



教育部高职高专规划教材

第二版

电气控制与PLC应用



张桂香 主编
马全广 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电气控制与 PLC 应用

第二版

张桂香 主编

李国厚 薛 波 副主编

马全广 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

本书共十章, 主要包括常用低压电器、电气控制系统的基本控制电路、典型机械设备电气控制系统分析、可编程控制器(以松下电工 FP0 为样机)的原理及应用、实验、实训等内容。

本书从应用角度出发, 以培养学生能力为主线, 服务生产需求为宗旨, 理论联系实际地介绍了电气控制技术及可编程控制器(PLC)的原理, 并突出其应用。

本书可作为高职高专院校的电机电器、电气自动化、自动控制、机电一体化、机械电子应用等专业的教学用书, 也可供职工大学和现场工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用/张桂香主编. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2006.3
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-8410-2

I. 电… II. 张… III. ①电气控制-高等学校: 技
术学院-教材②可编程序控制器-高等学校: 技术学院-
教材 IV. ①TM762②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 022939 号

教育部高职高专规划教材

电气控制与 PLC 应用

第二版

张桂香 主编

李国厚 薛波 副主编

马全广 主审

责任编辑: 张建茹

责任校对: 洪雅妹

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社

教材出版中心

出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 465 千字

2006 年 5 月第 2 版 2006 年 5 月北京第 4 次印刷

ISBN 7-5025-8410-2

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。因此计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

第二版前言

在生产过程、科学研究和其它产业领域中,电气控制技术的应用都十分广泛。在机械设备的控制中,电气控制也比其它的控制方法使用的更为普遍。随着科学技术日新月异的发展,特别是大规模集成电路的问世和微处理机技术的应用,出现了可编程序控制器(PLC),使电气控制技术进入了一个崭新的阶段。因此,了解和学习这些控制技术对高校工程类专业的学生来说,已是必不可少的。

本书编写的总目标是解决电气控制及 PLC 的原理及应用问题,培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。在内容安排上,简明扼要,难易适中,力求突出针对性、实用性和先进性。既注重必需的理论知识的学习和掌握,又有实验实训环节。在结构上,基本上采用层层深入的方法,循序渐进,深入浅出,先介绍常用低压电路元件的结构、工作原理和使用方法,再介绍电动机的基本控制电路,然后是典型控制设备综合控制系统的组成及分析方法,最后是 PLC(日本松下电工 FP0 系列机)及其控制系统的设计和應用等。这次根据广大院校师生的要求,对本书部分内容做了修订,主要修订内容如下:

1. 补充与电工考证相关的 T68 镗床控制系统;
2. 补充部分实用高级指令;
3. 增加高级指令编程和编程软件的使用等四个实验;
4. 第二篇 PLC 部分增加了思考题与习题;
5. 加 * 内容为选学内容,各院校各专业在选用本教材时可根据学时多少灵活掌握。

本书由张桂香任主编,负责全书的统稿,并编写绪论、第七章和第九章;李国厚、薛波为副主编,李国厚编写第五章;薛波编写第四章和附录;王素姣编写第一章和第十章的技能训练一、二;孟庆波编写第二章的第一、二节;曲素荣编写第二章的第三节~第七节;张君霞编写第三章的第一节~第四节和第六章;张志军编写第三章的第五、六节及第十章的技能训练三、四、五;姚存治编写第八章。马全广担任主审,对书稿提出了许多建设性意见。本书在编写过程中还得到了天津源峰科技发展公司的帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏或不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2006 年 3 月

第一版前言

在生产过程、科学研究和其他产业领域中,电气控制技术的应用都十分广泛。在机械设备的控制中,电气控制也比其他的控制方法使用的更为普遍。随着科学技术日新月异的发展,特别是大规模集成电路的问世和微处理机技术的应用,出现了可编程序控制器(PLC),使电气控制技术进入了一个崭新的阶段。因此,了解和学习这些控制技术对高校工程类专业的学生来说,已是必不可少的。

本书编写的总目标是深入浅出地讲解电气控制及 PLC 的原理,突出其应用,培养学生分析问题和解决问题的能力。在内容安排上,简明扼要,难易适中,力求突出针对性、实用性和先进性。既注重必需的理论知识的学习和掌握,又有实验实训环节。在结构上,基本上采用层层深入的方法,循序渐进,深入浅出。首先介绍常用低压电器元件的结构、工作原理和使用方法;再介绍电动机的基本控制电路;然后是典型控制设备综合控制系统的组成及分析方法,最后是 PLC(日本松下电工 FP0 系列机)及其控制系统的设计和应用等。本课程的参考教学时数为 90~100 学时(实训环节除外)。

