

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



KEBIANCHENG KONGZHIQI
YUANLI JI YINGYONG

可编程控制器 原理及应用

董爱华 主编
李良 余琼芳 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



KEBIANCHENG KONGZHIQI
YUANLI JI YINGYONG

可编程控制器 原理及应用

主 编 董爱华
副主编 李 良 余琼芳
参 编 苏 波 曾志辉
主 审 张会清



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical
Engineering

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书简要介绍了常用低压电器基本知识,系统地讲述三菱 FX 系列可编程控制器的特点、基本结构、工作原理、指令系统(包括基本指令、功能指令和梯形图)、编程规则和典型编程环节;详细叙述了简易编程器的使用、模拟量输入/输出模块、数据通信模块;举例说明了可编程控制器的应用以及可编程控制系统的设计、调试和维护方法;最后从使用的角度介绍了西门子 S7-200 系列、欧姆龙 C 系列和松下 FP1 系列可编程控制器的特点和技术性能。书中各章后附有练习与思考题,以便读者自学。

本书可作为高等院校电气信息类等工科专业的本科教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

可编程控制器原理及应用/董爱华主编. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8855-7

I. 可… II. 董… III. 可编程序控制器-高等学校-教材
IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 102207 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 404 千字

定价 26.50 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

可编程控制器是集计算机、自动控制和通信为一体的高新技术产品。它具有功能性强、可靠性高、配置方便灵活、易学易用等突出特点,已成为发展最快、应用最广的控制装置之一,广泛应用于工矿企业及其他领域。目前,我国高等工科院校机、电、控制类专业相继开设了可编程控制器原理课程,为满足我国大专院校可编程控制技术课程教学和工程技术应用的需要,编写了《可编程控制器原理及应用》这本书。

本书编写时,参考了大量的技术资料,并结合编者多年从事 PLC 教学和科研工作的实践,力求语言简练、通俗易懂,原理叙述清楚,应用内容介绍到位,突出实用性;内容上以常见的 FX 系列 PLC 机型为重点,适当兼顾其他机型。考虑到电气控制技术与可编程控制技术的联系,书中还简要介绍了常用低压控制电器的基本结构、原理及典型的电气控制线路,为学习可编程控制器作基础铺垫。本书以日本三菱系列 FX 小型 PLC 为对象,详细介绍 PLC 的组成、工作原理、内部编程元件、基本指令、步进指令、功能指令,以及编程器的基本知识和可编程控制器选型、系统设计方法,最后还简要介绍了其他系列的可编程控制器。本书每章后面均有练习与思考题,便于读者复习、巩固所学内容。

全书共分 11 章,其中,第 1 章电气控制基本知识,介绍常用低压电器的结构、原理和基本控制线路;第 2 章可编程控制器概述,介绍可编程控制器的特点、分类和应用;第 3 章可编程控制器的组成与原理,介绍可编程控制器的组成、编程语言和等效电路等;第 4 章三菱 FX 系列可编程控制器,介绍三菱 FX 系列可编程控制器的特点、系统配置、性能指标和编程元件;第 5 章 FX 系列 PLC 基本指令,介绍基本指令、梯形图编程规则和典型编程环节;第 6 章步进指令,介绍步进指令及状态转移图;第 7 章功能指令,介绍功能指令的格式、编程方法;第 8 章简易编程器,介绍简易编程器的操作、功能等;第 9 章特殊功能模块,介绍模拟量输入/输出模块、数据通信模块;第 10 章可编程控制器的应用,介绍可编程控制系统的选型、设计、调试和维护方法;第 11 章其他系列 PLC 简介,介绍西门子 S7-200 系列、欧姆龙 C 系列和松下 FP1 系列可编程控制器的性能及基本指令,其目的是为了扩展知识面,以适应工程应用的需要。

本书由河南理工大学电气工程与自动化学院教师担任编写工作,董爱华为主编,李良、余琼芳为副主编,苏波、曾志辉参与编写。其中前言、第 1 章、第 10 章、第 11 章及附录部分由董爱华编写;第 2 章和第 3 章由李良编写;第 4 章、第 5 章由余琼芳编写;第 6 章和第 7 章由苏波编写;第 8 章和第 9 章由曾志辉编写。

本书承北京工业大学张会清教授审阅,提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

本书的编写中参考了一些文献,在此对有关文献的作者致以诚挚的感谢!

由于编者的水平有限,书中不妥、错漏之处在所难免,恳请有关专家和读者不吝赐教。

编 者

2009 年 1 月



目 录

前言	
第 1 章 电气控制基本知识	1
1.1 常用低压电器	1
1.2 基本电气控制线路.....	10
练习与思考题	20
第 2 章 可编程控制器概述	21
2.1 可编程控制器的产生.....	21
2.2 可编程控制器的定义与特点.....	22
2.3 可编程控制器的分类及性能指标.....	24
2.4 可编程控制器的应用与发展.....	26
2.5 可编程控制器与其他工控系统的比较.....	29
练习与思考题	31
第 3 章 可编程控制器的组成与原理	32
3.1 可编程控制器的组成.....	32
3.2 可编程控制器的等效电路.....	39
3.3 可编程控制器的基本工作原理.....	42
3.4 可编程控制器的编程语言.....	47
练习与思考题	51
第 4 章 三菱 FX 系列可编程控制器	52
4.1 FX 系列可编程控制器特点	52
4.2 FX 系列可编程控制器系统配置	54
4.3 FX 系列可编程控制器性能指标	62
4.4 FX 系列可编程控制器编程元件	71
练习与思考题	86
第 5 章 FX 系列 PLC 基本指令	87
5.1 概述.....	87
5.2 基本指令.....	87
5.3 梯形图编程规则.....	96
5.4 典型编程环节.....	98
5.5 应用程序编写实例	103
练习与思考题.....	110
第 6 章 步进指令	112
6.1 顺序功能图	112
6.2 步进指令 STL/RET	115

