



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定



维修电工与实训

下 册 电工中高级实训

Weixiu Diangong Yu Shixun
Diangong Zhonggaoji Shixun

主 编◎唐义锋
主 审◎倪 伟



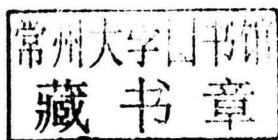
北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

维修电工与实训 (下册)

——电工中高级实训

主 编 唐义锋
副主编 姚年春 罗 斌
于宝俭 徐瑾瑜



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书借鉴 CDIO 工程教育理念,采用任务驱动,项目导向,以《中华人民共和国职业技能鉴定规范——维修电工》内容为主线,将维修电工应知、应会内容整合为九个任务,分成上、下两册进行编写。本书为下册——电工中高级实训,内容包括任务一 电动机控制线路的设计、安装与调试,任务二 用可编程控制器进行项目设计,任务三 直流调速与控制系统的安装与调试,任务四 交流调速系统的设计与调试,任务五 三相变压器的检测,附录 1 维修电工中级工操作技能样题及评分标准,附录 2 维修电工高级工操作技能样题及评分标准。

本书可用作高职、高专和各类成人教育机电、数控、电气自动化及电子信息类专业学生中、高级维修电工培训的实践教材,也可供机电、数控、电子、电气专业的设备设计、维修、维护技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

维修电工与实训. 下册, 电工中高级实训/唐义锋主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 7 (2018. 1 重印)

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9287 - 0

I. ①维… II. ①唐… III. ①电工 - 维修 IV. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 113881 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津紫阳印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 437 千字

版 次 / 2014 年 7 月第 1 版 2018 年 1 月第 2 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

Preface

本书借鉴 CDIO 工程教育理念，采用任务驱动，项目导向，以《中华人民共和国职业技能鉴定规范——维修电工》内容为主线，将维修电工应知、应会内容整合为九个任务，分成上、下两册进行编写。

上册内容包括任务一 设计电气设备的安全防护系统和安全用电系统，能实施触电急救，任务二 营造企业生产现场管理环境，设计电子产品生产工艺，进行简单产品生产，任务三 学会使用电工仪器仪表，能进行万用表及家庭照明电路的安装调试，任务四 学会分析电子电路的原理，能进行无线电装接，附录 1 电子装接中级工自测题库及答案，附录 2 电子装接中级工操作技能样题及评分标准。

本书为下册——电工中高级实训，内容包括任务一 电动机控制线路的设计、安装与调试，任务二 用可编程控制器进行项目设计，任务三 直流调速与控制系统的安装与调试，任务四 交流调速系统的设计与调试，任务五 三相变压器的检测，附录 1 维修电工中级工操作技能样题及评分标准，附录 2 维修电工高级工操作技能样题及评分标准。

全书采用项目化设计，通过项目实施使学生在掌握技术、技能的同时学会解决问题的一般方法，力求浓缩精炼，突出针对性、典型性、实用性，使之更有利于指导工学结合实践。

本书由江苏财经职业技术学院唐义锋担任主编并统稿，由江苏财经职业技术学院罗斌、姚年春、金凤集团于宝俭、无锡商业职业技术学院徐瑾瑜担任副主编。其中，唐义锋编写任务三、任务四的部分项目及部分维修电工中高级职业技能鉴定样题，罗斌编写任务四、任务五的部分项目，姚年春编写任务一、任务二的部分项目，于宝俭编写任务二、任务五的部分项目、维修电工中高级工操作技能样题，徐瑾瑜编写任务二的部分项目，冯辉编写任务一、任务二的部分项目。江苏财经职业技术学院丁琳、徐大诏等同志参与了书稿的校对工作。

由于篇幅受限，维修电工中级工自测题库及答案、维修电工高级工自测题库及答案未在本书体现，读者可在 www.bitpress.com.cn 网站下载。

在编写过程中，得到了江苏瑞特电子设备有限公司、无锡华阳科技有限公司和淮安金恒泰科技有限公司、江苏沙钢集团淮钢特钢有限公司等合作单位领导和技术人员的大力支持，他们在提供了大量翔实技术资料的同时，还提供嵌入到课程教学中进行工学结合一体化训练的产品，共建了项目实施的实训场所；在编写、审定过程中，江苏沙钢集团淮钢特钢有限公司高级工程师唐明兵等同志进行了初审，提出了许多宝贵意见和建议，在此一并表示由衷地感谢。

