

中等职业教育机电技术应用专业规划教材

# 电气控制与 PLC应用技术

◎ 李乃夫 丛书主编

◎ 伍金浩 曾庆乐 主编



 电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育机电技术应用专业规划教材

# 电气控制与 PLC 应用技术

李乃夫 丛书主编  
伍金浩 曾庆乐 主 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是中等职业教育机电技术应用专业规划教材之一。全书主要内容包括：常用电动机控制电路，常用机械设备的电气控制，可编程控制器的基础知识，FX2N 系列 PLC 的硬件系统和指令系统，PLC 控制系统的设计、装配与维护，PLC 控制系统应用举例，变频器的使用，等等。本书采用三菱的 FX2N 系列 PLC 及变频器作为教学机型。

本书可作为中等职业教育机电技术应用专业教材，也可作为电气工程类、机电一体化类、电气自动化类等专业的教材，同时还可作为工程技术人员自学 PLC 技术的参考书。

本书配有实训教材《电气控制与 PLC 应用技术技能训练》，着重于专业技能的培养。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术/伍金浩,曾庆乐主编. —北京:电子工业出版社,2009.8

(中等职业教育机电技术应用专业规划教材)

ISBN 978-7-121-09299-2

I. 电… II ①伍… ②曾… III. ①电气控制 - 专业学校 - 教材 ②可编程序控制器 - 专业学校 - 教材 IV. TM921.5 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 124471 号

策划编辑:白楠

责任编辑:雷洪勤

印刷:北京京师印务有限公司

装订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:358.4 千字

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

印数:4 000 册 定价:22.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

本书是中等职业教育机电技术应用专业规划教材之一。本书是参照相关行业的职业技能鉴定规范和初、中级技术工人等级考核标准而编写的，同时考虑到工业控制技术的迅猛发展，在书中也介绍了一些新的技术。本书可作为全国中等职业技术学校及其他相关院校的机电技术应用、数控技术应用、电气运行与控制等专业的教材。

本书在编写时的指导思想包括以下几点。

1. 按照当前职业教育教学改革和教材建设的总体目标，努力体现出“以全面素质为基础，以能力为本位，以就业为导向”的职业教育教材特色。

2. 参照“维修电工国家职业标准”的中级工标准要求，同时兼顾初级工标准和电工上岗证的要求。教材中的有关内容也与“维修电工”初级工及上岗考证的内容相符合。

3. 在教材内容的选取上，要适应行业技术的发展，努力体现教学内容的先进性、前瞻性和普遍性，突出专业领域的“四新”（新知识、新技术、新工艺、新的设备或元器件）。考虑到大多数地区和院校教学器材配置的实际情况，选用三菱的 FX2N 系列 PLC 及变频器作为教学机型。

4. 在教材内容的组合上，试图打破学科体系系统化，体现“工作过程系统性”，以利于实施项目教学、课题模块化、案例分析和任务驱动等具有职业教育特点的教学方法，且利于组织本课程的一体化教学。甚至可以按照专业的需要，选取其中的若干章节作为独立的知识模块进行学习。

本书的总教学学时数建议为 60~80 学时，推荐的方案见下表。

内 容	建议学时		备 注
	方案一	方案二	
绪论	2	2	不包括实训 教学学时
第 1 章 常用电动机控制电路	12	16	
第 2 章 常用机械设备的电气控制	12	14	
第 3 章 可编程控制器的基础知识	4	6	
第 4 章 FX2N 系列 PLC 的硬件系统配置	4	6	
第 5 章 FX2N 系列 PLC 的指令系统	12	16	
第 6 章 PLC 控制系统的设计、装配与维护	4	6	
第 7 章 PLC 控制系统应用举例	4	6	
第 8 章 变频器的使用	4	6	
机动	2	2	
总计	60	80	

本书由伍金浩、曾庆乐主编，樊伟平、郑晓旋、区晓键、陈琨韶参编，具体编写分工是：伍金浩编写第1、2、8章；郑晓旋编写第3、4、6章；曾庆乐编写第5、7章；区晓键、陈琨韶、樊伟平参与了第2、7、8章的部分编写工作。本书在编写过程中得到了广州轻工技师学院的领导和教师的大力支持，并给予了很宝贵的意见，在此特向他们表示衷心的感谢！

