

电工入门问答丛书

低压电工入门问答

DIYA DIANGONG RUMEN WENDA

主 编 孙丽君
副主编 孙克军



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电工入门问答丛书

低压电工入门问答

主 编 孙丽君

副主编 孙克军

参 编 严晓斌 杨国福



机械工业出版社

本书是《电工入门问答丛书》之一，全书共 10 章，内容包括电工基础知识、常用电工仪表原理与应用、常用低压电器原理与应用、变压器原理与应用、常用电动机原理与应用、低压架空线路、室内配电线路、电气照明、常用电工工具的使用、安全用电与防雷等。书中介绍了电工基础知识，并介绍了各种低压电气设备的基本结构、工作原理、使用与维护、常见故障及其排除方法，还介绍了架空线路和室内配电线路的安装与维护等。

本书密切结合生产实际，突出实用、图文并茂、深入浅出、通俗易懂，书中列举了一些实例，具有实用性强、易于迅速掌握和运用的特点。

本书可供低压电工及有关技术人员使用，可作为高等职业院校及专科学校相关专业师生的教学参考书，也可作为职工培训用参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

低压电工入门问答/孙丽君主编. —北京: 机械工业出版社, 2011. 11
(电工入门问答丛书)
ISBN 978-7-111-36201-2

I. ①低… II. ①孙… III. ①低电压 - 电工技术 - 问题解答 IV. ①TM-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 218269 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: 张沪光 责任编辑: 张沪光

版式设计: 霍永明 责任校对: 佟瑞鑫

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2012 年 9 月第 1 版第 2 次印刷

140mm × 203mm · 9.125 印张 · 244 千字

3001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36201-2

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
电话服务 网络服务

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

随着国民经济的飞速发展，电能在工农业生产、军事、科技及人民日常生活中的应用越来越广泛。各行各业对电工的需求越来越多，新电工不断涌现，新知识也需要不断补充。《电工入门问答丛书》是专为农村进城务工人员，以及没有相应技能基础的广大城乡待业、下岗人员而编写的。涉及低压电工、高压电工、维修电工、建筑电工四大类别。内容言简意赅、通俗易懂，力求帮助广大读者快速掌握行业技能，顺利上岗就业。

本书是根据广大低压电工的实际需要，参考《工人技术等级标准》规定的初、中级应知应会的主要要求而编写的。以帮助低压电工提高电气技术的理论水平及处理实际问题的能力。在编写过程中，从当前低压电工的实际情况出发，面向生产实际，搜集、查阅了大量有关资料，归纳了电工基础知识、常用电工仪表原理与应用、常用低压电器原理与应用、变压器原理与应用、常用电动机原理与应用、低压架空线路、室内配电路、电气照明、常用电工工具的使用、安全用电与防雷等方面的内容。精选出 292 题。编写时考虑到了系统性，力求突出实用性，努力做到理论联系实际。

本书突出了简明实用、通俗易懂、可操作强的特点。书中采用大量的立体插图和表格，简要、直观地介绍了低压电工应掌握的基础知识和基本操作技能。本书不仅可作为农村进城务工人员，以及没有相应技能基础的广大城乡待业、下岗人员的就业培训用书，也可供已经就业的低压电工在技能考评中使用，还可作为职业院校相关专业师生的教学参考书。

本书由孙丽君主编，孙克军为副主编。第 1、6 章由严晓斌编写，第 2、3 章由杨国福编写，第 4、5、7 章由孙丽君编

写，第8、9、10章由孙克军编写。编者对关心本书出版、热心提出建议和提供资料的单位和个人在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 电工基础知识	1
1-1 电路由哪几部分组成?	1
1-2 直流电路有哪些常用物理量和计算公式?	2
1-3 交流电路有哪些常用物理量和计算公式?	8
1-4 常用的电磁感应定律有哪些?	15
第 2 章 常用电工仪表原理与应用	17
2-1 什么是电工测量?	17
2-2 常用电工测量方法有哪几种?	17
2-3 什么是电工仪表? 电工仪表有哪些类型?	18
2-4 电工仪表的主要技术特性有哪些?	19
2-5 电工仪表面板符号的含义是什么?	19
2-6 电流表的量程是怎样扩大的?	21
2-7 电压表的量程是怎样扩大的?	22
2-8 如何选用电流表和电压表?	23
2-9 如何测量直流电流和交流电流?	24
2-10 如何测量直流电压和交流电压?	25
2-11 什么是万用表? 万用表有哪些类型?	26
2-12 万用表由哪几部分组成?	27
2-13 万用表是怎样进行测量的?	27
2-14 如何选用万用表?	29
2-15 使用万用表时应注意什么?	31
2-16 数字万用表有哪些特点?	32
2-17 数字万用表由哪几部分组成? 它是怎样工作的? ..	32

2-18	怎样使用数字万用表?	33
2-19	什么是钳形电流表?	36
2-20	钳形电流表由哪几部分组成? 它是怎样工作的? ...	36
2-21	使用钳形电流表时应注意哪些事项?	37
2-22	数字钳形电流表有什么特点? 使用时应注意 什么?	38
2-23	什么是绝缘电阻表? 它是怎样工作的?	38
2-24	如何选择绝缘电阻表?	39
2-25	使用绝缘电阻表时应注意哪些事项?	40
2-26	绝缘电阻表在接线时应注意什么?	41
2-27	什么是数字绝缘电阻测量仪?	42
2-28	使用数字绝缘电阻测量仪时应注意什么?	43
2-29	什么是电能表? 它有哪些类型?	45
2-30	电能表铭牌上有哪些标志?	45
2-31	感应系电能表由哪几部分组成? 它是怎样 工作的?	46
2-32	电子式电能表由哪几部分组成? 它是怎样 工作的?	47
2-33	怎样选用电能表?	48
第3章 常用低压电器原理与应用		51
3-1	什么是电器? 什么是低压电器?	51
3-2	低压电器有哪些种类? 其主要用途是什么?	51
3-3	什么是刀开关?	53
3-4	刀开关有哪些种类?	53
3-5	刀开关由哪几部分组成? 它是怎样工作的?	53
3-6	怎样选用刀开关?	54
3-7	刀开关应当怎样安装?	55
3-8	什么是封闭式负荷开关?	55
3-9	封闭式负荷开关的结构有什么特点? 它是怎样	

工作的?	55
3-10 怎样选用封闭式负荷开关?	56
3-11 什么是组合开关? 它主要有哪些用途?	57
3-12 组合开关的结构有什么特点? 它是怎样工作的? ...	57
3-13 怎样选用组合开关?	58
3-14 什么是熔断器? 它有哪些用途?	59
3-15 什么是插入式熔断器? 其结构有什么特点?	59
3-16 什么是螺旋式熔断器? 其结构有什么特点?	60
3-17 熔断器选用的一般原则是什么?	61
3-18 一般用途的熔断器应如何选用?	61
3-19 什么是断路器? 它有哪些用途?	63
3-20 断路器有哪些种类?	64
3-21 断路器是怎样工作的?	67
3-22 断路器选用的一般原则是什么?	68
3-23 配电用断路器应怎样选用?	69
3-24 电动机保护用断路器应怎样选用?	70
3-25 导线保护断路器应怎样选用?	71
3-26 什么是接触器? 它有哪些用途?	71
3-27 接触器有哪些种类?	72
3-28 接触器的基本结构主要由哪几部分组成?	73
3-29 交流接触器是怎样工作的?	74
3-30 怎样选择接触器?	75
3-31 什么是中间继电器? 它有哪些用途?	75
3-32 中间继电器的结构有什么特点? 主要用于什么 场合?	76
3-33 怎样选择中间继电器?	77
3-34 中间继电器与接触器有哪些区别?	78
3-35 什么是时间继电器? 它有哪些用途?	78
3-36 时间继电器有哪些类型?	79
3-37 怎样选择时间继电器?	80

3-38	什么是热继电器？它有哪些用途？	81
3-39	热继电器有哪些种类？	81
3-40	双金属片式热继电器由哪几部分组成？	82
3-41	双金属片式热继电器是怎样工作的？	83
3-42	怎样选择热继电器？	84
3-43	为什么热继电器一般只能用于过载保护而不能用于短路保护？	85
3-44	什么是主令电器？它有哪些主要用途和类型？	85
3-45	什么是按钮？控制按钮有哪些主要用途？	85
3-46	常用的按钮有哪些种类？	85
3-47	按钮的结构主要由哪几部分组成？它是怎样工作的？	86
3-48	怎样选择控制按钮？	87
3-49	什么是行程开关？它有哪些类型？	87
3-50	行程开关的结构主要由哪几部分组成？它是怎样工作的？	88
3-51	怎样选择行程开关？	89
第4章	变压器原理与应用	90
4-1	什么是变压器？	90
4-2	变压器为什么能变换电压？	90
4-3	变压器有哪些类型？	92
4-4	什么是电力变压器？它有什么用途？	93
4-5	电力变压器由哪几部分组成？	94
4-6	变压器有哪些额定值？	95
4-7	变压器型号的含义是什么？	97
4-8	变压器的联结组标号是怎样表示的？	98
4-9	变压器常用的联结组有哪几种？	99
4-10	分接开关有什么作用？它有几种类型？	100
4-11	变压器油有什么作用？	101

4-12	如何选择变压器的容量?	102
4-13	变压器运行前应做哪些检查?	102
4-14	变压器运行中应进行哪些检查?	103
4-15	当发现哪些情况时应使变压器停止运行?	103
4-16	变压器有哪些常见故障? 应该怎样排除?	104
4-17	什么是电压互感器? 它有什么用途?	105
4-18	使用电压互感器时应注意什么?	106
4-19	电压互感器运行时应进行哪些检查?	107
4-20	什么是电流互感器? 它有什么用途?	107
4-21	使用电流互感器时应注意什么?	108
4-22	电流互感器运行时应进行哪些检查?	108
4-23	什么是电焊变压器? 它是怎样工作的?	108
4-24	电焊变压器有哪些类型?	109
4-25	怎样使用与维护电焊变压器?	111
4-26	电焊变压器有哪些常见故障? 应该怎样排除?	111
第5章	常用电动机原理与应用	114
5-1	交流电动机有哪些类型?	114
5-2	什么是三相异步电动机?	115
5-3	三相异步电动机由哪几部分组成?	115
5-4	三相异步电动机为什么会转动?	117
5-5	旋转磁场的转向由什么决定?	119
5-6	如何改变三相异步电动机的旋转方向?	120
5-7	旋转磁场的转速与什么因素有关?	120
5-8	什么是电动机的转差率? 如何计算三相异步电动机 的转速?	120
5-9	三相异步电动机有哪些类型?	121
5-10	三相异步电动机的型号是怎样表示的?	122
5-11	三相异步电动机的铭牌上各项内容的含义是 什么?	124

- 5-12 三相异步电动机的接线盒内是怎样接线的? 125
- 5-13 什么是电动机的绝缘等级? 127
- 5-14 如何计算三相异步电动机的输入功率和输出功率? 128
- 5-15 什么是电动机的效率? 129
- 5-16 什么是电动机的功率因数? 其大小有什么意义? 129
- 5-17 什么是异步电动机的空载电流? 它对电动机有什么影响? 130
- 5-18 什么是异步电动机的起动电流? 起动电流过大有什么不好? 131
- 5-19 新安装或长期停用的电动机投入运行前应做哪些检查? 131
- 5-20 正常使用的电动机起动前应做哪些检查? 132
- 5-21 电动机起动时有哪些注意事项? 132
- 5-22 三相异步电动机运行中应进行哪些监视? 133
- 5-23 三相电压不平衡对电动机有什么危害? 135
- 5-24 电动机的三相电流不平衡是哪些原因造成的? 135
- 5-25 电动机一般应采取哪些保护措施? 135
- 5-26 在什么情况下应测量电动机的绝缘电阻? 136
- 5-27 怎样用绝缘电阻表测量电动机的绝缘电阻? 137
- 5-28 三相异步电动机有哪些常见故障? 应该怎样排除? 138
- 5-29 什么是单相异步电动机? 它有哪些用途? 142
- 5-30 单相异步电动机由哪几部分组成? 142
- 5-31 单相异步电动机是怎样工作的? 144
- 5-32 怎样改变单相异步电动机的转向? 145
- 5-33 单相异步电动机有哪些类型? 各有什么特点? 146
- 5-34 如何正确使用与维护单相异步电动机? 150

5-35	单相异步电动机有哪些常见故障? 应该怎样排除?	150
第 6 章	低压架空线路	154
6-1	什么是电力系统? 它由哪几部分组成?	154
6-2	什么是配电线路? 什么是低压配电线路?	155
6-3	低压架空线路有哪些基本要求?	155
6-4	低压架空线路由哪几部分组成?	156
6-5	电杆按材质分为哪几种类型? 各有什么特点?	157
6-6	电杆按在线路中的作用分为哪几种类型?	157
6-7	如何确定电杆的埋设深度?	157
6-8	横担有哪些类型?	158
6-9	安装横担时有哪些注意事项?	159
6-10	怎样固定角钢横担?	160
6-11	绝缘子有哪些类型?	160
6-12	怎样对绝缘子进行外观检查?	161
6-13	拉线有哪些形式? 各适用于什么场合?	161
6-14	拉线由哪几部分组成?	162
6-15	安装拉线时应注意哪些事项?	162
6-16	常用低压金具有哪几种?	165
6-17	常用架空导线有哪几种?	166
6-18	如何选择架空导线?	166
6-19	如何选择架空线路的档距?	168
6-20	什么是架空线路的弧垂? 选择弧垂时应注意什么?	169
6-21	架空线对地和跨越物的最小距离是怎样规定的?	169
6-22	架空线路竣工时应检查哪些内容?	171
6-23	架空线路应巡视检查哪些内容?	171
6-24	架空线路巡视检查时应注意什么?	171

6-25	架空线路的日常维修内容有哪些?	172
第7章	室内配电线路	173
7-1	什么是室内配电线路?	173
7-2	室内配电线路应满足哪些技术要求?	173
7-3	导线接头应满足哪些基本要求?	175
7-4	单芯铜线有哪几种连接方法?	175
7-5	多芯铜线有哪几种连接方法?	177
7-6	单芯绝缘导线在接线盒内有哪几种连接方法?	178
7-7	多芯绝缘导线在接线盒内有哪几种连接方法?	179
7-8	铝芯导线有哪几种压接方法?	180
7-9	多股铝芯线与接线端子怎样连接?	181
7-10	导线与接线柱怎样连接?	182
7-11	导线连接后如何包缠绝缘?	183
7-12	瓷夹板配线有哪几种类型?	183
7-13	瓷夹板配线应满足哪些要求?	184
7-14	绝缘子配线有哪几种类型?	186
7-15	怎样固定绝缘子?	186
7-16	怎样在绝缘子上绑扎导线?	187
7-17	绝缘子配线时应注意什么?	188
7-18	塑料护套线配线有哪几种类型?	190
7-19	塑料护套线配线应满足哪些要求?	190
7-20	线管配线有哪几种类型?	192
7-21	线管配线应满足哪些要求?	192
第8章	电气照明	195
8-1	什么是电气照明?	195
8-2	电气照明按灯具布置方式可分为哪几种类型?	195
8-3	电气照明按照明性质可分为哪几种类型?	195
8-4	电气照明有哪些常用物理量?	196

8-5	对电气照明有哪些质量要求?	197
8-6	常用电光源有哪些类型?	200
8-7	电光源有哪些特性参数?	200
8-8	什么是白炽灯?	201
8-9	白炽灯常用灯座有哪些类型?	202
8-10	白炽灯常用控制电路有哪几种?	203
8-11	怎样安装白炽灯?	204
8-12	使用白炽灯时应注意哪些事项?	205
8-13	白炽灯有哪些常见故障? 应该怎样排除?	206
8-14	什么是荧光灯?	207
8-15	荧光灯由哪几部分组成?	207
8-16	荧光灯镇流器有哪几种类型?	208
8-17	荧光灯是怎样工作的?	209
8-18	荧光灯接线原理图有哪几种?	210
8-19	怎样安装荧光灯?	212
8-20	使用荧光灯时应注意哪些事项?	213
8-21	荧光灯有哪些常见故障? 应该怎样排除?	214
8-22	什么是高压汞灯?	215
8-23	镇流器式高压汞灯是怎样工作的?	216
8-24	自镇流式高压汞灯是怎样工作的?	217
8-25	使用高压汞灯时应注意哪些事项?	217
8-26	怎样安装高压汞灯?	217
8-27	高压汞灯有哪些常见故障? 应该怎样排除?	218
8-28	照明灯具有哪些类型?	218
8-29	安装照明灯具应满足哪些基本要求?	220
8-30	什么是LED?	220
8-31	LED光源有什么特点?	221
8-32	使用LED时应注意哪些事项?	222
8-33	LED驱动电源有什么特点?	223
8-34	LED驱动电源有哪些类型? 各有什么特性?	223

8-35	LED 在室内照明领域有哪些应用?	225
8-36	LED 室内照明安装时应注意哪些事项?	226
8-37	如何进行 LED 灯泡的电气连接?	227
第 9 章 常用电工工具的使用		229
9-1	怎样正确使用电工刀?	229
9-2	螺钉旋具有哪几种? 使用时应注意哪些事项?	230
9-3	钢丝钳由哪几部分组成? 怎样正确使用?	231
9-4	怎样正确使用尖嘴钳?	232
9-5	怎样正确使用剥线钳?	233
9-6	怎样正确使用活扳手?	233
9-7	怎样正确使用电钻?	234
9-8	怎样正确使用冲击电钻?	236
9-9	怎样正确使用电锤?	237
9-10	怎样正确使用电烙铁?	238
9-11	怎样正确使用验电笔?	239
9-12	使用绝缘手套时应注意哪些事项?	241
9-13	使用安全带时应注意哪些事项?	241
9-14	怎样正确使用脚扣?	242
9-15	怎样正确使用弯管器?	243
9-16	喷灯有什么用途? 如何使用?	245
9-17	怎样正确使用射钉枪?	246
9-18	怎样正确使用压接钳?	247
9-19	怎样正确使用紧线器?	249
第 10 章 安全用电与防雷		250
10-1	什么是接地与接零?	250
10-2	什么是保护接地?	250
10-3	什么是工作接地?	251
10-4	什么是重复接地?	251

10-5	接地电阻应该多大才符合要求?	252
10-6	什么是接地装置?	252
10-7	什么是人工接地体?	253
10-8	如何安装垂直接地体?	253
10-9	如何安装水平接地体?	254
10-10	什么是基础接地体?	255
10-11	如何安装接地线?	256
10-12	选择接地装置应注意哪些事项?	256
10-13	接地装置的检查和测量周期是怎样规定的?	257
10-14	接地装置维护和检查的具体项目有哪些?	258
10-15	为确保施工现场用电安全应采取哪些相应措施?	258
10-16	施工现场的哪些电气设备应做保护接零?	259
10-17	什么是雷电?	259
10-18	雷电有何危害?	260
10-19	什么是雷击过电压?	260
10-20	雷击通常受哪些因素影响?	261
10-21	防雷装置由几部分组成?	261
10-22	基本防雷措施有哪些?	261
10-23	什么是避雷针?	262
10-24	安装避雷针时应注意哪些事项?	263
10-25	什么是避雷带和避雷网?	263
10-26	什么是避雷器?	264
10-27	阀式避雷器由哪几部分组成? 它是怎样工作的?	264
10-28	安装阀式避雷器时应注意哪些事项?	265
10-29	管式避雷器由几部分组成?	266
10-30	安装管式避雷器时应注意哪些事项?	266
10-31	什么是安全电压?	267
10-32	使用安全电压应注意哪些事项?	268

10-33	怎样安全用电?	268
10-34	防触电的安全措施有哪些?	269
10-35	什么是单相触电?	270
10-36	什么是两相触电?	270
10-37	什么是跨步电压触电?	271
10-38	什么是接触电压触电?	272
10-39	怎样使触电者迅速脱离电源?	273
10-40	对触电不太严重者如何救护?	273
10-41	对触电严重者如何救护?	273
参考文献.....		276

电工基础知识

1-1 电路由哪几部分组成？

电路是指电流所通过的路径。不管电路的结构是多么简单或复杂，至少应由电源、负载和连接导线三部分组成，如图 1-1 所示。

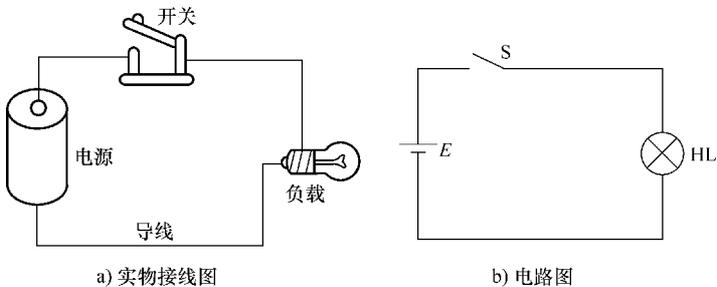


图 1-1 电路与电路图

电源是提供电能的装置。它是将其他形式的能量转换为电能的，也是电路工作的动力。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等。

负载是电路中消耗电能的器件，它可以将电能转换为其他形式的能量。常见的有白炽灯、荧光灯、电炉和电动机等。

连接导线是把电源与负载连接起来，以构成一个闭合的可以使电流通过的回路。它是传递电能的器件。常见的连接导线有铜

线、铝线和电力电缆等。

另外，在实际电路中，往往还需要接入一些为完善电路功能的特定部件。如用以方便地分、合电路的各种刀开关等；用以监视测量电流、电压和频率的各种电工仪表；用以对电源和电路执行保护功能的断路器和熔断器等。在日常生活中使用的手电筒就是一个最简单的电路应用实例。

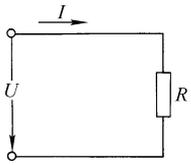
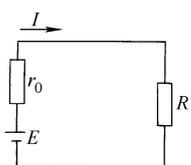
1-2 直流电路有哪些常用物理量和计算公式？

直流电路常用物理量和计算公式见表 1-1。

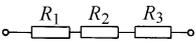
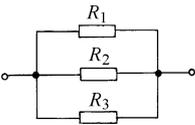
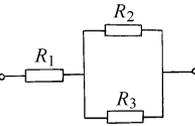
表 1-1 直流电路常用物理量和计算公式

名称	定义	公式	备注
电阻	导体能够导电，但同时电流又有阻力作用。这种阻碍电流通过的阻力称为电阻，用英文字母 R 或 r 表示	$R = \rho \frac{l}{A}$	l —导体的长度，单位为米 (m) A —导体的截面积，单位为平方米 (m^2) ρ —导体的电阻率，单位为欧·米 ($\Omega \cdot \text{m}$) R —导体的电阻，单位为欧姆，简称欧 (Ω)
电导	表征物体传导电流的能力称为电导。电导是电阻的倒数，用英文字母 G 表示	$G = \frac{1}{R}$	R —电阻，单位为欧 (Ω) G —电导，单位为西门子，简称西 (S)
电流	导体内的自由电子或离子在电场力的作用下有规律的流动称为电流。人们规定正电荷移动的方向为电流的正方向。电流用英文字母 I 表示	$I = \frac{Q}{t}$	Q —电量，单位为库仑，简称库 (C) t —时间，单位为秒 (s) I —电流，单位为安培，简称安 (A)

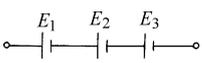
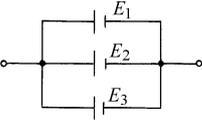
(续)

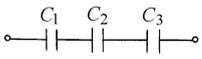
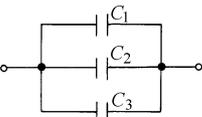
名称	定义	公式	备注
电压	<p>在静电场或电路中, 单位正电荷在电场力作用下从一点移到另一点电场力所做的功称为两点间的电压。电压用英文字母 U 表示。电压的正方向是从高电位到低电位</p>	$U = \frac{W}{Q}$	<p>W—电功, 单位为焦耳, 简称焦 (J) Q—电量, 单位为库 (C) U—电压, 单位为伏特, 简称伏 (V)</p>
部分电路的欧姆定律	<p>在一段不含电动势只有电阻的电路中, 流过电阻的电流大小与加在电阻两端的电压成正比, 而与电路中的电阻成反比</p>	$I = \frac{U}{R}$ 	<p>U—电压, 单位为伏 (V) R—电阻, 单位为欧 (Ω) I—电流, 单位为安 (A)</p>
全电路的欧姆定律	<p>在只有一个电源的无分支闭合电路中, 电流与电源电动势成正比, 与电路的总电阻成反比</p>	$I = \frac{E}{R + r_0}$ 	<p>E—电源电动势, 单位为伏 (V) R—负载电阻, 单位为欧 (Ω) r_0—电源的内电阻, 单位为欧 (Ω) I—电路中电流, 单位为安 (A)</p>

(续)

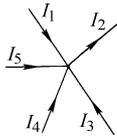
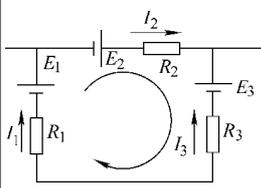
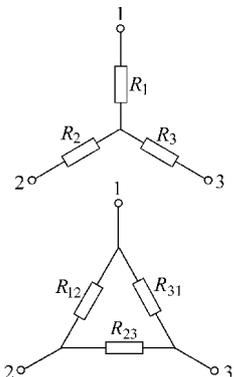
名称	定义	公式	备注
电功率	一个用电设备在单位时间内所消耗的电能称为电功率，用英文字母 P 表示	$P = \frac{W}{t} = IU$ $= I^2 R = \frac{U^2}{R}$	W —电能，单位为焦 (J) t —时间，单位为秒 (s) I —电路中的电流，单位为安 (A) R —电路中的电阻，单位为欧 (Ω) U —电路两端的电压，单位为伏 (V) P —电路的电功率，单位为瓦特，简称瓦 (W)
电阻串联		 $R = R_1 + R_2 + R_3$	R —总电阻，单位为欧 (Ω) R_1 、 R_2 、 R_3 —分电阻，单位为欧 (Ω)
电阻并联		 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	R —总电阻，单位为欧 (Ω) R_1 、 R_2 、 R_3 —分电阻，单位为欧 (Ω)
电阻混联		 $R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$	R —总电阻，单位为欧 (Ω) R_1 、 R_2 、 R_3 —分电阻，单位为欧 (Ω)

(续)

名称	定 义	公 式	备 注
电阻与温度的关系	通常金属的电阻都随温度的上升而增大,故电阻温度系数是正值。而有些半导体材料、电解液,当温度升高时,其电阻减小,因此它们的电阻温度系数是负值	$R_2 = R_1[1 + \alpha_1(t_2 - t_1)]$	R_1 —温度为 t_1 时导体的电阻,单位为欧 (Ω) R_2 —温度为 t_2 时导体的电阻,单位为欧 (Ω) α_1 —以温度 t_1 为基准时导体的电阻温度系数 t_1 、 t_2 —导体的温度 ($^{\circ}\text{C}$)
电源串联		 $E = E_1 + E_2 + E_3$	E —总电源电动势,单位为伏 (V) E_1 、 E_2 、 E_3 —分电源电动势,单位为伏 (V)
电源并联		 $E = E_1 = E_2 = E_3$	E —总电源电动势,单位为伏 (V) E_1 、 E_2 、 E_3 —分电源电动势,单位为伏 (V)

名称	定义	公式	备注
电容	<p>电容是表征电容器在单位电压作用下, 存储电场能量 (电荷) 能力的一个物理量。其大小只决定于电容器自身的结构。在数值上等于电容器所带的电荷量与其两极之间电位差 (电压) 的比值。电容用英文字母 C 表示</p>	$C = \frac{Q}{U}$	<p>Q—电容器所带电量, 单位为库 (C) U—电容器两端电压, 单位为伏 (V) C—电容器的电容量, 单位为法拉, 简称法 (F)</p>
电容串联		 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	<p>C—总电容, 单位为法 (F) C_1、C_2、C_3—分电容, 单位为法 (F)</p>
电容并联		 $C = C_1 + C_2 + C_3$	

(续)

名称	定 义	公 式	备 注
基尔霍夫第一定律 (节点电流定律)	对于任何节点而言，流入节点的电流的总和必定等于流出节点的电流的总和，或认为：对于任何节点，流出和流入该节点的电流代数和恒等于零	$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \text{ 或 } \sum I = 0$ 例： <div style="text-align: center;">  </div> $I_1 + I_3 + I_4 + I_5 = I_2 \text{ 或 } I_1 - I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$	$\sum I_{\text{入}}$ —流入节点电流之和 $\sum I_{\text{出}}$ —流出节点电流之和 $\sum I$ —电流代数和
基尔霍夫第二定律 (回路电压定律)	对于电路中任何一个闭合回路，回路中的各电阻上电压降的代数和等于各电动势的代数和	$\sum IR = \sum E$ 例： <div style="text-align: center;">  </div> $I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 = E_1 + E_2 - E_3$	$\sum IR$ —电阻上电压降的代数和。电流的参考方向与回路绕行方向一致时，该电阻上的电压降取正值，反之取负值 $\sum E$ —电动势代数和。电动势的参考方向与回路绕行方向一致时，该电动势取正值，反之取负值
星形联结与三角形联结的电阻互换关系		<div style="text-align: center;">  </div>	R_1, R_2, R_3 —星形联结的电阻 R_{12}, R_{23}, R_{31} —三角形联结的电阻

(续)

名称	定义	公式	备注
星形联结与三角形联结的电阻互换关系		电阻星形联结等效变换为三角形联结 $R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$ $R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$ $R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$ 电阻三角形联结等效变换为星形联结 $R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$	R_1, R_2, R_3 —星形联结的电阻 R_{12}, R_{23}, R_{31} —三角形联结的电阻

1-3 交流电路有哪些常用物理量和计算公式?

交流电路常用物理量和计算公式见表 1-2。

表 1-2 交流电路常用物理量和计算公式

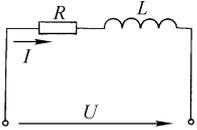
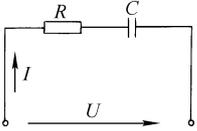
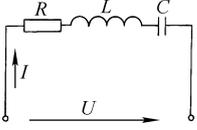
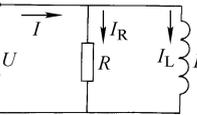
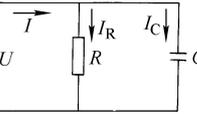
名称	定义	公式	备注
周期	交流电完成一次周期性变化所需的时间称为周期,用英文字母 T 表示	$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$	T —周期,单位为秒(s) f —频率,单位为赫兹,简称赫(Hz) ω —角频率,单位为弧度/秒(rad/s)
频率	单位时间(1s)内交电流变化所完成的循环(或周期)称为频率,用英文字母 f 表示	$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$	

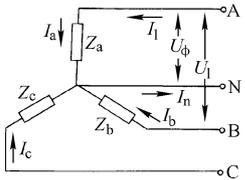
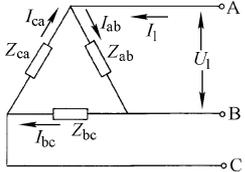
(续)

名称	定义	公式	备注
角频率	角频率相当于一种角速度,它表示了交流电每秒变化的弧度数,角频率用希腊字母 ω 表示	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	T —周期,单位为秒(s) f —频率,单位为赫兹,简称赫(Hz) ω —角频率,单位为弧度/秒(rad/s)
瞬时值	正弦交流电的数值是在不断地变化的,在任一瞬间的数值就称为瞬时值,一般用小写字母表示	$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ $u = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$ $e = E_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$	i —电流瞬时值,单位为安(A) u —电压瞬时值,单位为伏(V) e —电动势瞬时值,单位为伏(V)
最大值	在正弦交流电的瞬时值中的最大值(或振幅)称为正弦交流电的最大值或振幅值,用大写字母并在右下角注max表示	$I_{\max} = \sqrt{2}I = 1.414I$ $U_{\max} = \sqrt{2}U = 1.414U$ $E_{\max} = \sqrt{2}E = 1.414E$	I_{\max} —电流最大值(A) U_{\max} —电压最大值(V) E_{\max} —电动势最大值(V) φ —初相位或初相角,简称初相,单位为弧度(rad)
有效值	在两个相同的电阻器中,分别通以直流电和交流电。经过同一时间,如果它们在电阻器上所产生的热量相等,那么就就把此直流电的大小定为此交流电的有效值。正弦交流电的有效值等于它的最大值的0.707倍。有效值用大写字母表示	$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707I_{\max}$ $U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707U_{\max}$ $E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707E_{\max}$	I —电流有效值(A) U —电压有效值(V) E —电动势有效值(V)

名称	定义	公式	备注
阻抗	当交流电流流过具有电阻、电容、电感的电路时，电阻、电容、电感三者具有阻碍电流流过的作用，这种作用称为阻抗，用英文字母 Z 表示。阻抗是电压有效值和电流有效值的比值	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $= \frac{U}{I}$	<p>U—阻抗两端的电压，单位为伏 (V)</p> <p>I—电路中的电流，单位为安 (A)</p> <p>Z—电路中的阻抗，单位为欧 (Ω)</p> <p>R—电阻，单位为欧 (Ω)</p> <p>X_L—感抗，单位为欧 (Ω)</p> <p>X_C—容抗，单位为欧 (Ω)</p> <p>ω—角频率，单位为弧度/秒 (rad/s)</p> <p>f—频率，单位为赫 (Hz)</p> <p>L—电感，单位为亨利，简称亨 (H)</p> <p>C—电容，单位为法拉，简称法 (F)</p>
感抗	交流电通过具有电感线圈的电路时，电感有阻碍交流电通过的作用，这种阻碍作用称为感抗，用英文字母 X_L 表示	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	
容抗	交流电通过具有电容的电路时，电容有阻碍交流电通过的作用，这种阻碍作用称为容抗，用英文字母 X_C 表示	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$	

(续)

名称	定义	公式	备注
电阻、电感串联的阻抗		 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	
电阻、电容串联的阻抗		 $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	
电阻、电感、电容串联的阻抗		 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $= \sqrt{R^2 + X^2}$	<p>Z—阻抗, 单位为欧 (Ω)</p> <p>R—电阻, 单位为欧 (Ω)</p> <p>X_L—感抗, 单位为欧 (Ω)</p> <p>X_C—容抗, 单位为欧 (Ω)</p> <p>X—电抗, 单位为欧 (Ω)</p> <p style="text-align: center;">$X = X_L - X_C$</p>
电阻、电感并联的阻抗		 $\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$	<p>当 $X_L > X_C$ 时电路呈电感性</p> <p>当 $X_L < X_C$ 时电路呈电容性</p>
电阻、电容并联的阻抗		 $\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$	

名称	定义	公式	备注
相电压	三相交流电路中，三相输电线（相线）与中性线之间的电压称为相电压，用符号 U_ϕ 表示	<p>三相交流电路 负载的星形联结 (Y)</p> 	
相电流	三相交流电路中，每相负载中流过的电流称为相电流，用符号 I_ϕ 表示	$U_1 = \sqrt{3}U_\phi$ $I_1 = I_\phi$	U_1 —线电压，单位为伏 (V) U_ϕ —相电压，单位为伏 (V)
线电压	三相交流电路中，三相输电线（相线）各线之间的电压称为线电压，用符号 U_1 表示	<p>三相交流电路 负载的三角形联结 (Δ)</p> 	I_1 —线电流，单位为安 (A) I_ϕ —相电流，单位为安 (A)
线电流	三相交流电路中，三相输电线（相线）各线中流过的电流称为线电流，用符号 I_1 表示	$U_1 = U_\phi$ $I_1 = \sqrt{3}I_\phi$	

(续)

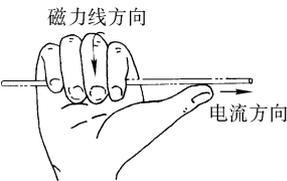
名称	定 义	公 式	备 注
视在功率	<p>在具有电阻和电抗的交流电路中, 电压有效值与电流有效值的乘积称为视在功率, 用英文字母 S 表示, 单位为伏安 (VA)</p>	<p>单相交流电路: $S = UI$</p> <p>对称三相交流电路: $S = 3U_{\phi}I_{\phi} = \sqrt{3}U_1I_1$</p>	<p>S—视在功率, 单位为伏安 (VA)</p> <p>U—电压有效值, 单位为伏 (V)</p> <p>I—电流有效值, 单位为安 (A)</p> <p>U_{ϕ}—相电压, 单位为伏 (V)</p> <p>I_{ϕ}—相电流, 单位为安 (A)</p> <p>U_1—线电压, 单位为伏 (V)</p> <p>I_1—线电流, 单位为安 (A)</p>
有功功率	<p>在交流电路中, 交流电的瞬时功率不是一个恒定值, 瞬时功率在一个周期内的平均值称为有功功率。它是指交流电路中电阻部分所消耗的功率, 用英文字母 P 表示, 单位为瓦 (W)</p>	<p>单相交流电路: $P = UI\cos\varphi$</p> <p>对称三相交流电路: $P = 3U_{\phi}I_{\phi}\cos\varphi = \sqrt{3}U_1I_1\cos\varphi$</p>	<p>φ—相电压与相电流的相位差</p> <p>$\cos\varphi$—功率因数</p> <p>P—有功功率, 单位为瓦特, 简称瓦 (W)</p> <p>U_{ϕ}—相电压, 单位为伏 (V)</p> <p>I_{ϕ}—相电流, 单位为安 (A)</p>
无功功率	<p>在具有电感 (或电容) 的交流电路中, 电感 (或电容) 在半个周期的时间内把电源的能量变成磁场 (或电场) 的能量</p>	<p>单相交流电路: $Q = UI\sin\varphi$</p>	<p>Q—无功功率, 单位为乏 (var)</p> <p>U—电压有效值, 单位为伏 (V)</p> <p>I—电流有效值, 单位为安 (A)</p>

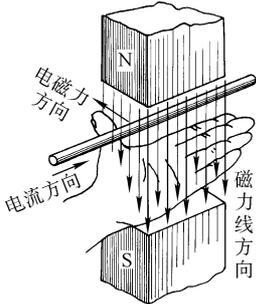
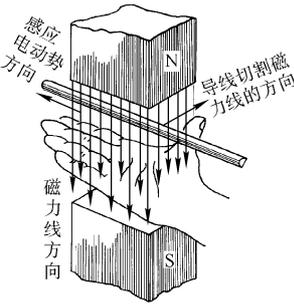
名称	定义	公式	备注
无功功率	<p>存储起来, 在另外半个周期的时间里又把存储的磁场 (或电场) 能量送回给电源。它们只是与电源进行能量交换, 并没有真正消耗能量, 故此功率称为无功功率, 用英文字母 Q 表示, 单位为乏 (var)。无功功率在数值上等于电压有效值和电流有效值与电压和电流的相位差 φ 的正弦的乘积</p>	<p>对称三相交流电路:</p> $Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin\varphi$ $= \sqrt{3}U_1 I_1 \sin\varphi$	<p>U_1—线电压, 单位为伏 (V) I_1—线电流, 单位为安 (A) φ—相电压与相电流的相位差 $\cos\varphi$—功率因数</p>
功率因数	<p>交流电路中电压有效值与电流有效值的乘积为视在功率, 而真正起到作功的一部分功率 (即有功功率) 将小于视在功率。有功功率与视在功率之比称为功率因数, 用 $\cos\varphi$ 表示。功率因数只与电路的参数 (电阻、感抗、容抗) 和频率有关, 与电压、电流的大小无关</p>	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$	<p>S—视在功率, 单位为伏安 (VA) P—有功功率, 单位为瓦 (W) Q—无功功率, 单位为乏 (var)</p>

1-4 常用的电磁感应定律有哪些？

常用的电磁感应定律见表 1-3。

表 1-3 常用的电磁感应定律

名称	定义	内容	备注
直线导体右手螺旋定则	当电流流过直线导体时，导体的周围会产生磁场。直线导体右手螺旋定则是确定通电直线导体产生的磁场方向的规则		用右手握住导线，使拇指指向电流方向，则其余四指所指的方向就是磁力线（磁场）的方向
螺旋线圈右手螺旋定则	当电流流过螺旋线圈时，线圈内会产生磁场。螺旋线圈右手定则是确定通电螺旋线圈内部产生的磁场方向的规则		用右手握住线圈，使四指指向电流方向，则拇指所指的方向就是磁力线（磁场）的方向

名称	定义	内容	备注
左手定则	<p>左手定则 又称电动机左手定则。它是确定载流导体在磁场中受力时，磁场方向、电流方向和载流导体受力方向三者之间关系的规则</p>		<p>平伸左手掌，使拇指与其他四指垂直，将掌心对着磁场的北极（N极），即让磁力线从手心垂直穿过，使四指指向电流的方向，那么拇指所指的方向就是导体所受电磁力的方向</p>
右手定则	<p>右手定则 又称发电机右手定则。它是表示磁场方向、导体运动方向和感应电动势方向三者之间关系的规则</p>		<p>平伸右手掌，使拇指与其他四指垂直，将掌心对着磁场的北极（N极），即让磁力线从手心垂直穿过，使拇指指向导体运动的方向，那么四指的指向就是导体内感应电动势的方向</p>

第 2 章

常用电工仪表原理与应用

2-1 什么是电工测量?

电工测量是借助于测量设备,将被测量的电量或磁量,与作为测量电位的同类标准量进行比较,从而确定被测电量或磁量的过程。比较的结果一般包括单位名称和数据值两个部分。

测量单位的确定和统一是非常重要的。为了对同一量在不同时间和地点进行测量时都能得到相同的结果,必须采用一种公认而又固定不变的单位。只有这样测量才有实际意义。

电工测量的数据主要是反映电和磁特征的物理量,如电流、电压、电功率、电能等;反映电路特征的物理量,如电阻、电容、电感等;反映电和磁变化规律的物理量,如频率、相位、功率因数等。进行电量或磁量测量的各种仪器、仪表,统称为电工测量仪表。进行电工测量时,还应根据被测量的性质和测量的目的,选择不同的测量仪表和不同的测量方法。

2-2 常用电工测量方法有哪几种?

常用电工测量方法有三种。

1) 直接测量法:直接测量指测量结果可从一次测量的数据中得到。如用电流表测量电流、用电压表测量电压、用欧姆表测

量电阻等都属于直接测量法。此方法测量简便、读数迅速、但准确度较低。

2) 间接测量法：间接测量只能测出与被测量有关的电量，然后经过计算求得被测量。如用伏安法测量电阻时，先用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和流过该电阻的电流，最后再根据欧姆定律计算出被测电阻的大小。间接测量法的误差比直接测量法要大。

3) 比较测量法：比较测量是将被测的量与度量器在比较仪器中进行比较后，而得到被测量数值的一种方法。比较法的优点是准确度和灵敏度都较高，其准确度最小时可达 $\pm 0.001\%$ ；缺点是操作麻烦、设备复杂，此方法常用于精密测量。

2-3 什么是电工仪表？电工仪表有哪些类型？

电工仪表是用来测量电流、电压、电阻、电能、功率、相位角、频率等电气参数的仪表。常用的电工仪表有电流表、电压表、电能表、钳形表、绝缘电阻表、万用表、数字万用表等。

常用电工仪表种类繁多，有多种不同的分类方法，通常可分为以下四种类型。

1) 指示仪表：在电工测量领域中，指示仪表品种最多，应用最为广泛，其分类方法如下：

① 按工作原理分类：磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系仪表等类型。

② 按被测量分类：电流表、电压表、电能表、功率表、绝缘电阻表等类型。

③ 按使用方法分类：便携式和安装式仪表。

④ 按准确度等级分类：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0等7个准确度等级类型的仪表。

⑤ 按使用条件分类：A、B、C 3组类型的仪表。

⑥ 按仪表防御外界条件分类：I、II、III、IV 4种类型。

2) 比较仪表: 比较仪表用于比较测量中, 它包括各类交、直流电桥及直流电位差计等。比较法测量准确度高, 但操作比较复杂。

3) 图示仪表: 图示仪表主要用来显示两个相关量的变化关系, 这类仪表直观效果好, 常用的有示波器。

4) 数字仪表: 数字仪表是采用数字测量技术, 将被测的模拟量转换为数字量, 直接读出, 常用的有数字电压表、数字万用表等。

2-4 电工仪表的主要技术特性有哪些?

技术特性是衡量电气测量指示仪表质量的主要技术指标, 不同种类、不同用途的仪表所应具备的技术特性, 在国家有关标准中都作了明确规定。对电工指示仪表主要有以下几个方面的要求: ①有足够的准确度; ②有合适的灵敏度; ③仪表本身消耗的功率小; ④有良好的读数装置; ⑤有良好的阻尼; ⑥有足够的绝缘强度和过载能力。

仪表的准确度是指仪表在规定条件下工作时, 可能产生的最大误差占满刻度的百分数。它是用来表示基本误差大小的, 基本误差越小, 表明仪表的准确度就越高。

各级仪表的准确度等级和基本误差见表 2-1。

表 2-1 仪表的准确度等级和基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

注: 其他准确度等级还有 0.05、0.3、2.0、3.0、10.0、20.0 等。

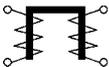
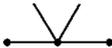
2-5 电工仪表面板符号的含义是什么?

电工仪表面板上标有各种符号, 表明仪表的基本特性。常用电工仪表的面板符号见表 2-2。

表 2-2 常用电工仪表的面板符号

被测量的性质		使用位置	
名称	符号	名称	符号
直线路路和/或直流响应的测量元件		仪表按 D-3 使用的例子, 标称使用范围为 45° ~ 75°	
交流线路和/或交流响应的测量元件			
直流和/或交流线路和/或直流和交流响应的测量元件		准确度等级	
三相交流线路 (通用符号)	3~	名称	符号
使用位置		等级指数 (例如 1) 基准值为标度尺长或指示值或量程者除外	1
名称	符号	等级指数 (例如 1), 基准值为标度尺长	
标度盘垂直使用的仪表		等级指数 (例如 1), 基准值为指示值	
标度盘水平使用的仪表		等级指数 (例如 1), 基准值为量程	
标度盘相对水平面倾斜 (例如 60°) 的仪表		常用符号	
仪表按 D-1 使用的例子, 标称使用范围为 80° ~ 100°		名称	符号
仪表按 D-2 使用的例子, 标称使用范围为 -1° ~ +1°		磁电系仪表	
		磁电系比率表	

(续)

使用位置		使用位置	
名 称	符 号	名 称	符 号
动磁系仪表		铁磁电动 (铁心电动) 系比率表	
动磁系比率表			感应系仪表
电磁系仪表		感应系比率表	
极化电磁系仪表		双金属系仪表	
电磁系比率表		静电系仪表	
电动系仪表		振簧系仪表	
铁磁电动 (铁心电动)		直热式热电偶 (热电变换器)	
电动系比率表		间热式热电偶 (热电变换器)	

2-6 电流表的量程是怎样扩大的?

磁电系测量机构本身直接能测量电流的能力很小,一般在几十微安到几十毫安之间。如果采用增加分流器的方法,便可以组成能测量较大电流的电流表,其分流器的大小取决于要扩大的电流值。其原理如图 2-1 所示。多量程电流表就是依据这一原理并联几个不同电阻组成的。

电流表分流电阻的计算公式如下:

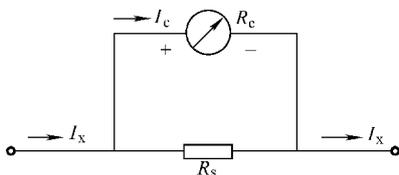


图 2-1 电流表的扩程原理图

$$R_s = \frac{R_c}{n - 1}$$

式中, R_s 为电流表分流电阻; n 为电流量程的扩大倍数; R_c 为仪表表头的内阻。

例 2-1 有一磁电系测量机构, 它的满偏电流 I_c 为 $500\mu\text{A}$, 表头内阻 R_c 为 200Ω , 若要把它改制成量程为 1A 的电流表, 应并联一个多大的分流电阻?

解: 因为
$$n = \frac{I_x}{I_c} = \frac{1\text{A}}{500 \times 10^{-6}\text{A}} = 2000$$

所以
$$R_s = \frac{R_c}{n - 1} = \frac{200\Omega}{2000 - 1} \approx 0.1\Omega$$

也就是说, 需要并联一个 0.1Ω 的电阻。

2-7 电压表的量程是怎样扩大的?

磁电系测量机构本身允许通过的电流很小, 所以它的两端也只能加很小的电压, 不能直接测量较大的电压。为扩大电压表的量程, 一般采用附加电阻与测量机构串联, 其原理如图 2-2 所示。多量程电压表就是依据这一原理串联几个不同电阻组成的。

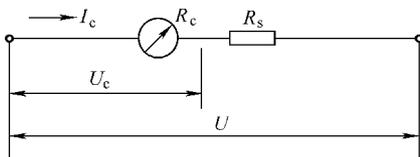


图 2-2 电压表的扩程原理图

电压表扩程后附加电阻的计算公式如下：

$$R_s = (m - 1)R_c$$

式中， R_s 为电压表扩程后的附加电阻； m 为电压量程的扩大倍数； R_c 为仪表表头的内阻。

例 2-2 有一磁电系测量机构，它的满偏电流 I_c 为 $500\mu\text{A}$ ，表头内阻 R_c 为 200Ω ，若要把它改制成量程为 30V 的电压表，应串联一个多大的附加电阻？

解：因为 $U_c = I_c R_c = 500 \times 10^{-6} \text{A} \times 200\Omega = 0.1\text{V}$

$$m = \frac{U}{U_c} = \frac{30\text{V}}{0.1\text{V}} = 300$$

所以 $R_s = (m - 1)R_c = (300 - 1) \times 200\Omega = 59800\Omega$

也就是说，需要串联一个 59800Ω 的附加电阻。

2-8 如何选用电流表和电压表？

电流表和电压表的测量机构基本相同，但在测量线路中的连接有所不同。因此，在选择和使用电流表和电压时应注意以下几点：

1) 类型的选择：当被测量是直流时，应选直流表，即磁电系测量机构的仪表。当被测量是交流时，应注意其波形与频率。若为正弦波，只需测出有效值即可换算为其他值（如最大值、平均值等），采用任何一种交流表即可。若为非正弦波，则应区分需测量的是什么值，有效值可选用电磁系或铁磁电动系测量机构的仪表；平均值则选用整流系测量机构的仪表。而电动系测量机构的仪表，常用于交流电流和电压的精密测量。

2) 准确度的选择：因仪表的准确度越高，价格越贵，维修也较困难；而且，若其他条件配合不当，再高准确度等级的仪表，也未必能得到准确的测量结果。因此，在选用准确度较低的仪表可满足测量要求的情况下，就不要选用高准确度的仪表。通常 0.1 级和 0.2 级仪表作为标准表选用；0.5 级和 1.0 级仪表作为实验室测量使用；1.5 级以下的仪表一般作为工程测量选用。

3) 量程的选择: 要充分发挥仪表准确度的作用, 还必须根据被测量的大小, 合理选用仪表量程, 如选择不当, 其测量误差将会很大。一般使仪表对被测量的指示大于仪表最大量程的 $1/2 \sim 2/3$ 以上, 而不能超过其最大量程。

4) 内阻的选择: 选择仪表还应根据被测阻抗的大小来选择仪表的内阻, 否则会给测量结果带来较大的测量误差。因内阻的大小反映仪表本身功率的消耗。所以, 在测量电流时, 应选用内阻尽可能小的电流表。测量电压时, 应选用内阻尽可能大的电压表。

5) 正确接线: 测量电流时, 电流表应与被测电路串联; 测量电压时, 电压表应与被测电路并联。测量直流电流和电压时, 必须注意仪表的极性, 应使仪表的极性与被测量的极性一致。

6) 高电压、大电流的测量: 测量高电压或大电流时, 必须采用电压互感器或电流互感器。电压表和电流表的量程应与互感器二次侧的额定值相符。一般电压为 100V , 电流为 5A 。

7) 量程的扩大: 当电路中的被测量超过仪表的量程时, 可采用外附分流器或分压器, 但应注意其准确度等级应与仪表的准确度等级相符。

另外, 还应注意仪表的使用环境符合要求, 要远离外磁场, 使用前应使指针处于零位, 读数时应使视线与标度尺平面垂直等。

2-9 如何测量直流电流和交流电流?

