



教育部高等职业教育示范专业规划教材
(电气工程及自动化类专业)

电气控制 与PLC应用技术 (西门子PLC) (理实一体化项目教程)

周忠 彭小平 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、习题参
考答案及模拟试卷

教育部高等职业教育示范专业规划教材
(电气工程及自动化类专业)

电气控制与 PLC 应用技术 (西门子 PLC)

(理实一体化项目教程)

主 编 周 忠 彭小平
副主编 凌双明 赵 勇
参 编 陈立奇 晏清莲

机械工业出版社

本书为理实一体化项目教程,体现了高职高专教育的特点,以职业能力培养为核心,注重实践能力的培养,全书由两部分、8个模块共24个适合实训和教学做一体化的典型工作项目组成,第一部分为电气控制,通过2个模块系统地阐述了常用低压电器的功能、结构及使用,电气原理图的绘制原则和识图方法,三相异步电机、典型机床的电气控制电路的设计、安装、接线、调试、维修和运行。第二部分是PLC应用,该部分以国内广泛使用的德国西门子S7-200系列PLC为对象,通过6个模块系统阐述了S7-200 PLC的结构组成、工作原理、内部元器件,同时还讲解了编程软件STEP7-Micro/WIN的使用、仿真软件的使用、顺序功能图、功能指令、模拟量PLC通信及PLC控制系统的设计安装与调试。

本书适合作为高职高专电气自动化、应用电子、机电一体化及相近专业的通用教材,也可供工程技术人员参考。

本书力求设计实例丰富,可读性、实用性强。为方便教学,本书备有免费的电子教学课件、习题参考答案及模拟试卷,凡选用本书作为授课教材的学校均可来电索取,咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与PLC应用技术:(西门子PLC)(理实一体化项目教程)/周忠,彭小平主编.

—北京:机械工业出版社,2013.6

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 978-7-111-42375-1

I. ①电… II. ①周…②彭… III. ①电气控制-高等学校-教材②PLC技术-高等学校-教材 IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第092243号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 曹雪伟 版式设计:常天培
责任校对:刘怡丹 封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·546千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42375-1

定价:42.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工微博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书根据高职高专教育发展的趋势,以职业能力培养为核心,融合生产实践中典型的工作任务,并充分考虑到电器、PLC 控制技术的实际应用和发展情况,突出能力的培养,力求使理论与工程实践相结合。教材涵括了电气控制及西门子 S7-200 系列 PLC 技术这两大技术,全书由 8 个模块共 24 个典型的工作项目组成。电气控制部分共 9 个典型项目,主要介绍:常用低压电器的功能、结构及使用,电气原理图的绘制原则和识读要点,三相异步电动机、典型机床的电气控制线路的设计、安装、接线、调试、运行和维修。PLC 部分共 15 个典型项目,主要介绍:基本指令、顺序功能图、功能指令、模拟量、PLC 通信及 PLC 控制系统的设计安装与调试。并且每个项目根据知识、技能的培养要求都设定了两三个工作任务,力求做到联系实际,突出应用,注重实例。在内容编排上循序渐进、由浅入深,在内容阐述上力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂,便于教学和自学。

本书由湖南信息科学职业学院周忠教授、长沙航空职业技术学院彭小平主编。湖南信息科学职业学院凌双明、赵勇任副主编,陈立奇、晏清莲参编,本书模块 6 及附录由周忠编写,模块 1、模块 2 由彭小平编写,模块 3、模块 4 由凌双明编写,模块 5 由赵勇编写,模块 7 由陈立奇编写,模块 8 由晏清莲编写,全书由周忠、彭小平主持并统稿。本书由李红章副教授担任主审,并提出了宝贵的意见。本书既要考虑“教师好用”、“学生好学、易学”等教学特色,又要考虑对大学生素质和技能的培养和提高,所以难度较大。鉴于编者的水平和时间有限,书中难免有不足、疏漏之处,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

目 录

前言	控制系统分析、调试与维修	76
模块1 常用低压电器的认识、测试及安装	2.2.7 项目7 X62W型万能铣床电气控制系统分析、调试与维修	81
1.1 知识链接	2.2.8 项目8 M7120型平面磨床电气控制系统分析、调试与维修	86
1.1.1 低压电器的分类与作用	思考练习题	93
1.1.2 接触器	模块3 PLC的认识和初步应用	94
1.1.3 继电器	3.1 知识链接	94
1.1.4 刀开关与低压断路器	3.1.1 可编程序控制器的产生、发展及定义	94
1.1.5 熔断器	3.1.2 PLC的特点与应用领域	95
1.1.6 主令电器	3.1.3 PLC的分类	97
1.2 实训项目 常用低压电器的认识、拆装及测试	3.1.4 可编程序控制器的构成及工作原理	99
思考练习题	3.1.5 初识S7-200 PLC	102
模块2 常用电气控制系统的设计、安装和调试	3.1.6 CPU模块的技术指标及接线	104
2.1 知识链接	3.1.7 S7-200扩展模块的技术指标及接线	106
2.1.1 电气控制系统图概述	3.1.8 S7-200供电和接线	112
2.1.2 电气控制系统图的绘制	3.1.9 可编程序控制器的软件	113
2.1.3 电气原理图的识读	3.1.10 可编程序控制器的工作方式	116
2.1.4 几种典型的电气控制系统	3.1.11 PLC的性能指标	118
2.1.5 电气控制系统的设计	3.1.12 PLC的发展趋势	119
2.2 实训项目	3.1.13 S7-200系列PLC数据存储器及元件功能	120
2.2.1 项目1 三相异步电动机点动控制和自锁控制	3.1.14 STEP7-Micro/WIN4.0编程软件的使用	123
2.2.2 项目2 三相异步电动机的正、反转控制	3.1.15 S7-200仿真软件简介	140
2.2.3 项目3 工作台自动往返循环控制	3.2 实训项目	147
2.2.4 项目4 三相异步电动机Y-Δ减压起动控制	3.2.1 项目1 电动机正反转的PLC控制	147
2.2.5 项目5 CA6140型普通车床电气控制系统分析、调试与维修	3.2.2 项目2 工作台的自动往返PLC控制	151
2.2.6 项目6 Z3050型摇臂钻床电气	3.2.3 项目3 密码锁的PLC控制	154

