



21 世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information •
Science and Technology

电气控制与PLC应用项目教程

顾桂梅 主编

王永顺 王庆贤 编著



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

电气控制与 PLC 应用 项目教程

顾桂梅 主编
王永顺 王庆贤 编著



机械工业出版社

本书适用于理论实践一体化教学模式。在内容编排上,以西门子公司的 S7-300 系列 PLC 为例,按照“适用、够用”的原则编排教材内容,充分体现了教材的科学性、实用性和可操作性。本书集理论知识、工程应用和创新于一体,以 12 个实际项目贯穿始终,内容涵盖了电气控制的基本知识,PLC 的组成、工作原理、编程工具、指令系统、变频器及其操作,PLC 与变频器的综合应用以及基于 PLC 的控制系统的设计思路,组态王与 PLC 的联合应用,并给出了大量的应用实例、习题及思考题。本书内容由浅入深、通俗易懂、注重应用。

本书可作为大专院校工业电气自动化、电气工程、机电一体化及其他相关专业的教材,也可供从事 PLC 应用系统设计的工程技术人员自学或作为培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用项目教程/顾桂梅主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 12

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

ISBN 978-7-111-32611-3

I. ①电… II. ①顾… III. ①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. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 235953 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: 时 静 责任编辑: 黄 伟 版式设计: 霍永明

责任校对: 常天培 责任印制: 杨 曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2011 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 398 千字

0001—3500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-32611-3

定价: 29.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材的编写紧密结合当前教学改革趋势，以工程实践能力培养为导向，充分考虑工科学生对知识的接受能力和掌握过程，采用工程项目的形式使学生完成对新知识的学习。本书有如下几方面的特色。

1. 在编写思路，坚持以“工程能力培养为中心，理论知识学习为支撑”，将各个抽象的知识点融入实际项目中，从而激发学生的学习兴趣，寓教于乐，提高学生的分析能力、动手能力、工程应用能力和创新能力。电气控制与 PLC 是一门实践性、实用性很强的课程，其理论与实际的结合尤为重要。因此，本书按照工程项目的形式编排教学内容，通过实际项目掌握相关知识和技能。

2. 在内容的安排上，每个工程项目既要考虑其独立性、完整性，又要考虑到其所包含的知识点能承上启下，使学生可以循序渐进、由浅入深地掌握电气控制的相关知识、PLC 的基本指令用法，也可以逐步掌握开发基于 PLC 的控制系统的设计思路。

3. 采用化整为零的方法，先介绍每个案例的基本控制线路环节，然后再组合在一起，使不同接受能力的学生在每一次的学习中都学有所获，真正做到因材施教，力求编写出精品教材。

全书共分为两大部分。第 1 部分为电气控制，以 4 个应用最广泛的实际项目（电动机正反转控制线路、C650 卧式车床电气控制线路、T68 卧式镗床电气控制线路和 X62W 卧式万能铣床电气控制线路）引入，讲述了开关、接触器、继电器和熔断器等常用低压电器的结构、动作原理、使用 and 选择方法；讲述了电气系统图的基本知识；讲述了电动机正反转等典型控制线路的设计方法和调试步骤；讲述了车床、镗床、铣床等常用机床的主要结构、运动形式、控制要求及线路分析方法。第 2 部分为 PLC 应用，以 8 个典型应用案例（简单灯控电路、PLC 控制三相异步电动机的正反转线路、PLC 控制三相异步电动机 Y- Δ 降压起动线路、皮带运输机的 PLC 控制线路、舞台艺术灯饰的 PLC 控制线路、PLC 和变频器在变频调速中的应用、液体混合装置控制、组态王在水塔水位控制系统中的应用）引入，并以 S7-300 系列 PLC 为例，系统地讲述了 PLC 的硬件结构、工作原理、指令系统及编程软件的使用方法，通过工程应用案例重点讲述 PLC 硬件电路、软件设计方法以及 PLC 系统安装调试的步骤和使用方法。

本书由兰州交通大学顾桂梅副教授担任主编，王永顺副教授、王庆贤高级

工程师编著，赵峰教授担任主审。王永顺编写绪论、项目1、项目5、项目10和项目12，顾桂梅编写项目2、项目3、项目4、项目9和项目11，王庆贤编写项目6~项目8。全书的统稿由顾桂梅完成。

本教材的出版得到了兰州理工大学技术工程学院领导和自动化教研室全体成员的关心，特别是王瑞祥研究员和谢黎明教授的鼓励与支持。在编写过程中任宗义教授审阅了部分书稿，并提出了许多宝贵的修改意见。在此，向他们表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在一些错误和不妥之处，恳请广大读者和同行专家提出宝贵意见。