本书由张桂香任主编,负责全书的统稿,并编写绪论、第七章和第九章;李国厚、薛波为副主编,李国厚编写第五章的第三节;薛波编写第四章和附录;王素姣编写第一章和技能训练一、二;孟庆波编写第二章的第一、二节;曲素荣编写第二章的第三节~第六节;杨青杰编写第三章的第一、二、三、五节;张志军编写第三章的第四节和第五章的第一、二节及技能训练三、四、五;张君霞编写第六章;姚存治编写第八章。马全广担任主审,对书稿提出了许多建设性意见。本书在编写过程中还得到了天津源峰科技发展有限公司的帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏或不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2003 年 5 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 继电器-接触器控制系统

第一章 常用低压电器	3
第一节 概述	3
第二节 低压电器的电磁机构及执行机构	3
第三节 接触器	6
第四节 继电器	9
第五节 熔断器	17
第六节 低压隔离器	18
第七节 低压断路器	21
第八节 主令电器	23
第九节 其他常用电器	27
思考题与习题	29
第二章 电气控制系统的基本控制电路	30
第一节 电气制图及电气控制系统图	30
第二节 电气控制线路的逻辑代数分析方法	34
第三节 异步电动机的启动控制	36
第四节 笼型异步电动机正反转控制	43
第五节 笼型异步电动机的制动控制	45
第六节 双速异步电动机控制电路	47
第七节 异步电动机的其他基本控制电路	49
思考题与习题	57
第三章 典型机械设备电气控制系统分析	59
第一节 卧式车床的电气控制电路	59
第二节 X62W 型万能升降台铣床的电气控制电路	63
第三节 镗床的电气控制电路	69
* 第四节 组合机床的电气控制电路	73
第五节 桥式起重机的电气控制电路	78
* 第六节 小型冷库的电气控制电路	87
思考题与习题	89

第二篇 可编程控制器

第四章 可编程控制器的一般原理及组成	91
第一节 概述	91
第二节 PLC 的特点、功能及应用	91
第三节 PLC 的基本结构及工作原理	95
第四节 PLC 的技术性能	98
第五节 PLC 的分类	100
第六节 PLC 的编程语言	101
思考题与习题	102
第五章 松下电工可编程控制器产品——FP0 介绍	103
第一节 FP0 的产品及性能简介	103
第二节 FP0 的内部寄存器及 I/O 配置	107
第三节 FP0 的指令系统	110
思考题与习题	148
第六章 FP0 的特殊功能及高级模块 ...	149
第一节 FP0 的特殊功能简介	149
* 第二节 FP0 的特殊指令	153
第三节 FP0 的高级模块	157
思考题与习题	164
第七章 PLC 的编程及应用	165
第一节 PLC 的编程特点	165
第二节 基本应用程序	167
第三节 PLC 的编程方法及技巧	172
第四节 PLC 应用程序举例	178
思考题与习题	183
第八章 松下电工 PLC 软件简介	184
第一节 FPWIN GR 编程软件	184
* 第二节 MCGS 组态软件	192
思考题与习题	199

第三篇 实验 实训

第九章 实验	201
实验一 灯光闪烁控制	201
实验二 TVT-90C 台式 PLC 学习机的认识与使用	202

实验三	编程软件的基本操作练习	204
实验四	基本顺序指令练习	206
实验五	基本功能指令练习	208
实验六	定时指令的应用	210
实验七	计数指令的应用	211
实验八	几种数据移位指令的应用	213
实验九	子程序调用指令的应用	214
实验十	算术运算指令练习	216
实验十一	数值运算程序设计	217
实验十二	电机控制	218
实验十三	天塔之光	219
实验十四	八段码显示	221
实验十五	十字路口交通灯控制	222
实验十六	乒乓球比赛模拟控制	225

实验十七	多种液体自动混合装置的控制	227
实验十八	三层楼电梯自动控制	229
实验十九	A/D、D/A 的应用	231

第十章 实训

技能训练一	三相笼型异步电动机Y- Δ 降压启动控制电路	234
技能训练二	三相笼型异步电动机正反转控制电路	235
技能训练三	广告牌彩灯闪烁程序设计 ...	236
技能训练四	四层电梯的 PLC 控制系统 ...	238
技能训练五	材料分拣 PLC 控制系统	241

