

高等工科学学校适用

工厂电气控制技术

方承远 主编



机械工业出版社

高等工科学学校适用

工厂电气控制技术

方承远 主编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是根据高等工业专科学校“工厂电气控制技术”课程组制订的大纲编写的，主要内容包括：电气控制的基本原理、控制线路的系统分析、电气控制设备的原理设计与工艺设计。除了介绍传统的控制技术外，还对近年来迅速发展的可编程序控制器(PC)的原理与应用技术作了较详细的叙述。为便于教学，书中还编入了课程设计与实验两大部分内容，供选择使用。

本书可作为高等工业专科学校电气工程类“工厂电气控制技术”及类似课程的教材，也可作为电气技术人员的参考书和培训教材，中等专业学校也可选用。

DY83/3123

工厂电气控制技术

方承远 主编

责任编辑：贡克勤 责任校对：韩晶

封面设计：方芬 版式设计：冉晓华

责任印制：王国光

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张 7¹/₄·字数 418千字

1992年7月北京第1版·1992年7月北京第1次印刷

印数 0,001—9,500·定价：8.90元

ISBN 7-111-03274-8/TM·499

前 言

本书是根据高等工业专科学校“工厂电气控制技术”课程组制定的教学大纲，并充分考虑电气控制技术的发展情况而编写的。编写中注意精选内容，力求结合生产实际，突出应用，着重基本原理与分析方法，尽可能做到通俗易懂，便于自学。

全书内容分为三大部分：

第一篇电气控制原理(第一章至第五章)，在介绍常用电器的基础上，主要介绍电气控制的单元线路以及由此组成的各种典型电气控制系统的基本原理及其分析方法。本篇第五章专门介绍了近年来迅速发展的可程序控制器(PC)的原理及应用。

第二篇电气控制设计基础(第六、七章)，着重叙述电气控制系统设计的原则、设计内容与要求、电气原理图及各种工艺图纸的设计方法，并通过设计举例，具体说明设计过程及设计步骤，通过课程设计得以实践。课程要求集中安排1~2周时间，在教师指导下让学生独立设计并按要求绘制规定的图纸。

第三篇电气控制实验(第八章)，主要说明实际操作的重要性及实验的要求与方法。本章在总结各校实验教学经验的基础上，列举了较多的参考实验项目，并开发了PC控制实验项目，供各校根据教学需要选择实验内容。

本书不仅可作为高专、职大、业余大学“工厂电气控制技术”、“工厂电气控制设备”、“电气控制原理与设计”、“电力拖动自动控制”等课程的教材，同时也可作为电气技术人员的进修参考书和培训教材，中等专业学校也可选用。

本书由上海机械专科学校方承远主编，并编写第四、六、七章，郑州机械专科学校王炳勋任副主编，并编写第二章第八章(实验一~实验十)。第一章由哈尔滨机电专科学校张明华编写，第三章由淮阴工业专科学校刘建华编写，第五章及第八章中PC实验部分由方宗达、方承远共同编写。

本书由哈尔滨机电专科学校孙玉成副教授主审，第五章由陈昌国高级工程师审阅。在本书编写、审定中，曾得到孔凡才副教授等多方面的帮助，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在错误和不妥之处，敬请读者指正。

编 者

1991年11月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 电气控制原理

第一章 常用低压电器	3	§3-6 起重机械电气控制线路分析	91
§1-1 电器的基本知识	3	本章小结	103
§1-2 开关电器	8	思考题与练习题	103
§1-3 熔断器	11	第四章 交磁放大机自动调速	
§1-4 主令电器	12	系统分析	105
§1-5 接触器	16	§4-1 生产机械的速度调整与技术指标	105
§1-6 继电器	19	§4-2 开环与闭环直流调速系统的组成 与调速原理	108
本章小结	26	§4-3 交磁放大机	111
思考题与练习题	26	§4-4 转速负反馈自动调速系统	117
第二章 电气控制线路的基本环节	27	§4-5 电压负反馈、电流正反馈在自动调速 系统中的应用	120
§2-1 电气控制系统图的类型及有关规定	27	§4-6 稳定环节	123
§2-2 三相笼型异步电动机全压起动控制	39	§4-7 具有电流截止负反馈的自动 调速系统	125
§2-3 三相笼型异步电动机降压起动控制	42	§4-8 龙门刨床电力拖动控制线路分析	128
§2-4 三相绕线转子异步电动机的 起动控制	47	本章小结	144
§2-5 三相异步电动机的转速控制	49	思考题与练习题	145
§2-6 三相异步电动机的制动控制	51	第五章 可编程序控制器的原理 与应用	147
§2-7 直流电动机控制	55	§5-1 概述	147
§2-8 电动机控制的保护环节	61	§5-2 可编程序控制器的基本原理	151
本章小结	63	§5-3 小型可编程序控制器的硬件 和系统构成	157
思考题与练习题	64	§5-4 F系列PC的指令系统	165
第三章 典型生产机械电气控制 线路分析	65	§5-5 PC梯形图设计规则	173
§3-1 电气控制线路分析基础	65	§5-6 可编程序控制器的应用	177
§3-2 M7120型平面磨床的电气 控制线路分析	68	本章小结	189
§3-3 T68型卧式镗床电气控制线路分析	72	思考题与练习题	189
§3-4 X62W型卧式万能铣床电气控制 线路分析	76		
§3-5 组合机床的电气控制线路分析	83		

