

普通高等教育 电气工程 系列规划教材
自 动 化

可编程序控制器 实用技术

第3版

王兆义 程志华 编

Practical Technology
of PLC



外借

普通高等教育 $\frac{\text{电气工程}}{\text{自动化}}$ 系列规划教材

可编程序控制器实用技术

第 3 版

王兆义 程志华 编

机械工业出版社

本书从工程应用出发,结合教学需要,以小型 PLC 为蓝本,以在国内应用量大面广的三菱电机公司 S 系列为主线,内容全面转向 FX₃、iQ-FX₃ 机型。本书介绍了三菱小型 PLCFX_{3U} 和西门子小型 PLC S7-200 SMART 的工作原理、系统配置、指令系统及编程、通信网络及系统设计方法。书中给出了大量工程应用实例,每章后面附有习题及思考题,书末给出了两种机型的实验指导。

本书语言简练,通俗易懂,书中有许多编程实例,可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化机械电子工程等专业的教学用书,亦适合工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

可程序控制器实用技术/王兆义,程志华编. —3 版. —北京:机械工业出版社,2018.12

普通高等教育电气工程自动化系列规划教材

ISBN 978-7-111-61439-5

I. ①可… II. ①王… ②程… III. ①可程序控制器-高等学校-教材
IV. ①TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 267314 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:王 康 责任编辑:王 康 王小东

责任校对:王 延 封面设计:鞠 杨

责任印制:张 博

唐山三艺印务有限公司印刷

2019 年 2 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.75 印张·484 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61439-5

定价:49.80 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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前言



本书自 1996 年出版发行以来，深受广大读者关注，已连续印刷几十次。

可编程序控制器的应用十分广泛，伴随着半导体、计算机及自动化技术的不断发展，新型的自动化控制器件不断出现。在小型 PLC 方面，三菱电机的 FX₂ 系列已于 2013 年停产，新推出的 FX₃ 系列第三代微型可编程序控制器大幅提高了软硬件指标，便利的环境、灵活的扩展和系列的兼容获得了较大的市场份额；另外，作为 Q 系列机型的向下延伸，2015 年推出的 MELSEC iQ-F 系列 PLC，以基本性能的提升、与驱动产品的连接、软件环境的改善为亮点。

本书的特点是以小型 PLC 为蓝本，以在国内应用量大面广的三菱电机公司 F 系列为主线，内容全面转向 FX₃、iQ-FX₅ 机型。

本书更新了三菱 PLC 的工程软件（GX Developer, GX Works3, GT Works3），新增了 PLC 的人机交互设备（触摸屏）、常用电机控制设备（变频器）的介绍，并精简了部分篇幅。本书对有关西门子 S7-200 的内容也做了更新（S7-200 SMART）。

可编程序控制器（PLC）是以计算机技术为核心的通用可编程序自动控制装置，在工业控制中发挥着非常重要的作用。但是，由于传统的控制电器（按钮、各种开关、继电器、接触器等）、控制线路不可能被完全替代，故本书第一篇为 PLC 的学习奠定了必要的基础。

本书的第二篇（第二~八章）对三菱小型 FX 系列 PLC 的基本组成、配置及原理，基本指令、步进指令、功能指令与编程，编程软件、特殊功能模块、触摸屏与变频器，以及 PLC 控制系统的应用设计等内容进行了详细介绍。第三篇（第九~十一章）以西门子公司小型 PLC S7-200 SMART 为目标机型，对 S7-200 SMART 的系统配置、指令系统、STEP 7-Micro/WIN SMART 编程软件等内容进行了详细说明。书末附有四个附录，分别给出了两类 PLC 的实验指导、FX₃₀ 系列 PLC 的特殊软元件及 FX 系列 PLC 的功能指令汇总表。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等有关专业的教材，也可作为高职高专、电大、职大相近专业的教学用书及 PLC 用户的培训教材，对广大的工程技术人员也是一本更新知识结构的参考读物。

本书的编写得到了上海大学自动化系的大力支持，得到了三菱电机自动化（上海）有限公司的鼎力帮助，一并在表示衷心的感谢。

本书由王兆义、程志华编写，王兆义教授统稿，付健参加了部分内容的整理工作。

因作者水平有限，书中难免有错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目录



前 言

第一篇 电 器 控 制

第一章 电器控制基础	2
第一节 控制电器概述	2
第二节 电器控制线路	9
习题及思考题	13

第二篇 三菱可编程序控制器

第二章 可编程序控制器的组成及原理	16
第一节 可编程序控制器概述	16
第二节 可编程序控制器的基本结构和工作原理	20
第三节 三菱小型可编程序控制器	27
第四节 FX _{3U} (iQ) 系列可编程序控制器	35
习题及思考题	41
第三章 FX 系列 PLC 的基本指令、步进指令及编程	42
第一节 基本指令	42
第二节 基本指令的编程应用	49
第三节 步进指令及状态编程法	55
习题及思考题	63
第四章 FX _{3U} 系列 PLC 的功能指令	66
第一节 功能指令的基本格式	66
第二节 FX _{3U} 的功能指令	68
习题及思考题	138
第五章 三菱 FA 工程软件	139
第一节 编程软件 GX Developer	139
第二节 GX Works3	146
第三节 触摸屏设计软件 GT Works3	152
习题及思考题	154
第六章 三菱 PLC 的特殊功能模块和通信网络	155
第一节 特殊功能模块和特殊适配器	155
第二节 通信与网络	167
习题及思考题	174

