机停机后, 膜片弹簧推动膜片向上, 将燃油挤出燃油室, 以保持管路中有一定的油压。

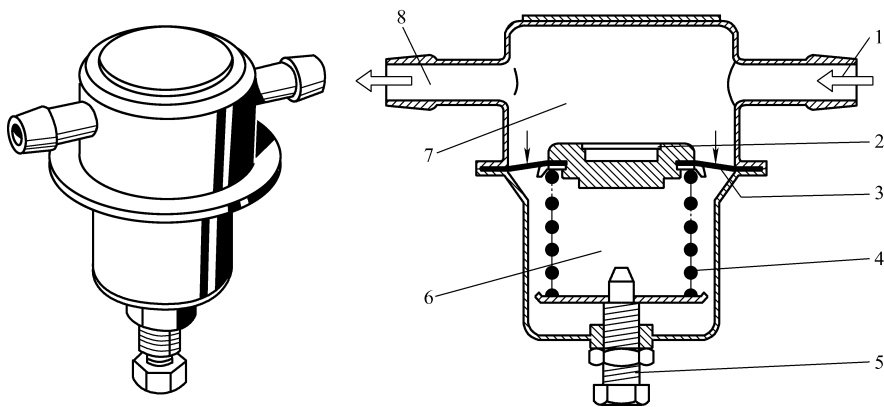


图 2-25 燃油压力阻尼器

1—进油口 2—膜片座 3—膜片 4—膜片弹簧 5—调节螺钉 6—空气室 7—燃油室 8—出油口

燃油压力阻尼器可装在燃油分配管上,也可装在回油管上。

八、喷油器的构造与维修

1. 喷油器的分类

(1) 按喷油器控制方式分 按喷油器控制方式的不同可分为压力控制型喷油器和电磁控制型喷油器两种。

压力控制型喷油器与柴油机喷油器相仿,依靠燃油压力开启。当压力低于某一水平时,喷油器关闭。但是这一压力比柴油机喷油压力低几十到几百倍,这种喷油器已被淘汰。一个典型的实例是博世公司的电子控制的机械—液力连续喷射系统 KE-Jetronic 中采用的喷油器。

除了 KE-Jetronic 以外,其他电子控制汽油喷射系统几乎无一例外地采用了电磁控制型喷油器。其特点是依靠电磁线圈通电后吸动针阀开启喷油器,故又称电磁喷油器。其针阀只有升起与落下两个状态,针阀升程不可调节,ECU 通过调节提供给电磁线圈的电脉冲的宽度即喷油器开启的时间来控制燃油定量。这一特点决定了电磁控制型喷油器只能用于间歇喷射。这种喷油器的具体构造如图 2-26 所示。

(2) 按喷油地点分 按喷油地点可分为直接喷射和间接喷射两种。

1) 直接喷射,这种喷油器直接将燃油喷入气缸,燃油压力高达 5.0MPa 左右,甚至达到 12MPa,耐热要求较高。

2) 间接喷射,燃油喷在进气门前(多点喷射)或节气门前(单点喷射)。

(3) 按喷油器数量分 按喷油器数量可分为多点喷射和单点喷射两种。

1) 多点喷射,一个喷油器只为一个缸工作,每个工作循环只喷一次或两次。

2) 单点喷射,一个喷油器为三个或四个缸工作,每个工作循环的喷油次数与缸数相同,而且喷油器与燃油压力调节器装在一起。这是一种电磁喷油器。

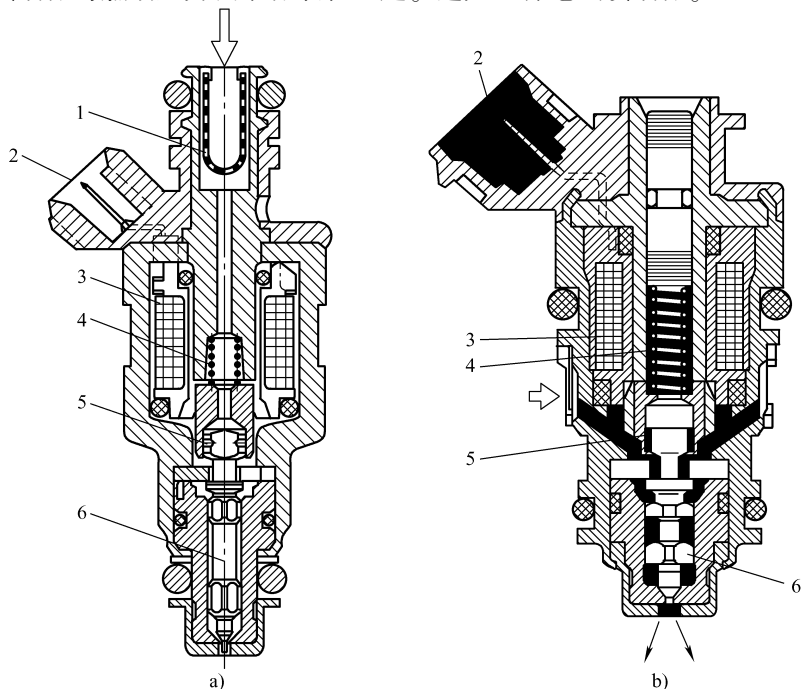


图 2-26 电磁控制型喷油器构造

a) 顶注式喷油器 b) 底注式喷油器

1—滤网 2—电接头 3—电磁线圈 4—复位弹簧 5—衔铁 6—针阀

(4) 按燃油进入的部位分 按燃油进入的部位可分为顶注式喷油器和底注式喷油器两种。

顶注式喷油器,顾名思义,顶注式喷油器中燃油从喷油器顶部进入,从底部喷出,没有多余的燃油从喷油器返回燃油分配管,如图 2-26a 所示。其顶部借助于 O 形圈的密封作用插入燃油分配管,用于多点间接喷射。

底注式喷油器,名不副实,因为燃油其实并不是从底部进入,而是从一侧进入喷油器,从底部喷出,多余的燃油从另一侧离开,如图 2-26b 所示。该喷油器用于多点间接喷射。底注式喷油器几乎完全埋入燃油分配管。喷油器或者用锁夹,或者用供电接触轨的盖罩固定在油轨上。两个 O 形密封圈阻止了燃油泄漏。这种组合式设计的优点是,由于有多余的燃油从喷油器内部流过,且喷油器浸没在燃油分配管中,喷油器冷却得比较好,所以热起动性能好,对热发动机的驱动响应性好。

2. 电磁喷油器工作原理

喷油器的功用是按照电控单元的指令将一定数量的汽油适时地喷入进气道或进气管内,并与其中的空气混合形成可燃混合气。

电控喷油器结构是一个电磁开关的球阀装置。线圈引出两极经过发动机线束与 ECU 和电源相连;线圈受 ECU 控制对系统搭铁导通后,产生磁力克服弹簧力、燃油的压力和歧管的真空吸力,吸起阀芯,燃油就穿过阀座孔,从导向孔喷出,雾状地喷到进气门处;断电后,磁力消失,在弹簧力及燃油压力的作用下,喷油器关闭。喷油器的顶部采用橡胶密封圈与燃油导轨接口形成可靠压力燃油密封;下部亦采用橡胶密封圈与发动机进气歧管对空气密封。

喷油器的构造如图 2-26 所示。不论是顶注式还是底注式,喷油器都是由电磁线圈、衔铁、针阀、复位弹簧及喷油器体等主要零件构成。底注式喷油器多用于节气门体汽油喷射系统。喷油器相当于电磁阀,通电时电磁线圈 3 产生电磁力,将衔铁 5 及针阀 6 吸起,喷油器开启,汽油经喷孔喷入进气道或进气管。断电时电磁力消失,衔铁及针阀在复位弹簧 4 的作用下将喷孔关闭,喷油器停止喷油。喷油器可以有 1、2 或 3 个喷孔,分别用于双气门、四气门和五气门发动机。

喷油器的通电、断电由电控单元(图 2-27a)控制。电控单元以电脉冲的形式向喷油器输出控制电流。当电脉冲从零升起时,喷油器因通电而开启;电脉冲回落到零时,喷油器又因断电而关闭。电脉冲从升起回落到持续的时间称为脉冲宽度。若电控单元输出的脉冲宽度窄,则喷油持续时间短,喷油量少(图 2-27b);若电控单元输出的脉冲宽度长,则喷油持续时间长,喷油量多(图 2-27c)。一般喷油器针阀升程约为 0.1mm,而喷油持续时间在 2~10ms 范围内。

3. 喷油器的驱动方式

喷油器按其电磁线圈的驱动方式不同分为电压驱动式和电流驱动式两种。电压驱动式喷油器是指电控单元驱动喷油器喷油的电脉冲的电压是恒定的。这种喷油器有低电阻型和高电阻型之分。低电阻型电压驱动式喷油器用 5~6V 电压驱动,其电磁线圈的电阻约 3~4 Ω ,不能与 12V 电源直接连接,否则会烧坏电磁线圈。高电阻型电压驱动式喷油器用 12V 电压驱动,其电磁线圈的电阻约为 12~16 Ω ,检修时可直接与 12V 电源连接。电流驱动式喷油器的驱动电脉冲开始时用较大的电流,使电磁线圈产生较大的电磁力,以便将针阀迅速吸

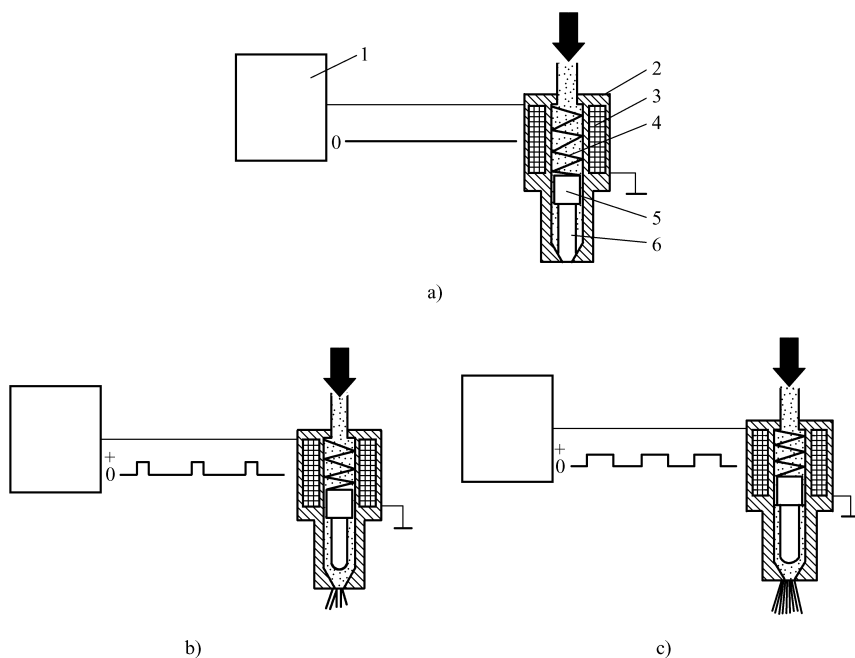


图 2-27 喷油器工作原理示意图

a) 发动机停机时无电脉冲输出 b) 短脉冲宽度 c) 长脉冲宽度

1—电控单元 2—喷油器体 3—电磁线圈 4—复位弹簧 5—衔铁 6—针阀

起，随后再用较小的电流保持针阀的开启状态。这种喷油器为低电阻型，其电磁线圈的电阻一般为 $2 \sim 3\Omega$ 。

4. 电磁喷油器油量控制及性能特点

(1) 电磁喷油器油量控制 电磁喷油器的构造，以多点喷射的喷油器为例，如图 2-26a 所示。显然，该图所示为顶注式喷油器。燃油经滤网过滤后进入过滤器。由于回位弹簧 4 的压力，不通电时针阀 6 紧压在阀座上，燃油不能喷出。一旦 ECU 通过电接头将电脉冲送到电磁线圈 3，衔铁 5 就被吸动，带着针阀升起 $0.06 \sim 0.1\text{mm}$ 。燃油便从针阀和阀座之间的空隙流出。

电磁喷油器油量为：

$$\dot{m}_f = S_m \cdot \alpha_m \sqrt{2\rho_f \Delta P_m} \quad (2-1)$$

式中， $\dot{m}_f$ 为燃油质量流量； S_m 为的空隙截面积； α_m 为燃油流过该空隙时的流量系数； ρ_f 为燃油密度； ΔP_m 为空隙两端的压力差，即燃油压力与进气歧管的压力差，由燃油压力调节器保持恒定。

当电磁线圈将针阀吸起时，针阀最终被衔铁挡住而到达极限位置。针阀不会在中间的某一位置停住。所以式 (2-1) 中的 S_m 、 α_m 都是常数。 ΔP_m 由燃油压力调节器保持恒定。结果， $\dot{m}_f$ 是一个常数，每次供油量为：

$$m_f = T_i \cdot \dot{m}_f \quad (2-2)$$

ECU 只要控制电脉冲的宽度 T_i 便能控制燃油定量，而这是计算机很容易实现的。反过来，如果 ΔP_m 不保持恒定， $\dot{m}_f$ 便不是常数，ECU 就难以控制燃油定量了。

但是电磁线圈刚开始通电时, S_m 、 α_m 都不是常数, m_f 也不是常数, 且刚通电时针阀不会立即响应, 这是一个过渡过程。电磁线圈通电前, 针阀在重力、回位弹簧作用力及燃油压力作用下, 压紧在阀座上。根据楞次定律, 通电后电磁线圈 3 的磁场是逐步建立的, 它对衔铁的吸引力是逐步增大的。当吸引力超过衔铁与针阀 6 的重力、回复位弹簧 4 的作用力、燃油压力以及摩擦力的合力时, 针阀才开始升起并加速, 所以喷油器的开启滞后于电脉冲的发送。断电后磁场逐步减弱, 吸引力逐步减小, 最后当重力、弹簧力和燃油压力的合力超过电磁线圈四对衔铁的吸引力和摩擦力的合力时, 针阀才开始复位并加速, 所以喷油器的关闭同样滞后于电脉冲的切断。为了缩短过渡过程, 提高燃油定量的精度, 喷油器针阀质量越小越好。

(2) 电磁喷油器性能特点 图 2-28 所示为电磁喷油器喷油量与电脉冲宽度之间的关系。理想流量特性曲线的斜率反映了喷油器流量 $\dot{m}_f$ 的大小。喷油器是间歇喷油的, 每次启闭都存在一个过渡过程。

由图 2-28 可以看出, 实际的喷油起点比理想的喷油起点 (即电脉冲起点) 滞后, 喷油器开启过程持续 $1.5 \sim 1.8\text{ms}$, 使实际喷油量低于理想喷油量。实际的喷油终点也比理想的喷油终点 (即电脉冲终点) 滞后, 这段时间内 ECU 已指令停止喷油, 但实际上还在喷油。两者相抵的结果, 尚需延长喷油电脉冲以补偿差额。由于升高蓄电池电压能较多地缩短喷油器开启的过渡过程, 但对关闭过渡过程的影响较小, 所以蓄电池电压较高时喷油电脉冲需要的延长量较小。由图 2-28 还可看出, 随着针阀质量的减小, 过渡过程越来越缩短。

喷油器流量 $\dot{m}_f$ 应既能满足怠速时最小值的要求, 又能满足全负荷时最大值的要求, 而且其工作点应落在图 2-28 的线性范围内。

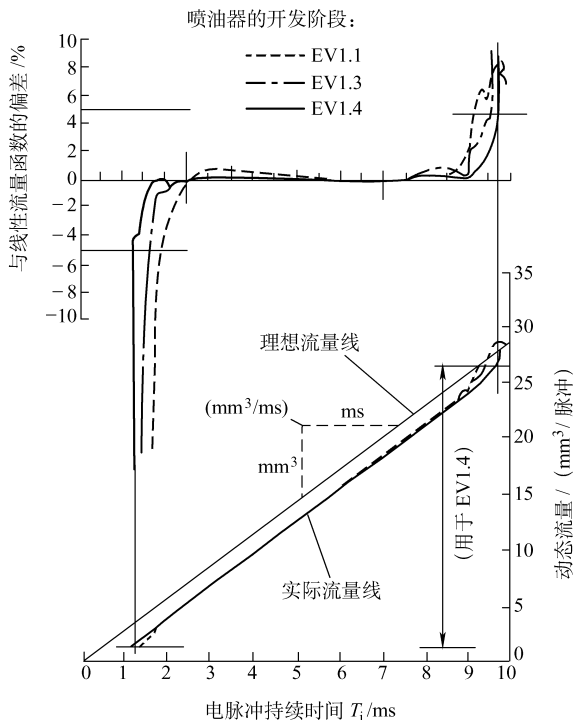


图 2-28 电磁喷油器喷油量与电脉冲宽度之间的关系

由于喷油器流量特性曲线在喷油器开启和关闭阶段为非线性，并且在非线性区域的流量特性很不一致，所以喷油时间不能任意地小，否则在同样的软件控制下，不同喷油器提供的燃油量会有很大差别。另一方面，喷油时间又不能太长，因为它受到发动机转速的限制。但是通常要求在同样的发动机转速下最大和最小许用喷油量之比应为 10:1 左右。

5. 喷油器定量孔和油束的类型

喷油器定量孔有四种类型，相应地有四种油束，如图 2-29 所示。

(1) 轴针式喷油器 这种喷油器针阀的端部有一个细小的轴针。轴针从阀体端部的小孔伸出，与阀体形成一个环形孔隙，故又称环隙式喷油器。环形孔隙构成了经过校准的喷油器出油孔。轴针下端加工成脱流缘，使得燃油在此处得到良好的雾化，并且以锥形油束喷出，锥角为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

(2) 单孔式喷油器 单孔式喷油器没有轴针，代之以一块很薄的喷孔板，板上开有一个经过校准的小孔。喷出的油束成线状，非常细小，但是雾化是四种类型中最差的。

(3) 多孔式喷油器 多孔式喷油器也有一块很薄的喷孔板。与单孔式不同的是，这块喷孔板上有多个（例如 4 个）经过校准的小孔。喷出的油束组合成一个锥形，与轴针式喷油器差不多，但雾化质量中等。

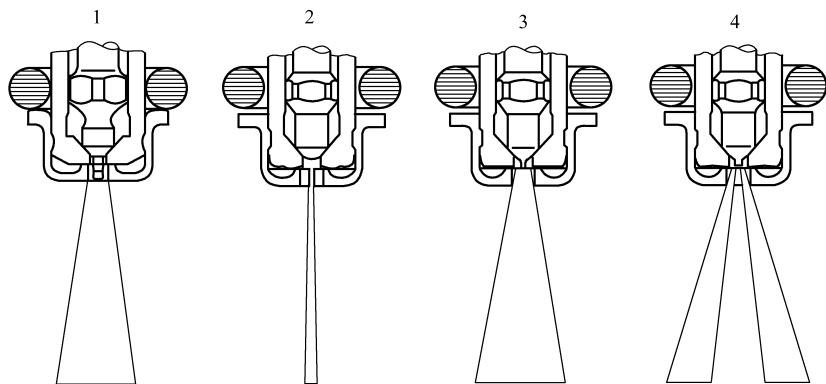


图 2-29 喷油器定量孔和油束的类型

1—轴针式（环隙式，锥形油束） 2—单孔式（线状油束）
3—多孔式（单锥油束） 4—双孔式（双锥油束）

(4) 双孔式喷油器 双孔式喷油器其实是在单孔式喷油器的前面装一个分流元件，形成双锥油束。在多气门发动机里可利用这种喷油器将燃油同时喷到同一气缸的两个进气门前面，同时控制进入两个相应进气道的空气量，使两个进气道中生成的混合气具有不同的浓度，借此实现分层进气和稀薄燃烧。

四种类型定量孔和油束的比较如下：

1) 从减少进气系统油膜凝结的角度出发，单孔式喷油器喷出的线状油束最为有利。

2) 从提高雾化质量的角度来看,轴针式喷油器最好,多孔式次之,单孔式最差。

3) 为了满足多气门发动机同时往两个进气门喷油的要求,双孔式喷油器最合适。

6. 冷起动喷油器

冷起动喷油器发动机冷起动时气缸壁温度很低,混合气中的一部分燃油会凝结在缸壁上,所以要额外地多喷燃油以使发动机容易起动。在电子控制的连续喷射系统中,冷起动时额外地多喷的燃油只能由专门的冷起动喷油器提供,其构造如图 2-30 所示。

冷起动喷油器是一种电磁阀。不通电时回位弹簧将阀 3 压靠在阀座 6 上使喷油器关闭。阀 3 其实是一个电磁衔铁,通电时电磁线圈 4 吸引阀 3,克服弹簧力将它升起,燃油通过开启的阀座 6 流入涡流喷嘴 5。涡流喷嘴使燃油旋转,燃油得到极好的雾化。

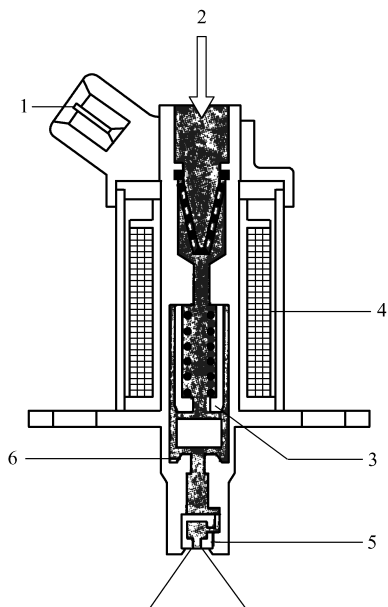


图 2-30 开启状态的冷起动喷油器

1—电接头 2—带滤网的进油口 3—阀（电磁衔铁）

4—电磁线圈 5—涡流喷嘴 6—阀座

7. 喷油器的维修

(1) 喷油器常见故障及影响 喷油器是汽油喷射系统中故障较多的部件之一,喷油器常见的故障及影响见表 2-1。

表 2-1 喷油器常见故障及影响

故障部位	对系统的影响	对发动机的影响
喷油器阀胶结	不喷油	工作不稳或不能工作
电磁线圈或内部线路断路	不喷油	工作不稳或不工作
喷油器密封不严	喷油器滴油	油耗上升、排气管放炮或不能起动
喷油阀口积污	喷油量减少	工作不稳定或进气管回火

(2) 检查方法

1) 就车检查法。在发动机运转或起动发动机时,听诊各缸喷油器有无工作时的咔嚓声。若某缸喷油器无咔嚓声或声音较其他缸沉闷,则说明该喷油器有问题,需拆下维修或更换。

如果是发动机运转不平稳,还可以用逐缸断油法来判断各缸喷油器工作良好与否。将某喷油器上的插接器拔出,使之断电而断油。如果发动机转速明显下降,说明该缸喷油器工作良好;如果发动机转速不变或减速小于其他缸,则拆下该缸喷油器作进一步的检查。

2) 检测喷油器电阻值。如果怀疑某缸喷油器不工作,可用万用表检测该喷油器电磁线

圈电阻,看是否正常。电流驱动型喷油器电磁线圈电阻约在 $1.5 \sim 3.2\Omega$;电压驱动型(高电阻型)电阻值一般在 $12 \sim 15\Omega$ 。如果测得电阻过小或过大都需要更换该喷油器。

3) 喷油器喷油量和密封性的检查。

① 喷油器喷油量的检查。将已从发动机上拆下的喷油器用软油管与发动机输油管路相接,再用专用接线器将喷油器接线端子接上蓄电池电压,然后将汽油泵检查插接器跨接,并接通点火开关,使汽油泵工作(发动机不工作),看喷油器喷油是否正常。喷油量应在 $40 \sim 50\text{mL}/15\text{s}$ 范围内(不同的发动机标准不同),各喷油器喷油量之间差值应少于 5mL 。

喷油器接蓄电池需用专用接线器,因为对于电流驱动型喷油器或一些低电阻的电压型喷油器来说,由于喷油器的电磁线圈电阻较小,直接接蓄电池 12V 的电压,会因电流过大而烧坏。

② 喷油器密封性的检查。喷油器阀密封性的检查,只需在上述条件下拆下专用接线器,使喷油器停止喷油,看喷油器漏油否。每分钟滴油应少于一滴,否则需更换喷油器。

(3) 喷油器驱动电路的故障检查

1) 喷油器不工作的原因。喷油器不工作是造成发动机不能起动或运转不平稳的常见故障原因之一。喷油器不工作的可能原因有:

- ① 喷油器电磁线圈不良或内部接线断脱。
- ② 喷油器外串联电阻断路或漏电(低电阻电压型)。
- ③ 线路断脱或插接器有接触不良之处。
- ④ 线路保险器烧断。
- ⑤ 电子控制器故障。

2) 诊断方法。以图 2-31 所示电路为例,可用如下方法来确定故障的具体部位。

① 拔下喷油器上线路插接器,接上一个高阻抗的试灯,转动发动机曲轴,看试灯闪亮否。若试灯闪亮,则检查喷油器电阻,若电阻过大或不通,则需更换喷油器。若试灯不亮,则作下一步检查。

② 用试灯接端子 +B 与搭铁之间,检查 +B 点通电否。若试灯不亮,说明 +B 点未通电,需检查点火开关及有关的线路。若试灯亮,则说明 +B 通电,需作下一步检查。

③ 用万用表电阻挡检查串联电阻是否正常(无串联电阻的则无需此步诊断)。若电阻不正常或不通,则更换串联电阻。

(4) 安装注意事项

1) 针对一定的喷油器必须使用一定的插头,不得混用。

2) 为了便于安装,推荐在与燃油分配管相连接的上部,O形圈的表面涂上无硅的洁净机油。注意不要让机油污染喷油器内部及喷孔。

3) 将喷油器以垂直于喷油器座的方向装入喷油器座,然后用卡夹将喷油器固定在喷油器座上。

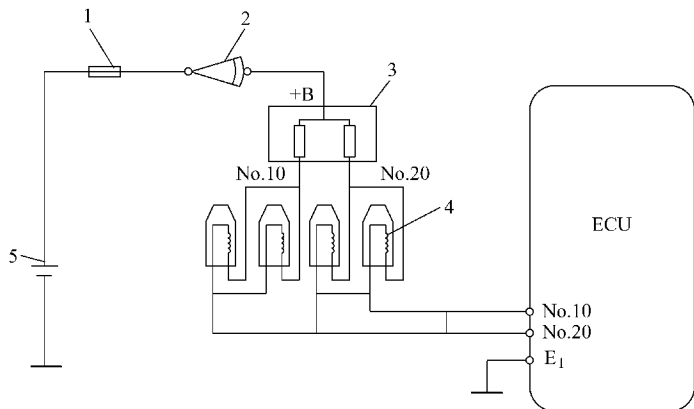


图 2-31 喷油器驱动电路检查

1—熔断器 2—点火开关 3—电阻器 4—喷油器 5—蓄电池

- 4) 喷油器的安装用手进行，禁止用锤子等工具敲击喷油器。
- 5) 拆卸和重新安装喷油器时必须更换 O 形圈。此时不得损伤喷油器的密封面。
- 6) O 形圈的支承垫圈不得从喷油器中拔出，安装时应避免损坏喷油器的进油端、O 形圈、支撑环、喷孔板及插接头。如果有损坏，应禁止使用。
- 7) 安装完喷油器后进行燃油分配管总成密封性检测，无泄漏者方为合格。
- 8) 失效件要用手拆卸。先拆下喷油器的卡夹，然后从喷油器座上拔出喷油器。拆卸后应保证喷油器座的清洁，避免污染。

(5) 故障现象及判断方法

- 1) 故障现象：怠速不良、加速不良、不能起动（起动困难）等。
- 2) 一般故障原因：由于缺少保养，导致喷油器内部出现胶质堆积而失效。
- 3) 维修注意事项：（参见安装注意事项）。
- 4) 简易测量方法：（卸下接头）把数字万用表打到欧姆挡，两表笔分别接喷油器两针脚，20℃时额定电阻应符合技术要求。

建议：使用喷油器专用清洗分析仪器对喷油器进行定期清洗分析。

第三节 电子控制汽油机的燃油系统的喷油方式和喷油正时

如前所述，汽油喷射按喷油连续性可分成连续喷射和间歇喷射。

进气门前连续喷射的场合，进气门关闭时喷射的燃油先被储存在进气门前并与空气部分地混合，同时从进气门吸热而蒸发；进气门开启时喷射的一部分燃油未经与空气混合和蒸发就直接以液态进入了气缸。进气门开启之初进入气缸的气体是燃油蒸气与空气的较浓混合气，随后进入气缸的气体中更多的是空气。

进气门前间歇喷射的场合，因喷油间歇时间安排方案的不同而分成三种，图 2-32 以四缸机为例示出了这三种喷油方式。

进气门前间歇喷射的三种方式

1. 同时喷射

所有的气缸同时喷油。喷油脉冲由点火脉冲触发。这种喷油方式的喷油正时不随工况改变，控制十分简单，但是会导致各缸混合气生成条件的不同，无法实现各缸共同的喷油正时优化。如图 2-32 所示，喷油时有的气缸刚关闭进气门，有的正准备开启进气门，有的处在进气门从关闭到开启的时段当中，有的则刚好开着进气门。为了减少各缸混合气生成条件的差别，将每循环的喷油量分成两次喷射。L-Jetronic 是典型的同時喷射电子控制汽油喷射系统。

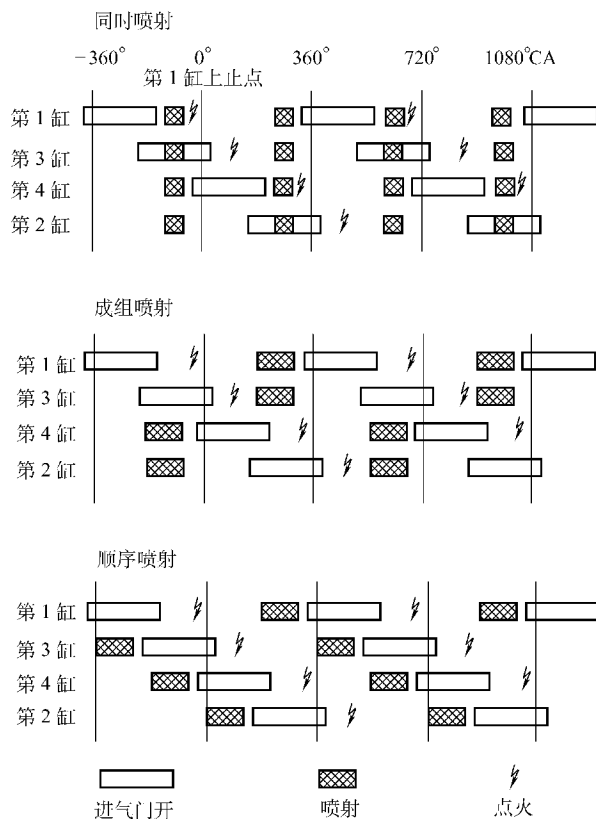


图 2-32 同时喷射、成组喷射和顺序喷射

2. 成组喷射

同时喷射的场合，喷油时进气门关闭的气缸和进气门开启的气缸之间形成混合气生成条件的最大差别，为了尽可能将喷油都安排在进气门关闭的时候发生，于是发展了成组喷射。四缸机分成两个组，六缸机也分成两个组，八缸机则分成四个组。每组由相应的点火脉冲触发，在相同的时间喷油。每个喷油器每循环只喷一次油。六缸机分两组作成组喷射时，每组都有一个缸在进气门开启时喷油。显然，三缸机不宜成组喷射。

成组喷射虽然已能随工况改变而改变喷油正时，避免了往开启的气门喷油，而且缓解了同时喷射的场合各缸混合气生成条件不同的缺点，但这方面的差别依然存在。

3. 顺序喷射

各缸喷油器按照各缸进气门开启的顺序依次喷油。各缸喷油正时与该缸配气正时之间的相位关系可以完全一致,故确保了各缸混合气生成条件完全一致。而且喷油脉冲不是由点火脉冲直接触发,而是由 ECU 根据发动机工况信息确定了最佳喷油正时之后,再根据采集到的曲轴位置信息,由程序运行发出指令触发。因此可使喷油正时针对不同的工况得到调整,从发动机的运行稳定性、排放和油耗的角度得到优化。Motronic 是典型的顺序喷射发动机电子控制系统。

第四节 燃油定量控制的基本公式及实现方式

汽油机采用变量调节的方式控制燃油定量,也就是说,通过改变吸入空气量的方法来调节发动机功率。燃油定量控制系统的任务仅仅是根据吸入的空气量配给燃油,使过量空气系数 λ 保持在一个与当时的工况相适应的水平。连续喷射系统和间歇喷射系统都要控制 λ ,但控制的方式略有不同。

间歇喷射系统采用电磁控制型喷油器。

1. 调节每循环喷油量 m_f

间歇喷射系统的燃油定量是以一个工作循环为单元进行的。为了这个循环提供的燃油不会留到下一个循环使用。所以混合气过量空气系数可写成:

$$\lambda = \frac{m_a}{14.7m_f} \quad (2-3)$$

式中, m_a 为每缸每循环吸 λ 的空气质量; m_f 为每缸每循环喷入的燃油质量。

所以,通过控制每缸每循环喷入的燃油质量 m_f 来控制 λ 。

2. 控制喷油脉冲宽度

当 m_a 随着发动机工况而改变时,必须相应地调节 m_f 才能使 λ 保持不变。根据式 (2-2), 改变 m_f 可有两种办法: 或者改变喷油脉冲的宽度 T_i , 或者改变喷油器喷射的燃油质量流量 m_f 。由于控制喷油脉冲宽度对 ECU 更为方便和合适,所以现代电子控制间歇喷射系统无一例外地采用通过固定孔隙两端的压力差 ΔP_m (式 (2-1)) 以固定 m_f 、同时改变脉冲宽度 T_i 以控制 m_f 的方法。将式 (2-3) 代入式 (2-2) 得:

$$T_i = \frac{m_a}{14.7\lambda m_f} \quad (2-4)$$

由式 (2-4) 可看出,控制 T_i , 汽油机的燃油定量控制实质上就是控制过量空气系数 λ 。换言之, λ 的表达式就是燃油定量控制的基本公式,因为吸入的空气量是由驾驶人决定的。由于喷油方式有连续喷射和间歇喷射之分, λ 的表达式相应地也有所区分,这使得实现燃油定量控制的方式也有差别。间歇喷射的场合,则根据应取的 λ 数值和每缸间歇吸入的每循环空气质量 m_a 控制每缸间歇喷入的每循环燃油质量 m_f 。 λ 和空气量均可由负荷和转速确定。可见,为了控制燃油定量,ECU 必须先根据主控制变量负荷和转速确定吸入的空气量和 λ 应取的数值。

第五节 负荷信息传感方法

所谓负荷,是指发动机的阻力矩。虽然已有直接测量轴所受转矩的无接触传感方法,但用于发动机电子控制尚不成熟。其实,在工况稳定时,阻力矩与发动机的转矩相平衡,所以发动机的负荷就等于负荷。而发动机的转矩完全取决于平均有效压力和排量,平均有效压力又取决于每循环的燃油量和排量。汽油机采用变量调节方式,即以一个循环作为计算单元,根据每循环空气吸入量的多少配以相应的每循环燃油量。如此说来,在汽油机中,每循环空气吸入量反映了负荷的大小。现代汽油机电子控制系统都采用间接喷射,并以每循环空气吸入量作为负荷信息。本节讨论间歇喷射系统的负荷信息传感方法。即使是在连续喷射系统中,虽然燃油是连续喷射的,但是发动机工作过程还是一个循环、一个循环地完成的,所以仍应取其每循环空气吸入量作为负荷信息。

负荷信息作为主控制变量之一,主要用于燃油定量控制及点火正时控制,也用于其他控制项目。

每循环空气吸入量的传感方法可以分为间接法和直接法两种。间接法并不直接测定空气流量,而是根据节气门位置或进气管压力,结合转速、进气温度、冷却液温度等信息确定每循环空气吸入量。直接法则用空气流量传感器直接测定空气流量,然后根据转速确定每循环空气吸入量。

发动机进气过程实际上是活塞在气缸运动时泵吸空气的过程,每缸每循环吸入空气占据的体积就是发动机每缸排量 V_h , 所以每缸每循环吸入的空气质量为:

$$m_a = \rho_a V_h \quad (2-5)$$

式中, ρ_a 为进气终点缸内充量密度,可写成:

$$\rho_a = \frac{p_a}{RT_a} \quad (2-6)$$

式中, p_a 为吸气终点缸内充量压力; T_a 为吸气终点缸内充量温度; R 为空气的气体常数。

但是 p_a 既难以用传感器测定,又难以按式 (2-6) 计算,所以无法直接按式 (2-5) 计算 m_a 。在电子控制汽油机中通常有以下两种方法可以解决这个问题:

(1) $a-n$, 即转角—转速法 节气门前的大气密度为:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{RT_0} \quad (2-7)$$

式中, p_0 为大气压力; T_0 为进气温度; R 为空气的气体常数。

为了表述吸气终点缸内充量密度 ρ_a , 可以写出以环境状态为参照标准的充气效率:

$$\eta_V = \frac{\rho_a}{\rho_0} \quad (2-8)$$

将式 (2-7) 代入式 (2-8), 将式 (2-8) 再代入式 (2-5) 则得:

$$m_a = \eta_V \frac{p_0}{RT_0} \cdot V_h \quad (2-9)$$

根据此式可计算 m_a 。为此分析如下:

① p_0 可取标准大气压, 也可用压力传感器测定。

② T_0 可用进气温度传感器测定。

③ 充气效率 η_V 完全取决于进气过程中的充量节流与加热情况。对于确定的发动机, 节流大小取决于节气门转角 α 和转速 n , 加热程度则还与发动机温度有关。不过, 稳定工况下发动机温度也取决于 α 和 n 。故有:

$$\eta_V = \eta_V(\alpha, n) \quad (2-10)$$

因此, 稳定工况下 m_a 取决于 α 、 n 、 p_0 和 T_0 , 主要取决于 α 和 n 。通常事先通过试验得出确定的发动机在标准状态下 m_a 与 α 、 n 的函数关系

$$m_a = m_a(\alpha, n) \quad (2-11)$$

将此函数关系存入 ECU, 便可在发动机实际运行时根据传感器测定的 α 和 n 值查出 m_a , 再根据当时的大气压力 p_0 和进气温度 T_0 对 m_a 进行校正。这就是转角—转速法的原理。

(2) $p_m - n$ 法, 即密度—转速法 进气歧管处的空气密度 ρ_m 可写成:

$$\rho_m = \frac{p_m}{RT_m} \quad (2-12)$$

式中, p_m 为进气歧管绝对压力; T_m 为进气歧管空气温度, 接近进气温度 T_0 。

为了表述吸气终点缸内充量密度 ρ_a 可以定义以进气歧管状态为参照标准的充气效率 η_{Vm} :

$$\eta_{vm} = \frac{\rho_a}{\rho_m} \quad (2-13)$$

将式 (2-12) 代入式 (2-13), 将式 (2-13) 再代入 (2-5) 则得:

$$m_a = \eta_{vm} \frac{p_m}{RT_m} V_h \quad (2-14)$$

根据此式同样可计算 m_a 。为此分析如下:

① p_m 可用进气歧管绝对压力传感器测定, $p_m < p_0$ 。

② T_m 可用进气温度传感器测定。

③ 充气效率 η_{vm} 取决于从进气歧管到气缸的流动过程中的充量节流与加热情况。对于确定的发动机, 稳定工况下的 η_{vm} 也取决于节气门转角 α 和发动机转速 n 。但是, 注意到在同样转速下进气歧管绝对压力 p_m 与节气门转角 α 之间存在一一对应关系, 既然本法已测定了 p_m , 就不必再求助于 α 了。故有:

$$\eta_{vm} = \eta_{vm}(p_m, n) \quad (2-15)$$

同理, 可事先通过试验得出确定的发动机在标准状态下 m_a 与 P_m 、 n 的函数关系:

$$m_a = m_a(p_m, n) \quad (2-16)$$

将此函数关系存入 ECU, 便可在发动机实际运行时根据传感器测定的 p_m 和 n 值查出 m_a 再根据进气温度对 m_a 进行校正。这就是密度—转速法的原理。当然, p_m 是进气歧管绝对压力而不是密度, 但是决定密度的主要是压力, 进气温度波动不会太大, 而且已将进气温度当作校正量处理, 所以习惯上将此法称为密度—转速法而不称压力—转速法。

$P_m - n$ 法通常用于多点喷射, 也有用于单点喷射的。上海桑塔纳 2000 型轿车的第一代

电子控制汽油喷射发动机采用的就是 $P_m - n$ 法。

严格地说，用间接传感法获取发动机负荷信息时需要两个参数，例如转速和节气门转角，或者转速和进气歧管绝对压力。但因转速本来就是发动机电子控制必不可少的主控制变量之一，所以通常可以单独用节气门转角或进气歧管绝对压力表征汽油机负荷，并将节气门转角或进气歧管绝对压力称为间接传感的负荷信息。

第六节 基本喷油时间的计算

一、基本喷油时间

负荷信息和转速信息传感方法解决了计算每循环吸气量 m_a 的问题，接着要按式 (2-3) 计算每循环喷油量 m_f ，按式 (2-4) 计算每循环喷油时间，即喷油脉冲宽度 T_i ，但为此还需要确定过量空气系数 λ 。 λ 应针对不同的工况，按照动力性、经济性、排放和平顺性要求，通过台架试验选定，形成 λ 特性场，储存在 ROM 中供程序调用，如图 2-33a 所示。

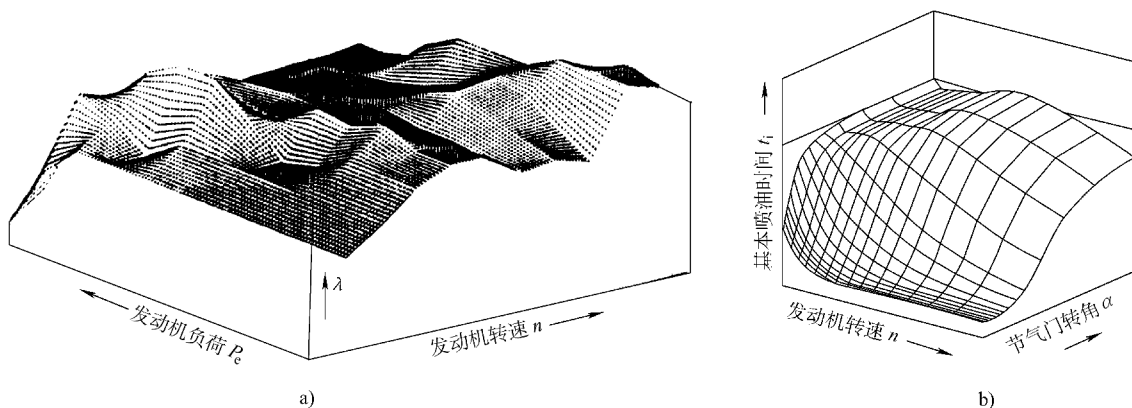


图 2-33 过量空气系数 λ 的确定图

a) λ 特性场 b) 基本喷油时间特性场

不过，也可以换一种方式体现不同工况所要求的 λ 对燃油定量的影响。在各种工况中，除了起动工况单独计算燃油定量以外，其他工况，包括怠速、部分负荷和全负荷，均取 $\lambda = 1$ ，得出基本喷油时间特性场，也储存在 ROM 中，如图 2-33b 所示。然后按图 2-34 所示的喷油时间计算框图计算喷油时间。

这种三维图形英文名叫 map，有人音译成“脉谱”。本书中按德文（Kennfeld）的意思译成“特性场”。图 2-33 所示 λ 特性场中负荷和转速两个坐标决定了一个工况点，称为分割点。每个分割点对应于一个 λ 或基本喷油时间数值。这些数据通过匹配试验优化后确定，并储存在 ROM 中以负荷和转速为地址确定的存储单元内。分割点数目可为 8^2 、 12^2 、 15^2 、 16^2 甚至 32^2 。分割得越细，控制精度越高，但匹配工作量越大。实际工况点落在两个分割点之间时，采用插值法求取基本喷油时间值。

二、喷油时间计算框图

如图 2-34 所示，ECU 先根据负荷信息和转速信息从图 2-33b 的特性场调出基本喷油时

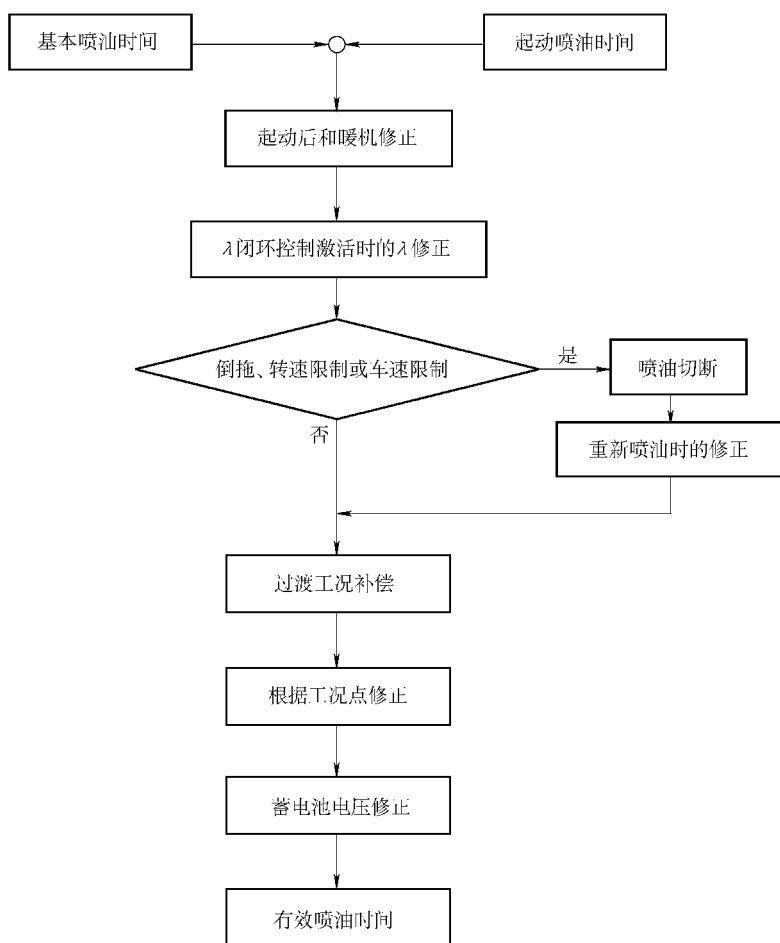


图 2-34 喷油时间计算框图

间。若是起动工况，则按另一部分程序计算出起动喷油时间。基本喷油时间或起动喷油时间按环境参数（进气温度和进气压力）进行修正后，再根据发动机温度进行起动后修正和暖机修正。接着，如果 λ 闭环控制已被激活（如 Motronic 中的怠速工况和部分负荷工况），便进行闭环控制的再修正。若此时正值需要切断燃油供应的工况，如倒拖、超速等，便切断燃油。否则，对过渡工况进行补偿，并根据实际工况进行喷油修正。最终根据蓄电池电压修正喷油时间，得出有效喷油时间。以下各节将讨论闭环控制的 λ 修正和针对各工况的修正。这两方面的内容较多，相对来说，环境参数修正、蓄电池电压修正及超速断油控制较为简单。

第七节 环境参数修正、蓄电池电压修正和超速断油控制

一、进气温度修正

进气温度用进气温度传感器测定，如图 2-35 所示。

如前所述, 负荷信息传感有间接传感和直接传感之分。间接传感的转角—转速法和密度—转速法测定的都是体积空气流量; 直接传感的阻流板式空气流量传感器和卡门涡式空气流量传感器测定的也是体积空气流量。体积相同但密度不同的空气具有不同的质量, 而空气密度主要取决于压力和温度。随着进气温度升高, 空气密度下降、每循环吸入的空气质量下降, 所以必须相应地减少喷油量才能将过量空气系数维持在一个预定的水平。通常用进气温度加浓系数来表征这类增减喷油量的程度。假定取 20°C 的进气温度作为参照标准, 那么 20°C 时进气温度加浓系数定为 1.00, -20°C 时进气温度加浓系数则为 1.06, 40°C 时加浓系数为 0.97, 如图 2-35 所示。装有 λ 闭环控制的系统可通过自适应补偿之。

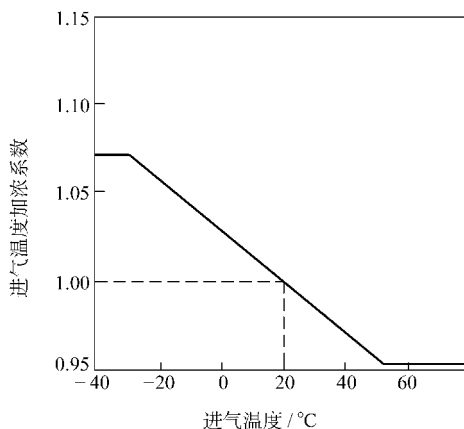


图 2-35 进气温度加浓系数

二、进气压力修正

海拔较高的高山和高原地区空气压力较低, 使转角—转速法、阻流板式和卡门涡式空气流量传感器测定的体积空气流量换算成质量空气流量时产生较大的误差。为了补偿这类误差, 在一些采用上述负荷信息传感方法的发动机管理系统中采用空气绝对压力传感器测量空气绝对压力。当测到的空气绝对压力达到某一个限值时, ECU 就根据该传感器发出的信号对喷油时间进行修正。以此可避免混合气过浓。装有 λ 闭环控制的系统可通过自适应补偿之。

三、蓄电池电压修正

电磁喷油器中电磁线圈吸动和释放针阀的过渡过程与蓄电池电压有关。由于吸动和释放针阀的过程对燃油流量的影响不同, 需延长一点喷油时间以求修正。喷油时间的延长量应随蓄电池电压而改变。电压低, 喷油时间延长量大; 电压高, 喷油时间延长量小, 如图 2-36 所示。

四、超速断油控制

在发动机突然失去阻力矩而节气门又没有来得及关小, 或汽车阻力不大而加速踏板却过度地踩下的情况下, 转速会急剧上升到超过许可限值的水平, 严重时会损坏发动机。所以要采取限速措施。迄今常见的限速措施是, 由带限速装置和离心块的断电—分电器在达到一定的最高转速时使点火装置开路, 于是火花塞不再打火, 发动机便失去了功率。但是燃油继续进入气缸, 接着又从气缸排出而未经燃烧, 造成环境污染和燃油浪费; 如果在后接的三元催化转化器内燃烧, 则会使三元催化转化器过热而损坏。

在电子控制汽油机中, ECU 不断地将实际转速同程序中设定的最高转速限值 n_0 进行比较。在超过转速限值时 ECU 就抑制喷油脉冲。一旦转速降到限值以下, 便恢复正常喷油。依此使转速在其最高限值的 $\pm 150\text{r}/\text{min}$ 范围内波动, 如图 2-37 所示。此时驾驶人会因行驶舒适性变差而注意到发动机转速过高, 进而作出相应的反应。

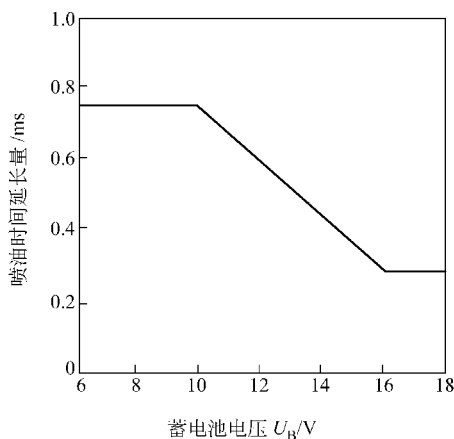
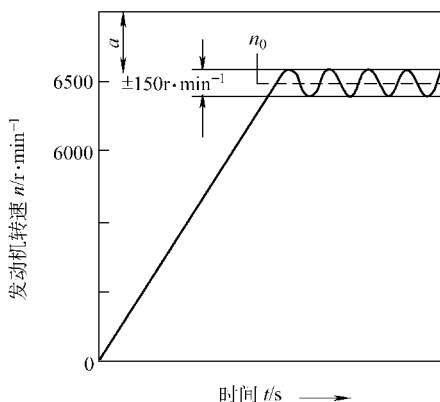


图 2-36 喷油时间延长量和蓄电池电压的关系

图 2-37 对最高转速 n_0 的限制 (α 为断油区)

第八节 起动工况燃油定量控制

一、起动空气提供方式

起动时，加速踏板完全松开，所以起动空气提供方式与怠速空气提供方式相同，即采用节气门旁通或节气门调节。起动时，节气门旁通执行器的开度固定，一般在 25% 左右。

二、起动时混合气生成的困难

发动机起动时，由于下列因素而使燃油蒸发恶化：

- ① 进气温度低。
- ② 进气歧管压力高。
- ③ 燃烧室和气缸壁温度低。

因此，有一部分燃油凝结在燃烧室和气缸壁上。若是单点喷射系统，则更因进气歧管壁温度低和进气歧管内气流速度低，而还有一部分燃油凝结在进气歧管壁上，如图 2-38 所示。所以起动时混合气应比其他工况加浓。由于凝结的燃油量主要取决于发动机温度，所以起动加浓程度由 ECU 根据发动机温度确定。

三、起动时混合气的加浓方式

为了实现冷起动时的混合气加浓，可以有两种办法：一种是用增设的冷起动喷油器专门在冷起动时喷入附加的燃油；另一种是在冷起动时仍用原有的主喷油器喷入需要的全部燃油。

1. 用增设的冷起动喷油器加浓

这种方法主要用于连续喷油的 KE-Jetronic 和间歇喷油的 L-Jetronic 电子控制燃油喷射系统（原有的主喷油器仍然需要）。

(1) 冷起动喷油器 电磁铁被激活时，从阀座上抬起的电磁衔铁让燃油流过，燃油切向进入喷嘴，使油束产生一个涡流，因此使燃油雾化得特别好。

冷起动喷油器不是将燃油喷在进气门前，而是喷在节气门后面的进气总管内。冷起动喷油器安装在进气总管上的位置应使混合气均匀地分布到各个气缸。冷起动喷油器必须与温

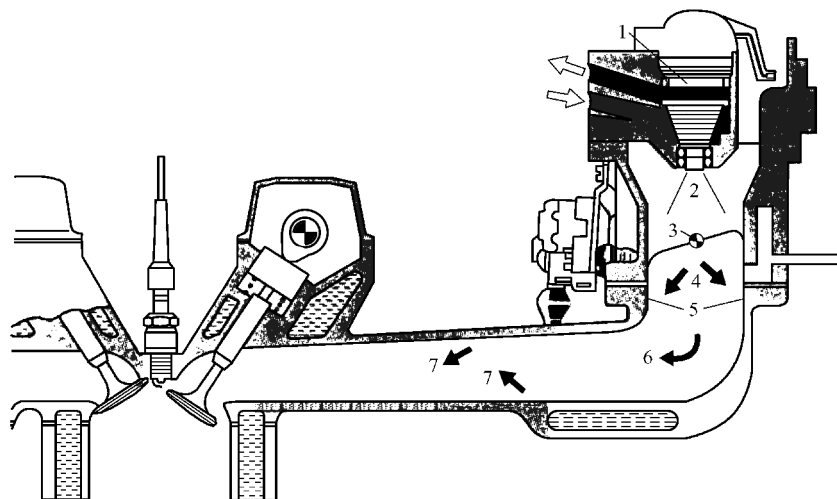


图 2-38 单点喷射系统冷发动机的燃油凝结

1—喷油器 2—定量燃油 3—节气门 4—凝结的燃油 5—进气管壁上的油膜

6—燃油蒸气 7—进气管壁上的油膜蒸发

度—时间开关配合使用。

(2) 温度—时间开关 温度—时间开关内有双金属片 3，上面有电加热绕组 4。双金属片端部有电触点 5，如图 2-39 所示。

当温度—时间开关温度升高时，双金属片 3 使电触点 5 断开。可以有两个原因促使发生这种情况：发动机变热（温度—时间开关装在发动机上对冷却液温度敏感的地点）或者电加热绕组 4 通电足够长的时间，故得名“温度—时间开关”。

(3) 冷起动喷油器的控制原理 冷起动喷油器 1 与温度—时间开关 2 串联，由点火—起动开关 4 通过继电器组 3 控制，如图 2-40 所示。发动机冷起动时，由于温度低，温度—时间开关的电触点闭合，点火—起动开关 4 接通后，电流就经温度—时间开关流过冷起动喷油器，使衔铁升起，燃油从涡流喷嘴喷出，实现混合气的冷起动加浓。过了一段时间之后，温度—时间开关因电加热和发动机加热而温度升高，电触点断开，便切断电路，冷起动喷油器停止喷油。冷起动喷油器喷油时间的长

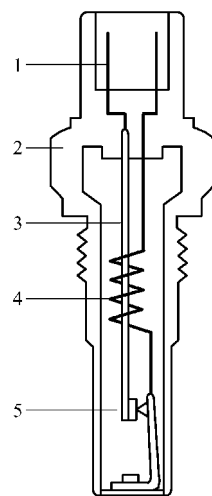


图 2-39 温度—时间开关

1—电接头 2—外壳 3—双金属片
4—加热绕组 5—电触点

短取决于温度—时间开关从电加热绕组和发动机获得热量的多寡快慢。例如在 -20°C 环境下冷起动时，冷起动喷油器喷油 7.5s 后断开。在发动机热的情况下，温度—时间开关的电触点始终是断开的，冷起动喷油器便不喷油。对温度—时间开关的电加热可以限制冷起动喷油器的喷油时间，使混合气不至于过浓，从而避免发动机“溢油”。

2. 用原有的主喷油器加浓

采用冷起动喷油器和温度—时间开关起动的方法已经过时，只在用车上还可见到。现代

电子控制汽油喷射系统采用原有的主喷油器通过起动控制实现起动加浓。ECU 根据发动机温度传感器和负荷、转速等传感器提供的信息识别冷起动工况，相应地增加喷油量，既用于多点喷射（图 2-41），也用于单点喷射。

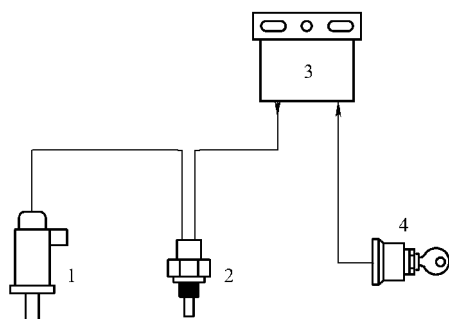


图 2-40 用冷起动喷油器和温度—时间开关实现起动加浓

1—冷起动喷油器 2—温度—时间开关
3—继电器组 4—点火—起动开关

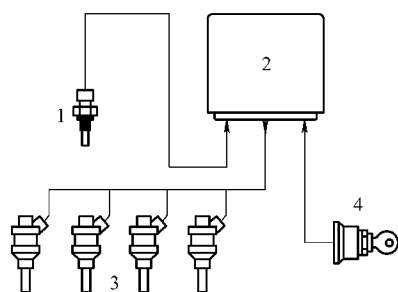


图 2-41 用主喷油器实现起动加浓图

1—发动机温度传感器 2—电子控制单元
3—喷油器 4—点火—起动开关

四、用主喷油器起动加浓时的燃油定量控制

现以单点喷射系统为例说明之。

1. 开始起动时的最初喷油时间

起动机刚开始转动时的每循环喷油时间完全根据发动机温度确定，如图 2-42a 所示。多点喷射的场合，进气管壁不会生成油膜，所以低温时的起动喷油时间可以比单点喷射缩短些，但高温时的起动喷油时间比单点喷射长，因为喷油器靠近缸盖，易生成燃油气泡，使单位体积内的实际燃油量减少了。

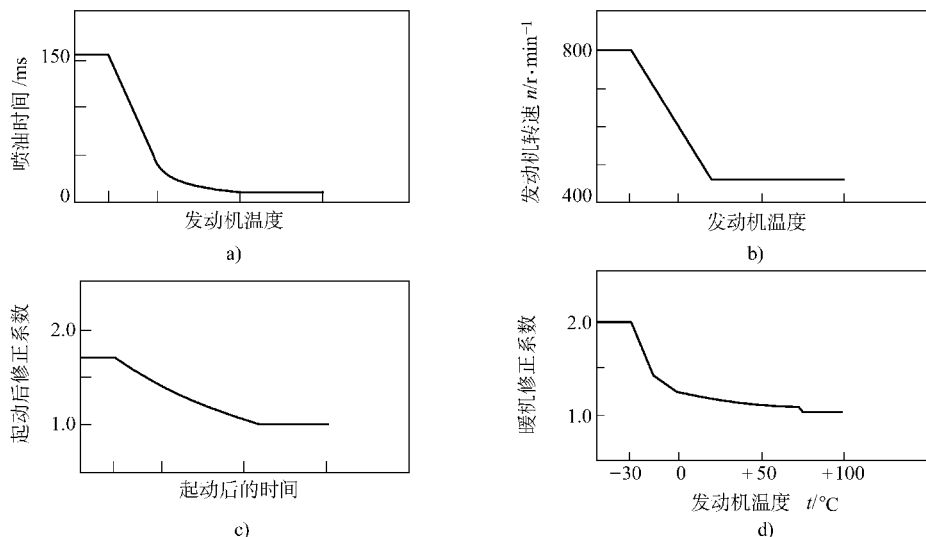


图 2-42 起动时、起动后和暖机阶段发动机温度对燃油定量的修正

a) 开始起动时的最初喷油时间 b) 结束起动时的发动机转速 c) 起动后修正系数 d) 暖机修正系数

2. 喷油时间与转速的关系

燃油凝结不仅与发动机温度有关，而且与进气歧管中的气流速度有关。气流速度越高，则

燃油在进气歧管壁上凝结越少。所以随着起动转速的增加, 喷油时间逐步缩短。这种缩短通过转速减少系数的形式体现出来, 如图 2-43a 所示。起动时的喷油时间须乘以转速减少系数。

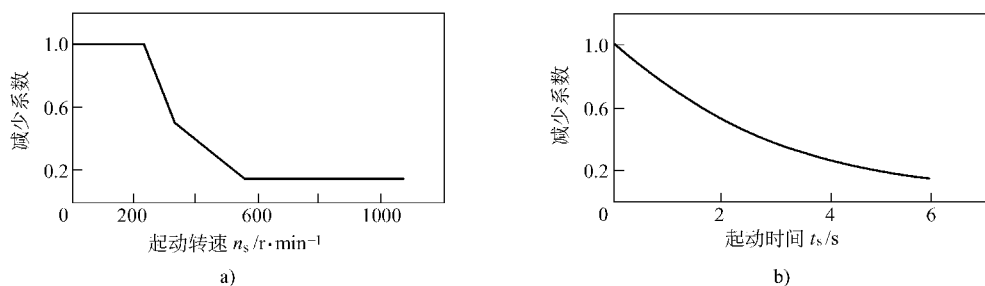


图 2-43 起动时喷油量的减少系数

a) 减少系数与转速的关系 b) 减少系数与时间的关系

3. 喷油时间与起动时间的关系

为了达到很短的起动时间, 必须尽快地在进气歧管壁上建立起燃油膜, 换句话说, 必须在起动之初的短时间内喷入大量燃油, 同时还必须注意防止燃油过度积聚。所以, 在起动过程中必须随着时间的推移持续地缩短喷油时间。这种缩短通过时间减少系数的形式体现出来, 如图 2-43b 所示。开始起动时的喷油时间同样须乘以时间减少系数, 最终得出起动喷油时间。

4. 起动阶段的界定

由上可见, 起动工况的燃油定量控制策略与其他工况不同。因此, 必须明确划分起动工况和其他工况之间的界限。显然这里应当以某个转速为界。但这个界限应考虑发动机温度的影响。发动机温度低, 则起动的条件较恶劣, 为了保证起动成功并为起动后阶段和暖机阶段打好基础, 应在较长时间内按起动工况加浓混合气, 因此将认定为起动阶段终点的转速规定得比较高, 如图 2-42b 所示。

第九节 起动后和暖机工况燃油定量控制

一旦起动结束, ECU 便根据负荷信息和转速信息从基本喷油时间特性场中取出基本喷油时间。从这一时刻开始, 到发动机达到正常运行温度为止的一段时间内, 由于燃油继续凝结在冷的燃烧室壁上, 在单点喷射的场合还要凝结在进气歧管壁上, 所以混合气必须继续加浓。这个阶段根据控制策略的不同分成起动后和暖机。

起动结束以后, 立即在基本喷油时间的基础上短暂地加浓混合气。这个阶段称为起动后阶段, 按照起动结束后的时间界定。接着转为根据发动机的温度加浓。这个阶段称为暖机阶段, 按照发动机温度界定, 可跨越各种负荷范围。

从起动结束到达到正常温度的这个阶段中, 由起动后加浓系数和暖机加浓系数决定混合气加浓程度。

一、起动后加浓修正系数

起动后加浓修正系数取决于起动结束后经过的时间, 如图 2-42c 所示, 储存在 ECU 的

ROM 中, 用于修正基本喷油时间。随着时间的推移, 这个修正系数的值最终减为 1。

二、暖机加浓修正系数

暖机加浓修正系数取决于发动机温度, 如图 2-42d 所示, 同样储存在 ECU 的 ROM 中, 用于修正基本喷油时间, 但完全根据发动机温度减为 1。

上述这两个修正系数是同时起作用的。

第十节 倒拖工况燃油定量控制

一、倒拖的定义及倒拖工况燃油定量控制的任务

加速踏板完全松开, 发动机由汽车的动能驱动的工况称为倒拖, 英文是 overrun 或 trailing throttle, 德文是 Schub 或 Schiebetrieb。

为了安全起见, 在下坡、制动或城市交通的滑行过程中, 加速踏板完全松开时不允许让离合器脱开。因为这样可使发动机成为汽车的负荷, 增加汽车受到的阻力矩。但此时发动机必须停止工作。如果为此切断点火而继续喷油, 则不但浪费燃油, 而且增加 HC 排放。所以倒拖时应切断喷油。但当转速降低到一个接近怠速转速的水平时, 则须立即恢复喷油, 否则驱动性恶化, 甚至熄火。

二、倒拖工况燃油定量控制

如果加速踏板完全松开 (节气门位置传感器转角等于零, 或者怠速触点闭合) 时发动机转速高于一个给定的转速门槛值 2 (图 2-44), 则喷油器停止触发, 喷油截止, 发动机转速下降。一旦转速降到转速门槛值 3, 便恢复喷油。如果发动机开始倒拖时转速下降得特别快, 例如离合器脱开时, 则在较高的转速 (转速门槛值 1) 就恢复喷油, 否则发动机转速会下降到怠速以下, 甚至完全停转。如果在转速门槛值 2 以下松开加速踏板, 则不断油, 但进入怠速。

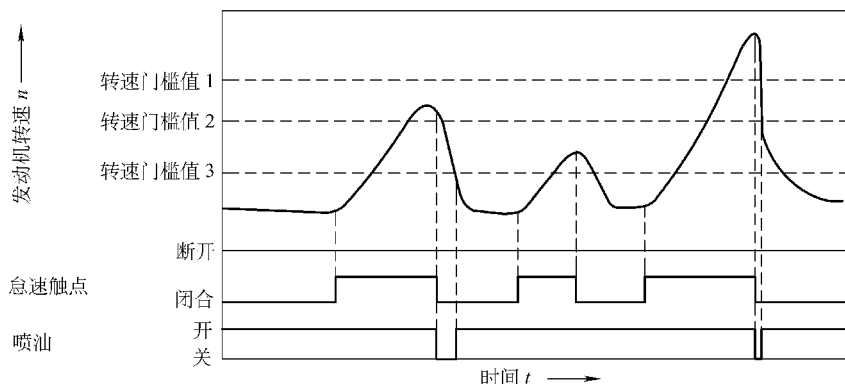


图 2-44 倒拖时的燃油喷射 (Mono-Jetronic)

三、采用节气门调节执行器的单点喷射系统倒拖燃油控制

采用节气门调节执行器的单点喷射系统中, 在很高的发动机转速下倒拖时, 如果节气门关闭, 活塞高速抽吸, 进气歧管压力下降, 使得进气歧管壁上的燃油膜蒸发。由于空气不足, 这些燃油不能完全燃烧, 使 HC 排放增加。为了克服这个缺点, 倒拖时节气门调节执行

器根据发动机转速高低将节气门打开一点点。如果发动机转速下降得特别快，节气门开度就不再成为发动机转速下降幅度的函数，而是作为时间的函数慢慢地关小。

倒拖工况结束时，单点喷射系统进气歧管壁上必须重新建立燃油膜。这使得过渡期内混合气略微变稀。所以要借助于一个附加的喷油脉冲来建立燃油膜，该脉冲的长度取决于倒拖时间的长短。

第十一节 过渡工况燃油补偿

一、过渡工况燃油补偿的任务

过渡工况燃油补偿提供了为补偿由于节气门运动引起的吸气量变动所必需的混合气浓度动态修正。这一特性是为了达到最佳可能的驱动性和排放所要求的。在单点喷射系统的场合，这种补偿功能的复杂性比多点喷射系统更高。这是因为在单点喷射系统中混合气的分配是通过进气歧管进行的。这意味着，对过渡工况补偿而言，在燃油输送方面必须考虑三个不同的因素：

① 中央喷射单元中或进气歧管中存在燃油蒸气，包括进气歧管壁上燃油膜蒸发形成的燃油蒸气。这种蒸气的输送速度非常快，跟吸入的空气一样。

② 存在燃油滴，其输送速度各不相同，但都不是以吸入空气的速度输送。这些燃油滴中的一些撞到进气歧管壁上投身于蒸发中的燃油膜。

③ 存在液态燃油，来自进气歧管壁上的燃油膜，以较低的速度流往燃烧室。这部分燃油要在晚些时候才能用于燃烧。

在怠速或低的部分负荷工况时，进气歧管的压力很低，单点喷射系统进气歧管内的燃油膜几乎完全成为蒸气，进气歧管壁上实际上没有燃油膜。但当节气门开度增大，或转速下降时，进气歧管压力上升，壁膜在燃油中的比例增加。因此，过渡工况中当节气门开度变动时，壁膜中燃油量的增加和减少之间的平衡被打破。这就是说，当节气门开度增大时，为了防止由于凝结在进气歧管壁上的燃油量增加而引起的混合气变稀，必须进行某种形式的燃油补偿。这种补偿通过加速加浓特性实现。相应地，当节气门开度减小时，壁膜放出某些燃油，这将导致在过渡工况中气缸内混合气变浓。这里要引入减速变稀特性。

燃油蒸发倾向除了与进气歧管的压力有关以外，温度也有重要意义。在进气歧管较冷和进气温度较低时，燃油膜的比例提高。

在 Mono-Jetronic 单点喷射系统中，这些动态的混合气输送效应由复杂的电子功能加以补偿。因此确保了在过渡工况中尽可能接近 $\lambda = 1$ 的空气—燃油混合气。加速加浓和减速变稀的功能与节气门转角、转速、进气温度、发动机温度和节气门的角速度有关。

二、过渡工况的识别

过渡工况的识别完全依靠由节气门位置传感器提供的节气门角速度信息。当节气门角速度超过相应的触发门槛值时，加速加浓或减速变稀功能就被触发。加速加浓的触发门槛值作为节气门转角的函数以特性曲线的形式储存在 ROM 中，如图 2-45 所示；而减速变稀的触发门槛值是一个与节气门转角无关的常数。

顺便可见，所谓发动机的加速和减速，其实是指节气门开度的增加和减小。

三、过渡工况燃油补偿

1. 根据节气门角速度补偿

为了加速加浓, 设置了一条混合气动态加浓系数曲线; 为了减速变稀, 设置了一条混合气动态变稀系数曲线。这两条特性曲线都储存在 ECU 的 ROM 中, 如图 2-46 所示。

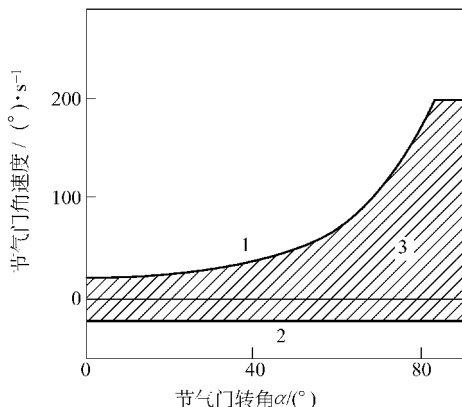


图 2-45 过渡工况燃油补偿的触发门槛值 (Mono-Jetronic)

1—加速加浓 2—减速变稀 3—不触发

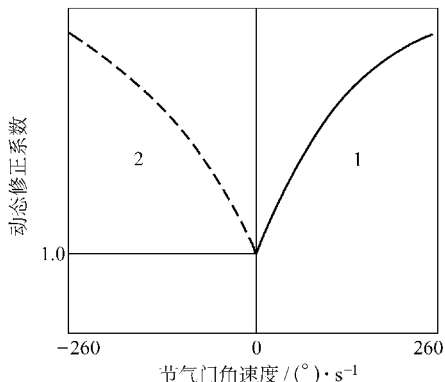


图 2-46 用于过渡工况燃油补偿的混合气动态修正系数 (Mono-Jetronic)

1—加速加浓 2—减速变稀

2. 根据发动机温度补偿

发动机温度对壁膜中的燃油量有很大的影响。特别是单点喷射系统中, 为了减少壁膜, 用来自发动机的冷却液加热进气歧管。在 ECU 的 ROM 中储存着一条根据发动机温度进行过渡工况燃油补偿的特性曲线, 如图 2-47a 所示, 用于修正混合气动态修正系数。

3. 根据进气温度补偿

Mono-Jetronic 中, 吸入的空气经空气预热装置加热以改善混合气生成的过程。在 ECU 的 ROM 中储存着一条根据进气温度进行过渡工况燃油补偿的加权系数特性曲线, 如图 2-48 所示, 用于修正混合气动态修正系数。

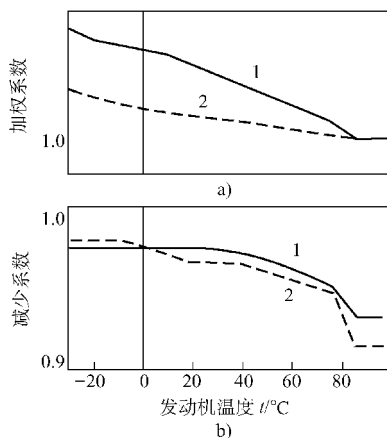


图 2-47 根据发动机温度进行过渡工况燃油补偿的系数 (Mono-Jetronic)

a) 加权系数 b) 减少系数
1—加速加浓 2—减速变稀

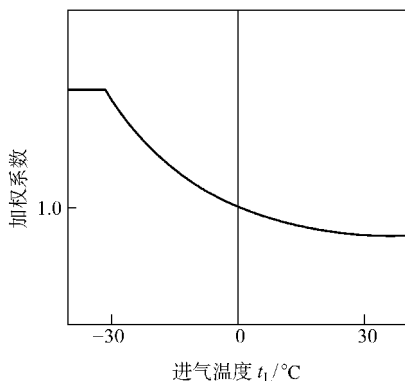


图 2-48 根据进气温度进行过渡工况燃油补偿的加权系数 (Mono-Jetronic)

4. 根据负荷和转速补偿

单点喷射系统中, 进气歧管的壁上燃油凝结的速率取决于进气歧管的压力和流速。所以在 ECU 的 ROM 中储存着一个根据节气门转角和转速确定的加权系数特性场, 如图 2-49 所示, 用于修正混合气动态修正系数。

5. 减少系数

如果节气门角速度的绝对值减小到触发阈值以下, 或者 ECU 根据各种输入信号计算出一个急剧减小的混合气动态修正系数, 那么最后一次的加速加浓和减速变稀的混合气动态修正系数将乘上一个介于 0.9 和 1.0 之间的减少系数, 其数值根据发动机温度确定, 如图 2-47b 所示。这条特性曲线也储存在 ECU 的 ROM 中。系统借此退出加速加浓和减速变稀。其数据处理的时间间隔与点火脉冲周期一致。

以上各系数相乘得出总的过渡工况燃油补偿系数, 用于乘 (加速加浓) 或除 (减速变稀) 喷油时间。由此造成的过渡工况喷油时间修正情况如图 2-50 所示。

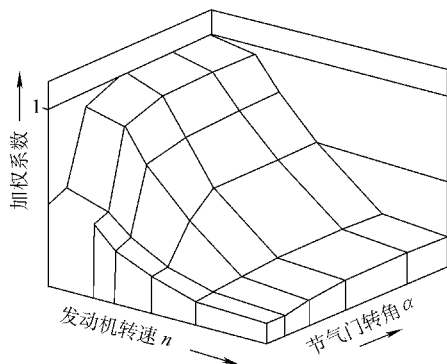


图 2-49 根据负荷和转速进行过渡工况燃油补偿的加权系数 (Mono-Jetronic)

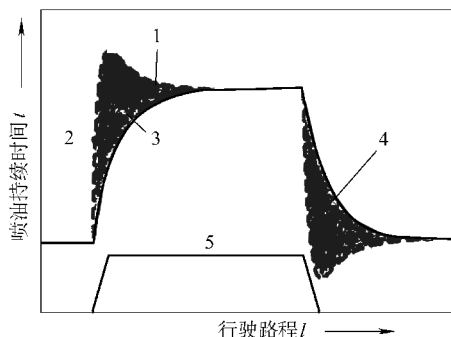


图 2-50 过渡工况喷油时间

1—根据负荷信息确定的喷油时间 2—有效喷油时间
3—附加的燃油量 4—减少的燃油量 5—节气门转角

过渡工况负荷变动速率可以非常高。如果这发生在两次喷油之间, ECU 就会在正常喷油以外给出一个附加的喷油脉冲, 即所谓中间喷油脉冲。

第十二节 部分负荷和全负荷工况燃油定量控制

一、部分负荷工况燃油定量修正

部分负荷时, 加速踏板既不是完全松开, 也不是完全踩到底, 节气门处于半开状态。ECU 根据节气门发出的信号识别部分负荷工况。

部分负荷工况下, 可在按照 $\lambda = 1$ 计算出的基本喷油时间的基础上, 根据负荷和转速, 按照优化标准自由选择略小于 1 的喷油时间修正系数, 此时 λ 略大于。

部分负荷稳定工况可以进入 λ 闭环控制, 此时就不再进行此项修正。

二、全负荷工况燃油定量修正

全负荷时, 加速踏板完全踩到底, 节气门处于全开状态, ECU 根据节气门发出的信号识别全负荷工况。

全负荷工况下,为了获得最大功率,应在按 $\lambda = 1$ 计算出的基本喷油时间的基础上加浓10%~15%。

超过一个设定的节气门转角(达到挡铁前几度)时,全负荷加浓就没作用了。

全负荷工况不进入闭环控制。

思考题

1. 多点喷射燃油供给系统由哪些部件组成?
2. 单点喷射燃油供给系统的组成与多点喷射系统的组成有何区别?
3. 多点喷射和单点喷射在混合气生成效果上有何区别?
4. 燃油箱用什么材料制成?采取什么安全措施?
5. 燃油管可用什么材料制成?安装时要注意什么?
6. 电子控制汽油机的燃油泵是怎样驱动的?按照安装方式分成哪两类?在什么条件下才可能运转?
7. 电子控制汽油机的电动燃油泵和一般油泵相比有何结构特点?这带来什么好处?
8. 电子控制汽油机的电动燃油泵按照结构原理可分成哪几种类型?
9. 电子控制汽油机的电动燃油泵压力分布在什么范围?一般的汽油喷射燃油系统中常用的燃油压力是多少?
10. 燃油滤清器纸质滤芯的平均孔隙度为多少?
11. 燃油滤清器的使用寿命大致范围是多少?
12. 为什么电子控制汽油机对汽油的清洁度要求特别高?
13. 燃油分配管有什么作用?有哪两种结构形式?
14. 燃油压力调节器的功用是否保持燃油分配管中的油压恒定不变?它有几个端口?分别与什么相连通?工作原理如何?
15. 为什么流入燃油分配管的燃油要远远超过喷油器喷出的燃油?
16. 燃油压力阻尼器有什么作用?
17. 汽油喷射用的喷油器按其控制方式可分成哪两种类型?两者的开启方式,燃油定量原理和应用范围有何不同?
18. 直接喷射和间接喷射对喷油器的要求有何不同?
19. 喷油器按照燃油进入的部位如何分类?
20. 电磁喷油器的针阀升程大约是多少?不通电时靠什么力回复原位?
21. 试述电磁喷油器开启和关闭时的过渡过程。
22. 为什么要根据蓄电池电压的高低修正喷油时间?怎样修正?
23. 喷油器定量孔和油束有哪四种类型?试述其优缺点。
24. 冷起动喷油器借助什么装置使燃油雾化得特别好?
25. 进气门前间歇喷射有哪三种方式?哪一种最好?
26. 进气门前间歇顺序喷射实现稀薄燃烧时,通常什么时刻喷油效果最好?好在什么地方?
27. 连续喷射和间歇喷射的燃油定量控制基本公式有什么不同?两者各自控制什么参数?
28. 什么情况下可以认为汽油机每循环吸气量代表发动机的负荷?为什么可以这样认为?间歇喷射的电子控制汽油机中如何根据每循环吸气量计算基本喷油时间?
29. 发动机稳定工况时各种负荷信息传感器的输出信号是否都稳定?为什么?相互有何差别?
30. 突然踩下加速踏板时,哪些负荷信息传感器会产生瞬时的超常信号?哪些不会?为什么?这种瞬时的超常信号对燃油定量有益还是有害?为什么?
31. 为什么要将起动工况区别于其他工况单独计算喷油时间?

32. 为什么电子控制汽油机要设超速断油功能? 怎样实现?
33. 从喷油器喷油结束到 ECU 检测到与这些喷油对应的信号的这一段时间滞后由哪几部分组成? 其长短取决于什么? 范围多少?
34. 哪些因素会给燃油定量带来系统误差? ECU 如何判断这类系统误差的出现? 用什么办法可以缩短校正系统误差所需要的时间? 控制策略如何?
35. 为了满足欧洲 IV 排放法规, 汽油车必须采用哪些与燃油定量有关的技术?
36. 汽油机排放的有害物质主要是哪几种? 对它们应分别采用什么净化对策?
37. 什么叫做起燃温度? 它有什么重要意义? 怎样测定?
38. 起动后阶段根据什么界定?
39. 什么叫做暖机? 根据哪个参数确定暖机加浓修正系数?
40. 暖机阶段根据什么界定?
41. 什么叫做倒拖? ECU 如何识别倒拖工况?
42. 简述倒拖工况的燃油定量控制策略。
43. 什么叫做加速和减速? ECU 如何识别加速和减速工况? 加速和减速工况燃油定量应达到什么目标?
44. 加速和减速工况燃油定量控制根据哪些参数确定?
45. 加速和减速工况行将结束时, ECU 如何退出加速和减速燃油定量控制?
46. 什么叫做部分负荷和全负荷? ECU 如何识别?
47. 部分负荷和全负荷工况燃油定量控制各有什么特点?
48. 起动空气以什么方式提供?
49. 起动时有哪两种加浓混合气的方式?
50. 起动开始瞬间的喷油持续时间是根据什么参数确定的? 此后根据哪两个参数逐步减少喷油时间?
51. ECU 如何识别起动工况?
52. 起动后阶段喷油时间的确定方法与起动阶段有何根本区别? 同时根据哪两个参数进行加浓?
53. 加速和减速工况行将结束时, ECU 如何退出加速和减速燃油定量控制?

第三章 汽油机进气与控制系统电子控制的检测与诊断

第一节 间接传感负荷信息传感器

一、间接传感负荷信息传感器的诊断与维修

1. 节气门位置传感器的诊断与维修 (TAP: Throttle - Alternator Position)

节气门位置传感器的作用是把节气门的开度转换为电信号。节气门位置传感器的输出信号，在不同的电控系统中，由于控制策略的差异其作用也不尽相同。一般而言，节气门位置信号通常作为工况参数中的负荷信息，用于空燃比开环和闭环控制的判据、基本点火提前角的确定、加速工况的判定等。另外，在大多数电控汽油发动机中，节气门位置信号也作为空气量计算的备用参数。当空气计量装置发生故障时，电控系统依据节气门位置信号和汽油发动机转速信号，采用节流—速度方式，对汽油发动机吸入的空气量进行计算。

节气门位置传感器安装在节气门体上，通过节气门轴与节气门同步旋转。电控汽油发动机中正在使用或曾经使用过的节气门位置传感器，主要有线性输出型、开关量输出型和带 A_{cc} 信号输出的开关量输出型三种类型，近年生产的电控汽油发动机普遍使用线性输出型节气门位置传感器。

(1) 线性输出型节气门位置传感器构造和工作原理 线性输出型节气门位置传感器的最主要特点是，节气门位置传感器的输出电压与节气门开度呈线性关系。比较典型的线性输出型节气门位置传感器的基本结构和基本电路如图 3-1 所示。该传感器由两个与节气门同步转动的电刷臂及检测节气门开度的滑动电刷 2 和检测节气门全闭位置的滑动电刷 3，位于基板上的电阻体 1 及接线插座等组成。

当驾驶人踩动加速踏板时，电刷臂带动滑动电刷 2、3 在电阻体 1 上滑动， V_{TA} (即电刷 2) 与 E_2 之间的电阻值将发生相

应的变化，若 E_2 和 V_{CC} 之间所施加的供电电压不变，则 E_2 和 V_{TA} 之间的电压与它们之间的电阻，即与节气门的开度相对应。由于 E_2 和 V_{TA} 之间电阻与节气门的百分比开度呈线性关系，所以 E_2 和 V_{TA} 之间的电压与节气门的百分比开度也呈线性关系。

当驾驶人完全放松加速踏板时，节气门完全关闭，此时 E_2 和 V_{TA} 之间的电阻最小，电压最低。虽然此时输出电压可以表示节气门处于完全关闭位置，但是考虑到使用过程电阻体

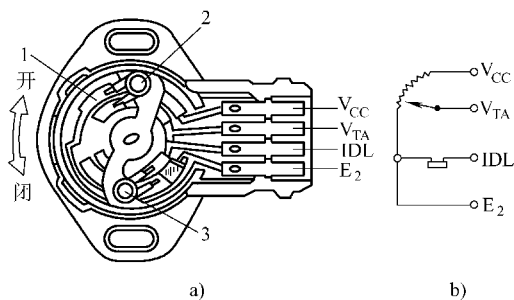


图 3-1 线性输出型节气门位置传感器

基本结构和基本电路

a) 结构 b) 电路

1—电阻体 2、3—滑动电刷

磨损对电阻值的影响，及节气门全闭位置（即发动机的怠速工况）在汽油喷射控制中的重要性。为了保证节气门全闭位置检测的准确性，在传感器中增设了节气门全闭位置检测电刷 3。当节气门全闭时，电刷 3 使 E_2 和 IDL 导通，ECU 对发动机怠速工况的判断，就是根据 E_2 和 IDL 之间的通断情况做出的。图 3-2 给出了线性输出型节气门位置传感器的输出电压随节气门百分比开度的变化规律，从该图可以看到传感器的输出电压与节气门百分比开度呈正比。

（2）节气门位置传感器的特性 下面以上汽通用五菱 SGMW N1 车型 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统来阐述节气门位置传感器的诊断与维修。

- ① 安装位置：节气门体上。
- ② 简图和针脚：查阅相关的维修手册和资料，针脚如图 3-3 所示。

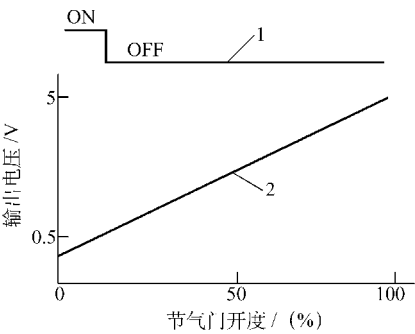
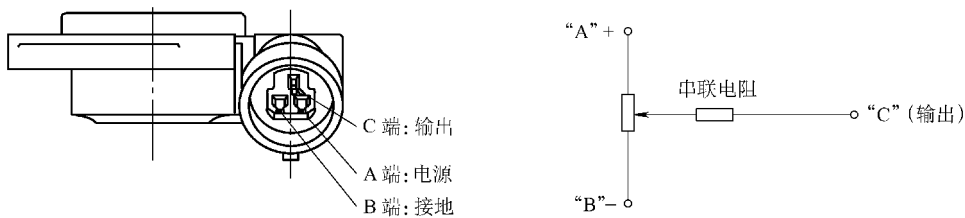


图 3-2 线性输出型节气门位置传感器输出特性
1—怠速触点信号 2—节气门开度输出电压



节气门位置 传感器	A	供电	ECU B79
	B	接地	ECU B19
	C	信号	ECU A74

图 3-3 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统节气门位置传感器

③ 工作原理。本传感器是一个具有线性输出的角度传感器，由两个圆弧形的滑触电阻和两个滑触臂组成。滑触臂的转轴跟节气门轴连接在同一个轴线上。滑触电阻的两端加上 5V 的电源电压 U_s 。当节气门转动时，滑触臂跟着转动，同时在滑触电阻上移动，并且将触点的电位 U_p 作为输出电压引出。所以它实际上是一个转角电位计，电位计输出与节气门位置成比例的电压信号。

④ 技术特性参数。节流阀体的开度与电压之间的关系数据见表 3-1。

表 3-1 节流阀体的开度与电压之间的关系数据

开度 (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85 (全开)
电压/V	0.33	0.78	1.25	1.71	2.17	2.63	3.08	3.52	3.99	4.5

⑤ 安装注意事项。元件在拆卸和安装中需要特别注意的事项。

⑥ 故障现象和判断方法。由于该元件的故障，会出现的发动机或整车出现的故障现象，如何在整车上判断，以及如何维修。具体应回答条款如下：故障现象、导致故障的原因维修注意事项、简易测量方法。

怠速时的信号 C 对地电压为 0.3 ~ 0.7V，全开时的信号 C 对地电压为 4.05 ~ 4.75V。

(3) 节气门位置传感器的诊断与维修 节气门位置传感器相当于滑线式可变电阻，随节气门开度的增加，电阻增大，输出给 ECU 的电压随之增大，节气门位置传感器故障可能引发加速不圆滑，发动机熄火和怠速转速不当等现象。

节气门位置传感器有三根引线，它们分别是电源线（B79 引脚，A 端），地线（B19 引脚，B 端），信号线（A74 引脚，C 端），如图 3-3 所示。

检测方法：

当判断传感器可能发生故障时，首先检查从 ECU 端至传感器接线端线束连通情况。

1) 诊断仪法。

a. 诊断工具观测节气门位置开度的变化，慢慢踩加速踏板，观测开度变化情况。

b. 直接读故障码，检查节气门位置传感器有无故障记录。

2) 欧姆表法。

a. 拔下节气门位置传感器连接插头，在节气门位置信号线（C 脚）与地线之间连欧姆表，慢慢踩加速踏板，观测电阻值的变化、在节气门全开时测量电阻，当节气门体中的阀门板全开时，电阻应为 $5\text{k}\Omega \pm 20\%$ 。当节气门关闭时，验证电阻值是否平滑变化，如图 3-4 所示。

b. 检查从 ECU 端至传感器接线端线束连通情况。

3) 电压表法。

a. 测 5V 基准电压。连上传感器接头，点火开关通电，在传感器接头处测 5V 基准电压。在传感器 +5V 电压输入端（B79）和地线之间连上一只电压表，如果基准电压不足，检查这条导线在 ECU 上的电压。如果 ECU 上电压正常，而传感器处电压偏低，要修理 5V 基准电压导线。如果 ECU 处电压偏低则需检测 ECU，如图 3-5 所示。

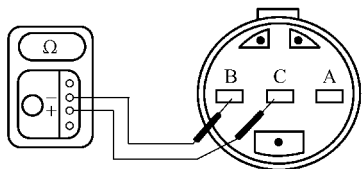


图 3-4 欧姆表法传感器基准电压测试法

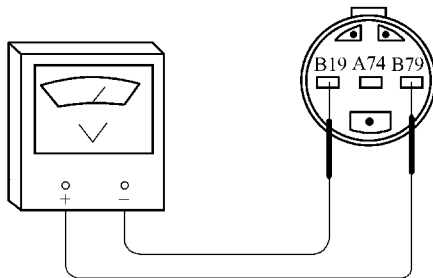


图 3-5 节气门位置传感器基准电压测试法

b. 测节气门位置传感器输出电压信号。接上传感器接头，点火开关通电（ON），在传感器信号导线（A74 脚）和地线之间连一个电压表。电压表读数反映传感器传给 ECU 的节气门开度信号。慢慢踩加速踏板，观测电压值的变化。电压表的读数应平稳，逐渐增大。怠速时输出电压（ 0.5 ± 0.02 ）V，全开时输出电压 $\leq 4.85\text{V}$ ，如图 3-6 所示。

(4) 节气门位置传感器的诊断与维修应用实例

1) 桑塔纳 2000 GSi 型轿车节气门控制组件的诊断。桑塔纳 2000 GSi 型轿车节气门控制组件 J338 由怠速开关 F60、怠速节气门位置传感器（怠速节气门电位计）G88，怠速控制电动机 V60 和节气门位置传感器（节气门电位计）G69 等组成，结构与电路如图 3-7 所示。

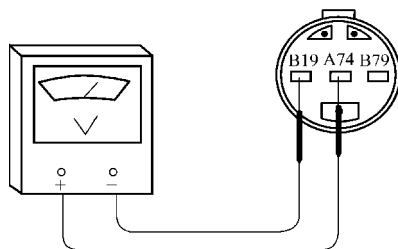


图 3-6 输出电压信号测试法

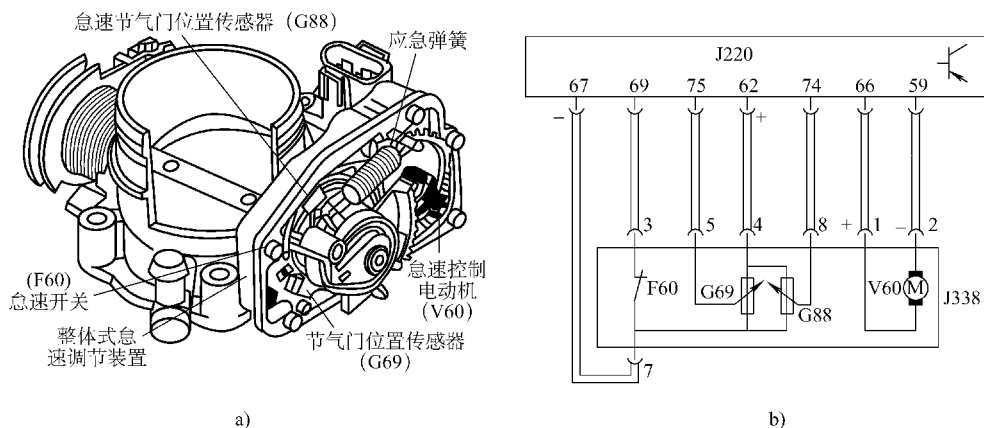


图 3-7 节气门控制组件 J338 结构与电路

a) 结构图 b) 控制电路

节气门位置传感器 G69 和怠速节气门位置传感器 G88 均为线性电位计，都起着节气门位置传感器的作用，向电控单元 J220 提供节气门当前位置信息。怠速控制电动机 V60 起着控制怠速的作用，能适当开大或关小节气门开度。怠速开关 F60 为怠速触点开关。

节气门位置传感器 G69 直接连接在节气门轴上，与驾驶人操纵的加速踏板联动。通过安装在节气门轴一端的滑臂在电位计电阻上滑动，将节气门开度转换为电信号输送给 ECU，作为 ECU 判断发动机运转工况的依据。

怠速节气门位置传感器 G88 安装在节气门体内，与怠速控制电动机连接在一起，可将节气门的开度、怠速控制电动机的位置信号输送给 ECU，当达到调节范围极限时，G88 不再移动，但节气门仍可继续开启。当 G88 信号中断时，节气门控制组件将利用应急弹簧进入应急状态工作，将节气门拉开到固定位置，使怠速转速升高。

2) 节气门控制部件的基本设定。当更换节气门控制部件后，新更换的节气门控制部件必须和发动机 ECU 进行匹配。

3) 怠速开关 F60 的检查。发动机怠速运转，使故障诊断仪 V. A. G1552 进入 08 功能“读测量数据块”，选择 98 显示组。

屏幕显示：

Read measuring value block 98 → 4. 420 V 3. 820 V leerauf ADP. i. o	读测量数据块 98 → 4. 420 V 3. 820 V leerauf ADP. i. o
--	--

显示区域 3 中运行状态应显示为怠速 (leerauf)，慢慢开启节气门，在怠速运行到极限点后，进一步开启节气门，显示应跳到部分负荷 (part throttle)。如果显示不正常，可能的原因有对地短路、对正极短路或断路。

拔下节气门控制组件的八针脚插头，用辅助导线将 3 和 7 跨接，观察解码器屏幕显示是否正常。若正常，则更换节气门控制组件；若不正常，检查节气门控制组件的供电电压和到 ECU 的导线是否正常，若电压和导线正常，则更换发动机 ECU。

4) 怠速控制电动机 V60 和怠速节气门位置传感器 G88 的检查。上述显示组 98 中，显示区域 2 中显示值即为怠速节气门位置传感器 G88 的电压值，应为 0.5 ~ 4.9V。

如果不在规定的范围内，则拔下节气门控制组件的八针脚插头，测量端子 1 和 2 之间的怠速控制电动机 V60 的电阻，应在 3 ~ 200Ω 之间。

如果不在规定范围，则检查节气门控制组件的供电电压和到 ECU 的导线是否正常，若电压和导线正常，则更换节气门控制组件。

5) 节气门位置传感器 G69 的检查。发动机怠速运转，使故障诊断仪 V. A. S 1552 进入 08 功能“读测量数据块”，选择 01 显示组，屏幕显示：

Read measuring value block 1 → 800r/min 2. 20 ms 3° 120° bef. TDC	读测量数据块 1 → 800r/min 2. 20 ms 30°120° bef. TDC
---	---

显示区域 3 中显示出节气门开度值，将节气门慢慢打开直至开足，显示值应在整个区域范围内均匀升高。

如果显示值恒为 00 或大于 900，则拔下节气门控制组件的八针脚插头，用辅助导线将端子 5 和 7 跨接，观察解码器屏幕显示是否正常。若正常，则更换节气门控制组件；若不正常，则检查节气门控制组件的供电电压和到 ECU 的导线是否正常，若电压和导线正常，则更换发动机 ECU。

2. 冷却液温度传感器的诊断与维修

(1) 冷却液温度传感器的构造和工作原理 冷却液温度传感器的构造与工作原理如图 3-8 和图 3-9 所示。温度传感器内有一个负温度系数 (Negative Temperature Coefficient，缩写成 NTC) 的热敏电阻。该电阻构成分压电路的一部分。分压电路电源电压为 5V。温度上升时阻值下降，如图 3-9 所示。ECU 根据阻值变化测定温度。