1) 直流电流的测量: 测量直流电流时, 电流表的接法如图 2-3 所示。

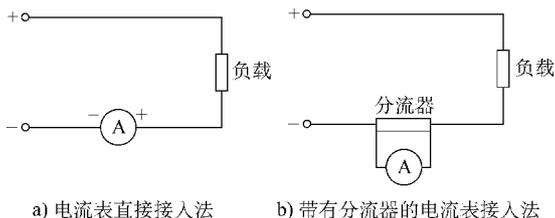


图 2-3 直流电流的测量

2) 交流电流的测量：测量交流电流时，电流表的接法如图 2-4 所示。

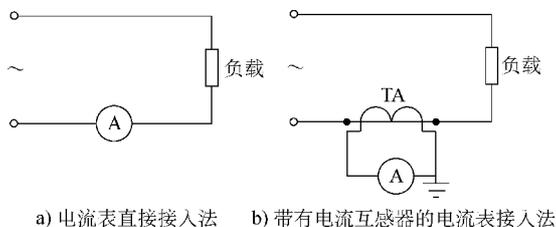


图 2-4 交流电流的测量

2-10 如何测量直流电压和交流电压？

1) 直流电压的测量：测量直流电压时，电压表的接法如图 2-5 所示。

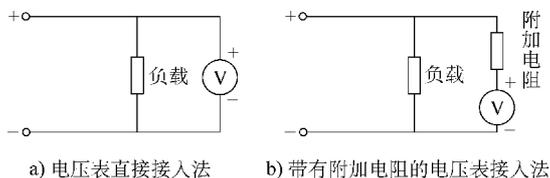


图 2-5 直流电压的测量

2) 交流电压的测量：测量交流电压时，电压表的接法如图 2-6 所示。

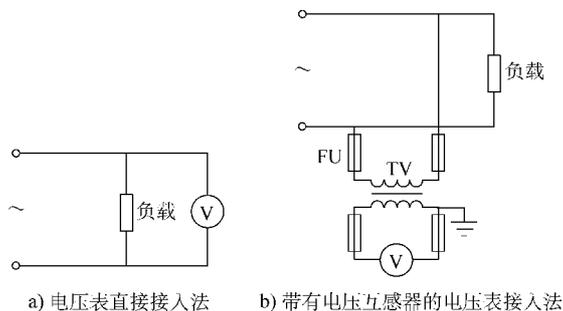


图 2-6 交流电压的测量

2-11 什么是万用表？万用表有哪些类型？

万用表（又称繁用表、多用表）是一种多量限、多用途的电工仪表。一般的万用表可测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻等，有些万用表还可测量交流电流、功率、电感、电容和音频电平等。万用表的性能主要以测量灵敏度来衡量，灵敏度以测量电压时每伏若干欧来表示，一般为 $1000\Omega/V$ ， $2000\Omega/V$ ， $5000\Omega/V$ ， $10000\Omega/V$ 等，数值越大灵敏度越高，测量结果越准确。

常用的万用表有指针式万用表（又称模拟式万用表，简称万用表）和数字式万用表。

目前国产万用表的种类繁多，型号达数百种，可按以下几种情况进行分类。

1. 按表头分类

1) 传统的万用表采用外磁式动圈结构的表头：靠轴承支撑动圈，因此体积较大、扩展性能差，并且由于轴承与轴尖之间存在摩擦力，限制了仪表准确度和灵敏度的进一步提高。

2) 新型的万用表多采用内磁式张丝结构的表头：其优点是磁场集中、磁能利用率高、表头的体积小。

2. 按外形分类

1) 便携式万用表：便携式万用表优点是携带比较方便、仪表的刻度盘较大、读数准确，但不足之处是体积较大。

2) 袖珍式万用表：袖珍式万用表的体积小，可放在手掌上，因此携带更加方便。

3) 薄型万用表：近年来薄型万用表已成为一种流行款式。

3. 按功能分类

1) 简易型万用表：简易型万用表的价格低廉，性能指标较差，主要用来测量电流、电压和电阻。

2) 多功能万用表：多功能万用表测量功能较强、价格也较高，增加了测量电容、电感、晶体管参数等功能。

2-12 万用表由哪几部分组成？

万用表主要由表头（又称测量机构）、测量电路和转换开关三大部分组成。表头用来以指示被测量的数值；测量电路用来把各种被测量转换到适合表头测量的直流微小电流；转换开关用来实现对不同测量线路的选择，以适应各种测量要求。转换开关有单转换开关和双转换开关两种。

在万用表的面板上带有多条标度尺的刻度盘、有转换开关的旋钮、有在测量电阻时实现欧姆调零的电阻调零器、有供接线用的接线柱（或插孔）等。各种型号的万用表外观和面板布置虽不相同，功能也有差异，但三个基本组成部分是构成各种型号万用表的基础。万用表的外形图如图 2-7 所示。万用表简化原理电路图如图 2-8 所示。

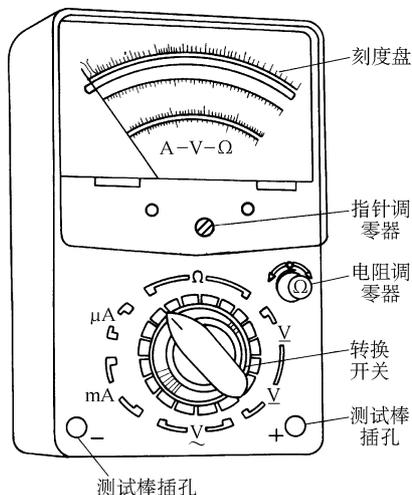


图 2-7 万用表的外形图

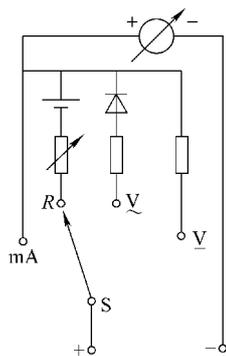


图 2-8 万用表简化原理电路图

2-13 万用表是怎样进行测量的？

1) 万用表测量直流电流的电路：万用表测量直流电流的电

路如图 2-9 所示, μA 为万用表的磁电系微安表头, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 是为扩大量程而并联的分流电阻, S 为转换开关, “+”、“-” 为表笔插孔。当转换开关 S 由位置 1 依次置于 2、3、4 时, 分流电阻则逐渐减小, 而量程范围却不断扩大, 从而可以实现不同范围的直流电流的测量。

2) 万用表测量直流电压的电路: 万用表测量直流电压的电路如图 2-10 所示, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 是为了扩大量程而串联的附加电阻。当转换开关 S 由位置 1 依次置于 2、3、4 时, 附加电阻值不断减小, 于是测量电压的量程也随之减小, 从而可以实现不同范围的直流电压的测量。

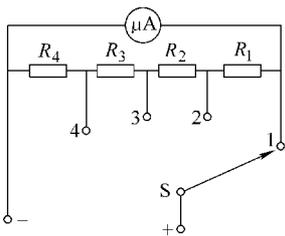


图 2-9 万用表测量直流
电流的电路

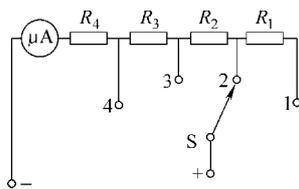


图 2-10 万用表测量直流
电压的电路

3) 万用表测量交流电压的电路: 万用表测量交流电压的电路如图 2-11 所示, 它与测量直流电压的原理和方法相同, 所不同的是增加了一个桥式整流器, 使交流电流经过整流后再通过表头。

4) 万用表测量电阻的电路: 万用表测量电阻的电路如图 2-12 所示, E 为万用表内部电源 (干电池), R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为扩大量程而采用的可调电阻, R_x 为被测电阻, 整个测量电阻回路接成一个桥形电路, 当转换开关 S 置于 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1\text{k}$ 等不同位置时, 可以实现不同范围的电阻测量。

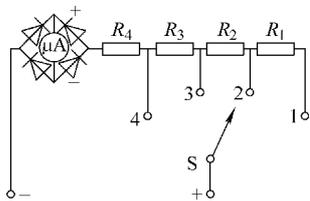


图 2-11 万用表测量交流电压的电路

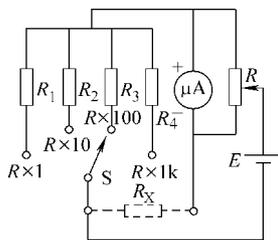


图 2-12 万用表测量电阻的电路

2-14 如何选用万用表？

万用表的用途广泛，可测量的电量较多，量程也多，其结构形式各不相同，往往因使用不当或疏忽大意造成测量误差或仪表损坏事故，因此必须正确使用万用表，一般应注意以下几点：

1) 接线柱（插孔）的选择：在测量前，检查表笔应接插孔的位置，测量直流电流或直流电压时，红表笔的连接线应接在红色接线柱或标有“+”的插孔内，另一端接被测对象的正极；黑表笔的连接线应接在黑色接线柱或标有“*”的插孔内，另一端接被测对象的负极。测量电流时，应将万用表串联在被测电路中；测量电压时，应将万用表并联在被测电路中。

若不知道被测部分的正负极性，应先将转换开关置于直流电压最高档，然后将一表笔接入被测电路任意一极上，再将另一端表笔在被测电路的另一极上轻轻一触，立即拿开，观察指针的偏转方向，若指针往正方向偏转，则红表笔接触的为正极，另一极为负极；若指针往反方向偏转，则红表笔接触的为负极，另一极为正极。

2) 种类的选择：根据被测的对象，将转换开关旋至需要的位置。例如，需要测量交流电压，则将转换开关旋至标有“V”的区间，其余类推。

3) 量程的选择：根据被测量的大致范围，将转换开关旋至

该种类区间适当量限上。例如，测量 220V 交流电压，应选用 250V 的量程档。通常在测量电流、电压时，应使指针的偏转在量程的 1/2 或 2/3 附近，读数较为准确。若预先不知被测量的大小，为避免量程选得过小而损坏万用表，应选择该种类最大量程预测，然后再选择合适的量程，以减小测量误差。

4) 正确读数：万用表的标度盘上有多条标度尺，它们代表不同的测量种类。测量时，应根据转换开关所选择的种类及量程，在对应的标度尺上读数，并应注意所选择的量程与标度尺上的读数的倍率关系。例如，标有“DC”或“—”的标度尺为测量直流时用的；标有“AC”或“~”的标度尺为测量交流时用的（有些万用表的交流标度尺用红色特别标出）；在有些万用表上还有交流低电压档的专用标度尺，如 6V 或 10V 等专用标度尺；标有“ Ω ”的标度尺是测量电阻用的。

5) 电阻档的正确使用：在使用万用表电阻档测量电阻时应注意以下几点：

① 选择适当的倍率：在用万用表测量电阻时，应选择好适当的倍率档，使指针指示在刻度较稀的部分。由于电阻档的标度尺是反刻度方向，即左边是“ ∞ ”（无穷大），最右边是“0”，并且刻度不均匀，越往左，刻度越密，读数准确度越低，因此应使指针偏转在刻度较稀处，且以偏转在标度尺的中间附近为宜。例如，要测量一只阻值为 100 Ω 左右的电阻，若选用“ $R \times 1$ ”档来测量，万用表的指针将靠近高电阻的一端，读数较密，不易读取标度尺上的示值，因此应选用“ $R \times 10$ ”的一档来测量。

② 调零：在测量电阻之前，首先应进行调零，将红、黑两表笔短接，同时转动欧姆调零旋钮，使指针指到电阻标度尺的“0”刻线上。每更换一次倍率档，都应先调零，才能进行测量。若指针调不到零位，应更换新的电池。

③ 不能带电测量：测量电阻的欧姆档是由于电池供电的，因此在测量电阻时，绝不能带电进行测量。

④ 被测对象不能有并联支路：当被测对象有并联支路存在时，应把被测电阻的一端焊下，然后再进行测量，以确保测量结果的准确。

⑤ 在使用万用表欧姆档的间歇中：不要让两支表笔短接，以免浪费干电池。若万用表长期不用，应将表内电池取出，以防电池腐蚀损坏其他元器件。

2-15 使用万用表时应注意什么？

用万用表测量高电压或大电流时应注意以下安全事项：

1) 要有监护人，监护人的技术等级要高于测量人员。监护人的作用是，使测量人与带电体保持规定的安全距离，监护测量人正确使用万用表和测量，若测量人不懂测量技术，监护人有权利停止其测量工作。

2) 测量时，不要用手触摸表笔的金属部分，以保证安全和测量准确性。

3) 测量时，要注意被测量的极性，避免指针反打而损坏万用表，测量直流时，红表笔接正极，黑表笔接负极。

4) 测量高电压或大电流时，不能在测量时旋转转换开关，避免转换开关的触头产生电弧而损坏开关。

5) 为了确保安全，测量交直流 2500V 量限时，应将测试棒一端固定接在电路地电位上，将测试棒的另一端去接触被测高压电源，测试过程中应严格执行高压操作规程，双手必须戴高压绝缘橡胶手套，地板应铺置高压绝缘橡胶板，测试时应谨慎从事。

6) 当不知被测电压或电流有多大时，应先将量程档置于最高档，然后再向低量程逐渐转换。

7) 测量完毕后，应将转换开关旋至交流电压最高档；这样一方面可防止转换开关放在欧姆档时，表笔短接，长期消耗表内电池，更主要的是可以防止在下次测量时，忘记旋转转换开关而损坏万用表。

2-16 数字万用表有哪些特点？

数字万用表是指能将测量的连续电量自动的变成断续电量，然后进行数字编码，并将测量结果以数字显示出来的电测仪表。

数字万用表主要具有以下特点：准确度高、分辨力高、显示直观、读数准确、测量速率快、输入阻抗高、过载能力强、测量参数多、功能齐全、性能稳定、耗电省、体积小、便于携带等特点。它是综合了电子技术和微计算机技术的最新成果，而发展起来的新型仪表，在电工测量中应用较广泛。

2-17 数字万用表由哪几部分组成？它是怎样工作的？

数字万用表由数字电压表（简称为 DVM）配上各种变换器所构成的，因而具有交直流电压、交直流电流和电阻等多种测量功能。数字电压表是数字万用表的核心，数字电压表的线路由模拟电路、数字电路和供电电源三大部分组成，其结构如图 2-13 所示。

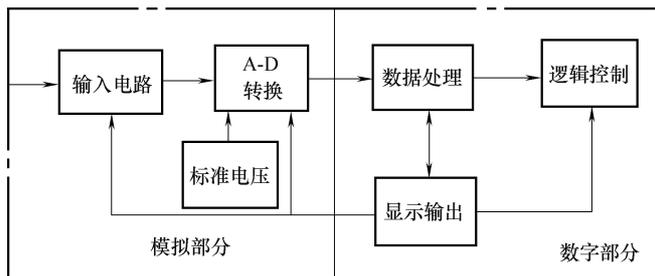


图 2-13 数字电压表的结构框图

图中的输入电路通常由衰减器/放大器构成。A-D（模-数）转换电路是数字电压表的核心，它决定了数字电压表技术性能的基本特征。不同的 A-D 转换电路构成了不同原理的数字电压表。数据处理和逻辑控制部分基本上决定了仪表的自动化和智能化程

度。它们可以简单地由计数器和一些门电路及触发器构成，也可以由微处理器组成一个复杂的信号处理系统。数字显示器直观而清晰地显示出测量结果。

数字万用表的工作原理是采用运算放大器和集成电路，通过A-D转换，将被测量用数字形式显示出来。其结构与指针式万用表的构成原理（以直流磁电系仪表为基础，配以其他部分）相类似，数字万用表是以直流数字电压表为基础，配以交流电压-直流电压转换器、直流电流-直流电压转换器、电阻-直流电压转换器等部件，从而形成能测量交、直流电压，交、直流电流及直流电阻的多功能数字测量仪表。

2-18 怎样使用数字万用表？

1) 使用数字万用表之前，应认真阅读有关的使用说明书，熟悉电源开关、量程开关、功能键和量程键、输入插孔、 h_{FE} 插口、旋钮（如“零位调整旋钮”）的作用，以及更换电池和熔丝管的方法。还应了解仪表的过载显示符号、过载报警声音、极性显示符号、低电压指示符号的特点，掌握小数点位置随量程开关的位置而变化的规律。一旦发生问题，也能做到心中有数，正确、迅速地加以处理，使测量顺利进行。数字万用表在刚测量时，显示屏上的数值会有跳数现象，应待显示数值稳定后才能读数，以减少测量误差。严禁在测量的同时转换量程开关，特别是高电压、大电流的情况，以免产生电弧烧损量程开关。

尽管数字万用表采用较完善的过电压保护与过电流保护措施，仍需防止出现操作上的误动作（如用电流档去测量电压等），以免损坏仪表。在测量前，必须认真核对一下量程开关（或按键）的位置，确认无误后，方可实际测量。对于能自动选择量程的数字万用表，也要注意功能键不得按错，输入插孔也不允许接错。

2) 在使用数字万用表测量之前，应先估计被测量的大小范围，尽可能选用接近满度的量程，这样可提高测量准确度。如测

10k Ω 电阻，宜用 20k Ω 档，而不宜用 200k Ω 档或更高档。如果预先不能估计被测量值的大小，可从最高档开始测，逐渐减少到合适的量程位置。当发现测量结果显示只有“半位”上的读数“1”时，表明被测值超出所在档范围（称溢出），说明量程选的太小，应转换大量程。

3) 测量电压时，应将数字万用表与被测电路并联。数字万用表具有自动转换极性的功能，测量直流电压时不必考虑正、负极性。但是，如果误用交流电压档去测量直流电压，或误用直流电压档去测量交流电压，将显示“000”，或在低位上出现跳数现象。

4) 测量交流电压时，应当用黑表笔（接模拟地 COM）去接触被测电压的低电位端（例如，信号发生器的公共地端或机壳），以消除仪表对地分布电容的影响，减少测量误差。

5) 数字万用表的输入阻抗很高，当两支表笔开路时，外界干扰信号会从输入端窜入，显示出没有变化规律的数字，这属于正常现象。干扰信号包括由荧光灯、电机等产生的 50Hz 干扰，以及空间电磁场干扰、电火花干扰等。因为上述干扰属于高内阻的信号，所以当被测电压的内阻较低时，干扰信号就被短路掉了，不会影响到测量准确度。但是，如果被测电压很低，内阻又超过 1M Ω ，那么就会引起外界干扰。必要时，可将表笔改成屏蔽线接通大地，可以消除从表笔线感应进去的干扰信号。

6) 测量电流时，应将数字万用表串联到被测电路中，如果电源内阻和负载电阻都很小，应尽量选择较大的电流量程，以降低分流电阻值，减小分流电阻上的压降，提高测量准确度。测量直流电流时，也不必考虑正、负极性，仪表可自动显示极性。

7) 数字万用表 A-D 转换器实际反映的是正弦电压的平均值，而正弦电压有效值与平均值存在确定关系，所以通过调整电路即可直接显示出有效值。但是，当被测正弦电压的非线性失真大于 5% 时，测量误差会明显增大。

数字万用表不能直接测量方波、矩形波、三角波、锯齿波等

非正弦电压。但对于周期性变化的非正弦电压，只要确定其变化规律，可采用相应的方法测量出电压的有效值和峰值。

8) 在电阻档，以及检测二极管时，红表笔接 $V \cdot \Omega$ 插孔，带正电；黑表笔接模拟地 COM 插孔，带负电，这与指针式万用表恰好相反。指针式万用表置于电阻档时，红表笔接表内电池的负极，所以带负电；黑表笔接电池的正极，则带正电。测量二极管、电解电容等有极性的元器件时，必须注意两支表笔的极性。

9) 测量焊接在线路上的元器件，应当考虑与之并联的其他电阻的影响，必要时可焊下被测元件的一端，然后再进行测量，对于晶体管则需焊开两个电极，才能作全面检测。

测量电阻时，两手应持表笔的绝缘杆，不得碰触表笔金属端或元件引出端，以免带来测量误差。尤其在测量几兆欧以上的大电阻时，人体等效电阻不能与被测电阻并联。

10) 新型数字万用表大多带读数保持 (HOLD) 键，按下此键即可将现在的读数保持下来，供读取数值或记录用。作连续测量时不需要使用此键，否则仪表不能正常采样并刷新新值。刚开机时，若固定显示某一数值且不随被测量发生变化，就是误按下 HOLD 键而造成的。松开此键即转入正常测量状态。

11) 数字万用表检查测量线路通断时，应将量程开关拨到“(··)”)”蜂鸣器档，红、黑表笔分别插入“ $V \cdot \Omega$ ”和“COM”插口。若蜂鸣器发出叫声，说明线路接通。

12) 当数字万用表测量电容时，因各电容档都存在失调电压，不测电容时也会显示从几个到几十个字的初始值。因此，在测量前必须调整零位调节旋钮，使初始值为 000 或 -000，然后再接上被测电容。测量时两手不得触及电容的电极引线或表笔的金属端，否则数字万用表将严重跳数，甚至过载。

13) 有些数字万用表具有自动关机功能，当仪表停止使用或停留在某一档位的时间超过 15min 时，能自动切断主电源，使仪表进入低功率的备用状态。此时不能继续测量，必须按动两次电源开关，才能恢复正常。对于此类仪表，使用过程中发现

LCD（液晶显示器）突然消隐，证明仪表进入备用状态，而非故障。

14) 若将电源开关拨至“ON”位置，液晶不显示任何数字，应检查叠层电池是否失效，若发现数字万用表电池电压过低告警指示时，应更换电池。换新电池时，正、负极性不得装反，否则仪表不能正常工作，还极易损坏集成电路。

15) 为了延长电池的使用寿命，每次用完后，应将电源开关置于“OFF”位置。长期不用时，要取出电池，防止因电池漏液而腐蚀印制电路板。

2-19 什么是钳形电流表？

钳形电流表又称卡表，它是用来在不切断电路的条件下测量交流电流（有些钳形电流表也可测直流电流）的携带式仪表。

钳形电流表具有使用方便，不用拆线、切断电源及重新接线等特点。但它只限于在被测线路电压不超过 500V 的情况下使用，且准确度较低，一般只有 2.5 级和 5.0 级。

2-20 钳形电流表由哪几部分组成？它是怎样工作的？

钳形电流表的结构如图 2-14 所示。

钳形电流表的工作原理是当握紧钳形电流表的扳手时，电流互感器的铁心便张开，将被测电流的导线卡入钳口中，成为电流互感器的一次绕组，放开扳手，则铁心的钳口闭合。这时钳口中通过导线的电流，使绕在铁心上的线圈（相当于电流互感器的二次绕组）感应出电流，其大小取决于导线的

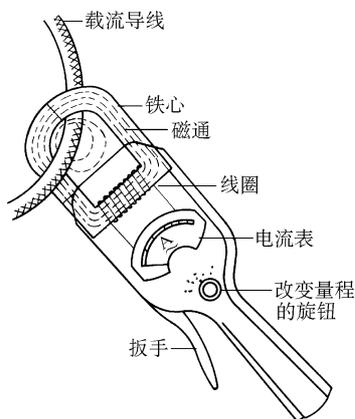


图 2-14 钳形电流表的结构图

工作电流和圈数比。电流表接在二次绕组的两端，它所指示的电流取决于二次绕组中的电流，该电流的大小与导线中的工作电流成正比。因此，当导线中有工作电流流过时，与二次绕组相接的电流表指针便按比例偏转，指示出被测电流值。

2-21 使用钳形电流表时应注意哪些事项？

1) 测量前，应检查钳形电流表的指针是否在零位，若不在零位，应调至零位。

2) 钳形电流表一般通过转换开关来改变量程，也有通过更换表头来改变量程的。测量时，应对被测电流进行粗略的估计，选好适当的量程。如被测电流无法估计时，应将转换开关置于最高档，然后根据测量值的大小，变换到合适的量程。应注意不要在测量过程中切换量程，以及保证设备及人身安全。

3) 进行测量时，被测导线应置于钳口的中心位置，以减少测量误差。

4) 为了使读数准确，钳口的结合面应保持有良好的接触。当被测量的导线被卡入钳形电流表的钳口后，若发现有明显噪声或指针振动厉害时，可将钳口重新开合一次；若噪声依然存在，应检查钳口处是否有污物，若有污物，可用汽油擦净。

5) 在变、配电所或动力配电箱内要测量母排的电流时，为了防止钳形电流表钳口张开而引起相间短路，最好在母排之间用绝缘隔板隔开。

6) 测量5A以下的小电流时，为得到准确读数，在条件允许时，可将被测导线多绕几圈放进钳口内测量，实际电流值应为仪表读数除以钳口内的导线根数。

7) 禁止用钳形电流表测量高压电路中的电流及裸线电流，以免发生事故。

8) 钳形电流表不用时，应将其量程转换开关置于最高档，以免下次误用而损坏仪表。并将其存放在干燥的室内，钳口铁心相接处应保持清洁。

9) 在使用带有电压测量功能的钳形电流表时, 电流、电压的测量须分别进行。

2-22 数字钳形电流表有什么特点? 使用时应注意什么?

数字式钳形电流表的型号有多种, 且兼有多种附加功能(如测量交流电流、直流电压、交流电压、电阻等功能)。

数字钳形表的使用注意事项如下:

1) 首先检查仪表壳体, 应无破裂损坏现象; 表笔绝缘应完好无损, 无断线脱头和铜线裸露现象;

2) 按测量要求, 应将量程开关置于正确位置;

3) 测量时, 需要将红、黑表笔插入对应输入插孔, 并插到底, 以保证安全和可靠接触, 表笔接入被测电路时, 应先接黑表笔, 表笔与被测电路分离时, 应先断开红表笔;

4) 当改变量程或功能时, 任何一根表笔都要与被测电路断开;

5) 为避免损坏仪表, 不要输入超过各量程档所规定的最大值;

6) 在测量高于直流电压 60V 和交流电压 30V 以上电压时, 应谨慎, 避免触电;

7) 当使用仪表进行测量时, 绝对不要打开电池盖, 以免触电;

8) 在进行电流测量时, 务必将表笔从仪表上取出;

9) 在更换电池前, 应使表笔离开被测电路。

2-23 什么是绝缘电阻表? 它是怎样工作的?

绝缘电阻表俗称摇表, 又称兆欧表。它是专供用来检测电气设备、供电线路绝缘电阻的一种可携式仪表。绝缘电阻表标度尺上的单位是兆欧 ($M\Omega$)。 $1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$ 。

绝缘电阻表的种类很多, 但基本结构相同, 主要由一个磁电

系的比率表和高压电源（常用手摇发电机或晶体管电路产生）组成。

绝缘电阻表的结构原理和电路原理如图 2-15 所示。从图中可以看出，被测的电阻 R_X 接于绝缘电阻表的“线”（连线）和“地”（接地）端钮之间，另外在“线”端钮外圈还有一个铜质圆环，叫保护环，又称屏蔽接线端钮，符号为“G”，它与发电机的负极直接相连。被测绝缘电阻 R_X 与附加电阻 R_C 及比率表中的可动线圈 1 串联，流过可动线圈 1 的电流 I_1 与被测电阻 R_X 的大小有关。 R_X 越小， I_1 就越大，磁场与可动线圈 1 相互作用而产生的转动力矩 M_1 也就越大，指针就越向标度尺“0”的方向偏转。指针的偏转可指示出被测电阻的数值。可动线圈 2 的电流与被测电阻无关，仅与发电机电压 U 及附加电阻 R_V 有关，它与磁场相互作用而产生的力矩 M_2 与 M_1 相反，相当于游丝的反作用力矩，使指针稳定，从而指示出被测电阻值。

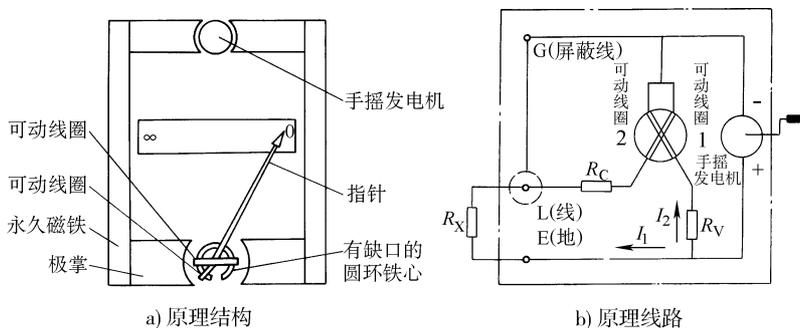


图 2-15 绝缘电阻表的原理结构和电路

R_C 、 R_V —附加电阻 R_X —被测电阻

2-24 如何选择绝缘电阻表？

1) 电压等级的选择：选用绝缘电阻表电压时，应使其额定电压与被测电气设备或电路的工作电压相适应，不能用电压过高

的绝缘电阻表测量低压电气设备的绝缘电阻，以免损坏被测设备的绝缘。不同额定电压的绝缘电阻表的使用范围见表 2-3。

表 2-3 不同额定电压的绝缘电阻表使用范围

被 测 对 象	被测设备额定电压/V	绝缘电阻表额定电压/V
线圈的绝缘电阻	500 以下	500
	500 以上	1000
发电机绕组的绝缘电阻	380 以下	500
电力变压器、发电机、电动机绕组的绝缘电阻	500 以上	1000 ~ 2500
电气设备绝缘电阻	500 以下	500 ~ 1000
	500 以上	2500
绝缘子、母线、隔离开关绝缘电阻	—	2500 ~ 5000

2) 测量范围的选择：在选择绝缘电阻表测量范围时，应注意不能使绝缘电阻表的测量范围过多地超出所需测量的绝缘电阻值，以减少误差的产生。另外，还应注意绝缘电阻表的起始刻度，对于刻度不是从零开始的绝缘电阻表（例如从 $1\text{M}\Omega$ 或 $2\text{M}\Omega$ 开始的绝缘电阻表），一般不宜用来测量低压电气设备的绝缘电阻。因为这种电气设备的绝缘电阻值较小，有可能小于 $1\text{M}\Omega$ ，在仪表上得不到读数，容易误认为绝缘电阻值为零，从而得出错误的结论。

2-25 使用绝缘电阻表时应注意哪些事项？

1) 在使用绝缘电阻表测量前，先对其进行一次开路 and 短路试验，以检查绝缘电阻表是否良好。将绝缘电阻表平稳放置，先使“L”和“E”两个端钮开路，摇动手摇发电机的手柄，使发电机转速达到额定转速，这时指针应指向标尺的“ ∞ ”位置（有的绝缘电阻表上有“ ∞ ”调节器，可调节使指针指在“ ∞ ”位置）；然后再将“L”和“E”两个端钮短接，缓慢摇动手柄，

指针应指在“0”位。

2) 测量前,应切断被测设备的电源,并对被测设备进行充分的放电,保证被测设备不带电。用绝缘电阻表测试过的电气设备,也要及时放电,以确保安全。

3) 被测对象的表面应清洁、干燥,以减小测量误差。

4) 绝缘电阻表与被测设备间的连接线应用单根绝缘导线分开连接。两根连接线不可缠绞在一起,也不可与被测设备或地面接触,以避免导线绝缘不良而引起误差。

5) 测量时,摇动手柄的速度由慢逐渐加快,并保持在120r/min左右的转速,测量1min左右,这时读数才是准确的结果。如果被测设备短路,指针指零,应立即停止摇动手柄,以防表内线圈发热而损坏仪表。

6) 测量电解电容器的介质绝缘电阻时,应按电容器耐压的高低选用绝缘电阻表,注意电容器的正极接“L”,负极接“E”,不可反接,否则会使电容器击穿。

7) 当绝缘电阻表没有停止转动和被测物没有放电前,不可用手触及被测物的测量部分,或进行拆除导线的工作。在测量大电容的电气设备绝缘电阻时,在测定绝缘电阻后,应先将“L”连接线断开,再降速松开手柄,以免被测设备向绝缘电阻表倒充电而损坏仪表。

8) 测量前,还应掌握环境温度及相对湿度,以便进行绝缘分析,当湿度较大时,应接屏蔽线。

9) 禁止在有雷电时或邻近高压设备的地方使用绝缘电阻表,以免发生危险。

2-26 绝缘电阻表在接线时应注意什么?

用绝缘电阻表测量绝缘电阻的正确接法如图2-16所示,绝缘电阻表的接线柱有3个,分别标有地“E”、线路“L”和屏蔽(保护环)“G”的接线柱。

1) 测量线路绝缘电阻时,将被测端接于“L”的接线柱上,

而以良好的接地线接于“E”的接线柱上，如图 2-16a 所示。

2) 测量电机绝缘电阻时，将电机绕组接于“L”的接线柱上，机壳接于“E”的接线柱上，如图 2-16b 所示。

3) 测量电缆的缆芯对缆壳的绝缘电阻时，除将缆芯和缆壳分别接于“L”和“E”接线柱外，还应将缆芯与缆壳之间的绝缘物接于“G”，以消除因表面漏电而引起的误差，如图 2-16c 所示。

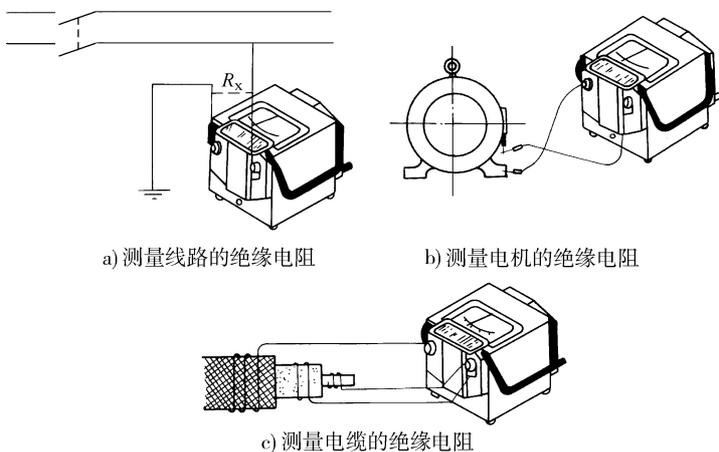


图 2-16 用绝缘电阻表测量绝缘电阻的正确接法

2-27 什么是数字绝缘电阻测量仪？

数字绝缘电阻测量仪是一种没有手摇发电机的绝缘电阻测试仪器。电源是由 6 节 5 号电池构成的 9V 直流电压供给电路，通过直流变换原理，经过升压电路处理使较低的供电电压提升到较高的直流输出电压，提供给测试电路使用。产生的电压虽然很高，但输出功率并不大，这主要是输出电流较小的缘故。下面以 HDT2060 系列数字绝缘电阻测量仪为例，介绍其性能特点及使用方法。

1) 规格：显示为 $3^{1/2}$ 位超大 LCD 显示，最大读数为 1999。

回零调节为自动。超量程显示时最高位显示“1”。采用6节5号电池作为电源。

2) 性能特点: HDT2060 系列数字绝缘电阻测量仪的性能特点如下:

① HDT2060 系列数字绝缘电阻测量仪适用于测量变压器、电动机、电缆、开关、电器等各种电气设备及绝缘材料的绝缘电阻, 适用于各种电气设备的保养、维修、试验与检定;

② 输出额定电压可变, 额定电压可利用旋钮开关在4种电压之间进行转换选择;

③ 高压输出指示, 机内有一个发光二极管, 其发光时, 表示高压已经正常工作;

④ 有电池电压过低指示;

⑤ 电池驱动, 免去手摇发电机的操作;

⑥ 液晶显示屏直接显示, 读数直观;

⑦ 量程范围宽, 可自动转换量程;

⑧ 负载能力强, 大于1.5mA的输出短路电流;

⑨ 保护电路齐全, 不怕电压冲击;

⑩ 操作及携带方便, 具有防尘、防潮结构, 适于户外操作。

2-28 使用数字绝缘电阻测量仪时应注意什么?

1. 数字绝缘电阻测量仪的使用注意事项

1) 测试线与插座的连接: 将带测试棒(红色)的测试线的插头插入仪表的插座L, 将带大测试夹子的测试线的插头插入仪表的插座E。将带表笔(表笔上带夹子)的测试线的插头插入仪表的插座G。

2) 测试接线: 根据被测电气设备或电路进行接线, 一般仪表的插座E的接线为接地线; 插座L的接线为线路线; 插座G的接线为屏蔽线, 接在被测试品的表面(如电缆芯线的绝缘层上), 以防止表面泄漏电流影响测试阻抗, 从而影响测量准确度。接线时应先将转换开关置于“POWER OFF”位置, 然后把

大测试夹子接到被测设备的地端，带表笔的小夹子接到绝缘物表面，红色高压测试棒接电路或被测极上。

3) 额定电压选择：根据被测电气设备或电路的额定电压等级选择与之相适应的测试电压等级，这点与指针式绝缘电阻表是一样的。HDT2060 绝缘电阻测量仪有 100V、250V、500V、1000V 共 4 档电压；HDT2061 绝缘电阻测量仪有 500V、1000V、2000V、2500V 共 4 档电压。可以通过旋转开关进行选择。

4) 测试操作：当把测试线与被测设备或电路连接好了以后，按一下高压开关“PUSH”，此时“PUSH ON”的红色指示灯点亮，表示测试用高压输出已经接通。当测试开始后，液晶显示屏显示读数，所显示的数字即为被测设备或电路的绝缘电阻值。如果按下高压开关后，指示灯不亮，说明电池容量不足或电池连接有问题（例如极性连接有错误或接触不良）。

5) 关机：测试完毕后，按一下高压开关“PUSH”，此时“PUSH ON”的红色指示灯熄灭，表示测试高压输出已经断开。将转换开关置于“POWER OFF”位置，液晶显示屏无显示。对大电感及电容性负载，还应先将测试品上的残余电荷泄放干净，以防残余电荷放电伤人，再拆下测试线。至此测试工作结束。

2. 数字绝缘电阻测量仪的安全注意事项

1) 小心高压电击：当绝缘电阻测试完毕，应对被测物品进行放电，直到听不到放电声和看不到火花为止。

2) 测量过程中：不可触摸被测的物品，避免高压电击。

3) 测量物品的绝缘电阻：被测试品不应带电，所以在测试前应使测试品充分放电，并确认被测试品安全接地。

4) 测量绝缘电阻：要防止外界电压加入测试回路。

5) 测试开始前：要检查转换开关的位置及测试线的连接是否紧密。

6) 每次测量完毕：应将转换开关置于“POWER OFF”位置。

7) 仪表长期不用：须将电池取出，防止电池漏液腐蚀线路

或元器件。应将仪表存放在干燥、无尘、无腐蚀性气体、通风良好的场所。

2-29 什么是电能表？它有哪些类型？

电能表（原称电度表）是用来测量某一段时间内发电机的电能或用户消耗电能的电工仪表。它不仅能反映出功率的大小，而且还能反映出电能随时间增长积累的总和。为了能指示出不断增长的被测电能，电能表就不能简单地用指针读数，必须装有“积算机构”，将活动部分的转数通过齿轮传动机构，折算成被测电能的数值，并由一系列齿轮上的数字直接指示出来。电能表的分类如下：

1) 按所测量电流分类可分为直流式和交流式，电力系统中广泛采用的是交流电能表；

2) 按用途分类可分为普通电能表和专用电能表；普通电能表可分为单相电能表和三相电能表；专用电能表可分为最大需量电能表、定量电能表、多费率电能表、脉冲电能表、多功能电能表和标准电能表等；

3) 按准确度等级分类可分为普通电能表和标准电能表；

4) 按工作原理分类可分为感应式电能表、电子式电能表和感应电子式电能表；

5) 按接入电路方式分类可分为直接接入式和经互感器接入式；

6) 按测量能量分类可分为单相有功、三相三线有功、三相四线有功、三相三线无功及三相四线无功电能表；

7) 按付款方式分类可分为普通电能表和定量电能表（磁卡电能表或投币电能表）。

2-30 电能表铭牌上有哪些标志？

1) 电能表的名称及型号：如 DD862 型单相电能表或 DT862 型三相有功电能表等。

2) 计量单位名称或符号: 如“kW·h”或“kvar·h”。

3) 标定电流和额定最大电流: 如5(10)A, 即表示电能表的标定电流为5A, 额定最大电流为10A, 若额定电流小于标定电流的15%时, 则只标明标定电流。对于三相电能表应在前面乘以相数, 如 $3 \times 5(10)$ A; 若经电流互感器接入式电能表应标明电流互感器的额定电流比。

4) 额定电压: 对于三相电能表的额定电压应在前面乘以相数, 如 3×380 V; 对于三相四线电能表应标明线电压与相电压, 并用斜线分开, 如 $3 \times 380/220$ V; 经电压互感器接入式电能表, 应标明电压互感器的额定电压比。

5) 计度器示数: 整数与小数位的数字或窗口应有不同颜色, 且在它们之间应有区分的小数点。

6) 使用条件分组的代号。

7) 电能表的常数: 应标明“kW·h = $\times \times \times$ 盘转数”或“ $\times \times \times$ 转/kW·h”; “1kvar·h = $\times \times \times$ 盘转数”或“ $\times \times \times$ 转/kvar·h”。

8) 止逆: 对具有止逆器的电能表应标明“止逆”二字。

此外, 电能表铭牌上还应标明额定频率、制造计量器具许可证标志和许可证编号、制造标准、制造厂名、制造年份和出厂编号等。

2-31 感应系电能表由哪几部分组成? 它是怎样工作的?

电能表一般采用感应系测量机构, 其结构如图 2-17 所示。其工作原理是当交流电通过电能表的电流元件和电压元件时, 在铝盘上会感应产生涡流, 这些涡流与交流磁通相互作用产生电磁力, 使铝盘转动。同时, 制动电磁铁与转动的铝盘也相互作用, 产生了制动力矩。当转动力矩与制动力矩平衡时, 铝盘以稳定的速度转动。铝盘的转数与被测电能的大小成正比, 从而测出所耗电能。

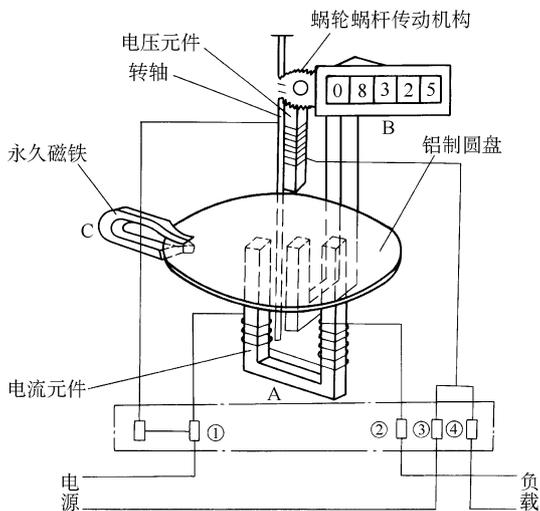


图 2-17 感应系电能表的结构

2-32 电子式电能表由哪几部分组成？它是怎样工作的？

随着微电子技术和半导体技术的发展，大规模集成电路技术已十分成熟，从而使高性能系统芯片的集成成为可能，并推动各行业的飞速发展，在电子式仪器仪表中得到广泛使用。电子式电能表将逐步代替感应式电能表。

全电子式电能表的工作原理是在数字功率表的基础上发展起来的，它采用乘法器实现对电功率的测量，其工作原理如图2-18所示。当被测的大电流 i 、高电压 u 经电流交换器和电压变换器转换后送至乘法器，乘法器完成电流和电压瞬时值相乘，输出一个与一段时间内的平均功率正比的直流电压 U_0 ，然后利用 U - f 转换器， U_0 被转换成相应的脉冲频率 f_0 ，即 f_0 正比于平均功率，将该频率分频，通过一段时间内计数器的计数，显示出相应的电能。

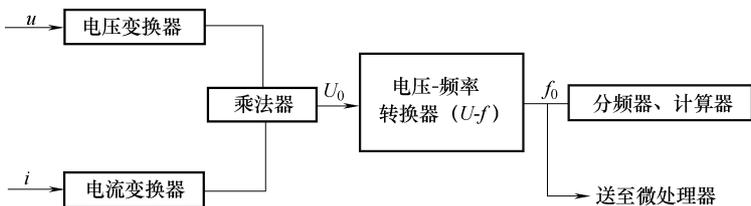


图 2-18 全电子式电能表的工作原理框图

2-33 怎样选用电能表？

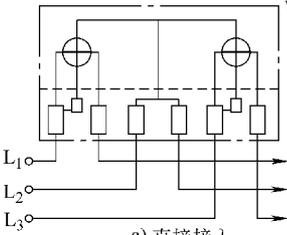
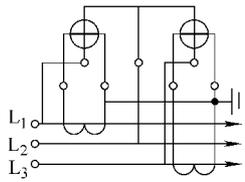
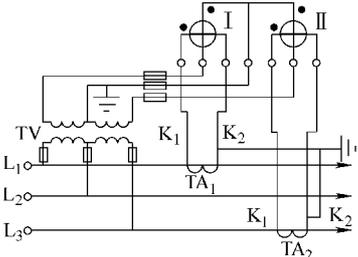
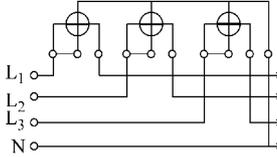
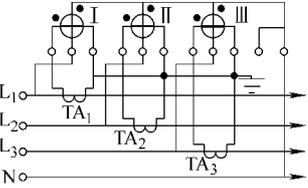
1) 首先是正确选择电能表的额定电压、额定电流和准确度。

2) 电能表接线应遵循电流线圈与被测电路串联，电压线圈与被测电路并联的原则，且电源端钮必须接电源一方，单相和三相有功电能表的接线方式见表 2-4。由于各种电能表的接线桩头排列是不同的，所以接线时应严格按照盒盖背面的接线图进行连接。电能表接线完毕，在通电前，应由供电部门把接线座盖加铅封，用户不得擅自打开。

表 2-4 单相和三相有功电能表的接线方式

名 称	接 线 方 式
单相有功 电能表	<p>a) 直接接入</p> <p>b) 经电流互感器接入</p>

(续)

名 称	接线方式
三相三线 制有功电能 表	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 直接接入</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 经电流互感器接入</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>c) 经电流互感器、电压互感器接入</p> </div>
三相四线 制有功电能 表	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 直接接入</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 经电流互感器接入</p> </div> </div>

3) 电能表在使用过程中，电路不允许经常短路或负载超过额定值的 125%。

4) 当电能表的电流线路中无电流，而加于电压线路的电压为额定值的 80% ~ 110% 时，电能表的转盘转动不应超过一整转，否则电能表为不合格，应禁止使用。

5) 正确读取并计算电能表的实际耗电量。

常用低压电器原理与应用

3-1 什么是电器？什么是低压电器？

电器是指能够根据外界的要求或所施加的信号，自动或手动地接通或断开电路，从而连续或断续地改变电路的参数或状态，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的电气设备。简单地说，电器就是接通或断开电路或调节、控制、保护电路和设备的电工器具或装置。电器按工作电压高低可分为高压电器和低压电器两大类。

低压电器通常是指用于交流 50Hz（或 60Hz）、额定电压为 1200V 及以下、直流额定电压为 1500V 及以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器。

目前，低压电器在工农业生产和人们的日常生活中有着非常广泛的应用，低压电器的特点是品种多、用量大、用途广。

3-2 低压电器有哪些种类？其主要用途是什么？

低压电器的种类很多，按不同的分类方式有着不同的类型。按用途分类的详细品种和用途见表 3-1。

表 3-1 低压电器的分类及用途

电器名称	主要品种	用途
配 电 电 器	刀开关 熔断器式刀开关 开启式负荷开关 封闭式负荷开关	主要用于电路隔离，也能接通和分断额定电流
	组合开关 换向开关	用于两种以上电源或负载的转换和通、断电路
	万能式断路器 塑料外壳式断路器 限流式断路器 漏电保护断路器	用于线路过载、短路或欠电压保护，也可用作不频繁接通和分断电路
	半封闭插入式熔断器 无填料熔断器 有填料熔断器 快速熔断器 自复熔断器	用于线路或电气设备的短路和过载保护
控 制 电 器	交流接触器 直流接触器	主要用于远距离频繁起动或控制电动机，以及接通和分断正常工作的电路
	电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 热继电器	主要用于控制系统中，控制其他电器或作主电路的保护
	电磁起动器 减压起动器	主要用于电动机的起动和正、反向控制
	凸轮控制器 平面控制器 鼓形控制器	主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的接法，以达到电动机起动、换向和调速的目的
	控制按钮 行程开关 主令控制器 万能转换开关	主要用于接通和分断控制电路

(续)

电器名称	主要品种	用途
控制 电器	电阻器	铁基合金电阻 用于改变电路的电压、电流等参数或变电能热能
	变阻器	励磁变阻器 起动变阻器 频敏变阻器 主要用于发电机调压以及电动机的减压起动和调速
	电磁铁	起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁 用于起重、操纵或牵引机械装置

3-3 什么是刀开关?

刀开关(隔离器)是指在断开位置上,能符合规定的隔离功能要求的一种机械开关电器。刀开关可以将电路断开或闭合。它能承载正常电路条件下的电流,也能在一个规定的时间内承载非正常电路条件下的电流(例如短路电流)。

3-4 刀开关有哪些种类?

刀开关按极数分,有单极、双极和三极;按操作方式分,有直接手柄操作式、杠杆操作机构式、旋转操作式和电动操作机构式;按转换方式分,有单投和双投,双投即为刀形转换开关。通常,除特殊的大电流刀开关有采用电动操作方式外,一般都是采用手动操作方式。

3-5 刀开关由哪几部分组成?它是怎样工作的?

平板式手柄操作的三极刀开关的结构如图3-1所示。绝缘底板一般用酚醛玻璃布板或环氧玻璃布板等层压板制造,也有的采用陶瓷材料。绝缘手柄多用塑料压制。触刀材料一般为硬纯铜

板，静插座及铰链支座采用硬纯铜板或黄铜板制成。

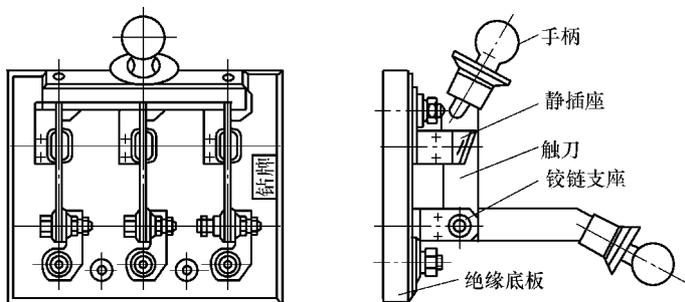


图 3-1 手柄操作式三极刀开关

同一般开关电器比较，刀开关的触刀相当于动触头，而静插座相当于静触头。当操作人员握住手柄，使触刀铰链支座转动，插到静插座内的时候，就完成了接通操作。这时，由铰链支座、触刀和静插座就形成了一个电流通路。如果操作人员使触刀绕铰链支座作反方向转动，脱离静插座，电路就被切断。

3-6 怎样选用刀开关？

1) 刀开关结构形式的确定：选用刀开关时，首先应根据其在电路中的作用和其在成套配电装置中的安装位置，确定其结构形式。如果电路中的负载由低压断路器、接触器或其他具有一定分断能力的开关电器（包括负荷开关）来分断，即刀开关仅仅是用来隔离电源时，则只需选用没有灭弧罩的产品；反之，如果刀开关必须分断负载，就应选用带有灭弧罩，而且是通过杠杆操作的产品。此外，还应根据操作位置、操作方式和接线方式来选用。

2) 刀开关规格的选择：刀开关的额定电压应等于或大于电路的额定电压。刀开关的额定电流一般应等于或大于所分断电路中各个负载额定电流的总和。若负载是电动机，就必须考虑电动

机的起动电流为额定电流的4~7倍,甚至更大,故应选用额定电流大一级的刀开关。此外,还要考虑电路中可能出现的最大短路电流(峰值)是否在该额定电流等级所对应的电动稳定性电流(峰值)以下。如果超出,就应当选用额定电流更大一级的刀开关。

3-7 刀开关应当怎样安装?

1) 刀开关应垂直安装在开关板上,并要使静插座位于上方。若静插座位于下方,则当刀开关的触刀拉开时,如果铰链支座松动,触刀等运动部件可能会在自重作用下向下掉落,同静插座接触,发生误动作而造成严重事故。

2) 电源进线应接在开关上方的静触头进线座,接负载的引出线应接在开关下方的出线座,不能接反,否则更换熔体时易发生触电事故。

3) 动触头与静触头要有足够的压力、接触应良好,双投刀开关在分闸位置时,刀片应能可靠固定。

4) 安装杠杆操作机构时,应合理调节杠杆长度,使操作灵活可靠。

5) 合闸时要保证开关的三相同步,各相接触良好。

3-8 什么是封闭式负荷开关?

封闭式负荷开关又称铁壳开关(因为封闭式负荷开关的早期产品,都带有一个铸铁外壳,所以又称为铁壳开关。现在,铸铁外壳早已被结构轻巧的薄钢板冲压外壳所取代,但其习称仍然被沿用着),简称负荷开关,它是由刀开关和熔断器组合而成的一种电器。

3-9 封闭式负荷开关的结构有什么特点?它是怎样工作的?

封闭式负荷开关主要由触头及灭弧系统、熔断器以及操作

机构等三部分共装于一个防护外壳内构成，其结构如图 3-2 所示。

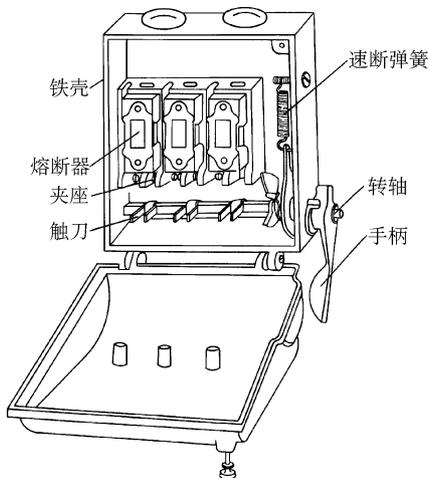


图 3-2 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关的操作机构都具有以下两个特点：一是采用贮能合闸方式，即利用一根弹簧以执行合闸和分闸机能，使开关的闭合和分断速度都与操作速度无关，这既有助于改善开关的动作性能和灭弧性能，又能防止触头停滞在中间位置上；二是设有联锁装置，它可以保证开关合闸时不能打开箱盖，而当箱盖打开的时候，也不能将开关合闸，既有助于充分发挥外壳的防护作用，防止操作人员被电弧灼伤，又保证了更换熔丝等操作的安全。

3-10 怎样选用封闭式负荷开关？

1) 与控制对象的配合 由于封闭式负荷开关不带过载保护装置，只有熔断器用作短路保护，很可能因一相熔断器熔断，而导致电动机断相运行（又称单相运行）故障。另外，根据使用经验，用负荷开关控制大容量的异步电动机时，有可能

发生弧光烧手事故。所以，一般额定电流为 60A 及以下等级的封闭式负荷开关，只作为小容量异步电动机不频繁直接起动的控制开关。

另外，考虑到封闭式负荷开关配用的熔断器的分断能力一般偏低，所以它应当装在短路电流不太大的电路末端。

2) 额定电流的选择 当封闭式负荷开关用于控制一般照明、电热电路时，开关的额定电流应等于或大于被控制电路中各个负载额定电流之和。当用封闭式负荷开关控制异步电动机时，考虑到异步电动机的起动电流为额定电流的 4~7 倍，故开关的额定电流应为电动机额定电流的 1.5 倍左右。

3-11 什么是组合开关？它主要有哪些用途？

组合开关（又称转换开关）实质上也是一种刀开关，只不过一般刀开关的操作手柄是在垂直于其安装面的平面内向上或向下转动的。而组合开关的操作手柄则是在平行于其安装面的平面内向左或向右转动而已。组合开关由于其可实现多组触头组合而得名，实际上也是一种转换开关。

组合开关一般用于电气设备中，作为不频繁地接通和分断电路、换接电源和负载、测量三相电压以及控制小容量异步电动机的正反转和 Y- Δ 起动等用。常用的组合开关主要是 HZ5 系列、HZ10 系列、HZ12 系列、HZ15 系列、3LB 系列等产品。

3-12 组合开关的结构有什么特点？它是怎样工作的？

组合开关的外形和结构如图 3-3 所示。当手柄每转过一定角度，就带动与转轴固定的动触头分别与对应的静触头接通和断开。组合开关转轴上装有扭簧储能机构，可使开关迅速接通与断开，其通断速度与手柄旋转速度无关。组合开关的操作机构分无限位和有限位两种。触头盒的下方有一块供安装用的钢质底板。组合开关的图形符号和文字符号如图 3-4 所示。

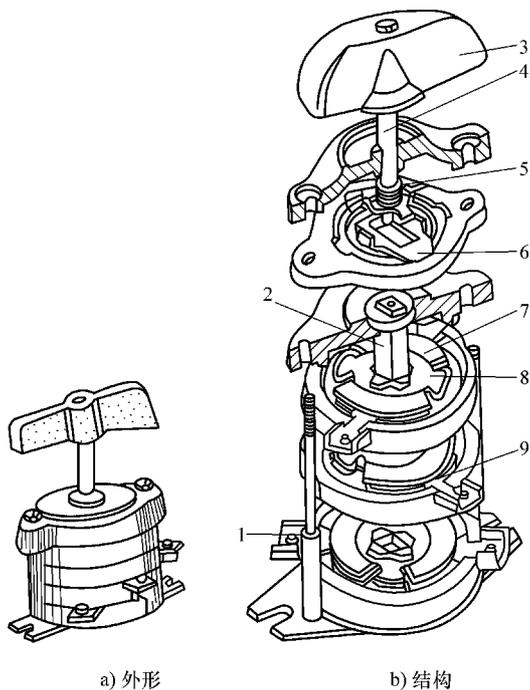


图 3-3 组合开关

1—接线柱 2—绝缘杆 3—手柄 4—转轴 5—弹簧 6—凸轮
7—绝缘垫板 8—动触头 9—静触头

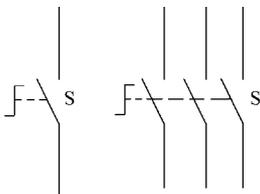


图 3-4 组合开关的图形符号和文字符号

3-13 怎样选用组合开关?

组合开关是一种体积小、接线方式多、使用非常方便的开关电器。选择组合开关时应注意以下几点:

1) 组合开关应根据用电设备的电压等级、容量和所需触头数进行选用。组合开关用于一般照明、电热电路时，其额定电流应等于或大于被控制电路中各负载电流的总和；组合开关用于控制电动机时，其额定电流一般取电动机额定电流的1.5~2.5倍。

2) 组合开关接线方式很多，应根据需要，正确地选择相应规格的产品。

3) 组合开关本身是不带过载保护和短路保护的，如果需要这类保护，应另设其他保护电器。

3-14 什么是熔断器？它有哪些用途？

熔断器是一种起保护作用的电器，它串联在被保护的电路中，当线路或电气设备的电流超过规定值足够长的时间后，其自身产生的热量能够熔断一个或几个特殊设计的部件，断开其所接入的电路并分断电源，从而起到保护作用。熔断器包括组成完整电器的所有部件。

熔断器结构简单、使用方便、价格低廉，广泛应用于低压配电系统和控制电路中，主要作为短路保护元件，也常作为单台电气设备的过载保护元件。

3-15 什么是插入式熔断器？其结构有什么特点？

插入式熔断器又称瓷插式熔断器，指熔断体靠导电插件插入底座的熔断器。它具有结构简单、价格低廉、更换熔体方便等优点，被广泛用于照明电路和小容量电动机的短路保护。

常用的插入式熔断器主要是RC1A系列产品，其结构如图3-5所示。其中，瓷盖和瓷座由电工陶瓷制成，电源线和负载线分别接在瓷座两端的静触头上，瓷座中间有一空腔，它与瓷盖的凸起部分构成灭弧室。插入式熔断器的接触形式为面接触，由于这种熔断器只有在瓷盖拔出后才能更换熔丝，而且对于额定电流为60A及以上的熔断器，在灭弧室中还垫有帮助灭弧的编织石

棉，所以比较安全。

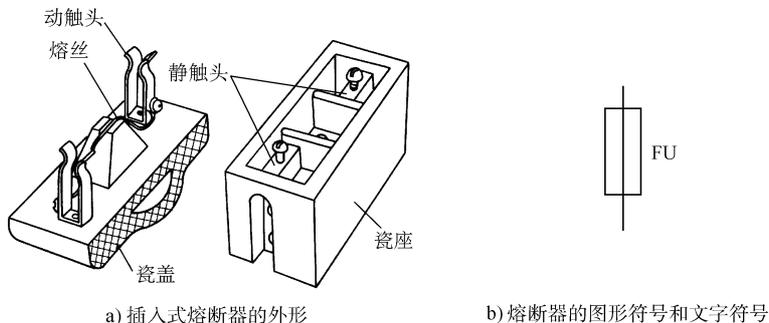


图 3-5 插入式熔断器

3-16 什么是螺旋式熔断器？其结构有什么特点？

螺旋式熔断器是指带熔体的载熔件借螺纹旋入底座而固定于底座的熔断器，它实质上是一种有填料封闭式熔断器，具有断流能力大、体积小、熔丝熔断后能显示、更换熔丝方便、安全可靠等特点，广泛用于低压配电设备、机械设备的电气控制系统中的配电箱、控制箱及振动较大的场合，作为过载及短路保护元件。

螺旋式熔断器的外形和结构如图 3-6 所示。这种熔断器的熔管由电工陶瓷制成，熔管内装有熔体（丝或片）和石英砂填料，石英砂具有导热性好、绝缘性能强、热容量大、能大量吸收电弧能量等特点，所以它对灭弧非常有利，可以提高熔断器的分断能力。熔断器的熔管上盖中还有一熔断指示器（上有色点），当熔体熔断时指示器跳出，显示熔体熔断，通过瓷帽可观察到。底座装有上下两个接线触头，分别与底座螺纹壳、底座触头相连。当熔断器熔断后，只需旋开瓷帽，取下已熔断的熔管，换上新熔管即可。其缺点是它的熔体无法更换，只能更换整个熔管，成本相对较高。

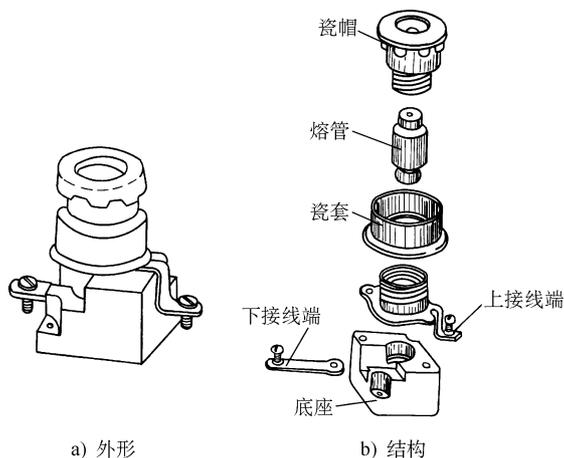


图 3-6 螺旋式熔断器

3-17 熔断器选用的一般原则是什么？

- 1) 应根据使用条件确定熔断器的类型；
- 2) 选择熔断器的规格时，应首先选定熔体的规格，然后再根据熔体去选择熔断器的规格；
- 3) 熔断器的保护特性应与被保护对象的过载特性有良好的配合；
- 4) 在配电系统中，各级熔断器应相互匹配，一般上一级熔体的额定电流要比下一级熔体的额定电流大 $2 \sim 3$ 倍；
- 5) 对于保护电动机的熔断器，应注意电动机起动电流的影响；熔断器一般只作为电动机的短路保护，过载保护应采用热继电器；
- 6) 熔断器的额定电流应不小于熔体的额定电流；额定分断能力应大于电路中可能出现的最大短路电流。

3-18 一般用途的熔断器应如何选用？

1. 熔断器类型的选择

熔断器主要根据负载的情况和电路短路电流的大小来选择类

型。例如，对于容量较小的照明线路或电动机的保护，宜采用 RC1A 系列插入式熔断器或 RM10 系列无填料密闭管式熔断器；对于短路电流较大的电路或有易燃气体的场合，宜采用具有高分断能力的 RL 系列螺旋式熔断器或 RT（包括 NT）系列有填料封闭管式熔断器；对于保护硅整流器件及晶闸管的场合，应采用快速熔断器。

选择熔断器的形式也要考虑使用环境，例如管式熔断器常用于大型设备及容量较大的变电场合；插入式熔断器常用于无振动的场合；螺旋式熔断器多用于机床配电；电子设备一般采用熔丝座。

2. 熔体额定电流的选择

1) 对于照明电路和电热设备等电阻性负载，因为其负载电流比较稳定，可用作过载保护和短路保护，所以熔体的额定电流 I_{rn} 应等于或稍大于负载的额定电流 I_{Ln} ，即

$$I_{rn} = 1.1 I_{Ln}$$

2) 电动机的起动电流很大，因此对电动机只宜作短路保护，对于保护长期工作的单台电动机，考虑到电动机起动时熔体不能熔断，即

$$I_{rn} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Ln}$$

式中，轻载起动或起动时间较短时，系数可取近 1.5；带重载起动、起动时间较长或起动较频繁时，系数可取近 2.5。

3) 对于保护多台电动机的熔断器，考虑到在出现尖峰电流时不熔断熔体，熔体的额定电流应等于或大于最大一台电动机的额定电流的 1.5 ~ 2.5 倍，加上同时使用的其余电动机的额定电流之和，即

$$I_{rn} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Ln \max} + \sum I_{Ln}$$

式中， $I_{Ln \max}$ 为多台电动机中容量最大的一台电动机的额定电流； $\sum I_{Ln}$ 为其余各台电动机额定电流之和。

必须说明，由于电动机负载情况不同，其起动情况也各不相同，因此上述系数只作为确定熔体额定电流时的参考数据，准确

数据需在实践中根据使用情况确定。

3. 熔断器额定电压的选择

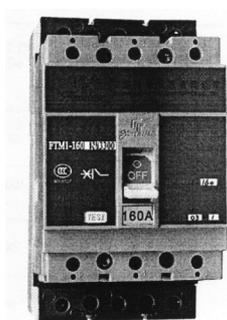
熔断器的额定电压应等于或大于所在电路的额定电压。

3-19 什么是断路器？它有哪些用途？

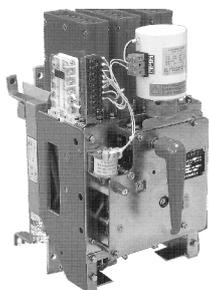
断路器曾称自动开关，是指能接通、承载以及分断正常电路条件下的电流，也能在规定的非正常电路条件（例如短路）下接通、承载一定时间和分断电流的一种机械开关电器。按规定条件，对配电电路、电动机或其他用电设备实行通断操作并起保护作用，即当电路内出现过载、短路或欠电压等情况时能自动分断电路的开关电器。

通俗地讲，断路器是一种可以自动切断故障线路的保护开关，它既可用于接通和分断正常的负载电流、电动机的工作电流和过载电流，也可用于接通和分断短路电流，在正常情况下还可以用于不频繁地接通和断开电路以及控制电动机的起动和停止。

断路器具有动作值可调整、兼具过载和保护两种功能、安装方便、分断能力强，特别是在分断故障电流后一般不需要更换零部件，因此应用非常广泛。断路器的外形如图 3-7 所示。低压断路器的图形符号和文字符号如图 3-8 所示。



a) FTM1 系列塑壳式



b) DW15-630 万能式

图 3-7 断路器外形

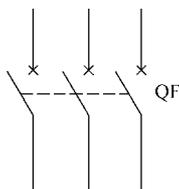


图 3-8 低压断路器的图形符号和文字符号

3-20 断路器有哪些种类？

断路器的种类繁多，可按使用类别、结构形式、操作方式、极数、安装方式、灭弧介质、用途等多种方式进行分类。

1) 按使用类别，可分为非选择型（A类）和选择型（B类）两类；

2) 按结构形式，分为万能式（曾称框架式）和塑料外壳式（曾称装置式）；

3) 按操作方式，分为人力操作（手动）和无人力操作（电动、储能）；

4) 按极数，分为单极、两极、三极和四极式；

5) 按安装方式，分为固定式、插入式和抽屉式等；

6) 按灭弧介质，分为空气式和真空式，目前国产断路器空气式较多；

7) 按采用的灭弧技术，分为零点灭弧式和限流式两类；其中，零点灭弧式可使被触头拉开的电弧在交流电流自然过零时熄灭；限流式可把峰值预期短路电流限制到一个较小的截断电流；

8) 按用途，分为配电用、电动机保护用、家用和类似场所用、剩余电流（漏电）保护用、特殊用途用等，详见表3-2。

表 3-2 低压断路器按用途分类

名称	电流种类和范围 ^①	保护特性		主要用途	
配 电 型	AC 200 ~ 6300A	选择型	二段保护	瞬时、短延时	电源总开关和支路近电源端开关
			三段保护	瞬时、短延时、长延时	
		非选择型	限流型	长延时、瞬时	支路近端开关
			一般型		支路末端开关
	DC 600 ~ 6000A	快速型	有极性		保护硅整流设备
			无极性		
一般型		长延时		保护一般整流设备	
		瞬时			
电 动 机 保 护 用	AC 60 ~ 600A	直接起动	一般型	过电流脱扣器瞬动 倍数 $(8 \sim 15) I_n$ ^②	保护笼型电动机
			限流型	过电流脱扣器瞬动 倍数 $12 I_n$	保护笼型电动机，还可装于变压器近端
		间接起动	过电流脱扣器瞬动倍数 $(3 \sim 8) I_n$		保护笼型和绕线转子电动机

(续)

名称	电流种类和范围 ^①	保护特性	主要用途
家用和类似场所用	AC 6 ~ 125	过载长延时，短路瞬时	除用于照明外，还可用于二次信号回路
漏电保护用	AC 20 ~ 200A	30mA、0.1s内分断	确保人身安全防止漏电引起火灾
特殊用途	AC 或 DC	瞬时动作	灭磁断路器

① 根据断路器容量和需要，可以超出此范围。

② I_n 为电动机额定电流。

3-21 断路器是怎样工作的？

断路器的种类虽然很多，但它的基本结构基本相同。断路器的结构主要由触头系统、灭弧装置、各种脱扣器和操作机构等部分组成如图 3-9 所示。

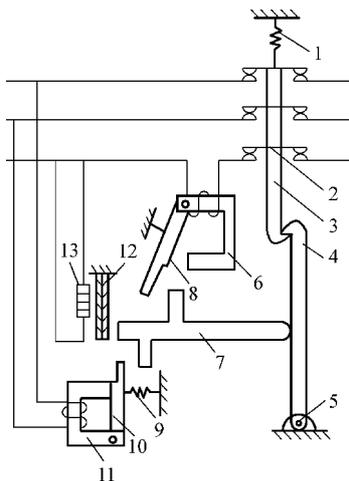


图 3-9 断路器的工作原理图

- 1、9—弹簧 2—主触头 3—锁键 4—钩子 5—轴 6—电磁脱扣器
7—杠杆 8、10—动铁心（衔铁） 11—欠电压脱扣器
12—热脱扣器双金属片 13—热脱扣器的热元件

断路器的三个触头串联在三相主电路中，电磁脱扣器的线圈及热脱扣器的热元件也与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈与主电路并联。

当断路器闭合后，三个主触头由锁键钩住钩子，克服弹簧的拉力，保持闭合状态。而当电磁脱扣器吸合或热脱扣器的双金属片受热弯曲或欠电压脱扣器释放，这三者中的任何一个动作发生，就可将杠杆顶起，使钩子和锁键脱开，于是主触头分断电路。

当电路正常工作时，电磁脱扣器的线圈产生的电磁力不能将

动铁心吸合，而当电路发生短路，出现很大过电流时，线圈产生的电磁力增大，足以将动铁心吸合，使主触头断开，切断主电路；若电路发生过载，但又达不到电磁脱扣器动作的电流时，而流过热脱扣器的发热元件的过载电流，会使双金属片受热弯曲，顶起杠杆，导致触头分开来断开电路，起到过载保护作用；若电源电压下降较多或失去电压时，欠电压脱扣器的电磁力减小，使动铁心释放，同样导致触头断开而切断电路，从而起到欠电压或失电压保护作用。

3-22 断路器选用的一般原则是什么？

目前，断路器被广泛用于低压电网中作过载、短路保护。如果选用不当，可能会发生误动作或不动作，失去保护作用，甚至产生安全隐患。因此，应根据具体使用条件、与相邻电器的配合以及断路器的结构特点等因素，选择最合适的断路器类型。

1. 类型的选择

应根据电路的额定电流、保护要求和断路器的结构特点来选择断路器的类型。例如，对于额定电流 600A 以下，短路电流不大的场合，一般选用塑壳式断路器；若额定电流比较大，则应选用万能式断路器；若短路电流相当大，则应选用限流式断路器；在有漏电保护要求时，还应选用漏电保护式断路器。

需要说明的是，近年来，塑壳式断路器的额定电流等级在不断地提高，现已出现了不少大容量塑壳式断路器；而对于万能式断路器则由于新技术、新材料的应用，体积、重量也在不断减小。从目前情况来看，如果选用时注重选择性，应选用万能式断路器；而如果注重体积小、要求价格便宜，则应选用塑壳式断路器。

2. 电气参数的确定

断路器的结构选定后，接着需选择断路器的电气参数。所谓电气参数的确定主要是指除断路器的额定电压、额定电流和通断能力外，一个重要的问题就是怎样选择断路器过电流脱扣器的整

定电流和保护特性以及配合等，以便达到比较理想的协调动作。选用的一般原则（指选用任何断路器都必须遵守的原则）如下：

- 1) 断路器的额定工作电压 \geq 线路额定电压；
- 2) 断路器的额定电流 \geq 线路计算负载电流；
- 3) 断路器的额定短路通断能力 \geq 线路中可能出现的最大短路电流（一般按有效值计算）；
- 4) 线路末端单相对地短路电流 ≥ 1.25 倍断路器瞬时（或短延时）脱扣器整定电流；
- 5) 断路器脱扣器的额定电流 \geq 线路计算电流；
- 6) 断路器欠电压脱扣器额定电压 = 线路额定电压（并非所有断路器都需要带欠电压脱扣器，是否需要应根据使用要求而定。在某些供电质量较差的系统，选用带欠电压保护的断路器，反而会因电压波动而经常造成不希望的断电。在这种场合，若必须带欠电压脱扣器，则应考虑有适当的延时）；
- 7) 断路器分励脱扣器的额定电压 = 控制电源电压；
- 8) 电动操作机构的额定工作电压 = 控制电源电压；
- 9) 断路器的类型应符合安装条件、保护功能及操作方式的要求；
- 10) 一般情况下，保护变压器及配电线路可选用万能式断路器，保护电动机可选塑料外壳式断路器；
- 11) 校核断路器的接线方向，如果断路器技术文件或端子上表明只能上进线，则安装时不可采用下进线，母线开关一定要选用可下进线的断路器；

需要注意的是，选用时除一般选用原则外，还应考虑断路器的用途。配电用断路器和电动机保护用断路器以及照明、生活用导线保护断路器，应根据使用特点予以选用。

3-23 配电用断路器应怎样选用？

配电用断路器是指在低压电网中专门用于分配电能的断路器，包括电源总开关和负载支路开关。在选用这类断路器时，除应遵循一般选用原则外，还应把限制系统故障范围和防止电路故

障的扩大作为考虑的重点。因此，需要增加下列选用原则：

1) 断路器的长延时动作电流整定值 \leq 导线容许载流量。对于采用电线电缆配电时，可取电线电缆容许载流量的80%。

2) 3倍长延时动作电流整定值的可返回时间 \geq 线路中最大起动电流的电动机起动时间。

3) 短延时动作电流整定值 $\geq 1.1 (I_{jx} + 1.35kI_n)$

式中， I_{jx} 为线路计算负载电流； k 为电动机的起动电流倍数； I_n 为电动机额定电流。

4) 瞬时电流整定值 $\geq 1.1 (I_{jx} + 1.35k_1kI_{nm})$

式中， k_1 为电动机起动电流的冲击系数，一般取 $k_1 = 1.7 \sim 2$ ； I_{nm} 为最大的一台电动机的额定电流。

5) 短延时的时间阶梯，按配电系统的分断而定。一般时间阶梯为2~3级。每级之间的短延时时差为0.1~0.2s，视断路器延时机构的动作准确度而定，其可返回时间应保证各级的选择性动作。短延时阶梯选定后，最好再对被保护对象的热稳定性加以校核。

3-24 电动机保护用断路器应怎样选用？

选择断路器保护电动机时，应注意到电动机的两个特点：一是它具有一定的过载能力；二是它的起动电流通常是额定电流的几倍到十几倍。因此，电动机保护用断路器分为两类：一类只作保护而不负担正常操作；另一类需兼作保护和不频繁操作之用。后一类情况需考虑操作条件和电寿命。电动机保护用断路器的选用原则：

1) 长延时电流整定值 = 电动机额定电流。

2) 瞬时整定电流。对于保护笼型电动机的断路器，瞬时整定电流为8~15倍电动机额定电流，其值的大小取决于被保护电动机的型号、容量和起动条件。对于保护绕线转子电动机的断路器，瞬时整定电流为电动机额定电流的3~6倍，其值的大小取决于绕线转子电动机的型号、容量和起动条件。

3) 6倍长延时电流整定值的可返回时间 \geq 电动机实际起动时间。按起动时负载的轻重，可选用可返回时间为1s、3s、5s、

8s、15s 中的某一档。

3-25 导线保护断路器应怎样选用?