第七章 三菱触摸屏与变频器	175
第一节 三菱触摸屏	175
第二节 三菱变频器	178
第三节 应用设计	188
习题及思考题	191
第八章 三菱 PLC 控制系统的应用设计	192
第一节 可编程序控制器的系统设计	192
第二节 PLC 典型环节的编程方法	194
第三节 应用实例	201
习题及思考题	214
第三篇 西门子可编程序控制器	
第九章 S7-200 SMART 概述	216
第一节 S7-200 SMART 硬件系统组成	216
第二节 S7-200 SMART 的数据类型及寻址方式	221
第三节 S7-200 SMART 的编程语言和程序结构	225
习题及思考题	226
第十章 S7-200 SMART 的指令系统	227
第一节 S7-200 SMART 的基本指令及编程	227
第二节 S7-200 SMART 的功能指令及编程	247
习题及思考题	283
第十一章 STEP7-Micro/WIN SMART 编程软件	285
第一节 编程软件的功能简介	285
第二节 编程软件的使用说明	290
第三节 程序的监控和调试	294
习题及思考题	298
附录	299
附录 A FX 系列 PLC 实验指导	299
附录 B S7-200 SMART 系列 PLC 实验指导	299
附录 C FX _{3U} 系列 PLC 的特殊软元件	299
附录 D FX 系列 PLC 功能指令汇总表	304
参考文献	308



第一篇

电器控制

第一章

电器控制基础

随着自动化技术的不断发展,新型自动化控制器件在工业控制中发挥着越来越重要的作用。然而,在目前的工业生产现场,许多传统的控制电器,如按钮、各种开关、继电器、接触器等,仍然在继续使用,而且不可能完全被替代。

第一节 控制电器概述

控制电器是一种能根据外界信号要求,手动或自动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节所使用的电气设备。也就是说,控制电器是一种控制电的工具。

一、控制电器的分类

控制电器可以视为一种具有二值的逻辑元件,即开关电器。这些器件在输入条件的控制下,无论是自动的还是非自动的,其输出或者使电路完全导通(记作 ON),或者使电路完全断开(记作 OFF)。控制电器的品种规格繁多,按工作电压、用途和工作原理不同可进行如下分类。

1. 按工作电压等级分类

(1) 低压电器 工作电压在交流 1000V 或直流 1500V 以下的电器(如继电器、接触器、刀开关、熔断器、起动器等)。

(2) 高压电器 工作电压高于交流 1000V 或直流 1500V 以上的电器。

2. 按用途分类

(1) 控制电器 各种控制电路和控制系统的电器(如接触器、控制继电器、起动器等)。

(2) 主令电器 用于自动控制系统中发送控制指令的电器(如控制按钮、主令开关、行程开关、转换开关等)。

(3) 保护电器 用于保护电设备的电器(如熔断器、热继电器、避雷器等)。

(4) 执行电器 用于完成某种动作或传动功能的电器(如电磁铁、电磁阀等)。

3. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器 依电磁感应原理工作的电器(如交直流接触器、电磁式继电器等)。

(2) 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(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)。

二、控制电器的主要技术参数

(1) 额定电压 在规定条件下, 电器可长期正常工作的电压值 (对于电磁式电器、触点和励磁线圈都有各自的额定值)。

(2) 额定电流 在规定条件下, 电器可长期正常工作的电流值 (当条件改变时, 同一电器可对应不同的额定值)。

(3) 操作频率及通电持续率 开关电器每小时可实现的最高操作循环次数称操作频率。通电持续率是电器工作于断续周期工作制时有载时间与工作周期之比, 通常以百分数表示。

(4) 机械寿命和电气寿命 机械寿命指机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数。电气寿命指在正常工作条件下, 机械开关电器无需修理或更换零件的负载操作次数。

三、常用典型控制电器

1. 开关电器

常用的开关电器有刀开关、断路器等, 它们广泛应用于配电线路作电源的隔离、保护与控制。

(1) 刀开关 刀开关是一种手动电器, 安装时手柄要向上, 不得倒装或平装, 避免由于重力下落而引起的误动作合闸。接线时上端头为电源入端, 下端头为负载接线端。刀开关的符号如图 1-1 所示。