6.3	顺序功能图的编程	116
6.4	步进指令的应用	118
	练习与思考题	124
第7章	功能指令	126
7.1	功能指令概述	126
7.2	FX系列PLC功能指令介绍	128
	练习与思考题	158
第8章	简易编程器	159
8.1	FX _{2N} 的简易编程器	159
8.2	FX-20P-E编程器的编程操作	161
	练习与思考题	176
第9章	特殊功能模块	177
9.1	概述	177
9.2	模拟量输入/输出模块	178
9.3	温度测量与调节模块	189
9.4	高速计数位置控制模块	194
9.5	数据通信模块	202
9.6	人机界面GOT	209
	练习与思考题	211
第10章	可编程控制器的应用	212
10.1	可编程控制器系统设计方法	212
10.2	可编程控制器选型	219
10.3	可编程控制器系统调试	221
10.4	可编程控制器系统的安装与维护	223
	练习与思考题	226
第11章	其他系列PLC简介	227
11.1	德国西门子S7-200系列可编程控制器	227
11.2	欧姆龙C系列可编程控制器	232
11.3	松下电工FP1系列可编程控制器	239
	练习与思考题	248
附录		249
附录A	FX _{2N} 系列PLC的常用辅助继电器一览表	249
附录B	FX系列PLC主要功能指令一览表	252
参考文献		258

第1章 电气控制基本知识

目前,在工业生产现场的许多控制系统中,一些常见的低压电器如按钮、各种开关、继电器、接触器等组成的电气控制线路到处可见。随着自动化技术的不断发展,新型自动化控制器件不断涌现,但传统的低压电器还不可能完全被替代;可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)控制系统是在传统的继电器、接触器控制的基础上发展起来的。因此在介绍 PLC 原理之前,有必要对常用的低压电器以及继电器、接触器控制的基本知识作以介绍,使读者对低压电器及基本控制线路的组成原理、使用方法有所了解,能够正确分析继电器、接触器控制基本原理,为学习 PLC 原理及应用打下基础。

1.1 常用低压电器

低压电器是一种能根据外界的信号要求,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。即低压电器是一种控制工具,其应用十分广泛。

1.1.1 低压电器的分类

根据不同的分类方法,低压电器的种类也各不相同。低压电器的分类方法主要有按工作电压等级分类、按用途分类和按工作原理分类等。

1. 按工作电压等级分类

(1) 低压电器。低压电器通常是指工作电压在 1200V (AC) 或 1500V (DC) 以下的电器,主要用于低压供配电控制系统中。例如继电器、接触器、刀开关、熔断器、启动器等。

(2) 高压电器。高压电器通常是指工作电压在 1200V (AC) 或 1500V (DC) 以上的电器。例如高压断路器、高压隔离开关等。

2. 按用途分类

(1) 控制电器。控制电器指用于各种控制电路和控制系统的电器。例如接触器、各种控制继电器、启动器等。

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

(3) 保护电器。保护电器指用于保护电设备的电器。例如熔断器、热继电器、避雷器等。

(4) 执行电器。执行电器指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。电磁式电器指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。

(2) 非电量控制电器。非电量控制电器指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。

1.1.2 开关电器

常用的开关电器有刀开关、组合开关、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

刀开关是一种广泛应用的手动控制电器。刀开关由操作手柄、触刀、静插座和绝缘底板组成。刀开关按刀数可分为单极、双极和三极。刀开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、通断能力等，其中通断能力是指在规定条件下，在额定电压下接通和分断的电流值。

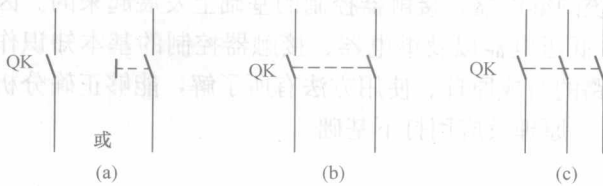


图 1-1 刀开关的符号

(a) 单极；(b) 双极；(c) 三极

刀开关在安装时，手柄要向上，不得倒装或平装，避免由于重力作用自动下落而引起误动作。接线时应将电源线接在上端，负载线接在下端，这样拉闸后刀片与电源隔离，防止意外事故发生。刀开关的图形符号及文字符号如图 1-1 所示。

2. 组合开关

组合开关又称转换开关，常用于电气设备中非频繁通断的电路、转接电源和负载，控制小容量感应电动机。

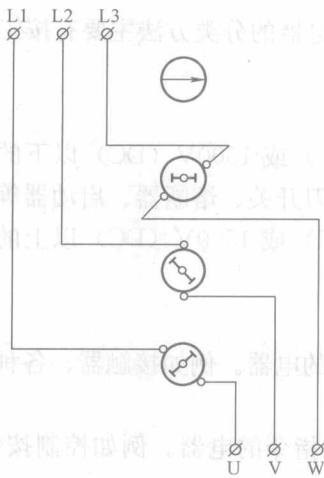


图 1-2 组合开关结构示意图

组合开关由动触点、静触点、转轴、手柄定位机构等组成。组合开关结构示意图如图 1-2 所示，图形符号和文字符号如图 1-3 所示。

3. 断路器

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、过载或欠电压等故障时，能自动分断故障电路，起保护作用。