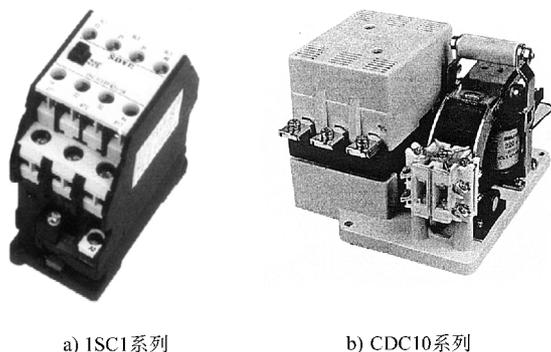
照明、生活用导线保护断路器,是指在生活建筑中用来保护配电系统的断路器。由于被保护的线路容量一般都不大,故多采用塑料外壳式断路器。其选用原则如下:

- 1) 长延时整定值 \leq 线路计算负载电流;
- 2) 瞬时动作整定值 $= (6 \sim 20)$ 倍线路计算负载电流。

3-26 什么是接触器? 它有哪些用途?

接触器是指仅有一个起始位置,能接通、承载和分断正常电路条件(包括过载运行条件)下的电流的一种非手动操作的机械开关电器。它可用于远距离频繁地接通和分断交直流主电路和大容量控制电路,具有动作快、控制容量大、使用安全方便、能频繁操作和远距离操作等优点,主要用于控制交、直流电动机,也可用于控制小型发电机、电热装置、电焊机和电容器组等设备,是电力拖动自动控制电路中使用最广泛的一种低压电器。

接触器能接通和断开负载电流,但不能切断短路电流,因此常与熔断器和热继电器等配合使用。交流接触器的外形如图 3-10 所示。



a) 1SC1系列

b) CDC10系列

图 3-10 交流接触器外形

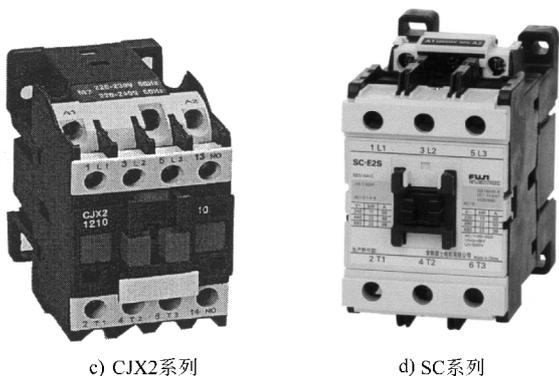


图 3-10 交流接触器外形 (续)

3-27 接触器有哪些种类?

接触器的种类繁多，有多种不同的分类方法。

- 1) 按操作方式分，有电磁接触器、气动接触器和液压接触器；
- 2) 按接触器主触头控制电流种类分，有交流接触器和直流接触器；
- 3) 按灭弧介质分，有空气式接触器、油浸式接触器和真空接触器；
- 4) 按有无触头分，有有触头式接触器和无触头式接触器；
- 5) 按主触头的极数，还可分为单极、双极、三极、四极和五极等。

其中，目前应用最广泛的是空气电磁式交流接触器和空气电磁式直流接触器，习惯上简称为交流接触器和直流接触器。常用交流接触器的型号有 CDC10、CJ20、CJ40、CJX2、SC、和 B 系列等系列产品，常用直流接触器的型号有 CZ0、CZ18、CZT 等系列产品。

3-28 接触器的基本结构主要由哪几部分组成？

接触器的基本结构主要由电磁系统和触头系统两部分组成。电磁系统是感测驱动部分，它接收操作信号，并通过本身的动作将操作信号转换为执行信号；触头系统是执行部分，它在接收来自电磁系统的执行信号后，就通过本身的动作执行操作者的指令——闭合或断开主电路。由于接触器在工作过程中，经常要在额定电压下闭合和分断额定电流或更大电流，而这种过程往往是常伴随着电弧的产生和燃炽，故接触器一般都设有灭弧装置。从结构方面考虑，常将它同触头列在一起，共称为触头-灭弧系统。除上述两个关键部分外，接触器中还有其他一些辅助的零部件，如传动机构、外壳及接线端子等。

交流接触器的结构如图 3-11 所示；接触器的图形符号和文字符号如图 3-12 所示。

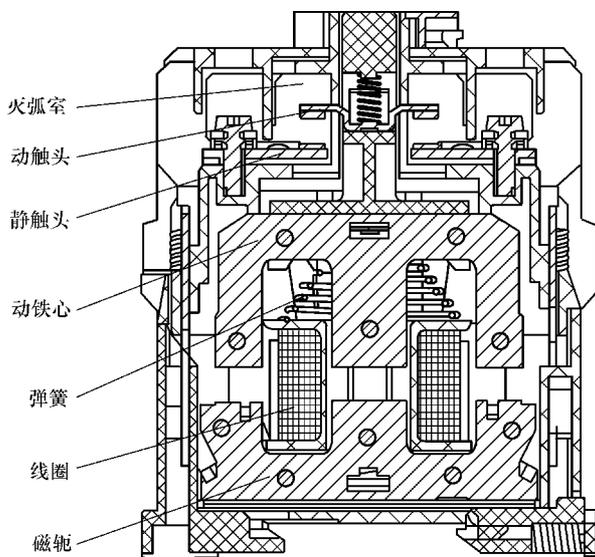


图 3-11 HSC1 系列交流接触器的结构



图 3-12 接触器的图形符号与文字符号

3-29 交流接触器是怎样工作的?

交流接触器的工作原理如图 3-13 所示。当线圈通电后，线圈中因有电流通过而产生磁场，静铁心在电磁力的作用下，克服弹簧的反作用力，将动铁心吸合，从而使动、静触头接触，主电路接通；而当线圈断电时，静铁心的电磁吸力消失，动铁心在弹簧的反作用力下复位，从而使动触头与静触头分离，切断主电路。

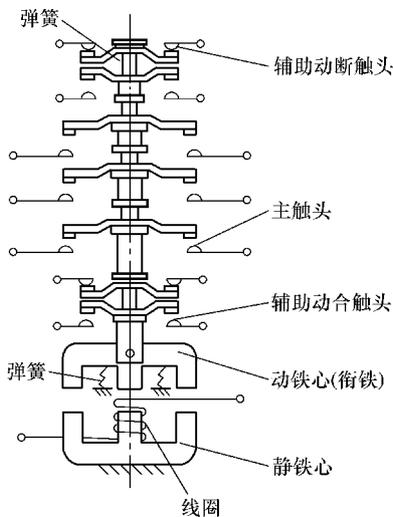


图 3-13 交流接触器的结构原理图

3-30 怎样选择接触器?

由于接触器的安装场所与控制的负载不同,其操作条件也不同。因此,必须对控制负载的工作情况以及接触器本身的性能有一个较全面的了解,力求经济合理、正确地选用接触器。也就是说,在选用接触器时,不能仅考虑接触器的铭牌数据,因铭牌上只规定了某一条件下的电流、电压、控制功率等参数,而具体的条件又是多种多样的,因此在选择接触器时应注意以下几点:

1) 选择接触器的类型:接触器的类型应根据电路中负载电流的种类来选择。也就是说,交流负载应使用交流接触器,直流负载应使用直流接触器。若整个控制系统中主要是交流负载,而直流负载的容量较小,也可全部使用交流接触器,但触头的额定电流应适当大些。

2) 选择接触器主触头的额定电流:接触器的额定工作电流应不小于被控电路的最大工作电流。

3) 选择接触器主触头的额定电压:接触器的额定工作电压应不小于被控电路的最大工作电压。

4) 接触器的额定通断能力应大于通断时电路中的实际电流值;耐受过载电流能力应大于电路中最大工作过载电流值。

5) 应根据系统控制要求确定主触头和辅助触头的数量和类型,同时要注意其通断能力和其他额定参数。

6) 如果接触器用来控制电动机的频繁启动、正反转或反接制动时,应将接触器的主触头额定电流降低使用,通常可降低一个电流等级。

3-31 什么是中间继电器?它有哪些用途?

中间继电器是一种通过控制电磁线圈的通断,将一个输入信号变成多个输出信号或将信号放大(即增大触头容量)的继电器。

器。中间继电器是用来转换控制信号的中间元件，其输入信号为线圈的通电或断电信号，输出信号为触头的动作。它的触头数量较多，触头容量较大，各触头的额定电流相同。

中间继电器的主要作用是，当其他继电器的触头数量或触头容量不够时，可借助中间继电器来扩大它们的触头数或增大触头容量，起到中间转换（传递、放大、翻转、分路和记忆等）作用。中间继电器的触头额定电流比其线圈电流大得多，所以可以用来放大信号。将多个中间继电器组合起来，还能构成各种逻辑运算与计数功能的电路。

3-32 中间继电器的结构有什么特点？主要用于什么场合？

中间继电器也采用电磁结构，主要由电磁系统和触头系统组成。从本质上来看，中间继电器也是电压继电器，仅触头数量较多、触头容量较大而已。中间继电器种类很多，而且除专门的中间继电器外，额定电流较小的接触器（5A）也常被用作中间继电器。

图 3-14 为 JZ7 系列中间继电器的结构图，其结构与工作原理与小型直动式接触器基本相同，只是它的触头系统中没有主、辅之分，各对触头所允许通过的电流大小是相等的。由于中间继电器触头接通和分断的是交、直流控制电路，电流很小，所以一般中间继电器不需要灭弧装置。中间继电器线圈在加上 85% ~ 105% 额定电压时应能可靠工作。

中间继电器适用于交流 50Hz，电压至 380V 及直流电压至 220V 的控制电路中，用于控制各种电磁线圈，以使信号放大或将信号同时传递给有关控制元件。

中间继电器 KA、电磁式电压继电器 KV 及电磁式电流继电器 KA 的图形符号和文字符号如图 3-15 所示。

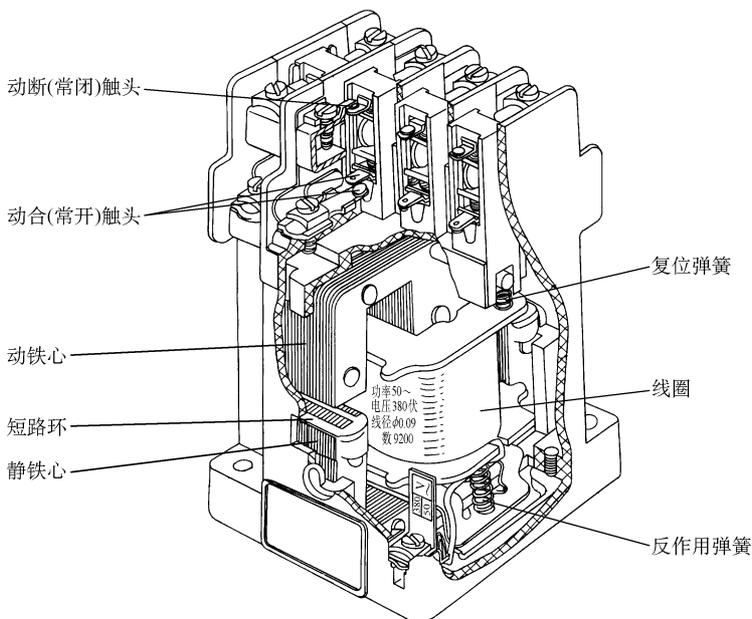


图 3-14 JZ7 系列中间继电器



图 3-15 中间继电器、电磁式电压继电器及电磁式电流继电器的图形符号与文字符号

3-33 怎样选择中间继电器?

- 1) 中间继电器线圈的电压或电流应满足电路的需要;
- 2) 中间继电器触头的种类和数目应满足控制电路的要求;
- 3) 中间继电器触头的额定电压和额定电流也应满足控制电路的要求;

4) 应根据电路要求选择继电器的交流或直流类型。

3-34 中间继电器与接触器有哪些区别?

1) 接触器主要用于接通和分断大功率负载电路,而中间继电器主要用于切换小功率的负载电路;

2) 中间继电器的触头对数多,且无主、辅触头之分,各对触头所允许通过的电流大小相等;

3) 中间继电器主要用于信号的传送,还可以用于实现多路控制和信号放大;

4) 中间继电器常用以扩充其他电器的触头数目和容量。

3-35 什么是时间继电器?它有哪些用途?

时间继电器是一种自得到动作信号起至触头动作或输出电路产生跳跃式改变有一定延时,该延时又符合其准确度要求的继电器,即从得到输入信号(线圈的通电或断电)开始,经过一定的延时后才输出信号(触头的闭合或断开)的继电器。常用时间继电器的外形如图 3-16 所示,时间继电器被广泛应用于电动机的起动控制和各种自动控制系统。

时间继电器的图形符号和文字符号如图 3-17 所示。

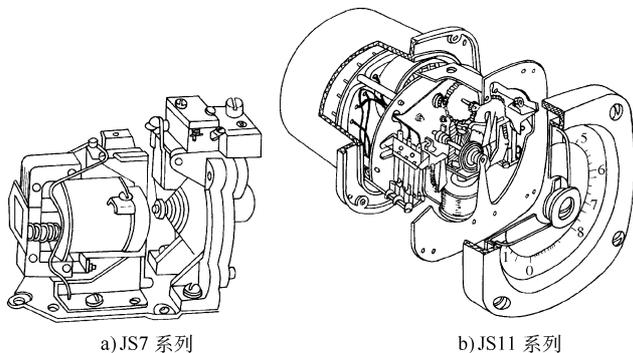


图 3-16 常用时间继电器的外形

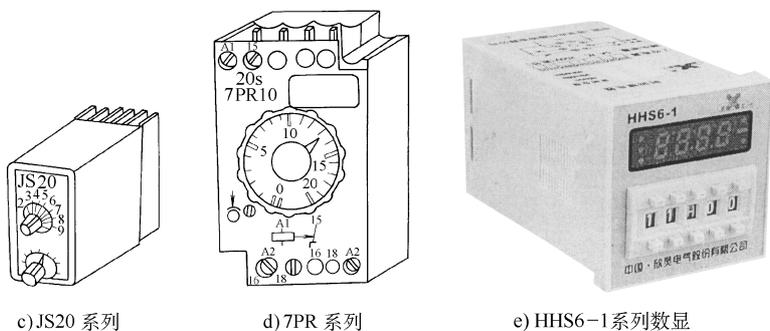


图 3-16 常用时间继电器的外形 (续)

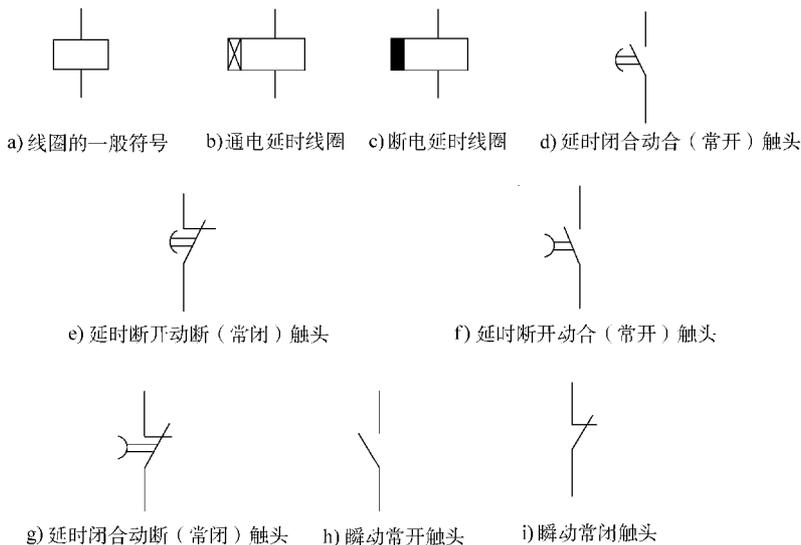


图 3-17 时间继电器的图形符号与文字符号

3-36 时间继电器有哪些类型?

时间继电器的种类很多,主要有以下类型:

1. 按动作原理分类

有电磁式、同步电动机式、空气阻尼式、晶体管式 (又称

电子式)等。

1) 电磁式时间继电器结构简单、价格低廉,但延时较短(例如JT3型延时时间只有0.3~5.5s),且只能用于直流断电延时。

2) 同步电动机式时间继电器(又称电动机式或电动式时间继电器)的延时准确度高、延时范围大(有的可达几十小时),但价格较昂贵。

3) 空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器,其结构简单、价格低廉、延时范围较大(0.4~180s),有通电延时和断电延时两种,但延时准确度较低。

4) 晶体管式时间继电器又称电子式时间继电器,其体积小、准确度高、可靠性好。晶体管式时间继电器的延时可达几分钟到几十分钟,比空气阻尼式长,比电动机式短;延时准确度比空气阻尼式高,比同步电动机式略低。随着电子技术的发展,其应用越来越广泛。

2. 按延时方式分类

1) 通电延时时间继电器接收输入信号后延迟一定的时间,输出信号才发生变化;当输入信号消失后,输出瞬时复原。

2) 断电延时时间继电器接收输入信号时,瞬时产生相应的输出信号;当输入信号消失后,延迟一定时间,输出才复原。

3-37 怎样选择时间继电器?

1) 时间继电器延时方式有通电延时型和断电延时型两种,因此选用时应确定采用哪种延时方式更方便组成控制电路。

2) 凡对延时准确度要求不高的场合,一般宜采用价格较低电磁阻尼式(电磁式)或空气阻尼式(气囊式)时间继电器;若对延时准确度要求较高,则宜采用电动机式或晶体管式时间继电器。

3) 应注意电源参数变化的影响。例如,在电源电压波动大的场合,采用空气阻尼式或电动机式比采用晶体管式好;而在电

源频率波动大的场合，则不宜采用电动机式时间继电器。

4) 应注意环境温度变化的影响。通常在环境温度变化较大处，不宜采用空气阻尼式和晶体管式时间继电器。

5) 对操作频率也要加以注意。因为操作频率过高不仅会影响电器寿命，还可能导致延时误动作。

3-38 什么是热继电器？它有哪些用途？

热继电器是热过载继电器的简称，它是一种利用电流的热效应来切断电路的一种保护电器，常与接触器配合使用，热继电器具有结构简单、体积小、价格低和保护性能好等优点，主要用于电动机的过载保护、断相及电流不平衡运行的保护及其他电气设备发热状态的控制。

3-39 热继电器有哪些种类？

1) 按动作方式分，有双金属片式、热敏电阻式和易熔合金式三种。

① 双金属片式：利用双金属片（用两种膨胀系数不同的金属，通常为锰镍、铜板轧制成），受热弯曲去推动执行机构动作。这种继电器因具有结构简单、体积小、成本低，在选择合适的热元件的基础上能得到良好的反时限特性（热继电器的动作时间随着过载电流的增大而在一定范围内缩短）等优点被广泛应用。

② 热敏电阻式：利用电阻值随温度变化而变化的特性制成的热继电器。

③ 易熔合金式：利用过载电流发热使易熔合金达到某一温度时，合金熔化而使继电器动作。

2) 按加热方式分，有直接加热式、复合加热式、间接加热式和电流互感器加热式四种。

3) 按极数分，有单极、双极和三极三种。其中三极的又分为带有和不带断相保护装置的两类。

4) 按复位方式分，有自动复位和手动复位两种。

3-40 双金属片式热继电器由哪几部分组成？

双金属片式热继电器由双金属片、电阻丝（加热元件）、触头系统及动作机构（推杆）、弹簧、整定值（电流）调节旋钮、复位按钮等组成，其结构如图 3-18 所示。

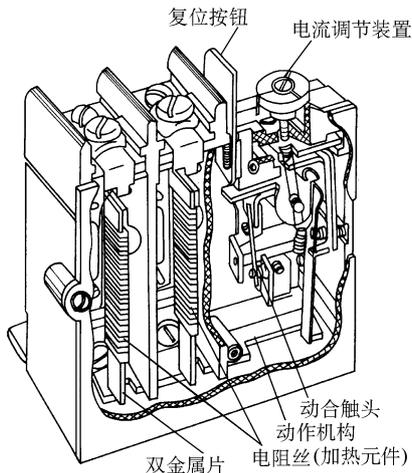


图 3-18 双金属片式热继电器的结构

双金属片是热继电器中最关键的一个部件，它将两种不同线膨胀系数的金属片，以机械辗压方式使之形成一体。通常在室温下（即受热前），这个整体呈平板状。当温度升高时，线膨胀系数大的金属片（称主动层）力图向外作较大的延伸，而线膨胀系数小的金属片（称为从动层）只能作较小的延伸，由于两层材料紧密贴合不能自由延伸，双金属片就从平板状态转变为弯曲状态，通过导板和推杆使动断触头断开。

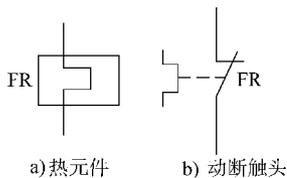


图 3-19 热继电器的图形符号与文字符号

热继电器的图形符号和文字符号如图 3-19 所示。

3-41 双金属片式热继电器是怎样工作的？

双金属片式热继电器的结构原理如图 3-20 所示。当负载发生过载时，过载电流通过串联在供电电路中的热元件（电阻丝），使之发热过量，双金属片受热膨胀，因双金属片的左边的一片膨胀系数较大，所以双金属片的下端向右弯曲，通过导板推动温度补偿双金属片，使推杆绕轴转动，这又推动了杠杆使它绕转轴转动，于是热继电器的动断（常闭）静触头断开。在控制电路中，动断静触头串在接触器的线圈回路中，当动断静触头断开时，接触器的线圈断电，接触器的主触头分断，从而切断过载电路。

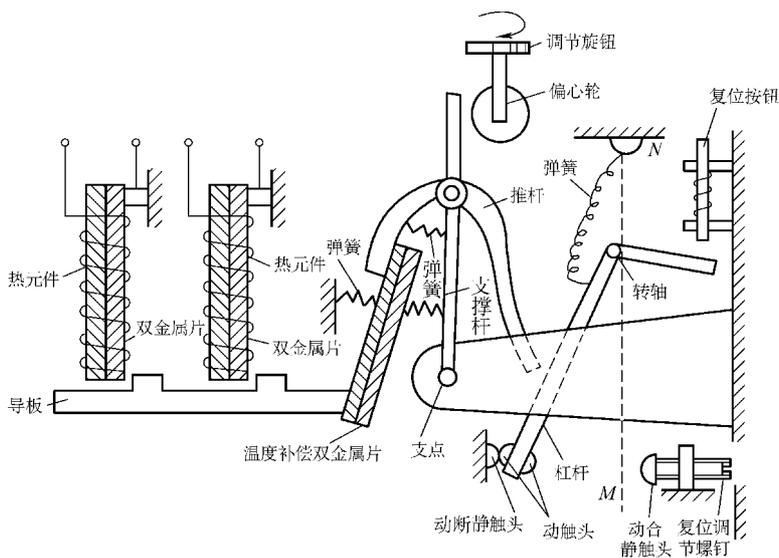


图 3-20 双金属片式热继电器的结构原理图

热继电器动作后的复位，有手动和自动两种方式。

上述热继电器均为两个发热元件（即两相结构）。此外，还有装有三个发热元件的三相结构，其外形及原理与两相结构

类似。

3-42 怎样选择热继电器？

热继电器选用是否得当，直接影响着对电动机进行过载保护的可靠性。通常选用时应按电动机形式、工作环境、起动情况及负载情况等几方面综合加以考虑。

1) 原则上热继电器（热元件）的额定电流等级一般略大于电动机的额定电流。选定热继电器后，再根据电动机的额定电流调整热继电器的整定电流，使整定电流与电动机的额定电流相等。对于过载能力较差的电动机，所选的热继电器的额定电流应适当小一些，并且将整定电流调到电动机额定电流的 60% ~ 80%。当电动机因带负载起动而起动时间较长或电动机的负载是冲击性的负载（如冲床等）时，则热继电器的整定电流应稍大于电动机的额定电流。

2) 一般情况下可选用两相结构的热继电器。对于电网电压均衡性较差、无人看管的电动机或与大容量电动机共用一组熔断器的电动机，宜选用三相结构的热继电器。定子三相绕组为三角形联结的电动机，应采用有断相保护的三元件热继电器作过载和断相保护。

3) 热继电器的工作环境温度与被保护设备的环境温度的差别不应超出 15 ~ 25℃。

4) 对于工作时间较短、间歇时间较长的电动机（例如摇臂钻床的摇臂升降电动机等），以及虽然长期工作，但过载可能性很小的电动机（例如排风机电动机等），可以不设过载保护。

5) 双金属片式热继电器一般用于轻载、不频繁起动电动机的过载保护。对于重载、频繁起动的电动机，则可用过电流继电器（延时动作型的）做它的过载和短路保护。因为热元件受热变形需要时间，故热继电器不能作短路保护。

3-43 为什么热继电器一般只能用于过载保护而不能用于短路保护？

因为热继电器是利用电流热效应，使双金属片受热弯曲，推动动作机构切断控制电路起保护作用的，双金属片受热弯曲需要一定的时间。当电路中发生短路时，虽然短路电流很大，但热继电器可能还未来得及动作，就已经把热元件或被保护的电气设备烧坏了，因此热继电器不能用作短路保护。

3-44 什么是主令电器？它有哪些主要用途和类型？

主令电器是一种在电气自动控制系统中用于发送或转换控制指令的电器。它一般用于控制接触器、继电器或其他电器电路，从而使电路接通或分断来实现对电力传输系统或生产过程的自动控制。

主令电器应用广泛，种类繁多，按其作用分，常用的有按钮、行程开关、接近开关、万能转换开关和主令控制器等。

3-45 什么是按钮？控制按钮有哪些主要用途？

按钮又称控制按钮，是一种短间接通或断开小电流电路的手动控制器，一般用于电路中发出起动或停止指令，以控制电磁起动器、接触器、继电器等电器线圈电流的接通或断开，再由它们去控制主电路。按钮也可用于信号装置的控制。

3-46 常用的按钮有哪些种类？

随着工业生产的需求，按钮的规格品种也在日益增多。驱动方式由原来的直接推压式，转化为旋转式、推拉式、杠杆式和带锁式（即用钥匙转动来开关电路，并在将钥匙抽走后不能随意动作，具有保密和安全功能）。传感接触部件也发展为平头、蘑菇头以及带操纵杆式等多种形式。带灯按钮也日益普遍地使用在各种系统中。按钮的具体分类如下：

1) 按钮按用途和触头的结构分, 有起动按钮 (动合按钮)、停止按钮 (动断按钮) 和复合按钮 (动合和动断组合按钮) 等三种。

2) 按钮按结构形式、防护方式分, 有开启式、防水式、紧急式、旋钮式、保护式、防腐式、钥匙式和带指示灯式等。

为了标明各个按钮的作用, 通常将按钮做成红、绿、黑、黄、蓝、白等不同的颜色加以区别。一般红色表示停止按钮, 绿色表示起动按钮。

3-47 按钮的结构主要由哪几部分组成? 它是怎样工作的?

按钮的外形及结构如图 3-21 所示。按钮的工作原理是, 当用手按下按钮帽时, 动断触头断开, 动合触头接通; 而当手松开后, 复位弹簧便将按钮的触头恢复原位, 从而实现对电路的控制。按钮的图形符号和文字符号如图 3-22 所示。



图 3-21 按钮的外形及结构

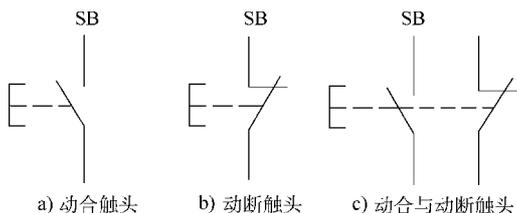


图 3-22 按钮的图形符号与文字符号

3-48 怎样选择控制按钮?

1) 应根据使用场合和具体用途选择按钮的类型。例如,控制台柜面板上的按钮一般可用开启式;若需显示工作状态,则用带指示灯式;在重要场所,为防止无关人员误操作,一般用钥匙式;在有腐蚀的场所一般用防腐式。

2) 应根据工作状态指示和工作情况的要求选择按钮和指示灯的颜色。如停止或分断用红色;起动或接通用绿色;应急或干预用黄色。

3) 应根据控制回路的需要选择按钮的数量。例如,需要作“正(向前)”、“反(向后)”及“停”三种控制处,可用三只按钮,并装在同一按钮盒内;只需作“起动”及“停止”控制时,则用两只按钮,并装在同一按钮盒内。

3-49 什么是行程开关?它有哪些类型?

在生产机械中,常需要控制某些运动部件的行程,或运动一定行程使其停止,或在一定行程内自动返回或自动循环。这种控制机械行程的方式叫“行程控制”或“限位控制”。

行程开关又叫限位开关是实现行程控制的小电流(5A以下)主令电器,其作用与控制按钮相同,只是其触头的动作不是靠手按动,而是利用机械运动部件的碰撞使触头动作,即将机械信号转换为电信号,通过控制其他电器来控制运动部件的行程大小、运动方向或进行限位保护。

行程开关按用途不同可分为两类:一类是一般用途行程开关(即常用的行程开关),它主要用于机床、自动生产线及其他生产机械的限位和程序控制;另一类是起重设备用行程开关,它主要用于限制起重机及各种冶金辅助设备的行程。常用的行程开关有JLXK1和LX19等系列。

3-50 行程开关的结构主要由哪几部分组成？它是怎样工作的？

JLXK1 系列行程开关结构原理如图 3-23 所示。其工作原理是，当运动机械的挡铁撞到行程开关的滚轮上时，行程开关的杠杆连同转轴一起转动，使凸轮推动撞块，当撞块被压到一定位置时，便推动微动开关快速动作，使其动断触头（常闭触头）断开，动合触头（常开触头）闭合；当滚轮上的挡铁移开后，复位弹簧就使行程开关的各部件恢复到原始位置，这种单轮旋转式行程开关能自动复位，在生产机械的自动控制中被广泛应用。

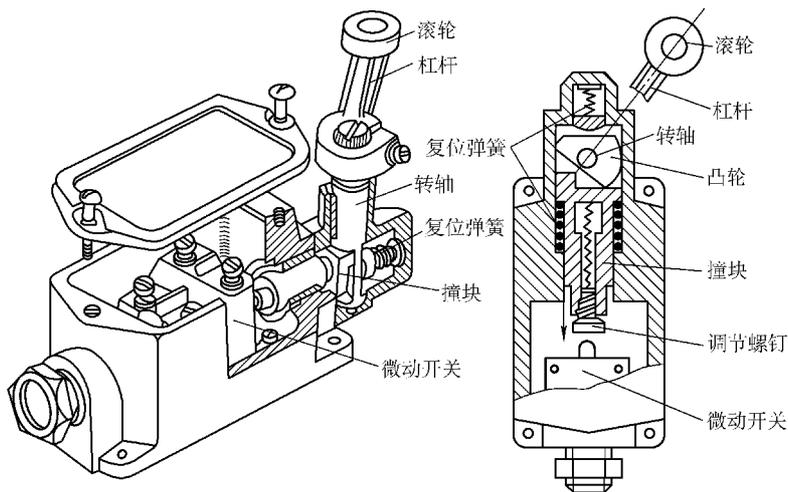


图 3-23 JLXK1 系列行程开关结构

行程开关的图形符号和文字符号如图 3-24 所示。

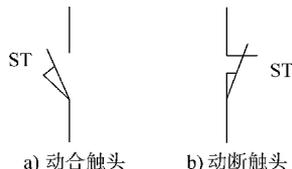


图 3-24 行程开关的图形符号和文字符号

3-51 怎样选择行程开关?

1) 根据使用场合和控制对象来确定行程开关的种类。当生产机械运动速度不是太快时,通常选用一般用途的行程开关;而当生产机械行程通过的路径不宜装设直动式行程开关时,应选用凸轮轴转动式的行程开关。

2) 根据使用环境条件,选择开启式或保护式等防护形式。

3) 根据控制电路的电压和电流选择系列。

4) 根据生产机械的运动特征,选择行程开关的结构形式(即操作方式)。

第 4 章

变压器原理与应用

4-1 什么是变压器？

变压器是一种静止的电气设备。它是利用电磁感应原理把一种电压等级的交流电能变换成频率相同的另一种电压等级的交流电能。变压器是电力系统中的重要设备，它在电能检测、控制等诸多方面也得到广泛的应用。另外，变压器还有变换电流、变换阻抗、改变相位和电磁隔离等作用。

由于变压器是利用电磁感应原理工作的，因此它的构成原则是，两个（或两个以上）相互绝缘的绕组套在一个共同的铁心上，它们之间有磁的耦合，但没有电的直接联系。所以，如同旋转电机一样，变压器也是以磁场为媒介的。

在电力系统中，一方面，向远方传输电能时，因线路的功率损失与电流的二次方成正比，为减少线路上的电能损耗，需要通过升高电压、降低电流来传输电能；另一方面，因用户的用电设备一般不能直接使用高电压，又需要降低电压，这就需要能实现电压变换的变压器。

4-2 变压器为什么能变换电压？

单相双绕组变压器的工作原理如图 4-1 所示。通常两个绕组中一个接到交流电源，称为一次绕组（原称原绕组或初级绕组）。另一个接到负载，称为二次绕组（原称副绕组或次级绕组）。

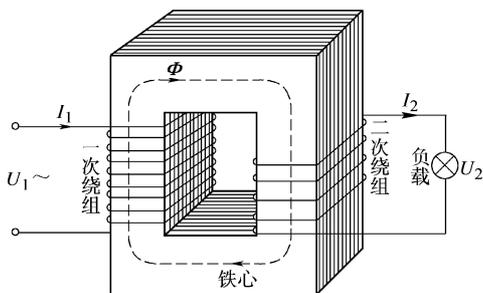


图 4-1 单相变压器的工作原理

当一次绕组接上交流电压 \dot{U}_1 时，一次绕组中就会有交流电流 \dot{I}_1 通过，并在铁心中产生交变磁通 $\dot{\Phi}$ ，其频率和外施电压的频率一样。这个交变磁通同时交链一、二次绕组，根据电磁感应定律，便在一、二次绕组中分别感应出电动势 \dot{E}_1 和 \dot{E}_2 。此时，如果二次绕组与负载接通，便有二次电流 \dot{I}_2 流入负载，二次绕组端电压 \dot{U}_2 就是变压器的输出电压，于是变压器就有电能输出，实现了能量传递。在这一过程中，一、二次绕组感应电动势的频率都等于磁通的交变频率，亦即一次侧外施电压的频率。根据电磁感应定律，感应电动势的大小与磁通、绕组匝数和频率成正比，即

$$E_1 = 4.44f N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44f N_2 \Phi_m$$

式中， E_1 、 E_2 为一、二次绕组的感应电动势 (V)； N_1 、 N_2 为一、二次绕组的匝数； f 为交流电源的频率 (Hz)； Φ_m 为主磁通的最大值 (Wb)。

以上两式相除，得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

因为在常用的电力变压器中，绕组本身的电压降很小，仅占绕组电压的 0.1% 以下，因此， $U_1 \approx E_1$ 、 $U_2 \approx E_2$ ，代入上式得

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = k$$

上式表明，一、二次绕组的电压比等于一、二次绕组的匝数比。因此，只要改变一、二次绕组的匝数，便可达到改变电压的目的。这就是利用电磁感应作用，把一种电压的交流电能转变成频率相同的另一种电压的交流电能的基本工作原理。

通常把一、二次绕组匝数的比值 k 称为变压器的电压比（简称变比）。只要使 k 不等于 1，就可以使变压器一、二次侧的电压不等，从而起到变压的作用。如果 $k > 1$ ，则为降压变压器；若 $k < 1$ ，则为升压变压器。

对于三相变压器来说，电压比是指相电压（或相电动势）的比值。

4-3 变压器有哪些类型？

变压器用途很广，品种和规格多种多样，但原理相同，都是根据电磁感应原理制成的。常用变压器的分类见表 4-1。

表 4-1 常用变压器的分类

分 类	名 称	主要用途
按用途分	电力变压器	用于电力系统中的升压或降压，供输电、配电和厂矿企业用电使用，是一种最普通的常用变压器
	试验变压器	可产生高压电，用于对电气设备进行高压试验
	测量变压器	包括电流互感器和电压互感器，用于测量仪表和继电保护装置
	调压器	可将系统电压波动控制在一定范围内以满足特殊设备的需要
	特种变压器	包括冶炼用的电炉变压器，电解用的整流变压器，焊接用的弧焊变压器等

(续)

分 类	名 称	主 要 用 途
按绕组结构分	双绕组变压器	用于连接两个电压等级的电力系统, 应用最普遍
	三绕组变压器	用于连接三个电压等级的电力系统, 多用于区域变电站
	自耦变压器	用于超高压、大电流设备的试验, 用得最多的还是大型设备的起动、实验室调压等
按相数分	单相变压器	用于单相负荷和三相变压器组
	三相变压器	用于三相系统的升、降电压
按冷却方式分	油浸式变压器	包括油浸自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环、风冷或水冷等
	干式变压器	依靠空气对流进行冷却, 一般用于小容量、不能有油的场所
按铁心形式分	心式变压器	用于高电压的电力系统
	壳式变压器	用于大电流的特殊变压器, 如弧焊变压器和电炉变压器等
按调压方式分	无励磁(无载)调压变压器	广泛用于对调压要求不是很高的场所
	有载调压变压器	主要用于对电压水平要求很较高场所

4-4 什么是电力变压器? 它有什么用途?

用于电力系统升、降压的变压器称为电力变压器。变压器在电力系统中, 是一种很重要的电气设备。将发电厂(站)发出的电能从发电厂(站)用高压输送到远处的用电地区, 需要用升压变压器; 再将高压电降低为低压电分配到各工矿企业、家庭等用户, 则需要用降压变压器。因此, 在电力系统中, 变压器对电能的经济传输、灵活分配和安全使用, 具有重要的意义。

电力变压器小至电杆上数千伏安, 巨至大型电站数十万千伏安的变压器, 大小差别悬殊。习惯上又把降压后直接接负载的变

压器称为配电变压器。

此外，还有以大电流和恒流为特性的某些特殊工艺装备用变压器，如弧焊变压器（又称电焊变压器）、电炉变压器和电解或化工用的整流变压器等。

变压器在电力系统中的应用概况如图 4-2 所示。

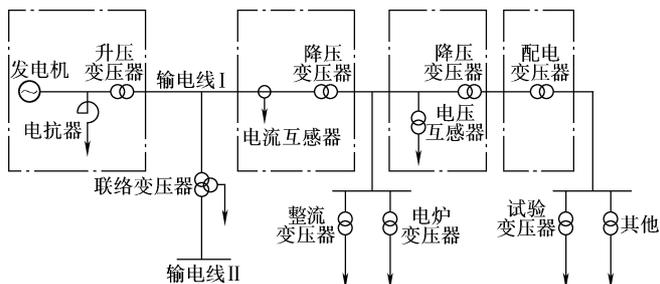


图 4-2 变压器在电力系统中的应用

4-5 电力变压器由哪几部分组成？

目前，油浸式电力变压器的产量最大，应用面最广。油浸式电力变压器的结构如图 4-3 所示。其主要由下列部分组成。

- 变压器 {
 - 器身—铁心、绕组、引线和绝缘
 - 油箱 {
 - 油箱本体（箱盖、箱壁和箱底或上、下节油箱）
 - 油箱附件（放油阀门、活门、油样活门、接地螺栓、铭牌等）
 - 调压装置—无励磁分接开关或有载分接开关
 - 冷却装置—散热器或冷却器
 - 保护装置—储油柜、油位计、安全气道、释放阀、吸湿器、测温元件、净油器、气体继电器等
 - 出线装置—高、中、低压套管，电缆出线等

图 4-4 是油浸式电力变压器的器身装配后的外观图。它主要由铁心和绕组两大部分组成。在铁心和绕组之间、高低压绕组之间及绕组中各匝之间均有相应的绝缘层。图中可看到高压侧的引

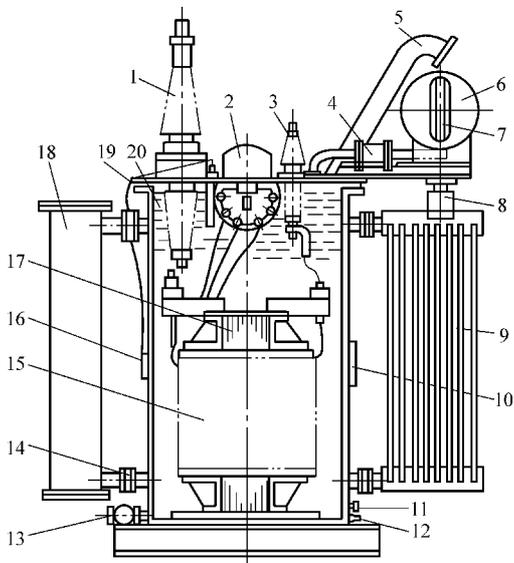


图 4-3 油浸式电力变压器的结构图

- 1—高压套管 2—分接开关 3—低压套管 4—气体继电器 5—安全气道
 (防爆管或释压阀) 6—贮油柜 7—油位计 8—吸湿器 9—散热器
 10—铭牌 11—接地螺栓 12—油样活门 13—放油阀门 14—活门
 15—绕组 16—信号温度计 17—铁心 18—净油器 19—油箱
 20—变压器油

线 1U、1V、1W，低压侧的引线 2U、2V、2W、N。另外，在高压侧设有调节电压用的无励磁分接开关。

4-6 变压器有哪些额定值？

额定值是制造厂对变压器在指定工作条件下运行时所规定的一些量值。在额定状态下运行时，可以保证变压器长期可靠地工作，并具有优良的性能。额定值亦是变压器厂进行产品设计和试验的依据。额定值通常标在变压器的铭牌上，亦称为铭牌值。

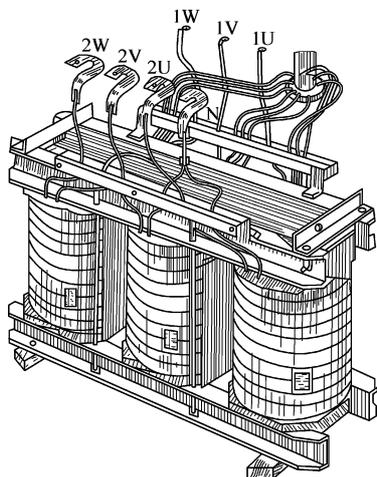


图 4-4 油浸式电力变压器的器身示意图

变压器的额定值主要如下：

1) 额定容量 S_N ：指在铭牌上所规定的额定状态下变压器的额定输出视在功率，以 VA、kVA 或 MVA 表示。由于变压器效率高，通常把一、二次额定容量设计得相等。

2) 额定电压 U_{1N} 和 U_{2N} ：一次额定电压 U_{1N} 是指电网施加到变压器一次绕组上的额定电压值。二次额定电压 U_{2N} 是指变压器一次绕组上施加额定电压 U_{1N} 时，二次绕组的空载电压值。额定电压用 V 或 kV 表示。对三相变压器的额定电压均指线电压。

3) 额定电流 I_{1N} 和 I_{2N} ：额定电流是指变压器在额定运行情况下允许发热所规定的线电流，单位用 A 表示。根据额定容量和额定电压可以求出一、二次绕组的额定电流。

对单相变压器，一、二次绕组的额定电流为

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

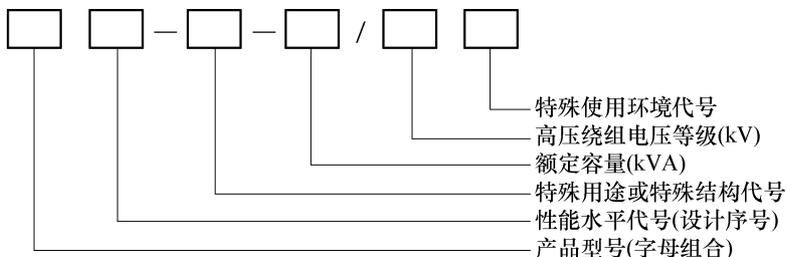
对三相变压器，一、二次绕组的额定电流为

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$$

- 4) 额定频率 f_N : 我国规定工频为 50Hz。
- 5) 效率 η : 变压器的效率为输出的有功功率与输入的有功功率之比的百分数。
- 6) 温升: 指变压器在额定状态下运行时, 所考虑部位的温度与外部冷却介质温度之差。
- 7) 阻抗电压: 阻抗电压曾称短路电压, 指变压器二次绕组短路 (稳态), 一次绕组流过额定电流时所施加的电压。
- 8) 空载损耗: 指当把额定交流电压施加于变压器的一次绕组上, 而其他绕组开路时的损耗, 单位用 W 或 kW 表示。
- 9) 负载损耗: 指在额定频率及参考温度下, 稳态短路时所产生的相当于额定容量下的损耗, 单位用 W 或 kW 表示。
- 10) 联结组标号: 指用来表示变压器各相绕组的连接方法以及一、二次绕组线电压之间相位关系的一组字母和序数。

4-7 变压器型号的含义是什么?

电力变压器不论哪种分类也包含不了变压器的全部特征, 在产品型号中往往要把所有的特征均表达出来。因此电力变压器产品型号表示方法如下:



变压器型号中字母符号含义见表 4-2。

变压器型号示例:

S9-500/10 表示三相油浸自冷式双绕组铜导线电力变压器,

其额定容量为 500kVA，高压绕组电压等级为 10kV。

表 4-2 变压器型号中字母符号含义

序 号	分 类	类 别	代 表 符 号	
			新 型 号	旧 型 号
1	相 数	单相	D	D
		三相	S	S
2	绕组外绝缘介质	变压器油	不标注	不标注
		空气	K	G
		成型固体	C	C
3	冷却方式	油浸自冷式	不标注	J
		空气自冷式	不标注	不标注
		风冷式	F	F
		水冷式	W	S
4	油循环方式	自然循环	N	不标注
		强迫导向循环	D	不标注
		强迫循环	P	P
5	绕组数	双绕组	不标注	不标注
		三绕组	S	S
6	调压方式	无励磁调压	不标注	不标注
		有载调压	Z	Z
7	绕组导线材料	铜	不标注	不标注
		铝	L	L
8	绕组耦合方式	自耦	O	O
		分裂	F	F

4-8 变压器的联结组标号是怎样表示的？

我国现行标准中规定，三相变压器的 3 个相绕组或组成三相变压器组的三台单相变压器，同一电压的绕组连接为星形、三角

形或曲折形时，高压绕组分别用 Y、D 或 Z 表示；中、低压绕组分别用 y、d、z 表示；有中性点引出的星形或曲折形联结用 YN (yn) 或 ZN (zn) 表示。自耦连接的低压绕组用 a 表示。

在表示变压器不同的联结组标号时，我国采用了时钟表示法，即把高压和低压绕组的线电压相量分别作为时钟面上的分针和时针，当分针固定指向 12 点时，时针所指的小时数即为联结组的标号。新旧电力变压器绕组联结组标号的对照见表 4-3。

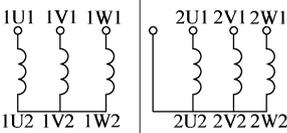
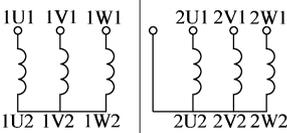
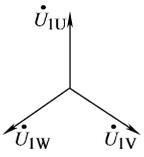
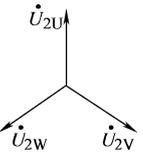
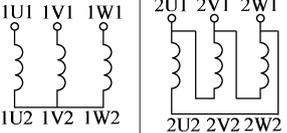
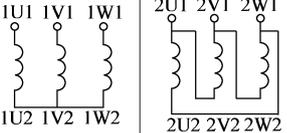
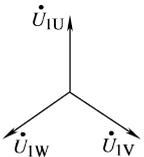
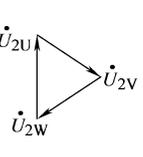
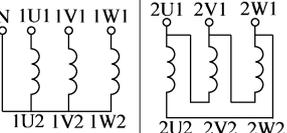
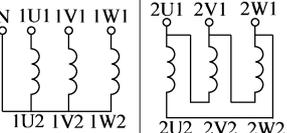
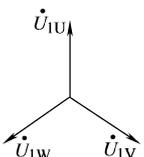
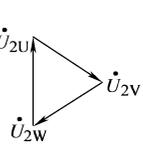
表 4-3 新旧电力变压器绕组联结组标号的对照

名 称	旧标准 (GB 1094—1979)			新标准 (GB 1094.1~5— 1996~2008)		
	高压	中压	低压	高压	中压	低压
星形联结	Y	Y	Y	Y	y	y
星形联结并有中性点引出	Y ₀	Y ₀	Y ₀	YN	yn	yn
三角形联结	Δ	Δ	Δ	D	d	d
曲折形联结	Z	Z	Z	Z	z	z
曲折形联结并有中性点引出	Z ₀	Z ₀	Z ₀	ZN	zn	zn
自耦变压器	联结组代号前加 0			有公共部分两绕组额定 电压较低的用 a		
组标号数	用 1~12，且前加横线			用 0~11		
联结符号间	联结符号间用斜线			联结符号间不加逗号		
联结组标号举例	Y ₀ /Δ-11			YNd11		

4-9 变压器常用的联结组有哪几种？

联结组的数目很多，为了制造和并联运行方便，我国国家标准规定只生产 Yyn0、Yd11、YNd11、YNy0、Yy0 等五种。其中前三种最常用，其接线和相量图见表 4-4，其应用范围如下：

表 4-4 双绕组三相变压器常用联结组

绕组连接		相量图		联结组标号
高 压	低 压	高 压	低 压	
				Yyn0 (即以前的Y/Y ₀ -12)
				Yd11 (即以前的Y/Δ-11)
				YNd11 (即以前的Y ₀ /Δ-11)

1) Yyn0 联结组：主要用于中、小容量的三相配电变压器，可带照明负载和动力负载，其高压侧电压不得超过 35kV，低压侧电压不得超过 400V，变压器容量不应超过 1800kVA，且星形联结的低压绕组中性点必须引出。

2) Yd11 联结组：用于高压为 10 ~ 35kV、低压为 3 ~ 10kV 电压等级的中、小容量变压器或较大容量的发电厂用变压器。

3) YNd11 联结组：主要用于高压输电线路中。

4-10 分接开关有什么作用？它有几种类型？

分接开关的作用是当电网电压发生波动时，通过它来切换变压器高压绕组或低压绕组的分接头，改变绕组的匝数，从而使变压器输出电压能够保持额定值。

切换分接头时，如在变压器高、低压绕组都从电网中切除的情况下进行，即不带电切换，称为无励磁调压，所使用的分接开关称为无励磁分接开关；如切换分接头时，不将变压器从电网中切除，而是带负载切换，则称为有载调压，所使用的分接开关称为有载分接开关。

电力变压器普遍采用无励磁分接开关。开关触头的结构形式由工作电流确定，小于 60A 时，则采用夹片式。图 4-5 是一种无励磁分接开关的外形图和接线图。

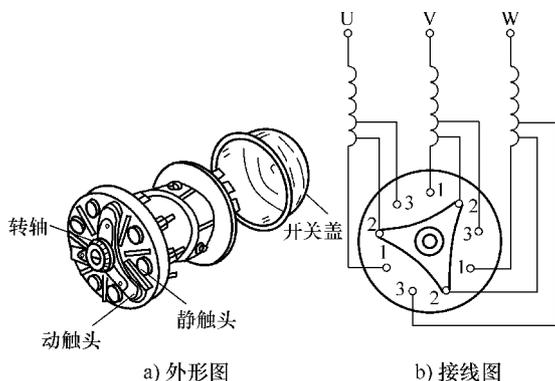


图 4-5 无励磁调压分接开关

4-11 变压器油有什么作用？

变压器油有以下几个主要作用：

1) 绝缘作用：变压器油具有比空气高得多的绝缘强度。铁心、绕组等浸在油中，不仅可提高绝缘强度，而且还可免受潮气的侵蚀。

2) 散热作用：变压器油的比热大，常用做冷却剂。变压器运行时产生的热量使靠近铁心和绕组的油受热膨胀上升，通过油的上下对流，热量通过散热器散出，保证变压器正常运行。

3) 消弧作用：变压器的有载调压开关在触头切换时会产生电弧。由于变压器油导热性能好，且在电弧的高温作用下能分解

出大量气体，产生较大压力，从而提高了介质的灭弧性能，使电弧很快熄灭。

4-12 如何选择变压器的容量？

电力变压器的容量选择很重要，如果容量选小了，会使变压器经常过载运行，甚至会烧毁变压器；如果容量选大了，会使变压器得不到充分利用，不仅会增加设备投资，还会使功率因数变低，增大线路和变压器本身耗损，效率降低。因此，变压器的容量一般按下式选择：

$$\text{变压器容量} = \frac{\text{用电设备总容量} \times \text{同时率}}{\text{用电设备功率因数} \times \text{用电设备效率}}$$

式中，同时率为同一时间投入运行的设备实际容量与用电设备总容量的比值，一般为 0.7 左右；用电设备功率因数一般为 0.8 ~ 0.9；用电设备效率一般为 0.85 ~ 0.9。

选择变压器容量时还应注意：一般用电设备的起动电流与额定电流不同，如三相异步电动机的起动电流为额定电流的 4 ~ 7 倍。因此，选择变压器时应考虑到这种电流的冲击。一般直接起动的电动机中最大的一台电动机的容量，不宜超过变压器容量的 30%。

4-13 变压器运行前应做哪些检查？

- 1) 检查变压器的试验合格证是否在有效期内；
- 2) 检查变压器的高、低压套管是否清洁、完好，有无破裂现象；
- 3) 检查变压器高、低压引线是否牢固，有无破损现象；三相的颜色标记是否正确无误，引线与外壳及电杆的距离是否符合要求；
- 4) 检查变压器的油面是否正常，有无渗油、漏油现象，呼吸孔是否通气；
- 5) 检查变压器的报警、继电器保护和避雷等保护装置工作

是否正常；

- 6) 检查变压器各部位的油门和分接开关位置是否正确；
- 7) 检查变压器的上盖密封是否严密，表面有无遗留杂物；
- 8) 检查变压器的安装是否牢固，所有螺栓是否可靠；
- 9) 检查变压器外壳接地线是否牢固可靠，接地电阻是否符合要求。

4-14 变压器运行中应进行哪些检查？

1) 检查变压器的声响是否正常，均匀的“嗡嗡”声为正常声音；

2) 检查变压器的油温是否正常；变压器正常运行时，上层油温一般不应超过 85℃，另外用手抚摸各散热器，其温度应无明显差别；

3) 检查变压器的油位是否正常，有无漏油现象；

4) 检查变压器的出线套管是否清洁，有无破裂和放电痕迹；

5) 检查高、低压熔断器的熔丝是否熔断；

6) 检查各引线接头有无松动和跳火现象；

7) 检查防爆管玻璃是否完好，玻璃内是否有油；

8) 检查呼吸器内硅胶干燥剂是否已吸收潮气变色；干燥时硅胶为蓝色，吸潮后变为淡粉红色；

9) 检查变压器外壳接地是否良好，接地线有无破损现象；

10) 检查变压器台上有无杂物，附近是否有柴草等易燃物；

11) 当天气发生雷雨和大风等异常变化时，应增加检查次数。

4-15 当发现哪些情况时应使变压器停止运行？

当发现变压器有下列情况之一时，应停止变压器运行。

1) 变压器内部响声过大，不均匀，有爆裂声等；

2) 在正常冷却条件下，变压器油温过高并不断上升；

3) 储油柜或安全气道喷油；

4) 严重漏油，致使油面降到油位计的下限，并继续下降；

- 5) 油色变化过甚或油内有杂质等;
- 6) 套管有严重裂纹和放电现象;
- 7) 变压器起火 (不必先报告, 立即停止运行)。

4-16 变压器有哪些常见故障? 应该怎样排除?