第四篇 附 录

附录一	常用低压电器技术数据	245
附录二	电气技术用文字符号与电气图用图形符号	251

附录三	FP0 特殊数据寄存器一览表	258
附录四	FP0 系统寄存器一览表	260
附录五	FP0 高级指令表	262

参考文献	276
------------	-----

绪 论

各种各样的设备，都为电力所拖动，采用各种控制元件、控制装置来实现对设备的控制，称为电气控制。

一、电气控制技术的发展概况

19 世纪末，直流发电机、交流发电机和直流电动机、异步电动机相继问世，揭开了电气控制技术的序幕。20 世纪初，电动机逐步取代蒸汽机用来驱动生产机械，拖动方式由集中拖动发展为单独拖动，为了简化机械传动系统，出现了一台机器的几个运动部件由几台电动机分别拖动，这种方式称为多电机拖动。在这种情况下，机器的电气控制系统不但可对各台电动机的启动、制动、反转、停车等进行控制，还具有对各台电动机之间实行协调、联锁、顺序切换、显示工作状态的功能。对生产过程比较复杂的系统还要求对影响产品质量的各种工艺参数如温度、压力、流量、速度、时间等能够自动测量和自动调节，这样就构成了功能相当完善的电气自动化系统。到 20 世纪 30 年代，电气控制技术的发展，推动了电器产品的进步，继电器、接触器、按钮、开关等元器件形成了功能齐全的多种系列，基本控制已形成规范，并可以实现远距离控制。这种主要用于控制交流电动机的系统通常称为继电接触器控制系统。

继电接触器控制具有使用的单一性，即一台控制装置只能针对某一种固定程序的设备。随着产品机型的更新换代，生产线承担的加工对象也随之改变，这就需要改变控制程序，使生产线的机械设备按新的工艺过程运行，而继电接触器控制系统是采用固定接线的，很难适应这个要求。大型自动生产线的控制系统使用的继电器数量很多，这种有触点的电器工作频率较低，在频繁动作情况下寿命较短，从而造成系统故障，使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题，20 世纪 60 年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电接触器控制系统，对复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制，由于这些装置本身存在某些不足，均未能获得广泛应用。1968 年美国最大的汽车制造商——通用汽车（GM）公司为适应汽车型号不断更新，提出把计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点和继电接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来，做成一种能适应工业环境的通用控制装置，同时依据现场电气操作维护人员和工程技术人员的技能和习惯，把编程方法和程序输入方式加以简化，使得不熟悉计算机的人员也能很快掌握它的使用技术。根据这一设想，美国数字设备公司（DEC）于 1969 年率先研制出第一台可编程序控制器（简称 PLC），在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功。从此以后，许多国家的著名厂商竞相研制，各自形成系列，而且品种更新很快，功能不断增强，从最初的逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制，具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC 另一个突出优点是可靠性很高，平均无故障运行时间可达 10 万小时以上，可以大大减少设备维修费用和停产造成的经济损失。当前 PLC 已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置。

20 世纪 70 年代出现了计算机群控系统、综合运用计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、智能机器人等多项高新技术，形成了从产品设计与制造的智能化生产的完整体系，将自动制造技术、电气控制技术推进到更高的水平。

二、本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的专业课，主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象，

介绍继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、典型机械的电气控制线路以及电气控制系统的分析设计方法。当前 PLC 控制系统应用十分普遍，已经成为实现工业自动化的主要手段，把它作为教学重点是毫无疑义的。但是根据中国当前情况，继电器接触器控制系统仍然是机械设备最常用的电气控制方式，而且控制系统所用的低压电器正在向电子化、小型化、多功能、长寿命发展，出现了功能多样的电子式电器，使继电器接触器控制系统性能不断提高，因此它在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位。另一方面 PLC 是计算机技术与继电器接触器控制技术相结合的产物，而且 PLC 的输入、输出仍然与低压电器密切相关，因此掌握继电器接触器控制技术也是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。

本课程的目标是培养学生实际操作和实际应用的能力，具体要求是：

- ① 熟悉常用低压电器的结构原理、用途，了解其型号规格并能够正确使用；
- ② 熟练掌握继电器接触器控制线路的基本环节，能够独立分析电气控制线路的工作原理；
- ③ 熟悉典型设备电气控制系统，具有从事电气设备安装调试、维修管理的能力；
- ④ 掌握 PLC 的基本原理及编程方法，能够根据工艺过程和控制要求进行系统设计和编制应用程序；
- ⑤ 具有设计和改进一般机械设备电气控制线路的基本能力；
- ⑥ 具有调试、维护 PLC 控制系统的基本能力。

第一篇 继电器-接触器控制系统

第一章 常用低压电器

低压电器是电气控制系统的基本组成元件。本章主要介绍在机械设备电气控制系统中，常用低压电器的原理、结构、型号、符号、规格和用途，以及低压电器的正确选择、使用与维护。