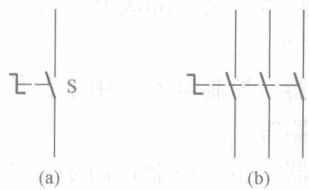


图 1-3 组合开关的符号

(a) 单极；(b) 三极

断路器的种类很多，图 1-4 是一种塑壳断路器的工作原理图。断路器主要由三个基本部分组成：触点、灭弧系统和各种脱扣器。脱扣器包括过电流脱扣器、失电压脱扣器、热脱扣器、分励脱扣器和自由脱扣器，其中，过电流脱扣机构用于实现过流保护。当电流超过整定值时，电流产生的电磁力拉动衔铁，使自由脱扣器动作，断路器跳闸；失压脱扣器用于实现失压保护，当电源电压为额定值时，失压脱扣器产生的电磁力将衔铁吸合，使断路器处于合闸状态。当电源电压降低到低于整定值或为零时，在弹簧的作用下，自由脱扣器动作而切断

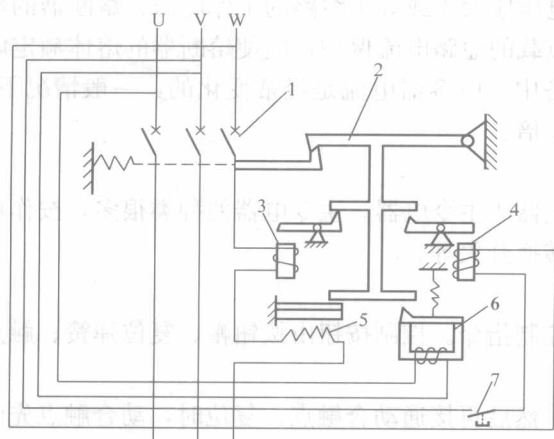


图 1-4 塑壳断路器的工作原理图

1—主触点；2—自由脱扣器；3—过流脱扣器；

4—分励脱扣器；5—热脱扣器；6—失压脱扣器；7—按钮

电源；热脱扣器用于实现过载保护；而分励脱扣器用于远距离操作，在正常工作时，其线圈是断电的，在需要远距离操作时，使线圈带电，分励脱扣器动作使断路器跳闸。断路器的图形符号及文字符号如图 1-5 所示。

1.1.3 熔断器

熔断器是利用熔体熔化而切断电路实现对电路保护的。熔断器主要由熔体

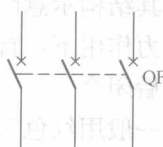


图 1-5 断路器符号

和熔管等部分组成，其中熔体由易熔金属材料铝、锡、锌、银及其合金制成，通常制成丝状或片状；熔管是安装熔体的外壳，在熔体熔断时兼有灭弧作用。熔断器的类型很多，常见的有插入式熔断器和螺旋式熔断器。插入式熔断器如 RC1A 系列，主要用于民用和工业的照明电路中；螺旋式熔断器如 RL6、RL7、RLS2 和 RZ1 等系列，其中 RL6、RL7 多用于机床

配线电路中。RLS2 为快速熔断器，主要用于保护硅整流元件和晶闸管等半导体元件；RZ1 系列是一种自复式新型熔断器，这种熔断器只能限制故障电流，不能切断故障电路，一般与断路器配合使用。瓷插式熔断器的外形结构如图 1-6 所示。熔断器的图形符号及文字符号如图 1-7 所示。

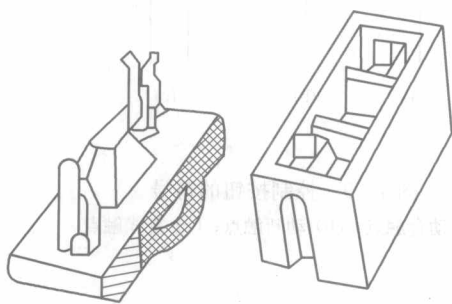


图 1-6 瓷插式熔断器的外形结构



图 1-7 熔断器的符号

熔断器串接在被保护的电路中，当电路正常工作时，电路的电流小于熔断器的熔断电流，熔断器的熔体不熔化；但当电路发生短路或过载时，电路的电流大于熔断器的熔断电流，产生的热量使熔体熔化切断电路，从而达到保护的目。电流通过熔体时产生的热量与电流的平方和电流通过的时间成正比，因此电流越大，熔体熔断的时间越短。熔断时间与熔断电流之间的关系称为熔断器的安秒特性，熔断器典型的安秒特性数值关系见表 1-1。

表 1-1

熔断器典型的安秒特性数值关系表

熔断电流	$(1.25 \sim 1.3) I_N$	$1.6 I_N$	$2 I_N$	$2.5 I_N$	$3 I_N$	$4 I_N$
熔断时间	∞	1h	40s	8s	4.5s	2.5s