变压器常见故障及其排除方法见表 4-5。

表 4-5 变压器的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
变压器发出异常声响	<ol style="list-style-type: none"> 1) 变压器过负载, 发出的声响比平常沉重 2) 电源电压过高, 发出的声响比平常尖锐 3) 变压器内部振动加剧或结构松动, 发出的声响大而嘈杂 4) 绕组或铁心绝缘有击穿现象, 发出的声响大且不均匀或有爆裂声 5) 套管太脏或有裂纹, 发出“滋滋”声且套管表面有闪络现象 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 减少负载 2) 按操作规程降低电源电压 3) 减少负载或停电修理 4) 停电修理 5) 停电清洁套管或更换套管
油温过高	<ol style="list-style-type: none"> 1) 变压器过负载 2) 三相负载不平衡 3) 变压器散热不良 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 减少负载 2) 调整三相负载的分配, 使其平衡; 对于 Yyn 联结的变压器, 其中性线电流不得超过低压绕组额定电流的 25% 3) 检查并改善冷却系统的散热情况
油面高度不正常	<ol style="list-style-type: none"> 1) 油温过高, 油面上升 2) 变压器漏油、渗油, 油面下降 (注意与天气变冷而油面下降的区别) 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 见“油温过高”的处理方法 2) 停电修理

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
变压器油变黑	变压器绕组绝缘击穿	修理变压器绕组
低压熔丝熔断	<ol style="list-style-type: none"> 1) 变压器过负载 2) 低压线路短路 3) 用电设备绝缘损坏, 造成短路 4) 熔丝的容量选择不当, 熔丝本身质量不好或熔丝安装不当 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 减少负载, 更换熔丝 2) 排除短路故障, 更换熔丝 3) 修理用电设备, 更换熔丝 4) 更换熔丝, 按规定安装
高压熔丝熔断	<ol style="list-style-type: none"> 1) 变压器绝缘击穿 2) 低压设备绝缘损坏造成短路, 但低压熔丝未熔断 3) 熔丝的容量选择不当、熔丝本身质量不好或熔丝安装不当 4) 遭受雷击 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 修理变压器更换熔丝 2) 修理低压设备, 更换高压熔丝 3) 更换熔丝, 按规定安装 4) 更换熔丝
防爆管薄膜破裂	<ol style="list-style-type: none"> 1) 变压器内部发生故障(如绕组相间短路等), 产生大量气体, 压力增加, 致使防爆管薄膜破裂 2) 由于外力作用而造成薄膜破裂 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 停电修理变压器, 更换防爆管薄膜 2) 更换防爆管薄膜
气体继电器动作	<ol style="list-style-type: none"> 1) 变压器绕组匝间短路, 相间短路、绕组断线、对地绝缘击穿等 2) 分接开关触头表面熔化或灼伤; 分接开关触头放电或各分接头放电 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 停电修理变压器绕组 2) 停电修理分接开关

4-17 什么是电压互感器? 它有什么用途?

电压互感器是将电力系统的高电压变成标准的低电压(通

常为 100V 或 $100/\sqrt{3}\text{V}$) 的电器。它与测量仪表配合时,可测量电力系统的电压;与继电保护装置配合时,则可对电力系统进行保护。同时,它能使测量仪表和继电保护装置标准化,并与高压电隔离。

电压互感器的工作原理与变压器相同,其原理接线图如图 4-6 所示。测量时,一次绕组与被测电路并联,二次绕组接测量仪表。

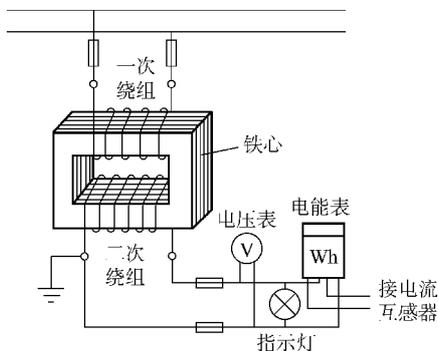


图 4-6 电压互感器原理接线图

4-18 使用电压互感器时应注意什么?

使用电压互感器时应注意以下几点:

- 1) 要根据被测电压的高低来选择电压互感器的额定电压;
- 2) 电压互感器要与仪表、仪器配套使用;
- 3) 电压互感器的一次绕组应并联在高压电路中,二次绕组与测量仪表、继电保护装置和指示电路等并联;

- 4) 运行中的电压互感器二次侧不允许短路,否则会烧毁二次绕组,故通常电压互感器的一次侧和二次侧都要装有熔断器;

- 5) 电压互感器的二次绕组和外壳应接地,以免电压互感器的绝缘被击穿时发生危险。

4-19 电压互感器运行时应进行哪些检查？

电压互感器运行时应进行以下检查：

- 1) 投入运行后，应检查二次电压是否正常，各仪表指针是否正确；
- 2) 检查一次侧熔断器和限流电阻是否完好；
- 3) 检查套管有无污垢、裂纹及放电现象；
- 4) 检查油位是否正常，外壳有无渗油现象；
- 5) 检查电压互感器本身有无异常声响。

4-20 什么是电流互感器？它有什么用途？

电流互感器是将高压系统中的电流或低压系统中的大电流，变成标准的小电流（5A 或 1A）的电器。它与测量仪表相配合时，可测量电力系统的电流；与继电器配合时，则可对电力系统进行保护。同时，它能使测量仪表和继电保护装置标准化，并与高电压隔离。

电流互感器的工作原理与变压器相同，其原理接线如图 4-7 所示，测量时，一次绕组串联在被测电路中，二次绕组与测量仪表、继电器、指示电路等串联。

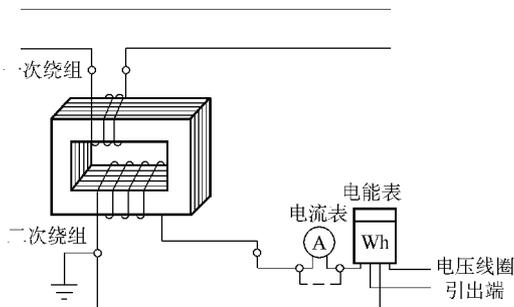


图 4-7 电流互感器原理接线图

4-21 使用电流互感器时应注意什么？

使用电流互感器应注意以下几点：

- 1) 要根据被测电流的大小来选择额定电流值和电流比，且要与仪表配套使用；
- 2) 电流互感器应串联在被测电路中使用；
- 3) 电流互感器的二次绕组和外壳应可靠接地，以防高压危险；
- 4) 运行中的电流互感器二次绕组绝不允许开路，否则会在二次绕组两端产生高压，烧毁电流互感器，甚至危及人身安全。因此，电流互感器在运行时，若需在二次侧拆装仪表，必须先将二次侧短路后才能拆装。而且，在二次侧不允许装设熔断器或开关。

4-22 电流互感器运行时应进行哪些检查？

电流互感器运行时应进行以下检查：

- 1) 检查电流互感器的瓷质部分是否清洁，有无破损、裂纹及放电现象；
- 2) 检查电流互感器有无异常声响和焦臭味；
- 3) 检查一次侧导线接头是否牢固，有无松动、过热现象；
- 4) 检查二次侧接地是否牢固、良好，有无松动、断裂现象；
- 5) 检查充油电流互感器的油位是否正常，有无渗漏油现象；
- 6) 检查二次侧仪表指示是否正常。

4-23 什么是电焊变压器？它是怎样工作的？

电焊变压器又称交流弧焊机（或弧焊变压器），它是一种特殊的降压变压器。

电焊变压器原理电路如图 4-8 所示，它是由变压器 T 在二次

侧回路串入电抗器 L 构成的。

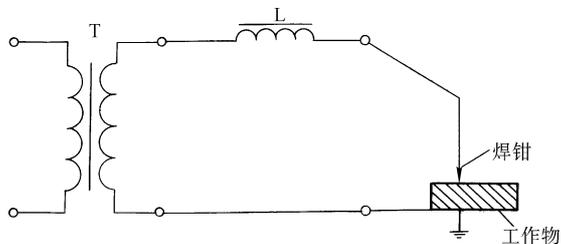


图 4-8 电焊变压器原理电路

未进行焊接时，变压器二次侧开路电压为 $60 \sim 80\text{V}$ ，开始焊接时焊工用焊条迅速轻敲焊接工件的瞬间，变压器二次侧短路，二次电压降为零。随着焊条接触工件后，缓慢离开工件约 5mm 左右时，将产生电弧，该电弧的高温熔化焊条和工件金属，对工件实现焊接。在电弧稳定燃烧进行焊接的过程中，焊钳与工件间的电压约为 $20 \sim 40\text{V}$ 。要停止焊接，只需把焊条与工件间的距离拉大，电弧即可熄灭。

焊接不同的工件，需要采用不同直径的焊条，也就需要不同大小的焊接电流。通常采用改变电抗器的电抗值，即改变铁心状态、线圈匝数、线圈位置等方法来实现。

4-24 电焊变压器有哪些类型？

电焊变压器可分为动铁式、动圈式和串联电抗器式三种。

1) 动铁式电焊变压器：动铁式又称磁分路动铁式电焊变压器，其结构示意图如图 4-9 所示。它是通过动铁心的前后移动，改变电抗线圈磁路的磁阻，从而改变电抗线圈的电抗值，来实现对电焊电流的调节的。

2) 动圈式电焊变压器：动圈式电焊变压器没有专门设电抗线圈，它是靠二次绕组本身的漏电抗来控制焊接电流的，其结构如图 4-10 所示。通过转动调节机构的手柄，可使一次绕组上、下移动，改变一、二次绕组之间的距离，即可改变二次侧漏磁通

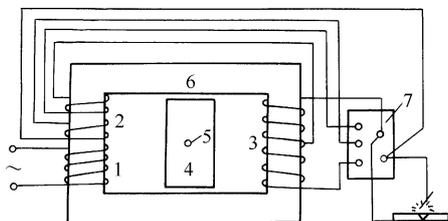


图 4-9 动铁式电焊变压器的结构示意图

- 1—一次绕组 2、3—二次绕组 4—动铁心
5—螺杆 6—静铁心 7—接线板

的大小，从而改变二次侧回路漏电抗的大小，实现对焊接电流的调节。

3) 串联电抗器式电焊变压器：串联电抗器式电焊变压器又称组合电抗器式电焊变压器，它分为同体式和分体式两种。其原理是通过改变动铁心和静铁心的相对位置从而改变电抗器的电抗值，来实现对电焊电流的调节。同体式电焊变压器的结构如图 4-11 所示。

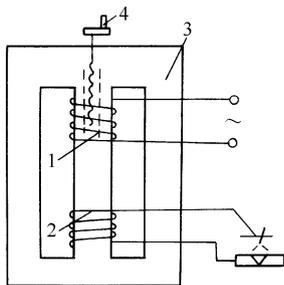


图 4-10 动圈式电焊变压器的结构示意图

- 1—一次绕组 2—二次绕组
3—铁心 4—手柄

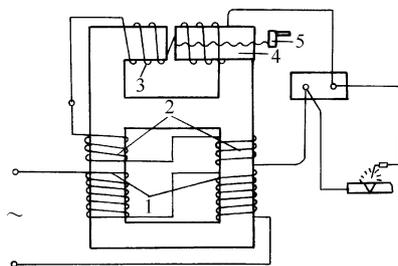


图 4-11 串联电抗器式（同体式）电焊变压器的结构示意图

- 1—一次绕组 2—二次绕组 3—电抗线圈
4—动铁心 5—手柄

4-25 怎样使用与维护电焊变压器？

1) 电焊变压器应放在通风良好、干燥的地方，并注意防尘；

2) 对于长期停用或第一次投入运行的电焊变压器，应用500V绝缘电阻表进行检查，绝缘电阻不应低于 $0.5M\Omega$ ；

3) 要注意检查配电系统的开关、熔断器、电压等级、电源功率是否符合要求；

4) 电焊变压器外壳应可靠接地，以保证操作安全；

5) 检查电焊变压器各部位接线是否正确，电线接头是否牢固；

6) 在焊接过程中，应注意检查电焊变压器的温升，焊钳与工件接触的时间不能过长，以免烧坏电焊变压器；

7) 要经常检查焊接电缆有无破损及过热现象；

8) 在电焊变压器运行一段时间后，应用细砂布将各接触面的氧化层除去；

9) 工作完毕后，应及时切断电焊变压器的电源，以确保安全。

4-26 电焊变压器有哪些常见故障？应该怎样排除？

电焊变压器的常见故障及其排除方法见表4-6。

表4-6 电焊变压器的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
焊机不起弧	1) 电源没有电压 2) 电源电压过低 3) 焊机接线错误 4) 焊机绕组短路或断路	1) 检查电源开关和熔断器的接通情况及电源电压 2) 调整电源电压 3) 检查一次侧和二次侧的接线是否正确 4) 检修绕组

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
焊机电流过小	<ol style="list-style-type: none"> 1) 焊机功率过小 2) 电源引线和焊接电缆过长, 压降过大 3) 电源引线和焊接电缆盘成盘形, 电感过大 4) 焊接电缆接头松动 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 更换大功率的焊机或两台并联使用 2) 减小导线长度或加大线径 3) 将导线放开 4) 将接头重新焊好
焊接电流过大	电抗线圈或二次绕组中起电抗作用的线圈绝缘损坏	检修线圈
焊接电流忽大忽小	<ol style="list-style-type: none"> 1) 传动部件磨损, 框架螺栓松动, 滑道间隙过大, 使动铁心位置不稳定 2) 导线接触不好 3) 一台单人焊机两人同时使用 4) 电源容量过小, 其他用电设备的运行导致焊接电流变化 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 更换损坏的部件。如系螺杆磨损, 可将手柄调好位置后固定住使用 2) 将导线重新接好 3) 停止一处 4) 提高电源容量或减少其他用电设备
焊机过热	<ol style="list-style-type: none"> 1) 电源电压过高 2) 焊机过载 3) 焊机绕组短路 4) 铁心硅钢片短路 5) 铁心夹紧螺杆及夹件的绝缘损坏 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 用电压表检查电源电压值, 并与焊机铭牌上的规定数值相对照 2) 按规定的负载持续率下的焊接电流值使用 3) 检修绕组 4) 清洗硅钢片, 重刷绝缘漆 5) 更换绝缘构件
导线接头处发热、发红或烧毁	<ol style="list-style-type: none"> 1) 接线处接触电阻过大或接线松动 2) 接线螺栓是铁制的 3) 焊接时间过长 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 将接线拆开, 用细砂纸将接触处的污垢及氧化层擦去, 然后拧紧螺母 2) 更换为铜制的 3) 按规定负载持续率进行焊接

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
熔断器经常熔断	<ol style="list-style-type: none"> 1) 电源线短路或接地 2) 一次或二次绕组匝间短路 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 检查电源线的情况 2) 检修绕组
焊机外壳带电	<ol style="list-style-type: none"> 1) 绕组绝缘损坏, 与铁心、外壳接触 2) 电源引线或焊接电缆碰外壳 3) 无接地线或接触不良 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 用绝缘电阻表检查绕组对地绝缘电阻 2) 检查电源引线和焊接电缆与接线板的连接情况 3) 接好接地线
焊机振动及响声过大	<ol style="list-style-type: none"> 1) 动铁心上的螺杆和拉紧弹簧松动或脱落 2) 动铁心或动线圈的传动机构有故障 3) 移动滑道磨损严重, 间隙过大 4) 绕组短路 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 加固动铁心及拉紧弹簧 2) 检修传动件 3) 更换磨损的部件 4) 检修绕组
调节手柄摇不动或动铁心、动线圈不能移动	<ol style="list-style-type: none"> 1) 传动机构上油垢太多或已锈住 2) 传动机构磨损 3) 移动滑道上有障碍物 4) BX3 系列焊机绕组的引线挂住或挤在线圈中 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 清洗或除锈 2) 检修或更换磨损的零件 3) 清除障碍物 4) 清理绕组引出线

第 5 章

常用电动机原理与应用

5-1 交流电动机有哪些类型？

交流电动机的种类很多，分类方法也很多，简单的分类，特点及用途见表 5-1。

表 5-1 交流电动机的分类、特点及用途

名 称	特点及用途
异步电动机	异步电动机的转速与所接电源频率之比不是恒定值。普通异步电动机的定子绕组接交流电源，转子绕组不需与其他电源连接。因此，它具有结构简单、制造方便、坚固耐用、成本较低、效率较高和运行可靠等优点，所以其在工农业生产和人们的日常生活中得到了广泛应用。但是异步电动机要从电网吸取滞后电流，使电网的功率因数变差
同步电动机	同步电动机的转速不随负载的变化而改变，其功率因数是可以调节的，因此广泛地用以拖动大容量恒定转速的机械负载。但是同步电动机的结构复杂，需要直流励磁、造价高、运行维护较麻烦
交流换向器电动机	单相串励换向器电动机（简称单相串励电动机）是一种交直流两用的有换向器的电动机，它被广泛用于电动工具、牵引机车等；三相并励换向器电动机是一种能均匀调节转速的电动机，由于它具有调节范围广、速度调节平滑、起动性能好、功率因数高等优点，所以在纺织、造纸、印刷等工业中得到应用。但是由于上述两种电动机有换向器，所以结构复杂、维护困难

5-2 什么是三相异步电动机?

三相异步电动机,又称为三相交流感应电动机。由于三相异步电动机具有结构简单、制造容易、工作可靠、维护方便、价格低廉等优点,现已成为工农业生产中应用最广泛的一种电动机。例如,在工业方面,它被广泛用于拖动各种机床、风机、水泵、压缩机、搅拌机、起重机等生产机械;在农业方面,它被广泛用于拖动排灌机械及脱粒机、碾米机、榨油机、粉碎机等各种农副产品加工机械。

5-3 三相异步电动机由哪几部分组成?

三相异步电动机主要由两大部分组成,一个是静止部分,称为定子;另一个是旋转部分,称为转子。转子装在定子腔内,为了保证转子能在定子内自由转动,定、转子之间必须有一定的间隙,称为气隙。此外,在定子两端还装有端盖等。笼型三相异步电动机的结构如图5-1所示,绕线转子三相异步电动机的结构如图5-2所示。

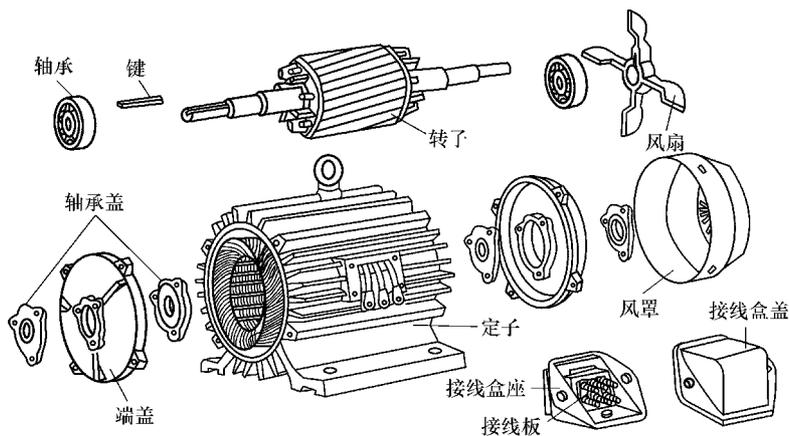


图5-1 笼型三相异步电动机的结构

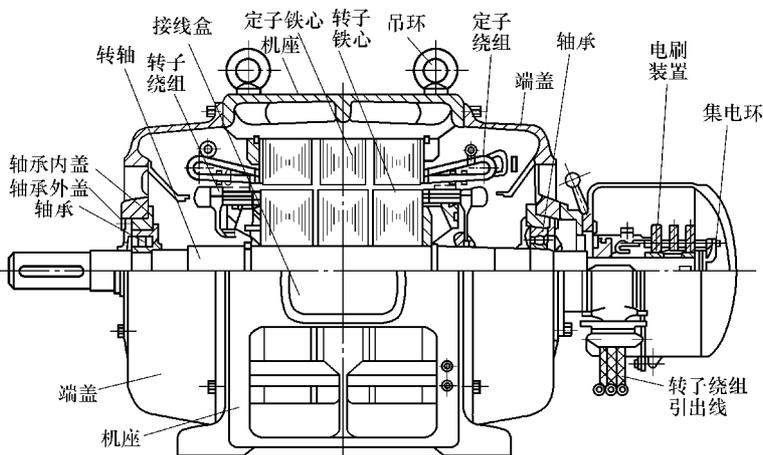


图 5-2 绕线转子三相异步电动机的结构

1. 定子 定子主要由机座、定子铁心、定子绕组等三部分组成。

1) 机座：机座是电动机的外壳和支架，它的作用是固定和保护定子铁心及定子绕组并支撑端盖。机座上设有接线盒，用以连接绕组引线和接入电源。

2) 定子铁心：定子铁心是电动机的磁路的一部分，一般用 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成。在定子冲片的内圆均匀地冲有许多槽，用以嵌放定子绕组。

3) 定子绕组：定子绕组是电动机的电路部分。三相异步电动机有三个独立的绕组（即三相绕组），每相绕组包含若干线圈，每个线圈又由若干匝构成。三相绕组按照一定的规律依次嵌放在定子槽内，并与定子铁心之间绝缘。定子绕组通以三相交流电时，便会产生旋转磁场。

2. 转子 转子由转子铁心、转子绕组和转轴等三部分组成。

1) 转子铁心：转子铁心也是电动机磁路的一部分，一般用 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成，在硅钢片的外圆上均匀地冲有许多槽，用以浇铸铝条或嵌放转子绕组。转子铁心压装在转轴上。

2) 转子绕组：转子绕组分为笼型和绕线转子两种。

① 笼型转子绕组：该绕组是由插入每个转子铁心槽中的裸导条与两端的环形端环连接组成。如果去掉铁心，整个绕组就像一只笼子，故称为笼型转子绕组，如图 5-3 所示。

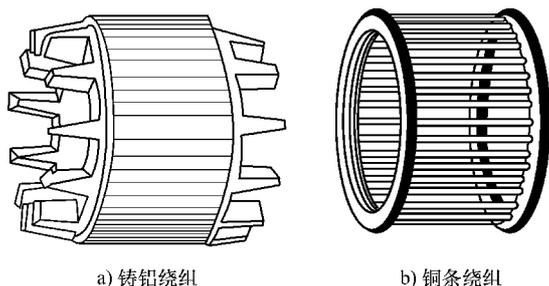


图 5-3 笼型转子绕组

② 绕线转子绕组：绕线转子绕组与定子绕组相似，也是把绝缘导线嵌入槽内，接成三相对称绕组，一般采用星形（Y）联结，三根引出线通过转轴内孔分别接到固定在转轴上的三个铜制的互相绝缘的集电环上，转子绕组可以通过集电环和电刷与外接变阻器相连，用以改善电动机的起动性能或调节电动机的转速。绕线转子如图 5-4a 所示。绕线转子绕组与外接变阻器的连接，如图 5-4b 所示。

3) 转轴：转轴一般由中碳钢制成，它的作用主要是支承转子，传递转矩，并保证定子与转子之间具有均匀的气隙。

5-4 三相异步电动机为什么会转动？

三相异步电动机工作原理的示意图如图 5-5 所示。在一个可旋转的马蹄形磁铁中，放置一个可以自由转动的笼型绕组，如图 5-5a 所示。当转动马蹄形磁铁时，笼型绕组就会跟着它向相同的方向旋转。这是因为磁铁转动时，它的磁场与笼型绕组中的导体（即导条）之间产生相对运动，磁场顺时针方向旋转，相当于转子导体逆时针方向切割磁力线，根据右手定则可以确定转子

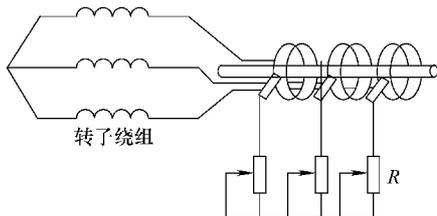
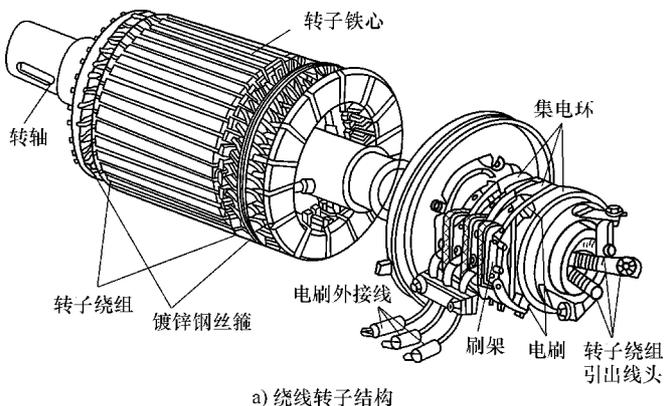


图 5-4 绕线转子

导体中感应电动势的方向，如图 5-5b 所示。由于导体两端被金属端环短路，因此在感应电动势的作用下，导体中就有感应电流流过，如果不考虑导体中电流与电动势的相位差，则导体中感应电流的方向与感应电动势的方向相同。这些通有感应电流的导体在磁场中会受到电磁力 f 的作用，导体受力方向可根据左手定则确定。因此，在图 5-5b 中，N 极范围内的导体受力方向向右，而 S 极范围内的导体的受力方向向左，这是一对大小相等、方向相反的力，因此就形成了电磁转矩 T_e ，使笼型绕组（转子）朝着磁场旋转的方向转动起来。这就是异步电动机的简单工作原理。

实际的三相异步电动机是利用定子三相对称绕组通入三相对

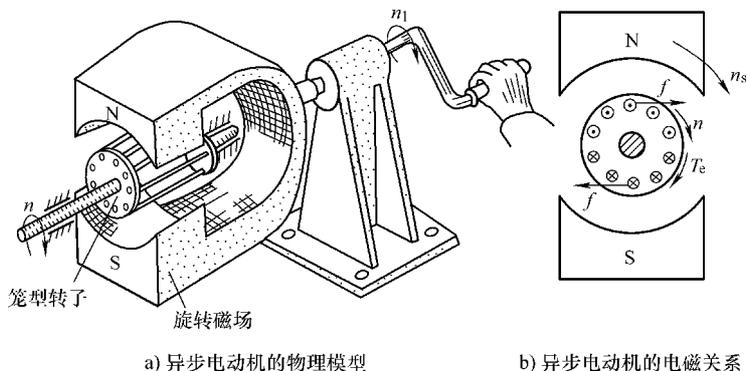


图 5-5 异步电动机工作原理示意图

称电流而产生旋转磁场的，这个旋转磁场的转速 n_s 又称为同步转速。三相异步电动机转子的转速（即电动机的转速） n 不可能达到定子旋转磁场的转速，即电动机的转速 n 不可能达到同步转速 n_s 。因为，如果达到同步转速，则转子导体与旋转磁场之间就没有相对运动，因而在转子导体中就不能产生感应电动势和感应电流，也就不能产生推动转子旋转的电磁力 f 和电磁转矩 T_e ，所以，异步电动机的转速总是低于同步转速，即两种转速之间总是存在差异，异步电动机因此而得名。由于转子电流由感应产生，故这种电动机又称为感应电动机。

5-5 旋转磁场的转向由什么决定？

旋转磁场的旋转方向决定于三相电流的相序（即三相电流出现最大值的顺序）。三相电流按相序 L1-L2-L3 轮流达到最大值，合成磁场就顺着 L1-L2-L3 三相绕组排列的方向（顺时针方向）转动；假如电流相序改为 L1-L3-L2 或 L2-L1-L3，合成磁场就按 L1-L3-L2 或 L2-L1-L3 三相绕组排列的方向（逆时针方向）旋转。因此，只要把三相异步电动机三根电源线中任意两根线对调一下，使绕组中电流相序改变，磁场旋转方向就随之改变，电动机转子也就反转。

5-6 如何改变三相异步电动机的旋转方向？

由三相异步电动机的工作原理可知，电动机的旋转方向（即转子的旋转方向）与三相定子绕组产生的旋转磁场的旋转方向相同。倘若要想改变电动机的旋转方向，只要改变旋转磁场的旋转方向就可实现。即只要调换三相电动机中任意两根电源线的位置，就能达到改变三相异步电动机旋转方向的目的，如图 5-6 所示。

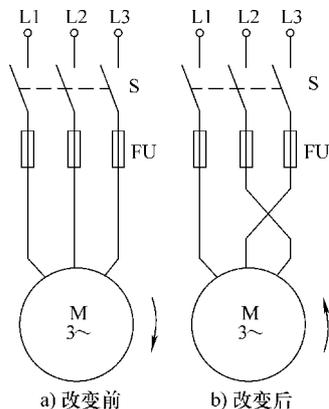


图 5-6 改变三相异步电动机旋转方向的方法

5-7 旋转磁场的转速与什么因素有关？

由电机学可知，电动机的旋转磁场的转速为

$$n_s = \frac{60f_1}{p}$$

式中， n_s 为电动机的旋转磁场的转速（r/min）； f_1 为电源频率（Hz）； p 为电动机的磁极对数。

可见，电动机的旋转磁场的转速 n_s 与电源频率 f_1 和电动机定子绕组的极对数 p 有关。

5-8 什么是电动机的转差率？如何计算三相异步电动机的转速？

由三相异步电动机的工作原理可知，异步电动机的转速（转子旋转速度） n 总是略低于旋转磁场的转速（同步转速） n_s ，旋转磁场的转速 n_s 与转子转速 n 之差称为转差，用 Δn 表示。转差 Δn 与同步转速 n_s 的比值称为转差率，用字母 s 表示，即

$$s = \frac{\Delta n}{n_s} = \frac{n_s - n}{n_s}$$

通常用百分数表示转差率，则

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

转差率是异步电动机的重要参数之一，在分析异步电动机的运行状态时非常有用。当三相异步电动机在额定负载下运行时，转差率 s 约为 2% ~ 5%。电动机功率越大，效率越高，转差率越小。

根据上式可写出 $n = (1 - s)n_s$ 的关系式。所以，只要知道旋转磁场的同步转速，或者电动机的极数，便可估算出电动机的转速。

例 5-1 一台三相异步电动机的电源频率 $f = 50\text{Hz}$ ，若该电动机是 4 极电机、转差率 $s = 0.02$ ，试求该电动机的同步转速和电动机的转速。

解：因为该电动机为 4 极电机，即电动机的极对数 $p = 2$ ，所以该电动机的同步转速

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500\text{r/min}$$

而该电动机的转速为

$$n = (1 - s)n_s = (1 - 0.02) \times 1500\text{r/min} = 1470\text{r/min}$$

5-9 三相异步电动机有哪些类型？

三相异步电动机的系列、品种、规格繁多，其分类方法也很多。三相异步电动机的主要分类见表 5-2。

表 5-2 三相异步电动机分类表

序号	分类因素	主要类别
1	输入电压	① 低压电机 (< 3000V); ② 高压电机 (> 3000V)

(续)

序号	分类因素	主要类别
2	轴中心高等级	①微型电机 (<80mm); ②小型电机 (80 ~ 315mm); ③中型电机 (355 ~ 560mm); ④大型电机 (≥630mm)
3	转子绕组形式	①笼型转子电机; ②绕线转子电机
4	使用时的安装方式	①卧式; ②立式
5	使用环境 (防护功能)	①封闭式; ②开启式; ③防爆型; ④化工腐蚀型; ⑤防湿热型; ⑥防盐雾型; ⑦防振型
6	用途	①普通型; ②冶金及起重用; ③井用 (潜油或水); ④矿山用; ⑤化工用; ⑥电梯用; ⑦需隔爆的场合用; ⑧附加制动器型; ⑨可变速型; ⑩高起动转矩型; ⑪高转差率型

5-10 三相异步电动机的型号是怎样表示的?

国产三相异步电动机的型号一律采用大写印刷体的汉语拼音字母和阿拉伯数字来表示。三相异步电动机的型号一般由三部分组成,排列顺序及含义如下:

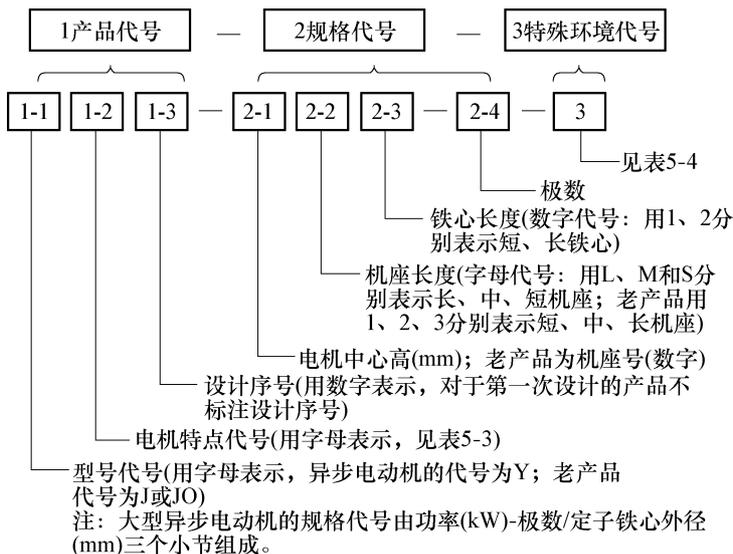


表 5-3 常用异步电动机的特点代号

特点代号	汉字意义	产品名称	新产品代号	老产品代号
—	—	笼型异步电动机	Y	J、JO、JS
R	绕	绕线转子异步电动机	YR	JR、JRZ
K	快	高速异步电动机	YK	JK
RK	绕快	绕线转子高速异步电动机	YRK	JRK
Q	起	高起动转矩异步电动机	YQ	JQ
H	滑	高转差（滑差）率异步电动机	YH	JH、JHO
D	多	多速异步电动机	YD	JD JDO
L	立	立式笼型异步电动机	YL	JLL
RL	绕立	立式绕线转子异步电动机	YRL	—
J	精	精密机床用异步电动机	YJ	JJO
Z	重	起重冶金用笼型异步电动机	YZ	JZ
ZR	重绕	起重冶金用绕线转子异步电动机	YZR	JZR
M	木	木工用异步电动机	YM	JMO

表 5-4 特殊环境代号

特殊环境条件	代 号	特殊环境条件	代 号
高原用	G	热带用	T
船用	H	湿热带用	TH
户外用	W	干热带用	TA
化工防腐用	F		

三相异步电动机的型号示例：

Y-100L2-4——三相异步电动机，中心高为 100mm、长机座、2 号铁心长、4 极。

Y2-132S-6——三相异步电动机，第二次系列设计、中心高为 132mm、短机座、6 极。

YZR630-10/1180——大型起重冶金用绕线转子异步电动机，功率为 630kW、10 极、定子铁心外径为 1180mm。

J2-61-2——防护式三相异步电动机，第二次系列设计、6号机座、1号铁心长、2极。

JO2-32-4——封闭式三相异步电动机，第二次系列设计、3号机座、2号铁心长、4极。

5-11 三相异步电动机的铭牌上各项内容的含义是什么？

在电动机铭牌上标明了由制造厂规定的表征电动机正常运行状态的各种数值，如功率、电压、电流、频率、转速等，称为额定参数。异步电动机按额定参数和规定的工作制运行，称为额定运行。它们是正确使用、检查和维修电动机的主要依据。图 5-7 所示为一台三相异步电动机的铭牌实例，其中各项内容的含义如下：

三相异步电动机			
型号	Y132S-4		出厂编号
功率 5.5kW	电流 11.6A		
电压 380V	转速 1440r/min		噪声 Lw78dB
接法 Δ	防护等级 IP44	频率 50Hz	重量 68kg
标准编号	工作制 S1	绝缘等级 B 级	年 月
× × 电机厂			

图 5-7 三相异步电动机的铭牌

1) 型号：型号是表示电动机的类型、结构、规格及性能等的代号。

2) 额定功率：异步电动机的额定功率，又称额定容量，指电动机在铭牌规定的额定运行状态下工作时，从转轴上输出的机械功率。单位（W 或 kW）。

3) 额定电压：指电动机在额定运行状态下，定子绕组应接的线电压。单位（V 或 kV）。如果铭牌上标有两个电压值，表示

定子绕组在两种不同接法时的线电压。例如，电压 220/380，接法 Δ/Y ，表示若电源线电压为 220V 时，三相定子绕组应接成三角形 (Δ)，若电源线电压为 380V 时，定子绕组应接成星形 (Y)。

4) 额定电流：指电动机在额定运行状态下工作时，定子绕组的线电流，单位 (A)。如果铭牌上标有两个电流值，表示定子绕组在两种不同接法时的线电流。

5) 额定频率：指电动机所使用的交流电源频率，单位 (Hz)。我国规定电力系统的工作频率为 50Hz。

6) 额定转速：指电动机在额定运行状态下工作时，转子每分钟的转数，单位 (r/min)。一般异步电动机的额定转速比旋转磁场转速 (同步转速 n_s) 低 2% ~ 5%，故从额定转速也可知道电动机的极数和同步转速。电动机在运行中的转速与负载有关。空载时，转速略高于额定转速；过载时，转速略低于额定转速。

7) 接法：接法是指电动机在额定电压下，三相定子绕组 6 个首末端头的连接方法，常用的有星形 (Y) 和三角形 (Δ) 两种。

8) 工作制 (或定额)：指电动机在额定值条件下运行时，允许连续运行的时间，即电动机的工作方式。

9) 绝缘等级 (或温升)：指电动机绕组所采用的绝缘材料的耐热等级，它表明电动机所允许的最高工作温度。

10) 防护等级：电动机的外壳防护形式分两种。第一种，防止固体异物进入电机内部及防止人体触及电机内的带电或运动部分的防护；第二种，防止水进入电机内部程度的防护。

5-12 三相异步电动机的接线盒内是怎样接线的？

三相定子绕组每相都有两个引出线头，一个称为首端，另一个称为末端。按国家标准规定，第一相绕组的首端用 U_1 表示，末端用 U_2 表示；第二相绕组的首端和末端分别用 V_1 和 V_2 表

示；第三相绕组的首端和末端分别用 W1 和 W2 表示。这 6 个引出线头引入接线盒的接线柱上，接线柱标出对应的符号，如图 5-8 所示。

三相定子绕组的 6 根端头可将三相定子绕组接成星形 (Y) 或三角形 (Δ)。星形联结是将三相绕组的末端连接在一起，即将 U2、V2、W2 接线柱用铜片连接在一起，而将三相绕组的首端 U1、V1、W1 分别接三相电源，如图 5-8b 所示。三角形联结是将第一相绕组的

首端 U1 与第三相绕组的末端 W2 连接在一起，再接入一相电源；将第二相绕组的首端 V1 与第一相绕组的末端 U2 连接在一起，再接入第二相电源；将第三相绕组的首端 W1 与第二相绕组的末端 V2 连接在一起，再接入第三相电源。即在接线板上将接线柱 U1 和 W2、V1 和 U2、W1 和 V2 分别用铜片连接起来，再分别接入三相电源，如图 5-8c 所示。一台电动机是接成星形或是接成三角形，应视生产厂家的规定而进行，可从铭牌上查得。

三相定子绕组的首末端是生产厂家事先预定好的，绝不能任意颠倒，但可以将三相绕组的首末端一起颠倒，例如将 U2、

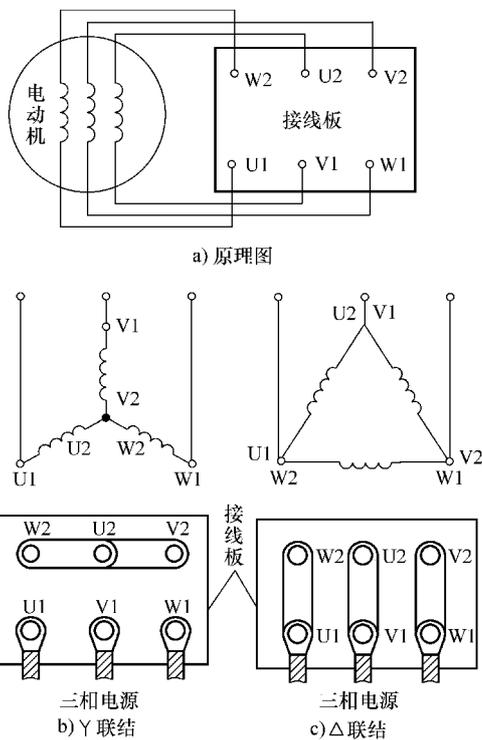


图 5-8 接线盒的接线方法

V2、W2 作为首端，而将 U1、V1、W1 作为末端。但绝对不能单独将一相绕组的首末端颠倒，如将 U1、V2、W1 作为首端，将会产生接线错误。

5-13 什么是电动机的绝缘等级？

绝缘等级（或温升）是指电动机绕组所采用的绝缘材料的耐热等级，它表明电动机所允许的最高工作温度。

绝缘等级是指电机绕组采用的绝缘材料的耐热等级。电机中常用的绝缘材料，按其耐热能力可分为 A、E、B、F、H 五种等级。每一绝缘等级的绝缘材料都有相应的极限允许工作温度（电机绕组最热点的温度），见表 5-5。电机运行时，绕组最热点的温度不得超过表 5-5 中的规定。否则，会引起绝缘材料过快老化（表征绝缘老化的现象，除电气绝缘性能降低外，绝缘材料变脆、机械强度降低，在振动、冲击和湿热条件下出现裂纹、起皱、断裂、寿命大大降低），缩短电机寿命；如果温度超过允许值很多，绝缘就会损坏，导致电动机烧毁。

表 5-5 绝缘材料的耐热等级及极限工作温度

绝缘等级	A	E	B	F	H
极限工作温度/℃	105	120	130	155	180

电机某部件的温度与周围介质温度（周围环境温度）之差，就称为该部件的温升。电机在额定状态下长期运行而其温度达到稳定时，电机各部件温升的允许极限值称为温升限度（又称温升限值）。国家标准对电机的绕组、铁心、冷却介质、轴承、润滑油等部分的温升都规定了不同的限值。表 5-6 给出了适用于中小型电机绕组温升的限值。

由表 5-6 中数值可见，绕组的温升限值除了与各种绝缘等级的许用温度（即极限工作温度）有关外，还与环境温度、热点温差有关，表中各温度值与温升限值之间存在如下关系：

表 5-6 中小型电机绕组的温升限值 (单位:℃)

绝缘等级	绝缘结构许用温度	环境温度	热点温差	温升限值(电阻法)
A	105	40	5	60
E	120	40	5	75
B	130	40	10	80
F	155	40	15	100
H	180	40	15	125

温升限值 = 许用温度 - 环境温度 - 热点温差

国家标准中规定 +40℃ 作为环境温度。所谓热点温差是指当电机为额定负载时, 绕组最热点的稳定温度与绕组平均温度(即测得的温度)之差。测量电机绕组温度的基本方法有三种, 即电阻法、温度计法和埋置检温计法。测量温度的方法不同, 会造成测得的温度与被测部件中最热点温度之间的差别(即热点温差)也不同, 而被测部件中最热点的温度才是判断电机能否长期安全运行的关键。

5-14 如何计算三相异步电动机的输入功率和输出功率?

电动机从电源吸取的有功功率, 称为电动机的输入功率, 一般用 P_1 表示。而电动机转轴上输出的机械功率, 称为电动机的输出功率, 一般用 P_2 表示。在额定运行工况下的输出功率 P_2 就是电动机的额定功率 P_N 。

三相异步电动机的额定功率可用下式计算:

$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \eta_N \cos \varphi_N \times 10^{-3}$$

式中, P_N 为额定功率 (kW); U_N 为额定电压 (V); I_N 为额定电流 (A); η_N 为额定效率; $\cos \varphi_N$ 为额定功率因数。

电动机运行时, 内部总有一定的功率损耗, 这些损耗包括定子绕组的铜(铝)损耗、转子绕组的铜(铝)损耗、铁心损耗、机械损耗和附加损耗(又称杂散损耗)。因此, 输入功率等于电

动机的总损耗与输出功率之和，也就是说，输出功率总是小于输入功率。

三相异步电动机的输入功率可用下式计算：

$$P_1 = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi \times 10^{-3}$$

式中， P_1 为电动机的输入功率（kW）； U_L 为三相电源的线电压（V）； I_L 为电动机的线电流（A）； $\cos\varphi$ 为电动机的功率因数。

5-15 什么是电动机的效率？

电动机输出功率 P_2 与电动机的输入功率 P_1 的比值称为电动机的效率，用符号 η 表示，即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

电动机的效率高，说明电动机的损耗小，节约电能。但过高的效率要求，将使电动机的成本增加。一般三相异步电动机在额定负载时的效率通常在 73% ~ 94% 之间，电动机的功率越大，效率越高。

电动机在运行中，效率是变化的，其大小与负载的大小有关。空载时效率为零，随着负载的增加，效率随之增大。对常用的中小型异步电动机，效率约在（0.75 ~ 1.0）倍的额定负载范围内达到最大值，而且在此范围内效率变化不大，运行最经济。

5-16 什么是电动机的功率因数？其大小有什么意义？

三相异步电动机输入的有功功率 P_1 与视在功率 S 之比称为功率因数，用 $\cos\varphi$ 表示，即

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S}$$

三相异步电动机的视在功率 S 可用下式计算：

$$S = 3U_p I_p \times 10^{-3} = \sqrt{3}U_L I_L \times 10^{-3}$$

式中， S 为三相异步电动机的视在功率（kVA）； U_p 为电动机的

相电压 (V); U_L 为电动机的线电压 (V); I_p 为电动机的相电流 (A); I_L 为电动机的线电流 (A)。

功率因数越高,说明电动机定子电流中的有功电流分量占定子总电流的比重越大,电动机做的有用功越多,电动机的利用率也越高。另一方面,功率因数高,电源的利用率就高,即可以提高电源设备(发电机、电力变压器及输电线路)的利用率。

电动机在运行中,功率因数是变化的,其大小与负载的大小有关。电动机空载时,定子绕组的电流基本上是产生旋转磁场的无功电流分量,有功电流分量很小。此时,功率因数很低,约为 0.2。当电动机带上负载运行时,要输出机械功率,定子电流中的有功电流分量增加,功率因数也随之提高。当电动机在额定负载下运行时,功率因数达到最大值,一般约为 0.7~0.9。因此,电动机应避免空载或轻载运行。

例 5-2 一台三相异步电动机,额定功率 $P_N = 4\text{kW}$,额定电压 $U_N = 380\text{V}$,额定功率因数 $\cos\varphi_N = 0.88$,额定效率 $\eta_N = 87\%$,试求该电动机的额定电流。

$$\text{解 } I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi_N \eta_N} = \frac{4 \times 10^3 \text{W}}{\sqrt{3} \times 380\text{V} \times 0.88 \times 0.87} = 7.94\text{A}$$

5-17 什么是异步电动机的空载电流?它对电动机有什么影响?

当异步电动机空载(转轴上没有任何机械负载)运行时,定子绕组中流过的电流,称为空载电流。空载电流包括两部分:一部分是产生主磁场(即旋转磁场)的磁化电流,它是空载电流的无功分量,占空载电流的绝大部分;另一部分是用以供给空载损耗(铁心损耗和机械损耗等)的电流,它是空载电流的有功分量,占空载电流的比例很小,甚至可以忽略不计。因此,空载电流是基本上不做有用功的无功电流。

从空载电流基本上是无功电流这一观点来看。空载电流应该小为好,这样电动机的功率因数提高了,对电网供电是有好处

的。另外，由于定子绕组的导线截面积是一定的，允许通过的电流是一定的，如果空载电流大，则允许通过导线的有功电流只能减小，电动机所能带动的负载就要减小，使电动机的出力降低。但是，空载电流也不能过小，否则又要影响到电动机的其他性能，使其变差。例如，减小气隙长度以及增加定子绕组匝数，虽然是减小空载电流的有效方法，但这是有一定限度的。气隙太小将使电动机装配困难，运行时的安全可靠性和下降；而定子绕组匝数过多，将会使定子绕组的用铜量增加、铜耗增大、效率降低等。所以电动机的空载电流不宜过大，也不宜过小。一般中小型异步电动机空载电流约为额定电流的20%~50%；高转速电动机及大容量电动机，空载电流占额定电流的百分值较小；低转速电动机及小容量电动机，空载电流占额定电流的百分值较大。

5-18 什么是异步电动机的起动电流？起动电流过大有什么不好？

把电动机的定子绕组直接接到额定电压的电网上而直接起动时，起动瞬间的线电流，称为起动电流（又称堵转电流）。异步电动机直接起动时，其起动电流很大，可达额定电流的4~7倍，是影响异步电动机起动性能的主要因素。起动电流过大，对电网和电动机本身都有影响。首先，若电网容量不够大，则电动机起动电流可能使电网电压显著下降，影响接在同一电网上的其他电动机和电气设备的正常工作。另一方面，过大的起动电流，将使电动机和线路上的电能损耗增加，特别是在频繁起动、起动较慢或起动过程较长的情况下，电能损耗更大，发热严重，使电动机的使用寿命降低。所以，起动电流在电网中引起的电压降落超过15%时，应限制其起动电流。

5-19 新安装或长期停用的电动机投入运行前应做哪些检查？

- 1) 用绝缘电阻表检查电动机绕组之间及绕组对地（机壳）

的绝缘电阻。通常对额定电压为 380V 的电动机，采用 500V 绝缘电阻表测量，其绝缘电阻值不得小于 $0.5M\Omega$ ，否则应进行烘干处理。

2) 按电动机铭牌的技术数据，检查电动机的额定功率是否合适，检查电动机的额定电压、额定频率与电源电压及频率是否相符。并检查电动机的接法是否与铭牌所标一致。

3) 检查电动机轴承是否有润滑油，滑动轴承是否达到规定油位。

4) 检查熔体的额定电流是否符合要求，起动设备的接线是否正确，起动装置是否灵活，有无卡滞现象，触头的接触是否良好。使用自耦变压器减压起动时，还应检查自耦变压器抽头是否选得合适，自耦变压器减压起动器是否缺油，油质是否合格等。

5) 检查电动机基础是否稳固，螺栓是否拧紧。

6) 检查电动机机座、电源线钢管以及起动设备的金属外壳接地是否可靠。

7) 对于绕线转子三相异步电动机，还应检查电刷及提刷装置是否灵活、正常。检查电刷与集电环接触是否良好，电刷压力是否合适。

5-20 正常使用的电动机起动前应做哪些检查？

1) 检查电源电压是否正常，三相电压是否平衡，电压是否过高或过低；

2) 检查线路的接线是否可靠，熔体有无损坏；

3) 检查联轴器的连接是否牢固，传送带连接是否良好，传送带松紧是否合适，机组传动是否灵活，有无摩擦、卡住、窜动等不正常的现象；

4) 检查机组周围有无妨碍运动的杂物或易燃物品。

5-21 电动机起动时有哪些注意事项？

异步电动机起动时应注意以下几点：

1) 合闸起动前,应观察电动机及拖动机械上或附近是否有异物,以免发生人身及设备事故。

2) 操作开关或起动设备时,应动作迅速、果断,以免产生较大的电弧。

3) 合闸后,如果电动机不转,要迅速切断电源,检查熔丝及电源接线等是否有问题。绝不能合闸等待或带电检查,否则会烧毁电动机或发生其他事故。

4) 合闸后应注意观察,若电动机转动较慢、起动困难、声音不正常或生产机械工作不正常,电流表、电压表指示异常,都应立即切断电源,待查明原因,排除故障后,才能重新起动。

5) 应按电机的技术要求,限制电动机连续起动的次数。对于Y系列电动机,一般空载连续起动不得超过3~5次。满载起动或长期运行至热态,停机后又起动的电动机,不得连续超过2~3次。否则容易烧毁电动机。

6) 对于笼型电动机的星-三角起动或利用补偿器起动,若是手动延时控制的起动设备,应注意起动操作顺序和控制好延时长短。

7) 多台电动机应避免同时起动,应由大到小逐台起动,以避免线路上总起动电流过大,导致电压下降太多。

5-22 三相异步电动机运行中应进行哪些监视?

正常运行的异步电动机,应经常保持清洁,不允许有水滴、油滴或杂物落入电动机内部;应监视其运行中的电压、电流、温升及可能出现的故障现象,并针对具体情况进行处理。

1) 电源电压的监视:三相异步电动机长期运行时,一般要求电源电压不高于额定电压的10%,不低于额定电压的5%;三相电压不对称的差值也不应超过额定值的5%,否则应减载或调整电源。

2) 电动机电流的监视:电动机的电流不得超过铭牌上规定的额定电流,同时还应注意三相电流是否平衡。当三相电流不平

衡的差值超过 10% 时，应停机处理。

3) 电动机温升的监视：监视温升是监视电动机运行状况的直接可靠的方法。当电动机的电压过低、电动机过载运行、电动机断相运行、定子绕组短路时，都会使电动机的温度不正常地升高。

所谓温升，是指电动机的运行温度与环境温度（或冷却介质温度）的差值。例如环境温度（即电动机未通电的冷态温度）为 30℃，运行后电动机的温度为 100℃，则电动机的温升为 70℃。电动机的温升限值与电动机所用绝缘材料的绝缘等级有关。

没有温度计时，可在确定电动机外壳不带电后，用手背去试电动机外壳温度。若手能在外壳上停留而不觉得很烫，说明电动机未过热；若手不能在外壳上停留，则说明电动机已过热。

4) 电动机运行中故障现象的监视：对运行中的异步电动机，应经常观察其外壳有无裂纹，螺钉（栓）是否有脱落或松动、电动机有无异响或振动等。监视时，要特别注意电动机有无冒烟和异味出现，若嗅到焦糊味或看到冒烟，必须立即停机处理。

对轴承部位，要注意轴承的声响和发热情况。当用温度计法测量时，滚动轴承发热温度不许超过 95℃，滑动轴承发热温度不许超过 80℃。轴承声音不正常和过热，一般是轴承润滑不良或磨损严重所致。

对于联轴器传动的电动机，若中心校正不好，会在运行中发出响声，并伴随着电动机的振动和联轴器螺栓、胶垫的迅速磨损。这时应重新校正中心线。

对于带传动的电动机，应注意传动带不应过松而导致打滑，但也不能过紧而使电动机轴承过热。

对于绕线转子异步电动机还应经常检查电刷与集电环间的接触及电刷磨损、压力、火花等情况。如发现火花严重，应及时整修集电环表面，校正电刷弹簧的压力。

另外，还应经常检查电动机及开关设备的金属外壳是否漏电和接地不良。用验电笔检查发现带电时，应立即停机处理。

5-23 三相电压不平衡对电动机有什么危害？

三相电压不平衡引起的后果如下：

- 1) 电动机的三相电流不平衡；
- 2) 电动机的损耗增加，效率下降；
- 3) 电动机的温升增加；
- 4) 电动机的振动和噪声增加。

在照明和动力混合用电或单相和三相动力混合用电的电网中，当单相负载很大时以及电源发生故障等情况下，都可能造成三相电压不平衡。但只要三相电压不对称的差值不大于额定电压的5%时，可允许电动机在额定负载下长期运行。

5-24 电动机的三相电流不平衡是哪些原因造成的？

- 1) 三相电源电压不平衡；
- 2) 起动设备的触头或导线接触不良；
- 3) 电动机定子绕组中有一条或几条支路断路；
- 4) 电动机绕组匝间或相间短路；
- 5) 三相绕组的首末端，有一相接反；
- 6) 笼型转子断条或断环；
- 7) 电动机绕组接地。

5-25 电动机一般应采取哪些保护措施？

为了防止电动机发生故障而损坏，可采用下列几种电气保护措施，这几种方法可以单独使用，也可以互相配合使用。

1) 短路保护：当电动机发生短路故障时，及时可靠地切断电动机的电源，否则非常大的短路电流会很快烧毁电动机、线路及其他电气设备，造成重大损失。对于500V以下的低压电动机，一般采用熔丝或断路器的电磁瞬时脱扣器进行保护。

2) 过载(过负荷)保护:对于电动机的过载电流,熔丝不一定能熔断,所以要设置切断过载电流的保护装置。通常采用热继电器或断路器的热脱扣器进行过载保护,亦称过负荷热保护。热继电器常和接触器、减压起动器或断路器等组装成过负荷热保护装置。

3) 缺相保护:三相异步电动机运行时,由于某种原因断一相而处于两相运行状态,称为断相运行或两相运行。为了可靠地保护电动机免于断相运行,应设置断相运行保护装置。常用的断相保护方法有以下几种:

- ① 采用带断相保护装置的热继电器保护;
- ② 欠电流继电器保护;
- ③ 零序电压继电器保护。

4) 失电压和欠电压(低电压)保护:失电压和欠电压保护是为了防止电动机在过低的电压下运行而烧毁的保护装置。它可以在电压过低或失去时,断开电动机,同时又可以防止在电压恢复时电动机自起动。失电压和欠电压保护常利用交流接触器的电磁机构、减压起动器或断路器上的失电压和欠电压脱扣器及电压继电器等进行保护。当电源电压低到额定电压的35%~70%时,电磁铁会释放,失电压脱扣器会动作而切断电源。

5) 接地或接零保护:当电动机外壳带电时,将威胁人身安全。因此,必须进行接地或接零保护。

5-26 在什么情况下应测量电动机的绝缘电阻?