本书由淮阴工学院倪伟教授主审，并提出了许多宝贵意见和建议。编者在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，编者查阅和参考了大量文献资料，并引用了参考文献中有关章节内容，在此表示感谢。由于采用工程项目研究思路进行教材编写，打破了传统方式，加之编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者指正。

编 者



目 录

Contents

► 任务一 电动机控制线路的设计、安装与调试	1
项目 1 三相异步电动机点动及单向运行控制线路的安装与调试	2
项目描述	2
项目分析	2
知识链接	2
项目实施	8
项目评价	13
拓展训练	13
项目 2 三相异步电动机的正反转起动控制线路的安装与调试	13
项目描述	13
项目分析	13
知识链接	14
项目实施	15
项目评价	19
拓展训练	19
项目 3 两级传送带顺序起动、顺序停止控制线路的安装与调试	19
项目描述	19
项目分析	19
知识链接	20
项目实施	21
项目评价	23
拓展训练	24
项目 4 三相较大功率异步电动机星形 - 三角形降压起动控制线路的安装与调试	24
项目描述	24
项目分析	24
知识链接	24

项目实施	26
项目评价	29
拓展训练	30
项目 5 采用继电器接触器控制的动力滑台控制线路的安装与调试	30
项目描述	30
项目分析	30
知识链接	30
项目实施	31
项目评价	33
拓展训练	34
项目 6 能耗制动电路设计与安装	34
项目描述	34
项目分析	34
知识链接	34
项目实施	36
项目评价	38
拓展训练	38
► 任务二 用可编程控制器进行项目设计	39
项目 1 用 PLC（FX2N）实现对单级输送带电动机的控制	39
项目描述	39
项目分析	40
知识链接	40
项目实施	57
项目评价	59
拓展训练	60
项目 2 用 PLC（FX2N）实现对小车运动的控制	60
项目描述	60
项目分析	60
知识链接	61
项目实施	62
项目评价	65
拓展训练	66
项目 3 用 PLC（FX2N）实现对三级传送带电动机的控制	66

项目描述	66
项目分析	66
知识链接	67
项目实施	69
项目评价	72
拓展训练	73
项目 4 用 PLC (FX2N) 对电动机进行星形 - 三角形降压起动控制	73
项目描述	73
项目分析	73
知识链接	73
项目实施	75
项目评价	78
拓展训练	78
项目 5 用 PLC (S7—300) 实现对单级输送带电动机的控制	78
项目描述	78
项目分析	79
知识链接	79
项目实施	95
项目评价	98
拓展训练	98
项目 6 用 PLC (S7—300) 实现对小车运动的自动控制	99
项目描述	99
项目分析	99
知识链接	99
项目实施	99
项目评价	103
拓展训练	103
项目 7 用 PLC (S7—300) 实现对三级传送带电动机的控制	103
项目描述	103
项目分析	104
知识链接	104
项目实施	104
项目评价	108
拓展训练	109
项目 8 用 PLC (S7—300) 实现对电动机星形 - 三角形降压起动的控制	109

项目描述	109
项目分析	109
知识链接	109
项目实施	109
项目评价	112
拓展训练	112
 ► 任务三 直流调速与控制系统的安装与调试	 113
 项目 1 使用电子元器件设计 PID 调节器	 114
项目描述	114
项目分析	114
知识链接	114
项目实施	117
项目评价	120
拓展训练	120
项目 2 设计电压负反馈单闭环有静差调速系统	121
项目描述	121
项目分析	121
知识链接	121
项目实施	127
项目评价	128
拓展训练	129
项目 3 转速、电流双闭环不可逆直流调速系统的设计与调试（无静差）	129
项目描述	129
项目分析	129
知识链接	129
项目实施	134
项目评价	138
拓展训练	138
项目 4 设计一种具有自然环流的可逆直流调速系统	138
项目描述	138
项目分析	139
知识链接	139
项目实施	148