思考练习题	156	指令	224
模块 4 PLC 控制系统基本指令		6.1.3 移位指令及其应用举例	225
的编程和应用	159	6.1.4 数据转换指令	228
4.1 知识链接	159	6.1.5 算术运算指令	234
4.1.1 梯形图绘制规则	159	6.1.6 逻辑运算指令	238
4.1.2 S7-200 PLC 的指令系统	161	6.1.7 递增、递减指令	240
4.1.3 典型基本梯形图的经验设计		6.1.8 表功能指令	241
方法	171	6.1.9 比较指令	245
4.1.4 定时器的扩展应用	175	6.2 实训项目	247
4.2 实训项目	179	6.2.1 项目 1 模拟喷泉的控制系统的	
4.2.1 项目 1 传送带顺序起停 PLC		设计	247
控制系统的设计	179	6.2.2 项目 2 智能停车场显示系统的	
4.2.2 项目 2 液体混合装置的 PLC		控制	250
控制系统的设计	183	思考练习题	253
4.2.3 项目 3 十字路口交通灯的 PLC		模块 7 PLC 控制系统特殊功能指令的	
控制系统的设计	185	编程和应用	255
思考练习题	187	7.1 知识链接	255
模块 5 PLC 控制系统顺序控制设		7.1.1 立即类指令	255
计法的编程和应用	190	7.1.2 中断指令	256
5.1 知识链接	190	7.1.3 高速计数器与高速脉冲输出	261
5.1.1 顺序控制设计法概述	190	7.1.4 高速计数器的工作模式	261
5.1.2 顺序控制设计法的设计步骤	191	7.1.5 高速脉冲输出	267
5.1.3 顺序功能图的绘制	192	7.1.6 PID 控制	277
5.1.4 顺序控制设计法中梯形图的		7.1.7 PID 控制功能的应用	279
编程方式	194	7.1.8 时钟指令	280
5.2 实训项目	203	7.2 实训项目 基于 PLC 和变频器的	
5.2.1 项目 1 自动送料装车控制		恒压供水系统的设计	283
系统的设计	203	思考练习题	298
5.2.2 项目 2 大小球分拣控制		模块 8 PLC 的通信及综合应用	299
系统的设计	206	8.1 知识链接	299
5.2.3 项目 3 全自动洗衣机 PLC 控制		8.1.1 S7-200 系列 PLC 的自由端口	
系统的设计	208	通信	299
5.2.4 项目 4 机械手 PLC 控制系统		8.1.2 S7-200 系列 PLC 的网络通信	305
的设计	212	8.1.3 PLC 与变频器之间的通信	310
思考练习题	220	8.2 实训项目	317
模块 6 PLC 控制系统功能指令的		8.2.1 项目 1 两台 PLC 的主从通信	
编程和应用	222	系统的设计	317
6.1 知识链接	222	8.2.2 项目 2 基于 USS 协议的 PLC 与	
6.1.1 数据传送指令	222	变频器的通信	325
6.1.2 字节交换、字节立即读写			