利用热敏电阻阻值变化来检测冷却液温度变化，并将阻值的变化量转换成电压的变化输入到 ECU 中。利用电压信号，根据冷却液温度的情况，还要对基本喷射时间进行修正。冷却液温度较低时，热敏电阻的阻值较大。冷却液温度较高时，热敏电阻的阻值较小。

(2) 冷却液温度传感器的特点

- 1) 简图和针脚。冷却液温度传感器的简图和针脚如图 3-10 所示。
- 2) 安装位置。安装在发动机出水口或者发动机冷却循环系统回路上。

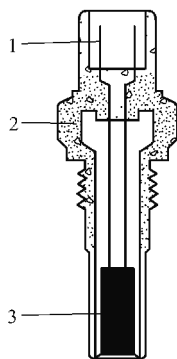


图 3-8 温度传感器

1—电接头 2—外壳 3—NTC 电阻

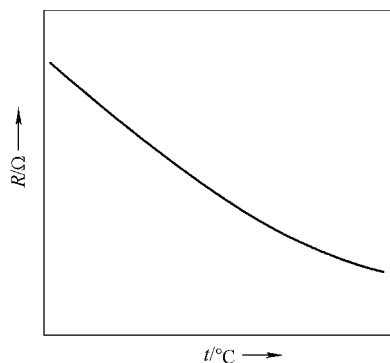
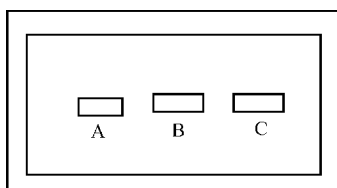


图 3-9 NTC 温度传感器特性曲线



冷却液温度 传感器	A	信号	ECU B76
	B	信号	到仪表
	C	地	ECU B19

图 3-10 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统冷却液温度传感器

3) 技术特性参数。此冷却液温度传感器内含有两个热敏电阻，一个专门用于 ECU 的冷却液温度信号输入，使用针脚为 A、C，另外的一个冷却液温度传感器用于仪表冷却液温度信号的输入，使用针脚为 B 和外壳搭铁。特性数据见表 3-2。

表 3-2 特性数据

序号	值				温度/(℃)
	A, C 端温度公差 ±0.1℃ (电阻/kΩ)		B, C 端温度公差 ±0.1℃ (电阻/kΩ)		
	最小	最大	最小	最大	
1	13.71	16.49			-20
2	1.825	2.155			+25
3	0.303	0.326	63.4	81.4	+80

4) 安装注意事项。最大扭紧力矩为 $20\text{N} \cdot \text{m}$ 。

5) 故障现象和判断方法。

a. 一般故障现象。简易测试方法：(卸下接头) 把数字万用表置于欧姆挡，两表笔分别接传感器 A#、C#针脚， 25°C 时额定电阻为 $1.825 \sim 2.155\text{k}\Omega$ 。测量时也可用模拟的方法，具体为把传感器工作区域放进开水里（注意浸泡的时间要充分），观察传感器电阻的变化，此时电阻应下降到 300Ω 左右（具体数值视开水的温度）。

b. 冷却液温度仪表指示失灵。

简易测试方法：（卸下接头）把数字万用表打到欧姆挡，两表笔分别接传感器 B# 针脚与铜外壳，采用模拟的方法，具体为把传感器工作区域放进开水里（注意浸泡的时间要充分），观察传感器电阻的变化，此时电阻应下降到 60Ω 左右（具体数值视开水的温度）。

（3）冷却液温度传感器的诊断与维修 冷却液温度传感器的主要作用是将冷却液温度的变化转换成电阻值的变化，然后传送至 ECU 电控单元，对发动机的点火和喷油量进行动态修正，如图 3-11 所示。

当判断传感器可能发生故障时，首先检查从 ECU 端至传感器接线端线束连通情况。

1) 诊断仪法。

a. 运转发动机，接上诊断仪，用诊断仪直接实时观测冷却液温度数值的变化情况。

b. 直接读故障码，检查有无冷却液温度传感器故障记录。

2) 欧姆表法。

a. 用欧姆表测冷却液温度传感器电阻，根据发动机冷却液温度与下述图表的关系测评传感器是否正常。

卸下冷却液温度传感器，将传感器置入水中加热，如图 3-12 所示，对应不同的温度，传感器有固定的对应电阻值。

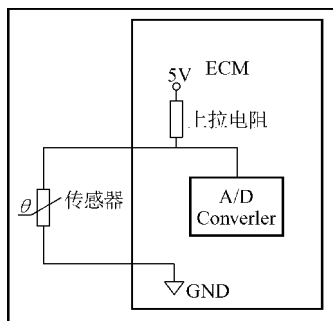


图 3-11 冷却液温度传感器电气原理图

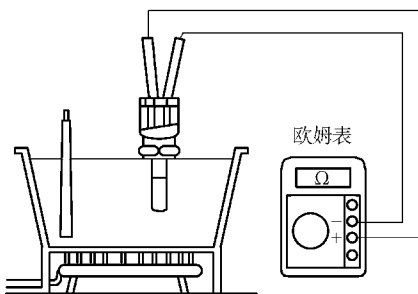


图 3-12 冷却液温度传感器检测示意图

b. 就车检测。关闭点火开关，拔下冷却液温度传感器上的插接器，用数字式高阻抗万用表欧姆挡，检测传感器两端子间的电阻值，其电阻值应与温度成反比，在发动机热机时应小于 $1k\Omega$ 。

c. 车下检测。拔下传感器上的插接器，从发动机上拆下传感器。将该传感器置于烧杯内的水中，加热杯中的水，同时用万用表欧姆挡测量在不同冷却液温度条件下，传感器两端子间的电阻值，如图 3-12 所示。将测得的值与标准值相比较。如果不符合标准，则应更换冷却液温度传感器。

3) 电压表法。用数字式万用表电压挡就车测量，将冷却液温度传感器装好，插好传感器上的插接器，将点火开关置于“ON”位置时，测量冷却液温度传感器或电控单元（ECU）上的“B76”与“B19”端子之间的输出电压信号。所测得的电压值应与冷却液温度成反比变化。

把传感器装在发动机上，运转发动机，在传感器的信号线上接电压表，对应不同的冷却液温度，电压表上会有不同的压降，随着温度上升，电压下降。

3. 进气温度传感器的诊断与维修

(1) 进气温度传感器的构造与工作原理 进气温度传感器与冷却液温度传感器的原理相同, 构造类似。温度传感器内有一个负温度系数 (Negative Temperature Coefficient, 缩写成 NTC) 的热敏电阻。该电阻构成分压电路的一部分。分压电路电源电压为 5V。电阻随进气温度变化, 此传感器输送给控制器一个表示进气温度变化的电压。

(2) 进气温度传感器的诊断与维修 参照冷却液温度传感器。

4. 进气歧管绝对压力传感器的诊断与维修 (MAPS: Manifold Absolute Pressure Sensor)

(1) 进气歧管绝对压力传感器的构造和工作原理 进气歧管绝对压力传感器通过一个空气通道与进气歧管连通, 用于监测进气歧管内的绝对压力。这个传感器可以做成一个装在 ECU 上的元件, 或者做成一个装在进气歧管上或装在它附近的传感器, 用软管将传感器与进气歧管连接。

博世 D 型汽油喷射系统不设空气流量计, 而是利用进气管压力传感器测量节气门后进气管内的绝对压力, 并以此作为电控单元计算喷油量的主要参数。在发动机工作时, 节气门开大, 进气量增多, 进气管压力相应增加。因此, 进气管压力的大小反映了进气量的多少。常见的进气管压力传感器有膜盒式和应变仪式两种。

1) 膜盒式进气管压力传感器。在传感器中有一个密封的弹性金属膜盒 (图 3-13), 内部保持真空, 外部与进气管相通。当进气管压力发生变化时, 膜盒或收缩或膨胀, 并带动衔铁在感应线圈中移动, 从而在感应线圈中产生感应电压, 将此电压信号传输给电控单元用来控制喷油量。

2) 应变仪式进气管压力传感器。物体因承受应力而变形时, 由于长度发生变化, 其电阻值也将随之改变。应变仪式进气管压力传感器就是根据这一原理设计的。传感器的主要元件是一个很薄的硅片 1, 四周较厚, 中间最薄。硅片上下两面各有一层二氧化硅薄膜 2。沿硅片四周有 4 个传感电阻 5。在硅片的四角各有 1 个金属块 6, 通过导线与传感电阻相连 (图 3-14)。

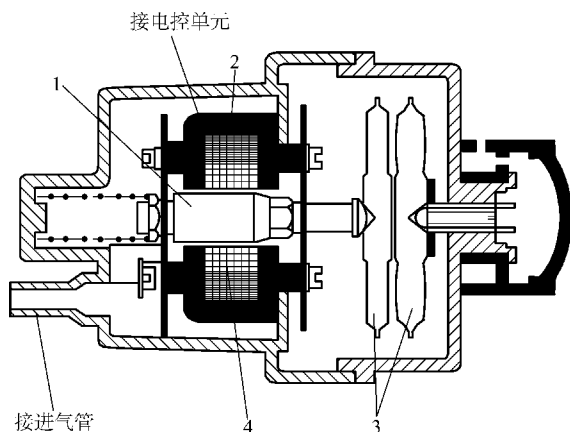


图 3-13 膜盒式进气管压力传感器

1—衔铁 2—二次 (次级) 感应线圈
3—膜盒 4—一次 (初级) 感应线圈

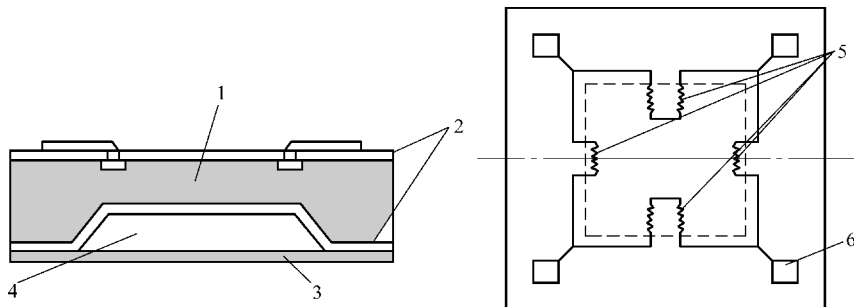


图 3-14 应变仪式进气管压力传感器

1—硅片 2—二氧化硅薄膜 3—硼硅酸玻璃片 4—真空室 5—传感电阻 6—金属块

硅片底部粘接硼硅酸玻璃片 3，在硅片中部形成真空室 4。硅片装在密闭的容器内，容器顶部与进气管相通，使进气管压力作用在硅片上。

硅片上的 4 个传感电阻接成桥式电路（图 3-15），也称惠斯頓电桥。在硅片无变形时，电桥调到平衡状态。当进气管压力增加时，硅片弯曲，引起电阻值的变化，电桥失去平衡，在 A、B 端产生电位差，经差动放大器放大后，输出正比于进气管压力的电压信号。电控单元根据此信号计算进气压力。

应变仪式进气管压力传感器能在较大的温度范围内正常工作。因为温度改变后，各个电阻的电阻值变化相同。另外，它还具有可靠、耐用等优点，在 D 型汽油喷射系统中广为应用。

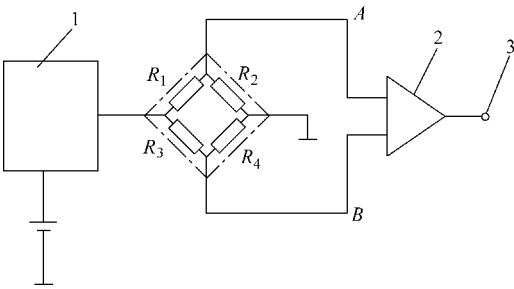


图 3-15 应变仪式进气管压力传感器电路
1—稳压电源 2—差动放大器 3—输出端

（2）进气歧管绝对压力传感器的特点 下面以上汽通用五菱 SGMW N1 车型 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统来阐述进气歧管绝对压力传感器的诊断与维修。进气歧管绝对压力传感器与进气温度共用一个传感器，简称 TMAP。

1) 进气歧管绝对压力传感器的结构简图和针脚，如图 3-16 所示。

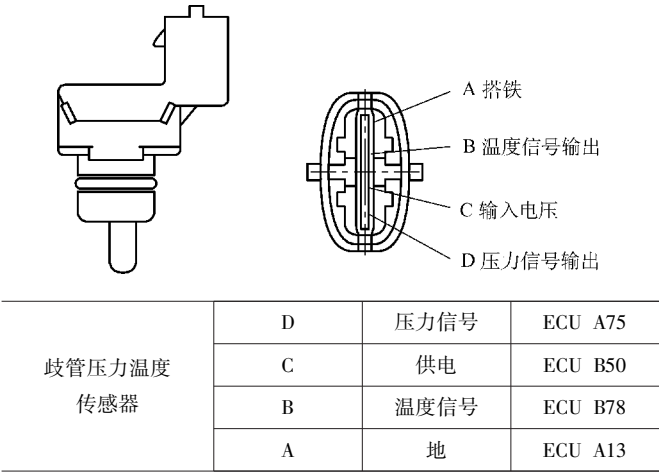


图 3-16 上汽通用五菱 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统节气门位置传感器

2) 安装位置。进气歧管绝对压力传感器由两个传感器即进气歧管绝对压力传感器和进气温度传感器组合而成，装在进气歧管上。

3) 技术特性参数。极限数据见表 3-3。

4) 温度传感器的特性数据

a. 运行温度： $-40 \pm 130^{\circ}\text{C}$ 。

b. 额定电压。以前置电阻 $1\text{k}\Omega$ 在 5V 下运行，或以 $\leq 1\text{mA}$ 的测试电流。

20°C 时额定电阻为 $2500^{+317}_{-280}\Omega$ 。

5) 安装注意事项。本传感器设计成安装在汽车发动机进气歧管的平面上。压力接管和温度传感器一起突出于进气歧管之中，用一个 O 形圈实现对大气的密封。

如果采取合适的方式安装到汽车上（从进气歧管上提取压力，压力接管往下倾斜等），可以确保不会在压力敏感元件上形成冷凝水。

表 3-3 极限数据

量	值			单位最小
	最小	典型	最大	
耐受电源压 1 小时			16	V
耐受压力 30 分钟			500	kpa
耐受储存温度	- 40		+ 130	℃

进气歧管上的钻孔和固定必须按照供货图进行，以便确保长久的密封并且能够耐受介质的侵蚀。

接头电气连接的可靠接触除了主要受零部件接头的影响以外，还跟线束上与其相配的接头的材料质量和尺寸精度有关。螺栓安装转矩应符合技术要求。

6) 故障现象及判断方法。

故障现象：熄火、怠速不良等。

a. 一般故障原因。

a) 使用过程有不正常高压或反向大电流。

b) 维修过程使真空元件受损。

b. 维修注意事项。维修过程中禁止用高压气体向真空元件冲击，发现故障更换传感器的时候注意检查发电机输出电压和电流是否正常。

c. 温度传感器部分。（卸下接头）把数字万用表打到欧姆挡，两表笔分别接传感器 A#，B#针脚，20℃时额定电阻为 $2500^{+317}_{-280} \Omega$ ，其他对应的电阻数值可由图 3-17 特征曲线量出。测量时也可用模拟的方法，具体为用电吹风向传感器送风（注意不可靠得太近），观察传感器电阻的变化，此时电阻应下降。

d. 压力传感器部分。（接上接头）把数字万用表打到直流电压挡，黑表笔搭铁，红表笔分别与 C#、D#针脚连接。怠速状态下，C#针脚应用 5V 的参考电压，D#针脚电压为 1.3V 左右（具体数值与车型有关）空载状态；空载状态下，慢慢打开节气门，D#针脚的电压变化不大则快速打开节气门，D#针脚的电压可瞬间达到 4V 左右（具体数值与车型有关），然后下降到 1.5V 左右（具体数值与车型有关），如图 3-17 所示。

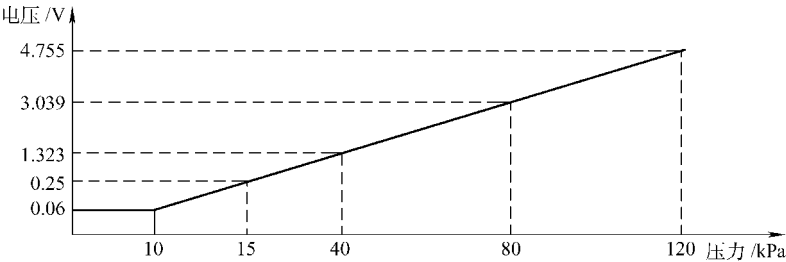


图 3-17 压力传感器特征曲线

(3) 进气歧管绝对压力传感器的诊断与维修

1) 当判断进气温度传感器可能发生故障时，首先检查从 ECU 端至传感器接线端线束连

通情况。

a. 诊断仪法。

a) 接上诊断仪，运转发动机，用诊断仪直接实时观测进气温度数值的变化情况。

b) 直接读故障码，检查有无进气温度传感器故障记录。

b. 欧姆表法。用欧姆表测进气温度传感器电阻，根据发动机进气温度与电阻的关系，对照图 3-18 根据图 3-18 判断进气温度传感器是否工作正常。

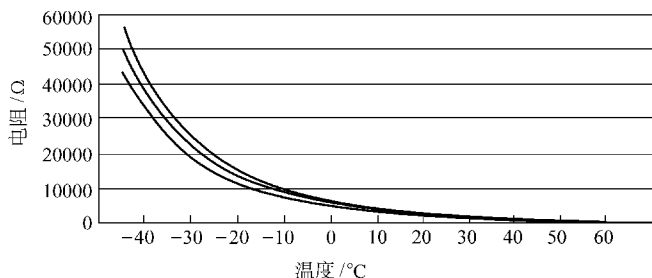


图 3-18 TMAP 传感器电阻—温度图线

c. 电压表法。把传感器装在发动机上，起动发动机，在传感器的信号线上接电压表，对应不同的进气温度，电压表上会有相应的压降。随温度升高，电压下降。

2) 进气压力传感器的故障诊断与维修。进气压力传感器主要由硅片，真空室和电路组成，硅片受到进气压力而变形，引起电阻值变化，从而导致其输出电压变化。有故障的进气压力传感器可导致空燃比变浓或变稀，增大燃油消耗率，使发动机喘振。当判断传感器可能发生故障时，首先检查从 ECU 端至传感器接线端线束连通情况。

a. 诊断仪法。

a) 发动机运行过程中，可通过诊断仪实时观测进气压力变化的情况。踩加速踏板，增大进气量，如屏幕上显示压力读数几乎没有变化，说明压力传感器出现故障。

b) 直接读故障码，检查有无进气压力传感器故障记录。

b. 5V 基准电压测试。接上传感器接头，点火开关通电，在传感器接头处测 5V 基准电压。在 B50 和地线之间连上一只电压表，如果基准电压不足，检查这条导线在 ECU 上的电压。如果 ECU 上电压正常而传感器处电压偏低，要修理 5V 基准电压导线。如果 ECU 处电压偏低则需检测 ECU。

c. 进气歧管绝对压力传感器电压信号诊断。接上传感器接头，接通点火开关 (ON)，在传感器信号导线 (B75 脚) 和地线之间连一个电压表。电压表读数反映传感器传给 ECU 的进气压力信号。大气压力的电压信号随海拔高度和大气条件的不同而变化。保持点火开关接通，将电压表连到传感器压力信号线上，把一个手摇真空泵的出口连在传感器的入口处，对照上述压力电压转移曲线图，检测压力和电压变化情况应符合技术要求。

(4) 进气歧管绝对压力传感器的诊断与维修应用实例

1) 半导体压敏电阻式进气压力传感器的诊断。进气压力传感器若连接线路不良，会使发动机怠速不稳、起动困难或起动后发动机熄火。当产生上述故障时，应检查进气压力传感器及其连接线路。

丰田雷克萨斯 IS200 型轿车 1G-FE 型发动机进气压力传感器控制电路如图 3-19 所示。

故障码为 P0105, P0106 (故障灯闪烁两位码为 31)。

2) 故障码为 P105 的诊断。检测到故障码为 P105 时, 可能的故障原因有: 真空传感器电路断路或短路、真空传感器有故障及发动机 ECU 有故障。

a. 检查发动机 ECU 插接器端子 VC 和 E2 间电压。拆下发动机 ECU, 打开点火开关, 检查发动机 ECU 插接器端子 VC 和 E2 间电压, 应为 4.5 ~ 5.5V, 见图 3-20。

若电压正常, 则进行下一步检查; 若电压不正常, 则检查并更换发动机 ECU。

b. 检查发动机 ECU 插接器端子 PIM 和 E2 间电压。拆下发动机 ECU, 打开点火开关, 检查发动机 ECU 插接器端子 PIM 和 E2 间电压, 应为 3.3 ~ 3.9V, 如图 3-21 所示。

若电压不正常, 则进行下一步检查; 若电压正常, 则检查并更换发动机 ECU。

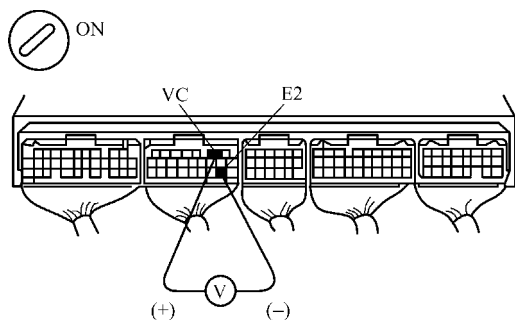


图 3-20 检查发动机 ECU 插接器端子 VC 和 E2 间电压

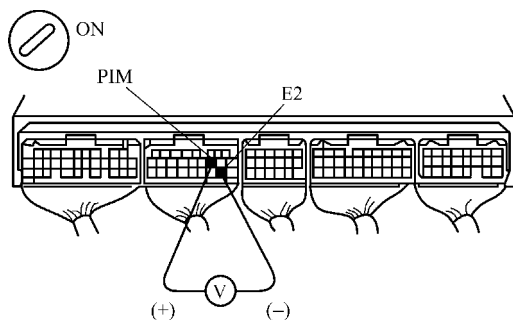


图 3-21 检查发动机 ECU 插接器端子 PIM 和 E2 间电压

c. 检查发动机 ECU 和真空传感器间配线和插接器是否断路和短路。若正常, 则更换真空传感器; 若不正常, 则检修或更换配线/插接器。

3) 故障码为 P106 的诊断。检测到故障码为 P106 时, 可能的故障原因有: 真空传感器有故障、真空管路有故障。

a. 故障码开始输出时是否有其他故障码。若没有, 则进行下一步检查; 若有, 则检查相关故障码。

b. 检查真空传感器 (部件检修)。若真空传感器正常, 则检查至真空传感器的真空管是否阻塞; 若真空传感器不正常, 则更换真空传感器。

4) 真空传感器部件检修。

a. 检查真空传感器的电源电压。断开真空传感器插接器, 打开点火开关, 用电压表测量真空传感器配线侧插接器端子 VC 和 E2 间电压, 应为 4.5 ~ 5.5V, 如图 3-22 所示。关闭点火开关, 连接真空传感器插接器。

b. 检查真空传感器输出电压。将点火开关扭至

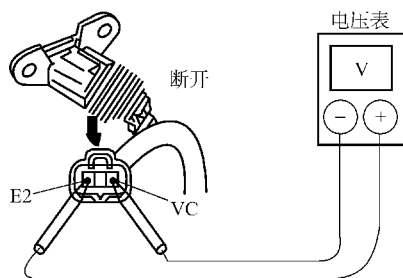


图 3-22 检查真空传感器的电源电压

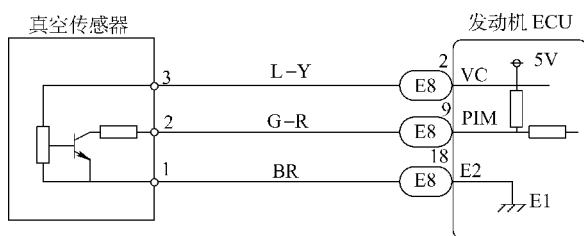


图 3-19 1G-FE 型发动机进气压力传感器控制电路

“ON”位置,从真空传感器上断开真空软管,将电压表连在发动机 ECU 端子 PIM 和 E2 间,测量大气压力下的输出电压(图 3-23)。向真空传感器施加 13.3 ~ 66.7kPa 不等的真空压力,测量每个阶段的电压降。所施真空压力为 13.3kPa 时,电压为 0.3 ~ 0.5V;所施真空压力为 26.7kPa 时,电压为 0.7 ~ 0.9V;所施真空压力为 40.0kPa 时,电压为 1.1 ~ 1.3V;所施真空压力为 53.5kPa 时,电压为 1.5 ~ 1.7V;所施真空压力为 66.7kPa 时,电压为 1.9 ~ 2.1V。

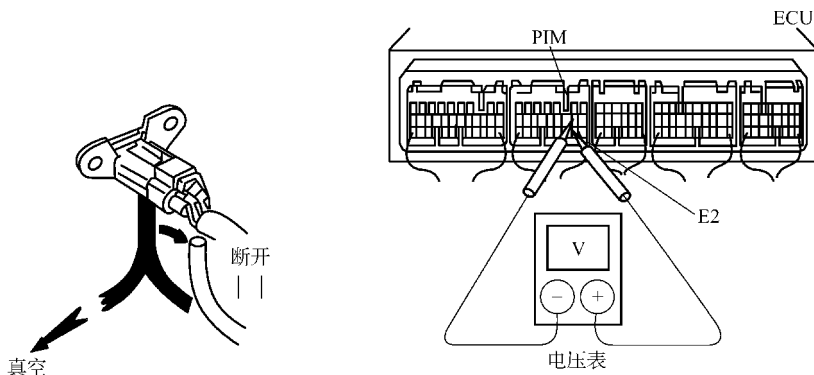


图 3-23 检查真空传感器输出电压

第二节 直接传感负荷信息传感器

一、负荷信息直接传感

负荷信息直接传感就是用空气流量传感器直接测定吸入发动机的空气总流量 $\dot{m}_a$, 然后根据转速 n 和缸数 Z 算出每缸每循环的空气吸入量 m_a 。

$$m_a = \frac{120\dot{m}_a}{nZ} \quad (3-1)$$

严格地说,用直接传感法获取发动机负荷信息时需要两个参数,即转速和空气总流量 $\dot{m}_a$, 见式 (3-1)。但因转速本来就是发动机电子控制必不可少的主控制变量之一,所以通常也单独以空气总流量 $\dot{m}_a$ 表征汽油机负荷,并将汽油机吸入空气的总流量称为直接传感的负荷信息。

电子控制汽油喷射系统的空气流量传感器有多种形式,目前常见的空气流量传感器按其结构形式可分为叶片(翼板)式、热线式、热模式以及卡门涡旋式等几种。

二、直接传感负荷信息传感器的诊断与维修

1. 翼片式空气流量传感器诊断与维修

(1) 翼片式空气流量传感器构造 翼片式空气质量流量传感器的构造如图 3-24 所示。在空气流量计壳体 9 内有空气主流道 8 和旁通空气道 7。在主流道内装有与销轴 10 一起转动的翼片 3 和缓冲片 5。在没有空气流过的情况下,扭簧 1 总是使翼片处于关闭主流道的位置。在销轴的一端装有电位计 2, 它将翼片转动的角度转换为电信号。电位计与电控单元连接。

当发动机怠速工作时,节气门接近关闭,只有少量空气进入发动机。流过主流道的空气

推动翼片偏转很小的角度,同时与翼片同轴的电位计则输出一个微弱的电压信号给电控单元(图3-25a),电控单元便向喷油器输出短脉冲宽度的电脉冲。这时流过旁通空气道的空气未经空气流量计计量,因此不影响喷油量,但却使混合气变稀,使CO的排放量减少。当发动机在高速大负荷运转时,节气门接近全开,吸入的空气量较多且全部流过主流道,空气推动翼片偏转较大的角度,电位计则输出较强的电压信号(图3-25b),电控单元相应地输出长脉冲宽度的电脉冲。

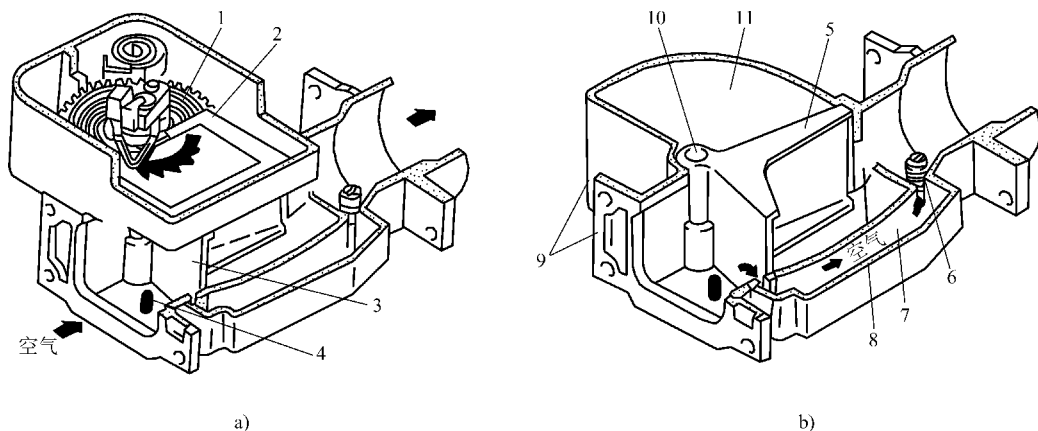


图3-24 翼片式空气质量流量传感器的构造

- 1—扭簧 2—电位计 3—翼片 4—进气温度传感器 5—缓冲片 6—旁通空气调节螺钉
7—旁通空气道 8—主流道 9—空气流量计壳体 10—销轴 11—缓冲室

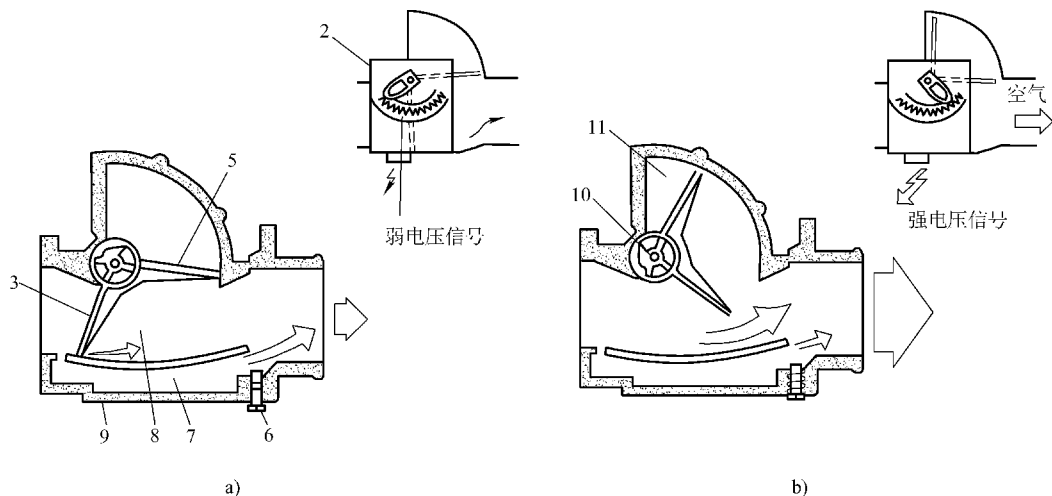


图3-25 翼片式空气流量计(图注同3-24)

翼片偏转时,缓冲片随之一起转动,由于缓冲室内的空气对缓冲片的阻尼作用,使翼片转时动作平稳。即使进气量急剧变化,也可避免翼片发生振摆。

旁通空气调节螺钉用来调节怠速时旁通空气量的大小,从而达到调节怠速混合气成分的目的。旋出调节螺钉,旁通空气量增加,流经主流道的空气量减少,喷油量相应减少,使怠速混合气变稀,反之亦然。

(2) 翼片式空气流量传感器工作原理 翼片式空气流量计的工作原理如图 3-26 所示。汽油发动机工作时,具有一定流速的空气推开测量翼片,经主空气通道进入发动机气缸。测量翼片被气流推开的程度,也即偏转角 α 的大小,与空气流速和扭簧的回复力矩有关。测量翼片的偏转角 α 越大,扭簧的回复力矩也越大,与之对应的是较高空气流速(即较大的空气流量),反之则相反。对于某一具体的空气流量计,在流量计主空气通道几何尺寸已定的情况下,对应于每一偏转角 α ,就有一个确定的主通道流通截面积。由于空气的体积流量 = 空气流速 $\times$ 流通截面积,因此对应于每一偏转角 α ,就有一个确定的空气流量值,只要把偏转角 α 转换为对应的电信号并输送到 ECU, ECU 就能根据偏转角 α 和空气流量的对应关系,算出单位时间发动机吸入的空气量。

把偏转角 α 转换为电信号的过程由电位计组件完成。由于电位计的滑臂与翼片轴同步转动,因此当测量翼片有一个逆时针方向的偏转角 α 时,滑臂在镀膜电阻上也转过相同角度 α (图 3-26),此时信号输出引脚 V_c 和 V_s 之间的电压随 V_c 和 V_s 间电阻的减小而下降。同样道理,若测量翼片向顺时针方向偏转,则 V_c 和 V_s 之间的电压将上升。在电源电压 U_B 不变的情况下, V_c 和 V_s 之间输出电压 U_s 与偏转角 α 有确定的对应关系,也即 U_s 和空气体积流量相对应。

由于汽车电源电压 U_B 是波动变化的,这会造成每一偏转角对应输出电压 U_s 的不确定性。为了解决这一问题,在实际应用中用输出电压 U_s 与电源电压 U_B 的比值代替 U_s ,建立电压比与空气流量的对应关系。这样当电源电压 U_B 发生变化时,尽管 U_s 也发生相应的变化,但 U_s 与 U_B 比值保持不变,即任一偏转角所对应的空气流量与 U_s/U_B 值唯一对应,发动机吸入空气量 Q 与 U_s/U_B 的对应关系如图 3-27 所示。

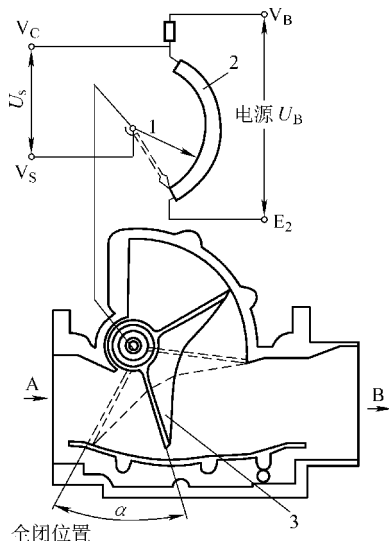


图 3-26 翼片式空气流量计工作原理图

A 一空气滤清器侧 B 一进气歧管侧

1—滑臂 2—镀膜电阻 3—翼片

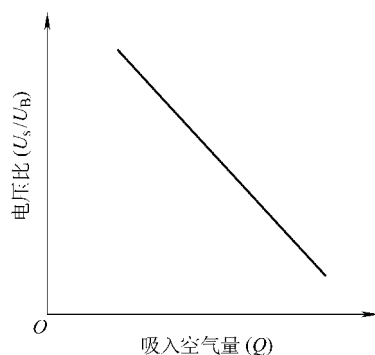


图 3-27 U_s/U_B 与空气流量的关系

翼片式空气流量计具有结构简单、价格低廉及可靠性高的优点,但也存在体积大、需要较大的安装空间、响应速度较慢及进气阻力大等缺点。另外,单位体积空气在不同的温度和压力下,具有不同的质量,因此还需测量进气温度和压力,才能计算出空气的质量流量。

翼片式空气流量计曾在早期的电控汽油发动机广泛应用,如 Bosch 的 L-Motronic 系统、日产的 EGI 系统、丰田的 EFI 系统以及五十铃的 ECGI 系统等,现在已被淘汰。

(3) 翼片式空气流量传感器的诊断与维修 空气流量传感器是测定吸入发动机的空气流量传感器。电子控制汽油喷射发动机为了在各种运转情况下都能获得最佳的浓度的混合气,必须正确的测定每一瞬间吸入发动机的空气量,以此作为 ECU 计算(控制)喷油量的主要依据。如果空气流量传感器或线路出现故障,ECU 得不到正确的进气量信号,就不能正常地进行喷油量的控制,将造成混合气过浓或过稀,使发动机运转不正常。

1) 丰田车叶片式空气流量传感器的检测。

① 查找维修手册的电路图。

② 其检测方法有就车检测和单件检测。

a) 就车检测。将点火开关置于“OFF”,拔下该流量传感器上的插接器,用万用表电阻挡测量插接器内各端子间的电阻。其电阻值应符合技术要求规定,否则应更换空气流量传感器。

b) 单件检测。将点火开关置于“OFF”,拔下空气流量传感器上的插接器,拆下空气流量传感器与空气滤清器之间的连接软管和空气流量传感器与节气门体之间的空气软管卡箍,取下空气流量传感器。

首先检查电动汽油泵开关,用万用表电阻挡测量 $E_1 - F_c$ 。(丰田大霸王 PREVIA) 端子;在测量片全关闭时, $E_1 - F_c$ 间不应导通(电阻为 ∞),在测量片开启后的任一位置上 $E_1 - F_c$ 间均应导通(即电阻为 0)。

用旋具推动测量片,同时用万用表电阻挡测量电位计滑动触点 V_s 与 E_2 端子间的电阻。在测量片由全闭至全开的过程中,电阻值应逐渐变小,且符合规定,否则须更换空气流量传感器。

2) 叶片式空气流量传感器的示波器检测。连接示波器至叶片式空气流量传感器电位计端子,起动发动机并怠速运转,缓慢地增加发动机转速,同时观测显示结果。测试波形应符合技术要求。测试中可利用一字旋具柄轻轻敲击传感器壳体,如传感器内部的连接有松动会造成提速不顺或迟滞。

2. 卡门涡流式空气流量传感器的诊断与维修

(1) 卡门涡流式空气流量传感器构造与工作原理 卡门涡流式空气流量传感器是利用卡门涡流理论来测量空气流量的装置,其结构如图 3-28 所示。在流量计进气道的正中央有一个流线形或三角形的立柱 2,称作涡源体。当均匀的气流流过涡源体时,在涡源体下游的气流中会产生一系列不对称却十分规则的空气漩涡,即所谓卡门涡流(图 3-28a)。据卡门涡流理论,此漩涡移动的速度与空气流速成正比,即在单位时间内流过涡源体下游某点的漩涡数量与空气流速成正比。因此,通过测量单位时间内流过的漩涡数量便可计算出空气流速和流量。

测量漩涡数量的方法有两种。一种是超声波测量法:在涡源体下游的两侧设置一对超声波发生器 3 和接收器 5(图 3-28a),在发动机工作期间,超声波发生器不断向接收器发出一定频率的超声波,当超声波通过气流中的漩涡时,其频率相位会受到干扰而发生变化,电控单元根据这一变化便可算出单位时间内产生的漩涡数量,进而算出空气流速和流量,另一种是光学测量法:在空气流量计内设置一对发光二极管 7 和光敏晶体管 9(图 3-28b),发光二极管发出的光束被反射镜 6 反射到光敏晶体管上,使光敏晶体管导通。若光束没有被反射到

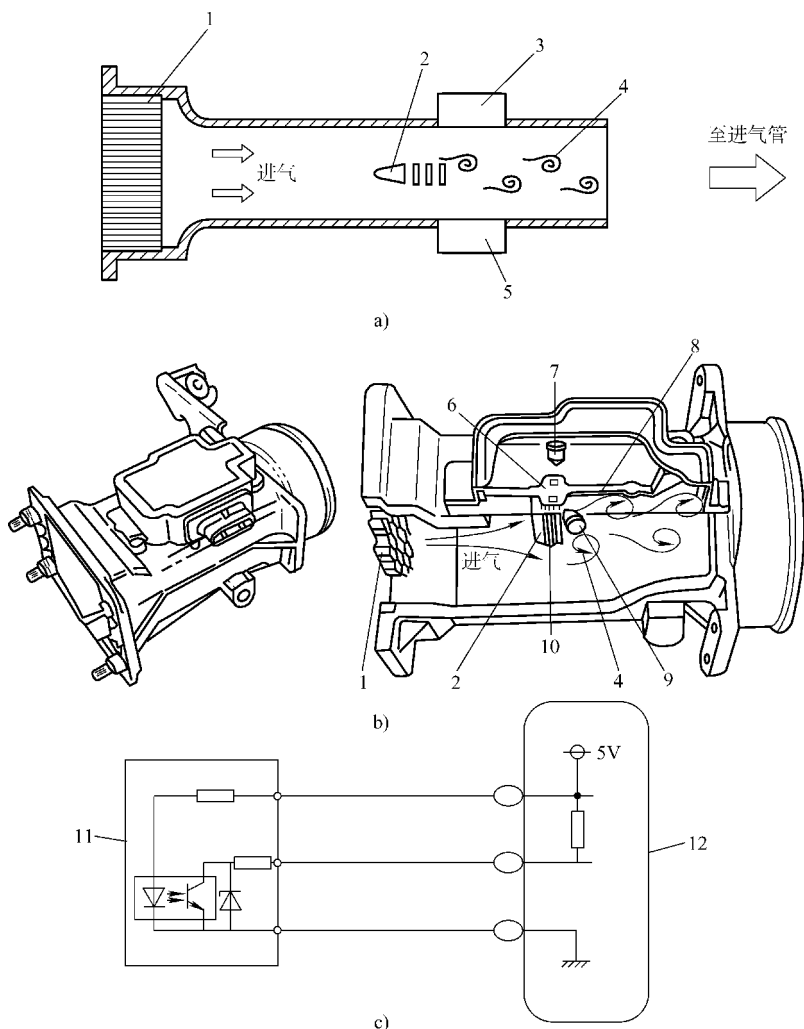


图 3-28 卡门涡流式空气流量计

1—整流网 2—涡源体 3—超声波发生器 4—漩涡 5—超声波接收器 6—反射镜
7—发光二极管 8—簧片 9—光敏晶体管 10—压力传递孔 11—流量计电路 12—电控单元

光敏晶体管上,则光敏晶体管截止。反射镜安装在很薄的簧片 8 上,簧片在气流漩涡的压力作用下发生振动,其振动频率与单位时间内产生的漩涡数量相同。由于反射镜随簧片一起振动,因此被反射的光束方向也以相同的频率变化,最终是使光敏晶体管以簧片的振动频率导通和截止。电控单元根据光敏晶体管导通和截止的频率算出空气流量。

超声波检测方式卡门旋涡式空气流量传感器工作原理。气流绕流钝体时会在钝体两肩交替释放出旋涡,构成涡街,称为卡门涡街。旋涡释放的频率由流速决定。

$$\frac{f \cdot d}{U_{\infty}} = S_t \quad (3-2)$$

式中, f 为旋涡释放频率; d 为钝体截面的特征长度,如宽度或直径。 U_{∞} 为自由气流速度; S_t 为斯特罗哈尔数 (Strouhal Number),仅取决于钝体形状、钝体在气流中的姿势及流体的特性,但与气流速度无关。

这一现象由日本 OVAL 公司和三菱电动机公司首创用于汽车发动机电子控制中测定空气流量, 装置原理如图 3-29 所示。空气经稳流筛网 2 流经涡发生柱(钝体) 3, 在涡发生柱的上、下肩交替释放出卡门涡, 形成卡门涡街, 释放频率与气流速度呈线性关系, 由式 (3-21) 确定, 超声发生器 6 通过安装在管壁上的超声发射器 5 发射的超声波穿过涡街后被安装在对面壁上的超声接收器 9 接收。在没有卡门涡的情况下, 接收到的超声波为稳定的信号。有卡门涡发生时, 超声波在气流中的传播受到卡门涡信号的调制, 接收到的超声波成为一个个与涡数对应的脉冲信号, 其频率等于卡门涡释放的频率, 反映了气流速度。此信号经放大、滤波和脉冲整形之后形成矩形脉冲。计算机对这个矩形脉冲计数, 便得知空气流量。

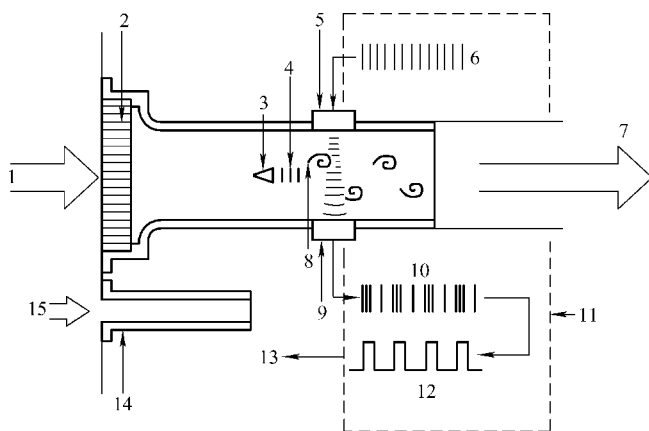


图 3-29 卡门涡旋式空气流量传感器原理

1—空气 2—稳流筛网 3—钝体 4—涡稳定板 5—超声发射器 6—超声发生器
7—通往发动机 8—卡门涡 9—超声接收器 10—对应于涡数的疏密声波 11—放大器
12—矩形脉冲 13—计算机 14—旁通通道 15—空气

丰田雷克萨斯 LS400 及部分三菱的轿车曾装配过卡门涡旋式空气流量计。但是, 用于欧美产汽车的实例尚未见报道。

(2) 卡门涡式空气流量传感器的构造与维修 以丰田雷克萨斯 LS400 轿车 1UZ-FE 发动机用卡门涡旋光电感应式空气流量传感器为例, 介绍卡门涡旋式空气流量计的性能检测内容和方法。该传感器与 ECU 的连接电路如图 3-30b 所示。

1) 电阻的检测。将点火开关置于“OFF”, 拔下空气流量传感器上的插接器, 用万用表电阻挡测量传感器上“THA”与“E₁”的电阻, 如图 3-30a 所示, 其标准值见表 3-4。如果电阻值与标准值不符, 则应更换空气流量传感器。

2) 空气流量传感器的电压检测。插好此空气流量传感器上的插接器, 用万用表电压挡检测发动机 ECU 端子 THA-E₂、Vc-E₁、KS-E₁ 之间的电压, 如图 3-31、图 3-32 所示, 其测量应符合表 3-5 中的规定。

3. 热线和热膜式质量空气流量传感器的诊断与维修

(1) 热线和热膜式质量空气流量传感器的工作原理 热线和热膜式质量空气流量传感器都是根据传热学原理设计的。与其他类型直接式空气流量传感器相比, 它最重要的优点是能够测定质量空气流量。而前述的两种直接式空气流量传感器都只能测定体积空气流量。

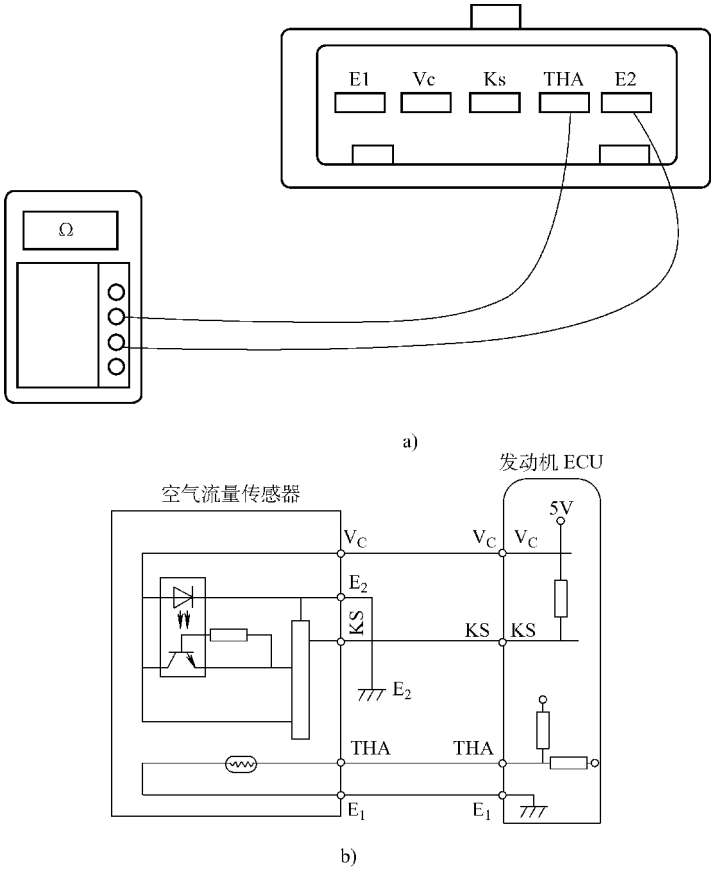


图 3-30 丰田雷克萨斯 LS400 轿车卡门涡旋式空气流量传感器与 ECU 的连接

表 3-4 卡门涡旋式空气流量传感器 THA—E₁ 端子间的电阻 (丰田雷克萨斯 LS400 轿车)

端 子	标准电阻/kΩ	温度/℃
THA—E ₁	10.0 ~ 20.0	-20
	4.0 ~ 7.0	0
	2.0 ~ 3.0	20
	0.9 ~ 1.3	40
	0.4 ~ 0.7	60

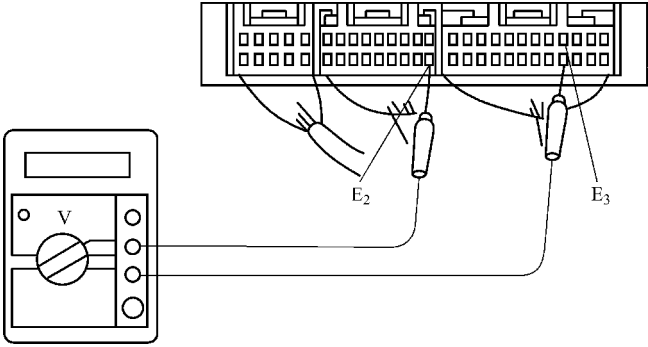
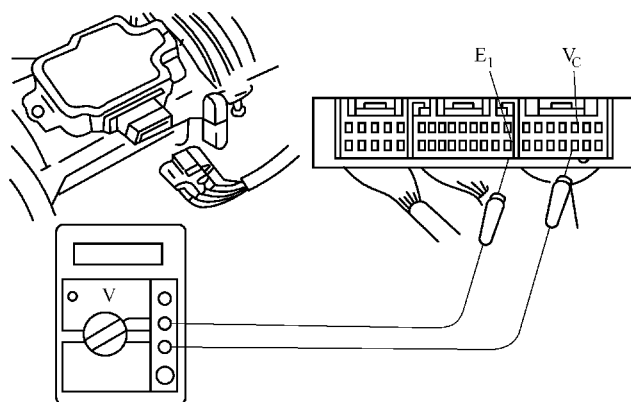


图 3-31 KS—E₁ 间的电压检查

图 3-32 $V_c - E_1$ 间的电压检查表 3-5 丰田雷克萨斯 LS400 轿车 1UZ-FE 发动机 ECU (THA-E₂、Vc-E₁、KS-E₁、KS-E₂) 端子的电压

端 子	电压/V	条 件
THA-E ₂	0.5~3.4	怠速进气温度 20℃
KS-E ₁	4.5~5.5	点火开关 ON
KS-E ₂	2.0~4.0 (脉冲)	怠速
Vc-E ₁	4.5~5.5	点火开关 ON

热线和热膜式质量空气流量传感器的原理相同。热膜式质量空气流量传感器是在热线式质量空气流量传感器的基础上发展起来的。1980 年就开始成批生产热线式质量空气流量传感器。其传感元件是一根极细的高温度系数的金属电阻丝。金属电阻丝通电发热，故称热线。空气流过时，从热线上带走热量。在环境空气摄氏温度 t_{∞} 保持恒定的情况下，热线的热平衡取决于三个因素，即气流、电流和热线温度。为了建立热线的热平衡，有两种方案：一种是恒电流方案，气流改变时热线温度相应地改变，使得散失的热量不变；另一种是恒电阻方案，即恒温度方案，气流改变时电流相应地改变，使得散失的热量也改变。多年来，根据这一原理设计成热线风速仪用于对风速进行动态测试。热线式质量空气流量传感器也有恒电流和恒电阻两种方案。因为恒电流方案的热线式质量空气流量传感器受电阻热时间常数的影响，由此会引起响应滞后，不能满足发动机控制的使用要求，所以采取恒电阻方案。因为热线的电阻由温度决定，所以恒电阻要求热线恒温度，而在空气温度已定的情况下，若热线恒温度则热线与空气恒温度差。热膜式也采取恒电阻方案。

热线和热膜式质量空气流量传感器电路是一个电桥，如图 3-33 所示。

1) R_s 为传感电阻。在热线式传感器中 R_s 就是热线电阻本身，它既是传感元件，又是加热元件；在热膜式传感器中， R_s 是热膜电阻，

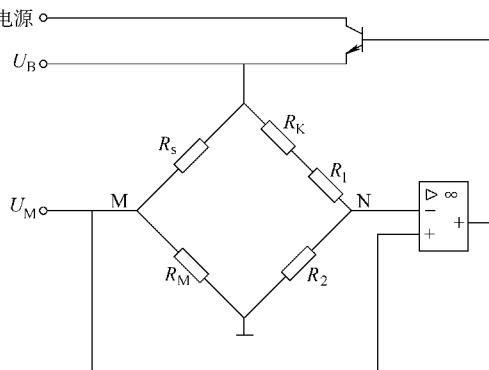


图 3-33 热线和热膜式质量空气流量传感器电路原理

它只是传感元件, 传感元件的加热另由加热元件 R_H 完成。 R_s 安置在气流中, 其特点是:

① 正温度系数, 其电阻随温度升高而增大, 英文称为 Positive Temperature Coefficient, 缩写成 PTC。

② 正温度系数值很高。

③ 电路设计成电功率主要消耗在 R_s (或 R_H) 上, 所以 R_s 温度 t_s 高于环境空气温度 t_∞ 。

2) R_K 为空气温度补偿电阻。 R_K 为空气温度补偿电阻用于补偿环境空气温度对测试结果的影响。 R_K 也安置在气流中, 它的特点是:

① 正温度系数。

② 正温度系数值很高。

③ 因为 R_K 、 R_1 和 R_2 之和很大, 电流很小, 所以 R_K 所消耗的电功率极低, R_K 的温度等于环境空气温度 t_∞ 。

3) R_M 为测量电阻。 R_M 两端的电压可作为信号电压输出。

4) R_1 和 R_2 为可调电阻。 R_M 、 R_1 和 R_2 的温度系数很低, 其阻值可看作常数。由图 3-33 看出, 满足下式时电桥达到平衡:

$$R_s \cdot R_2 = R_M \cdot (R_K + R_1) \quad (3-3)$$

这个电路有自动趋于平衡的趋势, 即点 M 与点 N 之间的电位差自动趋于零。为了说明这一点, 先假设点 M 的电位高于点 N, 此电位差经运算放大器放大后, 将使电源向电桥提供的电压增大, 因而 R_s 和 R_M 的电流增大, 温度升高; 此时 R_s 阻值增大, R_M 阻值不变, R_s 和 R_M 的电压降之比也相应地增大。只要 R_s 的正温度系数足够大, 就能使点 M 的电位下降, 直到与点 N 的电位相等。

伴随着电桥的平衡, 还发生一个传感电阻 R_s 的热平衡过程。在环境空气温度 t_∞ 保持恒定的情况下, 假定在某一气流流量下电桥达到平衡, 则 R_s 阻值必然稳定, 其温度 t_s 也必然稳定, 电流在 R_s 上产生的热量必然和气流从 R_s 带走的热量相平衡。电桥的电平衡和 R_s 的热平衡必须同时建立, 两种平衡相互依存。一种平衡被打破, 必然导致另一种平衡也要被打破。如果现在气流增强, 则气流从 R_s 带走的热量增多, 热平衡被打破, R_s 的温度 t_s 下降, 使 R_s 阻值下降, 但 R_M 阻值不变, 因此 R_s 和 R_M 的电压降之比相应地改变, 即 R_s 电压降减小, 点 M 的电位升高。接下去发生的过程如前所述, 点 M 和点 N 的电位差经运算放大器放大后使电桥供电电压增大, R_s 电流增大, t_s 回升, 直到气流增强之前的温度, R_s 阻值也恢复到原先的水平。这一过程中其他各电阻的阻值均未改变, 所以此时电桥恢复平衡。同时, R_s 也建立了新的热平衡。与气流增强以前不同的是, U_B 提高了, R_s 和 R_M 上的电流增大了, U_M 随之增大。所以, U_s 和 U_M 均可反映出气流流量的变化。

(2) 热线质量空气流量传感器的构造与维修

1) 热线质量空气流量传感器的构造与工作原理。热线质量空气流量传感器的构造如图 3-34 所示。测试管 2 置于空气流道的中央, 空气流道装有金属防护网 1, 并用卡环固定在壳体 7 上。在测试管内的支承环上固定一根直径为 $70\mu\text{m}$ 的铂金属丝 3, 在工作中铂金属丝被电流加热至 100°C 以上, 故称之为铂热线。在支承环前端装有铂薄膜温度补偿电阻 4, 支承环后端粘结有精密电阻, 而在控制电路板上则装有高阻值电阻。铂热线、温度补偿电阻、精密电阻和高阻值电阻构成惠斯登电桥电路中的 4 个臂 (图 3-35)。混合电路用来调节供给 4 个臂的电流使电桥保持平衡。

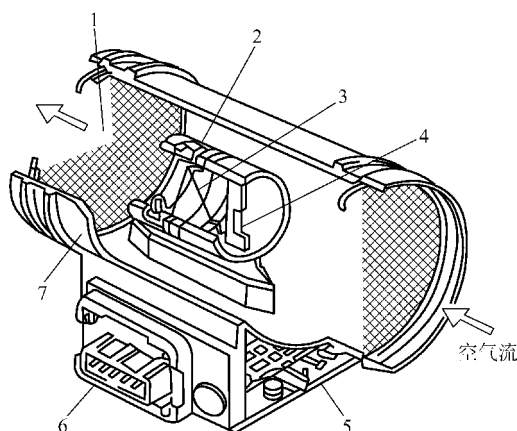


图 3-34 热线式空气流量计

- 1—金属防护网 2—测试管 3—铂金属丝
4—温度补偿电阻 5—控制电路板
6—电源插座 7—壳体精密电阻

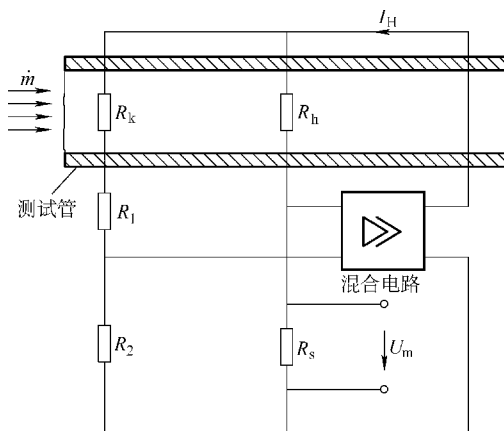


图 3-35 热线式空气流量计电路

- R_h —铂热线 R_k —温度补偿电阻
 R_1, R_2 —高阻值电阻 R_s —精密电阻
 I_H —加热电流 U_m —电压输出信号

当空气流过热线式空气流量计时，铂热线向空气散热，温度降低，铂热线的电阻减小，使电桥失去平衡。这时混合电路将自动增加供给铂热线的电流，以使其恢复原来的温度和电阻值，直至电桥恢复平衡。流过铂热线的空气流量越大，混合电路供给铂热线的加热电流也越大，即加热电流是空气流量的单值函数。加热电流通过精密电阻产生的电压降作为电压输出信号传输给电控单元，电压降的大小即是对空气流量的度量。

温度补偿电阻的阻值也随进气温度的变化而变化，起到一个参照标准的作用，用来消除进气温度的变化对空气流量测量结果的影响。一般将铂热线通电加热到高于温度补偿电阻温度 100°C 。

热线式空气流量计无机械运动件，进气阻力小，反应快，测量精度高。但在使用中，铂热线表面受空气中灰尘的污染而影响测量精度。为此，在电控单元中装有自洁电路，在发动机熄火后，自动将铂热线加热至 1000°C 并维持 5s 时间，烧掉黏附在铂热线上的灰尘。

2) 热线质量空气流量传感器的诊断与维修。

① 尼桑轿车热线式空气流量计的诊断。尼桑轿车热线式空气流量计控制电路如图 3-36 所示。

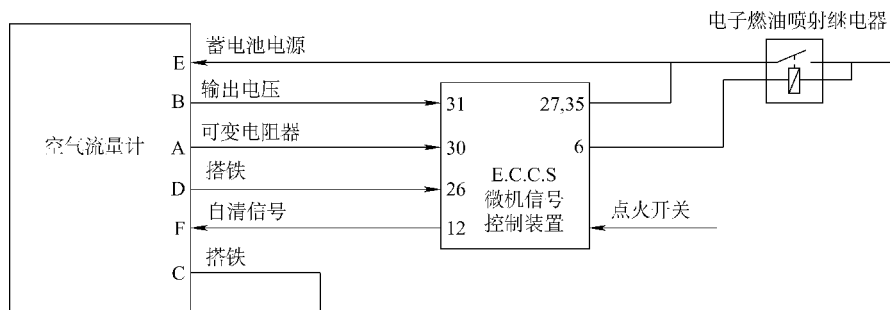


图 3-36 热线式空气流量计控制电路

a) 检查空气流量计输出信号。拔下空气流量计插接器，将 E、D 端子分别接蓄电池电源的“+”和“-”极（电源极性不能接反）。

用万用表测量 B 和 D 之间的电压，正常情况下的标准电压值为 $(1.6 \pm 0.5) \text{ V}$ ，如图 3-37a 所示。若使空气流过空气流量计，同时测量 B 和 D 端子间的电压，应有所升高，在 $2 \sim 4 \text{ V}$ 为正常，如图 3-37b 所示。

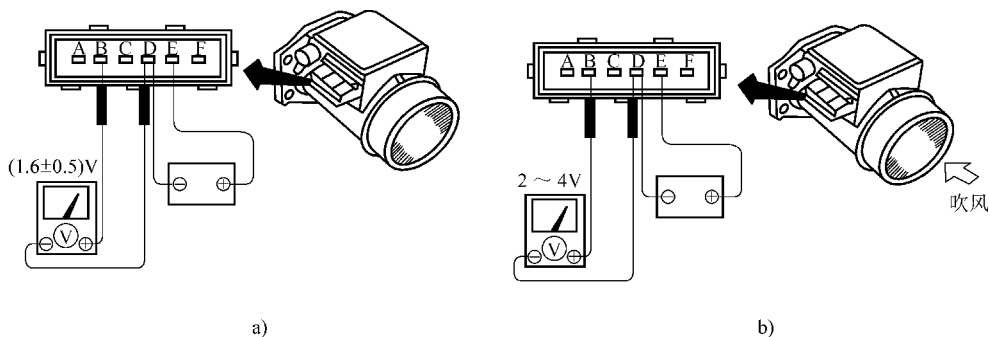


图 3-37 检查空气流量计输出信号

a) 不吹风时检查 b) 吹风时检查

b) 自洁电路的检查。检查时，应拆下空气滤清器，起动发动机，使发动机以 2500 r/min 以上转速运转，当关闭点火开关 5 s 后，从空气流量计的进气口处观察热线，应能看到热线发出微红的辉光约 1 s 。

如果观察结果不符合以上要求，应拆下 ECU20 端子插接器及空气流量计上的插接器，检查 20 端子插接器上的第 12 端子与空气流量计插接器 F 端子间的导通情况，正常情况应导通。否则，应修理或更换线束。若线束导通，仍看不到空气流量计电阻丝的辉光，则应更换空气流量计。

② 雷克萨斯 LS400 型轿车热线式空气流量计诊断。1995—1997 年款雷克萨斯 LS400 型轿车采用热线式空气流量计，其控制电路如图 3-38 所示。

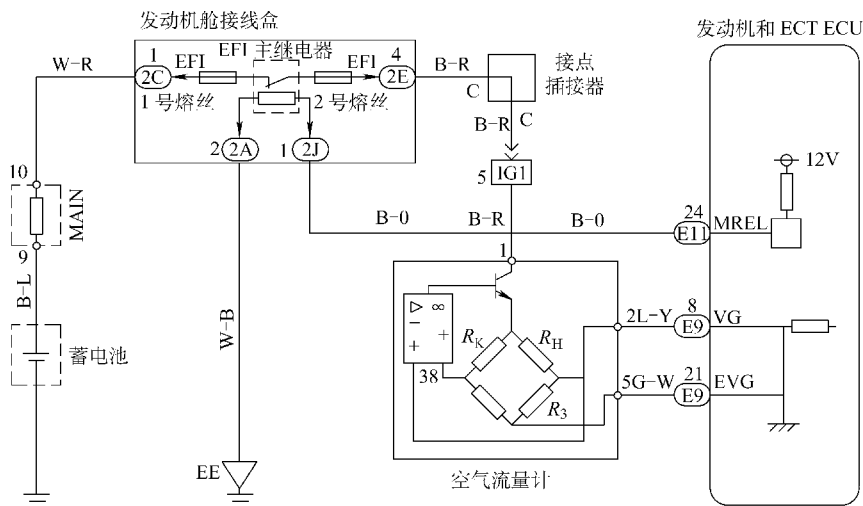


图 3-38 热线式空气流量计控制电路图

用正常状态读取其故障码为 31, 如果 ECU 检测到 31 号故障码, 便会起动故障防护功能, 使车辆暂时得以行驶 (低速行驶至修理厂)。

a) 检测发动机 ECU 插接器端子 VG 与 EVG 之间的电压。起动发动机, 在发动机怠速运转时 (P 位或 N 位, 空调开关断开), 测量发动机 ECU 插接器端子 VG 与 EVG 之间的电压, 正常电压为 1.1 ~ 1.5V, 如图 3-39 所示。

如果检测正常, 则检查和更换发动机和 ECT ECU; 如果结果不正常, 则继续下一步检测。

b) 检测空气流量计插接器端子 1 与车身搭铁间电压。脱开空气流量计插接器, 点火开关位于 “ON”, 测量空气流量计插接器端子 1 与车身搭铁间电压, 正常电压为 9 ~ 14V, 如图 3-40 所示。

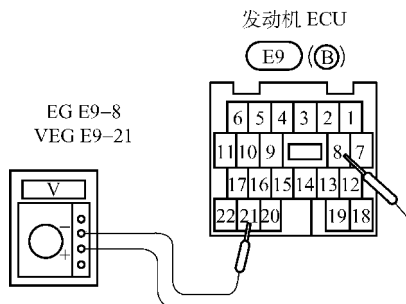


图 3-39 检测 ECU 空气流量计端子电压

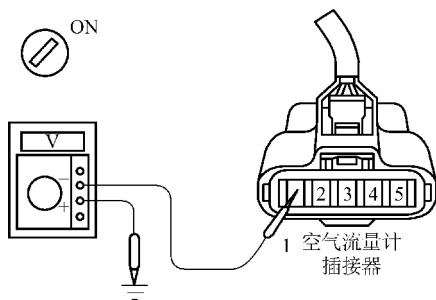


图 3-40 检测空气流量计端子 1 与搭铁间电压

如果检测不正常, 则检查和修理空气流量计电源电路; 如果结果正常, 则检查发动机 ECU 和 ECT ECU 与空气流量计之间的配线和插接器有无断路或短路。如果配线和插接器有故障则修理或更换, 如果正常则更换空气流量计。

(3) 热膜式质量空气流量传感器的构造与维修

1) 热膜式质量空气流量传感器的构造。热膜式空气流量计其测量原理与热线式空气流量计相同, 它是利用热膜与空气之间的热传递现象来测量空气流量的。热膜是由铂金属片固定在树脂薄膜上而构成的。用热膜代替热线提高了空气流量计的可靠性和耐用性, 并且热膜不会被空气中的灰尘沾附。

热膜式空气流量计及其桥式电路如图 3-41 所示。整个电路置于一个单层上。加热电阻上的电压反映了质量空气流量的大小, 该电压由传感器电路转换成一个适合于 ECU 进行处理电平。热膜式质量空气流量传感器不需要依靠烧灼来维持测量精度, 因为大部分沉积物集中在传感器元件的迎风侧, 而真正的传热元件位于陶瓷基板的下游。传感器元件还设计成能确保沉积物不会影响传感器周围的流场。

2) 热膜式质量空气流量传感器的诊断与维修。

热膜式空气流量计的诊断。桑塔纳 2000 GSi 型轿车热膜式空气流量计控制电路如图 3-42 所示。

a) 解码器检测。发动机怠速运转, 用 V. A. G1552 进入 08 功能 “读测量数据块” 显示组 02, 屏幕显示: 检查区域 4 进气质量, 标准值应为 2.0 ~ 4.0g/s, 如果数值不在标准范围内或查询到空气流量计有故障, 应检查空气流量计的供电电压。

b) 检查空气流量计的供电电压。拔下空气流量计插头 (图 3-43), 用汽车数字万用表

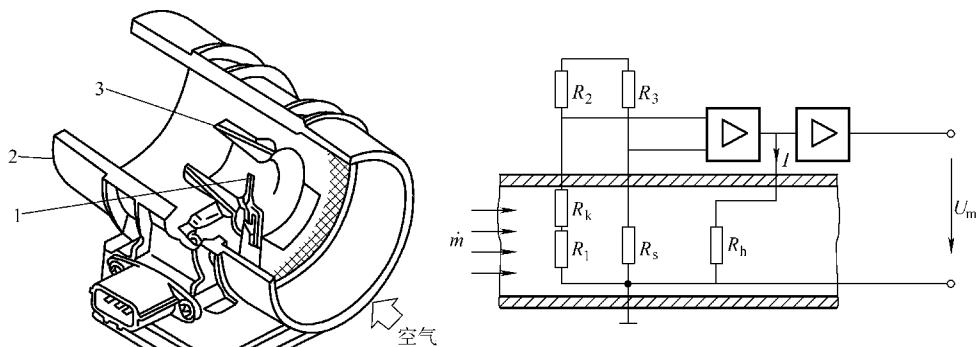


图 3-41 热膜式空气流量计及其桥式电路

1—热膜 2—空气流量计壳体 3—测量管

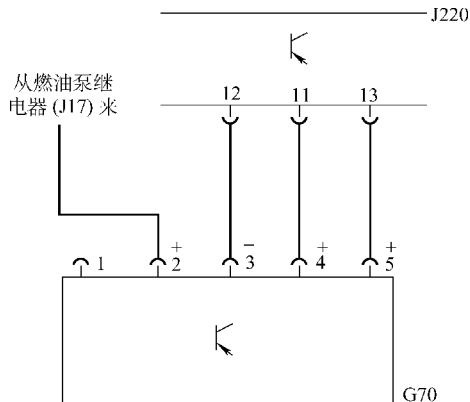
 R_h —热膜电阻 R_k —温度补偿电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 —高阻值电阻 R_s —精密电阻 U_m —电压输出信号 I —加热电流 m —空气流量

图 3-42 热膜式空气流量计控制电路图

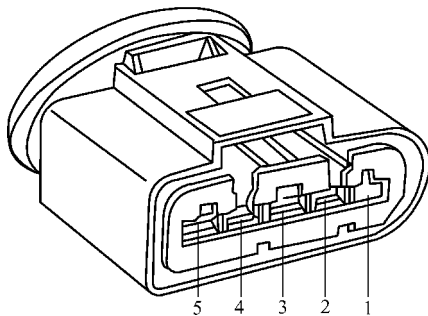


图 3-43 空气流量计插头

1、2、3、4、5—插孔

(量程 20V 电压挡)，连接插头端子 2 和发动机搭铁点。打开点火开关，测试电压值（动作要快），标准值应为蓄电池电压；如果测不到电压值，应检查燃油泵继电器。

c) 测试 ECU 供给空气流量计的供电电压。拔下空气流量计的插头，用汽车数字万用表连接插头端子 4 和发动机的搭铁点，打开点火开关，测量其电压，应接近 5V；如果不正常，应检查空气流量计与发动机 ECU 各连接导线或更换发动机 ECU。

d) 检查空气流量计与发动机 ECU 各连接导线。如果线路有断路或短路，应维修。

如果使用故障测试仪诊断测试结果为热膜式空气流量计功能异常，上述电源电压和线束电阻检测结果也为正常，说明热膜式空气流量计内部有故障，需要更换热膜式空气流量计。

第三节 各种负荷信息传感器的比较

一、传感器的独立使用性

直接式负荷信息传感器直接测量空气流量，使用的场合对测量结果毫无影响。间接式负荷信息传感器测量的只是节气门转角和进气歧管绝对压力，进而计算出空气流量和每缸每循环进气量。这个计算过程与发动机的结构类型、尺寸大小都有关。同样的间接式负荷信息传

感器,同样的空气流量和发动机转速,在不同的发动机上产生的传感器输出电压不同。所以,直接式负荷信息传感器可以独立使用,而间接式负荷信息传感器则不能独立使用,即用于不同的发动机要有不同的标定数据。

二、测量精度

热膜式和热线式传感器可以直接测量质量空气流量,测量结果不受空气压力的影响。其他各种负荷信息传感器测量的都是体积空气流量,测量结果受空气压力的影响。所以热膜式和热线式传感器精度最佳,性能最优。

节气门位置传感器用于转速—转角法测量负荷信息,在低转速、低负荷工况下的分辨率很低,影响测量精度。如图 3-44 所示,在转速 n 为 1500r/min、节气门转角 α 为 4.5° 时, 1.5° 的转角误差带来 $\pm 17\%$ 的负荷信息测量误差;但 n 为 2500r/min、 α 为 30° 时,同样的转角误差仅造成 $\pm 1\%$ 的负荷信息误差。

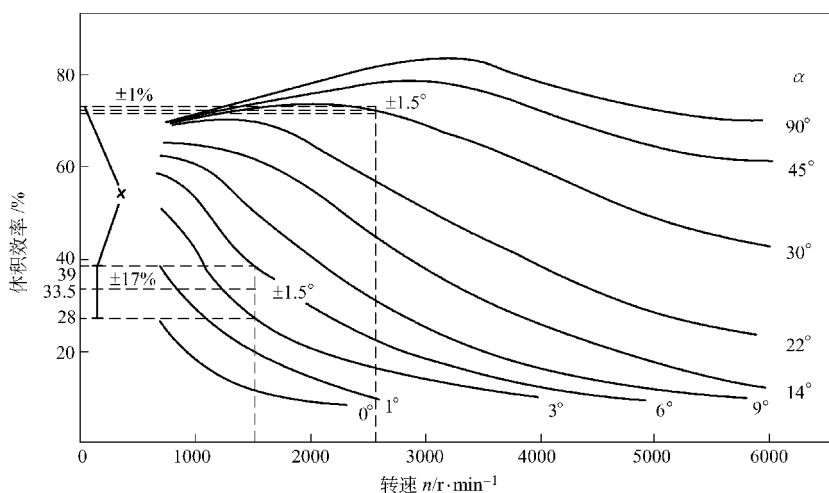


图 3-44 节气门位置传感器测量误差与工况的关系

间接式负荷信息传感器的标定数据既然与发动机结构类型、尺寸大小有关,也就与发动机的磨损程度和故障状况有关。因此,采用间接式负荷信息传感器的发动机磨损或有故障时,其负荷信息测量精度会受到影响。

三、稳定工况信号特征

五种负荷信息传感器输出的信号的动态特征如图 3-45 所示。图中曲线 1 是节气门位置传感器的输出信号,它直接反映了节气门转角的变化,却反映不出气流的真实变化。曲线 2 是用于 L-Jetronic 的阻流板式空气流量传感器的输出信号。与节气门不同,阻流板是由气流推动而转动的,阻流板的转角会因气流脉动而波动。但因阻尼板的作用,这种波动的幅度很小。曲线 3 是热线式质量空气流量传感器的输出信号,清晰地显示出了阻流板传感器中被阻尼板衰减了的发动机进气气流中的脉动成分。脉动频率表明这是四缸发动机。曲线 4 是热膜式质量空气流量传感器的输出信号,它也包含着脉动成分,其脉动频率与热线式传感器相同,但因其热膜热容量远大于热线,所以脉动成分的幅度比热线式传感器的小。这种气流脉动在压力传感器的输出信号曲线 5 中也有反映。

四、过渡工况响应特性

在过渡工况,例如在节气门从怠速位置突然开启的加速工况时,节气门位置传感器将毫

不延迟地作出响应,如图3-45所示。接着开始作出响应的依次是压力传感器、热线式传感器和热膜式传感器,响应最迟的是阻流板式传感器。

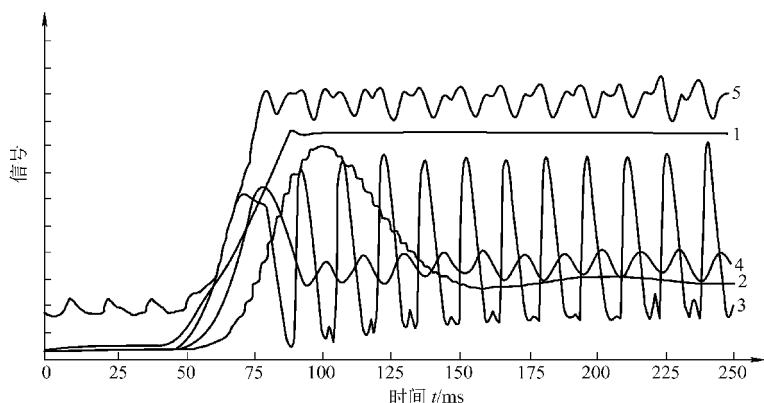


图 3-45 负荷信息传感器输出信号的动态特性 ($n = 2000 \text{ r/min}$)

1—节气门位置传感器 2—阻流板式空气流量传感器 3—热线式质量空气流量传感器
4—热膜式质量空气流量传感器 5—进气歧管绝对压力传感器

怠速时进气歧管绝对压力是很低的,所以无论采用何种传感器,节气门突然开启时,流入的空气除有一部分进入气缸外,另有一部分留在进气歧管中用于将压力提高到接近节气门前的水平。这导致流过传感器的空气流量在节气门突然开启之初超过稳定工况,然后随着进气歧管压力的提高而跌落到稳定工况水平。这个过渡过程加上传感器运动零件惯性的影响,使阻流板式传感器输出信号在节气门突然开启之初可超过节气门全开时的稳定工况空气流量。ECU 根据这一过渡的输出信号配给过多的燃油,使混合气过浓,而这种过浓混合气正是发动机在节气门突然开启时所需要的,因为此时进气道壁上油膜增厚吸收一部分燃油。热膜式传感器的输出信号也有类似特性。与此相反,压力传感器在节气门突然开启时必须首先经历一个建立进气歧管压力的过程,然后才能将输出信号提高到一个较高的水平。因此,它虽然较早地开始响应,却不能自动地为发动机加速工况提供产生过浓混合气所需要的过度的输出信号,以致加速时混合气瞬时变稀。

五、流动阻力

负荷信息传感器多数安装在进气通道内,不可避免地带来流动阻力。这些传感器中,流动阻力最大的是阻流板式传感器。其次是卡门涡式,因为它有钝体挡在进气通道内。热膜的尺寸比热线大,所以热膜式传感器的流动阻力比热线式大。压力传感器的流动阻力可忽略不计,而节气门传感器不装在进气通道内,不会带来额外的流动阻力。

六、磨损

节气门传感器和阻流板式传感器有运动着的转轴和滑触臂,会带来磨损,最终影响精度和寿命。其他传感器均无此缺点。

七、输出信号类型

卡门涡式传感器的输出信号为脉冲量,其他各种传感器的输出信号均为模拟量,必须先经模数转换方能被计算机接受。

八、生产成本

间接式负荷信息传感器成本比直接式负荷信息传感器低,大多用于低档轿车发动机。

第四节 转速和曲轴位置信息传感方法的诊断与维修

转速信息是与负荷信息并列的又一个主控制变量,没有转速信息就无法计算出每循环喷油量。

曲轴位置信息是现代电子控制燃油喷射系统必不可少的。如果说计算每循环喷油量可以不需要曲轴位置信息的话,那么计算喷油正时就不是这样了。在由触点触发点火的系统中,喷油脉冲可由点火脉冲触发,并不需要曲轴位置信息,博世公司的 L-Jetronic 就是如此。可是现在普遍采用无触点甚至无分电器点火方式,这就必须根据曲轴位置信息来控制喷油正时,以实现优化。所以,曲轴位置信息是燃油系统电子控制中一个重要的主控制变量。而对于讨论的点火正时电子控制而言,曲轴位置信息更是不可或缺的。

转速信息的传感方法可以分成两大类。一类与曲轴位置信息传感无关;另一类与曲轴位置信息的传感集成于一体。而曲轴位置信息的传感则依附于转速信息的传感。

一、与曲轴位置信息无关的转速信息传感方法

1. 有触点

这类方法利用传统分电器采集转速信息,用于不需要曲轴位置信息的场合,如博世公司的 L-Jetronic。

传统分电器利用机械式继电器的触点使点火线圈的初级线圈周期性地接通和断开,达到使点火线圈充电和放电的目的。在触点控制的点火系统中,无论带或不带晶体管式触点保护装置,其断电器每分钟闭合或断开的次数都等于曲轴转速之半与缸数的乘积。所以,只要将分电器的断电器触点与 ECU 连接,便能采集到一系列脉冲信号,借此可传感当时的发动机转速(图 3-46)。

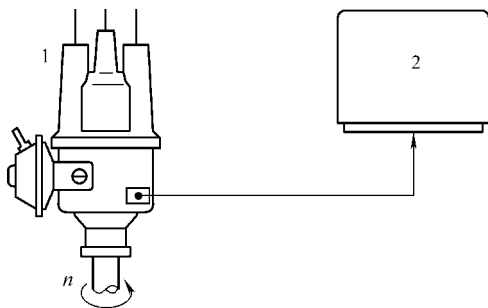


图 3-46 触点控制的点火装置中的转速采集

1—分电器 2—控制装置

n —分电器转速(等于曲轴转速之半)

2. 无触点

(1) 霍尔传感器 霍尔效应如图 3-47 所示,如果自由电子在一块有磁力线穿过的导体内运动而形成电流 I_V ,则此电子会朝既垂直于电流又垂直于磁力线的方向偏转,在 A_1 面上形成电子过剩,在 A_2 面上形成电子不足,即在 A_1 和 A_2 之间出现霍尔电压,形成霍尔电流 I_H 。这就是霍尔效应,在半导体中特别突出。根据这个原理,在两块永久磁铁之间放一块通电的霍尔集成电路就构成了一个霍尔元件。如图 3-48 所示,将霍尔元件固定在分电器上,并在分电器的转轴上安装一个转子,转子上等间隔布置着其数量与发动机缸数相等的叶瓣 1,则当叶瓣转到霍尔元件的气隙中时因叶瓣遮隔了磁力线而使霍尔元件没有霍尔电压输出,而当叶瓣让出气隙时便有霍尔电压输出,这就是霍尔传感器。如此可形成脉冲信号而无需断电器和触点,见图 3-48 下部。发动机每转两转,分电器才转一转,发出数量与叶瓣数相等的脉冲。所以,装在分电器上的霍尔传感器每分钟发出的脉冲数也等于曲轴转速之半与叶瓣数即缸数的乘积。ECU 根据采集到的霍尔脉冲便可得出转速。

霍尔传感器装在凸轮轴上可收到同样的效果。

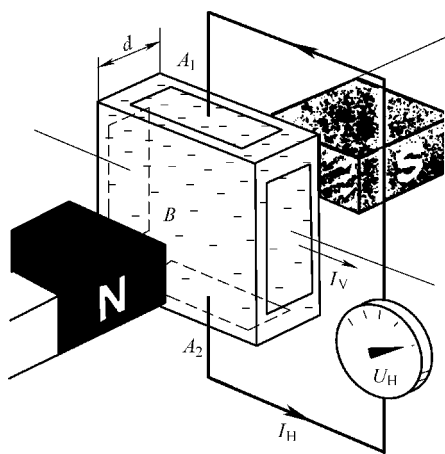


图 3-47 霍尔效应

B —磁通量密度 I_H —霍尔电流 I_V —供电电流
 U_H —霍尔电压 d —厚度

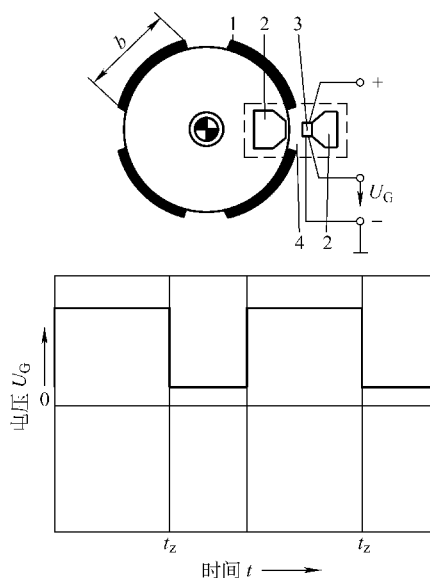


图 3-48 分电器中的霍尔传感器原理图

1—宽度为 b 的叶瓣 2—带永久磁铁的软磁体
 3—霍尔集成电路 4—气隙 t_z —点火时刻

(2) 感应传感器 感应传感器的原理如同一台交流发电机。永久磁铁 1 和带有软钢制成的铁心的感应线圈 2 构成感应传感器的定子，见图 3-49 左图。转子 4 装在分电器轴上，相对于定子转动。转子 4 也是由软钢制成的，具有若干个尖齿，其数量跟永久磁铁 1 和感应线圈 2 一样，都等于发动机缸数。转子的尖齿和定子的铁心之间的气隙 3 在转子旋转过程中周期性地改变，磁力线也跟着改变，由此在感应线圈中感应出交变电压，见图 3-49 右图。由于各感应线圈串联，所以感应出的交变电压得以增强，其峰值在低速时约 0.5V，高速时约 100V。与霍尔传感器一样，它每分钟发出的脉冲数也等于曲轴转速之半与转子的尖齿数即缸数的乘积，借此可得出转速。

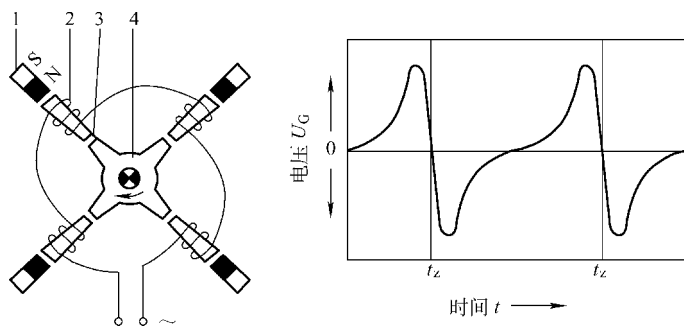


图 3-49 分电器中的感应传感器

1—永久磁铁 2—带铁心的感应线圈 3—改变着的气隙 4—转子

二、兼可传感曲轴位置信息的转速信息传感方法的构造与维修

这类传感方法将转速信息的传感与曲轴位置信息的传感融为一体。因为无法用断电器触点传感曲轴位置信息，所以这类传感方法都是无触点的。

1. 霍尔传感器

这类传感器与图 3-48 所示传感器类似, 差别仅在于转子上的某一个叶瓣的宽度比其余叶瓣小一些, 这个叶瓣所对应的脉冲的宽度小一些, 而且设计成该脉冲的上升在恒速时比其他脉冲的上升延迟一些到来, 如图 3-50 所示。ECU 通过软件识别这个特殊叶瓣的来临。只要装配时确保叶瓣位置同曲轴位置之间固定的相对关系, 便能借此传感曲轴位置信息, 当然同时也能传感转速信息。

2. 脉冲盘感应传感器的构造与工作原理

这种传感器目前为高档轿车发动机管理系统普遍采用, 它由一个由铁磁性材料制成的齿盘和一个感应传感器组成, 如图 3-51 所示。脉冲盘 6 装在曲轴上, 装在机体里面, 不可与起动齿圈混淆。脉冲盘通常有 60 个齿, 空缺 2 个齿。感应传感器壳体 2 内装有永久磁铁 1 和软铁心 4, 铁心上绕有线圈 5。整个感应传感器固定在发动机机体 3 上。每逢脉冲盘的齿经过感应传感器, 引起磁通量改变, 便在线圈 5 中感应出一个交变电压信号, 缺齿处信号特殊, 如图 3-52 所示。此交变电压的幅值随齿盘和感应传感器距离的增大而减小, 随转速的提高而增大。但是只要转速超过 20r/min 就会有足够幅值的正弦交变电压。ECU 将各种幅值不同的正弦电压转换成恒定幅值的矩形波, 根据它可计算曲轴位置和转速。

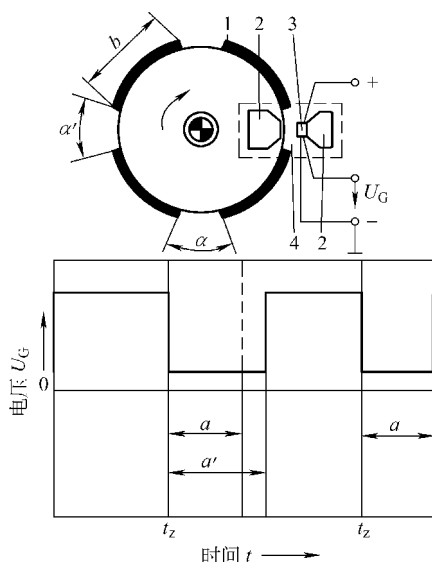


图 3-50 兼可传感曲轴位置信息的霍尔传感器

- 1—转子它的叶瓣之一窄于其余 ($a < a'$)
2—带永久磁铁 3—霍尔集成电路 4—气隙

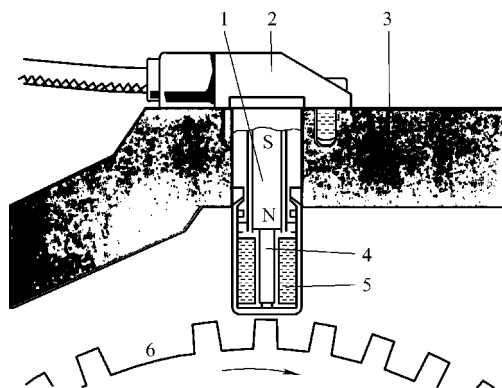


图 3-51 脉冲盘感应传感器

- 1—永久磁铁 2—感应传感器壳体 3—发动机机体
4—软铁心 5—线圈 6—脉冲盘

霍尔式曲轴位置传感器跟目标轮相配合, 提供发动机转速信息和曲轴上止点信息。霍尔式曲轴位置传感器上集成了双霍尔 IC 片, 当目标轮在传感器前部敏感区域旋转时, IC 片探测到由于齿和齿缺交替通过而产生的磁场的变化并将其转换为方波数字信号。

(1) 转速的计算 ECU 中数字式微型计算机能发出时钟脉冲。例如 Intel 公司的 MCS-8098 系列单片机时钟频率为 12MHz, 而 Siemens 公司 SAB 80C 166 系列单片机的 CPU 时钟频率为 20MHz。将感应传感器输出的脉冲频率与已知的计算机时钟频率进行对比, 便可得出转速。这是转速计算的一般原理。实际使用时用转过 Z 个点火间隔 (Z 为缸数) 所经历

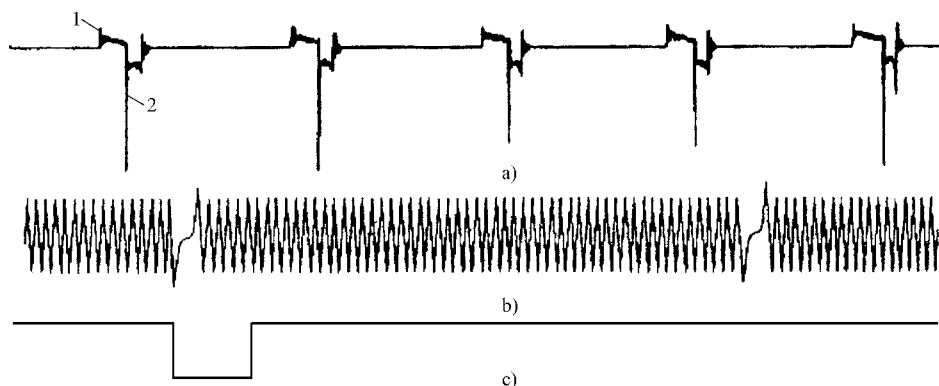


图 3-52 点火电压、脉冲盘感应传感器信号和凸轮轴霍尔传感器信号

a) 点火线圈次级电压 b) 脉冲盘感应传感器信号 c) 凸轮轴霍尔传感器信号

1—初级线圈通电 2—点火

的时间除相应的转数便得转速。四冲程发动机的每个点火间隔对应曲轴转角 $720^\circ/Z$ ；相应的感应传感器输出的脉冲数为 $120/Z$ （脉冲盘的齿数为 60，相邻脉冲的间隔为 6° ）。计算机对脉冲计数。设当脉冲数达到 $120/Z$ 时经历 T_s 秒，则曲轴转 2 转历时 $Z \cdot T_s$ 秒，故可按下式计算发动机转速：

$$n = \frac{2}{Z \cdot T_s / 60} = \frac{120}{Z \cdot T_s} \quad (\text{r/min}) \quad (3-4)$$

式中， Z 为缸数； T_s 为 $120/Z$ 个脉冲所经历的时间（s）。

显然，这个转速数据是曲轴转过一个点火间隔的过程中的平均转速，而且每转过一个点火间隔便刷新一次。

（2）曲轴位置的计算 如上所述，由感应传感器输出的正弦波被转换成矩形波。矩形波的边沿被输入计算机。如果某相邻两边沿的间隔超过前一个和后一个间隔的 2 倍，便表明脉冲盘的缺齿部位到达了感应传感器，而机械的装配关系保证了缺齿部位对应于 1 缸的某一个确定的曲轴位置。计算机借此得知此刻的曲轴位置。随后的每一个脉冲上升沿和下降沿之间的时间间隔（对应于 3°CA ，因为齿宽与齿隙相等）被等分成 4 份（对应于 0.75°CA ）。曲轴位置可表述为矩形波上升沿或下降沿或其后 $1/4$ ， $2/4$ 或 $3/4$ 个时间间隔。所以，曲轴位置的分辨率为 0.75°CA 。

（3）凸轮轴位置的传感 脉冲盘感应传感器在脉冲盘缺齿部位到达时发出的特殊信号可以使计算机识别 1 缸的上止点，却无法区分这是压缩上止点还是排气上止点。因此，还要在凸轮轴上安装一个霍尔传感器。四冲程发动机中凸轮轴转速为曲轴转速之半。每个工作循环曲轴转 2 转，而凸轮轴只转 1 转。所以，为了区分 1 缸的压缩上止点和排气上止点，这个装在凸轮轴上的霍尔传感器的转子只要有一个 180° 的叶瓣就可以了。每个工作循环中，曲轴的一转有霍尔电压信号，另一转没有，而其中真正起作用的是起动后第一个脉冲信号，如图 3-52 所示。

另外，采用不等宽叶瓣霍尔传感器传感转速和曲轴位置信息时就不会在区分压缩上止点和排气上止点方面碰到困难，因为它安装在分电器上，而分电器的转速也只有曲轴转速之半，每个工作循环分电器只转一转。

必须指出，虽然脉冲盘感应传感器传感曲轴位置时需要霍尔传感器帮助区分压缩上止点和排气上止点，而且霍尔传感器本身就能传感曲轴位置，但是脉冲盘感应传感器却并非多余，因为它传感曲轴位置具有更高的分辨率，从而使正时控制精度大大提高。这种正时控制不仅用于喷射，更重要的是用于点火、气门等控制。

3. 曲轴位置传感器的诊断与维修

(1) 曲轴位置传感器的构造

1) 结构和针脚。曲轴位置传感器的结构和针脚如图 3-53 所示。

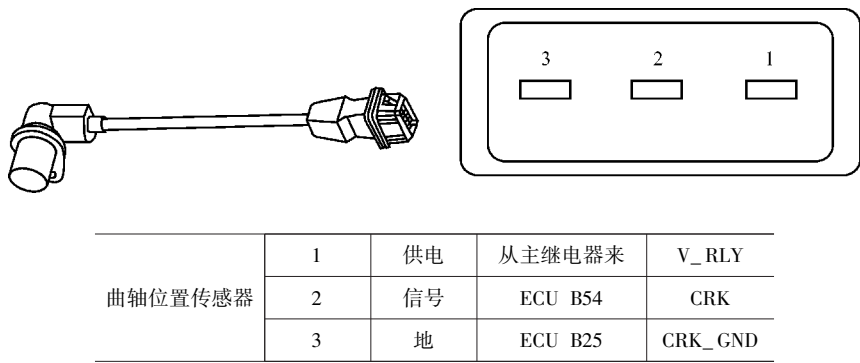


图 3-53 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统曲轴位置传感器

2) 安装位置。曲轴位置传感器安装在发动机后部飞轮平面上，如图 3-54 所示。

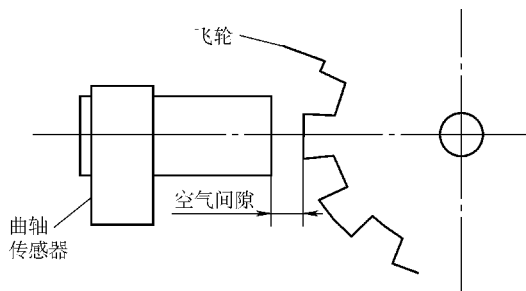


图 3-54 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统曲轴安装位置

3) 技术特性参数。

特性数据见表 3-6。

表 3-6 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统曲轴位置传感器的特性数据

量	值		单位
	最小	最大	
相位精确度	+0.45	-0.45	。
空气间隙	0.3	1.7	mm
目标轮转速	15	8000	r/min
供给电压	6	16	V

4) 安装注意事项。

① 感应式转速传感器只允许在马上要装到汽车上去或装到试验装置上去之前才从包装

材料中取出。

- ② 感应式转速传感器用压入的方法而不是用锤击的方法安装。
- ③ 推荐采用螺栓 M8 固定感应式转速传感器。
- ④ 拧紧转矩符合技术要求。
- ⑤ 霍尔式曲轴位置传感器和脉冲盘齿尖之间的间隙： $0.3 \sim 1.7\text{mm}$ 。

5) 故障现象和判断方法。

- ① 一般故障原因：人为故障。
- ② 维修注意事项：维修过程用压入的方法而不是用锤击的方法安装。
- ③ 测量方法：（接上接头）打开点火开关但不启动发动机，把数字万用表打到直流电压挡，两表笔分别接传感器 1#，3#针脚，确保有 12V 的参考电压。启动发动机，此时 2#针脚信号可由车用示波器检查是否正常。

（2）曲轴位置传感器的诊断与维修应用实例 以丰田雷克萨斯 IS200 型轿车 1G-FE 型发动机无分电器独立点火式电控点火系统为例，主要检测曲轴位置传感器（NE）、凸轮轴位置传感器（G）、爆燃传感器。