第二篇 电气控制设计

第六章 电气控制设计基础	193	§6-1 电气控制设计的一般原则、基本内容	
---------------------	-----	------------------------------	--

和设计程序.....	193
§6-2 电气控制原理线路设计的方法 与步骤.....	196
§6-3 电气保护类型及实现方法.....	206
§6-4 电气控制线路设计中的主要参数计算 及常用电器元件选择.....	208
§6-5 电气控制工艺设计.....	213
本章小结.....	216

思考题与练习题.....	217
--------------	-----

第七章 课程设计要求、设计方法 及参考题选

§7-1 概述.....	219
§7-2 课程设计的目的和要求.....	219
§7-3 课程设计任务、工作量与设计方法...	220
§7-4 课程设计举例.....	222
§7-5 课程设计参考题选.....	234

第三篇 电气控制实验

第八章 电气控制系统实验.....	245
§8-1 电气控制系统实验的目的和任务.....	245
§8-2 实验方法.....	245

§8-3 实验报告及要求.....	246
§8-4 参考实验项目、内容及要求.....	247
参考文献.....	268

绪 论

一、“工厂电气控制技术”课程的性质与任务

“工厂电气控制技术”是一门实践性较强的专业课。电气控制技术在生产过程、科学研究及其他各个领域的应用十分广泛。本课程主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍电气控制的基本原理、线路及设计方法。电气控制技术涉及面很广，各种电气控制设备种类繁多，功能各异，但就其控制原理、基本线路、设计基础而言是类似的。本课程从应用角度出发，以方法论为手段，讲授上述几方面内容，以培养对电气控制系统的分析和设计的基本能力。

现代化生产的水平、产品质量和经济效益等各项指标，在很大程度上取决于生产设备的先进性和电气自动化程度。随着大规模集成电路及微型计算机技术的发展，给电气控制技术开辟了新的前景。可编程序控制器(PC)是近十几年发展起来的一种新型工业控制器，由于它把计算机的编程灵活、功能齐全、应用面广等优点与继电器系统的控制简单、使用方便、抗干扰能力强、价格便宜等优点结合起来，而其本身又具有体积小、重量轻、耗电省等特点，因而在工业生产过程控制中的应用越来越广泛。作为一个电气技术人员必须掌握PC的基本原理与应用技术。

本课程的基本任务是：

1. 熟悉常用控制电器的结构原理、用途及型号，达到能正确使用和选用的目的。
2. 熟练掌握电气控制线路的基本环节，具有对一般电气控制线路的独立分析能力。
3. 熟悉典型生产设备电气控制系统，具有从事电气设备的安装调试、运行和维护等技术工作能力。
4. 具有设计和改进一般生产设备电气控制线路的基本能力。
5. 掌握可编程序控制器的基本原理及应用发展情况，做到能根据工艺过程和控制要求(一般开关量顺序控制)正确选用PC编制用户程序，经调试应用于生产过程控制。

二、电气控制技术的发展概况

电气控制技术是随着科学技术的不断发展，生产工艺不断提出新的要求而迅速发展的。在控制方法上主要是从手动控制到自动控制；在控制功能上，是从简单到复杂；在操作上由笨重到轻巧；从控制原理上，由单一的有触点硬接线继电器控制系统转向以微处理器为中心的软件控制系统。随着新的控制理论和新型电器及电子器件的出现，不断地推动着电气控制技术的继续发展。

生产机械电力拖动的初期，常以一台电动机拖动多台设备，或使一台机床的多个动作由同一台电动机拖动，称为集中拖动，相应的电气控制线路比较简单。随着生产机械功能增多、自动化程度的提高，其机械传动系统也就越来越复杂，为了简化传动机构而出现分散拖动形式，即各个运动机构分别由不同电动机拖动，这种电气控制线路进一步复杂化。此外，在生产过程中，对影响产品质量的各种参数都要求能自动调整(例如温度、压力、时间、流量、速度、转矩、功率等的自动调节)，这是促使电气自动控制技术迅速向前发展，控制线