思考练习题	328
附录	329
附录 A S7-200 系列 PLC 相关	
附录 A.1 S7-200 系列 PLC 的组成	329
附录 A.2 S7-200 系列 PLC 的型号	330
附录 A.3 S7-200 系列 PLC 的引脚	331
附录 A.4 S7-200 系列 PLC 的电源	332
附录 A.5 S7-200 系列 PLC 的 I/O 地址	333
附录 A.6 S7-200 系列 PLC 的定时器	334
附录 A.7 S7-200 系列 PLC 的计数器	335
附录 A.8 S7-200 系列 PLC 的通信	336
附录 A.9 S7-200 系列 PLC 的故障排除	337
附录 A.10 S7-200 系列 PLC 的选型	338
附录 A.11 S7-200 系列 PLC 的接线	339
附录 A.12 S7-200 系列 PLC 的编程	340
附录 A.13 S7-200 系列 PLC 的维护	341
附录 A.14 S7-200 系列 PLC 的安全	342
附录 A.15 S7-200 系列 PLC 的兼容性	343
附录 A.16 S7-200 系列 PLC 的扩展	344
附录 A.17 S7-200 系列 PLC 的接口	345
附录 A.18 S7-200 系列 PLC 的兼容性	346
附录 A.19 S7-200 系列 PLC 的兼容性	347
附录 A.20 S7-200 系列 PLC 的兼容性	348
附录 A.21 S7-200 系列 PLC 的兼容性	349
附录 A.22 S7-200 系列 PLC 的兼容性	350
附录 A.23 S7-200 系列 PLC 的兼容性	351
附录 A.24 S7-200 系列 PLC 的兼容性	352
附录 A.25 S7-200 系列 PLC 的兼容性	353
附录 A.26 S7-200 系列 PLC 的兼容性	354
附录 A.27 S7-200 系列 PLC 的兼容性	355
附录 A.28 S7-200 系列 PLC 的兼容性	356
附录 A.29 S7-200 系列 PLC 的兼容性	357
附录 A.30 S7-200 系列 PLC 的兼容性	358
附录 A.31 S7-200 系列 PLC 的兼容性	359
附录 A.32 S7-200 系列 PLC 的兼容性	360
附录 A.33 S7-200 系列 PLC 的兼容性	361
附录 A.34 S7-200 系列 PLC 的兼容性	362
附录 A.35 S7-200 系列 PLC 的兼容性	363
附录 A.36 S7-200 系列 PLC 的兼容性	364
附录 A.37 S7-200 系列 PLC 的兼容性	365
附录 A.38 S7-200 系列 PLC 的兼容性	366
附录 A.39 S7-200 系列 PLC 的兼容性	367
附录 A.40 S7-200 系列 PLC 的兼容性	368
附录 A.41 S7-200 系列 PLC 的兼容性	369
附录 A.42 S7-200 系列 PLC 的兼容性	370
附录 A.43 S7-200 系列 PLC 的兼容性	371
附录 A.44 S7-200 系列 PLC 的兼容性	372
附录 A.45 S7-200 系列 PLC 的兼容性	373
附录 A.46 S7-200 系列 PLC 的兼容性	374
附录 A.47 S7-200 系列 PLC 的兼容性	375
附录 A.48 S7-200 系列 PLC 的兼容性	376
附录 A.49 S7-200 系列 PLC 的兼容性	377
附录 A.50 S7-200 系列 PLC 的兼容性	378
附录 A.51 S7-200 系列 PLC 的兼容性	379
附录 A.52 S7-200 系列 PLC 的兼容性	380
附录 A.53 S7-200 系列 PLC 的兼容性	381
附录 A.54 S7-200 系列 PLC 的兼容性	382
附录 A.55 S7-200 系列 PLC 的兼容性	383
附录 A.56 S7-200 系列 PLC 的兼容性	384
附录 A.57 S7-200 系列 PLC 的兼容性	385
附录 A.58 S7-200 系列 PLC 的兼容性	386
附录 A.59 S7-200 系列 PLC 的兼容性	387
附录 A.60 S7-200 系列 PLC 的兼容性	388
附录 A.61 S7-200 系列 PLC 的兼容性	389
附录 A.62 S7-200 系列 PLC 的兼容性	390
附录 A.63 S7-200 系列 PLC 的兼容性	391
附录 A.64 S7-200 系列 PLC 的兼容性	392
附录 A.65 S7-200 系列 PLC 的兼容性	393
附录 A.66 S7-200 系列 PLC 的兼容性	394
附录 A.67 S7-200 系列 PLC 的兼容性	395
附录 A.68 S7-200 系列 PLC 的兼容性	396
附录 A.69 S7-200 系列 PLC 的兼容性	397
附录 A.70 S7-200 系列 PLC 的兼容性	398
附录 A.71 S7-200 系列 PLC 的兼容性	399
附录 A.72 S7-200 系列 PLC 的兼容性	400
附录 A.73 S7-200 系列 PLC 的兼容性	401
附录 A.74 S7-200 系列 PLC 的兼容性	402
附录 A.75 S7-200 系列 PLC 的兼容性	403
附录 A.76 S7-200 系列 PLC 的兼容性	404
附录 A.77 S7-200 系列 PLC 的兼容性	405
附录 A.78 S7-200 系列 PLC 的兼容性	406
附录 A.79 S7-200 系列 PLC 的兼容性	407
附录 A.80 S7-200 系列 PLC 的兼容性	408
附录 A.81 S7-200 系列 PLC 的兼容性	409
附录 A.82 S7-200 系列 PLC 的兼容性	410
附录 A.83 S7-200 系列 PLC 的兼容性	411
附录 A.84 S7-200 系列 PLC 的兼容性	412
附录 A.85 S7-200 系列 PLC 的兼容性	413
附录 A.86 S7-200 系列 PLC 的兼容性	414
附录 A.87 S7-200 系列 PLC 的兼容性	415
附录 A.88 S7-200 系列 PLC 的兼容性	416
附录 A.89 S7-200 系列 PLC 的兼容性	417
附录 A.90 S7-200 系列 PLC 的兼容性	418
附录 A.91 S7-200 系列 PLC 的兼容性	419
附录 A.92 S7-200 系列 PLC 的兼容性	420
附录 A.93 S7-200 系列 PLC 的兼容性	421
附录 A.94 S7-200 系列 PLC 的兼容性	422
附录 A.95 S7-200 系列 PLC 的兼容性	423
附录 A.96 S7-200 系列 PLC 的兼容性	424
附录 A.97 S7-200 系列 PLC 的兼容性	425
附录 A.98 S7-200 系列 PLC 的兼容性	426
附录 A.99 S7-200 系列 PLC 的兼容性	427
附录 A.100 S7-200 系列 PLC 的兼容性	428

参数	329
附录 B S7-200 特殊内存(SM)位	334
参考文献	346
参考文献 1	346
参考文献 2	347
参考文献 3	348
参考文献 4	349
参考文献 5	350
参考文献 6	351
参考文献 7	352
参考文献 8	353
参考文献 9	354
参考文献 10	355
参考文献 11	356
参考文献 12	357
参考文献 13	358
参考文献 14	359
参考文献 15	360
参考文献 16	361
参考文献 17	362
参考文献 18	363
参考文献 19	364
参考文献 20	365
参考文献 21	366
参考文献 22	367
参考文献 23	368
参考文献 24	369
参考文献 25	370
参考文献 26	371
参考文献 27	372
参考文献 28	373
参考文献 29	374
参考文献 30	375
参考文献 31	376
参考文献 32	377
参考文献 33	378
参考文献 34	379
参考文献 35	380
参考文献 36	381
参考文献 37	382
参考文献 38	383
参考文献 39	384
参考文献 40	385
参考文献 41	386
参考文献 42	387
参考文献 43	388
参考文献 44	389
参考文献 45	390
参考文献 46	391
参考文献 47	392
参考文献 48	393
参考文献 49	394
参考文献 50	395
参考文献 51	396
参考文献 52	397
参考文献 53	398
参考文献 54	399
参考文献 55	400
参考文献 56	401
参考文献 57	402
参考文献 58	403
参考文献 59	404
参考文献 60	405
参考文献 61	406
参考文献 62	407
参考文献 63	408
参考文献 64	409
参考文献 65	410
参考文献 66	411
参考文献 67	412
参考文献 68	413
参考文献 69	414
参考文献 70	415
参考文献 71	416
参考文献 72	417
参考文献 73	418
参考文献 74	419
参考文献 75	420
参考文献 76	421
参考文献 77	422
参考文献 78	423
参考文献 79	424
参考文献 80	425
参考文献 81	426
参考文献 82	427
参考文献 83	428
参考文献 84	429
参考文献 85	430
参考文献 86	431
参考文献 87	432
参考文献 88	433
参考文献 89	434
参考文献 90	435
参考文献 91	436
参考文献 92	437
参考文献 93	438
参考文献 94	439
参考文献 95	440
参考文献 96	441
参考文献 97	442
参考文献 98	443
参考文献 99	444
参考文献 100	445

