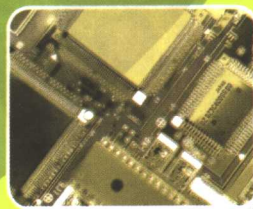
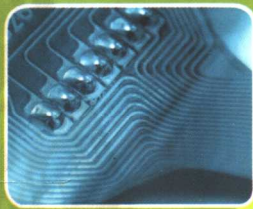
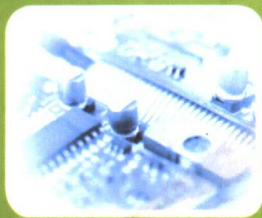




21世纪普通高等教育规划教材



PLC

电气控制技术

漆汉宏 主编

本书从电气控制常用低压电器的工作原理和应用方法入手,介绍了有关电气图的基本知识,系统地介绍了常规电气控制电路的基本控制原则和基本控制环节,详细地分析了几种典型生产机械的电气控制电路,结合实例介绍了电气控制电路的设计方法,并简要介绍了有关电气设计和 CAD 的有关知识。在介绍可编程控制器(PLC)工作原理的基础上,详细叙述了日本三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 的硬件结构、工作原理、指令系统及其应用,简要介绍了德国西门子公司 S7-200 系列 PLC 的硬件配置、编程及组态。在介绍 PLC 电气控制系统的设计原则与内容的基础上,结合工程应用,介绍了几个 PLC 电气控制技术应用实例。另外,为突出本门课程的实践性教学环节,结合实例详细介绍了 PLC 电气控制技术课程设计的方法和内容,给出了几个课程设计选题。同时,本书还介绍了本门课程相关综合实验的内容,并提出了进行 PLC 电气控制设计性综合实验的建议。

本书的特点是:把握专业技术课程密切结合工程应用的教学原则,层次清晰地构建了电气控制技术从常规继电器—接触器控制到微机化 PLC 控制的完整体系。内容上注重精选、循序渐进、由浅入深、结合实际、突出应用。阐述上简明扼要、图文并茂、通俗易懂,便于教学和自学。

本书配有电子教案,欢迎选用本书作教材的老师索取,索取邮箱:

E-mail: edmond.yan.beijing@gmail.com

本书可作为高等工科院校电类、机电类本、专科专业电气控制与可编程程序控制器等相关课程的教材,也可供机电行业相关工程技术人员作为参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 电气控制技术/漆汉宏主编. —北京:机械工业出版社,2006.12

21 世纪普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-20354-2

I. P... II. 漆... 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. TM921.5; TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 136035 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

保定市中国美凯印刷有限公司印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.5 印张 · 502 千字

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

可编程序控制器 (PLC) 是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一门新兴技术, 是实现工业生产、科学研究以及其他各个领域自动化的重要手段之一, 应用十分广泛, 是现代工业控制的三大支柱之一。

可编程序控制器源于电气控制, 是电气控制技术的最新发展阶段, 它们在理论和应用上是一脉相承的, 因此本书将电气控制技术和可编程序控制器应用技术等内容编写在一起, 更好地体现出它们之间的内在联系, 使本书的结构和理论基础更加系统。本书在内容上注重精选、结合实际、突出应用, 在编排上循序渐进、由浅入深, 在阐述上力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂, 便于教学和自学。另外, 由于本课程的实践性强, 本书在编写上还安排了电气控制与可编程序控制器应用课程设计和综合实验的相关内容。

本书由三部分组成: 第一篇电气控制, 介绍电气控制中常用的低压电器、电气控制基本控制电路以及典型电气控制系统的分析和设计, 同时简要介绍了电气设计与 CAD 的相关基本知识。第二篇可编程序控制器, 介绍了可编程序控制器的基本工作原理, 详细介绍了日本三菱公司 FX_{2N} 系列 PLC 的结构、原理、指令系统及其应用, 简要介绍了德国西门子子公司 S7-200 系列 PLC 的硬件配置、编程及组态。第三篇应用与实践, 结合工程实际, 介绍了 PLC 电气控制系统的设计原则和方法、PLC 电气控制技术课程设计与综合实验的相关内容, 以加强工程实践应用能力的培养。本书在使用过程中, 可根据专业、学时进行选择讲解, 有些内容可以在学生课程设计、综合实验和毕业设计时作为参考。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、机械制造及其自动化等相关专业的本、专科教材, 也可供相关工程技术人员参考。