第一节 概 述

凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械均可称为电器。用于交流（50Hz 额定电压 1200V 以下）和直流（额定电压 1500V 以下）电路内起通断保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。低压电器的品种规格繁多，构造各异，按其用途可分为配电电器和控制电器；按其动作方式可分为自动电器和手动电器；按其执行机构又可分为有触点电器和无触点电器等。综合考虑各种电器的功能和结构特点，通常将低压电器分为刀开关、熔断器、断路器、接触器、主令电器等 12 大类。

自改革开放以来，中国低压电器产品发展很快，通过自行设计新产品和从国外著名厂家引进技术，产品品种和质量都有明显的提高，符合新的国家标准、部颁标准和达到国际电工委员会（IEC）标准的产品不断增加。而能耗高、性能差的电器产品逐步被取代。

当前，低压电器继续沿着体积小、重量轻、安全可靠、使用方便的方向发展，主要途径是利用微电子技术提高传统电器的性能；在产品品种方面，大力发展电子化的新型控制电器，如接近开关、光电开关、电子式时间继电器、固态继电器与接触器、漏电继电器、电子式电机保护器和半导体启动器等，以适应控制系统迅速电子化的需要。

第二节 低压电器的电磁机构及执行机构

电磁式电器是指以电磁力为驱动力的电器，它在低压电器中占有十分重要的地位，在电气控制系统中应用最为普遍。各种类型的电磁式电器主要由电磁机构和执行机构所组成，电磁机构按其电源种类可分为交流和直流两种，执行机构则可分为触头和灭弧装置两部分。

一、电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力，带动触头动作，完成通断电路的控制作用。

电磁机构通常采用电磁铁的形式，由吸引线圈、铁芯（亦称静铁芯或磁轭）和衔铁（也称动铁芯）三部分组成。其作用原理：当线圈中有工作电流通过时，电磁吸力克服弹簧的反作用力，使得衔铁与铁芯闭合，由连接机构带动相应的触头动作。

（一）铁芯和衔铁的结构形式

从常用铁芯的衔铁运动形式上看，铁芯主要可分为拍合式和直动式两大类。图 1-1(a)为衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，其铁芯材料由电工软铁制成，它广泛用于直流电器中；图

1-1(b)为衔铁沿轴转动的拍合式铁芯,铁芯形状有E形和U形两种,其铁芯材料由硅钢片叠成,多用于触头容量较大的交流电器中。图1-1(c)为衔铁直线运动的双E形直动式铁芯,它也是由硅钢片叠制而成的,多用于触头为中、小容量的交流接触器和继电器中。

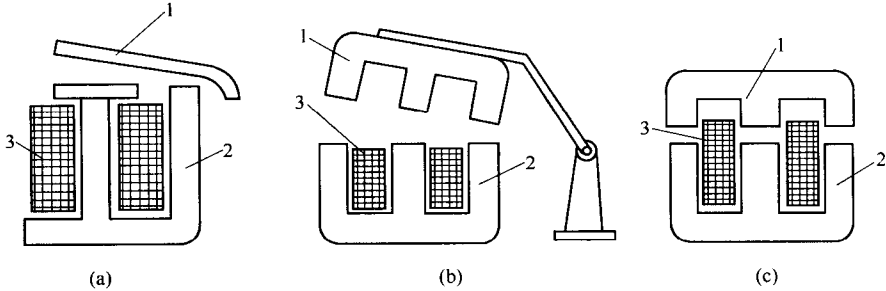


图 1-1 常用的磁路结构
1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

(二) 线圈

电磁线圈由漆包线绕制而成,也分为交、直流两大类,当线圈通过工作电流时产生足够的磁动势,从而在磁路中形成磁通,使衔铁获得足够的电磁力,克服反作用力而吸合。

(三) 电磁吸力与吸力特性

电磁铁线圈通电后,铁芯吸引衔铁的力称为电磁吸力,用 F 表示。吸力的大小与气隙的截面积及气隙中的磁感应强度的平方成正比,其基本公式为

$$F = \frac{S_0 B_0^2}{2\mu_0} \quad (1-1)$$

式中 B_0 ——气隙中的磁感应强度, T;

S_0 ——磁极截面积, m^2 ;

μ_0 ——真空磁导率, H/m;

F ——电磁吸力, N。

1. 直流电磁铁的吸力特性

直流电磁铁在衔铁被吸合前后,其电磁吸力是不相同的。因为直流电磁铁励磁电流的大小只与所加电源电压 U 及线圈电阻 R 有关。在 U 与 R 均不变时,电流 I 是定值。电磁铁未吸合时,磁路中有空气隙,磁路中的磁阻变大,使得磁通 Φ 减小;电磁铁吸合后,气隙减小,磁路中的磁阻减小,则磁通 Φ 增大。由式 (1-1) 可知,在直流电磁铁吸合过程中,电磁吸力不断增大,完全吸合时的电磁吸力最大。