限于编者的学识水平，书中的错漏在所难免，在此恳请读者和同行给予指正！

请有此需要的教师登录华信教育资源网（[www.huaxin.edu.cn](http://www.huaxin.edu.cn) 或 [www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)）免费注册后再进行下载，有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail: [hxedu@phei.com.cn](mailto:hxedu@phei.com.cn)）。

编者

2009年5月

# 目 录

绪论	1
<b>第 1 章 常用电动机控制电路</b>	<b>5</b>
1.1 概述	5
1.2 三相异步电动机直接启动控制电路	5
1.2.1 三相异步电动机的启动问题	6
1.2.2 用刀开关直接控制的三相异步电动机单向运转电路	6
1.2.3 用空气断路器直接控制电动机单向运转的电路	9
1.2.4 用接触器直接控制电动机单向运转的电路	11
1.2.5 三相异步电动机的顺序控制和多点控制电路	20
1.2.6 三相异步电动机的正、反转控制电路	22
1.2.7 行程位置控制电路	24
1.3 三相异步电动机降压启动控制电路	26
1.3.1 三相笼型异步电动机降压启动控制电路	26
1.3.2 自耦变压器降压启动控制电路	27
1.3.3 星形-三角形(Y/Δ)降压启动控制电路	28
1.3.4 三相绕线转子异步电动机降压启动控制电路	30
1.3.5 频敏变阻器控制电路	33
1.4 三相异步电动机调速控制电路	34
1.4.1 三相异步电动机的调速	34
1.4.2 变转差率调速	34
1.4.3 变磁极调速	35
1.4.4 变频调速	37
1.5 三相异步电动机制动控制电路	38
1.5.1 三相异步电动机的机械制动装置	38
1.5.2 电气制动控制电路	39
本章小结	42
思考与练习题	42
<b>第 2 章 常用机械设备的电气控制</b>	<b>47</b>
2.1 概述	47
2.1.1 常用机床设备简介	47
2.1.2 电气控制系统图的构成规则和绘图的基本方法	47
2.1.3 生产机械设备电气控制电路图的读图方法	51
2.2 CA6140 型普通车床的电气控制电路	52

2.2.1	车床的电力拖动形式和控制要求	52
2.2.2	CA6140 型普通车床的主要结构和运动形式	52
2.2.3	CA6140 型普通车床电气控制电路分析	53
2.3	Z535 型立式钻床的电气控制电路	54
2.3.1	立式钻床的主要结构和运动形式	55
2.3.2	立式钻床的电力拖动形式和控制要求	55
2.3.3	Z535 型立式钻床电气控制电路分析	55
2.4	X62W 型万能铣床的电气控制电路	57
2.4.1	铣床的主要结构和运动形式	57
2.4.2	铣床的电力拖动形式和控制要求	58
2.4.3	X62W 型万能铣床电气控制电路分析	59
2.5	T68 型卧式镗床的电气控制电路	63
2.5.1	卧式镗床的主要结构和运动形式	63
2.5.2	卧式镗床的电力拖动形式和控制要求	64
2.5.3	T68 型卧式镗床电气控制电路分析	64
2.6	交流桥式起重机的电气控制	69
2.6.1	桥式起重机概述	69
2.6.2	5t 桥式起重机控制电路	71
	本章小结	77
	思考与练习题	78
<b>第 3 章</b>	<b>可编程控制器的基础知识</b>	<b>81</b>
3.1	PLC 的硬件结构	81
3.1.1	中央处理器 (CPU)	81
3.1.2	存储器	82
3.1.3	输入/输出 (I/O) 接口	82
3.1.4	电源	86
3.1.5	编程器	86
3.2	PLC 的软件	86
3.2.1	系统软件	86
3.2.2	应用软件	87
3.3	PLC 的工作方式	89
3.3.1	输入处理阶段	90
3.3.2	程序执行阶段	91
3.3.3	输出处理阶段	91
3.4	PLC 的主要性能和分类	91
3.4.1	PLC 的主要性能指标	91
3.4.2	PLC 的分类	92
3.4.3	PLC 的发展趋势	94