本书由燕山大学电气工程学院漆汉宏主编, 魏艳君、王振臣为副主编, 李仕华、杨秋霞等教师参加了编写工作, 其中漆汉宏编写了前言、第四、五、九、十二章, 魏艳君编写了第十、十一章, 王振臣和李仕华编写了第一、二、三章, 杨秋霞编写了第六、七、八章。全书由漆汉宏组织、统稿。

本书由天津大学万健如教授主审, 燕山大学刘彦民教授、东北大学张金泉教授参加了审稿工作, 提出了有益的意见和建议。在本书的编写过程中, 研究生张金龙、梁宏、张婷婷、杨静芳、李惠娟参加了插图绘制及编写课件的工作。此外, 本书的出版得到了学校和学院的大力支持。在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限, 书中不足之处在所难免, 敬请读者予以批评指正。

漆汉宏

目 录

前 言

第一篇 电气控制

第一章 常用低压电器	3
第一节 概 述	3
第二节 接触器	4
第三节 继电器	5
第四节 熔断器	8
第五节 低压隔离器	9
第六节 低压断路器	10
第七节 主令电器	10
第二章 电气图及电气控制基本 控制电路	15
第一节 电气图的基本知识	15
第二节 电气图纸规范	18
第三节 三相异步电动机 基本控制电路	21
第四节 双速电动机高低 速控制电路	30
第五节 液压系统的电气控制	31
第六节 控制电路的其他基本环节	34
第三章 电气控制电路实例分析	39
第一节 卧式车床的电气控制电路	39
第二节 Z3040 型摇臂钻床的 电气控制电路	46
第三节 组合机床电气控制电路	49
第四章 电气设计与 CAD	54
第一节 电气控制电路设计基础	54
第二节 机床电气控制电路 设计举例	65

第三节 电气设计的内容	69
第四节 电气设计 CAD	77
第五节 计算机辅助设计通用 CAD 绘图	82
第六节 电气专业设计 CAD 软件	88

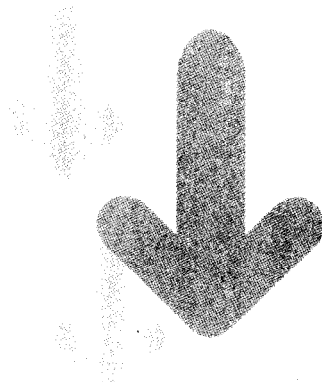
第二篇 可编程序控制器

第五章 可编程序控制器概论	93
第一节 可编程序控制器的 产生及发展	93
第二节 可编程序控制器的 定义及特点	94
第三节 可编程序控制器工作原理	96
第四节 可编程序控制器的 硬件及其分类	101
第五节 可编程序控制器的软件及其 工作原理	106
第六章 三菱 FX _{2N} 系列可编程序控制 器及其基本指令	110
第一节 三菱 FX _{2N} 系列可编 程序控制器	110
第二节 FX _{2N} 系列可编程序控制器 主要编程元件	116
第三节 FX _{2N} 系列可编程序控制器的 基本指令	126
第四节 编程注意事项	137
第五节 基本指令编程举例	139
第七章 三菱 FX _{2N} 系列可编程序控制器 步进梯形指令	144
第一节 状态编程思想及步进	

梯形指令·····	144	可编程序控制器简介·····	215
第二节 状态转移图的类型及步进 梯形图应用示例·····	148	第一节 S7-200 CN 系列 PLC 硬件·····	216
第八章 三菱 FX_{2N} 系列可编程序控制器		第二节 S7-200 CN 系列 PLC 数据 类型及存储器范围·····	242
应用指令 ·····	158	第三节 S7-200 CN 系列 PLC 的编程 语言及程序结构·····	246
第一节 应用指令的基本规则·····	158	第四节 S7 系列 PLC 的编程及组态 软件简介·····	250
第二节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 程序流程 控制应用指令·····	161		
第三节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 传送与 比较应用指令·····	166		
第四节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 算术及 逻辑运算应用指令·····	170		
第五节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 循环与 移位应用指令·····	173		
第六节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 数据 处理应用指令·····	177		
第七节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 高速 处理应用指令·····	182		
第八节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 方便指令·····	186		
第九节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 外围 设备 I/O 应用指令·····	191		
第十节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 外围 设备 SER 应用指令·····	199		
第十一节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 浮点 运算应用指令·····	208		
第十二节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 时钟 运算应用指令·····	211		
第十三节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 格雷 码变换应用指令·····	213		
第十四节 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 触点 比较应用指令·····	213		
第九章 西门子 S7-200			
		第三篇 应用与实践	
		第十章 PLC 电气控制系统设计 ·····	257
		第一节 PLC 电气控制系统的设计 原则与内容·····	257
		第二节 PLC 在多功能屋面 SP 板 切割机上的应用·····	259
		第三节 PLC 与变频器结合在钢筋 调直机上的应用·····	274
		第十一章 电气控制与 PLC 课程设计 ·····	286
		第一节 课程设计的目的、要求、 任务及方法·····	286
		第二节 小型 SBR 废水处理 PLC 电气控制系统课程设计·····	288
		第三节 电气控制与 PLC 课程设计 参考选题·····	302
		第十二章 电气控制与 PLC 课程实验 ·····	312
		第一节 概述·····	312
		第二节 电气控制实验·····	314
		第三节 PLC 控制实验·····	318
		参考文献 ·····	322