在下列情况下应测量电动机的绝缘电阻:

- 1) 新品电动机安装投入运行前;
- 2) 停止使用3个月及以上的电动机,再次投入运行前;
- 3) 做备用的电动机投入运行前;
- 4) 电动机大修和小修时;
- 5) 电动机受潮后。

对于额定电压为500V~3kV的电动机,应用1000V绝缘电

阻表测量；对于额定电压在 500V 以下的电动机，应用 500V 绝缘电阻表测量。

5-27 怎样用绝缘电阻表测量电动机的绝缘电阻？

用绝缘电阻表（原称兆欧表、摇表）测量电动机绝缘电阻的方法如图 5-9 所示，测量步骤如下：

1) 校验绝缘电阻表。把绝缘电阻表放平，将绝缘电阻表测试端短路，并慢慢摇动绝缘电阻表的手柄，指针应指在“0”位置上；然后将测试端开路，再摇动手柄（约 120r/min），指针应指在“∞”位置上。测量时，应将绝缘电阻表平置放稳，摇动手柄的速度应均匀。

2) 将电动机接线盒内的连接片拆去。

3) 测量电动机三相绕组之间的绝缘电阻。将两个测试夹分别接到任意两相绕组的端点，以 120r/min 左右的匀速摇动绝缘电阻表 1min 后，读取绝缘电阻表指针稳定的指示值。

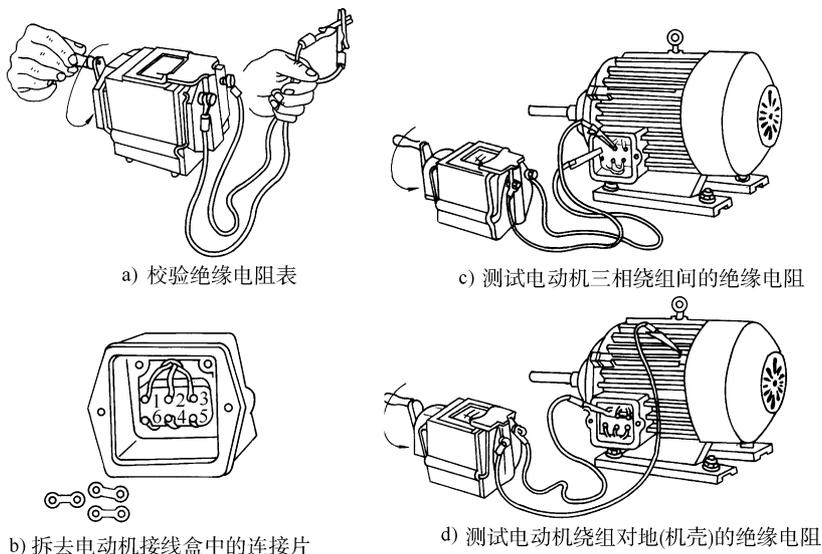


图 5-9 用绝缘电阻表测量电动机的绝缘电阻

4) 用同样的方法, 依次测量每相绕组与机壳的绝缘电阻。但应注意, 绝缘电阻表上标有“E”或“接地”的接线柱应接到机壳上无绝缘的地方。

测量单相异步电动机的绝缘电阻时, 应将电容器拆下(或短接), 以防将电容器击穿。

5-28 三相异步电动机有哪些常见故障? 应该怎样排除?

三相异步电动机的常见故障及其排除方法见表 5-7。

表 5-7 三相异步电动机的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
电动机空载不能启动	1) 熔丝熔断 2) 三相电源线或定子绕组中有一相断线 3) 刀开关或启动设备接触不良 4) 定子三相绕组的首尾端错接 5) 定子绕组短路 6) 转轴弯曲 7) 轴承严重损坏 8) 定子铁心松动 9) 电动机端盖或轴承盖组装不当	1) 更换同规格熔丝 2) 查出断线处, 将其接好、焊牢 3) 查出接触不良处, 予以修复 4) 先将三相绕组的首尾端正确辨出, 然后重新连接 5) 查出短路处, 增加短路处的绝缘或重绕定子绕组 6) 校正转轴 7) 更换同型号轴承 8) 先将定子铁心复位, 然后固定 9) 重新组装, 使转轴转动灵活
电动机不能满载运行或启动	1) 电源电压过低 2) 电动机带动的负载过重 3) 将三角形联结的电动机误接成星形联结	1) 查明原因, 待电源电压恢复正常后再使用 2) 减少所带动的负载, 或更换大功率电动机 3) 按照铭牌规定正确接线

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
电动机不能满载运行或起动	4) 笼型转子导条或端环断裂 5) 定子绕组短路或接地 6) 熔丝松动 7) 刀开关或起动设备的触头损坏, 造成接触不良	4) 查出断裂处, 予以焊接修补或更换转子 5) 查出绕组短路或接地处, 予以修复或重绕 6) 拧紧熔丝 7) 修复损坏的触头或更换为新的开关设备
电动机三相电流不平衡	1) 三相电源电压不平衡 2) 重绕线圈时, 使用的漆包线的截面积不同或线圈的匝数有错误 3) 重绕定子绕组后, 部分线圈接线错误 4) 定子绕组有短路或接地 5) 电动机“单相”运行	1) 查明电压不平衡的原因, 予以排除 2) 使用同规格的漆包线绕制线圈, 更换匝数有错误的线圈 3) 查出接错处, 并改接过来 4) 查出绕组短路或接地处, 予以修复或重绕 5) 查出线路或绕组断线或接触不良处, 并重新焊接好
电动机的温度过高	1) 电源电压过高 2) 欠电压满载运行 3) 电动机过载 4) 电动机环境温度过高 5) 电动机通风不畅 6) 定子绕组短路或接地	1) 调整电源电压或待电压恢复正常后再使用电动机 2) 提高电源电压或减少电动机所带动的负载 3) 减少电动机所带动的负载或更换大功率的电动机 4) 更换特殊环境使用的电动机或降低环境温度, 或降低电动机的容量使用 5) 清理通风道里淤塞的泥土; 修理被损坏的风叶、风罩; 搬开影响通风的物品 6) 查出短路或接地处, 增加绝缘或重绕定子绕组

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
电动机的温度过高	7) 重绕定子绕组时, 线圈匝数少于原线圈匝数, 或导线截面积小于原导线截面积 8) 定子绕组接线错误 9) 电动机受潮或浸漆后未烘干 10) 多支路并联的定子绕组, 其中有一路或几路绕组断路 11) 在电动机运行中有一相熔丝熔断 12) 定、转子铁心相互摩擦(又称扫膛)	7) 按原数据重新改绕绕组 8) 按接线图重新接线 9) 重新对电动机进行烘干后再使用 10) 查出断路处, 接好并焊牢 11) 更换同规格熔丝 12) 查明原因, 予以排除, 或更换为新轴承
轴承过热	1) 装配不当使轴承受外力 2) 轴承内无润滑油 3) 轴承的润滑油内有铁屑、灰尘或其他脏物 4) 电动机转轴弯曲, 使轴承受到外界应力 5) 传动带过紧	1) 重新装配电动机的端盖和轴承盖, 拧紧螺钉, 合严止口 2) 适量加入润滑油 3) 用汽油清洗轴承, 然后注入新润滑油 4) 校正电动机的转轴 5) 适当放松传动带
电动机启动时熔丝熔断	1) 定子三相绕组中有一相绕组接反 2) 定子绕组短路或接地 3) 工作机械被卡住 4) 启动设备操作不当 5) 传动带过紧 6) 轴承严重损坏 7) 熔丝过细	1) 分清三相绕组的首尾端, 重新接好 2) 查出绕组短路或接地处, 增加绝缘, 或重绕定子绕组 3) 检查工作机械和传动装置是否转动灵活 4) 纠正操作方法 5) 适当调整传动带 6) 更换为新轴承 7) 合理选用熔丝

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
运行中产生剧烈振动	<ol style="list-style-type: none"> 1) 电动机基础不平或固定不紧 2) 电动机和被带动的工作机械轴心不在一条线上 3) 转轴弯曲造成电动机转子偏心 4) 转子或带轮不平衡 5) 转子上零件松弛 6) 轴承严重磨损 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 校正基础板, 拧紧底脚螺栓, 紧固电动机 2) 重新安装, 并校正 3) 校正电动机转轴 4) 校正平衡或更换为新品 5) 紧固转子上的零件 6) 更换为新轴承
运行中产生异常噪声	<ol style="list-style-type: none"> 1) 电动机“单相”运行 2) 笼型转子断条 3) 定、转子铁心硅钢片过于松弛或松动 4) 转子摩擦绝缘纸 5) 风叶碰壳 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 查出断相处, 予以修复 2) 查出断路处, 予以修复, 或更换转子 3) 压紧并固定硅钢片 4) 修剪绝缘纸 5) 校正风叶
起动时保护装置动作	<ol style="list-style-type: none"> 1) 被驱动的工作机械有故障 2) 定子绕组或线路短路 3) 保护动作电流过小 4) 熔丝选择过小 5) 过载保护时限不够 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 查出故障, 予以排除 2) 查出短路处, 予以修复 3) 适当调大 4) 按电动机规格选配适当的熔丝 5) 适当延长
绝缘电阻降低	<ol style="list-style-type: none"> 1) 潮气侵入或雨水进入电动机内 2) 绕组上灰尘、油污太多 3) 引出线绝缘损坏 4) 电动机过热后, 绝缘老化 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 进行烘干处理 2) 清除灰尘、油污后, 进行浸渍处理 3) 重新包扎引出线 4) 根据绝缘老化程度, 分别予以修复或重新浸渍处理

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
机壳带电	1) 引出线与接线板接头处的绝缘损坏 2) 定子铁心两端的槽口绝缘损坏 3) 定子槽内有铁屑等杂物未除尽, 导线嵌入后即造成接地 4) 外壳没有可靠接地	1) 应重新包扎绝缘或套一绝缘管 2) 仔细找出绝缘损坏处, 然后垫上绝缘纸, 再涂上绝缘漆并烘干 3) 拆开每个线圈的接头, 用淘汰法找出接地的线圈, 进行局部修理 4) 将外壳可靠接地

5-29 什么是单相异步电动机? 它有哪些用途?

单相异步电动机, 是用单相交流电源供电的一种小容量交流电动机。

单相异步电动机与单相串励电动机相比, 具有结构简单、成本低廉、维修方便、噪声低、振动小和对无线电系统的干扰小等特点, 被广泛应用于工业和人们日常生活的各个领域, 如小型机床、电动工具、医疗器械和诸如电冰箱、电风扇、排气扇、空调器、洗衣机等家用电器中。

单相异步电动机与同容量的三相异步电动机相比, 具有体积大、运行性能较差、效率较低等缺点。因此, 一般只制成小容量的(功率为 8 ~ 750W)。但是, 由于单相异步电动机只需单相交流电源供电, 在没有三相交流电源的场合(如家庭、农村、山区等)仍被广泛应用。

5-30 单相异步电动机由哪几部分组成?

单相异步电动机一般由机壳、定子、转子、端盖、转轴、风扇等组成, 有的单相异步电动机还具有起动元件。

1) 定子: 定子由定子铁心和定子绕组组成。单相异步电动

机的定子结构有两种形式，大部分单相异步电动机采用与三相异步电动机相似的结构，也是用硅钢片叠压而成。但在定子铁心槽内嵌放有两套绕组：一套是主绕组，又称工作绕组或运行绕组；另一套是副绕组，又称起动绕组或辅助绕组。两套绕组的轴线在空间上应相差一定的电角度。容量较小的单相异步电动机有的则制成凸极形状的铁心，如图 5-10 所示。磁极的一部分被短路环罩住。凸极上放置主绕组，短路环为副绕组。

2) 转子：单相异步电动机的转子与笼型三相异步电动机的转子相同。

3) 起动元件：单相异步电动机的起动元件串联在起动绕组（副绕组）中，起动元件的作用是在电动机起动完毕后，切断起动绕组的电源。常用的起动元件有以下几种：

① 离心开关：离心开关位于电动机端盖的里面，它包括静止和旋转两部分。其旋转部分安装在电动机的转轴上，它的 3 个指形铜触片（称动触头）受弹簧的拉力紧压在静止部分上，如图 5-11a 所示。静止部分是由两个半圆形铜环（称静触头）组成，这两个半圆形铜环中间用绝缘材料隔开，它装在电动机的前端盖内，其结构如图 5-11b 所示。

当电动机静止时，无论旋转部分在什么位置，总有一个铜触片与静止部分的两个半圆形铜环同时接触，使起动绕组接入电动机电路。电动机起动后，当转速达到额定转速的 70% ~ 80% 时，离心力克服弹簧的拉力，使动触头与静触头脱离接触，使起动绕组断电。

② 起动继电器：起动继电器是利用流过继电器线圈的电动机起动电流大小的变化，使继电器动作，将触头闭合或断开，从

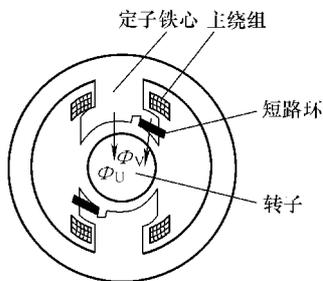


图 5-10 凸极式罩极单相异步电动机

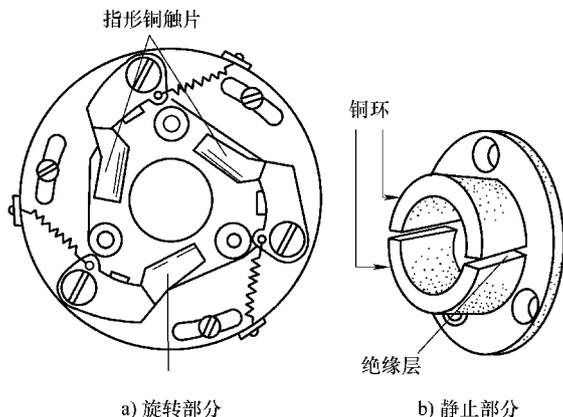


图 5-11 离心式开关

而达到接通或切断起动绕组电源的目的。

5-31 单相异步电动机是怎样工作的？

单相异步电动机的工作原理：在单相异步电动机的主绕组中通入单相正弦交流电后，将在电动机中产生一个脉振磁场，也就是说，磁场的位置固定（位于主绕组的轴线），而磁场的强弱却按正弦规律变化。

如果只接通单相异步电动机主绕组的电源，电动机不能转动。但如能加一外力预先推动转子朝任意方向旋转起来，则将主绕组接通电源后，电动机即可朝该方向旋转，即使去掉了外力，电动机仍能继续旋转，并能带动一定的机械负载。单相异步电动机为什么会有这样的特征呢？下面用双旋转磁场理论来解释。

双旋转磁场理论认为：脉振磁场可以认为是由两个旋转磁场合成的，这两个旋转磁场的幅值大小相等（等于脉振磁动势幅值的 1/2），同步转速相同（当电源频率为 f ，电动机极对数为 p 时，旋转磁场的同步转速 $n_s = \frac{60f}{p}$ ），但旋转方向相反。其中与转

子旋转方向相同的磁场称为正向旋转磁场，与转子旋转方向相反的磁场称为反向旋转磁场（又称逆向旋转磁场）。

单相异步电动机的电磁转矩，可以认为是分别由这两个旋转磁场所产生的电磁转矩合成的结果。

电动机转子静止时，由于两个旋转磁场的磁感应强度大小相等、方向相反，因此它们与转子的相对速度大小相等、方向相反，所以在转子绕组中感应产生的电动势和电流大小相等、方向相反，它们分别产生的正向电磁转矩与反向电磁转矩也大小相等、方向相反，相互抵消，于是合成转矩等于零。单相异步电动机不能够自行起动。

如果借助外力，沿某一方向推动转子一下，单相异步电动机就会沿着这个方向转动起来，这是为什么呢？因为假如外力使转子顺着正向旋转磁场方向转动，将使转子与正向旋转磁场的相对速度减小，而与反向旋转磁场的相对速度加大。由于两个相对速度不等，因此两个电磁转矩也不相等，正向电磁转矩大于反向电磁转矩，合成转矩不等于零，在这个合成转矩的作用下，转子就顺着初始推动的方向转动起来。

为了使单相异步电动机能够自行起动，一般是在起动时，先使定子产生一个旋转磁场，或使它能增强正向旋转磁场，削弱反向磁场，由此产生起动转矩。为此，人们采取了几种不同的措施，如在单相异步电动机中设置起动绕组（副绕组）。主、副绕组在空间一般相差 90° 电角度。当设法使主、副绕组中流过不同相位的电流时，可以产生两相旋转磁场，从而达到单相异步电动机起动的目的。当主、副绕组在空间相差 90° 电角度，并且主、副绕组中的电流相位差也为 90° 时，可以产生圆形旋转磁场，单相异步电动机的起动性能和运行性能最好。否则，将产生椭圆形旋转磁场，电动机的起动性能和运行性能较差。

5-32 怎样改变单相异步电动机的转向？

1) 改变分相式单相异步电动机转向的方法：分相式单相异

步电动机旋转磁场的旋转方向与主、副绕组中电流的相位有关，由具有超前电流的绕组的轴线转向具有滞后电流的绕组的轴线。如果需要改变分相式单相异步电动机的转向，可把主、副绕组中任意一套绕组的首尾端对调一下，接到电源上即可。

2) 改变罩极式单相异步电动机转向的方法：罩极式单相异步电动机（见图 5-12）旋转磁场的旋转方向是从磁通领先相绕组的轴线（ Φ_U 的轴线）转向磁通落后相绕组的轴线（ Φ_V 的轴线），这也就是电动机转子的旋转方向。在罩极式单相异步电动机中，磁通 Φ_U 永远领先磁通 Φ_V ，因此电动机转子的转向总是从磁极的未罩部分转向被罩部分，即使改变电源的接线，也不能改变电动机的转向。如果需要改变罩极式单相异步电动机的转向，则需要把电动机拆开，将电动机的定子或转子反向安装，才可以改变其旋转方向，如图 5-12 所示。

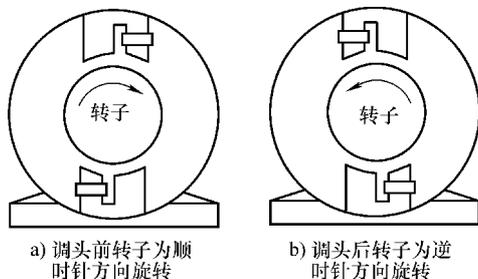


图 5-12 将定子掉头装配来改变罩极式单相异步电动机的转向

5-33 单相异步电动机有哪些类型？各有什么特点？

单相异步电动机最常用的分类方法，是按起动方法进行分类的。不同类型的单相异步电动机，产生旋转磁场的方法也不同，常见的有以下几种：①单相电容分相起动异步电动机；②单相电阻分相起动异步电动机；③单相电容运转异步电动机；④单相电容起动与运转异步电动机；⑤单相罩极式异步电动机。

常用单相异步电动机的特点和典型应用见表 5-8。

表 5-8 常用单相异步电动机的特点和典型应用

电动机类型	电阻启动	电容启动	电容运转	电容启动与运转	罩极式
基本系列代号	YU(JZ、BO、BO2)	YC(JY、CO、CO2)	YY(JX、DO、DO2)	YL	YJ
接线原理图					
机械特性曲线 $T/T_N = f(n)$; T/T_N —输出转矩倍数; T_N —额定输出转矩; n —转速					
最大转矩倍数	> 1.8	> 1.8	> 1.6	> 2	
启动转矩倍数	1.1 ~ 1.6	2.5 ~ 2.8	0.35 ~ 0.6	> 1.8	< 0.5
启动电流倍数	6 ~ 9	4.5 ~ 6.5	5 ~ 7		
功率范围/W	40 ~ 370	120 ~ 750	8 ~ 180	8 ~ 750	15 ~ 90
额定电压/V	220	220	220	220	220

(续)

电动机类型	电阻启动	电容启动	电容运转	电容启动与运转	罩极式
同步转速/ (r/min)	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000
结构特点	<p>定子具有主绕组和副绕组, 它们的轴线在空间相差90°电角度。电阻值较大的副绕组经启动开关与主绕组并接于电源。当电动机转速达到$75\% \sim 80\%$同步转速时, 通过启动开关将副绕组切离电源, 由主绕组单独工作</p> <p>为使副绕组得到较高的电阻对电抗的比值, 可采取如下措施: ①用较细铜线, 以增大电阻; ②部分线圈反绕, 以增大电阻、减少电抗; ③用电阻率较高的铝线; ④串入一个外加电阻</p>	<p>定子主绕组、副绕组分布与电阻启动电动机相同, 副绕组和一个容量较大的启动电容器串联, 经启动开关与主绕组并联于电源。当电动机转速达到$75\% \sim 80\%$同步转速时, 通过启动开关, 将副绕组切离电源, 由主绕组单独工作</p>	<p>定子具有主绕组和副绕组, 它们的轴线在空间相差90°电角度。副绕组串联一个工作电容器(容量较启动电容器小得多)后, 与主绕组并接于电源, 且副绕组长期参与运行</p>	<p>定子绕组与电容运转电动机相同, 但副绕组与两个并联的电容器串联。当电动机转速达到$75\% \sim 80\%$同步转速时, 通过启动开关将启动电容器切离电源, 而副绕组和工作电容器继续参与运行</p> <p>启动电容器容量大于工作电容器容量</p>	<p>一般采用凸极定子, 主绕组是集中绕组, 并在极靴的一小部分上套有电阻很小的短路环(又称罩极绕组)。另一种是隐极定子, 其冲片形状和一般异步电动机相同, 主绕组和罩极绕组均为分布绕组, 它们的轴线在空间相差一定的电角度(一般为45°), 罩极绕组匝数少, 导线粗</p>

(续)

电动机类型	电阻启动	电容启动	电容运转	电容启动与运转	罩极式
典型应用	具有中等起动转矩和过载能力, 适用于小型车床、鼓风机、医疗机械等	具有较高起动转矩, 适用于小型空气压缩机、电冰箱、磨粉机、水泵及满载起动的机械等	起动转矩较低, 但有较高的功率因数和效率, 体积小、重量轻, 适用于电风扇、通风机、录音机及各种空载起动的机械	具有较高的起动性能、过载能力、功率因数和效率, 适用于家用电器、泵、小型机床等	起动转矩、功率因数和效率均较低, 适用于小型风扇、电动模型及各种轻载起动的小功率电动设备

注: 1. 单相电容启动与运转异步电动机, 又称单相双值电容异步电动机。

2. 基本系列代号中括号内是老系列代号。

表 5-8 中的前 4 种电动机都具有两个空间位置上相差 90° 角度的绕组，并且用电容或电阻使两个绕组中的电流之间产生相位差，从而产生旋转磁场，所以统称为分相式单相异步电动机。

5-34 如何正确使用与维护单相异步电动机？

单相异步电动机的运行与维护与三相异步电动机基本相似。但是，单相异步电动机在结构上有它的特殊性：有起动装置，包括离心开关或起动继电器；有起动绕组及电容器；电动机的功率小，定、转子之间的气隙小。如果这些部件发生了故障，必须及时进行检查。

使用单相异步电动机时应注意以下几点：

1) 改变分相式单相异步电动机的旋转方向时，应在电动机静止时或电动机的转速降低到离心开关的触头闭合后，再改变电动机的接线；

2) 单相异步电动机接线时，应正确区分主、副绕组，并注意它们的首尾端；若绕组出线端的标志已脱落，电阻大的绕组一般为副绕组；

3) 更换电容器时，应注意电容器的型号、电容量和工作电压，使之与原规格相符；

4) 拆装离心开关时，用力不能过猛，以免离心开关失灵或损坏；

5) 离心开关的开关板与后端盖必须紧固，开关板与定子绕组的引线焊接必须可靠；

6) 紧固后端盖时，应注意避免后端盖的止口将离心开关的开关板与定子绕组连接的引线切断。

5-35 单相异步电动机有哪些常见故障？应该怎样排除？

1. 分相式单相异步电动机的常见故障及其排除方法（见表 5-9）

表 5-9 分相式单相异步电动机的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
电源电压正常, 通电后电动机不能起动	1) 电动机引出线或绕组断路 2) 离心开关的触头闭合不上 3) 电容器短路、断路或容量不够 4) 轴承严重损坏 5) 电动机严重过载 6) 转轴弯曲	1) 认真检查引出线、主绕组和副绕组, 将断路处重新焊接好 2) 修理触头或更换离心开关 3) 更换与原规格相符的电容器 4) 更换轴承 5) 检查负载, 找出过载原因, 采取适当措施消除过载状况 6) 将弯曲部分校直或更换转子
电动机空载能起动或在外力帮助下能起动, 但起动迟缓且转向不定	1) 副绕组断路 2) 离心开关的触头闭合不上 3) 电容器断路 4) 主绕组断路	1) 查出断路处, 并重新焊接好 2) 检修调整触头或更换离心开关 3) 更换同规格电容器 4) 查出断路处, 并重新焊接好
电动机转速低于正常转速	1) 主绕组短路 2) 起动后离心开关触头断不开, 副绕组没有脱离电源 3) 主绕组接线错误 4) 电动机过载 5) 轴承损坏	1) 查出短路处, 予以修复或重绕 2) 检修调整触头或更换离心开关 3) 查出接错处并更正 4) 查出过载原因并消除 5) 更换轴承
起动后电动机很快发热, 甚至烧毁	1) 主绕组短路或接地 2) 主绕组与副绕组之间短路 3) 起动后, 离心开关的触头断不开, 使起动绕组长期运行而发热, 甚至烧毁	1) 重绕定子绕组 2) 查出短路处予以修复或重绕定子绕组 3) 检修调整离心开关的触头或更换离心开关

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
起动后电动机很快发热,甚至烧毁	4) 主副绕组相互接错 5) 电源电压过高或过低 6) 电动机严重过载 7) 电动机环境温度过高 8) 电动机通风不畅 9) 电动机受潮或浸漆后未烘干 10) 定、转子铁心相摩擦或轴承损坏	4) 检查主副绕组的接线,将接错处予以纠正 5) 查明原因,待电源电压恢复正常以后再使用 6) 查出过载原因并消除 7) 应降低环境温度或降低电动机的容量使用 8) 清理通风道,恢复被损坏的风叶、风罩 9) 重新进行烘干 10) 查出相摩擦的原因,予以排除或更换轴承

2. 罩极式单相异步电动机的常见故障及其排除方法 (见表 5-10)

表 5-10 罩极式单相异步电动机的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
通电后电动机不能起动	1) 电源线或定子主绕组断路 2) 短路环断路或接触不良 3) 罩极绕组断路或接触不良 4) 主绕组短路或被烧毁 5) 轴承严重损坏 6) 定转子之间的气隙不均匀 7) 装配不当,使轴承受外力 8) 传动带过紧	1) 查出断路处,并重新焊接好 2) 查出故障点,并重新焊接好 3) 查出故障点,并焊接好 4) 重绕定子绕组 5) 更换轴承 6) 查明原因,予以修复。若转轴弯曲应校直 7) 重新装配,上紧螺钉,合严止口 8) 适当放松传送带

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
空载时转速 太低	1) 小型电动机的含油轴承 缺油 2) 短路环或罩极绕组接触 不良	1) 填充适量润滑油 2) 查出接触不良处, 并重新 焊接好
负载时转速 不正常或难以 起动	1) 定子绕组匝间短路或接地 2) 罩极绕组绝缘损坏 3) 罩极绕组的位置、线径或 匝数有误	1) 查出故障点, 予以修复或 重绕定子绕组 2) 更换罩极绕组 3) 按原始数据重绕罩极绕组
运行中产生 剧烈振动和异 常噪声	1) 电动机基础不平或固定 不紧 2) 转轴弯曲造成电动机转子 偏心 3) 转子或带轮不平衡 4) 转子断条 5) 轴承严重缺油或损坏	1) 校正基础板, 拧紧底脚螺 钉, 紧固电动机 2) 校正电动机转轴或更换 转子 3) 校平衡或更换 4) 查出断路处, 予以修复或 更换转子 5) 清洗轴承, 填充新润滑油 或更换轴承
绝缘电阻 降低	1) 潮气侵入或雨水进入电动 机内 2) 引出线的绝缘损坏 3) 电动机过热后, 绝缘老化	1) 进行烘干处理 2) 重新包扎引出线 3) 根据绝缘老化程度, 分别 予以修复或重新浸渍处理

种类型的发电厂的发电机、变电所的变压器、输电线路、配电设备以及电能用户等联系起来，组成一个整体，称为电力系统，如图 6-2 所示。这样，可以提高供电可靠性、实现经济运行、提高设备利用率。

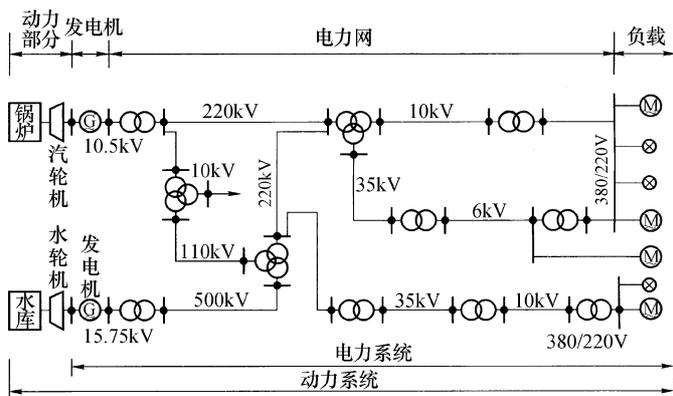


图 6-2 动力系统、电力系统与电力网的构成

6-2 什么是配电线路？什么是低压配电线路？

配电线路是指由发电厂或降压变电所直接向用户分配电能的电力线路。

配电线路按电压等级分为高压配电线路和低压配电线路。高压配电线路是指从降压变电所到用户变压器的电力线路，如 3kV、6kV、10kV、35kV、110kV 的电力线路；低压配电线路是指从配电变压器到用户负荷点的线路，如 220V、380V 线路。按照传统的配电线路划分，一般将额定电压在 1kV 及以上的线路称为高压配电线路，额定电压在 1kV 以下的线路称为低压配电线路。

6-3 低压架空线路有哪些基本要求？

- 1) 低压架空线路路径应尽量沿道路平行敷设，避免通过起

重机械频繁活动地区和各种露天堆场，还应尽量减少与其他设备的交叉和跨越建筑物。

2) 向重要负荷供电的双电源线路，不应同杆架设；架设低压线路不同回路导线时，应使动力线在上，照明线在下，路灯照明回路应架设在最下层。为了维修方便，直线横担数不宜超过四层，各层横担间要满足最小距离的要求。

3) 低压线路的导线，一般采用水平排列，其次序为面向负荷从左侧起，导线排列相序为 L1、N、L2、L3。其线间距离不应小于规定数值。

4) 为保证架空线路的安全运行，架空线路在不同地区通过时，导线对地面、水面、道路、建筑物以及其他设施应保持一定的距离。

5) 两相邻电杆之间的距离（俗称档距）应根据所用导线规格和具体环境条件等因素来确定。

6-4 低压架空线路由哪几部分组成？

低压架空线路的结构如图 6-3 所示，主要由导线、电杆、横担、绝缘子、金具、拉线和电杆基础等组成。为了安全，有些架空线路还设有防雷保护设施（如避雷线）及接地装置。

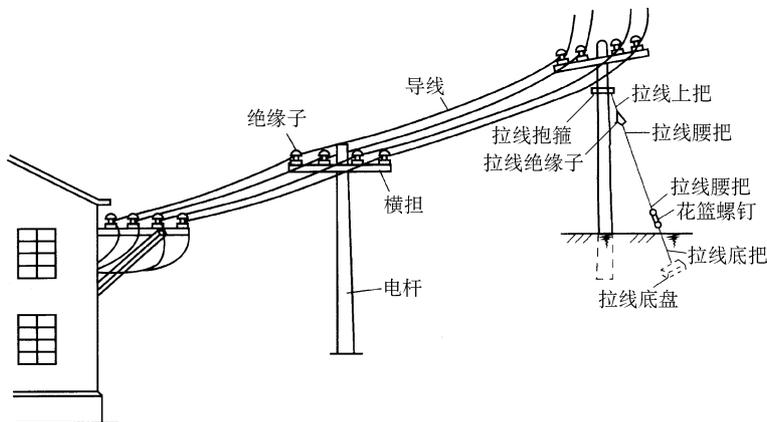


图 6-3 低压架空线路的结构

6-5 电杆按材质分为哪几种类型？各有什么特点？

电杆按其材质分为木电杆、钢筋混凝土电杆和金属电杆三种。

1) 木电杆：木电杆的优点是绝缘性能好、重量轻、运输和施工方便，缺点是易腐朽、使用寿命短，特别是埋入地下和加工过的部位更易腐朽。为节省木材，目前除在建筑施工现场等临时用电场所使用外，其他场所很少使用。

2) 钢筋混凝土电杆：也称混凝土杆、水泥杆，它主要是由水泥、砂子和钢筋浇制而成。钢筋混凝土电杆的优点是可节省钢材和木材，经久耐用、不易腐蚀、维护简单、成本低廉，故得以广泛应用。其缺点是笨重，增加了施工和运输的困难，特别是在山区使用时尤为明显。

钢筋混凝土电杆按钢筋受力情况分为普通钢筋混凝土杆及预应力钢筋混凝土杆两种。

钢筋混凝土电杆的横截面形状有方形和环形两种，一般多采用环形电杆。环形电杆又有锥形（拔梢杆）和等径杆两种，前者使用最多。

3) 金属电杆：金属电杆分为钢管电杆、型钢电杆和铁塔。金属电杆机械强度大、维修工作量大、使用寿命长，但造价高、维修中除锈和刷漆等工作量较大。因此，金属电杆主要应用于高压架空线路。

6-6 电杆按在线路中的作用分为哪几种类型？

电杆按在线路中的作用可分为直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、分支杆和跨越杆等六种，如图 6-4 所示。

6-7 如何确定电杆的埋设深度？

电杆埋设深度，应根据电杆长度、承受力的大小和土质情况来确定。一般 15m 及以下的电杆，埋设深度约为电杆长度的 1/6，但最浅不应小于 1.5m；变台杆不应小于 2m；在土质较软、

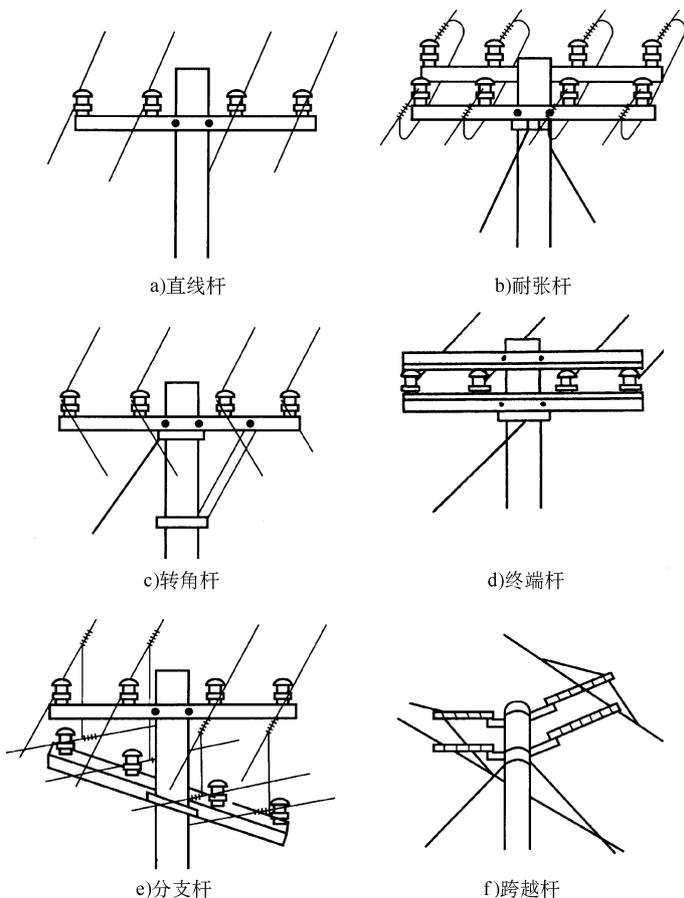


图 6-4 电杆的形式

流沙、地下水位较高的地带，电杆基础还应做加固处理。

6-8 横担有哪些类型？

横担是电杆上部用来安装绝缘子以固定导线的部件，其作用是使每根导线保持一定的距离，防止风吹摇摆而造成相间短路。因此，横担应具有一定的长度和足够的机械强度。

横担按材料可分为木横担（已很少用）、铁横担和瓷横担三

种，其外形如图 6-5 所示。

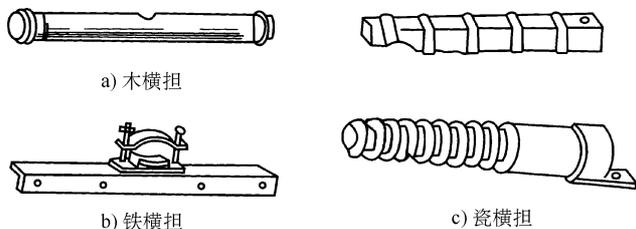


图 6-5 横担

6-9 安装横担时有哪些注意事项？

10kV 及以下架空线路的横担，直线杆应装于受电侧，90°转角杆及终端杆，应装于拉线侧。根据受力可分为中间型、耐张型、终端型三类。中间型横担只承受垂直负载。耐张型横担承受两端导线拉力差。终端型横担要承受导线的最大允许拉力。表6-1 是根据档距、杆型、覆冰厚度和导线截面选择铁横担的断面尺寸。

表 6-1 低压四线横担断面尺寸选择表（单位：mm）

档距		50m 及以下											
		直线杆				<45°转角、耐张杆				终端杆、>45°转角杆			
导线覆冰/mm	型号	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
			LJ-16	L50 × 5				2 × L50 × 5				2 × L63 × 6	
	LJ-25												
	LJ-35	L63 × 6						2 × L75 × 8 ^①					
	LJ-50												
	LJ-70												
	LJ-95	L75 × 8				2 × L75 × 8 ^①							
	LJ-120												
	LJ-150												
	LJ-185	L75 × 8				2 × L75 × 8 ^①							
	LJ-185												

① 带斜撑的横担。

6-10 怎样固定角钢横担？

角钢横担的固定方法（见图 6-6）。

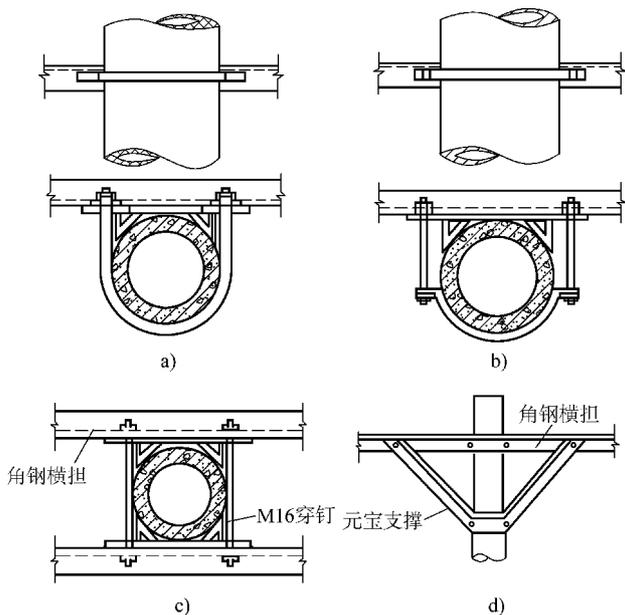


图 6-6 角钢横担的固定方法

6-11 绝缘子有哪些类型？

绝缘子俗称瓷瓶。它的作用是固定或支持导线，并使导线与导线之间或与横担、电杆及大地之间相互绝缘。正常情况下，它不但要承受工作电压和大气过电压的作用，还要承受导线的垂直荷重和水平荷重。另外，一旦导线断线还要承受导线的拉力。因此，绝缘子应具有良好的电气绝缘强度和足够的机械强度。

绝缘子一般用电瓷材料与金属固定件组合制成。绝缘子按工作电压可分为高压绝缘子和低压绝缘子；按用途可分为电器绝缘子、装置绝缘子和线路绝缘子；按导线固定方式和绝缘子受力情

况可分为针式绝缘子、蝶式绝缘子（俗称茶台）、悬式绝缘子、拉线绝缘子及瓷横担等。常用低压绝缘子的外形如图 6-7 所示。

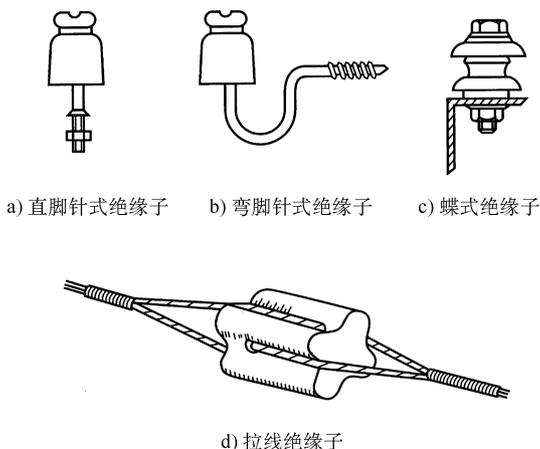


图 6-7 常用低压绝缘子

6-12 怎样对绝缘子进行外观检查？

1) 检查绝缘子的型号、规格、安装尺寸是否符合要求，安装是否适当，绝缘子的电压等级不得低于线路的额定电压；

2) 绝缘子的瓷件和铁件的组合应结合紧密，无歪斜、松动现象，铁件镀锌良好；

3) 绝缘子磁釉表面应光滑，无裂纹、掉渣、缺釉、斑点、烧痕、气泡等缺陷。

6-13 拉线有哪些形式？各适用于什么场合？

拉线是为了平衡电杆各方面的作用力，防止电杆因受导线的拉力或风力的影响而倾倒。凡承受导线拉力不平衡的电杆（如转角杆、终端杆和分支杆等），受较大风力的电杆，土质松软地区的电杆，装有电气设备的电杆，均需要安装

拉线。

在架空线路中，根据用途和作用的不同，拉线可分为普通拉线、人字拉线、高柱拉线、Y形拉线和自身拉线，如图 6-8 所示。

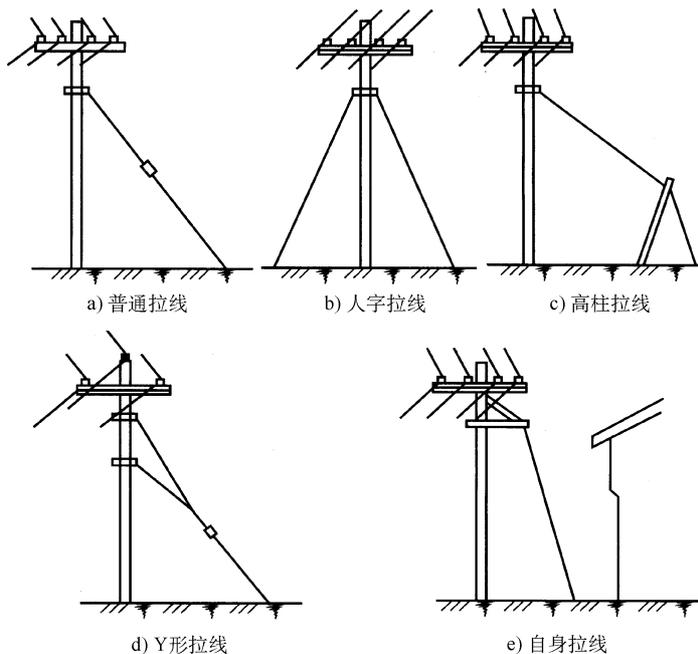


图 6-8 常用拉线的形式

6-14 拉线由哪几部分组成？

普通拉线的结构如图 6-9 所示，主要由上把、腰把（又称中把）、底把（又称下把）等三部分组成。拉线一般由直径为 4mm 的镀锌铁丝（8 号线）绞合而成。

6-15 安装拉线时应注意哪些事项？

- 1) 拉线的型号可按表 6-2 和表 6-3 中的数据计算得出。

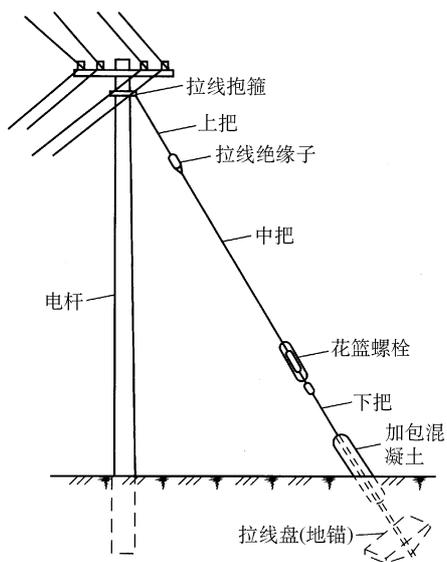


图 6-9 普通拉线的结构

表 6-2 拉线允许最大拉力

拉线型号		计算截面积 /mm ²	瞬时破坏应力 /MPa	安全系数	拉线允许最大 拉力/N
镀锌 铁线	T-3/φ4	37.7	363	2.5	5488
	T-5/φ4	62.8	363	2.5	9114
	T-7/φ4	88.0	363	2.5	12740
镀锌 钢绞 线	GJ-25	26.6	1176	2.0	15680
	GJ-35	37.2	1176	2.0	21560
	GJ-50	99.5	1176	2.0	29400
	GJ-70	72.2	1176	2.0	42140
	GJ-100	101.0	1176	2.0	58800

表 6-3 每根导线所需拉线的拉力 (单位: N)

导线 型号	安全 系数	转角杆线路转角 α									终端杆		
		0° ~ 15°			16° ~ 30°			31° ~ 45°					
		拉线与电杆夹角/(°)											
		30	45	90	30	45	90	30	45	90	30	45	90
LJ-16	2.5	529	372	265	1039	735	519	1529	1078	764	1999	1411	1000
LJ-25	2.5	804	569	402	1607	1137	804	2372	1676	1186	3097	2185	1548
LJ-35	2.5	1117	794	559	2234	1578	1117	3293	2332	1646	4312	3048	2156
LJ-50	2.5	1607	1137	804	3214	2274	1607	4743	3352	2372	6213	4390	3107
LJ-70	3.0	1666	1176	833	3293	2332	1646	4861	3440	2430	6350	4498	3175
LJ-95	3.0	2195	1548	1098	4743	3361	2372	6997	4949	3499	9153	6488	4577
LJ-120	3.0	2842	2009	1421	5645	3998	2822	8350	5900	4175	10878	7703	5439
LJ-150	4.0	2999	2117	1499	5939	4214	2969	8781	6223	4390	11466	8114	5733
LJ-185	4.0	3528	2499	1764	6978	4929	3489	10310	7291	5155	13465	9506	6733
LJ-240	4.0	4273	3018	2136	8506	6027	4253	12564	8889	6282	16405	11613	8203
LGJ-16	3.0	823	578	412	1627	1156	813	2391	1695	1196	3136	2215	1568
LGJ-25	3.0	1235	872	617	2430	1725	1215	3587	2538	1973	4684	3312	2342
LGJ-35	3.0	1980	1401	990	3920	2773	1960	5802	4106	2901	7585	5370	3793
LGJ-50	3.0	2587	1833	1294	5135	3636	2568	7605	5390	3802	9937	7036	4969
LGJ-70	4.0	2744	1940	1372	5429	3842	2715	8016	5684	4008	10486	7428	5243
LGJ-95	4.0	4194	2969	2097	8330	5900	4165	12309	8722	6154	16072	11368	8036
LGJ-120	4.0	5076	3597	2538	10074	7134	5037	14896	10555	7448	19463	13769	9731
LGJ-150	5.0	5174	3665	2587	10290	7281	5145	15170	10741	7585	19835	14034	9918
LGJ-185	5.0	6409	4547	3205	12720	9016	6360	18953	13426	9477	24500	17346	12250
LGJ-240	5.0	8350	5929	4175	16582	11721	8291	24441	17297	12221	31948	22638	15974

【例 6-1】 架设一条三相四线制低压架空线路，相线为 LJ-150，零线（中性线）为 LJ-50，终端杆拉线与电杆夹角 $\theta = 30^\circ$ ，试计算拉线拉力并选择拉线规格。

解：查表 6-3，LJ-150 每根相线所需拉线拉力为 11466N，LJ-50 零线所需拉线拉力为 6213N。

导线拉力 $F = 3 \times 11466\text{N} + 6213\text{N} = 40611\text{N}$

查表 6-2，GJ-70 最大允许拉力为 42140N。

$42140\text{N} > 40611\text{N}$ 。所以应选用 GJ-70 镀锌钢绞线，作为该架空线路终端杆的拉线。

2) 拉线与电杆的夹角不宜小于 45° ，当受到地形限制时也不应小于 30° 。

3) 终端杆的拉线及耐张杆的承力拉线应与线路方向对正，防风拉线应与线路方向垂直。

4) 拉线穿过公路时，对路面中心的垂直距离应不小于 6m。

5) 采用 UT 型及楔形线夹固定拉线时，应在线扣上涂润滑剂，线夹与拉线接触应紧密，受力后无滑动现象，线夹的凸肚应在线尾侧，安装时不得损伤拉线；拉线弯曲部分不应有明显松股，拉线断头处与拉线主线应有可靠固定，尾线回头后与本线应绑扎牢固。线夹处露出的拉线尾线长度为 300 ~ 500mm，线夹螺杆应露扣，并应有不小于 1/2 螺杆丝扣长度可供调紧，调紧后其双螺母应并紧。若用花篮螺栓，则应封固。

6) 过道拉线的拉桩杆应向张力反方向倾斜 $10^\circ \sim 20^\circ$ ，其埋深为杆长的 1/10 再加 0.7m，拉桩坠线与拉桩杆夹角应不小于 30° ，拉桩坠线上端固定点的位置，距拉桩杆顶应为 0.25m。

6-16 常用低压金具有哪几种？

金具是用来安装导线、横担、绝缘子和拉线的，又称铁件。常用低压金具如图 6-10 所示。

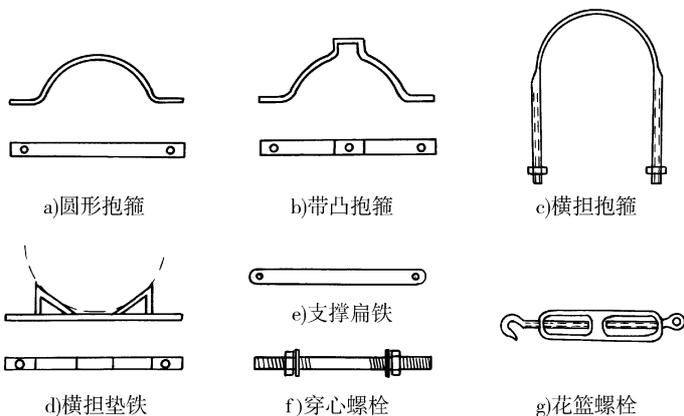


图 6-10 常用低压金具

6-17 常用架空导线有哪几种?

导线是架空线路的主体，负责传输电能。由于导线架设在电杆的上面，要经常承受自重、风、雨、冰、雪、有害气体的侵蚀以及空气温度变化的影响等作用。因此，要求导线不仅具有良好的导电性能，还要有足够的机械强度和良好的抗腐蚀性能。

低压架空线路所用的导线分为裸导线和绝缘导线两种。按导线的结构可分为单股导线、多股导线和空心导线；按导线的材料又分为铜导线、铝导线、钢芯铝导线和钢导线等。

6-18 如何选择架空导线?