模块1 常用低压电器的认识、测试及安装

【知识目标】

1. 了解常用低压电器的分类、型号意义及技术参数。
2. 熟悉常用低压电器的功能、结构及工作原理。
3. 熟记常用低压电器的文字符号和图形符号。

【能力目标】

1. 能正确拆装和检测常用低压电器。
2. 能够根据设备要求选择低压电器的类型和规格参数。

1.1 知识链接

1.1.1 低压电器的分类与作用

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 1200V 以下、直流 1500V 以下电路，起通断、控制、保护与调节等作用的电器称为低压电器。低压电器作为一种基本器件，广泛应用于输配电系统和电力拖动系统中，在实际生产中起着非常重要的作用。

1. 低压电器的分类

(1) 按操作方式分

- 1) 手动电器：人操作发出动作指令的电器，例如刀开关、按钮等。
- 2) 自动电器：不需人工直接操作，按照电的或非电的信号自动完成接通、分断电路任务的电器，如接触器、继电器及电磁阀等。

(2) 按用途分

- 1) 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，要求寿命长，体积小，重量轻且动作迅速、准确、可靠。常用的控制电器有接触器、继电器、起动机、主令电器及电磁铁等。
- 2) 配电电器：用于电能的输送和分配的电器，主要用于低压配电系统中。要求在系统发生故障时能准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会损坏。常用的配电电器有刀开关、转换开关、熔断器及断路器等。

(3) 按工作原理分

- 1) 电磁式电器：依据电磁感应原理来工作的电器，如交直流接触器及各种电磁式继电器等。
- 2) 非电量控制电器：靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、速度继电器、压力继电器及温度继电器等。

2. 低压电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号，自动或手动地改变电路的状态、参数，实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、调节、指示及转换等。低压电器的作用有：

- 1) 控制作用：如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。
- 2) 保护作用：根据设备的特点，对设备、环境以及人身实行自动保护，如电动机的过热保护、电网的短路保护及漏电保护等。
- 3) 测量作用：利用仪表及与之相适应的电器，对设备、电网的相关参数或其他非电参数进行测量，如测量电流、电压、功率、转速、温度及湿度等。
- 4) 调节作用：低压电器可对一些电量和非电量进行调整，以满足用户的要求，如柴油机节气门的调整、房间温湿度的调节及照度的自动调节等。
- 5) 指示作用：利用低压电器的控制、保护等功能，检测出设备运行状况与电路工作情况，如绝缘监测及保护吊牌指示等。
- 6) 转换作用：在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行，以实现功能切换作用，如励磁装置手动与自动的转换，供电系统中的市电与自备电的切换等。

当然，低压电器的作用远不止这些，随着科学技术的发展，具有新功能的新的电器会不断出现。常用低压电器的主要种类和用途见表 1-1。

表 1-1 常用低压电器的主要种类及用途

序号	类 别	主 要 品 种	用 途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过载保护、短路保护、欠电压保护、漏电压保护，也可用于不频繁接通和断开的电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	开关板用刀开关	主要用于电路的电气隔离，有时也能分断负载
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	转换开关	组合开关	主要用于电源切换，也可用于负载通断或电路的切换
		换向开关	
4	主令电器	按钮	主要用于发布控制指令
		限位开关	
		微动开关	
		接近开关	
		万能转换开关	
5	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负载，切断带负载电路
		直流接触器	
6	起动器	磁力起动器	主要用于电动机的起动
		Y-Δ起动器	
		自耦变压器减压起动器	
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制电路的切换
		平面控制器	

(续)			
序号	类 别	主 要 品 种	用 途
8	继电器	电流继电器	主要用于控制电路中,将被监控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
9	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护,也用于电路的过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	
10	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

3. 低压电器的基本结构

下面以电磁式低压电器为例介绍低压电器的基本结构。

电磁式低压电器大都有两个主要组成部分,即电磁机构(感测部分)和触头系统(执行部分),有些低压电器还有灭弧装置。

(1) 电磁机构 电磁机构的主要作用是将电磁能转换成机械能,带动触头动作,从而完成接通或分断电路的功能。

常用的电磁机构如图 1-1 所示,由衔铁、铁心和吸引线圈三个基本部分组成。

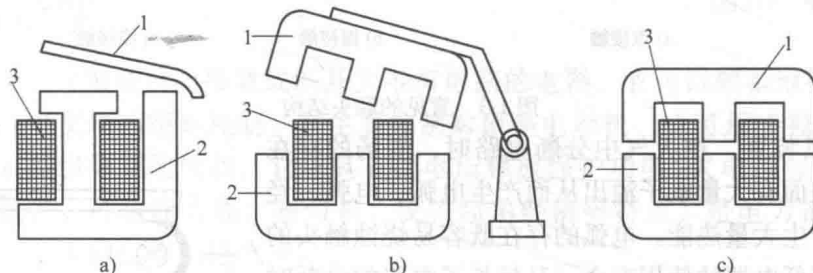


图 1-1 常用的电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

按吸引线圈所通电流性质的不同,电磁式低压电器可分为直流与交流两大类,它们都是利用电磁铁的原理制成的。

直流电磁铁由于通入的是直流电,其铁心不发热,只有线圈发热,因此线圈与铁心接触以利散热,线圈做成无骨架、高而薄的瘦高形,以改善线圈自身散热能力。铁心和衔铁由软钢和工程纯铁制成。

