

四川省示范性高职院校建设项目成果

——主编◎何 军 主审◎杨开明

电气控制与PLC

DIANJI KONGZHI YU PLC



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

四川省示范性高职院校建设项目成果

电气控制与 PLC

主 编 何 军

副主编 谢大川 郑 辉

主 审 杨开明

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

本书以任务为载体、项目为驱动,坚持“以学生为中心、以能力培养为本位”的职教思想,倡导“做中学、学中做”的教学理念,彰显理论够用、适用,技能专题化,突出应用技能的培养,内容充实,图文并茂,实用性强。全书有电气控制线路安装基础知识与基本技能、电气控制基本环节、PLC 基础知识、PLC 技术应用、PLC 控制装置设计与调试五个项目,分别介绍了电气图纸识读、电压线路安装工艺、低压电气设备、电动机基本控制环节、PLC 的选用、FX_{2N} 系列基本逻辑指令、经验编程法、技术文件形成与整理、利用 PLC 进行电气控制技术改造与设计等,有利于学习者系统地学习电气控制与 PLC 技术及其应用。

本书可作为高职高专机电类、电气类专业教学用书,也可作为广大工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC / 何军主编. —成都:西南交通大学出版社, 2014.3

四川省示范性高职院校建设项目成果

ISBN 978-7-5643-2927-3

I. ①电… II. ①何… III. ①电气控制②plc 技术
IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 031300 号

电气控制与 PLC

主编 何 军

责任编辑	李芳芳
助理编辑	宋彦博
特邀编辑	张少华
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	16.75
字 数	415 千字
版 次	2014 年 3 月第 1 版
印 次	2014 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2927-3
定 价	33.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

序

在大力发展职业教育、创新人才培养模式的新形势下，加强高职院校教材建设，是深化教育教学改革、推进教学质量工程、全面培养高素质技能型专门人才的前提和基础。

近年来，四川职业技术学院在省级示范性高等职业院校建设过程中，立足于“以人为本，创新发展”的教育思想，组织编写了涉及汽车制造与装配技术、物流管理、应用电子技术、数控技术等四个省级示范性专业，以及体制机制改革、学生综合素质训育体系、质量监测体系、社会服务能力建设等四个综合项目相关内容的系列教材。在编撰过程中，编著者立足于“理实一体”、“校企结合”的现实要求，秉承实用性和操作性原则，注重编写模式创新、格式体例创新、手段方式创新，在重视传授知识、增长技艺的同时，更多地关注对学习者专业素质、职业操守的培养。本套教材有别于以往重专业、轻素质，重理论、轻实践，重体例、轻实用的编写方式，更多地关注教学方式、教学手段、教学质量、教学效果，以及学校和用人单位“校企双方”的需求，具有较强的指导作用和较高的现实价值。其特点主要表现在：

一是突出了校企融合性。全套教材的编写素材大多取自行业企业，不仅引进了行业企业的生产加工工序、技术参数，还渗透了企业文化和管理模式，并结合高职院校教育教学实际，有针对性地加以调整优化，使之更适合高职学生的学习与实践，具有较强的融合性和操作性。

二是体现了目标导向性。教材以国家行业标准为指南，融入了“双证书”制和专业技术指标体系，使教学内容要求与职业标准、行业核心标准相一致，学生通过学习和实践，在一定程度上，可以通过考级达到相关行业或专业标准，使学生成为合格人才，具有明确的目标导向性。

三是突显了体例示范性。教材以实用为基准，以能力培养为目标，着力在结构体例、内容形式、质量效果等方面进行了有益的探索，实现了创新突破，形成了系统体系，为同级同类教材的编写，提供了可借鉴的范样和蓝本，具有很强的示范性。

与此同时，这是一套实用性教材，是四川职业技术学院在示范院校建设过程中的理论研究和实践探索的成果。教材编写者既有高职院校长期从事课程建设和实践实训指导的一线教师和教学管理者，也聘请了一批企业界的行家里手、技术骨干和中高层管理人员参与到教材的编写过程中，他们既熟悉形势与政策，又了解社会和行业需求；既懂得教育教学规律，又深谙学生心理。因此，全套系列教材切合实际，对接需要，目标明确，指导性强。

尽管本套教材在探索创新中存在有待进一步锤炼提升之处，但仍不失为一套针对高职学生的好教材，值得推广使用。

此为序。

四川省高职高专院校
人才培养工作委员会主任
二〇一三年一月二十三日



前 言

本书为适应机电一体化技术和电气自动化技术的发展，培养具有创新和创业能力的、从事机电一体化技术和电气自动化技术工作的高端技能型专门人才，在多年高等职业教学改革与实践的基础上，结合高职教育办学定位、区域自动化行业的岗位需求、校企合作共育人才要求等，为机电一体化技术专业和电气自动化专业编写的电气控制与 PLC 教材。