1) 低压架空线路一般都采用裸绞线。只有接近民用建筑的接户线和街道狭窄、建筑物稠密、架空高度较低等场合才选用绝缘导线。架空线路不应使用单股导线或已断股的绞线。

2) 应保证有足够的机械强度。架空导线本身有一定的重量，在运行中还要受到风雨、冰雪等外力的作用，因此必须具有

一定的机械强度。为了避免发生断线事故，架空导线的截面积一般不宜小于 16mm^2 。

3) 导线允许的载流量应能满足负载的要求。导线的实际负载电流应小于导线的允许载流量。铝绞线和钢芯铝绞线的允许载流量和铝导线允许载流量的校正系数见表 6-4 和表 6-5。

表 6-4 铝绞线和钢芯铝绞线的允许载流量（环境温度为 25°C ）

铝 绞 线		钢芯铝绞线	
型号	导线温度为 70°C 时的 户外载流量/A	型号	导线温度为 70°C 时的 户外载流量/A
LJ-16	105	LGJ-16	105
LJ-25	135	LGJ-25	135
LJ-35	170	LGJ-35	170
LJ-50	215	LGJ-50	220
LJ-70	265	LGJ-70	275
LJ-95	325	LGJ-95	335

表 6-5 铝导线允许载流量的校正系数

实际环境 温度/ $^\circ\text{C}$	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
校正系数	1.29	1.24	1.20	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67

4) 线路的电压损失不宜过大。由于导线具有一定的电阻，电流通过导线时会产生电压损失。导线越细、越长，负载电流越大，电压损失就越大，线路末端的电压就越低，甚至不能满足用电设备的电压要求。因此，一般应保证线路的电压损失不超过 5%。

5) 380V 三相架空线路裸铝导线截面选择可参考表 6-6。

表 6-6 380V 三相架空线路裸铝导线截面选择参考表

送电距离/km	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
输送容量/kW	裸铝导线截面/mm ²								
6	16	16	16	16	25	25	35	35	35
8	16	16	16	25	35	35	50	50	50
10	16	16	25	35	50	50	50	70	70
15	16	25	35	50	70	70	95		
20	25	35	50	70	95				
25	35	50	70	95					
30	50	70	95						
40	50	95							
50	70								
60	95								

注：本表按 2A/kW，功率因数为 0.80，线间距离为 0.6 计算，电压降不超过额定值的 5%。

6-19 如何选择架空线路的档距？

档距是指相邻两电杆之间的水平距离。

档距与电杆高度之间相互影响。如加大档距，则可以减少线路电杆的数量，但弧垂增加。为满足导线对地距离的要求，就必须增加电杆的高度。反之，将档距减少，就可减小电杆的高度。因此，档距应根据导线对地的距离、电杆的高度以及地形的特点等因素来确定。

380/220V 低压架空线路常用档距可参考表 6-7。

表 6-7 380/220V 低压架空线路常用档距

导线水平间距 /mm	300			400		
	档距/m	25	30	40	50	60
适用范围	1) 城镇闹市街道 2) 城镇、农村居民点 3) 乡镇企业内部			1) 城镇非闹市区 2) 城镇工厂区 3) 居民点外围	1) 城镇工厂区 2) 居民点外围 3) 田间	

6-20 什么是架空线路的弧垂？选择弧垂时应注意什么？

在两根电杆之间，导线悬挂点与导线最低点之间的垂直距离称为导线的弧垂（又称弛度），如图 6-11 所示。

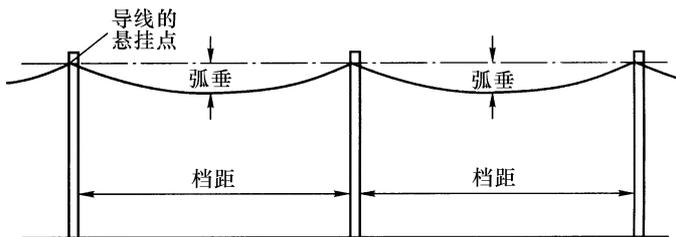


图 6-11 架空线路的档距与弧垂示意图

导线弧垂的大小不仅与导线的截面有关，而且与当地的气候条件、风速、温度以及导线架设的档距有关。

弧垂不宜太长，以防止导线在受风力而摆动时发生相间短路，或者因过分靠近旁边的树木或建筑物，而发生对地短路；弧垂也不宜太小，否则导线内张力太大，会使电杆倾斜或导线本身断裂。此外，还要考虑到导线热胀冷缩等因素，冬季施工弧垂调小些，夏季施工弧垂调大些。同一档距内，导线的材料和弧垂必须相同，以防被风吹动时发生相间短路，烧伤或烧断导线。

6-21 架空线对地和跨越物的最小距离是怎样规定的？

在最大弧垂和最大风偏时，架空线对地和跨越物的最小距离数值见表 6-8。

表 6-8 架空线对地和跨越物的最小距离

线路经过地区或跨越项目		最小距离/m
地面	市区、厂区、城镇	6.0
	乡、村、集镇	5.0
	自然村、田野、交通困难地区	4.0

(续)

线路经过地区或跨越项目		最小距离/m	
道路	公路、小铁路、拖拉机跑道		6.0
	至铁路轨顶	公用	7.5
		非公用	6.0
	电车道	至路面	9.0
		至承力索或接触线	3.0
通航河流	常年洪水位		6.0
	航船桅杆		1.0
不能通航及不能浮运的河及湖	冬季至冰面		5.0
	至最高水位		3.0
管索道	在管道上面通过		1.5
	在管道下面通过		1.5
	在索道上、下面通过		1.5
房屋建筑 ^①	垂直		2.5
	水平、最凸出部分		1.0
树木 ^②	垂直		1.0
	水平		1.0
通信广播线	交叉跨越(电力线必须在上方)		1.0
	水平接近通信线 ^③		倒杆距离
电力线	垂直交叉	<0.5kV	1.0
		6~10kV	2.0
		35~110kV	3.0
		154~220kV	4.0
	水平接近	<0.5kV	1.5
		6~10kV	2.5
		35~110kV	5.0
		154~220kV	7.0

① 架空线严禁跨越易燃建筑的屋顶。

② 导线对树木的距离，应考虑修剪周期内树木的生长高度。

③ 在路径受限制地区，1kV以下最小1m，1~10kV最小2m。

6-22 架空线路竣工时应检查哪些内容？

- 1) 电杆有无损伤、裂纹、弯曲和变形；
- 2) 横担是否水平，角度是否符合要求；
- 3) 导线是否牢固地绑在绝缘子上，导线对地面或其他交叉跨越设施的距离是否符合要求，弧垂是否合适；
- 4) 转角杆、分支杆、耐张杆等的跳线是否绑好，与导线、拉线的距离是否符合要求；
- 5) 拉线是否符合要求；
- 6) 螺母是否拧紧，电杆、横担上有无遗留的工具；
- 7) 测量线路的绝缘电阻是否符合要求。

6-23 架空线路应巡视检查哪些内容？

- 1) 检查电杆有无倾斜、变形或损坏，查看电杆基础是否完好；
- 2) 检查拉线有无松弛、破损现象，拉线金具及拉线桩是否完好；
- 3) 检查线路是否与树枝或其他物体相接触，导线上是否悬挂有树枝、风筝等杂物；
- 4) 检查导线的接头是否完好，有无过热发红、氧化或断脱现象；
- 5) 检查绝缘子有无破损、放电或严重污染等现象；
- 6) 沿线路的地面有无易燃、易爆或强腐蚀性物体堆放；
- 7) 沿线路附近有无可能影响线路安全运行的危险建筑物或新建的违章建筑物；
- 8) 检查接地装置是否完好，特别是雷雨季节前应对避雷器的接地装置进行重点检查；
- 9) 检查是否有其他危及线路安全的异常情况。

6-24 架空线路巡视检查时应注意什么？

- 1) 巡视过程中，无论线路是否停电，均应视为带电，巡线

时应走上风侧；

2) 单人巡线时，不可做登杆工作，以防无人监护而造成触电；

3) 巡线中发现线路断线，应设法防止他人靠近，在断线周围 8m 以内不准进入。应找专人看守，并设法迅速处理；

4) 夜间巡视时，应准备照明用具，巡线员应在线路两侧行走，以防断线或倒杆危及人身安全；

5) 对于检查中发现的问题，应在专用的运行维护记录中做好记载；

6) 对能当场处理的问题应当即进行处理，对重大的异常现象应及时报告主管部门迅速处理。

6-25 架空线路的日常维修内容有哪些？

1) 修剪或砍伐影响线路安全运行的树木；

2) 对基础下沉的电杆和拉线填土夯实；

3) 整修松弛的拉线，加封花篮螺栓和 UT 型线夹；

4) 更换有裂纹和破损的绝缘子；

5) 修补断股和烧伤的导线；

6) 装拆和整修场院或田头的临时用电设备。

第 7 章

室内配电线路

7-1 什么是室内配电线路？

室内配电线路是指敷设在建筑物内，接到用电器具的供电线路和控制线路。室内配线分为明配线和暗配线两种。导线沿墙壁、天花板、房梁以及柱子等明敷设的配线，称为明配线；导线穿入管中并埋设在墙壁内、地坪内或装设在顶棚内的配线，称为暗配线。

按配线方式的不同室内配线可分为瓷夹板配线、塑料夹板配线、绝缘子配线、槽板配线、钢管配线、塑料管配线、钢索配线等。

7-2 室内配电线路应满足哪些技术要求？

室内配线不仅要求安全可靠，而且要使线路布置合理、整齐美观、安装牢固。其一般技术要求如下：

1) 导线的额定电压应不小于线路的工作电压；导线的绝缘应符合线路的安装方式和敷设的环境条件。导线的截面积应能满足电气性能和力学性能要求。

2) 配线时应尽量避免导线接头。导线必须接头时，接头应采用压接或焊接。导线连接和分支处不应受机械力的作用。穿管敷设导线，在任何情况下都不能有接头，必要时尽量将接头放在接线盒的接线柱上。

3) 在建筑物内配线要保持水平或垂直。水平敷设的导线，

距地面不应小于 2.5m；垂直敷设的导线，距地面不应小于 1.8m。否则，应装设预防机械损伤的装置加以保护，以防漏电伤人。

4) 导线穿过墙壁时，应加套管保护，管内两端出线口伸出墙面的距离应不小于 10mm。在天花板上走线时，可采用金属软管，但应固定稳妥。

5) 配线的位置应尽可能避开热源和便于检查、维修。

6) 弱电线不能与大功率电力线平行，更不能穿在同一管内。如因环境所限，必须平行走线时，则应远离 50cm 以上。

7) 报警控制箱的交流电源应单独走线、不能与信号线和低压直流电源线穿在同一管内。

8) 为了确保用电安全，室内电气管线和配电设备与其他管道、设备间的最小距离不得小于表 7-1 所规定的数值。否则，应采取其他保护措施。

表 7-1 室内电气管线和配电设备与其他管道、设备间的最小距离
(单位: m)

类别	管线及设备名称	管内导线	明敷绝缘导线	裸母线	配电设备
平行	煤气管	0.1	1.0	1.0	1.5
	乙炔管	0.1	1.0	2.0	3.0
	氧气管	0.1	0.5	1.0	1.5
	蒸气管	1.0/0.5	1.0/0.5	1.0	0.5
	暖水管	0.3/0.2	0.3/0.2	1.0	0.1
	通风管	—	0.1	1.0	0.1
	上、下水管	—	0.1	1.0	0.1
	压缩气管	—	0.1	1.0	0.1
	工艺设备	—	—	1.5	—
交叉	煤气管	0.1	0.3	0.5	—
	乙炔管	0.1	0.5	0.5	—

(续)

类别	管线及设备名称	管内导线	明敷绝缘导线	裸母线	配电设备
交叉	氧气管	0.1	0.3	0.5	—
	蒸气管	0.3	0.3	0.5	—
	暖水管	0.1	0.1	0.5	—
	通风管	—	0.1	0.5	—
	上、下水管	—	0.1	0.5	—
	压缩气管	—	0.1	0.5	—
	工艺设备	—	—	1.5	—

注：表中有两个数据者，第一个数值为电气管线敷设在其他管道之上的距离；第二个数值为电气管线敷设在其他管道下面的距离。

7-3 导线接头应满足哪些基本要求？

在配线过程中，因出现线路分支或导线太短，经常需要将一根导线与另一根导线连接。在各种配线方式中，导线的连接除了针式绝缘子、鼓形绝缘子、蝶式绝缘子配线可在布线中间处理外，其余均需在接线盒、开关盒或灯头盒内等处理。导线的连接质量对安装的线路能否安全可靠运行影响很大。常用的导线连接方法有绞接、绑接、焊接、压接和螺栓连接等。其基本要求如下：

- 1) 剥削导线绝缘层时，无论用电工刀或剥线钳，都不得损伤线芯；
- 2) 接头应牢固可靠，其机械强度不小于同截面导线的80%；
- 3) 连接电阻要小；
- 4) 绝缘要良好。

7-4 单芯铜线有哪几种连接方法？

根据导线截面的不同，单芯铜导线的连接常采用绞接法和绑

接法。

1. 绞接法

绞接法适用于 4mm^2 及以下的小截面单芯铜线直线连接和分线（支）连接。绞接时，先将两线相互交叉，同时将两线芯互绞 2~3 圈后，再扳直与连接线成 90° ，将导线两端分别在另一线芯上紧密地缠绕 5 圈，余线割弃，使端部紧贴导线，如图 7-1a 所示。

双芯线连接时，两个连接处应错开一定距离，如图 7-1b 所示。

单芯丁字分线连接时，将导线的线芯与干线交叉，一般先粗卷 1~2 圈或打结以防松脱，然后再密绕 5 圈，如图 7-1c、d 所示。

单芯线十字分线绞接方法如图 7-1e、f 所示。

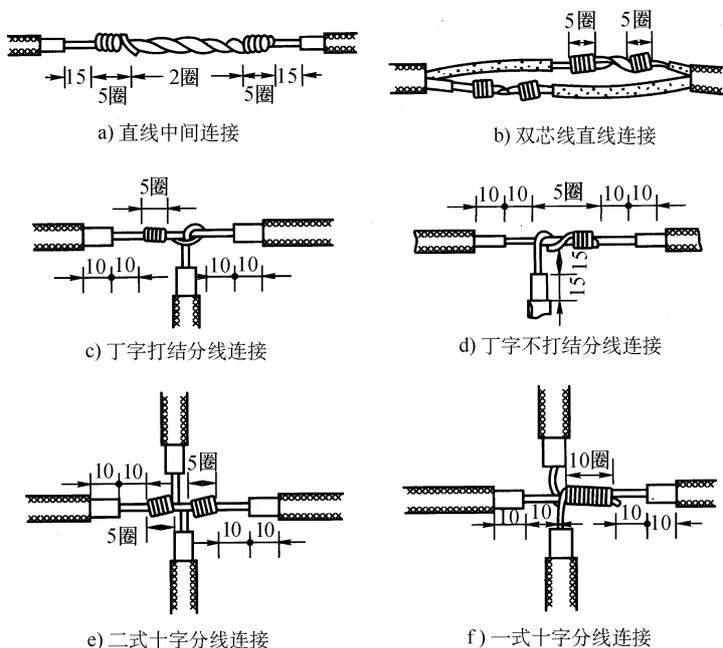


图 7-1 单、双芯铜导线绞接连接

2. 绑接法

绑接法又称缠卷法。分为加辅助线和不加辅助线两种，一般适用于 6mm^2 及以上的单芯线的直线连接和分线连接。

连接时，先将两线头用钳子适当弯起，然后并在一起。加辅助线（填一根同径芯线）后，一般用一根 1.5mm^2 的裸铜线做绑线，从中间开始捆绑，捆绑长度约为导线直径的10倍。两头再分别在一芯上缠绕5圈，余下线头与辅助线绞合2圈，剪去多余部分。较细的导线可不用辅助线。如图7-2a、b所示。

单芯丁字分线连接时，先将分支导线折成 90° 紧靠干线，其公卷长度也为导线直径的10倍，再单绕5圈，如图7-2c所示。

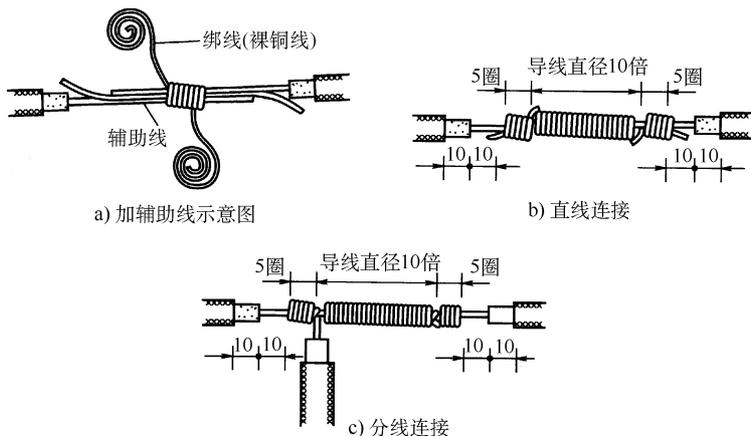


图7-2 单芯导线绑接法

7-5 多芯铜线有哪几种连接方法？

1) 多芯铜导线的直线连接：连接时，先剥取导线两端绝缘层，将导线线芯顺次解开，成 30° 伞状，把中心线剪短一股，将导线逐根拉直，用细砂纸清除氧化膜。再把各张开的线端顺序交叉插进去成为一体。选择合适的缠绕长度，把张开的各线端合拢，取任意两股同时缠绕5~6圈后，另换两股缠绕，把原有的

两股压住或剪断，再缠绕 5~6 圈后，又换两股缠绕，如此下去，直至缠至导线解开点，剪去余下线芯，并用钳子敲平线头。另一侧也同样缠绕。如图 7-3a 所示。

2) 多芯铜导线的分线连接：连接时，先剥开导线绝缘层，将分线端头松开折成 90° 并靠紧干线，在绑线端部相应长度处弯成半圆形。再将绑线短端弯成与半圆形成 90° 与分接线靠紧，用长端缠绕。当长度达到接合处导线直径的 5 倍时，再将两端部绞捻 2 圈，剪去余线。如图 7-3b 所示。

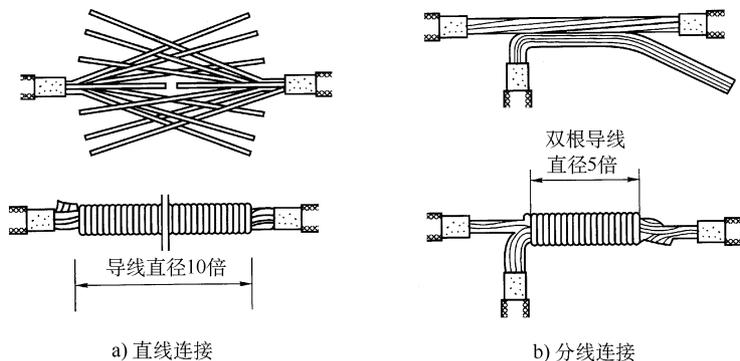


图 7-3 多芯铜导线捆绑接法

7-6 单芯绝缘导线在接线盒内有哪几种连接方法？

1) 单芯铜导线：连接时，先将连接线端相并合，在距绝缘层 15mm 处用其中的一根芯线在其连接线端缠绕 5 圈，然后留下适当长度余线剪断折回并压紧，以防线端部扎破所包扎的绝缘层，如图 7-4a 所示。

三根及以上单芯铜导线连接时，可采用单芯线并接方法进行连接。先将连接线端相并合，在距绝缘层 15mm 处用其中的一根线芯，在其连接线端缠绕 5 圈剪断，然后把余下的线头折回压在缠绕线上，最后包扎好绝缘层，如图 7-4b 所示。

注意，在进行导线下载时，应计算好每根短线的长度，其中

用来缠绕的线应长于其他线，一般不能用盒内的相线去缠绕并接的导线，这样将会导致盒内导线留头短。

2) 异径单芯铜导线：不同直径的导线连接时先将细线在粗线上距绝缘层 15mm 处交叉，并将线端部向粗线端缠绕 5 圈，再将粗线端头折回，压在细线上，如图 7-4c 所示。注意，如果细导线为软线，则应先进行挂锡处理。

3) 单芯铝导线：在室内配线工程中，对于 10mm^2 及以下的单芯铝导线的连接，主要采用铝套管进行局部压接。压接前，先根据导线截面和连接线根数选用合适的压接管。再将要连接的两根导线的线芯表面及铝套管内壁氧化膜清除，然后最好涂上一层中性凡士林油膏，使其与空气隔绝不再氧化。压接时，先把线芯插入适合线径的铝管内，用端头压接钳将铝管线芯压实两处，如图 7-4d 所示。

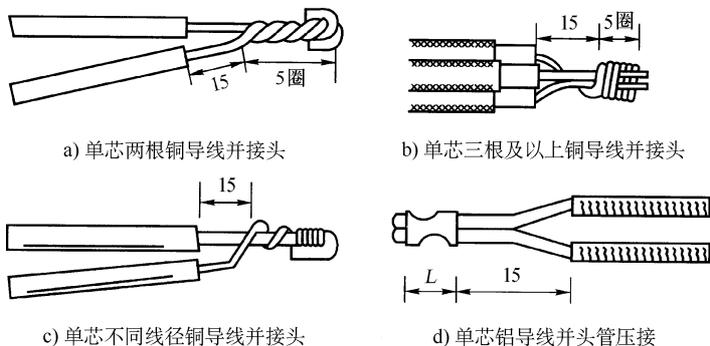


图 7-4 单芯线接头

单芯铝导线端头除用压接管并头连接外，还可采用电阻焊的方法将导线并头连接。单芯铝导线端头熔焊时，其连接长度应根据导线截面大小确定。

7-7 多芯绝缘导线在接线盒内有哪几种连接方法？

1) 铜绞线：铜绞线一般采用并接的方法进行连接。并接

时，先将绞线破开顺直并合拢，用多芯导线分支连接缠绕法弯制绑线，在合拢线上缠绕。其缠绕长度（ A 尺寸）应为两根导线直径的 5 倍，如图 7-5a 所示。

2) 铝绞线：多股铝绞线一般采用气焊焊接的方法进行连接，如图 7-5b 所示。焊接前，一般在靠近导线绝缘层的部位缠以浸过水的石棉绳，以避免焊接时烧坏绝缘层。焊接时，火焰的焰心应离焊接点 $2 \sim 3\text{mm}$ ，当加热至熔点时，即可加入铝焊粉（焊药）。借助焊粉的填充和搅动，使端面的铝芯融合并连接起来。然后焊枪逐渐向外端移动，直至焊完。

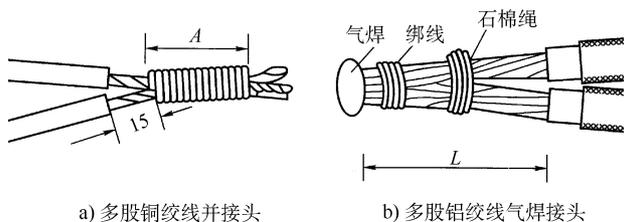


图 7-5 多股绞线的并接头

A —缠绕长度 L —长度（由导线截面确定）

7-8 铝芯导线有哪几种压接方法？

1) 铝芯导线用压接管压接：接线前，先选好合适的压接管，清除线头表面和压接管内壁上的氧化层和污物，涂上凡士林，如图 7-6a 所示。将两根线头相对插入并穿出压接管，使两线端各自伸出压接管 $25 \sim 30\text{mm}$ ，如图 7-6b 所示。用压接钳压接，如图 7-6c 所示。如果压接钢芯铝绞线，则应在两根芯线之间垫上一层铝质垫片，如图 7-6d 所示。压接钳在压接管上的压坑数目，室内线头通常为 4 个，室外通常为 6 个。

2) 铝芯导线用沟线夹螺栓压接：连接前，先用钢丝刷除去导线线头和沟线夹线槽内壁上的氧化层和污物，涂上凡士林，然后将导线卡入线槽，旋紧螺栓，使沟线夹紧紧夹住线头而完成连接。

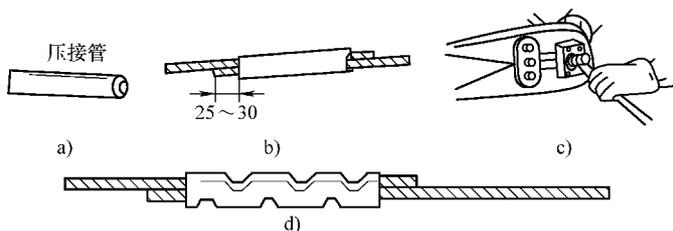


图 7-6 铝芯导线用压接管压接

为防止螺栓松动，压紧螺栓上应套以弹簧垫圈，如图 7-7 所示。

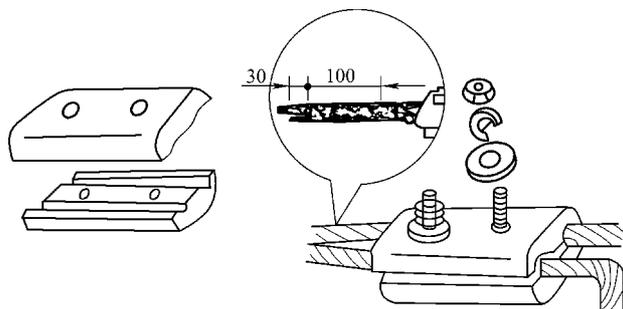


图 7-7 铝芯导线用沟线夹螺栓压接

7-9 多股铝芯线与接线端子怎样连接？

多股铝芯线与接线端子连接，可根据导线截面选用相应规格的铝接线端子，采用压接或气焊的方法进行连接。

压接前，先剥出导线端部的绝缘，剥出长度一般为接线端子内孔深度再加 5mm。然后除去接线端子内壁和导线表面的氧化膜，涂以凡士林，将线芯插入接线端子内进行压接。先划好相应的标记，开始压接靠近导线绝缘的一个坑，后压另一个坑，压坑深度以上下模接触为宜，压坑在端子的相对位置如图 7-8 及

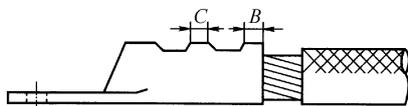


图 7-8 铝接线端子压接工艺尺寸图

表 7-2 所示。压好后，用锉刀挫去压坑边缘因被压而翘起的棱角，并用砂布打光，再用蘸有汽油的抹布擦净即可。

表 7-2 铝接线端子压接尺寸表 (单位: mm)

导线截面积/mm ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
C	3	3	5	5	5	5	5	5	5	6
B	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5

7-10 导线与接线柱怎样连接?

在各种用电器和电气设备上，均设有接线柱供连接导线使用。常用的接线柱有平压式和针孔式两种。

1) 导线与平压式接线柱的连接:

导线与平压式接线柱的连接，可根据线芯的规格，采用相应的连接方法。对于截面在 10mm² 及以下的单股铜导线，可直接与器具的接线端子连接，如图 7-9 所示。连接时，先把线头弯成羊角圈，羊角圈弯曲的方向应与螺钉拧紧的方向一致（一般为顺时针），且圈的大小及根部的长度要适当。

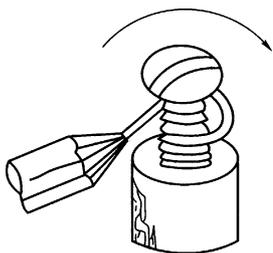


图 7-9 导线与平压式接线柱连接

2.5m² 及以下的多股铜软线与器具的接线端子连接时，先将软线芯做成羊角圈，挂锡后再与接线端子固定。注意，导线与平压式接线柱连接时，导线线芯根部无绝缘层的长度不要过长，根据导线粗细以 1~3mm 为宜。

2) 导线与针孔式接线柱的连接: 导线与针孔式接线柱连接时，如果单股芯线与接线柱插线孔大小适宜，则只要把线芯插入针孔，旋紧螺钉即可。如果单股线芯较细，则应把线芯折成双根，再插入针孔进行固定，如图 7-10 所示。如果采用的是多股细丝的软线，必须先将导线绞紧，再插入针孔进行固定。

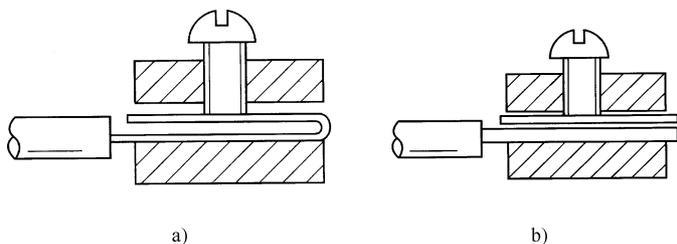


图 7-10 导线与针孔式接线柱连接

注意，导线与针孔式接线柱连接时，应使螺钉顶压牢固且不伤线芯。如果用两个螺钉顶压，则线芯必须插到底，保证两个螺钉都能压住线芯。且要先拧紧前端螺钉，再拧紧另一个螺钉。

7-11 导线连接后如何包缠绝缘？

导线连接以后，要进行绝缘带包缠，以恢复线路绝缘。常用的绝缘带有黑胶布、自黏性橡胶带、塑料带和黄蜡带等。使用时，一般根据接头处环境和对绝缘的要求，结合绝缘带的性能进行选用。一般选用 20mm 宽的黄蜡带和黑胶布，包缠也方便。

在包缠绝缘带前，应先检查导线线芯是否损伤，连接是否紧密，是否有毛刺等。

注意事项：

1) 用于 380V 线路上的导线恢复绝缘时，应先包缠 1~2 层黄蜡带，然后再包缠一层黑胶布；

2) 用于 220V 线路上的导线恢复绝缘时，应先包缠一层黄蜡带，然后再包缠一层黑胶布；也可只包缠两层黑胶布；

3) 包缠时，要用力拉紧，使之包缠紧密坚实，不能过疏。更不允许露出芯线，以免造成触电或短路事故；

4) 绝缘带不用时，不可放在温度较高的场所或浸染油类，以免失效。

7-12 瓷夹板配线有哪几种类型？

瓷夹板配线是指将导线放入瓷夹板槽内，再用木螺钉或膨胀

螺管将瓷夹板与墙体或建筑物的构架固定的方法。瓷夹板配线具有结构简单、布线费用少、安装维修方便等特点，但导线完全暴露在空间，容易遭受损坏，且不美观。因此在内线安装中，已逐渐被护套线所取代，但在干燥且用电量较小的场所仍在采用。

瓷夹板按槽数可分为单线式、双线式和三线式3种，常用的瓷夹板多为双线式和三线式，其外形如图7-11所示。

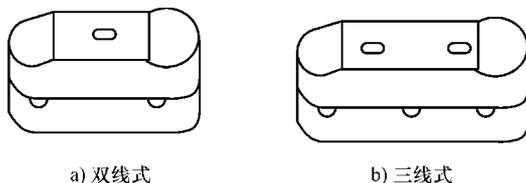


图7-11 瓷夹板外形图

7-13 瓷夹板配线应满足哪些要求？

1) 瓷夹板配线时，铜导线的线芯截面积不应小于 1mm^2 ，铝导线的线芯截面积不应小于 1.5mm^2 ；导线的线芯最大截面积不得大于 6mm^2 。

2) 在敷设线路之前，应先进行定位画线，确定照明灯具、开关、插座等的安装位置以及线路走向。

3) 瓷夹板线路的各种间距应符合表7-3中的要求。

表7-3 瓷夹板线路的间距要求

瓷夹板间距/m	导线对敷设面 最小距离/mm	导线对地面最小距离/m	
		水平敷设	垂直敷设
≤ 0.6	5	2	1.3

4) 导线在墙面上转弯时，应在转弯处装两副瓷夹板，如图7-12a所示。

5) 两条支路的4根导线相互交叉时，应在交叉处分装4副瓷夹板，在下面的两根导线应各套一根瓷管或硬塑料管，管的两

端需靠紧瓷夹板，如图 7-12b 所示。

6) 导线分路时，应在连接处分装 3 副瓷夹板，当有一根支路导线跨过干线时，应加瓷管，瓷管的一端要紧靠瓷夹板，另一端靠住导线的连接处，如图 7-12c 所示。

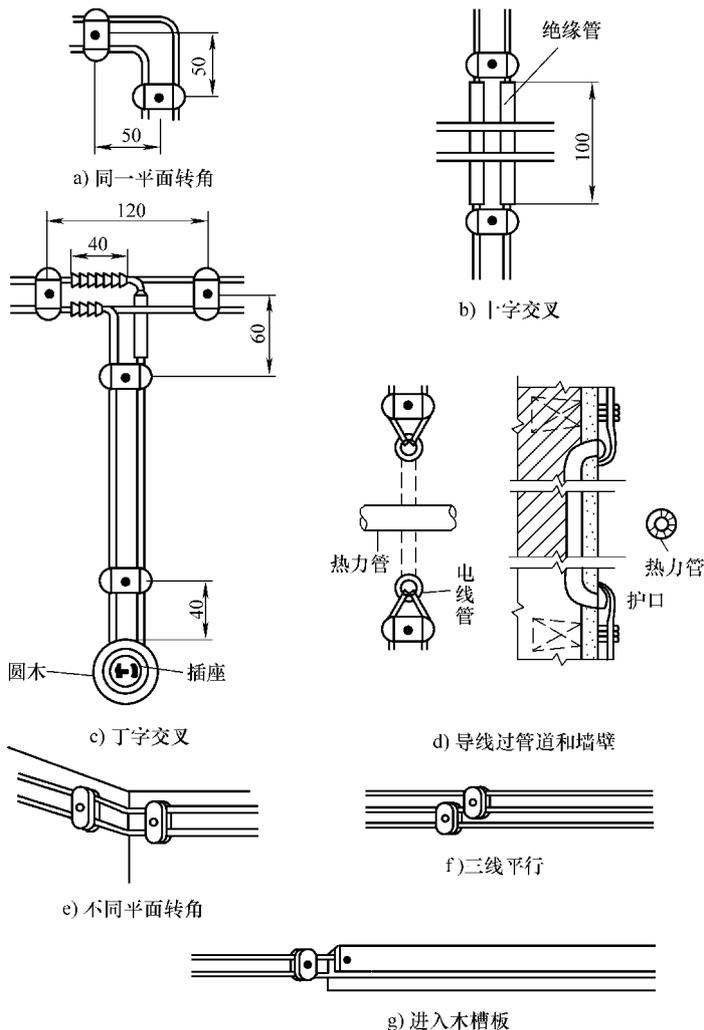


图 7-12 瓷夹板线路的安装方法

- 7) 导线进入圆木前，应装一副瓷夹板，如图 7-12c 所示。
- 8) 当导线与热力管道交叉时，应采用如图 7-12d 所示的方法施工。
- 9) 导线在不同平面上转弯时，转角的前后也应各装一副瓷夹板，如图 7-12e 所示。
- 10) 三条导线平行时，若采用双线瓷夹板，每一支持点应装两副瓷夹板，如图 7-12f 所示。
- 11) 在瓷夹板和槽板布线的连接处，应装一副瓷夹板，如图 7-12g 所示。

7-14 绝缘子配线有哪几种类型？

绝缘子配线又称瓷瓶配线，它是利用绝缘子、瓷柱来固定和支持导线的一种配线方式。因绝缘子较高、机械强度较大，它与瓷夹板（或塑料夹板）布线方式相比，可使导线与墙面距离增大，故可用于比较潮湿的场所，如地下室、浴室及户外。

绝缘子配线所用的绝缘子有鼓形绝缘子、直脚针式绝缘子、弯脚针式绝缘子、蝶式绝缘子和拉线绝缘子等。

7-15 怎样固定绝缘子？

1) 在木结构墙上固定绝缘子：在木结构墙上只能固定鼓形绝缘子，可用木螺钉直接拧入，如图 7-13a 所示。

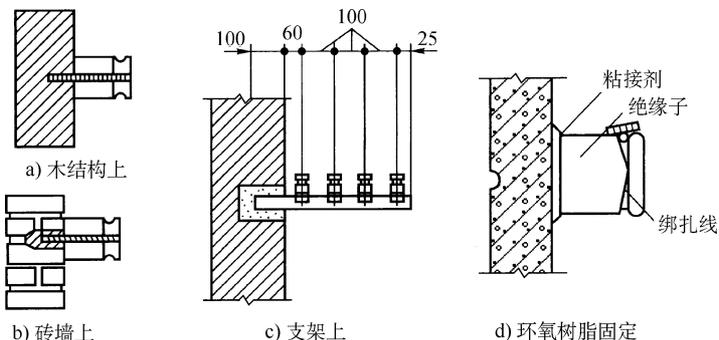


图 7-13 绝缘子的固定

2) 在砖墙上固定绝缘子：在砖墙上，可利用预埋的木榫和木螺钉来固定鼓形绝缘子，如图 7-13b 所示；或用预埋的支架和螺栓来固定鼓形绝缘子、蝶式绝缘子和针式绝缘子等，如图 7-13c 所示。此外也可用缠有铁丝的木螺钉和膨胀螺栓来固定鼓形绝缘子。

3) 在混凝土墙上固定绝缘子：在混凝土墙上，可用缠有铁丝的木螺钉和膨胀螺栓来固定鼓形绝缘子，或用预埋的支架和螺栓来固定鼓形绝缘子、蝶式绝缘子和针式绝缘子，也可用环氧树脂粘接剂来固定绝缘子，如图 7-13d 所示。

7-16 怎样在绝缘子上绑扎导线？

在绝缘子上敷设导线，应从一端开始，先将一端的导线绑扎在绝缘子的颈部，如果导线弯曲，应事先调直，然后将导线的另一端收紧绑扎固定，最后把中间导线也绑扎固定。导线在绝缘子上绑扎固定的方式如图 7-14 所示。平行导线在绝缘子上的绑扎如图 7-15 所示。平行的两根导线，应放在两绝缘子的同侧或绝缘子的外侧，不能放在两绝缘子的内侧。

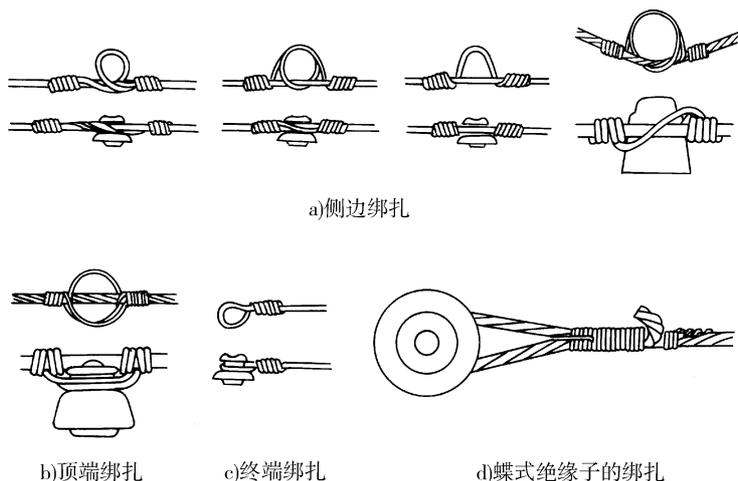


图 7-14 导线在绝缘子上的绑扎

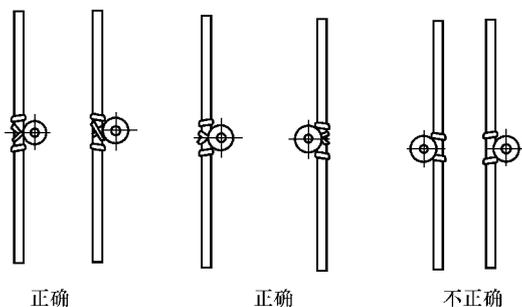


图 7-15 平行导线在绝缘子上的绑扎位置

7-17 绝缘子配线时应注意什么？

1) 在建筑物绝缘子侧面或斜面配线时，应将导线绑扎在绝缘子上方，如图 7-16 所示。

2) 导线在同一平面内有曲折时，要将绝缘子装设在导线曲折的内侧，如图 7-17 所示。

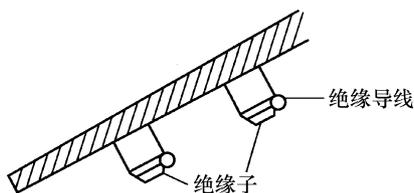


图 7-16 绝缘子在侧面或斜面时的导线绑扎

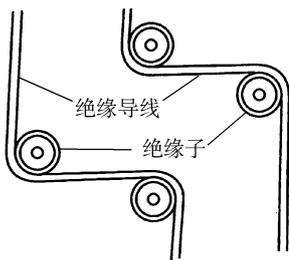


图 7-17 绝缘子在同一平面的转角做法

3) 导线在不同的平面内有曲折时，在凸角的两面上应装设两个绝缘子。

4) 导线分支时，必须在分支点处设置绝缘子，用以支持导线；导线互相交叉时，应在距建筑物附近的导线上套瓷管保护，

如图 7-18 所示。

5) 平行的两根导线，应放在两绝缘子的同一侧或两绝缘子的外侧，不能放在两绝缘子的内侧。

6) 绝缘子沿墙壁垂直排列敷设时，导线弛度不得大于 5mm；沿屋架或水平支架敷设时，导线弛度不得大于 10mm。

7) 在隐蔽的吊棚内，不允许用绝缘子配线。导线穿墙和在不同平面的转角安装，可参照图 7-19 的做法进行。

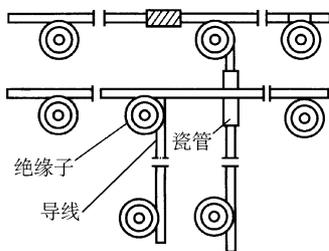


图 7-18 绝缘子配线的分支做法

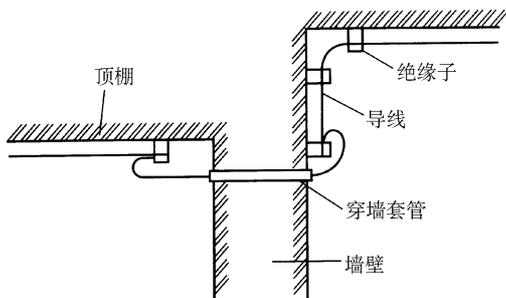


图 7-19 绝缘子配线穿墙和转角

8) 导线固定点的间距应符合表 7-4 的规定，并要求排列整齐，间距要对称均匀。

表 7-4 室内配线线间和导线固定点的间距

配线方式	导线截面积 /mm ²	固定点间最大允许 距离/mm	导线间最小允许 距离/mm
鼓形绝缘子配线	1~4	1500	70
	6~10	2000	70
	16~25	3000	100

(续)

配线方式	导线截面积 /mm ²	固定点间最大允许 距离/mm	导线间最小允许 距离/mm
蝶式绝缘子配线	4 ~ 10	2500	70
	16 ~ 25	3000	100
	35 ~ 70	6000	150
	95 ~ 120	6000	150

7-18 塑料护套线配线有哪几种类型？

塑料护套线是一种具有塑料保护层的双芯或多芯绝缘导线，具有防潮、耐酸和耐腐蚀、线路造价较低、安装方便等优点。可以直接敷设在空心楼板、墙壁以及其他建筑物表面，可用铝片线卡（俗称钢精扎头）或塑料钢钉线卡作为导线的支持物。塑料护套线主要用于居住和办公等建筑物内的电气照明及家用电器插座线路的明敷线路和敷设在空心楼板板孔内的暗敷设线路。但由于塑料护套线的截面积较小，大容量电路不宜采用。

工程中常用的塑料护套线有 BVV 型铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆形电缆（电线）、BLVV 型铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆形电缆（电线）、BVVB 型铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平形电缆（电线）及 BLVVB 型铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平形电缆（电线）等。

7-19 塑料护套线配线应满足哪些要求？

1) 塑料护套线不可在线路上直接连接，应通过接线盒或借用其他电器的接线柱等进行连接。

2) 在直线电路上，一般应每隔 200mm 用一个铝线卡夹住护套线，如图 7-20a 所示。

3) 塑料护套线转弯时，转弯的半径要大一些，以免损伤导线。转弯处要用两个铝线卡夹住，如图 7-20b 所示。

4) 两根护套线相互交叉时，交叉处应用 4 个铝线卡夹住，

如图 7-20c 所示。护套线应尽量避免交叉。

5) 塑料护套线进入木台或套管前, 应固定一个铝线卡, 如图 7-20d、e 所示。

6) 塑料护套线接头的连接通常采用图 7-20f ~ h 所示的方法进行。

7) 塑料护套线进行穿管敷设时, 板孔内穿线前, 应将板孔内的积水和杂物清理干净。板孔内所穿入的塑料护套线, 不得损伤绝缘层, 并便于更换导线, 导线接头应设在接线盒内。

8) 环境温度低于 -15°C 时, 不得敷设塑料护套线, 以防塑料发脆造成断裂, 影响施工质量。

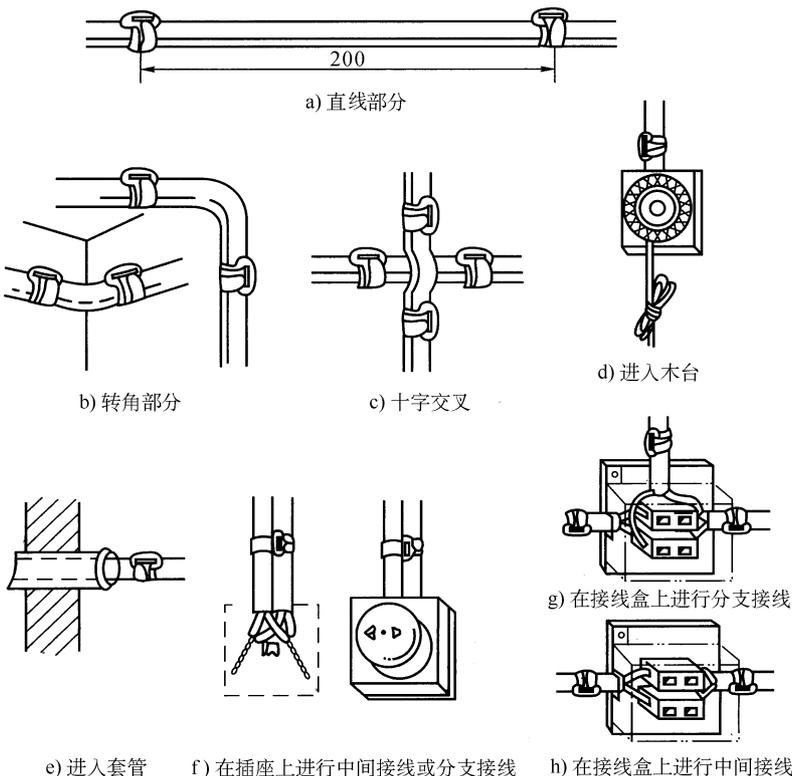


图 7-20 塑料护套线路的安装方法

7-20 线管配线有哪几种类型？

把绝缘导线穿在管内配线称为线管配线。线管配线适用于潮湿、易腐蚀、易遭受机械损伤和重要的照明场所，具有安全可靠、整洁美观、可防止机械损伤以及发生火灾的危险性较小等优点。但这种配线方式用的材料较多，安装和维修不便，工程造价较高。

线管配线一般分为明配和暗配两种。明配是把线管敷设在墙壁、桁梁等表面明露处，要求配线横平竖直、整齐美观；暗配是把线管敷设在墙壁、楼板内等处，要求管路短、弯头少，以便于穿线。

用于穿导线的常用线管主要有水煤气管、薄钢管、金属软管、塑料管和瓷管五种。

7-21 线管配线应满足哪些要求？

1) 管内导线的绝缘强度不应低于 500V；铜导线的线芯截面积不应小于 1mm^2 ，铝导线的线芯截面积不应小于 2.5mm^2 。

2) 管内导线不准有接头，也不准穿入绝缘破损后经过包缠恢复绝缘的导线。

3) 不同电压和不同回路的导线不得穿在同一根钢管内。

4) 管内导线一般不得超过 10 根；多根导线穿管时，导线的总截面（包括绝缘层）不应超过线管内径截面积的 40%；水煤气管和电线管的管径可根据穿管导线的截面积和根数按表 7-5 所示选取。

表 7-5 穿管导线线管管径适用范围

导线截面积 / mm^2	穿管导线根数及铁管的 标称直径（内径）/mm					穿管导线根数及电线管的 标称直径（内径）/mm				
	2 根	3 根	4 根	6 根	9 根	2 根	3 根	4 根	6 根	9 根
1	13	13	13	16	25	13	16	16	19	25
1.5	13	16	16	19	25	13	16	19	25	25

(续)

导线截面积 /mm ²	穿管导线根数及铁管的 标称直径(内径)/mm					穿管导线根数及电线管的 标称直径(内径)/mm				
	2根	3根	4根	6根	9根	2根	3根	4根	6根	9根
2	16	16	16	19	25	16	16	19	25	25
2.5	16	16	16	19	25	16	16	19	25	25
3	16	16	19	19	32	16	16	19	25	32
4	16	19	19	25	32	16	19	25	25	32
5	16	19	19	25	32	16	19	25	25	32
6	19	19	19	25	32	16	19	25	25	32
8	19	19	25	32	32	19	25	25	32	38
10	19	25	25	32	51	25	25	32	38	51
16	25	25	32	38	51	25	32	32	38	51
20	25	32	32	51	64	25	32	38	51	64
25	32	32	38	51	64	32	38	38	51	64
35	32	38	51	51	64	32	38	51	64	64
50	38	51	51	64	74	38	51	64	64	76

5) 钢管的连接通常采用螺纹连接;硬塑料管可采用套接或焊接。敷设在含有对导线绝缘有害的蒸气、气体或多尘房屋内的线管以及敷设在可能进入油、水等液体的场所的线管,其连接处应密封。

6) 采用钢管配线时,钢管必须接地。

7) 管内配线应尽可能减少转角或弯曲,转角越多,穿线越困难。为便于穿线,规定线管超过下列长度,必须加装接线盒。
①无弯曲转角时,不超过45m;②有一个弯曲转角时,不超过30m;③有两个弯曲转角时,不超过20m;④有三个弯曲转角时,不超过12m。

8) 在混凝土内暗敷设的线管,必须使用壁厚为3mm以上的线管;当线管的外径超过混凝土厚度的1/3时,不得将线管埋在混凝土内,以免影响混凝土的强度。

9) 采用硬塑料管敷设时,其方法与钢管敷设基本相同。但

明管敷设时还应注意以下几点：①管径在 20mm 及以下时，管卡间距为 1m；②管径在 25 ~ 40mm 及以下时，管卡间距为 1.2 ~ 1.5m；③管径在 50mm 及以上时，管卡间距为 2m。

硬塑料管也可在角铁支架上架空敷设，支架间距不能大于上述距离要求。

第 8 章

电气照明

8-1 什么是电气照明？

电气照明是指利用一定的装置和设备将电能转换成光能，为人们的日常生活、工作和生产提供的照明。电气照明一般由电光源、灯具、电源开关和控制线路等组成。良好的照明条件是保证安全生产、提高劳动生产率和人的视力健康的必要条件。

8-2 电气照明按灯具布置方式可分为哪几种类型？

电气照明按灯具布置方式可分为以下三类：

1) 一般照明：是指不考虑特殊或局部的需要，为照亮整个工作场所而设置的照明。这种照明灯具往往是对称均匀排列在整个工作面的顶棚上，因而可以获得基本均匀的照明。如居民住宅、学校教室、会议室等处主要采用一般照明作为基本照明。

2) 局部照明：是指利用设置于特定部位的灯具（固定的或移动的），用于满足局部环境照明需要的照明方式。如办公学习用的台灯、检修设备用的手提灯等。

3) 混合照明：是指由一般照明和局部照明共同组成的照明方式，实际应用中多为混合照明。如居民家庭、饭店宾馆、办公场所等处，都是在采用一般照明的基础上，根据需要再在某些部位装设壁灯、台灯等局部照明灯具。

8-3 电气照明按照明性质可分为哪几种类型？

电气照明按照明性质可分为以下七种：

1) 正常照明：正常工作时使用的室内、室外照明。一般可以单独使用。

2) 应急照明：正常照明因故障熄灭后，供故障情况下继续工作或人员安全通行的照明称为应急照明。应急照明主要由备用照明、安全照明、疏散照明等组成。应急照明光源一般采用瞬时点亮的白炽灯或卤钨灯，灯具通常布置在主要通道、危险地段、出入口处，在灯具上加涂红色标记。

3) 警卫照明：用于有警卫任务的场所，根据警戒范围的需要装设警卫照明。

4) 值班照明：在重要的车间和场所设置的供值班人员使用的照明称为值班照明。值班照明可利用正常照明中能单独控制的一部分，或应急照明中的一部分。

5) 障碍照明：装设在高层建筑物或构筑物上，作为航空障碍标志（信号）用的照明，并应执行民航和交通部门的有关规定。障碍照明采用能穿透雾气的红光灯具。

6) 标志照明：借助照明以图文形式告知人们通道、位置、场所、设施等信息。

7) 景观照明：包括装饰照明、庭院照明、外观照明、节日照明、喷泉照明等，常用于烘托气氛、美化环境。

8-4 电气照明有哪些常用物理量？

1) 光：光是电磁波辐射到人的眼睛，经视觉神经转换为光线，即能被肉眼看见的那部分光谱。它仅仅是电磁辐射光谱非常小的一部分。

2) 光谱：光线依波长大小顺序之分布称为光谱。每种光源都可以依其波长组成而在光谱图上显示出其光谱能量分布图。太阳光及白炽灯泡之光谱能量分布为连续曲线，而一般放电灯为非连续曲线。

3) 光通量：光源在单位时间内发射出的光能称为光源的光通量，单位为流明（lm）。我们用光通量表示电光源发光的能力。如额定功率为 15W 的白炽灯泡的光通量为 110lm，60W 的

白炽灯泡其光通量为 630lm。

4) 照度及亮度：照度是指单位面积上接收到的光通量。照度符号是 E ，照度单位是勒克斯 (lx)，即

$$E = \frac{\phi}{A}$$

式中， A 为被照面积 (m^2)； ϕ 为 A 面上接收到的总光通量 (lm)； E 为照度 (lx)。

1lx (勒克斯) 相当 1m^2 被照面上光通量为 1lm (流明) 时的照度。

亮度是指发光体在视线方向单位投影面上的发光强度。其单位是 cd/m^2 (坎德拉/平方米)。这里所指的发光体不是光源，由于所有受照物体都能反射光线，因此对于人眼来说均可视为间接发光体。应该指出的是，发光体的亮度值实际上与视线无关。

5) 显色性和显色指数：太阳光和白炽灯均辐射连续光谱，在可见光的波长 (380 ~ 760nm) 范围内，包含着红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各种色光。物体在太阳光和白炽灯的照射下，显示出它的真实颜色，但当物体在非连续光谱的气体放电灯的照射下，颜色就会有不同程度的失真。我们把光源对物体真实颜色的呈现程度称为光源的显色性。

光源的显色指数是指在待测光源照射下的物体的颜色，与在另一相近色温的黑体或日光参照光源照射下相比，物体颜色相符合的程度。一般显色指数用 R_a 表示。颜色失真越小，显色指数越高，光源的显色性越好。国际上规定参照光源的显色指数为 100。

8-5 对电气照明有哪些质量要求？

对照明的要求，主要是由被照明的环境内所从事活动的视觉要求决定的。一般应满足下列要求：

1) 照度均匀：指被照空间环境及物体表面应有尽可能均匀的照度，这就要求电气照明应有合理的光源布置，选择适用的照明灯具。

2) 照度合理: 根据不同环境和活动的需要, 电气照明应提供合理的照度。各类建筑中不同场所一般照明的推荐照度值见表 8-1。

表 8-1 各种建筑中不同场所推荐照度值

建筑性质	房间名称	推荐照度/lx
居住建筑	厕所、盥洗室	5 ~ 15
	餐室、厨房、起居室	15 ~ 30
	卧室	20 ~ 50
	单身宿舍、活动室	30 ~ 50
科技办公建筑	厕所、盥洗室、楼梯间、走道	5 ~ 15
	食堂、传达室	30 ~ 75
	厨房	50 ~ 100
	医疗室、报告厅、办公室、会议室、接待室	75 ~ 150
	实验室、阅览室、书库、教室	75 ~ 150
	设计室、绘图室、打字室	100 ~ 200
医疗建筑	病房、健身房	15 ~ 30
	X 线诊断室、化疗室、同位素扫描室	30 ~ 75
	理疗室、麻醉室、候诊室	30 ~ 75
	解剖室、化验室、药房、护士站	75 ~ 150
	医生值班室、门诊挂号病案室	75 ~ 150
	手术室、加速器治疗室	100 ~ 200
	电子计算机 X 线扫描室	100 ~ 200
商业建筑	厕所、更衣室、热水间	5 ~ 15
	楼梯间、冷库、库房	10 ~ 20
	一般旅客客房、浴池	20 ~ 50
	大门厅、售票室、小吃店	30 ~ 75
	餐厅、照相馆营业厅、菜市场	50 ~ 100
	粮店、钟表眼镜店、银行、邮电营业厅	50 ~ 100
	理发室、书店、服装商店等	70 ~ 150
	字画商店、百货商店	100 ~ 200
	自选市场	200 ~ 300
道路	住宅小区道路	0.5 ~ 2
	公共建筑的庭园道路	2 ~ 5
	大型停车场	3 ~ 10
	广场	5 ~ 15

3) 限制眩光: 集中的高亮度光源对人眼的刺激作用称为眩光。眩光损坏人的视力, 也影响照明效果。为了限制眩光, 可采用限制单只光源的亮度, 降低光源表面亮度 (如用磨砂玻璃罩), 或选用适当的灯具遮挡直射光线等措施。实践证明合理地选择灯具悬挂高度, 对限制眩光的效果十分显著。一般照明灯具距地面最低悬挂高度的规定值见表 8-2。

表 8-2 照明灯具距地面最低悬挂高度的规定值

光源种类	灯具形式	光源功率/W	最低悬挂高度/m
白炽灯	有反射罩	≤ 60	2.0
		100 ~ 150	2.5
		200 ~ 300	3.5
		≥ 500	4.0
	有乳白玻璃漫反射罩	≤ 100	2.0
		150 ~ 200 300 ~ 500	2.5 3.0
卤钨灯	有反射罩	≤ 500	6.0
		1000 ~ 2000	7.0
荧光灯	无反射罩	< 40	2.0
		> 40	3.0
	有反射罩	≥ 40	2.0
高压汞灯	有反射罩	≤ 125	3.5
		125 ~ 250	5.0
		≥ 400	6.0
	有反射罩带格栅	≤ 125	3.0
		125 ~ 250	4.0
		≥ 400	5.0
金属卤化灯	搪瓷反射罩	250	6.0
	铝抛光反射罩	1000	7.5
高压钠灯	搪瓷反射罩	250	6.0
	铝抛光反射罩	400	7.0

8-6 常用电光源有哪些类型？

常用照明电光源按发光原理分为热辐射光源和气体放电光源。

1) 热辐射光源：包括白炽灯和卤钨灯。

2) 气体放电光源：包括荧光灯、高压汞灯、高压钠灯、低压钠灯、氙灯和金属卤化物灯等。

常用气体放电光源型号见表 8-3。

表 8-3 常用气体放电光源型号

光源名称		型号组成		
		第一部分	第二部分	第三部分
荧光灯	直管形荧光灯	YZ	额定功率 (W)	颜色特征
	U形荧光灯管	YU		
	环形荧光灯管	YH		
	自镇流荧光灯管	YZZ		
高压汞灯	高压汞灯泡	GG	额定功率 (W)	
	荧光高压汞灯泡	GGY		
	自镇流荧光高压汞灯	GYZ		
	反射型高压汞灯泡	GGF		
	反射型荧光高压汞灯	GYF		
氙灯	管形氙灯	XG	额定功率 (W)	结构形式的 顺序号
	管形水冷氙灯	XSG		
钠灯	低压钠灯泡	ND	额定功率 (W)	
	高压钠灯泡	NG		
金属卤化物灯	管形镝灯	DDG	额定功率 (W)	

8-7 电光源有哪些特性参数？

1) 额定电压和额定电流：在额定电压和额定电流下运行，电光源具有最佳的效果和最长的使用寿命。

2) 额定功率：指电光源在额定状态下运行所消耗的电

功率。

3) 光通量输出：指电光源在正常工作状态下，所发出的光通量。

4) 发光效率 η ：发光灯具所发出的光通量 ϕ 与消耗的电功率 P 之比。

$$\eta = \frac{\phi}{P}$$

式中， η 为发光效率 (lm/W)； ϕ 为光通量 (lm)； P 为电功率 (W)。

5) 寿命：电光源从初次通电到完全丧失或部分丧失使用价值时为止的全部点燃时间。

6) 色温：色温是电光源的主要技术参数之一。当电光源的发光颜色与黑体（能吸收全部光能辐射而不反射、不透光的理想物体）被加热到某一温度所发出的光的颜色相同时，称黑体的这个温度为该电光源的颜色温度，简称色温。

7) 显色性与显色指数：同一颜色的物体，在具有不同光谱功率分布的光源照射下显出不同的颜色，即物体在人眼内产生的颜色感觉是不同的（其他内容参见第8-4题第5条）。

为了对光源的显色性进行定量的比较，引入了显色指数这一概念。国际上规定以太阳光（日光）作为参照光源，规定日光的显色指数为100。其他的人造电光源的显色指数均与之比较而定。显然人造电光源的显色指数都低于100。

8-8 什么是白炽灯？

白炽灯具有结构简单、使用可靠、价格低廉、装修方便等优点，但发光效率较低、使用寿命较短，适用于照度要求较低，开关次数频繁的户内、外照明。

白炽灯主要由灯头、灯丝和玻璃壳组成，其结构如图8-1所示。灯头可分为螺口和卡口两种。灯丝是用耐高温（可达3000℃）的钨丝制成，玻璃壳分透明和磨砂两种，壳内一般都

抽成真空，对 60W 以上的大功率灯泡，抽成真空后，往往再充入惰性气体（氙气或氮气）。

工作原理：在白炽灯上施加额定电压时，电流通过灯丝，灯丝被加热成白炽体而发光。输入到白炽灯上的电能，大部分变成热能辐射掉，只有 10% 左右的电能转化为光能。

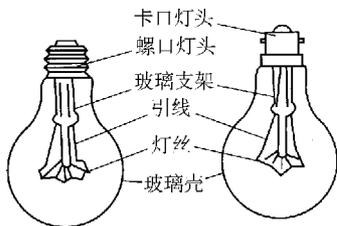


图 8-1 白炽灯的结构

8-9 白炽灯常用灯座有哪些类型？

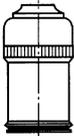
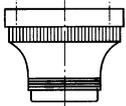
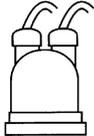
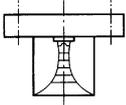
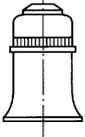
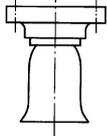
灯座的作用是固定白炽灯（又称灯泡）并提供电源。按固定灯泡的形式分为螺口灯座和插口灯座；按安装方式分为吊式、平顶式和管式；按材质分为胶木、瓷质和金属；按用途分为普通型、防水型、安全型和多用型几种。

白炽灯常用灯座的外形、规格及用途见表 8-4（普通螺口的节能灯也可使用）。

表 8-4 常用灯座的外形、规格及用途

名称	外形	额定电压 /V	额定电流 /A	用途
插口吊灯座		250	3	户内一般吊式灯
插口平灯座		250	3	安装在天花板或墙壁上的平装灯
插口安全吊灯座		250	3	户内较潮湿，易被人体触及的吊式灯

(续)

名 称	外 形	额定电压 /V	额定电流 /A	用 途
螺口吊灯座		250	3	公共场所或潮湿环境的户内吊式灯
螺口平灯座		250	3	公共场所或潮湿环境的户内平装灯
螺口防水吊灯座		250	3	户外吊式灯, 或户内有水汽、漏水场所的吊式灯
螺口防水平灯座		250	3	户外平装灯, 或户内较潮湿、有漏水场所的平装灯
螺口安全吊灯座		250	3	户内较潮湿, 易被人体触及的吊式灯
螺口安全平灯座		250	3	户内较潮湿, 易被人体触及的平装灯

8-10 白炽灯常用控制电路有哪几种?

白炽灯常用控制电路见表 8-5 (普通节能也可使用)。

表 8-5 白炽灯常用控制电路

线路名称和用途	接线图	说明
一只单连开关控制一盏灯		开关应安装在相线上，修理安全
一只单连开关控制一盏灯并与插座连接		比下面电路用线少，但由于电路上有接头，日久易松动，会增高电阻而产生高热，有引起火灾等危险，且接头工艺复杂
		电路中无接头，较安全，但比上面电路用线多
一只单连开关控制两盏灯（或多盏灯）		一只单连开关控制多盏灯时，可如左图中所示虚线接线，但应注意开关的容量是否允许
两只单连开关控制两盏灯		多只单连开关控制多盏灯时，可如左图中所示虚线接线
用两只双连开关在两个地方控制一盏灯		用于楼梯间电灯，楼上、楼下可同时控制；又如走廊中电灯，走廊两端能同时控制等场合
两只 110V 相同功率灯泡串联		注意两灯的功率必须一样，否则小功率灯泡就会烧坏

8-11 怎样安装白炽灯？

安装白炽灯时，每个用户都要装设一组熔断器（保险丝），

作为短路保护用。电灯开关应安装在相线（火线）上，使开关断开时，电灯灯头不带电，以免触电。对于螺口灯座，还应将中性线（零线）与铜螺套连接，将相线与中心簧片连接。

吊灯的导线应采用绝缘软线，并应在吊线盒及灯座罩盖内将导线打结，以免导线线芯直接承受吊灯的重量而被拉断。普通吊灯的安装方法如图 8-2 所示。

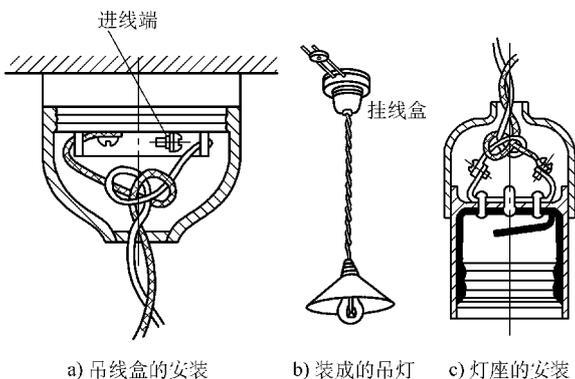


图 8-2 普通吊灯的安装

8-12 使用白炽灯时应注意哪些事项？

1) 使用时灯泡电压应与电源电压相符；为使灯泡发出的光能得到很好的分布和避免光线刺眼，最好根据照明要求安装反光适度的灯罩；

2) 灯座的形式必须与灯头相一致；

3) 大功率的白炽灯在安装时，要考虑避免灯过热而引起玻璃壳与灯头松脱；

4) 灯泡使用在室外时，应有防雨装置，以免灯泡玻璃遇雨破裂；

5) 室内使用时要经常清扫灯泡和灯罩上的灰尘和污物，以保持清洁和亮度；

6) 在拆换和清扫白炽灯泡时，应关闭电灯开关，注意不要触及灯泡螺旋部分，以免触电；

7) 不要用灯泡取暖，更不要用纸张或布遮光。

8-13 白炽灯有哪些常见故障？应该怎样排除？

白炽灯的常见故障及其排除方法见表 8-6。

表 8-6 白炽灯的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
灯泡不亮	<ol style="list-style-type: none"> 1) 电源进线无电压 2) 灯座或开关接触不良 3) 灯丝断裂 4) 熔丝熔断 5) 线路断路 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 检查是否停电，若停电，查找系统线路停电的原因，并处理 2) 检修或更换灯座、开关 3) 更换灯泡 4) 更换熔丝 5) 修复线路
灯泡强烈发光后瞬时烧坏	<ol style="list-style-type: none"> 1) 灯丝局部短路 2) 灯泡额定电压低于电源电压 3) 电源电压过高 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 更换灯泡 2) 换用额定电压与电源电压一致的灯泡 3) 调整电源电压
灯光时亮时熄	<ol style="list-style-type: none"> 1) 灯座或开关接触不良，导线接线松动或表面氧化 2) 电源电压忽高忽低或由于附近有大容量负载经常启动引起 3) 熔丝接触不良 4) 灯丝烧断但受振后忽接忽离 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 修复松动的触头或接线、清除导线的氧化层后重新接线，清除触头表面的氧化层 2) 增加电源容量 3) 重新安装 4) 更换灯泡
熔丝烧断	<ol style="list-style-type: none"> 1) 灯座或挂线盒连接处两线头相碰 2) 熔丝太细 3) 线路短路 4) 负载过大 5) 胶木灯座两触头间胶木烧毁，造成短路 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 重新接好线头 2) 正确选择熔丝规格 3) 修复线路 4) 减轻负载 5) 更换灯座

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
灯光暗淡	1) 灯座、开关接触不良, 或导线连接处接触电阻增加 2) 灯座、开关或导线对地严重漏电 3) 线路导线太长太细, 压降过大 4) 电源电压过低	1) 修复接触不良的触头, 重新连接导线接头 2) 更换灯座、开关或导线 3) 缩短线路长度, 或更换截面积较大的导线 4) 调整电源电压

8-14 什么是荧光灯?