曲轴位置传感器（NE）的检测。曲轴位置传感器（NE）电路如图 3-55 所示，故障码为 P0335（12，13）。

① 检查曲轴位置传感器。脱开曲轴位置传感器插接器，用电阻表检测曲轴位置传感器插接器端子间电阻，冷态时电阻为 $1630 \sim 2740\Omega$ ，热态时电阻为 $2065 \sim 3225\Omega$ 。

若正常，则进行下一步检查；若不正常，则更换曲轴位置传感器。

② 检查发动机 ECU 与曲轴位置传感器间的配线和插接器是否断路或短路。若正常，则进行下一步检查；若不正常则检修或更换配线和插接器。

③ 检查曲轴位置传感器安装是否正常、曲轴正时带轮信号板齿是否正常。若正常，则检查和更换发动机 ECU；若不正常，则拧紧曲轴位置传感器，更换曲轴正时带轮。

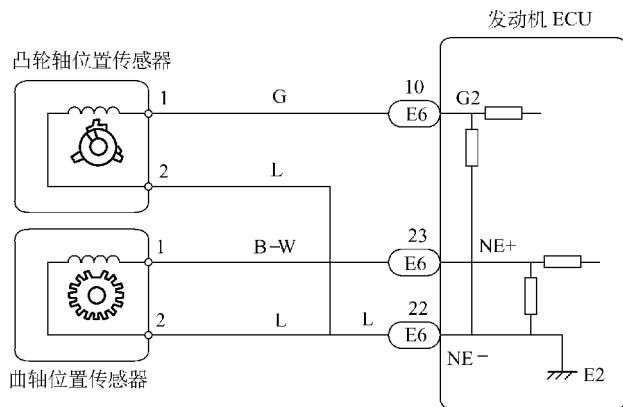


图 3-55 曲轴/凸轮轴位置传感器电路

4. 凸轮轴位置传感器的诊断与维修

（1）凸轮轴位置传感器的构造

- 1) 凸轮轴位置传感器的结构和针脚如图 3-56 所示。
- 2) 安装位置。凸轮轴位置传感器安装在凸轮轴端盖。
- 3) 工作原理。本传感器利用霍尔原理中霍尔电压受变化的磁场感应强度影响而造成。

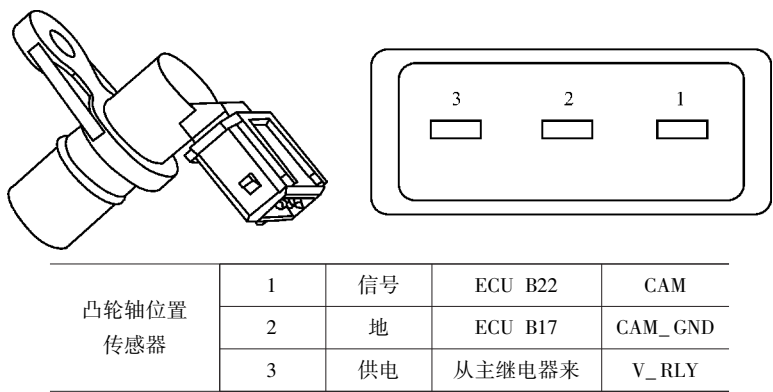


图 3-56 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统凸轮轴位置传感器

当电流 I_S 通过一半导体薄片时，在电流的右旋方向就会产生一霍尔电压 U_H 其值与磁场感应 U （与电流 I_S 垂直）和电流 I_S 成正比。霍尔电压受变化的磁场感应强度 B 的影响。如图 3-57、图 3-58 和图 3-59 所示。

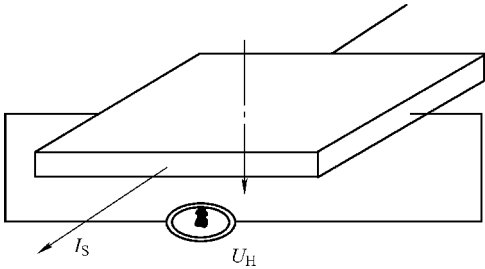


图 3-57 霍尔效应原理图

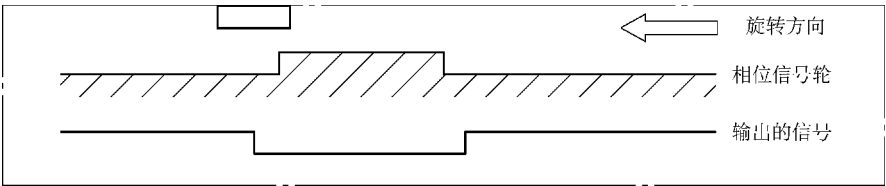


图 3-58 霍尔效应工作示意图（一）

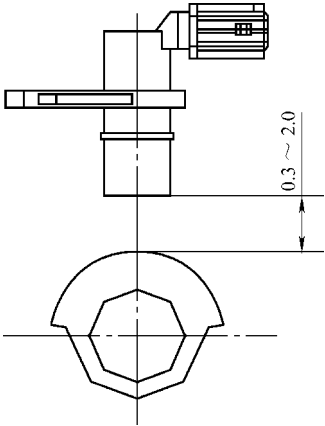


图 3-59 霍尔效应工作示意图（二）

4) 技术特性参数。

特性数据见表 3-7。

表 3-7 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统曲轴位置传感器的特性数据

量	值		单位
	最小	最大	
环境温度	-30	+120	℃
安装空气间隙	0.3	2	mm
供给电压	4.5	24	V
相位精确度	+6	-6	
目标轮转速	>0	4000	rpm

5) 安装注意事项。本传感器壳体上只有 1 个孔，供紧固用。

6) 故障现象及判断方法。

a. 故障现象：排放超标，油耗增加等。

b. 一般故障原因：人为故障。

c. 简易测量方法：（接上接头）打开点火开关但不启动发动机，把数字万用表打到直流挡，两表笔分别接传感器 3#，2#针脚，确保有 12V 的参考电压。启动发动机，此时 1#针脚信号可由车用示波器检查是否正常。

（2）凸轮轴位置传感器的检测应用列举 凸轮轴位置传感器（G）电路如图 3-60 所示，故障码为 P0340（12）。

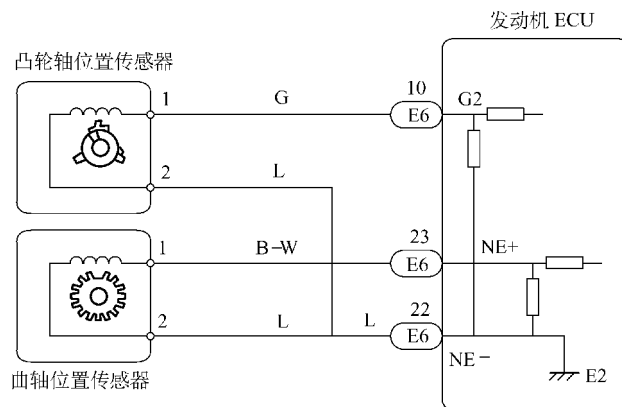


图 3-60 曲轴/凸轮轴位置传感器电路

1) 检查凸轮轴位置传感器。脱开凸轮轴位置传感器插接器，用电阻表检测凸轮轴位置传感器端子间电阻。冷态时电阻为 $835 \sim 1400\Omega$ ，热态时电阻为 $1060 \sim 1645\Omega$ 。

若正常，则进行下一步检查；若不正常，则更换凸轮轴位置传感器。

2) 检查发动机 ECU 与凸轮轴位置传感器间的配线和插接器是否断路或短路。若正常，则进行下一步检查；若不正常则检修或更换配线和插接器。

3) 检查凸轮轴位置传感器安装是否正常、进气凸轮轴信号转子是否正常。若正常，则检查和更换发动机 ECU；若不正常，则拧紧凸轮轴位置传感器，更换进气凸轮轴。

思考题

1. 什么情况下可以认为汽油机每循环吸气量代表发动机的负荷？为什么可以这样认为？间歇喷射的电子控制汽油机中如何根据每循环吸气量计算基本喷油时间？
2. 在负荷信息间接传感方法中通过测定什么参数确定汽油机负荷？其依据是什么？
3. 试述间接传感负荷信息的传感器工作原理及诊断与维修。
4. 什么场合要根据进气温度对负荷信息进行修正？进气温度传感器的特性曲线是怎样的？
5. 怎样根据空气流量确定汽油机负荷信息？
6. 为什么阻流板式空气流量传感器的阻流板能对应于任一稳定的空气流量固定在一个确定的转角？
7. 试述卡门涡式空气流量传感器的工作原理。
8. 基于传热学原理的热线和热膜式空气流量传感器测到的结果要不要根据进气温度和环境压力进行校正？为什么？
9. 热线和热膜式质量空气流量传感器采用的是恒电流还是恒电阻方案？为什么要作此选择？
10. 为什么说热线和热膜式质量空气流量传感器中，伴随着电桥的平衡还发生传感电阻的热平衡过程？
11. 热线和热膜式质量空气流量传感器的输出电压特性曲线有什么特点？为什么测量时与标定时的环境温度差异会带来误差？采取什么对策可使这一误差得到补偿？
12. 为什么要对热线和热膜式质量空气流量传感器电桥中的电阻 R_1 进行激光切边调整阻值？
13. 一台电子控制汽油机，压缩比略有改动，其他不变。试问 ECU 中的燃油定量数据是否一定要修改？为什么？
14. 用转速—转角法传感负荷信息时低工况与高工况的测量精度有何不同？为什么？
15. 发动机稳定工况时各种负荷信息传感器的输出信号是否都稳定？为什么？相互有何差别？
16. 突然踩下加速踏板时，哪些负荷信息传感器会产生瞬时的超常信号？哪些不会？为什么？这种瞬时的超常信号对燃油定量有益还是有害？为什么？
17. 各种负荷信息传感器中，哪一种测量精度最佳？
18. 试举出在不需要得知曲轴位置信息的情况下可用于传感转速信息的三种方法，并说明其原理。
19. 传感转速信息的霍尔传感器为什么可以附带传感曲轴位置信息？其结构有何特点？
20. 脉冲盘感应传感器如何传感转速和曲轴位置信息？为什么此时还需要凸轮轴位置传感器？
21. 霍尔传感器和脉冲盘感应传感器传感转速和曲轴位置信息各有什么优缺点？
22. 为什么要将起动工况区别于其他工况单独计算喷油时间？
23. 采用哪些负荷信息传感器时不必根据进气压力对负荷信息进行修正？为什么？

第四章 电控发动机废气排放控制的检测与诊断

第一节 λ 闭环控制检测与诊断

开环控制时 ECU 并不知晓执行器执行指令后的实际效果，而闭环控制时 ECU 通过传感器监测指令执行后某一个特定参数的变化，并将该参数的实测值与设定值对比，在两者不一致时调整指令使之达到一致。故凡闭环控制，必有一个控制对象，即控制参数；还有一个控制目标，即控制参数的设定值。 λ 闭环控制的控制参数就是燃油与空气混合气的过量空气系数 λ ，控制目标是 $\lambda = 1$ 附近的一个小范围。

一、 λ 闭环控制的调节范围和激活的必要条件

汽油机排放的有害污染物主要是 HC、CO 和 NO_x 。目前汽油机排放污染治理手段中最重要的是利用三元催化转化器净化。净化后的废气有害物质的浓度与过量空气系数 λ 密切相关。随着 λ 的增大，净化后残余的 HC 和 CO 浓度降低，但 NO_x 浓度上升。只是在 λ 为 0.99 ~ 1.00 的一个小区域内才能使三种有害物质同时得到最大限度的净化（图 4-1）。这就是 λ 闭环控制的调节范围。

只有在怠速和部分负荷工况范围，而且结束暖机以后，才能激活 λ 闭环控制。

二、氧传感器的构造与维修

1. 氧传感器的构造与工作原理

氧传感器用于测定废气中的过量空气系数 λ 。

λ 定义为燃油和空气的混合气中实际空气量和由所含燃油量决定的理论当量空气量之比。 $\lambda = 1$ 意味着完全燃烧后燃油与空气均无过剩； $\lambda > 1$ 则氧过剩，混合气过稀； $\lambda < 1$ 则氧不足，混合气过浓。又由混合气中各种原子数量的比例决定。燃烧过程不改变这个比例，故从废气中测定的 λ ，不论燃烧是否完全，都与未燃时在混合气中测定的 λ 一样。

目前普遍使用的氧传感器只能判断是 $\lambda > 1$ ，还是 $\lambda < 1$ ，却无法测定 λ 的具体数值。不

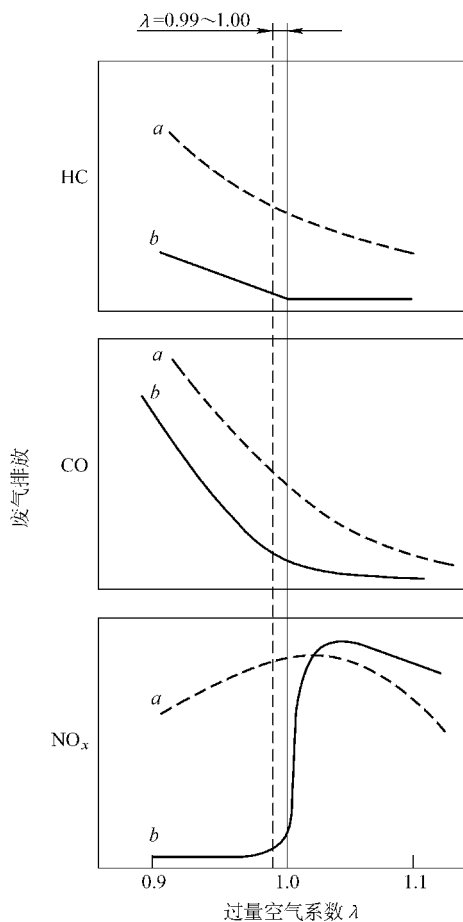


图 4-1 三种有害物质的浓度与 λ 的关系
a—未经三元催化转化器转化 b—已经三元催化转化器转化

过已开始生产能测定 λ 具体数值的氧传感器，用于稀薄燃烧发动机。

(1) 管式氧传感器原理 氧传感器按带固态电解质的氧浓度原电池的原理工作 (Nernst 原理)。其核心元件是用二氧化锆制成的传感陶瓷管 1 (图 4-2)。传感陶瓷管不透气，用氧化铈作过稳定化处理。

传感陶瓷管的内外表面都涂有一薄层透气的多孔铂，一方面因其催化作用而影响着传感器输出特性，另一方面用于电接触，构成两个电极 2。传感陶瓷管突入排气气流中，所以它外表面的铂涂层上再涂一层高孔隙度的陶瓷保护层 6。这层加固层防止了铂催化层遭受废气中沉积物的腐蚀和侵蚀，确保了传感器的长期稳定性。

传感陶瓷管的内表面与新鲜空气相通，外表面被废气包围，两边的氧浓度相差悬殊。但汽油机废气中总是存在残余氧的，即使在燃油过剩的情况下也不例外。例 $\lambda = 0.95$ 时残余氧达到约 0.1% ~ 0.3% 的体积百分比。多孔铂电极的催化作用使得废气中的 CO, HC 和 H_2 在电极表面上同残余氧发生化学反应，使之趋向理论当量的平衡，以致残余氧的最终浓度跟燃烧完全与否无关，而仅仅取决于 λ 。传感陶瓷管内外表面上的氧浓度差别促使内表面上的氧原子放下 2 个正电荷变成带 2 个负电荷的氧离子，通过扩散穿越多孔的、由二氧化铂制成的传感陶瓷管 (故称固态电解质) 到达外表面，将 2 个负电荷留在外表面，成为氧原子进入废气中。所以内表面带正电，成为正极；外表面带负电，成为负极。两极之间的电位差便是氧传感器的信号电压。信号电压的高低取决于传感陶瓷管内外表面之间氧浓度之差，即取决于外表面上废气经完全催化处理之后残余氧的浓度，而残余氧浓度又是废气 λ 值的函数。从 $\lambda > 1$ 的稀混合气 (高残余氧) 过渡到 $\lambda < 1$ 的浓混合气 (极低残余氧) 时，残余氧浓度突变达 10 的几次方幂倍。所以在 $\lambda = 1$ 附近信号电压突变，如图 4-3 所示， $\lambda < 1$ 时为 800 ~ 1000mV， $\lambda > 1$ 时小于 100mV， $\lambda = 1$ 时为 450 ~ 500mV。

氧传感器应装在任何工况下都能达到其工作温度的地方，因为氧传感器的工作特性与温度密切相关。温度强烈地影响着传感陶瓷管对氧离子的导通能力。一方面，当温度低于 600℃ 时，输出电压低于上述数据和曲线，而低于 350℃ 时几乎没有信号；另一方面，输出电压对于过量空气系数变化的响应时间也与温度有关。例如当传感陶瓷管温度为 350℃ 时，响应时间为几秒钟；而当传感陶瓷管温度为 600℃ 时，响应时间小于 50ms。所以在发动机起动后直到大约 350℃ 的最低运行温度的一段时间内， λ 闭环控制是

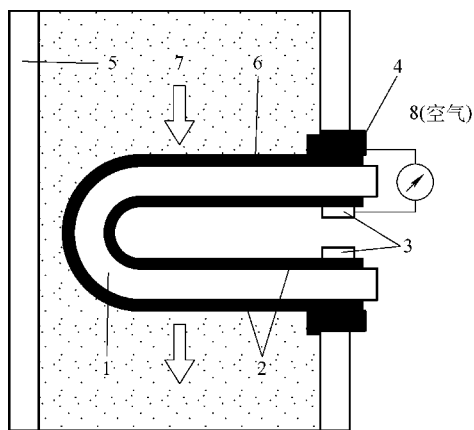


图 4-2 管式氧传感器原理

1—传感陶瓷管 2—电极 3—触头 4—壳体触头
5—排气管 6—陶瓷保护层 (多孔) 7—废气
8—空气

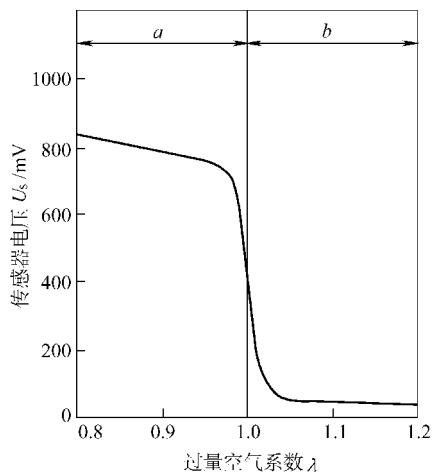


图 4-3 600℃ 时管式氧传感器电压特性
a—浓混合气，($\lambda < 1$) b—稀混合气 ($\lambda > 1$)

截止的。

氧传感器的内阻也与温度有关。

氧传感器有耐铅的，也有不耐铅、必须用无铅汽油的。

(2) 不加热的管式氧传感器 如图 4-4 所示，传感陶瓷管 7 借助于“指状”的陶瓷支承管 3 和碟形弹簧 2 固定在传感器壳体 6 上并密封。在支承管和传感陶瓷管之间的接触元件 5 用于提供内电极和连接电缆 1 之间的接触。外电极通过金属密封环与传感器壳体连接。传感器内的各种零件都由金属护套 4 固定和对正。护套除了支承碟形弹簧以外，还保护传感器内部不被污染。连接电缆夹紧在伸出传感器的连接元件的末端，并用耐高温的 PTFE 帽盖密封以防潮气和机械损伤。为了防止废气中的燃烧沉积物落在传感陶瓷管上，在凸入废气气流中的传感器壳体的末端装有护管 8，护管上开有孔隙，可让废气通过，同时却有效地防止了废气中固态物质的机械撞击和变工况时的热冲击。传感器壳体上有螺纹供安装用。

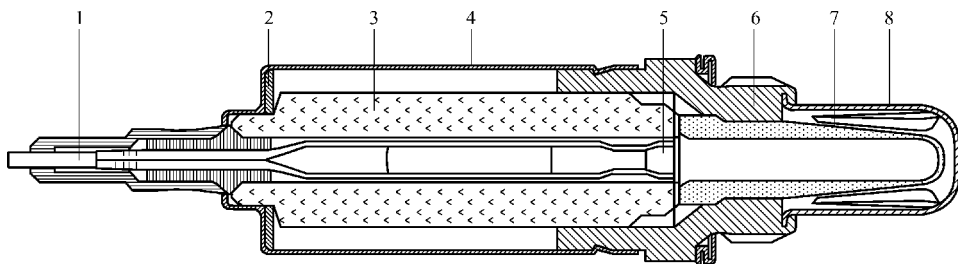


图 4-4 不加热的管式氧传感器

1—连接电缆 2—碟形弹簧 3—陶瓷支承管 4—金属护套 5—接触元件
6—传感器壳体 7—传感陶瓷管 8—护管

(3) 加热的管式氧传感器 如图 4-5 所示，加热的管式氧传感器的构造和原理与不加热的管式氧传感器基本相同。主要差别在于，加热的管式氧传感器的传感陶瓷管，内部用一根陶瓷加热元件 6 加热，通电后 30s 便达工作温度。因此传感陶瓷管即使在负荷低、废气温度较低时也有超过 350℃ 的温度，可以照常发挥功能。负荷高时由废气温度决定陶瓷管温度。陶瓷加热元件系正温度系数（PTC）电阻，温度较低时电阻很小，功率很大，加热很快。加热后电阻升高，功率不大。

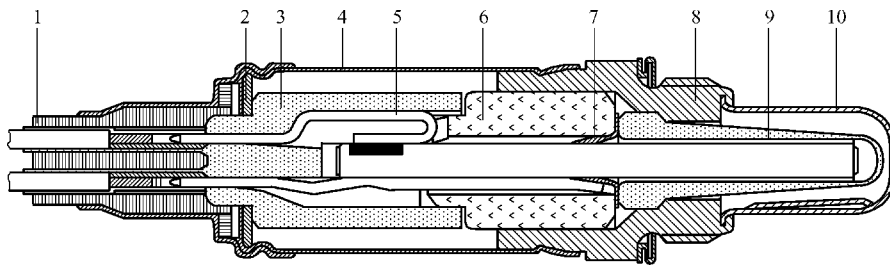


图 4-5 加热的管式氧传感器

1—连接电缆 2—碟形弹簧 3—陶瓷支承管 4—金属护套 5—加热元件的夹紧接头
6—陶瓷加热元件 7—接触元件 8—传感器壳体 9—传感陶瓷管 10—护管

加热的管式氧传感器的护管 10 上的废气流通孔比较细小，因此减少了传感陶瓷管在废气温度较低时所遭受的冷却作用。

管式氧传感器的加热, 将发动机从起动直到闭环控制投入运行所经历的时间缩短到20 ~ 30s, 确保了废气温度较低(如怠速)时的闭环控制运行。加热的管式氧传感器对于变动的响应时间较短, 因此有利于提高闭环控制速度。加热的管式氧传感器可以安装在离发动机相对较远的地点, 因而长期全负荷运行时氧传感器也不会因过热而出问题。加热的管式氧传感器始终具有最佳的工作温度, 可实现较低的和稳定的废气排放。

(4) 片式氧传感器 前述的两种氧传感器的传感元件都是管状的(传感陶瓷管)。在此基础上开发出了加热元件集成于片状传感元件的氧传感器。从功能上说, 这种传感器的电压特性也在 $\lambda = 1$ 发生阶跃, 与加热的管式氧传感器没有区别。但它同时提供了下一代陶瓷传感器的基本工艺。片式氧传感器如图4-6所示, 这种传感器的特点在于:

- ① 采用片状传感元件3代替管状传感元件。
- ② 传感元件借助于陶瓷密封填料6固定在传感器壳体5上。
- ③ 双壁式护管7高度有效地保护传感元件免受过度的热应力和机械应力。

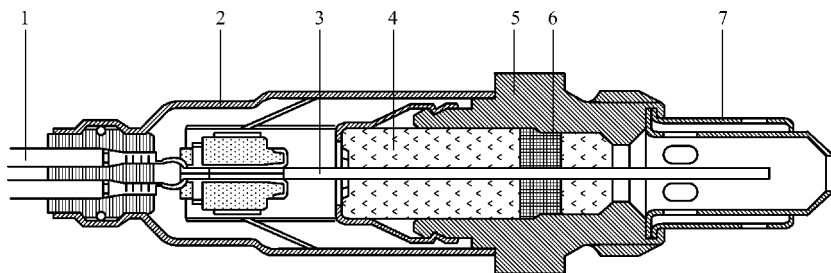


图4-6 片式氧传感器

1—连接电缆 2—金属护套 3—片状传感元件 4—陶瓷支承管 5—传感器壳体
6—陶瓷密封填料 7—双壁式护管

片状传感元件采用陶瓷传感薄膜3作为固态电解质(图4-7)。采用筛网—印刷技术形成各个功能层(内、外电极4和2, 多孔保护层1)。印刷薄膜一层接一层叠在一起, 利用这种办法使加热元件集成于传感元件内(图4-7, 图4-8)。

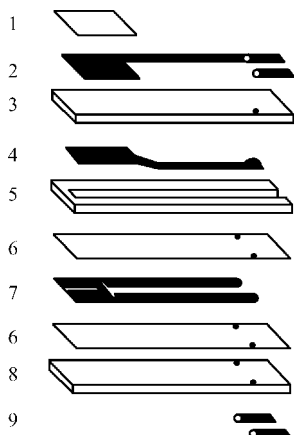


图4-7 片状传感元件

1—多孔保护层 2—外电极 3—陶瓷传感薄膜
4—内电极 5—基准空气通道薄膜 6—绝缘层
7—加热元件 8—加热薄膜 9—连接触点

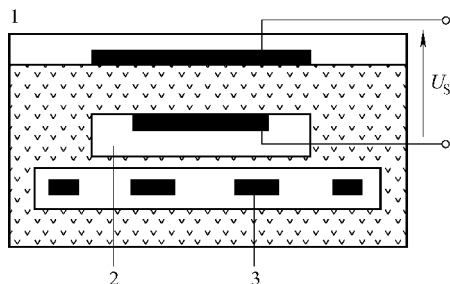


图4-8 片状传感元件

1—废气 2—基准空气通道
3—加热元件 U_s —传感器输出电压

片式氧传感器尺寸小、重量轻、耗热功率小、加热速度快，建立又闭环控制所需时间短，控制特性稳定。

片式氧传感器采用单独的搭铁。

(5) 片式宽带氧传感器（线性氧传感器） 片式宽带氧传感器是一种片式双电池限电流传感器。如图 4-9 所示，它的模块式结构与成片技术相结合，使得有可能集多种功能于一体。该传感器的输出电流在 $\lambda = 1$ 处改变方向，且与 λ 几乎呈线性关系，故又称线性氧传感器，但其斜率以 $\lambda = 1$ 为界取不同数值。

片式宽带氧传感器是 Nernst 浓度电池（传感电池）和用于氧离子输送的泵电池的一种结合，所以它不仅能判定 λ 大于 1 还是小于 1，而且能在稀的和浓的区域测定 λ 的具体数值。每个传感器要单独进行标定。这种传感器要求专门的电子控制装置，不仅要求用于产生传感器信号的泵电池和传感电池的电子控制装置，还要求控制传感器温度的电子控制装置。这种传感器有一些十分贵贵的用途，除了上述的可实现从 $\lambda < 1$ 到 $\lambda > 1$ 连续控制以外，还能用于稀薄燃烧汽油机、燃气发动机和柴油机。

2. 加热型氧传感器的诊断与维修

(1) 氧传感器的特性

1) 氧传感器的结构简图和针脚如图 4-10 所示。

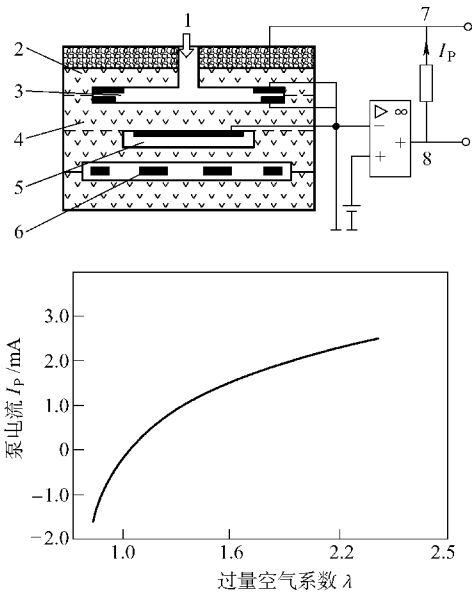
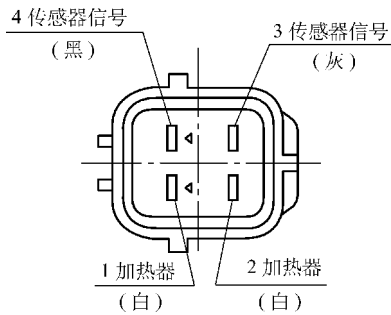


图 4-9 片式宽带氧传感器（横截面和特性曲线）

1—废气 2—泵电池 3—扩散间隙 4—传感电池
5—基准空气通道 6—加热元件 7—传感器信号
8—控制器 I_p —泵电流



加热氧传感器	1	加热器阵脚 A	从主继电器供电	V_RLY
	2	加热器阵脚 B	ECU A35	LSH_UP_IPWM
	3	搭铁	ECU B16	VLS_UP_I_B
	4	信号 B	ECU A44	VLS_UP_I_A

图 4-10 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统氧传感器

2) 安装位置：排气歧管尾部，三元催化转化器之前。

3) 工作原理。氧传感器的传感元件是一种带孔隙的陶瓷管，管壁外侧被发动机排气包围，内侧通大气。传感陶瓷管壁是一种固态电解质，内有电加热管。

4) 技术特性参数

① 氧传感器的特性数据见表 4-1。

表 4-1 氧传感器的特性数据

量	新		250 小时台架试验后	
特性数据成立的排气温度/℃	350	850	350	850
混合气浓时传感元件电压/MA	750 - 920	710 ± 70	840 ± 80	710 ± 70
混合气稀传感元件电压/MA	40 - 100	55 ± 30	20 ± 50	40 ± 40
传感元件内阻/kΩ	1 - 5	≤0. 1	≤1. 5	≤0. 3
响应时间/ms (300 ~ 600mV)	100 - 350	< 200	< 400	< 400
响应时间/ms (300 ~ 600mV)	60 - 250	< 200	< 400	< 400

② 储存。氧传感器不应储存在高温/高湿度的环境里。

5) 安装注意事项。

① 氧传感器应该安装在排气充分混合的地方，且当车辆运动时，金属壳和导线应被流动的空气冷却。

② 在排气管上能保证代表排气成分且能满足规定的温度限值的位置。安装地点应当尽量靠近发动机。排气管上应设有螺纹，供拧入氧传感器之用。

③ 氧传感器的安装姿态。氧传感器应当安装成跟水平面的夹角大于等于 45°，并且使传感器尖端朝下，以避免冷起动时冷凝水积聚在传感器壳体 and 传感陶瓷管之间。

④ 氧传感器的导线不能弯曲超过 60°，弯曲处的弧的半径大于等于 20mm，且导线不应承受拉应力。

⑤ 排气管的要求：要使氧传感器前面区域中的排气管迅速加热。如果可能，排气管应当设计成往下倾斜，以避免冷凝水在传感器的前面积聚起来。

⑥ 不得在氧传感器的插头上使用清净液、油性液体或挥发性固体。

⑦ 不能使用冲击式扳手紧固传感器。

⑧ 氧传感器的螺纹、六角头尺寸和拧紧力矩应符合技术要求。

6) 故障现象及判断方法。

① 故障现象：怠速不良、加速不良、尾气超标以及油耗过大等。

② 一般故障原因：a) 超过寿命期；b) 发动机烧机油，导致传感器表面积炭；c) 潮湿水汽进入传感器内部，温度骤变，探针断裂；d) 氧传感器“中毒”(Pb, S, Br, Si)。

③ 维修注意事项：维修中禁止在氧传感器上使用清洗液、油性液体或挥发性固体。

④ 简易测量方法：（卸下接头）把数字万用表打到欧姆挡，两表笔分别接传感器 1#（白色）、2#（白色）针脚，常温（23 ± 5℃）下其阻值为 5.4 ~ 6. 6Ω。（接上接头）怠速状态，待氧传感器达至其工作温度 350℃时，把数字万用表打到直流电压挡，两表笔分别接传感器 3#（灰色）、49（黑色）针脚，此时电压应在 0. 1 ~ 0. 9V 快速地波动。

(2) 氧传感器的诊断与维修

1) 检测方法: 当判断传感器可能发生故障时, 首先检查从 ECU 端至传感器接线端线束连通情况。

① 诊断仪法:

a) 运转发动机至正常怠速, 用诊断仪观测氧传感器电压变化情况。

b) 直接读故障码, 检查有无转速传感器故障记录。

② 电压信号法: 在测试氧传感器之前, 发动机必须工作在正常的工作温度范围内。

注意:

必须使用数字电压表测试氧传感器。如果用其他类型的电压表可能损坏传感器。可刺破电线的绝缘层, 测试氧传感器, 必须把数字式电压表连在氧传感器的搭铁线上和信号线上, 当发动机怠速且温度正常时, 如果空燃比与理想空燃比有一定的偏差, 氧传感器输出电压将有低压到高压周期性的变化。一般说来, 氧传感器的电压从 0.1 ~ 0.9V 周期变化。测试结束后, 可在电线刺破处覆盖少量硅密封胶。

如电压表读数持续高压, 表明空燃比富油, 或传感器被污染, 氧传感器可能被室温硅密封胶或防冻剂污染, 也可能发动机使用了含铅汽油。

如电压表读数持续低压, 表明空燃比贫油, 或传感器故障, 如果氧传感器电压信号保持中间值 0.45V 左右, 可能是氧传感器损坏。

把氧传感器从发动机上卸下, 把一个数字式电压表的信号线与传感器相连, 并把传感器的敏感元件放到丙烷焊枪的火焰上燃烧。丙烷火焰可使敏感元件与氧气隔离。这样将导致传感器产生电压。传感器的敏感元件在火焰中时, 输出电压应接近 1V, 从火焰中拿出时, 输出电压应立即降至 0V。如果传感器输出电压没有按上述变化, 应予更换。

2) 加热线诊断。如果氧传感器上的加热器不工作, 传感器预热时间就要延迟, 计算机在开环工作的时间也要延长, 这是计算机误传富油空燃比, 浪费了油料, 影响空燃比和排放性能。

卸下氧传感器接头, 在加热线与地之间连欧姆表, 如没有正常电阻值, 参照氧传感器加热器阻抗特性表, 应更换氧传感器。

另外, 连接氧传感器接头, 点火开关通电, 测氧传感器加热线处电压应为 12V。

注意:

氧传感器顶尖显棕色则氧传感器可能铅中毒损坏; 更换氧传感器时, 一定要用专用的防粘胶液刷涂螺纹, 以免下次拆卸困难。

3) 加热器电阻的检测。点火开关置于“OFF”, 拔下氧传感器上的插接器, 用万用表电阻挡测量氧传感器接线端中加热器端子与搭铁端子间的电阻, 其电阻值应符合标准值 (一般为 4 ~ 40Ω; 具体数值参见具体车型的说明书)。如不符合标准, 应更换氧传感器。测量后, 插上氧传感器的插接器, 以便作进一步的检测。

4) 氧传感器信号电压的检测。测量氧传感器信号电压时, 应先拔下氧传感器上的插接器, 对照被测车型的电路图, 从氧传感器信号电压的输出端引出一导线, 然后插好插接器, 在发动机运转时从引出线上测量信号电压。

有些车型也可以从故障诊断插座内测得氧传感器的反馈电压, 如丰田汽车公司生产的小轿车, 可以从故障诊断插座内的 OX₁ 或 OX₂ 插孔内直接测得氧传感器的信号电压 (丰田 V6 发动机两侧排气管上各有一个氧传感器, 分别和故障诊断插座内的 OX₁ 或 OX₂ 插孔连接)。在对

氧传感器的信号电压进行检测时,最好使用指针型的电压表,以便直观地反映出信号电压的变动情况,应采用低量程(通常为2V)和高阻抗(阻抗太低会损害氧传感器)的电压表。

(3) 氧传感器的诊断与维修实例

雷克萨斯 IS200 汽车 1G-FE 发动机氧传感器诊断。1G-FE 发动机氧传感器电路如图 4-11 所示,配置有 2 个主氧传感器和 1 个副氧传感器。

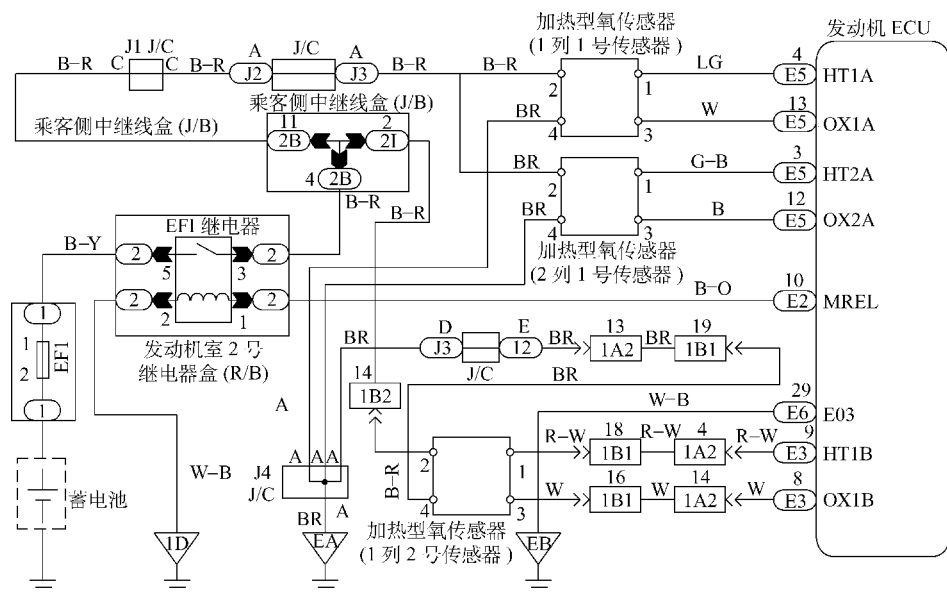


图 4-11 1G-FE 发动机氧传感器电路

① 检测发动机 ECU 插接器端子 HT1A, HT2A, HT1B 和车身间电压 (图 4-12), 应为 9 ~ 14V。

若电压不正常,则进行下一步检查;若电压正常,则检查或更换发动机 ECU。

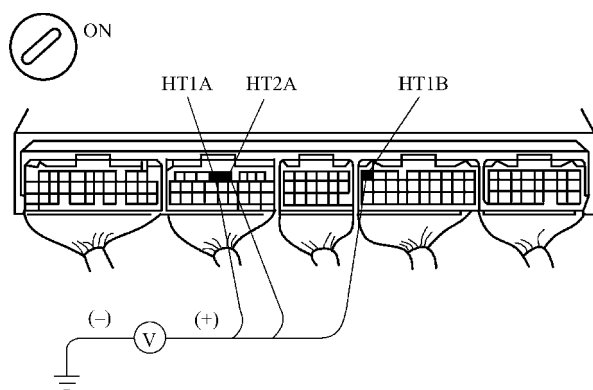


图 4-12 检查发动机 ECU 插接器端子 HT1A, HT2A, HT1B 和车身间电压

② 检查氧传感器加热器电阻 (1 列 1 号传感器)。脱开氧传感器插接器,用电阻表测量氧传感器端子 + B 和 HT 间电阻,如图 4-13a 所示,20℃时应为 11 ~ 16Ω, 80℃时应为 23 ~ 32Ω。如果阻值不符合规定,则应更换氧传感器。

检查氧传感器加热器电阻（1列2号传感器）。拆下驾驶人座，取出地毯的前面部分，断开氧传感器插接器，用电阻表测量氧传感器端子+B和HT间电阻，如图4-13b所示，20℃时应为11~16 Ω ，80℃时应为23~32 Ω 。如果阻值不符合规定，则应更换氧传感器。

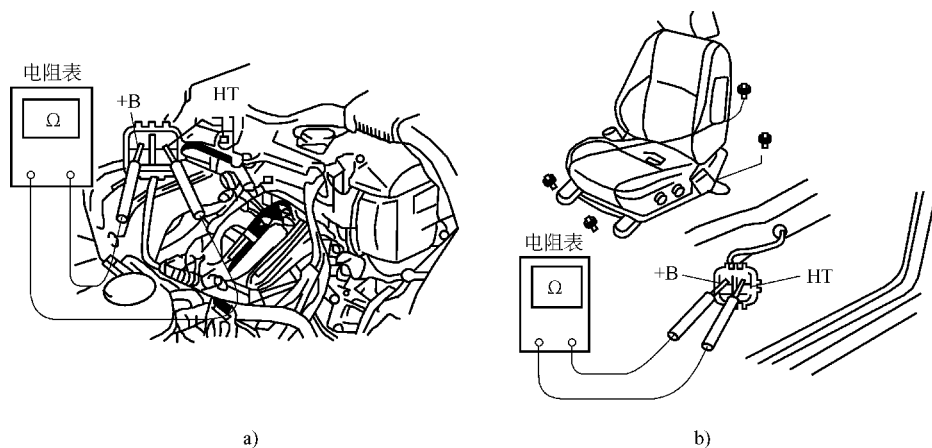


图4-13 检查氧传感器加热器电阻

若阻值正常，则检修EFI主继电器与氧传感器间、氧传感器与发动机ECU间的配线/插接器。

三、 λ 闭环控制原理

1. λ 闭环控制回路

λ 闭环控制的目的是提高三元催化转化器对废气的净化效率。如图4-14所示，在三元催化转化器4的前后各装一个氧传感器，其中装在前面的3a是必不可少的，装在后面的3b只在某些系统中出现。电子控制单元6从空气流量传感器1接受负荷信息，从其他传感器接收转速等信息，算出基本喷油量，并根据氧传感器关于 λ 的信息确定 λ 修正系数，去乘基本喷油量，使 λ 保持在0.99~1.00一个很窄的范围内波动。程序中设有一个电压门限值，通常在450mV左右。氧传感器电压高于此值，则混合气过浓，应减小 λ 修正系数以减少喷油量；低于此值，则混合气过稀，应增大 λ 修正系数以增加喷油量。

2. λ 信号的时间滞后（死时间）

从喷油器喷油生成混合气开始，到氧传感器测得这部分混合气的 λ 为止，这段时间称为死时间，由以下四部分组成：

- ① 混合气从喷油器到气缸的流动时间。
- ② 发动机一个工作循环从进气到排气所经历的时间。

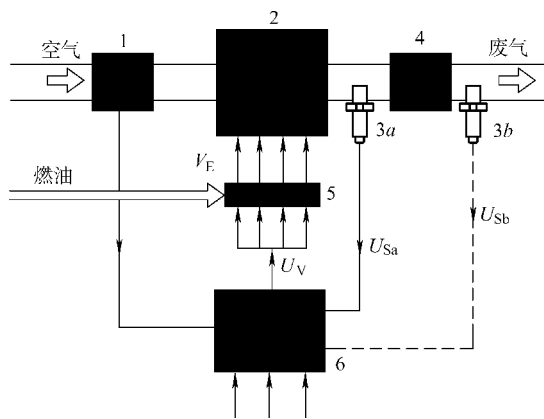


图4-14 闭环控制回路

- 1—空气流量传感器 2—发动机 3a—1号氧传感器
3b—2号氧传感器（仅当需要时） 4—三元催化转化器
5—喷油器 6—电子控制单元 U_s —氧传感器电压
 U_v —喷油器控制电压 V_E —喷油量

③ 燃烧过的气体从气缸到氧传感器的流动时间。

④ 氧传感器的响应时间。

其中主要是混合气和燃烧气体的流动时间。

死时间的长短取决于发动机的负荷与转速。例如怠速时根据氧传感器与发动机的距离长短,死时间可达1s以上不等的数值。而大负荷高转速时死时间减为几百毫秒。

3. 闭环控制时 λ 的变化过程

当氧传感器输出电压越过450mV左右的门槛值跃升或跃降时,ECU确认混合气成分发生了越过 $\lambda=1$ 的改变。此时应通过 λ 修正系数调整喷油量,使混合气成分回头往 $\lambda=1$ 方向发展。当然,最好是一步调整到混合气 $\lambda=1$ 并保持下去。但是,由于以下四个原因而无法做到这一点:

① 无法知道当时与 $\lambda=1$ 有多大偏差。

② 如果 λ 变动太快,汽车会突然加速或减速,使乘员感到不舒适。

③ 发动机不可避免地有制造公差,使用过程中有磨损、漏气,燃油成分会有波动,以及诸如此类会影响混合气成分的未知因素。

④ 由于死时间的存在,即使喷油量调整到了使混合气 $\lambda=1$,ECU也无法立即知道。所以,如图4-15所示,实际采取的控制策略是,当氧传感器输出电压出现阶跃时, λ 修正系数先是立即突然改变一个确定的数值,以便尽可能快地发挥修正混合气成分的作用,接着按照程序内编制的匹配函数以一定的斜率继续往同一方向慢慢地改变,直到混合气成分回复到 $\lambda=1$ 并超越之,氧传感器输出电压再次发生阶跃, λ 修正系数跟着朝相反方向再次突然改变一个确定的值。氧传感器输出电压的跃升或跃降都是由于混合气成分发生越过 $\lambda=1$ 的改变而引起的。这种改变发生在氧传感器输出电压出现阶跃之前一段时间,即死时间。当ECU发现氧传感器输出电压出现阶跃时已经为时过晚,混合气成分已经越过了 $\lambda=1$ 并继续发展。此时ECU只能令 λ 修正系数立即朝相反方向改变,使混合气成分回头往 $\lambda=1$ 方向发展。所以,由于死时间的缘故, λ 修正系数总是波动着向前发展的。这导致即使在稳定工况下,喷油脉冲的宽度也是波动着的,混合气成分也只是在 $\lambda=1$ 附近的一个小范围内波动,

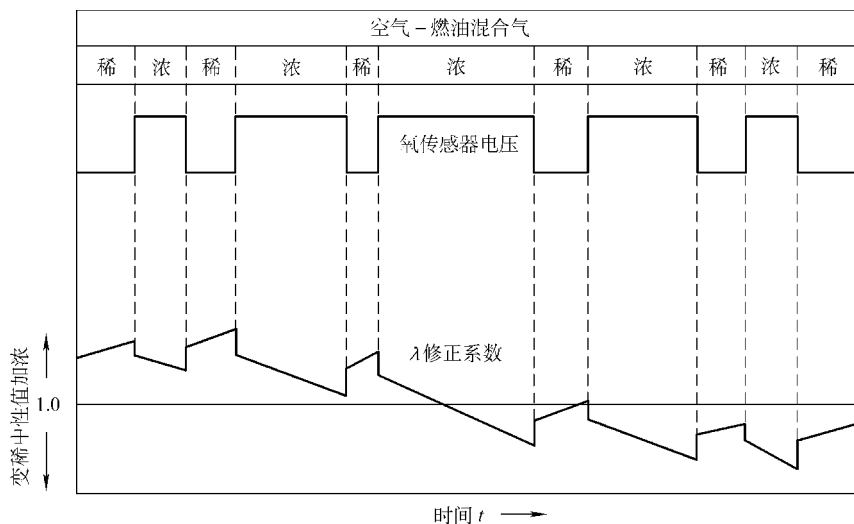


图 4-15 氧传感器输出电压和 λ 修正系数曲线

永远不可能停留在 $\lambda = 1$ 的状况。

根据以上分析可知,氧传感器输出电压和 λ 修正系数曲线有如下特点和联系(图 4-15)。

① 氧传感器输出电压曲线由一系列阶跃组成,而且相邻两次阶跃的方向相反。

② 在氧传感器输出电压阶跃的时刻发生 λ 修正系数的突变。但是氧传感器输出电压阶跃的方向和 λ 修正系数突变的方向正好相反。

③ 氧传感器输出电压曲线相邻两次阶跃之间所经历的时间只有一部分用于将混合气成分改变到 $\lambda = 1$, 这部分时间大体上固定;另一部分时间用于让混合气从生成地点(喷油地点)流动到氧传感器安装地点和氧传感器作出响应等,等于死时间,由发动机负荷和转速决定。如前所述,在死时间内混合气成分将越过 $\lambda = 1$ 继续发展。所以, λ 修正系数的波动周期取决于死时间的长短,即取决于发动机负荷和转速。

④ 如果 λ 修正系数曲线相邻两次突变之间的匹配函数始终保持相同的斜率,则当因发动机负荷和转速改变而使 λ 修正系数曲线的波动周期发生变化时,便会使这种波动的幅度也跟着变化。这将导致混合气成分在某些工况下越出 $\lambda = 1$ 附近的一个小范围,使三元催化转化器的转化效率下降,排放恶化;同时行驶性能也会恶化。所以,当发动机负荷和转速变化而使 λ 修正系数的波动周期增大时,匹配函数的斜率必须调小,使 λ 修正系数波动的幅度从总体上保持恒定,以便得到最佳的排放和行驶性能。

4. λ 的不对称调节

比较图 4-1 λ 闭环控制的调节范围和图 4-3 氧传感器电压特性便能发现, λ 闭环控制的调节范围其实并非对称分布于氧传感器电压阶跃点的两侧。因为 λ 的最佳调节范围在 0.99 ~ 1.00, 而氧传感器电压阶跃点在 $\lambda = 1$ 。如果调节 λ 使其对称分布于 $\lambda = 1$ 的两侧,那么废气就不能在三元催化转化器内得到最佳的转化。所以要将实际达到的 λ 调节范围的中心从氧传感器电压阶跃点朝低 λ 的方向推移一点。这称之为 λ 的不对称调节。有两种方法可实现 λ 的不对称调节。

① 当从稀混合气转入浓混合气即从 $\lambda > 1$ 转入 $\lambda < 1$, 氧传感器电压跃升时, λ 修正系数推迟一些时间调低,这就是说,喷油量推迟一些时间减少。

② λ 修正系数不对称阶跃,即从稀到浓和从浓到稀时阶跃高度不同。

5. 双氧传感器闭环控制

如图 4-14 所示, λ 闭环控制系统中可在三元催化转化器前面和后面各设一个氧传感器。设在后面的氧传感器 3b 受废气污垢的影响较小。来自 3b 的信号叠加于设在前面的氧传感器 3a 的信号,从而改变闭环控制回路中 λ 修正系数波动曲线的不对称性,对 λ 调节范围的漂移进行补偿。这样可保证混合气成分长时间稳定。但是,单用设在三元催化转化器后面的氧传感器 3b 来实行 λ 闭环控制则惰性太大,因为气体从喷油器到氧传感器的流动时间太长。所以,两者兼用最佳。

以后将要阐明,后面的氧传感器 3b 还用于对三元催化转化器进行故障诊断。

第二节 三元催化转化器检测与诊断

一、三元催化转化器的构造和工作原理

自 20 世纪 60 年代以来,人们越来越认识到环境保护的重要性。限制汽车发动机尾气排

放的法规日趋严厉。当用尽了各种机内净化措施还是没法达到废气净化要求时，人们将目光转向机外净化。

于是，废气三元催化转化器应运而生。为了满足欧洲 I 排放法规，必须采用三元催化转化器和闭环控制。

汽油机排放的废气中所含的有害物质主要有三种，即 HC、CO 和 NO_x 。三元催化转化器的任务就是将这三种有害物质转化成无害的 H_2O 、 CO_2 和 NO_x 。美国从 1975 年车型起，日本从 1976 年 4 月起就已将三元催化转化器投入实际应用。最早使用的是氧化三元催化转化器，要求废气中空气过剩，即 $\lambda > 1$ ，可将 HC 和 CO 转化成 H_2O 、 CO_2 ，对 NO_x 无转化作用。采用这种三元催化转化器的，若是汽油喷射发动机，可使混合气 $\lambda > 1$ ；若是化油器发动机，则要在三元催化转化器之前鼓入二次空气。后来出现双床催化转化器，由两个三元催化转化器串联而成，要求 $\lambda < 1$ 的混合气。废气先流过还原三元催化转化器，后流过氧化三元催化转化器。两者之间鼓入空气。前一个转化 NO_x ，后一个转化 HC 和 CO。此法油耗最大，且在缺氧条件下 NO_x 还原后生成氨 (NH_3)，遇氧又部分地氧化成 NO_x 。双床三元催化转化器只在美国曾投入使用。而目前广泛使用的三元催化转化器既能氧化 HC 和 CO，又能还原 NO_x ，使废气中的三种有害物质同时得到转化，所以英语称之为 Three Way Catalytic converter (TWC)，中华人民共和国国家标准《汽车排放物术语和定义》(GB 5181—1985) 将它定名为三元催化转化器。目前中文书刊上对此有各种译法，诸如“三元催化转化器”、“三元触媒”等，理应按国家标准统一。

三元催化转化器与发动机电子控制并无直接联系，然而，实际上三元催化转化器的应用以 λ 闭环控制为先决条件；另一方面，发动机电子控制在现阶段最重要的任务是降低排放，电子控制系统还担负着对三元催化转化器进行故障诊断的任务。

1. 三元催化转化器的构造

三元催化转化器主要由四部分组成：载体、涂在载体上的催化活性层、承纳载体的钢板壳体和放在载体和钢板壳体之间的隔离层或缓冲层。

(1) 载体 载体的任务是承载催化活性层，因而得名。载体应满足以下要求：

- ① 高温稳定性和耐久性。因为发动机废气温度可高达 800°C 以上。
- ② 在废气温度变化范围内热膨胀系数很小。
- ③ 能承受振动和冲击。
- ④ 总质量小，比热容低，使得热容小。
- ⑤ 流动阻力低。

(2) 载体分类 载体可分成颗粒状和整体式两种，如图 4-16 所示。

1) 颗粒状载体。颗粒状载体主要用于美国和日本，正在失去其重要性。欧洲的汽车生产厂商实际上从未采用这类载体。

2) 整体式载体。整体式载体分成陶瓷的和金属的两种。

① 整体式陶瓷载体。整体式陶瓷载体是目前最常用的。它主要由耐高温的镁 - 铝 - 硅酸盐（荃青石）组成，其含量占 90% 以上，做成圆形或椭圆形截面。整体式陶瓷载体中沿轴线方向做出许许多多平行的正方形通道，密度达 200, 300, 400 或 600 目（即每平方英寸横截面上的通道数）。废气就顺着这些微小的通道流过，如图 4-17 所示。

整体式陶瓷载体机械强度较差，受力时容易破碎。因此，在钢板壳体和陶瓷载体之间设

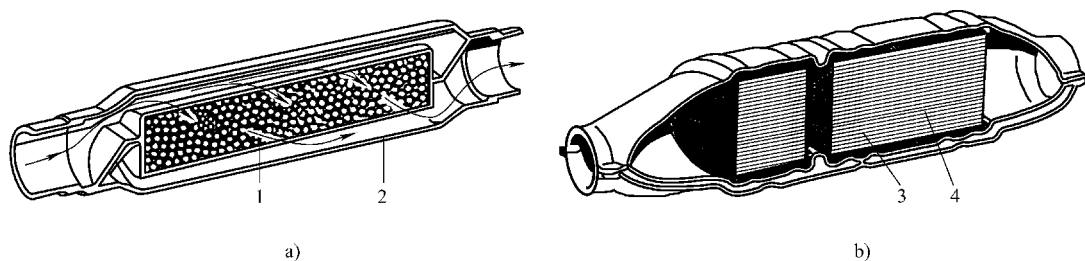


图 4-16 颗粒状和整体式载体

a) 颗粒状载体 b) 整体式载体

1—颗粒状载体 2—隔离层 3—整体式载体 4—缓冲层

置一层金属缓冲层，这是一种由高合金钢丝编织而成的弹性编织物。借助于它，可以承受由于加工偏差和壳体与载体材料之间热膨胀系数的差别造成的力、汽车振动造成的机械负荷以及气体施加于载体的力。

② 整体式金属载体。整体式金属载体目前应用有限，但很有发展前途。后面将要细述。三元催化转化器必须达到 250°C 以上的温度才有转化作用。整体式金属载体是用高耐热的铁素体不锈钢箔与波纹板卷制成的蜂窝夹层结构，因其壁厚可小至 0.04mm ，质量和热容随之下降，且有良好的导热性能，所以冷起动时能够很快地升温到工作温度，且加热比较均匀，故性能明显优于整体式陶瓷载体。由于价格的缘故，整体式金属载体目前主要用于起动三元催化转化器，置于整体式陶瓷载体三元催化转化器的前面更靠近发动机的部位，称为前置三元催化转化器。目前全世界采用金属载体的汽车还没有超过 4%。

(3) 催化活性层 颗粒状载体的场合，催化活性物质直接涂在载体上构成催化活性层。整体式载体的场合，先用特殊的工艺方法在载体上涂覆一层由 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 组成的中间层，它可以使载体的有效表面积扩大大约 7000 倍，如图 4-18 所示。中间层内所含的活性促进剂可提高储氧能力并促进还原反应。中间层表面涂覆一层主要由贵金属铂 (Pt) 和铑 (Rh) 组成的催化活性物质，形成催化活性层。铂加速 HC 和 CO 的氧化，铑加速 NO_x 的还原。涂层中贵金属总浓度约为 $1.4 \sim 1.8\text{kg/m}^3$ ，每台三元催化转化器耗费贵金属约 $3 \sim 4\text{g}$ 。其中铂与铑的比例约为 5:1。

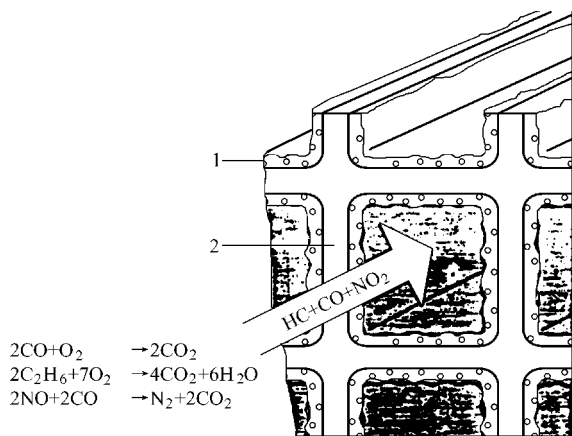


图 4-17 整体式载体中的通道

1—催化活性层 2—陶瓷或金属载体

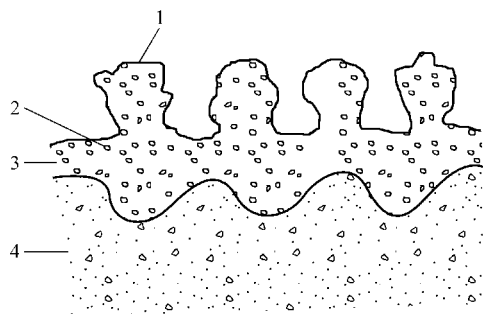


图 4-18 载体、中间层和催化活性层

1—催化活性层（贵金属铂/铑）
2—活性促进剂 3—中间层 4—载体

催化活性层对三元催化转化器的性能有着至关重要的影响,它应满足如下要求:

- ① 低的响应温度。
- ② 高的储氧能力。
- ③ 耐高的废气温度。
- ④ 不易中毒。
- ⑤ 高温下对高的氧浓度(倒拖断油时)不敏感。
- ⑥ 生成 H_2S 的倾向低。
- ⑦ 优良的价格—性能比。

从这些要求出发,在刚开始将三元催化转化器用于汽车时就已在考虑用廉价得多的钯(Pd)代替昂贵的铂。早年含钯的催化剂容易中毒而失去活性。这是由于钯晶体的多孔结构比光滑的铂晶体更易粘结沉积物,而且钯在抗氧化和不希望发生的晶粒长大方面都不及铂。

1989年钯—铑催化剂问世,通过相应的中间层配制和改进的生产工艺克服了上述缺点,但当时试验费用比原先的催化活性层高昂。进入20世纪90年代以后,铂价上涨到钯的10倍左右。虽然1993年钯价格也上涨了,但铑大幅减价,于是确立了钯—铑催化活性层的价格优势。由于铑毕竟较贵,所以钯—铑催化活性层不可能很便宜。若压低铑的含量到接近于零,则会使 NO_x 转化受阻。

我国是世界上蕴藏稀土最多的国家。目前国内有一些研究人员正致力于用稀土氧化物代替贵金属作为催化活性物质的研究,已取得了一些进展。但是稀土氧化物只能部分代替贵金属。

2. 三元催化转化器的作用原理

氧化HC和CO以及还原 NO_x 的转化反应是非常复杂的。转化反应的发生需要能量,称为反应能。只有当外界提供的反应能超过某一个门槛值时,反应才会发生。反应能超出门槛值越多,则反应速度越快。而外界提供的反应能的多少取决于反应温度。因此,转化反应是否发生,以及反应进行得多快,主要取决于反应温度和反应能的门槛值。提高反应温度或降低反应能的门槛值都能促使反应发生和反应加快。

催化活性层中的催化活性中心首先吸附废气中三种有害物质分子,接着使它们的化学键变得松散,这就降低了反应能的门槛值。三元催化转化器的作用就在于此。

3. 三元催化转化器转化性能的评价指标及其影响因素

讨论这个问题时必须注意到发动机的废气是在流动过程中完成催化转化的这一特点。因此,谈论单位时间内转化的废气量并没有什么实际意义。通常采用转化效率(k)评价三元催化转化器转化性能。

$$\text{转化效率 } k = \frac{\text{进口浓度} - \text{出口浓度}}{\text{进口浓度}} \times 100\%$$

转化效率当然首先取决于三元催化转化器本身。此外它还受下列因素的影响。

(1) 三元催化转化器的温度 温度高,则反应速度快,转化效率高。温度低于 250°C 时根本就不会发生转化反应。因此冷启动时转化效率低,甚至为零。温度超过 950°C 则三元催化转化器过热,会丧失活性。

(2) 容积速度 容积速度即流过三元催化转化器的废气体积流量与三元催化转化器容积之比。容积速度大,则有害物质接触催化活性层进行转化反应的机会少,转化效率低。

(3) 过量空气系数 λ 如图 4-20 所示, 废气中三种有害物质经三元催化转化器处理后的浓度随 λ 变化的规律各不相同。HC 和 CO 转化后的浓度随着 λ 的增加而减小, λ 越过 1.00 后达到最低; NO_x 转化后的浓度在 $\lambda < 1$ 时保持较低, λ 越过 1.00 后迅速跃升。为了兼顾三种有害物质的净化, 要求严格控制混合气成分在 $\lambda = 0.99 \sim 1.00$ 的小范围内。这个任务由 λ 闭环控制完成。

(4) λ 变动的频率和幅度 在 λ 闭环控制的场合, λ 频繁变动且变动幅度大, 则最高的转化效率降低。

(5) 三元催化转化器老化和中毒程度 三元催化转化器在使用过程中会老化和中毒, 转化效率下降。

4. 对三元催化转化器的要求

冷起动时尽可能快地开始发挥转化作用; 各种温度下尽可能高的转化效率; 在 λ 波动的情况下同样达到要求的转化效率; 抗老化和中毒的能力强; 在尽可能宽的 λ 范围内达到要求的转化效率。

5. 三元催化转化器的活性丧失

三元催化转化器装车行驶若干路程之后, 起燃性能和转化效率会明显下降。这种现象是因为催化活性层的效能下降了, 称为活性丧失。活性丧失对起燃性能和动态转化性能的影响明显超过对静态转化性能的影响, 对转化 NO_x 的影响超过对转化 HC 和 CO 的影响。活性丧失的主要原因是热老化和中毒。

(1) 热老化 热老化就是载体和中间层在高温作用下发生烧结和晶体长大、表面积缩小的现象。其结果是活性下降。在 $250^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ 的温度范围内, 三元催化转化器可以长期运行。虽然超过 400°C 就会出现轻度的热老化, 但不至于丧失活性。温度越高, 热老化越严重。超过 950°C 则会过热, 活性急剧下降, 甚至发生载体软化和熔化。如果发动机缺火, 或者倒拖 (减速) 时不断油, 则大量未燃混合气进入三元催化转化器燃烧, 温度急剧上升, 极易热老化。发动机电子控制系统有检测缺火故障的功能。

(2) 中毒 中毒有如下两个方面:

① 化学中毒。化学中毒——燃油和机油中的添加剂与中间层 ($\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$) 及其中的活性促进剂起化学反应, 造成活性下降。

② 机械中毒。机械中毒——活性中心被添加剂或废气中的沉积物覆盖。

燃油中会导致中毒的元素主要是铅、锰、硫和磷, 特别是铅, 过去普遍以四乙基铅的形式加入汽油以提高辛烷值。中国自 1997 年起已先后在北京、上海和广州等大城市推广无铅汽油, 全中国将从 2000 年 1 月 1 日停止生产, 从 2000 年 7 月 1 日起停止销售含铅汽油。通常规定无铅汽油含铅量应小于 0.013g/L , 但这是为了解决空气的铅污染而定的, 不能满足严格的排放要求, 例如欧洲 I 为了使三元催化转化器不受铅的毒害应使含铅量低到不可察觉的程度。美国汽油实际含铅量小于 0.0005g/L 。国外有人用含锰的甲基环戊二烯基三羰基锰 (Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl, 缩写为 MMT) 代替四乙基铅加入汽油以提高辛烷值, 但对 MMT 的使用尚有争议, 因为锰可能也会使三元催化转化器中毒。许多大汽车公司一致反对使用 MMT, 并声称对于由此引起的后果概不负责。汽油中的硫主要来自原油, 其含量因原油产地而异。硫还会使车载故障诊断系统对三元催化转化器的诊断失败, 为此要求含硫量小于 0.02% 。

机油会通过活塞和气缸壁之间的间隙进入气缸。燃烧后机油添加剂中的钙、镁、锌、钼、磷和砷都能随废气进入三元催化转化器而使其中毒。老化的机油中还含有来自轴瓦的铅。所以要努力防止机油进入气缸,磨损的活塞环要及时更换。

6. 缩短起燃时间的措施

研究表明,80%以上的HC和CO排放来自暖机阶段。暖机阶段三元催化转化器实际温度与起燃温度的差距使排放得不到应有的转化。所谓起燃时间就是从发动机起动到这个温度差距缩小为零所经过的时间。为了缩短起燃时间,一方面要降低起燃温度,另一方面要在暖机阶段设法加热三元催化转化器。起燃温度已降低到250℃,进一步降低起燃温度并非易事。从发动机起动到三元催化转化器有足够的面积升到这一温度所经过的时间可达150s。为了缩短起燃时间可采取以下措施。

(1) 安装地点 应使三元催化转化器尽量靠近发动机排气口。但全负荷时可能造成三元催化转化器温度过高,加速热老化。

(2) 降低热容 金属载体的小型前置式三元催化转化器可以使情况有所改善,但目前尚难推广。

(3) 提高转化效率 研究工作集中在改进催化活性层的成分。

(4) 加热措施

① 二次空气。因为暖机阶段混合气偏浓,废气中存在较多的HC和CO。从发动机排气口后面鼓入二次空气便可使其燃烧发热。

② 稀混合气结合点火推迟。使废气温度提高,废气中的未燃成分可在排气系统中与残余氧继续发生氧化反应而发热。

(5) 采用双层结构的排气系统隔热措施 隔热措施对已经老化的三元催化转化器特别有效。

在结束λ闭环控制和三元催化转化器讨论的时候有必要指出,控制排放必须机内净化和机外净化并举,不可一味地依靠机外净化而忽视机内净化的作用。

二、三元催化转化器的诊断与维修

1. 三元催化转化器的检测与诊断

国外规定,汽车原装的三元催化转化器(简称TWC)应该保用5年或8万km无损坏。因此,在使用期内一般情况下无需对TWC进行定期维修,只有在对发动机进行调试或国家有关部门检测车辆时,才检查TWC的工作情况。但是由于我国车辆运行条件及使用油品等的限制,TWC损坏的几率较高,故在对汽车进行二级维护时应该检测TWC的工作情况,以便及时发现问题。

(1) 三元催化转化器常见的故障及原因 TWC常见故障有TWC催化性能恶化;TWC芯子堵塞后排气不畅,产生过高的排气背压,使废气倒流到发动机内等。

① 炭灰积聚、污垢。含铅汽油燃烧后,铅污垢吸附到催化器表面,从而使TWC内的温度很快升高;机油窜入气缸内燃烧后,机油中的磷和锌等物质也会污染TWC,使催化器受到损坏。

② 陶瓷芯子破损。热循环的长期作用、外部碰撞和挤压,都有可能使陶瓷芯子破损。

③ 陶瓷芯子熔化。TWC正常工作时,TWC内的温度一般可达500℃~800℃,出口处温度比进口处温度约高30℃~100℃。但是,混合气浓或燃烧不完全时会使排气中的CO、HC

量过高,这将加重 TWC 的负担,使温度升高过多,时间长后,会使 TWC 性能恶化,甚至熔化载体。

④ TWC 上一般还装有排气温度传感器,当温度过高时,电脑会切断二次空气供给,中断催化反应。

(2) 三元催化转化器性能的检测与诊断 TWC 的性能可以用四种检测方法来综合判断。

① 怠速试验法。在发动机怠速运转时,用汽车废气分析仪测量汽车尾气中 CO 含量,汽车废气分析仪上 CO 的读数,应该接近于 0。最大值不应超过 0.3%,否则,TWC 可能已经损坏。

② 稳定工况试验法。按照汽车制造厂家的规定连接好汽车专用的数字式转速表,使发动机缓慢加速,同时观察汽车废气分析仪上 CO 和 HC 的读数,当转速加到 2500r/min 并稳定在这一转速时,CO 和 HC 的读数应该缓慢下降,并稳定在低于或接近于怠速时的排放水平,否则,TWC 可能已经损坏。

为了避免在调整发动机转速的过程中怠速时间过长,使 CO 和 HC 的读数偏大,将转速由 1900 加速到 2500r/min 应该至少用 10s 的时间,而 CO 和 HC 的读数应能在 30s 以内稳定。而当回到怠速后,CO 和 HC 的读数应能够稳定 1min,否则,应该重复上述程序,将排气系统吹净。

③ 快怠速试验法。使发动机处于快怠速运转,并用转速表检查快怠速转速是否符合规定值;并视需要进行调整。用汽车尾气分析仪测量发动机处于快怠速状态下尾气中的 CO 和 HC 含量。若发动机技术状况良好,则 CO 排放量应该在 1% 以下,HC 的排放量应该在 100×10^{-6} 以下;若两者的排放量均超标,则可以临时取下空气泵的出气软管,此时若 CO 和 HC 的读数不变,则说明 TWC 已经失效;若读数升高,而重新接上空气泵的出气软管后读数又下降,则说明汽油喷射系统或点火系统有故障。

④ 高温热电偶检测法。将高温热电偶的探测头接触在 TWC 前、后的排气管上,在 TWC 正常工作时,后端温度应比前端温度至少高出 38℃,若后端温度等于或低于前端,则说明在 TWC 内无氧化反应发生,此时应该检查二次空气喷射系统是否有故障。若二次空气喷射系统无故障,则说明 TWC 已经损坏,应更换 TWC。

(3) 三元催化转化器芯子堵塞的检查 TWC 芯子堵塞的检查有检测进气歧管真空度和排气背压两种方法。

① 检测进气歧管真空度法。

a) 将废气再循环(EGR)阀上的真空软管取下,并用塞子将管口塞住,以避免产生虚假的真空泄漏现象。

b) 将真空表接到进气歧管上,将发动机缓慢加速到 2500r/min。

c) 观察真空表读数。若真空表读数瞬间下降到原有水平(47.5 ~ 74.5kPa),并能稳定地保持在这一水平至少 15s,则说明 TWC 没有堵塞;若真空表读数下降,则可能为 TWC 或排气管堵塞。

② 检测排气背压法。

a) 从二次空气喷射管路上脱开接空气泵单向阀的接头,再在二次空气喷射管路中接入一个压力表。

b) 在发动机转速 2500r/min 时观察压力表的读数;此时压力表的读数应该小于

17. 24kPa, 如果排气背压大于或等于 19. 7kPa, 则表明排气系统堵塞。若观察 TWC、消声器、排气管又无外部损伤, 则可以将 TWC 出气口和消声器脱开后观察压力表的读数是否变化, 若压力表显示的排气背压仍然较高。则为 TWC 损坏; 若压力表显示的排气背压读数陡然下降, 则说明堵塞发生在出气口后面的部件。

(4) 三元催化转化器使用中的注意事项 为了防止三元催化转化器损坏, 在使用中应注意以下几个方面。

① 对于装有三元催化转化器和手动变速器的车辆, 不能用推或拖的方法起动发动机。因为使用这种方法起动发动机, 在发动机没有立即着火时, 没有燃烧的燃油将进入三元催化转化器并积聚在其中, 在发动机起动走热以后, 会因高温而爆炸, 损坏三元催化转化器。因此, 在汽车不能起动时, 可搭接车外的蓄电池或辅助装置来起动。

② 必须使用高品质的无铅汽油和添加剂含量低的发动机机油 (含铅汽油燃烧后排出的细粉状、含铅化合物会吸附在催化剂活性表面上将其覆盖, 导致永久性的损坏)。催化剂在含铅气氛中 (含铅量大于 0. 005g/L) 工作几十个小时就会完全丧失活性。另外, 氧传感器也会因使用含铅汽油, 产生“铅中毒”而失效, 从而不能正确反映发动机的空燃比, 影响 TWC 发挥最佳性能、造成有害物排放增加, 经济性下降。

汽油中氧含量过高会影响闭环控制的精度, 烯烃、胶质含量过高会引起喷油器针阀堵塞, 导致排放增加, 从而间接影响 TWC 的转化效率和寿命。

发动机机油中含有的磷、硫、锰、硅及其他添加剂, 燃烧后剩下的灰分均会覆盖住催化剂, 因发动机油的最大含磷量应限制在 0. 15% (质量), 机油消耗量应小于 0. 12L/100km。

汽车发动机只有在机内净化达到一定程度后, 利用 TWC 才可能将 HC、CO、NO_x 三种污染物排放量显著降低。这是因为 TWC 的转化能力是有限的。如果机内净化不良而使用 TWC, 不但排放污染得不到有效控制, 还会影响 TWC 的寿命。

③ 装有三元催化转化器的汽车应避免在封闭的环境中让发动机长时间运转。因为在三元催化转化器周围没有正常的空气循环可能使其温度上升到超过正常的工作温度 (427℃), 引起邻近的防护金属板或车身绝缘烧焦, 有时还会出现硫酸蒸气的气味。

④ 在用千斤顶和举升机将汽车顶起时, 应注意支脚不要接触三元催化转化器。有些汽车的三元催化转化器离车架很近, 应特别注意。为了增加车架和三元催化转化器之间的距离, 有的汽车制造厂家将三元催化转化器做成圆管状。

⑤ 在用搭接车外电源起动发动机、测试气缸压缩压力等情况下, 不要长时间拖动发动机, 防止未燃烧的燃油积聚在三元催化转化器内。同样, 在汽车停住之前, 不能关点火开关。

⑥ 当出现不能熄火、动力波动以及回火等故障现象时应立即维修。

⑦ 不要用脱开火花塞高压线的方法试验点火系是否跳火。如果不得不这样做, 则如果在试验中火花塞没有跳火, 试验后 30s 内不要起动发动机。

⑧ 定期调整供油系和点火系等系统, 以保持这些系统工作正常。

装三元催化转化器的汽车, 有时排气有硫酸气味和臭鸡蛋味, 这不一定是三元催化转化器失效的标志。三元催化转化器能减少 HC、CO 和 NO_x 的排放, 但自身也会生成少量的排放物。大多数汽油都含有少量的硫和其他成分。硫能和在三元催化转化器里生成的水蒸汽起化学反应, 生成硫化氢, 这就是臭鸡蛋味的来源。这种气味一般在暖车和减速时出现。这种

气味表明发动机工作不正常，特别是在发动机达到正常工作温度后还有这种气味的话，其原因是发动机已经失调或混合气过浓或汽油含硫量过高。

⑨ 从发动机排出的排气流包含着压力波，当经过 TWC 时，会激起 TWC 外壳或护罩发出噪声；沿着排气管传下来的发动机的振动，也会引发噪声。TWC 常见噪声如下：

a) “咯咯”声。这种类型的噪声产生的原因有：TWC 附件（如隔热罩）的松动和脱掉，TWC 与车身其余部件的接触，TWC 内部元件（如 TWC 载体）损坏并在 TWC 内部移动。这些噪声通常随发动机转速而变化。

b) “啸叫”声。外壳和隔热罩的“啸叫”可由结构上的共振激励引起，不带孔的下隔热罩通常比带孔的更易发出噪声。

c) “乒乓”声。在冷却过程中，由于排气系统零部件的热胀冷缩，导致配合零部件间的相互运动。采用柔性的接口和在相互滑动的表面间使用网格衬垫，可减小热胀冷缩。

降低以上噪声，除了需正确的安装外，还要考虑对 TWC 的结构和排气系统重新进行优化设计。

⑩ 应尽量避免以下的情况出现：过久的怠速运转；发动机点火正时不当（过迟）；个别火花塞不工作；拔出高压线试火时间过长；喷油器喷油但不着火，较长时间起动；混合气浓的诸多因素，如氧传感器失效、油压高、喷油器漏油、空气流量传感器失效等；长期高负荷运转。避免引起 TWC 温度过高，加速三元催化转化器的老化。

思考题

1. 什么叫做 λ 闭环控制？其目标是什么？怎样实现这个目标？为什么要树立这个目标？可用于哪些工况？
2. 氧传感器测定的对象是什么？理论上在未燃混合气和在废气中测定的结果有何差别？为什么？
3. 为什么氧传感器的传感元件必须与新鲜空气接触？
4. 氧离子为什么会穿越氧传感器内多孔的传感元件？其后果是什么？
5. 为什么氧传感器的传感元件接触废气的表面上要涂覆贵金属催化剂？
6. 试述氧传感器的两种输出特性曲线。
7. 氧传感器内为什么要设置电热元件？
8. 氧传感器的安装要注意什么问题？
9. 片式宽带氧传感器有什么特殊的用途？
10. 从喷油器喷油结束到 ECU 检测到与这些喷油对应的信号的这一段时间滞后由哪几部分组成？其长短取决于什么？范围多少？
11. 闭环控制回路为什么无法将 λ 一步调节到要求的 $\lambda = 1$ ，并保持下去？
12. 试述 λ 闭环控制的控制策略。
13. 什么叫做 λ 的不对称调节？为何要如此？如何实现？
14. 为什么要采用两个氧传感器？
15. 汽油机排放的有害物质主要是哪几种？对它们应分别采用什么净化对策？
16. 三元催化转化器与电子控制有什么关系？
17. 三元催化转化器中的载体起什么作用？载体应满足哪些技术要求？
18. 整体式陶瓷载体和金属载体各用什么材料制成？有什么优缺点？用于什么场合？
19. 为什么要在陶瓷载体和钢板壳体之间设置一层金属编织物？它由什么材料制成？
20. 为什么催化活性层不是直接涂覆在整体式载体上而是涂覆在载体表面的中间层上？中间层用什么

材料制成?

21. 中间层内的什么物质可提高储氧能力?
22. 三元催化转化器的催化活性剂主要由哪两种贵金属组成? 它们各起什么作用? 两者比例如何? 每台三元催化转化器耗费贵金属大约多少?
23. 钯可用于代替三元催化转化器中的哪一种贵金属? 但是有什么不足之处? 根据我国的资源优势, 应该大力发展用什么材料部分代替贵金属?
24. 通常用什么指标评价三元催化转化器的转化性能? 怎样定义这些指标?
25. 三元催化转化器的温度太低和太高有什么不好? 正常的工作温度是多少?
26. 什么叫做容积速度? 对三元催化转化器的性能有何影响?
27. 汽油机废气中的三种有害物质经三元催化转化器处理后的转化效率随 λ 变化的规律如何? 为了兼顾这三种有害物质的净化, 要求将 λ 控制在什么范围内?
28. 什么叫做起燃温度? 它有什么重要意义? 怎样测定?
29. 为什么装有三元催化转化器的发动机特别不能容忍缺火故障的存在?
30. 为什么装有三元催化转化器的发动机不能使用含铅汽油?
31. 目前的生产技术已使三元催化转化器的正常使用寿命提高到多少里程以上?
32. 鼓入二次空气对提高三元催化转化器的转化效率有什么作用? 应在什么阶段鼓入? 从什么地方鼓入?
33. 汽油机 80% 以上的 HC 和 CO 排放来自哪一个运行阶段? 针对这一事实, 可对三元催化转化器采取哪些措施?

第五章 汽油机点火系统电子控制的检测与诊断

汽油机点火系统电子控制的核心问题是点火提前角电子控制。点火提前角对发动机的动力性、经济性和排放有十分重要的影响，是继燃油定量之后的第二个必不可少的控制参数，应根据发动机负荷和转速加以优化。传统的汽油机同样根据发动机负荷和转速对点火提前角实施控制，不过是以机械方式进行的。点火提前角电子控制系统中则由 ECU 根据负荷和转速传感器提供的信息从存储器中调出优化的点火提前角数据，通过程序运行进行修正，实施控制。为此，需要曲轴位置信息。

为了满足发动机提高转速的要求并提高可靠性，近年来发展了无分电器点火系统，这在机械控制点火系统中是不可能实现的。

点火提前角电子控制为爆燃控制提供了可能性。

为了保证点火线圈有足够的能量用于点火，对点火闭合角也要实施电子控制。

第一节 点火提前角及其优化

一、汽油机点火燃烧过程

图 5-1 表示压缩上止点前后缸内压力的时间变化曲线，横坐标是时间。

从火花塞打火到燃烧结束，可分成三个阶段：着火落后期 τ_r 、火焰传播期 τ_s 及后燃期。

1. 着火落后期 τ_r

从火花塞打火至火焰中心形成，缸内压力开始剧烈上升，如图 5-1 中的 1—2 段所示。

火花塞在点 1 打火后，并不立即点燃，而是过了一段时间 τ_r 之后到达点 2 才开始燃烧。在 1—2 段，缸内压力仍循压缩过程曲线变化，就跟火花塞没打火似的。过了点燃时刻点 2 之后缸内压力才开始超出单纯的压缩过程中的压力。

2. 火焰传播期 τ_s

火焰从火焰中心传遍整个燃烧室，缸内压力升到最大值，如图 5-1 中的 2—3 段所示。

3. 后燃期

缸内压力达到最高点 3 之后，尚未燃烧的混合气继续燃烧。这个阶段应尽可能短。

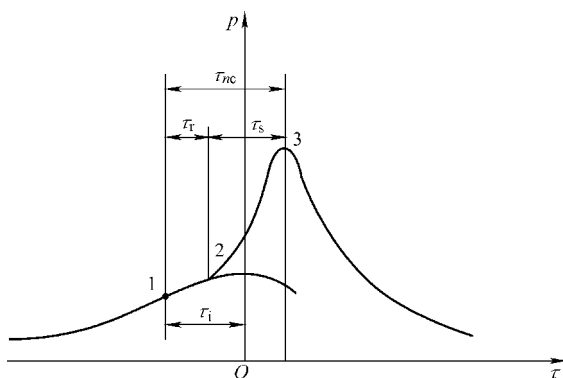


图 5-1 缸内压力的时间变化曲线
O—压缩上止点 1—点火 2—起燃 3—最高压力

二、影响着火落后期的化学、物理、机械和结构因素

对确定的发动机而言，燃油点火火花能量和压缩比均已确定，与工况无关。缸内混合气

运动虽与转速有关,但对 τ_r 影响不大。惟有 λ 和 γ 与负荷有关,但与转速关系并不大。由此可见,发动机工况对 τ_r 的影响主要通过负荷对 λ 和 γ 的影响体现出来。负荷降低时, λ 和 γ 都增大, τ_r 随之增大。

三、影响火焰传播期的化学、物理、机械和结构因素

对确定的发动机而言,燃油、燃烧室面容比、压缩比和火花塞位置均已确定,与工况无关。进气温度和进气压力由环境状态决定,也与工况无关。 λ 和 γ 和发动机温度与负荷有关;缸内混合气运动与转速有关。负荷降低时, λ 和 γ 都增大,而发动机温度却降低,这三个因素都促使 τ_s 增大。转速降低时,缸内混合气运动趋缓,也使 τ_s 增大。

四、正常燃烧期和正常燃烧角

1. 正常燃烧期 τ_{nc}

着火落后期 τ_r 与火焰传播期 τ_s 之和称为正常燃烧期 τ_{nc} ,即:

$$\tau_{nc} = \tau_r + \tau_s \quad (5-1)$$

它对应于从火花塞打火至缸内压力达到最大值这段时间,如图5-1所示。

2. 工况参数对正常燃烧期的影响

综前所述可以看出:

① 负荷下降即使 τ_r 增大,又使 τ_s 增大,所以使 τ_{nc} 随之增大。发动机温度对 τ_{nc} 的影响与负荷的影响类似。

② 转速下降使 τ_s 增大,因而使 τ_{nc} 随之增大。

3. 正常燃烧角 θ_{nc}

正常燃烧期这一概念涉及的是时间。但是发动机点火系统电子控制中,控制曲轴转角比控制时间方便,所以要引入正常燃烧角这一概念。它对应于在正常燃烧期内所转过的曲轴转角,显然还与曲轴转速有关:

$$\theta_{nc} = 2\pi n \tau_{nc} / 60 = \pi n \tau_{nc} / 30 \quad (5-2)$$

式中, n 为曲轴转速(r/min); τ_{nc} 为正常燃烧期(s)。

4. 工况参数对正常燃烧角的影响

① 负荷下降使正常燃烧期增大,正常燃烧角随之增大。发动机温度对正常燃烧角的影响与负荷的影响类似。

② 转速 n 增加一方面如式(5-2)所示使正常燃烧角增大,另一方面却又如前所述使正常燃烧期 τ_{nc} 缩短,进而促使正常燃烧角减小。但对后者影响较小,所以总的结果是,转速增加时正常燃烧角随之增大。

五、点火提前角

如果将图5-1横坐标轴从时间改成曲轴转角,使得缸内压力的曲轴转角变化曲线,如图5-2所示。

比较图5-1与图5-2可知,时间 τ_r 、 τ_s 和 τ_{nc} 分别对应于曲轴转角 θ_r 、 θ_s 和 θ_{nc} 。转速变动时,图5-1压缩上止点前后的这一段曲线没有太大变动,但是图5-2的这一段曲线却有很大变动。假定点火发生在压缩上止点之前固定的曲轴转角位置,那么转速降低会使图5-2中出现缸内压力最大值的点3往左移,而转速升高会使这一点往右移。但是,为了达到发动机良好的动力性和经济性,应使缸内压力最大值总是出现在压缩上止点后12~15°CA。显然,为了保证这一点就必须根据不同工况控制发生点火时的曲轴转角,即图5-2中点1的位置。

为了表述点 1 的位置, 定义点火提前角如下: 从点火时刻到压缩上止点所经历的曲轴转角称为点火提前角, 记作 θ_i , 如图 5-2 所示。

点火提前角 θ_i 的设置 (即点火时刻的设置) 直接影响到最大缸内压力点 3 的位置。

六、点火提前角对发动机性能和排放的影响

1. 对转矩的影响

对每一个固定的工况, 即固定的负荷和转速, 随着点火提前角 θ_i 的增大, 转矩先增加, 达到最大值后下降, 如图 5-3 所示。图中横坐标为点火提前角, 纵坐标为功率。因为每条曲线对应于固定的转速, 所以功率曲线反映了转矩变化。图中以进气歧管真空度表示负荷。

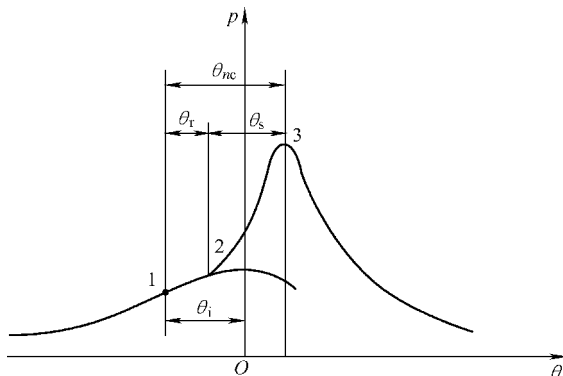


图 5-2 缸内压力的曲轴转角变化曲线

O—压缩上止点 1—点火 2—起燃 3—最高压力

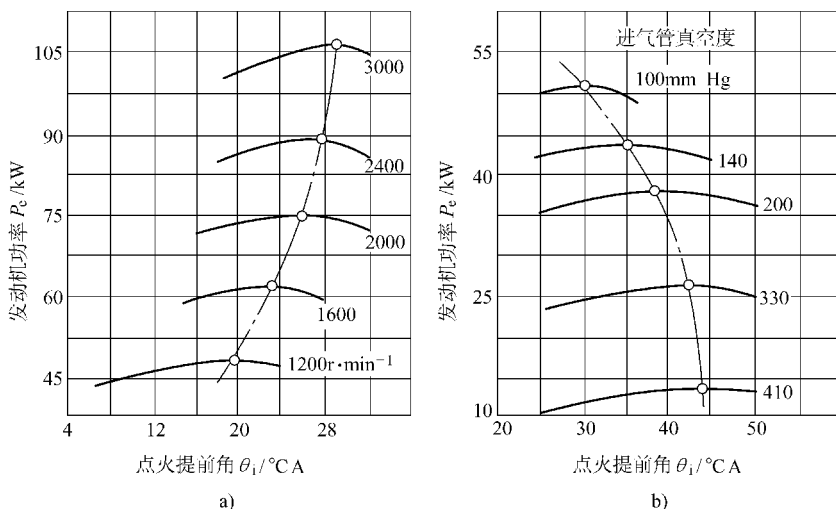


图 5-3 功率和转矩与点火提前角的关系 (25Y-6100Q 型汽油机)

a) 节气门全开 b) $n = 1600 \text{ r/min}$

由于工况固定, 正常燃烧角 θ_{nc} 固定, 所以当图 5-2 中的点 1 左右移动时, 点 3 相应地左右移动, 且移动的幅度相等。如前所述, 当点 3 处于压缩上止点后 $12 \sim 15^\circ \text{CA}$ 时平均有效压力达到最大值, 因而转矩也达到最大值。此时点 1 对应于图 5-3 中功率和转矩达到最大值的点火提前角, 称为转矩最佳点火提前角。

2. 对油耗的影响

汽油机油耗与燃烧室形式、发动机工况、过量空气系数和点火提前角等有关。以某发动机为例, 在部分负荷、转速为 2000 r/min 时, 当 $\lambda > 1.07$ 时, 随着点火提前角 θ_i 的增大, 油耗不断下降; 当 $\lambda < 1.07$ 时, $\theta_i = 30^\circ \text{CA}$ 的油耗最低, 如图 5-4 所示。在其他条件相同的情况下, 最低油耗和最佳转矩大体上出现在相同的点火提前角。

3. 对排放的影响

仍以上述发动机部分负荷, 2000r/min 为例, 如图 5-4a 所示。

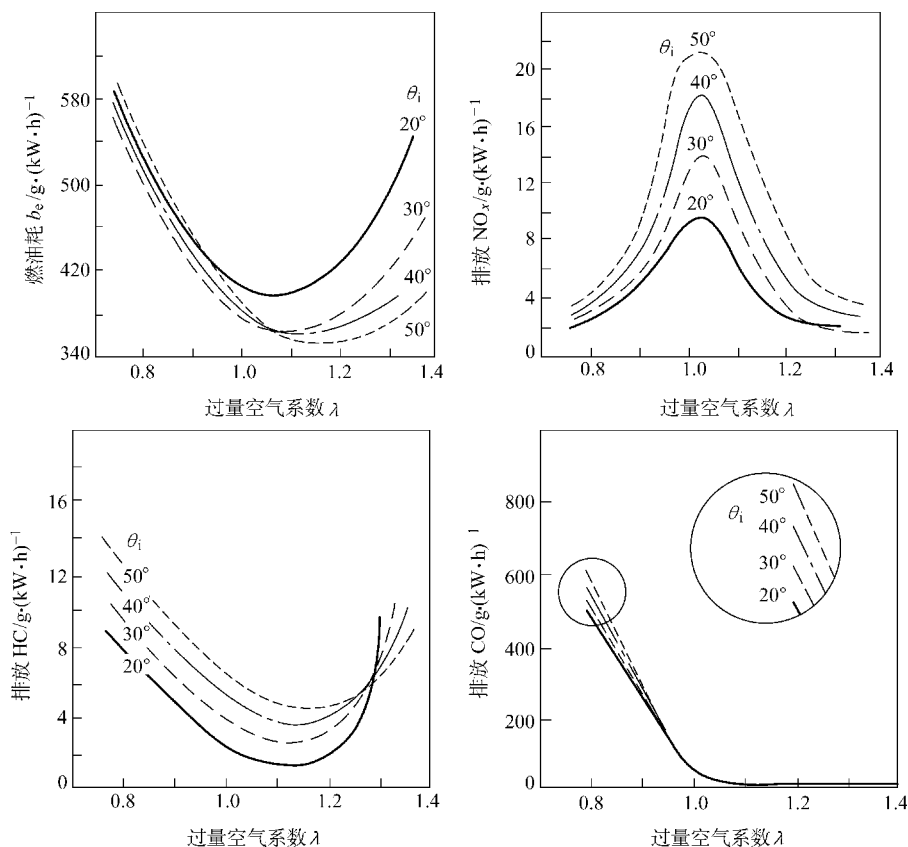


图 5-4 油耗和排放与点火提前角的关系 (部分负荷, $\Omega = 2000\text{r/min}$)

(1) 对 HC 排放的影响 在均质混合气汽油机的过量空气系数范围内, HC 排放随着 θ_i 增大而增大, 且几乎呈线性关系。因为随着 θ_i 的增大, 排气温度降低, 膨胀阶段和排气阶段 HC 的后反应减弱。

(2) 对 CO 排放的影响 在全负荷工况的过量空气系数范围内 ($\lambda < 0.95$), 点火提前角的增大使 CO 排放略有增加。当 $\lambda > 0.95$ 时, 点火提前角对 CO 排放几乎没有影响。

(3) 对 NO_x 排放的影响 不论 λ 为多少 NO_x 排放均随着 θ_i 增大而增加。因为随着 θ_i 增大, 燃烧温度上升。

从总体上说, 点火提前角越大, 排放越恶化。点火提前角影响排放的程度仅次于过量空气系数。

七、点火提前角的优化

优化过程就是要使发动机的转矩最大、油耗最少、排放最低。但是如前所述, 这三个指标随点火提前角变化的规律并不相同。所以, 所谓优化, 只是一种最合理的折中。

因为动力性 (转矩) 和经济性 (油耗) 指标只是涉及产品的市场竞争能力, 而排放受国家法规的约束, 排放超过限值的产品按理说不准生产和销售, 所以点火提前角首先应保证排放达到标准, 然后力求达到优良的动力性和经济性。或者换一种说法, 点火提前角的优化

以优良的动力性和经济性为目标,但同时必须以满足排放法规要求为前提。

就点火提前角的优化过程而言,动力性和经济性基本上是统一的。当缸内压力最大值出现在压缩上止点后 $12 \sim 15^\circ \text{CA}$ 时,动力性和经济性均为最佳。所以,按动力性和经济性优化得出的转矩最佳点火提前角完全由正常燃烧角 θ_{nc} 决定。所有使正常燃烧角增大的化学、物理、机械和电气因素都使转矩最佳点火提前角增大。

由图 5-3 可知,负荷减小(进气歧管真空度增大)或转速增加都使对应于最大转矩的点火提前角增大,就是说,使转矩最佳点火提前角增大。这个结果与以上讨论一致。

由图 5-3 还可知,在经常使用的部分负荷范围,1600r/min 时该发动机的转矩最佳点火提前角在 40°CA 左右。但这个点火提前角对应的 HC 和 NO_x 排放相当差,加之过大的点火提前角会引起爆燃,所以实际采用的点火提前角通常小于转矩最佳点火提前角。因此,对实际发动机而言,增大点火提前角通常可提高动力性和经济性。

综上所述可见,点火提前角优化的原则是,在不发生爆燃和满足排放法规要求的前提下尽量提高动力性和经济性。

第二节 电子点火系统

任何点火系统都必须具备下列功能:能量转换、点火触发、正时调节(点火提前角的控制)及高压分电。点火系统将电池的电能转换成磁能储存在线圈内,在恰当的时刻又突然将磁能转换成电能并通过火花塞释放出来形成火花点燃混合气。能量转换的过程必须借助于点火线圈和火花塞,所以任何点火系统都少不了点火线圈和火花塞。但是,不同点火系统的点火触发和正时调节方式都不同。

高压分电功能通常由高压分电器完成,以解决由一个点火线圈向不同气缸提供点火能量的问题。现在已开始采用多个点火线圈实施点火的方式,此时便不存在高压分电的问题,就不再需要高压分电器了。这就是所谓的无分电器点火。

一、传统的有触点点火系统

这种系统中,除了能量转换由点火线圈和火花塞完成以外,其余三项功能即点火触发、正时调节和高压分电完全集中在分电器中完成,如图 5-5 所示。

分电器 4 的轴由曲轴通过传动机构驱动,以曲轴转速之半旋转。分电器轴通过凸轮使断电器触点 6 闭合或断开。触点 6 闭合时,电流从蓄电池 1 经点火和起动开关 2 流过点火线圈 3 的初级线圈而产生磁场。触点 6 一旦断开,便在点火线圈 3 的次级线圈中触发感生电势,这一电势通过分电器的分电臂依次使火花塞 7 放电产生火花。

为了获得最佳的动力性和经济性,当负荷减小或转速提高时应将点火提前角增大。传统的有触点分电器中为了控制点火提前角专门设置了真空提前和离心提前机构。

传统点火系统的缺陷如下:

① 触点容易烧蚀。在传统点火系统中,触点控制电流的通断。当触点打开瞬间,触点间易形成火花,将触点氧化、烧蚀;加之触点反复开闭,触点顶块与凸轮长期摩擦而磨损,触点间隙变化,易导致点火正时不稳,影响点火系统的正常工作。

② 由于受触点允许电流强度的限制,一般不超过 5A,因此次级电压及火花能量的提高受到限制。

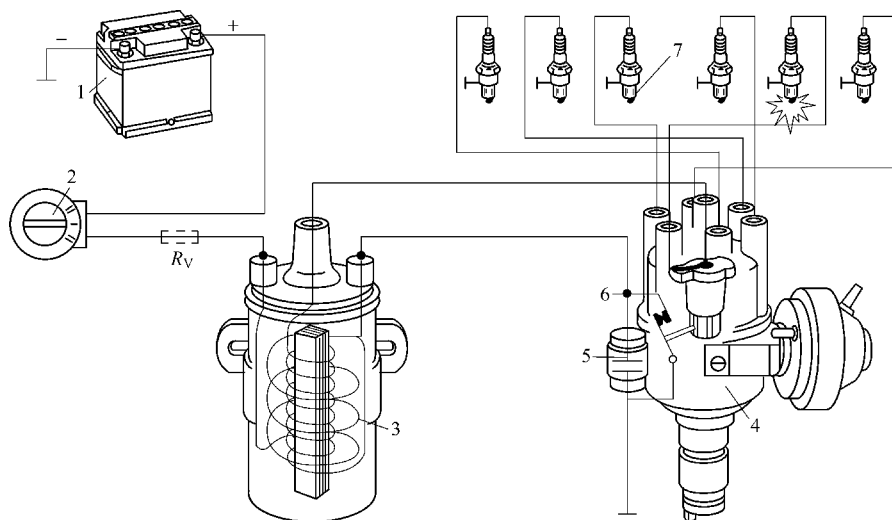


图 5-5 传统的有触点点火系统

1—蓄电池 2—点火和起动开关 3—点火线圈 4—分电器 5—电容器
6—断电器触点 7—火花塞 R_v —流电阻，用于提高起动电压

③ 初级电流和次级电压的大小随发动机转速的升高和气缸数的增多而下降，使多缸发动机高速时点火不可靠。

④ 次级电压上升速率比较慢，对火花塞积炭和污染比较敏感。

二、电子点火系统

1. 电子点火系统优点

近年来，汽车发动机向着多缸、高转速以及高压缩比的方向发展，人们还力图通过改善混合气的燃烧状况，以及燃用稀混合气，以达到减少排气污染和节约燃油的目的。这些都要汽车点火系统能够提供足够高的次级电压、火花能量和最佳点火时刻。传统点火系统已经不能满足这些要求。因此，近几十年来各国都在积极探索改进途径，并研制了一系列的电子点火系统。这是因为电子点火系统具有以下优点：