本章小结	94
思考与练习题	95
<b>第4章 FX2N 系列 PLC 的硬件系统配置</b>	<b>96</b>
4.1 PLC 的基本结构	96
4.2 FX2N 系列的内部寄存器配置	99
4.2.1 输入/输出 (I/O) 继电器	99
4.2.2 辅助继电器 (M)	100
4.2.3 状态寄存器 (S)	100
4.2.4 定时器 (T)	101
4.2.5 计数器 (C)	102
4.2.6 数据寄存器 (D)	103
4.2.7 指针 (P、I)	104
本章小结	104
思考与练习题	104
<b>第5章 FX2N 系列 PLC 的指令系统</b>	<b>106</b>
5.1 概述	106
5.1.1 梯形图语言	106
5.1.2 指令表语言	106
5.1.3 顺序功能 (状态转移) 图语言	107
5.2 基本指令及编程方法	107
5.2.1 LD、LDI 指令和 OUT 指令	107
5.2.2 AND 指令和 ANI 指令	108
5.2.3 OR 指令和 ORI 指令	108
5.2.4 END 指令	109
5.2.5 ANB 指令和 ORB 指令	109
5.2.6 多路输出指令	112
5.2.7 SET 指令和 RST 指令	114
5.2.8 PLS 指令和 PLF 指令	114
5.2.9 NOP 指令	115
5.3 步进指令及编程方法	115
5.3.1 顺序控制及状态流程图	115
5.3.2 步进顺控指令	118
5.3.3 多流程步进顺序控制	123
5.4 功能指令及编程方法	127
5.4.1 功能指令的基本格式	127
5.4.2 功能指令的执行形式	127
5.4.3 功能指令的数据长度	127
5.4.4 操作数的数据形式	128



5.4.5	变址寄存器	128
5.4.6	常用功能指令介绍	128
5.5	梯形图编程的基本规则	133
	本章小结	134
	思考与练习题	134
<b>第6章</b>	<b>PLC 控制系统的设计、装配与维护</b>	<b>137</b>
6.1	PLC 控制系统的一般设计与步骤	137
6.1.1	选用 PLC 控制系统的依据	137
6.1.2	PLC 控制系统设计的基本步骤	138
6.1.3	程序设计	140
6.2	PLC 控制系统设计举例	140
6.3	PLC 的安装与配线	143
6.3.1	PLC 对工作环境的要求	143
6.3.2	PLC 系统的配线	143
6.4	PLC 的维护与检修	146
6.4.1	维护检查	146
6.4.2	故障检修	146
	本章小结	147
	思考与练习题	147
<b>第7章</b>	<b>PLC 控制系统应用举例</b>	<b>148</b>
7.1	机械手控制	148
7.1.1	控制要求	148
7.1.2	用户 I/O 设备及所需 PLC 的 I/O 点数	149
7.1.3	分配 PLC 的输入/输出端子, PLC 的输入/输出接线图	149
7.1.4	设计 PLC 控制程序	151
7.2	洗衣机控制	154
7.2.1	控制要求	154
7.2.2	用户 I/O 设备及所需 PLC 的 I/O 点数	154
7.2.3	分配 PLC 的输入/输出端子, PLC 的输入/输出接线图	155
7.2.4	设计 PLC 控制程序	155
7.3	恒压变频供水控制	159
7.3.1	控制要求	159
7.3.2	用户 I/O 设备及所需 PLC 的 I/O 点数	159
7.3.3	分配 PLC 的输入/输出端子, PLC 的输入/输出接线图	159
7.3.4	设计 PLC 控制程序	161
	本章小结	163
	思考与练习题	164
<b>第8章</b>	<b>变频器的使用</b>	<b>166</b>

