



高等教育“十二五”应用型人才重点建设规划教材



机床电气 与PLC应用技术

JICHUANG DIANQI YU PLC YINGYONG JISHU

主 编 刘耀元 王 欣

高等教育“十二五”应用型人才重点建设规划教材

机床电气与 PLC 应用技术

(OMRON 公司 CPM2A 系列)

主 编 刘耀元 王 欣

副主编 姜 英 赵晓东 邹小莲



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书第1篇介绍传统机床电气控制技术内容,涉及常用低压电器结构、工作原理、电气符号;组成控制系统的典型环节,如启-停控制线路、降压启动线路、调速控制线路、制动控制线路等;介绍了典型的车床、钻床、铣床和数控机床的电气控制线路分析。第2篇介绍PLC的组成、性能指标、工作原理等基础知识;以CPM2A系列PLC为例介绍其内部资源、指令系统及应用编程;介绍了经验设计法、移植法、顺序功能图法及逻辑设计法的程序设计方法及举例;介绍了PLC的功能指令及实例;介绍了PLC应用于工程实践的基础理论及5个应用实例;还介绍了PLC的工程应用问题及PLC的实验技术。

本书可作为普通高等院校机电一体化、电气自动化、数控技术、楼宇自动化等专业的教材,也可作为相关工程技术人员的学习参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机床电气与PLC应用技术/刘耀元,王欣主编. —北京:北京理工大学出版社,2011.6

ISBN 978-7-5640-4682-8

I. ①机… II. ①刘…②王… III. ①机床-电气控制-高等学校-教材②可编程序控制器-高等学校-教材 IV. ①TG502.35②TM571.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第112639号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

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/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/18.5

字 数/358千字

版 次/2011年6月第1版 2011年6月第1次印刷

印 数/1~4000册

定 价/35.00元

责任校对/周瑞红

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

QIAN YAN

电气控制技术在现代化的生产和实践中发挥着越来越重要的作用，最初的电气控制主要是继电器-接触器逻辑控制系统。随着生产技术的进步和生产过程的复杂化，PLC 应用越来越广泛，并成为现代电气控制技术的主流。

自从世界上第一台 PLC-Modicon 1969 年诞生于美国马萨诸塞州，已有 40 多年历史了。PLC 最初仅仅是为了替代继电器控制系统，但发展到目前，它已综合了计算机技术、自动控制技术、网络通信技术，其功能及技术指标等各方面都达到了成熟的工业控制计算机的软硬件水平。PLC 现已广泛应用于逻辑运算、数值运算、数据传送、过程控制、位置控制、人机对话、网络通信等各种场合。曾流行一句话：“不懂 PLC 的人将不会被称为电工”，这句话说明了当今电气控制技术已经与 PLC 技术结合成一体了，密不可分。

本书编写过程中由浅入深，以介绍常用低压电器、基本控制环节及典型机床线路分析为基础内容，使读者掌握传统继电器-接触器线路分析思维。然后以 OMRON 公司的 CPM2A 系列 PLC 为代表，介绍其在工业控制中的应用的基础知识、基本技术，更以大量涉及机械行业的实例为代表介绍其实用技术，充分体现 PLC 应用于机械控制领域的巨大作用。让读者在对具体工程控制问题的探索中逐步掌握 PLC 的应用。

本书编写过程中形成几个特点：其一注重与机械类专业的紧密结合，以突出实用技术为出发点，选取大量应用实例；其二注重知识的循序渐进与内容的新颖性；第三注重习题类型多样性，选题突出实用与理论的结合；第四注重培养工程技术人员专业素养。

本书由刘耀元组织编写，共分 10 章，第 1 章由王欣编写；第 2 章由高鹏编写；第 3 章由李圣芳编写；第 4、第 5 章由金宝熠编写；第

6、第7章由姜英编写；第8、第9章由刘耀元编写；第10章由赵晓东编写；附录由邹小莲编写。最后由刘耀元负责统稿修订。

感谢您选择了本书，希望我们的努力对您的工作和学习有所帮助。由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者予以批评指正。