2. 交流电磁铁的吸力特性

交流电磁铁的线圈电压是按正弦规律变化的,因而气隙中的磁感应强度也按正弦规律变化。即 $B_0 = B_m \sin \omega t$, 将此式代入式 (1-1), 可得交流电磁铁吸力瞬时值的表达式为:

$$F' = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t \quad (1-2)$$

其中, $F_m = B_m^2 S_0 / 2\mu_0$ 是电磁吸力的最大值。电磁吸力大小取决于电流变化的一个周期内电磁吸力的平均值。若以 F 表示, 则

$$F = \frac{1}{T} \int_0^T F' dt = \frac{B_m^2 S_0}{4\mu_0} \quad (1-3)$$

从式 (1-3) 可知,交流电磁铁的电磁吸力与磁感应强度最大值的平方成正比,与气隙截面积成正比。

由式 (1-2) 可知, 交流电磁铁电磁吸力的大小是随时间而变化的, 可用图 1-2 的曲线表示。当磁通为零时, 电磁吸力也为零; 当磁通 Φ 为最大值时, 电磁吸力达最大值。当电磁吸力小于作用在衔铁上弹簧的反作用力时, 衔铁将从与铁芯闭合处被拉开; 当电磁吸力大于弹簧反作用力时, 衔铁又被吸合。随着电磁吸力的脉动, 使衔铁产生了振动。衔铁频繁振动, 既产生了噪声, 又使铁芯的接触处有磨损, 降低了电磁铁的使用寿命。为了消除衔铁的振动和噪声, 在电磁铁铁芯的某一端嵌入一短路铜环, 也叫分磁环, 如图 1-3 所示。短路环将铁芯中的磁通分成两个部分, 即环内磁通 Φ_1 和环外磁通 Φ_2 。 Φ_1 使铜环产生感应电动势和电流, 阻止 Φ_1 变化, 使铁芯中的两部分磁通所产生的电磁吸力不会为零, 从而消除了衔铁的振动和噪声。

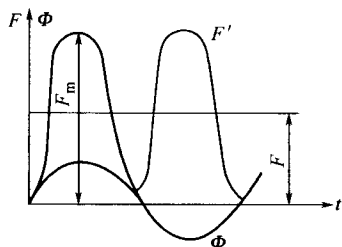


图 1-2 交流电磁铁的电磁吸力曲线

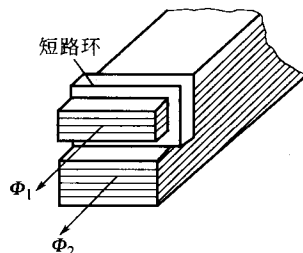


图 1-3 短路环

还应指出, 对电磁式电器而言, 电磁机构的作用是使触头实现自动化操作。而电磁机构实质上是电磁铁的一种, 电磁铁还有很多其他用途。例如牵引电磁铁, 有拉动式和推动式两种, 可以用于远距离控制和操作各种机构; 阀用电磁铁, 可以远距离控制各种气动阀、液压阀以实现机械自动控制; 制动电磁铁则用来控制自动抱闸装置, 实现快速停车; 起重电磁铁用于起重搬运磁性货物件等。

二、触头系统

触头的作用是接通或分断电路, 因此要求触头具有良好的接触性能, 电流容量较小的电器 (如接触器、继电器等) 常采用银质材料作触头, 这是因为银的氧化膜电阻率与纯银相似, 可以避免触头表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。

触头的结构有桥式和指式两类。桥式触头又分为两种, 一种为点接触式, 见图 1-4 (a), 适用于电流不大的场合; 另一种为面接触式, 见图 1-4 (b), 适用于电流较大的场合。图 1-4 (c) 为指形触头 (也称线接触), 指形触头在接通与分断时产生滚动摩擦, 可以去掉氧化膜, 故其触头可以用紫铜制造, 特别适合于触头分合次数多、电流大的场合。

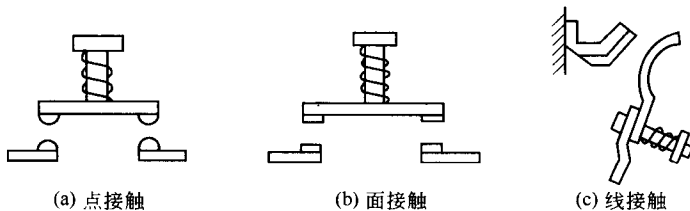


图 1-4 交流接触器触头的结构形式

三、灭弧系统

触头在分断电流瞬间, 在触头间的气隙中就会产生电弧, 电弧的高温能将触头烧损, 并可能造成其他事故, 因此, 应采用适当措施迅速熄灭电弧。

熄灭电弧的原理有两种：①迅速增加电弧长度（拉长电弧），使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不够而使电弧熄灭。②使电弧与流体介质或固体介质相接触，加强冷却和去游离作用，令其加快熄灭。电弧有直流电弧和交流电弧两类，交流电流有自然过零点，故其电弧较易熄灭。