熔断器的选择分类型选择、额定电压选择、额定电流选择。类型选择要根据线路要求、

使用场合、安装条件来确定；熔断器的额定电压应大于或等于线路的工作电压；熔断器的额定电流与负载的大小及性质有关，对于阻性负载的短路电流保护，应使熔断器的熔体额定电流等于或略大于电路的工作电流，电容器设备中，电容器电流是经常变化的，一般情况下，熔体的额定电流应大于电容器额定电流的 1.6 倍。

1.1.4 主令电器

在自动控制系统中用于发布控制指令的电器叫主令电器。主令电器的种类很多，按作用分为控制按钮、位置开关、光电开关、万能转换开关等。

1. 控制按钮

在低压控制电路中，控制按钮发布手动控制指令。控制按钮由按钮帽、复位弹簧、触点和外壳组成，其结构示意图如图 1-8 所示。

按钮在外力作用下，首先断开动断触点，然后再接通动合触点。复位时，动合触点先断开，动断触点后闭合。

控制按钮一般用红色表示停止按钮，绿色表示起动按钮。控制按钮的图形符号及文字符号如图 1-9 所示。

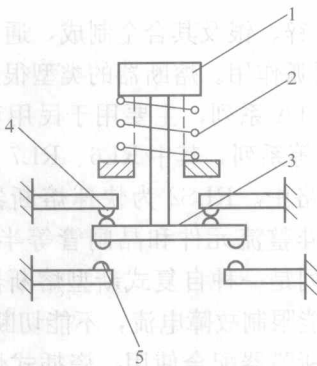


图 1-8 控制按钮结构示意图

1—按钮帽；2—复位弹簧；3—动触点；
4—动断静触点；5—动合静触点

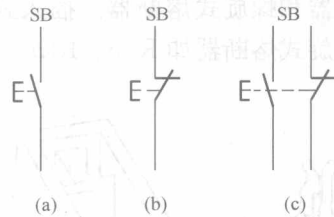


图 1-9 控制按钮的符号

(a) 动合触点；(b) 动断触点；(c) 复式触点

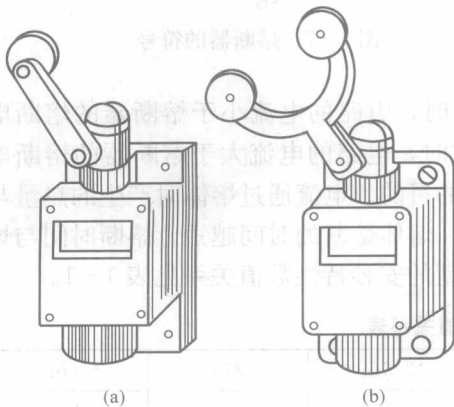


图 1-10 行程开关外形图

(a) 单轮旋转式；(b) 双轮旋转式

2. 位置开关

位置开关主要由操动机构、触点系统和外壳等部分构成。位置开关可分为行程开关、接近开关、光电开关等。在电气控制系统中，位置开关用以实现顺序控制、位置状态的检测与定位控制。

(1) 行程开关。行程开关是一种利用生产机械某些运动部件的碰撞来发出控制指令的开关。当行程开关用于位置保护时，也叫限位开关。单轮旋转式和双轮旋转式行程开关外形如图 1-10 所示。

行程开关的规格、品种较多，选用时应根据不

同使用场合,满足额定电压、额定电流、复位方式等方面要求。行程开关的图形符号及文字符号如图 1-11 所示。

(2) 接近开关。接近开关又称无触点行程开关,是一种以不直接接触方式进行控制的位置开关。当被测物体接近到一定距离时接近开关就可发出开关信号,它不仅可用于完成行程控制和限位保护,还可用于高速计数、测速、检测物体位置、尺寸等。

接近开关按其工作原理分为高频振荡型、电容型、霍尔型等,其中以高频振荡型最为常用。高频振荡型接近开关的电路由振荡器、放大器和输出三部分组成,当有金属物体接近高频振荡器的线圈时,振荡回路参数变化,振荡衰减直到终止而输出控制信号。接近开关的主要技术参数有工作电压、输出电流、动作距离等。接近开关的文字符号与图形符号如图 1-12 所示。

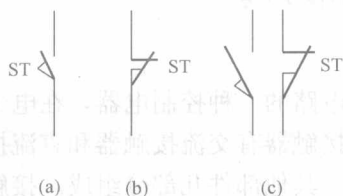


图 1-11 行程开关的符号

(a) 动合触点; (b) 动断触点; (c) 复式触点

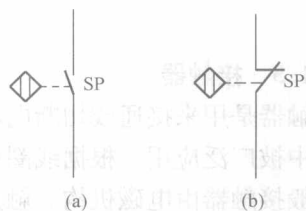


图 1-12 接近开关的符号

(a) 动合触点; (b) 动断触点

3. 光电开关

光电开关是接近开关的一种,具有作用距离远、能直接检测非金属物体的优点,还具有体积小、功能多、寿命长、精度高、响应速度快和抗干扰能力强等特点。目前,光电开关广泛用于物位检测、液位控制、产品计数、速度检测、宽度检测、自动门控制以及安全防护等领域。