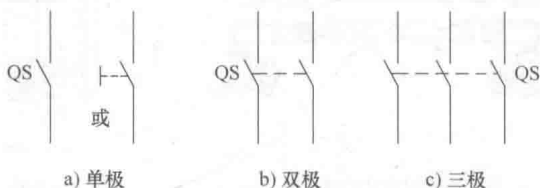


图 1-1 刀开关的符号

(2) 断路器 俗称自动开关, 常用于低压配电电路的不频繁通断控制。在电路发生短路、过载或欠电压一类故障时, 能自动分断故障电路, 起保护作用。

断路器的种类很多, 图 1-2 为一种断路器的原理与符号, 依靠手动或电动合闸, 触头闭

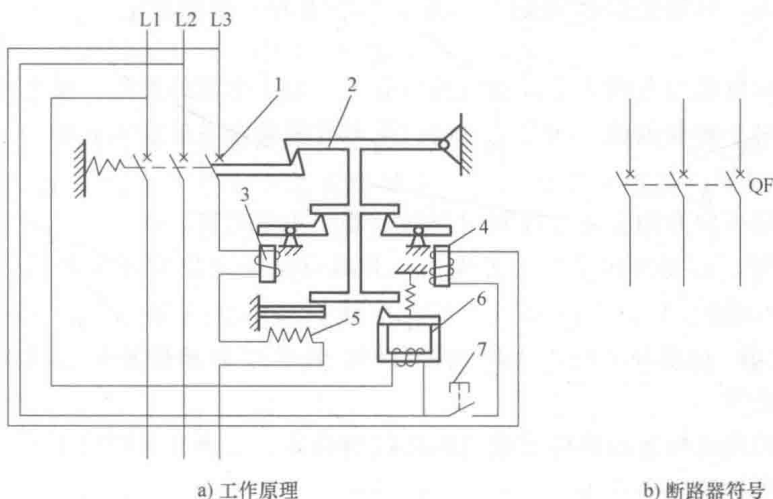


图 1-2 断路器工作原理与符号图

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—欠电压脱扣器 7—按钮

合后，脱扣机构将触头锁在合闸位置上；当电路发生故障时，通过各自的脱扣器使脱扣机构动作，自动跳闸实现保护作用。

2. 熔断器

熔断器是一种利用熔丝溶化而切断电路的保护电器。熔断器如图 1-3 所示。依据熔断材料的安秒特性（熔断时间与熔断电流的关系），当电路发生短路或过载时，产生的热量达到溶体的熔点时，熔体熔断切断电路，达到保护目的。

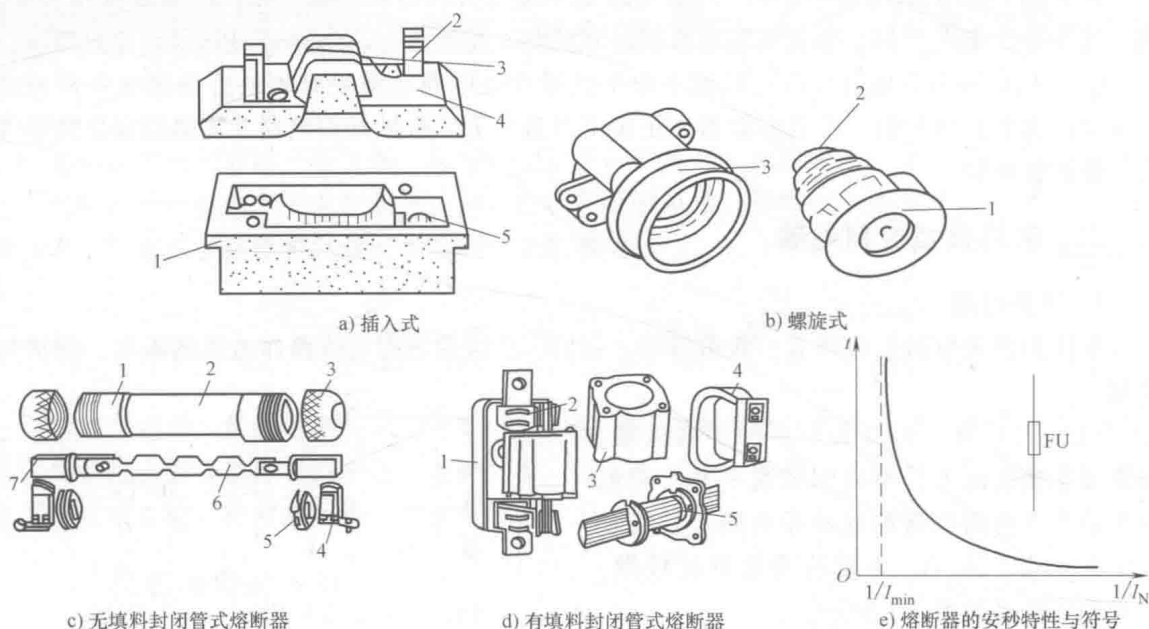


图 1-3 熔断器

- a) 1—瓷底座 2—动触头 3—熔体 4—瓷插件 5—静触头
 b) 1—瓷帽 2—熔体 3—底座
 c) 1—钢圈 2—熔断管 3—管帽 4—插座 5—特殊垫圈 6—熔体 7—熔片
 d) 1—瓷底座 2—弹簧片 3—熔管 4—绝缘手柄 5—熔体