编 者

目录

MULU

第 1 篇 机床电气控制

► 第 1 章 低压电器	3
1.1 概述	3
1.1.1 低压电器分类	3
1.1.2 低压电器发展方向	4
1.1.3 电磁式低压电器基础知识	5
1.2 手控电器	8
1.2.1 刀开关	8
1.2.2 转换开关	9
1.3 接触器	11
1.3.1 交流接触器	11
1.3.2 直流接触器	12
1.3.3 交流接触器型号含义、文字符号及主要技术指标	12
1.3.4 接触器的选用	13
1.4 熔断器	14
1.4.1 熔断器的结构和工作原理	14
1.4.2 熔断器的分类	14
1.4.3 熔断器的选择	16
1.5 继电器	17
1.5.1 电磁式继电器	17
1.5.2 热继电器	19
1.5.3 时间继电器	21
1.6 主令电器	23
1.6.1 按钮	23

1.6.2	行程开关	24
1.6.3	万能转换开关	26
1.7	低压断路器	27
1.7.1	低压断路器的结构	28
1.7.2	低压断路器的工作原理	28
1.7.3	低压断路器的类型、主要技术参数和选用	29
1.7.4	漏电保护断路器	30
1.8	习题	31

► 第2章 电动机基本控制线路 34

2.1	电气控制系统图常用符号和绘制规则	34
2.1.1	电气图的图形符号、文字符号	35
2.1.2	电气控制系统图分类	37
2.1.3	电气图的一般特点	39
2.1.4	电气原理图绘制规则	40
2.2	三相异步电动机启动控制线路	41
2.2.1	单向直接启动控制	41
2.2.2	电动机正反转控制线路	43
2.2.3	电动机降压启动控制	46
2.2.4	三相绕线电动机降压启动控制线路	50
2.2.5	三相异步电动机软启动控制线路	52
2.3	三相异步电动机制动控制线路	55
2.3.1	机械制动	55
2.3.2	电气制动	57
2.4	三相异步电动机调速控制线路	61
2.4.1	变极调速控制线路	61
2.4.2	变频调速控制线路	63
2.5	三相异步电动机其他典型控制环节	66
2.5.1	按顺序工作时的控制线路	66
2.5.2	电液控制	67
2.5.3	电气控制保护环节	70
2.6	习题	71

► 第3章 典型生产机械的电气控制 75

3.1	电气图的读图方法和设计方法	75
3.1.1	机床电气线路的一般分析方法	75

3.1.2 继电-接触器控制系统设计的基本内容	76
3.1.3 继电-接触器控制系统设计	76
3.2 普通车床的电气控制	78
3.2.1 CA6140 型普通车床主要结构及运动形式	78
3.2.2 CA6140 型普通车床电气控制线路分析	79
3.2.3 常见电气故障分析	81
3.3 钻床电气控制线路	81
3.3.1 Z3040 型摇臂钻床主要结构及运动形式	81
3.3.2 Z3040 型摇臂钻床电气控制线路分析	82
3.3.3 常见故障及处理	85
3.4 铣床电气控制线路	85
3.4.1 X62W 型卧式万能铣床主要结构和运动形式	85
3.4.2 X62W 型卧式万能铣床电气控制线路分析	86
3.5 数控机床电气控制线路	91
3.5.1 TK1640 数控车床的主要结构	91
3.5.2 TK1640 数控车床的运动及控制要求	92
3.5.3 TK1640 数控车床的电气控制线路分析	92
3.6 习题	95

第 2 篇 可编程控制器

► 第 4 章 PLC 基础知识	101
4.1 PLC 概述	101
4.1.1 PLC 概念	101
4.1.2 PLC 特点	102
4.1.3 PLC 主要功能	103
4.1.4 PLC 的发展趋势	104
4.2 PLC 系统组成与结构	106
4.2.1 PLC 硬件结构组成	106
4.2.2 PLC 的软件系统	109
4.3 PLC 的工作原理	110
4.3.1 PLC 的 3 个工作阶段	111
4.3.2 PLC 对输入/输出的处理原则	112
4.4 PLC 的技术指标及与微机、继电-接触器装置的比较	112
4.4.1 PLC 的技术指标	112
4.4.2 PLC 与 PC 及继电-接触器控制系统相比较	113
4.5 习题	115