光电开关种类繁多,主要技术指标有电源电压、检测距离、输出方式、响应时间、检测方式等。

4. 万能转换开关

万能转换开关是一种多档位、控制多回路的组合开关。由于转换电路多,用途广泛,又称为万能转换开关。万能转换开关一般由操动机构、面板、手柄及数个触点座等部件组成,用螺栓组装成为整体。触点的分断与闭合由凸轮进行控制,其某一层结构如图 1-13 所示。

目前常用的万能转换开关有: LW2、LW5、LW6、LW8、LW9、LW12 和 LW15 等系列。其中 LW9 和 LW12 系列符合 IEC 标准和国家标准,该产品采用一系列新工艺、新材料,性能可靠,功能齐全,能替代目前同类产品。

万能转换开关的图形符号及文字符号与操作手柄在不同位置时的触点分合状态的表示有两种,一种是图形表示法,即用画有虚线和“·”的电路图表示,如图 1-14 (a) 所示。其中虚线表示操作手柄的位置,有“·”表示对应触点闭合。另一种是通

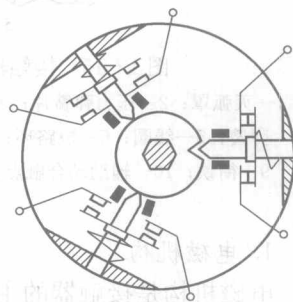


图 1-13 万能转换开关某一层结构

断表表示法,如图 1-14 (b) 所示。其中有“×”表示操作手柄在此位置时触点闭合。

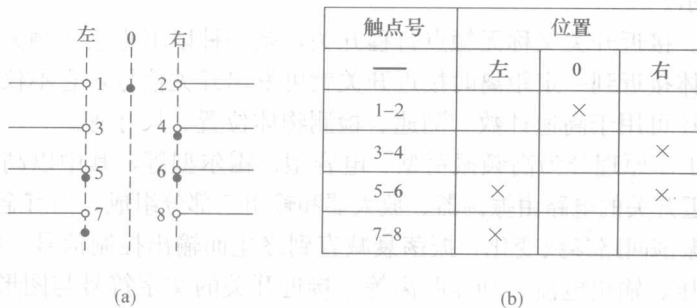


图 1-14 万能转换开关的图形符号

(a) 图形表示法; (b) 通断表表示法

1.1.5 接触器

接触器是用来接通或切断电动机或其他负载主电路的一种控制电器,在电力拖动自动控制线路中被广泛应用。根据线圈中的电流种类不同接触器有交流接触器和直流接触器两大类型。一般接触器由电磁机构、触点机构、灭弧装置、其他部件几部分组成。接触器的外形及符号如图 1-15、图 1-16 所示。

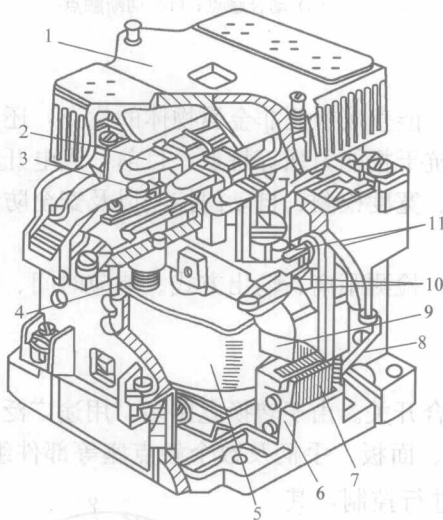


图 1-15 接触器外形图

1—灭弧罩; 2—压力弹簧片; 3—主触点; 4—反作用弹簧; 5—线圈; 6—短路环; 7—铁心; 8—弹簧; 9—衔铁; 10—辅助动合触点; 11—辅助动断触点

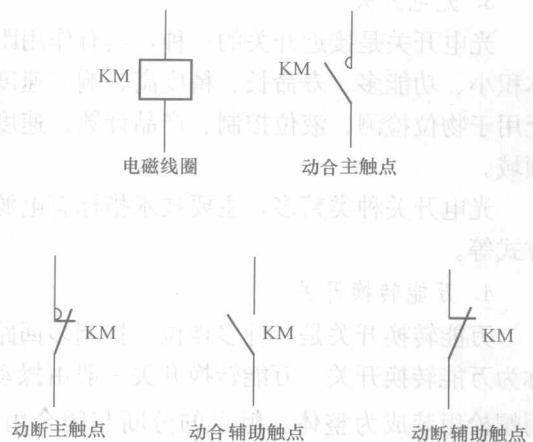


图 1-16 接触器符号

1. 电磁机构

电磁机构是接触器的主要组成部件之一,它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量,带动触点动作,从而完成接通或分断电路。电磁机构由线圈、铁心、衔铁等几部分组成。其主要结构与原理示意图如图 1-17 所示。

2. 触点系统

触点是接触器的执行部分,起接通和分断电路的作用。要求触点导电、导热性能良好,故触点常用银质材料制成。

3. 灭弧装置

接触器的触点在大气中断开电路时,如果被断开电路的电流超过某一数值,断开后加在触点间隙两端电压超过某一数值(约12~20V)时,则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的电离放电现象。当触点间刚出现分断时,两触点间距离极小,电磁场极大,在高温和强电磁场作用下,金属内部的自由电子从阴极表面逸出,奔向阳极,这些自由电子在电场中运动时撞击中性气体分子,使之激励和电离,产生正离子和电子,在触点间隙中产生大量的带电粒子,使气体导电形成了炽热的电子流即电弧。