熔断器的额定电流与负载大小及负载性质有关。对于电阻性负载，额定电流应略大于或等于工作电流；对于容性负载，额定电流应大于电容器额定电流的 1.6 倍。

3. 主令电器

在自动控制系统中专用于发布控制指令的电器叫主令电器。

(1) 控制按钮 控制按钮是用人力操作，并具有储能复位的开关电器。控制按钮的结构与符号如图 1-4 所示。

(2) 位置开关 位置开关用于实现顺序控制、定位控制和位置状态的检测。可分为行程开关和光电开关等。

行程开关是利用机械运动部件的碰撞发出控制指令，如图 1-5 和图 1-6 所示。当用于位置保护时，也叫限位开关。

接近开关又称无触点行程开关，是一种通过感应元件以非接触方式进行控制的位置开关。接近开关的主要技术参数有工作电压、电流、动作距离等。

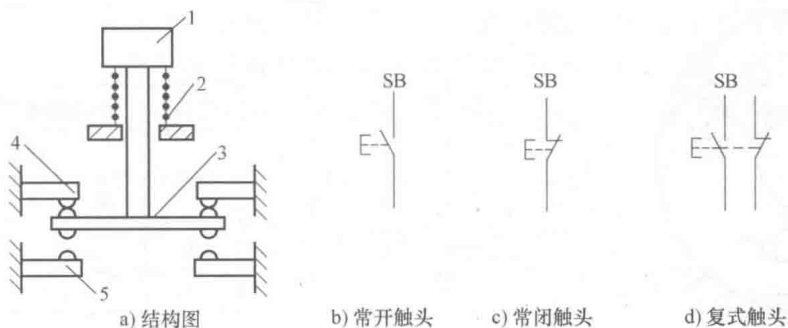


图 1-4 控制按钮的结构与符号

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—动触头 4—常闭静触头 5—常开静触头

光电开关是光电传感器的俗称，是一种无触点、以非接触方式进行控制的开关器件。既可替代有触点的行程开关完成行程控制和限位保护，也可用于计数、测速、检测等。

接触式开关结构简单、便于维护。非接触开关寿命长、稳定可靠、重复精度高。

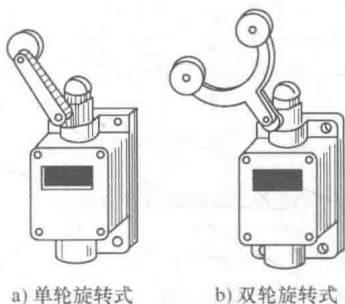


图 1-5 LX19 系列行程开关

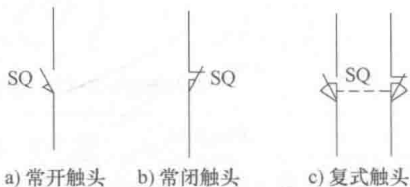


图 1-6 行程开关的符号

(3) 组合开关 组合开关是一种多档位、控制多回路的开关器件。由于转换电路多，用途广泛，又称为万能转换开关，图 1-7 给出了一个示例。

4. 凸轮

凸轮是较为频繁切换的复杂多回路开关控制电器。作为一种大型手动或自动控制电器，可设计某种顺序规律，发出开关指令来直接操作与控制对象（应用凸轮控制器控制的电动机，控制电路简单、维修方便），如图 1-8 所示。

5. 接触器

接触器是一种用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路的电器。接触器主要由电磁机构、触头系统、灭弧装置等部件组成，图 1-9 所示为接触器结构原理示意图。

由于应用场合不同，接触器分为交流接触器和直流接触器。

交流接触器的线圈通以交流电，主触头接通、分断交流主电路；交流接触器的灭弧装置通常采用灭弧罩和灭弧栅；为降低交流接触器铁心在交流磁场中产生的涡流，通常采用硅钢片叠成；交流接触器既有阻抗，还有感抗，励磁线圈在交流电路中感抗占主要部分。