项目评价	150
拓展训练	150
► 任务四 交流调速系统的设计与调试	151
项目 1 双闭环三相异步电动机调压调速系统的设计	152
项目描述	152
项目分析	152
知识链接	152
项目实施	156
项目评价	160
拓展训练	161
项目 2 双闭环三相异步电动机串级调速系统的设计	161
项目描述	161
项目分析	161
知识链接	161
项目实施	166
项目评价	170
拓展训练	171
项目 3 应用 PLC 与变频器控制电动机的定速正、反转	171
项目描述	171
项目分析	171
知识链接	171
项目实施	183
项目评价	187
拓展训练	187
项目 4 地源热泵空调设备中变频恒压供水系统的设计	188
项目描述	188
项目分析	188
知识链接	188
项目实施	190
项目评价	193
拓展训练	193
项目 5 应用 PLC 与变频器控制电动机进行定时多段转速运行	194
项目描述	194

项目分析	194
知识链接	194
项目实施	199
项目评价	204
拓展训练	204
项目6 应用触摸屏、PLC、变频器控制电动机进行防共振点正反转运行	205
项目描述	205
项目分析	205
知识链接	205
项目实施	210
项目评价	218
拓展训练	219
► 任务五 三相变压器的检测	220
项目1 三相变压器钟点组接与极性测试	220
项目描述	220
项目分析	220
知识链接	221
项目实施	231
项目评价	231
项目2 三相变压器参数测试	232
项目描述	232
项目分析	232
知识链接	232
项目实施	234
项目评价	234
► 附录1 维修电工中级工操作技能样题及评分标准	235
维修电工中级工操作技能考核准备通知单（考场）1	235
维修电工中级工操作技能考核准备通知单（考生）1	239
维修电工中级工操作技能考核评分记录表1	239
维修电工中级工操作技能考核分项目评分记录表及评分标准	240
维修电工中级工操作技能考核试卷1	245

维修电工中级工操作技能考核准备通知单（考场）2	248
维修电工中级工操作技能考核准备通知单（考生）2	253
维修电工中级工操作技能考核评分记录表2	253
维修电工中级工操作技能考核分项目评分记录表及评分标准	254
维修电工中级工操作技能考核试卷2	259
► 附录2 维修电工高级工操作技能样题及评分标准	264
维修电工高级工操作技能考核试卷1	264
维修电工高级工操作技能考核评分记录表1	268
维修电工高级工操作技能考核分项目评分记录表及评分标准	269
维修电工高级工操作技能考核试卷2	275
维修电工高级工操作技能考核评分记录表2	280
维修电工高级工操作技能考核分项目评分记录表及评分标准	281
► 参考文献	289

任务一

电动机控制线路的设计、安装与调试

【教学目标】

- (1) 了解电动机控制线路的安装和调试的原则、方法等。
- (2) 掌握三相异步电动机起、停和正反转控制线路的设计。
- (3) 掌握三相异步电动机的星形-三角形降压起动控制线路的设计。
- (4) 掌握继电器接触器对动力滑台的控制线路的安装接线。
- (5) 掌握三相异步电动机的能耗制动线路的安装接线。

【任务描述】

对于电动机的控制是目前工业控制中最常见的内容，本任务通过具体的项目来介绍电动机控制线路的设计、安装布线与调试维修等方面的知识。

本任务根据实际工作中使用的需求，选择了6个典型项目，主要包括三相异步电动机点动及单向运行控制线路的安装与调试；三相异步电动机的正反转起动控制线路的安装与调试；两级传送带顺序起动、顺序停止控制线路的安装与调试；三相较大功率异步电动机星形-三角形降压起动控制线路的安装与调试；采用继电器接触器控制的动力滑台控制线路的安装与调试；能耗制动电路的设计与安装。

通过本任务的训练，使得学生掌握电动机控制线路安装和调试的基本知识，能够按照控制功能的要求进行电动机控制线路的简单设计，掌握基本的电动机控制功能线路的安装布线和调试方法。