8.1 变频器的构成和功能 .....	166
8.1.1 变频器的构成 .....	166
8.1.2 变频器的功能 .....	167
8.2 变频器的工作原理 .....	168
8.2.1 逆变电路的基本工作原理 .....	168
8.2.2 变频器的控制原理 .....	169
8.3 变频器的配线（以三菱 FR - A500 系列为例） .....	171
8.4 三菱通用变频器 FR - A500 系列的使用 .....	173
8.4.1 变频器的使用 .....	173
8.4.2 主要参数的功能及意义 .....	178
8.4.3 运行操作 .....	182
本章小结 .....	185
思考与练习题 .....	185
附录 A FX2N 系列 PLC 的功能指令简表 .....	186
附录 B FX2N 系列 PLC 的特殊辅助继电器和数据寄存器表 .....	190
附录 C FX2N 系列 PLC 特殊数据寄存器 D8060 ~ D8067 存储的错误代码和内容 ..	197
附录 D FR - A500 系列变频器的主要参数表 .....	200
附录 E 根据变频器的使用目的设置的参数分类表 .....	207
附录 F 根据使用变频器的主要要求设定的参数表 .....	209
参考文献 .....	210

# 绪 论

## 1. 电气控制技术的产生与发展

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置与系统为对象,以实现生产过程自动化的控制技术。电气控制系统是其中的主干部分,在国民经济各行业中的许多部门得到了广泛应用,是实现工业自动化化的重要技术手段。

电气控制技术,是随着科学技术的不断发展、生产工艺不断提出新的要求,从手动控制到自动控制,从简单的控制设备到复杂的控制系统,其发展经过了从有触点的硬接线控制系统到以计算机为中心的存储控制系统。新的控制理论和新型电器及电子器件的出现,推动了电气控制技术不断地发展。作为生产机械动力的电机拖动,初期的拖动方式由一台电动机拖动多台设备,或使一台机床的多个动作由一台电动机拖动(称为集中拖动);随着生产机械功能增多和自动化程度的提高,发展成为单独拖动,即一台设备由一台电动机单独拖动;为了进一步简化机械传动机构,更好地满足设备各部分对机械特性的不同要求,又采用了多台电动机拖动,即设备的各运动部件分别采用不同的电动机拖动。

在工业革命和生产规模日益扩大的刺激下,生产过程中对动作的速度、精度、动作的一致性、协调性,以及对复杂问题的反应和处理能力等方面都不断提高。虽然借助于常规的控制仪表和逻辑硬接线的控制系统(如继电器-接触器控制系统)能够实现在一定程度、一定范围内的自动化控制,但是对于生产过程中的随机干扰实行随机调节,以及多变量、高精度的控制等仍然难以实现。现代工业的发展迫切需要通过实现生产过程和生产设备的自动控制。所谓“自动控制”,就是指在没有人直接参与的情况下,通过控制系统,使被控对象或生产自动地按照预先设置的规律进行工作。

### (1) 电力拖动自动控制系统的组成

自从人类在 19 世纪初开始掌握了电能的生产与应用技术以来,电能就成了工业生产最主要的能源。将电能转换成机械能的电动机成为工业生产最主要的动力设备。生产过程的运行、生产机械的启动、停止以及运行状态的调节等,都可以通过对电动机等动力设备的控制来实现,从而组成电力拖动自动控制系统。电力拖动自动控制系统是目前应用最为普遍的方法。如图 1 所示,它主要包括以下 4 个环节。此外自动控制使用的技术手段还包括机械传动、液压传动和气动传动等方法。

① 电源设备——提供系统各部分设备需要的电源,例如交流或直流电,不同的电压需要等。

② 自动控制设备——通过对动力设备进行各种控制,以实现生产过程或生产机械运行的自动化,主要是各种电器元件、自动化元件、计算机系统等。

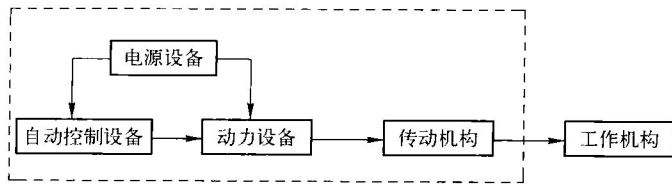


图1 电力拖动自动控制系统的组成

③ 动力设备——是将电能转换成机械能以驱动生产机械的原动力,主要是各种电动机、电磁铁等。

④ 传动机构——动力设备与工作机构之间的传动装置,主要为机械传动装置。

## (2) 电气控制技术的发展

在电力拖动控制系统中,继电器-接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式,也是学习更先进电气控制系统的基础。它主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等有触点的开关设备组成,由于其控制方式是断续的,故称为断续控制系统。它具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。但由于其接线方式固定、灵活性差,难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要,且工作频率低、触点易损坏、可靠性差。