① 可以减少触点火花，避免触点烧蚀，延长触点的使用寿命；有的还可以取消触点，因而克服了与触点相关的一切缺点，改善了点火性能。

② 可以不受触点的限制，增大初级电流，提高次级电压，改善发动机高速时的点火性能。一般传统点火系统的低压电流不超过 5A，而电子点火系统可提高到 7~8A，次级电压可达 30kV。

③ 由于次级电压和点火能量的提高，使其对火花塞积炭不敏感，且可以加大火花塞电极间隙，点燃较稀的混合气，从而有利于改善发动机的动力性、经济性和排气净化性能。

④ 大大减轻了对无线电的干扰。

⑤ 结构简单、质量轻、体积小、使用和维修方便。

目前国内外汽车上使用的电子点火系统主要分为有触点的电子点火系统和无触点的电子点火系统两大类。无论是哪一类电子点火系统，都是利用电子元件（晶体管）作为开关来接通或断开点火系统的初级电路，通过点火线圈来产生高压电。

2. 有触点电子点火系统

有触点电子点火装置用减小触点电流的方法,减小触点火花,改善点火性能,它是一种半导体辅助点火装置,如图 5-6 所示。除了与传统点火系统一样具有电源、点火开关、分电器、点火线圈和火花塞之外,还在点火线圈初级绕组的电路中,增加了由晶体管 VT 和电阻、电容等组成的点火控制电路,断电器的触点串联在晶体管的基极电路中,控制晶体管的导通与截止。其工作过程如下:

接通点火开关 SW,当断电器触点闭合时,晶体管的基极电路被接通,使晶体管饱和导通,接通了点火线圈的初级电路。其路径是:晶体管的基极电流从蓄电池“+”。点火开关 SW→点火线圈初级绕组 N_1 →附加电阻 R_f →晶体管的发射极 e、基极 b→电阻 R_2 →断电器触点 K→搭铁→蓄电池“-”。

点火线圈初级绕组的电流从蓄电池“+”→点火开关 SW→点火线圈初级绕组 N_1 →附加电阻 R_f →晶体管的发射极 e、集电极 c→搭铁→蓄电池“-”。使点火线圈的铁心中积蓄了磁场能。

当断电器触点分开时,晶体管的基极电路被切断,晶体管由导通变为截止,切断了点火线圈初级绕组的电路,初级电流迅速下降到零,在点火线圈次级绕组中产生高压电,击穿火花塞间隙,点燃混合气。

发动机工作时,断电器触点不断地闭合、分开,控制晶体管的导通与截止和初级电路的通断,控制点火系统的工作。

图 5-6 中电阻 R_1 、 R_2 是晶体管的偏置电阻,用来控制晶体管的基极电流。

电容器 C 的作用是使触点分开时,初级绕组中产生的自感电动势旁路,防止晶体管截止时被自感电动势损坏。

触点式电子点火装置工作时,流过触点的电流是晶体管的基极电流,它是初级电流的 $1/10 \sim 1/5$,可以减少触点火花,延长触点的使用寿命。但是,这种电子点火装置,还是利用触点开闭的作用产生点火信号,控制点火系统的工作,因此它克服不了触点式点火装置的固有缺点。

例如高速时触点臂振动,触点分开后不能及时闭合;顶推触点臂的顶块或凸轮磨损时,会改变点火时刻;触点污染时不能可靠地点火等。触点式电子点火装置,目前已很少使用。

3. 无触点电子点火系统

无触点电子点火系统利用传感器代替断电器触点,产生点火信号,控制点火线圈的通断和点火系统的工作,可以克服与触点相关的一切缺点,在国内外汽车上应用十分广泛。

无触点电子点火系统主要由点火信号发生器(传感器)3、点火控制器4、点火线圈5、分电器2和火花塞1等组成,如图 5-7 所示。其中分电器主要包括配电器和离心提前装置、真空提前装置,它们的作用、结构和工作原理与传统点火系统对应部分完全相同。

图 5-8 所示为一汽大众捷达轿车的无触点点火系统原理图,接通点火开关 2,当点火信号发生器(霍尔效应传感器)发出点火信号,输出具有一定幅值的正脉冲时,就会触发点火控制器 5,使其中的功率晶体管导通,于是点火线圈的初级电路接通。初级电流由电源 1

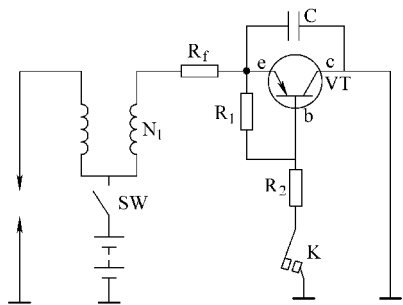


图 5-6 有触点式电子点火系统的电路原理图

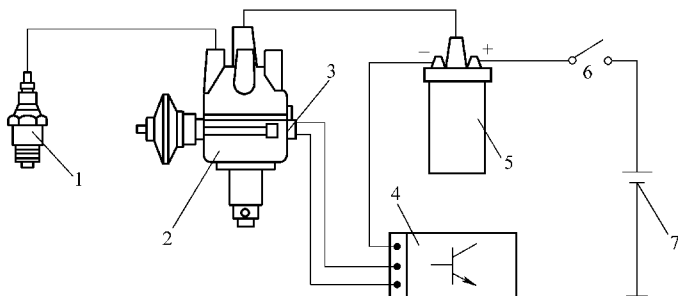


图 5-7 无触点电子点火系统的组成

1—火花塞 2—分电器 3—点火信号发生器 4—点火控制器 5—点火线圈 6—点火开关 7—电源

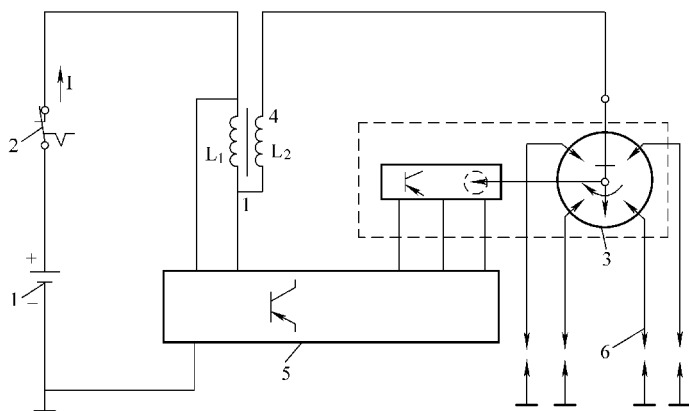


图 5-8 一汽大众捷达轿车的无触点点火系统原理图

1—电源 2—点火开关 3—带点火信号发生器的分电器 4—点火线圈 5—点火控制器 6—火花塞

的“+”极一点火开关2—点火线圈的“+”接线柱一点火线圈的初级绕组 L_1 、点火线圈的“-”接线柱一点火控制器5、搭铁—电源的“-”极。由于点火线圈初级绕组中有电流通过，于是点火线圈中便形成磁场，将电能转变为磁场能储存起来。

随着发动机的不断转动，当点火信号发生器产生的信号由正脉冲变为负脉冲，使点火控制器5触发功率晶体管截止时，点火线圈的初级电路断路，初级绕组 L_1 中的电流迅速降为零，点火线圈周围和铁心中的磁场也迅速减小以至消失，于是在匝数较多的次级绕组中便感应出很高的电动势（可达25kV），该高压电经分电器3，根据发动机的点火次序分别送到各缸火花塞6，将火花塞的电极间隙击穿，产生电火花，点燃可燃混合气。

4. 点火信号发生器

点火信号发生器取代了传统点火系统断电器中的凸轮，用来判定活塞在气缸中所处的位置，并将非电量的活塞位置信号转变成成为脉冲电信号输送到点火控制器，从而保证火花塞在恰当的時刻点火。所以点火信号发生器实际就是一种感知发动机工作状况，发出点火信号的传感器。它的类型很多，目前应用较多的主要有磁脉冲式、霍尔效应式和光电效应式。

(1) 磁脉冲式点火信号发生器 磁脉冲式点火信号发生器是依靠电磁感应原理制成的。它一般安装在分电器的内部，由信号转子和感应器两部分组成，如图5-9所示。信号转子6由分电器轴驱动，其转速与分电器轴相同；感应器固定在分电器底板上，由永久磁铁5、铁

心4和绕在铁心上的传感线圈3组成。

信号转子的外缘有凸齿，凸齿数与发动机的气缸数相等。永久磁铁的磁力线从永久磁铁的N极出发，经空气隙穿过转子的凸齿，再经空气隙、传感线圈的铁心回到永久磁铁的S极，形成闭合磁路，如图5-10所示。

当发动机不工作时，信号转子不动，通过传感线圈的磁通量不变，不会产生感应电动势，传感线圈两引线输出的电压信号为零。

当转子旋转时，转子的凸齿与线圈铁心之间的空气间隙不断地改变，穿过线圈铁心中的磁通量也不断地变化。根据电磁感应原理，当穿过线圈的磁通量发生变化时，线圈中将产生感应电动势，感应电动势的大小与磁通变化率成正比，其方向则是阻碍磁通的变化。

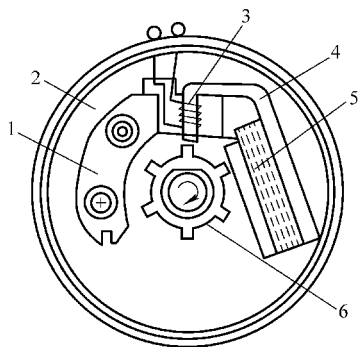


图 5-9 磁脉冲式点火信号发生器
1—底板 2—活动底板 3—传感线圈
4—铁心 5—永久磁铁 6—信号转子

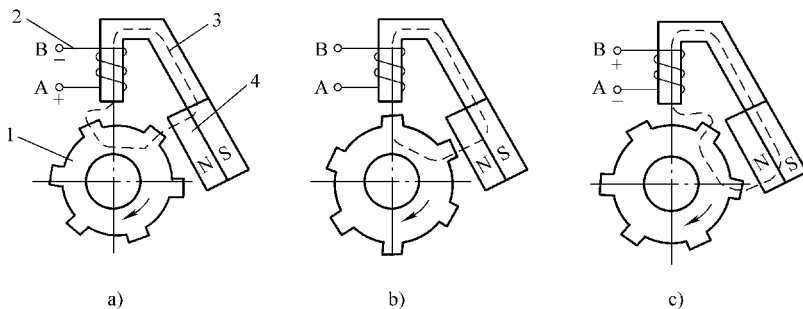


图 5-10 磁脉冲式点火信号发生器的工作原理图

a) 转子凸齿转向线圈铁心 b) 转子凸齿与线圈铁心中心线对齐 c) 转子凸齿转离线圈铁心
1—信号转子 2—传感线圈 3—线圈铁心 4—永久磁铁

当转子转到图5-10a所示的位置时，转子的凸齿逐渐转向线圈铁心，与线圈铁心间的空气间隙越来越小，穿过线圈铁心中的磁通量则逐渐增多，当转子的凸齿在接近铁心的某一位置时，磁通的变化率达到最大值，因此在线圈中产生的感应电动势也达到最大值（图5-11中的a点），根据楞次定律，此时感应电动势的方向，“A”端为“+”，“B”端为“-”。

当转子转到图5-10b所示的位置时，转子的凸齿与线圈铁心中心线正好对齐，转子凸齿与线圈铁心间的空气间隙最小，穿过线圈铁心中的磁通量最多，但磁通的变化率为零（图5-11中的b点）。

转子继续转动，当转子转到图5-10c所示位置时，转子的凸齿逐渐远离线圈铁心，与线圈铁心间的空气间隙越来越大，穿过线圈铁心中的磁通量逐渐减小，磁通的变化率增大，线圈中产生的感应电动势又增大，但方向与磁通增加时相反，即“A”端为“-”，“B”端为“+”。

当转子的凸齿在离开线圈铁心的某一位置时，磁通的变化率达到最大值，线圈中产生的感应电动势也反向达到最大值（图5-11中的c点）。转子继续旋转，穿过铁心中的磁通逐渐

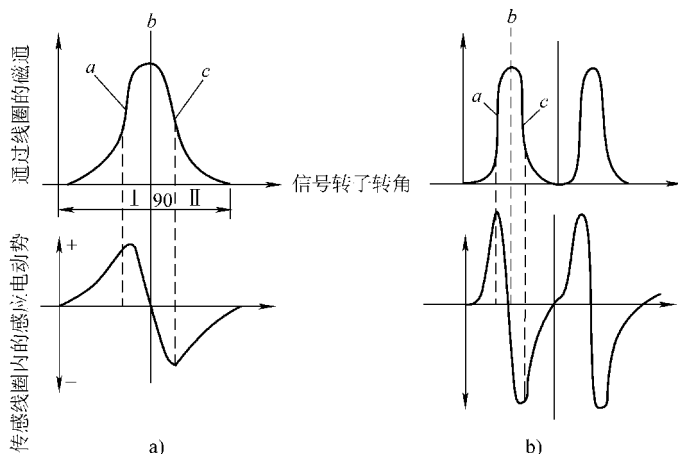


图 5-11 不同转速时传感线圈内磁通及磁感应电动势的变化情况

a) 低速 b) 高速

减小到零，线圈中的感应电动势也下降到零。转子的凸齿每在铁心旁边转过一次，线圈中就产生一个一正一负的脉冲信号。

如此，发动机工作时转子不断地旋转，转子的凸齿交替地在线圈铁心的旁边扫过，使线圈铁心中的磁通不断地发生变化，在传感器的线圈中感应出如图 5-11 所示的，大小和方向不断变化的感应电动势。传感器则不断地将这种脉冲型电压信号输入点火控制器，作为发动机工作时的点火信号。

转速升高时，传感线圈中磁通量的变化速率增大，因而感应电动势成正比例增加，如图 5-11b 所示。可见，磁脉冲式点火信号发生器输出的交变信号受发动机转速的影响很大。转速越高，信号越强，对点火控制器电路的触发越可靠，但可能造成电路中有关元件的损坏。为此，电路中需增设稳压管等元件来限压。但是，转速过低时，磁脉冲式点火信号发生器输出的交变信号过弱，造成对点火控制器电路的触发不可靠，容易引起发动机起动困难、怠速转速不能调低等问题。所以设计上应保证发动机依最低转速运转时，点火信号发生器输出的信号足够强。一般情况下，转速变化时，磁脉冲式点火信号发生器输出的信号电压的变化范围可达 0.5 ~ 100V。这一信号除用于点火控制外，还可用作转速等其他传感信号。

磁脉冲式点火信号发生器结构简单，成本较低，因而应用最为广泛。

日本丰田轿车、北京切诺基等汽车点火系统均采用这种磁脉冲式点火信号发生器。而意大利菲亚特、瑞典沃尔沃、德国大众的奥迪等汽车则采用由德国博世公司生产的霍尔效应式点火信号发生器。

(2) 霍尔效应式点火信号发生器（霍尔传感器） 霍尔效应式点火信号发生器安装在分电器内。如图 5-12 所示，由霍尔触发器 3、永久磁铁 1 和由分电器轴驱动的带缺口的转子 2 组成。

霍尔触发器（也称霍尔元件）是一个带集成电路的半导体基片。如图 5-13 所示，当直流电压作用于触发器的两端时，便有电流 I 在其中通过，如果在垂直于电流的方向还有外加磁场的作用，则在垂直于电流和磁场的方向上产生电压 U_H ，该电压称为霍尔电压，这种现

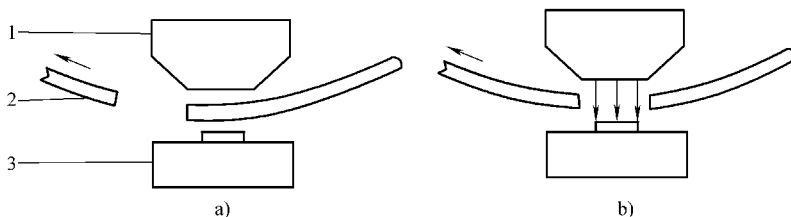


图 5-12 霍尔效应式点火信号发生器工作示意图

a) 转子叶片处于永久磁铁和霍尔触发器之间 b) 转子缺口处于永久磁铁和霍尔触发器之间

1—永久磁铁 2—带缺口的转子 3—霍尔触发器

象称为霍尔效应。

霍尔电压 U_H 的大小与其中通过的电流矢量和外加磁场的强度矢量成正比，与基片的厚度成反比，可用下式表示：

$$U_H = \frac{R_H}{d} IB$$

式中 U_H 霍尔系数，由霍尔元件的材料决定； d —基片厚度； I —外加电流； B —外加磁场的磁感应强度。

霍尔效应式点火信号发生器是利用霍尔元件的霍尔效应工作的，即利用只有在直流电压和磁场同时作用于霍尔触发器时，才能在触发器中产生电压信号的现象制成传感器，在发动机工作时产生点火信号。

霍尔发生器的工作原理如图 5-13 所示，当转子叶

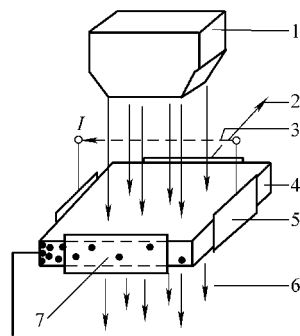


图 5-13 霍尔发生器的工作原理示意图

1—永久磁铁 2—外加电压 3—霍尔电压

4—霍尔触发器 5—接触面 6—磁力线

7—剩余电子

片进入永久磁铁与霍尔触发器之间时，永久磁铁的磁力线被转子叶片旁路，不能作用到霍尔触发器上，通过霍尔元件的磁感应强度近似为零，霍尔元件不产生电压；随着信号转子的转动，当转子的缺口部分进入永久磁铁与霍尔触发器之间时，磁力线穿过缺口作用于霍尔触发器上，通过霍尔元件的磁感应强度增高，在外加电压和磁场的共同作用下，霍尔元件的输出端便有霍尔电压输出。发动机工作时，转子不断旋转，转子的缺口交替地在永久磁铁与霍尔触发器之间穿过，使霍尔触发器中产生变化的电压信号，并经内部的集成电路整形为规则的方波信号，输入点火控制电路，控制点火系统工作。

霍尔效应式点火信号发生器比磁脉冲式点火信号发生器的性能稳定，耐久性好、寿命长，点火精度高，且不受温度、灰尘及油污等影响，特别是输出的电压信号不受发动机转速的影响，使发动机低速点火性能良好，容易起动，因而其应用日益广泛。

我国一汽大众的奥迪、上海大众的桑塔纳等轿车均采用霍尔效应式无触点点火装置，其组成如图 5-14 所示。

5. 点火控制器

点火控制器取代了传统点火系统中断电器的触点，将点火信号发生器输出的点火信号整形、放大，转变为点火控制信号，控制点火线圈初级绕组中电流的通断，以便在次级线圈的绕组中产生高压电，供火花塞点火。

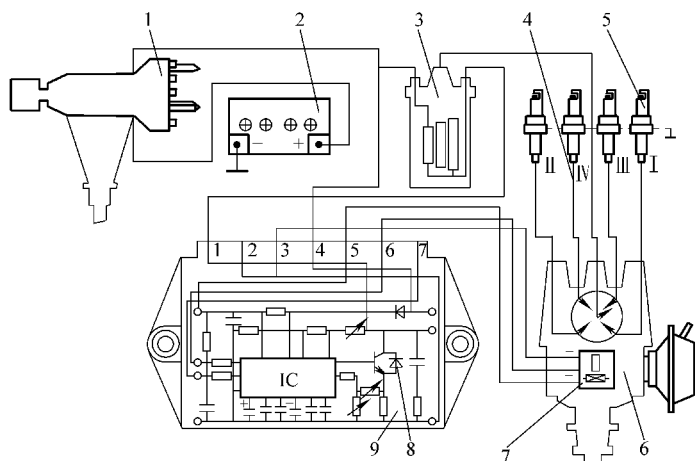


图 5-14 霍尔效应式无触点点火装置的组成示意图

1—点火开关 2—蓄电池 3—点火线圈 4—高压阻尼线 5—火花塞
6—霍尔分电器 7—霍尔传感器 8—达林顿管 9—点火控制器

点火控制器是由点火系统专用的集成电路芯片、电阻、电容、稳压管及达林顿管等组成的混合集成电路点火控制模块，安置在点火线圈上。图 5-15 是点火控制器的电路原理图。

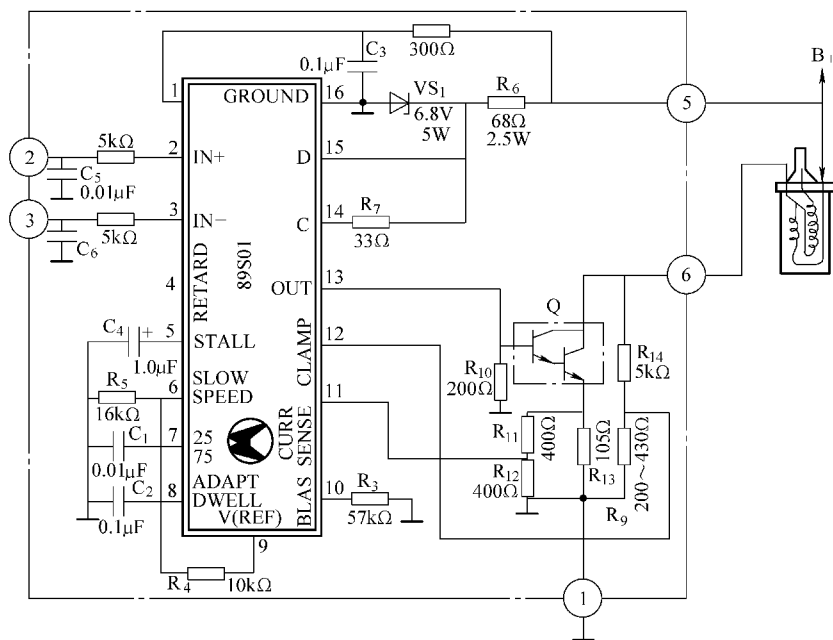


图 5-15 点火控制器电路原理图

点火控制器的基本电路包括整形电路、开关信号放大电路、功率输出电路等。

(1) 整形电路 整形电路的作用是将点火信号发生器送来的非方波信号（如磁感应式、电磁振荡式、磁敏电阻式点火信号发生器的输出信号）或不规则的方波信号转换成能够控制初级电流通断的规则方波信号。

(2) 开关信号放大电路 开关信号放大电路的作用是将整形电路的输出信号进行幅度放大,以保证在输出功率足够大的情况下可靠工作。

(3) 功率输出电路 功率输出电路的作用是利用大功率晶体管(或达林顿管)及时接通和断开点火线圈初级电路,控制初级电流的通断。

这里以磁脉冲式点火信号发生器输出的交变信号为例,说明点火控制器基本电路的工作原理。点火控制器基本电路如图 5-16 中虚线框部分所示,整形电路和开关信号放大电路由电阻 R_1 , R_2 , R_3 和晶体管 V_1 , V_2 组成,功率输出电路由电阻 R_4 , R_5 和晶体管 V_3 , V_4 组成。

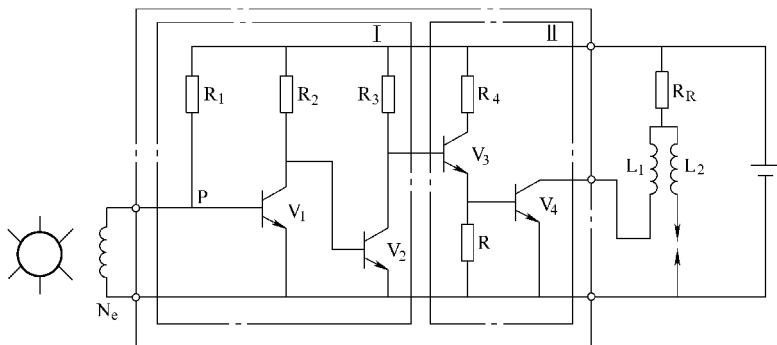


图 5-16 磁感应式电子点火系统基本电路

发动机转动时,点火信号发生器产生交变信号并输入给点火控制器,加在晶体管 V_1 基极上,当加在 P 点的信号电压高于 V_1 的“门坎电压”(即死区电压) U_{bel} 时, V_1 饱和导通,由于 V_1 的“钳位”作用,使 V_2 基极电压过低而截止,同时由于 R_3 的偏置作用,使 V_3 , V_4 饱和导通,接通点火线圈初级电路。

当加在 P 点的信号电压低于 V_1 的“门坎电压”时, V_1 截止,在偏置电阻 R_2 的作用下,使 V_2 正向导通饱和, V_2 的“钳位”作用使 V_3 , V_4 截止,切断点火线圈初级电路,引起初级电流急剧下降,在点火线圈的次级线圈产生高压使火花塞跳火。

6. 分电器

分电器电子点火系统的分电器与传统点火系统的分电器不同,主要区别在于电子点火系统取消了断电器(触点和凸轮)和电容器,增加了点火信号发生器(信号转子和传感部分)。有些点火控制器能够随着发动机转速变化自动调节点火提前角,所以这些分电器去掉了离心提前调节机构,只保留真空提前调节机构,配电器的结构则无变化。电子点火系统中所用的霍尔分电器的结构如图 5-17 所示。

随着人们要求的不断提高,点火控制器逐步增加了其他一些功能,如自动断电保护、导通角(闭合角)控制、恒电流控制、点火时间校正以及停车断电保护等,使电路越来越复杂,性能也更加完善。

7. 点火线圈

点火线圈电子点火系统所采用的点火线圈是用点火控制器控制其初级电路通断的,所以其初级电流可以增大,点火线圈的电感和电阻一般较小。因此,一般情况下,不能和传统点火系统点火线圈互换。电子点火系统多采用闭磁路点火线圈。

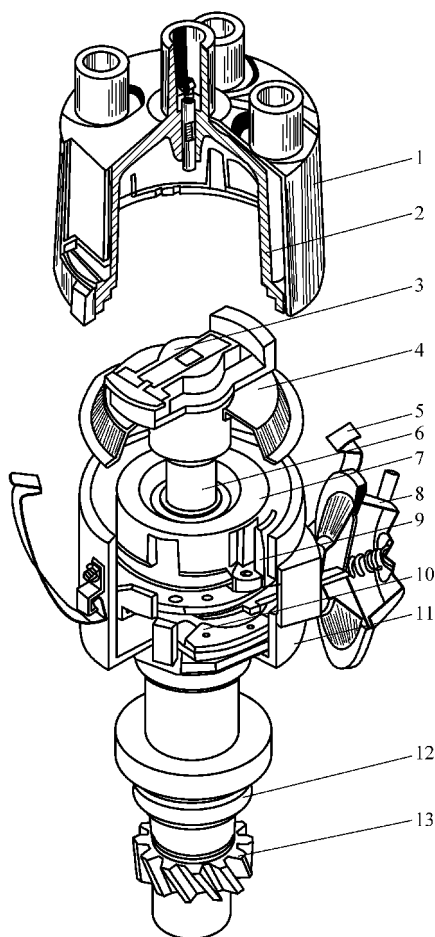


图 5-17 霍尔分电器

- 1—抗干扰屏蔽罩 2—分电器盖 3—分火头 4—防尘罩 5—分电器盖弹簧夹 6—分电器轴
7—带缺口的转子 8—真空点火提前调节装置 9—霍尔传感器及托架总成
10—离心点火提前调节装置 11—分电器外壳 12—密封圈 13—斜齿轮

8. 火花塞

火花塞由于普通电子点火系统的点火能量提高,火花塞电极间隙比传统点火系统的火花塞电极间隙增大,一般为 $0.8 \sim 1.0\text{mm}$;为了适应稀薄混合气燃烧,有的甚至达到 $1.0 \sim 1.2\text{mm}$,并且各种车型差异也较大,在检查、调整和维修时,应严格根据原车说明书进行。

高压线为了减轻无线电干扰,电子点火系统采用的高压线为有一定电阻的高压阻尼线,阻值一般在几千欧至几十千欧不等;火花塞插头和分火头也都有一定的电阻,一般为几千欧。

第三节 微机控制点火系统故障诊断与维修

前述的电子点火系统解决了触点烧蚀问题,并且具有较高的次级电压和点火能量,有些电子点火系统的控制电路还相当完善,具有导通角控制、恒电流控制、停车断电保护、过电

压保护等多种功能,与传统点火系统相比,既改善了点火系统的工作性能、提高了点火系统工作的可靠性,又延长了其自身的使用寿命。但是,电子点火系统对点火时刻的调节,与传统点火系统一样,基本上仍采用离心提前和真空提前两套机械式点火提前调整装置,而它们只能根据发动机转速和负荷的变化来调节点火提前角,且调节特性为线性(或不同线性的组合)规律,如图 5-18 中的曲线 3 所示。而发动机的最佳点火提前角除了随转速和负荷变化外,还受诸多因素的影响,如环境状况、车辆的技术状况及使用状况等,而且最佳点火提前角随发动机转速和负荷变化的规律也不是线性的。因此,各种普通电子点火系统都存在着考虑的控制因素不全面、点火提前角控制不精确的缺陷,影响了发动机性能的充分发挥。此外,离心点火提前调整装置和真空点火提前调整装置中,机械运动部件的磨损、老化和脏污等,都会引起点火提前角调节特征的改变,使发动机性能下降。

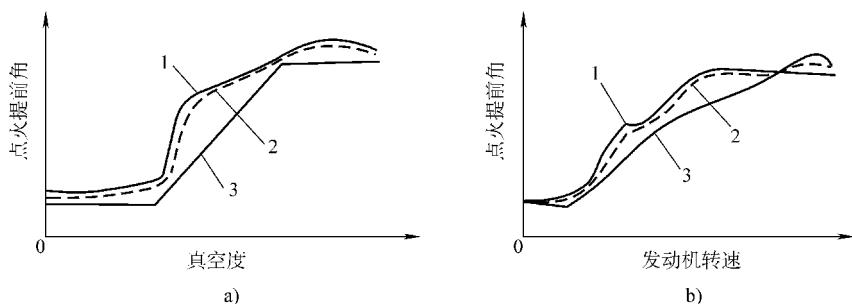


图 5-18 点火提前角随转速和真空度的变化规律和调节特性

a) 点火提前角随进气歧管真空度的变化规律 b) 点火提前角随发动机转速的变化规律

1—理想点火正时曲线 2—微机控制点火正时曲线 3—机械调节装置点火正时曲线

在 20 世纪 70 年代后期,随着计算机技术的飞速发展和发达国家对汽车排放限制及对其性能要求的提高,微机开始在汽车上获得应用——用微机控制点火正时,形成微机控制点火系统。由于微机具有响应速度快、运算和控制精度高、抗干扰能力强等优点,通过微机控制点火提前角要比机械式的离心点火提前调整装置和真空点火提前调整装置的精度高得多,如图 5-18 中的曲线 2 所示。微机控制点火系统可以通过各种传感器感知多种因素对点火提前角的影响,使发动机在各种工况和使用条件下的点火提前角都与相应的最佳点火提前角比较接近,并且不存在机械磨损等问题,克服了离心点火提前调整装置和真空点火提前调整装置的缺陷,使点火系统的发展更趋完善,发动机的性能得到进一步改善和更加充分的发挥。因此,微机控制点火系统是继无触点的普通电子点火系统之后,点火系统发展的又一次飞跃。

微机控制点火系统,按是否配有分电器分为有分电器微机控制点火系统和无分电器微机控制点火系统两种。

一、有分电器微机控制点火系统

1. 有分电器微机控制点火系统的组成

有分电器微机控制点火系统一般由传感器、微机控制器和点火执行器等组成,图 5-19 为有分电器微机控制点火系统的组成框图。发动机点火系统的结构不尽相同,但其工作原理相似。图 5-20 所示为奥迪 200 型轿车五缸涡轮增压发动机微机控制点火系统结构示意图。

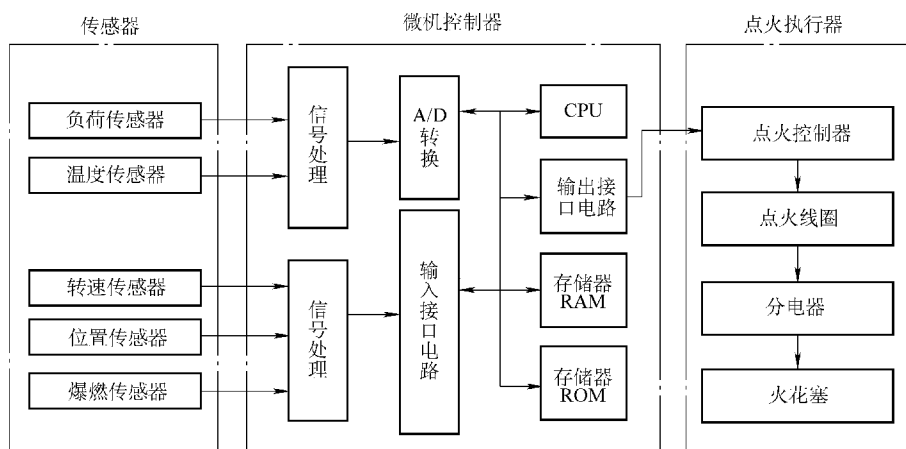


图 5-19 有分电器微机控制点火系统的构成

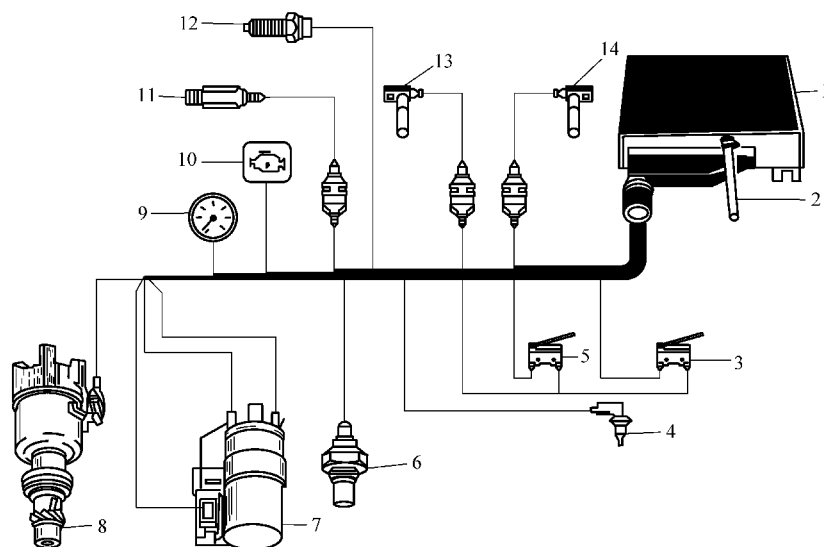


图 5-20 奥迪 200 型微机控制点火系统结构示意图

- 1—微机控制器 2—增压传感器接管 3—全负荷开关 4—进气温度传感器 5—怠速及超速燃油阻断开关
6—冷却液温度传感器 7—点火线圈 8—霍尔分电器 9—速度表 10—故障灯 11—爆燃传感器
12—制动灯开关 13—发动机转速传感器 14—点火基准传感器

(1) 传感器 传感器在微机控制点火系统中，传感器是用来在发动机工作时不断地检测反映发动机工况的信息，并输入控制器，作为控制系统进行运算和控制的依据或基准。

1) 发动机转速传感器。用来检测发动机曲轴的转速，作为控制系统进行运算的主要依据。它是由传感线圈和永久磁铁组成的磁脉冲式信号发生器，安装在飞轮的侧面，线圈的铁心与飞轮周缘上的 135 个凸齿相对应。

发动机工作时，曲轴不断旋转，飞轮上的凸齿不断地在线圈铁心的旁边扫过，使线圈中产生交变的电压信号（以下简称脉冲信号），曲轴每转 1 周，线圈中产生 135 个脉冲信号输入控制器，作为控制系统进行运算和控制的主要依据。

2) 点火基准传感器。其结构与发动机转速传感器相同，也安装在飞轮的侧面，线圈的

铁心与固定在飞轮上的一个圆柱销相对应。发动机工作时,当第一缸活塞到达压缩行程上止点前 620 时产生信号,以此信号作为点火控制的基准信号。

3) 霍尔传感器。安装在分电器内,其转子上只有一个缺口,分电器每转 1 周只产生一个脉冲信号,信号的宽度为 35°。在安装分电器时,应使该信号出现在第一缸压缩行程上止点前 80°。

霍尔传感器的信号也输入控制器,并使来自点火基准传感器的第二个信号被抵消,从而曲轴每转 2 周得到一个第一缸压缩行程时活塞到达上止点前 62°的信号,作为点火控制的实际基准。

(2) 微机控制器 微机控制器简称控制器,或称电子控制单元 (ECU)。它是控制系统的中枢,也称为电脑。在发动机工作时,控制器根据各传感器输入的反映发动机工况的信息,按特定的程序计算最佳点火提前角和初级电路导通时间,并将计算结果转变为点火控制信号,控制点火系统的工作。

微机控制系统的功能很强,一般情况下,它在进行点火控制时,还可以同时实现对发动机的汽油喷射(空燃比)控制、怠速转速、废气再循环及燃油泵的工作等多项参数的控制。它还具有故障自诊断和保护功能,当控制系统或某些传感器发生故障时,它能自动地检测到故障部位,记录故障码并采取相应的保护措施,维持发动机运行。

控制器主要由微处理器、存储器、输入输出接口、模数转换器以及信号滤波整形、驱动放大等大规模集成电路组成。

1) 微处理器。微处理器是控制器的核心部分,具有运算和控制的功能,也称为中央处理器 (CPU)。发动机运行时,它不断地采集各传感器输入的信号进行运算,并将运算的结果转变为控制信号,通过输出电路,控制点火系统的工作;它还控制存储器、输入输出接口及其他外围电路。

2) 存储器。存储器也是控制器的重要组成部分,用来存放控制系统运行所需要的全部程序,以及通过大量试验获得的原始数据,例如发动机在各种转速和负荷时的最佳点火提前角、初级电路导通时间及其他有关数据;还要存放运算的中间结果。根据存储对象的性质和要求不同,存储器分为只读存储器 (ROM) 和随机存储器 (RAM) 两种形式。前者用来存放程序和原始数据,后者存放运算的中间结果。

3) 输入、输出接口。输入、输出接口用英文名称的缩写 I/O 表示,也称为 I/O 接口。由于 CPU 的工作速度极快,而传感器等外部电路的速度又很慢,因此它们之间不能直接进行数据交换,输入、输出接口的作用是协调 CPU 与外部设备之间的工作。

4) 模数转换器。模数转换器用英文名称的缩写 A/D 表示,也称为 A/D 转换器。一些传感器输入的信号是连续变化的电流或电压信号,称为模拟信号。而 CPU 只能接受用 0 或 1 表示的数字信号,A/D 转换器是用来将模拟信号转变为数字信号的集成电路芯片。

5) 整形与信号处理电路。整形与信号处理电路用来将传感器输出的信号滤波整形、放大,转变为计算机能接受的理想的波形。

(3) 点火执行器 点火执行器是微机控制器的执行机构,它可将微机输出的点火信号进行功率放大,驱动点火线圈工作,使火花塞跳火。

2. 有分电器微机控制点火系统的工作原理

发动机工作期间,各传感器不断地将检测到的信号,如发动机的转速、负荷、冷却液温

度、节气门的状态以及是否发生爆燃等与发动机工况有关的信息,经接口电路输入微机控制器。控制器根据发动机的转速和负荷信号,按存储器中存储的程序以及与点火提前角和初级电路导通时间等有关的数据,计算出与该工况相对应的最佳点火提前角和初级电路导通时间,并根据冷却液温度加以修正。最后根据计算结果和点火基准信号,在最佳时刻向点火控制器发出控制信号,接通点火线圈的初级电路,经过最佳导通时间后,再发出控制信号,切断点火线圈的初级电路,使点火线圈的次级电路中产生高压电,并经分电器送往火花塞,点燃混合气。曲轴每转2周,各缸火花塞按点火次序轮流跳火一次。发动机工作时,上述过程周而复始,若要停止发动机工作,只要断开点火开关,切断初级电路即可。

(1) 点火提前角的控制 在微机控制点火系统中,点火提前角按发动机起动和正常运行两种基本工况实现控制。

1) 发动机起动工况。发动机刚起动时,其转速较低(一般认为在500r/min以下),且进气歧管压力信号或进气量信号不稳定。此时可由ECU根据所控制的发动机工作特性预置一个固定的点火提前角,称为初始点火提前角。也就是说,ECU检测到发动机处于起动工况,就按预置的初始点火提前角控制各缸点火,此时ECU检测的控制信号主要是发动机转速信号(n_e)和起动开关信号(STA)。初始点火提前角的设定因发动机而异,但一般为压缩行程中活塞到达上止点前 10° 左右。

2) 发动机正常运行工况。发动机正常运行期间,ECU要根据实测的有关发动机各种工况信息确定最佳点火提前角。

① 基本点火提前角。在ECU内存中,存放有与发动机转速和进气流量相对应的点火提前角数据表。发动机正常运行时,ECU根据实测的发动机转速信号和进气流量信号(或进气歧管压力信号),在内存数据表中查找出相应的角度,该角度称为这一工况下的基本点火提前角。基本点火提前角随发动机转速升高而增大,随进气流量(或进气歧管压力)增加而减小。在怠速工况下,节气门开度传感器怠速触点闭合,此时ECU根据发动机转速和空调开关是否接通确定基本点火提前角,如图5-21所示。

② 修正点火提前角。发动机正常运行时,将根据发动机冷却液温度、进气温度、混合气空燃比、爆燃、废气中氧的含量等诸多因素对点火提前角进行修正。

a) 暖机修正。如图5-22所示,当发动机起动后,若冷却液温度较低时,应增大点火提前角,以使发动机尽快暖机。控制暖机修正量的主要信号有冷却液温度信号、进气流量信号和节气门开度信号。

b) 过热修正。发动机正常运行时,若冷却液温度过高,为了避免发动机过热产生

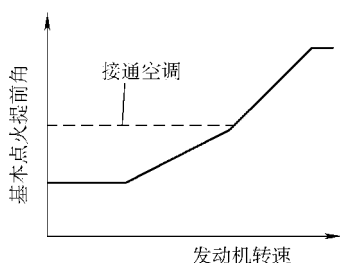


图 5-21 怠速时的基本点火提前角

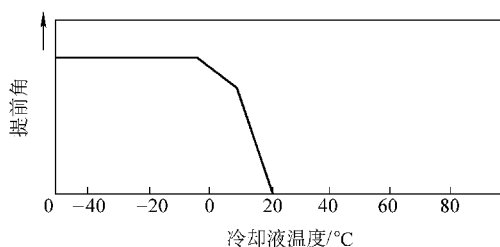


图 5-22 点火提前特性的暖机修正

爆燃,应减小点火提前角。但当发动机处于怠速工况时,若冷却液温度过高,为了避免发动机长时间过热,则应增加点火提前角,其过热修正特性如图 5-23 所示。控制过热修正量的主要信号有冷却液温度信号和节气门开度信号。

怠速稳定修正发动机在怠速运行期间,由于发动机负荷变化,会引起发动机转速改变而偏离怠速下设定的目标转速。为了能保证稳定怠速运转,就必须相应地修正点火提前角。如图 5-24 所示,当检测到的实际转速低于怠速目标转速时,应相应增大点火提前角;相反,应减小点火提前角。控制怠速稳定性修正量的主要信号有发动机转速信号、节气门开度信号、车速信号和空调信号等。

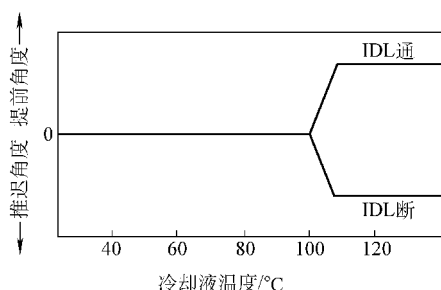


图 5-23 点火提前角的过热修正

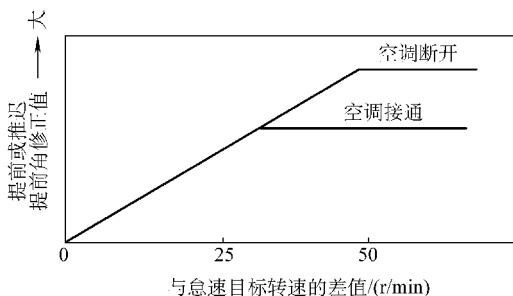


图 5-24 点火提前角的怠速稳定修正

空燃比反馈修正当装有氧传感器的电控燃油喷射系统进入闭环控制时,ECU 通常根据氧传感器的反馈信号对空燃比进行修正。随着修正喷油量的增加和减少,发动机的转速在一定范围内波动。为了提高发动机转速的稳定性,当反馈修正油量减少而导致混合气变稀时,点火提前角应适当地增加,反之则减小。其修正特性如图 5-25 所示。

发动机的实际点火提前角是初始点火提前角、基本点火提前角和修正点火提前角三者之和。当发动机工作时,曲轴每旋转一周,ECU 就会根据所测得的参数值确定点火提前角并发出点火信号,并随着发动机的转速和负荷变化进行实时控制。当发动机的初始点火提前角设定之后,受 ECU 控制的点火提前角只有基本点火提前角和修正点火提前角,此两项之和一般最大为 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$,最小为 $-10^{\circ} \sim 0^{\circ}$ 。ECU 具有点火提前角限值调整功能,若点火提前角超过限值范围时,ECU 就会把实际点火提前角调整到最大或最小允许提前角。

(2) 初级电路导通时间的控制 对于电感储能式点火系统,点火线圈初级绕组的通电时间直接影响初级断电电流 I_p 和点火能量,为了确保点火可靠,必须控制最佳通电时间。

控制通电时间的主要信号是发动机转速信号和电源电压信号。在电源电压一定时,采用闭合角控制后,在转速变化时闭合角相应调整,使通电时间不随转速变化。但是,当电源电压变化时,初级电流上升速率将发生变化:电源电压高时初级电流上升快,电源电压低时初级电流上升慢,其结果是虽然通电时间不变,但初级断电电流 I_p 发生了变化。为了保证不受电源电压变化的影响,当电源电压升高时,通电时间应适当减小;反之,应适当增加,如图 5-26 所示。

为了实现通电时间的自动控制,ECU 在内存中存放有电源电压与通电时间对应关系的数据表。ECU 不断检测电源电压的实际值,从数据表中查找到相应的通电时间,并将通电时间换算成曲轴转角,然后用 1° 曲轴转角的指令精度进行控制。

表 5-1 给出了当电源电压为额定值 12V 时,发动机不同转速下闭合角 β 的变化情况。例

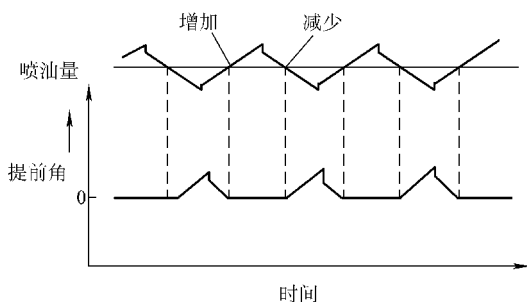


图 5-25 点火提前角空燃比反馈修正（一）

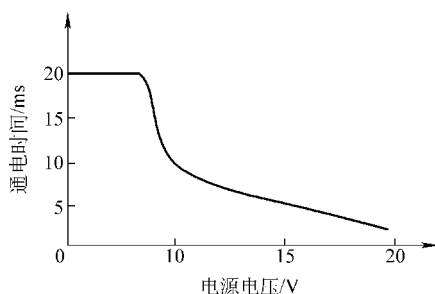


图 5-26 点火提前角的空燃比反馈修正（二）

如，当电源电压为 12V、曲轴转速为 2000r/min 时，闭合角 $\beta = 42^\circ$ （换算成曲轴转角 84° ），即开关管的导通角 84° ，ECU 然后按 1° 的控制精度，从开关管导通的时刻开始，计数曲轴 84 个 1° 控制信号后，立即令开关管截止，从而保证这种工况下初级绕组的通电时间。

表 5-1 不同发动机转速下的闭合角

发动机转速/(r/min)	600	1000	1500	2000	2500	3000	3500
闭合角 $\beta/(^\circ)$	17	24	33	42	51	60	68

二、无分电器微机控制点火系统

1. 无分电器微机控制点火系统的优点

无分电器微机控制点火系统，又称为直接点火系统，它除了具有有分电器微机控制点火系统的优点以外，因取消了分电器总成，还具有以下优点。

1) 在不增加电能消耗的情况下，进一步增大了点火能量。有分电器点火系统中，机械分火头与侧电极之间存在一定的间隙，分火头上的高压电需跳过该间隙才能经高压线传至需点火气缸的火花塞，因而必然在该间隙处产生附加电火花。采用无分电器点火系统，则可以完全避免这部分能量损失，使有效点火能量进一步提高，从而利于采用混合气燃烧来降低排放污染物含量和油耗量。

2) 对无线电的干扰大幅度降低。机械分火头与侧电极之间的附加电火花会向周围辐射频带较宽的电磁波，形成危害较大的无线电污染。无分电器点火系统，则消除了这种干扰波，减轻了无线电干扰。当采用无高压线直接点火系统时，还可以消除高压线辐射的无线电干扰波，将无线电干扰几乎降到零水平。

3) 避免了与分电器有关的一些机械故障，如分电器盖裂损、碳棒磨损、分电器轴及衬套磨损、分电器盖和分火头受潮漏电等造成的点火失常等故障，使点火系统的故障率降低，工作可靠性提高。

4) 高速时点火能量有保证。无分电器点火系统采用多个点火线圈轮流点火，使得每个点火线圈的初级绕组都有足够的通电时间，保证了高速情况下有充足的点火能量，以适应现代高速发动机的点火要求。

5) 节省了安装空间，有利于发动机的合理布置，为汽车车身的流线形设计提供了有利条件。

6) 无须进行点火正时方面的调整，使用、维护方便。

由于无分电器点火系统具有上述突出特点,所以自 20 世纪 80 年代问世以来,在美、日以及欧洲发达国家得到迅速发展和广泛应用,带来了点火系统发展的又一次飞跃。进入 20 世纪 90 年代后,无分电器点火系统在发达国家的应用已经比较普遍,我国一汽大众生产的部分奥迪轿车和捷达轿车、上海大众汽车公司生产的部分桑塔纳 2000 型轿车等也相继采用了无分电器点火系统。无分电器点火系统正逐步成为点火系统的主流。

2. 无分电器微机控制点火系统的组成

无分电器微机控制点火系统由低压电源、点火开关、微机控制单元 (ECU)、点火控制器、点火线圈、火花塞、高压线和各种传感器等组成,如图 5-27 所示。

有的无分电器点火系统还将点火线圈直接安装在火花塞上方,取消了高压线,如图 5-28 所示。

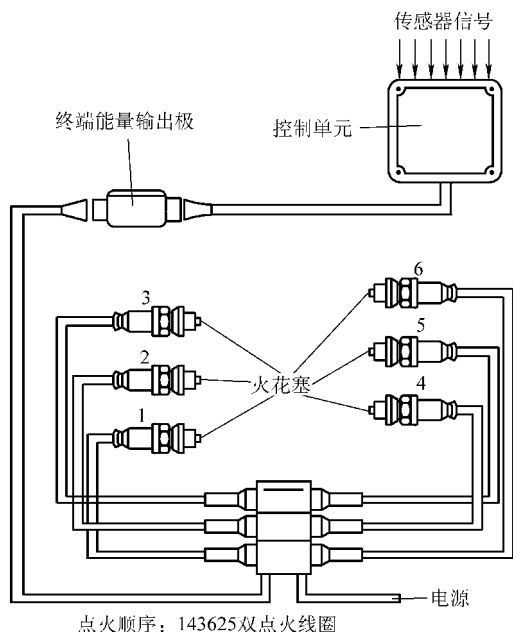


图 5-27 无分电器微机控制点火系统组成

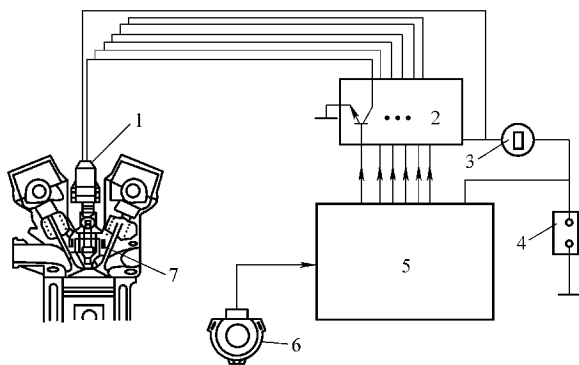


图 5-28 无高压线微机控制点火系统组成

1—点火线圈 2—点火控制器 3—点火开关 4—蓄电池
5—微机控制单元 (ECU) 6—传感器 7—火花塞

3. 无分电器微机控制点火系统的工作原理

无分电器电控点火系统按其高压配电方式的不同,可分为点火线圈分配式与二极管分配式两大类,前者应用更为广泛。

(1) 点火线圈分配式电控点火系统 该系统是将来自点火线圈的高压电直接分配给火花塞,这种点火系统具有同时点火和单独点火两种形式。

1) 同时点火系统。同时点火是指点火线圈每产生一次高压电,都使两个气缸的火花塞同时跳火。二次绕组产生的高压电将直接加在两个气缸 (四缸发动机的 1、4 缸或 2、3 缸;六缸发动机的 1、6 缸, 2、5 缸或 3、4 缸) 的火花塞电极上跳火。

双缸同时点火时,一个气缸处于压缩行程末期,是有效点火,另一个气缸处于排气行程末期,缸内温度较高但压力很低,火花塞电极的击穿电压也很低,对有效点火气缸火花塞的

击穿电压和火花放电能量影响很小，是无效点火。曲轴旋转一周后，两缸所处行程恰好相反。

如图 5-29 所示的无分电器同时点火系统，ECU 输出的指令除控制点火提前角和通电时间的 IGT 外，还需要输出判缸信号 IGDA。

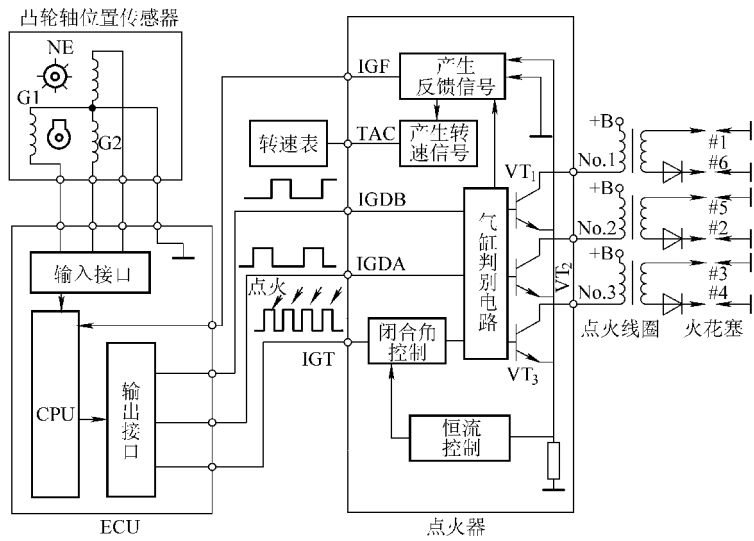


图 5-29 无分电器同时点火系统

如丰田皇冠轿车装用的无分电器电控点火系统，凸轮轴位置传感器产生的 G1 信号用来判别第六缸上止点位置，G2 信号用来判别第一缸上止点位置，Ne 信号用来提供曲轴转角信号。ECU 发出判缸指令 IGDA，IGDB 的信号状态如表 5-2 所示。

表 5-2 IGDA、IGDB 的信号状态

IGDA 状态	IGDB 状态	点火线圈	点火气缸
0	1	1#	1、6 缸
0	0	2#	2、5 缸
1	0	3#	3、4 缸

ECU 根据凸轮轴位置传感器信号 G1、G2，Ne 和判缸信号 IGDA，IGDB 信号，选择应点火的气缸组，并将点火信号送给点火组件，使相应的功率晶体管 VT1 ~ VT3 中的某一只截止或导通，于是相应的点火线圈直接向火花塞输出高压电。同样点火器的反馈信号 IGF 向 ECU 提供火花塞是否正常点火，ECU 在每次发出点火正时指令后，都通过 IGF 信号进行检测，当连续 3 ~ 5 次没有反馈信号时，ECU 认为点火系统有故障并自动停止喷油。

点火线圈分配式点火系统的主要特点是每两个工作顺序相差 360°的气缸共用一个点火线圈，对于图 5-29 所示的六缸机，共有三个点火线圈。当 ECU 向点火控制模块发出 1、6 缸的点火信号时，点火控制模块中控制 VT₁ 点火线圈一次绕组的晶体管截止，在二次绕组上感应出高压，串联在二次绕组上的 1、6 缸的火花塞同时跳火。当曲轴转 120°时，ECU 向点火控制模块发出 5、2 缸的点火信号时，点火控制模块中控制 VT₂ 点火线圈一次绕组的晶体管截止，在二次绕组上感应出高压，串联在二次绕组上的 5、2 缸的火花塞同时跳火。据此类推，曲轴再转过 120°，3、4 缸的火花塞将同时跳火。对于同时点火的两个气缸，由于

一个气缸的活塞已接近压缩行程终点, 气缸内压力较高, 放电较为困难, 所需的击穿电压较高, 而另一个气缸的活塞已接近排气行程终点, 气缸内的压力已接近大气压, 放电较容易, 所需的击穿电压较低。因此在这种火花塞串联布置的点火电路中, 当两缸火花塞同时跳火时, 电路的阻抗几乎都在压缩缸, 压缩缸承受大部分电压降。与普通只有一个火花塞跳火的点火系统相比较, 压缩缸的击穿电压相差不大, 在排气缸损失的电能也不大。曲轴转过两圈, 根据 1-5-3-6-2-4 的工作顺序, 各缸依次轮流正式点火一次。

串联在每组高压回路中的二极管作用是利用二极管的反向截止功能, 防止汽油发动机高速运行时, 一次绕组接通瞬间在二次绕组产生的感应电压 (大约 1000V), 造成火花塞在进气行程末期或压缩行程初期跳火, 使汽油发动机不能正常工作。

2) 单独点火系统。克服高压分电的缺点最简单的方法是每缸各自配备一个单火花点火线圈, 直接装在火花塞上面, 无需分电器就能将高压电适时地送到各个火花塞。由于去除了高压分电器中的电火花, 要求的点火电压会降低一些。单火花点火线圈的构造如图 5-30 所示。为了区分压缩上止点和排气上止点, 凸轮轴每转发一个信号。

图 5-31 是在日产汽车 6 缸发动机上使用的单独点火无分电器式电控点火系统。单独点火就是为每一个气缸的火花塞配备一个点火线圈, 单独直搭铁对每个气缸点火。

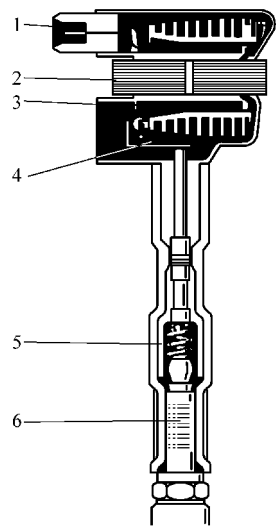


图 5-30 单火花点火线圈

- 1—外部低压接头 2—叠片铁心
3—初级线圈 4—次级线圈
5—内部高压接头 (通过弹簧触点)
6—火花塞

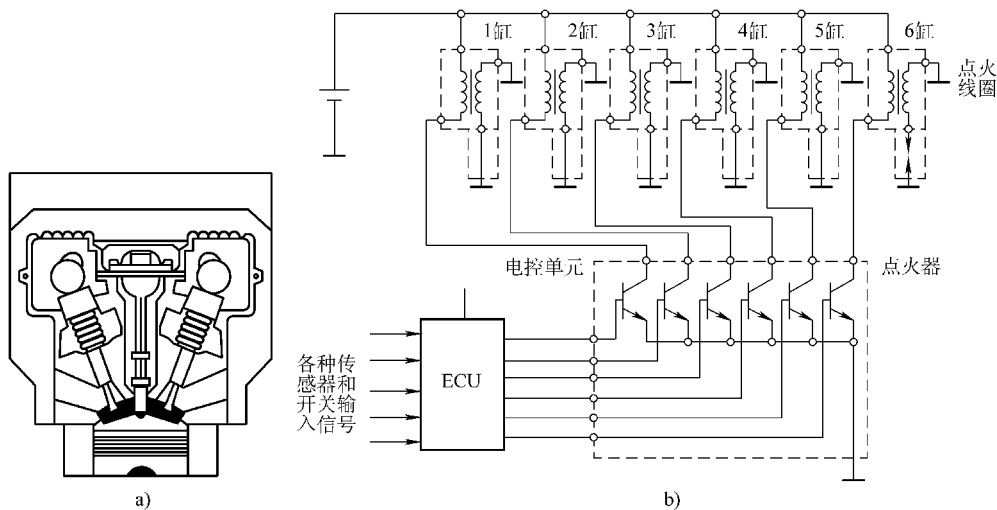


图 5-31 电控无分电器点火线圈分配式独立点火系统原理图

a) 点火线圈安装位置示意图 b) 独立点火系统构成原理图

独立点火方式是多气门汽油发动机无分电器点火系统中普遍采用的结构形式。点火线圈分配式独立点火系统的构成如图 5-31 所示。该点火系统由电控单元、点火控制模块 (点火

器)、点火线圈等组成。

独立点火方式的主要特点是每个气缸上配有 1 个点火线圈和 1 个火花塞, 点火线圈安装在火花塞上方, 取消了高压线, 由点火线圈直接向火花塞供电。汽油发动机工作时, ECU 按各缸工作顺序向点火控制模块发出点火信号, 点火控制模块内相应的晶体管截止, 使对应气缸点火线圈一次绕组断开, 在二次绕组上感应出高压, 火花塞产生火花, 点燃已被压缩的混合气。

独立点火方式每缸配置一个超小型闭磁路点火线圈, 且由点火线圈直接向火花塞供电, 因此具有一次绕组充电时间长, 点火能量传递损失小的突出优点, 在高达 9000r/min 的宽转速范围内, 点火系都能提供足够高的点火电压和点火能量。另外, 独立点火方式还具有电磁干扰少、击穿电压低 (火花塞中心电极均为负极) 以及电极寿命长等优点。

(2) 二极管分配式电控点火系统 利用二极管分配高压电的双缸同时点火电路如图 5-32 所示。点火线圈由两个一次绕组和一个二次绕组构成, 二次绕组的两端通过 4 只高压二极管与火花塞构成回路。对于点火顺序为 1-3-4-2 的发动机, 1、4 缸为一组, 2、3 缸为另一组。点火控制器中的两只功率晶体管分别控制一个一次绕组, 两只功率晶体管由 ECU 按点火顺序交替控制其导通与截止。

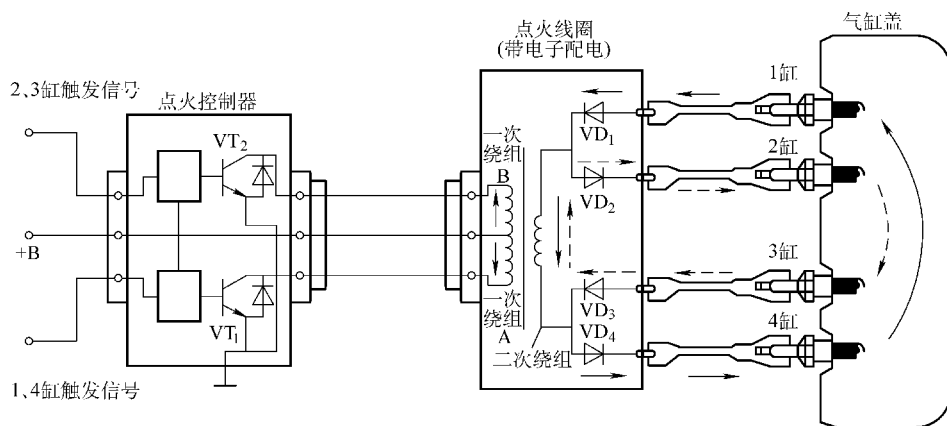


图 5-32 二极管分配式电控点火系统

当 ECU 将 1、4 缸的点火触发信号输入点火控制器时, 功率晶体管 VT_1 截止, 一次绕组 A 中的电流切断, 二次绕组中就会产生高压电动势, 方向如图 5-32 中实线箭头所示。在该电动势的作用下, 二极管 VD_1 、 VD_4 正向导通, 1、4 缸火花塞电极上的电压迅速升高直至跳火, 高压放电电流经图中实线箭头所指方向构成回路; VD_2 、 VD_3 反向截止, 2、3 缸火花塞不能跳火。

当 ECU 将 2、3 缸点火触发信号输入点火控制器时, 晶体管 VT_2 截止, 一次绕组 B 中的电流切断, 二次绕组产生高压电动势, 方向如图 5-32 中虚线所示。2、3 缸火花塞跳火而 1、4 缸火花塞不跳火。

由于每缸都有独立的点火线圈, 即使发动机转速很高, 点火线圈也有较长的通电时间, 可提供足够的点火能量。单位时间内通过点火线圈一次绕组侧电路电流也较小, 点火线圈不易发热, 而且体积可以较小, 一般点火线圈与火花塞可以制成一体, 直接安装在缸盖上, 由于没有分电器和高压导线, 故其能量损失小、效率高, 而且各缸的点火线圈和火花塞均由金

属屏蔽，电磁干扰大大减小。

4. 主要元器件的结构及原理

无分电器微机控制点火系统与有分电器微机控制点火系统相比，火花塞、高压线和主要传感器的结构和原理基本相同，但是微机控制单元、点火控制器和点火线圈在结构和原理方面存在一些差异。

(1) 微机控制单元 由于无分电器点火系统取消了机械式高压配电而改为电子式高压配电，因此，微机控制单元不再只控制一个点火线圈初级绕组的通断，而是要根据曲轴的不同位置，按一定顺序控制两个或多个点火线圈初级绕组，以实现电子式高压配电。

微机控制单元（图 5-33）除了包括输入接口电路、A/D 转换器、微机控制单元（CPU）、只读存储器（ROM）以及随机存储器（RAM）等组成部分外，还增加了气缸判别（简称判缸）电路（又称为分电路），以根据曲轴位置传感器或气缸判别信号传感器确定需要控制的点火线圈初级绕组。同理，输出接口电路也不只输出一路点火控制信号，而是依次输出多路点火控制信号，分别控制点火控制器中与各点火线圈初级绕组对应的大功率晶体管的通断；或者输出接口电路在输出一路点火控制信号的同时输出一路判别气缸信号，由点火控制器根据点火控制信号和判别气缸信号控制与各点火线圈初级绕组对应的大功率晶体管的通断，使需要点火气缸的火花塞适时跳火。

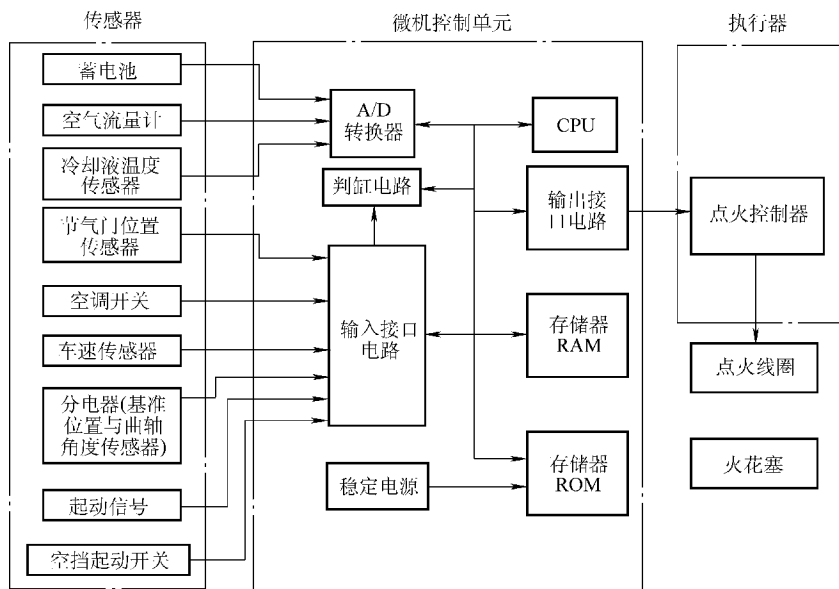


图 5-33 无分电器点火系统组成框图

(2) 点火控制器 由于无分电器点火系统有两个或多个点火线圈或点火线圈初级绕组，所以点火控制器一般除了具有自动断电功能、导通角控制、恒流控制等电路外，还有气缸判别电路和多个大功率晶体管及相应的控制电路。

由于大功率晶体管工作电流大、温度高，故障率相对较高，为了便于散热、检修，许多无分电器点火系统将点火控制器分为两部分：控制电路和大功率晶体管输出电路。控制电路直接合入微机控制单元，大功率晶体管输出电路则自成一体，成为结构单一的点火控制器或与点火线圈集成在一起。

(3) 点火线圈 由于无分电器点火系统有两个或多个点火线圈初级绕组, 发动机的一个工作循环, 每个点火线圈初级绕组只通断一次(独立点火)或两次(同时点火), 所以点火线圈初级绕组能够有较长的通电时间, 点火线圈可以采用完全的闭磁路结构, 提高能量利用率。点火线圈具体结构因高压配电方式的不同而不同。

三、无分电器微机控制点火系统的诊断与维修实例

(1) 无分电器点火系统的特点

1) 电路特点。如图 5-34 所示, 点火系统是一个电子的(无分电器)点火系统, 属于点火线圈配电方式。

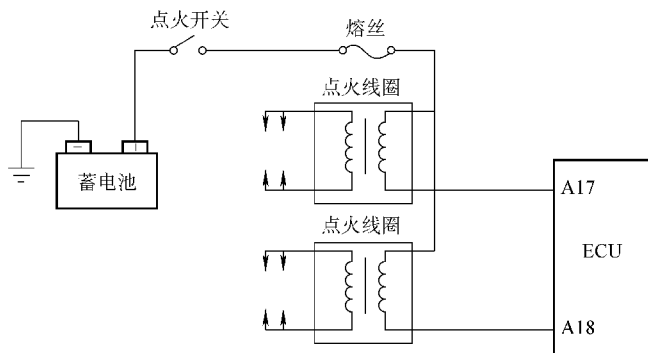


图 5-34 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷点火系统

2) 点火线圈。点火线圈是一个小型变压器。它有一个铁心, 围绕铁心的是两个线圈, 即前面所说的第一绕组和第二绕组。

(2) 点火线圈的维修 首先检查从 ECU 端至点火线圈接线端线束连通情况。拆下与线束的连接, 用欧姆表导线连接到初级线圈接线端上, 测试初级绕组是否有断路, 若是短路、读数为无穷大时, 表明初级绕组有断路、如果读数低于规定值, 表明初级绕组短路。

(3) 火花塞的维修 火花塞间隙规定是 1.0 ~ 1.2mm。必须使用塞尺测量间隙。较大和较小的间隙都不行。1.0 ~ 1.2mm 的间隙就能产生发动机的空气燃油混合所需要的火花。检查火花塞是否有积炭, 如有, 应清除; 检查火花塞是否破裂, 如破裂应更换。

(4) 点火高压线维修 检查点火高压线是否连接牢固, 检查点火高压线是否破裂, 必要时更换; 检查点火高压线是否断路, 如断路应更换。

第四节 点火系统的维护与检修

一、电子点火系的检修

(1) 点火系统故障检查步骤

1) 普通电子点火系。首先判断是否是点火系的故障。以桑塔纳 2000 发动机为例, 具体方法是: 从分电器盖的中心插座上拔下中央高压线, 使其端部距气缸体 5 ~ 7mm; 接通点火开关, 转动发动机曲轴, 观察高压线端的跳火情况, 若产生强烈火花则为正常。如仍怀疑点火系有故障, 则可能是点火系高压部分的故障, 可检查火花塞、高压线、分火头、分电器、点火正时以及点火顺序。如不是此部分故障, 则应检查供油情况。

若线端处无火花或火花微弱, 则肯定是该点火系统有故障。应对电子点火系统的主要部

件进行检查。当确认点火系统有故障时,应首先检查蓄电池电压,以及蓄电池、点火开关、点火线圈导线是否松脱断路。如上述检查无误,则应逐件检查。

2) ECU 控制的点火系。检查点火系统故障时可用起动机拖动发动机转动,检查步骤如下:

a. 检查信号发生器的信号电压(应为 1.5 ~ 5V 的交流电压);如无信号电压,则信号发生器有故障。

b. 检查 ECU 是否有 5V 脉冲电压输出;如无,则 ECU 有故障。

c. 检查点火器(接点火线圈一侧次级绕组端)是否有 12V 脉冲电压;如无,则点火器有故障。

d. 检查点火线圈的高压线是否有 12mm 的跳火距离;如无火花,则点火线圈有故障。

e. 检查各高压线是否有 12mm 的跳火距离;如无,则大多为分电器分火头或分电器盖漏电(对无分电器电子点火系统无此项检查,因为各缸高压线即为点火线圈高压线)。

f. 检查各缸高压线的电阻值和火花塞的状况。各缸高压线的电阻应小于 20Ω ;否则,应更换高压线。火花塞间隙应为 1.2mm,且瓷体应发白;否则,应更换火花塞(汽车每行驶 4 万 km,应更换一次火花塞)。

(2) 主要部件的检修

1) 火花塞的检修。

a. 问里程。火花塞的寿命一般为 15000 ~ 20000km,长效火花塞的寿命可达 30000 ~ 40000km,达到寿命期后应更换,否则会降低发动机的性能。

b. 查间隙。普通电子点火系火花塞的间隙为 0.8 ~ 0.9mm,有的电子点火系火花塞的间隙为 1.0 ~ 1.2。如间隙过小,在发动机低速小负荷时会产生缺火现象;如间隙过大,易击穿点火线圈,且高速大负荷时易断火。必须检查调整火花塞的间隙达到规定值。

c. 看颜色。工作正常的火花塞其绝缘体裙部呈赤褐色,电极没有烧损或积垢,电极间隙正常。若火花塞绝缘体顶端起疤、破裂或电极熔化、烧蚀,都表明火花塞已经烧坏,应更换新件。重要的是,要根据火花塞烧蚀的症状,找出故障原因,进而排除其故障。

电极熔化且绝缘体呈白色说明燃烧室内温度过高。原因有:气缸盖水垢过多、燃烧室内积垢过多、配气相位失准、冷却系工作不良以及火花塞未按规定力矩拧紧等。

电极变圆且绝缘体结有疤痕或顶端碎裂说明发动机早燃、爆燃。原因有:点火时间过早、汽油牌号低、选装的火花塞热值过低(高压压缩比发动机应选用冷型火花塞,低压压缩比发动机应选用热型火花塞)。

绝缘体顶端有灰黑色条纹说明火花塞已经漏气,应换新件。

d. 短路某缸分高压线。发动机低速运转时,从火花塞上拔下该缸分高压线搭铁,使该缸火花塞断电不工作。这时若发动机的转速明显降低、抖动,说明火花塞工作良好,否则为该缸工作不良。

e. 触摸火花塞绝缘体的温度。发动机达到正常工作温度后熄火,用手逐缸触摸火花塞瓷体,若某缸火花塞比其他缸的温度低,则温度低的火花塞工作不良(实质是该缸未工作)。

f. 吊火试验。发动机怠速运转时,把高压线从火花塞上拆下,使其端头与火花塞接柱保持 5mm 间距吊火;若发动机工作状况改善,说明该火花塞轻微漏电;若发动机工作状况

无变化,则该缸火花塞已损坏。

g. 拆下火花塞缸外跳火。拆下火花塞,放置在缸体上(使火花塞外壳搭铁),使高压总线距火花塞接柱 5mm(间隙),接通点火开关后,通断低压电路:若有电火花从火花塞间隙处跳过,则该火花塞是好的;若 5mm 间隙处有电火花,而火花塞电极间隙处无火花,则该火花塞漏电损坏。

2) 点火线圈的检查。点火线圈的好坏,直接影响到火花塞高压火花的强度。点火线圈的常见故障有外部损伤和因温度过高或老化引起的点火线圈断路、短路以及绝缘击穿等。

a. 外部检查。点火线圈外部接线柱是否良好,外壳是否有裂纹,高压插孔内是否太脏或有氧化物,插孔周围有无破损,绝缘胶木有无明显的砂眼或裂纹。

b. 万用表测试法。万用表测试电阻法:普通电子式点火系,点火线圈低压线圈的电阻值为 $0.5 \sim 0.8\Omega$,高压线圈电阻值为 $2 \sim 8k\Omega$;对于无分电器的直接点火系的点火线圈,其高压线圈中串联一只二极管,故高压线圈的正向电阻约为 $7 \sim 20k\Omega$,反向电阻应为无穷大。若点火线圈上装有附加电阻,附加电阻值一般为 $1.2 \sim 1.80\Omega$ 。

万用表测试电压法:接通点火开关,断开点火线圈“-”柱后低压线,万用表在“+”柱测试电压为 12V,而在“-”柱测试电压为 0V,说明点火线圈损坏。

c. 温度判断法。行车一段里程后熄火,试摸点火线圈外壳。若手能忍受,表示点火线圈工作正常;若感觉烫手,则表示点火线圈工作不正常。但是否点火线圈本身故障还需通过检验证实。因为充电电流过大或导线连接错误也会导致点火线圈过热。

d. 高压试火法。接通点火开关,拔下分电器盖上总高压线并使其端头距机体 5mm,拆下分电器接柱上的低压线在机体上划火,低压线有火花而高压线无火花则点火线圈损坏。

e. 试灯测试法。接通点火开关,断开点火线圈“-”柱后低压线,试灯在“+”柱测试灯亮,而在“-”柱测试灯不亮,说明点火线圈损坏。

3) 分火头的检查

a. 高压试火法

方法一:取下分电器盖,拔下分电器盖中心插孔内的总高压线端距分火头上的导电片内端约 3mm 的间隙,接通点火开关后,通断低压电路,若间隙处有高压火花跳出,则分火头绝缘破裂损坏,应换新件。

方法二:取下分电器盖,拔下分火头,并将分火头倒扣在机体上,然后将分电器盖端高压线距分火头孔底约 5mm,接通点火开关后,通断低压电路,若间隙处有高压火花跳出,则分火头绝缘破裂损坏,应换新件。

b. 万用表测试电阻法。防干扰分火头的电阻为数千欧姆,测量时应注意选用合适的万用表量程。对于装有两个分火头用二极管分电的分电器,其内外两个分火头中各串有一个高压二极管,检测分火头时应注意其正、反向电阻,反向电阻应为无穷大。

4) 分电器盖的检查。分电器盖上的所有高压线插孔彼此应该绝缘,分电器金属外壳也应该绝缘。

a. 分电器盖中心插孔与旁插孔绝缘性的检查。

方法一:取下分电器盖,摘下分火头,再把分电器盖装回分电器上(使盖处于受力状态),安装好盖上的所有高压线,拔下各火花塞上的高压分线,使各高压分线端距缸盖(铁)约 5mm 间隙。在汽车处于空挡、拉紧驻车制动的情况下起动发动机,若某缸的高压

分线端与搭铁之间有高压火花出现,则为该高压分线的插孔与中心插孔之间绝缘破裂损坏,应更换分电器盖。

方法二:拔下火花塞端分高压线,取下分电器盖并使之悬空,将火花塞端分高压线端头距机体 5mm 做高压跳火试验,若某缸的高压分线端与搭铁之间有高压火花出现,则为该高压分线的插孔与中心插孔之间绝缘破裂损坏,应换分电器盖。

b. 旁插孔间绝缘性的检查。拔下火花塞端分高压线,取下分电器盖并使之悬空,将火花塞端分高压线端头距机体 5mm,拔下分电器盖中心总高压线,分别插入分电器盖旁插孔中,做高压跳火试验,若某缸的高压分线端与搭铁之间有高压火花出现,则为该高压分线的插孔与插入总高压线的插孔之间绝缘破裂损坏,应更换分电器盖。

若在维修工作中,接上某缸的高压分线后,发动机转速反而下降甚至熄火,而拆下该缸的高压分线时,发动机转速反而升高,则为该缸高压分线插孔与中心插孔之间绝缘破裂漏电,应更换分电器盖。

5) 电子点火器的检查。拆下电子点火器检查外观,松开连接线或插接器,仔细检查各输入、输出端及其连接导线,是否有断脚、脱焊及引线脚歪斜等现象,发现后应维修。

a. 电子点火器输入电阻的检测。不同型式的电子点火器,其输入电阻是不同的,但它们的输入端都是指接到信号发生器上并获取信号电压的那两个引线脚,点火器上这两个引线脚之间的电阻即为输入电阻。检测时若发现旧点火器电阻值很大,应检查各引线脚的焊点是否有虚焊现象,其屏蔽线有无断路;若发现此电阻值过小,应检查是否因某处搭铁线间绝缘不良或电子元件击穿而造成短路。

b. 电子点火器的静态电流的检测。在点火器连线的状态下,通过直接使点火器上的电源火线引脚和信号电压的火线引脚(非搭铁引脚)之间通断,由此来实现信号电压的有和无,从而使点火器的末端开关电路关断或导通,也就控制了点火线圈低压电流的切断与接通。从电流表的指示中可知低压电路是否导通,通则说明点火器良好,不通则说明点火器有故障。

判断低压电路是否导通的方法,除了看电流表外,也可用高压试火法,电压表测试点火线圈“-”柱上的电压等方法。

c. 用干电池代替信号发生器检测法(模拟信号法)。在电子点火器的信号输入端接上一节电压为 1.5V 的普通干电池,利用干电池的正接与反接,来代替信号发生器的正、反向脉冲信号,使点火器的输出端按正常的接线方式(即汽车上的接线方式)接好点火线圈和点火开关。接通点火开关后,在点火器的输入端正、反向连接干电池的同时(每次连接时间不超过 3s),测量点火线圈的“-”端与搭铁之间的电压,或检查点火线圈接出的高压总线与搭铁之间的高压火花,从而判断出电子点火器的好坏。

用干电池检查丰田轿车电子点火器的方法如图 5-35 所示。首先把 1.5V 的干电池与点火器的输入端接好,干电池的正极接粉红色线,干电池的负极接白线,如图 5-35a 所示,然后用万用表的直流电压挡测量点火线圈“-”端与搭铁之间的电压,此值应为 1~2V(此时产生了低压电流);再按图 5-35b 连接干电池,即干电池正极接白线,干电池负极接粉红色线,再测量点火线圈“-”端与搭铁之间的电压,此值应为 12V(此时切断了低压电流)。另外,在干电池由正接,断开—反接—断开—正接的一个循环操作过程中(相当于脉冲信号变化了一个周期),点火线圈只产生一次高压为正常。若检测结果不是上述情况,则说明该点火器有故障。

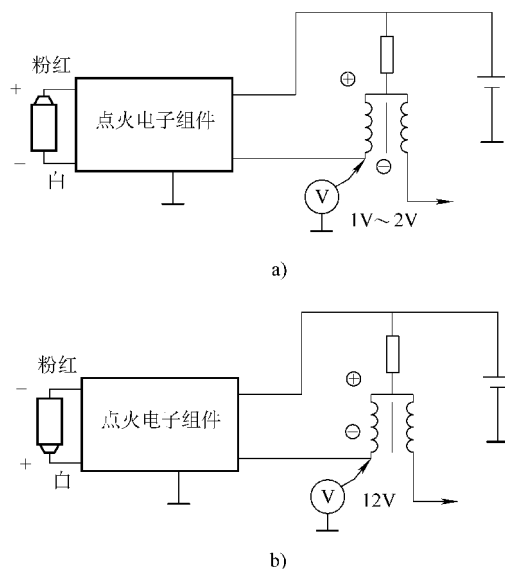


图 5-35 用干电池检查丰田轿车电子点火器的方法

a) 干电池正接模拟信号发生器信号 b) 干电池反接模拟信号发生器信号

用干电池代替信号发生器的检测方法，可以在车下按图 5-35 介绍的方法测试，也可以直接在车上测试。测试时，只需拔下（分电器上的）信号发生器的插接器，用干电池与线束侧的插接器连接即可，在接通点火开关后，正、反向连接干电池，同时观察高压总线与搭铁之间的高压火花。若火花正常，则说明点火器是好的，信号发生器有故障；若高压火花不正常或无高压火花，说明点火器或点火线圈或相关的低压电路有故障。可分别测试各元件，或用换件法找出损坏的元件。

d. 用一字旋具直接搭接磁电式信号发生磁路的试验法。对于使用磁电式信号发生器的点火系，在汽车上接通点火开关后，可用一字旋具的金属部分直接搭接信号发生器的转子与定子爪极，搭接后通过信号线圈的磁通量增加，随即迅速移开一字旋具，通过信号线圈的磁通量又大大下降。这样在每次搭接、移开一字旋具的同时，点火线圈都应产生一次高压。若产生的高压火花正常，说明点火器及信号发生器线圈良好，否则就应对点火器做进一步的检查。

e. 电子点火器的热稳定性检查若发动机冷态时运转正常。当温度上升后出现缺火现象，此时应考虑到点火器及有关元件的热稳定性。可采用电吹风对点火器边加热、轻抖动的同时进行检测，若再现异常现象，则为点火器老化后热稳定性变差，应换新件。

6) 信号发生器的检查。点火脉冲信号发生器主要有四种类型：磁电式、霍尔式、光电式和电磁振荡式。

a. 检查、调整信号转子凸齿与传感铁心间的间隙。磁电式信号转子凸齿与传感铁心间的间隙，因汽油机的类型不同而有所差异，一般的标准间隙为 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 。检查时，可用塑料（或有色金属）塞尺进行测量。若其间隙不符合要求，应予以调整。否则，若间隙过大，脉冲信号强度（电压）变弱，会导致低速时高压断火；若间隙过小，运转中会产生摩擦碰撞，使元件损坏。

b. 检查、测量信号发生器线圈的电阻值。先拔开信号发生器的插接器（接线插头），用万用表欧姆挡测量（信号发生器侧）插接器内两线头间的电阻，其值应该符合要求。

测量时，若其电阻值为无穷大，则表明有断路故障；应首先检查插头的焊接处，然后再查看线圈在何处断路；若测量的电阻值比规定值小得多，说明信号线圈有短路，应绝缘处理短路部位或换新线圈；若电阻值为零，说明导线间短路或线圈的两线头相碰，应绝缘处理短路部位或换新件。

c. 检查信号发生器的热稳定性。先用照明灯泡对信号发生器加热，当加热到适当温度后，再测其线圈的电阻值，并与规定值比较，同时用一字旋具柄轻轻敲打信号发生器，以检查其内部是否松旷、有无间歇性故障、电阻值是否突变等，发现问题应维修或换件。

d. 信号电压的检测。对于磁电式信号发生器，可拔下其插接器，在转动信号转子时（可用人工转动分电器轴），用万用表的低电压量程挡测量信号线圈产生的信号电压（一般不足1V，视分电器型号及测试的转速而定），若测得的信号电压为零或比规定值小得多，则信号发生器损坏。损坏的原因可能是信号线圈或其连接导线断、短路，磁铁磁性消失或减弱，磁路短路或气隙过大。不可维修的可换新件。

对于各种型式的信号发生器，都可在汽车上接通点火开关的情况下，测试其信号电压。测试时，首先拔下信号发生器的插接器，接通点火开关，用万用表的直流电压挡测试线束侧插座内的相线是否有电，若无电则故障在线束侧；若线束侧的相线正常有电，再连好信号发生器的插接器，使信号发生器的转子转动（可人工转动分电器轴或用起动机带动发动机运转），用万用表的低电压量程挡测试（测试棒从插头的外侧向里插入）产生的信号电压。若无信号电压、信号电压过低或信号电压不是脉动的，则信号发生器损坏。对于光电式信号发生器，可能是发光二极管（或白炽灯泡）、光敏晶体管损坏或发光、光敏晶体管上尘土太多，阻止了光线（发光二极管发出的为接近红外线的不可见光束）的发出与接收，应进行清洁。对于霍尔式信号发生器，可能是永久磁铁的磁性消失或减弱、霍尔元件损坏或其导线接头及电路断路等。在汽车上测试时，有时无信号电压的原因是由分电器轴造成的。此时，打开分电器盖，起动发动机时可发现分电器轴是否在转动，如轴不转，应排除传动件的故障。

二、无分电器微机控制点火系的检修

无分电器微机控制点火系发生故障后，应首先检查自诊断系统有无故障码输出，然后进一步检查。其中点火线圈、点火信号发生器、点火器的测试方法及部分低压电路的诊断方法与前文所述的电子点火系基本相同。这里只着重说明该种点火系特殊的诊断与检测方法。

（1）点火系电源的测试 当接通点火开关后，蓄电池的电压须送至点火线圈、点火器、电脑及各有关传感器等元件的相线接柱上。检测时，先切断点火开关，将电源插头（有的为共用插头）从这些元件上拔下，再接通点火开关，用电压表检测线束侧的插头，其火线应有蓄电池电压。否则应检查蓄电池至这个元件之间的线路是否有断路或接触不良。

（2）点火器的测试 在汽车上测试点火器时，应先切断点火开关，从点火器上拔下与电脑相连的插头，同时拔下每个点火线圈上的二脚插头，之后再接通点火开关，用干电池的电压代替电脑加给点火器的控制信号电压，当干电池在点火器输入端通、断连接时，点火器的末级开关晶体管应导通、截止变化。否则点火器损坏。

现以丰田车系六缸发动机直接点火系为例，如图5-36所示。当拔下以上所述的插头后，

将3V 电源按图 5-36 所示的方法接入四脚插头中的 2 号脚上, 接通点火开关, 同时将欧姆表按图 5-36 所示方法接在第三个点火线圈 (线束侧) 插座中的 2 号脚与搭铁之间, 此时观察是否导通; 当去掉干电池后再观察欧姆表, 是否显示截止。用同样的方法将 3V 电源接入四脚插头的 4 号脚上, 再用欧姆表测试第一个点火线圈 (线束侧) 插座中的 2 号脚与搭铁之间是否导通; 然后再将 3V 电源接至四脚插头的 3 号脚上, 再用欧姆表测试第二个点火线圈 (线束侧)、插座中的 2 号脚与搭铁之间是否导通。若通、断干电池的连接时, 万用表显示的点火器内的各开关晶体管 (三个) 也导通、截止交替变化, 表明点火器良好。否则为点火器损坏, 应换新件。

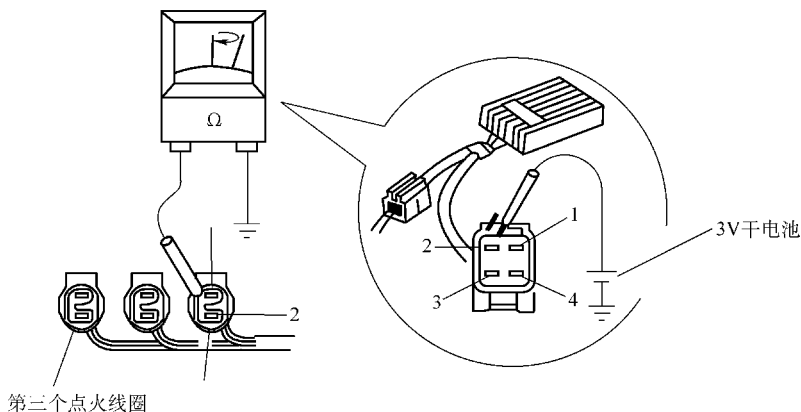


图 5-36 测试点火器

1—1 号脚 2—2 号脚 3—3 号脚 4—4 号脚

三、点火系统诊断的应用实例

电控点火系统常见的故障有: 无高压电、高压电断火或缺火、高压电弱及点火正时不当等。

以桑塔纳 2000GSI 电控发动机的无分电器同时点火式电控点火系统为例进行诊断。

用示波器对点火系统进行诊断

示波器可显示点火电压波形, 实现对点火系统的实时动态检测。通过显示的点火电压波形, 并与标准的波形进行比较, 能较准确地判断点火系统的性能和故障。

(1) 正常的点火电压波形 如图 5-37 所示, 正常的点火电压波形应是各缸基本一致, 并且其电压值在 5 ~ 15kV (点火电压的大小与发动机的转速和负荷有关)。

不同厂家生产的示波器所显示的点火电压波形可能会有一些不同, 因此, 在用示波器诊断点火系统故障之前, 应查阅示波器的使用说明。

(2) 点火电压差值过大 如图 5-38 所示, 各缸的点火电压不一致, 高低相差较大。可能的原因有以下两点。

① 点火电压较高的气缸其火花塞的电极烧损或间隙过大。

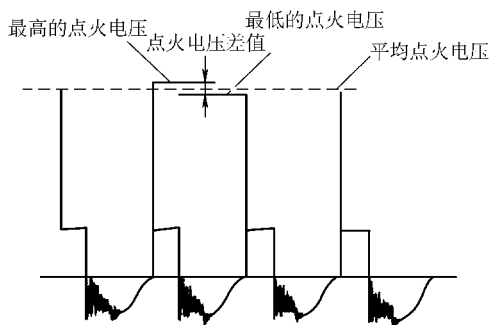


图 5-37 正常的点火电压波形

② 分电器盖或分火头安装不当。

(3) 个别缸点火电压异常高 个别缸点火电压异常高,如图 5-39 所示。可能的原因是以下两点。

① 个别缸的高压导线松脱或导线断路。

② 个别缸火花塞的电极间隙过大。

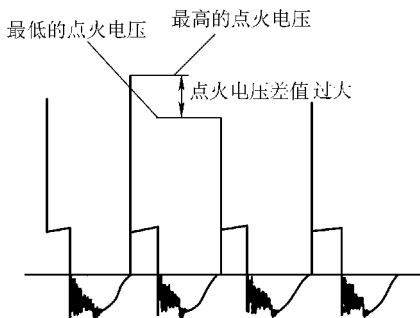


图 5-38 点火电压差值过大

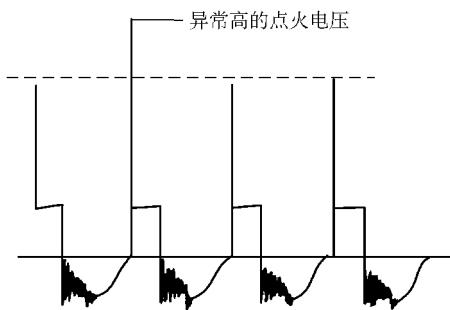


图 5-39 个别缸点火电压异常高

(4) 个别缸点火电压异常低 个别缸点火电压异常低,如图 5-40 所示。可能的原因有以下三点。

① 个别缸火花塞脏污、绝缘体有裂纹或电极间隙过小。

② 个别缸高压导线有破损而有电弧放电。

③ 分电器盖有裂纹或炭迹。

(5) 点火电压均过高 各缸的点火电压基本一致,但均过高。可能的原因有以下三点。

① 点火时间过迟。

② 中央高压线的线端锈蚀或松脱。

③ 各缸火花塞电极间隙均过大。

(6) 点火电压均过低 各缸的点火电压基本一致,但均过低。可能的原因有以下三点。

① 点火线圈有漏电之处而产生了电弧放电。

② 中央高压导线有破损之处而产生了电弧放电。

③ 各缸的火花塞电极间隙均过小。

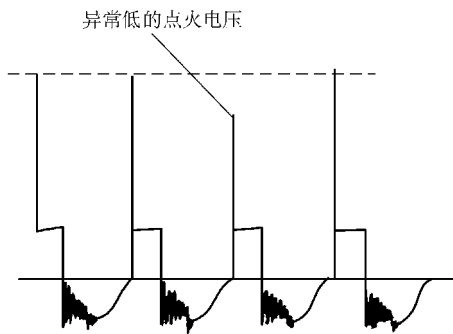


图 5-40 个别缸点火电压异常低

第五节 爆燃及其控制检测与诊断

如前节所述,在根据动力性和经济性对点火提前角进行优化的同时,不仅要以满足排放法规要求为前提,而且不允许发生爆燃。因此,本节要讨论爆燃发生的机理、危害、影响因素、爆燃与点火提前角的关系及其控制策略等。

一、爆燃概述

1. 爆燃的特征

爆燃是一种非正常燃烧,它具有以下特征。

(1) 内部特征

- ① 缸内压力曲线陡升, 压力升高率可达约 $800\text{kPa}/1^\circ\text{C A}$ 。
- ② 缸内压力作高频大幅度波动, 频率可达 $(5 \sim 10)\text{kHz}$ 。
- ③ 火焰传播速度剧增。正常燃烧时火焰传播速度为 $10 \sim 25\text{m/s}$, 轻微爆燃时为 $250 \sim 300\text{m/s}$, 强烈爆燃时为 $2000 \sim 3000\text{m/s}$ 。
- ④ 放热率剧增。

(2) 外部特征

- ① 发出金属振音。
- ② 发动机振动加剧。
- ③ 轻微爆燃时, 发动机功率略有增加; 强烈爆燃时, 发动机功率下降、转速下降, 运转不稳定。
- ④ 冷却液温度上升。
- ⑤ 润滑油温度上升。
- ⑥ 气缸盖温度上升。

2. 爆燃的分类

爆燃可分为加速爆燃和高速爆燃两类。

(1) 加速爆燃 发生在大负荷情况下由低转速向高转速过渡时, 例如重载车辆在路口交通信号由红灯转为绿灯、驾驶人急欲通过而突然猛踩加速踏板时。这种爆燃能听见响声, 因为发动机转速低。

(2) 高速爆燃 发生在大负荷、高转速时。这种爆燃的响声被发动机高转速下的强烈噪声所淹没, 所以不易听见。

3. 爆燃的危害

爆燃的危害很大, 主要有以下几个方面:

- ① 对零件施加额外的热负荷, 使铝合金缸盖和活塞局部变软、磨损加剧, 甚至局部熔化、开洞。在连续的爆燃燃烧之后, 活塞看上去就像被焊炬烧过一样。
- ② 产生过高的机械负荷, 加速零件损坏, 如打坏缸垫、损坏轴承等。
- ③ 产生强烈的振动与噪声。
- ④ 排放恶化, 功率下降, 油耗增加。
- ⑤ 形成燃烧室沉积物, 引起表面点火。

4. 爆燃的机理

气缸内的混合气点燃后, 火焰从火花塞出发向四周传播。传播过程中, 尚未燃烧的混合气受到火焰前锋的压缩, 因而压力增大、温度升高。剩余的未燃混合气温度过度升高可能最终导致突然的同时自燃, 即爆燃。

5. 爆燃发生的条件

未燃混合气的自燃需要一段准备时间。如果火焰迅速传遍整个燃烧室, 便来不及发生爆燃。反之, 则发生爆燃。

从点燃混合气到火焰传遍整个燃烧室所经历的时间即火焰传播期, 前文已记作 τ_s 。从点燃混合气到剩余的未燃混合气自燃的时间, 即自燃准备时间, 记作 τ_k 。则发生爆燃的条件为

$$\tau_s > \tau_k$$

二、影响爆燃的化学、物理、机械和结构因素

一切减缓火焰传播速度即增大 τ_s 的因素都促成爆燃；一切减缓自燃准备过程即提高 τ_k 的因素都抑制爆燃。

1. 燃油

燃油碳氢化合物的分子若系单键链形结构，则最易点燃， τ_k 最小，最易爆燃。链越长，越易爆燃。

通常用辛烷值评定爆燃倾向。辛烷值增大，则 τ_k 延长，不易爆燃。

2. 过量空气系数 λ

λ 增大，则火焰传播期 τ_s 增大，促成爆燃。但另一方面， λ 增大，则自燃准备时间 τ_k 也增大，故又抑制爆燃。对一种确定的燃油，有一个最易爆燃的 λ 值。对汽油来说，当 $\lambda = 0.8 \sim 0.9$ 时最易爆燃。

3. 残余废气系数 γ

γ 增大，则 τ_s 增大，促成爆燃。但另一方面 γ 增大，则新鲜混合气受到稀释，体积效率 η_v 下降，燃烧压力和终燃混合气温度下降，使自燃准备时间 τ_k 也增大，故又抑制爆燃。两者相抵，总的结果是 γ 增大会抑制爆燃。

4. 缸内混合气运动

缸内混合气运动加剧，则火焰传播速度加快， τ_s 减小，抑制爆燃。

5. 进气温度

进气温度高，测火焰传播期 τ_s 缩短；同时，终燃混合气温度升高， τ_k 减小，最终促成爆燃。

6. 进气压力

进气压力对爆燃的影响与进气温度的影响类似。所以，增压的汽油机更易爆燃。

7. 冷却液温度

冷却液温度升高，则终燃混合气温度升高，使自燃准备时间 τ_k 缩短，促成爆燃。

8. 压缩比

压缩比提高，则燃烧前或燃烧时混合气的压力和温度提高， τ_k 缩短，促成爆燃。同时，压缩比提高，则残余废气系数降低，残余废气对新鲜混合气的稀释作用降低，也促成爆燃。

9. 燃烧室形状

燃烧室越紧凑，终燃混合气所在的位置离火花塞越近，则火焰传播期 τ_s 越短；同时，终燃混合气的温度也越低，自燃准备时间 τ_k 也越长。两者都导致抑制爆燃。

10. 气门数量

四气门发动机火花塞居于燃烧室中央，两气门发动机火花塞居于燃烧室一侧。相比之下，四气门发动机火焰传播距离短， τ_k 短，终燃混合气温度也较低，故爆燃倾向较小。

11. 气缸直径

当气缸直径扩大时，一方面，火焰传播距离增加， τ_s 增加；另一方面，燃烧室的面容比缩小，散热减少，燃烧室壁面温度上升， τ_k 缩短，两者都导致促成爆燃。

12. 燃烧室壁面材料

组成燃烧室壁面的缸盖和活塞若采用铝合金,则因其导热性好,燃烧室壁面温度较低,自燃准备时间 τ_k 增大,抑制爆燃。铝缸盖因此可比铸铁缸盖提高功率约15%。

13. 燃烧室沉积物

燃烧室沉积物由于以下四方面的原因而促成爆燃:

① 燃烧室沉积物占据了一部分燃烧室体积,从而提高了压缩比。含铅汽油的此类效应比无铅汽油增加一倍。

② 燃烧室沉积物温度较高,在进气和压缩过程中对混合气有加热作用。

③ 燃烧室沉积物导热性很差,对燃烧室壁面有隔热作用,使终燃混合气温度提高。

④ 燃烧室沉积物中的碳粒在高温下会急剧氧化着火,进而将终燃混合气点燃。纯碳粒的着火温度为560℃左右。使用含铅汽油时,由于沉积物中所含铅盐的催化作用,碳粒的着火温度下降为340℃左右,更容易将终燃混合气点燃。

三、影响爆燃的工况参数和运行参数

1. 负荷

在稳定工况下,汽油机的负荷是指每循环吸入的空气量。所以,在转速保持恒定的情况下,节气门开度反映了负荷的大小。负荷增大时,残余废气系数减小,气缸壁散热损失相对减小,最高燃烧压力上升。这些因素都促使终燃混合气温度上升,促成爆燃。

此外,随着逼近全负荷, λ 趋向0.8~0.9,也促成爆燃。

2. 转速

转速对爆燃的影响比较复杂,可分述如下:

① 转速升高,则火焰传播速度提高, τ_s 缩短,抑制爆燃。

② 转速升高,则吸气损失增加,进气温度提高, τ_s 缩短,促成爆燃。

③ 转速升高,则节流作用增强,体积效率下降,最高燃烧压力下降,终燃混合气温度下降,抑制爆燃。

以上作用叠加后总的结果是转速升高会抑制爆燃。

综上所述可见,低速高负荷最易发生爆燃。

3. 点火提前角

一方面,点火提前角增大,则从形成火焰中心到达到最高燃烧压力所经过的时间,即火焰传播期明显缩短,因而抑制爆燃;另一方面,点火提前角增大,则最高燃烧压力增大,使终燃混合气的温度升高, τ_s 缩短,因而促成爆燃。二者相抵, τ_s 缩短起决定性作用。所以,增大点火提前角 θ_i 会促成爆燃。

四、爆燃极限、爆燃安全距离和爆燃控制的原则

1. 控制爆燃的参数

对于确定的发动机和燃油而言,在影响爆燃的诸多因素中,化学、物理、机械和结构因素都是一定的,非爆燃控制系统所能左右。工况参数负荷和转速由使用要求所决定,不能为了避免爆燃而任意选择。惟一能加以调整并用来控制爆燃发生的只有运行参数点火提前角 θ_i 。

2. 爆燃极限

如前所述,在具有实际意义的点火提前角范围内,增大点火提前角通常可提高动力性和

经济性。但点火提前角增大到某一数值便会发生爆燃。故定义刚刚不发生爆燃的最大可能的点火提前角为爆燃极限。显然，对于确定的发动机而言，爆燃极限由工况确定。

3. 爆燃安全距离

为了避免爆燃，实际的点火提前角必须小于爆燃极限。由于影响爆燃的各种因素都具有一定的随机性，所以，实际的点火提前角不仅必须小于爆燃极限，而且与爆燃极限的距离必须大于一定的数值。定义实际的点火提前角与爆燃极限之间的距离为爆燃安全距离，以曲轴转角度数表示。

4. 点火提前角和爆燃控制的原则

为了获得最大的动力性和经济性，同时又不发生爆燃，应当尽可能缩小爆燃安全距离。这就是点火提前角和爆燃控制的原则。机械控制点火正时的系统由于无法根据爆燃调节点火正时，只能选用较大的爆燃安全距离以避免爆燃。只有电子控制点火正时的系统才能通过爆燃闭环控制做到既最大限度地缩小爆燃安全距离，又有效地控制爆燃。借助于爆燃控制可采用较大的压缩比，降低油耗，提高转矩。

五、爆燃传感器的工作原理与故障诊断

1. 爆燃传感器的分类与特点

爆燃传感器的功用是将发动机爆燃信号转换为电信号输入发动机 ECU，以便 ECU 修正点火提前角，防止发动机产生爆燃。

爆燃传感器按检测方式不同，可分为共振型与非共振型两种；按结构不同，可分为压电式和磁致伸缩式两种。通用和日产汽车采用了磁致伸缩式爆燃传感器，大众车型基本都采用压电式爆燃传感器。

共振型爆燃传感器的显著特点是传感器的共振频率与发动机爆燃的固有频率相匹配，因此其内部设有共振体，并且要使共振体的共振频率与爆燃频率协调一致。其优点是输出电压高，不需要滤波器，因此信号处理比较方便。由于机械共振体的频率特性尖且频带窄，因此无法响应发动机结构变化引起的爆燃频率变化。换句话说，共振型爆燃传感器只适用于特定的发动机，不能与其他发动机互换使用，装车自由度很小。

非共振型爆燃传感器的突出优点是适用于所有的发动机，装车自由度很大。但其输出电压较低，频率特性平坦且频带较宽，需要配用带通滤波器（只允许特定频带的信号通过、对其他频率的信号进行衰减的滤波器称为带通滤波器。带通滤波器一般由线圈和电容器组合而成），信号处理比较复杂。中国、日本和欧洲汽车大都采用非共振型爆燃传感器。

（1）共振型压电式爆燃传感器 共振型爆燃传感器的共同特点是爆燃传感器中测振元件的自振频率和被检汽油发动机爆燃时发动机的振动频率相同，当被检汽油发动机爆燃时，传感器测振元件将发生共振，产生较高的电压输出信号。

共振型压电式爆燃传感器是利用压电元件在外力作用下产生变形时，压电元件将产生与变形大小相对应的电信号这一原理制成的。在共振型压电式爆燃传感器中，使压电元件产生变形的的外力来自测振元件的交变振荡，该传感器的基本结构如图 5-41 所示。传感器的检测组件主要由压电元件 5、振荡片 6 及基座 7 等构成。压电元件紧密贴合在振荡片上，振荡片则固定在传感器的基座上。汽油发动机工作时，振荡片随机体壁面振动激励下而产生振荡，振荡片的振荡使与它紧密贴合的压电元件变形，并输出交变的电压信号，输出电压的高低与

振荡片的振幅，也即压电元件的变形成正比。

当汽油发动机发生爆燃时，由于振荡片的自振频率与爆燃时机体壁面的振动频率相同，此时，振荡片在机体壁面振动激励下发生共振。在共振时，振荡片的振幅达到最大，使与它紧密贴合的压电元件产生最大的输出电压，如图 5-42 所示。共振型爆燃传感器在共振区（即爆燃时）的输出电压，比非共振区的输出电压高得多，因此不需要借助滤波器，ECU 根据传感器的输出电压，就能对汽油发动机是否发生爆燃做出准确的判断。

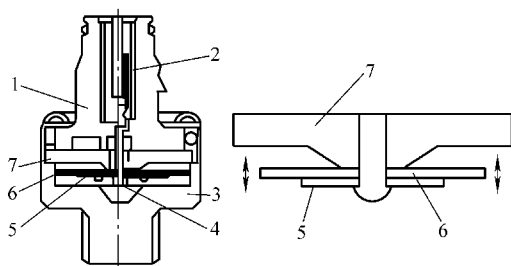


图 5-41 共振型压电式爆燃传感器

1—插接器 2—接头 3—壳体 4—引线端
5—压电元件 6—振荡片 7—基座

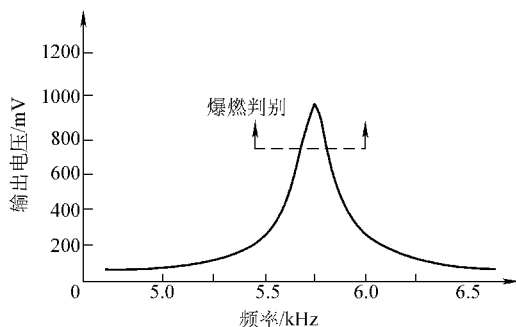


图 5-42 共振型压电式爆燃传感器的输出特性

（2）非共振型压电式爆燃传感器 非共振型压电式爆燃传感器是利用压电元件受外力作用时，压电元件将产生与所受外力大小相对应的电信号这一原理制成。在非共振型压电式爆燃传感器中，压电元件所受的外力来自测振元件交变振动中产生的惯性力，该传感器的基本结构如图 5-43 所示。传感器的检测组件主要由压电陶瓷体 3 和配重振动质量 1 等构成。振动质量 1 将对应于振动加速度的质量力施加给压电陶瓷体 3，产生的电信号通过触点 4 和电接头 5 传给 ECU。爆燃传感器的自然频率超过 25kHz。

汽油发动机工作时，机体壁面的振动传递到传感器上，传感器内的配重在机体振动的激励下产生振动。由于配重振动时加速度的变化规律与机体壁面振动的规律相对应，也即振动质量作用在压电元件上的惯性力的变化规律与机体壁面振动的规律相对应，因此压电元件输出电信号的变化规律与机体壁面振动的规律相对应。由于非共振型压电式爆燃传感器仅是把机体壁面的机械振动，转化相应的输出电压的变化，因此即使在爆燃区域或该区域附近，传感器也不会产生很大输出信号，在工作频带宽度范围内，传感器具有较平的输出特性，如图 5-44 所示。因此，为了能够根据该传感器输出的电压信号，对汽油发动机是否发生爆燃做出判断，必须对传感器的输入进行滤波处理，以提高对爆燃信号识别的准确性。

爆燃信号含有 5 ~ 10kHz 的高频成分。这个频率范围远比由于缸内压力引起的燃烧噪声频率范围高得多。两种频率范围的信号都会出现在爆燃信号中，但是经过滤波后就能将高频的爆燃信号检测出来，如图 5-45 所示。

2. 爆燃传感器的安装位置

爆燃传感器安装在机体的侧壁上，如图 5-46 所示。图 5-46 所示为一台四缸汽油机，若只用一个爆燃传感器，便安装在第 2 和第 3 缸之间，图 5-46 中 A 位置。

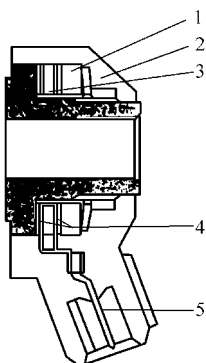


图 5-43 爆燃传感器的构造

1—振动质量 2—压铸质量 3—压电陶瓷体
4—触点 5—电接头

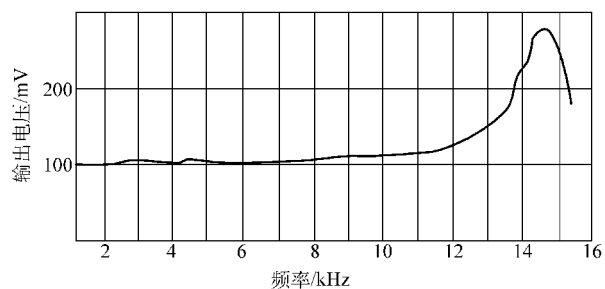


图 5-44 非共振型压电式爆燃传感器输出电压特性

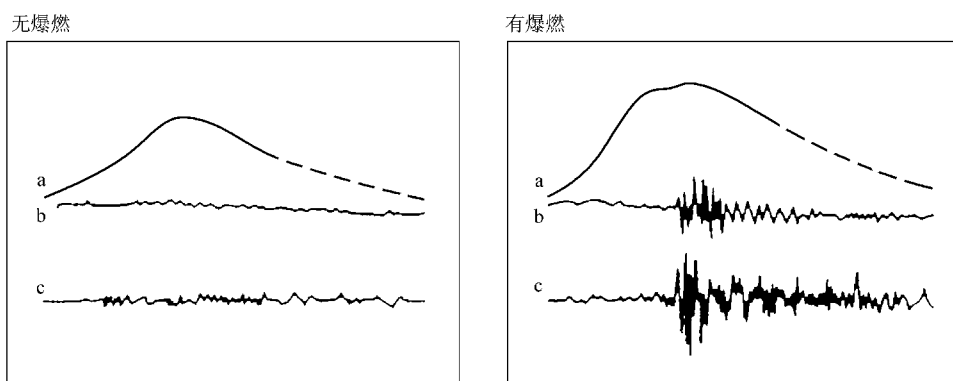


图 5-45 爆燃传感器信号

a—气缸压力信号 b—滤波后的气缸压力信号 c—爆燃传感器信号

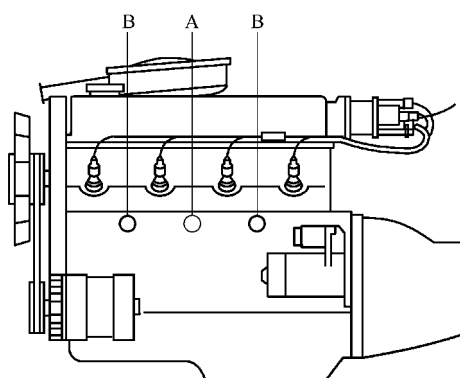


图 5-46 爆燃传感器安装位置

A—爆燃传感器位于第2与第3缸之间 B—若安装两个爆燃传感器，
则分别安装在第1与第2缸之间以及第3与第4缸之间

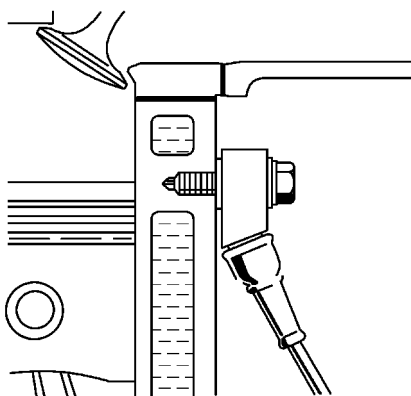


图 5-47 爆燃传感器安装方法

若采用两个爆燃传感器，则分别安装在第1与第2缸之间和第3与第4缸之间，图 5-46

中 B 位置,并按照点火顺序接通。爆燃传感器应安装在机体上对爆燃敏感的部位。

爆燃传感器的中心有圆孔,如图 5-47 所示。一个螺栓穿过这个圆孔将爆燃传感器压紧在机体上,如图 5-48 所示。

3. 爆燃传感器的故障诊断

(1) 爆燃传感器的电路图 爆燃传感器简图和针脚如图 5-48 所示。针脚 1 号和 2 号接 ECU;屏蔽线爆燃端不接,另一端接 ECUA11。

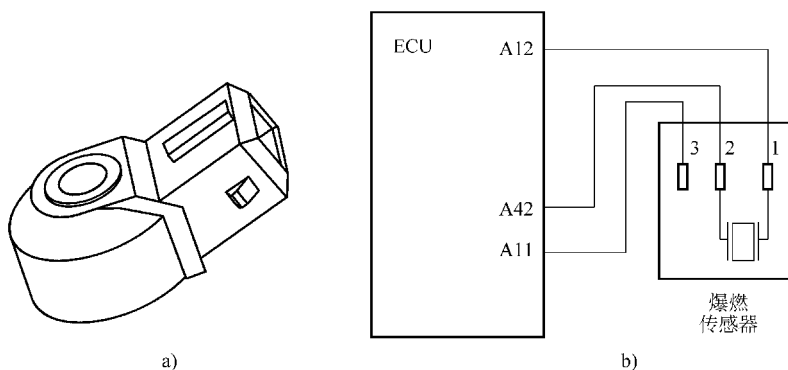


图 5-48 爆燃传感器电路图

(LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统点系统 6371C3 车型)

a) 外观 b) 电路图

(2) 安装注意事项 爆燃传感器的中间有孔,用一个螺栓紧固在气缸体上。对于铝合金、铸铁的气缸体的,均要采用符合技术要求长度的螺栓。拧紧力矩符合技术要求。安装位置应使传感器容易接受来自所有气缸的振动信号。应当通过对发动机机体的模态分析来确定爆燃传感器的最佳安装位置。通常,在四缸发动机中爆燃传感器安装在第 2 缸和第 3 缸之间,在二缸机中安装在第 2 缸的中央。注意不要让各种液体如机油、冷却液、制动液及水等长时间接触到传感器。安装时不允许使用任何类型的垫圈。传感器必须以其金属面紧贴在气缸体上。传感器的信号电缆布线时应该注意,不要让信号电缆发生共振,以免断裂。必须避免在传感器的 1 号和 2 号针脚之间接通高压电,因为这样一来可能会损坏低压电元件。

(3) 爆燃传感器的故障诊断

① 故障现象:加速不良等。

② 一般故障原因:各种液体如机油、冷却液、制动液及水等长时间接触到传感器,对传感器造成腐蚀。

③ 简易测量方法:(卸下接头)把数字万用表打到欧姆挡,两表笔分别接传感器 1#, 2# 针脚,常温下其阻值应大于 $1\text{M}\Omega$ 。把数字万用表打到毫伏挡,用小锤在爆燃传感器附近轻敲,此时应有电压信号输出。

(4) 爆燃传感器的故障诊断应用举例 以丰田雷克萨斯 IS200 型轿车 1G-FE 型发动机无分电器独立点火式电控点火系统为例,检测爆燃传感器。

1 号、2 号爆燃传感器电路如图 5-49 所示。故障码为 P0325 (52), P0330 (55)。

① 检查发动机 ECU 插接器端子 KNK1, KNK2 与车身间导通性。脱开发动机 ECU 插接器 E6 区,检测发动机 ECU 插接器端子 KNK1, KNK2 与车身间电阻,应为 $1\text{M}\Omega$ 或更高,如图 5-50 所示。

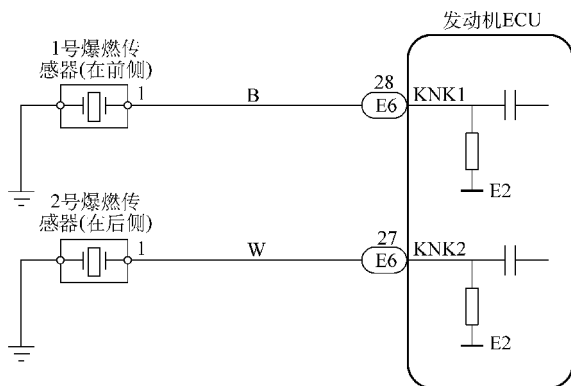


图 5-49 爆燃传感器电路

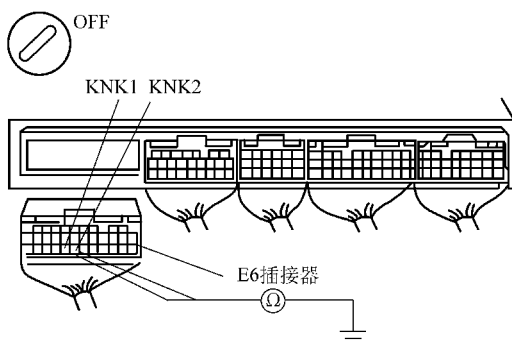


图 5-50 检测发动机 ECU 插接器端子 KNK1、KNK2 与车身间电阻

② 检查爆燃传感器。爆燃传感器的插脚之间都不能导通。若正常，则进行下一步检查；若不正常，则更换爆燃传感器。

③ 检查发动机 ECU 与爆燃传感器间的配线和插接器是否断路或短路。若正常，则进行下一步检查；若不正常则检修或更换配线和插接器。

④ 安装一正常的爆燃传感器时故障是否会出现。若出现，则检查和更换发动机 ECU；若不出现，则更换爆燃传感器。

六、爆燃检测与控制的实施

爆燃检测与控制的框图如图 5-51 所示。这显然是一种闭环控制。控制对象是点火提前角。控制目标是不发生爆燃，或者说，使点火提前角小于爆燃极限。当 ECU 中的分析电路确认发生爆燃时，便减小点火提前角。但是，不到真正发生爆燃的时候是不可能确定爆燃极限的。所以，这种以爆燃极限为界的点火提前角闭环控制总是伴随着零星的爆燃。不过，对涉及的各种车型进行适当的匹配和调整，可使得这种零星的爆燃轻微到耳朵听不到的程度，而且不会损坏发动机。

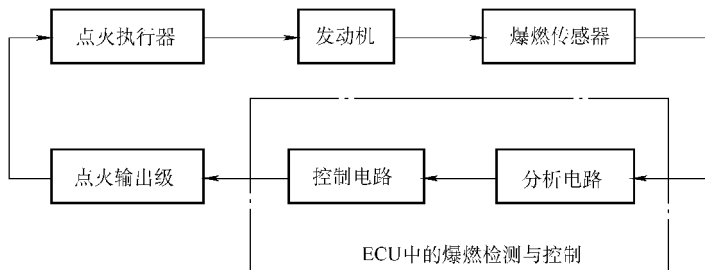


图 5-51 爆燃检测与控制框图

爆燃传感器信号在 ECU 中的分析和处理过程如图 5-52 所示。正常情况下，ECU 以特性场中储存的点火提前角运行。爆燃传感器信号经滤波器滤波后，首先进行模/数转换，然后进入积分器，对每个气缸单独地形成该缸在一定曲轴转角范围内出现的前面若干循环的信号取平均值，并用作参考基准，在比较器内将此平均值跟现时信号值之差与阈值作比较，借

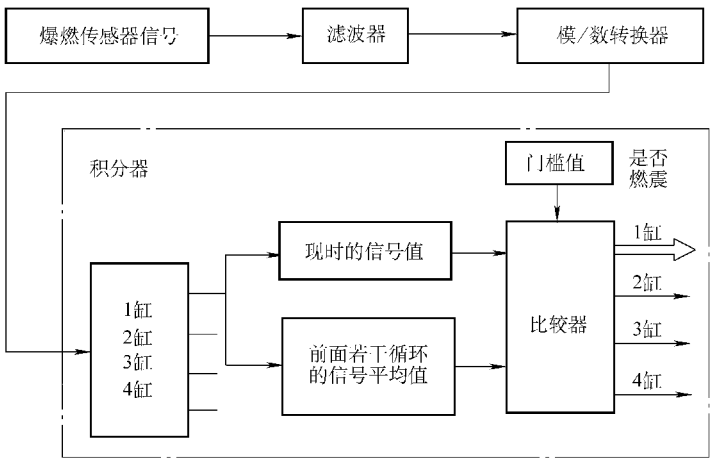


图 5-52 ECU 中的爆燃检测与控制

此确定该缸是否爆燃。如果差值超过阈值，则认为发生爆燃，便将该缸的下次点火正时比特性场数据推迟一个固定的量，例如 1.5℃ A 或 3.0℃ A。如果该缸下次点火仍被确定为爆燃，便将该缸再下次点火正时也推迟一个同样的量。如果不发生爆燃了，便以比推迟点火时小得多的步幅慢慢地增大点火提前角，直到恢复到特性场数据，如图 5-53 所示。

以这种方式可将爆燃安全距离缩减到最小，从而使发动机得到最佳的效率和最低的油耗。控制电路的信号触发点火输出级（图 5-51）。另有安全电路可识别故障和缺陷，从而保证了在爆燃成为一种危险现象的区域内出现故障时发动机不能运行。这种安全监测系统有两种电路：监测传感器、传感器导线和分析电路的电路；监测微型计算机的电路。

必须指出，同一发动机中由于各缸制造偏差、控制上的偏差和结构因素，各缸爆燃倾向不会完全相同，所以爆燃的识别和控制是分缸进行的。各缸的爆燃极限和阈值也可以不同。

ECU 中可以储存着不止一种点火提前角特性场。当因使用较低辛烷值的汽油而经常发生爆燃时，ECU 便切换到另一个特性场。

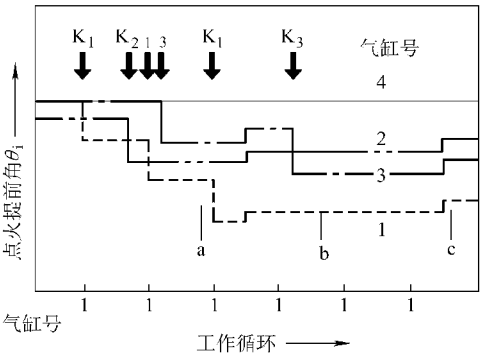


图 5-53 爆燃控制过程

（四缸机中带点火干预的控制算法）

K_1, K_2, K_3 —1, 2, 3 缸爆燃；4 缸无爆燃

a—推迟 b—等待点火提前的间隔 c—提前

第六节 点火提前角的计算

点火提前角计算框图如图 5-54 所示。

点火提前角的计算要兼顾转矩、排放、油耗、爆燃倾向和驱动性；点火提前角的计算要和喷油时间的计算结合起来考虑，以便达到预期的性能；在设有与混合气生成有关的控制项

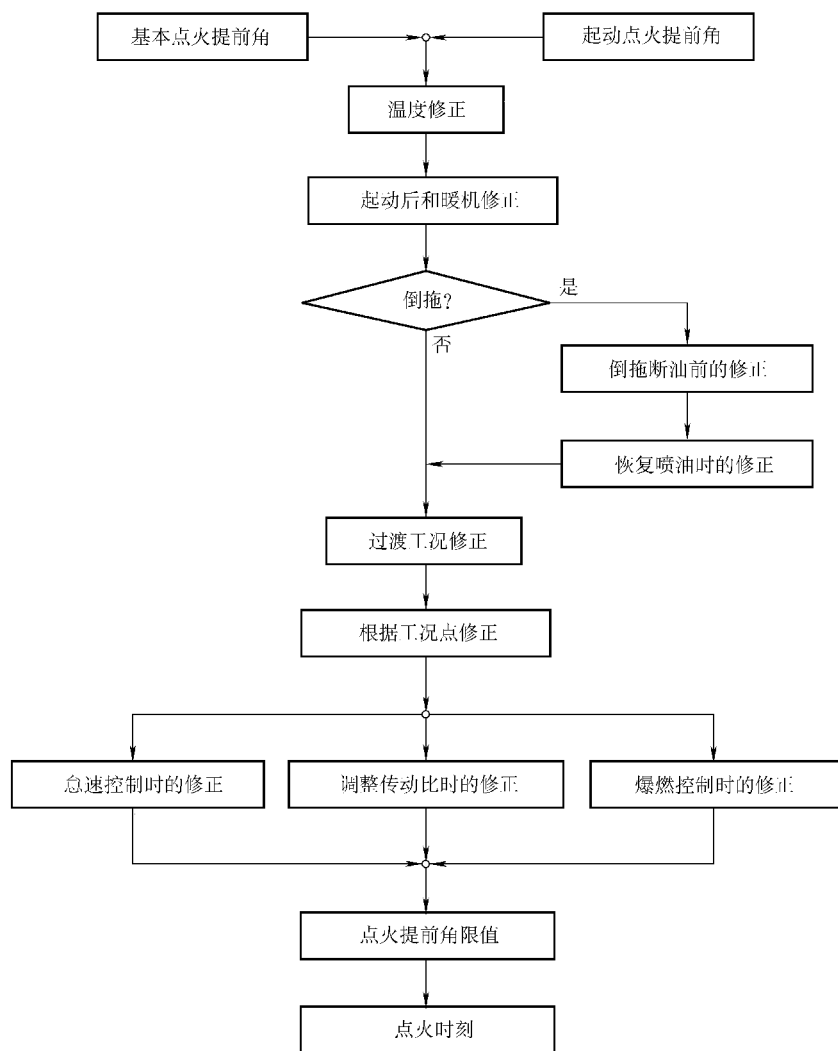


图 5-54 点火提前角计算框图

目如二次空气控制、排气再循环控制等的系统中，以及在动态行驶如加速时，要相应地对点火提前角进行专门的修正。

一、基本点火提前角

根据发动机的负荷和转速可从储存在 ECU 中的一个特性场调出基本点火提前角数据，如图 5-55 所示。这些基本点火提前角数据是从油耗和排放方面进行优化的。

若是启动工况，则以启动点火提前角代替基本点火提前角。

二、启动点火提前角

启动点火提前角的最佳值取决于启动机的转速和发动机温度。在冷发动机和低

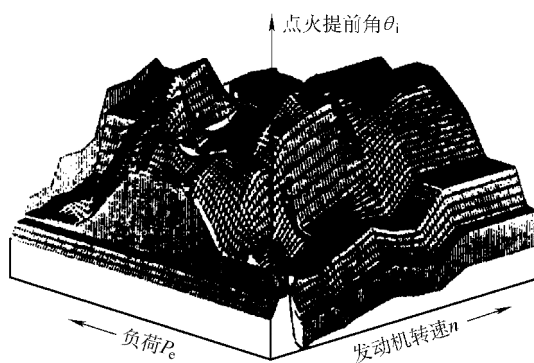


图 5-55 基本点火提前角特性场

起动转速的情况下，理想的点火提前角接近零。如果点火提前角过大，例如超过 10°CA ，而且起动转速很低的话，则可能产生损坏起动机的逆向转矩，起动变得困难，甚至不可能。

三、温度修正

发动机温度和进气温度对点火提前角的优化有重要的影响。一方面，随着发动机温度和进气温度的升高，在其他条件不变的情况下，火焰传播速度提高，点火提前角应减小；例如与冷起动相比，发动机热起动时在比较小的点火提前角下就会出现逆向转矩；另一方面，发动机温度和进气温度的升高会引起爆燃倾向加剧，也必须减小点火提前角。

四、起动后和暖机修正

起动结束后，ECU 便从基本点火提前角特性场调出数据并作修正。起动后阶段在加浓混合气的同时，也要提前一些点火，以便使发动机平稳地运转。增加点火提前角可以减少一些混合气加浓的程度，因而降低油耗。发动机温度越低，起动后阶段点火提前角增大的程度越大。而且经过一段短暂的时间后就恢复到正常的点火提前角，所以是根据时间界定的。

暖机阶段可跨越怠速、倒拖、部分负荷和全负荷各工况，是根据发动机温度界定的。当发动机温度处于暖机温度范围时，点火提前角须根据发动机温度进行修正，但这种修正的数学模型分别依照怠速、倒拖、部分负荷和全负荷各工况而定。

五、倒拖修正

进入倒拖工况便要切断喷油。如果突然停止喷油，发动机转矩突然降至零，会对汽车产生相当于突然制动一下的效果，影响驱动性。为了使转矩逐步降低，要在进入倒拖后先逐步减小点火提前角，最后才切断喷油。

当转速下降到一定程度必须退出倒拖工况时，根据同样的道理，恢复喷油后先要采用较小的点火提前角，然后逐步将点火提前角增大到正常值，以便使转矩逐步增加。

六、过渡工况修正

当负荷变动量超过一定值时，就发生一个附加的点火提前角调整量，ECU 借此阻止在采用正常的点火提前角调整量时本来会在某些发动机的若干个循环内发生的强烈的加速爆燃，同时减少加速时本来会在废气中出现的高的 NO_x 组分。

在某些情况下，点火提前角的阶跃式改变会产生使汽车突然制动或突然急冲一下的效果。在这些情况下，点火提前角的改变应当慢慢地进行。

在另一些情况下，例如从部分负荷过渡到全负荷时，要求点火提前角急速减小以避免爆燃。此时 ECU 允许点火提前角急速改变。

七、根据工况点修正

根据工况点是落在部分负荷范围或全负荷范围而进行相应的修正。

1. 部分负荷范围

部分负荷范围数据匹配的主要目标是经济性，兼顾排放和爆燃性能。在采用略稀的混合气的同时，要尽量增大点火提前角以求得尽可能高的动力性，当然这一切都要在排放达到标准，并且不发生爆燃的前提下进行。所以，部分负荷范围的点火提前角与基本点火提前角一致，不必加以专门的修正。

2. 全负荷范围

全负荷范围内，发动机应输出最大功率，经济性则退居次要地位。所以，全负荷范围内在混合气加浓的同时，应在不发生爆燃的前提下将点火提前角调整到最大转矩点。如果说在

一个点火提前角机械控制的系统中无法在全部转速范围内都按这一原则调整点火提前角的话,那么在点火提前角电子控制的系统中便有可能完全自由地选择点火提前角,而且最大扭矩的实现不受发动机零部件磨损的影响。

如前所述,全负荷范围内潜伏着较大的爆燃危险。爆燃极限与发动机温度和进气温度有关。在点火提前角电子控制的系统中,ECU可在有爆燃危险的负荷范围内根据温度修正点火提前角,并通过爆燃闭环控制缩短爆燃安全距离,从而提高功率,降低油耗。

八、怠速控制时的修正

怠速工况数据匹配的目标是在保证发动机运转稳定的前提下尽量降低怠速转速,以便降低油耗和排放。怠速时增大点火提前角可提高转矩,使发动机运转趋于稳定,这就为降低怠速转速提供了可能性;或者,在相同的怠速转速下可减少喷油量。

在传统的点火提前角机械控制系统中,点火提前角由真空提前和离心提前装置决定,怠速时节气门是全闭的,与起动时相同,进气歧管的真空度与起动时相近;怠速时转速虽然比起动时高一些,但差别不大。所以,怠速时的点火提前角只比起动时略大一点。而如前所述,起动时的点火提前角必须保持较低的水平,这就牵制了怠速时点火提前角的增大。这种系统中怠速混合气必须加浓,保持 $\lambda < 1$,才能保证发动机稳定地运转在规定的怠速转速。

在点火提前角电子控制的系统中,怠速时的点火提前角完全与起动时的点火提前角脱钩,怠速时的点火提前角可以大幅度地增大,因而怠速混合气可保持 $\lambda = 1$,不仅节省了燃油,而且为采用 λ 闭环控制、提高三元催化转化器的转化效率创造了条件。

九、调整传动比时的修正

在电子控制的变速器调整传动比时,以电子方式减小点火提前角,借此使发动机转矩减小。

全负荷时调整传动比特别不利,因为发动机转矩太大,调整传动比的操作不平稳。减小点火提前角后,全负荷时调整传动比就跟部分负荷时一样。调整传动比完成后,点火提前角便恢复正常的数值。

十、点火提前角限值

点火提前角不得超出规定的最大值和最小值。点火提前角太大,即点火太早,会产生逆向转矩;点火提前角太小,即点火太迟,甚至在上止点后若干度才点火,则点火时已进入膨胀行程。两种情况都会使发动机的经济性和动力性大幅度下降。

第七节 闭合角电子控制

能量转换是点火系统的功能之一,是依靠点火线圈实现的。在有触点点火系统中,当断电器触点闭合时,电流从蓄电池出发经过闭合的断电器触点流过点火线圈的初级线圈,于是电能转变成磁能储存在点火线圈内,以便在适当的时刻使断电器触点断开,点火线圈内储存的磁能又转变成电能,使火花塞放电。从断电器触点开始接通到重又断开的这一段时间称为闭合时间,这段时间内转过的曲轴转角称为闭合角。这段时间的特征是,点火线圈的初级线圈与蓄电池形成通路。在无触点点火系统和无分电器点火系统中虽然不存在断电器触点,但是通过电子电路使点火线圈的初级线圈与点火功率输出级之间依然不断交替地形成断路和通路,能量转换的原理与传统的点火系统并无差异,所以,闭合角的概念就被引伸到无触点点

火系统和无分电器点火系统中,用于表述点火线圈的初级线圈与点火功率输出级形成通路这一段时间内转过的曲轴转角。

火花塞提供的点火能量取决于储存在点火线圈中的能量,而后者又取决于初级电流和初级线圈的电感。初级线圈的电感固然是一个常数,但初级电流在初级线圈与功率输出级形成通路之后的充磁过程中却是随着时间的推移而逐步增大的,直到最终充磁结束时达到一个限定的电流为止,如图 5-56 所示。为了使火花塞能够提供尽可能大的点火能量,应使闭合角足够大,以致它所对应的时间超过点火线圈充磁所需时间。也就是说,初级电流应在点火之前达到限定的最大值。但是,闭合角过大并无好处。因为现代高性能点火线圈的初级线圈直流电阻不足 1Ω ,充磁极快。初级电流达到最大、充磁结束之后,初级电流的能量全部消耗在初级线圈的直流电阻上并转变成热能,既浪费了能量,又使点火线圈升温,甚至烧毁。理想的状况是,使初级电流在点火时刻之前一个很短的瞬间达到限定的最大。初级电流的增加速率与蓄电池电压有关,而在不同的转速下要达到相同的闭合时间的话,闭合角也应不同。所以,闭合角不应该是一个固定值,而要根据蓄电池电压和发动机转速优化。显然,在依靠断电器触点触发电火的有触点点火系统中,断电器的凸轮形状惟一地确定了闭合角的大小,所以谈不上闭合角的控制。反之,在无触点点火系统中,即使点火提前角是机械控制而不是电子控制的,也能实施闭合角的电子控制。

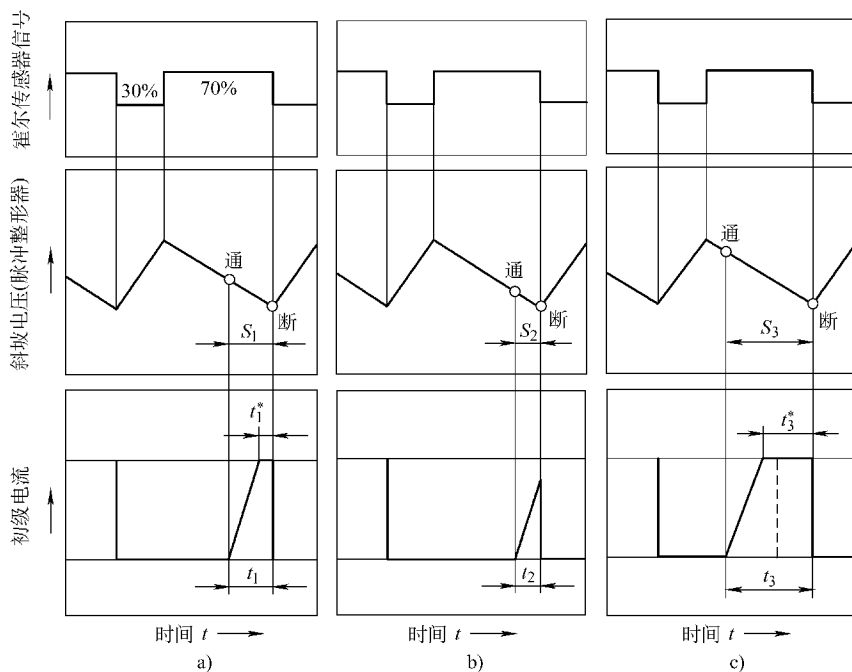


图 5-56 霍尔传感器实现的闭合角模拟控制

a) 闭合角 S_1 正确 b) 闭合角 S_2 太小 c) 闭合角 S_3 太大

t_1 , t_2 , t_3 —向点火线圈的初级线圈充磁的功率输出级导通时间

t_1^* —初级电流保持时间正确 t_3^* —初级电流保持时间太长

闭合角控制

闭合角控制也称点火线圈一次绕组通电时间控制。对于电感储能式点火系统,点火次级

绕组产生的击穿电压取决于一次绕组断开瞬间流过线圈的电流大小。如果在一次绕组断开瞬间,通过线圈的电流已达到饱和电流,即按欧姆定律得出的电流值,那么在点火线圈的次级就能感应出最高的击穿电压。由于电感线圈的阻抗作用,在电压不变的条件下,从一次绕组接通开始,流过线圈的电流按指数规律由零开始逐渐增大,需要经过一定的时间后,才能达到饱和电流。为了满足汽油发动机对点火系统在击穿电压和点火能量上的要求,电控点火系统的闭合角控制,以一次绕组流过电流在断开瞬间达到饱和电流为主要目标,这样不仅能满足汽油发动机对点火系统的要求,同时也能避免一次绕组过热,从而节约电能。

由于闭合角是以曲轴转角来度量的,对于不同的转速,单位曲轴转角所代表的绝对时间各不相同。另外,当电源电压发生变化时,一次绕组达到饱和电流所需的绝对时间也将发生变化。为了达到闭合角控制的主要目标,通过试验把不同的蓄电池电压和不同转速下,使一次绕组流过电流达到饱和所需要的闭合角,编制成闭合角数据表(也称闭合角脉谱图)储存在ECU中,如图5-57所示。汽油发动机工作时,ECU根据输入蓄电池电压信号和汽油发动机转速信号,从闭合角数据表中选出相应的闭合角,对一次绕组通电时间进行控制。

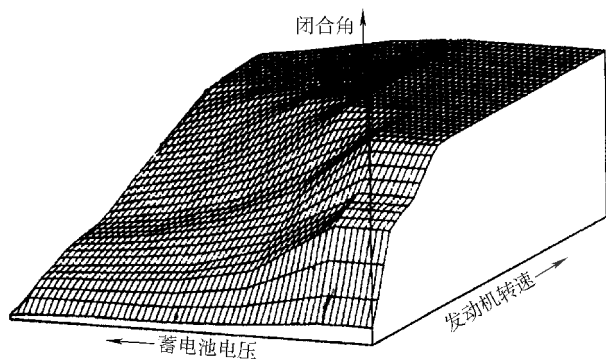


图 5-57 闭合角与汽油发动机转速和蓄电池电压的关系

思考题

1. 负荷和转速对汽油机的着火落后期和火焰传播期各有什么影响?为什么?
2. 进气温度和进气压力对汽油机的着火落后期和火焰传播期各有什么影响?为什么?
3. 何谓正常燃烧期和正常燃烧角?两者有何关系?为什么要引入正常燃烧角的概念?
4. 何谓点火提前角?它和正常燃烧角有何关系?如果单从动力性和经济性考虑,多数情况下应如何调整点火提前角?
5. 点火提前角对汽油机动力性、经济性和排放有什么影响?
6. 点火提前角优化的原则是什么?
7. 任何点火系统都必须具备的是哪些功能?
8. 试列举点火触发的各种方式。其中哪些触发方式为点火正时电子控制提供了可能?
9. 点火正时机械控制是依靠哪两个装置实现的?这两个装置分别对发动机的哪两个参数做出响应?
10. 点火正时电子控制与燃油定量电子控制相比,什么信息对前者是必不可少的,而对后者不很重要?
11. 桑塔纳轿车化油器发动机和第一代电子控制发动机中的分电器都有霍尔传感器。两者在原理、结构和功能上有何差别?这两种分电器的外形有何差别?
12. “电子点火”和“点火正时电子控制”这两个概念有何差别?
13. 装脉冲盘感应传感器的点火系统中如何实现点火触发、正时调节和高压分电?

14. 无分电器点火有哪几种类型？如何实现？有什么好处？
15. 通常情况下，火花塞的中心电极和搭铁电极中哪一个电极应接负极？极性接反有什么后果？为什么采用双火花点火线圈时，两个火花塞之中必有一个为反极性？
16. 三缸机、四缸机和六缸机各可采用哪些点火线圈实现无分电器点火？
17. 爆燃有什么内部特征和外部特征？
18. 爆燃分成哪两种？两者有何差别？
19. 从燃烧角度来看，爆燃发生的条件是什么？
20. 过量空气系数 λ 和残余废气系数 γ 影响爆燃的规律各有什么特点？
21. 进气温度和进气压力对爆燃有什么影响？
22. 为什么增压汽油机和高压压缩比汽油机更容易发生爆燃？
23. 为什么四气门汽油机不容易发生爆燃？
24. 为什么缸径扩大容易导致爆燃？
25. 为什么燃烧室沉积物会促成爆燃？
26. 负荷和转速对汽油机爆燃有什么影响？为什么？
27. 为什么增大点火提前角会促成爆燃？
28. 对确定的发动机和燃油而言，经调整后能控制爆燃的惟一参数是什么？
29. 什么是爆燃极限和爆燃安全距离？为什么要缩小爆燃安全距离？缩小爆燃安全距离的切实有效的措施是什么？
30. 爆燃传感器测定的物理量是什么？安装在何处？如何安装？爆燃传感器的传感元件是什么？
31. 爆燃信号的频率范围是多少？为什么能将爆燃信号从其他信号中分离出来？
32. 试简述爆燃检测与控制的过程。
33. ECU 中储存着的基本点火提前角特性场是根据什么确定的？能否用于起动工况？
34. 起动工况的点火提前角超过 10°CA 可能带来什么后果？
35. 热起动与冷起动相比，点火提前角应有何差别？为什么？
36. 起动后阶段应对基本点火提前角作何修正？根据什么参数控制修正量？
37. 起动后阶段和暖机阶段各自如何界定？
38. 暖机阶段点火提前角控制有何特点？根据什么参数对点火提前角进行修正？
39. 倒拖时，点火正时电子控制应如何与燃油定量电子控制相配合？为什么？
40. 与稳态工况相比，加速时应应对点火提前角如何进行修正？为什么？
41. 从部分负荷过渡到全负荷时要求点火提前角如何改变？为什么？
42. 怠速时电子控制系统怎样修正点火提前角？为什么要这样？
43. 电子控制的变速器调整传动比时怎样修正点火提前角？为什么要这样？
44. 为什么要对点火提前角设置上、下限值？
45. 何谓闭合角？其物理意义在有触点和无触点点火系统中有何区别？
46. 闭合角对发动机工作过程的重要意义何在？
47. 为什么说闭合角太大、太小都不好？对确定的点火系统而言，闭合角的最佳值取决于哪些参数？为什么？
48. 依靠断电器触点触发的点火系统中能不能根据转速调节闭合角？为什么？
49. 闭合角的数字式电子控制用于什么场合？怎样实施？

第六章 汽油机其他电子控制项目的检测与诊断

燃油系统和点火系统电子控制是汽油机中最基本、最重要的电子控制项目。这两个电子控制项目使汽油机的经济性、动力性和排放比化油器发动机有了非常显著的改进。但是，现代发动机面临着越来越严格的排放法规，仅仅依靠燃油系统和点火系统电子控制已经不能满足要求，所以发展了许多其他电子控制项目，其中有些电子控制项目还大大改进了经济性和动力性。

第一节 二次空气电子控制的检测与诊断

带三元催化转化器的发动机中，80%以上的HC和CO排放产生于发动机起动及此后的最初几分钟即暖机阶段，因为这个阶段混合气偏浓，而三元催化转化器又尚未达到它的工作温度300℃~350℃。汽车在都市中行驶时经常受阻，而且路程较短，正是这种情况。为了在此阶段加热三元催化转化器，可采取推迟点火的方法。这种方法有助于达到Euro II（欧II）排放标准。但为了达到Euro III排放标准，就要采取其他措施，其中包括二次空气。

一、二次空气及其工作机理

所谓二次空气就是在每缸排气门后面紧挨着排气门的地方输入空气。一方面，可使高温废气中所含HC和CO在排气管中补氧燃烧；另一方面，废气中的HC和CO燃烧产生的热量又使三元催化转化器升温到工作温度。

随着二次空气量的增大，废气中HC和CO补氧燃烧的比例不断上升，HC可达20%，CO可达40%。但是NO_x会升高约5%，如图6-1所示。二次空气对燃油消耗毫无影响。

二次空气对HC和CO排放的净化效果在很大程度上受混合气过量空气系数的影响。混合气越浓，净化效果越大。过量空气系数超过1.0时，二次空气对HC净化效果很小，对CO则无净化效果，如图6-2所示。

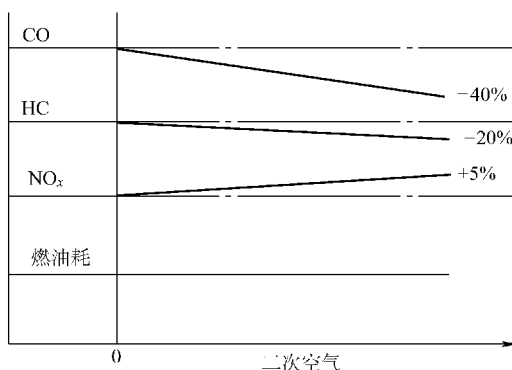


图 6-1 二次空气对暖机阶段排放的影响

二、二次空气电子控制系统的组成

二次空气电子控制系统主要由电动二次空气泵、气动截止阀 2、单向阀 3 和电磁换向阀 4 组成，如图 6-3 所示。

暖机阶段电子控制单元发出指令使电动二次空气泵 1 旋转鼓风，同时发出指令使二位三通电磁换向阀 4 将真空度储存器 5 和气动截止阀 2 的真空接头连通。真空度储存器从进气歧

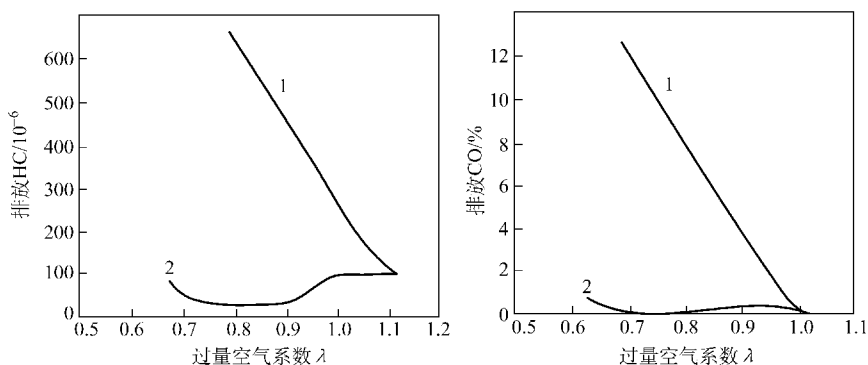


图 6-2 二次空气 HC 和 CO 排放的净化效果与过量空气系数 λ 的关系
1—无二次空气 2—有二次空气

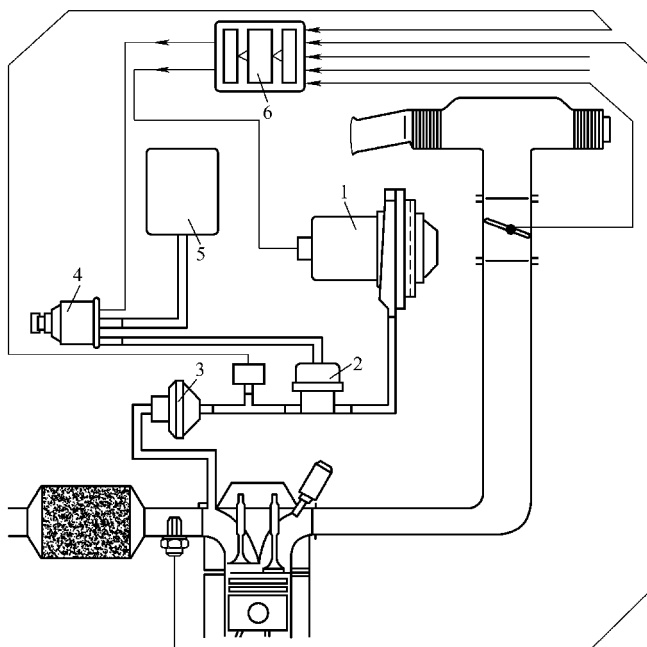


图 6-3 二次空气电子控制系统

1—电动二次空气泵 2—气动截止阀 3—单向阀 4—电磁换向阀
5—真空度储存器 6—电子控制单元

管或真空泵获得真空度，这个真空度通过电磁转向阀传到气动截止阀并将它打开，二次空气便从电动二次空气泵经气动截止阀 2 和单向阀 3 流往排气系统。经过一定时间，三元催化转化器温度大致达到 300°C 时，电子控制单元便发出指令使二位三通电磁换向阀 4 将气动截止阀 2 的真空接头改成和大气连通，气动截止阀立即将二次空气的通路截断，电动二次空气泵也停止转动。二次空气系统工作时间的长短由电子控制系统根据负荷、转速、三元催化转化器温度、二次空气压力和氧传感器信息确定。

三、二次空气及相关参数的控制策略

① 二次空气系统只在起动后的暖机阶段运行。一旦三元催化转化器达到工作温度，二

次空气系统便退出运行。

② 二次空气系统在工作过程中并不控制二次空气流量。只是在组成二次空气系统时根据发动机的结构参数选定二次空气泵和单向阀阀板上的通孔直径和数量，借此调整二次空气流量，达到与发动机相匹配的目的。

③ 二次空气输入排气系统时，混合气要适当加浓，以便使废气中有较多的 HC 和 CO 与二次空气进行燃烧，使三元催化转化器迅速加热。

④ 二次空气输入排气系统时，点火要适当推迟，以便提高排气温度，确保废气中的 HC 和 CO 能与二次空气进行燃烧。

第二节 废气再循环系统的故障检测与诊断

一、废气再循环及其作用机理

1. 废气再循环概述

现代排放控制理念不仅要求控制有害物质的排放，而且要求限制 CO_2 的排放，以便阻止全球气候变暖的趋势。这就要求降低油耗，提高发动机热效率。但是，通过优化燃烧过程提高热效率的方法通常会导致燃烧过程加速，最高燃烧温度升高，造成 NO_x 排放增加。在加速工况和全负荷工况，这个问题尤为突出。为了既改善热效率又降低 NO_x 排放，办法之一就是 will 将一部分废气在节气门后面注入进气系统，送回气缸，这就是废气再循环（Exhaust Gas Recirculation 缩写为 EGR）。返回气缸的废气使混合气稀释，降低了最高燃烧温度，进而降低 NO_x 排放。进气管与废气管中 CO_2 的浓度之比称为废气再循环率（EGR 率）。

2. 废气再循环分类

（1）内部废气再循环 在进、废气门分别由两根凸轮轴单独操纵的发动机中，通过根据运行工况调节进、废气凸轮相位的方法可在气门叠开阶段产生内部废气再循环。内部废气再循环实际上涉及气门正时的电子控制。

（2）外部废气再循环 通过进气门将这部分废气混入空气中送回气缸。这叫外部废气再循环，此时混入进气系统的废气是冷的。

3. 废气再循环对汽油机油耗和排放的影响

废气再循环对汽油机油耗和排放的影响如图 6-4 所示，当过量空气系数 λ 保持恒定不变时（曲线 2），随着 EGR 率的增加，油耗先是略有下降，后又上升；HC 排放增加，而 NO_x 排放明显下降。从总体上看，EGR 率对油耗和排放的影响趋势与过量空气系数的影响趋势相似。因为返回气缸的废气使得尚未完全氧化的可燃成分的反应机率减少，“火焰激冷”效应增强。其结果是 HC 和 CO 排放增加。

有资料表明，废气再循环可使油耗和 CO 排放最多降低 8%，但若匹配不当，也可能使 CO 排放增加达 3%；可使 HC 排放增加达 8%；可使 NO_x 最多降低达 40%，如图 6-5 所示。

二、汽油机外部废气再循环电子控制系统的组成

汽油机外部废气再循环电子控制系统的组成如图 6-6 所示。废气通过废气再循环阀 8 流入进气系统。再循环废气量在总的废气量中所占比例，以及废气再循环率，通过改变废气再循环阀 8 的流通截面积加以控制。废气再循环阀利用由节气门后面的进气歧管提供的真空度控制开度。而这个真空度由电气转换器 6 根据电子控制单元的信号加以控制。

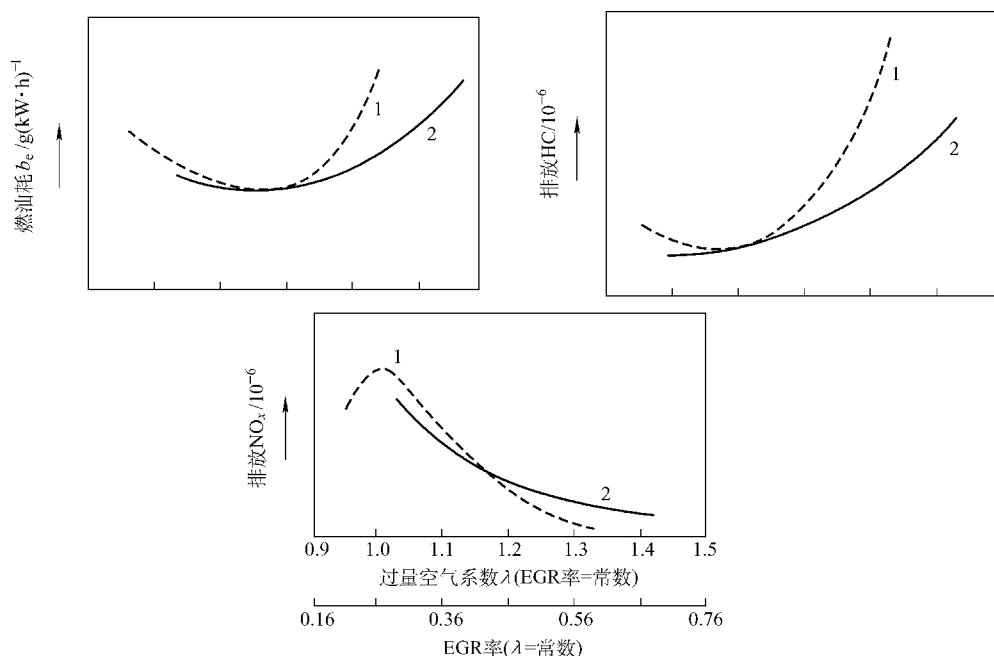


图 6-4 废气再循环对汽油机油耗和排放的影响

1—过量空气系数 λ (EGR 率 = 常数) 2—EGR 率 ($\lambda = \text{常数}$)

三、汽油机外部废气再循环电子控制

制系统的工作原理

1. EGR 率的定义

废气再循环中引入的废气量必须适当,若引入废气量太少,对降低的效果不明显,若引入废气量过多,不仅混合气着火性能变差,汽油发动机输出功率下降,而且还会使汽油发动机排放性能恶化。对于废气再循环过程引入的废气量,一般用 EGR 率来表示, EGR 率的定义如下:

$$\text{EGR 率} = \frac{\text{EGR 气体流量}}{\text{吸入空气量} + \text{EGR 气体流量}}$$

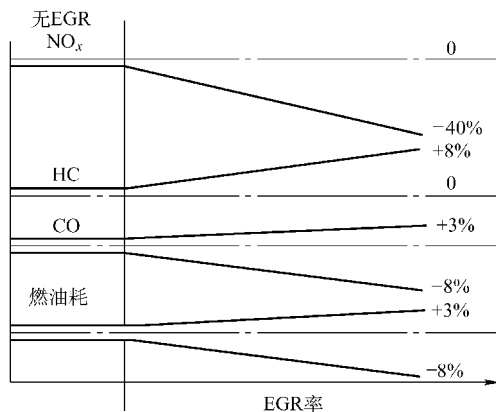


图 6-5 废气再循环对汽油机油耗和排放的可能范围

对于大多数汽油发动机,废气再循环的 EGR 率控制在 6% ~ 15% 范围较适宜。另外,虽然适量废气再循环可以有效地降低 NO_x 排放量,但也存在影响混合气着火性能和汽油发动机输出功率的缺憾,因此一般在汽油发动机 NO_x 排放量较多的运行工况,才进行废气再循环。而在汽油发动机的起动、暖机、怠速、低转速小负荷、大负荷或高转速及加速等工况,由于废气再循环将明显影响汽油发动机性能,因此在这些运行工况不进行废气再循环。

如前所述,二次空气可降低 HC 和 CO 排放,而废气再循环可降低 NO_x 的排放。如果两者合并使用,则可谓优势互补,使汽油机排放在三元催化转化器之前就降低 10% ~ 40%。

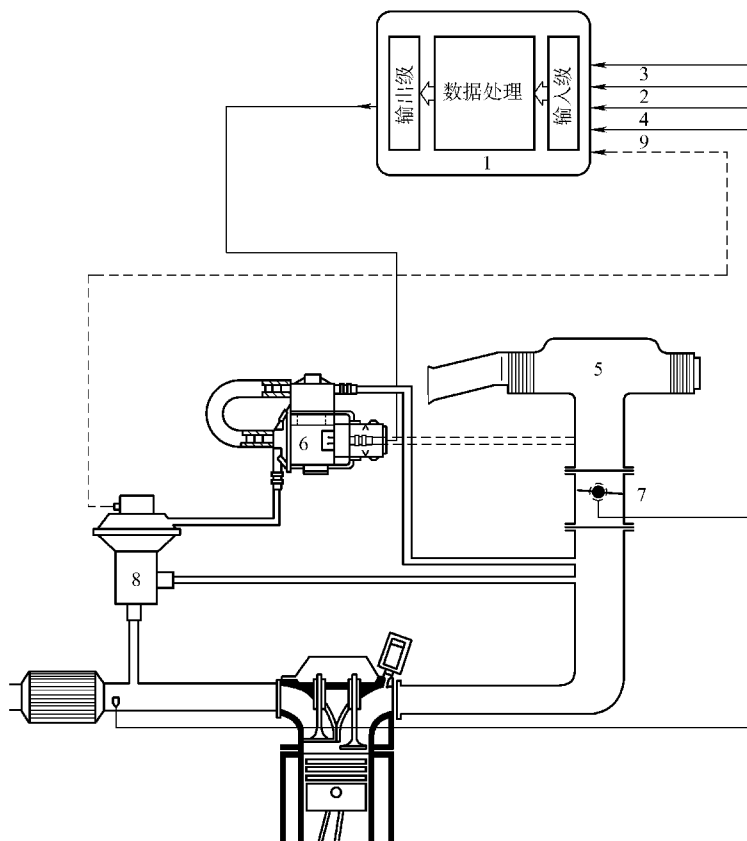


图 6-6 汽油机外部废气再循环电子控制系统

1—电子控制单元 2—负荷信号 3—转速信号 4—发动机温度信号 5—空气滤清器 6—电气转换器（模拟式）
7—节气门位置传感器 8—废气再循环阀（带或不带位置传感器） 9—废气再循环阀位置信号

2. 废气再循环系统的基本工作原理

废气再循环系统的构成原理如图 6-7 所示。系统由废气再循环阀 1（EGR 阀）、真空电磁阀 3 及其连接管道和软管组成。进行废气再循环时，一部分废气从废气管经过 EGR 阀进入进气管与新鲜空气混合。EGR 阀的开启和关闭由阀体上方真空室的真空度控制，当需要进行废气再循环时，在 ECU 控制下，真空电磁阀开启，把节气门下游的真空引入 EGR 阀上方的真空室，EGR 阀开启，废气管中的部分废气经过 EGR 阀进入进气管，周而复始地进行再循环。当不需要进行废气再循环时，在 ECU 控制下真空电磁阀关闭，并把节气门上游的进气压力引入 EGR 阀的真空室，EGR 阀在回位弹簧的作用下关闭，废气再循环停止。

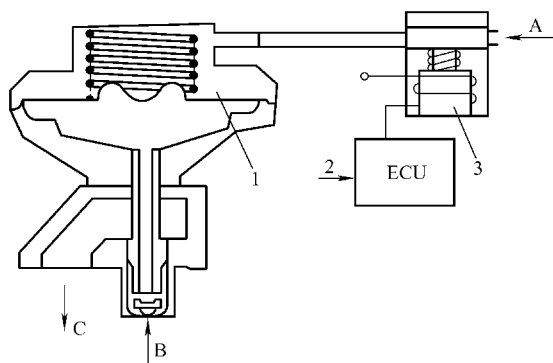


图 6-7 废气再循环系统构成原理图

A—进气歧管真空 B—废气管废气 C—至进气管

1—EGR 阀 2—传感器输入信号 3—真空电磁阀

在废气再循环的基本概念中曾指出,既要有效地减少的 NO_x 生成量,同时又不能对汽油发动机的其他性能造成较大的不利影响,除了有些工况不能进行废气再循环,还必须对废气再循环过程的 EGR 率进行控制。事实上,即使在需要进行废气再循环量的工况,固定的 EGR 率也是不适宜的,比较理想的情况是,废气再循环过程中 EGR 率应随汽油发动机运行工况和状态相应变化,这样既能有效降低 NO_x 生成量,又能把废气再循环对汽油发动机性能造成的不利影响减小到最低程度。这种较理想的可变 EGR 率废气再循环技术措施,只有采用电控技术才能实现。

3. 两种电控可变 EGR 率废气再循环系统简介

(1) 电控真空阀驱动可变 EGR 率废气再循环系统 电控真空阀驱动可变 EGR 率废气再循环系统如图 6-8 所示。该系统由 EGR 阀 2, EGR 阀升程位置传感器 3 和 ON—OFF 真空电磁阀 4 等组成。EGR 阀升程位置传感器用来检测 EGR 阀开度大小,并将 EGR 阀开度转换为相应的电压信号,输送到 ECU。ON—OFF 电磁阀由两个电磁阀组成,这两个电磁阀中任何一个处于开启状态,另一个必处于关闭状态,这就是为什么称其为 ON—OFF 的电磁阀原因。在这两个电磁阀中,一个控制 EGR 阀真空室与节气门上游进气管之间的连接通道,若这个电磁阀处于开启状态,则把进气压力引入真空室,将使 EGR 阀关闭。另一个电磁阀控制 EGR 阀真空室与节气门下游进气歧管之间的连接通道,若这个电磁阀处于开启状态,则把进气歧管的真空引入真空室,将使 EGR 阀开启。当汽油发动机进行废气再循环时,ECU 首先根据汽油发动机转速和负荷,预先确定 EGR 阀的目标升程,然后通过交替改变两个 ON—OFF 电磁阀工作状态,对 EGR 阀的升程进行调整,直到位置传感器检测出的 EGR 阀实际升程与目标升程相同为止。

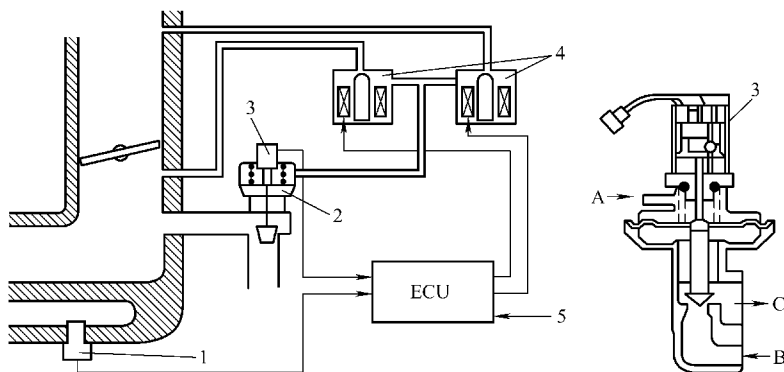


图 6-8 电控真空阀驱动可变 EGR 率废气再循环系统

A—进气歧管真空 B—废气管废气 C—至进气管

1—冷却液温度传感器 2—EGR 阀 3—EGR 阀升程位置传感器

4—ON—OFF 真空电磁阀 5—其他传感器输入信号

在不进行废气再循环的工况,ECU 使控制 EGR 阀真空室与节气门上游进气管连接通道的电磁阀保持开启状态,由于进气压力的引入,使 EGR 阀完全关闭。

(2) 电控比例电磁阀驱动可变 EGR 率废气再循环系统 图 6-9 所示为一采用比例电磁阀控制 EGR 开度的可变 EGR 率废气再循环系统。当汽油发动机进行废气再循环时,ECU 根据当前运行工况和相关传感器的输入信号确定 EGR 率 (EGR 阀的目标升程),先按预先设定的通断电比例使比例电磁阀将 EGR 阀打开。然后,ECU 根据位置传感器测的 EGR 阀实际

开度,不断调整比例电磁阀的通断电比例,直到 EGR 阀达到预先设定的开度为止。采用电磁阀驱动 EGR 阀,不仅提高了 EGR 阀的响应速度(与真空阀驱动的 EGR 阀相比,响应速度提高了 10 倍)和 EGR 率的控制精度,同时也使废气再循环系统的诊断故障提供了方便,目前电磁驱动 EGR 阀的使用已越来越多。电磁驱动 EGR 阀的主要不足是电磁线圈长期在高温下工作,工作环境较差,对电磁线圈的耐高温性能有较高的要求。

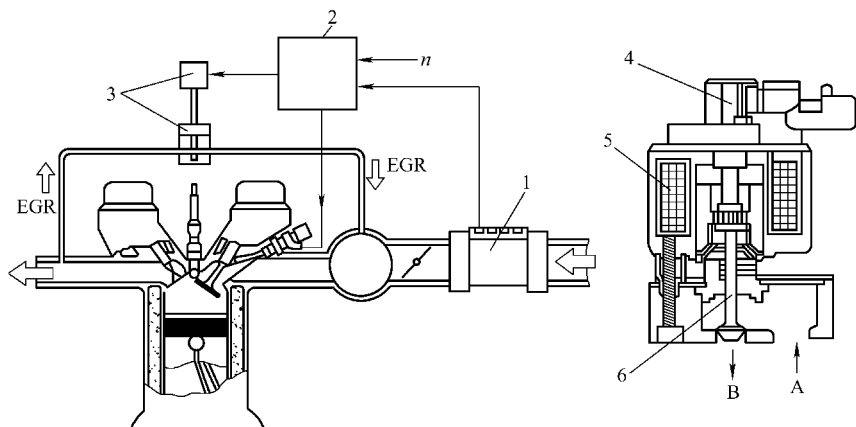


图 6-9 电控比例电磁阀驱动可变 EGR 率废气再循环系统

A—废气管废气 B—至进气管 1—空气流量计 2—ECU 3—EGR 阀总成
4—EGR 阀升程位置传感器 5—电磁线圈 6—阀门总成

四、汽油机外部废气再循环的控制策略

EGR 率显然应当随负荷和转速而改变。特别是随着负荷的增大,为了发出最大的功率,应使混合气加浓,此时当然要将 EGR 率减小,直至完全关闭 EGR 阀。此外,怠速和暖机时也不应该有 EGR 气流。所以对 EGR 的控制也是以特性场方式进行的,即根据负荷和转速决定 EGR 阀的开度。由于 EGR 的作用机理是稀释混合气,所以要根据入信号对 EGR 控制数据进行修正。

五、废气再循环系统的故障诊断与检测

废气再循环系统的故障诊断与检测

(1) EGR 系统故障引起的发动机故障症状及可能的原因

① 第一类故障有:发动机爆燃、发动机过热、 NO_x 排放超标、怠速不稳、功率不足及经济性不好。

产生故障的原因可能是真空泄漏或没有真空、EGR 阀粘住在关闭位置、EGR 阀膜片泄漏、真空罐泄漏、电磁阀或真空调节器的电磁线圈不通电、EGR 阀衬垫泄漏以及废气流通堵塞。

② 第二类故障有:发动机在冷起动后失速停车、发动机在减速时失速停车、汽车巡航行驶时喘振、怠速不稳、加速迟缓、动力不足以及燃油经济性差。

故障原因可能是 EGR 阀打开得太大, EGR 阀粘住在打开位置;小孔真空开关或恒温真空开关损坏在永远打开位置;EGR 排放电磁阀损坏,不能打开;真空调节器排放孔堵塞。

(2) 检测 EGR 系统所需的设备和通用检查程序 在就车诊断或修理 EGR 系统之前,首先应该进行下列检查:发动机有无机械响声、燃油喷射系统的调整和工作是否正常、点火提

前控制系统工作是否正常。

在进行 EGR 系统的故障诊断与维修之前,还应尽量多地掌握资料。资料来源之一是贴在发动机舱盖背面的车辆排放控制信息标签。在这张标签上有重要的排放控制系统的数据、调整顺序和标有排放系统元件名称的真空软管的线路图;另一资料来源是发动机编号信息标签。这张标签显示发动机的标准数,据此标准数可以寻找适用的技术维修便览,便览上所有车辆的排放控制系统的使用资料表;第三个重要的信息来源是汽车的识别标志,此标志贴在驾驶人侧的风窗玻璃的下方。

常用的 EGR 系统检测设备有真空表、手动真空泵、EGR 阀试验仪和发动机分析仪,用这些仪器检测 EGR 系统的通用程序分述如下:

① 真空表。真空表可以用来检查真空管路内的真空度和废气背压。检查步骤是:

- a. 脱开进气歧管孔口上的真空软管。
- b. 在真空软管与进气歧管孔口之间接入真空表。
- c. 连接转速表。
- d. 起动发动机,并在空挡位置逐渐加速到 2000r/min。
- e. 检查真空表读数,应为 54kPa 以上。如果不是这样,则可能是废气系统的废气背压过高。为了核实是废气背压过高还是真空泄漏,需进一步作下述检查。
- f. 让发动机熄火,从废气歧管上拆开废气系统。
- g. 重复 d 和 e 检查步骤。
- h. 如果真空表读数仍达不到 54kPa,则可能是废气歧管堵塞或真空泄漏。检查废气歧管是否堵塞。
- i. 如果真空表读数达到 54kPa,则可能是消声器、废气管或三元催化转化器堵塞。

② 手动真空泵。手动真空泵作为真空源,给 EGR 阀、真空调节器、真空开关等施加一定的真空度,应检查这些元件是否工作。用手动真空泵检查 EGR 阀工作情况的步骤为:

- a. 检查所有的真空管道,应连接正确可靠。更换有裂纹、折叠和破损的软管。
- b. 在发动机走热至正常工作温度后,核实怠速时 EGR 阀内没有真空度。
- c. 安装转速表。
- d. 脱开节气门侧怠速控制阀的插接器。
- e. 从 EGR 阀上拆下真空软管,并用塞子将软管口塞住。
- f. 将变速器置于空挡位置,起动发动机并让其怠速运转,观察发动机怠速转速。如有需要,调整怠速转速至规定值。
- g. 将手动真空泵上软管接到 EGR 阀的真空输入孔口上,慢慢地给 EGR 阀施加 16.9 ~ 33.9kPa 的真空度。
- h. 当 EGR 阀受真空作用时,如发生下述任一情况,则应更换 EGR 阀:发动机怠速转速下降不超过 100r/min;当撤除真空后,发动机转速不回到正常怠速转速(可上下波动 $\pm 25\text{r/min}$)。

i. 重新接上怠速控制阀的插接器。

j. 取下 EGR 阀真空软管上的塞子,并将真空软管重新接到 EGR 阀上。此时 EGR 阀应工作正常。

③ EGR 阀试验仪。EGR 阀试验仪是在车下检测 EGR 阀的仪器,可以提供控制 EGR 阀

的真空度和模拟废气背压的压缩空气。在试验时,用软管将仪器上的真空接头和 EGR 阀上的真空孔口连接起来,一并用手将 EGR 的底座压紧在试验仪器上,用最小压力为 414Pa 的压缩空气从空气口输入,经试验仪内部的通道、再经废气孔和滤芯的孔流出。对于小孔真空 EGR 阀和正背压传感 EGR 阀,此时阀杆应向上运动。对于负背压传感 EGR 阀,当 EGR 阀没有压在试验仪上而对其施加真空时,阀杆应向上运动;而将 EGR 阀压在试验仪上且在相同的背压下时,阀杆应向下运动。

(3) EGR 系统功能的检查 EGR 控制电磁阀或真空调节器在工作时,应该以很高的频率交替打开和关闭,能凭听觉或触觉感受到。如果不是这样,则表明电子控制系统或电磁阀有故障。

一般来说,电子控制部分的故障会使再循环的废气流量很少甚至为零,可能会使发动机产生过热、爆燃和功率不足等故障。

电脑控制 EGR 系统的检查方法如下:

- ① 检查所有的真空软管走向是否正确,连接是否牢固。
- ② 发动机在怠速下,应没有真空进入 EGR 阀。具体检查方法:可拆下 EGR 阀上的真空软管,观察发动机怠速转速有无变化;或用手指夹扁随即松开真空软管,观察怠速转速有无变化。如果转速变化,说明有真空进入 EGR 阀,则应检查软管走向是否正确。
- ③ 脱开节气门体上的怠速空气控制阀或怠速执行电动机或旁通空气阀的电线接头。
- ④ 安装转速表,检查怠速转速,视需要进行调整。
- ⑤ 进行 EGR 阀的废气流动试验。
- ⑥ 将发动机加速到 2500r/min,检查真空调节器或 EGR 控制电磁阀和 EGR 排放阀的工作情况。

(4) EGR 阀安装情况的检查

① 在发动机熄火后,检查 EGR 周围的固定螺栓是否紧固,视需要按规定的力矩拧紧,并进行真空试验。真空试验方法是:将 EGR 阀上的真空软管取下,并用塞子塞住管口,再将手动真空泵接到 EGR 阀的真空接头上,使发动机怠速运转,施加规定的真空度,观察转速是否下降,转速下降,甚至失速停车为正常。

② 如果螺栓是紧的,而真空试验的结果不好,则拆下 EGR 阀,检查衬垫、进气歧管通道、EGR 阀孔等,清洁所有表面,更换衬垫,然后视需要清洁或更换 EGR 阀。

(5) 真空罐的检查

- ① 从真空罐上取下连接进气歧管孔口的真空软管,并接上手动真空泵。
- ② 施加 50.8 ~ 67.7kPa 的真空度到真空罐,观察手动真空泵上的真空表。
- ③ 真空罐泄漏引起的真空度下降每分钟不超过 1693Pa。
- ④ 如果测试不合格,则应更换真空罐。

(6) EGR 控制电磁阀的检查(这种电磁阀是常闭的) 检查步骤如下:

① 从电磁阀上拆下真空软管,往 EGR 控制电磁阀内吹气,空气应不能通过,电磁阀应保持不通电。

② 用 12V 干电池给电磁阀通电。通电后,如阀门工作正常,则应打开,空气能通过。

③ 如试验结果不合要求,则应更换 EGR 控制电磁阀。

(7) EGR 排放电磁阀的检查(EGR 排放电磁阀是常开的) 其检查的步骤如下:

① 从电磁阀上取下真空软管，往下面的孔内吹气，在未给电磁阀通电时，空气应能够通过。

② 用 12V 干电池给电磁阀通电，如阀门工作正常，则应关闭，空气不能从下部的孔吹入。

③ 如果检查结果不符合要求，则应更换 EGR 排放电磁阀。

总之，废气再循环系统的检测方法有直感检测法和真空表检测法。

直感检测法：起动发动机，并以怠速运转，将手指伸入废气再循环阀，按在膜片上，检查废气再循环阀有无动作。在冷车状态下踩下加速踏板，使发动机转速上升至 1900r/min 左右，此时废气再循环阀应不开启，手指上应感觉不到膜片的动作。在发动机热车后（冷却液温度高于 50℃），踩下加速踏板，使发动机转速上升至 1900r/min 左右，此时废气再循环阀应开启，手指上应感觉到膜片的动作。若废气再循环阀不能按照上述的规律动作，则说明该系统工作不正常，应检查该系统各零部件。

真空表检测法：先清洁 EGR 真空调节器的过滤器。真空调节器设有上盖，拆下上盖检查滤清器，如有尘土或油泥时，用压缩空气吹净后装复。

在 EGR 真空调节器和 EGR 阀之间装有真空表。发动机以怠速运转，此时，EGR 真空调节器无真空度，真空表的读数在发动机冷却液温度低于 50℃，发动机转速为 1900r/min 时，真空表读数也应为零；在发动机的冷却液温度超过 56℃，转速为 1900r/min 时，应有较小的真空度；在怠速的工况下运转时，断开真空调节器与 EGR 阀之间的真空管。另外从节气门下方接一软管接到 EGR 阀上，此时发动机转速降低，甚至熄火。否则表示 EGR 阀的膜片有破裂、单向阀失效或由冷却液温度控制的真空开关有故障，应对这些部位作进一步的检查。

第三节 可变气门电子控制检测与诊断

一、可变气门及其作用机理

进气门和废气门专门对发动机充量交换过程的控制。其特性参数主要是三个：气门开启相位，气门开启持续角度（指气门保持升起持续的曲轴转角）和气门升程。这三个特性参数对发动机的性能、油耗和排放有重要影响。通常将气门开启相位和气门开启持续角度统称为气门正时。随着发动机负荷和转角的改变，这三个特性参数（特别是进气门开启相位和开启持续角度）的最佳选择是根本不同的。

进气门开启相位提前，一方面为进气过程提供了较多的时间，特别有利于解决高转速时进气时间不足的问题；另一方面，气门叠开角增大，有更多的废气进入进气管，随后又同新鲜充量一起返回气缸，造成了较高的内部废气再循环率，可降低油耗和 NO_x 排放，但同时也会导致起动困难、怠速不稳定和低速工作粗暴。

进气门关闭相位推迟，一方面在高转速时有利于利用高速气流的惯性提高体积效率；另一方面在低转速时又会将已经吸入气缸的新鲜充量重又推回到进气管中。

气门升程增大，一方面在高负荷时有利于提高体积效率；另一方面在低负荷时又不得不将节气门关得更小，造成更大的泵气损失和节流损失。

综上所述，出于不同的考虑，对气门特性参数提出了不同要求。为了提高标定功率，要提早开启、推迟关闭进气门，并提高进气门升程；为了提高低速转矩，要提早关闭进气门；

为了改善起动性能并提高怠速稳定性,则要推迟开启进气门,减小气门叠开。显然,进气门特性参数对发动机的影响比废气门特性参数更大;进气门关闭相位的影响比开启相位大。

在传统的发动机中,由于这三个特性参数在运行过程中不能改变,所以只能根据对性能要求的不同侧重面进行折中。过去往往将气门正时设计成对高速全负荷工况最为有利,以求得最大的标定功率。近年来因为更注重油耗和排放,所以将气门正时的优化策略改成对低速工况更为有利。

但是,固定的气门正时终究只能设计成对某一个转速或狭小的转速范围最有利于提高其体积效率。低于这个转速或转速范围则要求进气门推迟开启、提早关闭;反之,则要求进气门提早开启、推迟关闭。于是,人们想到能否设计成气门特性参数可变的进、废气门的系统,以便达到使各种工况都能优化的目的。这就是可变气门操纵(Variable Valve Actuation, 缩写为 VVA)。若仅是气门开启相位和开启持续角度可变,便称为可变气门正时(Variable Valve Timing, 缩写为 VVT)。不过,有的文献将可变气门升程也纳入可变气门正时的范围内,就是说,将 VVT 的定义范围扩大成与 VVA 相同。VVA 都采用上置式双凸轮轴(Double OverHead Camshaft, 缩写为 DOHC),分别操纵进气门和废气门,可为每缸两气门或四气门。

二、可变气门的分类

(1) 按气门升程曲线形式分类

- ① 改变气门开启相位,保持气门开启持续角度和气门升程特征不变(图 6-10a)。
- ② 改变气门开启持续角度,保持气门开启相位不变(图 6-10b)。
- ③ 改变气门升程特征,保持气门开启相位和开启持续角度不变(图 6-10c)。
- ④ ①~③三种型式的组合(图 6-10d)。

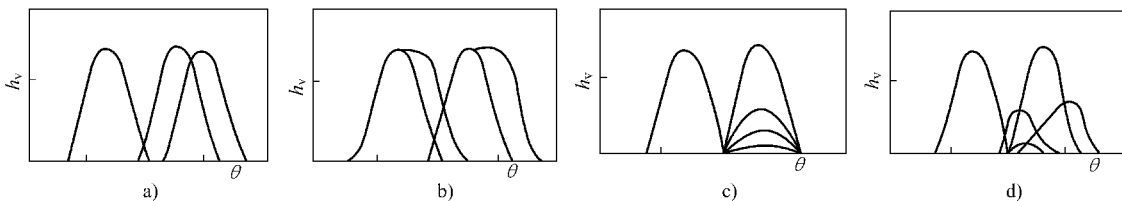


图 6-10 可变气门按气门升程曲线形式分类

- ⑤ 部分气缸的气门完全不升起,从而改变发动机的有效排量。

(2) 按气门传动方式分类 按气门传动方式可分为非凸轮传动、凸轮传动。

(3) 非凸轮传动中,按气门传动动力分类 按气门传动动力可分为电动,如图 6-11 所示;液压,如图 6-12 所示。

(4) 凸轮传动中,按凸轮形状分类 按凸轮形状可分为一维凸轮、多维凸轮。

(5) 凸轮传动中,按借以实现控制的传动件分类 可分为凸轮轴(或轴向相对于正时传动链轮或带轮转过一个角度,或轴向移动一段距离)、摇臂、挺柱以及正时带。

(6) 按控制方式分类 按控制方式可分为机械控制、电子—液压控制以及电子控制。

三、可变气门实例

1. 马自达 6 轿车的可变配气定时机构

马自达 6 轿车 L3 型发动机只在进气凸轮轴上装置可变配气定时器,它能够随着发动机的情况变化连续不断地调整进气凸轮轴与曲轴间的相位,以实现最佳配气定时。

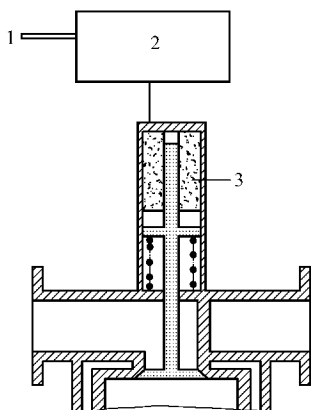


图 6-11 电动气门

1—电源 2—电子控制装置 3—电磁线圈

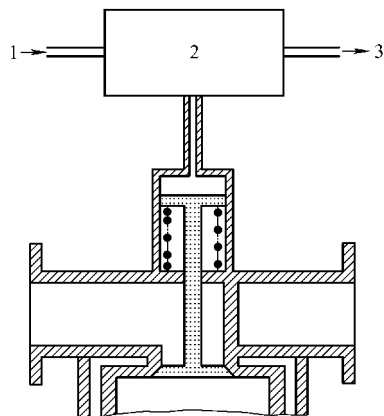


图 6-12 液压气门

1—供油 2—液压控制装置 3—回油

(1) 可变配气定时机构的组成 该机构由可变配气定时器、凸轮轴位置传感器、曲轴位置传感器、机油控制阀和动力系统控制模块 (PCM) 等组成, 如图 6-13 所示。

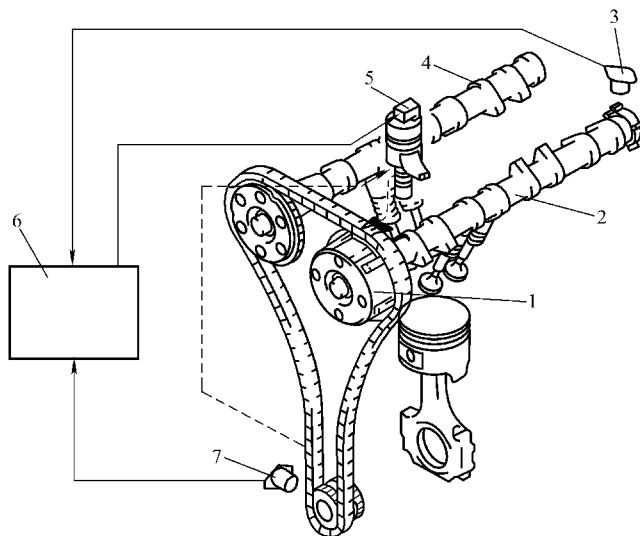


图 6-13 可变配气定时机构组成 (马自达 6)

1—可变配气定时器 2—进气凸轮轴 3—凸轮轴位置传感器 4—废气凸轮轴 5—机油控制阀
6—动力系统控制模块 (PCM) 7—曲轴位置传感器

可变配气定时器 1 安装在进气凸轮轴 2 的前端, 其功用是利用来自机油控制阀 5 的油压连续不断地调整进气凸轮轴与曲轴之间的相位。可变配气定时器包括一个与凸轮轴链轮结合为一体的壳体 2 (图 6-14, 下同)、可变配气定时器盖 5, 止动销 6 以及与凸轮轴结合为一体的转子 4。壳体的内腔被转子分隔成配气定时提前室和配气定时滞后室等两种油压室 (具体见图 6-16 和图 6-17)。在可变配气定时器盖和转子上均刻有记号, 作为安装时的对正标记。

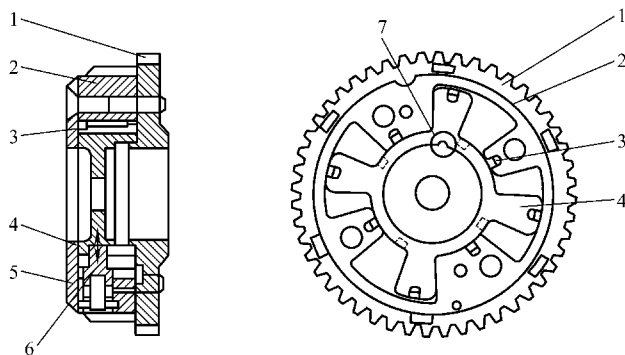


图 6-14 可变配气定时器

1—凸轮轴链轮 2—壳体 3—密封条 4—转子 5—盖 6—止动销 7—对正标记

机油控制阀受 PCM 控制，按照 PCM 的指令转换供给可变配气定时器的机油油道。机油控制阀由滑阀 1、电磁线圈 4、可动铁心 3 和复位弹簧 5 等组成，如图 6-15 所示。

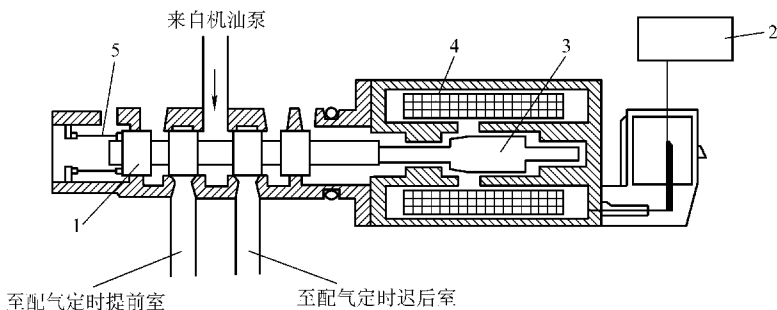


图 6-15 机油控制阀

1—滑阀 2—PCM 3—可动铁心 4—电磁线圈 5—复位弹簧

曲轴位置传感器的功用是将发动机转速信号传输给 PCM。

凸轮轴位置传感器的功用是将气缸识别信号传输给 PCM。

PCM 的功用是控制机油控制阀，使其适时地将机油供入相应的油道以改变配气定时。

(2) 可变配气定时机构的工作原理 当机油控制阀内的滑阀按照 PCM 的指令信号向左移动时，如图 6-16 所示，来自机油泵的油压经配气定时提前油道 11 传送到可变配气定时器 5 内的配气定时提前室 7。在油压的推动下，与凸轮轴结合为一体的转子 8 相对由曲轴驱动的壳体 9 向进气提前的方向旋转一定的角度，而使进气提前。与此相反，当滑阀按照 PCM 的指令信号向右移动时（图 6-17），来自机油泵的油压经配气定时滞后油道 10 传送到配气定时滞后室。在油压的推动下，转子相对壳体，向进气滞后的方向旋转一定角度，致使进气滞后。

当滑阀停在配气定时提前油道和配气定时滞后油道的中间位置时，配气定时提前室和配气定时滞后室内都保持着机油泵的油压。这时转子和壳体之间没有相对的转动，因而配气定时保持不变，如图 6-15 所示。

这种可变配气定时机构的凸轮轮廓不变，进气持续角和气门升程都不变，虽然在高速时可以加大进气滞后角，但气门重叠角却相应减小，如图 6-18 所示。

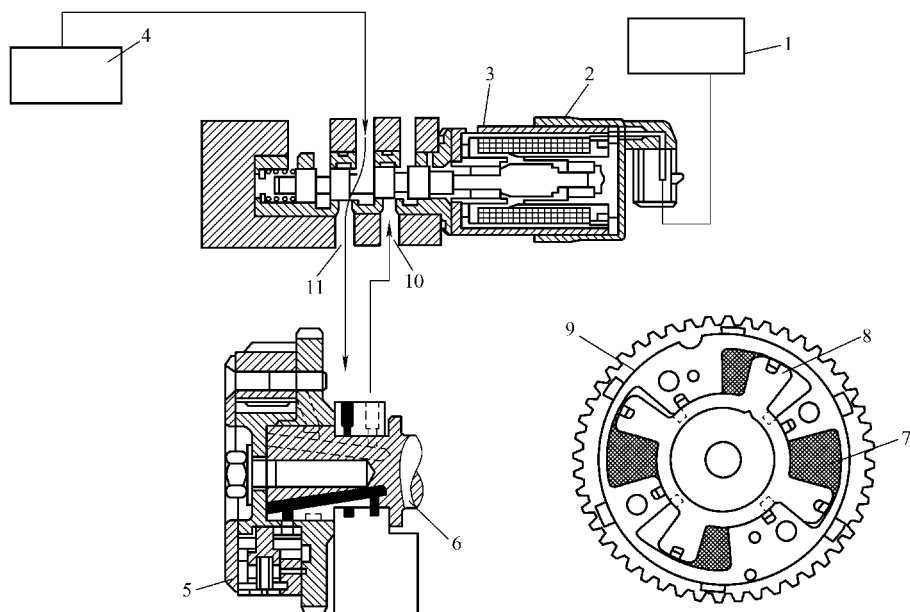


图 6-16 配气定时提前

1—PCM 2—机油控制阀 3—电磁阀 4—机油泵 5—可变配气定时器 6—凸轮轴
7—配气定时提前室 8—转子 9—壳体 10—配气定时滞后油道 11—配气定时提前油道

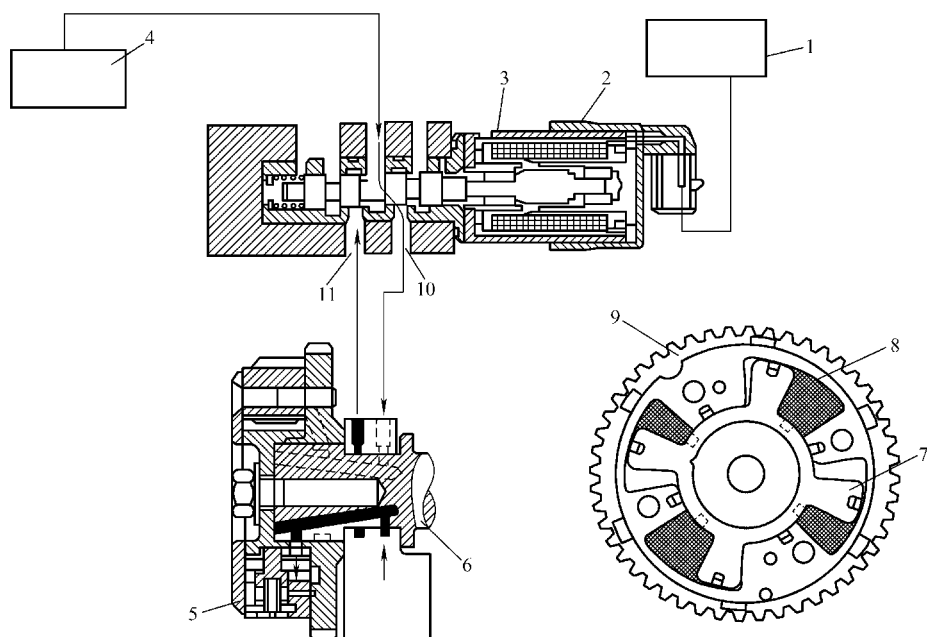


图 6-17 配气定时提前

1—PCM 2—机油控制阀 3—电磁阀 4—机油泵 5—可变配气定时器 6—凸轮轴 7—配气定时提前室
8—转子 9—壳体 10—配气定时滞后油道 11—配气定时提前油道

2. 本田 VTEC (可变配气定时电子控制) 可变配气定时机构

Honda 公司的可变气门系统 (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System, 缩写为 VTEC) 用于 NSX 型跑车的四气门发动机上, 它的进气凸轮轴和废气凸轮轴都为每个缸设置了并列的三个凸轮, 相应地有三个摇臂。