低压控制电器常用的具体灭弧方法有以下几种。

(1) 机械灭弧 通过机械装置将电弧迅速拉长。这种方法多用于开关电器中。

(2) 磁吹灭弧 在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁场作用下，电弧受电磁力的作用而拉长，被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，与固体介质相接触，电弧被冷却而熄灭。

(3) 窄缝（纵缝）灭弧 在电弧所形成的磁场电动力的作用下，可使电弧拉长并进入灭弧罩的窄（纵）缝中，几条纵缝可将电弧分割成数段且与固体介质相接触，电弧便迅速熄灭。这种结构多用于交流接触器上。

(4) 栅片灭弧 当触头分开时，产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成数段，彼此绝缘的金属栅片的每一片都相当于一个电极，因而就有许多个阴阳极压降。对交流电弧来说，近阴极处，在电弧过零时就会出现一个 150~250V 的介质强度，使电弧无法继续维持而熄灭。由于栅片灭弧效应在交流时比直流时强得多，所以交流电器常常采用栅片灭弧，如图 1-5 所示。

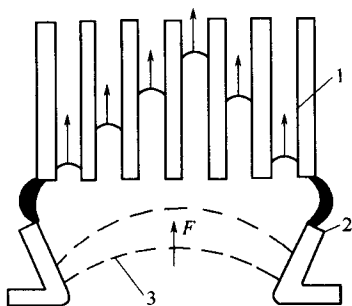


图 1-5 金属栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片；2—触头；3—电弧

第三节 接 触 器

接触器是一种用来频繁地接通或切断带有负载的交、直流主电路或大容量控制电路的自动切换电器。其主要控制对象是电动机，也可用于其他电力负载，如电热器、电焊机、电炉变压器、电容器组等。接触器不仅能接通和切断电路，还具有低电压释放保护作用、控制容量大、适用于频繁操作和远距离控制、工作可靠、寿命长等特点。接触器的运动部分（动铁芯、触头等），可借助于电磁力、压缩空气、液压力的作用来驱动。在此，只介绍电磁力驱动的电磁式接触器。电磁式接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置等部分组成。

接触器按其主触头通过的电流种类可分为交流接触器和直流接触器两种。

一、交流接触器

交流接触器的主触头流过交流电流，但对它的吸引线圈的电压并没有硬性规定，通常多数是施加交流电压，也有为了增加接触器的开闭次数和可靠性采用直流吸引线圈的。

目前在中国常用交流接触器主要有：CJ10、CJ12、CJ20 等系列。其中，CJ10、CJ12 是早期全国统一设计的系列产品；CJ20 系列是全国统一设计的新型接触器，主要适用于交流 50Hz、电压 660V 以下（其中部分等级可用于 1140V）、电流 630A 以下的电力线路中。

CJ20 为开启式，结构型式为直动式、主体布置。图 1-6 为 CJ20 系列交流接触器结构示意图。

它的磁系统采用双线圈的 U 形铁芯，吸引线圈一般用铜线绕成。由于交流接触器的吸引线圈电阻较小（主要靠感抗限制线圈电流）故铜损引起的发热不多，为了增加铁芯的散热面积，吸引线圈设有骨架，使铁芯与线圈隔离并将线圈制成粗而短的圆桶状。

触头系统采用双断点结构，动触桥为船形，具有较高的强度和较大的热容量。主触头通常有3对，也有1对、4对、5对的，辅助触点在主触点两侧。辅助触点的组合如下：160A及以下为二常开二常闭；250A及以上为四常开二常闭，但可根据需要变换成三常开三常闭或二常开四常闭。

25A以上的交流接触器装有灭弧罩，灭弧罩按其额定电压和额定电流不同分为栅片式和纵缝式两种。

近年来从国外引进一些交流接触器产品，有德国BBC公司的B系列、西门子公司的3TB系列、法国TE公司的LC1-D和LC2-D系列等。这些引进产品大多采用积木式结构，可以根据需要加装辅助触头、空气延时触头、热继电器及机械联锁附件；安装方式有用螺钉安装和快速卡装在标准导轨上两种，外形美观，体积、质量也都大大减小，技术性能显著提高。此外，B系列接触器还有所谓“倒装式”结构，即磁系统在前面而主触点系统则紧靠安装面，这给更换线圈和缩短主触点接线带来了方便。目前国产的CJX1和CJX2系列小容量交流接触器也具有以上特点。