19世纪末,电气控制技术伴随着电子技术、电机制造技术、数控技术和计算机应用技术同步发展起来。从20世纪50年代开始,使用过晶体管逻辑控制系统取代继电器-接触器控制,解决了有触点开关的问题,但由于这种控制装置仍然解决不了通用性和灵活性的问题,在20世纪60年代后期,出现了使用中小规模集成电路的第三代电子计算机。在这一时期出现的可编程序控制器(PLC)集成了传统的继电器-接触器控制系统简单易懂、操作方便和计算机控制系统功能强、通用性和灵活性好的优点,主要用于开关量控制的自动控制装置。

20世纪70年代以后,随着微电子技术的发展,大规模集成电路的制造成功,造价低廉的微处理器的大量出现,促使工业微机的应用迅速普及。现在PLC已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制,由最初的逻辑控制为主,发展到能进行模拟量控制,具有数字运算、数据处理和通信连网等功能,PLC已成为电气自动化控制系统中应用最为广泛的控制装置。

此外,电气控制相继出现了直接数字控制系统(DDC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等。

20世纪80年代迅速发展起来的计算机网络技术,又使得工业自动化发生了巨大变革,计算机网络化产生了控制与管理一体化的现代新型工业自动化模式。智能机器人、综合运用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统等高新技术,形成了从产品设计及制造和生产管理的智能化生产的完整系统,将自动化生产技术推进到更高的水平。

## 2. 可编程控制器(PLC)的产生与发展

由于继电器-接触器控制系统的结构特点制约着它的发展,工程技术人员必须另外寻

找新的解决方法以适应工业发展的需要。在 1968 年,美国通用汽车(GM)公司率先提出了研制新型工业控制器的 10 项功能指标。根据这 10 项指标的要求,一年后,由美国数据设备公司(DEC)研制出世界上第一台可编程控制器,并且成功地应用在(GM)公司的生产线上。此后,日本的日立公司从美国引进技术,于 1971 年制造出日本的第一台可编程控制器。1973 年,德国的西门子公司独立研制出欧洲的第一台可编程控制器。在这一时期的可编程控制器虽然也采用了计算机的设计思想,但仅有逻辑控制、定时、计数等控制功能,只能进行顺序控制,故称为“可编程逻辑控制器”(Programmable Logic Controller),简称 PLC。可编程控制器技术是以硬接线的继电器-接触器控制为基础,以软件手段实现各种控制功能,以微处理器为核心的技术。

随着微电子技术和计算机技术的发展,使 PLC 在处理速度和控制功能上都有了很大的提高。PLC 不仅可以进行开关量的逻辑控制,还可以对模拟量进行控制,且具有数据处理、PID 控制和数据通信功能,它已发展成为一种新型的工业自动控制标准装置,因此于 1980 年由美国电气制造协会(NEMA)命名为“可编程控制器”(Programmable Controller),简称 PC。但由于 PC 容易和个人计算机(Personal Computer)相混淆,所以在我国仍习惯以 PLC 作为可编程控制器的简称,在本书中也统一使用 PLC 这一简称。1987 年,国际电工委员会(IEC)对 PLC 做出了明确定义:“可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统,专门为在工业环境下应用而设计。它采用可程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作命令,并通过数字式和模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。可编程控制器及其有关的设备,都应按易于与工业控制系统连成一个整体、易于扩充功能的原则而设计。”

由于用 PLC 内部的“软继电器”取代了许多电器,从而大大减少了电器的数量,简化了电气控制系统的接线,充分体现出设计、施工周期短、通用性强、可靠性高、成本低的优点。特别是 PLC 采用的梯形图编程语言是以继电器梯形图为基础的形象编程语言,一般电气技术人员和技术工人经过简单的培训就可以掌握。用 PLC 取代继电器-接触器系统实现工业自动控制,不仅用软件编程取代了硬接线,在改变控制要求时只须改变程序而无须重新配线,而且可以在模拟的情况下进行调试、修改,减少了大量的现场工作。