VTEC 可变配气定时机构属于另一种类型的可变配气定时机构。它可以同时改变进、排气门的配气定时, 而且在改变配气定时的同时, 也改变气门升程。

1) VTEC 可变配气定时机构的组成如图 6-19 所示, 在该机构中, 进、废气凸轮轴上均设置高速凸轮 3 和低速凸轮 2、4 两种凸轮。两个低速凸轮分别驱动第一摇臂 5 和第二摇臂 7, 高速凸轮则驱动中间摇臂 6。在摇臂上装有可移动的液压活塞 11、12 和一个限位活塞 14。VTEC 可变配气定时机构能根据发动机转速的高低, 自动转换不同的凸轮来驱动气门启闭。由于高、低速凸轮的轮廓不同, 在改变配气定时的同时, 也就改变了气门升程。

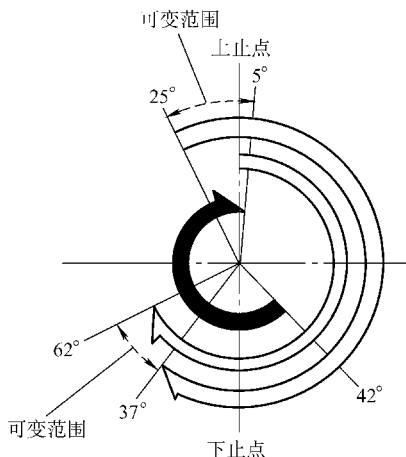


图 6-18 马自达 6 轿车 L3 型发动机配气定时图

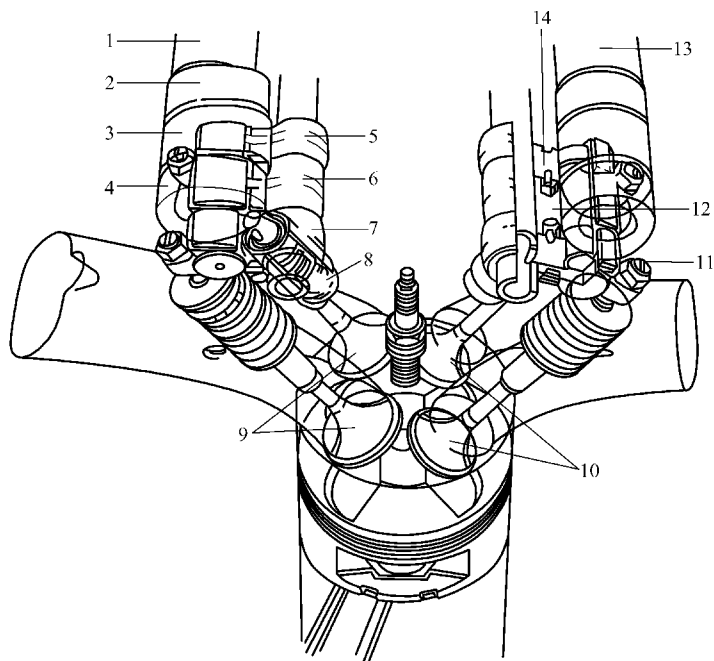


图 6-19 本田 VTEC 可变配气定时机构组成

1—进气凸轮轴 2—第一低速凸轮 3—高速凸轮 4—第二低速凸轮 5—第一摇臂 6—中间摇臂
7—第二摇臂 8—空动弹簧 9—进气门 10—废气门 11—液压活塞 A 12—液压活塞 B 13—废气凸轮 14—限位活塞

2) VTEC 可变配气定时机构的工作原理。当发动机在中、低速工作时, 没有油压作用于液门的启闭开关, 如图 6-20a 所示。当发动机在高速工作时, 在油压的作用下, 液压活塞

A、B 向图 6-20b 所示的箭头方向移动，使第一、二摇臂与中间摇臂结合成一个摇臂。三个摇臂一起在高速凸轮的作用下驱动气门启闭，这时低速凸轮不起作用。

油压作用与否由电控单元根据发动机转速的变化自动控制。

可变配气定时机构由于结构复杂，目前尚未得到普及。

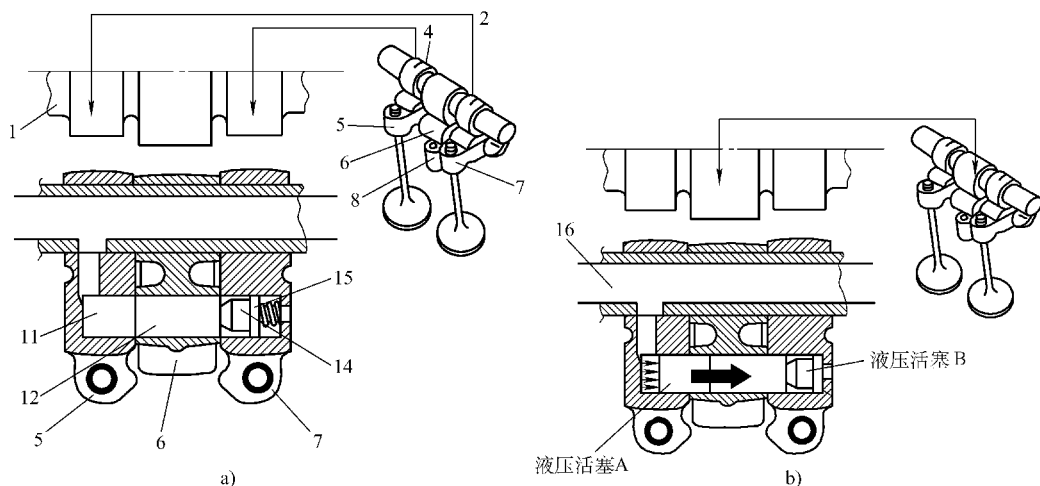


图 6-20 VTEC 可变配气定时机构的工作原理

15—复位弹簧 16—油道（其余图注同图 6-19）

3) VTEC 系统的电子控制。VTEC 系统的电子控制与大多数同类系统一样，不考虑负荷信息。ECU 只根据发动机转速、车速和发动机温度控制电磁阀，使油路中的滑阀令摇臂中液压活塞 A 左方油腔或与压力油接通，或泄压，如图 6-21 所示。

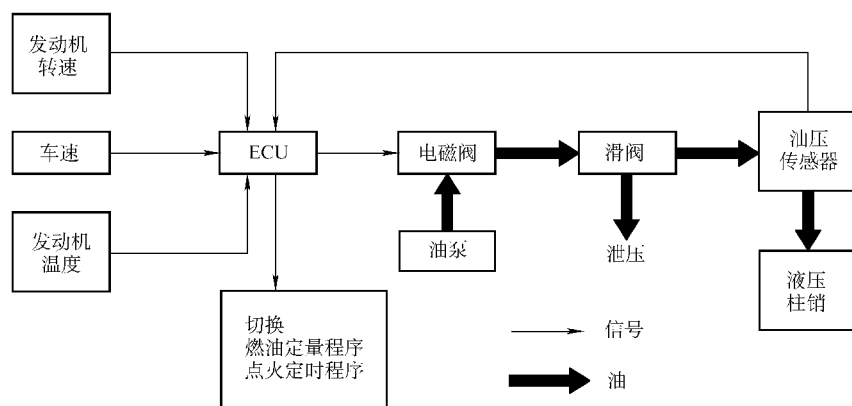


图 6-21 VTEC 系统电子控制框图

油压传感器将液压活塞 A 左方油腔中的油压信号传送给 ECU。ECU 收到油压升高的信号后，便将燃油定量程序和点火正时程序从适合于低转速气门规律的模块切换到适合于高转速气门规律的模块。

当系统出现故障时，显然将锁定在低转速气门规律上运行。

4) VTEC 系统的切换响应时间。系统从低转速气门规律切换到高转速气门规律的过程依靠在液压活塞 A 左方建立油压而实现，如图 6-20b 所示。建立油压需要时间。从 ECU 发

出信号到建立油压而切换气门规律所经历的时间称为切换响应时间。反过来,系统从高转速气门规律切换到低转速气门规律的过程依靠液压活塞 B 右方的复位弹簧而实现。这一过程也需要切换响应时间。这两种切换响应时间的长短取决于液压力和复位弹簧力的对比。液压力取决于油压,其改变速度与机油的粘度有关,因而与油温有关;复位弹簧力则取决于它的预置载荷。所以,对于确定的系统,切换响应时间与机油温度和复位弹簧预置载荷有关,如图 6-22 和图 6-23 所示。

当油温升高时,机油粘度下降,机油更易通过液压柱塞 A 与主摇臂之间的孔隙泄漏,所以在从低转速气门规律切换到高转速气门规律的过程中油压建立变慢,切换响应时间变长,见图 6-22 中的曲线“接通”;而在从高转速气门规律切换到低转速气门规律的过程中油压降低变快,切换响应时间变短,见图 6-22 中的曲线“断开”。

当回位弹簧预置载荷增大时,即使油压建立的速度相同,但机油施加在液压活塞上的力所受回位弹簧的阻力变大,所以从低转速气门规律切换到高转速气门规律的切换响应时间变长,见图 6-23 中的曲线“接通”;而在从高转速气门规律切换到低转速气门规律过程中,即使油压降低的速度相同,但复位弹簧施加在液压活塞上的动力增大,所以切换响应时间缩短,见图 6-23 中的曲线“断开”。

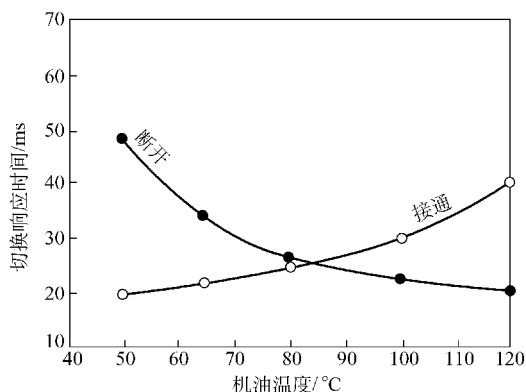


图 6-22 切换响应时间与机油温度的关系

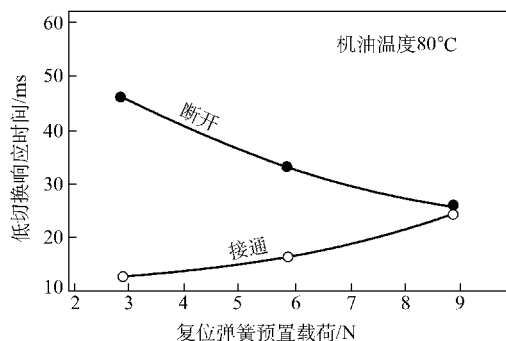


图 6-23 切换响应时间与复位弹簧预置载荷的关系

5) VTEC 系统的效果。VTEC 系统通过切换气门规律,使发动机的转矩曲线在整个转速范围内变得相当平坦,如图 6-24 所示。

由图 6-24 可见,通过气门规律的切换,集两种气门规律的长处于一身,无论在什么负荷条件下均如此。为了避免切换时发动机转矩的突变,将切换点选在两种气门规律所对应的转矩曲线的交点。

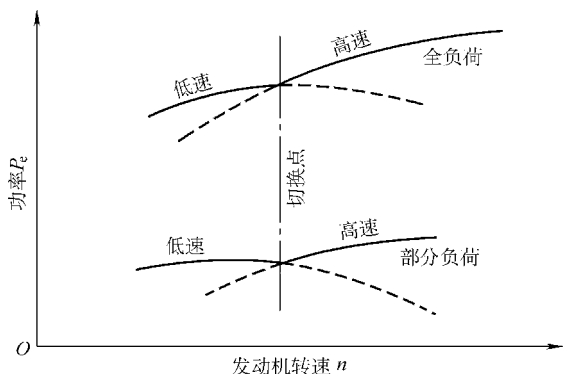


图 6-24 装有 VTEC 系统的 NSX 发动机转矩曲线

四、可变气门检测与故障诊断

广州本田雅阁可变配气相位控制系统 (VTEC) 的诊断检修

(1) VTEC 控制电路的诊断 当故障指示灯亮并闪示故障码 21 时,说明 VTEC 系统电

路有故障。

1) 验证故障码。进行清除故障码操作后, 起动发动机, 并使发动机达到正常工作温度; 进行道路试验, 自动变速器设置在 1 挡位时加速, 使发动机转速超过 6000r/min, 并保持至少 2s, 若首次试验故障指示灯不亮, 则需重复两次以上这样的试验。

如果路试中故障指示灯不亮, 则系统正常, 路试前的故障码可能是由于 VTEC 和 ECM 处的导线连接有松动造成的, 应予以检修; 如果故障指示灯亮并闪示故障码, 则进行下一步检测。

2) 检查 VTEC 电磁阀电阻。关闭点火开关, 并断开 VTEC 电磁阀插头。

检查 VTEC 电磁阀插座端子与地之间的电阻, 正常电阻应在 14 ~ 30Ω。

如果电阻值不在正常范围之内, 则更换 VTEC 电磁阀; 如果电阻值正常, 则进行下一步检测。

3) 检查 VTEC 电磁阀导线有无断路。用电阻表检查 VTEC 电磁阀插头端子与 ECM 的 25 芯插接器的 B12 端子之间的导通情况 (图 6-25)。

如果不导通, 则为 VTEC 电磁阀与 ECM 的 B25 端子之间的绿/黄导线有断路故障, 要予以排除; 如果导通, 则进行下一步检测。

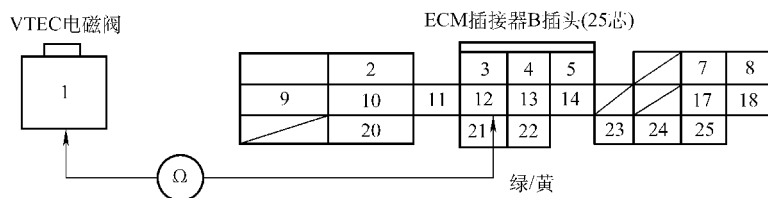


图 6-25 检查 VTEC 电磁阀导线有无断路

4) 检查 VTEC 电磁阀导线有无短路。用电阻表检查 VTEC 电磁阀插头端子与地之间的导通情况, 如果导通, 则为 VTEC 电磁阀与 ECM 的 B25 端子之间的绿/黄导线有对地短路故障, 需予以排除; 如果不导通, 则进行下一步检测。

5) 检查 VTEC 电磁阀机油压力。接上 VTEC 电磁阀插头。

卸下电磁阀测油压孔的螺栓, 并装上油压表 (图 6-26)。

起动发动机, 并使发动机运转至正常的工作温度。

检查发动机转速在 1000r/min、2000r/min 和 4000r/min 时的机油压力, 正常油压应低于 49kPa。

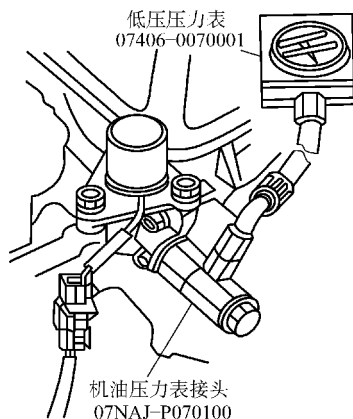


图 6-26 检查 VTEC 电磁阀机油压力

如果油压不低于 49kPa, 则需对 VTEC 阀进行检修; 如果油压正常, 则进行下一步检测。

6) 检查 VTEC 电磁阀机油压力 (加蓄电池电压)。关闭点火开关, 再次断开 VTEC 电磁阀插头。

将蓄电池正极连接电磁阀插头端子, 负极搭铁 (图 6-27)。

起动发动机,并检查发动机转速在 3000r/min 时的机油压力,正常油压应高于 250kPa。

如果油压不正常,则需对 VTEC 阀进行检修;如果油压正常,则需更换一个 ECM 再试。

(2) 检查 VTEC 电磁阀

1) 检查 VTEC 电磁阀滤清器/O 形环。卸下 VTEC 电磁阀总成的三个紧固螺栓,从气缸盖上拆下 VTEC 电磁阀总成(图 6-28)。检查 VTEC 电磁阀滤清器/O 形环是否堵塞。如果堵塞,则需更换机油滤清器和发动机油;如果没有堵塞,则进行下一步检测。

2) 检查 VTEC 电磁阀的活动情况。卸下 VTEC 电磁阀的 3 个螺栓后,用手指推动 VTEC 电磁阀芯,检查其活动是否正常(图 6-29)。

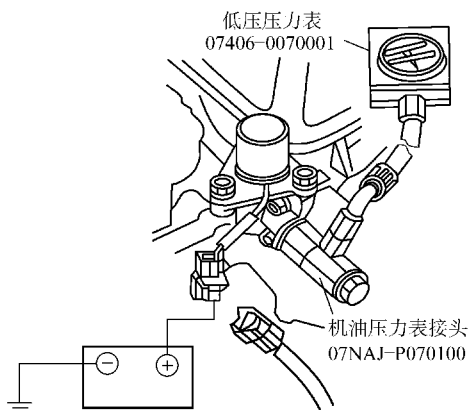


图 6-27 检查 VTEC 电磁阀机油压力
(加蓄电池电压)

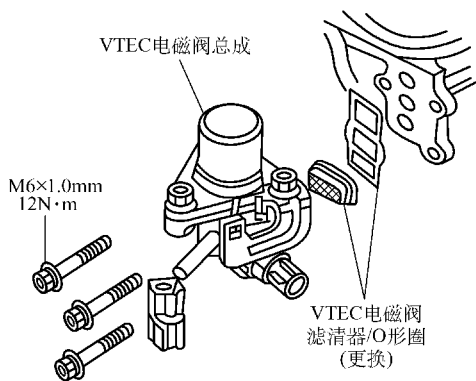


图 6-28 检查 VTEC 电磁阀滤清器/O 形环

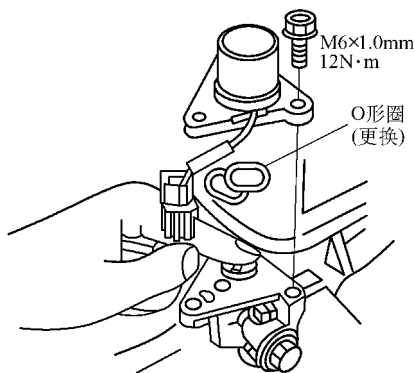


图 6-29 检查 VTEC 电磁阀的活动情况

如果活动情况不正常,则需检修或更换 VTEC 电磁阀。如果活动正常,但 VTEC 电磁阀不能正常工作,则应检查机油压力。

第四节 增压压力电子控制检测与诊断

一、废气涡轮增压压力电子控制系统的组成

汽油机增压可大幅度提高体积效率,进而以较小的发动机排量获得较大的转矩和功率。在各种增压方式中,废气涡轮增压比机械增压和压力波增压具有更多的优点,所以目前在增压器中占主导地位的是废气涡轮增压器。采用废气涡轮增压、且增压压力实现电子控制的小排量汽油机相对于自然吸气汽油机可达到与分隔式燃烧室柴油机相近的节油水平。

对汽油机设计来说,提高低速转矩总是一个重要的任务。所以,废气涡轮增压汽油机在全面提高转矩的基础上,特别照顾到提高低速转矩,使转矩曲线在整个转速范围内趋于平坦。为了提高低速转矩,废气涡轮的壳体通常按较小的废气质量流量设计,例如按全负荷

2000r/min 的工况设计。这样一来,在较高的废气质量流量范围内,废气涡轮增压器就可能使发动机过载。为了避免发生这种情况,在这种工况范围必须通过一个旁通阀(“放空阀”)将一部分废气直接放入废气管道而不通过废气涡轮。这个旁通阀通常以活门的方式装在废气涡轮的壳体内,如图 6-30 所示。也有少数通过一个单独壳体内部的蝶阀与废气涡轮并联,将废气放空。

节拍阀 1 有三个口,一个口通往膜片罐 2,另两个口分别通往空气压缩机 4 的进口和出口。ECU 通过控制信号 TVM 的脉冲占空比控制由节拍阀 1 通往膜片罐 2 的管道中的控制压力。膜片罐中的膜片将膜片罐分隔成上下两个空腔,膜片上方受控制压力的作用,膜的下方装有弹簧。膜片与旁通阀通过一根推杆连接。所以,控制压力的大小决定了膜片受压后的变形量,进而决定了旁通阀的开度、废气旁通量及增压压力。

二、废气涡轮增压压力电子控制策略

废气涡轮增压压力电子控制是一种闭环

控制,控制对象是增压压力,在节气门位置和发动机转速已经确定的情况下,实际上就是控制每循环吸气量,可用进气歧管绝对压力传感器、空气体积流量传感器或空气质量流量传感器的信号表征。所以在 ECU 中根据节气门转角和发动机转速储存着上述表征增压压力信号的设定值特性场。闭环控制回路将这个信号的设定值与测量到的实际值相比较。闭环控制回路输出的差值作为信号被送往节拍阀,用于调节控制压力,进而控制增压压力。

废气涡轮不能承受过高的废气温度。过度推迟点火,则缸内压力的峰值推迟出现,燃烧气体的热能不能充分转换成膨胀功,所以废气排出时的温度升高。过度提早点火则会引起爆燃,如前所述。可见,废气涡轮增压压力闭环控制和爆燃闭环控制都与点火提前角控制有关。而且,爆燃与增压压力有关,提高增压压力会促成爆燃。增压压力控制总是和爆燃控制相结合的,如图 6-31 所示。发生爆燃时,首先推迟点火以消除爆燃。此时伴随着废气温度的升高。当过多地推迟点火,以致废气温度将达到门槛值时,则首先加浓混合气以防止过高的废气温度损坏废气涡轮增压器。如果这样做还不够,再降低增压压力。

三、废气涡轮增压压力电子控制系统的故障诊断

涡轮增压控制系统的诊断检修

奥迪 A6 1.8T 发动机配置有涡轮增压控制系统。

(1) 检测增压控制

1) 选择“读取测量数据块”(功能 08)及显示组 25,屏幕显示:

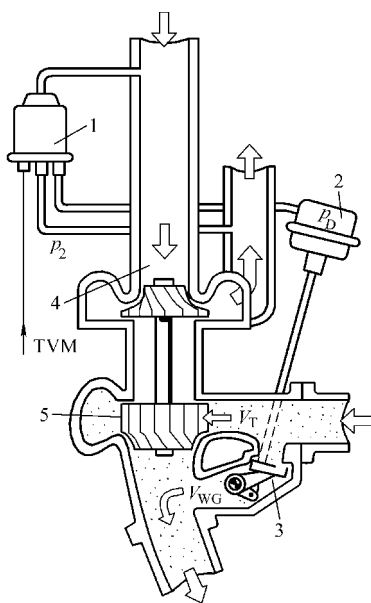


图 6-30 增压压力电子控制的执行器

1—节拍阀 2—膜片罐 3—旁通阀 4—空气压缩机
5—废气涡轮 (P_2 为增压压力 P_D 为膜片罐内的压力,
TVM 为节拍阀的控制信号, V_T 为通过废气涡轮的体积流量,
 V_{WG} 为通过旁通阀的体积流量)

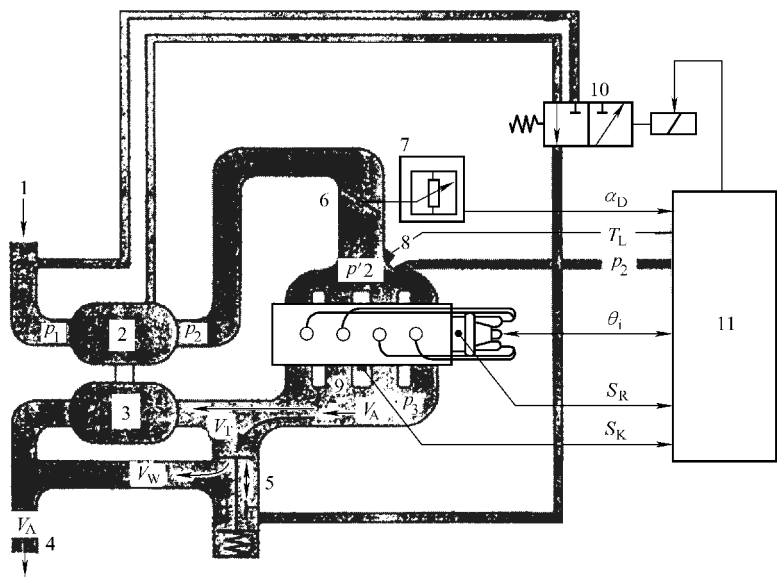


图 6-31 增压压力和爆燃的联合闭环控制

1—吸入空气 2—压气机 3—涡轮 4—通往废气装置 5—旁通阀 6—节气门
7—节气门传感器 8—温度传感器 9—爆燃传感器 10—节拍阀 11—电子控制单元
(p_1 为压气机前的压力, p_2 为增压压力, p'_2 为进气歧管压力, p_3 为废气背压, S_K 为爆燃传感器信号, S_R 为转速信号, T_L 为增压空气温度, V_A 为废气体积流量, V_T 为通过涡轮的废气体积流量, V_W 为通过旁通阀的废气体积流量, α_D 为节气门转角, θ_i 为点火提前角)

读取测量数据块 25	→
7. 40ms 7. 10ms 7. 05ms 67%	

2) 全负荷 (节气门全开) 进行路试, 发动机转速为 4000r/min 时查看显示区 4 (增压控制电磁阀的占空比): 显示区域 4 的规定值为 5% ~95%。如没有达到规定值, 则通过改变发动机速度使占空比在规定值范围内。

读取测量数据块 25	→
7. 40ms 7. 10ms 7. 05ms 67%	

3) 查看显示区 2 (经校正的发动机规定负荷), 其规定值为 0. 00 ~8. 00ms. 屏幕显示:

读取测量数据块 25	→
7. 40ms 7. 10ms 7. 05ms 67%	

4) 查看显示区 3 (发动机实际负荷), 其规定值与显示区 2 中经校正的发动机规定负荷相同 (公差为 $\pm 0. 3$ ms)。

读取测量数据块 25	→
7. 40ms 7. 10ms 7. 05ms 67%	

发动机实际负荷超出公差范围时, 可能是下列故障造成的: 增压控制电磁阀有电气故

障；增压控制系统的软管松动、漏气或阻塞；增压控制电磁阀 N75 阻塞；涡轮增压器与进气歧管之间有漏气之处；旁通阀机构卡滞或不灵活，涡轮增压器损坏（涡轮被异物卡死）。

（2）检测增压控制电磁阀

1) 增压控制电磁阀的检测。从增压控制电磁阀 N75 上拆下软管，接上辅助软管，起动执行元件诊断，并触发增压控制电磁阀 N75，屏幕显示：

执行元件诊断 →
增压压力控制电磁阀 N75

电磁阀将发出“咔嚓”声，并打开和关闭（通过向辅助软管吹气检查）。如果电磁阀无咔嚓声应检查增压压力控制电磁阀。

当没有电信号时，电磁阀常闭。如电磁有咔嚓声但不正常地打开和关闭，应更新增压控制电磁阀 N75。

2) 检测增压控制电磁阀 N75 的电阻。拔下电磁阀的插接器头，如图 6-32 所示，用便携式万用表的电阻挡进行测量，其规定值为 $25 \sim 35\Omega$ 。如没达到规定值，则更新增压压力控制电磁阀 N75；如果达到规定值，应检查增压压力控制电磁阀的供电。

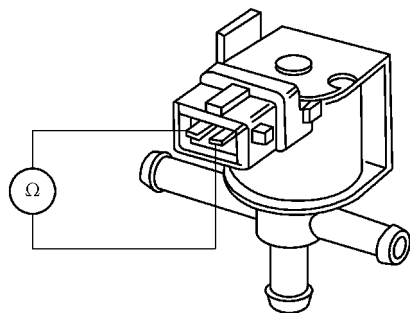


图 6-32 检测增压控制电磁阀 N75 的电阻

3) 增压控制电磁阀 N75 供电的检测。把便携式万用表 V. A. 61526（测量电压挡）串接在搭铁及触点之间，使起动机短时工作（允许发动机短时起动），其电压规定值为蓄电池电压。如没达到规定值，则通过熔丝检测端子 1 到燃油泵继电器的导线是否断路或短路，并检测增压控制电磁阀的触发情况。

4) 检查增压控制电磁阀 N75 的触发情况。拔下电磁阀 N75 的插接器头并把二极管试验灯 V. A. 61527 串接在端子 1 和 2 之间，起动执行元件诊断并触发增压控制电磁阀，二极管试验灯应闪亮。

如二极管试验灯不闪亮或常亮，则检测线束的导线是否断路或对正极、对负极短路。

第五节 可变进气管长度电子控制检测与诊断

一、可变进气管长度电子控制原理

进气门的开启和活塞的运动是一种扰动，会在进气系统产生膨胀波。这个膨胀波从进气门出发，以当地声速传播到管端。因为进气系统的管端是敞开的，膨胀波在此膨胀变成压缩波并同样以当地声速反向传回进气门。如果这个压缩波传到进气门时进气门开启着，那么由于这个压缩波引起的质点振动方向与进气气流方向一致，进气气流因此而得到增强，气缸体积效率将会提高，转矩也将增大。这一现象可用于提高体积效率和转矩，但进气管长度 L 须大致满足下列条件：

$$2L = aT \quad (6-1)$$

式中， L 为进气管长度（m）； a 为当地声速（m/s）； T 为进气门相继两次开启所经历的时

间 (s)。

在四冲程发动机中, 当发动机转速为 n (r/min) 时, 有:

$$T = \frac{120}{n} \text{ (s)} \quad (6-2)$$

将式 (6-2) 代入式 (6-1), 得:

$$L = 60 \frac{a}{n} \quad (6-3)$$

由此可见, 为了获得最佳体积效率, 应使进气管长度与发动机转速相匹配。为了提高低速转矩, 应增大进气管长度; 反之, 为了提高高速转矩 (进而提高额定功率), 应减少进气管长度。若要两者兼得, 必须使进气管长度因转速而调整。

二、可变进气管长度电子控制系统实例

德国 Pierburg 公司和奥迪公司合作开发了 V6 发动机的可变进气管长度电子控制系统, 1991 年用于奥迪 100 型轿车发动机。1995 年又进一步将同类系统用于奥迪 V6 五气门发动机。如图 6-33 所示, 该系统为每一个气缸的进气歧管装了一个活门 1。活门开启时, 空气通过活门以较短的路径进入气缸, 如黑色箭头所示; 活门关闭时, 空气不得不绕道以较长的路径进入气缸, 如白色箭头所示。活门只有全开和全闭两个位置, 由膜片阀 2 控制。膜片将膜片阀分成两个空腔, 靠近活门的空腔通大气; 另一个空腔内装有弹簧顶着膜片, 并通过一个电磁阀与真空泵相连 (图 6-33 中未示出)。膜片通过拉杆与活门相连。发动机转速超过设定的门槛值时, ECU 发信号给电磁阀, 将真空泵与膜片阀的一个空腔连通, 该空腔内的弹簧不抵另一个空腔内大气压力的作用, 在大气压力作用下膜片得以通过拉杆开启活门, 使进气管长度缩短。发动机转速低于这个门槛值时, 电磁阀切断从真空泵到膜片阀的通路, 膜片分隔开的两个空腔内都是大气压力, 膜片在弹簧压力作用下通过拉杆关闭活门, 使进气管长度加长。

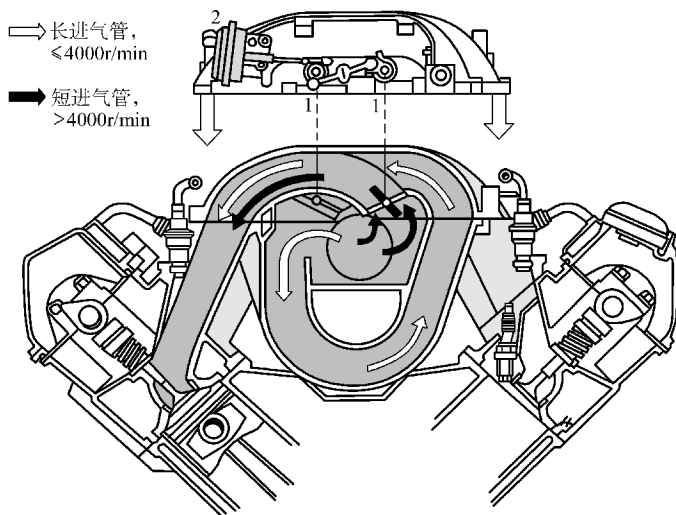


图 6-33 奥迪 V6 发动机的可变长度进气管

1—活门 2—膜片阀

可变长度进气管的构造与传统进气管不同。为了安装活门, 可变长度进气管必须分成上、下两件制造, 活门装在进气管上体内, 如图 6-34 所示。

奥迪 V6 发动机由于采用了可变进气管长度电子控制技术而在整个转速范围内获得了较为平坦的转矩曲线。当活门关闭时取较长的进气管长度,因此在较低的转速(约 3000r/min)出现最大转矩,如图 6-35 虚线所示,这正是汽车所需要的;但高转速时转矩陡降,影响了最大功率。反之,当活门开启时取较短的进气管长度,因此在较高转速(约 4600r/min)出现最大转矩,如图 6-46 实线所示,使最大功率明显上升;但低转速时转矩偏低,不能满足要求。虚线和实线相交于 4000r/min,所以,对奥迪 V6 发动机将转速门槛值定在 4000r/min,也就是说,当发动机转速升高到 4000r/min 时,ECU 发出指令开启活门,转矩曲线便从虚线转变到实线。因为转轨点的转速所对应的两条曲线的转矩相等,所以转轨时不会发生转矩的突变,汽车的平顺性不受影响。实现可变进气管长度电子控制之后,既可以获得令人满意的最大转矩,又能获得较高的最大功率。

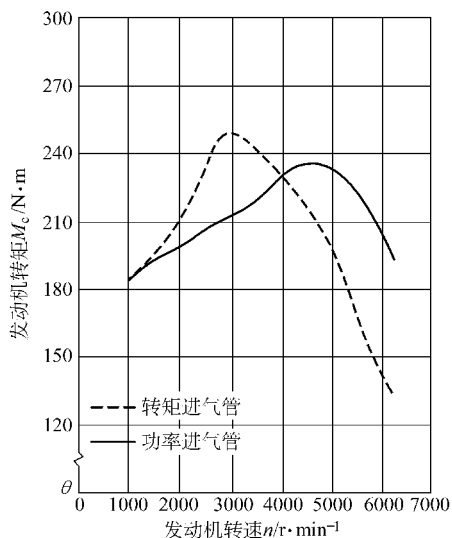


图 6-34 奥迪 V6 发动机进气管上体总成 (翻转) 图 6-35 可变进气管长度电子控制带来的转矩增益

三、可变进气管长度电子控制检测与故障诊断

可变进气管控制系统的诊断检修

奥迪 A6 采用的可变进气歧管控制系统电路如图 6-36 所示。只有当导线有故障时,才进行进气歧管转换系统的检查。发动机转速达到约 4700r/min 时,进气歧管从长管转换到短管。

(1) 进气歧管转换系统功能的检查 将发动机转速直接提高到 4700r/min 以上,这时进气歧管真空单元应吸紧(其安装位置在进气歧管左前部,点火线圈下面),进气歧管从长管转换到短管。

如果转换过程未发生,则进行下述检测:

- ① 检查进气歧管转换阀,如需要,检查进气歧管转换阀 N156 及功能。
- ② 检查真空罐密封性。
- ③ 检查真空管路密封性及是否导通和安装是否正确。
- ④ 检查转换机构是否运动灵活(用手操纵变速杆)。

进气歧管功能检查步骤如下:

① 连接 V. A. 55051 或 V. A. 61551, 选择地址码 01 “发动机电子系统”, 按 0 和 8 键选择 “读取测量数据块”, 按 Q 键确认输入。再按 0, 9 和 5 键, 选择显示组 95 (怠速时进气歧管切换), 按 Q 键确认输入。屏幕显示:

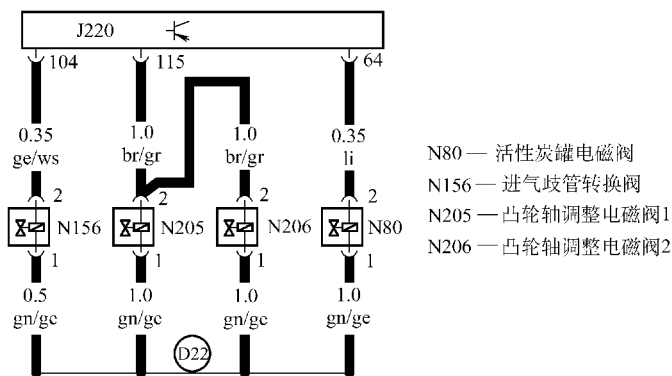


图 6-36 可变进气歧管控制系统电路

读取测量数据块 95

× × r/min ×. × × ms × × °C SU - V ASU

第一项: 发动机转速, 工作范围为 550 ~ 6800r/min, 规定值为 × × r/min;

第二项: 发动机负荷, 工作范围为 0.00 ~ 100.00ms, 规定值为 Hzg. vk. EIN;

第三项: 冷却液温度, 工作范围为 80.0 ~ 105.0°C;

第四项: 进气歧管切换, 规定值为 SU - V ASU。

② 检查进气歧管转换系统, 即显示区 4 的显示。规定值应为 SU - V ASU (进气歧管转换阀关)。

③ 将转速提高到约 4700r/min (显示区 1), 注意观察显示区 4 的显示。这时进气歧管转换功能应开始工作。如果显示 Stufe 1 (第 1 级), 但进气歧管转换真空单元没有拉紧, 则检查进气歧管转换电磁阀及真空系统的密封性。

(2) 真空系统的检查

① 使发动机怠速运转 2 ~ 3min (以产生真空), 关闭点火开关。

② 拔下进气歧管转换阀 N156 的插头。

③ 如图 6-37 所示, 用 V. A. 61594 中的检测线和鳄鱼夹将电磁阀的一个端子与发动机搭铁相连, 用遥控器 V. A. G1348/3A 接线 V. A. G1348/3 - 2 和辅助电缆将电磁阀另一个端子接到正极上。

④ 操纵遥控器 V. A. G1348/3A 2 ~ 3min, 在此期间真空单元应处于拉紧状态。如果真空单元回到原位, 按下述步骤检查真空单元。

⑤ 拔下进气歧管转换真空单元上的真空管。将手动真空泵 V. A. 61390 接到真空单元上。操纵手动真空泵并注意转换过程。检查真空单元密封

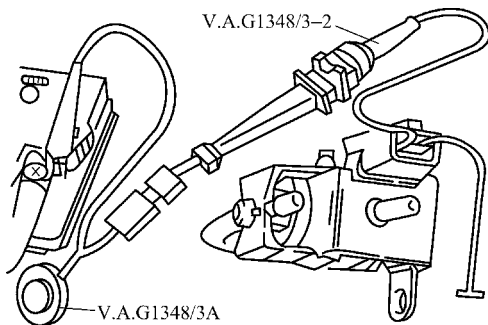


图 6-37 真空系统的检查

性：只要手动真空泵在起作用，真空单元就不应回到原位。如需要，更换真空单元。如果真空单元未拉紧，则检查 N156 的通过性。

⑥ 用 V. A. 61594 中的检测线和鳄鱼夹将电磁阀 N156 的一个端子与发动机搭铁相连，用遥控 V. A. G1348/3A 接线 V. A. 61348/3—2 和辅助电缆将 N156 另一端子接到正极上。

⑦ 操纵遥控器 V. A. 61348/3A 检查阀的通过性（拔下真空管向内吹气）。如需要，更换进气歧管转换阀。如果至此仍未确定故障，则检查真空管及真空管路。

（3）进气歧管转换阀的检查

1）检查进气歧管转换电磁阀 N156（使发动机怠速运转 2 ~ 3min 以产生真空）。关闭发动机，打开点火开关，进行执行元件诊断（功能 03）并触发进气歧管转换电磁阀，电磁阀应咔嗒响（可感觉或听到）。1min 后执行元件诊断中止。

2）进气歧管转换阀 N156 的电阻检测。拔下进气歧管转换阀 N156 的插头，用 V. A. 61526（或汽车万用表）测量端子间的电阻，其电阻值应为 25 ~ 35Ω。如果没有达到规定值，更换进气歧管转换阀 N156。

3）检查进气歧管转换阀 N156 的供电。拔下进气歧管转换阀 N156 的插头，用 V. A. 61594 辅助接线将二极管电笔 V. A. 61527 接到插头端子 1 和发动机搭铁之间，短时启动起动机，二极管电笔应亮。如果二极管电笔不亮，则检查 N154 的熔丝是否正常，检查从进气歧管转换阀插头端子 1 到熔丝的导线是否断路，并检查燃油泵继电器及其功能是否正常。

4）检查进气歧管转换阀的触发状况。用 V. A. G1594 接线将二极管电笔 V. A. 61527 接到进气歧管转换电磁阀端子 1（正极）和 2 之间。进行执行元件诊断，触发进气歧管电磁阀时，二极管电笔应闪亮。如果二极管电笔不闪亮或一直亮着，将检测盒 V. A. 61598/31 接到发动机 ECU 线束上，不接发动机 ECU，如果二极管电笔一直亮着，则检测从进气歧管转换阀插头端子 2 到检测盒 V. A. 61598/31 的端子 104 之间的导线是否搭铁。如果二极管电笔不闪亮，则检查从进气歧管转换阀插头端子 2 到检测盒端子 104 间的导线是否断路或对正极短路，如有故障，则排除搭铁或断路故障；如导线既无断路也无短路，则更换发动机 ECU。

第六节 分缸断油电子控制

汽车的行驶阻力由坡度阻力、加速阻力、滚动阻力和空气阻力四部分组成。其中，空气阻力与车速的平方成正比；滚动阻力随车速增大而略有增加；其余两项与车速无关。汽车低速行驶时，以前面三项为主，阻力几乎与车速无关，所以对发动机的功率要求与车速成正比；但高速行驶时，阻力以空气阻力为主，大体上与车速平方成正比，所以对发动机的功率要求与车速的三次方成正比。经济型轿车对车速要求较低，可是豪华型轿车对车速要求很高，甚至可达 200km/h，所以后者装备的发动机功率甚至可达前者的 10 倍。这种大功率轿车在都市中行驶时，功率要求不会比经济型轿车大许多，所以只利用了发动机标定功率的很小一部分，例如十分之一。汽油机在这种低工况下运行时，经济性和排放都极差。如果在这种低工况下切断一部分气缸的燃油供应，那么其余各缸就会工作在经济性和排放都大为改善的工况区域。一旦这几个缸已不能满足功率要求时，其余气缸便单独地或成组地恢复供油并点火工作。这种工作方式称为分缸断油。

以分缸断油的方式实现部分负荷调节时,不必将节气门开度减小。与传统汽油机相比,这种调节方式显然减少了泵气损失和节流损失,这也进一步提高了经济性。

图 6-38 以六缸机为例示出了分缸断油电子控制的原理。部分负荷时,ECU 通过设在燃油系统中的阀门切断右面三个气缸的燃油供应,只有左面三个气缸得到燃油供应并点火工作,一部分废气被送回进气管。进气总管中设有由 ECU 控制的阀门,可将这两组气缸的进气歧管分隔开,所以回流废气可经进气管流入已经断油的三个气缸,再经过专门为这一组气缸设置的废气管排出。让废气流入断油气缸的目的是保证发动机整体上温度分布均匀,提高断油气缸中机油的温度以减少摩擦损失和磨损。全负荷时,各缸一起工作。进气总管中的阀门将两组气缸的进气歧管接通,各缸都得到新鲜空气和燃油供应。

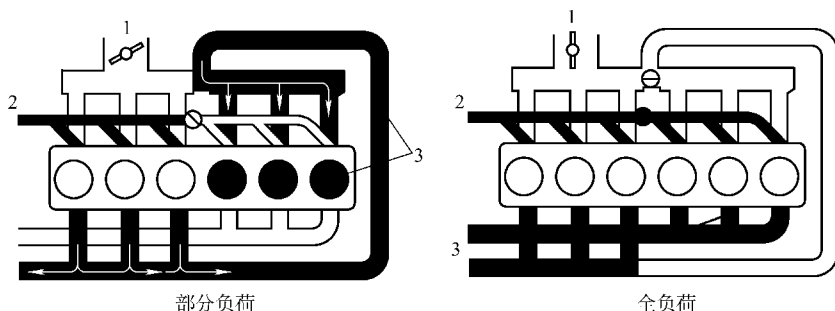


图 6-38 分缸断油电子控制

1—空气 2—燃油 3—废气

第七节 与变速器换挡相关的发动机电子控制

变速器换挡电子控制属于汽车底盘电子控制的范畴,不在本书覆盖范围以内。这里只介绍一下其中与发动机电子控制有关的问题。

变速器换挡电子控制可降低油耗、改善换挡舒适性并提高可传递的功率和变速器寿命。它可与发动机电子控制系统做成一体,如图 6-39 所示。所需的输入信号由发动机负荷传感器 7、发动机转速传感器 8、节气门开关 6 以及变速器输出轴转速传感器 9、变速器挡位开关 2、程序模块开关 3 和加速踏板终端开关 4 等提供。执行器是变速器液压系统压力调节器、电磁换挡阀和变扭器阀 14 和故障信号灯 15。

在平路上行驶时,确定的汽车对发动机的功率需求由车速惟一地确定。发动机功率等于转矩和转速的乘积。为了实现某一车速,发动机功率和转速可以有不止一种的组合,由变速器速比决定。每一种组合对应于发动机的一个工况点和一个比油耗值。ECU 会选择其中比油耗最低的一种组合所对应的变速器速比。为此目的设置的程序模块称作节油程序模块。当然还有其他程序模块可供选择,例如手动换挡程序模块和运动驾驶程序模块等,分别适应不同的要求。

变速器换挡电子控制的另一优点是,换挡时可推迟点火以降低发动机转矩。全负荷时换挡本来是特别危险的。推迟点火使得全负荷换挡就跟部分负荷换挡一样平稳。换挡结束以后,点火正时恢复正常。

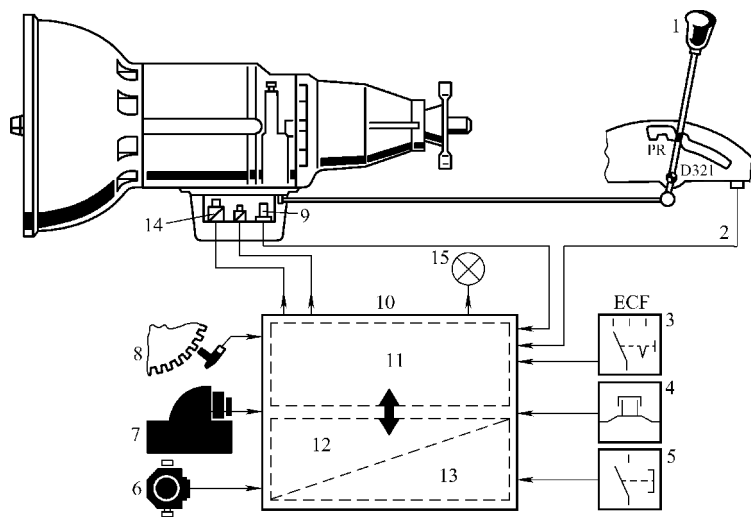


图 6-39 变速器电子控制系统

- 1—变速杆 2—挡位开关 3—程序模块开关 4—加速踏板终端开关 5—牵引力控制开关
6—节气门开关 7—发动机负荷传感器 8—发动机转速传感器 9—变速器输出轴转速传感器
10—电子控制单元 11—变速器控制 12—点火控制 13—喷油控制 14—换挡阀和变扭器阀 15—故障信号灯

第八节 进气量电子控制故障检测与诊断

一、进气量电子控制的必要性

发动机转矩实质上取决于每循环输入的燃油量。驾驶人对加速踏板的操纵，实际上是对发动机提出转矩需求的一种表达。传统的汽油机采用均质混合气，空燃比变动范围很小，调节进气量就能调节转矩，称为变量调节，所以加速踏板以机械方式直接连着节气门，往下踩加速踏板就能增大节气门开度，增加进气量，增加转矩。但是，这种调节方式在现代电子控制汽油机中受到了挑战，因为它排除了以电子方式影响进气量的可能性，而这种可能性正是许多场合下所需要的。

1. 通过节气门以外的装置调节进气量的场合

不用节气门，只要通过调节进气门的升程和开启相位也可调节进气量。但是无法通过加速踏板以机械方式直接调节进气门。

2. 某些电子控制项目中为了改善平顺性而要求逐步改变转矩的场合

在倒拖、分缸断油、稀薄燃烧、变速器换挡和防抱制动等电子控制过程中，都会伴随着对发动机转矩需求的改变。转矩突变将破坏汽车行驶的平顺性，应予以防止。为了实现转矩的平稳过渡，可以采取逐步增大或逐步减少点火提前角的方法，也可以采取逐步改变进气量的方法。目前多数发动机采取前一种方法，但这样做影响了点火提前角的优化，增加了油耗。后一种方法比较理想。但是由于上述这种控制项目都是以电子方式完成的，驾驶人根本无从知晓，也就无法通过加速踏板改变进气量来实现转矩的平稳过渡。即使驾驶人能够及时地察觉上述的过渡过程而想要通过改变进气量来实现转矩的平稳过渡，也不可能通过人工操作做到过渡过程的绝对平稳。只有当进气量也实现电子控制之后才有可能通过改变进气量实现转矩的平稳过渡。

3. 为了迅速加热三元催化转化器而在暖机阶段推迟点火の場合

为了迅速加热三元催化转化器,可在暖机阶段推迟点火,提高废气温度。但由此引起了平均有效压力和转矩的下降。为了补偿这一损失,要求在加速踏板位置保持不变的情况下自动增加进气量。

4. 牵引力电子控制、发动机限速控制和汽车限速控制の場合

过去,这些电子控制项目都要求发动机短暂而频繁地断油。这使得三元催化转化器的温度频繁地起伏波动,一方面影响了转化效率,另一方面给三元催化转化器的载体增加了突变热负荷。为了解决这个问题,要求在加速踏板位置保持不变的情况下自动调整进气量。

5. 现代汽油直接喷射发动机

低负荷范围可实现稀薄燃烧,因而可让节气门全开,通过改变喷油量调节转矩,以达到减少泵气损失的目的;高负荷范围则仍通过节气门调节转矩,详见第5章。这种发动机的节气门不能以机械方式直接与加速踏板连接,而必须以电子方式控制。

二、进气量电子控制系统的组成

进气量电子控制俗称电子节气门(E-GAS),又称导线驾驶(Drive-by-Wire)。目前一般都采用节气门调节进气量,用节气门作为进气量电子控制的执行器,如图6-40所示,所以称之为节气门电子控制(Electronic Throttle Control,缩写成ETC)。

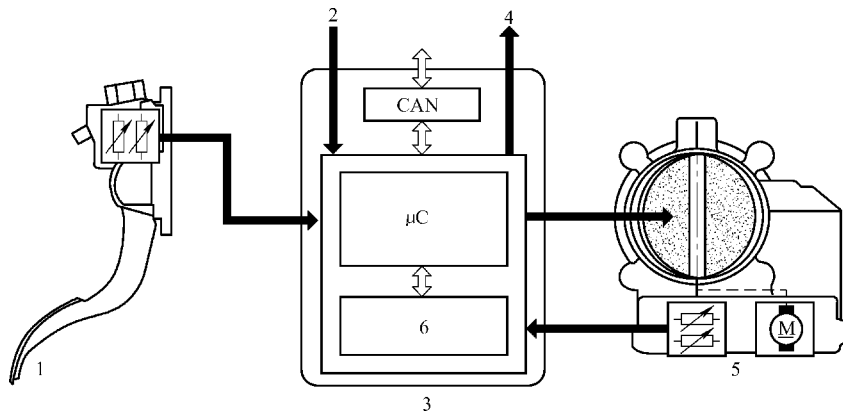


图 6-40 进气量电子控制系统

1—加速踏板模块 2—各种传感器 3—发动机 ECU 4—各种执行器 5—节气门装置 6—监测模块

加速踏板不再以机械方式直接与节气门连接。这类系统的加速踏板实质上是一个电位计,称作加速踏板模块,它的输出电压信号反映了加速踏板的位置。它起一个传感器的作用。在采用自动变速器的场合,加速踏板终端开关也纳入加速踏板模块之中。ECU 将它的信号看做驾驶人关于对发动机的转矩需求的一种表达。但加速踏板位置和节气门位置之间并不存在一一对应的关系,这与传统的模式根本不同。ECU 除了根据加速踏板位置及其改变速度以外还要考虑其他传感器的信号,如节气门转角、进气量、转速、冷却液温度等以及汽车底盘电子控制信号,经过计算后确定节气门应有的开度,然后发出指令给节气门装置的直流电动机。该直流电动机通过一台两级齿轮减速器驱动节气门轴。节气门位置信息通过节气门位置传感器反馈给 ECU,借此实现节气门位置的闭环控制。这种控制方式避免了机械式的加速踏板杆系中诸如间隙、摩擦和磨损引起的误差。

ETC 用于成批生产的汽车至少可追溯到 1986 年。早期的 ETC 版本要求用它自己的

ECU。由于微型计算机技术的进步和用于触发 ETC 的集成功率输出级的不断发展,使得将 ETC 的 ECU 集成于发动机 ECU 已成为可能,节省了空间,降低了成本。由于 ETC 提高了经济性、动力性、安全性并降低了排放,它正在被越来越多的轿车发动机所采纳。

三、进气量电子控制系统的故障诊断与维修

雷克萨斯 IS200 电子节气门系统诊断

雷克萨斯 IS200 电子节气门系统的节气门位置传感器、加速踏板位置传感器和节气门控制电动机都安装在节气门体上,所以并未取消节气门拉索,但节气门拉索并不直接作用在节气门上。

(1) 加速踏板位置传感器诊断检修 加速踏板位置传感器控制电路如图 6-41 所示。故障码为 P1120 (19), P1121 (19)。

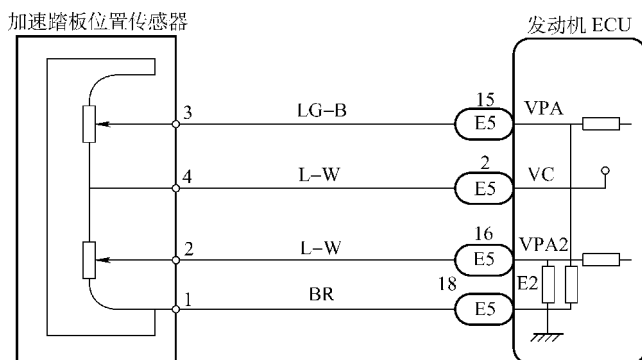


图 6-41 加速踏板位置传感器控制电路

1) 故障码 P1120 的诊断。检测到故障码 P1120,可能的故障原因有加速踏板位置传感器电路短路或断路、加速踏板位置传感器有故障、发动机 ECU 有故障。诊断如下:

a. 检查发动机 ECU 插接器端子 VC 和 E2 间的电压。打开点火开关,检测发动机 ECU 插接器端子 VC 和 E2 间的电压,应为 4.5 ~ 5.5V (图 6-42)。

若电压正常,则进行下一步检查;若电压不正常,则检查是否是间歇性故障。

b. 检查发动机 ECU 插接器端子 VPA 与 E2, VPA2 与 E2 间电压。打开点火开关,检测发动机 ECU 插接器端子 VTA 与 E2 间、端子 VTA2 与 E2 间的电压。

加速踏板松开时,端子 VPA 与 E2 间电压为 0.3 ~ 0.9V,端子 VPA2 与 E2 间电压为 1.8 ~ 2.7V;加速踏板踩下时,端子 VPA 与 E2 间电压为 3.2 ~ 4.8V,端子 VPA2 与 E2 间电压为 4.6 ~ 5.1V,如图 6-43 所示。

若电压正常,则进行下一步检查;若电压不正常,则检查或更换发动机 ECU。

c. 检查加速踏板位置传感器 (部件检修)。若加速踏板位置传感器正常,则检查发动机 ECU 和加速踏板位置传感器间 VC、VPA, VPA2 和 E2 电路配线/插接器是否断路或短路;若不正常,则更换加速踏板位置传感器。

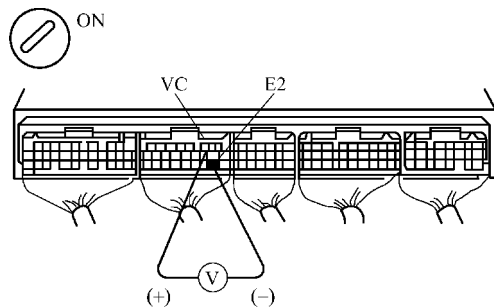


图 6-42 检查发动机 ECU 插接器端子 VC 和 E2 间电压

2) 故障码 P1121 的诊断。检测到故障码 P1121, 说明加速踏板位置传感器损坏, 需要更换加速踏板位置传感器。

a. 检查加速踏板位置传感器。脱开加速踏板位置传感器插接器, 用电阻表测量端子 VC 和 E2 间的电阻 (图 6-44)。在 20℃ 时电阻为 $1.25 \sim 2.35 \Omega$ 。如果电阻不在规定范围内, 则更换加速踏板位置传感器。

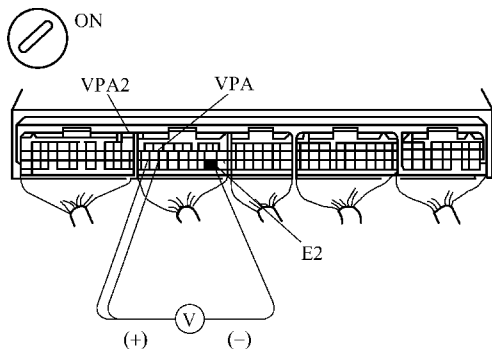


图 6-43 检查发动机 ECU 插接器端子 VPA 与 E2, VPA2 与 E2 间电压

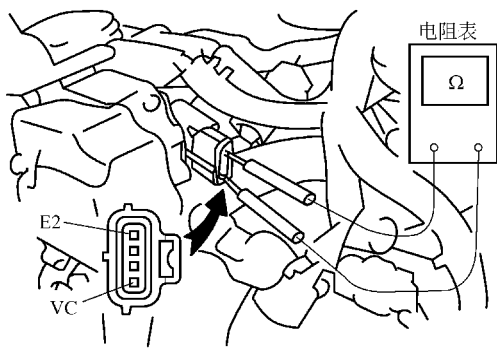


图 6-44 测量加速踏板位置传感器端子 VC 和 E2 间的电阻

b. 更换加速踏板位置传感器。拆下加速踏板位置传感器：拆下将加速踏板位置壳固定在节气门体上的两个螺母，拔出加速踏板位置壳，拆下两个螺钉和加速踏板位置传感器。

重新安装加速踏板位置传感器：将加速踏板位置传感器的销槽对准壳的销杆 (图 6-45)，将加速踏板位置传感器的凸缘中心对准壳的螺栓孔 (图 6-46)，安装加速踏板位置传感器，拧紧两个螺钉和螺母，螺钉转矩为 $2.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，螺母转矩为 $5.4 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

检查并调整加速踏板位置传感器。接上加速踏板位置传感器插接器，将便携式测试仪接至 DLC3，将点火开关转至 ON 位置。提示：将点火开关扭至 ON 位置后，不要踩下加速踏板。

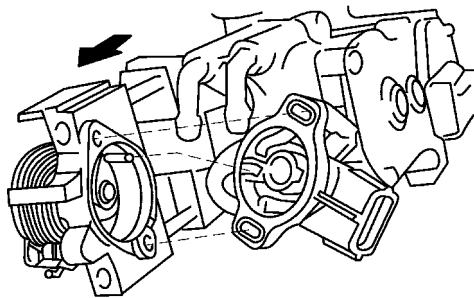


图 6-45 销槽对准壳的销杆

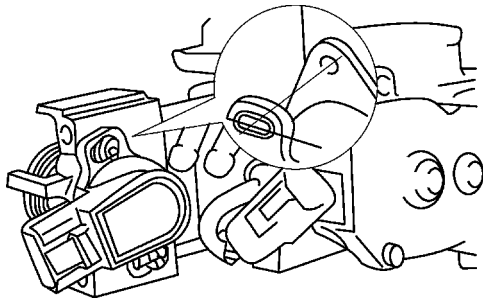


图 6-46 凸缘中心对准壳的螺栓孔

检查“当前数据”中节气门 POS#1 (VPA) 的电压，应为标准值： $0.3 \sim 0.9 \text{ V}$ 。松开螺母，用螺钉 A 调整电压。

提示：不要拧螺钉 B (图 6-47)。

(2) 节气门控制电动机 (带电磁离合器) 的诊断检修

1) 节气门控制电动机的诊断检修。节气门控制电动机 (带电磁离合器) 电路如图 6-48

所示。检测到故障码 P1125 (89) 时,可能的故障原因有节气门控制电动机电路短路或断路、节气门控制电动机有故障、发动机 ECU 有故障。

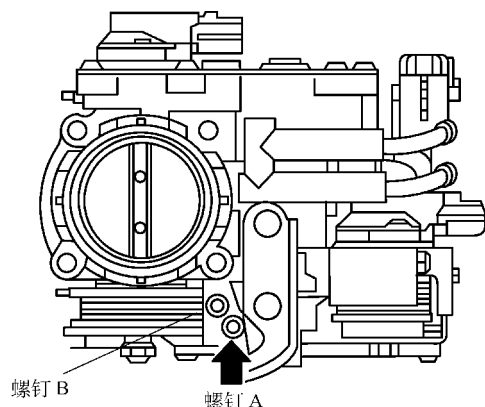


图 6-47 调整加速踏板位置传感器

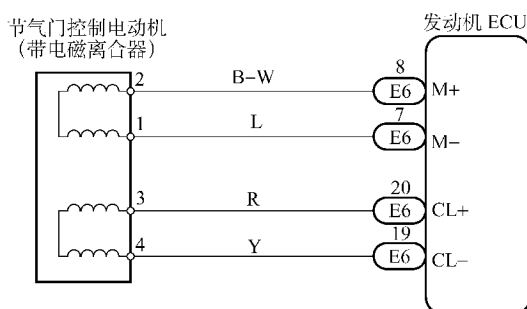


图 6-48 节气门控制电动机电路

a. 检查节气门控制电动机电路。将示波器连接至发动机 ECU 插接器端子 M+ (或 M-) 和 E1 间, 起动发动机, 检查在发动机怠速运转时, 发动机 ECU 插接器端子 M+ (或 M-) 和 E1 间波形, 正常波形如图 6-49 所示。

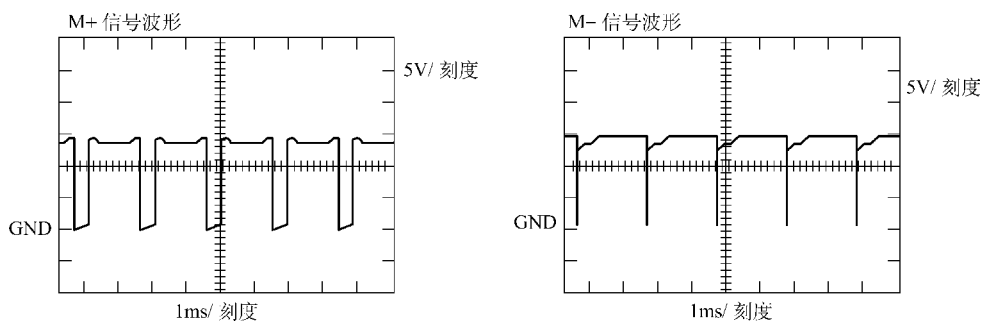


图 6-49 节气门控制电动机正常波形

提示: 波形频率取决于节气门开度。

若波形不正常, 则进行下一步检查; 若波形正常, 则检查或更换发动机 ECU。

b. 检查节气门控制电动机。脱开节气门控制电动机插接器, 检测节气门控制电动机 (带电磁离合器) 端子 1 和端子 2 间的电阻 (图 6-50), 在 20℃ 时为 0.3 ~ 100Ω。

若阻值正常, 则进行下一步检查; 若阻值不正常, 则更换节气门控制电动机。

c. 检查节气门控制电动机与发动机 ECU 间的配线和插接器是否断路或短路。配线和插接器若正常, 则检查或更换发动机 ECU; 若不正常, 则检修或更换配线和插接器。

2) 电磁离合器电路的诊断检修。检测到故障码 P1126 (89) 时, 可能的故障原因有电磁离合器电路短路或断路、电磁离合器电路有故障、发动机 ECU 有故障。

a. 检查电磁离合器电路。将示波器连接至发动机 ECU 插接器端子 CL₊ 和 CL₋ 之间, 起动发动机, 检查在发动机怠速运转时, 发动机 ECU 插接器端子 CL₊ 和 CL₋ 间的波形, 正常波形如图 6-51 所示。

若波形不正常, 则进行下一步检查; 若波形正常, 则进行 d 项检查。

b. 检查电磁离合器。脱开节气门控制电动机（带电磁离合器）插接器，检测节气门控制电动机端子 3 和端子 4 间的电阻（图 6-50），在加 20℃ 时为 4.2 ~ 5.2Ω。

若阻值正常，则进行下一步检查；若阻值不正常，则更换节气门控制电动机（带电磁离合器）。

c. 检查电磁离合器与发动机 ECU 间的配线和插接器是否断路或短路。配线和插接器若正常，则进行下一步检查；若不正常，则检修或更换配线和插接器。

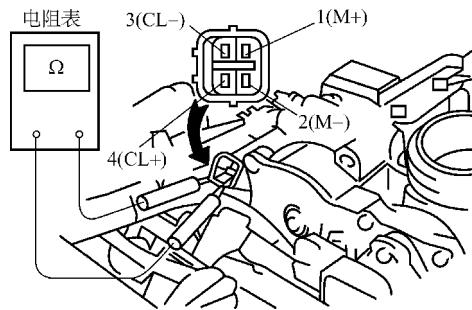


图 6-50 检查节气门控制电动机电阻

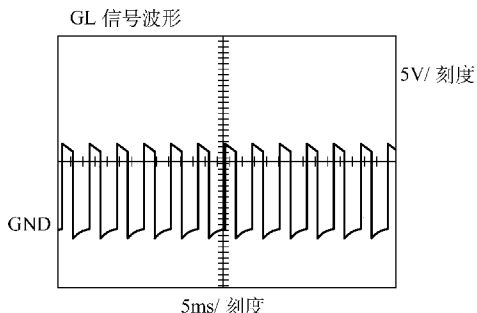


图 6-51 电磁离合器正常波形

d. 检查电磁离合器工作情况。清除故障码，打开点火开关，起动发动机，关闭点火开关，并等 3s，打开点火开关，这时不应有故障码 89。

若没有故障码 89，则检查或更换发动机 ECU；若有故障码 89，则更换节气门控制电动机（带电磁离合器）。

3) 更换节气门控制电动机

a. 拆下节气门位置传感器，拆下 6 个螺钉和盖子，拆下垫圈、中间齿轮和垫圈。从插接器支架上脱开节气门控制电动机插接器，从节气门体上拆下两个螺钉、节气门控制电动机和波形垫圈，如图 6-52 所示。

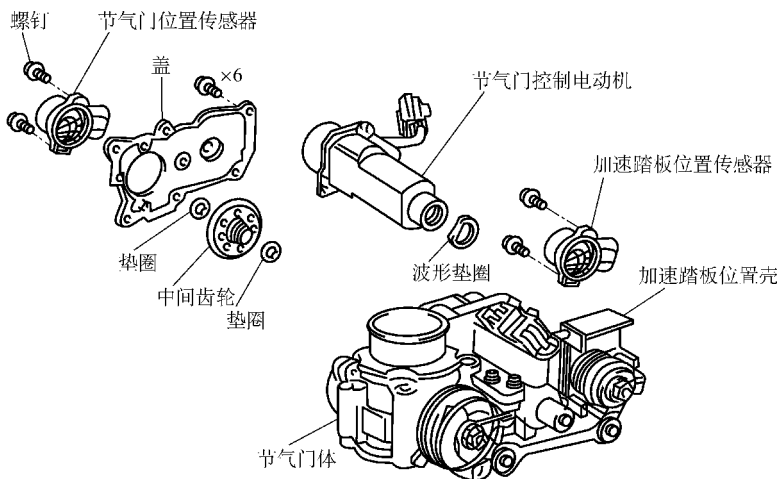


图 6-52 节气门体分解图

b. 重新装上新的节气门控制电动机。将波形垫圈塞进节气门体，将节气门控制电动机的销孔对准节气门体的定位销，将绝缘环装在节气门控制电动机盖上，重新把插接器连接到

支架上,用两个螺钉安装节气门控制电动机,扭紧力矩为 $3.4\text{N}\cdot\text{m}$ 。

在轮齿的整个表面涂薄薄一层黄油,装上垫圈、中间齿轮和垫圈。

提示:因为被更换的部件已经有黄油,所以不要在规定以外的地方涂抹黄油。

如图 6-53 所示,安装垫圈,将盖子的销孔对准节气门体的定位销,用 6 个螺钉安装盖子。

c. 重新安装并调整节气门位置传感器。

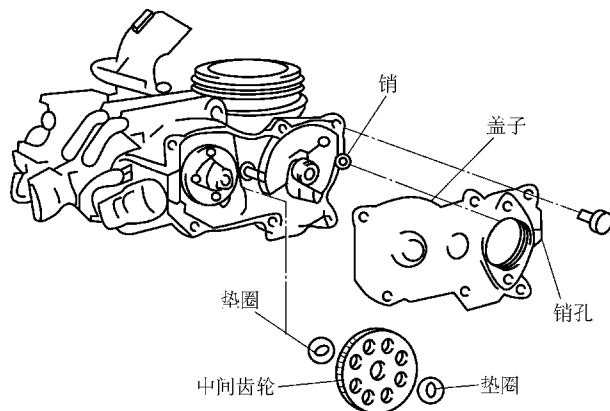


图 6-53 更换节气门控制电动机

第九节 停车一起动运行电子控制

怠速转速电子控制是为了减少怠速燃油消耗。达到同样目的的另一办法是采取停车一起动运行。当离合器脱开,汽车停住或只是以大约 2km/h 的速度爬行时,发动机在几秒钟内就自动关闭。这种情况主要发生在都市交通信号灯前面或堵车时。借此可节省燃油并减少排放。重新起动发动机时只要将离合器踏板踩到底,并将加速踏板踩下达其行程三分之一以内就可以了。此时,ECU 会令起动机转动,并按照起动程序模块控制喷油和点火。这样,省去了人工起动操作步骤的麻烦。

停车一起动运行虽然节省了怠速燃油,但增加了起动燃油的消耗。因此,严格限制起动燃油的消耗就成了特别重要的任务。

第十节 空调压缩机电子控制

汽车空调压缩机通常装在发动机上,通过电磁离合器从发动机获取功率。电磁离合器由 ECU 控制。

如图 6-54 所示,当驾驶人接通空调开关时,空调请求信号 1 输送给 ECU。ECU 根据其他信号 3 分析后决定是否开启空调。若可以开启,则发出信号给空调压缩机离合器继电器 4,继电器 4 接通空调压缩机电磁离合器 5 的电磁线圈电路,使离合器 5 接合,发动机便带动空调压缩机旋转。

出现下列的一种或几种情况时,空调请求将不被响应:

- ① 发动机转速超过某一数值如 5400r/min。
- ② 发动机转速超过某一稍低于上述的数值若干秒, 例如超过 4500r/min 达 5s。
- ③ 点火电压低于某一数值例如 10.5V。
- ④ 节气门开度大于某一程度, 例如 90%。
- ⑤ 制冷剂压力过高或过低, 例如高于 2.9MPa 或低于 0.24MPa。
- ⑥ 冷却液温度过高, 例如超过 125℃。
- ⑦ 进气温度过低, 例如低于 5℃。

空调请求信号也可以不是由驾驶人发出而是以电子方式自动发出, 例如根据太阳光照强度、环境空气温度、人体皮肤温度、汽车车厢内温度等信息由 ECU 确定是否发出空调请求信号。

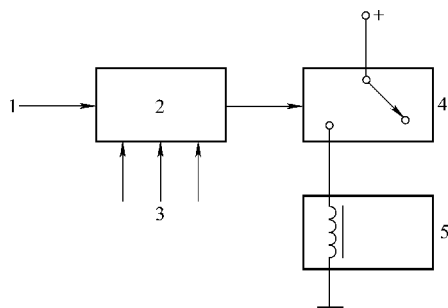


图 6-54 空调压缩机电子控制原理

1—空调请求信号 2—ECU 3—其他信号
(包括转速、点火电压、节气门位置、
制冷剂压力、冷却液温度和进气温度等)
4—空调压缩机电磁离合器的继电器
5—空调压缩机电磁离合器

第十一节 冷却风扇电子控制

现代轿车发动机冷却风扇通常不是直接装在曲轴前端, 而是与散热器做成一体。受发动机舱尺寸所限, 散热器常做成长方形, 两台冷却风扇并列布置, 各由一台电动机驱动。ECU 根据输入信息控制冷却风扇电动机。如图 6-55 所示, 当 ECU 未给冷却风扇继电器 2, 3 和 4 发出信号时, 两台电动机都不通电; 当 ECU 只发出信号给冷却风扇继电器 2 并使它接通时, 冷却风扇电动机 5 和 6 串联, 低速旋转; 当 ECU 同时发出信号给冷却风扇继电器 2, 3 和 4 并使它们都接通时, 冷却风扇电动机 5 和 6 并联, 高速旋转。

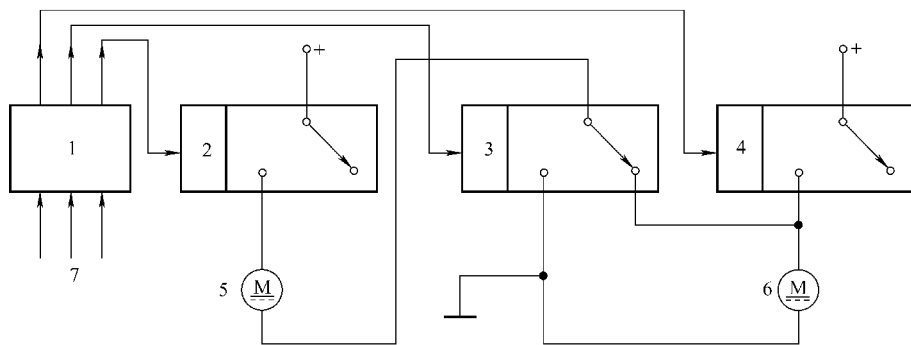


图 6-55 冷却风扇电子控制原理

1—ECU 2, 3, 4—冷却风扇继电器 5, 6—冷却风扇电动机 7—输入信号

第十二节 怠速转速控制与诊断

一、怠速的定义及怠速转速的任务

汽车发动机的怠速是指加速踏板完全松开, 转速保持在最低可能水平的工况。目前的汽油机一般都有节气门。怠速时节气门的回位弹簧促使节气门有全闭的倾向。

必须指出, 怠速与空转是两个概念。空转就是空负荷, 指发动机在没有外加负荷的情况

下运转。早年,汽车发动机的动力完全用于驱动汽车,只要离合器脱开,发动机就没有任何外加负荷,此时就是空转。而且此时加速踏板也必定是完全松开的,所以又是怠速,于是使人觉得怠速就是空转。但是现代汽车就不同了,轿车都装有空调设备。即使怠速时将离合器脱开,发动机还要带动空调压缩机。许多汽车装有动力转向装置,怠速时只要前轮稍微转过一个角度,发动机就要消耗动力于转向装置。所以,怠速不一定没有负荷。

怠速时,如果转速稳定,则发动机转矩恰与阻力矩平衡。在发动机的动力完全用于驱动汽车的场合,怠速的任务只是使发动机不熄火,而不是对外做功。怠速消耗的燃油完全用于克服摩擦力。为了减少摩擦功以节省燃油,怠速转速越低越好。但若转速太低,则怠速不稳定,易熄火。所以,怠速转速控制的任务就是保证发动机怠速时稳定在最低可能的转速以节省燃油并减少排放。如果怠速时有负荷,则负荷变动会影响怠速转速,此时怠速转速控制的任务就是保证即使负荷变动,怠速转速也没有很大的波动。无论汽车电气系统是否有负荷,或空调接通,或自动变速器在前进挡,或动力转向装置完全锁定,或驶上高原,均须保证这一点。怠速转速变动时,为了使怠速转速恢复到规定值,必须使每循环喷油量跟着变动。在汽油机中这就意味着空气吸入量要跟着变动。所以,怠速转速控制实质上就是控制怠速时的空气吸入量。从这个意义上说,怠速转速控制其实不属于燃油定量控制的范畴,但是作为一种工况,又是燃油定量控制中必须考虑的。

二、怠速空气提供方式

提供怠速空气的元件有很多种,但提供怠速空气的方式不外乎两大类。

1. 节气门旁通

采用这种方式的系统在怠速时节气门完全关闭。怠速空气通过一条跨接在节气门两端的怠速通道流入气缸。怠速通道中装着一个不同类型的怠速空气控制阀,如图 6-56 所示。图中的怠速空气控制阀只是一种示例。

2. 节气门调节

采用这种方式的系统设有跨接在节气门两端的怠速通道。怠速时,加速踏板虽然完全松开,但节气门并不完全关闭,而是仍通过它提供怠速空气(图 6-57)。

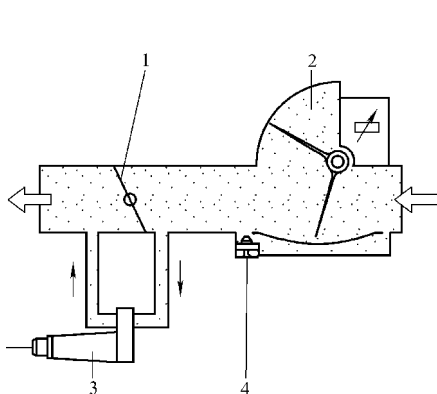


图 6-56 节气门旁通

1—节气门 2—空气流量传感器
3—辅助空气滑阀 4—怠速混合气调整螺钉

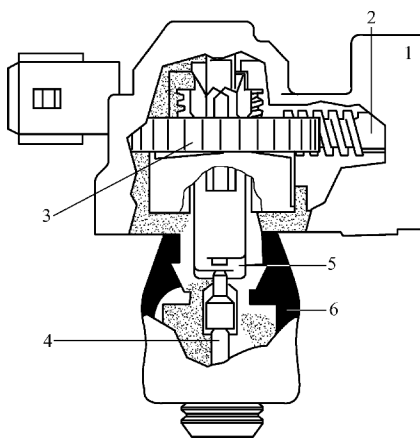


图 6-57 节气门调节执行器

1—带电动机的外壳 2—蜗杆 3—蜗轮
4—调节轴 5—怠速触点 6—橡胶套

三、怠速转速控制的执行器

1. 节气门调节式怠速控制

(1) 电加热的补充空气阀 补充空气阀是实现发动机快怠速的装置。当发动机冷起动时,部分空气经补充空气阀进入发动机,使发动机的进气量增加。由于这部分空气是经过空气流量计计量过的,因此喷油量将相应地有所增加,从而提高了怠速转速,缩短了暖车时间。

双金属片式补充空气阀由双金属片1、阀片3及电热丝4等组成(图6-58)。发动机冷起动时,阀片上的孔将补充空气道的进、出口连通,补充空气进入发动机,使怠速转速增高。随着发动机的运行,电流流过电热丝,使双金属片受热弯曲,在弹簧2的作用下,阀片逐渐将补充空气道的进、出口遮断,补充空气量随之逐渐减少直至为零,发动机也逐渐恢复到正常怠速。

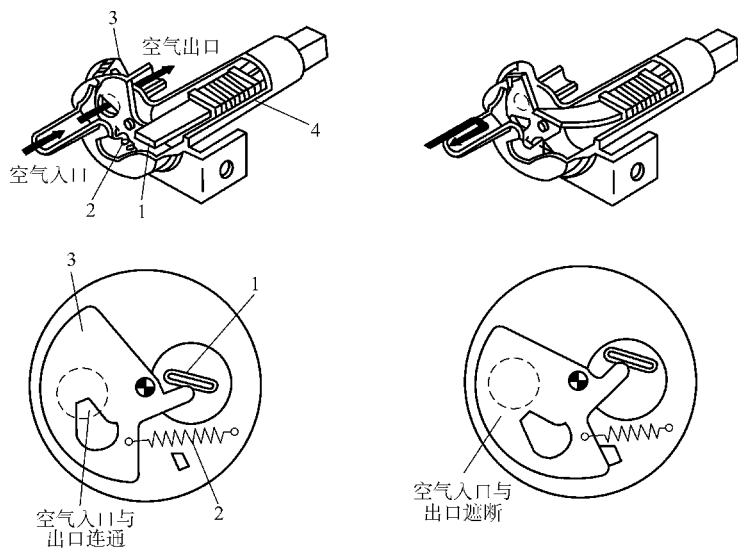


图 6-58 双金属片式补充空气阀

1—双金属片 2—弹簧 3—阀片 4—电热丝

现代汽油喷射系统多采用蜡式补充空气阀(图6-59)。发动机循环冷却液经软管通入补充空气阀的水套中,流经蜡盒6周围。发动机冷起动时,冷却液的温度低,蜡盒内的石蜡凝固收缩,锥阀4在弹簧的作用下开启,打开旁通空气道。随着发动机逐渐热起来,冷却液的温度升高,蜡盒内的石蜡受热熔化膨胀,使推杆伸出,推动锥阀将旁通空气道关闭。

(2) 节气门调节执行器 节气门调节执行器又称节气门定位器,通过它的调节轴作用于节气门拉杆,改变节气门开度,进而影响发动机吸入的空气量。如图6-57所示,节

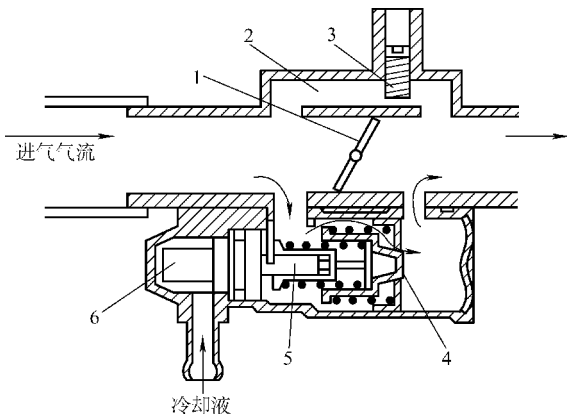


图 6-59 蜡式补充空气阀

1—节气门 2—旁通气道 3—怠速调整螺钉
4—锥阀 5—推杆 6—蜡盒

气门调节执行器有一台直流电动机。直流电动机通过蜗杆 2 和蜗轮 3 带动调节轴 4。根据直流电动机的旋转方向,调节轴可以伸出或缩回。调节轴伸出时,通过节气门拉杆使节气门开度增大;电动机极性相反时调节轴缩回,节气门开度缩小。在调节轴上装有一个怠速触点 5。当调节轴压靠节气门拉杆时,怠速触点闭合,借此通知 ECU 现在可能是怠速工况。

怠速转速闭环控制是指 ECU 将实际的怠速转速与程序中设定的由发动机温度、空调、空调压缩机、自动变速器等状态决定的怠速转速设定值比较,并根据比较结果吸入空气量,此时燃油定量系统相应地调节喷油量,使实际的怠速转速向设定值靠拢。前述的两种怠速空气提供方式都可用于怠速转速闭环控制。

2. 旁通式空气怠速控制

步进电动机式怠速控制阀 在节气门体汽油喷射系统中,节气门体上装有步进电动机式怠速控制阀(图 6-60)。其功用是自动调节发动机的怠速转速,使发动机在设定的怠速转速下稳定运转。在使用空调器或转向助力器的汽车上,电控单元通过怠速控制阀自动提高怠速转速,以防止发动机因负荷加大而熄火。

步进电动机式怠速控制阀由步进电动机、螺旋机构和锥面控制阀等组成。螺旋机构中的螺母和步进电动机的转子制成一体,而螺杆和锥面控制阀制成一体。步进电动机中有几组励磁线圈,改变励磁线圈的通电顺序,可以改变电动机的旋转方向。步进电动机由电控单元控制。电控单元从发动机转速传感器获得发动机实际转速的信息,并将实际转速与预编程序中设定的转速相比较,根据两者偏差的大小向励磁线圈输出不同的控制脉冲电流。这时步进电动机或正转或反转一定的角度,并驱动螺杆和锥面控制阀或向前或向后移动一定的距离,使旁通空气道的通过断面或减小或增大,从而改变了进气量,达到控制怠速转速的目的。

步进电动机是一种角度执行机构,当控制系统给定子励磁线圈输入控制脉冲后,步进电动机便按指定的方向旋转一定的角度。ECU 通过控制定子相线中的通电顺序,可实现其正反转。

如果转子由 8 对磁极(永久磁铁)构成,N 极和 S 极相间排列,定子有 A、B 两个,每个定子有两个绕组,且各有 8 对爪极,爪极的极性是变换的,其极性由 ECU 控制相线绕组的电压脉冲决定。A、B 定子上两绕组分别为 1、3 相和 2、4 相绕组,由 ECU 控制各相的搭铁(图 6-61)。相线控制脉冲按 1-2-3-4 相顺序依次推后 90°相位角通电,转子正转;反之,相线控制脉冲按 4-3-2-1 相顺序依次推后 90°相位角通电,转子则反转。转子转动一圈分为 32 个步级进行,每个步级转动一个定子爪极的角度,即 11.25°。一般步进电动机为 0~125 个步级。

采用图 6-59 所示的怠速控制阀的汽油喷射系统通常不再设置补充空气阀,而由怠速控

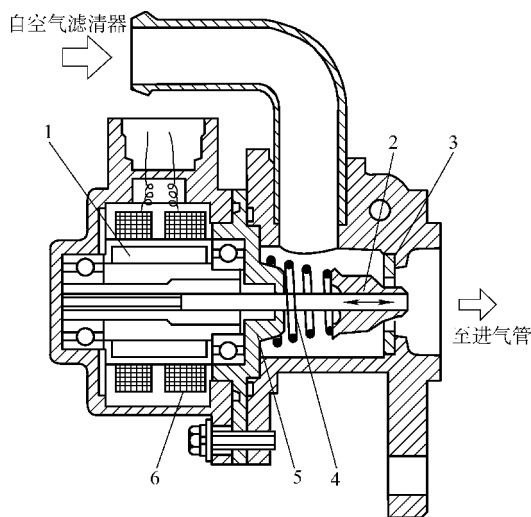


图 6-60 步进电动机式怠速控制阀
1—步进电动机转子 2—锥面控制阀 3—阀座
4—螺杆 5—挡板 6—励磁线圈

制阀来实现冷车快怠速及热车后正常怠速的自动控制。

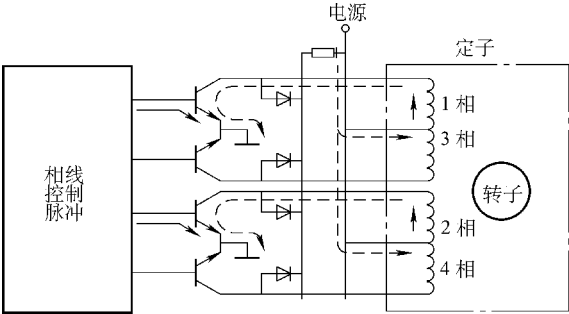


图 6-61 定子相线绕组的控制电路

四、步进电动机式怠速控制阀的诊断与维修

1. 怠速控制阀的特点与特性

(1) 简图和针脚 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统怠速控制阀针脚见表 6-1。

表 6-1 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统怠速控制阀

怠速执行器	A	STA +	ECU A61	B	STB +	ECU A1
	D	STA -	ECU A62	C	STB -	ECU A2

(2) 安装位置：节气门体上，如图 6-62 所示。

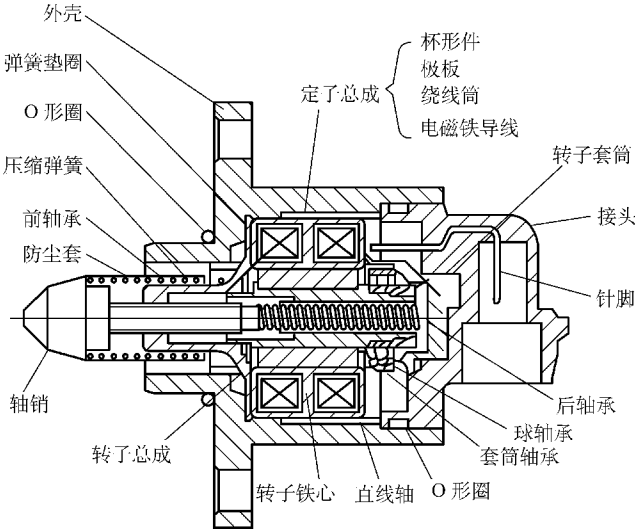


图 6-62 怠速执行器步进电动机剖面图

(3) 安装注意事项

- ① 带步进电动机的怠速执行器安装在节气门体铸件上，在节气门的两端构成旁通通道。
- ② 安装螺栓拧紧力矩应符合技术要求。
- ③ 安装使用弹簧垫圈，并用粘结剂粘接。
- ④ 带步进电动机的怠速执行器的轴不应该安装成水平状态或低于水平状态，以免冷凝水进入。

⑤ 不得在轴向施加任何形式的力试图将轴压入或拔出。

⑥ 带步进电动机的怠速执行器装入节气门体之前，其轴必须处在完全缩进的位置。

(4) 故障现象及判断方法

① 故障现象：怠速过高、怠速熄火等。

② 一般故障原因：由于灰尘、油气等堆积造成旁通空气道部分堵塞，而导致步进电动机怠速调整不正常。

③ 维修注意事项。a. 不得在轴向施加任何形式的力试图将轴压入或拔出；b. 在将步进电动机的怠速调节器装入节气门体之前，其轴必须处在完全缩进的位置；c. 注意对旁通空气道的清洁保养；d. 拆卸蓄电池或 ECU 后，注意及时对步进电动机进行复位。

④ 系统复位方法为：打开点火开关但不马上起动发动机，等待 10s 后，再起动机。如果此时发现发动机怠速不良，则须重复上述步骤。

简易测量方法：（卸下接头）把数字万用表打到欧姆挡，两表笔分别接调节器 AD、BC 针脚，250℃ 时额定电阻为 $53 \pm 5.3\Omega$ 。

2. 步进电动机式怠速控制阀的诊断与维修实例

(1) 拆卸 ISC 阀

1) 拆除蓄电池负极线，放掉发动机冷却液，拆除有关附件和管路。

2) 拆除 ISC 阀的连接件：插接器、进水管、出水管和 EGR 冷却水管。

3) 拆卸 ISC 阀，拧下 2 只固定螺栓，取下密封垫。

提示：安装力矩为 $18\text{N} \cdot \text{m}$ ，安装时必须换用新的密封垫。

(2) 检查 ISC 阀

1) 测量 ISC 阀端子 5-4，5-6，2-1，2-3 之间的电阻，20℃ 时正常电阻值为 34Ω 。

2) 检查 ISC 阀的动作。1995—1997 年款雷克萨斯 LS400 型轿车步进电动机式怠速控制电路如图 6-63。

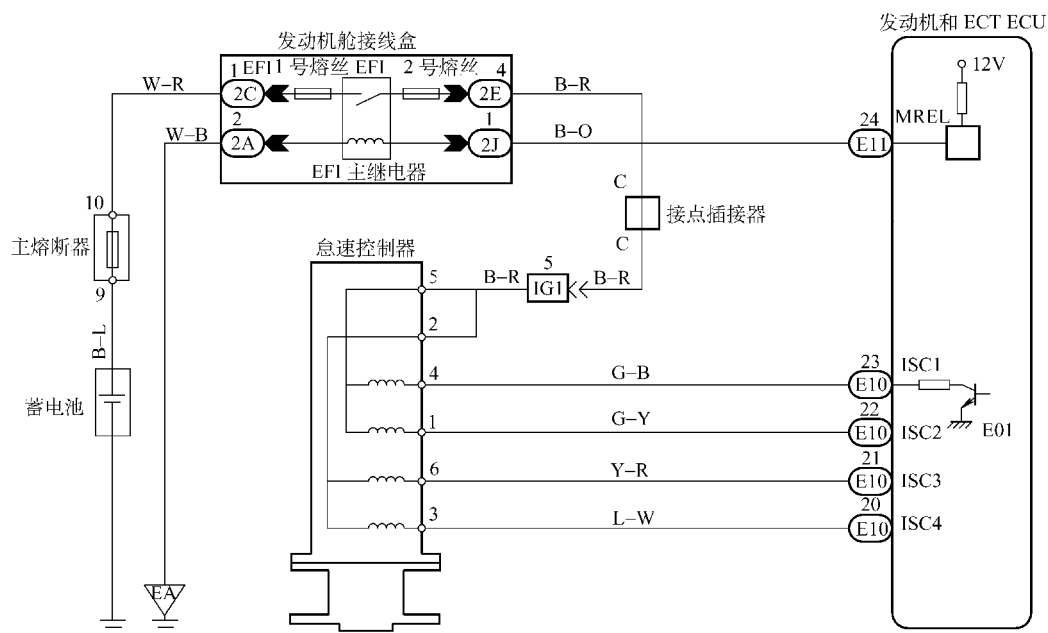


图 6-63 步进电动机式怠速控制电路

将蓄电池正极连接至端子 2 和 5, 当负极按 4-1-6-3 顺序连接至各端子, ISC 阀应朝关闭方向移动; 当负极按 3-6-1-4 顺序连接至各端子, ISC 阀应朝打开方向移动, 如图 6-64 所示。

(3) 检查配线及插接器 如果检测 ISC 阀不正常则更换新件; 若检测正常, 则检查 EFI 主继电器与 ISC 阀之间、ISC 阀与发动机 ECT ECU 之间的配线和插接器是否开路或短路。

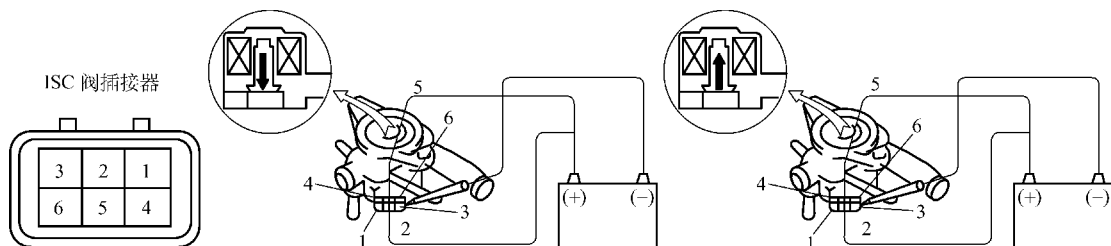


图 6-64 检查 ISC 阀的动作

1~6—插接器端子号

第十三节 油箱蒸发排放电子控制检测与诊断

汽车产生的污染物, 除了废气排放以外, 还有曲轴箱排放和蒸发排放。后者包括内饰和涂料等的蒸发排放, 但主要是油箱蒸发排放。油箱中的燃油一方面受外界热源的热辐射, 例如夏天的柏油路面; 另一方面在多点喷射的场合受到从喷油器带来大量热量的回流燃油的加热, 所以温度很高, 会以燃油蒸气的形成产生蒸发排放。为了减少蒸发排放, 许多国家, 包括中国在内的法规禁止燃油蒸气直接从燃油箱进入大气。因此汽车必须装备油箱蒸发排放电子控制系统, 如图 6-65 所示。

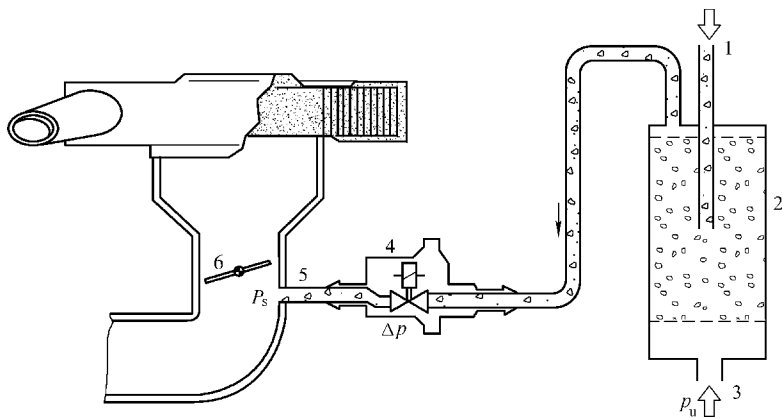


图 6-65 油箱蒸发排放物电子控制系统

1—来自燃油箱 2—炭罐 3—新鲜空气 4—炭罐控制阀 5—通往进气歧管 6—节气门

(P_s 为进气歧管压力; P_u 为大气压力; Δp 为进气歧管压力和大气压力之差)

一、油箱蒸发排放电子控制系统的组成

如图 6-65 所示, 该系统中的主要部件是炭罐 2 和炭罐控制阀 4。油箱与炭罐连接, 因此燃油蒸气从进口 1 进入炭罐, 被炭罐中的活性炭吸收。但活性炭吸收燃油蒸气达到一定程度就会饱和, 所以要用新鲜空气将活性炭吸收的燃油输送到发动机的气缸中去, 这就是炭罐

的清洗（或称再生）。从进口 3 进入炭罐的新鲜空气直接来自大气，不经过空气流量传感器。带有车载故障诊断 II（OBD II）的系统中，新鲜空气先经过一个电磁控制的截止阀，然后被吸入炭罐。在从炭罐到进气歧管的管道中接入一个炭罐控制阀以控制清洗气流。炭罐吸收的燃油量和新鲜空气从炭罐带走的燃油量之间处于平衡状态。为了减小炭罐尺寸，应使清洗气流在从怠速到全负荷的各种工况中都尽可能地大。

二、炭罐控制阀工作原理

清洗气流的大小主要取决于进气歧管压力和环境压力之差。进气歧管压力由发动机负荷和转速决定。怠速时，节气门关闭，进气歧管压力很低，压差很大。随着负荷增大，节气门开度增大，进气歧管压力增大，压差减小。如果炭罐控制阀中气流流通的截面积恒定不变，那么怠速时清洗气流将会很大；反之，全负荷时将会很小。可是这与实际要求恰好相反，将使汽车的驱动性恶化。因此，炭罐控制阀要由 ECU 控制，对清洗气流进行精确的定量。炭罐控制阀设计成其有效流通截面积随压差增大而减小，如图 6-66 所示。

炭罐控制阀的进口与炭罐相连，出口与进气歧管相连。衔铁 5 发出信号给炭罐控制阀时，电磁线圈 7 通电，吸动电磁衔铁 5 带着密封元件 4（橡胶件）压住密封座 6，从而关闭阀的出口。电磁衔铁与一个很薄的叶片弹簧 3 连接在一起。当没有电流流过电磁线圈时，叶片弹簧将电磁衔铁连同密封元件举起，于是将炭罐控制阀的流通截面开启。但这个流通截面积并非恒定不变。当进、出口之间的压差增加时，一方面，流速增加；但另一方面，由于叶片弹簧受力弯曲，使密封元件更靠近密封座，有效流通截面积减小。总的结果是，随着压差的增大，清洗气流流量先是增大，然后趋于平级。ECU 发给炭罐控制阀的是一种脉冲信号，增加脉冲占空比将减小流量。单向阀 2 用于防止发动机关闭时燃油蒸气进入进气歧管。

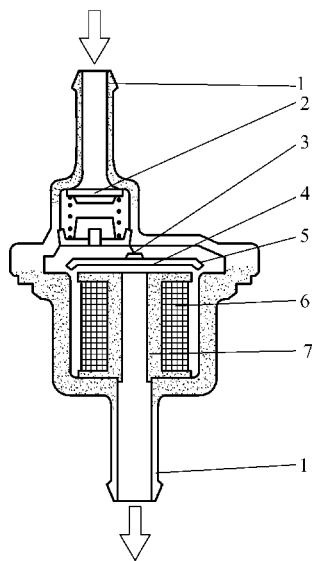


图 6-66 炭罐控制阀

- 1—软管接头 2—单向阀 3—叶片弹簧
4—密封元件 5—电磁衔铁
6—密封座 7—电磁线圈

三、炭罐控制阀结构特点与故障诊断

炭罐控制阀结构特点

（1）简图和针脚 炭罐控制阀的简图和针脚如图 6-67 所示。

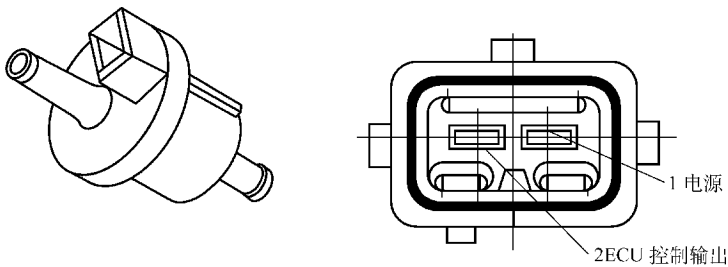
针脚：炭罐控制阀有两个针脚，一个接主继电器输出端针脚，另一个接 ECU。

（2）安装位置 炭罐—进气歧管的真空管路上。

（3）工作原理与流量控制 流过炭罐控制阀的气流流量一方面跟 ECU 输出给炭罐控制阀的电脉冲的占空比有关，另一方面还跟炭罐控制阀进口和出口之间的压力差有关。当没有电脉冲时，炭罐控制阀关闭。

在不同压力差下，炭罐控制阀在 100% 占空比，即全部开启条件下的流量各不相同。下面给出了两种典型的流量曲线。如图 6-68 所示，在 700mbar 的压力差之下，炭罐控制阀全部开启时的流量是 $3.8\text{m}^3/\text{h}$ ；在 200mbar 的压力差之下，炭罐控制阀全部开启时的流量是

3.0m³/h。



炭罐吸附阀	1	供电	主继电器	V _ RLY
	2	脉宽信号	ECU A73	CPPWM

图 6-67 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统炭罐控制阀

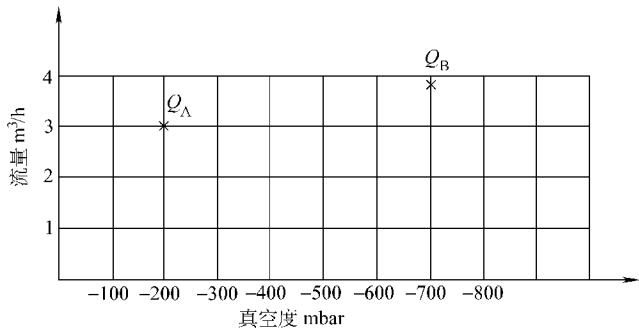


图 6-68 LJ465Q - 1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统炭罐控制阀的流量与压力关系

(4) 安装注意事项 炭罐控制阀和炭罐，进气的连接及安装图如图 6-65 所示。

1) 为了避免固体声的传递，推荐将炭罐控制阀悬空安装在软管上。

2) 安装时必须使气流方向符合规定，安装方向推荐垂直倒装（即插接器头垂直朝下）。

3) 必须通过适当的措施如过滤、净化等防止异物如微粒物从炭罐或软管进入炭罐控制阀。

4) 推荐在炭罐出口上安装一个相应的保护性滤清器（网格尺寸 <50μm）。

(5) 故障现象及判断方法

1) 故障现象：功能失效等。

2) 一般故障原因：由于异物进入阀内部，导致锈蚀或密封性差等。

3) 维修注意事项：a. 安装时必须使气流方向符合规定；b. 当发现阀体内部由于黑色颗粒导致控制阀失效，需要更换控制阀时，请检查炭罐状况；c. 为了避免固体声的传递，推荐将炭罐控制阀悬空安装在软管上；d. 维修过程中尽量避免水、油等液体进入阀内。

4) 简易测量方法：（卸下电接头）把数字万用表打到欧姆挡，两表笔分别接炭罐控制阀两针脚，20℃时额定电阻为 $26 \pm 3\Omega$ 。

四、汽油蒸发控制系统的诊断与检测

汽油蒸发控制系统检修的重点有两方面：一是各阀门动作应灵活可靠，例如油箱盖，有蒸气污染控制系统的汽油箱盖仅有一个空气阀，如阀门动作失灵或被粘死，发动机就会因缺油而不能正常工作，油箱甚至会被吸瘪；二是各个元器件必须根据相应的工况开启或关闭，

通道不得有堵塞现象, 否则也会影响蒸气的流动改变混合气的浓度, 使发动机不能正常稳定地工作。

汽油蒸发污染控制系统的故障主要是汽油泄漏。汽油的泄漏可能会引起发动机的怠速不稳。

1. 汽油蒸发排放控制系统诱发的常见故障及原因

当活性炭罐下端空气入口处的过滤器被灰尘和杂质等堵塞后, 活性炭吸附的汽油蒸气可达到饱和状态而成为汽油液体, 它会通过进气管进入气缸, 造成发动机混合气过浓, 热起困难、无怠速、怠速不稳或废气管冒黑烟等。对于电子控制的 EVAP, 由于从真空通道阀进入发动机进气歧管管路的供气量没有通过空气流量计的计量, 所以在管路漏气或真空通道阀失效时, 还会使发动机怠速不稳、加速滞后或大负荷下动力不足。有时还会造成汽车尾气排放超标, 耗油量增加。

2. 汽油蒸发排放控制系统的检查

1) 起动发动机, 待发动机温度升高到正常工作温度时, 使其怠速运转。

2) 取下活性炭罐上的真空软管, 并用手指按住管口, 检查真空软管内有无真空吸力。如果无真空吸力, 表明系统工作正常。即当 EVAP 工作正常时, 发动机怠速运转中电磁阀应不通, 同时真空软管内也无真空吸力。如果此时真空软管内有真空吸力, 表明 EVAP 工作不良, 应使用万用表检查电磁阀线束插接器内的电源端子电压。若有电压, 则表明电控单元有故障; 若无电压, 表明电磁阀有故障。

3) 踩下加速踏板, 使发动机在高于 1900r/min 的工况下运转, 并检查真空软管内的吸力, 如果真空软管内有真空吸力, 表明 EVAP 工作正常; 如果真空软管内无真空吸力, 应检查电磁线束插接器内电源端子电压。若电压正常, 则表明电磁阀有故障; 若电压异常或无电压, 则表明电控单元或控制线路有故障。

4) 取下电磁阀线束插接器, 向电磁阀内吹气, 电磁阀应不通气; 然后将电源直接连接在电磁阀的两端子上, 并向电磁阀内吹气, 电磁阀应通气。否则, 表明电磁阀有故障, 应当更换电磁阀。

5) 检查 EVAP 各管路是否松动、破坏或变形, 检查油箱盖及衬垫是否变形或损坏。

6) 检查活性炭罐外壳有无裂纹、变形或损坏。活性炭罐的使用寿命一般为 6 万 km, 但在使用中应经常检查和维护。

五、清洗气流

清洗气流是一种燃油和空气的混合物, 其成分不确定, 可能是纯空气, 也可能是浓度极高的燃油蒸气。所以清洗气流将严重地干扰 λ 闭环控制。 λ 闭环控制时, 进入气缸的混合气过量空气系数见式 (6-4)。

$$\lambda = \frac{\text{空气量}}{14.7 \text{ 喷油量}} = 1 \quad (6-4)$$

假定清洗气流流量保持不变, 为节气门流量的 1%, 那么, 当它为纯空气时仅使进入气缸的混合气偏稀 1%; 反之, 当它为浓度极高的燃油蒸气时, 则有

$$\lambda = \frac{\text{空气量}}{14.7 (\text{喷油量} + 0.01 \text{ 空气量})} = \frac{1}{1 + 0.147} = 87\% \quad (6-5)$$

式 (6-5) 意味着进入气缸的混合气偏浓 13%。此时即使 λ 闭环控制回路有自适应功能, 也

无法实现 $\lambda = 1$ 的闭环控制目标。由此可见, 必须根据清洗气流中的燃油含量控制清洗气流流量。

思考题

1. 二次空气从何处进入汽油机? 在什么工况下使用? 使用时对混合气有什么要求? 使用二次空气有哪些好处?
2. 二次空气电子控制的执行器是什么? 单向阀是不是执行器? 它有什么作用?
3. 二次空气系统投入运行时, 点火提前角要作何调整? 为什么?
4. 三元催化转化器燃油启动加热系统由哪几部分组成? 二次空气泵往哪里输入空气? 在什么情况下开始工作? 工作步骤如何?
5. 废气再循环 (EGR) 的目的是什么? 分成哪两类? 各有什么特点?
6. EGR 率的定义是什么? EGR 率不变时, 随着 EGR 率的增加, 发动机的油耗和有害气体的排放有何变化? 其作用机理是什么?
7. 废气再循环电子控制的控制对象是什么? 根据哪些控制变量进行控制? 控制策略如何? 为什么要根据入信号修正控制数据?
8. 有哪两种方式可以实现外部废气再循环的电子控制? 传统方式调节什么参数? 有什么缺点? 新方式调节什么参数? 有什么优点? 此时怎样限制低工况的 EGR 最大流量?
9. 混入空气调节压差的 EGR 系统中的执行器是什么?
10. 所谓可变气门电子控制是控制哪些参数? 在不同工况下改变这些参数会对发动机性能和排放分别带来哪些影响? 为什么?
11. 用什么方法可以使发动机在运行中将凸轮相对于凸轮轴转过一个角度? 这种方法改变了哪个气门参数? 试举出此类系统之实例。
12. 有些汽车发动机采用电子控制可轴向移动的凸轮轴, 其目的是什么? 为了达到此目的, 对凸轮有何要求? 试举出此类系统之实例。
13. HONDA 公司 VTEC 系统用于每缸几个气门的发动机? 该系统推动主摇臂、中间摇臂和次摇臂分别是怎样的凸轮? 这三个摇臂中直接推动气门的是哪两个? 另一个摇臂在什么情况下通过什么途径推动气门?
14. 进气门充量调节为什么能比节气门充量调节减少泵气损失? 减少的幅度与负荷大小有什么关系? 为什么?
15. 为什么进气门充量调节尽管能减少泵气损失, 但在中高速、低负荷区域反而会使油耗增加?
16. 废气涡轮增压有什么好处? 在什么工况下应将一部分废气从废气涡轮旁通放空?
17. 废气涡轮增压压力电子控制中, 用哪些传感器的信号表征作为控制对象的增压压力? 相应的设定值特性场中根据哪两个参数确定增压压力设定值?
18. 废气涡轮对点火提前角有什么限制? 为什么? 废气涡轮增压汽油机发生爆燃时, 在减小点火提前角的同时要注意防止什么问题? 怎样才能既防止这类问题的发生又防止爆燃?
19. 为了利用压力波增压效应提高体积效率, 进气管长度应与发动机转速保持怎样的关系? 可变进气管长度电子控制能给发动机带来什么好处?
20. 汽车发动机的经济性和排放与工况有什么关系? 与车速有什么关系? 采取什么方法可使汽车无论在什么车速下都保持最佳的经济性和排放?
21. 汽车变速器挂上不同的挡位但保持相同的车速, 试问两种情况下汽车的等速百公里油耗是否相同? 为什么?
22. 汽车变速器电子控制换挡时对发动机有什么要求? 哪些场合下有同样要求? 为什么? 用哪两种方法可满足这一要求? 其中的哪一种方法更好些? 为什么?