电弧产生时,伴随高温产生并发出强光,将触点烧损,并使电路的切断时间延长,严重时还会引起火灾,因此应采取适当措施熄灭电弧。灭弧装置就是用来熄灭触点在切断电路时所产生的电弧,保护触点不受电弧灼伤。在交流接触器中常采用的灭弧方法有电动力灭弧和栅片灭弧。

4. 其他部件

其他部件主要包括反作用弹簧、缓冲弹簧、传动机构、接线柱和外壳等,它们是接触器的辅助器件。

5. 接触器的工作原理

当电磁线圈得电后,磁场的电磁力使衔铁克服弹簧的反作用力向铁心移动,同时带动触点系统,使动合触点闭合,动断触点断开。相反,一旦电源电压消失或者显著降低,电磁力消失或磁力不足,在弹簧的作用下,触点恢复未通电时的状态。

6. 接触器的主要技术参数

接触器的技术参数是选择接触器的重要依据,其主要技术参数如下。

(1) 额定电压。接触器的额定电压是指主触点的额定电压,交流有220、380、660V;直流有110、220、440V。

(2) 额定电流。接触器的额定电流是指主触点的额定工作电流,目前常用电流等级为10~1000A。

(3) 吸引线圈的额定电压。吸引线圈额定电压交流有36、127、220V和380V;直流有24、48、220V和440V。

(4) 额定操作频率。接触器的额定操作频率是指每小时允许的操作次数,一般为300次/h和1200次/h。

1.1.6 继电器

继电器是一种根据特定形式的输入信号而动作的自动控制电器。其输入量可以是电流、电压等电量,也可以是温度、时间、速度、压力等非电量,而输出则是触点的动作或者是电路参数的变化。

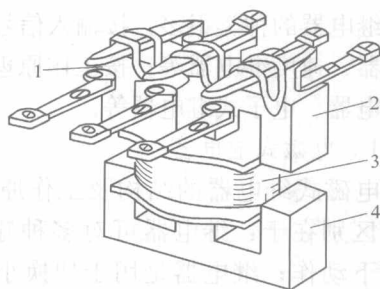


图 1-17 接触器电磁机构与原理示意图

1—主触点; 2—衔铁; 3—电磁线圈; 4—铁心

继电器的种类很多,按输入信号的性质分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、热继电器、速度继电器等;按工作原理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、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,也是由电磁机构和触点系统组成。主要区别在于:继电器可对多种输入量的变化作出反应,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。

电磁式继电器有直流和交流两类。

(1) 电流继电器。电流继电器的线圈与被测量电路串联,以反映电路电流的变化,其线圈匝数少、导线粗、线圈阻抗小。

(2) 电压继电器。电压继电器的线圈与被测量电路并联,以反映电路电压的变化,其线圈匝数多、导线细、线圈阻抗大。

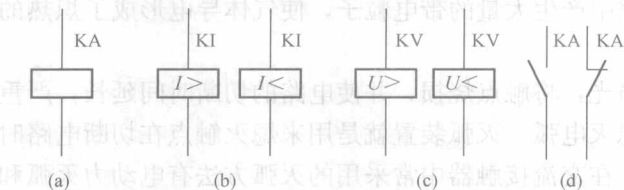


图 1-18 电磁式继电器的符号

(a) 线圈的一般符号; (b) 电流继电器线圈;

(c) 电压继电器线圈; (d) 触点

(3) 中间继电器。中间继电器实质上是一种电压继电器,触点对数多、触点容量较大(额定电流 5~10A),动作灵敏度高。中间继电器主要起信号中继作用。

电磁式继电器的图形符号如图 1-18 所示。

2. 时间继电器

时间继电器是一种利用电磁原理或机械动作原理实现触点延时接通和断开的自动控制电器。按动作原理可分为直流电磁式、空气阻尼式、电动式和电子式等。

(1) 直流电磁式时间继电器。在直流电磁式电压继电器的铁心上增加一个阻尼铜套,即可构成时间继电器。当线圈通电时,由于衔铁处于释放位置,气隙大、磁阻大、磁通小、铜套阻尼作用相对也小,因此衔铁吸合时延时不显著。而当线圈断电时,磁通变化量大、铜套阻尼作用也大,使衔铁延时释放而起到延时作用,这种继电器仅能作断电延时,且延时一般不超过 5s。

(2) 空气阻尼式时间继电器。空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼原理获得延时。它由电磁机构、延时机构和触点机构三部分组成,电磁机构为直动式双 E 形铁心,延时机构采用气囊式阻尼机构,触点系统是微动开关。

空气阻尼式时间继电器结构简单、延时范围大、寿命长、价格低,但这种阻尼式时间继电器的延时误差大,无调节刻度指示,一般适用于延时精度要求不高的场合。

(3) 电动式时间继电器。电动式时间继电器是由微型同步电动机拖动,有通电延时和断电延时两种类型。电动式时间继电器的优点是延时时间宽(0~72h),缺点是机械结构复杂、价格贵。