第一篇

电气控制



第一章 常用低压电器

第二章 电气图及电气控制基本控制电路

第三章 电气控制电路实例分析

第四章 电气设计与CAD

Spring 1964
1964
1964

第一章 常用低压电器

第一节 概 述

电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作用，在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。随着电子技术、自动控制技术和计算机应用技术的迅猛发展，一些电器元件可能被电子电路所取代。但是由于电器元件本身也朝着新的领域扩展，例如：电器元件性能的提高；新型电器元件的产生；机、电、仪一体化电器元件的实现；电器元件应用范围的扩展等，而且有些电器元件有其特殊性，因此电器元件是不可能完全被取代的，以继电器、接触器等工业电器为基础的电气控制技术仍具有相当重要的地位。另一方面，可编程序控制器（PLC）是计算机技术与继电器接触器控制技术相结合的产物，PLC 的输入、输出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。

电器元件的品种规格繁多，功能及用途也很广泛，为了系统地掌握，必须加以分类。

1. 按工作电压等级分类

(1) 高压电器 用于交流电压 1200V、直流电压 1500V 及以上电路中的电器，例如高压断路器、高压隔离开关、高压熔断器等。

(2) 低压电器 用于交流 50Hz（或 60Hz）、额定电压 1200V 以下或直流额定电压 1500V 以下的电路内起通断、保护、控制或调节作用的电器，例如接触器、继电器等。

2. 按动作原理分类

(1) 手动电器 通过人的操作发出动作指令的电器，例如刀开关、按钮等。

(2) 自动电器 产生电磁吸力而自动完成动作指令的电器，例如接触器、继电器、电磁阀等。

3. 按用途分类

(1) 控制电器 用于各种控制电路和控制系统的电器，例如接触器、继电器、电动机起动器等。

(2) 配电电器 用于电能的输送和分配的电器，例如高压断路器、低压断路器等。

(3) 主令电器 用于自动控制系统中发送动作指令的电器，例如按钮、转换开关等。

(4) 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器，例如熔断器、热继电器等。

(5) 执行电器 用于完成某种动作或传送功能的电器，例如电磁铁、电磁离合器等。

本章主要介绍电气控制系统中常用的各种低压电器元件的结构、工作原理和技术规格，不涉及元器件的设计，而着重于元件的应用。

第二节 接 触 器

接触器是电力拖动和自动控制系统中使用量大，涉及面广的一种低压控制电器，用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路。

一、结构和工作原理

最常用的接触器是电磁接触器，一般由电磁机构、触点、灭弧装置、释放弹簧机构、支架与底座等几部分组成，其结构示意图如图 1-1 所示。

1. 电磁机构

电磁机构包括动铁心（衔铁）、静铁心和电磁线圈三部分，其作用是将电磁能转换成机械能，产生电磁吸力带动触点动作。

2. 触点

触点是接触器的执行元件，用来接通或断开被控制电路。触点的结构形式很多，按其所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流；辅助触点用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。触点按其原始状态可分为常开触点（动合触点）和常闭触点（动断触点）。原始状态时（即线圈未通电）断开，线圈通电后闭合的触点叫常开触点；原始状态时闭合，线圈通电后断开的触点叫常闭触点。线圈断电后所有触点复位，即回复到原始状态。

3. 灭弧装置

触点在分断电流瞬间，在触点间的气隙中会产生电弧，电弧的高温能将触点烧损，并可能造成其他事故，因此，应采用适当措施迅速熄灭电弧。常采用灭弧罩、灭弧栅和磁吹灭弧装置。

接触器根据电磁原理工作：当电磁线圈通电后，线圈电流产生磁场，使静铁心产生电磁吸力吸引衔铁，并带动触点动作，使常闭触点断开，常开触点闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触点复原，即常开触点断开，常闭触点闭合。