交流接触器型号意义：

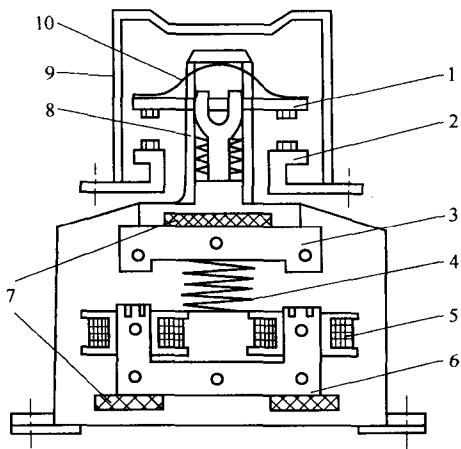
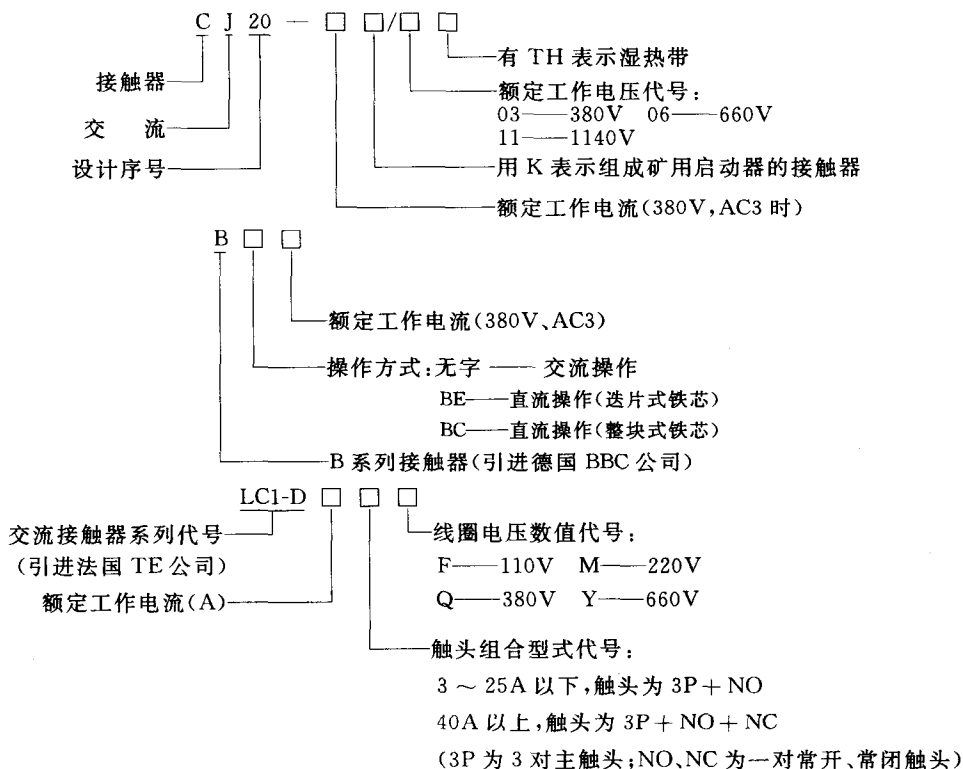


图 1-6 CJ20 系列交流接触器结构示意图

- 1—动触桥；2—静触头；3—衔铁；
4—缓冲弹簧；5—电磁线圈；6—铁芯；
7—垫毡；8—触头弹簧；9—灭弧罩；
10—触头压力簧片

交(直)流接触器的图形符号和文字符号如图 1-7 所示：

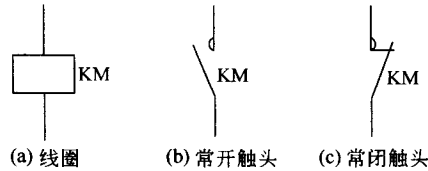


图 1-7 接触器的图形符号和文字符号

部分交流接触器的主要技术参数见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 CJ20 系列交流接触器主要技术参数

型 号	频率 /Hz	辅助触头额定电流/A	吸引线圈电压 /V	主触头额定电流 /A	额定电压 /V	可控制电动机最大功率/kW
CJ20-10	50	5	交流 36、127、 220、380	10	380/220	4/2.2
CJ20-16				16	380/220	7.5/4.5
CJ20-25				25	380/220	11/5.5
CJ20-40				40	380/220	22/11
CJ20-63				63	380/220	30/18
CJ20-100				100	380/220	50/28
CJ20-160				160	380/220	85/48
CJ20-250				250	380/220	132/80
CJ20-400				400	380/220	220/115