(4) 电子式时间继电器。电子式时间继电器具有体积小、延时范围宽、使用寿命更长的优点。就延时原理而论有阻容充电延时型和数字电路型。

时间继电器在选择时应根据控制要求选择其延时方式,根据延时范围和精度选择继电器

的类型。时间继电器的符号如图 1-19 所示。

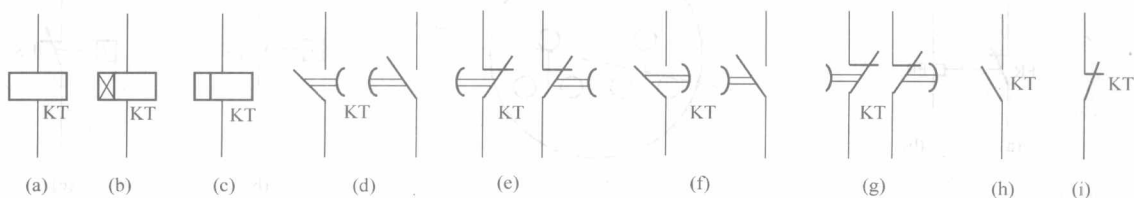


图 1-19 时间继电器的符号

- (a) 线圈一般符号；(b) 通电延时线圈；(c) 断电延时线圈；(d) 延时闭合动合触点；(e) 延时断开动断触点；(f) 延时断开动合触点；(g) 延时闭合动断触点；(h) 瞬时动合触点；(i) 瞬时动断触点

3. 热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理实现电动机过载保护的自动控制电器。热继电器主要由热元件、双金属片、触点系统等组成，双金属片是热继电器的感温元件，它由两种不同热膨胀系数的金属碾压而成。图 1-20 为热继电器结构原理图。

热继电器的热元件串在电动机定子回路中，电动机正常工作时，热元件产生的热量虽然能使双金属片弯曲，但不能使热继电器动作。当电动机过载时，流过热元件的电流增大，经过一段时间后，双金属片推动导板使热继电器触点动作，切断电动机的控制线路。

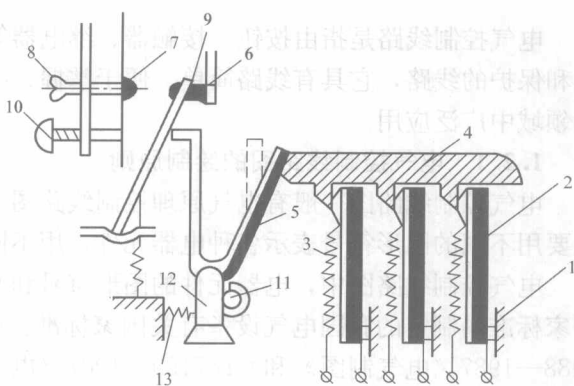


图 1-20 热继电器结构原理图

- 1—推杆；2—双金属片；3—热元件；4—导板；5—补偿双金属片；6—动断触点；7—动合触点；8—复位调节螺钉；9—动触点；10—复位按钮；11—调节旋钮；12—支撑件；13—弹簧

电动机的断相运行是电动机烧毁的重要原因之一，因此，要求热继电器还应具备断相保护功能。热继电器的导板采用差动机构，在断相工作时，其中两相电流增大，一相逐渐冷却，这样可使热继电器的动作时间缩短，以便更有效保护电动机。

热继电器的图形符号及文字符号如图 1-21 所示。

4. 速度继电器

速度继电器又称为反接制动继电器，主要用作笼型异步电动机的反接制动控制。速度继电器主要由转子、定子和触点三部分组成。

速度继电器转子的轴与被控电动机的轴相连接，当电动机转动时，速度继电器的转子随之转动。当达到一定转速，定子感应电流和力矩作用下跟随转动，到一定角度时，装在定子轴上的摆锤推动簧片（动触片）动作，使动断触点断开，动合触点闭合。当电动机转速低于某一数值时，定子产生的转矩减少，触点在簧片作用下复位。

速度继电器的图形符号及文字符号如图 1-22 所示。

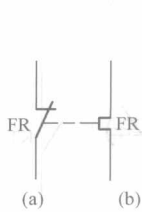


图 1-21 热继电器的符号

(a) 动断触点；(b) 热元件

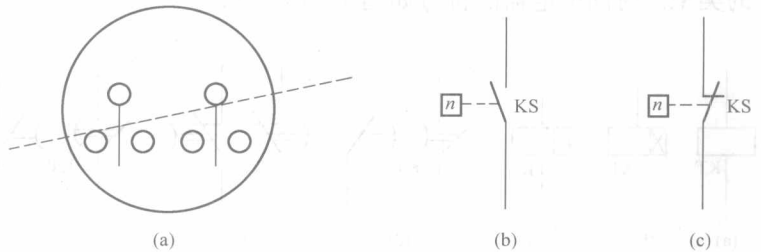


图 1-22 速度继电器的符号

(a) 转子；(b) 动合触点；(c) 动断触点

1.2 基本电气控制线路

电气控制线路是指由按钮、接触器、继电器等低压电器组成的、用于实现对被控对象控制和保护的线路，它具有线路简单、便于掌握、维修方便等许多优点，在生产机械的电气控制领域中广泛应用。

1.2.1 电气控制线路图的绘制原则

电气控制线路图一般有电气原理控制线路图、电器布置图、电器安装接线图三种。在图上要用不同的图形符号表示各种电器元件，用不同的文字符号表示电器元件的名称。

电气控制线路图中，电器元件的图形符号和文字符号都有国家标准，这些标准主要包括国家标准局制定的我国电气设备有关国家标准：GB 4728—1984《电气图用图形符号》、GB 6988—1987《电气制图》和 GB 7159—1987《电气技术中的文字符号制定通则》。绘图时应遵循简明易懂的原则，用规定的方法和符号绘制。另外还要遵循以下几点：