二、接触器的分类及特点

接触器按其线圈的电源类型以及主触点所控制主电路电流的种类，可分为交流接触器和

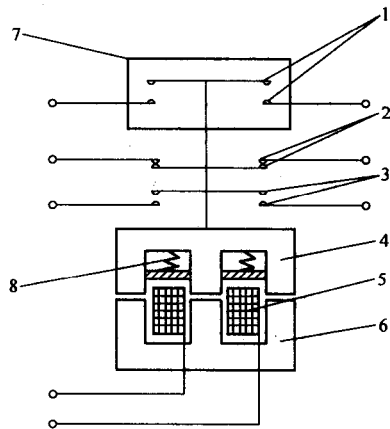


图 1-1 接触器结构示意图

1—主触点 2—常闭辅助触点

3—常开辅助触点 4—衔铁

5—线圈 6—静铁心

7—灭弧罩 8—弹簧

直流接触器。

(1) 交流接触器 交流接触器线圈通以交流电，主触点接通、切断交流主电路。

当交变磁通穿过铁心时，将产生涡流和磁滞损耗，使铁心发热。为减少铁损，铁心用硅钢片冲压而成。为便于散热，线圈做成短而粗的圆筒状绕在骨架上。为防止交变磁通使衔铁产生强烈振动和噪声，交流接触器铁心端面上都安装一个铜制的短路环。交流接触器的灭弧装置通常采用灭弧罩和灭弧栅。

(2) 直流接触器 直流接触器线圈通以直流电流，主触点接通、切断直流主电路。

直流接触器铁心中不产生涡流和磁滞损耗，所以不发热。铁心可用整块钢制成，为便于散热，通常将线圈制成长而薄的圆筒状。250A 以上的直流接触器采用串联双绕组线圈。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。

三、接触器的主要技术参数

接触器的主要技术参数包括：线圈电压、主触点额定电流、主触点额定电压、辅助触点额定电流、辅助触点对数、主触点极数以及接触器的机械寿命和电寿命等。不同接触器的种类及其相应的技术参数可以查阅相关电气设备手册。

选择接触器时应从其工作条件出发，主要考虑下列因素：

- 1) 接触器的使用类别应与负载性质相一致，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) 主触点的额定工作电压应大于或等于负载电路的电压。
- 3) 主触点的额定工作电流应大于或等于负载电路的电流。
- 4) 接触器主触点的额定工作电流是在规定条件下（额定工作电压、使用类别、操作频率等）能够正常工作的电流值，当实际使用条件不同时，这个电流值也将随之改变。
- 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。
- 6) 主触点和辅助触点的数量应能满足控制系统的需要。

第三节 继电器

继电器主要用于控制与保护电路中作信号转换用。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，执行元件便接通和断开控制回路。

控制继电器种类繁多，常用的有电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、热继电器以及温度、压力、计数、频率继电器等等。

电压、电流继电器和中间继电器属于电磁式继电器，其结构、工作原理与接触器相似，

由电磁机构、触点和释放弹簧等组成。由于继电器用于控制电路，流过触点的电流小，故不需要灭弧装置。

电磁式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 1-2 所示。继电器输入量 x 由零增至 x_2 以前，输出量 y 为零。当输入量增加到 x_2 时，继电器吸合，输出量为 y_1 ；若 x 再增大， y_1 值保持不变。当 x 减小到 x_1 时，继电器释放，输出量 y 降到零； x 再减小， y 值均为零。

图中， 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 。 $k = x_1/x_2$ 称为继电器的返

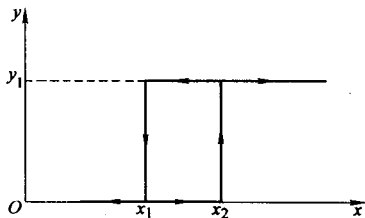


图 1-2 继电特性曲线

回系数，它是继电器重要参数之一。 k 值是可以调节的，可通过调节释放弹簧的松紧程度（拧紧时， x_1 与 x_2 同时增大， k 也随之增大；放松时， k 减小）或调整铁心与衔铁间非磁性垫片的厚薄（增厚时 x_1 增大， k 增大）来达到。不同场合要求不同的 k 值，例如一般继电器要求低的返回系数， k 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 值应在 0.6 以上，如某继电器 $k = 0.66$ ，吸合电压为额定电压的 90%，则电压低于额定电压的 60% 时，继电器释放，起到欠电压保护作用。