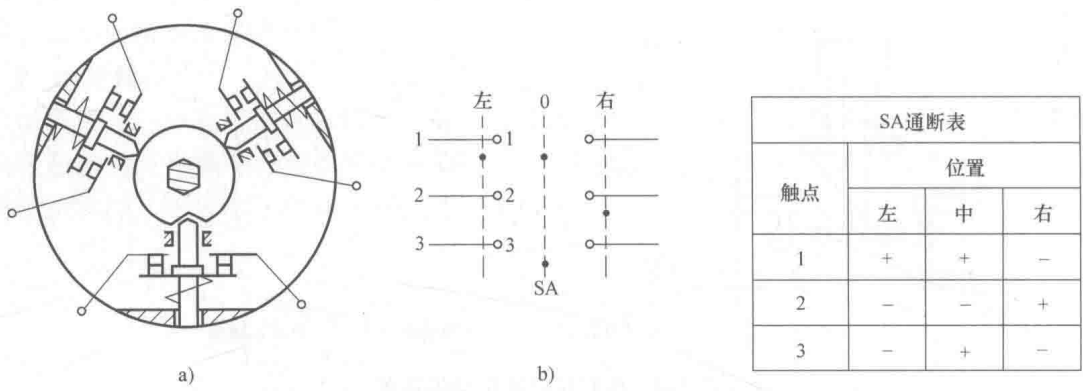


图 1-7 万能转换开关结构原理及符号

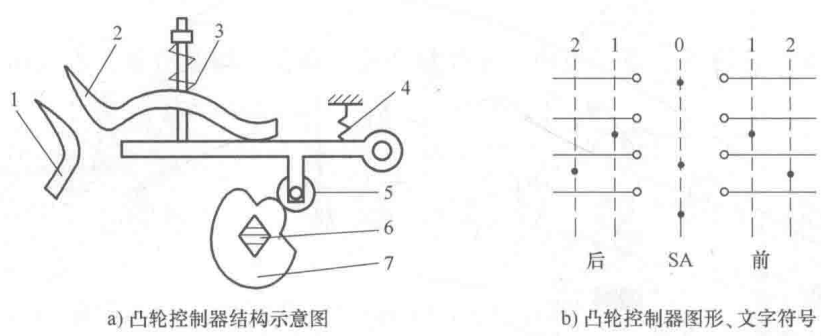


图 1-8 凸轮控制器结构原理及符号

1—静触头 2—动触头 3—触头弹簧 4—复位弹簧 5—滚子 6—绝缘方轴 7—凸轮

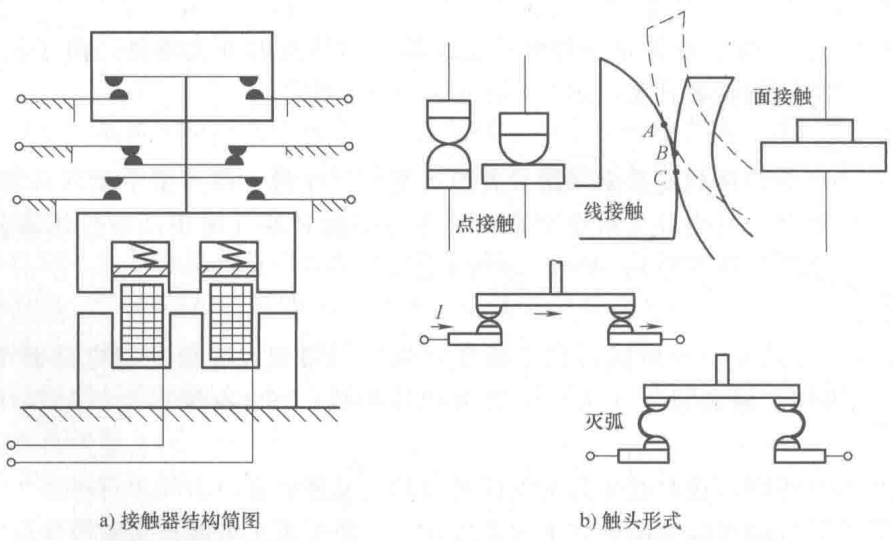


图 1-9 接触器结构原理

直流接触器的励磁线圈通以直流电流，主触头接通、切断直流主电路。直流接触器灭弧较难，一般采用灭弧能力较强的磁吹灭弧装置。直流接触器的铁心不存在涡流问题，铁心可以用整块的电工纯铁等软磁性材料制成；直流接触器只有阻抗，故线圈直流电阻较大。

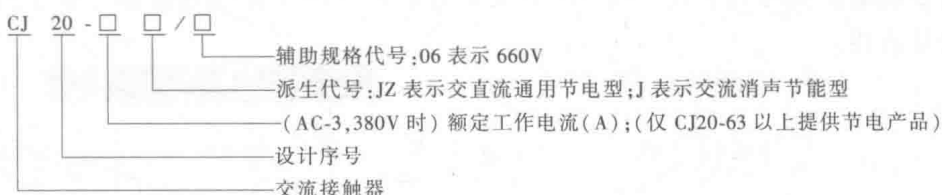
接触器的图形符号如图 1-10 所示，文字符号为 KM。



图 1-10 接触器

常用的国产交流接触器有 CJ 系列（表述见表 1-1），直流接触器有 CZ 系列。

表 1-1 国产常用系列交流接触器主要技术参数



型号	额定绝缘 电压/V	额定电流 /A	线圈功率(VA) 起动/保持	辅助触头		
				数量	额定电压	额定电流
CJ20-10	690	10	65/9	开 2 闭 2	交 380/220 直 20/110	交 0.26/0.45;直 0.14/0.27
CJ20-100		125	570/61			交 0.8/1.4;直 0.27/0.6
CJ20-250		315	1710/152	开 4/3/2 闭 2/3/4		交 1.3/2.3 直 0.27/0.6
CJ20-400		400	1710/250			
CJ20-630		630	3578/912			

6. 继电器

继电器是根据外界输入信号（电量或非电量）的变化来接通或断开被控电路，以实现控制和保护作用的自动控制电器。继电器的种类很多，按输入信号性质分为：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、压力继电器等。按工作原理分为：电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、热继电器、电子式继电器等。

（1）电磁式继电器 电磁式继电器的结构及工作原理与接触器类似。主要区别在于：继电器可对多种输入量的变化做出反应，而接触器只有在一定的电压信号下动作；继电器是用于切换小电流的控制电路和保护电路，而接触器是用来控制大电流电路的。电磁式继电器的符号如图 1-11 所示。

电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器。电压继电器具有线圈匝数多、导线

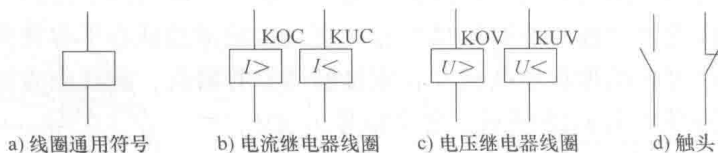


图 1-11 电磁式继电器

细、阻抗大的特点。工作时并入电路中，因此用于反映电路中电压的变化。

电流继电器的线圈被做成阻抗小、导线粗、匝数少的电流线圈，串接在被测电路中，是根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器。按用途还可分为过电流继电器和欠电流继电器。