交流电磁铁由于通入的是交流电,铁心中存在磁滞损耗和涡流损耗,线圈和铁心都发热,所以交流电磁铁的吸引线圈有骨架,使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖形,以利于铁心和线圈的散热。铁心用硅钢片叠压而成,以减小涡流损耗。

当线圈中通以直流电时,气隙磁感应强度不变,直流电磁铁的电磁吸力为恒值。当线圈中通以交流电时,磁感应强度为交变量,交流电磁铁的电磁吸力 F 在 0 (最小值) $\sim F_m$ (最大值) 之间变化,在一个周期内,当电磁吸力的瞬时值大于反作用力时,衔铁吸合;当电磁吸力的瞬时值小于反作用力时,衔铁释放。所以电源电压每变化一个周期,电磁铁吸合两次、释放两次,使电磁机构产生剧烈的振动和噪声,因而不能正常工作。为了消除交流电磁铁产生的振动和噪声,在铁心的端面开一小槽,在槽内嵌入铜制短路环,如图 1-2 所示。短路环是利用磁通分相的作用,使合成后的吸力在任何时刻都大于反作用力,从而消除振动和噪声。

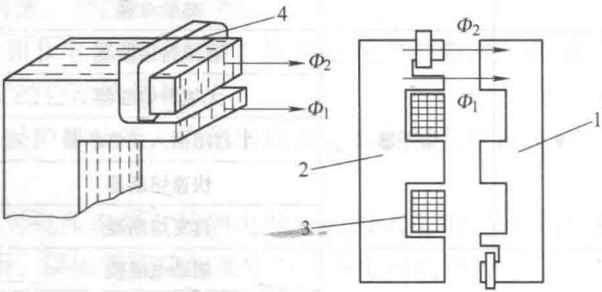


图 1-2 交流电磁铁的短路环
1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

(2) 触头系统 触头是电器的执行部分,起接通和分断电路的作用。触头按其接触形式分为点接触、线接触和面接触 3 种,如图 1-3 所示。点接触型允许通过的电流较小,常用于继电器电路或辅助触头。线接触型和面接触型允许通过的电流较大,常用于大电流的场合,如刀开关、接触器的主触头等。

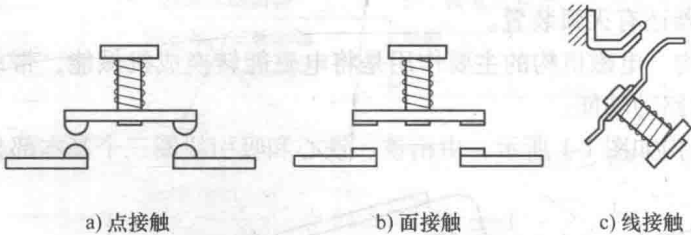


图 1-3 常见的触头结构

(3) 灭弧装置 在大气中分断电路时,电场的存在会使触头的表面有大量电子溢出从而产生电弧。电弧一经产生,就会产生大量热能。电弧的存在既容易烧蚀触头的金属表面,降低电器的使用寿命,又延长了电路的分断时间,所以必须迅速使电弧熄灭。

常用的灭弧方法如下:

1) 机械灭弧:通过机械将电弧迅速拉长,多用于开关电路,如图 1-4 所示。

2) 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,如图 1-5 所示。

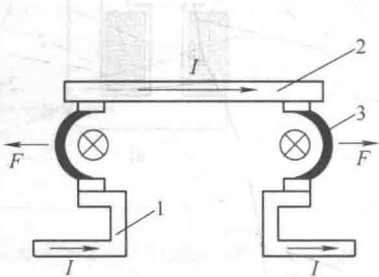


图 1-4 机械灭弧
1—静触头 2—动触头 3—电弧

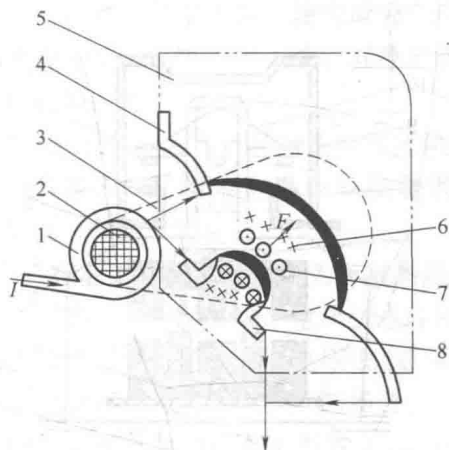


图 1-5 磁吹灭弧原理

- 1—磁吹线圈 2—铁心 3—引弧角
4—导磁夹板 5—灭弧罩 6—磁吹线圈磁场
7—电弧电流磁场 8—动触头

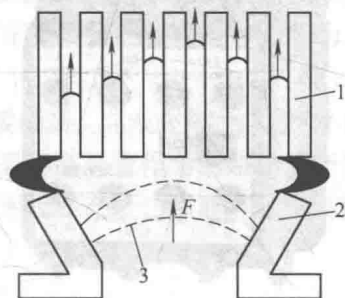


图 1-6 金属栅片灭弧

- 1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

3) 金属栅片灭弧：当触头分开时，产生的电弧在电场力的作用下被推入一组金属栅片而被分成数段，彼此绝缘的金属片相当于电极，因而将总电弧压降分成几段，各栅片间的电压低于燃弧电压，对交流电弧来说，在电弧过零时使电弧无法维持而熄灭，如图 1-6 所示，交流电器常用金属栅片灭弧。