继电器的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。

一、电压、电流继电器

根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器称为电流继电器。按用途还可分为过电流继电器和欠电流继电器。过电流继电器的任务是当电路发生短路及过电流时立即将电路切断，因此过电流继电器线圈通过的电流小于整定电流时继电器不动作，只有超过整定电流时，继电器才动作。过电流继电器的动作电流整定范围，交流为 $(110\% \sim 350\%) I_N$ ，直流为 $(70\% \sim 300\%) I_N$ 。欠电流继电器的任务是当电路电流过小时立即将电路切断，因此欠电流继电器线圈通过的电流大于或等于吸合整定电流时，继电器吸合，只有电流低于释放整定电流时，继电器才释放。欠电流继电器动作电流整定范围，吸合电流为 $(30\% \sim 50\%) I_N$ ，释放电流为 $(10\% \sim 20\%) I_N$ ，欠电流继电器一般是自动复位的。

电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器，过电压继电器动作电压整定范围为 $(105\% \sim 120\%) U_N$ ，欠电压继电器吸合电压调整范围为 $(30\% \sim 50\%) U_N$ ，释放电压调整范围为 $(7\% \sim 20\%) U_N$ 。

二、中间继电器及固态继电器

中间继电器在本质上是一种电压继电器，工作原理与接触器相同，只是其触点系统中没有主、辅触点之分，触点容量相同。中间继电器的触点容量较小，对于电动机额定电流不超

过5A的电气控制系统,也可代替接触器来控制,所以,中间继电器也是小容量的接触器。另一方面,中间继电器的触点数量较多,能够将一个输入信号变成多个输出信号。因此,中间继电器的作用主要有以下两方面:

(1) 当电压或电流继电器触点容量不够时,可借助中间继电器来控制,用中间继电器作为执行元件,这时中间继电器被当作一级放大器用。

(2) 当其他继电器或接触器触点数量不够时,可利用中间继电器来切换多条控制电路。

固态继电器是由固体半导体元器件组成的无触点开关器件,它较之电磁继电器具有工作可靠、寿命长、对外界干扰小、能与逻辑电路兼容、抗干扰能力强、开关速度快、无火花、无动作噪声和使用方便等一系列优点,因而具有很宽的应用领域。有逐步取代传统电磁继电器的趋势,并进一步扩展到许多传统电磁继电器无法应用的领域,如计算机的输入输出接口、外围和终端设备等。在一些要求耐振、耐潮、耐腐蚀、防爆等特殊工作环境中以及要求高可靠性的工作场合,都较之传统的电磁继电器有无可比拟的优越性。固态继电器的缺点是过载能力低,易受温度和辐射影响,通断阻抗比小。

固态继电器为4端有源器件,其中两个端子为输入控制端,另外两端为输出受控端。为实现输入和输出之间的电气隔离,器件中采用了耐高压的光耦合器。在施加输入信号后,其输出呈导通状态,无信号时呈阻断状态。

固态继电器分为直流固态继电器和交流固态继电器,前者的输出采用晶体管,后者的输出采用晶闸管。固态继电器的主要参数有输入电压、输入电流、输出电压、输出电流、输出漏电流等。

三、时间继电器

当继电器感应元件接受外界信号后,经过设定的延时时间才使执行部分动作的继电器称为时间继电器。时间继电器按延时的方式可分为通电延时型、断电延时型和带瞬动触点的通电(或断电)延时型继电器等,相应的时间继电器触点分为常开延时闭合触点、常闭延时断开触点、常开延时断开触点和常闭延时闭合触点4类。

时间继电器按工作原理可分为空气阻尼式、电动式和电子式等。

1. 空气阻尼式时间继电器

它由电磁机构、工作触点及气室三部分组成,它的延时是靠空气的阻尼作用来实现的。空气阻尼式时间继电器延时时间有0.4~180s和0.4~60s两种规格,具有延时范围较宽、结构简单、工作可靠、价格低廉、寿命长等优点,是机床交流控制电路中常用的时间继电器。

2. 电动式时间继电器

它由同步电动机、减速齿轮机构、电磁离合系统及执行机构构成。电动式时间继电器延时时间长,可达数十小时,延时精度高,但结构复杂,体积较大。

3. 电子式时间继电器

早期产品多是阻容式,近期开发的产品多为数字式,又称计数式,其结构是由脉冲发生器、计数器、数字显示器、放大器及执行机构组成,具有延时时间长、调节方便、精度高的优点,有的还带有数字显示,应用很广,可取代阻容式、空气阻尼式、电动式等时间继电器。