► 第5章 CPM2A 系列 PLC	116
5.1 CPM2A 系列 PLC 概述	116
5.1.1 CPM2A 系列 PLC 型号简介	116
5.1.2 CPM2A 系列 PLC 技术指标	120
5.1.3 CPM2A 系列 PLC 内部资源分配	120
5.2 CPM2A 系列 PLC 基本指令	125
5.2.1 指令分类及格式	125
5.2.2 不带编号的基本指令及编程	125
5.2.3 带编号的基本指令及编程	129
5.3 定时器和计数器指令及应用	131
5.3.1 定时器指令 TIM 与 TIMH (15)	131
5.3.2 计数器指令 CNT 与 CNTR (12)	133
5.3.3 定时器、计数器的扩展	134
5.3.4 工程应用实例	136
5.4 顺序控制和暂存指令	137
5.4.1 指令介绍	137
5.4.2 工程应用实例	139
5.5 习题	142
► 第6章 PLC 程序设计	145
6.1 梯形图的编程规则与步骤	145
6.1.1 PLC 梯形图编程规则	145
6.1.2 PLC 编程步骤	147
6.2 PLC 程序的经验设计法	147
6.2.1 电动机控制类程序	147
6.2.2 时间控制类程序	148
6.3 电气改造方法——移植法	150
6.3.1 移植法的步骤	150
6.3.2 举例	150
6.4 顺序控制法	151
6.4.1 顺序功能图	151
6.4.2 顺序功能图法的设计步骤	155
6.4.3 顺序功能图转化梯形图	155
6.4.4 举例	156
6.5 逻辑设计法	159
6.6 习题	160

► 第7章 功能指令	163
7.1 数据传送比较类指令	163
7.1.1 数据传送类指令	163
7.1.2 数据比较类指令	168
7.2 数据移位、转换类指令	170
7.2.1 数据移位类指令	170
7.2.2 数据转换类指令	174
7.3 数据运算类指令	177
7.3.1 十进制运算指令	177
7.3.2 二进制运算指令	180
7.3.3 逻辑运算指令	180
7.4 子程序调用、中断类指令	181
7.4.1 子程序调用类程序	182
7.4.2 中断类指令	183
7.5 高速计数器应用指令	187
7.5.1 概述	187
7.5.2 高速计数器的控制指令	188
7.6 其他功能指令	191
7.7 习题	194
► 第8章 PLC 系统设计	197
8.1 控制系统设计理论基础、方法	197
8.1.1 PLC 控制系统设计的一般条件与基本原则	197
8.1.2 PLC 控制系统设计的主要内容与步骤	198
8.1.3 PLC 控制系统的硬件设计与选型	200
8.1.4 PLC 控制系统的程序设计	202
8.2 应用举例1：水塔水位的 PLC 控制系统	202
8.3 应用举例2：PLC 在 Z3040 摇臂钻床控制中的应用	205
8.4 应用举例3：运料小车的控制	207
8.5 应用举例4：PLC 在机械手控制中的应用	210
8.6 应用举例5：PLC 在注塑机控制中的应用	214
8.7 习题	219
► 第9章 PLC 工程应用问题	222
9.1 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	222

9.2 PLC 端口的扩展与保护	225
9.2.1 输入端口的扩展	225
9.2.2 输出端口的扩展	226
9.2.3 输入/输出端口的保护	227
9.3 PLC 系统的抗干扰措施	228
9.3.1 PLC 对某些输入信号的处理	228
9.3.2 抑制电源系统引入的干扰	229
9.4 PLC 的测试及维护	230
9.5 PLC 的特殊功能模块使用	232
9.6 PLC 的网络简介	236
9.6.1 通信及 PLC 通信要素	236
9.6.2 PLC 通信的主要方式简介	238
9.6.3 OMRON 公司 PLC 网络及 CPM2A 通信	241
9.7 习题	242
► 第 10 章 PLC 实验技术	244
10.1 CX - Programmer 软件的使用	244
10.2 基本逻辑指令实验	250
10.3 定时器和计数器指令练习	254
10.4 电动机控制类程序	256
10.5 步进指令练习	259
10.6 数据处理类指令练习	261
10.7 全自动洗衣机控制程序的综合设计	263
► 附录一 常用电气图的符号	265
► 附录二 CPM2A 系列 PLC 主要规格指标	268
► 附录三 CPM2A 系列 PLC 的特殊继电器区详表	272
► 附录四 OMRON 小型机指令简表	277
► 参考文献	284

第 1 篇

机床电气控制

第 1 章 低压电器

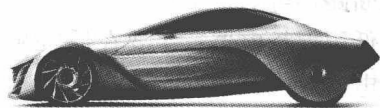
第 2 章 电动机基本控制线路

第 3 章 典型生产机械的电气控制

1

第 1 章

低 压 电 器



内容提要

本章先介绍低压电器基础知识，然后介绍电气控制系统中常用手控电器、交流接触器、熔断器、继电器、主令电器、空气开关等电器的结构、基本工作原理、作用、应用场合、型号含义、电气符号及典型产品、部分技术参数等。