项目1 三相异步电动机点动及单向运行控制线路的安装与调试

项目描述

设计一套控制线路，能够实现对三相异步电动机进行点动及单向运行控制。并根据电动机型号及电气原理图选用元器件及部分电工器材；按电气原理图装接控制线路；通电空载试运行成功。

项目分析

本项目是对电动机控制的最基本操作，通过对三相电动机点动及单向运行控制线路的实际安装接线训练，能够掌握电动机控制线路的安装、接线与调试的方法。因此，本项目实施需要了解三相异步电动机控制电路的一般原则、控制电路中各种保护的设计方法，能进行电气原理图的绘制与识读，了解控制线路的安装接线步骤。

知识链接

1. 三相异步电动机控制电路的一般原则

生产机械的电气控制线路都是根据生产工艺过程的控制要求设计的，而生产工艺过程必然伴随着一些物理量的变化，如行程、时间、速度、电流等。这就需要某些电器能准确地测量和反映这些物理量的变化，并根据这些量的变化对电动机实现自动控制。电动机控制的一般原则有行程控制原则、时间控制原则、速度控制原则和电流控制原则。

1) 行程控制原则

根据生产机械运动部件的行程或位置，利用位置开关来控制电动机的工作状态称为行程控制原则。行程控制原则是生产机械电气自动化中应用最多和作用原理最简单的一种方式。如工作台自动往返行程控制线路就是按行程原则来控制的。

2) 时间控制原则

利用时间继电器按一定时间间隔来控制电动机的工作状态称为时间控制原则，如电动机的降压起动、制动及变速过程中，利用时间继电器按一定时间间隔改变线路的接线方式，以自动完成电动机的各种控制要求。在这里，换接时间的控制信号由时间继电器发出，换接时间的长短则根据生产工艺要求或者电动机的起动、制动和变速过程的持续时间来整定时间继电器的动作时间。如星形-三角形降压起动控制线路就是按时间原则来控制的。

3) 速度控制原则

根据电动机的速度变化，利用速度继电器等来控制电动机的工作状态称为速度控制原则。反映速度变化的电器有多种。直接测量速度的电器有速度继电器、小型测速发电机。间接测量电动机速度分两类：对于直流电动机用其感应电动势来反映，通过电压继电器来控

制；对于交流绕线式异步电动机可用转子频率来反映，通过频率继电器来控制。反接制动控制线路就是利用速度继电器来进行速度控制的。

4) 电流控制原则

根据电动机主回路电流的大小，利用电流继电器来控制电动机的工作状态称为电流控制原则。如机床横梁夹紧机构的自动控制线路就是按行程控制原则和电流控制原则来控制的。

2. 电动机的保护

电动机在运行的过程中，除按生产机械的工艺要求完成各种正常运转外，还必须在线路出现短路、过载、过电流、欠压、失压及失磁等现象时，能自动切断电源停止转动，以防止和避免发生电气设备和机械设备的损坏事故，保证操作人员的人身安全。为此，在生产机械的电气控制线路中，采取了对电动机的各种保护措施。常用的电动机的保护有短路保护、过载保护、欠压保护、失压保护、过流保护及失磁保护等。

1) 短路保护

当电动机绕组和导线的绝缘损坏时，或者控制电器及线路损坏发生故障时，线路将出现短路现象，产生很大的短路电流，使电动机、电器、导线等电器设备严重损坏。因此，在发生短路故障时，保护电器必须立即动作，迅速将电源切断。

常用的短路保护电器是熔断器和自动空气断路器。熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔断器的熔体不起作用，相当于一根导线，其上面的压降很小，可忽略不计。当电路短路时，很大的短路电流流过熔体，使熔体立即熔断，切断电动机电源，电动机停转。同样若电路中接入自动空气断路器，当出现短路时，自动空气断路器会立即动作，切断电源使电动机停转。

2) 过载保护

当电动机负载过大，起动操作频繁或缺相运行时，会使电动机的工作电流长时间超过其额定电流，电动机绕组过热，温升超过其允许值，导致电动机的绝缘材料变脆，寿命缩短，严重时会使电动机损坏。因此，当电动机过载时，保护电器应动作切断电源，使电动机停转，避免电动机在过载下运行。