作 者

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第1部分 电气控制

项目1 电动机正反转控制	5
1.1 项目简述	5
1.2 电气控制元件相关知识	6
1.2.1 刀开关	6
1.2.2 自动开关	7
1.2.3 按钮	8
1.2.4 接触器	9
1.2.5 热继电器	12
1.2.6 熔断器	13
1.3 基本控制电路相关知识	15
1.3.1 电气控制系统图的基本知识	15
1.3.2 电动机点动控制电路	17
1.3.3 电动机单向连续控制电路	17
1.3.4 电动机正反转控制电路	18
1.4 应用举例	18
1.4.1 三相异步电动机点动、连续运转 控制电路	18
1.4.2 三相异步电动机带按钮互锁的 正反转控制电路	19
1.4.3 CA6140 型普通车床电气控制	20
项目小结	21
习题及思考题	22
项目2 C650 卧式车床电气控制	23
2.1 项目简述	23
2.1.1 C650 卧式车床结构及工作要求	23
2.1.2 C650 卧式车床电力拖动特点及 控制要求	24
2.2 电气控制器件相关知识	24
2.2.1 行程开关	24
2.2.2 接近开关	25
2.2.3 时间继电器	27
2.2.4 速度继电器	30
2.2.5 中间继电器	31
2.2.6 固态继电器	32
2.2.7 晶闸管自动开关	33
2.2.8 信号灯	33
2.3 基本控制电路相关知识	34
2.3.1 电气控制系统图分析基础	34
2.3.2 三相笼型交流异步电动机反接 制动控制电路	35
2.3.3 时间原则控制电路	37
2.4 应用举例	39
2.4.1 三相笼型交流异步电动机能耗 制动控制电路	39
2.4.2 C650 卧式车床电气原理图 分析	41
2.4.3 单按钮控制电动机起停电路	44
2.4.4 三相异步电动机低速运行主 电路	45
2.4.5 电动机断相自动保护电路	45
项目小结	46
习题及思考题	47
项目3 T68 卧式镗床电气控制	48
3.1 项目简述	48
3.1.1 T68 卧式车床主要结构及运动 方式	48
3.1.2 T68 卧式车床电力拖动特点及 控制要求	49
3.2 基本控制电路相关知识	49
3.2.1 双速度电动机控制电路	49
3.2.2 工作台自动往返控制	51
3.2.3 三相笼型交流异步电动机定子串 电阻或电抗器降压起动控制 电路	51
3.3 应用举例	53
3.3.1 运料小车自动往返循环控制	

电路分析	53	控制要求	62
3.3.2 自耦变压器降压起动控制电路	53	4.2 电器控制器件相关知识	62
3.3.3 延边三角形降压起动控制电路	54	4.2.1 转换开关	62
3.3.4 三相绕线转子异步电动机转子串 电阻起动控制	55	4.2.2 万能转换开关	63
3.3.5 T68 卧式镗床电气原理图 分析	57	4.2.3 主令控制器与控制器	63
项目小结	60	4.3 基本控制电路相关知识	65
习题及思考题	60	4.3.1 顺序控制	65
项目 4 X62W 卧式万能铣床电气		4.3.2 两地控制	66
控制	61	4.4 应用举例	66
4.1 项目简述	61	4.4.1 多台电动机自动顺序控制电路	66
4.1.1 X62W 卧式万能铣床主要结构及 运动形式	61	4.4.2 X62W 卧式万能铣床电气原理图 分析	67
4.1.2 X62W 卧式车床电力拖动特点及		4.4.3 组合机床电气原理图分析	71
		项目小结	72
		习题及思考题	73
第 2 部分 PLC 应用			
项目 5 可编程序控制器的使用	74	6.1.7 功能块和功能编程及调用	122
5.1 相关知识	74	6.2 项目简述	127
5.1.1 PLC 的工作原理	74	6.3 应用举例	127
5.1.2 S7-300 系列 PLC 的硬件配置	75	6.3.1 三相异步电动机的正反转 PLC 控制	127
5.1.3 S7-300 系列 PLC 应用系统设计	81	6.3.2 智力抢答器的 PLC 控制系统	128
5.1.4 PLC 的编程语言	84	项目小结	130
5.2 项目简述	86	习题及思考题	130
5.3 应用举例	86	项目 7 PLC 控制三相异步电动机	
5.3.1 简单的灯控电路 PLC 外围电路 设计	86	Y- Δ 降压起动	131
5.3.2 三相交流异步电动机单向连续 运转控制电路硬件电路设计	86	7.1 项目简述	131
项目小结	87	7.2 相关知识	131
习题及思考题	87	7.2.1 置位与复位指令	131
项目 6 PLC 控制三相异步电动机的		7.2.2 边沿检测指令	132
正反转	89	7.2.3 装入和传送指令	133
6.1 相关知识	89	7.2.4 定时器指令	135
6.1.1 STEP 7 编程基础	89	7.3 应用举例	139
6.1.2 用户程序结构	97	7.3.1 三相异步电动机 Y- Δ 降压起动 PLC 控制电路	139
6.1.3 S7-300 系列 PLC 常用的基本位 逻辑指令	101	7.3.2 脉冲发生器设计	140
6.1.4 STEP 7 编程软件的使用方法	104	7.3.3 交通信号灯的 PLC 控制系统	141
6.1.5 S7-PLCSIM 仿真软件在程序 调试中的应用	117	7.3.4 搬运机械手 PLC 控制系统设计	142
6.1.6 程序控制指令	120	项目小结	147
		习题及思考题	148
		项目 8 皮带运输机的 PLC 控制	149