四、热继电器

热继电器是专门用来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。它主要由双金属片、加热元件、动作机构、触点系统、整定调整装置及手动复位装置等组成。双金属片作为温度检测元件，由两种膨胀系数不同的金属片压焊而成，它被加热元件加热后，因两层金属片伸长率不同而弯曲。加热元件串接在电动机定子绕组中，在电动机正常运行时，热元件产生的热量不会使触点系统动作；当电动机过载，流过热元件的电流加大，经过一定的时间，热元件产生的热量使双金属片的弯曲程度超过一定值，通过导板推动热继电器的触点动作（常开触点闭合，常闭触点断开）。通常用其串接在接触器线圈电路的常闭触点来切断线圈电流，使电动机主电路失电。故障排除后，按手动复位按钮，热继电器触点复位可以重新接通控制电路。

热继电器主要参数有：热继电器额定电流、相数、热元件额定电流、整定电流及调节范围等。热继电器的额定电流是指热继电器中可以安装的热元件的最大整定电流值。热元件的额定电流是指热元件的最大整定电流值。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最大电流值。通常热继电器的整定电流是按电动机的额定电流整定的。对于某一热元件的热继电器、可手动调节整定电流旋钮，通过偏心轮机构，调整双金属片与导板的距离，能在一定范围内调节其电流的整定值，使热继电器更好地保护电动机。

五、速度继电器

速度继电器用于转速的检测，常用在三相交流异步电动机反接制动转速接近零时，自动切除反相序电源。速度继电器主要由转子、圆环（笼型空心绕组）和触点三部分组成。转子由一块永久磁铁制成，与电动机同轴相连，用以接受转动信号。当转子（磁铁）旋转时，笼型绕组切割转子磁场产生感应电动势，形成环内电流，此电流与磁铁磁场相作用，产生电磁转矩，圆环在此转矩的作用下带动摆杆，克服弹簧力而顺转子转动的方向摆动，并拨动触点改变其通断状态（在摆杆左右各设一组切换触点，分别在速度继电器正转和反转时发生作用）。当调节弹簧弹力时，可使速度继电器在不同转速时切换触点改变通断状态。速度继电器的动作转速一般不低于 $120\text{r}/\text{min}$ ，复位转速约在 $100\text{r}/\text{min}$ 以下，工作时，允许的转速高达 $1000\sim 3600\text{r}/\text{min}$ 。由速度继电器的正转和反转切换触点的动作，来反映电动机转向和速度的变化。

第四节 熔断器

熔断器是一种结构简单、使用方便、价格低廉的保护电器，广泛用于供电电路和电气设备的短路保护。熔断器由熔体和安装熔体的外壳两部分组成。熔体是熔断器的核心，通常用

低熔点的铅锡合金、锌、铜、银的丝状或片状材料制成，新型的熔体通常设计成灭弧栅状和具有变截面片状结构。当通过熔断器的电流超过一定数值并经过一定的时间后，电流在熔体上产生的热量使熔体某处熔化而切断电路，从而保护了电路和设备。

使熔断器熔体熔断的电流值与熔断时间的关系称为熔断器的保护特性曲线，也称为熔断器的安-秒特性，如图 1-3 所示。由特性曲线可以看出，流过熔体的电流越大，熔断所需的时间越短。熔体的额定电流 I_N 是熔体长期工作而不致熔断的电流。

熔断器按其结构型式分为插入式、螺旋式、有填料密封管式、无填料密封管式等，品种规格很多。在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它有明显的分断指示和不用任何工具就可取下或更换熔体等优点。

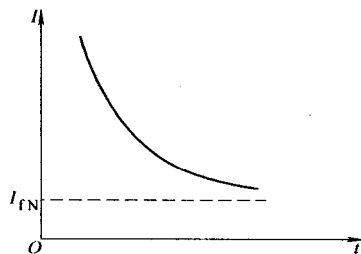


图 1-3 熔断器的保护特性曲线

熔断器的选择主要是选择熔断器的种类、额定电压、熔断器额定电流和熔体额定电流等。熔断器的类型主要由电控系统整体设计确定，熔断器的额定电压应大于或等于实际电路的工作电压。确定熔体电流是选择熔断器的主要任务，具体来说有下列几条原则：

1) 电路上、下两级都装设熔断器时，为使两级保护相互配合良好，两级熔体额定电流的比值不小于 1.6:1。

2) 对于照明电路或电阻炉等没有冲击性电流的负载，熔体的额定电流应大于或等于电路的工作电流，即 $I_N \geq I_1$ ，式中 I_N 为熔体的额定电流， I_1 为电路的工作电流。

3) 保护一台异步电动机时，考虑电动机冲击电流的影响，熔体的额定电流 $I_N \geq (1.5 \sim 2.5) \times I_N$ ，式中的 I_N 为电动机额定电流。