表 1-2 CJ12 系列交流接触器主要技术参数

型 号	额定电 流/A	极 数	额定电压	辅 助 触 头		线 圈
CJ12-100	100	1、3、4、5	交流 380	容 量	对 数	额定电压/V
CJ12-150	150			交 流 1000V·A/380	6 对常开与常 闭点可任意组合	交 流 36、127、 220、380
CJ12-250	250			直 流 90W/220		
CJ12-400	400					
CJ12-600	600					

二、直流接触器

直流接触器主要用于额定电压至 440V、额定电流至 1600A 的直流电力线路中，作为远距离接通和分断电路，控制直流电动机的频繁启动、停止和反向。

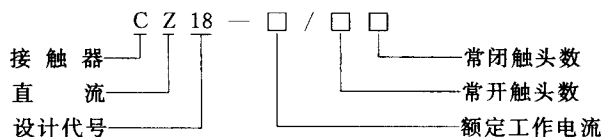
直流电磁机构通以直流电，铁芯中无磁滞和涡流损耗，因而铁芯不发热。而吸引线圈的匝数多，电阻大、铜耗大，线圈本身发热。因此吸引线圈做成薄而长的圆筒状，且不设线圈骨架，使线圈与铁芯直接接触，以便散热。

触头系统也有主触头与辅助触头。主触头一般做成单极或双极。单极直流接触器用于一般的直流回路中，双极直流接触器用于分断后电路完全隔断的电路以及控制电机的正反转电路中。由于通断电流大，通电次数多，故采用滚滑接触的指形触头，辅助触头由于通断电流小，常采用点接触的桥式触头。

直流接触器一般采用磁吹灭弧装置。

国内常用的直流接触器有 CZ18、CZ21、CZ22 等系列。

直流接触器型号意义：



直流接触器的图形符号和文字符号同交流接触器。

三、接触器的选用

选用接触器时应从其工作条件出发，主要考虑下列因素。

- ① 控制交流负载应选用交流接触器，控制直流负载则选用直流接触器。
- ② 接触器的使用类别应与负载性质相一致。

交流接触器按负荷种类一般分为四类，分别记为 AC_1 、 AC_2 、 AC_3 和 AC_4 。其对应的控制对象分别为：

- AC_1 无感或微感负荷，如白炽灯、电阻炉；
- AC_2 绕线式异步电动机的启动和停止；
- AC_3 笼形异步电动机的运转和运行中分断；
- AC_4 笼形异步电动机的启动、反接制动、反转和点动。

直流接触器的使用类别大致可分为 3 类， DC_1 、 DC_3 、 DC_5 ，其中 DC_1 类控制无感或微感负荷； DC_3 类控制并励直流电动机的启动、反接制动、反向和点动等。

- ③ 主触头的额定工作电压应大于或等于负载电路的电压。
- ④ 主触头的额定工作电流应大于或等于负载电路的电流。
- ⑤ 吸引线圈的额定电压应与控制回路电压相一致，接触器在线圈额定电压 85% 及以上时应能可靠地吸合。

四、接触器的维护

- ① 交流接触器的吸引线圈电压只在 85%~105% U_N 时能保证可靠工作，电压低于、高于这个范围，线圈都有可能烧毁。直流接触器吸引线圈的可靠工作电压也是在 85%~105% U_N 范围，电压降到 5%~10% U_N 时，动铁芯释放。
- ② 短路环损坏后，不能继续使用。
- ③ 触头表面应保持清洁，但不允许涂油。
- ④ 触头严重磨损，当厚度只剩下 1/3 时，应及时更换。
- ⑤ 原来带灭弧罩的接触器，一定要带灭弧罩使用，以免发生短路。
- ⑥ 可动部分不能卡死，紧固部分不能松脱。

第四节 继电器

继电器是一种根据外界输入的一定信号（电的或非电的）来控制电路中电流通断的自动切换电器。它具有输入电路（又称感应元件）和输出电路（又称执行元件）。当感应元件中的输入量（如电流、电压、温度、压力等）变化到某一定值时继电器动作，执行元件便接通或断开控制电路。其触点通常接在控制电路中。

电磁式继电器的结构和工作原理与接触器相似，结构上也是由电磁机构和触头系统组成。但是，继电器控制的是小功率信号系统，流过触头的电流很弱，所以不需要灭弧装置；另外，继电器可以对各种输入量作出反应，而接触器只有在一定的电压信号下动作。