4) 窄缝灭弧：由耐弧陶土、石棉等材料制成的灭弧罩内每相有一个或多个纵缝，缝的上部较窄以便压缩电弧，当触头断开时，电弧被外磁场或电动力吹入缝内，热量传递给罩壁迅速冷却而熄灭电弧。如图 1-7 所示，该方式主要用于交流接触器中。

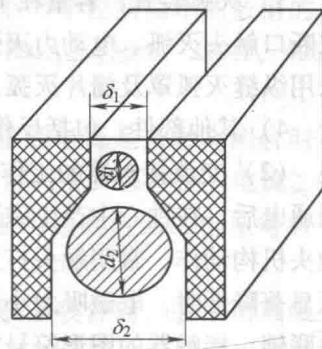


图 1-7 窄缝灭弧

1.1.2 接触器

接触器是一种用来自动接通或断开大电流电路的电器，它可以频繁地接通或分断交直流电路，并可实现远距离控制。其主要控制对象是电动机，也可用于控制电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它还具有低电压释放保护功能(欠电压保护)。接触器具有控制容量大、过载能力强、寿命长、设备简单经济等特点，是电力拖动自动控制电路中使用最广泛的电器元件之一。

按照所控制电路的电流种类不同，接触器可分为交流接触器和直流接触器两大类。

1. 交流接触器

(1) 交流接触器的结构 图 1-8 所示为 CJX1 型交流接触器的实物，图 1-9 所示为交流接触器结构示意图。交流接触器由以下四部分组成：

1) 电磁机构：电磁机构由吸引线圈、动铁心(衔铁)和静铁心组成，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触头动作。

2) 触头系统：包括主触头和辅助触头，主触头用于通断主电路，通常有三对常开触头；辅助触头用于控制电路，起电气联锁作用，故又称联锁触头，一般有常开、常闭触头各

两对。



图 1-8 CJX1 型交流接触器

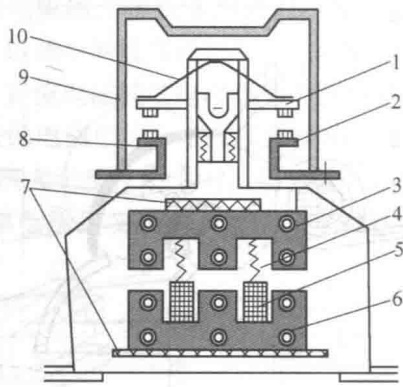


图 1-9 交流接触器结构示意图

- 1—动触头 2—静触头 3—衔铁 4—弹簧
5—线圈 6—铁心 7—垫毡 8—触头弹簧
9—灭弧罩 10—触头压力弹簧

3) 灭弧装置：容量在 10A 以上的接触器都有灭弧装置，对于小容量的接触器，常采用双断口触头灭弧、电动力灭弧、相间弧板隔弧及陶土灭弧罩灭弧。对于大容量的接触器，常采用纵缝灭弧罩及栅片灭弧。

4) 其他部件：包括反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及外壳等。

(2) 交流接触器的工作原理和符号 如图 1-10 所示，交流接触器的工作原理如下：线圈通电后，在铁心中产生磁通及电磁吸力。此电磁吸力克服弹簧反作用力使衔铁吸合，带动触头机构动作，常闭触头打开，常开触头闭合，联锁或接通线路。当线圈失电或线圈两端电压显著降低时，电磁吸力小于弹簧反作用力，使得衔铁释放，触头机构复位，断开线路或解除联锁。接触器的图形符号如图 1-11 所示，文字符号为 KM。

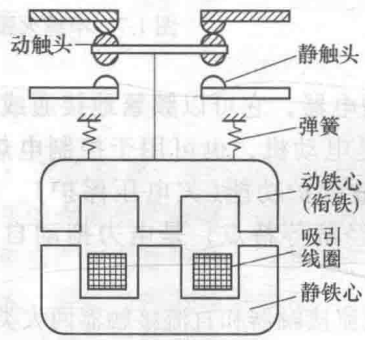


图 1-10 交流接触器工作原理图

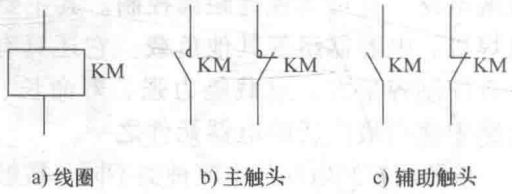


图 1-11 接触器的图形符号

(3) 交流接触器的分类及选用 交流接触器的种类很多，其分类方法也不尽相同，大致有以下几种分类方法。

1) 按主触头极数分：可分为单极、双极、三极、四极和五极接触器。单极接触器主要用于单相负载，如照明负载、焊机等，在电动机能耗制动中也可采用；双极接触器用在绕线转子异步电动机的转子回路中，起动时用于短接起动绕组；三极接触器用于三相负载，如在

电动机的控制及其他场合,使用最为广泛;四极接触器主要用于三相四线制的照明线路,也可用来控制双回路电动机负载;五极交流接触器用来组成自耦补偿起动器或控制双笼型电动机,以变换绕组接法。

2) 按灭弧介质分:可分为空气式接触器、真空式接触器等。依靠空气绝缘的接触器用于一般负载,而采用真空绝缘的接触器常用在煤矿、石油、化工企业及电压为 660V 和 1140V 等一些特殊的场合。

3) 按有无触头分:可分为有触头接触器和无触头接触器。常见的接触器多为有触头接触器,而无触头接触器属于电子技术应用的产物,一般采用晶闸管作为回路的通断器件。由于晶闸管导通时所需的触发电压很小,而且回路通断时无火花产生,因而可用于高操作频率的设备和易燃、易爆、无噪声的场合。

(4) 交流接触器的基本参数

1) 额定电压:指主触头额定工作电压,应等于负载的额定电压。一只接触器常规定几个额定电压,同时列出相应的额定电流或控制功率,通常,最大工作电压即为额定电压。常用的额定电压值有 220V、380V 及 660V 等。