8.1 项目简述	149	10.2.5 CHF100 变频器的参数	186
8.2 相关知识	150	10.3 应用举例	195
8.2.1 计数器指令	150	10.3.1 CHF100 变频器控制异步电动机	195
8.2.2 比较指令	152	10.3.2 PLC 与变频器联机控制电动机调速	198
8.2.3 梯形图方块传送指令	154	项目小结	203
8.2.4 逻辑控制指令	155	习题及思考题	204
8.3 应用举例	159	项目 11 液体混合装置控制	205
8.3.1 长延时设计	159	11.1 项目简述	205
8.3.2 多台电动机的单按钮控制系统	160	11.2 相关知识	205
8.3.3 计数器扩展设计	162	11.2.1 模拟量的处理	205
8.3.4 皮带运输机的 PLC 控制系统设计	163	11.2.2 转换指令	214
项目小结	164	11.2.3 算术运算指令	219
习题及思考题	166	11.2.4 字逻辑运算指令	223
项目 9 舞台艺术灯饰的 PLC 控制	167	11.3 应用举例	225
9.1 项目简述	167	11.3.1 液体混合控制系统设计	225
9.2 相关知识	167	11.3.2 炉温控制系统设计	228
9.2.1 RS 与 SR 触发器指令	167	项目小结	231
9.2.2 移位指令和循环移位指令	168	习题及思考题	231
9.3 应用举例	172	项目 12 组态王在水塔水位控制系统中的应用	233
9.3.1 舞台艺术灯饰的 PLC 控制系统设计	172	12.1 项目简述	233
9.3.2 闪光灯控制	172	12.2 相关知识	234
9.3.3 工件自动装车系统设计	172	12.2.1 组态软件概述	234
9.3.4 传输带控制系统设计	175	12.2.2 组态王的结构	234
项目小结	178	12.2.3 使用组态王的一般步骤	235
习题及思考题	179	12.3 应用举例	235
项目 10 PLC 和变频器在变频调速中的应用	180	12.3.1 报警指示灯	235
10.1 项目任务分析	180	12.3.2 水塔水位控制系统	240
10.2 相关知识	180	项目小结	248
10.2.1 变频器的基础知识	180	习题及思考题	248
10.2.2 英威腾 CHF100 变频器概述	181	参考文献	250
10.2.3 CHF100 变频器的电气安装	182		
10.2.4 CHF100 变频器操作面板说明	186		

绪 论

“电气控制与 PLC 应用”这门课程主要的研究对象是经典的继电器-接触器控制以及新型的 PLC 控制，其中继电器-接触器控制法仍是最基本、应用最广泛的控制方法，也是 PLC 控制的基础。下面我们从电气控制的概念入手，介绍两者的关系以及 PLC 的基础知识。

继电器-接触器控制系统是把各种有触头的接触器、继电器以及按钮、行程开关等电器元件，用导线按一定的控制方式连接起来组成的控制系统，人们通常称继电器-接触器控制系统为电气控制系统。它的控制功能全部由硬件完成，具有结构简单、操作方便、容易掌握、价格便宜等特点，在一定范围内能满足控制要求，因而使用面甚广，多年来在工业控制领域中一直占据主导地位。但是继电器-接触器控制系统具有明显的缺点：设备体积大、噪声大、能耗大、动作速度慢、可靠性差、维护量大、维护困难、功能少，特别是硬连线中逻辑控制连线复杂以及改接麻烦。于是人们开始寻求一种新的控制系统来取代继电器-接触器控制系统。

1969 年世界上第一台可编程序控制器诞生了，它是按照继电器-接触器控制概念和设计思想发展起来的新一代控制装置。可编程序控制器是以微处理器为核心，将计算机技术、自动控制技术和通信技术融为一体而发展起来的。它具有体积小、功能强、灵活通用与维护方便等一系列优点。