23. 哪些电子控制项目要求发动机短暂而频繁地断油？在汽油机的场合，这对三元催化转化器的工作带来什么影响？怎样解决这一问题？

24. 用什么方法可以在加速踏板位置保持不变的情况下自动调整发动机进气量？此时加速踏板的构造和功能与常规的加速踏板有何不同？

25. 汽车空调压缩机通常是怎样驱动的？ECU 通过什么控制空调压缩机？哪些情况下空调请求将不被响应？

26. 为什么冷却风扇的两台电动机有时串联、有时并联？

第七章 汽油机电子控制单元检测与诊断

第一节 电子控制单元概述

电子控制单元（Electronic Control Unit，缩写为 ECU）接收来自传感器的各种信息，经过处理、分析以后，发出控制脉冲给各种执行器。所以，它在电子控制系统中起着神经中枢的作用。

ECU 可按其采用的电路技术分成模拟电路和数字电路。20 世纪 70 年代，ECU 广泛采用模拟电路技术。70 年代末开始逐步过渡到数字电路技术。现在都采用数字电路技术。所以本章只讨论采用数字电路的 ECU。

在 ECU 的金属外壳里面安装着一块印刷电路板。早期的 ECU 有两块印刷电路板，上面的那块板主要是数字电路元件，下面的那块板上装着喷油、点火和油泵的驱动模块。20 世纪 80 年代末，随着芯片集成化程度的提高，合并成一块印刷电路板。喷油和点火驱动模块的功率放大元件为了散热而装在专门的冷却套内或散热片上。

ECU 外壳上设有专门的插座。根据 ECU 的功能，引脚数可多达近百个。用相应的插头可将 ECU 同蓄电池、传感器、执行器和故障阅读仪相连接，如图 7-1 所示。ECU 内设有辅助电路，以实现接错极性保护和短路保护。

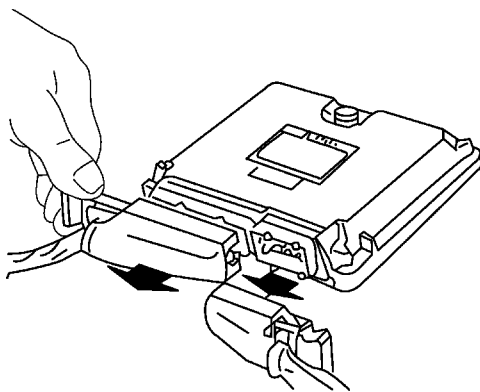


图 7-1 电子控制单元及其装拆

ECU 必须能经受得住很高的环境湿度和机械负荷，还要能经受得住电磁干扰和高频信号的辐射。

ECU 必须能在环境温度从 30℃ ~ 60℃、蓄电池电压 6（起动时）~ 15V 的汽车正常行驶条件下无故障地工作。一台稳压器向 ECU 提供数字电路所需的恒定的 5V 工作电压。

ECU 通常安置在轿车的发动机舱内，如图 7-2 所示。但不防水的 ECU 只能装在座舱内驾驶座前面仪表板的后面。

将 ECU 同传感器和执行器连接起来的带插头的各种导线捆绑在一起，称为线束。

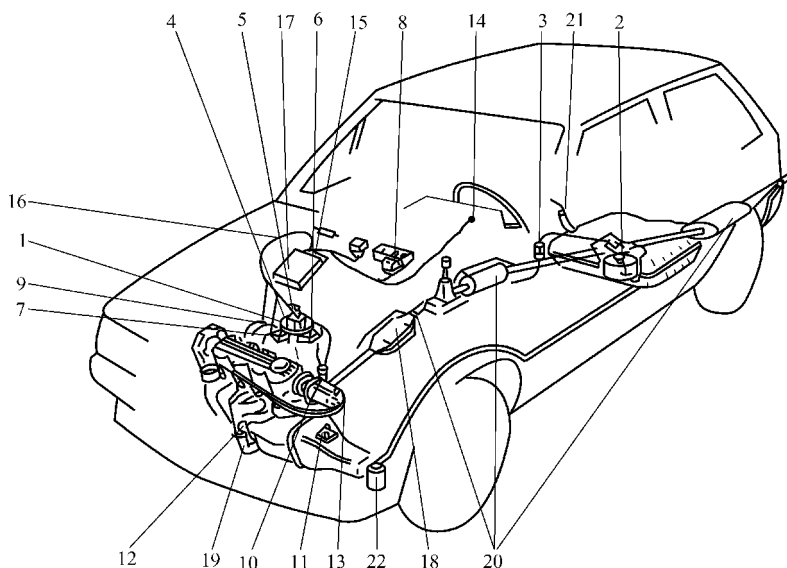


图 7-2 Adam Opel (欧宝) 公司 Opel-Multec 节气门喷射系统的 ECU 在轿车中的位置

- 1—节气门喷射单元 2—燃油泵 3—滤清器 4—燃油压力调节器 5—喷油器 6—节气门位置传感器
7—怠速执行器步进电动机 8—进气管压力传感器 9—冷却液温度传感器 10—凸轮轴位置传感器 11—驻车—空挡开关
12—氧传感器 13—高压分电器 14—发动机故障指示灯 15—故障检测插头 16—线束 17—电子控制单元 ECU
18—三元催化转化器 19—排气管 20—隔热板 21—加油口 22—蒸发排放控制系统

第二节 电子控制单元硬件的组成

如图 7-3 和图 7-4 所示,从功能上说,电子控制单元 ECU 的硬件分成输入级、微型计算机和输出级三部分。图中处在 ECU 前面的各种传感器和后面的各种执行器都不属于 ECU。随着芯片集成度的提高,现代 ECU 中组成微型计算机的微处理机、存储器、时钟发生器、定时器、输入输出(I/O)接口和输入级中的模/数(A/D)转换器等均已集成于一块大规模集成电路芯片中,称为单片机,具有计算机的全部功能,所以有时简单地将 ECU 称为计算机。单片机在 ECU 中用于控制,所以又称微控制器。单片机有时被当做微处理机使用,所以也有人将图 7-3 轿车的线束 ECU 中的单片机称为微处理机,不过这样易引起误解。

一、输入级

来自传感器的输入信号在输入级进行预处理。输入信号首先被送往保护电路,某些情况下还要通过信号转换器和放大器,然后被送往微型计算机。

传感器的信号有开关量和模拟量之分。如图 7-4 所示,点火开/关信号、凸轮轴位置信号、车速信号、变速器挡位信号、变速器挂挡信号和空调信号等都是开关量,而蓄电池电压、发动机温度、进气温度、空气量、进气歧管绝对压力、节气门转角、过量空气系数、爆燃、空调制冷剂压力、电子加速踏板位置以及气缸压力等信号都是模拟量。模拟信号都要先经 A/D 转换变成数字信号才能由后面的数字式微型计算机进行处理。为此,首先要对模拟信号进行数据采集,同时进行采样保持。这是因为 A/D 转换需要时间。早期的 ECU 中,A/D 转换器在输入级内,是一块独立的芯片,例如 Intel 公司的 MCS-51 系列单片中的大多数型号均如此。20 世纪 80 年代初开始将 A/D 转换器集成于微控制器内,例如 Intel 公司的

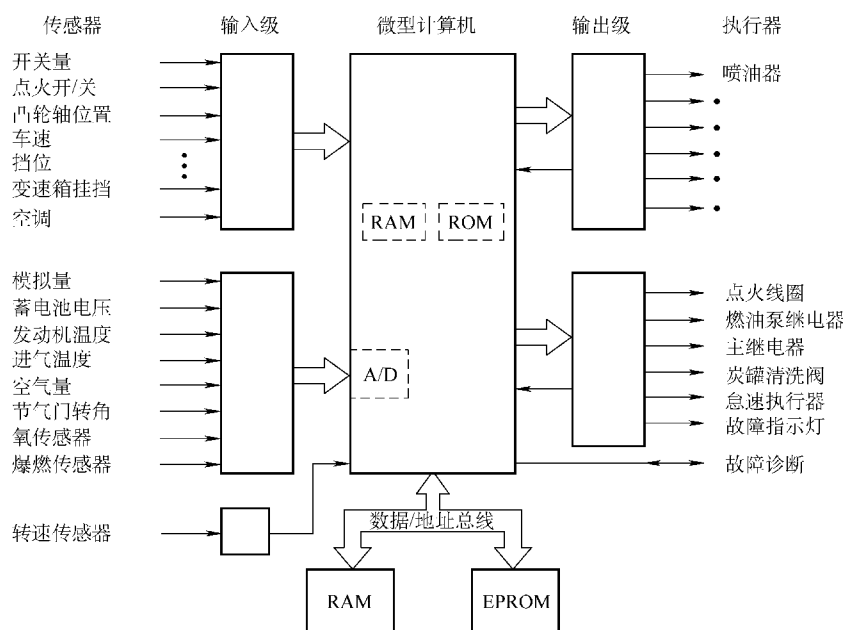


图 7-3 电子控制单元硬件的组成图

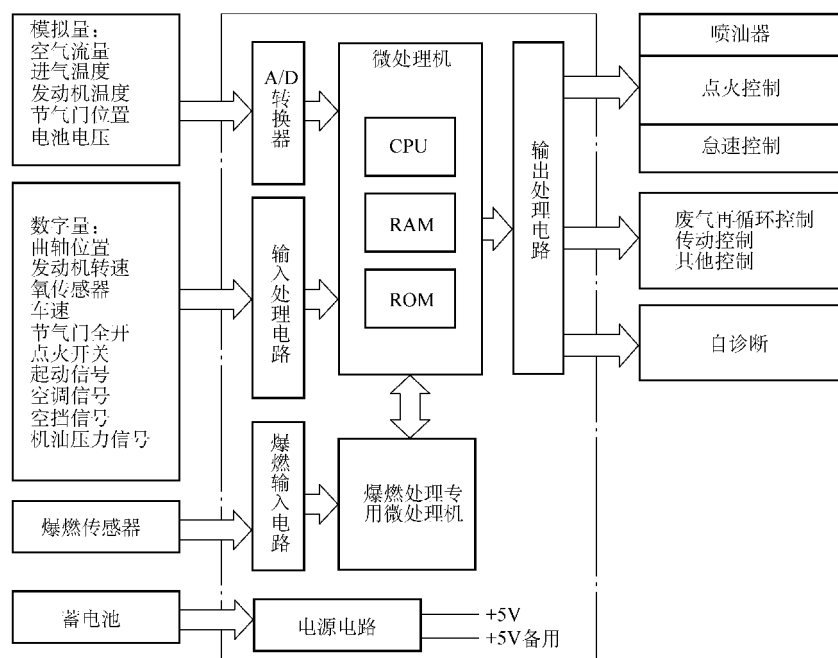


图 7-4 电子控制单元硬件的组成图

8098 单片机带有 4 通道 10 位 A/D 转换器，而 SIEMENS 公司的 SAB80C166/83C166 单片微控制器则带有 10 通道 10 位 A/D 转换器。

最后，来自感应传感器的转速和曲轴位置参考标记信号在一个专门的电路中进行处理，以抑制干扰脉冲。

二、微型计算机

发动机电子控制单元的微型计算机集成于一台单片机或单片微控制器内，由下列部分

组成:

1. 微处理器

微处理器又称中央处理单元 (Central Processing Unit, 缩写为 CPU), 由三个主要部分组成, 常用 8 位或 16 位的, 也有 32 位的。

(1) 算术逻辑单元 (Arithmetic and Logic Unit, 缩写为 ALU) 在控制器的控制下, ALU 可完成各种算术运算和逻辑运算。

(2) 寄存器组 寄存器组由多个寄存器组成, 这些寄存器分别用于存放操作数、运算结果、标志工作状态的信息和指令地址等由 ALU 产生的中间计算结果。其中有一个累加寄存器, 运算时可将两个运算数中的一个放在累加寄存器中, 将另一个运算数送入进行运算, 运算结果代替原先的数据留存在累加寄存器中。

(3) 控制器 它接受来自只读存储器的指令, 将指令译码, 发出相应的控制信号, 控制 CPU 内和 CPU 外各个部分, 如安排工作顺序、调整工作节拍、调用必需的数据和控制输入输出等。

2. 系统总线

微处理器内部上述三个部分之间以及微处理器与微型计算机的其他部分之间必须进行数据传输, 这通过单片机的内部总线完成; 单片机与其他部件之间也要进行数据传输, 这通过外部总线完成。外部总线又称系统总线, 分成数据总线、地址总线和控制总线。

3. 存储器

存储器的作用是以二进制代码的形式储存数据。为了将数据存进去和取出来, 存储器还应有写入和读出数据的功能。所以它由以下部分组成 (图 7-5)。

(1) 存储体 存储体又称存储矩阵, 由许多存储单元组成。每个存储单元都有编号, 称为地址。

(2) 数据寄存器 要存入的数据通过数据总线送入数据寄存器等待存入存储体, 要取出的数据则从存储体送入数据寄存器, 等待通过数据总线取出。

(3) 地址寄存器和地址译码器 数据存入哪个存储单元, 或从哪个存储单元取出, 均由地址寄存器和地址译码器确定。通过地址总线送来的地址存入地址寄存器, 经地址译码器译码后找出该地址所对应的存储单元, 于是驱动该存储单元进行写入或读出操作。

(4) 存储器控制器 地址寄存器和地址译码器只能根据地址总线送来的地址驱动相应的存储单元, 但是究竟进行写入还是读出操作是由存储器控制器决定的。当它收到 CPU 的写入信号时, 存储器控制器就将数据寄存器中的数据写入被驱动的存储单元; 反之, 当收到读出信号时, 就将被驱动的存储单元中的数据读出并通过数据寄存器送上数据总线。

根据以上分析可知, 地址寄存器的位数应和存储体中包含的存储单元总数相适应。例如, 定地址寄存器只有 8 位, 那么存储体中只允许有 $2^8 = 256$ 个存储单元。如果存储体中有 $65536 = 2^{16}$ 个存储单元, 便必须采用 16 位的地址寄存器, 而这些存储单元的地址可用 16 位二进制数 0000H 和 FFFFH 表示 (图 7-5)。必须指出, 存储单元的地址和存储单元的内容虽

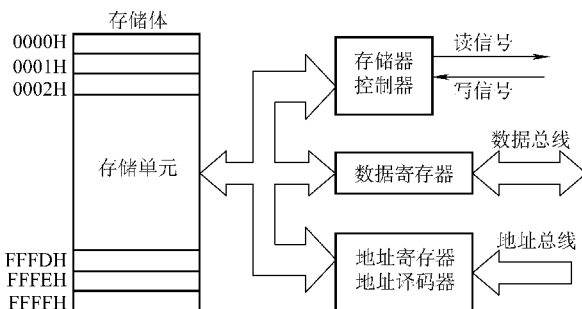


图 7-5 存储器的组成

然都是二进制代码，但却不是一个概念，两者的位数也可不同。

微型计算机使用的存储器是半导体存储器。不是所有的半导体存储器都既能写入又能读出的，而是分为只读存储器（ROM）和随机存储器（RAM）。其差别是：对 ROM 来说，数据只能读出而不能写入；而对 RAM 来说，数据既能写入又能读出。此外，ROM 是非易失性存储器，而 RAM 不是；停电后 ROM 中的数据依然存在，RAM 中的数据将会丢失。根据这两个特点，用于信号处理的程序以及针对特定的发动机和汽车的各种匹配数据即特性曲线和特性场（map）在 ECU 生产过程中“烧入”只读存储器 ROM，不再变动。ECU 开发过程中，存储器中的匹配数据要不断修改，故用电可擦可编程只读存储器（Electrically Erasable Programmable Read Only Memory，缩写为 EEPROM）代替 ROM，因为前者储存的数据可用紫外线擦除后改写。但由传感器提供的数据以及信号处理过程中产生的各种中间计算结果、自适应系数和整个系统中可能出现的故障信息则储存在随机存储器（RAM）中，直到被新的数据所替代。当 ECU 上连接汽车蓄电池的导线被拆卸以后，RAM 便丢失了全部信息。此时必须重新接通蓄电池并开动发动机之后 ECU 才能重新获得自适应系数和故障信息。为了防止这种情况的发生，在某些电子控制单元中将这些必需的数据储存在 EEPROM 中而不储存在 RAM 中。

同一个 ECU 可能用于相近但不相同的发动机的各种变型，例如有的带增压或 EGR，有的不带，此时 ECU 引脚的接法不同。或者，虽然用于同一台发动机，但用于汽车的不同变型，例如变速器自动或手动，传动系前轮驱动或四轮驱动，或者用于不同排放法规的地区，此时 ROM 或 EEPROM 中的特性场必须作适当的调整。软件中用一个变型代码作为标志就可以解决这个问题。借助于这种代码，可以在汽车生产厂或修理厂中通过编程选用这些储存在 EEPROM 中的特性场，以便达到所要求的功能。

另一些型号的 ECU 设计成可在汽车生产的最后阶段将成套的数据库编程到 EEPROM 中。这样，减少了汽车生产厂所需要的 ECU 型号的数量。

4. A/D 转换器

如前所述，现代 ECU 中的 A/D 转换器均集成于微型控制器内。

5. 输入/输出（I/O）接口

它涉及同外界的数据交换，是一种中间电路，对输入\输出数据进行缓冲、锁存和变换。输入信号以要求的频率读出；输出信号按最优的顺序输出，其速度应与数据处理的速度相适应，或者一直储存到被读出为止。

6. 时钟发生器

微型计算机的工作按节拍进行。这个节拍由时钟发生器提供的脉冲决定。可以用由石英晶体和电容组成的并联谐振回路作为时钟发生器，产生时钟脉冲，其振荡频率因芯片而异。

7. 定时器

发动机 ECU 中的定时器可有三种工作方式，用于完成与时间有关的各种任务，诸如事件定时和计数、脉冲宽度和占空比的测定，脉冲的产生或脉冲的翻倍。

（1）定时方式 在这种方式下，定时器对系统的时钟脉冲进行定值计数，产生间隔确定的定时脉冲，并向 CPU 发出中断请求。定时脉冲的间隔、起止、个数、序列及产生脉冲的方式均由程序预先设定。这种方式用于例如喷油时间的控制。

（2）计数方式 在这种方式下，定时器不是对系统的时钟脉冲而是对外来的脉冲，诸

如分电器中的霍尔脉冲或脉冲盘感应传感器产生的脉冲进行定值计数，当脉冲数达到规定的数值时，向 CPU 发出中断请求。这种方式用于例如转速的测定。

(3) 门控定时方式 在这种方式下，定时器的工作由一个外接输入引脚上的门控电平控制。这种方式用于测定脉冲宽度和占空比。

8. 捕捉/比较 (CAPCOM) 单元

在某些芯片中，定时器与捕捉/比较 (CAPCOM) 寄存器组相配合用于实现捕捉或比较功能。此时，每一个 CAPCOM 寄存器都与一个引脚相连，该引脚使用作触发捕捉功能的输入引脚，或用作指示比较事件发生的输出引脚。当某一个 CAPCOM 寄存器被选为捕捉工作方式时，指定的定时器中当时的内容就被“捕捉”进该 CAP - COM 寄存器中，作为对与该寄存器相连的引脚上的外部事件的响应。同时产生一个专门针对该 CAPCOM 寄存器的中断请求。该引脚上无论正的、负的或一正一负的两种外部信号跳变均可被选作触发事件。而选为比较工作方式的所有 CAPCOM 寄存器的内容则连续地与指定的定时器中的内容相比较。当时钟数值和 CAPCOM 寄存器中的数值相一致时，将根据选定的比较工作方式采取特定的步骤。

9. 看门狗定时器

看门狗定时器实际上是一种以计数方式工作的定时器。在某些芯片中，看门狗定时器作为一种防止故障时进入死循环的安全机构用于监视软件执行情况，提供一种使系统从瞬时故障中自动恢复的能力，防止控制器长时间处于故障状态。在任何软件的、外部硬件的或看门狗定时器引起的复位发生以后，看门狗定时器就被激活，以一定的频率（对应于状态周期）从零开始计数。当计数达到某一数值例如 FFFFH 时，看门狗定时器将会溢出，并引起内部硬件的复位，这种复位会将外部硬件复位引脚拉到低电平，并保持低电平两个状态周期长，以便使外部硬件也复位。为了防止看门狗定时器的溢出，必须由用户软件周期性地对看门狗定时器发出服务指令。如果看门狗定时器在溢出之前得到服务指令，它就会将计数器中的数值清零，重新开始计数。但若因硬件或软件故障而使程序运行遭到干扰，看门狗定时器不能及时得到服务指令，就会发生溢出，使芯片复位，避免系统进入死循环。

10. 中断系统

中断系统是为了使微处理机具有对外界异步事件的处理能力而设置的。如果微处理机 CPU 正在处理某事件的时候，外界发生紧急事件，要求 CPU 为它服务，CPU 便暂停当时的工作，记下暂停处的地址，并向请求中断的请求源发出响应中断的信号，转而去处理这个紧急事件。处理完以后，再回到原来中断的地方继续原来的工作。这样的过程称为中断，实现这种功能的部件称为中断系统。请求 CPU 中断的请求源称为中断源。一般允许存在多个中断源。当几个中断源同时向 CPU 请求中断，要求为它服务的时候，就产生了 CPU 优先响应哪一个中断源请求的问题。通常根据中断源的轻重缓急给每一个中断源规定一个优先级别，CPU 总是先响应优先级别最高的中断请求。

假定当 CPU 正在处理一个中断源的请求、执行相应的中断服务程序的时候，发生了另一个优先级更高的中断源请求，那么 CPU 就会暂停对原来中断源的处理程序，转而去处理优先级更高的中断源请求。处理完之后，再回过头去继续执行对原来中断源的处理程序。这样的过程称为中断嵌套。

三、输出级

ECU 输出级的任务是根据微控制器中微处理机的指令向电子控制系统的执行器发出控制信号。确切地说，输出级用于控制执行器的功率不是通过对来自微处理机的信号进行放大才得到的，而是输出级本身的电路从电源取得的。微处理机的信号只是触发了输出级使它接通或者断开执行器电路罢了。微处理机对输出级的控制通过控制脉冲出现的位置、它的长度和占空比体现出来。

1. 喷油输出级

微处理机通过使喷油输出级的电路导通或截止，控制喷油输出级发出的脉冲长度。为了将电子控制单元中的功率损耗保持在较低水平、缩短喷油器衔铁吸动和释放所经历的时间以及放弃限流电阻的使用，对喷油器的电流进行了调节。该电流先是上升到一个很高的接通数值，例如六缸机中的 7.5A，然后下降到一个较低的保持电流，到喷油终点时约为 3A。这项调节由一个专门为此开发的集成电路完成。

2. 点火输出级

点火输出级的主要任务是电流放大。为了免除传统的前置电阻，并在整个工况区域内获得要求的点火能量，由微型控制器根据蓄电池电压和转速预先规定点火线圈中电流流过的时间，如图 7-6 所示。

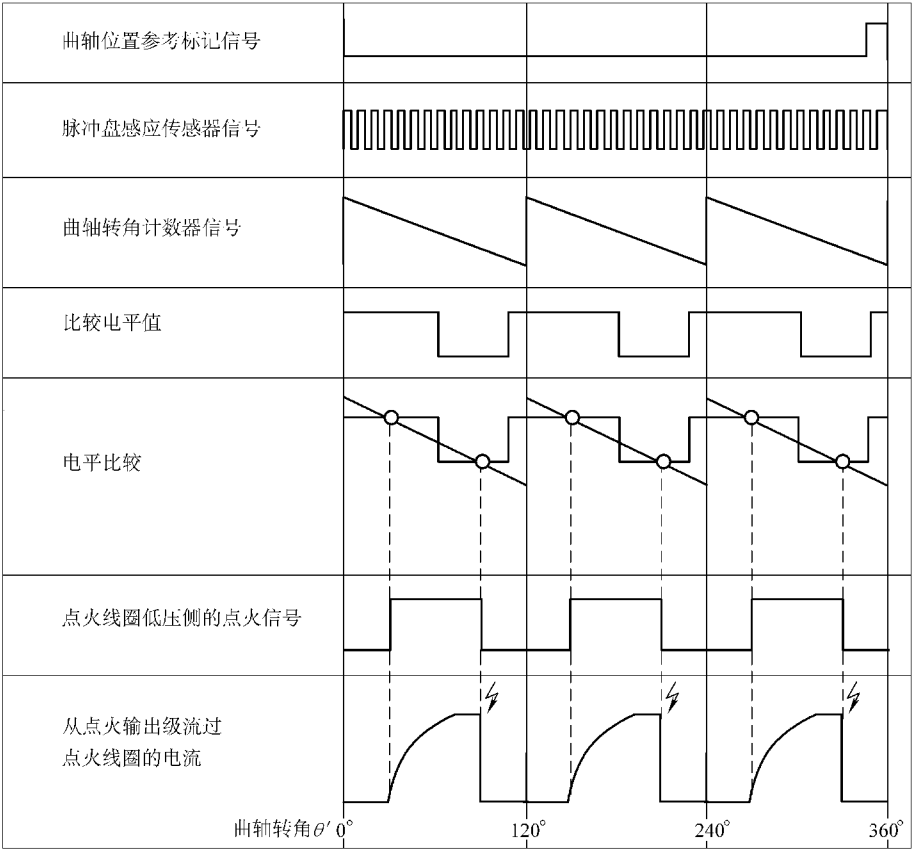


图 7-6 六缸机闭合角和点火提前角的形成

图 7-6 中,第 1 行为曲轴位置参考标记信号,第 2 行为脉冲盘感应传感器的转速信号。微处理机对它分频后形成的曲轴转角计数信号显示于第 3 行。第 4 行为微处理机根据当时工况下应有的点火提前角和闭合角算出的比较电平值,储存在缓冲寄存器内。第 5 行表示第 3 行和第 4 行信号的比较。第 3 行曲轴转角计数信号电压与比较电平中的高电平相等时点火线圈的初级线圈接通,与比较电平中的低电平相等时点火线圈的初级线圈断开,形成点火信号,见第 6 行。最后一行为从点火输出级流过点火线圈的初级线圈的电流。点火输出级的任务就是将微处理器输出的点火信号放大成点火线圈初级电流。

3. 电动燃油泵输出级

ECU 中的微控制器根据当时的工况,通过电动燃油泵输出级控制泵继电器,进而控制电动燃油泵的接通和断开。

4. 其他输出级

根据需要,还可设置其他输出级以控制调节怠速充量的旁通阀,EGR 阀、涡轮增压发动机增压压力控制阀、炭罐清洗阀以及故障指示灯等。

第三节 连接其他系统的接口

汽车电子控制系统在各个领域中的应用不断增加,例如传动控制、电子节气门(E-Gas, Drive-By-Wire)、发动机电子控制(EMS)、防抱制动(ABS)、牵引力控制(ASR)以及车载计算机等。这种状况使得有必要将各个控制系统的 ECU 连成网络。各个电子控制系统之间的数据通信可以减少传感器的数量,并且充分挖掘各个系统的潜力。

连接这些电子控制系统的接口可以分成两大类:

- ① 传统的接口,带二进制信号(开关量)、脉冲占空比(脉宽调制信号)。
- ② 串行数据传输,例如控制领域网络(Controller Area Network,缩写为 CAN)。

一、传统的接口

在传统的汽车数据通信系统中,每一个信号有一根指定的导线。二进制信号只能作为“1”或“0”(二进制编码)这两个状态中的一个被传输,例如,空调压缩机“开”或“关”。

脉冲占空比(电位计)可用来传输更为精细的数据,例如节气门开度。

汽车中各种电子元件之间数据交换的增加,意味着传统的接口不再能保证满意的性能。线束越来越复杂,现在已经到了只有花费大量的时间和精力才能掌握的地步。可是,对各个电子控制单元之间数据交换的要求还在不断地提高,传统的数据传输方式如图 7-7 所示。

这些问题可以通过采用专门为汽车设计的总线系统(数据母线)CAN 加以解决。只要所有电子控制系统的 ECU 都有一个 CAN

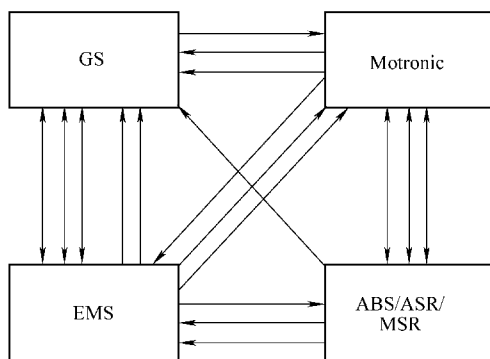


图 7-7 传统的传输方式

GS—变速器控制 EMS—发动机电子控制

ABS—防抱制动系统 ASR—牵引力控制

MSR—发动机牵引力矩控制 Motronic—发动机电子控制

的串行接口,上述这些信号就都能通过 CAN 传输。

二、串行数据传输 (CAN)

CAN 在汽车里有三种基本的应用范围:电子控制单元的耦合、车身和舒适性电子控制(名目繁多)、移动通信。下面仅仅论述电子控制单元的耦合。

1. 电子控制单元的耦合

所谓电子控制单元的耦合,就是各个电子控制系统如 Motro-ni3 变速器电子控制等互相耦合。传输率大致在 125KB/s 和 1MB/s 之间。传输率必须高到能保证要求的实时性能的程度。串行数据传输装置相对于传统接口(例如脉冲占空比、开关信号和模拟信号)的优点之一是可以达到高的传输速度而不给电子控制单元中的中央处理单元(CPU)造成大的负担。

2. 总线设计

CAN 按照“多母线”原则工作。在这一原则下,多个相同优先级的电子控制单元通过一个线性总线结构相互连接,如图 7-8 所示。

这种结构的优点是,当一个参与者出故障时,其他参与者可以继续全面地使用总线系统。与其他逻辑结构(例如环形结构或星形结构)相比,出现整体故障的概率大为减小。在环形结构或星形结构的场合,一个参与者或者中央控制单元的故障就会导致整体故障。

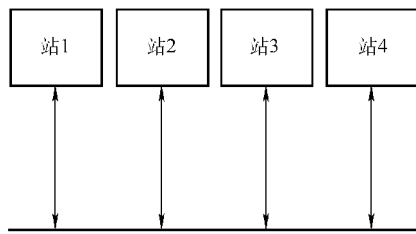


图 7-8 线性总线结构

3. 与内容有关的寻址方式

总线系统 CAN 根据信息的内容编址。为此,每一条“信息”配置一个固定的、11 位长的标志符。这个标志符标明该信息的内容(例如发动机转速)。每一个站只处理那些其所属的标志符储存在待接收信息表中(接收检验)的数据。这样,CAN 不需要站地址就能传输数据,结点不必管理系统设计。

4. 总线分派

只要总线空着,每一个站都可以开始传输它的最重要的信息。如果多个站同时开始传输,则应用“wired-and”仲裁模式解决由此引起的总线存取矛盾。在这种模式下,首先存取具有最高优先级的信息,而不出现时间损失和数据位的丢失。在仲裁中失败的发送站将自动地转为接收者,只要总线有空,就重复地尝试着传输数据。

5. 信息格式

为了在总线上传输数据,建立了一个数据框架,其长度小于 130 位。这样,确保了下一个、可能是非常紧急的传输之前的等待时间总是很短。

数据框架由七个互相衔接的字段组成。

6. 标准化

国际标准组织 ISO 已确认 CAN 为一种用于汽车的数据流超过 125KB/s 的标准。同时另外两个议定书则用于数据流小于 125KB/s 的场合。

第四节 电子控制单元软件概述

电子控制单元软件包含着程序以及特性场、特性线等许多数据。程序由许多指令组成,

反映了控制的策略。

计算机只能识别二进制信号“1”和“0”。所以，指令、数据都必须以被称为“机器码”的二进制代码表示，这种指令称为“机器指令”，用机器指令编成的程序称为“机器语言程序”。显然，这种机器语言程序既不便记忆，又不便书写。为了解决这个问题，人们采用英文缩写符号表示的“符号指令”代替机器指令，便于记忆和书写。这种语言的语句结构通常由标号、操作码、操作数和注释组成，称为“汇编语言”。用汇编语言编成的程序称为“汇编语言程序”。但是计算机只能执行机器语言程序而不能直接执行汇编语言程序。所以编成汇编语言程序后须用仿真器将它翻译成机器语言程序，叫做汇编。汇编过程源自汇编语言程序，止于机器语言程序，因而前者得名“源程序”，后者得名“目标程序”。这种翻译工作可由计算机内部的“汇编程序”完成，或者用查表的方法进行手工汇编。反过来，也可以根据机器语言程序倒推出汇编语言程序，称为反汇编。ECU 中的程序都用汇编语言编成，然后汇编成机器语言程序。

所谓 ECU 程序设计，就是用 ECU 中的微控制器所能接受的形式将预定的控制策略表述出来。用汇编语言编写程序的过程大致如下：确定控制策略，画成框图；确定数据数量，分配存储单元；按所用的微控制器的指令系统编写汇编语言程序。

第五节 电子控制单元维修与故障诊断

一、电子控制单元结构特点

1. 发动机管理系统（EMS）（以 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统 ECU 为例）

该发动机管理系统主要由传感器、微处理器（ECU）和执行器三个部分组成，对发动机工作时的吸入空气量、喷油器和点火提前角进行控制。在发动机电控系统中，传感器作为输入部分，用于测量各种物理信号（温度、压力等），并将其转化为相应的电信号。ECU 的作用是接受传感器的输入信号，并按设定的程序进行计算处理，产生相应的控制信号输出到功率驱动电路，功率驱动电路通过驱动各个执行器执行不同的动作。使发动机按照既定的控制策略进行运转。同时 ECU 的故障诊断系统对系统中各部件或控制功能进行监控，一旦探测到故障确认后，则存储故障码，调用“跛行回家”功能，当探测到故障被消除，则正常值恢复使用。

2. 电控系统的基本组件

电控系统的基本组件包括电子控制器（ECU）、喷油器、曲轴位置传感器、燃油压力调节器、凸轮轴位置传感器、油轨、进气歧管、炭罐控制阀、冷却液温度传感器、氧传感器、进气压力/温度传感器、三元催化转化器、怠速调节器、点火线圈及高压线、节气门位置传感器、油泵总成以及爆燃传感器。

3. ECM 模块 I/O（输入/输出）定义，电气原理

SIM2K 系统中 ECU 的主要传感器输入信号包括进气压力信号、进气温度信号、节气门位置信号、冷却液温度信号、曲轴转角信号、凸轮轴相位信号、氧传感器信号、空调请求信号、空调压力信号、空调蒸发器温度、车速信号以及爆燃信号。

以上信息进入 ECU 后经处理产生所需的执行器控制信号，这些信号在输出驱动电路中

被放大，并传输到各对应执行器中，这些控制信号包括：怠速调节器开度、喷油正时和喷油持续时间、点火线圈闭合角和点火提前角、炭罐控制阀开度、氧传感器加热器加热控制、主继电器控制、油泵继电器控制、空调压缩机继电器控制、空调冷却风扇继电器控制、冷却液风扇继电器以及故障灯控制。

二、电子控制器单元电气原理（用于欧Ⅱ标准的电气原理）

电子控制器单元电气原理如图 7-9 所示。

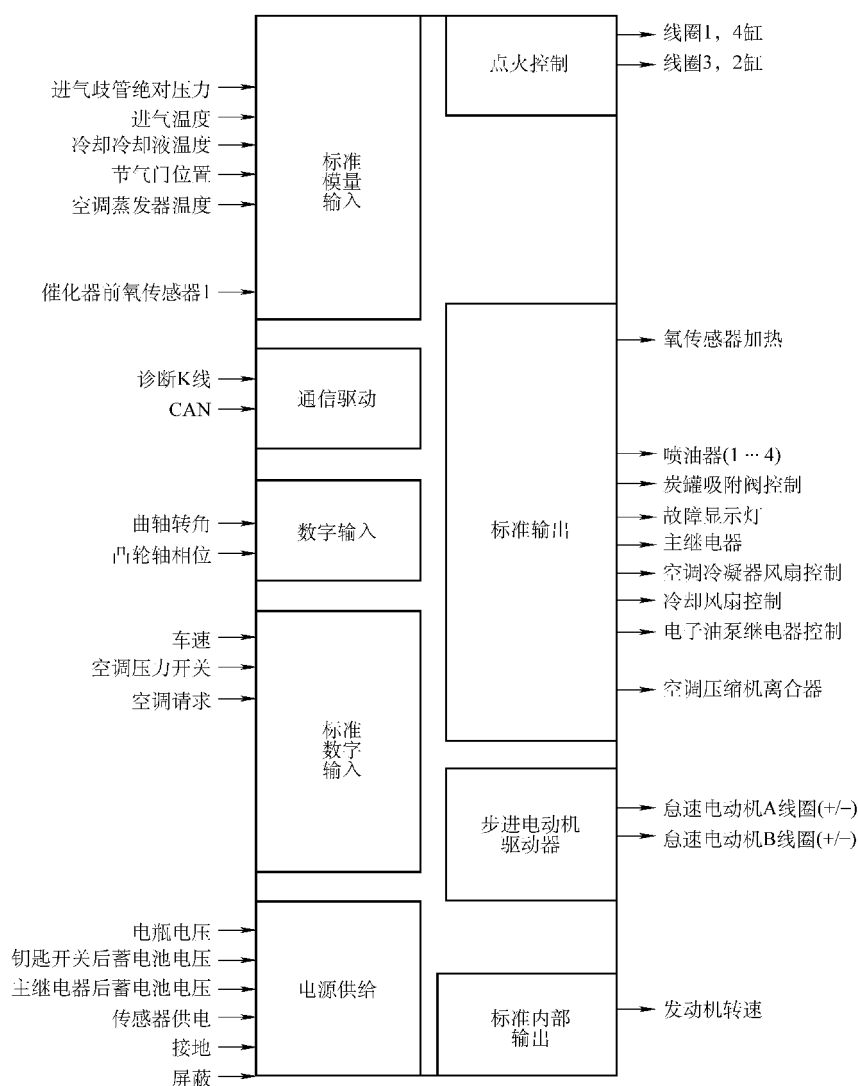


图 7-9 电子控制器单元电气原理

三、ECM 模块 I/O（输入/输出）定义（对欧Ⅱ标准定义）

ECU 模块端子图如图 7-10 所示。

对欧Ⅱ标准定义见表 7-1。

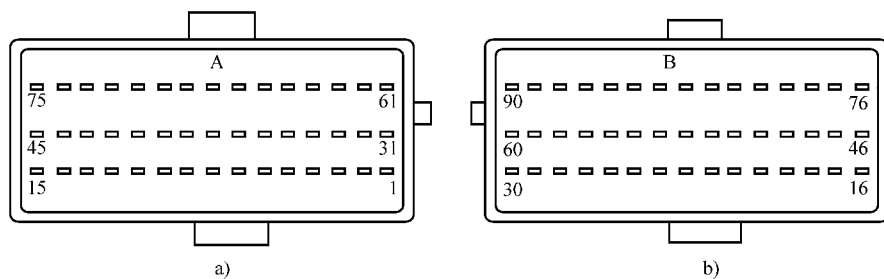


图 7-10 ECU 模块端子图

表 7-1 ECU 模拟 I/O 定义

针 脚	连接点/说明	类型 (输入、输出、搭铁)
A - 01	怠速电动机线圈 B +	输出
A - 02	怠速电动机线圈 B -	输出
A - 03	点火屏蔽	搭铁
A - 06	油泵继电器	输出
A - 07	主继电器	输出
A - 09	冷却风扇继电器	输出
A - 10	空调冷凝器冷却风扇继电器	输出
A - 12	空调蒸发器温度冷却风扇继电器	搭铁
A - 13	进气温度/绝对压力冷却风扇继电器	搭铁
A - 31	3&2 缸点火信号	输出
A - 32	1&4 缸点火信号	输出
A - 33	电源搭铁	搭铁
A - 35	催化器前氧传感器加热脉宽信号	输出
A - 41	空调压缩机离合器继电器	输出
A - 44	催化器前氧传感器信号	输入
A - 61	怠速电动机线圈 A +	输出
A - 62	怠速电动机线圈 A -	输出
A - 66	主继电器后的电源电压 V _ RLY	输入
A - 67	电源搭铁	搭铁
A - 68	发动机转速信号	输出
A - 71	发动机故障指示灯	输出
A - 73	炭罐控制阀控制脉宽信号	输出
A - 74	节气门位置传感器信号	输入
A - 75	进气绝对压力信号	输入
B - 16	催化器前氧传感器搭铁	搭铁
B - 17	凸轮轴传感器搭铁	搭铁

(续)

针 脚	连接点/说明	类型 (输入、输出、搭铁)
B-19	节气门位置传感器搭铁 & 冷却液温度传感器搭铁	搭铁
B-22	凸轮轴位置信号	输入
B-24	ECU 搭铁	搭铁
B-25	曲轴位置传感器搭铁	搭铁
B-28	喷油器线圈搭铁	搭铁
B-29	点火开关后的电源 V _{IGK}	输入
B-30	电瓶电源 VBD	输入
B-49	空调蒸发器温度信号	输入
B-50	进气温度/绝对压力传感器搭铁 +	输出
B-51	车速信号	输入
B-52	空调请求开关信号	输入
B-54	曲轴位置传感器信号	输入
B-56	诊断 K 线	输出
B-57	CAN (L 线)	输出
B-59	1 缸喷油嘴控制输出	输出
B-60	2 缸喷油嘴控制输出	输出
B-76	冷却液温度传感器信号	输入
B-78	进气温度信号	输入
B-79	节气门位置传感器电源 +	输出
B-87	空调制冷剂压力开关	输入
B-88	CAN (H 线)	输出
B-89	2 缸喷油嘴控制输出	输出
B-90	3 缸喷油嘴控制输出	输出

四、电子控制单元维修与故障诊断

1. 安装位置：发动机舱内（驾驶室仪表板左侧或右侧）。

2. 工作原理

功能 多点顺序喷射、控制点火、怠速控制、提供传感器供电电源：5V/100mA 闭环控制，带自适应、控制炭罐控制阀、空调开关、发动机故障指示灯、燃油定量修正、发动机转速信号的输出（TN 信号）、车速信号的输入、故障自诊断、接受发动机负荷信号等等。

3. 安装注意事项

- ① 安装时注意静电防护。
- ② 注意对插头针脚的保护。

4. 故障现象及判断方法

(1) 故障现象 怠速不稳、加速不良、不能起动、怠速过高、尾气超标、起动困难、空调失效、喷油器控制失效及熄火等。

(2) 一般故障原因

- ① 由于外接装置电气过载而导致 ECU 内部零部件烧毁而导致失效。
- ② 由于 ECU 进水而导致线路板锈蚀等。

(3) 维修注意事项

- ① 维修过程不要随意拆卸 ECU。
- ② 拆卸 ECU 前请先拆卸蓄电池后 5min 以上。
- ③ 拆卸后的 ECU 注意存放。
- ④ 禁止在 ECU 的连接线上加装任何线路。

(4) 简易测量方法

- ① (接上接头) 利用发动机数据 K 线读取发动机故障记录。
- ② (卸下接头) 检查 ECU 连接线是否完好, 重点检查 ECU 电源供给、搭铁线路是否正常。
- ③ 检查外部传感器工作是否正常, 输出信号是否可信, 其线路是否完好。
- ④ 检查执行器工作是否正常, 其线路是否完好。
- ⑤ 最后更换 ECU 进行试验。

思考题

1. 现代 ECU 采用的是模拟电路还是数字电路?
2. ECU 和哪四部分连接?
3. ECU 要求多大的稳定电压? 如何解决?
4. ECU 通常安置在车上的什么部位?
5. ECU 中的单片机集成的规模已发展到了何种程度?
6. 发动机电子控制系统中的哪些传感器信号要进行 A/D 转换?
7. 微型计算机中哪些是最重要的组成部分?
8. 中央处理单元由哪三部分组成? 各起什么作用?
9. 数据匹配中得出的特性曲线和特性场储存在哪一类存储器内? 怎样存入?
10. ECU 中的 A/D 转换器安置在哪一部分内?
11. 输出级输送给执行器的信号是不是模拟量? 输出级以怎样的方式控制执行器?
12. 喷油输出级为什么要对喷油器的电流进行调节? 怎样调节?
13. 点火输出级放大的是什么信号? 这个信号是怎样形成的?
14. 电动燃油泵输出级和怠速执行器输出级输出信号的形式有何差别?

第八章 汽油机电控系统车载故障诊断

第一节 车载故障诊断概述

一、车载故障诊断概述

汽油机电控系统十分复杂。系统中的任何一个元件出了故障，或者出现导线折断、引脚松脱或接触不良等，都会导致整个系统出现故障。此时如果仅仅依靠传统的检测工具去检查故障，那是很难奏效的。所以，现在汽油机电控系统都有自诊断功能，称为车载故障诊断（On Board Diagnosis，缩写为 OBD）。OBD 的要点是不断监测系统的异常之处，从中找出故障，一方面采取临时补救措施，使汽车勉强能跑（跛行回家），另一方面将故障信息送往 RAM “记录在案”，等待维修人员查明故障原因后处置，必要时还通过故障指示灯告诉驾驶人。

美国加州为了满足从 1992 年开始执行的更为严格的排放法规，从 1994 车型年开始要求部分采用车载故障诊断 II（OBD - II），从 1996 车型年开始要求 100% 执行 OBD - II。与原先的 OBD（又称 OBD I）相比，作为集成于发动机电子控制系统的一部分，OBD - II 规定要连续地监测与排放有关的系统和元件；重大故障的发生和排放值的超常都要通过故障指示灯向驾驶人显示；故障信息储存在 RAM 中的故障信息存储器中，可能时还要自动修正；进入三元催化转化器之前的排放水平不得超过 FTP 限值的 1.5 倍。OBD - II 应有如下九种故障监测功能：缺火监测、氧传感器监测、三元催化转化器监测、蒸发排放控制系统监测、燃油喷射系统监测、对发动机元件如传感器和执行器从总体上进行监测（其中一部分在 OBD I 中也监测）、排气再循环系统监测、二次空气系统监测和空调系统（氟氯碳制冷剂）监测。由此可见，OBD - II 监测的对象除了空调系统（制冷剂）以外，都是与发动机直接有关的。

美国环保署从 1996 车型年开始执行的 EPA OBD - II 和欧洲联盟建议从 2000 车型年开始执行的欧洲车载故障诊断（European On Board Diagnosis，缩写为 EOBD）都只要求重点监测上列的前四项，其次监测其他任何一个与排放有关的元件或系统。

根据我国目前的排放法规，国产车目前还不会采用 OBD - II。但是，在一些进口轿车上已经可以见到 OBD - II。而 OBD - I 则已在国产电子控制汽油机上得到广泛的应用。

二、OBD - II 故障自诊断系统的主要特点

OBD - II 故障自诊断系统（即车载故障自诊断系统的统一标准），由美国汽车工程学会 SAE 于 20 世纪 80 年代末提出，经美国环保机构 EPA 和美国加州资源协会 CARB 认证通过后，作为强制性标准首先在美国开始实行。美国联邦法律规定，到 1996 年，所有在美国销售的汽车必须满足 OBD - II 的标准。现在，OBD - II 标准已发展成为世界汽车行业的统一标准。按照 OBD - II 标准设计的故障自诊断系统，对诊断模式和诊断接口进行了统一，原则上只需使用一台仪器，就可对各类车辆进行诊断检测，该系统是目前应用最广泛的自诊断系统。

(1) OBD - I 故障自诊断系统的主要特点 与 OBD - II 车载故障自诊断系统相比, OBD - II 有如下的主要特点:

① 诊断座统一规定为 16 针插座, 统一安装于驾驶室仪表板下方, 如图 8-1 所示。采用 OBD - II 标准主要车系的诊断座端子代号及内容可查阅相关资料获得。

② OBD - II 故障自诊断系统的诊断座具有数值分析资料传输功能, OBD - II 资料传输线有两个标准: ISO 欧洲统一标准为 7#、15# 针脚; SAE - 美国统一标准 (SAE - J1850) 用 2#、10# 针脚。

③ 各种车辆故障码代号相同, 且故障码意义统一。OBD - II 故障码由 5 个字组成, 如图 8-2 所示。

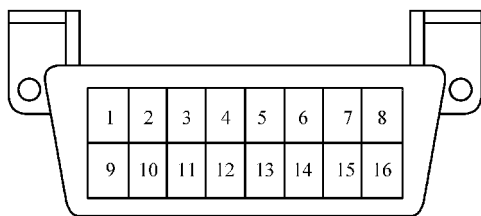


图 8-1 OBD - II 的诊断座

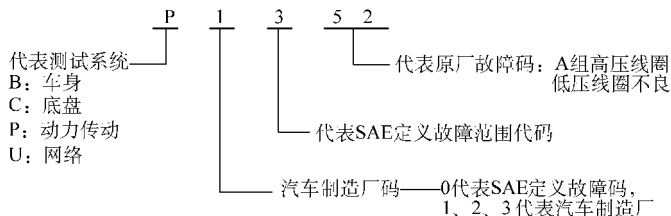


图 8-2 OBD - II 故障码的定义规定

④ 具有行车记录功能, 能记录车辆行驶过程的有关数据资料。

⑤ 具有重新显示记忆故障的功能。

⑥ 具有可由仪器直接清除故障码的功能。

(2) OBD - II 故障自诊断系统的工作原理 OBD - II 故障自诊断系统要完成的自诊断任务有诊断试验、诊断试验的结果记录、进行诊断失效操作。

① 故障诊断模式及处理。OBD - II 的诊断试验分为 3 个层次, 即被动诊断 (passive)、主动诊断 (active) 和介入诊断 (intrusive)。被动诊断只是在运行过程中监测微型计算机系统及其元件。主动诊断除了具有被动诊断的基本监测内容外, 还在具体故障出现后, 对整个系统或元件操作控制内容, 主动诊断通常在被动诊断失效后进行。介入诊断是一种特殊主动诊断, 它主要是介入 ECU 执行影响到车辆性能或排放的操作控制。

② 故障诊断结果的记录。在 ECU 中应储存记录的诊断结果信息主要包括如下内容:

a) 故障信息。故障信息记录中保存了故障内容、故障发生的时间以及历史的故障记录等信息。

b) 冻结框 (freeze frame)。它保存运行工况的信息, 即在与排放有关的故障出现时 (此时有故障警告显示) 汽油发动机的工况参数, 冻结框只有一个。

c) 失效记录 (fail records)。它保存的信息与冻结框类似, 但失效记录可有多个。

d) 系统状态。表明系统的故障诊断过程是否在进行, 同时还能表明对与排放有关的传感器、元件或子系统是否进行过诊断。

e) 暖机次数。记录汽油发动机所经历的从冷起动到暖机至 70℃ 的过程次数。该次数可

作为 ECU 判断故障排除情况的依据。如某一故障排除后, ECU 在执行诊断过程时自动将暖机次数置零, 然后不断累加, 如达到 40 次 (依系统而定) 后仍未再次诊断到这一故障, 则 ECU 自动消除相应的故障信息。

(3) OBD - II 故障自诊断系统的故障码 OBD - II 故障自诊断系统的故障码分为 A, B, C、D 四类。其特点分别为:

① A 类故障。与排放有关, 第一次扫描诊断失效, 系统即显示故障警告, 如冻结框空缺即存储, 存储故障信息, 每次诊断失效即刷新失效记录。

② B 类故障。与排放有关, 一次扫描诊断失效即处于警戒状态, 第二次扫描通过即解除警戒。若第二次扫描失效则显示故障警告, 如冻结框空缺即存储, 存储故障信息, 每次诊断失效即刷新失效记录。

③ C 类故障。与排放无关 (即该类故障引起的有害排放增加量, 不会超过美国法规标准的 1.5 倍, 下同), 第一次扫描失效只显示维修提示信号或维修信息, 存储故障信息, 不存储冻结框, 存储试验失效记录, 每次诊断试验失效即刷新失效记录。

④ D 类故障。与排放无关, 不显示任何提示信息, 第一次扫描失效存储故障信息, 不存储冻结框, 诊断试验失效即存储失效记录, 每次诊断试验失效即刷新失效记录。

(4) OBD - II 故障自诊断系统的故障码 OBD - II 故障自诊断系统对故障码清除, 有三种方法可采用:

① 使用专门的故障诊断仪 (如 Tech 2) 清除。它还可以清除原有的冻结框和失效记录数据。

② 卸掉 ECU 的总熔断器或断开蓄电池接线, 使 ECU 断电, 则所有的故障信息均会消除。

③ 如果产生故障信息的故障已被排除, 诊断系统将重新对暖机过程计数。一旦暖机所计次数达到 40 次 (依系统而定) 尚未诊断到故障, 则 ECU 自动将原故障信息清除。

第二节 故障监测

OBD 的工作以故障监测为基础。

一、故障监测的目的

故障监测的目的有四个方面:

① 监测电子控制系统本身的硬件, 如各种传感器和执行器是否有故障, 包括电路的短路、开路等。

② 监测虽不属于电子控制系统, 但却是电子控制系统服务对象的硬件, 如三元催化转化器是否有故障。

③ 监测发动机工作过程是否正常, 如是否有缺火等。

④ 监测发动机机械状态是否正常, 如是否机油油位太低、冷却液太少等。

二、故障监测的对象

故障监测的对象包括以下传感器、执行器、开关和电路等: 空气流量传感器、进气歧管绝对压力传感器、节气门位置传感器、节气门定位器、发动机转速传感器、车速传感器、氧传感器、氧传感器加热元件、进气温度传感器、燃油箱压力传感器、爆燃传感器、冷却液温

度传感器、空调制冷剂压力传感器、喷油器、蓄电池电压、点火提前角、爆燃控制点火推迟角、蒸发排放物炭罐清洗真空开关、排气再循环阀阀销位置传感器、防盗燃油供能电路、ECU 供电电路电压、故障指示灯驱动电路电平、冷却风扇继电器驱动电路电平、空调压缩机控制继电器驱动电路电平、油箱蒸发排放物炭罐清洗阀驱动电路电平、巡航禁止输出电路电平、发电机灯驱动电路电平、发动机机油油面开关电路和发动机热冷却液指示灯驱动电路电平。

三、故障监测的原理

计算机程序不断地将 ECU 的指令和系统的反应进行比较,同时检查各个传感器的信号是否可信,借此确定是否存在某一种故障。归纳起来,可有如下几种途径:

① 某传感器信号电压的数值超出了可能的范围,或者虽未超出可能的范围,但出现在不应当出现的工况,则可判为不可信。例如在车速 90km/h、发动机转速 3000r/min、进气歧管绝对压力 65kPa 时出现 2% 的节气门开度,这显然是不可信的。

② 在可同时根据几个传感器的信号计算出同一个物理量,如空气流量的场合,其计算结果与根据已被判定为无故障的传感器的计算结果不一致时,该传感器可判为有故障。

③ 根据某传感器,如发动机冷却液温度传感器和氧传感器信号变动所经历的时间和幅度可判断系统是否存在某些方面的故障。

④ 系统激活了某一个闭环控制功能,却无法达到目标如 $\lambda = 1$,则可判断系统存在相关的故障。

四、故障检测的条件

只有在一定的条件下才能根据传感器的信号按上述方式确定故障是否存在。这些条件涉及发动机工况、车速、环境状况和其他传感器的信号与状况等,因故障本身的特点而异。

五、故障信息的处理

ECU 确认出现某种故障之后,便将此信息存入 RAM 中的故障信息存储器并赋予不同的代码,其中的某些故障信息还立即通过故障指示灯通知驾驶人。以后在维修站可以用故障阅读仪将故障信息从故障信息存储器中读出。

与此同时,ECU 继续进行故障监测。如果相继的若干次(例如 3 次)监测为合格,ECU 便将故障指示灯熄灭,不过故障信息依然留存于故障信息存储器之中。只有当完成相继的许多次(例如 40 次)暖机循环而无一次故障时,ECU 才将故障信息的历史记录从故障信息存储器中清除。在维修站利用故障阅读仪的清除故障信息功能,或者拆除蓄电池接头而使 ECU 断电,同样能清除存储器中的故障信息。

第三节 电控发动机常见故障的诊断与排除

概述

装有电控发动机的汽车,维修既方便又不方便。因为电控发动机自检系统工作良好时,很方便,可是一旦自诊断系统损坏或 ECU 完全停止工作(如交通事故汽车),就感到很不方便了,不但要按普通化油器式发动机故障诊断方法进行初步检查,还要对 EFI 系统线路、电子控制元件及传感器进行物理量检测。所以,汽车维修工要有两手本领,既能检修、排除普通发动机故障,又能借助于 EFI 系统中的自诊断系统或专用仪器进行诊断检查;如果自诊

断系统损坏,又没有专用仪器,应能用普通万用表根据该车型维修手册提供的标准物理量进行检修。

可见,熟练掌握现代电控汽车的构造与原理、掌握现代检测仪器与设备的使用方法、勤于分析与思考是现代汽车维修工必备的基本素质。

1. 电控发动机的基本特点

随着汽车技术的发展,电控技术在汽车上的应用越来越广泛。面对繁多的车型,汽车维修人员必须不断地在实践中总结经验,探索电控系统故障产生的规律性和检修方法,以求能举一反三、触类旁通,达到知识内涵的飞跃和维修技术的提高。

电控发动机的特点主要是在电路和油路上。

① 采用中央配电盒,将继电器和熔丝等集中设置。这种布置方式简化了线路连接,使电路具有阻抗小、寿命长和检修方便等优点。

② 电器中塑料零件较多,重要的电器和传感器在电路中常采用双线制(具有单独的搭铁线):发动机、变速器、ECU等都有各自的搭铁线。

③ 电源线有3根:常火线、小容量电器火线和大容量电器火线。

常火线直接与蓄电池正极连接,不受点火开关控制,常用于向电动风扇、制动灯、危险报警灯、防盗报警系统及ECU等供电。该线的截面积较大。

小容量电器火线受点火开关的控制,常用于向点火系统、喷油系统、各种传感器及各种执行部件等供电。该线的截面积较小,在该线路上不宜擅自加接其他电器。

大容量电器火线受继电器控制,而继电器则由点火开关控制,常用于向大功率电器(如前照灯、空调压缩机、喇叭、泵等)供电。该线的截面积较大。

④ 起动机电路常受离合器开关或自动变速器开关控制,具有安全保护作用。发动机启动时,起动电路还给ECU一个起动信号,以增加供油量。

⑤ 不少电路的开关在接通电路时都向ECU输送信号,且较多的是输送搭铁信号(开关设在电路的搭铁端),使ECU能及时地采取相应的控制措施。

⑥ 各种要求反应速度快的小电流报警灯电路,如危险报警灯、驻车制动灯、液面高度报警灯、油压报警灯等电路,大多数用晶体管控制其搭铁线路,而晶体管的工作则是由相应的开关(压敏式、磁敏式、热敏式等)控制,如图8-3所示。

⑦ 大功率电器和执行部件的电路都由继电器控制,而继电器则由相应的开关控制,如图8-4所示,其目的是防止开关烧损。

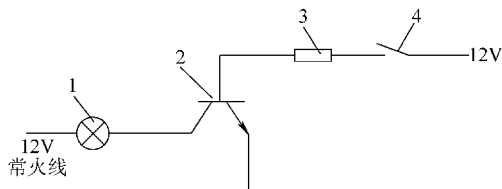


图 8-3 小电流报警电路控制方式

1—报警灯 2—晶体管 3—电阻 4—开关

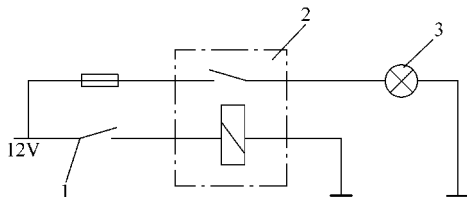


图 8-4 大功率电器电路控制方式

1—开关 2—继电器 3—大功率电器(如灯泡)

⑧ 对于由脉冲电压控制的执行部件(如喷油器)电路,都用大功率晶体管控制其搭铁线路,如图8-5所示,以提高电路的通、断速度。

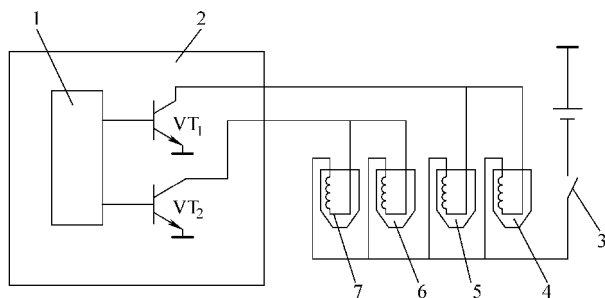


图 8-5 喷油器电路的控制方式

1—微机 2—ECU 3—开关 4、5、6、7—喷油器；VT₁、VT₂—大功率晶体管

⑨ 执行部件的工作电压都为 12V，传感器的工作电压多为 5V，而其信号电压则大多为 0~5V。

⑩ 喷油器是在点火器给 ECU 提供点火确认信号（IGf）的情况下喷油的，因此，如果没有高压电，喷油器就不喷油，这是 ECU 对发动机的一种保护功能。

⑪ 检查点火系统时，应首先分清在发动机的 1 个工作循环中有 1 次点火还是 2 次点火，然后再用转速仪和 LED 灯检查、判断其各部分的状况。

⑫ 在发动机中负荷下起作用的各装置（如 EGR 阀、炭罐等）所需的真空源（真空度小于 30kPa）大多在节气门的前方，而空调系统、进气谐振增压系统、巡航系统、进气歧管压力传感器等所需的大真空源（真空度大于 60kPa），则大多在节气门的后方。

2. 电控发动机故障诊断的基本原则

（1）先思后行 对发动机的故障现象先进行故障分析，在了解了可能的故障原因的基础上再进行故障检查。这样，可避免检查的盲目性，不会对与故障现象无关的部位做无效的检查，又可避免漏检而不能迅速排除故障。

（2）先外后内 在发动机出现故障时，先对电喷系统以外的可能故障部位予以检查。

（3）先简后繁 能以简单方法检查的可能故障部位应先予以检查。比如，直观检查最为简单，我们可以用看、摸、听等直观检查方法将一些较为显露的故障迅速地找出来。

看：用眼睛察看线路有无松脱、断裂；油路有无漏油；进气管路是否破损漏气等。

摸：用手摸一摸可疑线路插接器连接有无松动；摸一摸火花塞的温度、喷油器的振动，来判断火花塞、喷油器是否工作；摸一摸线路连接处有无不正常的高温以判断该处是否接触不良等。

听：用耳朵（或借助于螺钉旋具、听诊器等）听一听有无漏气声、发动机有无异响、喷油器有无规律的“咔嗒”声等。

直观检查未找出故障，需借助于仪器仪表或其他专用工具来进行检查时，也应对较易检查的先予以检查。能就车检查的项目应先进行检查。

（4）先易后难 由于结构和使用环境等原因，发动机的某一故障现象可能是以某些总成或部件的故障最为常见，先对这些常见故障部位进行检查，若未找出故障，再对其他不常见的可能故障部位予以检查，这样做可以省时省力。

（5）代码优先 微机控制系统一般都有故障自诊断功能，当控制系统出现某种故障时，

故障自诊断系统就会立刻监测到故障并通过“检测发动机”等警告灯向驾驶人员报警，与此同时以代码的方式储存该故障的信息。但是对于有些故障，自诊断系统只储存故障码，并不报警。因此，在对发动机作系统检查前，应先按制造厂提供的方法，调取故障码，并检查和排除代码所指的故障部位。待故障码所指的故障消除后如果发动机故障现象还未消除，或者开始就无故障码输出，则再对发动机可能的故障部位进行检查。

(6) 先备后用 微机控制系统的一些部件性能好坏，电气线路正常与否，常以其电压或电阻等参数来判断。如果没有这些数据资料，系统的故障检修将会很困难，往往只能采取新件替换的方法，这些方法有时会造成维修费用增加且费工费时。所谓先备后用是指在检修该型车辆前，应准备好维修车型的有关检修数据资料。除了从维修手册、专业书刊上收集整理这些检修数据资料外，另一个有效的途径是利用无故障车辆对其系统的有关参数进行测量，并记录下来，作为日后检修同类型车辆的检测比较参数。如果平时注意做好这项工作，会给系统的故障检查带来方便。

3. 电控发动机故障诊断的基本方法

发动机微机控制系统的故障检测与诊断，按其诊断的范围，可分为初步诊断和深入诊断。初步诊断是根据故障的现象，判断出故障产生原因的大致范围；深入诊断是根据初步诊断的结果，对故障原因进行分析、查找，直到找出产生故障的具体部位。

按诊断故障所采用的手段，可分为直观诊断、利用故障自诊断系统诊断（随车诊断）、简单仪表和专用诊断仪器诊断。

直观诊断就是通过人的感觉器官对汽车故障现象进行看、问、试、嗅等，了解和掌握故障现象的特点，通过人的大脑进行分析、判断得出结论的检测方法。

随车诊断是利用汽车上微机控制系统所提供的故障自诊断功能进行诊断的方法。目前，发动机微机控制系统中都具有故障自诊断功能，这就为故障检测提供了极大的方便。随车自诊断系统通常只能提供与本系统有关的电气装置或线路故障，一般只作出初步诊断结论，具体故障原因，还需要通过简单仪表、专用仪器进行深入诊断。

利用简单仪表诊断，就是利用万用表、气缸压力表、真空表等对故障进行诊断。可用万用表对微机控制系统和电气装置故障进行深入诊断；用真空表、气缸压力表诊断气缸及进气管的密封性能。

汽车的电子化，迫使故障检测与诊断的手段进行变革。随着汽车电子化的进程，各种汽车专用诊断仪器应运而生，这些专用诊断仪器大多数是带有微处理器的微机系统，对汽车微机控制系统故障的诊断十分有效。采用专用诊断仪器对发动机微机控制系统进行故障诊断，可以大大提高诊断效率。但由于专用诊断仪器成本较高，因此专用诊断仪器一般适用于专业化的故障诊断和维修机构。

(1) 直观检查法 为了迅速地查找到故障源，首先必须了解故障出现的条件、过程及是否已检修过等与故障相关的情况和信息，因此客户调查是发动机微机控制系统检测与诊断的一个重要环节。

(2) 故障征兆的模拟检测与诊断法 在发动机微机控制系统的故障检测与诊断中往往遇到所谓隐性故障，即存在故障但没有明显的故障征兆。遇此情况，必须进行全面的故障分析，然后，模拟车辆出现故障时相同或相似的条件和环境进行试验，以便找出故障之所在。

在故障征兆的模拟试验中，不仅要验证故障征兆，而且还应找出故障的部位或零

部件。因此,在试验前必须把可能发生故障的电路范围尽可能缩小,然后再进行故障征兆的模拟试验,判断被测试的电路是否正常,同时也验证了故障征兆。在缩小故障征兆可能性时,应参考“故障诊断表”。故障征兆的模拟试验方法主要有以下几点。

1) 振动法。当振动可能是引起故障的原因时,即可用振动法进行试验。基本方法如下:

① 插接器。在垂直和水平方向轻轻摆动插接器。

② 配线。在垂直和水平方向轻轻摆动配线。插接器的接头、支架和穿过开口的插接器体等部位的配线都应仔细检查。

③ 零部件和传感器。用手轻拍装有传感器的零部件,检查是否失灵(但不可用力拍打继电器,否则易使继电器断路)。

2) 加热法。如有些故障只是在热车时出现,可能是因有关零部件或传感器受热而引起的。可用电吹风器或类似加热工具加热可能引起故障的零部件或传感器,检查此时是否出现故障。但必须注意:加热温度不得高于 60°C (温度限制在不致损坏电子元器件的范围内);不可直接加热微机中的元器件。

3) 水淋法。当有些故障是在雨天或高湿度的环境下产生时,可以用水喷淋在车辆上,检查是否发生故障。但应注意:不可将水直接喷淋在发动机零部件上,只能喷淋在散热器前面,间接改变温度和湿度;更不可以将水直接喷淋到电子器件上面,尤其应该防止水渗漏到电控单元内部。

4) 电器全接通法。当怀疑故障可能是因用电负荷过大而引起时,可接通车上全部电气设备(包括加热器、鼓风机、前照灯、后窗去雾器等),检查是否发生故障。

(3) 利用简单仪表检测诊断故障 故障诊断中常用的仪表主要有万用表、气缸压力表、真空表等;常用的辅助工具有电子试灯(笔)、跨接线等。

1) 万用表诊断故障法。发动机微机控制系统的故障包括传感器、执行器、ECU本身损坏和配线断路或短路两个方面。用万用表可方便地检测出有关元器件的电压、电阻,因此可以用万用表来检测发动机微机控制系统的技术状态。

2) 气缸压力表诊断故障法。气缸压力表是一种测量气缸压缩压力的专用工具。与真空表配合使用,对诊断与排除现代轿车故障很有帮助。

① 测量目的。通过测量气缸压缩压力,从而检查气缸与活塞组的密封情况、缸垫的密封性能、进排气门的密封性能,气缸体和气缸盖有无裂纹或漏气、气缸盖螺栓是否紧固、配气相位是否准确、发动机压缩比有无变化等。

② 测量条件。气缸内压缩压力随着发动机的转速、压缩比、测量地点的海拔高度以及缸内积存的机油的变化而变化。因此,在测量时必须控制试验条件。

a. 发动机运转至正常工作温度后熄火。

b. 吹擦净火花塞周围的脏杂物,拆下所有气缸的火花塞。

c. 节气门保持全开。

d. 拔下分电器端中心高压线并搭铁。

e. 蓄电池容量充足。

③ 测量方法

a. 按下压力表归零按钮使读数归零。

b. 将压力表的锥形橡皮头插入火花塞座孔中, 垂直均匀用力压紧 (螺塞拧入式无须用力压紧)。

c. 用起动机带动发动机运转 3 ~ 5s, 使转速达到 150 ~ 180r/min 以上, 读取压力值。

d. 按上述方法依次测量各缸的气缸压力, 并作记录。

④ 技术要求汽油机的气缸压力不得低于标准值的 90%, 任何两缸压力差与平均值之比不得超过平均值的 10%。

⑤ 分析。

a. 若某缸压力低于规定值。可向气缸内注入 20 ~ 30mL 机油, 并转动曲轴数圈。重新测试。如气缸压力变化不大, 表明燃烧室上部密封不良; 如果压力上升, 则为活塞组与气缸间密封不良 (下窜气)。

b. 若任意相邻两缸的压力低, 而其他各缸的压力正常, 则可能是由于两缸间气缸垫烧坏或缸盖螺栓松动。

c. 若所有气缸压力均较低, 则应检查导致发动机压缩比下降的原因及是否已达大修期。

d. 若气缸压力高于规定值, 可能是由于积炭过多, 气缸盖、气缸垫过薄所致。

⑥ 漏气部位的进一步确诊。充气检漏法是确诊气缸漏气部位的有效方法, 步骤如下:

a. 取下空气滤清器, 打开散热器盖, 卸下火花塞, 拔下机油尺。

b. 使被测的气缸处于压缩终了上止点, 使变速器处于空挡。

c. 借助于锥形橡皮头从火花塞座孔向该缸燃烧室内充入 0.4 ~ 0.6MPa 的压缩空气, 倾听漏气部位及漏气声: 若进气管上口有漏气声为进气门密封不良; 若相邻气缸的火花塞座孔口有漏气声, 为该二缸间气缸垫烧损窜气; 若机油尺管上口处有漏气声, 为气缸与活塞间密封不良; 若气缸体和气缸盖四周有漏气, 为气缸垫烧损、裂损而窜气; 若散热器加水口有气泡且伴有声响, 为气缸垫密封不良或缸套裂纹使高压气体窜入水套 (多发生在湿式缸套的发动机上)。

3) 真空表诊断故障法。众所周知, 密封性、点火性及空燃比是影响汽油发动机使用性能的三大要素, 其中进气系统密封性的影响尤为关键, 对电控汽油喷射式发动机而言也不例外。

① 进气管真空度汽油机运转时, 进气管中就会产生真空度, 以 ΔP_x 表示。 ΔP_x 是汽油机各缸交替进气时对进气管形成的负压的综合反映, 其值及稳定性与工作气缸的数目、转速、密封、点火性能及空燃比成正比, 而与节气门开度成反比。转速高低及节气门开度大小是汽油机工况的基本表征, 两者均直接影响空燃比及燃烧条件。 ΔP_x 值的大小及波动范围反映了汽油机工况的好坏。另外, 节气门开度、进气系统密封性、点火系点火特性及空燃比等因素发生变化时, 也会影响 ΔP_x 值。利用真空表来检测 ΔP_x , 可判定进气系统的密封性能, 既简便易行, 又有较大的覆盖面, 堪称行之有效的检测手段。

电控燃油喷射汽油机以 ΔP_x 作为度量喷油量的依据之一。由于喷油器的安装口是一个潜在的漏气点, 再加之节气门前后的真空管路交叉排列, 极易产生漏气和错装故障。所以, 检修故障时真空表的作用显得尤为重要。

② 检测进气管真空度所能覆盖的内容。利用真空表检测汽油机的真空度 ΔP_x 可以覆盖以下内容:

a. 进气系统的密封性能无论是气缸内的气缸壁、气缸垫、气缸盖、活塞、活塞环、气

门、气门座，还是气缸外的气门导管、气门弹簧、液压挺柱、进气管垫、喷油器密封圈、节气门体垫以及进气软管等均包含在内。

b. 排气系统的堵塞。若三元催化转化器内部因结胶、积炭及破碎等造成堵塞时，会加大排气阻力，使 ΔP_x 过低，从而导致排气不畅、进气不顺。

c. 空燃比 A/F 。发动机可燃混合气配制的主要依据是 ΔP_x ，若 A/F 值失准就会使燃烧条件恶化，反过来又影响到转速的高低及 ΔP_x 值的大小。

d. 点火性能、配气正时点火时间、点火状况、电火花能量等都会影响转速及 ΔP_x 值。当进气系统密封性和空燃比均正常时，动态的最佳点火提前角所对应的应是最大值。单缸断火时， ΔP_x 值会明显跌落；加大或减小点火提前角时， ΔP_x 均有所下降。

③ 进气管真空度的检测。挂空挡，起动发动机，预热至冷却液温度 70°C 左右；将真空表接入节气门后方的进气管上（如真空助力器等软管）；当发动机在规定转速下运转时，观察各工况下表针的动作情况，并可做出如下判断：

a. 密封性正常怠速时表针应为 $64 \sim 71\text{kPa}$ ，摆幅大小、摆速快慢与密封性、空燃比及点火性能有关。若怀疑某缸工作不良，可用单缸断火法诊断。迅速开闭节气门，若表针在 $6.7 \sim 84.6\text{kPa}$ 灵敏摆动，说明 ΔP_x 对节气门开度的随动性较好，意味着各部位在各工况下的密封性均较好。

b. 密封性不良怠速时 ΔP_x 低于正常值且明显不稳，迅速打开节气门时，表针会跌落到零，关闭后也回不到 84.6kPa 处。

c. 点火时间不当或电火花能量不足燃烧条件变坏，汽油机功率损失加大，转速无法提高，形不成较高真空度。若点火时间过早，则表针摆幅较大；若点火时间过晚，则表针摆幅过小。

点火时间过迟，真空表指针跌落在 $47 \sim 57\text{kPa}$ ；火花塞电极间隙太小或断电器触点接触不良，指针在 $47 \sim 53\text{kPa}$ 摆动。

d. 排气系统堵塞废气的排放遇到较大阻力，怠速状态 ΔP_x 有时达 53kPa ，又跌落到很低，甚至为零。堵塞严重时汽油机只能勉强维持低速运转。

e. 气门座密封性变差时，其真空度比正常值跌落 $3 \sim 23\text{kPa}$ 。

f. 气门杆与气门导管发生卡滞后，其真空度有规律地快速跌落 $10 \sim 16\text{kPa}$ 。

g. 气门导管与其进气门杆磨损松旷时，其真空度较正常值低 $10 \sim 13\text{kPa}$ ，并缓慢地在 $47 \sim 60\text{kPa}$ 波动。

h. 气门弹簧折断或弹力不足时，真空表指针迅速地在 $33 \sim 74\text{kPa}$ 波动。

i. 气门机构失调，气门开启过迟时，其真空度稳定在 $27 \sim 47\text{kPa}$ 。

j. 活塞环磨损，发动机转速在 2000r/min 时，突然关闭节气门，真空表读数迅速降至 $6 \sim 16\text{kPa}$ 。

k. 进、排气歧管垫漏气，转速达 2000r/min 时，突然关闭节气门，其真空度从 83kPa 跌落至 6kPa 以下并迅速恢复正常。

(4) 利用故障自诊断系统检测诊断故障 发动机微机控制系统的 ECU 内部都有一个故障自诊断电路。它能在发动机运行过程中不断监测微机控制系统各部分的工作情况，并能检测出微机控制系统中大部分故障，将故障以代码的形式存储在 ECU 的存储器内。只要不拆下蓄电池，这些故障码将一直保存在 ECU 内。维修人员可按照特定的方法将故障码读出，

为检测与诊断发动机微机控制系统提供依据。读取 ECU 内存储的故障码的方法有两种：一种是利用微机故障检测仪（亦称解码器），另一种是用人工的方法（随车故障自诊断）。

1) 利用微机故障检测仪读取故障码。现代汽车发动机微机控制系统的控制电路上都设置有一个专用的故障检测插座，通过线路与 ECU 连接。只要将汽车制造厂提供的该车型的专用微机故障检测仪或通用型微机故障检测仪的检测插头与汽车上的故障检测插座连接，然后打开点火开关（ON），就可以很方便地在微机故障检测仪的显示屏上读出所有储存在 ECU 中的故障码。查阅该车型的《维修手册》，就可以知道这些故障码所表示的故障内容和可能的故障原因。

通过读取故障码，能查找出微机控制系统中大部分传感器线路短路、断路及传感器损坏所导致的信号严重异常、无信号等故障。但是，微机故障自诊断系统并不能检测出微机控制系统中所有类型的故障，特别是无法检测大部分执行器以及传感器精度误差等故障。目前很多车型发动机的微机控制系统除了能利用微机故障检测仪读取微机故障自诊断电路检测到的故障码之外，还能通过微机对 ECU 及其控制电路、传感器和执行器等作进一步的检测和判断。

各种微机故障检测仪的具体操作方法随车型不同而有所差异。

2) 用随车故障自诊断系统读取故障码（人工读码）。在不具备微机故障检测仪时，可用人工方法读取故障码。不同车型发动机用人工读取故障码的方式有所不同。

在对发动机微机控制系统进行故障自诊断测试时，首先要进入故障自诊断测试状态，然后读取故障码，并根据故障码分析故障原因。进入故障自诊断测试状态的方法大致有以下几种。

a. 用诊断跨接线跨接故障检测插座（CHECK CONNECTOR）中的相应插孔（“诊断输入插孔”和“搭铁插孔”）。如丰田车系（跨接 TE1 和 E1）、三菱车系、本田车系、大宇车系（跨接 A 和 B）、五十铃/欧宝车系（跨接 3 孔插座的 1 和 3，12 孔插座的 A 和 B）、大发车系（跨接 T 和 E）、通用车系（跨接 A 和 B）、福特车系（跨接单孔插座与 6 孔插座中的插孔 2）等，均采用了这种方法。

b. 按压“诊断按钮开关”。如瑞典沃尔沃车系和我国天津三峰 TJ6481 AQ4 客车采用这种方法。

c. 拧动微机控制装置上的“诊断模式选择开关”。如日本日产车系采用这种方法。

d. 打开空调控制面板上的“兼用开关”。如通用公司凯迪拉克轿车为将巡航控制电源开关和点火开关置于“ON”，同时按下空调控制面板上的“OFF”和“WARMER”键；通用 FLEETWOOD 车为将点火开关置于“ON”或起动发动机，同时按下空调控制面板上的“TEMP”和“OFF”键等采用这种方法。

e. 在故障检测插座相应插孔间跨接自制的带 330Ω 电阻的发光二极管。如马自达车系、奔驰车系、福特车系、三菱车系和现代车系等。

f. 点火开关在 5s 内连续开关 3 次（ON - OFF - ON - OFF - ON）。如美国克莱斯勒车系和北京切诺基汽车等采用此法。

g. 点火开关置于“ON”，在规定时间内将加速踏板踩下 5 次。如德国宝马 300，500，700，800 和 M5 系列车型采用此法。

（5）利用故障征兆一览表诊断故障 当发动机微机控制系统的故障既不能在基本检查

中得到证实,又不能在故障码检查中得到证实,则可按故障诊断一览表中的编号顺序进行故障检查。

(6) 利用专用仪器诊断故障 利用示波器、发动机综合性能测试仪、汽车信号模拟器等诊断现代轿车故障也是行之有效的方法之一。

4. 电控发动机故障诊断的基本程序与步骤

在对发动机微机控制系统进行故障诊断时,为了确定故障的性质和部位,少走弯路,在对汽车进行直观检查之后,可按基本检查程序进行检查。

检修装备有 EFI 系统的故障汽车

第一步是要仔细询问用户(本车驾驶人)汽车故障类型,一一填写本车故障明细表。

第二步是就车“感觉”、核对故障现象,如果汽车能开动的的话,要模拟用户提供的故障情况进行驾驶运行检验。

第三步是起动 ECU 的自检系统,利用“CHECK”灯输出故障码,查知故障产生的区域。如果 ECU 自检系统已完全损坏,那么就要根据第一步和第二步结果参照维修手册中故障诊断表或一般汽车故障判断、检测办法确定故障产生的原因和范围。

第四步是利用专用检测仪器或万用表对具体电子元件进行检测、维修和排除故障。

第五步利用 ECU 自诊断系统进行自诊断验证故障码是否消除。

最后还要驾驶汽车进行行驶检验。

电控发动机常见的故障有发动机不易发动、发动机不能发动、发动后熄火、怠速不稳、怠速过高、行驶无力、加速不良、回火放炮、缺腿喘气、冒烟以及油耗过大等。

(1) 确定发动机是否存在故障 发动机在实际运转中,随着行驶里程的增加,其技术状况必然要发生一定的变化,那么,哪些变化是正常变化?哪些变化为故障?这是正确进行汽车故障诊断首先要解决的问题。在电控发动机故障中,有些故障的出现比较明显,有些却不太明显。对于明显的故障一般不需要进行专门的试验或测试就可以确定发动机存在故障,例如发动机无法运转、汽车行驶无力及排气管放炮等故障现象。而对于另一些故障,其故障现象不太明显,必须通过专门的试验,甚至是测试方法方可确定,如油耗过大、排气污染超标等。

电控发动机工作是否正常的一般判断方法有:

① 发动机不能起动,或起动后无法正常运转,或发动机运转时伴有排气管放炮、进气管回火、有明显的敲击声的异常现象,可确定发动机存在故障。

② 发动机工作中电控系统故障灯是否点亮,如亮,说明发动机有故障。

③ 如发动机性能在短时间内发生较大的变化,则可确定发动机存在某种故障,如发动机动力明显下降,油耗明显上升等。

④ 发动机性能变化不太明显时,可采用如下方法进行试验:让发动机在各种模拟工况下运行,仔细倾听发动机运转过程中,排气管、进气管有无异响;感觉发动机的振动情况,有无明显抖动和金属敲击声以及发动机转速变化等情况。

缓慢踩下加速踏板,使发动机转速由低向高逐渐提高,并注意此过程上述现象是否存在。如果存在,则说明发动机可能存在故障,需要反复进行试验,为正确判断故障提供依据。突然踩下加速踏板,观察是否有以上所述现象以及发动机转速提高的快慢是否理想,若有异常情况发生或发动机转速提升速度过于缓慢,说明发动机存在故障;如果以上两种情况

下, 发动机工作未发生任何异常现象, 则松开加速踏板, 观察发动机怠速运转情况 (观察怠速转速是否过高、不稳, 发动机抖动是否严重)。

通过以上操作, 均未发现任何异常, 说明发动机工作基本正常。

(2) 确定故障性质 当电控发动机存在故障时, 首先观察发动机电控系统自诊断故障指示灯“CHECK ENGINE (检查发动机)”的状况。若此灯在发动机运转过程中点亮, 则说明电控发动机存在故障自诊断系统能够监测到的故障, 故障一般与电控系统有关, 此时可通过一定方法调取电脑内存储的故障码, 根据故障码查找故障原因。

如果发动机确实存在故障, 而仪表板上的发动机故障指示灯“CHECK ENGINE”在发动机运转时未点亮, 则说明发动机故障为电控单元自诊断系统不能辨识的故障, 此时应像诊断传统发动机那样, 根据故障现象, 作出初步诊断结果, 并分析可能出现的故障原因, 按照由外向内、由简到繁的原则进行深入诊断。此时不能随意乱拆电控系统, 只有在确定故障在电控系统时, 才首先检查电控系统, 否则均应先查其他部分。

(3) 进行直观检查 为了减少排除故障的工作量, 避免弄巧成拙, 避免故障复杂化, 应本着先简后繁、由表及里、先易后难的程序进行检查、分析、判断。为此, 应先从检查各导线插头是否有松动、接触不良、断路、短路入手, 然后观察各进气管路、真空管路、油路是否有漏气、漏油现象。在这些简单易行的检查确认无误后, 再进行下一步检查工作。

(4) 确定故障所在系统 为减少故障排除的工作量, 当发动机出现异常反应后, 可用减掉 1/2 的方法, 把怀疑的对象缩小在 1/2 的范围之内。首先确认是油路还是电路部分有故障造成的。因此, 当发动机出现故障后, 如能十分有把握地肯定是油路还是电路部分的故障, 一举就可以减掉 1/2 的工作量, 把精力集中在 1/2 的范围内。为此, 可按以下步骤进行:

1) 判断是油路还是电路出现故障。因电路故障诊断简单易行, 又比较直观, 因此, 应先从检查电路部分是否有故障入手。先将点火系统的中央高压线拔下, 对缸体进行跳火试验, 以确认高低压部分是否正常, 如果发现无高压火花或火花过弱, 便可确认是点火系统有故障。如果上述检查正常, 再拔下火花塞上的分缸高压线, 检查有无分火, 如无火, 则为中央高压线至分缸高压线间有故障。如经上述检查正常, 且各缸均有高压火花, 则电路部分正常, 故障多由油路部分产生。

2) 判断是个别气缸还是全部气缸工作不良。发动机工作不良, 可能是个别气缸, 也可能是所有气缸均工作不良引起的, 如属个别气缸不工作或工作不良, 就应从分析和检查引起个别气缸工作不良的原因入手。如果发动机各缸均工作, 但又都不十分明显, 则应从引起发动机各缸均工作不良的原因入手, 这样又可把诊断工作量减掉 1/2。为此可按以下步骤进行:

将发动机发动着车, 使其怠速运转, 直到温度正常后, 再逐缸进行分火线间断性断火试验, 以观察发动机运转的情况。若单缸进行间断性断火与复火试验时, 发动机运转情况无反应, 则为该缸工作不良, 应集中分析检查引起单缸工作不良的原因。如各缸断火复火试验, 发动机运转情况均无明显变化, 说明各缸工作情况相同, 应从造成发动机各缸工作均不正常的原因入手。