针对高职教育的特点与要求，编写组的教师们以现代职教理论为引导，以多年的高职教学经验为基础，坚持“以学生为中心、以能力培养为本位”的职教思想，倡导“做中学、学中做”的教学理念，编写出了这本具有以下特色的教材：

（1）基于“项目实施”规划教材目标。

以“任务教学”为载体，将电气控制与 PLC 的内容分解到项目中，将知识与技能融入到每个学习任务中，强调知识、技能、职业素养的有机融合，彰显理论够用、适用，技能专题化，突出应用技能的培养。

（2）基于“能力养成”优化教材结构。

项目驱动是手段，能力养成是目的，通过任务单明确学习任务及要求，按任务学习、技能训练、拓展学习的编写结构，逐渐提升学习者能力，一方面完善课程体系，满足课程对知识与技能的要求，另一方面以技术改造、技术应用为目标，提升学习者知识与应用水平，有助于工程经验的丰富。

（3）基于“工作任务”编写教材内容。

项目与学习任务的编写，都是基于今后工作岗位的能力要求，知识点要求简明、够用，技能点要求专业、实用，能力培养有技术性、针对性和职业性。拓展学习内容有助于拓宽学习者视野，指引拓展能力方向。

本书由四川职业技术学院电子电气工程系副教授、高级工程师何军任主编，四川职业技术学院工程师谢大川、副教授郑辉任副主编。项目一由四川职业技术学院王婷编写，项目二由何军编写，其中项目一的拓展训练、项目二的技能训练由四川明星电力公司工程师彭曦编写，项目三由谢大川编写，项目四、五由郑辉编写。本书由四川职业技术学院副教授杨开明担任主审。

本书在编写过程中，得到了四川职业技术学院电子电气工程系老师们的大力支持及很多宝贵意见。多家机电企业和遂宁电子园区电子企业的技术骨干也为本书的编写提出了许多修改意见。在此向对本书编写工作给予帮助的各位老师和企业技术人员表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正，也热切盼望从事职业教学的教师、企业专家和我们联系，共同探讨教学方案和教材编写等问题。

编 者

2014 年 1 月

目 录

项目一 电气控制线路安装基础知识与基本技能	1
任务一 电气控制系统图识读与绘制	2
任务二 电气控制线路安装工艺	4
任务三 常用低压电器及选择	7
习 题	36
项目二 电气控制基本环节	39
任务一 电动机全压启动控制	39
任务二 电动机正反转控制线路	41
任务三 电动机降压启动控制	43
任务四 电动机电气调速控制	45
任务五 电动机电气制动控制	46
任务六 多台电动机顺序控制	48
任务七 电动机多地控制	49
习 题	55
项目三 PLC 基础知识	59
任务一 PLC 的选用	60
任务二 硬件的选用	85
任务三 FX 系列编程元件选用	94
任务四 FX _{2N} 系列基本逻辑指令	104
任务五 经验编程法	111
任务六 技术文件形成与整理	122
习 题	152
项目四 PLC 技术应用	155
任务一 项目情景功能分析	156
任务二 顺序控制设计法的应用	156
任务三 自动焊锡机功能图绘制	162
任务四 自动焊锡机梯形图的编程	164
任务五 功能表图中几个特殊编程问题	173
习 题	190

项目五 PLC 控制装置设计与调试192

 任务一 复杂系统设计原则与方法192

 任务二 机械手系统情景分析194

 任务三 机械手系统 PLC 程序设计197

 任务四 PLC 控制系统安装工艺与方法201

 任务五 PLC 控制系统的维护和故障诊断206

 习 题257

参考文献.....259

项目一 电气控制线路安装基础知识与基本技能

【项目任务单】

项目任务	低压电气设备选用与控制线路安装工艺		参考学时	10
项目描述	生产设备的工作几乎都是由电动机来拖动的，电气控制就是对拖动系统实施控制，其常用的方式是继电器-接触器控制，它采用接触器、继电器、按钮等低压电器组成控制电路和控制系统。本项目围绕电气控制系统图和低压电器的知识展开学习，讲解低压电气设备的选用与安装、控制线路的识读与工艺要求以及常用电工仪器仪表。			
项目任务目标	专业知识	1. 电气控制系统图的概念 2. 电气控制系统图的图形符号和文字符号 3. 电气原理图绘制原则 4. 电气布置图绘制要求 5. 电气安装接线图绘制要求 6. 电气控制线路安装步骤和工艺要求 7. 低压电器的分类 8. 常用低压电器的用途、结构、工作原理、图形符号、选用和安装注意事项 9. 常用电工工具及仪表的用途和使用方法		
	专业技能	1. 电气原理图的识读和绘制 2. 电气布置图的绘制 3. 电气安装接线图的绘制 4. 电气控制线路的安装 5. 电气控制线路的调试 6. 电气控制线路故障分析和排除能力 7. 常用低压电器的选择、使用 and 安装 8. 常用低压电器的检测 9. 常用电工工具及仪表的使用 10. 会正确操作常用电工工具和电子仪器检测电气控制线路		
	职业素养	1. 严谨的学习态度，科学的求索精神 2. 遵守安全文明操作规范，养成爱护电气设备和仪器的习惯 3. 团队协作能力、组织协调能力 4. 高度的责任心、事业心		
任务完成评价	1. 电气系统图的识读和绘制 2. 常用低压电器的选用 3. 常用电工工具及仪表的使用			