常用过载保护电器是热继电器。当电动机的工作电流小于额定电流时，热继电器不动作，电动机正常工作；当电动机短时过载或过载电流较小时，热继电器不动作，只有经过较长时间过载热继电器才动作；当电动机过载电流较大时，串接在主电路中的热元件会在较短时间内发热弯曲，使串接在控制电路中的常闭触点断开，切断控制电路电源从而使主电路的电源断开，使电动机停转。

3) 欠压保护

当电网电压降低，电动机便在欠压下运行。由于电动机载荷没有改变，所以欠压下电动机转速下降，定子绕组中的电流增加。因此电流增加的幅度尚不足以使熔断器和热继电器动作，所以这两种电器起不到保护作用。如不采取保护措施，时间一长将会使电动机过热损坏。另外，欠压将引起一些电器释放，使电路不能正常工作，也可能导致人身伤害和设备损坏事故。因此，应避免电动机欠压下运行。

实现欠压保护的电器是接触器和电磁式欠电压继电器。在机床电气控制线路中，只有少数线路专门装设了电磁式电压继电器起欠压保护作用；而大多数控制线路，由于接触器已兼有欠压保护功能，所以不必再加设欠压保护电器。一般当电网电压降低到额定电压的 85%

以下时，接触器（电压继电器）线圈产生的电磁吸力减小到复位弹簧的拉力，动铁心被释放，其主触点和自锁触点同时断开，切断主电路和控制电路电源，使电动机停转。

4) 失压保护（零压保护）

生产机械在工作时，由于某种原因发生电网突然停电，这时电源电压下降为零，电动机停转，生产机械的运动部件随之停止转动。一般情况下，操作人员不可能及时拉开电源开关，如不采取措施，当电源恢复正常时，电动机会自行起动运转，很可能造成人身伤害和设备损坏事故，并引起电网过电流和瞬间网络电压下降。因此，必须采取失压保护措施。

在电气控制线路中，起失压保护作用的电器是接触器和中间继电器。当电网停电时，接触器和中间继电器线圈中的电流消失，电磁吸力减小为零，动铁心释放，触点复位，切断了主电路和控制电路电源。当电网恢复供电时，若不重新按下起动按钮，则电动机就不会自行起动，实现了失压保护。

5) 过流保护

为了限制电动机的起动或制动电流，在直流电动机的电枢绕组中或在交流绕线式异步电动机的转子绕组中需要串入附加的限流电阻。如果在起动或制动时，附加电阻被短接，将会造成很大的起动或制动电流，使电动机或机械设备损坏。因此，对直流电动机或绕线式异步电动机常常采用过流保护。

过流保护常用电磁式过电流继电器来实现。当电动机过流值达到电流继电器的动作值时，继电器动作，使串接在控制电路中的常闭触点断开切断控制电路，电动机随之脱离电源停转，达到了过流保护的目。

6) 失磁保护

直流电动机必须在磁场有一定强度下才能起动正常运转。若在起动时，电动机的励磁电流很小，产生的磁场太弱，将会使电动机的起动电流很大；若电动机在正常运转过程中，磁场突然减弱或消失，电动机的转速将会迅速升高，甚至发生“飞车”。因此，在直流电动机的电气控制线路中要采取失磁保护。失磁保护是在电动机励磁回路中串入失磁继电器（即欠电流继电器）来实现。在电动机起动运转过程中，当励磁电流值达到失磁继电器的动作值时，继电器就吸合，使串接在控制电路中的常开触点闭合，允许电动机起动或维持正常运转；但当励磁电流减小很多或消失时，失磁继电器就释放，其常开触点断开，切断控制电路，接触器线圈失电，电动机断电停转。

3. 绘制、识读电气控制线路原理图的原则

(1) 原理图一般分电源电路、主电路、控制电路、信号电路及照明电路。

电源电路画成水平线，三相交流电源相序 L1、L2 和 L3 由上而下依次排列画出，中线 N 和保护地线 PE 画在相线之下。直流电源则正端在上，负端在下。电源开关要水平画出。