路日趋完善。

在实际生产中，由于大量存在一些用开关量控制的简单的程序控制过程，而实际生产工艺和流程又是经常变化的，因而传统的继电接触控制系统常不能满足这种需要。电子计算机控制系统的出现，提高了电气控制的灵活性和通用性，其控制功能和控制精度都得到很大提高。然而在其初期，存在着系统复杂，使用不便，抗干扰能力差，成本高等缺陷，尤其对上述简单的过程控制有大材小用和不经济等问题。因而，在60年代出现了一种能够根据生产需要，方便地改变控制程序，而又远比电子计算机结构简单，价格低廉的自动化装置——顺序控制器，它是通过组合逻辑元件插接或编程来实现继电接触控制线路功能的装置，它能满足程序经常改变的控制要求，使控制系统具有较大的灵活性和通用性，但它还是使用硬件手段，装置体积大，功能也受到一定限制。随着大规模集成电路和微处理机技术的发展和应用，上述控制技术也发生了根本变化，在70年代出现了用软件手段来实现各种控制功能、以微处理器为核心的新型工业控制器——可编程序控制器，这种器件完全能够适应恶劣的工业环境。由于它兼备了计算机控制和继电器控制系统两方面的优点，故目前在世界各国已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制。

为了解决占机械加工总量80%左右的单件和小批生产的自动化，以提高劳动生产率，提高产品质量和降低劳动强度，在50年代就出现了数控机床。它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床，它综合应用了电子技术、检测技术、计算技术、自动控制和机床结构设计等各个技术领域的最新技术成就。目前仍然广泛应用，并且在一般数控机床的基础上，发展成为附带自动换刀，自适应等功能的复杂数控系列产品，称为加工中心。它能对多道工序的工件进行连续加工，节省了夹具，缩短了装夹定位、对刀等辅助时间，提高了工效和产品质量，成功地取代了以往依靠模板、凸轮、专用夹具、刀具和定程挡块来实现顺序加工的自动机床、组合机床、专用机床。

以小型通用计算机去控制某一特定对象时，要依靠事前存放在存储器内的系统程序。而数控装置则依靠它来实现对具体机床的控制，对不同控制对象和不同的功能要求只需要改变预先存放的系统程序。用软件方法来增加或改变控制系统的功能，具有很大的灵活性和柔性，这是数控机床的一个明显优点，同时系统能将全部加工程序一次输入存储器，可避免逐段阅读程序容易出错的弊病，并能简化程序设计和修改。专用计算机控制系统中还设置了各种诊断程序，进行故障预检及自动查找，提高了设备可靠性和便于维修。

上述各种先进控制设备的应用，促进了电气控制技术的发展。然而，无论是PC系统或是数控加工中心的推广和应用都是以性能价格比的进一步提高为前提，目前我国在这方面还比较落后，某些方面还是以引进国外技术和产品为主，为了改变这种情况，当前亟待解决的主要问题是：国产化、降低成本和人员培训，以便迅速跟上世界潮流，加快四化建设速度。

第一篇 电气控制原理

第一章 常用低压电器

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格及用途等有关知识，同时介绍它们的图形符号及文字符号，为正确选择和合理使用这些电器打下基础。

§1-1 电器的基本知识

一、电器的定义及分类

凡是自动或手动接通和断开电路，以及能实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电气元件统称为电器。

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多、构造各异。其分类方法很多，下面介绍几种常用的分类方法：

(一) 按工作电压等级分

1. 低压电器 工作电压在交流1000V或直流1200V以下的各种电器。例如接触器、控制器、起动器、刀开关、自动开关、熔断器、继电器、电阻器、主令电器等。

2. 高压电器 工作电压高于交流1000V或直流1200V以上的各种电器。例如高压断路器、隔离开关、高压熔断器、避雷器等。

(二) 按动作原理分

1. 手动电器 指需要人工直接操作才能完成指令任务的电器。例如刀开关、控制器、转换开关、控制按钮等。

2. 自动电器 指不需人工操作，而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器。例如自动开关，交直流接触器、继电器、高压断路器等。

(三) 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。例如接触器、各种控制继电器、控制器、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、万能转换开关等。

3. 保护电器 用于保护电路及用电设备的电器。如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

4. 配电器 用于电能的输送和分配的电器。例如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

5. 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、电磁离合器等。

(四) 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。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 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。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。