任务一 电气控制系统图识读与绘制

一、电气控制系统图的基本知识

电气控制系统是由电气控制元器件和导线按一定要求连接而成。为了清晰地表达生产机械电气控制系统的结构、工作原理等意图,同时便于系统的安装、调整、使用和维修,将电气控制系统中的各电气元器件用一定的图形符号和文字符号来表示,再将其连接情况用一定的图形表达出来,这种图形就是电气控制系统图。

常用的电气控制系统图有电气原理图、电气布置图和电气安装接线图。

二、图形符号和文字符号

1. 图形符号

图形符号通常用于图样或其他文件,用以表示电气设备、电气元器件或概念的图形、标记或字符。电气控制系统图中的图形符号必须按国家最新标准绘制,即 GB/T 4728—2005—2008《电气简图用图形符号》。

2. 文字符合

文字符合分为基本文字符号和辅助文字符号。文字符号适用于电气技术领域技术文件的编制,也可在电路图中用来区分不同的电气设备、电气元器件或在区分同类设备、电气元器件时,在相对应的图形、标记旁标注其名称、功能、状态和特征。文字符号也必须按国家最新标准,即 GB/T 5094—2003—2005《工业系统、装置与设备以及工业产品——结构原则与参照代号》和 GB/T 20939—2007《技术产品及技术产品文件结构原则》。

三、绘制、识读电气控制系统图的原则

1. 电气原理图绘制识读原则

电气原理图是用来表示电路各电气元器件中导电部件的连接关系和工作原理的图。该图采用将电气元件以展开的形式绘制而成;包括所有电气元件的导电部件和接线端点。电气原理图并不按照电气元件的实际安装位置来绘制,也不反映电气元件的大小和安装位置。电气原理图便于操作者详细了解其控制对象的工作原理,用以指导安装、调试与维修以及为绘制接线图提供依据,在设计部门和生产现场有广泛的应用。

现以图 1.1 所示的 C620-1 型普通车床电气原理图为例说明绘制电气原理图的原则和注意事项。

(1) 电气原理图分为主电路和辅助电路两部分。主电路是从电源到电动机的电路,绘制在图纸的左侧或上方,线条用粗实线;辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路等,绘制在图纸的右侧或下方,用细实线。主电路和辅助电路可以绘制在一起,也可以分开绘制。