2) 额定电流:接触器触头在额定工作条件下的电流值。380V 三相电动机控制电路中,当电流单位为 A、功率单位为 kW 时,额定工作电流的数值可近似等于控制功率的数值的两倍。常用额定电流的等级有 5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A 及 600A。

3) 通断能力:可分为最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触头闭合时不会造成触头熔焊时的最大电流值;最大分断电流是指触头断开时能可靠灭弧的最大电流。接触器的通断能力一般是其额定电流的 5~10 倍。当然,这一数值与通断电路的电压等级有关,电压越高,通断能力越小。

4) 动作值:可分为吸合电压和释放电压。吸合电压是指接触器吸合前,缓慢增加吸合线圈两端的电压,接触器可以吸合时的最小电压。释放电压是指接触器吸合后,缓慢降低吸合线圈的电压,接触器释放时的最大电压。一般规定,吸合电压不低于线圈额定电压的 85%,释放电压不高于线圈额定电压的 70%。

5) 吸引线圈额定电压:接触器正常工作时,吸引线圈上所加的电压值。一般该电压数值以及线圈的匝数、线径等数据均标于线包上,而不是标于接触器外壳铭牌上,使用时应加以注意。

6) 操作频率:接触器在吸合瞬间,吸引线圈需消耗比额定电流大 5~7 倍的电流,如果操作频率过高,则会使线圈严重发热,直接影响接触器的正常使用。为此,规定了接触器的允许操作频率,一般为每小时允许操作次数的最大值。

7) 寿命:包括电气寿命和机械寿命。目前接触器的机械寿命已达一千万次以上,电气寿命是机械寿命的 5%~20%。

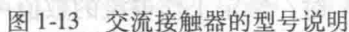
2. 直流接触器

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同。在结构上也是由电磁机构、触头系统和灭弧装置等部分组成。由于直流电弧比交流电弧难以熄灭,直流接触器常采用磁吹式灭弧装置灭弧。直流接触器结构上有立体布置和平面布置两种结构,电磁系统多采用绕棱角转动的拍合式结构,主触头采用双断点桥式结构或单断点转动式结构。常用的直流接触器

图 1-13 和图 1-14 分别为交流接触器和直流接触器的型号说明。

图 1-12 CZ0 型直流接触器

我国生产的交流接触器常用的有 CJ12、CJX1、CJ20 等系列



CZ 18 - □ □ / □ □
 常闭主触头数
 常开主触头数
 派生规格, B带有底版
 额定电流
 设计序号
 直流接触器

图 1-14 直流接触器的型号说明

除以上常用系列外,我国近年来还引进了一些生产线,生产了一些满足 IEC 标准的交流接触器,下面作简单介绍。

CJ12B-S 系列锁扣接触器用于交流 50Hz、电压 380V 及以下、电流 600A 及以下的配电电路中，供远距离接通和分断电路用，并适用于不频繁地起动和停止交流电动机，具有正常工作时吸引线圈不通电、无噪声等特点。其锁扣机构位于电磁系统的下方，锁扣机构靠吸引线圈通电产生的电磁力实现吸合，由于锁扣机构具有“锁扣”功能，即使吸引线圈断电锁扣机构也可保持在锁住位置。由于线圈不通电，不仅无电力损耗，而且消除了噪声。

从德国引进的西门子的 3TB 系列、BBC 公司的 B 系列交流接触器等,主要用于远距离接通和分断电路,并适用于频繁地起动场合及控制交流电动机。3TB 系列产品具有结构紧凑、机械寿命和电气寿命长、安装方便、可靠性高等特点。其额定电压范围为 220 ~ 660V,额定电流范围为 9 ~ 630A。

接触器的选用，应根据负载的类型和工作参数来合理选用。具体分为以下步骤：

(1) 选择接触器的类型 交流接触器按负载种类一般分为一类、二类、三类和四类，分别记为 AC1、AC2、AC3 和 AC4。一类交流接触器对应的控制对象是无感或微感负载，如白炽灯、电阻炉等；二类交流接触器用于绕线转子异步电动机的起动和停止；三类交流接触器的典型用途是控制笼型异步电动机的运转和运行中分断；四类交流接触器用于笼型异步电动机的起动、反接制动、反转和点动。

(2) 选择接触器的额定参数 根据被控对象和工作参数,如电压、电流、功率、频率及工作制等,确定接触器的额定参数。

1) 接触器的线圈电压,一般应选低一些,这样对接触器的绝缘要求可以降低,使用时也较安全。但为了方便和减少设备,常按实际电网电压选取。

2) 所用电动机的操作频率不高的电器,如压缩机、水泵、风机、空调、冲床等,接触器额定电流大于负载额定电流即可。接触器类型可选用 CJ20 系列等。

3) 对于重任务型电动机,如机床主电动机、升降设备、绞盘及破碎机等,其平均操作频率超过 100 次/min,经常运行于起动、点动、正反向制动、反接制动等状态,可选用 CJ12 系列的接触器。为了保证电气寿命,可使接触器降容使用。选用时,接触器额定电流应大于电动机额定电流。

4) 对于特重任务型电动机,如印刷机及镗床等,其操作频率很高,可达 10~200 次/min,经常运行于起动、反接制动、反向转动等状态,接触器大致可按电气寿命及起动电流选用,接触器选 CJ12 系列等。

5) 交流电路中的电容器投入电网或从电网中切除时,所使用接触器的选择应考虑电容器的合闸冲击电流。一般地,接触器的额定电流可按电容器的额定电流的 1.5 倍选取,型号选 CJ20 系列等。

6) 用接触器对变压器进行控制时,应考虑浪涌电流的大小。如交流电弧焊机、电阻焊机,一般可按变压器额定电流的 2 倍选取接触器,型号选 CJ20 系列等。

7) 对于电热设备,如电阻炉、电热器等,负载的冷态电阻较小,因此起动电流相应要大一些。选用接触器时可不用考虑起动电流,直接按负载额定电流选取,可选用 CJ20 系列等。