二、电磁式电器

电磁式电器在电气控制线路中使用量最大，其类型也很多，各类电磁式电器在工作原理和构造上亦基本相同。就其结构而言，大都由两个主要部分组成，即：感测部分——电磁机构和执行部分——触头系统。

(一) 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测部分，它的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触头动作，从而完成接通或分断电路。

电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。

1. 常用的磁路结构 常用的磁路结构如图1-1所示，可分为三种型式。

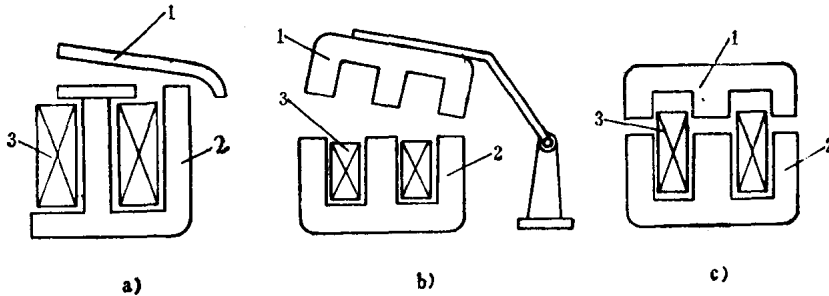


图1-1 常用的磁路结构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

①衔铁沿棱角转动的拍合式铁心，如图1-1a所示。这种型式广泛应用于直流电器中。

②衔铁沿轴转动的拍合式铁心，如图1-1b所示。其铁心形状有E形和U形两种。此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

③衔铁直线运动的双E型直动式铁心，如图1-1c所示。多用于交流接触器、继电器中。

电磁式电器分为直流与交流两大类，都是利用电磁铁的原理而制成。通常直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁心则用硅钢片叠铆而成。

2. 吸引线圈 吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入吸引线圈的电流种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁铁，因其铁心不发热，只有线圈发热，所以直流电磁铁的吸引线圈做成高而薄的瘦高型，且不设线圈骨架，使线圈与铁心直接接触，易于散热。

对于交流电磁铁，由于其铁心存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁心都发热，所以交流电磁铁的吸引线圈设有骨架，使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型，这样做有利于铁心和线圈的散热。

(二) 电磁吸力与吸力特性

电磁式电器是根据电磁铁的基本原理而设计，电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参

数。电磁铁的吸力可按下式求得

$$F_{at} = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中 F_{at} 为电磁吸力(N), B 为气隙中磁感应强度(T), S 为磁极截面积(m^2)

在气隙值 δ 及外加电压值一定时,对于直流电磁铁,电磁吸力是一个恒定值,但对于交流电磁铁,由于外加正弦交流电压,其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化,即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

将式(1-2)代入式(1-1)整理得

$$\begin{aligned} F_{at} &= \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t \\ &= F_0 - F_0 \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中 $F_{atm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 S$ 为电磁吸力最大值; $F_0 = \frac{F_{atm}}{2}$ 为电磁吸力平均值。

因此交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。交流电磁铁在工作过程中,决定其能否将衔铁吸住的是平均吸力 F_0 的大小。所以我们通常说的交流电磁铁的吸力,就是指它的平均吸力。

电磁式电器在衔铁吸合或释放过程中,气隙 δ 是变化的,因而,电磁吸力也将随 δ 的变化而变化。

所谓吸力特性,是指电磁吸力 F_{at} 随衔铁与铁心间气隙 δ 变化的关系曲线。不同的电磁机构,有不同的吸力特性。图1-2表示一般电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁,其励磁电流的大小与气隙无关,动作过程中为恒磁势工作,其吸力随气隙的减小而增加,所以吸力特性曲线比较陡峭。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比,在动作过程中为恒磁通工作,但考虑到漏磁通的影响,其吸力随气隙的减小略有增加,所以吸力特性比较平坦。

(三) 反力特性和返回系数

所谓反力特性是指反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线,如图1-2中的3所示。

为了使电磁机构能正常工作,其吸力特性与反力

特性配合必须得当。在衔铁吸合过程中,其吸力特性必须始终处于反力特性上方,即吸力要大于反力,反之衔铁释放时,吸力特性必须位于反力特性下方,即反力要大于吸力。

返回系数是指释放电压(或电流)与吸合电压(或电流)的比值,用 β 表示。

具有电压线圈的电磁机构:

$$\beta_v = \frac{U_{re}}{U_{at}} \quad (1-4)$$

对于具有电流线圈的电磁机构:

$$\beta_i = \frac{I_{re}}{I_{at}} \quad (1-5)$$

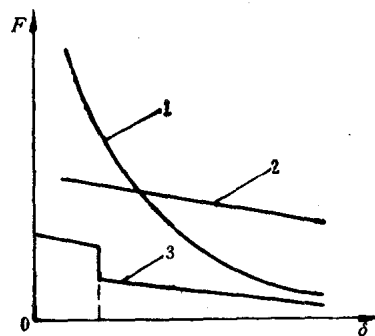


图1-2 电磁铁的吸力特性
1—直流电磁铁吸力特性 2—交流电磁铁吸力特性 3—反力特性

返回系数是反映电磁式电器灵敏度的一个参数， β 值大，电器灵敏度就高，反之，则灵敏度低。

(四) 交流电磁机构上短路环的作用

根据交流电磁吸力公式可知，交流电磁机构的电磁吸力是一个两倍电源频率的周期性变量。它有两个分量：一个是恒定分量 F_0 ，其值为最大吸力值的一半；另一个是交变分量 F_{\sim} ， $F_{\sim} = F_0 \cos 2\omega t$ ，其幅值为最大吸力值的一半，并以两倍电源频率变化，总的电磁吸力 F_{at} 在从0到 F_{atm} 的范围内变化，其吸力曲线如图1-3所示。

电磁机构在工作中，衔铁始终受到反作用弹簧、触头弹簧等反作用力 F_r 的作用。尽管电磁吸力的平均值 F_0 大于 F_r ，但在某些时候 F_{at} 仍将小于 F_r （如图1-3中画有斜线部分）。当 $F_{at} < F_r$ 时，衔铁开始释放，当 $F_{at} > F_r$ 时，衔铁又被吸合，如此周而复始，从而使衔铁产生振动，发出噪声。为此，必须采取有效措施，消除振动和噪声。

具体办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称分磁环）的铜环，如图1-4所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁心中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的 ϕ_1 和穿过短路环的 ϕ_2 。由于短路环的作用，使 ϕ_1 与 ϕ_2 产生相移，即不同时为零，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。

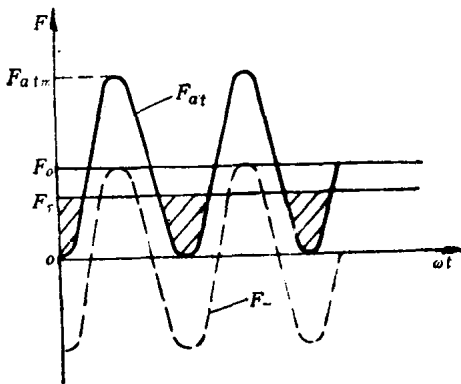


图1-3 交流电磁机构实际吸力曲线

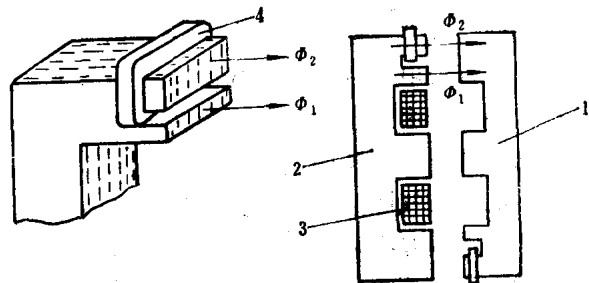


图1-4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

短路环通常包围2/3的铁心截面，它一般用铜、康铜或镍铬合金等材料制成。

三、电器的触头系统和电弧

(一) 电器的触头系统

触头是电器的执行部分，起接通和分断电路的作用。因此，要求触头导电、导热性能良好，通常用铜制成。但铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，将增大触头的接触电阻，使触头的损耗增大，温度上升。所以有些电器，如继电器和小容量的电器，其触头常采用银质材料，这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触头，更主要的是其氧化膜的电阻率与纯银相似（氧化铜则不然，其电阻率可达纯铜的十余倍以上），而且要在较高的温度下才会形成，同时又容易粉化。因此，银质触头具有较低和稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器，在结构设计上，触头采用滚动接触，可将氧化膜去掉，这种结构的触头，也常采用铜质材料。

触头主要有以下几种结构型式：

1. 桥式触头 图1-5a是两个点接触的桥式触头，图1-5b是两个面接触的桥式触头，两个触点串于同一条电路中，电路的接通与断开由两个触点共同完成。点接触型式适用于电流不大，且触头压力小的场合；面接触型式适用于大电流的场合。

2. 指形触头 图1-5c所示为指形触头，其接触区为一直线，触头接通或断开时产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜。此种型式适用于接电次数多、电流大的场合。