1. PLC 的产生与定义

可编程序控制器（Programmable Logic Controller）通常简称为 PLC，它的起源可以追溯到 20 世纪 60 年代。1968 年，美国通用汽车公司（GM）对外公开招标，要求用新的电气控制装置取代继电器-接触器控制系统，以便适应迅速改变生产程序的要求。1969 年，美国数据设备公司（DEC）研制出世界上第一台可编程序控制器 PDP-14，用在 GM 公司生产线上获得成功，随即日本、德国也相继加入。1971 年，日本研制出本国的第一台 PLC（型号为 DCS-8），1973 年，德国研制出本国的第一台可编程序控制器，1974 年中国研制出本国的第一台可编程序控制器，1977 年开始工业应用。从此，可编程序控制器迅速发展起来，但是这一时期它主要用作顺序控制，虽然可编程序控制器采用了计算机的设计思路，但实际上只能进行逻辑运算，故称为可编程逻辑控制器。随着计算机技术的不断发展，其功能逐渐扩大，不再是原来意义上的以逻辑控制为主的功能，后来把“逻辑”二字去掉了，叫做可编程序控制器（Programmable Controller），曾经一度简称为 PC，但是为了避免与个人计算机的简称（Personal Computer）相混淆，现在仍然把可编程序控制器简称为 PLC。

1987 年 2 月，国际电工委员会（International Electrical Committee, IEC）在可编程序控制器标准草案中作了如下的定义：“可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为工业环境下的应用而设计。它采用可编程的存储器，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的指令。并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种机械或生产过程。可编程序控制器及其有关外部设备都较易于与工业控制系统连成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。”

2. PLC 的特点

PLC 之所以广泛应用于各种工业控制领域中，是因为除了它能满足工业自动化的客观需要外，还有许多适合工业控制的独特优点，它较好地解决了工业控制领域中普遍关心的可靠、安全、灵活、方便、经济等问题，其主要特点有如下几个方面。

(1) 性能稳定可靠，抗干扰能力强

PLC 是专为工业控制而设计的，在硬件与软件两方面上采用了屏蔽、滤波、隔离、诊断和自动恢复等措施。这些措施大大地提高了 PLC 的可靠性和抗干扰能力，其平均无故障时间可达 2~5 万小时以上。

(2) 功能完善，适应性好

PLC 不仅具有数字量和模拟量的输入/输出、顺序控制、定时计数等功能，还具有算术运算、数据处理、通信联网、记录与显示等功能。另外，当生产工艺改变或设备更新后，不必大量改变 PLC 的硬件设备，只需改变相应的程序，就可以满足新的控制要求。

(3) 程序设计简单、直观、易学

PLC 具有多种编程语言可供选用，许多国家生产的 PLC 把梯形图作为第一用户程序，梯形图是从清晰直观的继电器-接触器控制线路演化过来的一种编程语言，其特点是易学易懂，便于修改，有一定基础的电气工程技术人员在短时间内就可以学会。

(4) 体积小、重量轻、功耗低

由于 PLC 是微电子的高科技产品，它的结构具有紧凑、坚固、体积小、重量轻、功耗低等优点，而且具有良好的抗震、适应环境变化的能力。

(5) 设计、安装容易，调试工作量小

PLC 已实现了产品的系列化、标准化和通用化，用软件功能取代了继电器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，使控制柜的设计、安装接线工作量大为减少。PLC 的用户程序大部分可以在实验室进行模拟调试。用模拟试验开关代替输入信号，其输出状态可通过 PLC 上的发光二极管指示得知。模拟调试好后再将 PLC 控制系统安装到生产现场，进行联机调试，既安全，又快捷方便，这就大大缩短了应用设计和调试周期，特别是在老厂控制系统的技术改造中更能发挥其优势。

(6) 维护工作量少，维修方便

由于 PLC 本身的故障率极低，因此维修工作量很小。并且 PLC 有完善的诊断和显示功能，即当 PLC 或外部的输入装置和执行机构发生故障时，可以根据 PLC 上的发光二极管或在线编程器上提供的信息，迅速地查明故障原因。如果是 PLC 本身的故障，可以用更换模块的方法迅速排除，因此维修极为方便。

3. PLC 的分类

目前，PLC 发展非常迅速，全世界有几百家工厂正在生产几千种不同型号的 PLC。各种产品的结构形式、I/O 方式、I/O 点数、CPU 的种类、存储器的类型和容量以及功能范围等都各不相同，因此很难详细地划分它们的类别。通常只能从结构形式、I/O 点数以及功能强弱来大致分类。

(1) 按硬件结构类型分类

1) 根据硬件的结构不同，可以将 PLC 分为整体式和模块式两种。整体式 PLC 是将 CPU、存储器、电源、I/O 接口及通信等基本部件装在一个机壳内，它的优点是结构紧凑、

体积较小、成本低、安装方便。一般微型、小型 PLC 采用这种结构，它由不同 I/O 点数的基本单元组成，比如西门子公司的 S7-200 系列 PLC。基本单元和扩展单元之间一般用扁平电缆连接。整体式 PLC 一般配备有特殊功能单元，如模拟量单元、位置控制单元等，使机器的功能得以加强。