8) 由于气体放电灯起动电流大、起动时间长,对于照明设备的控制,可按额定电流 1.1~1.4 倍选取接触器,可选 CJ20 系列等。

9) 接触器额定电流是指接触器在长期工作下的最大允许电流,持续时间小于等于 8h,接触器安装于敞开的控制板上,如果冷却条件较差,选用接触器时,接触器的额定电流按负载额定电流的 110%~120% 选取。对于长时间工作的电动机,由于其氧化膜没有机会得到清除,使接触器电阻增大,导致触头发热超过允许温升。实际选用时,可将接触器的额定电流减小 30% 使用。

1.1.3 继电器

继电器是根据某种输入信号的变化,接通或分断控制电路,实现自动控制和保护电力装置的自动电器。

继电器的种类很多,按输入信号的性质不同,可分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、温度继电器、速度继电器及压力继电器等;按工作原理不同,可分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器和电子式继电器等;按输出形式不同,可分为有触头式和无触头式两类;按用途不同,可分为控制用继电器与保护用继电器等。

1. 电磁式继电器

(1) 电磁式继电器的结构与工作原理 电磁式继电器是应用得最早、最多的一种继电器,其结构及工作原理与接触器大体相同。由电磁系统、触头系统和释放弹簧等组成,电磁

式继电器原理如图 1-15 所示。由于继电器用于控制电路，流过触头的电流比较小(一般 5A 以下)，故不需要灭弧装置。常用的电磁式继电器有电压继电器、中间继电器和电流继电器等。其中，中间继电器的实物与电路符号如图 1-16 所示。

(2) 电磁式继电器的特性 继电器的主要特性是输入-输出特性，又称继电特性，继电特性曲线如图 1-17 所示。当继电器输入量 X 由 0 增至 X_2 以前，继电器输出量 Y 为零；当输入量 X 增加到 X_2 时，继电器吸合，输出量为 Y_1 ；若 X 继续增大， Y 保持不变；当 X 减小到 X_1 时，继电器释放，输出量由 Y_1 变为零，若 X 继续减小， Y 值均为零。

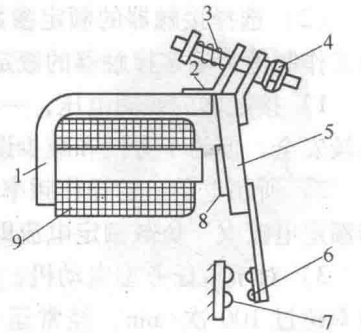


图 1-15 电磁式继电器原理图
1—铁心 2—旋转棱角 3—释放弹簧
4—调节螺母 5—衔铁 6—动触头
7—静触头 8—非磁性垫片 9—线圈

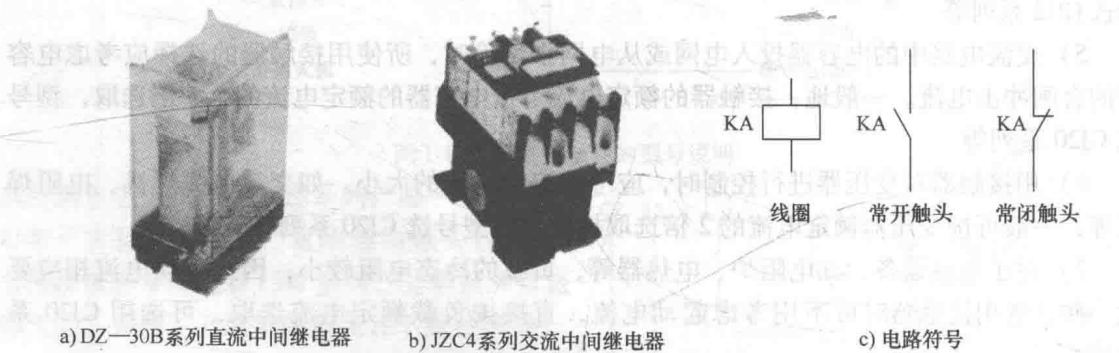


图 1-16 中间继电器实物与电路符号

图 1-17 中， X_2 称为继电器吸合值，欲使继电器吸合，输入量必须等于或大于 X_2 ； X_1 称为继电器释放值，欲使继电器释放，输入量必须等于或小于 X_1 。

$K_f = X_1/X_2$ 称为继电器的返回系数，它是继电器重要参数之一。 K_f 值是可以调节的。如一般继电器要求低的返回系数， K_f 值应在 0.1~0.4 之间，这样当继电器吸合后，输入量波动较大时不致引起误动作；欠电压继电器则要求高的返回系数， K_f 值在 0.6 以上，设某继电器 $K_f = 0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 50% 时，继电器释放，起到欠电压保护作用。

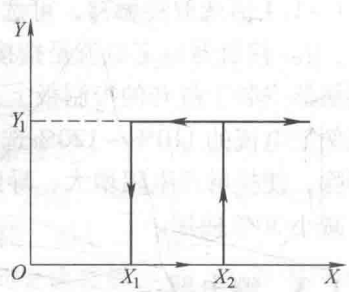


图 1-17 继电特性曲线

另一个重要参数是吸合时间和释放时间。吸合时间是指从线圈接受电信号到衔铁完全吸合所需的时间；释放时间是指从线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。一般继电器的吸合时间与释放时间为 0.05~0.15s，快速继电器为 0.005~0.05s，它的大小影响继电器的操作频率。

(3) 电压继电器 电压继电器用于电力拖动系统的电压保护和控制，其线圈并联接入主电路，感测主电路的线路电压；触头接于控制电路，为执行元件。图 1-18 为电压继电器实物图，图 1-19 为其图形符号和文字符号。