为了使触头接触的更加紧密，以减小接触电阻，并消除开始接触时产生的振动，在触头上装有接触弹簧，在刚刚接触时产生初压力，并且随着触头闭合增大触头互压力。

(二) 电弧的产生及灭弧方法

在大气中开断电路时，如果被开断电路的电流超过某一数值(根据触头材料的不同其值在0.25~1A间)，开断后加在触头间隙(或称弧隙)两端电压超过某一数值(根据触头材料的不同其值在12~20V间)时，则触头间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象，产生高温并发出强光，将触头烧损，并使电路的切断时间延长，严重时会引起火灾或其他事故，因此，在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

常用的灭弧方法有以下几种：

1. 电动力灭弧 图1-6是一种桥式结构双断口触头，当触头打开时，在断口中产生电弧。电弧电流在两电弧之间产生图中以 \oplus 表示的磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的电动力F的作用，使电弧向外运动并拉长，使它迅速穿越冷却介质而加快冷却并熄灭。这种灭弧方法一般用于交流接触器等交流电器中。

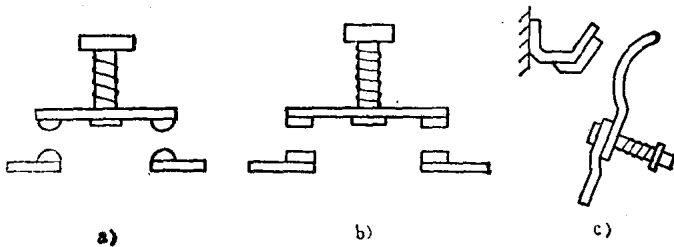


图1-5 触头的结构型式

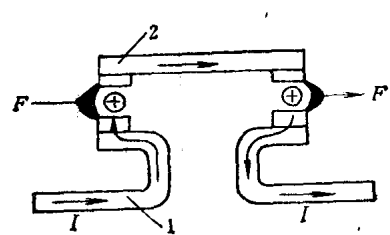


图1-6 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头

2. 磁吹灭弧 其原理如图1-7所示。在触头电路中串入一个磁吹线圈，它产生的磁通经过导磁夹板5引向触头周围，如图中的“ \times ”符号所示；当触头开断产生电弧后，电弧电流产生的磁通如图中 \oplus 和 \ominus 符号所示。可见在弧柱下方两个磁通是相加的，而在弧柱上方彼此相减，因此，电弧在下强上弱的磁场作用下，被拉长并吹入灭弧罩6中，引弧角与静触头相连接，其作用是引导电弧向上运动，将热量传递给罩壁，使电弧冷却熄灭。

由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，因而电弧电流越大，吹弧能力也越强。它广泛应用于直流接触器中。

3. 窄缝灭弧 这种灭弧方法是利用灭弧罩的窄缝来实现的。灭弧罩内只有一个纵缝，缝的下部宽些上部窄些，见图1-8。当触头断开时，电弧在电动力的作用下进入缝内，窄缝

可将电弧弧柱直径压缩，使电弧同缝壁紧密接触，加强冷却和去游离作用，使电弧熄灭加快。灭弧罩通常用耐高温的陶土、石棉水泥等材料制成。目前有采用数个窄缝的多纵缝灭弧室，它将电弧引入纵缝，分割成若干段直径较小的电弧，以增强去游离作用。窄缝灭弧常用于交流和直流接触器上。

4. 栅片灭弧 图1-9为栅片灭弧示意图。灭弧栅是由多片镀铜薄钢片(称为栅片)组成，它们安放在电器触头上方的灭弧栅内，彼此之间互相绝缘。当触头分断电路时，在触头之间产生电弧，电弧电流产生磁场，由于钢片磁阻比空气磁阻小得多，因此，电弧上方的磁通非常稀疏，而下方的磁通却非常密集，这种上疏下密的磁场将电弧拉入灭弧罩中，当电弧进入灭弧栅后，被分割成数段串联的短弧。这样每两片灭弧栅片可以看做一对电极，而每对电极间都有150~250V的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强。而每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压，同时栅片吸收电弧热量，使电弧迅速冷却，所以电弧进入灭弧栅后就很快地熄灭。

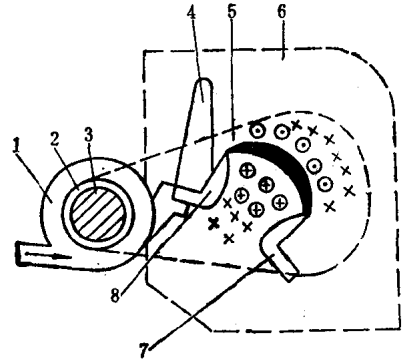


图1-7 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈 2—绝缘套 3—铁心 4—引弧角 5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—动触头 8—静触头