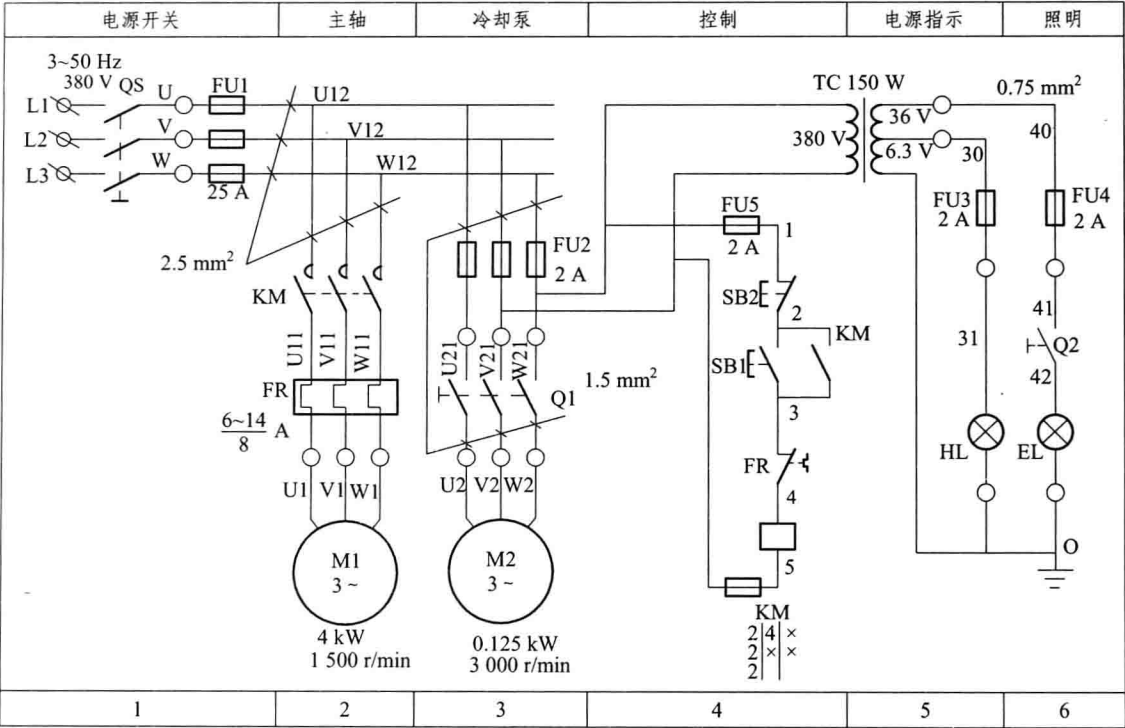


图 1.1 C620-1 型普通车床电气原理图

(2) 电气原理图中所有电气设备都应采用国家标准中统一规定的图形符号和文字符号表示。文字符号一般标注在触点的侧面或线圈的下方。各个电气元件和部件在控制线路中的位置，应根据便于阅读、按功能布置来安排。布置的顺序应为从左到右或从上到下，同一元件的各个部件根据作用可以画在图纸中的不同位置，但应标相同的文字符号。

(3) 图中元件、器件和设备的可动部分，都按没有通电和没有外力作用时的自然状态画出。电气原理图可以水平布置，也可以垂直布置。垂直布置时，相类似的项目应横向对齐，水平布置时，相类似的项目应纵向对齐。

(4) 在电路图中，有直接联系的交叉导线连接点要用实心圆点表示；无直接联系的交叉导线连接点不画实心圆点；对于需要测试和拆装的外部引线的端子，采用空心圆表示。

(5) 为便于确定原理图的内容和组成部分在图中的位置，利于检索电气线路，常在图纸上分区，上方为该区电路的用途和作用，下方为图区号。根据需要可在电路图中各接触器或继电器线圈的下方，绘制出所对应的触点所在位置的位置符号图。其中左栏为常开触头所在图区号，右栏为常闭触头所在图区号。

(6) 电气原理图中各电气元件的相关数据和型号，常标注在相关电气元件文字符号的下方。如图 1.1 中热继电器文字符号 FR 下方标有 6~14 A，该数据为热继电器的动作电流值范围，而 8 A 为该热继电器的整定电流值。

2. 电气布置图

电气元件布置图主要是用来表明电气系统中所有电气元件的实际位置，为生产机械电气控制设备的制造、安装提供必要的资料，是控制设备生产及维护的技术文件。一般情况下，

电气布置图是与电气安装接线图组合在一起使用的，既起到电气安装接线图的作用，又能清晰表示出所使用的电器的实际安装位置。电气元件布置应注意以下几点：

- （1）体积大和较重的电气元件应安装在电器板的下面，而发热元件应安装在电器板的上面。
- （2）强电、弱电分开并注意屏蔽，防止外界干扰。
- （3）电气元件的布置应考虑整齐、美观、对称。外形尺寸与结构类似的电气元件应安放在一起，以利于加工、安装和配线。
- （4）需要经常维护、检修、调整的电气元件安装位置不宜过高或过低。
- （5）电气元件布置不宜过密，应留有一定间距。若采用板前走线槽配线方式，应适当加大各排电气元件间距，以利于布线和维修。

电气布置图根据电气元件的外形尺寸绘出，并标明各元器件间距尺寸。控制盘内电气元件与盘外电气元件的连接应经接线端子进行，在电气布置图中应画出接线端子板并按一定顺序标出接线号。如图 1.2 所示为 CW6132 型车床控制盘电气布置图。

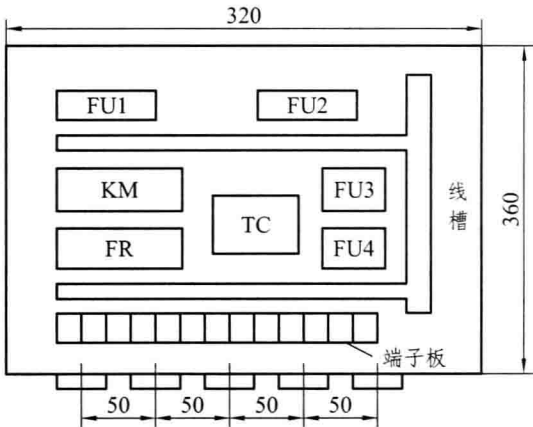


图 1.2 CW6132 型车床控制盘电气布置图

任务二 电气控制线路安装工艺

一、电气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。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。电气控制线路安装步骤和工艺如下：