近年来,随着微电子技术、电力电子技术、检测传感技术、机械制造技术的发展,PLC 在处理速度、控制功能、通信能力以及控制领域等方面都不断有新的突破,正朝着电气控制、仪表控制、计算机控制一体化和网络化的方向发展。PLC 技术、CAD/CAM/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程)技术和工业机器人已成为现代工业自动化的三大支柱。当今的可编程控制系统已经是集计算机技术、通信技术和自动控制技术为一体的新型的工业控制装置。可编程控制器的发展过程表明,它已改变了当初仅仅取代继电器-接触器控制系统的初衷,而发展成为在工业自动控制领域中推广速度最快、应用最广的一种标准控制设备。本书根据目前我国工业控制上较普遍的运用情况,介绍了三菱可编程控制器的使用。

### 3. 本课程的性质、内容和任务要求

本课程是中等职业教育“机电技术应用”专业(或其他相近专业)的一门专业技术主干



课程,主要内容有:

(1) 工业控制系统中的继电器 - 接触器控制系统:包括常用电动机继电器控制电路;常用机械设备的电气控制等。

(2) PLC 控制系统:包括 PLC 的基础知识;PLC 的编程方法;PLC 的控制系统设计;PLC 的应用实例等。

(3) 变频器的基本应用。

通过本课程的学习,要求掌握常用机床继电器控制和采用 PLC 控制的相关理论知识,并能对电路进行分析、设计,达到劳动部维修电工中级技术标准,会正确安装使用变频器。

对本课程的学习方法提出几点建议,仅供大家参考:

(1) 打好继电器 - 接触器控制系统的基础,进而学习掌握 PLC 控制系统的应用。

在本课程的学习过程中,应以掌握继电器 - 接触器控制系统的原理及其应用为基础,同时进一步学习 PLC 控制系统。

(2) 注意学习内容的普及和发展需要。

在学习中要注意掌握与本专业对应岗位必需的基本知识和技能,保证符合岗位关键能力的培养。使学生既要对新知识、新技术、新产品和新元件有所了解,又有较扎实的专业理论基础知识和实际工作能力。因此,按照不同地区的要求可对教材中的一些内容进行选择学习(如第 8 章变频器的使用),也可以联系本地区、本行业的一些典型应用实例来组织教学。

(3) 学习时应注意掌握基本原理和应用规律,做到举一反三,触类旁通。

由于现在技术的不断进步,许多新元件、新设备不断出现,各地区及各院校的应用设备会有所区别。本教材在编写时考虑到大多数地区和院校教学器材配置的实际情况,采用普及面较广的电器设备和三菱的 FX2N 系列 PLC 作为教学范例,并在第 8 章中结合三菱的变频器的使用做了介绍,在学习时可根据实际情况选用或作为补充内容。如果条件许可,也应注意学习了解一些新的 PLC 系列产品。不同型号的 PLC 产品,其基本结构和工作原理是基本相同的,指令系统也有许多相同的地方(特别是同一国家或地区的 PLC 产品)。

(4) 加强实践技能训练做到理论和实践结合。

对于实践教学的内容(实训、参观等),可结合配套教材《电气控制与 PLC 应用技术技能训练》的教学内容进行。如有条件,一些内容(如常用机械设备的电气控制等)可以直接在生产现场组织教学;有些内容(如 PLC 编程工具和编程软件的使用等)可以在实训室或专业教室进行教学,讲练结合,可收到更好的学习效果。

# 第 1 章

# 常用电动机控制电路

本章主要介绍交流三相异步电动机的继电器 - 接触器控制电路的组成、原理。并在具体介绍到各种电动机常用控制电路时结合介绍所用到的低压电器的型号、功能和使用方法。而常用的电动机控制电器的选用方法和安装方法,则在实训配套教材《电气控制于 PLC 应用技术技能训练》中介绍。

## 1.1 概述

今天电能已成为人类在生产和生活中利用的最主要的能源。电能作为能源利用的一个主要方面是用做动力,而各种电动机就是将电能转换成动力(机械能)的装置,在各种机械中,电动机已经成为主要的动力来源。据资料统计,电动机消耗的电能已占全社会电能消耗总量的 60% 以上。为了使电动机能够按照设备的要求运转,需要对电动机进行控制。传统的电动机控制系统主要由各种低压电器组成,称为继电器 - 接触器控制系统。