4) 保护多台异步电动机时，若各台电动机不同时起动的，则 $I_N \geq (1.5 \sim 2.5) I_{N_{\max}} + \sum I_N$ ，式中的 $I_{N_{\max}}$ 为容量最大的一台电动机的额定电流， $\sum I_N$ 为其余电动机额定电流的总和。

第五节 低压隔离器

低压隔离器的主要作用是在电源切除后，将电路与电源明显地隔开，以保障检修人员的安全，是低压电器中结构比较简单、应用十分广泛的一类手动操作电器，品种主要有低压刀开关、熔断器式刀开关和组合开关三种。

低压刀开关由操纵手柄、触刀、触刀插座和绝缘底板等组成。刀开关的主要类型有：带灭弧装置的大容量刀开关、带熔断器的开启式负荷开关（胶盖开关）、带灭弧装置和熔断器的封闭式负荷开关（铁壳开关）等。

刀开关的主要技术参数有长期工作所承受的最大电压——额定电压，长期通过的最大允许电流——额定电流，以及分断能力等。选用刀开关时，刀的极数要与电源进线相数相等；刀开关的额定电压应大于所控制的电路额定电压；刀开关的额定电流应大于负载的额定电流。

熔断器式刀开关由刀开关和熔断器组合而成，故兼有两者的功能，即电源隔离和电路保护功能，可分断一定的负载电流。

组合开关也是一种刀开关，不过它的刀片是转动式的，操作比较轻巧，它的动触点（刀片）和静触点装在封闭的绝缘件内，采用叠装式结构，其层数由动触点数量决定，动触点装在操作手柄的转轴上，随转轴旋转而改变各对触点的通断状态。由于采用了扭簧储能，可使开关快速接通及分断电路而与手柄旋转速度无关，因此它不仅可用做不频繁地接通、分断及转换交、直流电阻性负载电路，而且降低容量使用时可直接起动和分断运转中的小型异步电动机。

第六节 低压断路器

低压断路器俗称为自动开关，可用来分配电能，不频繁地起动异步电动机，对电源电路及电动机等实行保护。当它们发生严重的过载或短路及欠电压等故障时能自动切断电路，其功能相当于熔断器式断路器与过电流、欠电压、热继电器等的组合，而且在分断故障电流后一般不需要更换零部件，因而获得了广泛的应用。

断路器的结构有框架式（又称万能式）和塑料外壳式（又称装置式）两大类。框架式断路器为敞开式结构，适用于大容量配电装置；塑料外壳式断路器的特点是外壳用绝缘材料制作，具有良好的安全性，广泛用于电气控制设备及建筑物内作电源电路保护，及对电动机进行过载和短路保护。

低压断路器主要由触点和灭弧装置、各种可供选择的脱扣器与操作机构、自由脱扣机构三部分组成。各种脱扣器包括过电流、欠电压（失电压）脱扣器和热脱扣器等。开关的主触点靠操作机构手动或电动合闸，在正常工作状态下能接通和分断工作电流，当电路发生短路或过电流故障时，过电流脱扣器的衔铁被吸合，使自由脱扣机构的钩子脱开，低压断路器触点分离，及时有效地切除高达数十倍额定电流的故障电流。若电网电压过低或为零时，失电压脱扣器的衔铁被释放，自由脱扣机构动作，使断路器触点分离，从而在过电流与零电压或欠电压时保证了电路及电路中设备的安全。

塑料外壳断路器的主要参数有额定工作电压、壳架额定电流等级、极数、脱扣器类型及额定电流、短路分断能力等。

第七节 主令电器

主令电器是用来发布命令、改变控制系统工作状态的电器，它可以直接作用于控制电

路，也可以通过电磁式电器的转换对电路实现控制，其主要类型有按钮、行程开关、万能转换开关、主令控制器、脚踏开关等。

一、按钮

按钮是最常用的主令电器，其典型结构如图 1-4 所示。它既有常开触点，也有常闭触点。常态时在复位弹簧的作用下，由桥式动触点将静触点 1、2 闭合，静触点 3、4 断开，当按下按钮时，桥式动触点将 1、2 分断，3、4 闭合。1、2 被称为常闭触点或动断触点，3、4 被称为常开或动合触点。

为标明按钮的作用，避免误操作，通常将按钮帽做成红、绿、黑、黄、蓝、白、灰等颜色，并对按钮颜色作了如下规定：

- 1) “停止”和“急停”按钮必须是红色。当按下红色按钮时，必须使设备停止工作或断电。
- 2) “起动”按钮的颜色是绿色。
- 3) “起动”与“停止”交替动作的按钮必须是黑白、白色或灰色，不得用红色和绿色。
- 4) “点动”按钮必须是黑色。
- 5) “复位”按钮（如保护继电器的复位按钮）必须是蓝色。当复位按钮还有停止的作用时，则必须是红色。