中间继电器实质上是一种电压继电器，具有触头对数多、触头容量较大的特点，其作用是将一个输入信号变成多个输出信号或将信号放大（即增大触头容量），起到信号的中继作用。

(2) 时间继电器 时间继电器是一种定时器件，是利用电磁、机械动作和电子电路实现触头延时接通或延时断开的自动控制电器。按延时原理可分为电磁式、空气阻尼式、同步电动机式和电子式。按延时方式有通电延时型和断电延时型。图 1-12 为时间继电器符号表述。

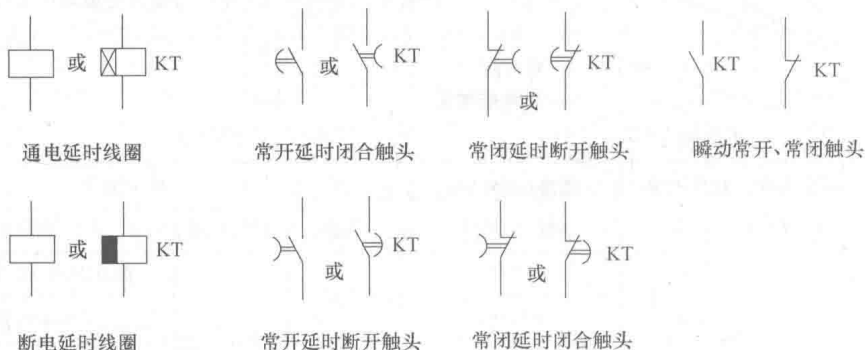


图 1-12 时间继电器

(3) 热继电器 热继电器是利用电流的热效应原理对连续运行的电动机进行过载及断相保护，以防止电动机过热而烧毁的保护电器。热继电器的整定电流是指热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的电流值。热元件的额定电流是热元件整定电流调节范围的最大值。图 1-13 所示为热继电器的符号。

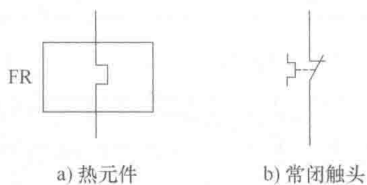


图 1-13 热继电器

(4) 固态继电器 固态继电器是一种新型无触头继电器，它能够实现强、弱电的良好隔离，其输出信号又能够直接驱动强电电路的执行元件，与有触头的继电器相比具有开关频率高、使用寿命长、工作可靠等突出特点。

图 1-14 所示固态继电器是四端器件，有两个输入端，两个输出端，中间采用光电器件，实现了输入与输出之间的电气隔离。

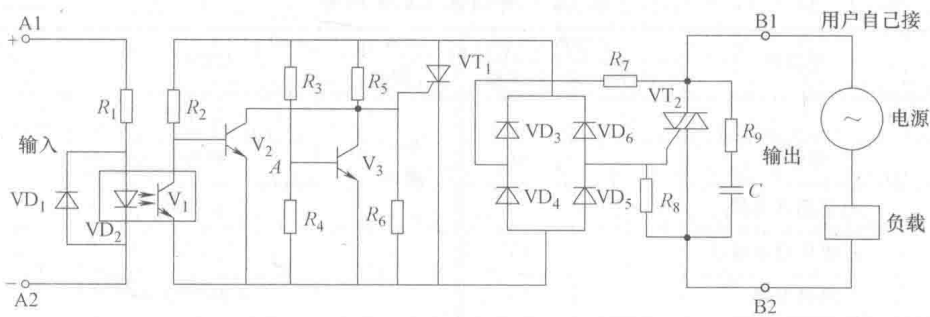


图 1-14 固态继电器

第二节 电器控制线路

由按钮、接触器、继电器等低压电器组成的电器控制线路，具有线路简单、便于掌握、维修方便等许多优点，在老式生产机械的电气控制领域中，仍然获得广泛应用（图 1-15 是传统控制电器构成的排水控制系统）。