主电路是指进行能量转换的电路，它通过的是电动机的工作电流，电流较大。主电路要与电源电路垂直画在原理图的左侧。

控制电路是指控制主电路工作状态的电路。信号电路是指显示主电路工作状态的电路。照明电路是指实现机床设备局部照明的电路。这些电路通过的电流都较小，画原理图时，控制电路、信号电路、照明电路要跨接在两相电源线之间，依次垂直画在主电路右侧，且电路中的耗能元件（如接触器和断电器的线圈、信号灯、照明灯等）要画在电路的下方，而电器的触点画在耗能元件的上方。

(2) 原理图中, 各电器的触点位置都按电路未通电或电器未受外力作用时的常态位置画出。分析原理时, 应从触点的常态位置出发。

(3) 原理图中, 各电气元件不画实际的外形图, 而采用国家标准统一图形符号画出。

(4) 原理图中, 同一电器的各元件不按它们的实际位置画在一起, 而是按其在线路中所起作用分别画在不同电路中, 但它们的动作却是相互关联的, 必须标以相同的文字符号。接触器 KM 的线圈画在控制电路中, 而 3 对主触点则画在主电路中。若线圈得电, 主触点随即动作, 因此, 均需标以相同的文字符号 KM, 来表示它们属于同一个接触器的元件。若图中相同的电器较多时, 需要在电器文字符号后面加上数字以示区别, 如 KM1 和 KM2 等。

(5) 原理图中, 对有直接电联系的交叉导线连接点, 要用小黑圆点表示, 无直接电联系的交叉导线连接点则不画小黑圆点。

4. 电动机控制线路安装步骤和方法

安装电动机控制线路时, 必须按照有关技术文件执行, 并应适应安装环境的需要。

电动机的控制线路包含电动机的起动、制动、反转和调速等, 大部分的控制线路是采用各种有触点的电器, 如接触器、继电器、按钮等。一个控制线路可以比较简单, 也可以相当复杂。但是, 任何复杂的控制线路总是由一些比较简单的环节有机地组合起来的。因此, 对不同复杂程度的控制线路在安装时, 所需要技术文件的内容也不同。对于简单的电气设备, 一般可把有关资料归在一个技术文件里 (如原理图), 但该文件应能表示电气设备的全部器件, 并能实施电气设备和电网的连接。

电动机控制线路安装步骤和方法如下。

1) 按元器件明细表配齐电气元器件, 并进行检验

所有电气控制元器件, 至少应具有制造厂的名称或商标、型号或索引号、工作电压性质和数值等标志。若工作电压标志在操作线圈上, 则应使装在元器件的线圈的标志是显而易见的。

2) 安装控制箱 (柜或板)

控制板的尺寸应根据电器的安排情况决定。

(1) 电器的安排。尽可能组装在一起, 使其成为一台或几台控制装置。只有那些必须安装在特定位置上的元器件, 如按钮、手动控制开关、位置传感器、离合器、电动机等, 才允许分散安装在指定的位置上。

安放发热元器件时, 必须使箱内所有元器件的温升保持在它们的容许极限内。对发热很大的元器件, 如电动机的起动、制动电阻等, 必须隔开安装, 必要时可采用风冷散热措施。

(2) 可接近性。所有电器必须安装在便于更换、检测方便的地方。

为了便于维修和调整, 箱内电气元器件的部位, 必须位于离地 0.4 ~ 2 m。所有接线端子, 必须位于离地 0.2 m 处, 以便于拆装导线。

(3) 间隔和爬电距离。安排元器件必须符合规定的间隔和爬电距离, 并应考虑有关的维修条件。

控制箱中的裸露、无电弧的带电零件与控制箱导体壁板间的间隙为: 对于 250 V 以下的电压, 间隙应不小于 15 mm; 对于 250 ~ 500 V 的电压, 间隙应不小于 25 mm。

(4) 控制箱内的电器安排。除必须符合上述有关要求外, 还应做到以下几点。

①除了手动控制开关、信号灯和测量仪器外, 门上不要安装任何元器件。