荧光灯俗称日光灯, 是应用最广的气体放电光源。它是靠汞蒸气电离形成气体放电, 导致管壁的荧光物质发光。目前我国生产的荧光灯有普通荧光灯和三基色荧光灯。三基色荧光灯具有高显色指数, 色温达 5600K, 在这种光源下, 能保证物体颜色的真实性。所以适用于照度要求高, 需辨别色彩的室内照明。

8-15 荧光灯由哪几部分组成?

荧光灯主要由灯管、辉光启动器、镇流器、灯座和灯架等组成, 如图 8-3 所示。

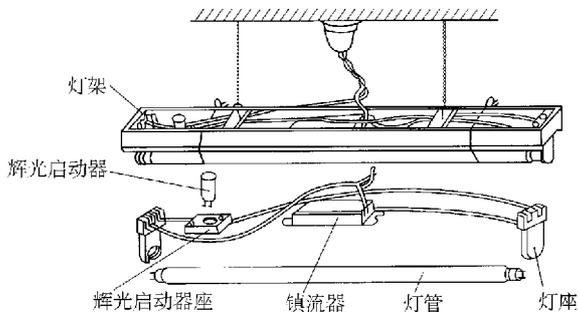


图 8-3 荧光灯的结构

1) 灯管: 灯管由一根直径为 15 ~ 40.5mm 的玻璃管、灯丝、

灯头和灯脚等组成。灯管内壁上涂有一层荧光粉（有毒的金属盐），灯管两端各有一个灯丝，灯丝由钨丝构成，用以发射电子。灯管内在真空情况下充有一定量的氩气与少量汞（水银）。

常用灯管的功率有6W、8W、12W、15W、20W、30W和40W等。

2) 辉光启动器：主要由氩泡、电容器、电极、外壳等组成。氩泡为充有氩气的玻璃泡，其内装有由U形双金属片及静触头组成的两个电极，其间留有很小的间隙。电容器用以消除U形双金属片脱离静触头时发生的火花。并避免荧光灯对收音机和电视机的干扰。如果电容被击穿，去掉后氩泡仍可使灯管正常发光，但失去吸收干扰杂波的作用。

辉光启动器的规格有4~8W、15~20W、30~40W和通用型4~40W等。

3) 镇流器：镇流器有两个作用，在启动时与辉光启动器的配合，产生瞬时高电压，促使灯管放电；在工作时利用串联在电路中的电感来限制灯管中的电流，以延长灯管的使用寿命。

镇流器的选用必须与灯管配套（否则会影响荧光灯的使用寿命），即镇流器的功率必须与灯管的功率相同，常用的有6W、8W、15W、30W和40W等规格（电压均为220V）。

4) 灯座：一对绝缘灯座将荧光灯管支撑在灯架上，再用导线连接成荧光灯的完整电路。灯座有开启式和插入弹簧式两种。开启式灯座还有大型和小型两种，6W、8W和12W等细灯管用小型灯座，15W以上的灯管用大型灯座。

5) 灯架：灯架是用来固定灯座、灯管。辉光启动器等荧光灯零部件的，有木制、铁皮制、铝制等几种。其规格与灯管尺寸相配合，根据灯管数量和日照方向而选用。木制灯架一般用作散件自制组装的荧光灯具，而铁皮制灯架一般是厂家装好的套件荧光灯具。

8-16 荧光灯镇流器有哪几种类型？

由于气体放电灯（如荧光灯、霓虹灯等）是一种负阻性电光源，要使其正常稳定工作，需加一个限流装置。这个限流装置

叫做镇流器。目前气体放电灯使用的镇流器主要有两种：电感式镇流器和高频交流电子镇流器。

1) 电感式镇流器：电感式镇流器主要由铁心和线圈组成。镇流器是一只绕在硅钢片铁心上的电感线圈，它有两个作用：在启动时与辉光启动器配合，产生瞬时高电压，促使灯管放电；在工作时起限制灯管中电流的作用。为了改善荧光灯的启动性能，可采用双线圈镇流器。双线圈镇流器中有主线圈 L 与附加线圈（又称副线圈） L_1 。 L_1 与 L 经灯丝反向串联，可使启动时灯丝电流加大，易于灯管点燃。当灯管点燃后，灯丝回路处于断开状态， L_1 不再起作用。接线时，主副线圈不能接错，否则会烧毁灯管或镇流器。

2) 电子镇流器：由于电感式镇流器工作在工频市电频率，体积大、笨重，还需要消耗大量的铜和硅钢等金属材料，散热困难、镇流效率低、发光有频闪，所以现在一些电光源界的科技工作者正在寻找新的镇流方法，而高频交流电子镇流器就是一种有效的方法。

由于高频交流电子镇流采用高频开关变换电子线路的方法实现镇流，具有无频闪、镇流效率高、体积小、重量轻、可调光、不使用大量铜材和硅钢材料等一系列优点，利用高频交流电子镇流器后，可较普通电感式镇流器节电 20% 左右。所以自 20 世纪 70 年代以来，高频交流电子镇流器一经问世就受到了广大用户的欢迎，而且目前采用电子镇流器的产品越来越多。

8-17 荧光灯是怎样工作的？

荧光灯的原理接线图如图 8-4 所示。当荧光灯接入电路以后，电源电压经过镇流器、灯丝，加在辉光启动器的 U 形双金属片和静触头之间，引辉光启动器放电。放电时产生的热量使双金属片膨胀并向外伸张，与静触头接触，接通电路，使灯丝受热并发射出电子。与此同时，由于双金属片与静触头相接触而停止启动辉光放电，使双金属片逐渐冷却并向里弯曲，脱离静触头。在触头断开的瞬间，镇流器两端会产生一个比电源电压高很多的感应电动势。这个感应电动势加在灯管两端，使大量电子从灯管中流过。

电子在运动中冲击管内的气体，发出肉眼看不见的紫外线。紫外线激发灯管内壁的荧光粉后，发出了近似日光的可见光。

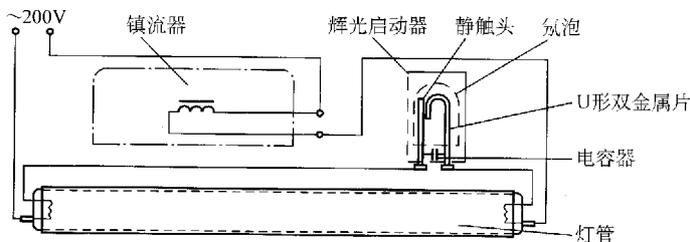


图 8-4 荧光灯的原理接线图

8-18 荧光灯接线原理图有哪几种？

1) 直管形荧光灯：由于，荧光灯的工作环境受温度和电源电压的影响较大。当温度过低或电源电压偏低时，可能会造成荧光灯启动困难。为了改善荧光灯的启动性能，可采用双线圈镇流器，双线圈镇流器荧光灯的接线原理图如图 8-5a 所示，其中附加线圈 L_1 与主线圈 L 经灯丝反向串联，可使启动时灯丝电流加大，易于使灯管点燃。当灯管点燃后，灯丝回路处于断开状态， L_1 即不再起作用。接线时，主副线圈不能接错，否则可能会烧毁灯管或镇流器。

另外，近几年荧光灯越来越多地使用电子镇流器。由于电子镇流器具有良好的启动性能及高效节能等优点，正在逐步取代传统的电感式镇流器。市场上销售的电子镇流器种类很多，但其基本工作原理都是利用电子振荡电路产生高频、高压加在灯管两端，而直接点燃灯管，省去了辉光启动器。采用电子镇流器荧光灯的接线原理图如图 8-5b 所示。

2) 环形荧光灯：环形荧光灯的灯管制成圆环形，由于它可以配用各种造型美观的灯具，不仅有良好的照明效果，还具有很好的装饰性，因此应用十分广泛。环形荧光灯的工作原理及接线与普通直管形荧光灯相同，环形荧光灯的接线原理图如图 8-6 所

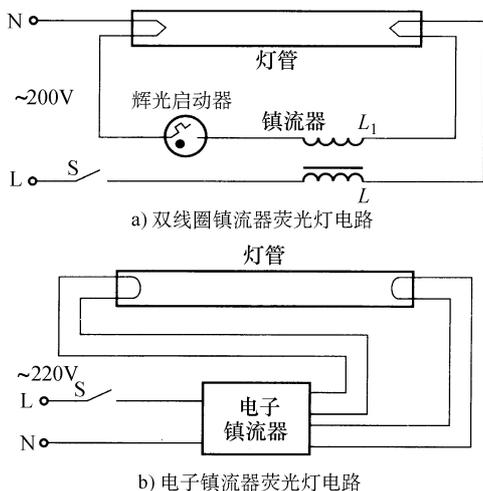


图 8-5 直管形荧光灯的接线原理图

示。特别指出的是，此种灯的接线需配用专用的灯管插座，一般与灯管成套出售。

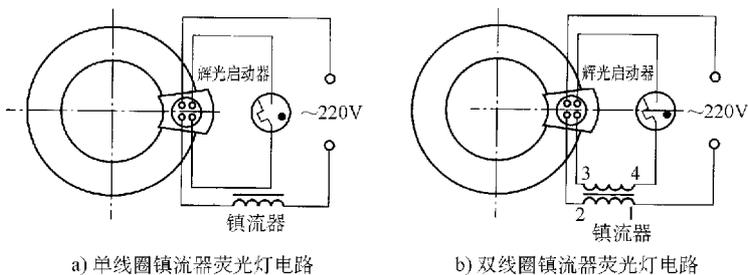


图 8-6 环形荧光灯的接线原理图

3) 节能型荧光灯：节能型荧光灯是采用特殊的三基色荧光粉制成的节能电光源，已形成多种管形和功率规格的系列产品，常见的有 U 形、H 形、O 形和 W 形等多种，如图 8-7a、b、c、d 所示。节能型荧光灯一般将辉光启动器接在灯管内部，使外部接线十分简单，节能型荧光灯的接线原理图如图 8-7e 所示（采用电子镇流器的荧光灯内部接的是电容器，选用时应注意）。另

外，还有的节能型荧光灯把微型镇流器封装在管座内，制成结构更为紧凑的“节能灯”，使用非常方便。

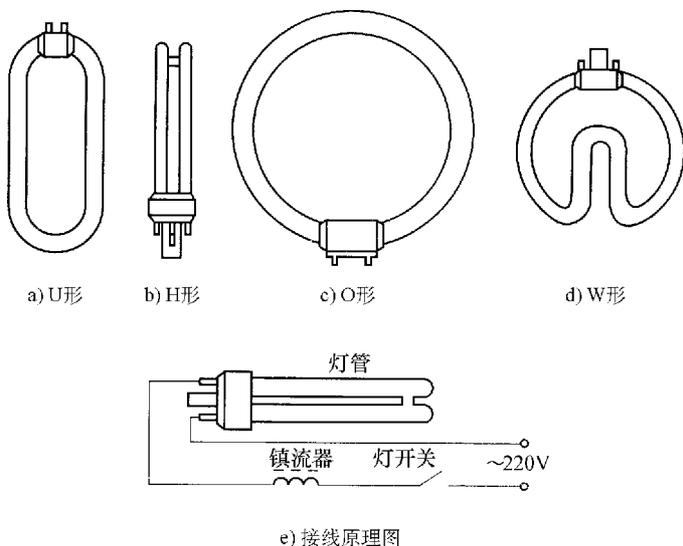


图 8-7 节能型荧光灯的外形及接线原理图

8-19 怎样安装荧光灯？

荧光灯的安装形式有多种形式，但一般常采用吸顶式和吊链式。荧光灯的安装示意图如图 8-8 所示。

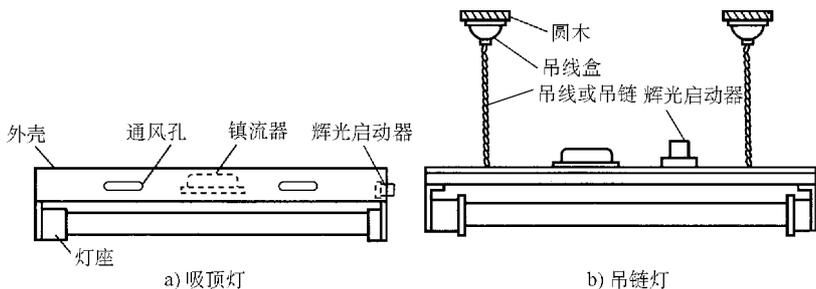


图 8-8 荧光灯的安装示意图

安装荧光灯时应注意以下几点:

- 1) 安装荧光灯时,应按图正确接线;
- 2) 镇流器必须与电源电压、荧光灯功率相匹配,不可混用;
- 3) 辉光启动器的规格应根据荧光灯的功率大小来决定,辉光启动器应安装在灯架上便于检修的位置;
- 4) 灯管应采用弹簧式或旋转式专用的配套灯座,以保证灯脚与电源线接触良好,并可使灯管固定;
- 5) 为防止灯管脚松动脱落,应采用弹簧安全灯脚或用扎线将灯管固定在灯架上,不得用电线直接连接在灯脚上,以免产生不良后果;
- 6) 荧光灯配用电线不应受力,灯架应用吊杆或吊链悬挂;
- 7) 对环形荧光灯的灯头不能旋转,否则会引起灯丝短路。

8-20 使用荧光灯时应注意哪些事项?

- 1) 荧光灯的部件较多,应检查接线是否有误,经检查无误后,方可接电使用;
- 2) 荧光灯的镇流器和辉光启动器应与灯管的功率相匹配;
- 3) 镇流器在工作中必须注意它的散热;
- 4) 电源电压变化太大,将影响灯的光效和寿命,一般电压变化不宜超过额定电压的 $\pm 5\%$;
- 5) 荧光灯工作最适宜的环境温度为 $18 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 。环境温度过高或过低都会造成启动困难和光效下降;
- 6) 破碎的灯管要及时妥善处理,防止汞害;
- 7) 荧光灯启动时,其灯丝所涂能发射电子的物质被加热冲击、发射,以致发生溅散现象(把灯丝表面所涂的氧化物打落)。启动次数越多,所涂的物质消耗越快。因此,使用中尽量减少开关的次数,更不应随意开关灯,以延长使用寿命。

8-21 荧光灯有哪些常见故障？应该怎样排除？

荧光灯的常见故障及其排除方法见表 8-7。

表 8-7 荧光灯的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
灯管不亮	1) 灯座触头接触不良，或电路接线松动 2) 辉光启动器损坏，或与辉光启动器座接触不良 3) 镇流器线圈或管内灯丝断裂或脱落 4) 无电源 5) 新装灯管接线错误	1) 重新安装灯管，或重新接好导线 2) 先旋动辉光启动器，看是否发亮，再检查线头是否脱落，排除后若仍不发亮，应更换辉光启动器 3) 用万用表低电阻档检查线圈和灯丝是否断路；20W 及以下灯管一端断丝，将该端的两个灯脚短路后，仍可使用 4) 验明是否停电，或熔丝熔断 5) 检查线路
灯管两端发亮，中间不亮	辉光启动器接触不良，或内部小电容击穿，或辉光启动器座线头脱落；或辉光启动器损坏	按上列方法 2) 检查；小电容击穿，可将其剪去后继续使用
启动困难（灯管两端不断闪烁，中间不亮）	1) 辉光启动器规格与灯管不配套 2) 电源电压过低 3) 镇流器规格与灯管不配套，启动电流小 4) 灯管老化 5) 环境温度过低 6) 接线错误或灯座灯脚松动	1) 更换辉光启动器 2) 调整电源电压，使电压保持在额定值 3) 更换镇流器 4) 更换灯管 5) 可用热毛巾在灯管上来回烫熨（但应注意安全，灯架和灯座不可触及和受潮） 6) 检查线路或修理灯座

(续)

常见故障	可能原因	排除方法
灯光闪烁或管内有螺旋形滚动光带	1) 辉光启动器或镇流器连接不良 2) 镇流器不配套, 工作电流过大 3) 新灯管暂时现象 4) 灯管质量不好	1) 接好连接点 2) 更换镇流器 3) 使用一段时间后, 会自然消失 4) 更换灯管
灯管两端发黑	1) 灯管衰老 2) 启动不良 3) 电源电压过高 4) 镇流器不配套 5) 灯管内汞(水银)凝结	1) 更换灯管 2) 排除启动系统故障 3) 调整电源电压 4) 更换镇流器 5) 灯管工作后即能蒸发或将灯管旋转 180°
镇流器声音异常	1) 铁心叠片松动 2) 电源电压过高 3) 线圈内部短路(伴随过热现象)	1) 固紧铁心 2) 调整电源电压 3) 更换线圈或整个镇流器
灯管寿命过短	1) 镇流器不配套 2) 开关次数过多 3) 电源电压过高 4) 接线错误, 导致灯丝烧毁	1) 更换镇流器 2) 减少不必要的开关次数 3) 调整电源电压 4) 改正接线
灯管亮度降低	1) 温度太低或冷风直吹灯管 2) 灯管老化陈旧 3) 线路电压太低或压降太大 4) 灯管上积垢太多	1) 加防护罩并回避冷风直吹 2) 更换新灯管 3) 查找线路电压太低的原因, 并处理 4) 断电后清洗灯管并烘干处理

8-22 什么是高压汞灯?

高压汞灯俗称高压水银灯, 它主要是利用高压汞气放电而发光, 具有发光效率高(约为白炽灯的3倍)、耐振耐热性能好、

耗电低、寿命长等优点，但启动时间长，适应电源电压波动的能力较差，适用于悬挂高度 5m 以上的大面积室内、外照明。

8-23 镇流器式高压汞灯是怎样工作的？

镇流器式高压汞灯由灯头、石英放电管、玻璃外壳等组成。石英放电管内有主电极、启动电极（又称引燃极）、并充以汞和氩气，其结构如图 8-9 所示。

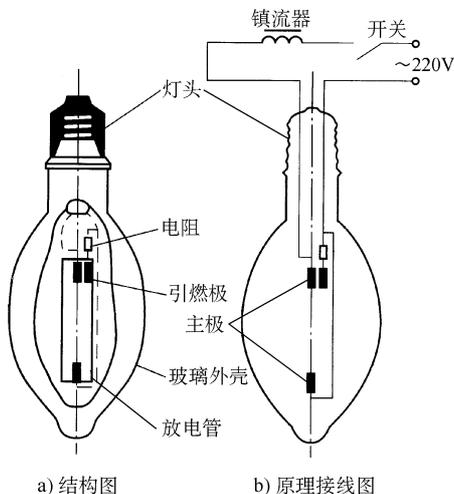


图 8-9 镇流器式高压汞灯

镇流器式高压汞灯的工作原理：当电源接通后，电压加在引燃极和相邻的主电极之间，也加在两个主电极之间。由于引燃极和相邻的主电极靠近，电压加上以后就在这两个电极之间产生辉光放电，使放电管温度上升，接着两个主电极之间便产生弧光（击穿）放电。随着主电极间的弧光放电，放电管内的汞逐渐气化，灯管就稳定地工作了。主电极之间的放电可以产生可见光和紫外线。紫外线激发玻璃外壳内壁的荧光粉，发出了近似日光的可见光。由于引燃极上串联着一个很大的电阻，当主电极间产生弧光放电时，引燃极和相邻的主电极间的电压不足以产生辉光放

电，因此引燃极就停止工作了。灯工作时，石英放电管内汞蒸气的压力很高，故称这种灯为高压汞灯。使用这种灯具时，熄灯后不能马上再次启动。需要冷却 5 ~ 10min，待灯泡内汞蒸气的压力降低后，再行启动点燃。

8-24 自镇流式高压汞灯是怎样工作的？

自镇流式高压汞灯和镇流器式高压汞灯的外形及工作原理均基本相同，不同的是自镇流式高压汞灯在灯泡内串联了一组起镇流作用的钨丝，从而省去了镇流器。这种灯除靠石英放电管放电发出紫外线激发玻璃壳内壁的荧光粉发光外，还靠电流加热钨丝使其发热至白炽体而发光，故这种灯发的光是一种复合光，因而光色好。

8-25 使用高压汞灯时应注意哪些事项？

1) 高压汞灯使用时，必须配有镇流器，否则会使灯泡立即损坏。灯泡必须与相应规格的镇流器配套使用，不然会缩短灯泡的使用寿命或造成启动困难。

2) 电源电压突然低于额定电压的 20% 时，就有可能造成灯泡自行熄灭。

3) 灯泡点燃后的温度较高，要注意散热。配套的灯具必须具有良好的散热条件，不然会影响灯的性能和寿命。

4) 灯泡熄灭后，须自然冷却 5 ~ 10min，待管内汞气压降低后，方可再启动使用，所以该灯不能用于有迅速点亮要求的场所。

5) 需要更换灯泡时，一定要先断开电源，并待灯泡自然冷却后方可进行。

6) 破碎灯泡要及时妥善处理，防止汞害。

8-26 怎样安装高压汞灯？

1) 安装接线时，一定要分清楚高压汞灯是外接镇流器，还是自镇流式。需接镇流器的高压汞灯，镇流器的功率必须与高压汞灯的功率一致，应将镇流器安装在灯具附近人体触及不到的位置，

并注意有利于散热和防雨。自镇流式高压汞灯则不必接入镇流器。

2) 高压汞灯以垂直安装为宜, 水平安装时, 其光通量输出(亮度)要减少 7% 左右, 而且容易自灭。

3) 由于高压汞灯的外玻璃壳温度很高, 所以必须安装散热良好的灯具。否则会影响灯的性能和寿命。

4) 高压汞灯的外玻璃壳破碎后仍能发光, 但有大量的紫外线辐射, 对人体有害。所以玻璃壳破碎的高压汞灯应立即更换。

5) 高压汞灯的电源电压应尽量保持稳定。当电压降低 20% 时, 灯就可能自灭, 而再行启动点燃的时间较长。所以, 高压汞灯不宜接在电压波动较大的线路上。否则应考虑采取调压或稳压措施。

8-27 高压汞灯有哪些常见故障? 应该怎样排除?

高压汞灯的常见故障及其排除方法见表 8-8。

表 8-8 高压汞灯的常见故障及其排除方法

常见故障	可能原因	排除方法
不能启动	1) 电源电压过低 2) 镇流器不配套 3) 灯泡内部构件损坏 4) 开关触头接触不良或接线松动	1) 调整电源电压 2) 更换镇流器 3) 更换灯泡 4) 检修开关, 重新接好导线
突然熄灭	1) 电压下降 2) 灯泡损坏 3) 线路断线	1) 调整电源电压 2) 更换灯泡 3) 检修线路
忽亮忽灭	1) 电源电压波动在启动电压临界值上 2) 灯座接触不良, 灯泡螺口松动或接线松动	1) 调整电源电压 2) 检修灯座, 重新安装灯泡, 接好松动的线头
只亮灯芯	灯泡玻璃外壳破碎或漏气	更换灯泡

8-28 照明灯具有哪些类型?

灯具的作用是固定光源器件(灯管、灯泡等), 防护光源器

件免受外力损伤，消除或减弱眩光，使光源发出的光线向需要的方向照射，装饰和美化建筑物等。常用灯具可分为以下几类：

1. 按灯具安装方式分类

1) 吸顶灯：直接固定在顶棚上的灯具，吸顶灯的形式很多。为防止眩光，吸顶灯多采用乳白玻璃罩，或有晶体花格的玻璃罩，在楼道、走廊、居民住宅应用较多。

2) 悬挂式：用导线、金属链或钢管将灯具悬挂在顶棚上，通常还配用各种灯罩。这是一种应用最多的安装方式。

3) 嵌入顶棚式：有聚光型和散光型，其特点是灯具嵌入顶棚内，使顶棚简洁美观，视线开阔。在大厅、娱乐场所应用较多。

4) 壁灯：用托架将灯具直接安装在墙壁上，通常用于局部照明，也用于房间装饰。

5) 台灯和落地灯（立灯）：用于局部照明的灯具，使用时可移动，也具有一定的装饰性。

2. 按灯具的特点分类

有开启型、密封型、防爆型、隔爆型等。

部分常用灯具如图 8-10 所示。

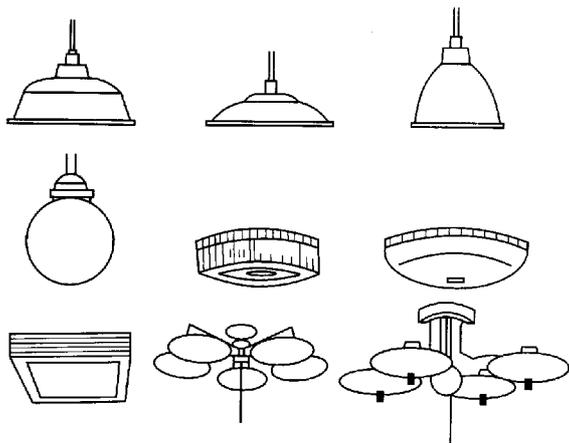


图 8-10 部分常用照明灯具

8-29 安装照明灯具应满足哪些基本要求？

灯具安装时应满足的基本要求如下：

- 1) 当采用钢管作灯具的吊杆时，钢管内径不应小于 10mm；钢管壁厚不应小于 1.5mm；
- 2) 吊链灯具的灯线不应受拉力，灯线应与吊链编织在一起；
- 3) 软线吊灯的软线两端应作保护扣；两端芯线应搪锡；
- 4) 同一室内或场所成排安装的灯具，其中心线偏差应不大于 5mm；
- 5) 荧光灯和高压汞灯及其附件应配套使用，安装位置应便于检查和维修；
- 6) 灯具固定应牢固可靠。每个灯具固定用的螺钉或螺栓不应少于 2 个；当绝缘台直径为 75mm 及以下时，可采用 1 个螺钉或螺栓固定；
- 7) 当吊灯灯具质量大于 3kg 时，应采取预埋吊钩或螺栓固定；当软线吊灯灯具质量大于 1kg 时，应增设吊链；
- 8) 投光灯的底座及支架应固定牢固，枢轴应沿需要的光轴方向拧紧固定；
- 9) 固定在移动结构上的灯具，其导线宜敷设在移动构架的内侧；在移动构架活动时，导线不应受拉力和磨损；
- 10) 公共场所用的应急照明灯和疏散指示灯，应有明显的标志；无专人管理的公共场所照明宜装设自动节能开关；
- 11) 每套路灯应在相线上装设熔断器。由架空线引入路灯的导线，在灯具入口处应做防水弯。

8-30 什么是 LED？

LED 是一种新型半导体固态光源。它是一种不需要钨丝和灯管的颗粒状发光器件。LED 光源凭借环保、节能、寿命长、安全等众多优点，已成为照明行业的新宠。

在某些半导体材料的PN结中，注入的少数载流子与多数载流子复合时会把多余的能量以光的形式释放出来，从而把电能直接转换为光能。PN结加反向电压，少数载流子难以注入，故不发光。这种利用注入式电致发光原理制作的二极管叫发光二极管（Light Emitting Diode），通称为LED。

LED与普通二极管一样，仍然由PN结构成，同样具有单向导电性。LED工作在正偏状态，在正向导通时能发光，所以它是一种把电能转换成光能的半导体器件。

典型的点光源属于高指向性光源，如图8-11所示。如果将多个LED芯片封装在一个面板上，就构成了面光源，它仍具有高指向性，如图8-12所示。

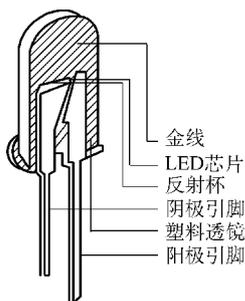


图 8-11 LED 截面图

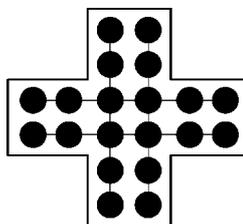


图 8-12 LED 面光源

8-31 LED 光源有什么特点？

- 1) 发光效率高：LED的发光效率是一般白炽灯发光效率的3倍左右。
- 2) 耗电量少：LED电能利用率高达80%以上。
- 3) 可靠性高、使用寿命长：LED没有玻璃、钨丝等易损部件，可承受高强度机械冲击和振动，不易破碎，故障率极低。
- 4) 安全性好，属于绿色照明光源：LED发热量低、无热辐射，可以安全触摸；光色柔和、无眩光、不含汞、钠元素等可能

危害健康的物质。

5) 环保: LED 为全固体发光体, 耐振、耐冲击, 不易破碎, 废弃物可回收, 没有污染。

6) 单色性好、色彩鲜艳丰富: LED 有多种颜色, 光源体积小, 可以随意组合, 还可以控制发光强度和调整发光方式, 实现光与艺术的完美结合。

7) 响应时间短: LED 的响应时间只有 60ns, 特别适合用于汽车灯具的光源。由于 LED 反应速度快, 故可在高频下工作。

8) 平面发光, 方向性强: LED 光源的视角 $\leq 180^\circ$ 。设计时与使用时一定要注意。

白光 LED 灯具与传统灯具在室内照明领域竞争时, 面临的最大问题还是初次购买成本太高。目前市面上的 LED 灯具还不能达到普通灯泡所具有的亮度, 在室内照明的应用主要集中在商业照明领域, 基本以背景照明和局部照明等装饰性照明为主。

随着大功率、高光效、高显色性的白光 LED 照明灯具的研发和逐步投产, 使其照度不断提高而成本不断降低, LED 室内照明进入千家万户是一个必然的发展趋势。LED 室外照明近几年发展也比较快, 如道路和隧道照明、建筑物外观照明, 以及各种夜晚景观亮化工程。

8-32 使用 LED 时应注意哪些事项?

1) LED 的极性不得反接, 通常引线较长的为正极, 引线较短的是负极。

2) 使用中各项参数不得超过规定极限值。正向电流 I_F 不允许超过极限工作电流 I_{FM} 值, 并且随着环境温度的升高, 必须降低工作电流使用。长期使用时温度不宜超过 75°C 。

3) LED 的正常工作电流为 20mA, 电压的微小波动 (如 0.1V) 都将引起电流的大幅度波动 (10% ~ 15%)。因此, 在电路设计时, 应根据 LED 的压降配置不同的限流电阻, 以保证 LED 处于最佳工作状态。电流过大, LED 会缩短寿命; 电流过

小，达不到所需发光强度。

4) 在发光亮度基本不变的情况下，采用脉冲电压驱动可以减少耗电。

5) 静电电压和电流的急剧升高将会对 LED 产生损害。严禁徒手触摸白光 LED 的两只引脚。因为人体的静电会损坏发光二极管的结晶层，工作一段时间后（如 10h）二极管就会失效（不亮），严重时甚至会立即失效。

6) 在给 LED 上锡时，加热锡的装置和电烙铁必须接地，以防止静电损伤器件，防静电线最好用直径为 3mm 的裸铜线，并且终端与电源地线可靠连接。

7) 不要在引脚变形的情况下安装 LED。

8) 在通电情况下，避免 80℃ 以上高温作业。如有高温作业，一定要做好散热。

8-33 LED 驱动电源有什么特点？

LED 灯无论在结构上还是在发光原理上，都与传统的白炽灯有本质的不同。LED 灯采用低电压电源驱动，安全线路可以标准化，线路可在任意位置以任意形状布置。因此，LED 驱动电路除了要满足安全要求外，还必须具有以下两个基本功能：一是尽可能保持恒流特性，尤其在电源电压发生 $\pm 15\%$ 的变动时，仍应能保持输出电流在 $\pm 10\%$ 的范围内变动。二是驱动电路应保持较低的自身功耗，这样才能使 LED 的系统效率保持在较高水平。

8-34 LED 驱动电源有哪些类型？各有什么特性？

LED 具有低耗能、高寿命的优点，因此许多特殊应用均会采用 LED 当做其发光源；然而因为 LED 所需要的电源为直流、低电压，故以前用来推动钨丝灯泡或荧光灯的电源并不适合直接驱动 LED 灯具。为满足不同输入电压、不同的输出电流及不同的 LED 数量等要求，各半导体器件公司纷纷开发出各种新型 LED

驱动电源。常用 LED 驱动电源的分类及特性见表 8-9。

表 8-9 常用 LED 驱动电源的分类及特性

分类标准	种类	特 性
按驱动方式分类	恒流式	<p>1) 恒流驱动电路输出的电流是恒定的，而输出的直流电压却随着负载电阻值的大小不同在一定范围内变化，负载电阻值越小，输出电压就越低，负载电阻值越大，输出电压也就越高</p> <p>2) 恒流电路不怕负载短路，但严禁负载完全开路</p> <p>3) 恒流驱动电路驱动 LED 是较为理想的，但相对而言价格较高</p> <p>4) 应注意所使用最大承受电流及电压值，它限制了 LED 的使用数量</p>
	恒压式	<p>1) 当稳压电路中的各项参数确定以后，输出的电压是固定的，而输出的电流却随着负载的增减而变化</p> <p>2) 稳压电路不怕负载开路，但严禁负载完全短路</p> <p>3) 以稳压驱动电路驱动 LED，每串需要加上合适的电阻方可使每串 LED 显示亮度平均</p> <p>4) 亮度会受整流而来的电压变化影响</p>
按电路结构方式分类	电阻/电容降压方式	通过电容降压，在闪动使用时，由于充放电的作用，通过 LED 的瞬间电流极大，容易损坏芯片。易受电网电压波动的影响，电源效率低，可靠性低
	电阻降压方式	通过电阻降压，受电网电压变化的干扰较大，不容易做成稳压电源，降压电阻要消耗很大部分的能量，所以这种供电方式电源效率很低，而且系统的可靠性也较低
	常规变压器降压方式	电源体积小，重量偏大，电源效率也很低、一般只有 45% ~ 60%，所以很少采用，可靠性不高
	电子变压器降压方式	电源效率较低，电压范围也不宽，一般为 180 ~ 240V，波纹干扰大

(续)

分类标准	种类	特 性
按电路 结构方式 分类	RCC 降压 方式开关 电源	稳压范围比较宽、电源效率比较高, 一般可以做到 70% ~ 80%, 应用也较广。由于这种控制方式的振荡频率是不连续的, 开关频率不容易控制, 负载电压波纹系数也比较大, 异常负载适应性差
	PWM 控制 方式开关 电源	脉宽调整型开关电源主要由 4 部分组成, 即输入整流滤波部分、输出整流滤波部分、PWM 稳压控制部分、开关能量转换部分。其基本工作原理就是在输入电压、内部参数及外接负载变化的情况下, 控制电路通过被控制信号与基准信号的差值进行闭环反馈, 调节主电路开关器件导通的脉冲宽度, 使得开关电源的输出电压或电流稳定 (即相应稳压电源或恒流电源)。电源效率极高, 一般可以做到 80% ~ 90%, 输出电压、电流稳定。一般这种电路都有完善的保护措施, 属高可靠性电源。

8-35 LED 在室内照明领域有哪些应用?

1) 室内商业气氛照明: LED 光源节能环保、无紫外线, 成为一些商家针对某些特殊产品展示的首选光源。

2) 休闲娱乐场所照明: LED 集成光源全彩易控, 可以创造静态和动态的照明效果, 给娱乐场、美容院等场所的空间环境装潢设计开启了新的思路。

3) 专业场所的照明: 博物馆、美术陈列馆等场所属于对照明环境要求较高的特殊场合, LED 是冷光源, 光线中不含紫外线, 完全可以满足博物馆、美术陈列馆对照明的特殊要求。

4) 舞台照明: 将演播室的照明改变为 LED, 演播室在照明方面的能源利用减少了, 室温也可降到更为舒适的程度。

5) 酒店、宾馆照明: 酒店、宾馆的照明运用 LED 产品, 或是在大堂, 或是在客房, 给顾客带来一种不一样的感受, 除了节约能源之外, 还能尽显豪华和温馨。

6) 会议室、多功能厅照明：智能化控制的 LED，光度可调，可依据会议内容的不同调整会议室或多功能厅的照明环境，严肃或活泼可自由设定，LED 智能化照明能够满足不同会议主题对光环境的要求。

7) 起居室和家庭影院照明：利用 LED 的灯光色彩可以烘托一种温暖、和谐、浪漫的情调，体现舒适、休闲的氛围。LED 的应用为家居照明诠释了另一种意义。

8-36 LED 室内照明安装时应注意哪些事项？

1) 电源电压应当与灯具标示的电压相一致，特别要注意输入电源是直流还是交流，电源线路要设置匹配的漏电及过载保护开关，确保电源的可靠性。

2) LED 灯具在室内安装时，防水要求与在室外安装基本一致，同样要求做好产品的防水措施，以防止潮湿空气、腐蚀气体等进入线路。安装时，应仔细检查各个有可能进水的部位，特别是线路接头位置。

3) LED 灯具均自带公母接头，在灯具相互串接时，先将公母接头的防水圈安装好，然后将公母接头对接，确定公母接头已插到底部后用力锁紧螺母即可。

4) 产品拆开包装后，应认真检查灯具外壳是否有破损，如有破损，请勿点亮 LED 灯具，并采取必要的修复或更换措施。

5) 对于可延伸的 LED 灯具，要注意复核可延伸的最大数量，不可超量串接安装和使用，否则会烧毁控制器或灯具。

6) 灯具安装时，如果遇到玻璃等不可打孔的地方，切不可使用胶水等直接固定，必须架设铁架或铝合金架后用螺钉固定；螺钉固定时不可随意减少螺钉数量，且安装应牢固可靠，不能有飘动、摆动和松脱等现象；切不可安装于易燃、易爆的环境中，并保证 LED 灯具有一定的散热空间。

7) 灯具在搬运及施工安装时，切勿摔、扔、压、拖灯体，

切勿用力拉动、弯折延伸接头，以免拉松密封固线口，造成密封不良或内部芯线断路。

8-37 如何进行 LED 灯泡的电气连接？

1. 小功率灯泡的电气连接 小功率 LED 灯泡的安装方法比较简单，一般采用 12V 直流电源供电，在室内需要灯光投射照明或投光点缀照明的地方（如天花板、壁橱），用一根电源线与控制系统（电源）连接，安上一定数量的 LED 灯泡，就可达到目的。LED-MR16 灯泡的电气连接方法如图 8-13 所示。

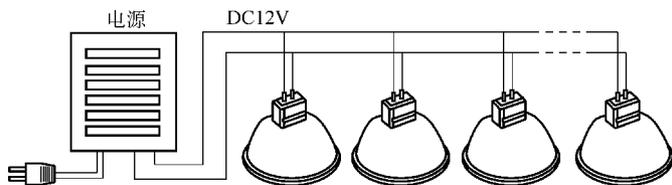


图 8-13 LED-MR16 灯泡电气连接方法

2. 大功率 LED 单元灯泡的电气连接 在室内安装大功率 LED 单元灯泡，一般采用恒流源驱动器供电，也可采用开关电源供电。

1) 采用恒流源驱动器供电的电气连接方法：安装 LU-PC- ϕ 30-1W 型和 LU-PC-1W 型 LED 大功率单元灯，只需用一根电源线将恒流源驱动器控制系统相连接即可，安装操纵十分方便，电气连接如图 8-14 和图 8-15 所示。

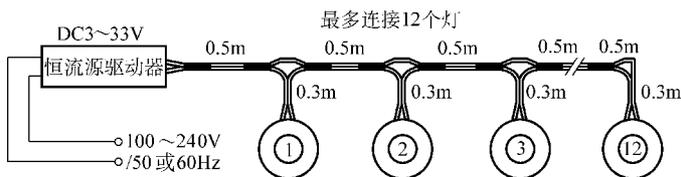


图 8-14 LU-PC- ϕ 30-1W 型大功率单元灯电气连接图

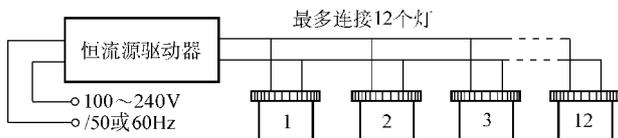


图 8-15 LU-PC-1W 型 LED 大功率单元灯电气连接图

2) 采用开关电源供电的电气连接方法：LU-PC-MP12V 型 LED 大功率单元灯泡是一种由单个大功率 LED 为单元的灯泡，采用开关电源供电时的电气连接如图 8-16 所示。

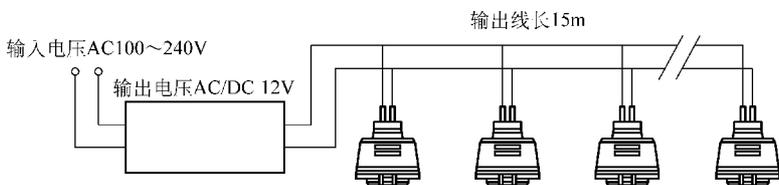


图 8-16 LU-PC-MP12V 型单元灯泡电气连接图

第 9 章

常用电工工具的使用

9-1 怎样正确使用电工刀？

电工刀是电工常用的一种切削工具，可用来削割导线绝缘层、木榫、切割圆木缺口等。电工刀有单用电工刀（普通式）；两用电工刀是在普通式电工刀的基础上增加了引锥（钻子）；三用电工刀增加了引锥和锯片；四用电工刀则增加了引锥、锯片和螺钉旋具。电工刀的刀片用于削割导线绝缘层，引锥用于钻削木板孔眼，锯片用于锯割导线槽板和圆垫木，螺钉旋具用于旋动螺钉。

使用电工刀削割导线绝缘层的方法是左手持导线，右手握刀柄，刀口倾斜向外。刀口一般以 45° 角倾斜切入绝缘层，当切近线芯时，即停止用力，接着应使刀面的倾斜角度改为 15° 左右，沿着芯线表面向线头端部推削，然后把残存的绝缘层剥离线芯，再用刀口插入背部剖断。图 9-1 所示为塑料绝缘线绝缘层的剖削方法。

电工刀的使用注意事项：

- 1) 使用电工刀时，刀口应向外剖削，以防脱落伤人；使用完毕后，应将刀身折入刀柄；
- 2) 电工刀刀柄是无绝缘保护的，因此严禁用电工刀带电操作电气设备，以防触电；
- 3) 带有引锥的电工刀，在其尾部装有弹簧，使用时应拨直引锥弹簧自动撑住尾部。这样，在钻孔时不致有倒回危险，以免

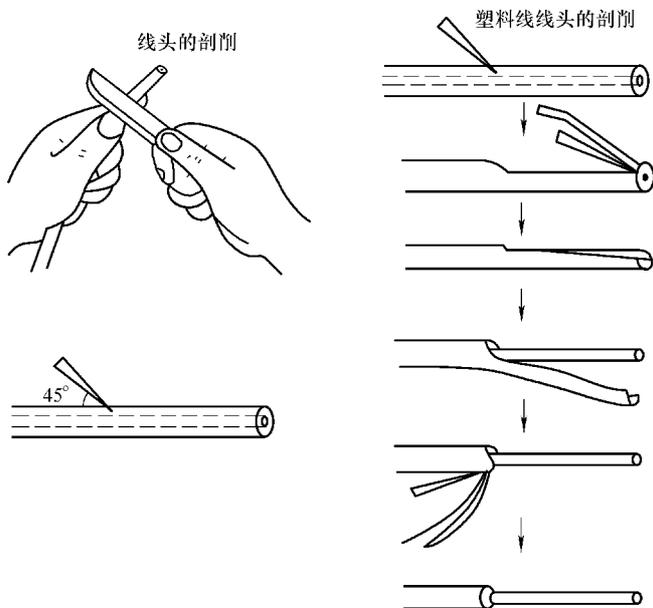


图 9-1 塑料绝缘线绝缘层剖削方法

扎伤手指。使用完毕后，应用手指揪住弹簧，将引锥退回刀柄，以免损坏工具或伤人。

9-2 螺钉旋具有哪几种？使用时应注意哪些事项？

螺钉旋具俗称螺丝刀、改锥、起子，是一种紧固或拆卸螺钉的工具。螺钉旋具尺寸规格很多，按头部形状的不同分为刀型（一字形）和十字形两种，如图 9-2 所示。螺钉旋具的规格习惯上用柄部外面杆身长度表示，电工必备的一字形和十字形螺钉旋具有长 50mm 和 150mm 各两把，分别用来旋拧不同规格的螺钉。螺钉旋具的柄部一般用木材或塑料制成，塑料柄具有较好的绝缘性能。

多用螺钉旋具俗称组合螺丝批，这种螺钉旋具附有一字形旋杆、十字形旋杆及钢钻。它既可以紧固或拆卸螺钉，又可以钻木

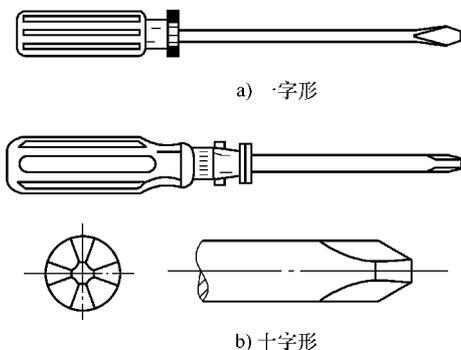


图9-2 螺钉旋具

螺钉孔，还可兼作测电笔。使用时，只需选用相应的旋杆装入夹头即可。

螺钉旋具的使用注意事项如下：

- 1) 操作时，刀口应与螺钉槽内得当，用力适当，不能打滑，以免损坏螺钉槽口；
- 2) 用螺钉旋具紧固或拆卸带电的螺钉时，手不得触及螺钉旋具的金属杆，以免发生触电事故；
- 3) 为避免螺钉旋具上的金属杆触及皮肤或邻近带电体，应在金属杆上穿套绝缘管；
- 4) 一般螺钉旋具不要用于带电作业。

9-3 钢丝钳由哪几部分组成？怎样正确使用？

钢丝钳俗称卡丝钳、手钳、电工钳，是电工用来剪切或夹持电线、金属丝和工件的常用工具。钢丝钳的结构如图9-3所示，主要由钳头和钳柄组成，钳头又由钳口、齿口、刀口和铡口四个工作口组成，其中钳口用来弯绞和钳夹线头；齿口用来旋转螺钉、螺母；刀口用来切断电线、起拔铁钉、剥削绝缘层等；铡口用来铡断硬度较大的金属丝，如铁丝等。电工常用的钢丝钳有150mm、175mm、200mm三种规格。使用时，一般用右手操作，

将钳头的刀口朝内侧，即朝向操作者，以便于控制剪切部位。再用小指伸在两钳柄中间来抵住钳柄，张开钳头，这样分开钳柄比较灵活。

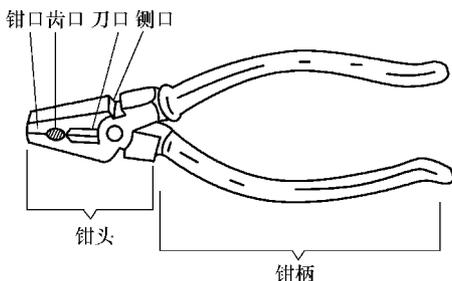


图 9-3 钢丝钳的结构

钢丝钳的使用注意事项如下：

- 1) 使用前，应检查绝缘柄的绝缘是否完好；
- 2) 剪断带电导线时，不能同时剪切相线和零线；
- 3) 切勿用刀口去剪切钢丝，以免损伤刀口；
- 4) 钳柄的绝缘管破损后应及时调换，不可勉强使用，以防在作业中钳头触到带电部位而发生意外事故。

9-4 怎样正确使用尖嘴钳？

尖嘴钳和钢丝钳相似，其结构如图 9-4 所示，主要由钳头和套有绝缘套管的钳柄组成，是电工常用的剪切或夹持工具。尖嘴钳的头部尖细，适用于狭小空间的操作，其握持、切割电线方法与钢丝钳相同。

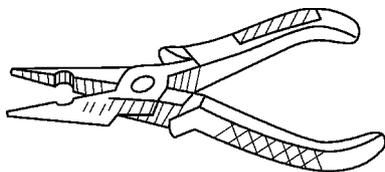


图 9-4 尖嘴钳示意图

尖嘴钳钳头较小，常用来剪断线径较小的导线或夹持较小的螺钉、垫圈等元件。使用时，不能用很大力气和钳较大的东西，以防钳嘴折断。

尖嘴钳的使用注意事项如下：

- 1) 使用尖嘴钳时，手离金属部分的距离应不小于2cm；
- 2) 钳头部分尖细，且经过热处理，钳夹物体不可过大，用力时切勿太猛，以防损坏钳头；
- 3) 注意防潮、勿磕碰损坏尖嘴钳的柄套，以防触电；
- 4) 使用完毕要擦净，钳轴、腮要经常加油，以防生锈。

9-5 怎样正确使用剥线钳？

剥线钳是用来剥削截面积 6mm^2 以下的导线绝缘层的专用工具，其特点是操作简便，绝缘层切口整齐且不会损伤线芯。剥线钳的结构如图9-5所示，主要由钳头和钳柄两部分组成。钳头部分由刃口和压线口构成，剥线钳的钳头有 $0.5\sim 3\text{mm}$ 多个不同孔径的切口，用于剥削不同规格导线的绝缘层。使用时，左手持导线，右手握钳柄，用钳刃部轻轻剪破绝缘层，然后一手握住剥线钳前端，另一手捏紧电线，两手向相反方向抽拉，适当用力就能剥掉线头绝缘层。注意，使用剥线钳时，线头应放在大于线芯直径的切口上，而且用力要适当，否则易损伤线芯。

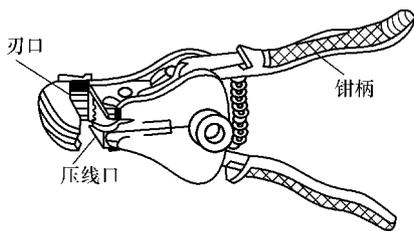


图9-5 剥线钳的结构

9-6 怎样正确使用活扳手？

活扳手又叫活络扳头、活络扳手，是一种紧固或松开有角螺钉或螺母的常用工具。结构如图9-6所示，主要由呆扳唇、活扳唇、蜗轮、轴销和手柄组成，转动活扳手的蜗轮，就可调节扳口

的大小。电工常用的活扳手有 200mm、250mm、300mm 三种，使用时应根据螺母的大小选用。

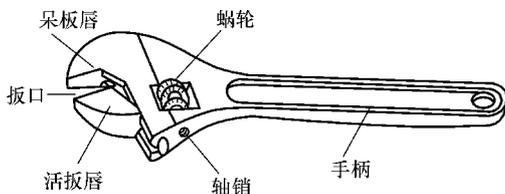


图 9-6 活扳手的结构

活扳手的使用注意事项：

1) 应根据螺母的大小，选用适当规格的活扳手，以免扳手过大损伤螺母，或螺母过大损伤扳手。

2) 使用时，用两手指旋动蜗轮以调节扳口的大小，将扳口调得比螺母稍大些，卡住螺母，再用手指旋动蜗轮紧压螺母，即使扳唇正好夹住螺母，否则扳口容易打滑，既会损伤螺母，又可能碰伤手指。

3) 在需要用力的场合使用活扳手时，活扳唇应靠近身体使用，这样有利于保护蜗轮和轴销不受损伤。切记不能反向使用，以免损坏活扳唇。

4) 活扳手不能当撬杠和锤子使用。

9-7 怎样正确使用电钻？

电钻又称手枪钻、手电钻，是一种手提式电动钻孔工具，适用于在金属、塑料、木材等材料或构件上钻孔。通常，对于因受场地限制，加工件形状或部位不能用钻床等设备加工时，一般都用电钻来完成。

电钻按结构分为手枪式和手提式两大类，按供电电源分单相串励电钻、三相工频电钻和直流电钻三类。单相串励电钻有较大的起动转矩和软的机械特性，利用负载大小可改变转速的高低，实现无级调速。小电钻多采用交直流两用的串励电动机，大电钻

多采用三相工频电动机，其结构如图 9-7 所示。

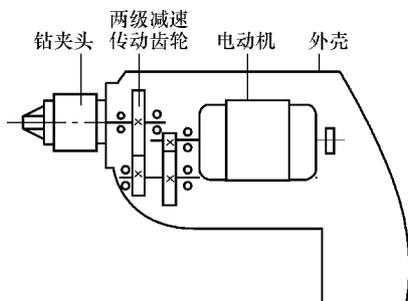


图 9-7 电钻的结构示意图

使用和维护电钻时的注意事项如下：

1) 使用前首先要检查导线绝缘是否良好，如果导线有破损，可用胶布包好。最好使用三芯橡皮软线，并将电钻外壳接地。

2) 应根据使用场所和环境条件选用电钻。对于不同的钻孔直径，应尽可能选择相应的电钻规格，以充分发挥电钻的性能及结构上的特点，达到良好的切削效率，以免过载而烧坏电动机。

3) 与电源连接时，应注意电源电压与电钻的额定电压是否相符（一般电源电压不得超过或低于电钻额定电压的 10%），以免烧坏电动机。

4) 在使用电钻时，应戴绝缘手套、穿绝缘鞋或站在绝缘板上，以确保安全。

5) 使用前，应空转 1min 左右，检查电钻的运转是否正常。三相电钻试运转时，还应观察钻轴的旋转方向是否正确，若转向不对，可将电钻的三相电源线任意对调两根，以改变转向。

6) 使用的钻头必须锋利，钻孔时用力不宜过猛，以免电钻过载。遇到钻头转速突然降低时，应立即放松压力。如发现电钻突然刹停时，应立即切断电源，以免烧坏电动机。

7) 在工作过程中，如果发现轴承温度过高或齿轮、轴承声

音异常时，应立即停转检查。若发现齿轮、轴承损坏，应立即更换。

8) 电钻应保持清洁，通风良好，经常清除灰尘和油污，并注意防止铁屑等杂物进入电钻内部而损坏零件。

9) 移动电钻时，必须握持电钻手柄，不能拖拉电源线来搬动电钻，并随时防止电源线擦破和扎坏。

10) 电钻使用完毕，应将导线绕在电钻上，放置干燥处以备下次使用。

9-8 怎样正确使用冲击电钻？

冲击电钻又称冲击钻，其结构与普通电钻基本相同，仅多一个冲击头，是一种能够产生旋转带冲击运动的特种电钻，其外形结构如图 9-8 所示。使用时，将冲击电钻调节到旋转无冲击位置时，装上麻花钻头即能在金属上钻孔；当调节到旋转带冲击位置时，装上镶有硬质合金的钻头，就能在砖石、混凝土等脆性材料上钻孔。

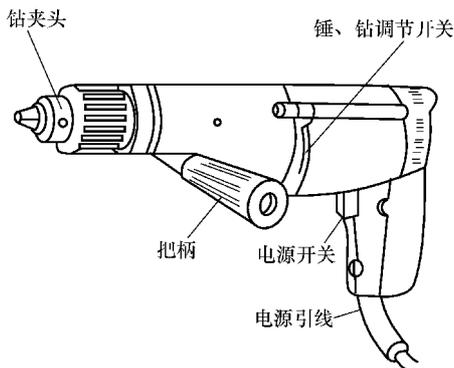


图 9-8 冲击电钻的外形结构示意图

使用和维护冲击电钻时的注意事项如下：

1) 冲击钻在钻孔前，应空转 1min 左右，运转时声音应均匀，无异常的周期性杂音，手握工具无明显的麻感。然后将调节

开关置于“锤击”位置，让钻夹头顶在硬木板上，此时应有明显而强烈的冲击感；转到“钻孔”位置，则应无冲击现象。

2) 冲击钻的冲击力是借助于操作者的轴向进给压力而产生的，但压力不宜过大，否则，不仅会降低冲击效率，还会引起电动机过载，造成工具的损坏。

3) 在钻孔深度有要求的场所钻孔，可使用辅助手柄上的定位杆来控制钻孔深度。使用时，只要将蝴蝶螺母拧松，将定位杆调节到所需长度，再拧紧螺母即可。

4) 在脆性材料上钻凿较深或较大孔时，应注意经常把钻头退出钻凿孔几次，以防止出屑困难而造成钻头发热磨损，钻孔效率降低，甚至堵转的现象。

5) 冲击钻工作时有较强的振动，内部的电气结点易脱落，操作者应戴绝缘手套。

6) 冲击钻在向上钻孔时，操作者应戴防护眼镜。

9-9 怎样正确使用电锤？

电锤是一种具有旋转和冲击复合运动机构的电动工具，可用在混凝土、砖石等脆性建筑材料或构件上钻孔、开槽和打毛等作业，功能比冲击电钻更多，冲击能力更强。

电锤按其结构形式分为动能冲击锤、弹簧气垫锤、弹簧冲击锤、冲击旋转锤、曲柄连杆气垫锤和电磁锤等，其结构如图 9-9 所示。

电锤使用和维护时的注意事项：

1) 检查电锤电源线有无损伤，然后用 500V 绝缘电阻表对电锤电源线进行摇测，测得电锤绝缘电阻大于 $0.5\text{M}\Omega$ 时方可通电运行。

2) 使用电锤前，应检查各部件是否紧固，转动部分是否灵活。如果都正常，可通电空转一会儿，观察其运转灵活程度，有无异常声响。

3) 在使用电锤钻孔时，要选择无暗配电源线处，并应避免开

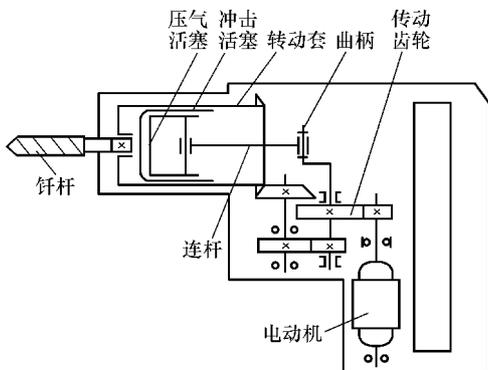


图 9-9 电锤的结构示意图

钢筋。如钻头正好打在钢筋上，应立即退出，然后重新选择位置，再行钻孔。

4) 对钻孔深度有要求的场所，可使用辅助手柄上的定位杆来控制钻孔深度；对上楼板钻孔时，应装上防尘罩。

5) 工作时，应先将钻头顶在工作面上，然后再按下开关。在钻孔中若发现冲击停止时，应断开开关，并重新顶住电锤，然后再接通开关。

6) 使用电锤时，应戴绝缘手套或穿绝缘鞋，站在绝缘垫上或干燥的木板木凳上作业，以防触电。

9-10 怎样正确使用电烙铁？

电烙铁是电工在设备检修时常用的焊接工具，其外形如图 9-10 所示，常用的电烙铁有外热式、内热式、快热式三种形式。电烙铁的结构主要由烙铁头、烙铁芯、外壳、支架等组成，其工作原理是，当接通电源后，电流使电阻丝发热，加热烙铁头，达到焊接温度后即可进行工作。

电烙铁的使用注意事项如下：

1) 使用之前应检查电源电压与电烙铁的额定电压是否相符，一般为 220V，检查电源和接地线接头是否接错。

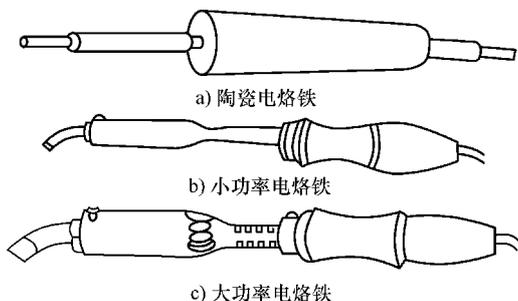


图 9-10 电烙铁的结构示意图

2) 电烙铁在使用中一般用松香作为焊剂，特别是电线接头、电子元器件的焊接，一定要用松香作焊剂，严禁用含有盐酸等腐蚀性物质的焊锡膏焊接，以免腐蚀印制电路板或短路电气线路。

3) 电烙铁在焊接金属铁、锌等物质时，可使用焊锡膏焊接。

4) 使用电烙铁时，不能在易燃易爆等危险场所中使用。

5) 如果在焊接中发现纯（紫）铜制的烙铁头氧化不易沾锡时，要及时除去氧化层，以改善导热和焊接效果。

6) 使用电烙铁时，应防止电源线搭在发热部位，以免烫坏导线绝缘层，发生漏电。

7) 对于外热式电烙铁，使用一段时间后，应活动一下铜头及紧固螺钉，以防锈死造成拆卸困难。

8) 使用完毕应将电烙铁放在支架上，待冷却后再放入工具箱，以免发生火灾。

9-11 怎样正确使用验电笔？

验电笔分高压和低压两种，高压的通常称为验电器，低压的通常称为验电笔。验电笔是电工中常用的一种辅助安全用具，用于检查 500V 以下导体或各种用电设备的外壳是否带电，操作简便，可随身携带，其结构如图 9-11 所示。

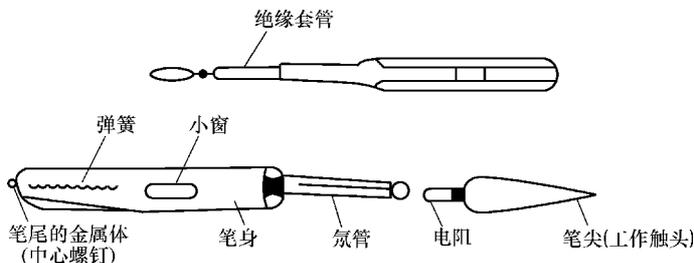


图 9-11 低压验电笔的结构

使用验电笔测试带电体时，操作者应用手触及验电笔笔尾的金属体（中心螺钉），用工作触头与被检测带电体接触，此时便由带电体经验电笔工作触头、电阻、氖管、人体和大地形成回路。当被测物体带电时，电流便通过回路，使氖管启辉；如果氖管不亮，则说明被测物体不带电。测试时，操作者即使穿上绝缘鞋（靴）或站在绝缘物上，也同样形成回路。因为绝缘物的泄漏电流和人体与大地之间的电容电流足以使氖管启辉。只要带电体与大地之间存在一定的电位差，验电笔就会发出辉光。

低压验电笔使用注意事项如下：

- 1) 测试前应在确知带电的带电体上进行试验，证明验电笔完好后，方可使用；
- 2) 工作者要养成先用验电笔验电，然后再工作的良好习惯；使用验电笔时，最好穿上绝缘鞋（靴）；
- 3) 验电时，工作者应保持平稳操作，以免误碰而造成短路；
- 4) 在光线明亮的地方测验时，应仔细测验并避光观察，以免因看不清而误判；
- 5) 有些设备常因感应而使外壳带电，测试时验电笔氖管也发亮，易造成误判断；此时，可采用其他方法（例如用万用表测量）判断其是否真正带电；
- 6) 低压验电笔的测量电压范围是 60 ~ 500V，使用时不允许

在超过 500V 的带电体上测量。

9-12 使用绝缘手套时应注意哪些事项？

绝缘手套用绝缘性能较好的特种橡胶制成，是在高压电气设备上操作时的辅助安全用具，也是在低压电气设备的带电部分上工作时的基本安全用具。

绝缘手套的使用注意事项如下：

- 1) 使用前应检查绝缘手套是否完好，检查时将手套朝手指方向卷曲，观察有无漏气或裂口等；
- 2) 使用时应穿束口衣服，并将袖口伸到手套伸长部分内；
- 3) 使用时应避免与锋利尖刀物及污物接触，以免损伤其绝缘强度；
- 4) 绝缘手套使用完毕，必须擦拭干净，放在柜子里，并且要与其他器具分开放置，以免损伤绝缘手套；
- 5) 绝缘手套不能作为一般手套使用；
- 6) 绝缘手套应每半年进行一次耐压试验，检查其绝缘是否良好。

9-13 使用安全带时应注意哪些事项？

安全带是进行高空作业时防止坠落的重要安全用具，是电杆上作业的必备用品。安全带分为不带保险绳和带有保险绳两种，其结构如图 9-12 所示，主要由保险绳、腰带和腰绳组成。其中，保险绳用来防止万一失足而人体下落时不致坠地摔伤，使用时，一端要可靠地系在腰上，另一端用保险勾挂在牢固的横担或抱箍上。腰带用来系挂保险绳、腰绳和吊物绳，使用时应系结在臀部上，而不是系在腰间，否则操作时既不灵活又容易扭伤腰部。腰绳用来固定人体下部，以扩大上身活动幅度，使用时，应系结在电杆的横担或抱箍下方，以防止腰绳窜出电杆顶端，发生事故。

安全带的使用注意事项如下：

- 1) 使用前应检查安全钩、环是否齐全，保护装置是否可

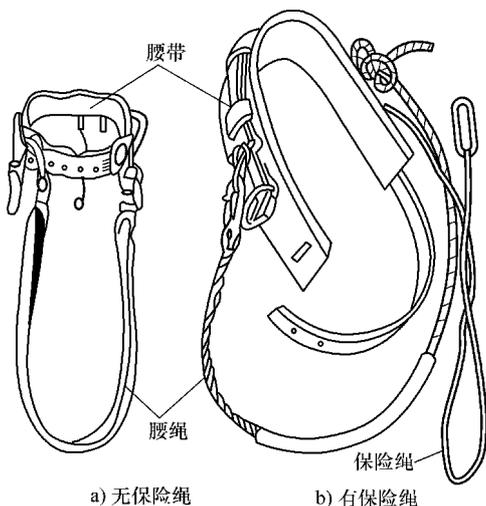


图 9-12 安全带的结构

靠，腰带、腰绳和保险绳有无老化、断裂等现象。若发现有上述情况，禁止使用；

2) 安全带应高挂低用或平行栓挂，严禁低挂高用；

3) 使用安全带时，只有挂好安全钩环，上好保险装置，才可探身或后仰，转位时不应失去安全带的保护；

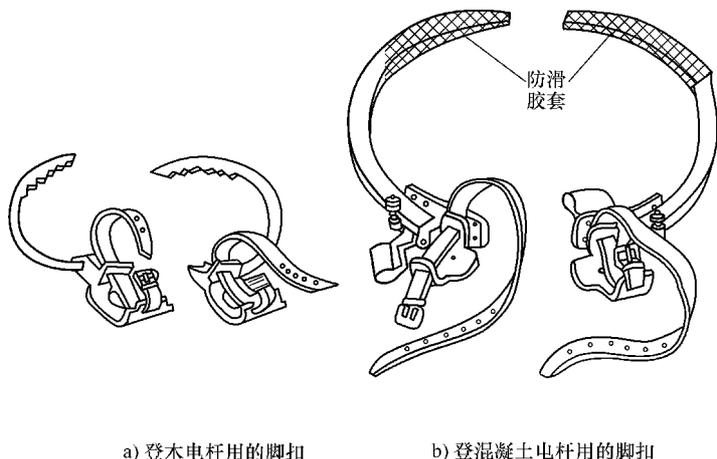
4) 安全带不用时应挂在通风处，不要放在高温处或挂在热力管道上，以免损坏。

9-14 怎样正确使用脚扣？

脚扣又称铁脚，是电工攀登电杆的主要工具。脚扣分两种：一种扣环上带有铁齿，供登木杆用；另一种在扣环上裹有橡胶，供登混凝土杆用。脚扣的结构如图 9-13 所示，用脚扣攀登电杆具有速度快、登杆方法简便等特点。

使用脚扣时的注意事项如下：

1) 脚扣在使用前，应进行外观检查，看各部分是否有裂纹、腐蚀、断裂等现象，若有，应禁止使用，在不用时，也应每



a) 登木电杆用的脚扣

b) 登混凝土电杆用的脚扣

图 9-13 脚扣示意图

月进行一次外观检查。

2) 登杆前,应对脚扣作人体冲击试登,以检验其强度。具体方法是,将脚扣系于钢筋混凝土杆上离地 0.5m 处左右,借助人体重量猛力向下登踩。观察脚扣无变形及任何损坏时方可使用。

3) 应按电杆的规格选择脚扣,并且不得用绳子或电线代替脚扣皮带系脚。

4) 脚扣不能随意从杆上往下摔仍,作业前后应轻拿轻放,并妥善保管,存放在工具柜里,放置应整齐。

9-15 怎样正确使用弯管器?