凡是根据外界特定信号自动或手动地接通或断开电路，实现对电路或非电对象控制的电工设备都叫电器。

低压电器是指工作在直流 1 200 V、交流 1 000 V 及以下的各种电器，在电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。低压电器按动作性质可分为手动电器和自动电器两种，下面介绍常用的几种电器。

1.1 概 述



1.1.1 低压电器分类

低压电器种类繁多，分类方法有很多种。

1. 按动作方式分类

手控电器：依靠外力（如人工）直接操作来进行切换的电器，如刀开关、按钮开关等。

自控电器：依靠指令或物理量（如电流、电压、时间、速度等）的变化而自动动作的电器，如接触器、继电器等。

2. 按用途分类

低压控制电器：主要在低压配电系统及动力设备中起控制作用，如刀开关、

低压断路器等。

低压保护电器：主要在低压配电系统及动力设备中起保护作用，如熔断器、热继电器。

3. 按工作原理分类

电磁式电器：依据电磁感应原理来工作的电器，例如交直流接触器、各种电磁式继电器等。

非电量控制电器：电器的工作是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，例如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、压力继电器、温度继电器等。

除此之外还有按种类、执行机能等方式分类的电器。

1.1.2 低压电器发展方向

近年来，低压电器行业持续快速发展，低压电器行业的市场容量与机床控制及电力事业的发展是紧密相连的，国内电网建设的飞速发展，为低压电器行业发展带来广阔的空间。

专家认为，中国已经成为低压电器的生产大国，并且成为出口大国。高端产品的研发仍将是今后行业的主攻方向。按照“十二五”期间新增机电、发电设备所需要的相应配电设备，以及现有设备更换与维修的需要，预计万能式断路器、塑料外壳式断路器、小型断路器、交流接触器、热继电器、漏电断路器等产品的需求量将达到2亿台以上。

随着国内电力建设水平的提高，以及低压电器生产技术的不断发展，以智能化、可通信为主要特征的新一代低压电器将成为高档产品。目前，国产中、低档低压电器基本上占据了国内绝大部分市场，但国产高档低压电器除个别产品可与国外同类产品平分秋色外，大部分产品的国内市场占有率仍然很低，国内市场对高档低压电器的需求仍然依靠进口来满足。

低压电器在发展趋势上呈现以下几大特点。

(1) 高性能。额定短路分断能力 I_{cu} 与额定短时耐受电流 I_{cs} 进一步提高，并实现 $I_{cu} = I_{cs}$ ，如施耐德公司的 MT 系列产品，其运行短路分断和极限短路分断能力最高可达到 150 kA。

(2) 高可靠性。产品除要求较高的性能指标外，又可做到不降容使用，可以满足容量长期使用而不会发生过热，从而实现安全运行。

(3) 电子化。现代化企业已经采用 PC 控制系统代替由电气-机械元件组成的系统，已是机械电气控制系统的主流。该系统要求电器产品具有高可靠性、高抗干扰性，还要求触点能可靠接通低电压、弱电流，触头断开时的电弧不能干扰电子电路的正常运行。

(4) 智能化。随着专用集成电路和高性能的微处理器的出现，断路器实现了脱扣器的智能化，使断路器的保护功能大大加强，可实现过载长延时、短路短

延时、短路瞬时、接地、欠压保护等功能,还可以在断路器上显示电压、电流、频率、有功功率、无功功率、功率因数等系统运行参数,并可以避免高次谐波的影响而发生误动作。

(5) 现场总线技术。低压电器新一代产品实现了可通信、网络化,能与多种开放式的现场总线连接,进行双向通信,实现电器产品的遥控、遥信、遥测、遥调功能。现场总线技术的应用,不仅能对配电质量进行监控,减少损耗。而且,现场总线技术能对同一区域电网中多台断路器实现区域连锁,实现配电保护的自动化,进一步提高配电系统的可靠性。工业现场总线领域使用的总线有 Profibus、Modbus、Device Net 等,其中 Modbus 与 Profibus 的影响较大。