- （1）根据控制要求绘制电气控制原理图。
- （2）填写元件明细表，并按元件明细表配齐电气元件，并进行检验。

电气元件明细表是把成套装置、设备中的各组成元件（包括电动机）的名称、型号、规格、数量列成表格，供准备材料及安装维修使用。

（3）根据电气原理图绘制电器布置图和电器安装接线图。

电气安装接线图是用规定的图形符号，按各电气元件相对位置绘制的实际接线图。所表示的是各电气元件的相对位置和它们之间的电路连接状况。在绘制时，不但要画出控制柜内部各电气元件之间的连接方式，还要画出外部相关电气元件的连接方式。

绘制接线图的要求如下：

（1）电源开关、熔断器、交流接触器、热继电器画在配电板内部，电动机、按钮画在配电板外部。

（2）安装在配电板上的元件布置应根据配线合理，操作方便，保证电气间隙不能太小，重的元件放在下部，发热元件放在上部等原则进行，元件所占面积按实际尺寸以统一比例绘制。

（3）各电气元件的图形符号和文字符号必须和原理图完全一致，并符合国家标准。

（4）各电气元件上凡是需要接线的部件端子都应绘出并予以编号，各接线端子的编号必须与原理图的导线编号相一致。

（5）电气配电板内电气元件之间的连线可以互相对接，配电板内接至板外的连线通过接线端子板进行。

（6）因配电线路连线太多，因而走向相同的相邻导线可以绘成一股线。

二、电气控制线路安装工艺及要求

1. 检验元件质量

应在不通电的情况下，用万用表、蜂鸣器等检查各元件是否功能完好，特别是各触点的分、合情况是否良好。检验接触器时，应拆卸灭弧罩，用手同时按下三副主触点并用力均匀；若不拆卸灭弧罩检验时，切忌将旋具用力过猛，以防触点变形。同时应检查接触器线圈电压与电源电压是否相符。

2. 布置、固定电器

依照电器布置图用固定螺栓把电气元件按确定的位置（安装前应核对器件的型号、规格，检查其性能是否良好）逐个固定在配电板上。各元件的安装位置应整齐、匀称、间距合理和便于更换元件。

3. 配 线

在进行电气控制板安装配线时，一般采用明配线即板前配线。明配线的一般原则如下：

（1）选取合适的导线，明配线一般选用 BV 型单股塑料硬线或 BVR 多芯软线作连接导线。

（2）考虑好元器件之间连接线的走向、路径；导线不重叠、不交叉、不架空、不跨接。

（3）根据导线的走向和路径，量取连接点之间的长度，截取适当长度的导线并理直。所有导线的连接必须牢固，不得松动。导线与端子连接，一般一个端子只连接一根导线。如果采用专门设计的端子，可以连接两根或多根导线，但导线的连接方式，必须是工艺上成熟的

各种方式。如夹紧、压接、焊接、绕接等。保证连接接触良好，不压绝缘线，用电工刀或剥线钳剥去两端的绝缘层，裸露线头不超过 1 mm。

(4) 按先控制电路后主电路的顺序接线，选线合理。走线通道应尽可能少，同一通道中的沉底导线，按主、控电路分类集中，单层平行密排，并紧贴敷设面。根据导线应走的方向和路径，做到走线横平竖直，每个转角需用尖嘴钳将其都弯成 90° 角（尤其要注意不能破坏导线绝缘层）。

(5) 导线上需套上与原理图相对应的号码套管。

导线线号的标志应与原理图和接线图相符合，并在每一根连接导线的线头上套上标有线号的套管，位置应接近端子处。线号编制方法如下：

① 主电路：三相电源按相序自上而下编号为 L1、L2、L3；经过电源开关后，在出线端子上按相序依次编号为 U11、V11、W11。主电路中各支路的，应从上至下、从左至右，每经过一个电气元件的线桩后，编号要递增，如 U11、V11、W11，U12、V12、W12…。单台三相交流电动机（或设备）的三根引出线按相序依次编号为 U、V、W（或用 U1、V1、W1 表示），多台电动机引出线的编号，为了不致引起误解和混淆，可在字母前冠以数字来区别，如 1U、1V、1W，2U、2V、2W…。在不产生矛盾的情况下，字母后应尽可能避免采用双数字，如单台电动机的引出线采用 U、V、W 的线号标志时，三相电源开关后的出线编号可为 U1、V1、W1。当电路编号与电动机线端标志相同时，应三相同时跳过一个编号来避免重复。