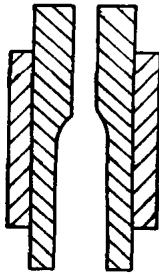


图1-8 窄缝灭弧装置

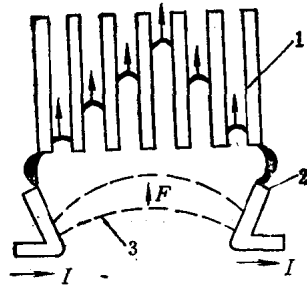


图1-9 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

§1-2 开关电器

一、刀开关

刀开关又称闸刀开关，是结构最简单、应用最广泛的一种手控电器。由操作手柄、刀片、触头座和底板等组成。

刀开关在低压电路中，作为不频繁接通和分断电路用，或用来将电路与电源隔离。

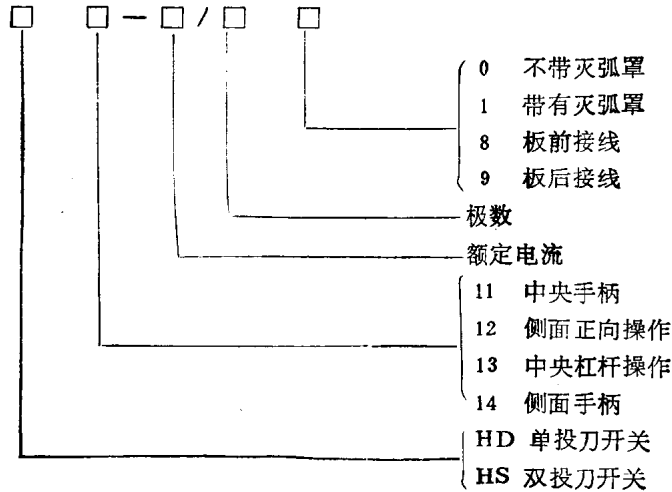
刀开关安装时，手柄要向上，不得倒装或平装。安装的正确，作用在电弧上的电动力和热空气的上升方向一致，就能使电弧迅速拉长而熄灭，反之，两者方向相反电弧将不易熄灭，严重时会使触头及刀片烧伤甚至造成极间短路。另外如果倒装，手柄可能因自动下落而引起误动作合闸，将可能造成人身和设备安全事故。

接线时，应将电源线接在上端，负载接在下端，这样拉闸后刀片与电源隔离，可防止意

外事故发生。

刀开关的主要类型有：大电流刀开关、负荷开关、熔断器式刀开关。常用的产品有：HD11~HD14和HS11~HS13系列刀开关；HK1、HK2系列开启式负荷开关；HH3、HH4系列封闭式负荷开关；HR3系列熔断器式刀开关等。

型号含义：



刀开关的图形符号及文字符号如图1-10所示。

二、转换开关

转换开关又称组合开关，它是由动触头(动触片)、静触头(静触片)、方形转轴、手柄、定位机构及外壳等主要部分组成。它的动、静触头分别叠装于数层绝缘壳内，其结构示意图如图1-11所示。当转动手柄时，每层的动触片随方形转轴一起转动，并使静触片插入相应的动触片中，使电路接通。

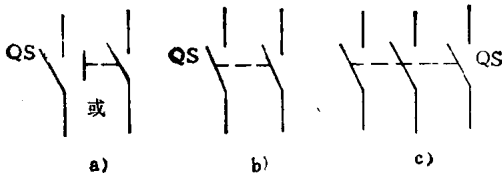


图1-10 刀开关的图形符号
a) 单极 b) 双极 c) 三极

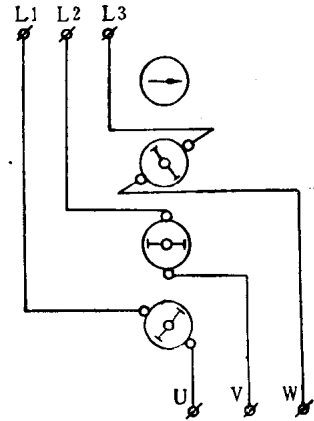


图1-11 转换开关结构示意图

常用产品有：HZ5、HZ10系列，HZ10系列为全国统一设计产品，可代替HZ1、HZ2系列老产品。而HZ5系列是类似万能转换开关的产品，其结构与一般转换开关有所不同，可代替HZ1、HZ2、HZ3等系列老产品。