继电器 - 接触器控制电路由各种低压电器组成。“电器”是指可以根据控制指令,自动或手动接通和断开电路,实现对用电设备或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的电气设备,如各种开关、继电器、接触器、熔断器等。而“低压电器”是指工作电压在交流 1200V 或直流 1500V 以下的电器。

低压电器的使用范围在日益扩大,其品种规格不断增加,产品的更新换代速度加快。目前低压电器正朝着多功能、高精度、微型化、高可靠性的方向发展,同时随着电子技术和计算机技术的广泛应用,无触点的电器已逐步推广。根据其动作原理的不同,电器可分为手控电器和自动电器;而根据其功能的不同,又可以分为控制电器和保护电器。我国低压电器型号是按照产品的种类编制的,具体可查阅有关资料。

一个最简单的三相异步电动机控制电路,可以用一个闸刀开关控制电动机的启动和停止,用 3 个熔断器分别对电动机进行短路保护,这个简单的电路就具有对电动机进行控制和保护的基本功能,但只能进行手动控制,只能应用于一些简单的、不需要经常操作的设备,而且保护功能较低,自动化程度较低。要达到自动控制的要求,电路中需要借助各种开关、继电器、接触器等电器元件,它们能够根据操作人员所发出的控制指令信号,实现对电动机的自动控制、保护和监测等功能。

## 1.2 三相异步电动机直接启动控制电路

三相异步电动机具有结构简单、运行可靠、坚固耐用、价格便宜、维修方便等一系列优



点。与同容量的直流电动机相比,异步电动机还具有体积小、质量轻、转动惯量小的特点,在工矿企业中异步电动机得到了广泛的应用。

### 1.2.1 三相异步电动机的启动问题

三相异步电动机的启动过程是指三相异步电动机从接入电网开始转动时起,到达额定转速为止这一段过程。异步电动机在开始启动的瞬间,由于定子绕组已接通电源,但转子因惯性仍未转动起来,此刻 $n=0, s=1$ ,转子绕组感应出很大的电流。三相异步电动机在启动时启动转矩并不大,但转子绕组中的电流 $I$ 很大,从而使得定子绕组中的电流相应增大为额定电流的4~7倍。这么大的启动电流将带来下述不良后果。

- 启动电流过大造成电压损失过大,使电动机启动转矩下降。同时可造成影响连接在电网上的其他设备的正常运行。
- 使电动机绕组发热,绝缘老化,从而缩短了电动机的使用寿命。
- 造成过流保护装置误动作。

在正常情况下,异步电动机的启动时间很短(一般为几秒到十几秒),短时间的启动大电流一般不会对电动机造成损害(但对于频繁启动的电动机,则需要注意启动电流对电动机工作寿命的影响),另外,可让电动机先空载或轻载启动,待升速后再用机械离合器加上负载。而有的设备(如起重机械)要求电动机能带负载启动,因此要求电动机有较大的启动转矩。但过大的启动转矩又可能使电动机加速过猛,使机械传动机构受到冲击而容易损坏,所以有时又要求电动机在启动时先减小其启动转矩,以消除转动间隙,然后再过渡到所需的启动转矩有载启动。对异步电动机启动的基本要求:在保证满足设备的启动转矩的前提下,应尽量减小启动电流,同时尽可能采取简单易行的启动方法。

三相异步电动机的启动方式有两种,一种是直接启动,即将额定电压直接加在电动机定子绕组端。另一种是降压启动,即在电动机启动时降低定子绕组上的外加电压,从而降低启动电流。启动结束后,将外加电压升高为额定电压,进入额定运行。两种方法各有其优点,应视具体情况具体确定。

### 1.2.2 用刀开关直接控制的三相异步电动机单向运转电路

电动机直接启动电路只需要一个刀开关及熔断器组成,其优点是所需设备少,启动方式简单,成本低,是小型异步电动机主要采用的启动方法,电动机直接启动控制线路常用于只需要单方向运转的小功率电动机的控制。例如小型通风机、水泵以及皮带运输机等机械设备。