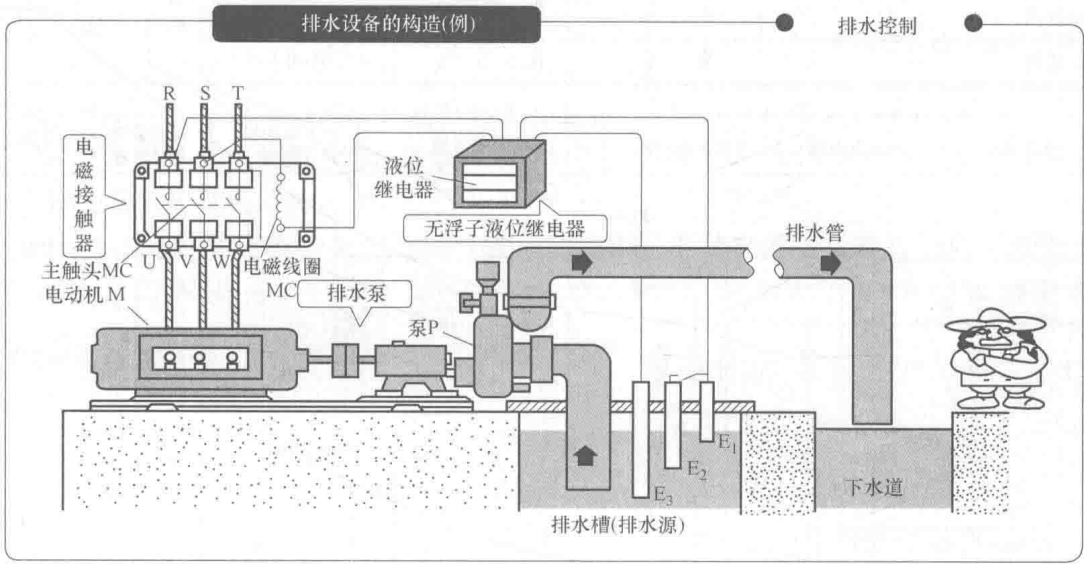


图 1-15 传统控制电器构成的排水控制系统

一、电器控制线路图的类型及有关规定

电器控制线路图一般有三种：电气原理控制线路图、电器布置图、电器安装接线图。绘制电气控制原理图的国家标准有：GB/T 4728 《电气图常用图形符号》，GB 5226 《机床电气设计标准》，GB 5094 《电气技术中的项目代号》。上节介绍的相关元器件其图形符号和文字符号（见表 1-2）都选自国家相关标准。

绘制电器控制电路图应遵循简明易懂原则（见图 1-16）。

表 1-2 常用基本文字符号

元器件种类	元器件	文字符号		元器件种类	元器件	文字符号	
		字母	双字母			字母	双字母
电容		C		控制电路开关	控制开关	S	SA
保护器件	熔断器	F	FU		按钮		SB
	过电流继电器		FA		限位开关		SQ
	过电压继电器		FV	电阻	电位器	R	RP
	热继电器		FR		压敏电阻		RV
发电机	同步发电机	G	GS	变压器	电流互感器	T	TA
	异步发电机		GA		电压互感器		TV
信号器件	指示灯	H	HL		电力变送器		TC
接触器继电器	接触器	K	KM	电子器件	二极管	V	VD
	时间继电器		KT		晶体管		VT
	中间继电器		KA		电子管		VE
	速度继电器		KS	执行器件	电磁铁	Y	TA
	电压继电器		KV		电磁阀		TU
	电流继电器		KI	电力电路开关	断路器	Q	QF
电抗器		L			保护开关		QM
电动机		M			隔离开关		QS