为了适应控制系统的要求，按钮的结构型式很多，如表 1-1 所示。

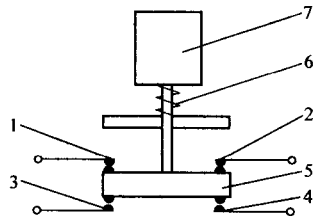


图 1-4 按钮典型结构示意图
1、2—常闭触点 3、4—常开触点
5—桥式触点 6—弹簧 7—按钮帽

表 1-1 按钮的主要结构型式

分 类		代 号	特 点	
安装方式	面板安装		供开关板、控制台上安装固定用	
	固定安装		底部有安装固定孔	
防护式	开启式	K	无防护外壳，适于嵌装在柜、台面板上	
	保护式	H	有防护外壳，可防止偶然触及带电部分	
	防水式	S	具有密封外壳，可防止雨水侵入	
	防腐式	F	具有密封外壳，可防止腐蚀性气体侵入	
操作方式	按压操作		按压操作	
	旋转操作	手柄式	X	用手柄操作旋钮，有两位置或三位置
		钥匙式	Y	用钥匙插入旋钮进行操作，可防止误操作
	拉式	L	用拉杆进行操作，有自锁和自动复位两种	
	万向操纵杆式	W	操纵杆能以任何方向进行操作	
复位性	自动复位		外力释放后，按钮依靠弹簧作用恢复原位	
	自保持		按钮内装有自保持用电磁机构或机械机构，主要用作互通信号，一般为面板安装式	
结构特征	一般式		一般结构	
	带灯		D	按钮内装有信号灯，兼作信号指示
	紧急式		J	一般有蘑菇头突出于外面，作紧急时切断电源用

二、行程开关、接近开关和光电开关

行程开关主要用于检测工作机械的位置，发出命令以控制其运动方向或行程长短，行程开关也称位置开关。行程开关按结构分为机械结构的接触式有触点行程开关和电气结构的非接触式接近开关。接触式行程开关靠移动物体碰撞行程开关的操动头而使行程开关的常开触点接通和常闭触点分断，从而实现对电路的控制作用。

行程开关按外壳防护形式分为开启式、防护式及防尘式；按动作速度分为瞬动和慢动（蠕动）；按复位方式分为自动复位和非自动复位；按接线方式分为螺钉式、焊接式及插入式；按操作形式分为直杆式（柱塞式）、直杆滚轮式（滚轮柱塞式）、转臂式、方向式、叉式、铰链杠杆式等；按用途分为一般用途行程开关、起重设备用行程开关及微动开关等多种。

接近开关是非接触式的检测装置，当运动着的物体接近它到一定距离时，它就能发出信号，从而进行相应的操作。按工作原理分，接近开关有高频振荡型、霍尔效应型、电容型、超声波型等，其中以高频振荡型最为常用。接近开关的主要技术参数有：动作距离、重复精度、操作频率及复位行程等。

光电开关是另一种类型的非接触式检测装置，它有一对光的发射和接收部件，根据两者的安装位置和光的接收方式的不同可分为对射式和反射式，作用距离从几厘米到几十米不等。

三、凸轮控制器与主令控制器

凸轮控制器用于起重设备和其他电力拖动装置，以控制电动机的起动、正反转、调速和制动。结构主要由手柄、定位机构、转轴、凸轮和触点组成。转动手柄时，转轴带动凸轮一起转动，转到某一位置时，凸轮顶动滚子，克服弹簧压力使动触点顺时针方向转动，脱离静触点而分断电路。在转轴上叠装不同形状的凸轮，可以使若干个触点组按规定的顺序接通或分断。

当电动机容量较大，工作繁重、操作频繁、调速性能要求较高时，往往采用主令控制器操作。由主令控制器的触点来控制接触器，再由接触器来控制电动机，这样，触点的容量可大大减小，操作更为轻便。主令控制器是按照预定程序转换控制电路的主令电器，其结构和凸轮控制器相似，只是触点的额定电流较小。主令控制器通常是与控制屏相配合来实现控制的，因此要根据控制屏的型号来选择主令控制器。

四、万能转换开关

万能转换开关是由多组相同结构的触点组件叠装而成的多回路控制电器，借助于不同形状的凸轮使其触点按一定的次序接通和分断，它能转换多种和多数量的电气控制电路，用途广泛，故被称为“万能”转换开关。

选用万能转换开关时，需要确定转换开关的定位特征以及接线图，以满足电气控制电路