2) 模块式结构又叫积木式。这种结构形式的特点是把 PLC 的每个工作单元都制成独立的模块，如 CPU 模块、输入模块、输出模块、电源模块、通信模块等。另外，机器上有一块带有插槽的母板，这就是计算机总线。把这些模块按控制系统需要选取后，都插到母板上，就构成了一个完整的 PLC 系统。模块式 PLC 的优点是：I/O 模块及 I/O 点数可根据用户需要灵活组合，并且扩展能力强、使用方便、便于维修。缺点是：体积较大、插件较多，影响工作的可靠性，并且价格较高。一般大中型 PLC 都采用这种结构，比如西门子公司的 S7-300、S7-400 系列 PLC。

(2) 按照 PLC 的 I/O 点数和存储器容量分类

根据 PLC 能够处理的输入/输出点数不同（一个点就是一路信号），可将 PLC 分为超小（微）、小、中、大、超大 5 种类型。

1) 超小型 PLC：I/O 点数小于 64 点，内存容量小于 2KB。

2) 小型 PLC：I/O 点数为 65 ~ 128 点，内存容量为 2 ~ 4KB。西门子 S7-200 系列 PLC 属于小型机。

3) 中型 PLC：I/O 点数范围为 129 ~ 512 点，内存容量为 4 ~ 16KB。西门子 S7-300 系列 PLC 属于中型机。

4) 大型 PLC：I/O 点数范围为 513 ~ 896 点，内存容量为 16 ~ 64KB。西门子 S7-400 系列 PLC 属于大型机。

5) 超大型 PLC：I/O 点数为 896 点以上，内存容量为 64KB 以上。三菱公司的 A2A、A3A 属于超大型机。

值得注意的是，上述划分并无严格界线，也不是一成不变的，各厂家在认识上也不统一。随着 PLC 的不断发展，划分标准已有过多次修改。

4. PLC 的应用

近年来，随着微处理器芯片及其相关器件的价格大幅下降，PLC 的成本随之下降，而其功能却在不断完善、增强，在工业控制的各个领域都得到了广泛应用。大致可归纳为以下几个方面。

(1) 开关逻辑控制和顺序控制

这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域。由于它具有强大的逻辑运算能力，可以实现简单和复杂的逻辑控制。例如，各类机床的电气控制，如冷热轧机和连铸机的控制、注塑机的控制、液体灌装机生产线、装配线的控制等。PLC 在工业生产控制中主要就是完成这种直接数字控制的功能，即 PLC 是现代工业控制中进行直接数字控制的最理想的控制设备。

(2) 过程的闭环控制

运用 PLC 不仅可以对模拟量进行开环控制，而且还可以进行闭环控制。现代大中型 PLC 一般都配备了专门的 PID 控制模块，当控制过程中某一个变量出现偏差时，PLC 就按照 PID 算法计算正确的输出控制生产过程，把变量保持在整定值上，PID 控制已广泛地应用在加热炉、锅炉、反应堆、酿酒、位置和速度等控制中。

(3) 数据的分析处理

现代的 PLC 都具有数据处理的能力，它不仅能进行算术运算、数据传送，而且还能进行数据比较、数据转换、数据显示和打印以及数据通信等。对于大中型 PLC 还可以进行浮点运算、函数运算等。数据的分析处理一般用于大中型控制系统，如加工中心、柔性制造系统和机器人等。

(4) 通信联网

PLC 的通信联网包括：PLC 之间的通信、PLC 与上位计算机或其他智能装置之间的通信。

总之，PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、交通运输、环保等各行各业。随着 PLC 性能价格比的不断提高，其应用领域将不断扩大。

第 1 部分 电 气 控 制

项目 1 电动机正反转控制

【学习目标】

- 1. 了解低压电器的分类。
- 2. 熟悉低压电器的结构、工作原理、型号、选择原则、使用方法及在控制电路中的作用。
- 3. 掌握各种低压电器的图形符号和文字符号。
- 4. 了解电气系统图的分类，掌握电气原理图的绘制原则和注意事项。
- 5. 能分析相关控制电路的电气原理及掌握控制电路中的保护措施。
- 6. 掌握电动机正反转控制电路的安装接线。

1.1 项目简述

工农业生产中，生产机械的运动部件往往要求实现正反两个方向运动，这就要求拖动电动机能正反向旋转。例如，机床主轴的正转与反转或工作台的前进与后退，起重机吊钩的升与降等。从三相笼型异步电动机的结构原理可知，若使电动机在原来的旋转方向上反转，只要将通入电动机定子绕组的三相电源进线的任意两相对调即可，如图 1-1 所示。