因带有电控燃油喷射系统的发动机是在化油器式发动机的基础上改良而派生出来的, 所以两者之间既有不同之处, 又有相同之处, 在故障诊断排除中, 切记不要不加分析地只考虑

电喷系统,以避免本来是传统部分的故障,误入歧途地去寻找电喷系统的故障,造成劳而无功。

(5) 几点说明

1) 蓄电池线拆下的时机问题

① 读取故障码之前不能拆下蓄电池线。电喷汽车的 ECU 将电喷系统的故障以代码的形式存储其内,维修人员通过解读故障码,便可寻找故障部位和分析故障原因。蓄电池线拆下后,由于切断了 ECU 的电源,其记忆功能自动消失并自动消除所有故障码。若想再寻找已丢失的故障码,就需重新起动发动机,同时还得有一定的条件做保证(如在发动机特定的转速范围内)。另外,对发动机的温度以及传感器对 ECU 的输入电压等都有较严格的要求,如果故障信息的技术条件未得到满足,则失去的故障码就不能再现,显然,这给维修带来了很大的困难。因此,在对 ECU 解读故障码之前,不要輕易地将蓄电池线拆下。

② 点火开关处在“ON”位置时不能拆蓄电池线。当点火开关处于“ON”位置时,无论发动机是否运转,汽车的一些电器装置仍处在通电状态,此时,若拆下蓄电池线,将会使电路中的通电线圈产生自感电动势,形成很高的瞬间电压,有时可达近万伏,它可能使 ECU 及相关传感器严重受损。

③ 在对燃料系统进行检查作业之前,应先拆下蓄电池线。电喷汽车燃料系统的管路中都有一定的残余压力,在检查维修时,可能会有燃油飞溅,若此时汽车电器装置通电,很容易引起火灾。因此,在对燃料系统进行作业之前,应关闭点火开关,然后拆下蓄电池线。当燃油检测装置(如油压表)接入管路后,若需用蓄电池电压对其供电,此时也应先关闭点火开关,待蓄电池线接好后方可打开点火开关,否则也会产生电火花。

2) 机械故障与 ECU 显示故障的关系问题

① 在电喷汽车自诊断系统正常的前提下,若汽车有故障现象出现,而故障警告灯不亮(即 ECU 内无故障码存入),这时故障往往与 ECU 系统无关。此时,应按照传统汽车故障诊断的程序进行判别检查。否则,本来是一个与 ECU 无关的机械故障,却去检查微机系统的执行器、传感器及其电路,不仅花费很多时间找不到故障,而且稍有不慎反而会损坏与 ECU 有关的某些机件。

② 电喷汽车的电控部分工作较为可靠,在汽车的正常使用中,很少出现故障。故在一般的检修中不要輕易拆检其插接器或导线,尤其是电控单元 ECU。只有确认发动机本身和点火系统确无故障时,才可对其进行检查。在检查时,要根据有关车型资料,按规定的程序和步骤进行。

③ 即便是电喷控制系统本身的故障,往往也是以一般的机械故障的形式出现(如接线不良、喷油器或滤清器脏污堵塞、进气道积炭等)。因此,在对电喷汽车控制系统检查时,应从简单的机械故障查起。

3) 故障码显示故障的可靠性问题

① 故障码显示不出来的传感器故障。电喷汽车装有许多传感器,若传感器因某种原因灵敏度下降,在 ECU 设定值的范围以内反应迟钝、输出特性偏移等,ECU 的自诊断系统就检测不出来了。若汽车出现了故障,检查自诊断系统时,系统会输出表示正常的代码。此时,应对故障症状进行分析,然后对有关传感器进行单体检测,以寻找并排除故障。

② 自诊断系统显示错误的故障码。在对 ECU 所显示的故障进行分析时,有时会出现故

故障码所指示的故障与汽车的实际故障完全无关的情形,此时可以认为故障码显示有错误。造成这种情况的原因有三:一是上次维修时原故障码未能有效地清除掉;二是在发动机运行中,维修人员有意或无意地拔下了传感器的导线插接器;三是 ECU 本身有故障。

4) 维修资料与维修经验的关系问题

① 在对电喷汽车进行维修时,掌握维修方法和规律,逐步积累维修经验,是汽车维修人员应具备的基本素质。一般情形下,维修人员可用经验法对电喷汽车的机械部分进行检查和修理。

② 在对电喷汽车进行检修之前,首先应对车况进行基本检查,其内容包括发动机基本怠速和基本点火正时的检查与调整。由于车型不同,上述检查所需求的前提条件各异,若仅凭某一车型或过去传统的方法进行检查,则不能达到车型规定的要求。因此,在检查之前,应查看有关车型资料。

③ 在对电喷汽车自诊断系统进行检测之前,若无车型资料,仅凭过去的维修经验是不够的。首先,不同车型或同一型号不同年份生产的汽车故障码的读取方法不同;其次,故障码的含义不同;再次,电控元件以及传感器的元件参数不尽相同。因此,在对某一车型维修之前,阅读有关技术资料是必不可少的环节之一。

④ 在对电喷汽车进行维修时,若仅靠传统化油器式汽车的维修经验,不但排除不了汽车原有故障,反而会由于维修不当而引起其他故障。

第四节 系统故障诊断功能介绍

电子控制单元不断地监测着传感器、执行器,以及相关的电路、故障指示灯和蓄电池电压等,乃至电子控制单元本身,并对传感器输出信号、执行器驱动信号和内部信号(如 λ 闭环控制、冷却液温度、怠速转速控制和蓄电池电压控制等)进行可信度检测。一旦发现某个环节出现故障,或者某个信号值不可信,电子控制单元立即在 RAM 的故障存储器中设置故障信息记录。故障信息记录以故障码的形式储存,并按故障出现的先后顺序显示。

故障按其出现的频度可分成“稳态故障”和“偶发故障”(例如由于短暂的线束断路或者接插件接触不良造成)。电喷系统故障诊断原理图如图 8-6 所示。

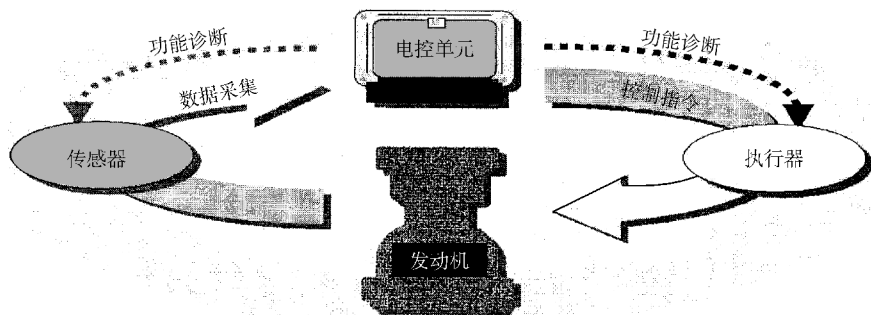


图 8-6 电喷系统故障诊断原理图

本节以 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统(使用车型:LZW6371)

为例进行阐述。

一、故障灯的控制

(1) 无故障时

① 点火开关 ON 后, 故障灯亮。

② 检测转速信号后故障灯灭。

(2) 有故障时

① 点火开关 ON 后, 故障灯一直亮。

② 起动, 找到转速信号后熄灭, 如果故障类中故障灯定义为亮模式, 则满足相应确认条件后故障灯一直亮。

二、诊断仪的连接

本系统采用“K”线通信协议, 并采用 ISO 9141-2 标准诊断接头, 如图 8-7 所示。这个标准诊断接头是固定地连接在发动机线束上的。用与发动机管理系统 EMS 的是标准诊断接头上的 4、7 和 16 号针脚。标准诊断接头的 4 号针脚连接车上的地线, 7 号针脚连接 ECU 的 B56 号针脚, 即发动机数据 + K 线, 16 号针脚连接蓄电池正极。

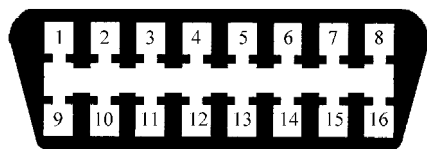


图 8-7 ISO9141-2 标准诊断接头

ECU 通过“K”线可与外接诊断仪进行通信, 各功能作用及诊断仪操作详见“诊断仪使用介绍”。

(1) 发动机参数显示

① 转速、冷却液温度、节气门开度、点火提前角、喷油脉宽、进气压力、进气温度、车速、系统电压、喷油修正、炭罐冲刷率、怠速空气控制及氧传感器波形。

② 目标转速、发动机相对负荷、环境温度、点火闭合时间、蒸发器温度、进气流量及油耗量。

③ 节气门位置传感器信号电压、冷却液温度传感器信号电压、进气温度传感器信号电压、进气压力传感器信号电压。

(2) 电喷系统状态显示 防盗系统状态、安全状态、编程状态、冷却系统状态、稳定工况状态、动态工况状态、排放控制状态、氧传感器状态、怠速状态、故障指示灯状态、紧急工况状态、空调系统状态以及自动变速器/转矩请求状态。

(3) 执行器试验功能 故障灯、燃油泵、空调继电器、风扇、点火及喷油（单缸断油）。

(4) 里程计显示 运行里程、运行时间。

(5) 版本信息显示 车架号码 (VIN)、ECU 硬件号码及 ECU 软件号码。

(6) 故障显示 进气压力传感器、进气温度传感器、发动机冷却液温度传感器、节气门位置传感器、氧传感器、氧传感器加热线路、空燃比修正、各缸喷油器、燃油泵、转速传感器、相位传感器、炭罐控制阀、冷却风扇继电器、车速信号、怠速转速、怠速调节器、系统电压、ECU, 空调压缩机继电器、蒸发器温度传感器以及故障灯。

三、故障码清单

故障码清单见表 8-1。

表 8-1 故障码清单

序号	故障码	故障说明
1	P0031	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank1 Sensor) 氧传感器加热器控制电路对地短路
2	P0032	HO2S Heater Control Circuit High (Bank1 Sensor) 氧传感器加热器控制电路对电源短路
3	P0107	Manifold Absolute Pressure Circuit Low Input 歧管压力传感器电路对地短路
4	P0108	Manifold Absolute Pressure Circuit High Input 歧管压力传感电路对电源短路
5	P0112	Intake Air Temperature Circuit Low Input 进气温度传感器电路搭铁
6	P0113	Intake Air Temperature Circuit High Input 进气温度传感器电路对电源短路
7	P0117	Engine Coolant Temperature Circuit Low Input 冷却液温度传感器电路对地短路
8	P0118	Engine Coolant Temperature Circuit High Input 冷却液温度传感器电路对电源短路
9	P0122	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch “A” circuit Low Input 节气门位置传感器对电源短路
10	P0123	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch “A” circuit High Input 节气门位置传感器对电源短路
P 11	P0130	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank Sensor 1) 氧传感器电路故障
12	P0131	O2 Sensor Circuit Low Voltage (bank Sensor1) 氧传感器电路电压输出过低
13	P0132	O2 Sensor Circuit High Voltage (bank Sensor1) 氧传感器电路电压输出过高
14	P0230	Fuel Pump Primary Circuit Malfunction 油泵初级线路故障
15	P0261	Cylinder 1 Injector Circuit Low 一缸喷油器电路对地短路
P 16	P0262	Cylinder 1 Injector Circuit Low 一缸喷油器电路对电源短路
17	P0264	Cylinder 2 Injector Circuit Low 二缸喷油器电路对地短路
18	P0265	Cylinder 2 Injector Circuit Low 二缸喷油器电路对电源短路
19	P0267	Cylinder 3 Injector Circuit Low 三缸喷油器电路对地短路
20	P0268	Cylinder 3 Injector Circuit Low 三缸喷油器电路对电源短路
21	P0270	Cylinder 4 Injector Circuit Low 四缸喷油器电路对地短路
22	P0271	Cylinder 4 Injector Circuit Low 四缸喷油器电路对电源短路
23	P0335	Crankshaft Position Sensor “A” Circuit Malfunction 曲轴位置传感器电路故障
24	P0340	Crankshaft Position Sensor “A” Circuit Malfunction (Bank1 or Single Sensor) 凸轮轴位置传感器线路故障
25	P0351	Ignition Coil “A” Primary/Secondary Circuit Malfunction (CYL#1) 一缸点火线圈电路故障
26	P0352	Ignition Coil “B” Primary/Secondary Circuit Malfunction (CYL#2) 二缸点火线圈电路故障
27	P0353	Ignition Coil “C” Primary/Secondary Circuit Malfunction (CYL#3) 三缸点火线圈电路故障
28	P0354	Ignition Coil “D” Primary/Secondary Circuit Malfunction (CYL#4) 四缸点火线圈电路故障
29	P0444	Evap. Emission Control System - Purge Control Valve Circuit Open 炭罐控制阀电路开路
30	P0445	Evap. Emission Control System - Purge Control Valve Circuit Shorted 炭罐控制阀电路断路
31	P0501	Vehicle Speed Sensor Range/Performance 车速传感器工作不正常
32	P0505	ISA Stepper Motor SCG or SCB or OPEN circuit 怠速步进电动机线路故障
33	P0560	System Voltage 系统电压故障
34	P0605	Internal Control Module Read Only Memory (ROM) Error ECU 内部控制模块 (只读存储器故障)
35	P0650	Malfunction Indicator Lamp (MIL) Control Circuit 故障显示灯控制线路故障

(续)

序号	故障码	故障说明
36	P1535	AC evaporator Temperature Circuit high – SCB or OC 空调蒸发器温度传感器线路对电源短路或开路
37	P1536	AC evaporator Temperature Circuit Low Input – SCG 空调蒸发器温度传感器线路对地短路
38	P1545	A/C High Pressure Switch or A/C Clutch Relay Circuit Malfunction 空调高压开关或空调离合器继电器线路故障
39	P1624	Cooling Fan Relay – Malfunction (‘Cooling Fan’ Circuit) 冷却风扇继电器线路故障
40	P1625	A/Ccondesor Fan Relay – Circuit Malfunction (A/C condenser fan’ Circuit) 空调压缩机风扇继电器或风扇线路故障
41	P0325	Knock sensor Circuit Malfunction 爆燃传感器线路故障

四、故障码的清除

1. 使用诊断仪

- ① 关闭点火开关。
- ② 采用读取故障码同样的方法，将诊断仪接到诊断接口上。
- ③ 接通点火开关。
- ④ 按诊断仪上的说明清除故障码。参见《诊断仪说明书》可获得更详细内容。
- ⑤ 完成故障码清除后，退出诊断程序，关闭点火开关并从诊断接口上取下诊断仪。

2. 使用计算机

- ① 关闭点火开关。
- ② 采用读取故障码同样的方法，将计算机接到诊断接口上。
- ③ 接通点火开关。
- ④ 使用清除故障码功能清除故障码。
- ⑤ 完成故障码清除后，退出诊断程序，关闭点火开关并从诊断接口上断开与计算机的连接。

3. 不使用诊断仪和计算机

- ① 关闭点火开关。
- ② 断开蓄电池负极线 30s 以上，然后再接上。

注意：故障不排除，故障码还会再现。

第五节 电控发动机检修诊断流程

一、根据故障码进行故障诊断说明

- ① 为当前稳态故障才进行后续检修，否则将导致诊断失误。
- ② 下文提到“万用表”的场合指的是数字万用表，禁止用指针式万用表对电喷系统线路进行检查。
- ③ 有防盗系统的车辆，若在“后续步骤”栏中出现更换 ECU 的场合，注意更换后对 ECU 进行编程工作。
- ④ 若故障码说明为某电路电压过低，指的是该电路中有可能对地短路；若故障码说明

为某电路电压过高,指的是该电路中有可能对电源短路;若故障码说明为某电路故障,指的是该电路中有可能存在断路或存在多种线路故障。

诊断帮助:

① 故障码无法清除,故障属稳态故障;若为偶发故障重点检查线束接头是否存在松脱现象。

② 已按上述步骤检查,并未发现异常情况。

③ 检修过程中不要忽略汽车保养情况、气缸压力、机械点火正时等对系统影响。

④ 更换 ECU 进行测试。若此时故障码能清除,则故障部位在 ECU,若此时故障码仍然无法清除,换回原有 ECU,重复流程,再次进行检修工作。

二、根据故障现象进行故障诊断

在开始根据发动机故障现象进行故障诊断的步骤之前,应首先进行以下检查:

① 确认发动机故障指示灯工作正常。

② 用故障诊断仪检查,确认没有故障信息记录。

③ 确认故障现象存在,并确认发生该故障出现的条件。

然后进行外观检查:

① 检查燃油管路是否有泄漏现象。

② 检查真空管路是否有断裂、扭结,连接是否正确。

③ 检查进气管路是否堵塞、漏气、被压扁或损坏。

④ 检查点火系统的高压线是否断裂、老化,点火顺序是否正确。

⑤ 检查线束搭铁处是否干净、牢固。

⑥ 检查各传感器、执行器接头是否有松动或接触不良的情况。

重要提示:如上述现象存在,则先针对该故障现象进行维修作业,否则将影响后面的故障诊断维修工作。

三、故障现象及诊断流程

本节以 LJ465Q-1AE6 发动机 Siemens VDO SIM2K 电喷系统(使用车型:LZW6371)为例进行阐述。

1. 起动时发动机不转或转动缓慢

1) 一般故障部位:①蓄电池;②起动机;③线束或点火开关;④发动机机械部分。

2) 一般诊断流程见表 8-2。

表 8-2 起动时发动机不转或转动缓慢一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	用万用表检查蓄电池两个接线柱之间电压,在发动机起动的时候是否为 8~12V	是	下一步
		否	更换蓄电池
2	点火开关保持在起动位置,用万用表检查起动机正极的接线柱是否有 8V 以上的电压	是	下一步
		否	修理或更换线束
3	拆卸起动机,检查起动机的工作状况。重点检查其是否存在断路或因润滑不良而卡死	是	修理或更换起动机
		否	下一步

(续)

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
4	如果故障仅在冬季发生,则检查是否因发动机润滑油及变速器油选用不当而导致起动机的阻力过大	是	换合适标号的润滑油
		否	下一步
5	检查是否因发动机内部机械阻力过大,导致起动机不转或转动缓慢	是	检查发动机内部阻力
		否	重复上述步骤

2. 起动时发动机可以拖转但不能成功起动

- 1) 一般故障部位: ①油箱无油; ②燃油泵; ③转速传感器; ④点火线圈; ⑤发动机机械部分。
- 2) 一般诊断流程见表 8-3。

表 8-3 起动时发动机可以拖动但不能成功起动一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	接上燃油压力表(接入点为燃油分配管总成进油管前端),起动发动机,检查燃油压力在怠速工况下是否在 260kPa 左右;拔掉燃油压力调节器上的真空管,其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油系统
2	接上电喷系统诊断仪,观察“发动机转速”数据项,起动发动机,观察是否有转速信号输出	是	下一步
		否	检修转速传感器线路
3	拔出其中一缸的分缸线,接上火花塞,令火花塞电极距发动机机体 5mm 左右,起动发动机,检查是否有蓝白高压火	是	下一步
		否	检修点火系统
4	检查发动机各个气缸的压力情况,观察发动机气缸是否存在压力不足的情况	是	排除发动机机械故障
		否	下一步
5	检查 A67#、A33#、B24#、B28#针脚搭铁是否正常,是否转动缓慢	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

3. 热车起动困难

- 1) 一般故障部位: ①燃油含水; ②燃油泵; ③冷却液温度传感器; ④燃油压力调节器真空管; ⑤点火线圈。
- 2) 一般诊断流程见表 8-4。

表 8-4 热车起动困难一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	接上燃油压力表(接入点为燃油分配管总成进油管前端),起动发动机,检查燃油压力在怠速工况下是否在 260kPa 左右;拔掉燃油压力调节器上的真空管,其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油系统
2	拔出其中一缸的分缸线,接上火花塞,令火花塞电极距发动机机体 5mm 左右,起动发动机,检查是否有蓝白高压火	是	下一步
		否	检修点火系统

(续)

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
3	拔下冷却液温度传感器接头，起动发动机，观察此时发动机是否成功起动，或在冷却液温度传感器接头处串联一个300Ω的电阻代替冷却液温度传感器，观察此时发动机是否成功起动	是	检修线路或更换传感器
		否	下一步
4	检查燃油压力调节器真空管是否存在松脱或漏气现象	是	检修或更换
		否	下一步
5	检查燃油情况，观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
6	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

4. 冷车起动困难

- 1) 一般故障部位：①燃油含水；②燃油泵；③冷却液温度传感器；④喷油器；⑤点火线圈；⑥节气门体及怠速旁通气道；⑦发动机机械部分。
- 2) 一般诊断流程见表 8-5。

表 8-5 冷车起动困难一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	接上燃油压力表（接入点为燃油分配管总成进油管前端），起动发动机，检查燃油压力在怠速工况下是否在260kPa 左右；拔掉燃油压力调节器上的真空管，其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油系统
2	拔出其中一缸的分缸线，接上火花塞，令火花塞电极距发动机机体 5mm 左右，起动发动机，检查是否有蓝白高压火	是	下一步
		否	检修点火系统
3	拔下冷却液温度传感器接头，起动发动机，观察此时发动机是否成功起动，或在冷却液温度传感器接头处串联一个2500Ω 的电阻代替冷却液温度传感器，观察此时发动机是否成功起动	是	检修线路或更换传感器
		否	下一步
4	轻轻踩下加速踏板，观察是否容易起动	是	清洗节气门及怠速气道
		否	下一步
5	拆卸喷油器，用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	故障的更换
		否	下一步
6	检查燃油情况，观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
7	检查发动机各个气缸的压力情况，观察发动机气缸是否存在压力不足的情况	是	排除发动机机械故障
		否	下一步
8	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

5. 转速正常但任何时候均起动困难

- 1) 一般故障部位：①燃油含水；②燃油泵；③冷却液温度传感器；④喷油器；⑤点火线圈；⑥节气门体及怠速旁通气道；⑦进气道；⑧点火正时；⑨火花塞；⑩发动机机械部分。
- 2) 一般诊断流程见表 8-6。

表 8-6 转速正常但任何时候都起动困难一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查空气滤清器是否堵塞，进气道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
2	接上燃油压力表（接入点为燃油分配管总成进油管前端），起动发动机，检查燃油压力在怠速工况下是否在 260kPa 左右；拔掉燃油压力调节器上的真空管，其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油
3	拔出其中一缸的分缸线，接上火花塞，令火花塞电极距发动机机体 5mm 左右，起动发动机，检查是否有蓝白高压火	是	下一步
		否	检修点火系统
4	检查各个气缸的火花塞，观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
5	拔下冷却液温度传感器接头，起动发动机，观察此时发动机是否成功起动	是	检修线路或更换传感器
		否	下一步
6	轻轻踩下加速踏板，观察是否容易起动	是	清洗节气门及怠速气道
		否	下一步
7	拆卸喷油器，用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
8	检查燃油情况，观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
9	检查发动机各个气缸的压力情况，观察发动机气缸是否存在压力不足的情况	是	排除发动机机械故障
		否	下一步
10	检查发动机的点火顺序及点火正时是否符合规范	是	下一步
		否	检修点火正时
11	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

6. 起动正常但任何时候都怠速不稳

- 1) 一般故障部位：①燃油；②喷油器；③火花塞；④节气门体及怠速旁通气道；⑤进气道；⑥怠速调节器；⑦点火正时；⑧发动机机械部分。
- 2) 一般诊断流程见表 8-7。

表 8-7 起动正常但任何时候都怠速不稳一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查空气滤清器是否堵塞, 进气道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
2	检查怠速调节器是否发卡	是	清洗或更换
		否	下一步
3	检查各个气缸的火花塞, 观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
4	检查节气门体及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗
		否	下一步
5	拆卸喷油器, 用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
6	检查燃油情况, 观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
7	检查发动机各个气缸的压力情况, 观察发动机气缸压力是否存在差异较大的情况	是	排除发动机机械故障
		否	下一步
8	检查发动机的点火顺序及点火正时是否符合规范	是	下一步
		否	检修点火正时
9	检查 A67#、A33#、B24#, B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

7. 起动正常但暖机过程中怠速不稳

1) 一般故障部位: ①燃油含水; ②冷却液温度传感器; ③火花塞; ④节气门体及怠速旁通气道; ⑤进气道; ⑥怠速调节器; ⑦发动机机械部分。

2) 一般诊断流程见表 8-8。

表 8-8 起动正常但暖机过程中怠速不稳一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查空气滤清器是否堵塞, 进气道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
2	检查各个气缸的火花塞, 观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
3	卸下怠速调节器, 检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步
4	拔下冷却液温度传感器接头, 起动发动机, 观察此时发动机是否在暖机过程怠速不稳	是	检修线路或更换传感器
		否	下一步
5	拆卸喷油器, 用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
6	检查燃油情况, 观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步

(续)

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
7	检查发动机各个气缸的压力情况，观察发动机气缸压力是否存在差异较大的情况	是	排除发动机机械故障
		否	下一步
8	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

8. 起动正常但暖机结束后怠速不稳

- 1) 一般故障部位：①燃油含水；②冷却液温度传感器；③火花塞；④节气门体及怠速旁通气道；⑤进气道；⑥怠速调节器；⑦发动机机械部分。
- 2) 一般诊断流程见表 8-9。

表 8-9 起动正常但暖机结束和怠速不稳一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查空气滤清器是否堵塞，进气道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
2	检查各个气缸的火花塞，观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
3	卸下怠速调节器，检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步
4	拔下冷却液温度传感器接头，起动发动机，观察此时发动机是否在暖机过程怠速不稳	是	检修线路或更换传感器
		否	下一步
5	拆卸喷油器，用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
6	检查燃油情况，观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
7	检查发动机各个气缸的压力情况，观察发动机气缸压力是否存在差异较大的情况	是	排除发动机机械故障
		否	下一步
8	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

9. 起动正常但部分负荷（如开空调）时怠速不稳或熄火

- 1) 一般故障部位：①空调系统；②怠速调节器；③喷油器。
- 2) 一般诊断流程见表 8-10。

表 8-10 起动正常但部分负荷时怠速不稳或熄火

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	卸下怠速调节器，检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步
2	观察开启空调时发动机输出功率是否增大，即利用电喷系统诊断仪观察点火提前角、喷油脉宽及进气量的变化情况	是	到步骤 4
		否	下一步

(续)

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
3	断开电子控制单元 A41#针脚连接线, 检查开空调时, 线束端是否为高电平信号	是	下一步
		否	检修空调系统
4	检查空调系统压力、压缩机的电磁离合器和空调压缩机泵是否正常	是	下一步
		否	检修空调系统
5	拆卸喷油器, 用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	故障的更换
		否	下一步
6	检查 A67#、A33#、B24#, B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

10. 起动正常但怠速过高

1) 一般故障部位: ①节气门体及怠速旁通气道; ②真空管; ③怠速调节器; ④冷却液温度传感器; ⑤点火正时。

2) 一般诊断流程见表 8-11。

表 8-11 起动正常但怠速过高一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查加速踏板拉索是否锁死或过紧	是	调整
		否	下一步
2	检查进气系统及连接的真空管道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
3	卸下怠速调节器, 检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步
4	拔下冷却液温度传感器接头, 起动发动机, 观察此时发动机是否怠速过高	是	检修线路或更换传感器
		否	下一步
5	检查发动机的点火正时是否符合规范	是	
		否	检查点火正时
6	检查 A67#、A33#、B24#, B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

11. 加速时转速上不去或熄火

1) 一般故障部位: ①燃油含水; ②进气压力传感器及节气门位置传感器; ③火花塞; ④节气门体及怠速旁通气道; ⑤进气道; ⑥怠速调节器; ⑦喷油器; ⑧点火正时; ⑨排气管。

2) 一般诊断流程见表 8-12。

12. 加速时反应慢

1) 一般故障部位: ①燃油含水; ②进气压力传感器及节气门位置传感器; ③火花塞; ④节气门体及怠速旁通气道; ⑤进气道; ⑥怠速调节器; ⑦喷油器; ⑧点火正时; ⑨排气管。

表 8-12 加速时转速上不去或熄火一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查空气滤清器是否堵塞，进气道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
2	接上燃油压力表（接入点为燃油分配管总成进油管前端），起动发动机，检查燃油压力在怠速工况下是否在 260kPa 左右；拔掉燃油压力调节器上的真空管，其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油
3	检查各个气缸的火花塞，观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
4	卸下怠速调节器，检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步
5	检查进气压力传感器、节气门位置传感器及其线路是否正常	是	下一步
		否	检修线路或更换传感器
6	拆卸喷油器，用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
7	检查燃油情况，观察故障现象是否由于刚刚加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
8	检查发动机的点火顺序及点火正时是否符合规范	是	下一步
		否	检修点火正时
9	检查排气管是否排气顺畅	是	下一步
		否	维修或更换排气管
10	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

2) 一般诊断流程见表 8-13。

表 8-13 加速时反应慢一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查空气滤清器是否堵塞，进气道是否存在漏气	是	检修进气系统
		否	下一步
2	接上燃油压力表（接入点为燃油分配管总成进油管前端），起动发动机，检查燃油压力在怠速工况下是否在 260kPa 左右；拔掉燃油压力调节器上的真空管，其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油
3	检查各个气缸的火花塞，观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
4	卸下调节器，检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步

(续)

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
5	检查进气压力传感器、节气门位置传感器及其线路是否正常	是	下一步
		否	检修线路或更换传感器
6	拆卸喷油器,用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
7	检查燃油情况,观察故障现象是否由于刚刚加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
8	检查发动机的点火顺序及点火正时是否符合规范	是	下一步
		否	检修点火正时
9	检查排气管是否排气顺畅	是	下一步
		否	维修或更换排气管
10	检查 A67#、A33#、B24#、B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

13. 加速时无力且性能差

1) 一般故障部位: ①燃油含水; ②进气压力传感器及节气门位置传感器; ③火花塞; ④点火线圈; ⑤节气门体及怠速旁通气道; ⑥进气道; ⑦怠速调节器; ⑧喷油器; ⑨点火正时; ⑩排气管。

2) 一般诊断流程见表 8-14。

表 8-14 加速无力且性能差一般诊断流程

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
1	检查是否存在离合器打滑、轮胎气压低、制动拖滞、轮胎尺寸不对、四轮定位不正确等故障	是	修理
		否	下一步
2	检查空气滤清器是否堵塞	是	检修进气系统
		否	下一步
3	接上燃油压力表(接入点为燃油分配管总成进油管前端),起动发动机,检查燃油压力在怠速工况下是否在 260kPa 左右;拔掉燃油压力调节器上的真空管,其燃油压力是否在 300kPa 左右	是	下一步
		否	检修供油
4	拔出其中一缸的分缸线,接上火花塞,令火花塞电极距发动机机体 5mm 左右,起动发动机,检查是否有蓝白高压火	是	下一步
		否	检修点火系统
5	检查各个气缸的火花塞,观察其型号及间隙是否符合规范	是	下一步
		否	调整或更换
6	卸下怠速调节器,检查节气门体、怠速调节器及怠速旁通气道是否存在积炭现象	是	清洗相关零部件
		否	下一步
7	检查进气压力传感器、节气门位置传感器及其线路是否正常	是	下一步
		否	检修线路或更换传感器

(续)

序号	操作步骤	检测结果	后续步骤
8	拆卸喷油器，用喷油器专用清洗分析仪检查喷油器是否存在泄漏或堵塞现象	是	更换有故障的
		否	下一步
9	检查燃油情况，观察故障现象是否由于刚好加油后引起	是	更换燃油
		否	下一步
10	检查发动机的点火顺序及点火正时是否符合规范	是	下一步
		否	检修点火正时
11	检查排气管是否排气顺畅	是	下一步
		否	维修或更换排气管
12	检查 A67#、A33#、B24#，B28#针脚搭铁是否正常	是	诊断帮助
		否	检修相应的线路

第六节 故障应急措施（“跛行回家”）

监测到故障以后，按理说应当立即停车，排除故障。但是，实际上故障不会恰好发生在维修站旁边。发生故障时就地停车会给维修带来不便，而且往往也不是交通法规所允许的，特别是在高速公路上尤为如此。比较合理的做法是，发生故障之后尽管车况不佳，也要勉强把车开到维修站去。为此要采取一系列故障应急措施，争取两项最基本的控制功能即燃油定量和点火正时控制能够实施，其他一系列旨在提高经济性、动力性、舒适性及降低排放的控制项目则放在次要地位。

并非任何故障都有应急措施可解。机械部分故障姑且不提，就以电子控制系统而论，如果 ECU 出了故障，车就开不动了。所以，故障应急措施可分成两大部分：ECU 的输入部分（传感器）和输出部分（执行器）。

一、ECU 输入部分的故障应急措施

1. 信号替代法

当某一个传感器发生故障时，可用其他传感器的信号代替它。一个典型的例子就是质量空气流量传感器，当它发生故障时，通常用节气门位置传感器或进气歧管绝对压力传感器信号代替它，结合怠速旁通执行器的状况和转速信号计算每循环吸气量。

2. 信号设定法

当某一个传感器发生故障时，也可将它的信号设定为某一数值。例如，进气温度传感器发生故障时，可将进气温度设定为 20℃。冷却液温度传感器发生故障时，可在不同的工况将冷却液温度设定为不同数值，例如起动时可设定为与进气温度同值。

3. 程序切换法

当因某一个传感器发生故障而无法实施某一个控制项目时，便可放弃这一控制项目而将控制过程转向另一段程序。例如氧传感器发生故障时，只得在本应实施 λ 闭环控制的工况放弃 λ 闭环控制。又如爆燃传感器发生故障时，则放弃爆燃闭环控制，但要将点火提前角减小一点。而 EGR 阀阀销位置传感器发生故障时，便放弃 EGR 闭环控制。

二、ECU 输出部分的故障应急措施

ECU 输出部分发生故障时,针对不同的问题采取特定的应急措施。例如某缸喷油器驱动电路发生故障时,可将该缸喷油器关闭,停止向该缸喷油。又如某缸点火电路发生故障时,也可将该缸喷油器关闭,以防止因缺火而损坏三元催化转化器。

第七节 故障诊断仪的应用

一、大众汽车公司故障诊断仪的应用

ECU 将检测到的各种故障信息储存在 ECU 中的故障信息存储器内,并赋予不同的故障码。顾名思义,利用故障诊断仪可从故障信息存储器内读出这些故障信息。但故障诊断仪的功能远不止于此。例如大众 V. A. G1552 故障诊断仪还有其他功能,例如:判断氧传感器是否有故障;令某些执行器动作以判断其是否有故障;完成对节气门位置传感器信号的标定;读出发动机的测试数据;清除 ECU 中的故障信息记录;对 ECU 进行编码。

下面介绍 V. A. G1552 故障诊断仪的应用。这种故障诊断仪适用于博世公司的 M. 3. 8. 2 汽油机电子控制系统,后者广泛地用于桑塔纳、捷达等国产轿车。

1. V. A. G1552 故障诊断仪的连接

ECU 中有若干个引脚通过一个故障诊断接头可与故障诊断仪相连。线束中有一根导线,其一端与上述 ECU 故障诊断接头相连,另一端与变速器变速杆前的故障诊断插座相连。V. A. G1552 故障诊断仪通过电缆与故障诊断插座相连,如图 8-8 所示。

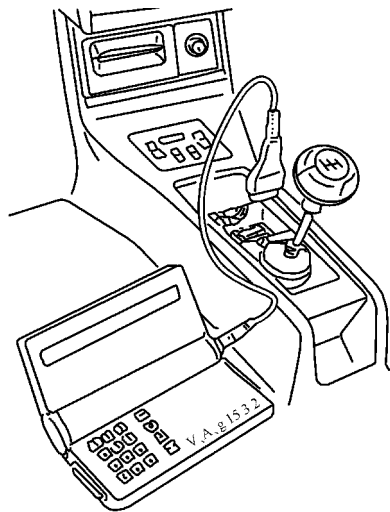


图 8-8 V. A. G1552 故障诊断仪的连接

2. V. A. G1552 故障诊断仪的测试条件

- ① 蓄电池电压大于 11.5V。
- ② 熔丝正常。
- ③ 发动机搭铁线正常。

3. V. A. G1552 故障诊断仪可供选择的功能

表 8-15 列出了 V. A. G1552 故障诊断仪可供选择的功能。

表 8-15 V. A. G1552 故障诊断仪可供选择的功能

代码	功能内容	要求发动机怠速运转	代码	功能内容	要求发动机怠速运转
01	查询控制单元版本	否	05	清除故障信息记录	是
02	查询故障信息记录	是	06	结束输出	是
03	诊断部分执行器	否	07	控制单元编码	否
04	检查点火正时, 标定节气门位置传感器	是	08	读出测数据	是

4. 基本操作

插入点火一起动钥匙,转过一档,令点火开关接通,并将 V. A. G1552 故障诊断仪与故障诊断插座连接之后,立即进入准备状态,屏幕显示内容提示输入地址词,即表 8-14 中的

代码。接着,按表 8-14 要求,或让发动机静止不转,或令其怠速运转,然后键入从 01 到 08 的代码,并按 Q 键确认以后,便激活了相应的功能,见表 8-14。

下面分别介绍表 8-14 所列各种代码功能。

(1) 功能代码 01 本项功能的内容为查询 ECU 版本。

屏幕显示内容依次表示:ECU 件号,发动机排量,发动机型式(直立或 V 形),缸数和气门数,电子控制系统名称,变速器(手动、自动),ECU 软件版本,ECU 编码和维修站编码。

按“→”键,退回准备状态,屏幕显示内容提示输入选择功能代码,即表 8-14 中的代码。键入代码,并按 Q 键确认后,便激活了相应的功能。

(2) 功能代码 02 本项功能的内容为查询故障信息记录。

屏幕或显示没有故障,或显示有若干个故障。按“→”键可逐一显示各个故障的代码及其文字说明,提示某个传感器或执行器对地或正极开路/短路,或提示蓄电池电压太低,或提示节气门位置传感器标定错误等。总共有 16 种可能的故障信息记录。故障信息显示完毕后再按“→”键,退回准备状态。

(3) 功能代码 03 本项功能的内容为诊断部分执行器。

此时令发动机不运转,踩加速踏板令节气门转过一个角度,使节气门与调节执行器脱开,则其中的怠速触点脱开。此时,第 1 缸喷油器应动作,发出“咔嗒”声 5 次。按“→”键,转入第 2 缸喷油器动作 5 次,依此类推。待喷油器全部诊断过后,再按“→”键,炭罐清洗阀应连续动作,发出“咔嗒”声。此后轮到诊断的是二次空气系统。未装二次空气系统者免去此项诊断。

待在此功能下诊断的执行器全诊断过后再按“→”键,退回准备状态。

(4) 功能代码 04 本项功能的内容为检查点火正时、标定节气门位置传感器和诊断氧传感器。

激活这一功能后,屏幕显示内容提示输入显示组号。键入十进制两位数的显示组号,并按 Q 键确认后,屏幕便显示该显示组。各显示值内容涉及各种传感器的信号和执行器的状态。显示组号从 00 到 24 共有 25 个一般的显示组。按 C 键并重新键入新的显示组号后,转为显示新的显示组。显示组的编排和一定的目的相联系,分别集中表现某一方面的发动机参数测量值,兼带少量故障信息。然而,本项功能的真正意义在于上述 25 个一般显示组以外的三个具有特殊功能的显示组:显示组 95 用于检查点火正时;显示组 98 用于标定节气门位置传感器,此时节气门调节执行器的直流电动机从 0 到全行程走一遍,ECU 记下若干个节气门位置所对应的节气门位置传感器的信号电压;显示组 99 用于诊断 λ 闭环控制,但须与另一功能即“读出测量数据”(码 08)下的显示组 99 相结合进行。后者在 ECU 进入 λ 闭环控制的环境下检测 λ 控制状况。而在功能代码 04 下的显示组 99 则在 ECU 退出 λ 闭环控制的环境下检测。

以上检测只有显示组 98 是在点火开关接通、发动机不运转的条件下进行的。其余各组都要求发动机怠速运转。对某一个显示组数据的检测结束以后,按 C 键退出。键入其他显示组组号并按 Q 键确认后,屏幕显示该显示组。按“-”键,退回准备状态。

(5) 功能代码 05 本项功能的内容为清除故障信息存储器中的故障信息记录。执行此操作后,屏幕显示“故障存储信息记录已被清除!”。按“→”键,退回准备状态。

(6) 功能代码 06 本项功能的内容为结束输出。

代码 04 和代码 08 这两项功能实际上是在输出数据。如果要结束输出, 可先按 “→” 键, 从上述这两项功能退回准备状态, 接着键入 “结束输出” 功能的代码 06, 并按 Q 键确认。

(7) 功能代码 07 本项功能的内容为给 ECU 编码。

激活这一功能后, 屏幕显示内容提示输入该车型的编码号。键入编码号, 并按 Q 键确认后, 屏幕显示编码号和该控制单元的识别内容。关闭点火开关, 然后再开启, 此时新输入的编码将起作用。按 “→” 键, 退回准备状态。

(8) 功能代码 08 本项功能的内容为读出测量数据。

激活这一功能后, 屏幕显示内容提示输入显示组号。键入显示组号, 并按 Q 键确认后, 屏幕便显示该显示组的数据, 这些数据都是从正在怠速运转的发动机上测到的。与功能代码 04 下的情况一样, 显示组号从 00 到 24 共有 25 个显示组。按 C 键后重新键入显示组号后, 转为显示新的显示组。不过, 与功能代码 04 不同的是, 功能代码 08 与显示值 95、98 和 99 无关。

二、万能故障诊断仪的应用

一些大公司专用的故障诊断仪主要适合于本公司的特约维修站使用。因为这些特约维修站修理的车型比较集中。但是, 大量的一般汽车维修站因为修理的车型繁杂, 更宜采用适合于各种车型的万能故障诊断仪。为此要解决两个问题: 一是要备好各种接头的电缆以连接各家公司生产的汽车的数据连接接头, 二是要针对不同车型的电子控制系统配置情况和 ECU 中的故障诊断软件编制不同的诊断仪软件。不同车型的诊断仪软件集中在一个诊断模块中, 将这种模块插入万能故障诊断仪的插头中, 便可根据待诊断的车型调用相应的软件将 ECU 中的故障信息记录调出来显示在屏幕上。由于汽油机电控技术在不断地进步, 所以每隔几年就会推出新的诊断模块, 用户也应及时更新。万能故障诊断仪的数据连接端子如图 8-9 所示。

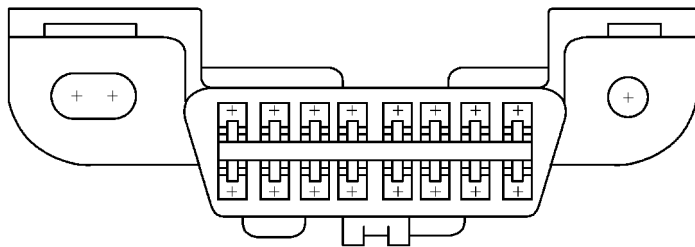


图 8-9 数据连接端子

思考题

1. 什么叫 OBD - II? 与 OBD I 有哪些差别? 重点监测哪四项?
2. 故障监测除了发现机械和电子硬件故障以外还有什么目的?
3. 通常通过哪些途径可判断故障?
4. ECU 对监测到的故障信息作何处理?
5. 缺火率与排放有何关系? OBD - II 如何监测缺火率?
6. OBD - II 如何监测氧传感器的故障?

7. OBD - II 如何监测三元催化转化器的故障?
8. 炭罐和炭罐清洗阀之间管道中的真空开关有何功用?
9. 用什么方法监测蒸发排放物控制系统的泄漏故障?
10. 用什么方法监测 EGR 阀流量不足的故障?
11. 用什么方法监测二次空气系统的故障?
12. 空调制冷剂压力传感器有什么作用? 怎样对它监测?
13. ECU 发现输入或输出部分发生故障时如何采取应急措施?
14. 故障诊断仪有什么作用? 使用时如何与 ECU 相连?
15. 空气流量传感器故障信息可能由哪些因素引起?
16. 哪些因素可能造成缺火?
17. 怠速转速偏差超出规定范围可能由哪些因素引起?

第九章 稀薄燃烧和汽油直接喷射电子控制

第一节 稀薄燃烧电子控制

三元催化转化器净化了废气，大幅度降低 HC、CO 和 NO_x 排放，但由于要求 $\lambda = 1$ ，限制了油耗的降低，也就限制了 CO_2 排放温室气体的降低。当今世界各国政府一方面迫于全球气候转暖，另一方面由于石油资源渐趋枯竭，所以十分重视低油耗汽车的开发。有些国家已经或将要对汽车油耗作出限制。

众所周知，将过量空气系数从 $\lambda = 1$ 左右提高到 λ 远超过 1.1 的水平，可以降低发动机油耗并改善 CO_2 排放。据报道，空气对充量的稀释率达到 50% 时，可节油 12%。这就是稀薄燃烧。稀薄燃烧发动机中，可将汽油喷在进气门前，也可将汽油直接喷入缸内。应当指出，稀薄燃烧发动机在高负荷时并不实行稀薄燃烧。

一、现稀薄燃烧必须解决的问题

过稀的混合气会给燃烧带来麻烦，所以存在稀薄燃烧极限。为了扩大稀薄燃烧极限并取得良好效果，必须解决几个问题，这些问题及其解决方法分述如下。

1. 点燃困难

稀薄燃烧时，混合气平均过量空气系数已超出或接近点燃极限，如果按照传统汽油机的概念生成均质混合气，则势必无法点燃或难以点燃。因此，汽油机稀薄燃烧时通常要求（但不绝对要求）非均质混合气，使气缸内各处混合气浓度不一致，并且要使火花塞电极间隙在点火时充满可燃的较浓混合气。通过进气的组织和喷油正时的调整有可能达到这一目标。这就是分层充气。但是为了减少 NO_x 和使燃烧稳定，应使混合气尽可能均质化。采用较高的涡流比提高油束雾化程度，有可能达到这一目标。但是高的涡流比会导致高的流动阻力，降低体积效率。所以有些场合下采用其他方法提高油束雾化程度。

2. 燃烧不稳定

稀薄燃烧时，由于混合气太稀，使火焰传播速度下降，导致燃烧不稳定、缸内压力和转矩波动加剧、热效率降低和 HC 排放增加。解决这个问题方法有以下几点。

① 组织缸内空气运动。例如利用螺旋进气道产生绕气缸中心线的进气涡流，或组织其旋转轴线平行于曲轴的翻滚气流，或通过活塞挤气。

② 适当推迟喷油。适当推迟喷油可以抑制燃烧不稳定。

③ 对三元催化转化器的 NO_x 转化效率下降。稀薄燃烧时，混合气中氧含量增多，导致三元催化转化器转化效率大幅度下降。但是，进入三元催化转化器以前的原始废气 NO_x 的浓度在 λ 超过 1.1 之后却是随着 λ 增大而减小的。所以，精确控制 λ 就有可能在进入三元催化转化器之前将 NO_x 排放控制在某一法定限值以内。例如 $\lambda = 1.5$ 时就可以使 NO_x 原始排放满足欧 I 法规要求。

二、稀薄燃烧涉及的电子控制项目

所谓稀薄燃烧发动机，其实只是在部分负荷工况范围实行稀薄燃烧，起动、怠速、加速和全负荷都不能实行稀薄燃烧。所以，各种有关的参数必须根据工况进行控制。

根据前面的分析可知，涉及稀薄燃烧的参数有：进气涡流比、喷油正时、点火正时和过量空气系数。上述各项都与电子控制有关。

三、进气涡流比电子控制

凡是稀薄燃烧汽油机，不论采用非均质还是均质混合气，都要组织适当的缸内空气运动，以促使油束雾化和加速燃烧。当今稀薄燃烧汽油机普遍采用多气门技术。分层充气和缸内空气运动的电子控制往往通过多气门技术联系在一起。其中的缸内空气运动可分为两大类。一类是以三菱公司为代表的其旋转轴线平行于曲轴中心线的翻滚气流（tumble），又称滚筒分层，其特点是进气道中心线几乎与气缸中心线平行。气流沿缸壁竖直向下，遇活塞而翻滚向上，在压缩后期瓦解成无数的小旋涡；两个进气道中只有一个喷油，另一个不喷，所以形成浓和稀两股气流，实现分层充气，如图 9-1 所示。这种翻滚气流难以随工况变化加以控制。另一类缸内空气运动是绕气缸中心线的进气涡流（swirl），可通过不同途径实现并加以控制。以下列举这一类缸内空气运动控制方法的实例。

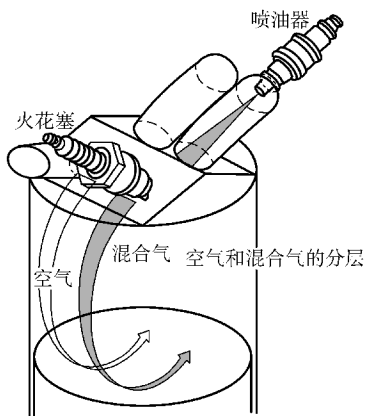


图 9-1 旋转轴线平行于曲轴中心线的翻滚气流

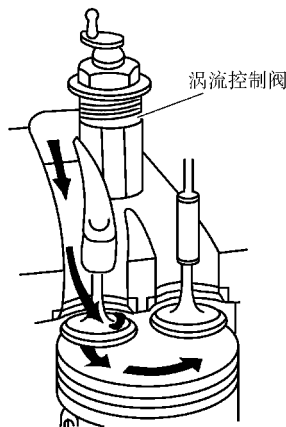


图 9-2 分叉螺旋进气道产生的进气涡流

1. 一个螺旋进气道和一个直进气道控制涡流比

螺旋进气道产生较强的绕气缸中心线的进气涡流，而直进气道不产生。两个进气门分别采用螺旋进气道和直进气道，并且在直进气道中装上涡流控制阀（Swirl Control Valve，缩写为 SCV）以调整直进气道流量，便可控制两个进气门的流量之比，进而控制进气涡流比，如图 9-2 所示。图中的进气道起初是合并在一起的，在相当接近进气门的地方才分叉成螺旋进气道和直进气道。喷油器安装在涡流控制阀的上游。这种进气系统生成的是均质混合气。低工况时，ECU 令涡流控制阀关闭，完全通过螺旋进气道进气，可获高达 2.3 的进气涡流比，满足了稀薄燃烧的需要。高工况时，涡流控制阀开启，进气涡流比降低，既扩大了进气，又避免了大的进气涡流带来的吸气损失，总的结果是增大了体积效率。这种进气涡流比控制系统安装在丰田 1988 年开发的第 2 代稀薄燃烧发动机中。该发动机装在 Carina90 轿车上，其转矩曲线相当平坦，在 3000r/min 和 4700r/min 各有一个尖峰可辨，如图 9-3 所示。

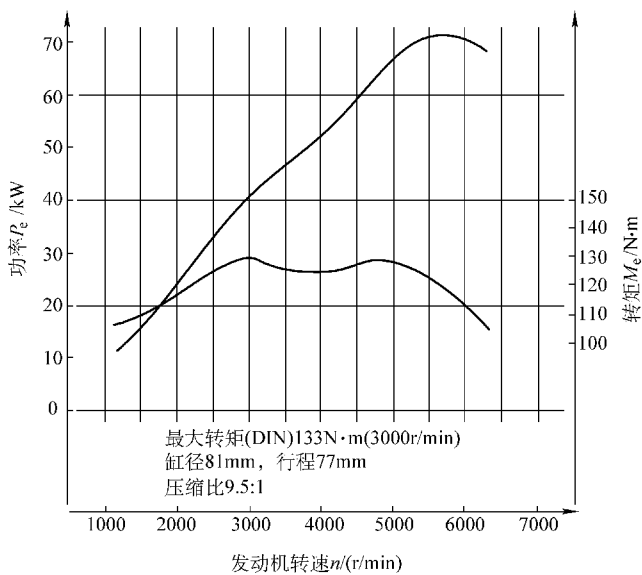


图 9-3 16 气门 1.6L4A - Fe 稀薄燃烧发动机的功率和转矩曲线

丰田 1992 年开发成的第 3 代稀薄燃烧发动机进气系统也采用一个螺旋进气道和一个直进气道，但与第 2 代有三处不同。第一，第 3 代的螺旋进气道和直进气道独立地通往各自的进气门，并不合并，但有通道互相连接；第二，采用双束喷油器，两支油束分别喷入螺旋进气道和直进气道；第三，涡流控制阀（SCV）虽然仍装在直进气道中，但装在喷油器的上游，见表 9-1。低工况时，涡流控制阀关闭，涡流比最大，由于有一部分空气通过连接通道流入直进气道，故仍生成均质混合气。又因连接通道截面狭小，气流速度较大，使喷入直进气道的油束得到良好的雾化，故在较低的进气涡流比（1.7 ~ 1.8）就能实现稳定的稀薄燃烧，这有利于提高体积效率。必须指出，连接通道的气流速度是变化着的。为了利用连接通道的气流改善油束的雾化，必须在该气流的速度达到最大时喷射，电子控制系统进行数据匹配时应予注意。高工况时，涡流控制阀开启，涡流比最小，混合气也更均质化，不过这都不妨碍此时 $\lambda = 1$ 左右的混合气燃烧。这种发动机装在 Carina E 轿车上。

表 9-1 连接通道螺旋进气道

形 状		(30°C A ATDC, 顶视) 燃油雾化过程
有连接通道		
无连接通道		

2. 大幅度降低进气门升程控制涡流比

本田公司 VTEC - E 系统燃烧实际上是一种可变气门电子控制系统, 用于四气门稀薄燃烧发动机, 有一个主进气门和一个副进气门, 如图 9-4 所示。主进气门的升程为 8mm, 不可变。副进气门可有两种气门升程: 发动机低工况时, 副进气门升程只有 0.65mm, 通过气门和气门座之间的缝隙流入气缸的进气系统, 生成进气涡流, 涡流比为 2.5。高工况时, 进气门升程为 8mm, 与主进气门相同, 不产生涡流。为了避免因涡流比过高而影响体积效率, 未采用螺旋进气道。与此同时, 通过改进燃烧室, 采用挤气产生高的紊流实现快速燃烧, 扩大了稀燃极限。双束喷油器往两个进气道等量喷油。如图 9-5 所示, VTEC - E 系统的进气凸轮轴为每个缸的主、副进气门分别准备了主、副凸轮各一个。发动机低速时, 主、副凸轮 6、7 各自通过主、副摇臂 1、2 操纵主、副进气门。副进气门升程只有 0.65mm, 其进气量远远低于主进气门, 因而形成分层充气。高速时, ECU 通过电磁控制阀令摇臂轴 8 内的机油通道 4 接通高压机油, 推动主摇臂孔内的液压柱塞 3 往右运动, 同时穿越主摇臂 1 和副摇

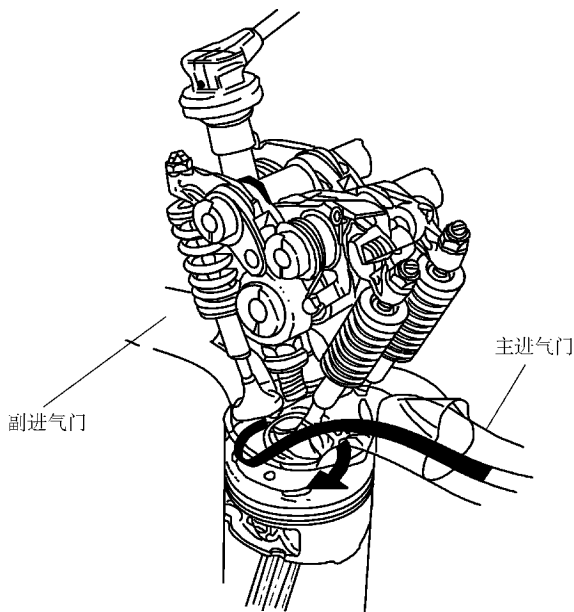


图 9-4 VTEC - E 系统

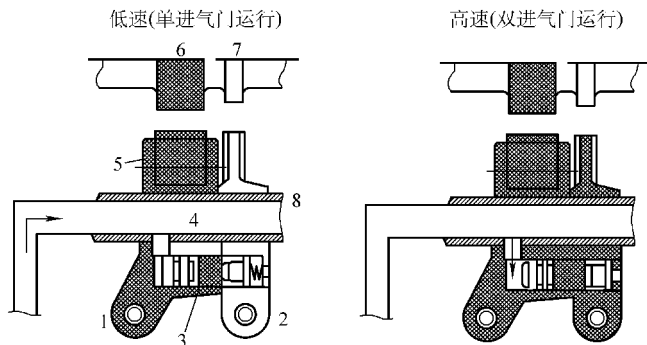


图 9-5 VTEC - E 系统的构造和原理

1—主摇臂 2—副摇臂 3—液压柱塞 4—机油通道 5—从动件 6—主凸轮 7—副凸轮 8—摇臂轴

臂 2 的孔。当主凸轮 6 通过辊子从动件 5 使主摇臂摆动时, 主摇臂 1 通过液压柱塞 3 带动副摇臂 2 跟着摆动, 副进气门的升程变得与主进气门相同, 为 8mm, 两个进气门的进气量相等, 不存在分层充气。此时副凸轮 7 因其升程比主凸轮 6 小得多, 所以不起作用。

该系统只有两种涡流比 2.5 和 0。全负荷时在 $n = 2500\text{r/min}$ 切换, 部分负荷时在 $n = 3200\text{r/min}$ 切换, 如图 9-6 所示。

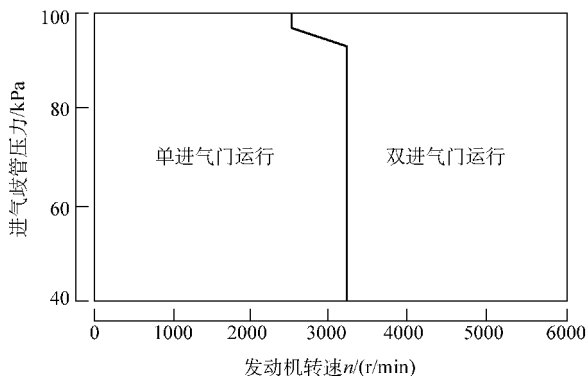


图 9-6 VTEC-E 系统涡流比切换控制线

四、稀薄燃烧喷油正时电子控制

喷油正时对稀薄燃烧的燃烧速率和燃烧稳定性有一定的影响。在形成分层充气的场合, 这主要是因为喷油正时影响充气分层状况。但必须注意, 对应于最佳燃烧稳定性的喷油正时往往带来过高的 NO_x 排放。所以, 在选择喷油正时的时候, 可能不得不放弃一点稀薄燃烧极限的扩大所带来的好处。

在形成均质混合气的稀薄燃烧场合, 如丰田第 3 代稀薄燃烧系统中, 喷油正时可通过促进油束雾化而提高燃烧稳定性。该系统中螺旋进气道和直进气道之间连接通道处的气流速度是曲轴转角的函数, 如图 9-7 所示。喷油正时应选在气流速度达到峰值之时。即使该气流量不大, 但高的流速也能促使油束雾化良好。气流速度峰值出现的曲轴转角随发动机转速而变, 所以数据匹配时应根据发动机转速仔细选择喷油正时。在某些稀薄燃烧发动机中, 最佳的喷油正时还与负荷大小有关。

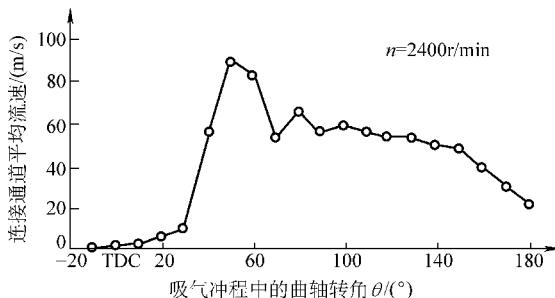


图 9-7 丰田第 3 代稀薄燃烧系统中进气道之间连接通道处的气流速度

五、稀薄燃烧点火正时电子控制

混合气变稀, 则着火落后期和急燃期都加长, 所以 MBT (实现最佳转矩的最小点火提

前角)将增大。但是随着缸内空气运动的增强,MBT明显地减小,而且燃烧速率将变得对点火正时十分敏感。所以,稀薄燃烧的点火提前角特性场必须重新进行仔细的调整,除了其他因素,还要考虑过量空气系数 λ 、空气运动状况和喷油正时等因素。总的来说,随着 λ 的增大,点火提前角应增大。

六、稀薄燃烧 λ 闭环控制

稀薄燃烧发动机的一切不同于常规发动机之处,都源自其过量空气系数 λ 超出常规。 λ 的大小影响着发动机的性能和排放,还决定了它给发动机工作过程带来的困难。围绕着稀薄燃烧所采取的各项措施,诸如组织进气涡流、调整喷油正时和点火正时等,都与 λ 的大小有关。

1. 稀薄燃烧 λ 闭环控制目标的确定

稀薄燃烧固然可以节油,但过度稀释会导致燃烧不稳定,所以 λ 不能超越燃烧极限。此外,为了提高发动机标定功率,在高工况时不能实行稀薄燃烧。

稀薄燃烧 λ 闭环控制目标主要由发动机负荷和转速确定,可以用 λ 特性场的形式表示。不同的稀薄燃烧发动机因其组织缸内空气运动的方式不同、燃烧室构造不同、气门和火花塞位置不同等原因,其 λ 特性场或A/F特性场会有较大差别。

2. 稀薄燃烧 λ 闭环控制的实施

稀薄燃烧 λ 闭环控制与常规的理论当量燃烧 λ 闭环控制一样,也是将一个氧传感器插入废气中,该传感器将 λ 信息反馈给ECU。不同的是,常规的 λ 闭环控制采用的氧传感器只能判定 λ 是大于1还是小于1,却无法精确测定 λ 的具体数值,所以闭环控制的目标只能是 $\lambda=1$;而稀薄燃烧 λ 闭环控制采用片式宽带氧传感器(线性氧传感器),在 λ 从0.8到2.5的广阔范围内准确地测定 λ 数值,因此可以将闭环控制的目标设定在一个很宽的 λ 范围内的任意数值。

七、稀燃极限电子控制

如前所述,稀薄燃烧可节油并降低 NO_x 原始排放。但混合气过稀则会引起缺火。所以,存在一个稀薄燃烧极限。混合气浓度接近稀燃极限时,燃烧开始不稳定,平均指示压力的波动明显增大。这种波动表现在两个方面。一方面,同一工作循环内缸与缸之间的平均指示压力波动增大;另一方面,在同一个缸内不同工作循环之间的平均指示压力波动也增大。根据这一特点,可用两个步骤检测并控制稀燃极限。

利用脉冲盘感应传感器检测曲轴角速度

正常燃烧时,曲轴角速度的波形是均匀一致的,如图9-8b所示。接近稀燃极限时,各缸压力不均,造成曲轴角速度不均,如图9-8a所示。由此可辨别各缸平均指示压力的高低。通过调整各缸喷油量,可使压力较低的缸得到燃油补偿。

八、稀薄燃烧排放 NO_x 的控制策略

稀薄燃烧时, λ 超过1,HC和CO均可在三元催化转化器中得到相当彻底的转化,但 NO_x 却几乎得不到转化。不过,随着 λ 继续增大, NO_x 原始排放下降。利用这一特点,有可能借助于令 λ 保持在某一数值以上而不用任何其他净化措施就将 NO_x 排放控制在法规限值以内。为了达到Euro II对 NO_x 排放的要求,须要采用EGR。为了进一步降低 NO_x 排放,以满足Euro III和Euro IV的要求,不得不开发稀薄燃烧条件下的 NO_x 催化转化技术。20世纪90年代全世界在这方面的研究工作集中在两个方向。一个方向是 NO_x 选择催化还原(Se-

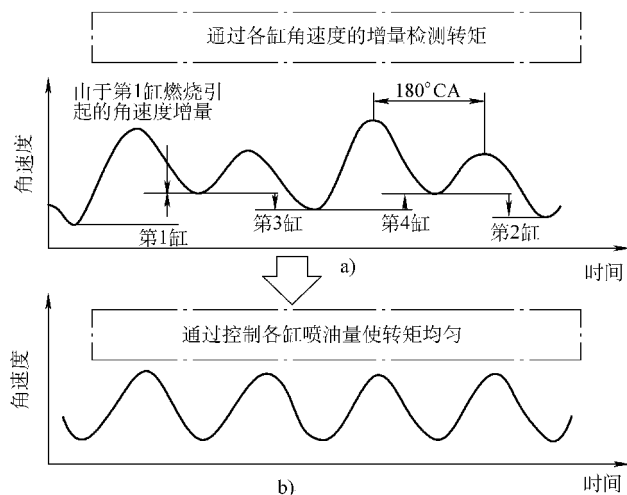
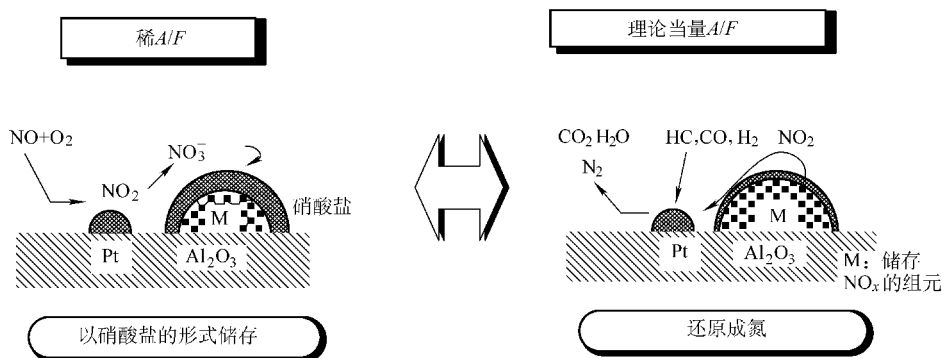


图 9-8 缸对缸燃油补偿原理

a) 各缸压力不均 b) 各缸压力均匀

lective Catalyst Reduction, 缩写为 SCR), 另一个方向是 NO_x 储存—还原 (NO_x Storage - Reduction) 催化。多数研究者认为, 前一种技术它难以在汽车发动机上实现商业化。目前在稀薄燃烧 NO_x 催化转化技术领域内, NO_x 储存—还原技术日益受到重视, 其作用机理是: 首先用催化剂 (例如 Pt) 将 NO 氧化成 NO_2 , 这一过程必须在稀薄状况下, 即 $\lambda > 1$ 的情况下才能发生; 接着, NO_2 被碱土金属氧化物表面吸收, 生成硝酸盐; 然后, 一旦转入还原性状况, 生成的硝酸盐就会在超过 100°C 的温度下分解成 O_2 和 NO; 后者接着在催化剂 (如 Pt) 和 Rh 的作用下还原成 N_2 , 称为再生。如此周而复始。相应的装置称为 NO_x 陷阱 (NO_x Trap), 在稀薄燃烧条件下 NO_x 转化效率可达 90% 以上。 NO_x 陷阱也起三元催化转化器的作用, 在稀薄燃烧和理论当量空燃比下都能很好地转化 HC 和 CO。这类装置已从 1994 年开始被用于轿车。

根据以上介绍, 可将 NO_x 储存—还原技术路线划分成四个步骤: 氧化—吸收—分解—还原。前两个步骤在氧化条件下进行, 后两个步骤在还原条件下完成, 如图 9-9 所示。

图 9-9 NO_x 储存—还原机理

NO_x 陷阱面临着热老化和硫中毒的问题。与 NO_x 相似, SO_2 也会在贵金属表面氧化, 接

着与储存组元反应生成比硝酸盐更为稳定的硫酸盐,因而挤占了储存 NO_x 的能力。不过, NO_x 陷阱的硫中毒是可逆的,只要在还原性气氛中加热到 600°C ,便可使硫酸盐分解,恢复储存 NO_x 的能力。也可在 NO_x 陷阱之前设置硫陷阱,在稀薄状况下吸收 SO_3 ,在再生加浓时以 SO_2 的形式将硫释放。

第二节 汽油直接喷射电子控制

汽油直接喷射 (Gasoline Direct Injection, 缩写为 GDI) 就是指直接往气缸内喷射汽油。在发动机行业,直接喷射就是指直接往气缸内喷射燃油,无论汽油机还是柴油机均如此。而间接喷射的含义在汽油机是指喷在进气门前或节气门前,在柴油机中则指喷在涡流式燃烧室或预燃式燃烧室中。

GDI 其实也是稀薄燃烧的一种,不过是用缸内喷射实现的罢了。近年来,为了节油和减少 CO_2 排放,重新转向 GDI。继三菱公司率先于 1995 年 6 月在上海国际汽车展览会上推出刚刚在同年 5 月获得专利的新型 GDI 发动机,并于 1996 年投放日本市场之后,许多世界著名的大公司也投入巨资开发和研制 GDI 发动机。可以预料,GDI 发动机将在 21 世纪取代目前的汽油间接喷射发动机,在汽车发动机工业中占据主导地位。

一、GDI 能够节油的原因

1) 低工况时放弃用节气门节流。空燃比超过一定程度时必须采用充气分层技术,而 GDI 最易造成充气分层。现代 GDI 甚至可使发动机在 A/F 超过 100 的情况下稳定运行。这个数字远远超过了发动机可达到的每循环最大可能吸气量与每循环最小可能喷油量之比,因此,低工况时借助于 GDI 可以放弃用节气门节流,仅仅通过调节每循环喷油量便可实现发动机转矩的调节。此时的汽油机从变量调节变成了柴油机采用的变质调节。放弃用节气门节流可以大幅度减少泵气损失,这是 GDI 能够大幅度节油的主要原因。

2) GDI 使稀薄燃烧成为可能,因而提高了热效率。

3) 燃油喷入缸内因吸收汽化潜热而使缸内充量得到冷却,高工况时在提高体积效率的同时还减少了爆燃倾向,使 GDI 发动机的压缩比可上升到 12,也提高了热效率。

4) GDI 还减少了燃烧室壁的传热损失。总的结果是 GDI 可使汽车节油达 20% 左右;同时因为提高了高工况时的体积效率,GDI 还使最大转矩提高 10% 左右。所以,GDI 将燃油经济性提高到了柴油机的水平,同时动力性保持在进气口喷射的汽油机水平。

二、现代 GDI 和 20 世纪 30 年代缸内喷射的比较

1. 电子节气门

20 世纪 30 年代的缸内喷射并不采用稀薄燃烧,整个工况范围内都用节气门调节转矩。现代 GDI 发动机是超稀薄燃烧发动机,低工况范围内不用节气门调节转矩。如前所述,稀薄燃烧发动机在全负荷时放弃稀薄燃烧,而取理论当量燃烧,GDI 也不例外,此时又必须用节气门调节转矩。这样一来,势必不允许在节气门和加速踏板之间建立直接的机械联系。因此,现代 GDI 必须采用电子节气门 (E-GAS),即导线驾驶 (Drive-by-Wire)。

2. 喷油正时

现代 GDI 在低工况范围内实行稀薄燃烧,采用分层充气,所以要推迟到将要点火时才喷油。但这么晚的喷油显然不适合高工况,因为此时放弃稀薄燃烧,不需要分层充气,倒需

要更多的时间生成均质混合气。所以要求自由选择喷油正时，不同于 30 年代的缸内喷射。

3. 喷油器

由于超稀薄燃烧对燃油变化提出了更高的要求，所以现代 GDI 采用高压涡流喷油器；又由于低工况时在压缩后期喷油，现代 GDI 的喷油压力必须大幅度提高。

4. 控制技术

20 世纪 30 年代缸内喷射根本还没有采用电子控制技术，只能机械控制。而今天 GDI 之所以能具有如此优越的性能，首先得益于电子控制。

(1) λ 闭环控制 为了保证稳定的燃烧，各项控制参数必须互相协调，尤为重要是与 λ 的匹配，所以准确地检测 λ 并对它实行闭环控制是头等重要的任务。稀薄燃烧的 λ 闭环控制又与常规的不同，不过现在已经可以用宽带的线性氧传感器解决这一问题。两种燃烧模式之间的切换也对 λ 控制提出了新问题。

(2) 转矩控制 转矩控制其实就是喷油量控制。过去汽油机都是变量控制，柴油机才用变质控制。现代 GDI 高工况范围用变量控制，在低工况范围内用变质控制。电子节气门解决了这个问题。

(3) 喷油正时控制 过去对喷油正时没有严格的要求，可是现代 GDI 的喷油正时对混合气生成具有举足轻重的影响。为了实现喷油正时控制，必须借助于电子控制系统中的曲轴位置识别装置，例如脉冲盘感应传感器。

(4) 喷油压力控制 高压涡流喷油器的喷油压力决定了燃油雾化强度和油雾穿透深度。不同工况对此有不同要求。所以现代 GDI 用燃油压力控制阀和燃油压力传感器实施燃油压力闭环控制。

三、现代 GDI 的燃烧系统

GDI 燃烧系统的任务是生成符合要求的混合气，并使它尽可能迅速、稳定地燃烧。燃烧系统当然涉及空气和燃油，所以燃烧系统包含组织缸内空气运动的元件和喷油器。混合气的生成往往离不开活塞顶部凹坑（燃烧室）的配合，所以 GDI 的燃烧系统还包括活塞凹坑。最后，点燃混合气的火花塞对于燃烧系统当然也十分重要。电子控制系统的开发和匹配工程师对此应有所了解。

在众多的文献中，GDI 燃烧系统通常可按主宰混合气生成的机理分成以下三类（图 9-10）：油束控制，锥形油束直接将燃油送往火花塞；壁面控制，油束喷入活塞凹坑后被气流带往火花塞；气流控制，在空间汽化的燃油直接由气流带往火花塞。

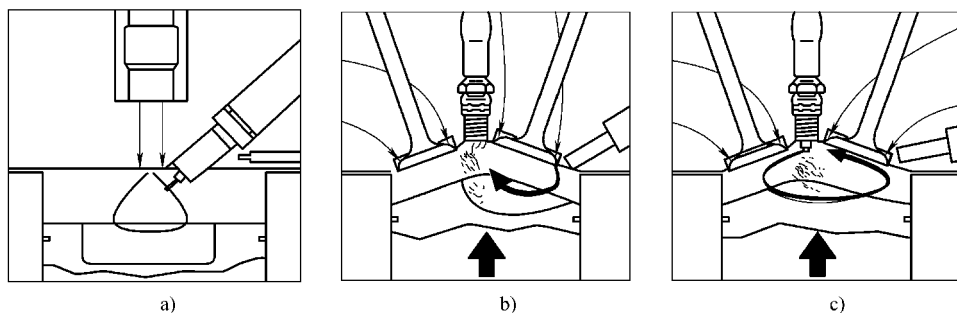


图 9-10 现代 GDI 燃烧系统的分类

a) 油束控制 b) 壁面控制 c) 气流控制

在一个实际的燃烧系统中，这三种机理不能截然区分，而是组合在一起的，不过每一种机理的权重不同而已。

1. 油束控制燃烧系统

在油束控制的燃烧系统中，喷油器安置在气缸中央，火花塞必须布置在喷油器附近（图 9-10a），这为空间上有限制的充量分层创造了条件，它可以不受限制地将负荷降低到过量空气系数 $\lambda = 8$ 的怠速负荷。不过，油束的空气利用率依靠油束的穿透深度保证。油束和火花塞相距如此之近，使得可供混合气生成利用的时间太短，以致液态燃油会润湿火花塞，缩短火花塞寿命。这种系统由于油束周围可燃混合气的范围不大，所以要严格按照油束特性确定安装尺寸。这种系统未能投入批量生产。

2. 壁面控制燃烧系统

在壁面控制的燃烧系统中，喷油器和火花塞相隔较远，喷油器将油束喷到活塞凹坑中，然后由气流将燃油送往火花塞。为了避免温度过高，喷油器不应布置在排气侧而应在进气侧，活塞凹坑的开口也跟着指向进气侧。火花塞最好放在气缸中央，有利于改进燃烧过程。三者的相对位置决定了气流由进气道进入气缸后从喷油器经活塞凹坑将燃油带往火花塞。所以采用立式进气道，形成逆向翻滚气流（图 9-10b）。这种系统用于混合气生成的时间较长，形成较大区域的可点燃混合气。

3. 气流控制燃烧系统

在气流控制的燃烧系统中，利用轮廓分明的缸内气流与油束相互作用，在发动机的大部分工况范围内都能实行恰当的充量分层和混合气均质化。此时，喷油器不是将油束朝活塞凹坑喷而是朝火花塞喷，活塞凹坑的开口方向也有所不同，缸内气流变成顺向翻滚气流，进气道的方向接近卧式，与三菱的 1.5L 翻滚气流发动机相似（图 9-10c）。

四、GDI 燃油供给系统的组成

图 9-11 所示为博世公司的汽油直接喷射系统 MED—7 的燃油供给系统由供油模块（包括低压油泵）。燃油由低压油泵输往高压油泵并由高压油泵将燃油压力提高到 12MPa 后送往燃油蓄压器，最后通过电磁高压涡流喷油器喷入气缸。当燃油压力传感器检测到燃油蓄压器的压力超过燃油压力特性场中该工况下的设定值时，ECU 命令装在燃油蓄压器上的燃油压力控制阀 5 让多余的燃油泄流，借此实现燃油压力闭环控制。为了尽可能减少油箱受热，多余的燃油不流回油箱。由于燃油压力很高，不必担心因燃油温度升高而形成气阻。

1. 低压油泵

低压油泵是电动泵，并联一个机械式燃油压力调节器，出口压力为 0.35MPa。

2. 高压油泵

高压油泵由发动机的凸轮轴驱动，在低压油泵产生的 0.35MPa 的基础上将燃油压力提高到 12MPa。为了减少燃油蓄压器的压力脉动，要求高压油泵减少流量脉动。为了避免机油混入燃油，所以燃油兼作润滑油之用。

3. 燃油蓄压器（共轨）

燃油蓄压器用铝制成管状，上有许多开口用于连接高压油泵、喷油器、燃油压力传感器和燃油压力控制阀。一方面，由于周期性的喷油和高压油泵流量的脉动，造成燃油蓄压器的压力脉动，所以燃油蓄压器必须有足够的柔度以便阻尼这种压力脉动；另一方面，燃油蓄压器的压力必须按照发动机的要求足够迅速地得到调整，所以燃油蓄压器又必须有足够的刚

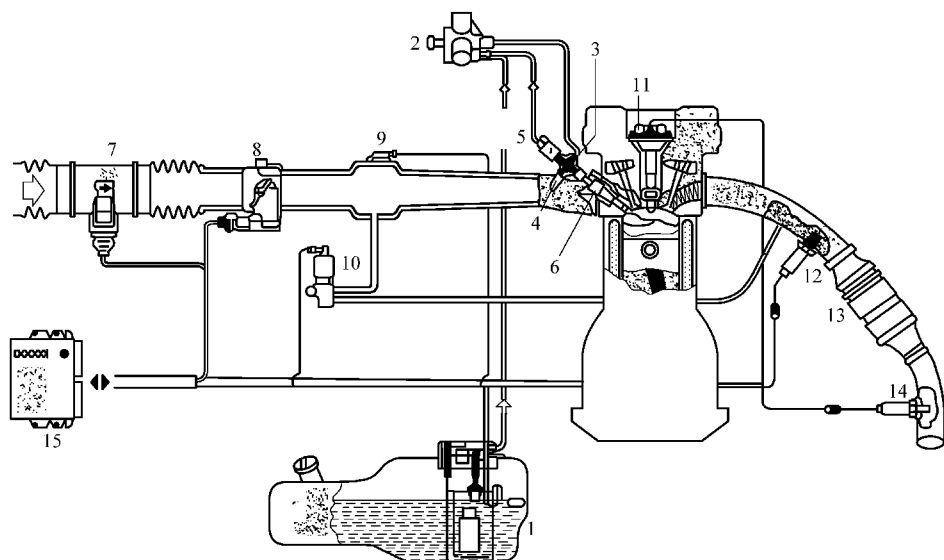


图 9-11 博世公司的汽油直接喷射 MED—7

- 1—供油模块（包括低压油泵） 2—高压油泵 3—燃油蓄压器（共轨） 4—燃油压力传感器
5—燃油压力控制阀 6—电磁高压涡流喷油器 7—质量空气流量传感器 8—节气门装置（电子节气门）
9—进气歧管压力传感器 10—EGR 阀 11—点火线圈 12—上游宽带氧传感器
13—NO_x 三元催化转化器 14—下游宽带氧传感器 15—ECU

度。柔度主要取决于燃油的可压缩性和燃油蓄压器的容量。而燃油蓄压器的容量以及高压油泵的容量都要根据发动机的要求算出。

4. 燃油压力传感器

燃油压力传感器用于测定燃油蓄压器中的压力。采用焊入式的不锈钢膜片作为传感元件。测量电阻以薄膜技术植入其中。调节电路、补偿电路和对比例信号输出进行评价的电路均集成于传感器壳体中。

5. 燃油压力控制阀

燃油压力控制阀的任务是在发动机的整个运行范围内按照特性场数据调节系统压力，而不依赖于油泵提供多少油量和喷油器要喷多少油量。如图 9-12 所示，节流体 1 在阀座中的位置决定了从高压油通过燃油压力控制阀流回高压油泵的回流油的多少。节流体 1 左面受到系统高压油的作用力，右面受到流过线圈 2 的电流施加在电磁衔铁 3 上的作用力。这两个作用力的平衡决定了节流体的位置，进而决定了流过燃油压力控制阀的燃油流量。所以，利用脉宽调制信号和燃油压力传感器便可以非常精确地实现对燃油压力的闭环控制。由于节流体只是随电磁衔铁作被迫振动，所受摩擦力很小，所以，它的运行几乎是没有滞后的。

6. 电磁高压涡流喷油器

喷油器的构造对油束特性有明显的影响。如图 9-13 所示，自左至右分别为多孔型、锥型和涡流型喷油器。多孔型喷油器的油束互相离散，较难均匀化，雾化特性不能令人满意。锥面型喷油器的雾化质量并不比第一种好。涡流型喷油器的雾化质量优良，油束可以倾斜于喷油器的中心线，而且耐脏，适宜用于汽油直接喷射。

汽油直接喷射喷油器的构造与进气口喷射相比有一些固有的特点。因为喷油器要安装在

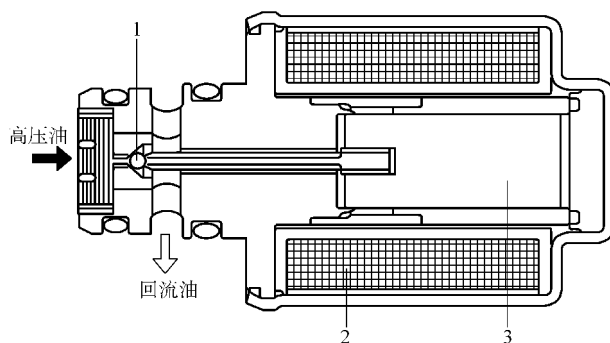


图 9-12 燃油压力调节器

1—节流阀 2—线圈 3—电磁衔铁

缸盖里面，且一直伸展到气缸，在现代四气门发动机中只有很小的空间可供喷油器使用，喷油器下段直径必须尽可能小，以便给缸盖冷却液套留有足够的空间，所以要将阀针做得细长。尽管喷油器壳体很细，却不得影响最高达 12MPa 的燃油压力和大的油束角度。考虑到价格、批量生产的开始日期和运行的可靠性，首选电磁驱动喷油器。

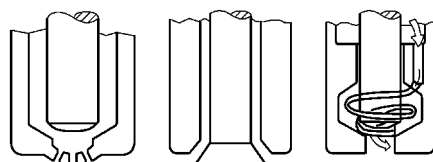


图 9-13 喷油器的三种类型

电磁高压涡流喷油器的设计方案如图 9-14 所示。

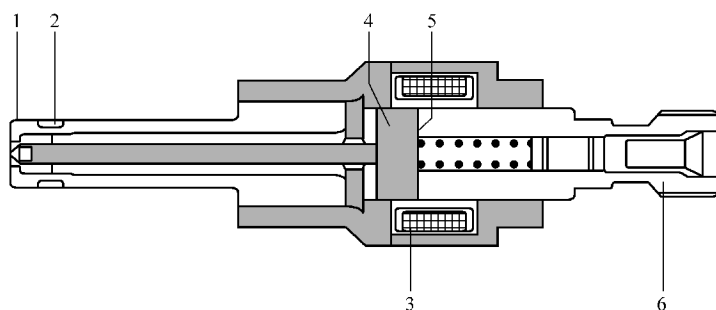


图 9-14 电磁高压涡流喷油器设计方案

1—涡流装置 2—密封圈 3—线圈 4—衔铁 5—止推面 6—燃油接头

图 9-15 示出了三菱公司 1995 年开发成的 GDI 发动机剖面图。由图 9-15 可知，高压油泵 1 由排气凸轮轴驱动，立式进气道 2 形成逆向翻滚气流，电磁高压涡流喷油器处在进气门一侧，活塞顶部凹坑的开口朝向喷油器，即朝向进气门一侧。

五、GDI 电子控制策略

按工况区分控制模式

GDI 之所以能节油 20%，最主要依靠的是低工况范围的无节气运行，无节气运行的基础是超稀薄燃烧，超稀薄燃烧得到充气分层的支持，而充气分层离不开推迟喷油的配合。高工况范围恰恰相反，强调的是提高转矩和功率，必须采取略稀或理论当量的混合气或浓混合气，此时，充气分层并无好处，只会导致黑烟，为了得到均质混合气必须提早喷油。由此可见，讨论 GDI 电子控制策略时应区分低工况和高工况两个不同的区域，分别采取两种不同

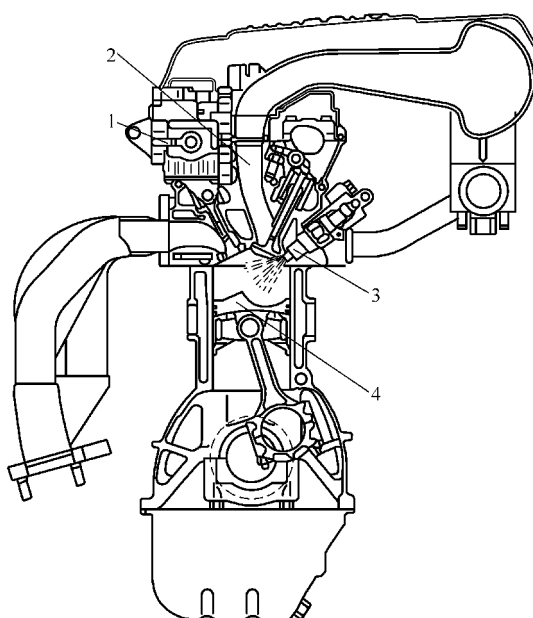


图 9-15 三菱公司的 GDI 发动机

1—高压油泵 2—立式进气道 3—电磁高压涡流喷油器 4—顶部凹坑活塞

的控制模式，见表 9-2 和图 9-16。一般说，推迟喷油、充量分层的控制模式只适用于 50% 以下的负荷，此时尚有足够的过量空气可供在短时间内燃尽生成的黑烟，超过 50% 负荷时会排放黑烟，必须切换成提早喷油，均质充量的控制模式。

表 9-2 GDI 按工况区分位制模式

工况	主要目标	空燃比	节气门	转矩调节	充量	喷油正时	喷油压力	燃油雾化	油束穿透
低	经济性	25 ~ 40	节气门不全开	变质调节	分层	压缩冲程的晚期	高	好	浅
高	动和性	14.7 左右	节气门全开	变量调节	均质	吸气冲程的早期	低	差	深

六、GDI 发动机 NO_x 排放的控制策略

如前所述，GDI 本质上是稀薄燃烧的一种，所以同一般进气口喷射的稀薄燃烧发动机一样受到稀薄燃烧 NO_x 催化转化问题的困扰。不过两者又有差别。在进气口喷射的稀薄燃烧中，随着空燃比的增加，反应区的温度下降，所以 NO_x 排放减少。在 GDI 低工况、分层充量的情况下，虽然总的从热力学角度计算出的温度由于稀薄燃烧而下降，但由于充量分层，反应区的温度仍保持很高。所以在 GDI 发动机中不能指望高的空燃比会带来低的 NO_x 原始排放。由此可见，为了使 GDI 的 NO_x 排放满足法规要求，必须采用 EGR 或 NO_x 储存—还原三元催化转化器。

GDI 的超稀薄分层燃烧相对于进气口喷射的理论当量燃烧有一个明显的优点，即燃烧特性不会因 EGR 而恶化。GDI 的燃烧系统既然能完成超稀薄燃烧，当然就不在乎 EGR 的稀释作用，故可接受大量的 EGR 气流，充分降低 NO_x 在燃油经济性的改善保持不变的情况下，与进气口喷射的理论当量燃烧相比，GDI 通过 EGR 可降低 NO_x 90% 以上，如图 9-17 所示。不过，GDI 两种控制模式之间的切换对 EGR 的控制提出了更高的要求，所以 EGR 阀采用步

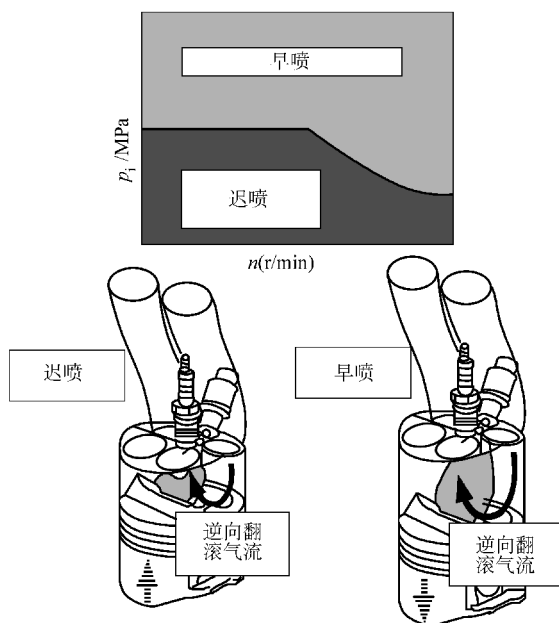
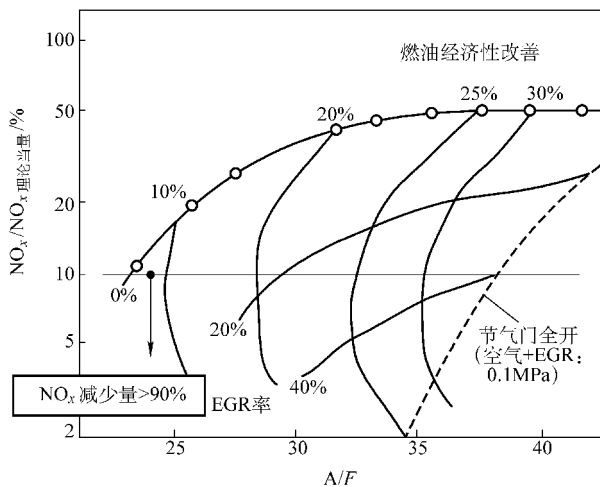


图 9-16 GDI 电子控制模式按工况分区

图 9-17 GDI 中通过 EGR 降低 NO_x 排放 (2000r/min, 喷油量 15mL/行程)

进电动机操纵, 以实现快速、准确的 EGR 控制。

单靠 EGR 已经不能将 GDI 的 NO_x 排放降低到更为严格的法规, 例如 Euro IV 的限值以下。进一步降低 NO_x 排放就要依靠 NO_x 储存—还原三元催化转化器。必须指出的是, GDI 由于超稀薄燃烧, 排气温度很低, 这对 NO_x 储存—还原三元催化转化器的温度窗提出了更高的要求。特别是采用大的 EGR 率后, 排气温度会更低。研究表明, 当 EGR 率达到 30% 时, GDI 的火焰温度在空燃比 30 的情况下可降低 200K 左右。

七、缸内直喷新技术介绍

1. TSI 发动机

TSI 三个字母分别代表的意思是: Turbochanger (涡轮增压)、Supercharger (机械增压)

和 Injection (直喷)。

TSI 发动机装配了废气涡轮增压器 + 机械增压器, 所以它能在很小排量的情况下达到很大的动力, 属于大功率、低转速大转矩的发动机。

① TSI 发动机的优点: 动力损耗小, 可以在小排量的情况下获得较大的动力。

② TSI 发动机的缺点: 与 FSI 发动机相比缺少了分层燃烧功能, 技术含量降低了很多。

2. FSI 发动机

FSI (Fuel Stratified Injection) 发动机就是“缸内直喷发动机”, 采用的是燃油分层燃烧技术。传统的发动机是喷油器将汽油喷入进气歧管, 汽油和空气混合, 然后进入气缸燃烧。在进气歧管中, 汽油与空气已经均匀地混合在一起了, 所以需要空气和燃料的混合比例 (空燃比) 达到理论状态 (14.7:1) 才能获得最好的动力和经济性。

FSI 发动机在中低速的时候采用分层注油模式, 此时的节气门为半开状态, 而活塞的顶部制作成了特殊的形状, 当压缩过程接近尾声的时候, 少量燃油直接喷射到气缸, 在这个形状内充分燃烧, 气缸的其他地方燃烧并不是很剧烈, 所以气缸可以做得比较薄, 这样就降低了发动机的重量, 节约了成本的同时也降低了油耗。

① FSI 发动机的好处: 首先, 燃油消耗量降低, 改善了排放; 其次, 发动机重量减轻, 在节省燃油的同时降低了制作成本。

② FSI 发动机的缺点: 因为本身的压缩比很高, 所以对燃油的要求很高, 如果按照国内目前的情况来讲, 必须使用 98# 汽油。

3. TFSI 发动机

TFSI 发动机也是涡轮燃油直喷发动机, 四个字母分别代表 Turbo - charging Fuel Stratified Injection, 它可以说是 FSI 发动机和 TSI 发动机的结合。它的 T 和 TSI 中的 T 一样, 表示采用涡轮技术, 其中的 S 与 FSI 中的 S 一样, 表示“分层次的”, 而不是 TSI 中表示增压的意思。TFSI 发动机既有涡轮, 又有分层燃烧, 可以说是集合了 FSI 发动机和 TSI 发动机的优点。

① TFSI 发动机的优点: 集合了 FSI 和 TSI 的优点。

② TFSI 发动机的缺点: 同样需要较高标号的汽油。

思 考 题

1. 什么是稀薄燃烧? 它的最大优点是什么? 稀薄燃烧发动机在什么情况下并不实行稀薄燃烧?
2. 稀薄燃烧时采取什么措施解决点燃困难的问题?
3. 火焰传播速度过低会带来什么麻烦? 这与混合气浓度有什么关系? 怎样解决这个问题?
4. 试举例说明多气门技术给稀薄燃烧带来的方便之处。
5. 缸内空气宏观运动有哪两种类型? 各自通过什么途径实现?
6. 螺旋进气道有什么用处? 又有什么缺点? 有什么替代方法? 举例说明与此有关的电子控制方法。
7. 喷油正时与充量分层有什么关系?
8. 稀薄燃烧对点火正时有什么新的要求?
9. 为什么稀薄燃烧时也要实行 λ 闭环控制? 所用的氧传感器有什么性能特点? 加速时如何控制 λ 的切换?
10. 什么叫稀燃极限? 接近稀燃极限时燃烧有什么特点?
11. 稀薄燃烧时, 三元催化转化器的应用有何局限性? 有什么补救措施?

12. 试述 NO_x 选择催化还原技术的用途、机理及存在的问题。
13. NO_x 储存—还原技术对 NO_x 的处理过程可分成哪几个步骤？每个步骤各要求在怎样的化学气氛下完成？
14. 稀薄燃烧的稳定工况下，为了使 NO_x 陷阱能长期正常地工作，应怎样控制过量空气系数？为什么？
15. 为什么 NO_x 陷阱会发生硫中毒？怎样解决这个问题？
16. 汽油直接喷入缸内的技术早在 20 世纪 30 年代就已出现，为什么在 50 年代被放弃？为什么 90 年代又重新启用？
17. GDI 在什么情况下不用节气门调节转矩？为什么可以这样？这样有什么好处？
18. GDI 为什么能提高最大转矩？
19. GDI 为什么必须采用电子节气门？
20. GDI 的燃烧系统可分成哪三类？其中的壁面控制燃烧系统有什么特点？如何组织混合气的生成和燃烧？
21. 什么叫逆向翻滚气流？如何利用它组织 GDI 混合气的生成和燃烧？
22. GDI 系统的低压油泵和高压油泵是怎样驱动的？GDI 高压油泵目前可将燃油压力提高到多少？
23. GDI 燃油蓄压器通过管道与哪些元件连接？
24. GDI 的喷油器与进气口喷射的喷油器从运行参数、构造和尺寸上看有什么差别？为什么要有这些差别？
25. GDI 的两种控制模式如何按工况区分？从空燃比、节气门、充量混合和喷油正时等方面看，各有什么特点？
26. GDI 的 ECU 根据哪些因素确定发动机应有的转矩？节气门开度是否一定随着对转矩要求的降低而减小？为什么？又通过什么途径将转矩调整到应有的水平？
27. GDI 发动机从低工况转入高工况时为什么存在一个 λ 的禁区？怎样避开这个禁区？此时如何防止转矩突变？
28. GDI 的喷油正时为什么主要根据活塞位置来考虑？
29. GDI 的喷油正时与油束的集中程度和穿透深度有什么关系？为什么？
30. GDI 高工况时为什么应在进气门关闭前结束喷油？
31. GDI 喷油压力与燃油雾化程度和油束穿透深度有什么关系？为什么？
32. 为什么 GDI 在怠速工况下、空燃比达到 40 时的燃烧速率还与全负荷工况相同？怠速转速可低到什么水平而仍保持稳定运行？
33. GDI 的 NO_x ，原始排放为什么不随空燃比增大而下降？
34. GDI 为什么能接受大量的 EGR 气流而不会使燃烧恶化？

参 考 文 献

- [1] 陈家瑞. 汽车构造 (上册) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 颜伏伍. 汽车发动机原理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [3] 钱人一. 现代汽车发动机电子控制 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2004.
- [4] 鲁明巧. 汽车构造 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [5] 解福泉. 电控发动机维修 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [6] 陈志桓. 汽车电控技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [7] 夏令伟. 汽车电控发动机构造与维修 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [8] 赵振宁. 电控发动机原理与维修 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [9] 罗灯明. 发动机电控系统故障诊断实训 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.

汽车检修 丛书

《汽车发动机机械系统的检测与维修》

《汽车发动机电控系统的诊断与维修》

《汽车发动机实训指导手册》

《汽车电气系统的检测与维修》

《汽车电气系统实训指导手册》

《汽车传动系统的检测与维修》

《汽车传动系统实训指导手册》

《汽车转向、行驶与制动系统的检测与维修》

《汽车转向、行驶与制动系统实训指导手册》

《汽车安全与舒适系统的诊断与维修》

《汽车安全与舒适系统实训指导手册》

《汽车拆装、调整与综合故障诊断》

《汽车拆装、调整与综合故障诊断实训指导手册》

《汽车车载网络的检测与维修》

《汽车车载网络实训指导手册》

《图解汽车维修英语》

策划编辑：连景岩

封面设计：王伟光

地址：北京市百万庄大街22号

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

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

上架指导：交通运输/汽车发动机维修

ISBN 978-7-111-35099-6



ISBN 978-7-111-35099-6

定价：43.80元