② 控制电路与照明、指示电路：应从上至下、从左至右，逐行用数字来依次编号，每经过一个电气元件的接线端子，编号要依次递增。编号的起始数字，除控制电路必须从阿拉伯数字 1 开始外，其他辅助电路依次递增 100 作起始数字，如照明电路编号从 101 开始，信号电路编号从 201 开始，等等。

(6) 在所有导线连接后，对其进行整理。

(7) 配线完毕后，根据图样检查接线是否正确。

4. 电气控制板安装检查

电气控制板全部安装完毕后，在通电前必须进行如下项目的认真检查：

(1) 清理电气控制板及周围的环境。

(2) 对照原理图与接线图检查各电气元件安装配线是否正确、可靠；检查线号、端子号是否一致。

(3) 各个电气元件安装是否正确和牢靠。用万用表检查主电路、控制电路是否存在短路、断路的情况。控制电路是否满足原理图所要求的各种功能。

(4) 各种安全保护措施是否可靠，电动机的安装是否符合要求。

(5) 进行必要的绝缘耐压检验。

5. 空载例行试验

通电试车前，应检查所接电源是否符合要求。通电后能进行点动的先点动，然后验证电气设备的各个部分工作是否正确以及操作顺序是否正常，特别要注意验证急停器件的动作是否正确。验证时，如有异常情况，必须断电检查，直到试车达到控制要求。

6. 负载形式试验

在正常负载下连续运行,验证电气设备所有部分运行的正确性,特别要验证电源中断和恢复时是否会危及人身安全、损坏设备。同时要验证全部器件的温升不得超过规定的允许温升和在有载情况下验证急停器件是否仍然安全有效。

任务三 常用低压电器及选择

一、低压电器的分类

(一) 低压电器的分类方式

低压电器是工作在交流电压1 200 V或直流电压1 500 V及以下的电器。它的作用是对供、用电系统进行开关、控制、保护和调节。

低压电器的种类繁多,用途广泛,常用的分类方式有以下三种:

1. 按用途和控制对象分类

(1) 低压配电电器。用于低压供电系统中进行电能的传输和分配的电器。电路出现故障(过载、短路、欠压、失压、断相、漏电等)起保护作用,断开故障电路,对这类电器要求分断能力强,限流效果好,动稳定及热稳定性能好,如熔断器、低压断路器等。

(2) 低压控制电器。用于各种控制电路和控制系统的电器,能分断过载电流,但不能分断短路电流,操作频率高,电气和机械寿命长,如接触器、继电器等。

2. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器。电磁机构控制电器动作,如电磁式继电器。

(2) 非电量控制电器。非电磁式控制电器动作,如速度继电器。

3. 按工作方式分类

(1) 手动电器,如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器,如接触器、继电器等。

电压电器具有工作准确可靠、操作效率高、寿命长、体积小、使用方便等优点。在使用过程中,应综合考虑各种电器的功能和结构特点,正确选用各种电气元件,可以组成具有各种控制功能的控制电路,满足不同设备的控制要求。

(二) 电磁式电器

电磁式电器是采用电磁现象完成信号检测及工作状态转换的电器,在传统低压电器中结构最典型、应用最广泛,占有十分重要的地位,各种类型的电磁式电器主要由电磁机构、执行机构和灭弧装置组成。电磁机构按其电源种类可分为交流和直流两种,电磁线圈还有电流线圈和电压线圈的区分;低压电器的执行机构是指由触点构成的触头系统;大功率(大电流)低压电器通常还配有灭弧装置。

1. 电磁机构

(1) 电磁机构的用途。电磁机构是通过电磁感应原理将电能转换成机械能，将电磁机构中输入的电流或电压转换成电磁力，带动触头动作，完成接通、分断电路的控制作用。

(2) 电磁机构的组成和结构形式。电磁机构由线圈、铁芯（静铁芯）和衔铁（动铁芯）等几部分组成。图 1.3 是几种常用电磁机构的结构形式，根据衔铁相对铁芯的运动方式，电磁机构有直动式与拍合式，拍合式又有衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