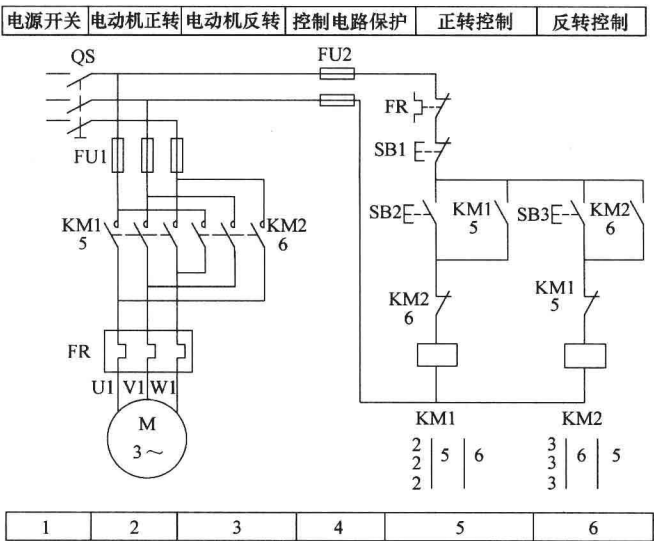


图 1-1 电动机正反转控制电路

本项目涉及的低压电器有刀开关、熔断器、按钮开关、交流接触器、热继电器、电气控制系统图的绘制及分析方法、电动机的点动、连续运转及正反转控制电路等内容。

低压电器是一种能够根据外界信号的要求，自动或手动地接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，以实现对电路或非电路对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件。低压电器通常是指用于交流额定电压小于或等于 1200V，直流电压小于或等于 1500V 的电器。

低压电器种类很多，分类方法也很多。按照操作方式可分为手动电器和自动电器。手动电器主要是用手直接参与操作才能完成动作任务的电器，如按钮、刀开关、转换开关等；自动电器是指不需人的直接参与操作，而是根据电或非电信息自动完成动作任务的电器，如自动开关、各种继电器和大部分的传感器等。按用途可分为控制电器、主令电器、配电电器和保护电器。控制电器是指用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器等；主令电器是指用于控制系统中发送控制指令的电器，如控制按钮、主令开关、各种行程开关、万能转换开关等；配电电器是指用于电能输配系统中的电器，如刀开关、自动开关和低压隔离开关等；保护电器是指用于电路和电器设备安全保护的电器，如熔断器、热继电器及各种保护继电器。

关于电器的分类标准和分类原则还有其它方法。在一些分类过程中有分类交叉和重叠情况，同一种电器可以有不同的动作来源途径，也可以用于不同的方式。所以在学习电器基本知识的过程中，不需要将电器过于细化分类，只要求明确电器的基本属性和大体归类就可以了。随着日后的深入学习和新电器的不断产生，会明白电器的分类不是固定的、死板的，而是具有很强的灵活性。

1.2 电气控制元件相关知识

1.2.1 刀开关

刀开关又称闸刀开关，结构简单，是应用极为广泛的一种手控开关。它由绝缘底板、静触头、手柄、动触刀和铰链支座构成。其结构如图 1-2 所示。

刀开关可以在低压电路中用于不频繁地接通和分断容量不太大的负荷，或用于电路与电源的隔离，故又称“隔离开关”。刀开关安装时，手柄要向上，不得倒装或平装。如果倒装，则拉闸后手柄可能因自重下落引起误操作而造成人身和设备安全事故。接线时要求电源线接上端，负荷线接下端。

刀开关的图形符号及文字符号如图 1-3 所示。

刀开关有 HD（单投）系列和 HS（双投）系列，它们都适用于交流 50Hz，额定电压至 500V，直流额定电压至 440V，额定电流至 1500A 的成套配电装置中，作为不频繁地手动接通和分断交、直流电路，或作为隔离开关使用。

刀开关的使用要根据电源种类、电压等级、断流容量及需要级数来合理选择。当刀开关控制电动机起动工作时，要求其额定电流至少要大于电动机额定电流的 3 倍以上。

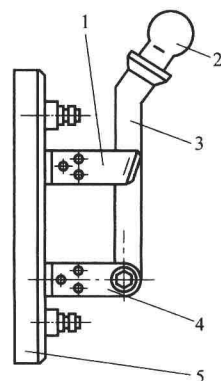


图 1-2 刀开关结构示意图
1—静触头 2—手柄 3—动触刀
4—铰链支座 5—绝缘底板

1.2.2 自动开关

自动开关又称自动空气断路器，可用于不频繁地接通和断开电路及控制电动机，此开关最大的特点是具有较多的保护功能，当电路发生严重过载、短路及失电压等故障时，可自动切断电路，迅速有效地保护串接在其后的电气设备。由于具有以上的保护功能，自动开关在低压电气线路中成为最常用的控制电器，并且具有可直接操作、保护动作值在一定范围内可调、分断能力较高等优点。