#### 1. 刀开关

刀开关的种类很多,在电动机控制电路中最常用的是由刀开关和熔断器组合而成的负荷开关。刀开关的图形符号如图1.1所示(图中FU为刀开关所附熔断器的文字符号),文字符号为QS。刀开关属于手动电器,主要用做不频繁地接通和分断容量不大的低压供电线路,以及用做电源隔离开关,也可以用来直接启动小容量的三相异步电动机。刀开关按结构可分为开启式负荷开关和封闭式负荷开关两类。



### (1) 开启式负荷开关

开启式负荷开关的系列代号为 HK, 例如 HK2-15/2 型等 (HK2 系列、额定电流 15 A、二极)。开启式负荷开关又称为胶盖瓷底闸刀开关, 其结构、外形和文字与图形符号如图 1.1 所示。在结构上由刀开关和熔断器两部分组成, 外面罩上塑料外壳, 作为绝缘和防护, 能明确看到刀闸的开闭状态。

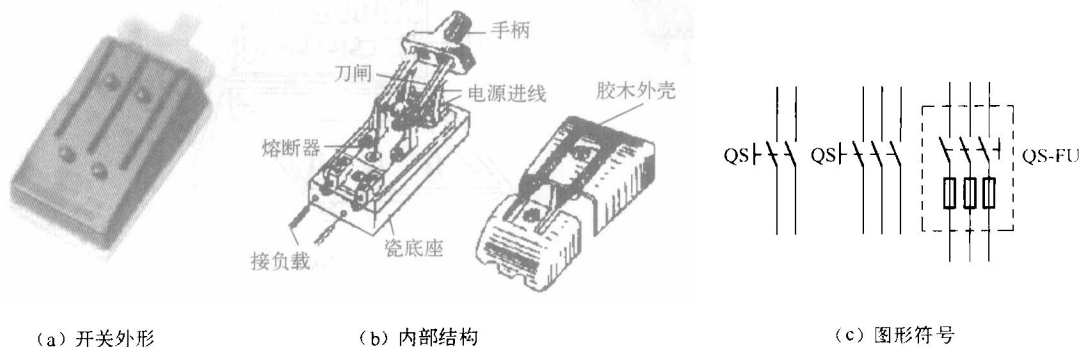
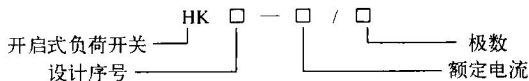


图 1.1 HK 系列开启式负荷开关

常用胶盖闸刀开关 HK 系列, 其型号的含义如下:



闸刀开关有双刀和三刀两种, 由于它在断开时有明显的断开点, 可用做单相和三相线路的电源隔离开关。闸刀开关的主要缺点是动作速度慢, 带负荷动作时容易产生电弧, 不安全, 而且体积较大, 现已普遍被断路器所取代。

如用闸刀开关直接控制三相异步电动机的启动和停机, 则电动机的功率一般不能超过 3kW。刀开关使用时一定要注意垂直安装, 手柄向上为闭合, 向下为断开, 不能搞错或装反, 同时接线也要注意上端接电源, 下端接负载, 操作时动作要快, 尽量减少电弧的产生。

### (2) 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关的开关系统安装在一个铁制的外壳内, 整体防护性能较好, 封闭式负荷开关也称为铁壳开关, 常用为 HH 系列, 例如 HH4-30/3 (HH4 系列、额定电流 30 A、三极)。其型号的结构及含义与 HK 系列胶盖闸刀开关相似。目前也有些进口负荷开关的外壳是采用工程塑料制成的。

封闭式负荷开关的外形和结构如图 1.2 所示。同样, 封闭式负荷开关内也带有熔断器。此外, 其结构有 3 个特点: 一是操作手柄上装有储能作用的速断弹簧, 提高了开关的动作速度和灭弧性能; 二是设有箱盖和操作手柄的连锁装置, 保证在开关合闸状态时不能打开箱盖, 在箱盖打开时也不能合闸; 三是刀闸上装有灭弧罩。因此, 与闸刀开关相比, 铁壳开关使用更加安全, 可用于控制较大的电流, 如用于电力排灌、电热器和电气照明的配电设备中做不频繁地接通和分断电路, 也可以不频繁地直接启动 4.5kW 及以下的三相异步电动机。