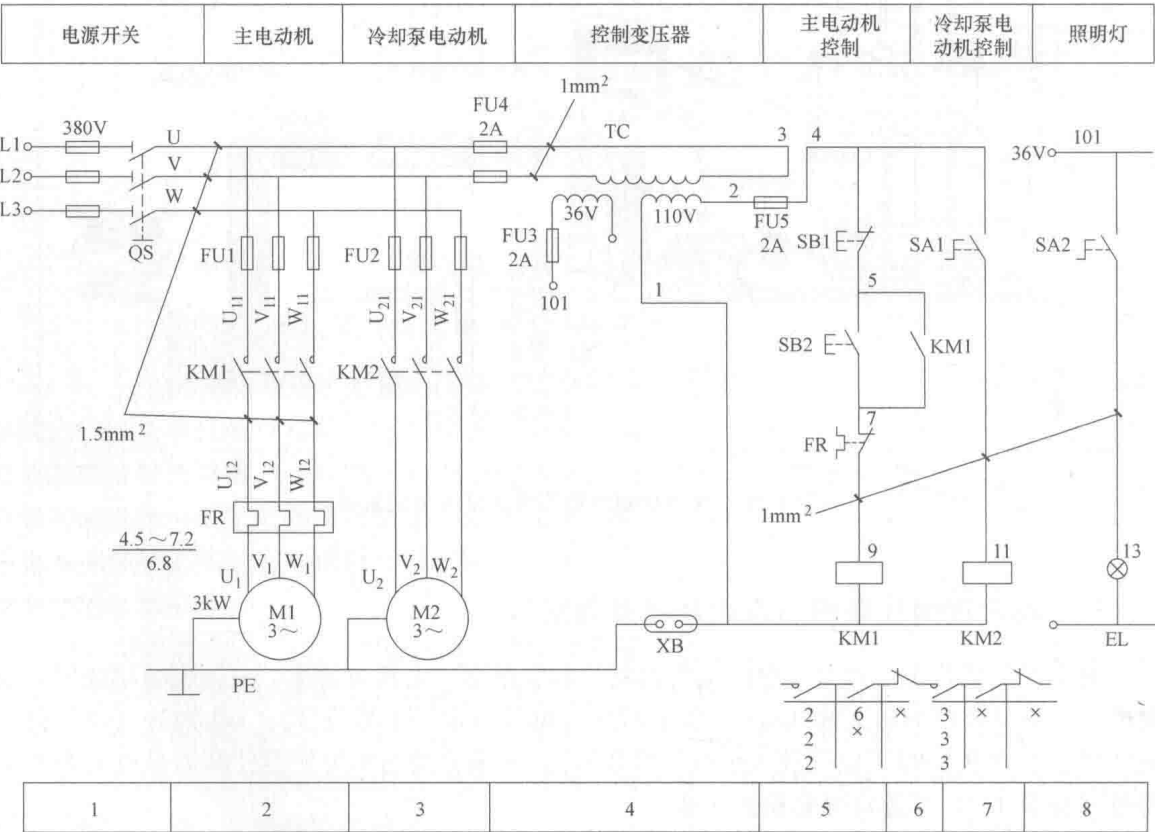


图 1-16 电器控制线路图例

1) 电路图分主电路和控制电路两部分。主电路是从电源到电动机的大电流电路, 控制电路中流过的电流较小, 连接导线应注明导线规格。

2) 线路图中, 同一电器原件的各部件根据需要可以不画在一起, 但文字符号要相同。所有电器的触头都应按没有通电和没有外力作用时的初始开闭状态绘制。

3) 无论主电路还是控制电路, 各元器件一般按动作顺序从上到下、从左到右排列, 可水平布置也可垂直布置。在电路中, 有直接电联系的交叉导线连接点用黑圆点表示。

二、常见控制线路

在对将电能转换为直线运动或旋转运动的电器进行控制时, 最为常见的控制对象为电动机。

1. 三相笼型异步电机全压起动控制线路

三相笼型异步电动机全压起动控制线路由刀开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM 的主触头、热继电器 FR 与电动机 M 组成主电路。由起动按钮 SB2、停止按钮 SB1、接触器 KM 的线圈及其常开辅助触点、热继电器 FR 的常闭触头和熔断器 FU2 构成控制电路 (见图 1-17)。

起动时: 合上 QS, 按下 SB2, 交流接触器 KM 的吸引线圈通电, 接触器主触头闭合, 电动机得电直接起动运转; 同时, 与 SB2 并联的常开辅助触头 KM 闭合, 构成“自锁”。

停止时: 按下停止按钮 SB1, 接触器 KM 的吸引线圈失电, KM 已闭合的常开主触头断开, 切断电源, 电动机停转。

图 1-18 是工作滑台电动机的往返行程控制线路, 电动机的正反转控制通过改变电动机接通电源的相序 (L1, L2, L3——L3, L2, L1), 由 KM1、KM2 接触器主触点实现。

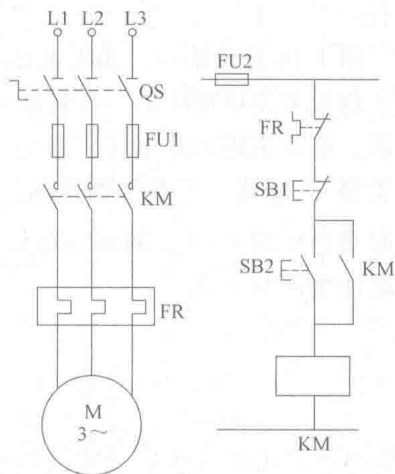


图 1-17 单向全压起动控制线路

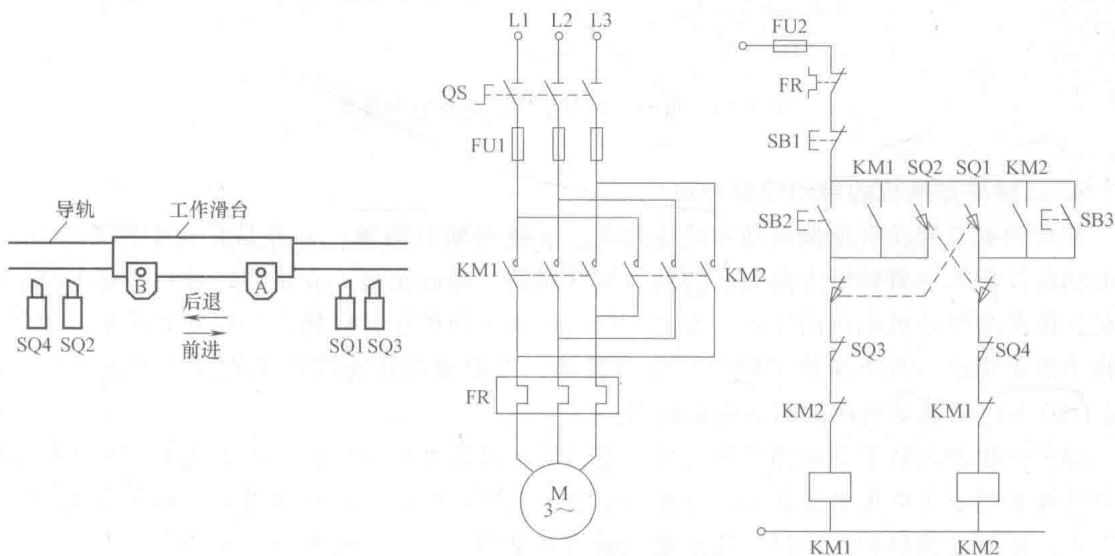


图 1-18 电动机的往返行程控制线路