自动开关按其用途及结构特点，可分为框架式自动开关、塑料外壳式自动开关、直流快速自动开关和限流式自动开关等。其中塑料外壳式自动开关在电力拖动自动控制电路中应用最为广泛，既可以用做配电网路的保护开关，又可用做电动机、照明电路及其他电路的控制开关。

1. 自动开关的结构和工作原理

自动开关由3个基本部分组成，一是执行部分，含有触头和灭弧系统；二是故障检测部分，含有各种脱扣器；三是操作机构和自由脱扣机构。

图1-4是自动开关的工作原理图。其中开关的主触头是依靠操作机构手动或电动合闸。当主触头合闸后，自由脱扣机构将主触头锁闭在合闸位。过电流脱扣器及热脱扣器的线圈串接于主电路中，失电压脱扣器线圈并联在主电路中。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器3中的磁通将急剧增加，将衔铁吸合，推动杠杆使之逆时针转动，使自由脱扣器动作，主触头在复位弹簧的作用下分开，从而切断主电路。当主电路过载时，热脱扣器的热元件使双金属片变形向上弯曲，推动自由脱扣器动作，完成过载保护动作。当线路发生欠电压或失电压故障时，电压线圈6中的磁通急剧下降，使电磁吸力下降或消失，衔铁在弹簧力作用下，向上移动，推动自由脱扣器动作，使主触头分开，完成电路分断的保护动作。分励脱扣器4是用作远距离分断电路，分断的作用点在按钮7上。在以上的脱扣机构中，过电流脱扣器和热脱扣器的保护方式不同，不能互相取代，过电流故障要求迅速、有保护动作。而短暂的轻过载是一种正常工作现象，所以采用金属片变形的方式，给予暂时的轻过载一定的时间裕量，当暂时的轻过载消失后，金属片随即恢复原状。自动开关的图形符号和文字符号如图1-5所示。

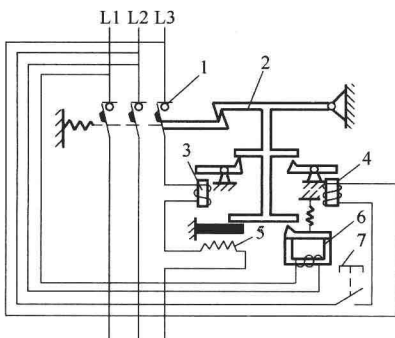


图 1-4 自动开关工作原理

1—主触头 2—自由脱扣机构 3—过电流脱扣器 4—分励脱扣器 5—热脱扣器 6—失电压脱扣器 7—按钮

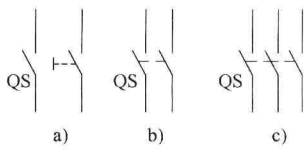


图 1-3 刀开关的图形符号及文字符号

a) 单极 b) 双极 c) 三极

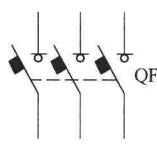


图 1-5 自动开关的图形符号

2. 自动开关的主要参数选择

选用自动开关时要注意以下几点。

1) 自动开关的额定电压和额定电流应大于或等于电路的正常工作电压和工作电流。

2) 热脱扣器的整定电流应与所控制电动机的额定电流或负载额定电流相等。

3) 过电流电磁脱扣器的整定值应躲过负载电路正常工作时的尖峰电流，当控制负载为电动机情况时，该电磁脱扣器的整定值一般可整定到电动机起动电流的 1 ~ 7 倍。

1.2.3 按钮

按钮是接通或分断小电流电路的主令电器，其结构简单、应用广泛。按钮的触头允许通过的电流较小，一般不允许用于操作电流 5A 以上的电路，因此一般情况下不直接控制主电路，而是在控制电路中发出指令或信号去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路的通断、功能转换或电气联锁等。

1. 按钮的结构

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触头、支柱连杆及外壳等组成，有的还设置控制指示灯，其结构如图 1-6 所示。

2. 按钮的种类

按触头形式可分为常开控制按钮、常闭控制按钮和既有常开又有常闭的复合按钮。

1) 常开控制按钮（又称动合按钮）。外力未作用时（手未按下），触头是断开的，外力作用时，触头闭合，但外力消失后，在复位弹簧作用下自动恢复原来的断开状态。

2) 常闭控制按钮（又称动断按钮）。外力未作用时（手未按下），触头是闭合的，外力作用时，触头断开，但外力消失后，在复位弹簧作用下自动恢复原来的闭合状态。

3) 复合按钮。按下复合按钮时，所有的触头都改变状态，即常开触头要闭合，常闭触头要断开。需要注意的一点是：复合按钮在动作时，常开和常闭触头是联动的，当按钮被按下时，常闭触头先动作，常开触头后动作；而松开按钮式，常开触头先动作，常闭触头后动作，也就是说两种触头在改变工作状态时，先后有个时间差，尽管这个时间差很短，但在分析线路控制过程时应特别注意。按钮中的复位弹簧保证外力去掉后，按钮触头恢复自然状态。