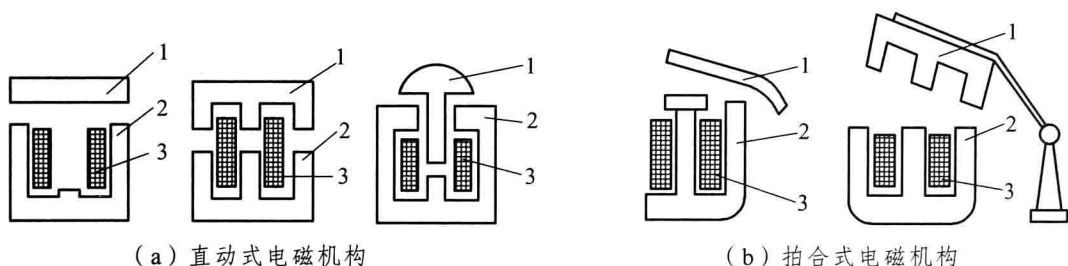


图 1.3 电磁机构

1—衔铁；2—铁芯；3—线圈

线圈由漆包线绕制而成，按线圈通入电流种类不同，电磁机构分为直流电磁机构和交流电磁机构两种，其线圈称为直流电磁线圈和交流电磁线圈。直流电磁线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，线圈与铁芯直接接触，易于线圈散热；交流电磁线圈由于铁芯有磁滞和涡流损耗，为此铁芯和衔铁用硅钢片叠制而成，线圈设有骨架，做成短而厚的矮胖型，易于散热。同时在交流电流产生的交变磁场中，为避免因线圈中交流电流过零时，磁通过零，为了避免衔铁的振动，通常在铁芯断面开一小槽，嵌入一个铜质短路环（相当于另一相绕组），使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零，线圈通电时电磁吸力总是大于弹簧的反作用力，衔铁便能牢牢吸住，消除衔铁的振动。

(3) 电磁机构工作原理。当线圈中有工作电流通过时，通电线圈产生磁场，磁通经铁芯、衔铁和工作气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，将衔铁吸向铁芯。当电磁吸力大于弹簧的反作用力时，衔铁被铁芯可靠吸住，从而由连接机构带动相应的触头动作，完成触头的断开和闭合，实现电路的分断和接通。当线圈断电时，电磁吸力消失，在弹簧作用下，衔铁被释放。

2. 触头系统

(1) 触头系统的用途。触头也称触点，是电磁式电器的执行机构，由机械连接部件、静触点和动触点等部件构成，其作用是通过衔铁的动作使触点接通或分断电路，因此要求触头具有良好的导热和接触性能。

(2) 触头的结构形式。触头的结构形式有桥式和指式两种。图 1.4 为桥式和指式触头结构。桥式触头形式一般是点接触和面接触两种结构，点接触式适用于电流不大的场合，面接触式适用于电流较大的场合。桥式触头通常采用含银材料，可以避免触头表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良，延长使用寿命。指式触头一般采用线接触，在接通或断开时产生滚动摩擦，能去掉触头表面的氧化膜，减小触头的接触电阻，故其触头可以用黄铜制成，特别适合于触头分合次数多、电流大的场合。

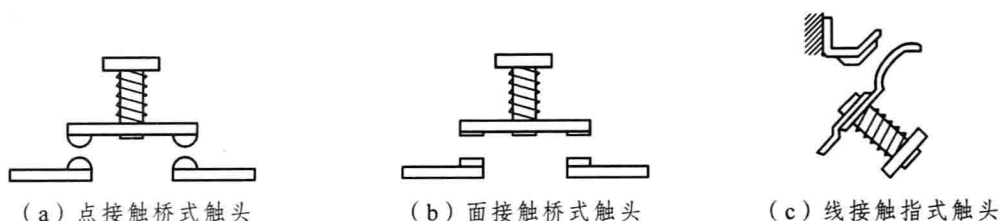


图 1.4 触头的结构形式

3. 灭弧系统

(1) 电弧的产生。触头在通电状态下动、定触头脱离接触时，由于电场的存在，使触头表面的自由电子大量溢出，在高热和强电场的作用下，电子运动撞击空气分子，使之电离而产生电弧。电弧产生高温并有强光，可将触头烧损，并使电路的切断时间延长，严重时可引起事故或火灾，所以必须迅速消除。

(2) 灭弧的基本方法。

① 快速拉长电弧，以降低电场强度，使电弧电压不足以维持电弧的燃烧，熄灭电弧。

② 使电弧与流体介质相接触，加强冷却和去游离作用，使电弧加快熄灭。

电弧有直流电弧和交流电弧两类。交流电弧存在电流的自然过零点，主要防止过零点重燃的问题，故其电弧较易熄灭；而直流电弧没有过零的性质，产生的电弧相对不易熄灭，因此一般还需附加其他灭弧措施。

(3) 低压控制电器常用的灭弧装置。

① 机械灭弧。通过机械装置将电弧迅速拉长，多用于开关中。

② 电动力吹弧。图 1.5 是一种桥式结构双断口触头，当触头断开电路时，在断口处产生电弧，电弧电流在两电弧之间产生图中所示磁场，电弧电流将受到指向外侧的电动力 F 的作用，使电弧向外运动并拉长，迅速冷却并熄灭。这种方法常用于小容量的交流接触器中。