(1) 控制线路图中，一般分主电路和控制电路两部分。主电路是从电源到电动机大电流通过的电路。控制电路中流过较小电流，包括控制回路、照明电路、信号电路及保护电路等，由继电器的线圈、接触器的线圈、继电器的触点、接触器的辅助触点、按钮、照明灯等电器元件组成。

(2) 控制线路图中，各电器元件不画实际的外形图，而采用国家规定的统一标准，文字符号也要符合国家标准规定。

(3) 控制线路图中，同一电器元件的各部件根据需要可以不画在一起，但文字符号要相同。

(4) 控制线路图中，所有电器的触点，都应按没有通电和没有外力作用时的初始开闭状态画出。例如继电器、接触器的触点按吸引线圈不通电时的状态画，按钮、行程开关触点按不受外力作用时的状态画等。

(5) 控制线路图中，无论是主电路还是控制电路，各电器元件一般按动作顺序从上到下、从左到右依次排列，可水平布置也可垂直布置。

三相笼型异步电动机具有结构简单、价格便宜、维修方便、坚固耐用等优点，在工农业生产中得到广泛应用，其控制线路大都由继电器、接触器、按钮等低压电器组成。本节主要介绍应用广泛的三相异步电动机的启动、运行、调速和制动的基本控制线路。三相笼型异步电动机启动控制分为直接启动和降压启动两种方式。

1.2.2 三相笼型异步电动机直接启动控制线路

1. 单向直接启动控制线路

常用的三相笼型异步电动机的直接启动控制线路如图 1-23 所示。它由刀开关 QK、熔断器 FU1、接触器 KM 的主触点、热继电器 FR 的热元件与电动机 M 组成主电路。由启动按钮 SB2、停止按钮 SB1、接触器 KM 的线圈及其动合辅助触点、热继电器 FR 的动断触点和熔断器 FU2 构成控制电路。

(1) 线路的工作原理。启动开始时，合上 QK，接入三相电源。按下 SB2，交流接触器 KM 的吸引线圈通电，接触器主触点闭合，电动机接通电源直接启动运转；同时与 SB2 并联的动合辅助触点 KM 闭合，使接触器吸引线圈经两条路通电。这样，当 SB2 复位时，接触器 KM 的线圈仍可通过 KM 触点继续通电，从而保持电动机的连续运行。这种依靠接触器自身辅助触点而使其线圈保持通电的方法称为自锁，起自锁作用的辅助触点称为自锁触点。

需要使电动机停止运转时，按停止按钮 SB1，接触器 KM 的吸引线圈失电，KM 已经闭合的动合主触点断开，将三相电源切断，电动机 M 停止旋转。同时 KM 的动合辅助触点断开，解除自锁。当手松开按钮后，SB1 的动断触点在复位弹簧的作用下，随即恢复到原来的动断状态，为下次启动做好了准备。

(2) 控制线路保护环节。该控制线路不仅具有控制启停的功能，还具有一些重要的保护环节：

1) 短路保护。熔断器 FU1 作为主电路的短路保护，FU2 作为控制电路的短路保护。

2) 过载保护。当电动机长时间过载时，热继电器 FR 动作，断开控制电路，使接触器线圈断电释放，电动机停止旋转，实现电动机过载保护。

3) 零电压保护。这种保护是依靠接触器本身的电磁结构来实现的。当电源电压由于某种原因而失电压（或严重欠电压）时，接触器的衔铁自行释放，电动机停止旋转。而当电源电压恢复正常时，接触器线圈也不能自动通电，只有在操作人员再次按下启动按钮 SB2 后，电动机才会启动，这就是零电压保护。有了零电压保护，可以防止电动机低电压运行，避免因发热而损坏电动机，更重要的是防止电源电压恢复时电动机突然启动运转，造成设备和人身事故。

通过上述分析可以看出，电器控制的基本方法是通过按钮发布命令信号，由接触器实现对主电路的各种必要控制。

2. 点动控制环节

某些生产机械常常要求既能够正常启动，又能够在进行调试工作时进行点动控制。常见的四种点动控制线路如图 1-24 所示。

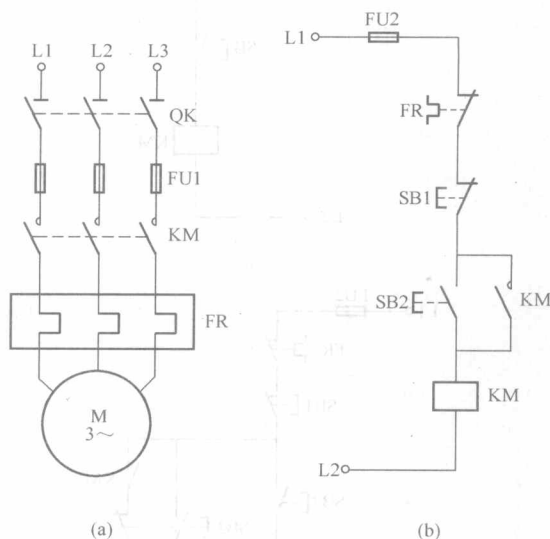


图 1-23 直接启动控制线路

(a) 主回路；(b) 控制回路