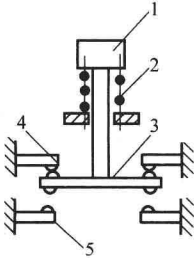


图 1-6 按钮结构示意图

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—动触头 4—常闭触头 5—常开触头

3. 按钮的图形符号和文字符号

控制按钮的图形符号和文字符号如图 1-7 所示。

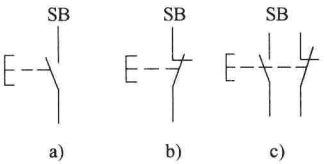
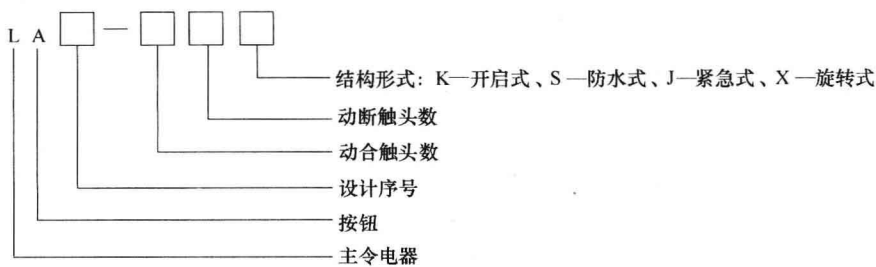


图 1-7 按钮的图形符号和文字符号

a) 常开按钮 b) 常闭按钮 c) 复合按钮

4. 按钮的型号含义



按钮的控制作用各有不同，一般用不同颜色按钮帽来区别按钮的控制状态，通常将按钮帽的颜色做成红、绿、黑、黄、蓝、白、无色透明 7 种颜色中的一种，一般红色表示停止按钮，绿色表示起动按钮。

按钮的选择首先要考虑额定电压和额定电流，另外需要考虑触头的种类和数目，以及是否带指示灯、场地颜色要求等。

1.2.4 接触器

接触器是一种自动控制低压电器，它可以用来频繁地远距离接通和断开交直流主电路及大容量控制电路，具有低电压保护释放功能。其主要控制对象是电动机，同时也可以控制电焊机、电熔器组、照明等其他负载，是电力拖动自动控制线路中最广泛使用的电器元件。

接触器按其主触头通过的电流种类不同，可分为交流接触器和直流接触器两类，动作相同，但在结构上有各自特殊的地方，不能相互混用。

接触器可以接通和断开负荷电流，但不能切断短路电流，因此，常与熔断器、热继电器配合使用。

1. 交流接触器

(1) 交流接触器的结构

图 1-8 是交流接触器的外形剖面示意图。交流接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置以及其他部件 4 部分组成。

1) 电磁机构。电磁机构主要用于产生电磁吸力，它由电磁线圈（吸引线圈）、衔铁和铁心等组成，如图 1-9 所示。吸引线圈的作用是将电能转换为磁能，产生磁通；衔铁的作用是在电磁吸力作用下，产生机械动能，使铁心闭合，带动执行部分完成控制电路的工作；铁心构成磁路。交流接触器的电磁线圈是将绝缘铜导线绕制在铁心上制成的，由于铁心中存在涡流和磁滞损耗的关系，除线圈发热以外，铁心也要发热，要求铁心和线圈之间有间隙，便于铁心和线圈的良好散热。在制作交流电磁机构过程中，把线圈做成有骨架的矮胖形，铁心用硅钢片叠成，以减小涡流的发热作用。

由于交流接触器的吸引线圈中通入的是交流电，

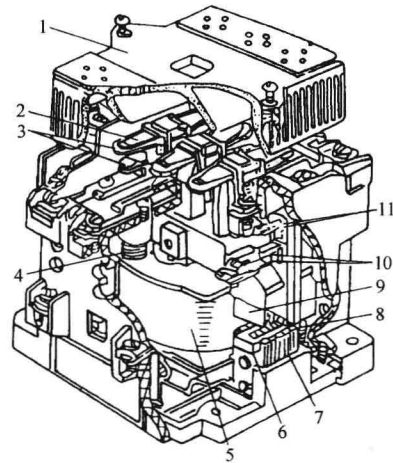


图 1-8 CJ10-20 型交流接触器

1—灭弧罩 2—触头压力弹簧片 3—主触头
4—反作用弹簧 5—电磁线圈 6—短路环
7—静铁心 8—弹簧 9—动铁心 10—辅
助常开触头 11—辅助常闭触头