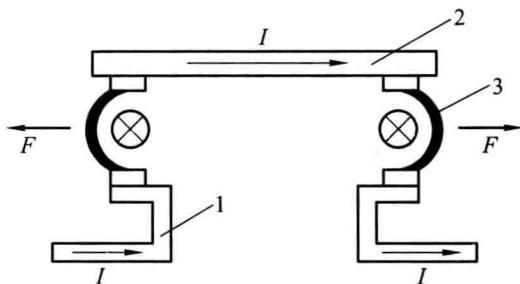


图 1.5 双断口电动力吹弧

1—静触头；2—动触头；3—电弧

③ 磁吹灭弧。在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁力作用下，电弧被拉长且被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，电弧被冷却熄灭。这种方法常用于直流灭弧装置中。

④ 栅片灭弧。灭弧栅是由多片镀铜薄钢片（栅片）和石棉绝缘板组成，彼此相互绝缘。当触头分开时，产生的电弧在电场力的作用下被推入栅片而被分割成一段段的短弧，如图 1.6 所示。栅片相当电极，因而就有许多阴阳极压降，对交流电弧来说，在电弧过零时使电弧无法维持而熄灭，同时栅片还能吸收电弧热量，使电弧迅速冷却也利于电弧熄灭。灭弧栅常用于交流灭弧装置中。

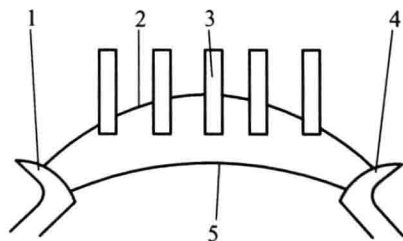


图 1.6 栅片灭弧

1—静触头；2—短电弧；3—灭弧栅片；
4—动触头；5—长电弧

⑤ 窄缝灭弧。在电弧形成的磁场、电场力的作用下，将电弧拉长进入灭弧罩的窄缝中，窄缝可将弧柱分为若干直径较小的电弧，加强冷却和去游离作用，使电弧迅速熄灭，灭弧罩通常用陶土、

石棉水泥或耐弧塑料制成。该方式主要用于交流接触器中。

二、常用电压电器

(一) 刀开关

刀开关，又称隔离开关，它是低压电器中结构最简单的一种手动电器，应用十分广泛，品种很多。主要用作电源切除后，隔离线路与电源，也可用于不频繁地通、断小容量负载。

1. 瓷底胶盖刀开关（开启式负荷开关）

刀开关分单极、双极和三极三种，常用的产品有 HD11 ~ HD14、HS11 ~ HS13 单、双投刀开关系列，HK1、HK2 开启式负荷开关系列，HH3、HH4 封闭式负荷开关系列和 HR3 刀熔开关系列，HH3、HH4 系列铁壳开关等。

2. 刀开关的结构及分类

刀开关的外形和结构如图 1.7 所示，符号如图 1.8 所示。

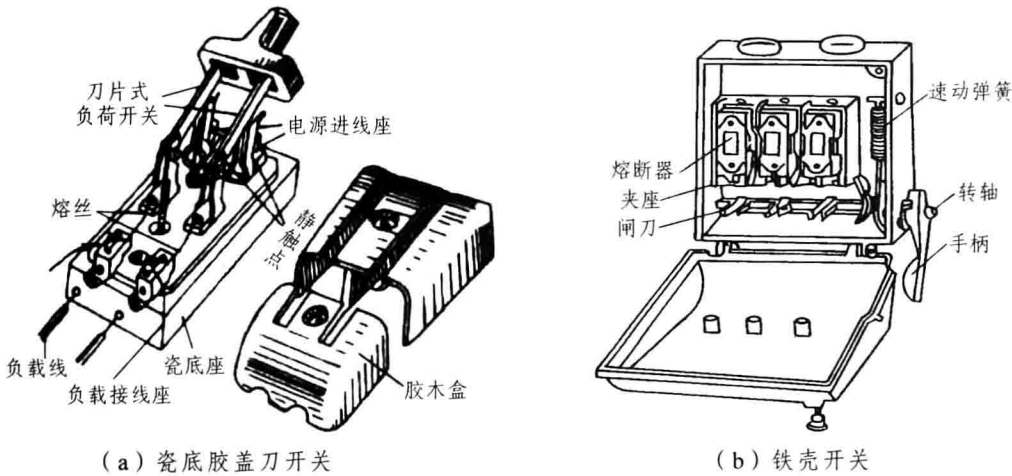


图 1.7 刀开关的外形结构

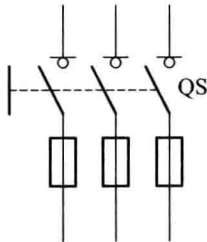


图 1.8 刀开关的符号

3. 刀开关的选用

(1) 根据使用要求，合理选择刀开关的类型、极数和操作方式。用于控制单相负载时，选用 220 V 或 250 V 二极开关；用于控制三相负载时，选用 380 V 三极开关。