弯管器是穿管配线时,将管道弯曲成型的专用工具。常用的弯管器有管柄弯管器和滑轮弯管器两种。

1. 管柄弯管器

管柄弯管器一般由钢管手柄和铸铁弯头组成,如图 9-14 所示。它结构简单、操作方便,适用于现场弯曲直径 50mm 及以下的线管。使用时,应根据管子直径选用弯管器,先将管子需要弯

曲部分的前缘送入弯管器的弯头，然后操作者用脚踏住管子，扳动弯管器手柄，稍加一定的力，使管子略有弯曲，然后逐点向后移动弯管器，重复上一次动作，直至将管子弯成所需要的形状。

使用弯管器时的注意事项如下：

1) 弯管时要注意一次移动弯管器的距离不能过大，用力不要太猛；

2) 电线管属薄壁钢管，通常有焊缝，在弯管时，切忌将焊缝放在弯曲处的内侧或外侧，以免发生皱叠、断裂和瘪陷；

3) 在弯曲管路中间的 90° 弧形弯时，应先使用 8 号铁丝或薄板做成样板，以便在弯管时进行对照检查。

2. 滑轮弯管器

滑轮弯管器的结构主要由滑轮、卡子和工作台组成，如图 9-15 所示。它可用于弯制 100mm 及以下的线管，且对管子无损伤。通常，外观、形状要求较高，弯曲半径相同的成批线管，都采用滑轮弯管器弯制。



图 9-14 管柄弯管器的结构

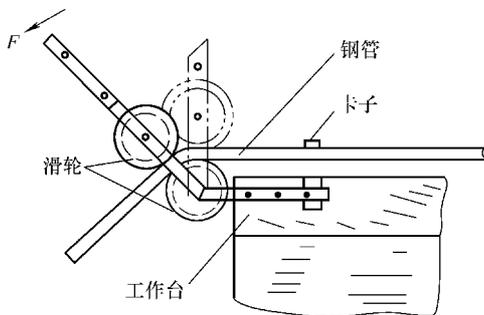


图 9-15 滑轮弯管器的结构

滑轮弯管器可固定在工作台上，弯管时把管子放在两滑轮中间，扳动滑轮应用力均匀，速度缓慢，即可煨出所需要的管子。

注意，对于直径大于100mm的线管，一般采用电动或液压弯管机进行弯管。

9-16 喷灯有什么用途？如何使用？

喷灯是一种利用喷射火焰对工件进行加热的工具。喷灯的结构如图9-16所示，主要由打气筒、油筒和汽化管等组成。工作时，油筒中的燃油被压缩空气压入汽化管汽化，经喷气孔喷出与燃烧腔内的空气混合燃烧，产生高温，用于电缆终端头、中间接头制作时的加热、搪铅、搪锡、焊接地线等。

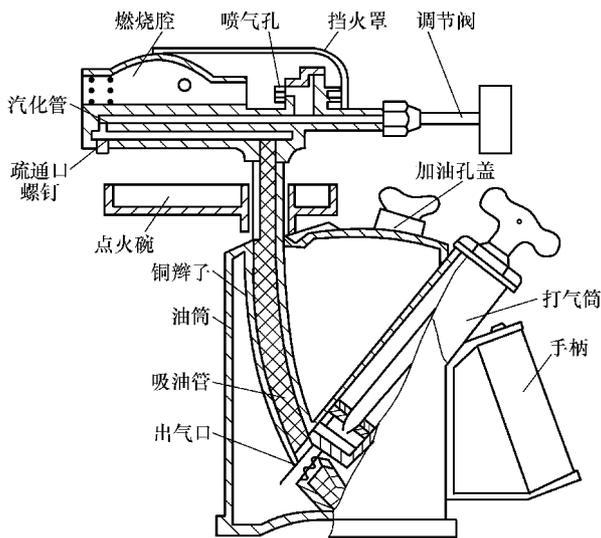


图 9-16 喷灯的结构

喷灯的使用注意事项如下：

- 1) 禁止使用打气筒上没有保险套的喷灯；
- 2) 不准在易燃易爆的环境周围使用喷灯，以免发生事故；
- 3) 应根据喷灯所用的燃料种类加注燃料油；首先旋开加油

螺钉，注入燃料油，油量不应大于油筒容量的 3/4，以便为向罐内充气和燃料油受热膨胀时留有适当的空隙；

4) 点火前，应检查气筒、喷嘴丝口处是否漏气、渗油，加油口的螺钉是否拧紧；

5) 使用前，先在点火碗中注入其容量 2/3 的油并点燃，加热燃烧腔，打几下气，稍开调节阀，继续加热。多次打气加压，但不要打得太足，慢慢开大调节阀，待火焰由黄红变蓝，即可使用；

6) 停用时，应先关闭调节阀，直至火焰熄灭，然后慢慢旋松加油孔盖放气，空气放完后旋松调节阀。

9-17 怎样正确使用射钉枪？

射钉枪是一种紧固安装工具，它利用火药燃烧时释放的能量，将特制钉子打入混凝土、砖墙或其他基体内，用来代替预埋固定、打孔浇注、焊接等繁重作业，可大大减少施工量。

射钉枪操作简单，使用时将射钉和射钉弹装入射钉枪膛，垂直对准被固件和混凝土，解除保险，扣动扳机，火药气体推动射钉穿过被固件打入混凝土，从而达到固定目的，如图 9-17 所示。

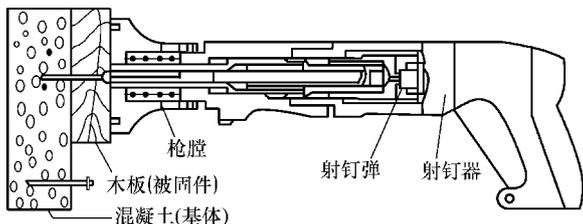


图 9-17 射钉枪紧固示意图

射钉枪的使用注意事项如下：

1) 射钉枪使用者必须经培训考核合格，按规定程序操作，不准乱射；

2) 操作前，必须对射钉进行全面检查，然后按规定方法

使用；

3) 射钉枪及配件应设专人保管，使用单位可根据本单位的具体情况制定使用管理制度；

4) 在轻质、薄墙上射钉时，对面不得有人经过和停留，应有专人监视，防止射穿墙体伤人；

5) 严禁在易燃、易爆的场所施工；

6) 射击时，枪口应与被固件、基体面应保持垂直状态，并压紧；

7) 在操作时才允许将钉、弹装入枪内；装好钉、弹的枪，严禁将枪口对人；

8) 当射钉枪出现卡簧等故障时，应停止使用，不可随意拆卸，须交专业人员检修；

9) 射钉枪每次使用完后，必须将枪机用煤油浸泡，然后擦干净上油存放，以防锈蚀。

9-18 怎样正确使用压接钳？

压接钳即导线压接接线钳，是一种用冷压的方法来连接铜、铝等导线的工具，特别是在铝绞线和钢芯铝绞线敷设施工中经常用到，其结构如图 9-18 所示。压接钳主要分为手压钳和液压钳两类，手压钳适用于 35mm 以下的导线；液压钳主要依靠液压传动机构产生压力而达到压接导线的目的，适用于压接 35mm 以上的多股铝、铜芯导线。

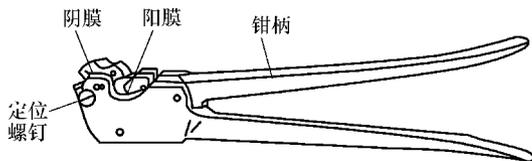


图 9-18 压接钳的结构

铝芯导线直接连接的方法步骤如下：

1) 根据导线截面选择压模和铝套管；

2) 把连接处的导线绝缘护套剥除, 剥除长度应为铝套管长度一半加上 5 ~ 10mm, 然后用钢丝刷刷去芯线表面的氧化层(膜);

3) 用清洁的钢丝刷蘸一些凡士林锌粉膏(有毒, 切勿与皮肤接触)均匀地涂抹在芯线上, 以防氧化层重生;

4) 用圆条形钢丝刷清除铝套管内壁的氧化层及污垢, 最好在管子内壁涂上凡士林锌粉膏;

5) 把两根芯线相对插入铝套管, 使两个接头恰好处在铝套管的正中连接;

6) 根据铝套管的粗细选择适当的线模装在压接钳上, 拧紧定位螺钉后, 把套有铝套管的芯线嵌入线模;

7) 对准铝套管, 用力捏夹钳柄进行压接; 压接时, 先压两端的两个坑, 再压中间的两个坑, 压坑应在一条直线上。铝套管的弯曲度不得大于管长的 2%, 否则应用木锤校直;

8) 擦去残余的油膏, 在铝套管两端及缝合处涂刷快干沥青漆, 然后在铝套管及裸露导线部位包两层黄蜡带, 再包两层黑胶布。

铝芯导线与设备螺栓压接式接线桩头的连接方法步骤如下:

1) 根据线芯粗细选择合适的铝质接线耳(线鼻子);

2) 刷去芯线表面的氧化层, 最好均匀地涂上凡士林锌粉膏;

3) 把接线耳插线孔内壁的氧化层也刷去, 最好在内壁也涂上凡士林锌粉膏;

4) 把芯线插入接线耳的插线孔, 要插到孔底;

5) 选择适当的线模, 在接线耳的正面压两个坑。先压压外坑, 再压里坑, 两个坑要在一条直线上;

6) 在接线耳根部和电线剖去绝缘层之间包缠绝缘带;

7) 刷去接线耳背面的氧化层, 并均匀地涂上凡士林锌粉膏;

8) 使接线耳的背面朝下, 套在接线桩头的螺栓上, 然后依次套上平垫圈和弹簧垫圈, 用螺母紧紧固定。

第 10 章

安全用电与防雷

10-1 什么是接地与接零？

接地与接零是保证电气设备和人身安全用电的重要保护措施。

所谓接地，就是把电气设备的某部分通过接地装置与大地连接起来。

接零是指在中性点直接接地的三相四线制供电系统中，将电气设备的金属外壳、金属构架等与零线连接起来。

10-2 什么是保护接地？

为了保障人身安全，防止间接触电事故，将电气设备外露可导电部分如金属外壳、金属构架等，通过接地装置与大地可靠连接起来，称为保护接地，如图 10-1 所示。其中 PEN 称为保护中性零线，是指中性线 N 和保护零线 PE（又称保护地线或保护线）合用一根导线与变压器中性点相连。保护接地可有效防止发生触电事故，保障人身安全。

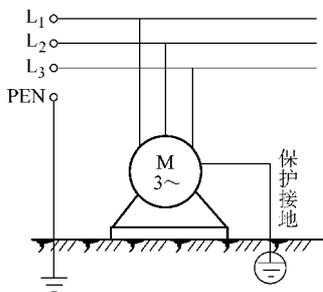


图 10-1 保护接地示意图

对电气设备采取保护接地措施后，如果这些设备因受潮或绝

缘损坏而使金属外壳带电，那么电流会通过接地装置流入大地，只要控制好接地电阻的大小，金属外壳的对地电压就会限制在安全数值以内。

10-3 什么是工作接地？

为了保证电气设备的安全运行，将电路中的某一点（例如变压器的中性点）通过接地装置与大地可靠地连接起来，称为工作接地，工作接地（又称系统接地）如图 10-2 所示。它可以在工作或事故情况下，保证电气设备可靠地运行，降低人体的接触电压，迅速切断故障设备，降低了电气设备和配电线路对绝缘水平的要求。

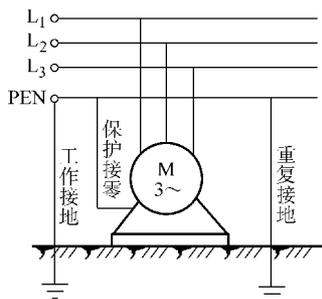


图 10-2 工作接地、重复接地和保护接零示意图

10-4 什么是重复接地？

将中性线上的一点或多点，通过接地装置与大地再次可靠地连接称为重复接地，如图 10-2 所示。当系统中发生碰壳或接地短路时，能降低中性线的对地电压，并减轻故障程度。重复接地可以从零线上重复接地，也可以从接零设备的金属外壳上重复接地。

10-5 接地电阻应该多大才符合要求？

低压电力网的电力装置对接地电阻的要求如下：

- 1) 低压电力网中，电力装置的接地电阻不宜超过 4Ω ；
- 2) 由单台容量在 100kVA 的变压器供电的低压电力网中，电力装置的接地电阻不宜超过 10Ω ；
- 3) 使用同一接地装置并联运行的变压器，总容量不超过 100kVA 的低压电力网中，电力装置的接地电阻不宜超过 10Ω ；
- 4) 在土壤电阻率高的地区，要达到以上接地电阻值有困难时，低压电力设备的接地电阻允许提高到 30Ω 。

10-6 什么是接地装置？

电气设备的接地体及接地线的总和称为接地装置。

接地体即为埋入地中并直接与大地接触的金属导体。接地体分为自然接地体和人工接地体。人工接地体又可分为垂直接地体和水平接地体两种。

接地线即为电气设备金属外壳与接地体相连接的导体。接地线又可分为接地干线和接地支线。接地装置的组成如图 10-3 所示。

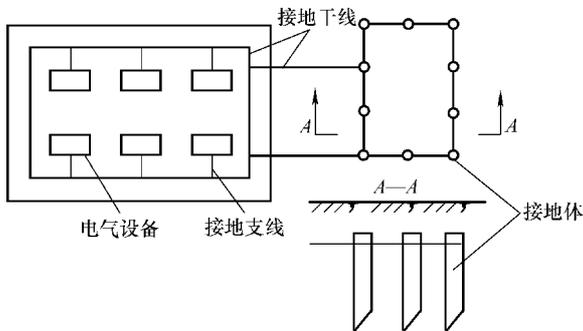


图 10-3 接地装置示意图

10-7 什么是人工接地体?

人工接地体指利用人工方法将专门的金属物体埋设于土壤中,以满足接地的要求的接地体。人工接地体绝大部分采用钢管、角钢、扁钢、圆钢制作。人工接地体的最小规格见表 10-1。

表 10-1 人工接地体的最小规格

材 料	建筑物内	室 外	地 下
圆钢/mm	$\phi 6$	$\phi 8$	$\phi 8$
扁钢/mm ²	24	48	48
钢管壁厚/mm	2.5	3.5	3.5
角钢/mm	40 × 40 × 4	40 × 40 × 4	40 × 40 × 4

10-8 如何安装垂直接地体?

垂直接地体可采用直径为 40 ~ 50mm 的钢管或用 40mm × 4mm 的角钢,下端加工成尖状以利于砸入地下。垂直接地体的长度为 2 ~ 3m,但不能短于 2m。垂直接地体一般由两根以上的钢管或角钢组成,或以成排布置,或以环形布置,相邻钢管或角钢之间的距离以不超过 3 ~ 5m 为宜。垂直接地体的几种典型布置如图 10-4 所示。

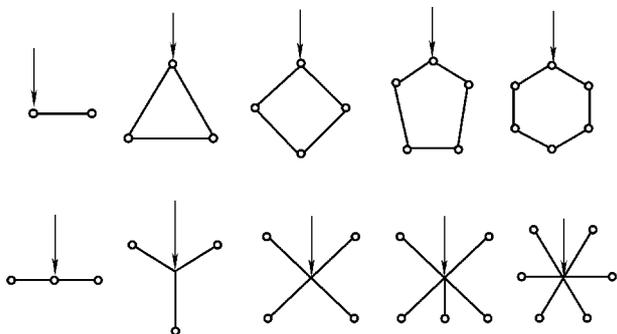


图 10-4 垂直接地体分布置

垂直接地体的安装应在沟挖好后，尽快敷设接地体，以防止塌方。敷设接地体通常采用打桩法将接地体打入地下，如图 10-5 所示。接地体应与地面垂直，不得歪斜，有效深度不得小于 2m；多级接地或接地网的各接地体之间，应保持在 2.5m 以上的直线距离。

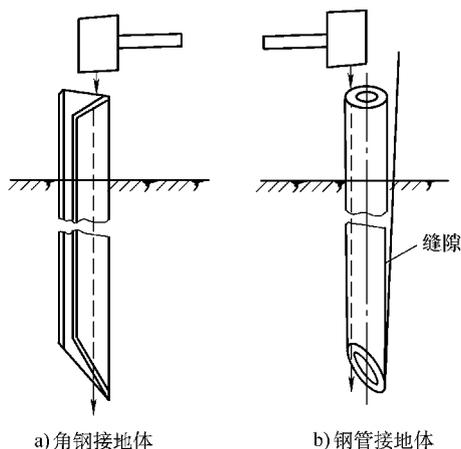


图 10-5 接地体打入土壤情形

用手锤敲打角钢时，应敲打角钢端面角脊处，锤击力会顺着脊线直传到其下部尖端，容易打入、打直，若是钢管，则锤击力应集中在尖端的切点位置。若接地体与接地线在地面下连接，则应先将接地体与接地线用电焊焊接后埋土夯实。

10-9 如何安装水平接地体？

水平接地体多采用 40mm × 4mm 的扁钢或直径为 16mm 的圆钢制作，多采用放射形布置，也可以成排布置成带形或环形。水平接地体的几种典型布置如图 10-6 所示。

水平接地体的安装多用于环绕建筑四周的联合接地，常用 40mm × 4mm 镀锌扁钢，最小截面不应小于 100mm²，厚度不应小于 4mm。当接地体沟挖好后，应垂直敷设在地沟内（不应平

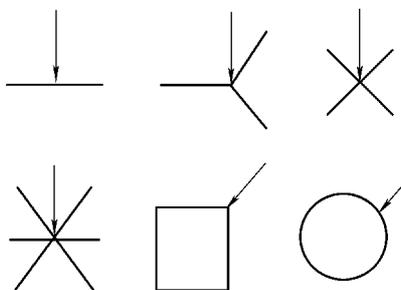


图 10-6 水平接地体的布置

放), 垂直放置时, 散流电阻较小, 顶部埋设深度距地面不应小于 0.6m , 水平接地体安装如图 10-7 所示。水平接地体多根平行敷设时, 水平间距不应小于 5m 。

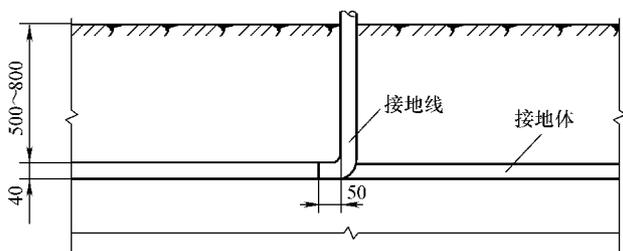


图 10-7 水平接地体安装

沿建筑外面四周敷设成闭合环状的水平接地体, 可埋设在建筑物散水及灰土基础以外的基础槽边。

将水平接地体直接敷设在基础底坑与土壤接触是不合适的。由于接地体受土的腐蚀极易损坏, 被建筑物基础压在下边, 给维修带来不便。

10-10 什么是基础接地体?

基础接地体指接地体埋设在地面以下的混凝土基础的接地体。它又可分为自然基础接地体和人工基础接地体两种。当利用

钢筋混凝土基础中的其他金属结构物作为接地体时，称为自然基础接地体；当把人工接地体敷设于不加钢筋的混凝土基础时，称为人工基础接地体。

由于混凝土和土壤相似，可以将其视为具有均匀电阻率的“大地”。同时，混凝土存在固有的碱性组合物及吸水特性。因此，近几年来，国内外利用钢筋混凝土基础中的钢筋作为自然基础接地体已经取得较多的经验，故应用较为广泛。

10-11 如何安装接地线？

1) 人工接地线不应埋在白灰、焦渣的屋内，否则应用水泥砂浆全保护；

2) 人工接地线穿越建筑物时，应加保护管，过伸缩缝时，应留有适当裕度或采用软连接；

3) 人工接地线在与公路、铁路、管道交叉处及其他易受机械损伤的部位，应加钢管保护；

4) 室内暗敷（敷设在混凝土墙或砖墙内）的接地干线两端应有明露部分，并设置接线端子盒。

10-12 选择接地装置应注意哪些事项？

1) 每个电气装置的接地，必须用单独的保护导体与接地干线相连接或用单独接地导体与接地体相连，禁止将几个电气装置接地部分串联后与接地干线相连接。

2) 保护导体、接地线与电气设备、接地总母线或总接地端子应保证可靠的电气连接，当采用螺栓连接时，应采用镀锌件，并设防松螺母或防松垫圈。

3) 接地干线应在不同的两点及以上与接地网相连接，自然接地体应在不同的两点及以上与接地干线或接地网相连接。

4) 当利用电梯轨道（吊车轨道等）作接地干线时，应将其连成封闭回路。

5) 当接地体由自然接地体与人工接地体共同组成时，应分

开设置连接卡子。自然接地体与人工接地体连接点应不少于两处。

6) 当采用自然接地体时,在其自然接地体的伸缩处或接头处加接跨接线,以保证良好的电气通路。

7) 接地装置的焊接应采用搭接法,最小搭接长度:扁钢为宽度的 2 倍,并三面焊接;圆钢为直径的 6 倍,并两个侧面焊接;圆钢与扁钢连接时,焊接长度为圆钢直径的 6 倍,两个侧面焊接。焊接必须牢固,焊缝应平直无间断、无气泡、无夹渣;焊缝处应清除干净,并涂刷沥青防腐。

10-13 接地装置的检查和测量周期是怎样规定的?

接地装置的良好与否,直接关系到人身及设备的安全,甚至涉及系统的正常运行。在实际应用中,应对各类接地装置进行定期维护和检查,平时也应根据实际情况,进行临时性的维护和检查。接地装置检查和测量周期见表 10-2。

表 10-2 接地装置检查和测量周期

接地装置类别	检查周期	测量周期
变配电所接地网	每年一次	每年一次
车间电气设备的接地(接零)线	每年至少两次	每年一次
各种防雷保护接地装置	每年雷雨季节前检查一次	每两年一次
独立避雷针接地装置	每年雷雨季节前检查一次	每五年一次
10kV 及以下线路变压器工作接地装置	随线路检查	每两年一次
手持电动工具的接地(接零)线	每次使用前检查一次	每两年一次
对有腐蚀性化学成分的土壤中的接地装置	每五年局部挖开检查腐蚀情况	每两年一次

10-14 接地装置维护和检查的具体项目有哪些？

- 1) 接地线有无折断、损伤或严重腐蚀；
- 2) 接地支线与接地干线的连接是否牢固；
- 3) 接地点土壤是否因受外力影响而有松动；
- 4) 检查所有连接点的螺栓是否有松动，并逐一进行紧固；
- 5) 重复接地线、接地体及其连接处是否完好无损；
- 6) 挖开接地引下线周围的地面，检查地下 0.5m 左右地线受腐蚀的程度，若腐蚀严重应立即更换；
- 7) 检查接地线的连接线卡及跨接线等的接触是否完好；
- 8) 检查明敷部分接地线或接零母线上的涂漆是否脱落，若有脱离现象，需重新涂漆，以使标志清晰；
- 9) 检查接地体有无因受水冲击或其他原因，而造成露出地面或离地表过近，若有此类现象出现，应立即修复；
- 10) 做好接地装置的变更、检修、测量等记录。

10-15 为确保施工现场用电安全应采取哪些相应措施？

1) 建筑工程不得在高、低压线路下施工；在高、低压线路下方，不得搭设作业棚，建造生活设施，或堆放构件、架具、材料及其他杂物。

2) 建筑工程（含脚手架具）的外侧边缘与架空线路的边线之间必须保持足够的安全距离，最小安全操作距离应不小于表 10-3 中所列数据。

表 10-3 建筑工程外侧与架空线边线之间的最小安全操作距离

线路电压/kV	1 以下	1 ~ 10	35 ~ 110	154 ~ 220	330 ~ 500
最小安全操作距离/m	4	6	8	10	15

3) 施工现场的机动车道与架空线路交叉时，架空线路的最低点与路面的垂直距离应不小于表 10-4 中所列数据。

表 10-4 施工现场的机动车道与架空线路交叉时的最小垂直距离

线路电压/kV	1 以下	1 ~ 10	35
最小安全垂直距离/m	6	7	7

4) 旋臂式起重机的任何部位或被吊物边缘与 10kV 以下的架空线路边线最小水平距离不得小于 2m。

5) 施工现场开挖非热管道沟槽的边缘与埋地外电缆沟槽边缘之间的距离不得小于 0.5m。

10-16 施工现场的哪些电气设备应做保护接零?

1) 电机、变压器、电器、照明用具、手持电动工具的金属外壳;

2) 电气设备传动装置的金属部件;

3) 配电屏与控制屏的金属框架;

4) 室内、外配电装置的金属框架及靠近带电部分的金属围栏和金属门;

5) 电力线路的金属保护管, 敷线的钢索, 起重机轨道滑升模板金属操作平台;

6) 安装在电力杆线上的开关、电容器等电气装置的金属外壳及支架。

10-17 什么是雷电?

雷电是大气中一种自然气体放电现象。常见的有放电痕迹呈线形或树枝状的线形(或枝状)雷, 有时也会出现带形雷、片形雷和球形雷。

云是由于地面的水分蒸发为水蒸气后形成的。雷云在形成过程中, 受到地面上的强烈气流的作用, 使一部分云积累带正电荷, 另一部分云积累带负电荷。由于异性电荷的不断积累, 不同极性的雷云之间电场强度不断增大, 当带不同电荷的雷云与雷云之间或雷云与大地凸起物之间接近到一定程度, 或某一处的电场

强度超过空气可能承受的击穿强度时，就会发生强烈的放电，这种现象就是雷电。

10-18 雷电有何危害？

雷电的危害是多方面的。在雷电放电过程中，可能呈现出静电效应、电磁感应、热效应和机械效应，对建筑物或电气设备造成危害。雷电流入大地时，对地面产生很高的冲击电位，对人体形成危险的冲击接触电压和跨步电压。人直接遭受雷击，危害极大。

1) 直击雷的危害：天空中高电压的雷云，击穿空气层，向大地及建筑物、架空电力线路等高耸物放电的现象，称为直击雷。发生直击雷时，特大的雷电流通过被击物，在被击物内部产生高达几万度的温度，使被击物燃烧，使架空导线熔化。

2) 感应雷的危害：雷云对地放电时，在雷击点全放电的过程中，位于雷击点附近的导线上将产生感应过电压，过电压幅值一般可达几百万伏至几千万伏，它能使电力设备绝缘发生闪络或击穿，造成电力系统停电事故、电力设备的绝缘损坏，使高压电串入低压系统，威胁低压用电设备和人员的安全，还可能发生火灾和爆炸事故。

3) 雷电侵入波的危害：架空电力线路或金属管道等，遭受直击雷后，雷电波就沿着这些击中物传播，这种迅速传播的雷电波称为雷电侵入波。它可使设备或人遭受雷击。

10-19 什么是雷击过电压？

雷击过电压是指雷电流通过被击物体在其电阻上产生的降压（直击雷过电压）和雷云对设备附近的地面或避雷针、输电线路放电时，由于雷电流的电磁场剧烈变化所引起的感应过电压的统称。直击雷过电压幅值极高，可达 100MV，但持续时间仅约数十微秒；雷击地面时的感应过电压一般不超过 500 ~ 600kV，持续时间则比直击雷过电压要长。

10-20 雷击通常受哪些因素影响？

据大量雷害事故的统计和实验证明，雷电的地点和建筑物遭受雷击的部位具有一定的规律，这些规律称为雷电的选择性。雷击通常受下列因素影响：

- 1) 与地面上的设施情况有关；
- 2) 与地质结构有关；
- 3) 从地形来看，凡是有利于雷云的形成和相遇条件的易遭受雷击；
- 4) 与当地的气象条件有关。

10-21 防雷装置由几部分组成？

防雷装置一般由接闪器、引下线、接地装置三部分组成。

1) 接闪器：直接承受雷击的部件，称为接闪器。避雷针、避雷线、避雷网、避雷带、避雷器及一般建筑物和构筑物的金属屋面或混凝土屋面，均可作为接闪器。接闪器实质上起引雷作用，将雷电引向自身，为雷云放电提供通路，并将雷电流泄入大地，从而使被保护物体免遭雷击、免受雷害的一种人工装置。

2) 引下线：连接接闪器和接地装置的金属导体，称为引下线。引下线一般用圆钢或扁钢制作。

3) 接地装置：接地装置包括接地体和接地线。防雷接地装置与一般电气设备接地装置基本相同，所不同的只是所用材料比一般接地装置要大。

10-22 基本防雷措施有哪些？

1) 防止直击雷的重要措施是装设避雷针、避雷线、避雷网及避雷带。

2) 防止静电感应过电压的措施是将建筑物内的金属设备、金属管路及结构的钢盘等给予接地。

3) 低压线路防止雷电波侵入的措施是，对于重要用户，采

用直埋电缆配电，在进户处将电缆金属外皮接地，或由架空线路转经 50m 以上的直埋电缆配电，在电缆和架空转接处装一组低压阀式避雷器，并将电缆金属外皮和绝缘子的铁脚一并接地。对于一般用户，当采用架空线进户时，将进户线横担、绝缘子的铁脚一并接地。若要保护直入式电能表，在进户线处应增装一组低压阀式避雷器。

4) 架空管道防止雷电波侵入的措施是，在管道进口及邻进处 100m 内，采取 1~4 处接地。该接地装置可与电气设备接地装置共用。

10-23 什么是避雷针？

避雷针其顶端呈针尖状，下端经接地引线与接地装置焊接在一起。避雷针通常安装于被保护物体顶端的突出位置。

单支避雷针的保护范围为—近似的锥体空间，如图 10-8 所示。由图可见应根据被保护物体的高度和有效保护半径确定避雷针的高度和安装位置，以使被保护物体全部处于保护范围之内。

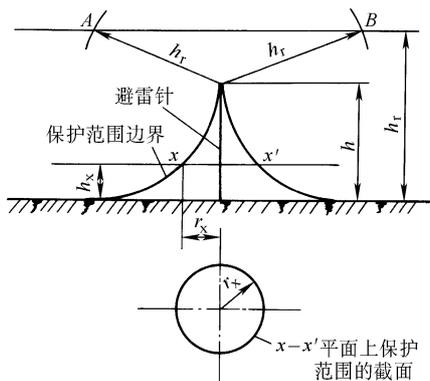


图 10-8 单支避雷针的保护范围

h —避雷针的高度 h_r —滚球半径
 h_x —被保护物高度 r_x —在 $x-x'$ 水平面上的保护半径

10-24 安装避雷针时应注意哪些事项？

1) 避雷针接地引下线连接要焊接可靠，接地装置安装要牢固，接地电阻应符合要求（一般不能超过 10Ω ）。

2) 避雷针独立安装时，避雷针与配电装置的导电部分、变电所电气设备和构架接地部分之间的空气间距不应小于 5m ；接地装置与变电所接地网之间的最小地中距离不应小于 3m 。

3) 为防止雷击时，因避雷针放电时产生“反击”，将变压器绝缘击穿。自避雷针与接地网的连接处起，到变压器与接地网的连接处止，沿接地的地中距离不应小于 15m 。

4) 构架上的避雷针应与接地网连接，并应在其附近装设集中接地装置。

5) 屋顶上装设的防雷金属网和建筑物顶部的避雷针及金属物体应焊接成一个整体。

6) 照明线路、天线或电话线等严禁架设在独立避雷针的杆上，以防雷击时，雷电流沿线路侵入室内，危及人身和设备安全。

7) 装有避雷针的构架上的照明电源线，必须采用直接埋入地下的带金属护层的电缆或穿入金属管中的电线。电缆护层或金属管必须接地，埋地长度应在 10m 以上，方可与 35kV 及以下配电装置的接地网相连或与电源线、低压配电装置相连接。

10-25 什么是避雷带和避雷网？

避雷带是一种沿建筑物顶部凸出部位的边沿敷设的接闪器，对建筑物易受雷击的部位进行保护。一般高层建筑物都装设这种形式的接闪器。

避雷网是用金属导体做成网状的接闪器。它可以看做纵横分布、彼此相连的避雷带。显然避雷网具有更好的防雷性能，多用于重要高层建筑物的防雷保护。

避雷带和避雷网一般采用圆钢制作，也可采用扁钢。其尺寸

应不小于以下数值：

圆钢直径为 8mm；

扁钢厚度不小于 4mm，截面积不小于 48mm²。

10-26 什么是避雷器？

避雷器主要用于保护发电厂、变电所的电气设备以及架空线路、配电装置等，是用来防护雷电产生的过电压，以免危及被保护设备的绝缘。使用时，避雷器接在被保护设备的电源侧，与被保护线路或设备相并联，避雷器的接线图如图 10-9 所示。当线路上出现危及设备安全的过电压时，避雷器的火花间隙就被击穿，或由高阻变为低阻，使过电压对地放电，从而保护设备免遭破坏。避雷器的形式主要有阀式避雷器和管式避雷器等。

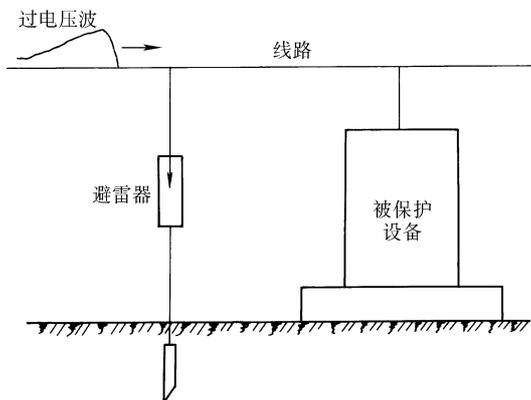


图 10-9 避雷器的接线图

10-27 阀式避雷器由哪几部分组成？它是怎样工作的？

阀式避雷器主要由密封在瓷套内的多个火花间隙和一叠具有非线性电阻特性的阀片（又称阀性电阻盘）串联组成，阀式避雷器的结构如图 10-10 所示。

阀式避雷器的工作原理：接于电力系统中运行的避雷器，由

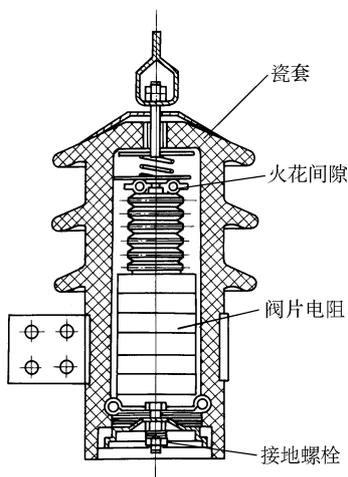


图 10-10 阀式避雷器的结构图

于火花间隙具有足够的对地绝缘强度，所以它不会被正常的工频电压所击穿，这时阀片就不会通过电流。当电力系统出现了危险的过电压时，火花间隙很快被击穿，使雷电流很容易通过阀片引入大地。这时作用在被保护设备上的电压只是避雷器的残压，从而达到保护电气设备的作用。

10-28 安装阀式避雷器时应注意哪些事项？

1) 安装前应对避雷器进行工频交流耐压试验、直流泄漏试验及绝缘电阻的测定，达不到标准时，不准投入运行。

2) 阀式避雷器的安装，应便于巡视和检查，并应垂直安装不得倾斜，引线要连接牢固，上接线端子不得受力。

3) 阀式避雷器的瓷套应无裂纹，密封应良好。

4) 阀式避雷器安装位置应尽量靠近被保护设备。避雷器与 3~10kV 变压器的最大电气距离，雷雨季经常运行的单路进线不大于 15m，双路进线不大于 23m，三路进线不大于 27m。若大于上述距离时，应在母线上设阀式避雷器。

5) 安装在变压器台上的阀式避雷器，其上端引线（即电源线）最好接在跌落式熔断器的下端，以便与变压器同时投入运行或同时退出运行。

6) 阀式避雷器上、下引线的截面都不得小于规定值，铜线不小于 16mm^2 ，铝线不小于 25mm^2 ，引线不许有接头，引下线应附杆而下，上、下引线不宜过松或过紧。

7) 阀式避雷器接地引下线与被保护设备的金属外壳应可靠地与接地网连接。线路上单组阀式避雷器，其接地装置的接地电阻不应大于 5Ω 。

10-29 管式避雷器由几部分组成？

管式避雷器由产气管、内部间隙和外部间隙三部分组成，如图 10-11 所示。

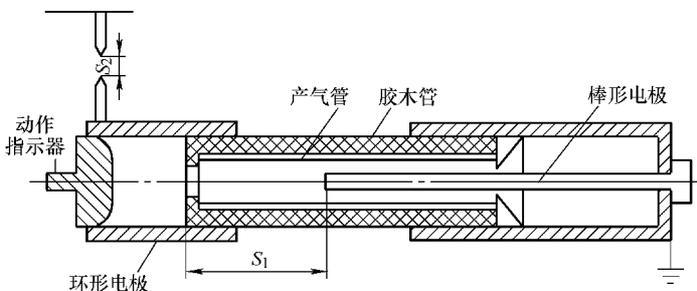


图 10-11 管式避雷器的结构图

S_1 —内部间隙 S_2 —外部间隙

10-30 安装管式避雷器时应注意哪些事项？

- 1) 额定断续能力与所保护设备的短路电流相适应。
- 2) 安装时，应避免各管式避雷器排出的电离气体相交而造成短路，但在开口端固定的避雷器，则允许它排出的电离气体相交。

3) 管式避雷器宜垂直安装, 开口端向下。当倾斜安装时, 与水平线的夹角不小于 15° ; 在严重污秽地区, 为减少其表面上积垢, 应使管式避雷器与水平线向下倾斜的夹角不小于 45° , 以便下雨时将尘土冲刷掉。

4) 为防止雨水造成外部间隙短路, 额定电压 10kV 及以下的管式避雷器的间隙电极不可垂直安装。

5) 装设在木杆上的管式避雷器, 一般采用共用的接地装置, 并可与避雷线共用一根接地引下线。

6) 管式避雷器及外部间隙应安装牢固可靠, 以保证管式避雷器运行中的稳定性。

7) 管式避雷器的安装位置应便于巡视和检查, 安装地点的海拔一般不超过 1000m。

10-31 什么是安全电压?

安全电压是为了防止触电事故而采用的有特定电源的电压系列。安全电压是以人体允许电流与人体电阻的乘积为依据而确定的。安全电压一方面是相对于电压的高低而言, 但更主要是指对人体安全危害甚微或没有威胁的电压。

我国安全电压标准规定的安全电压系列是 6V、12V、24V、36V 和 42V。当设备采用安全电压作直接接触防护时, 只能采用额定值为 24V 以下 (包括 24V) 的安全电压; 当作间接接触防护时, 则可采用额定值为 42V 以下 (包括 42V) 的安全电压。

从安全电压与使用环境的关系来看, 由于触电的危险程度与人体电阻有关, 而人体电阻与不同使用环境下的接触状况有极大的关系, 在不同的状况下, 人体电阻是不同的。

人体电阻与接触状况的关系, 通常分为三类:

1) 干燥的皮肤, 干燥的环境, 高电阻的地面 (此时人体阻抗最大);

2) 潮湿的皮肤, 潮湿的环境, 低电阻的地面 (此时人体阻抗最小);

3) 人浸在水中(此时人体电阻可忽略不计)。

10-32 使用安全电压应注意哪些事项?

1) 应根据不同的场合按规程规定选择相应电压等级的安全电压。

2) 采取降压变压器取得安全电压时,应采用双绕变压器,而不能采用自耦变压器,以使一、二次绕组之间只有电磁耦合而不直接发生电的联系。

3) 安全电压的供电网络必须有一点接地(中性线或某一相线),以防电源电压偏移引起触电危险。

4) 安全电压并非绝对安全,如果人体在汗湿、皮肤破裂等情况下长时间触及电源,也可能发生电击伤害。因此,采用安全电压的同时,还要采取防止触电的其他措施。

10-33 怎样安全用电?

1) 严禁用一线一地安装用电器具。

2) 在一个电源插座上不允许引接过多或功率过大的用电器具和设备。

3) 未掌握有关电气设备和电气线路知识的专业人员,不可安装和拆卸电气设备及线路。

4) 严禁用金属丝绑扎电源线。

5) 严禁用潮湿的手接触开关、插座及具有金属外壳的电气设备,不可用湿布擦拭上述电器。

6) 堆放物资、安装其他设备或搬移各种物体时,必须与带电设备或带电导体相隔一定的安全距离。

7) 严禁在电动机和各种电气设备上放置衣物,不可在电动机上坐立,不可将雨具等挂在电动机或电气设备的上方。

8) 在搬移电焊机、鼓风机、洗衣机、电视机、电风扇、电炉和电钻等可移动电器时,要先切断电源,更不可拖拉电源线来移动电器。

9) 在潮湿的环境下使用可移动电器时, 必须采用额定电压 36V 及以下的低压电器。在金属容器及管道内使用移动电器, 应使用 12V 的低压电器, 并要加接临时开关, 还要有专人在该容器外监视。安全电压的移动电器应装特殊型号的插头, 以防误插入 220V 或 380V 的插座内。

10) 雷雨天气时, 不可走近高压电杆、铁塔和避雷针的接地导线周围, 以防雷电伤人。

10-34 防触电的安全措施有哪些?

电工属于特殊工种, 除必须熟练掌握正规的电工操作技术外, 还应掌握电气安全技术, 在此基础上方可参加电工操作, 为保证人身安全, 应注意以下几点:

1) 电工在检修电路时, 应严格遵守停电操作的规定, 必须先拉下总开关, 并拔下熔断器(保险盒)的插座, 以切断电源, 方可操作。电工操作时, 严禁任何形式的约时停送电, 以免造成人身伤亡事故。

2) 在切断电源后, 电工操作者须在停电设备的各个电源端或停电设备的进出线处, 用合格的验电笔进行验电。如在刀开关或熔断器上验电时, 应在断口两侧验电; 在杆上电力线路验电时, 应先验下层, 后验上层, 先验距人较近的, 后验距人较远的导线。

3) 经验明设备两端确实无电后, 应立即在设备工作点两端导线上挂接地线。挂接地线时, 应先将地线的接地端接好, 然后在导线上挂接地线, 拆除接地线的程序与上述相反。

4) 为防止电路突然通电, 电工在检修电路时, 应采取以下措施:

① 操作前应穿具有良好绝缘的胶鞋, 或在脚下垫干燥的木凳等绝缘物体, 不得赤脚、穿潮湿的衣服或布鞋。

② 在已拉下的总开关处挂上“有人工作, 禁止合闸”的警告牌, 并进行验电; 或一人监护, 一人操作, 以防他人误把总开

关合上。同时，还要拔下用户熔断器上的插盖。注意在动手检修前，仍要进行验电。

③ 在操作过程中，不可接触非木结构的建筑物，如砖墙、水泥墙等，潮湿的木结构也不可触及。同时，不可同没有与大地绝缘的人接触。

④ 在检修灯头时，应将电灯开关断开；在检修电灯开关时，应将灯泡卸下。在具体操作时，要坚持单线操作，并及时包扎接线头，防止人体同时触及两个线头。

以上只是一些基本的电工安全作业要点，在实际工作中，还应根据具体条件，制定符合实际情况的安全规程。国家及有关部门颁发了一系列的电工安全规程规范，维修电工必须认真学习，严格遵守。

10-35 什么是单相触电？

在中性点接地的电网中，当人体接触一根相线（火线）时，人体将承受220V的相电压，电流通过人体、大地和中性点的接地装置形成闭合回路，造成单相触电，如图10-12所示。此外，在高压电气设备或带电体附近，当人体与高压带电体的距离小于规定的安全距离时，将发生高压带电体对人体放电，造成触电，这种触电方式也称为单相触电。

在中性点不接地的电网中，如果线路的对地绝缘不良，也会造成单相触电。

在触电事故中，大部分属于单相触电。

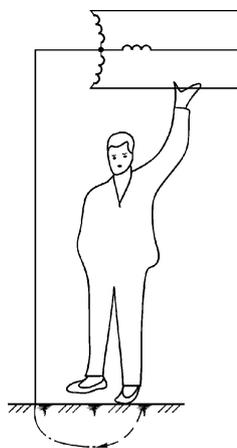


图 10-12 单相触电

10-36 什么是两相触电？

人体与大地绝缘的时候，同时接触两根不同的相线或人体同

时接触电气设备不同相的两个带电部分时，这时电流由一根相线经过人体到另一根相线，形成闭合回路。这种情形称为两相触电，此时人体上的电压比单相触电时高，后果更为严重，如图 10-13 所示。

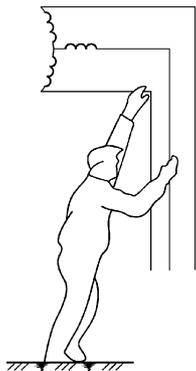


图 10-13 两相触电

10-37 什么是跨步电压触电？

当架空线路的一根带电导线断落在地上时，以落地点为中心，在地面上会形成不同的电位。如果此时人的两脚站在落地点附近，两脚之间就会有电位差，即跨步电压。由跨步电压引起的触电，称为跨步电压触电，如图 10-14 所示。

当发生跨步电压触电时，先感觉到两脚麻木、发生抽筋以致跌倒，跌倒后，由于手、脚之间的距离加大，电压增高，心脏串联在电路中，人就有生命危险。跨步电压的高低

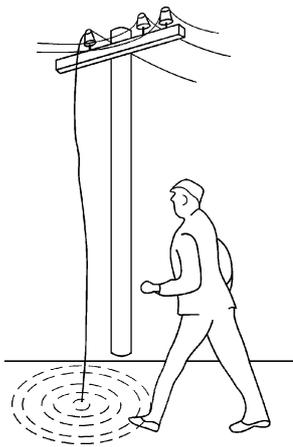


图 10-14 跨步电压触电

决定于人体与导线落地点的距离，距导线落地点越近，跨步电压越高危险性越大，距导线落地点越远，电流越分散，地面电位也越低。当人体与导线落地点距离达到 20m 以上，地面电位近似等于零，跨步电压也为零，就不会发生跨步电压触电。因此，遇到这种危险场合，应合拢双脚跳离接地处 20m 之外，以保障人身安全。

10-38 什么是接触电压触电？

人体与电气设备的带电外壳相接触而引起的触电，称为接触电压触电。如图 10-15 所示。当电气设备（如变压器、电动机等）的绝缘损坏而使外壳带电时，电流将通过接地装置注入大地，同时在以接地点为中心的地面上形成不同的电位。如果此时人体触及带电的设备外壳，便会发生接触电压触电。而接触电压又等于相电压减去人体站立点的地面电位，所以人体站立点离接地点越近，接触电压越小；反之，接触电压就越大。

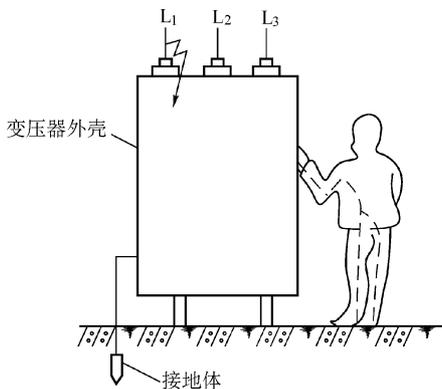


图 10-15 接触电压触电

当电气设备的接地线断路时，人体触及带电外壳的触电情况与单相触电情况相同。

10-39 怎样使触电者迅速脱离电源？

当发现有人触电时，首先应切断电源开关，或用木棒、竹竿等不导电的物体挑开触电者身上的电线，也可用干燥的木把斧头等砍断靠近电源侧电线，砍电线时，要注意防止电线断落到别人或自己身上。

如果发现在高压设备上有人触电时，应立即穿上绝缘鞋，戴上绝缘手套，并使用适合该电压等级的绝缘棒作为工具，使触电者脱离带电设备。

使触电者脱离电源时，千万不能用手直接去拉触电者，更不能用金属或潮湿的物件去挑电线，否则救护人员自己也会触电。在夜间或风雨天救人时，更应注意安全。

10-40 对触电不太严重者如何救护？

触电者脱离电源后，如果神志清醒，只是感到有些心慌、四肢发麻、全身无力；或者触电者在触电过程中曾一度昏迷，但很快就恢复知觉。在这种情况下，应使触电者在空气流通的地方静卧休息，不要走动，让他自己慢慢恢复正常，并注意观察病情变化，必要时可请医生前来诊治或送医院。

10-41 对触电严重者如何救护？

1. 人工呼吸法

具体做法是：先使触电人脸朝上仰卧，头抬高，鼻孔尽量朝天，救护人员一只手捏紧触电人的鼻子，另一只手掰开触电者的嘴，救护人员紧贴触电者的嘴吹气，如图 10-16a 所示。也可隔一层纱布或手帕吹气，吹气时用力大小应根据不同的触电人而有所区别。每次吹气要以触电人的胸部微微鼓起为宜，吹气后立即将嘴移开，放松触电人的鼻孔使嘴张开，或用手拉开其下嘴唇，使空气呼出，如图 10-16b 所示。吹气速度应均匀，一般为每 5s 重复一次（吹 2s、放 3s）。如果触电人已开始恢复自主呼吸，还

应仔细观察呼吸是否还会停止。如果再度停止，应再进行人工呼吸，但这时人工呼吸要与触电者微弱的自主呼吸规律一致。

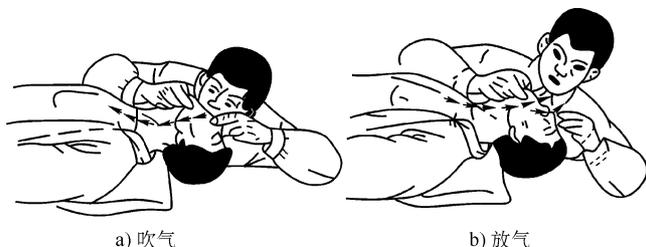


图 10-16 口对口人工呼吸

2. 胸外心脏挤压法

胸外心脏挤压法是触电者心脏停止跳动后的急救方法。做胸外心脏挤压法时，应使触电者仰卧在比较坚实的地方，如木板、硬地上。救护人员双膝跪在触电者一侧，将一手的掌根放在触电者的胸骨下端如图 10-17a 所示，另一只手叠于其上如图 10-17b 所示，靠救护人员上身的体重，向胸骨下端用力加压，使其陷下 3cm 左右，如图 10-17c 所示，随即放松（注意手掌不要离开胸壁），让其胸廓自行弹起，如图 10-17d 所示。如此有节奏地进行挤压，每分钟 100 次左右为宜。

胸外心脏挤压法可以与人工呼吸法同时进行，如果有两人救护，可同时采用两种方法；如果只有一人救护，可交替采用两种方法，先挤压心脏 30 次，再吹一次气，如此反复进行效果较理想。

在抢救过程中，如果发现触电者皮肤由紫变红，瞳孔由大变小，则说明抢救收到了效果。当发现触电者能够自己呼吸时，即可停止做人工呼吸，如人工呼吸停止后，触电者仍不能自己维持呼吸，则应立即再做人工呼吸，直至其脱离危险。

此外，对于与触电同时发生的外伤，应视情况酌情处理。对于不危及生命的轻度外伤，可放在触电急救之后处理；对于严重

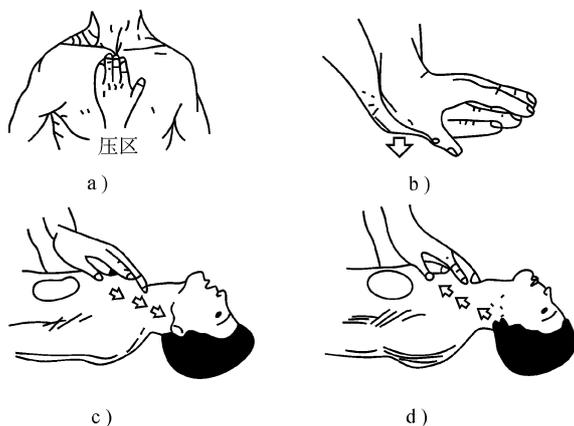


图 10-17 胸外心脏挤压法

的外伤，应与人工呼吸和胸外心脏挤压同时进行处理；如果伤口出血较多应予以止血，为避免伤口感染，最好予以包扎，使触电者尽快脱离生命危险。

参 考 文 献

- [1] 高玉奎. 简明维修电工手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 闫和平. 低压配电技术问答 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [3] 杨清德. LED 照明工程与施工 [M]. 北京: 金盾出版社, 2009.
- [4] 周绍敏. 电工基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [5] 周希章. 电工技术手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [6] 刘震, 等. 室内配线与照明 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [7] 张祥军, 等. 工厂变配电技术 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2005.
- [8] 孙丽君. 常用电工仪表与测量技术问答 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [9] 王广仁. 电工安全作业手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [10] 孙克军. 电工手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [11] 张公伯, 等. 电工安全必读 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [12] 孙克军. 简明农村电工手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.

电工入门问答丛书

高压电工入门问答

→ **低压电工入门问答**

维修电工入门问答

建筑电工入门问答

© ISBN 978-7-111-36201-2

© 封面设计\电脑制作：陈沛

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

ISBN 978-7-111-36201-2



9 787111 362012 >

定价：28.00元