(6) 模块化、组合化。将不同功能的模块按不同的需求组合成模块化组合电器,是当今低压电器行业的发展方向。

1.1.3 电磁式低压电器基础知识

电磁机构是电磁式电器的感测部分,它的主要作用是将电磁能转换为机械能,带动触点动作,从而实现接通或分断电路。

电磁机构由吸引线圈、铁芯、衔铁等几部分组成。

1. 常用的磁路结构

常用的磁路结构如图 1-1 所示,它可分为 3 种形式。

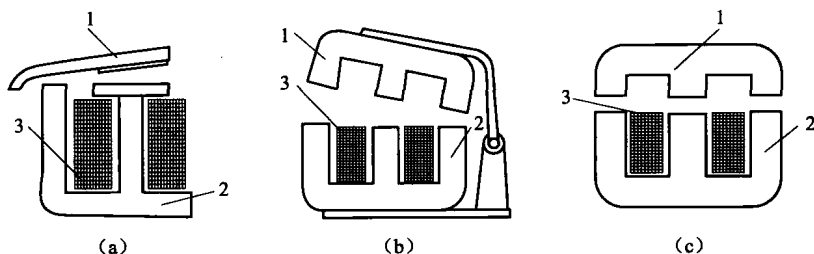


图 1-1 常用的磁路结构

(a) 沿棱角转动的拍合式; (b) 沿轴转动的拍合式; (c) 直动式

1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯,如图 1-1 (a) 所示。这种形式的磁路结构广泛应用于直流电路中。

衔铁沿轴转动的拍合式铁芯,如图 1-1 (b) 所示。其铁芯形状有 E 形和 U 形两种。此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

衔铁直线运动的双 E 形直动式铁芯,如图 1-1 (c) 所示。它多用于交流接触器、继电器中。

电磁式电器分为直流与交流两大类,都是利用电磁铁的原理制成。通常直流电磁铁的铁芯是用整块钢材或工程纯铁制成,而交流电磁铁的铁芯则是用硅钢片

叠铆而成。

2. 吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁场能，按通入电流种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁铁，由于其铁芯不发热，只有线圈发热，所以直流电磁铁的吸引线圈做成高而薄的瘦长形，且不设线圈骨架，使线圈与铁芯直接接触，易于散热。

对于交流电磁铁，由于其铁芯存在磁滞和涡流损耗，这使得线圈和铁芯都会发热，所以交流电磁铁的吸引线圈设有骨架，使铁芯与线圈隔离，并将线圈制成短而厚的矮胖形，有利于铁芯和线圈的散热。

3. 交流电磁铁的短路环

交流电磁铁磁通是交变的，当磁通过零时，电磁铁的吸力也为零，吸合后的衔铁在反力弹簧的作用力下将被拉开；磁通过零后电磁吸力又增大，当吸力大于弹簧反力时，衔铁又吸合。这样反复动作，使衔铁产生强烈振动和噪声，甚至使铁芯松散。因此交流电磁铁铁芯端面上都安装一个铜的短路环。短路环包围铁芯端面约 $2/3$ 的面积，如图 1-2 (a) 所示。短路环把铁芯中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ，且 Φ_2 滞后 Φ_1 ，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除振动和噪声，其作用力如图 1-2 (b) 所示。

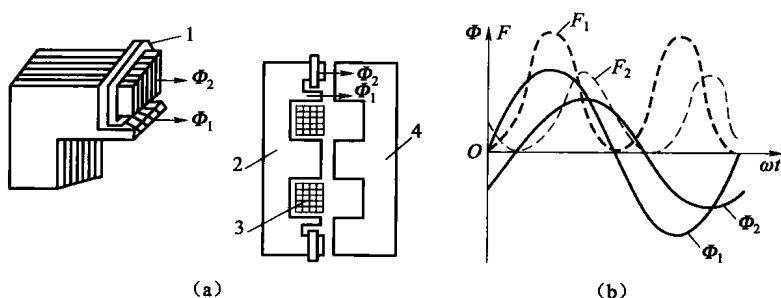


图 1-2 交流电磁铁的短路环

(a) 结构图；(b) 电磁吸力图

1—短路铜环；2—静铁芯；3—吸引线圈；4—衔铁

4. 触点系统和灭弧装置

1) 触点系统

触点系统是低压电器的执行部件，用来实现电路的接通和断开。触头通常用铜制成，但铜制触头表面易产生氧化膜，使触头的接通电阻增大而引起触头过热，影响电器的使用寿命。而银的氧化膜电阻率与纯银相似，因此有些小容量电器的触头采用银制材料。

触头按其形状不同可分为桥式触头和指形触头。桥式触头如图 1-3 (a)、