转换开关有单极、双极和多极之分。普通类型的转换开关，各极是同时接通或同时断开的，这类转换开关，在机床电气设备中，主要作为电源引入开关，也可用来直接控制小容量

异步电动机非频繁地起动和停止。

转换开关的图形符号和文字符号如图1-12所示。

三、自动开关

自动开关又称自动空气断路器。当电路发生严重过载、短路以及失压等故障时，能自动切断故障电路，有效地保护串接在它后面的电气设备。在正常情况下，也可用于不频繁地接通和断开电路及控制电动机。因此，自动开关是低压电路常用的具有保护环节的断合电器。

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。框架式自动开关主要用作配电网路的保护开关。而塑料外壳式自动开关除可用作配电网路的保护开关外，还可用作电动机、照明电路及电热电路的控制开关。

本节主要介绍应用较多的塑料外壳式自动开关。

(一) 自动开关的结构和工作原理

自动开关主要由三个基本部分组成，即触头和灭弧系统；各种脱扣器，包括过电流脱扣器、失压(欠压)脱扣器、热脱扣器和分励脱扣器；操作机构和自由脱扣机构。

图1-13是自动开关工作原理图。开关的主触头是靠操作机构手动或电动合闸的，主触头闭合后，自由脱扣机构将主触头锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，失压脱扣器的线圈与电路并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁被吸合，使自由脱扣机构动作。当电路过载时，热脱扣器的热元件产生的热量增加，加热双金属片，使之向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路失压时，失压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。自由脱扣机构动作时自动脱扣，使开关自动跳闸，主触头断开分断电路。分励脱扣器则作为远距离控制分断电路之用。

(二) 塑料外壳式自动开关

塑料外壳式自动开关又称装置式自动开关，主要产品有DZ5、DZ9、DZ10等系列，DZ10系列是我国自行设计的新产品，可代替DZ1系列老产品。

DZ5-10、DZ5-25、DZ5B-50及DZ5B-100为单极式产品；DZ5-20、DZ5-50为两极或三极式产品。在保护方面，DZ5系列自动开关设有过电流脱扣器和热脱扣器，无失压脱扣器和分励脱扣器。其操作机构为贮能式，能快速分断电路。本系列产品适用于配电开关板、控制线路、照明电路以及电动机和其他用电设备，兼作过载及短路保护设施。

(三) 自动开关的选择

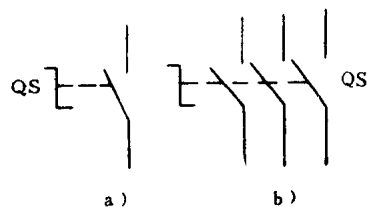


图11-2 转换开关的图形和文字符号
a) 单极 b) 三极

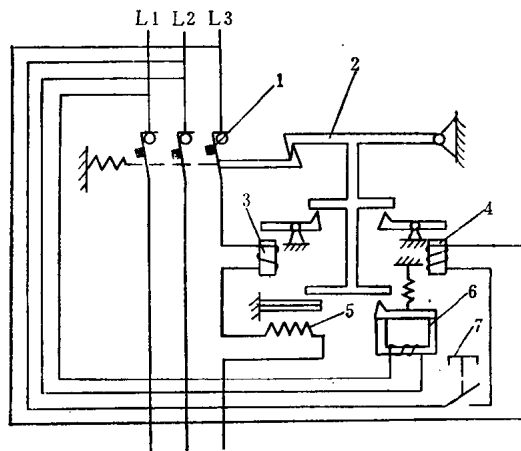


图1-13 自动开关工作原理图

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—失压脱扣器 7—按钮

- ①自动开关的额定电压和额定电流应不小于电路的正常工作电压和电流。
- ②热脱扣器的整定电流应与所控制的电动机的额定电流或负载额定电流一致。
- ③电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载电路正常工作时的尖峰电流，对于电动机负载来说，DZ型自动开关电磁脱扣机构的瞬时脱扣整定电流值 I_{oi} 可按式计算：

$$I_{oi} = KI_{ra} \quad (1-6)$$

式中 K 为安全系数，可取1.7； I_{ra} 为电动机的起动电流。
自动开关的图形符号及文字符号如图1-14所示。

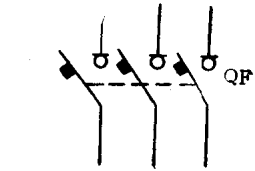


图1-14 自动开关的图形和文字符号

§1-3 熔断器

熔断器是一种最简单有效的保护电器。在使用时，熔断器串接在所保护的电路中，作为电路及用电设备的短路和严重过载保护，主要用作短路保护。

一、熔断器的结构及工作原理

熔断器主要由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管（或熔座）两部分组成。熔体由易熔金属材料铅、锡、锌、银、铜及其合金制成，通常制成丝状或片状。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的电流而不熔断。当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔断切断电路，从而达到保护目的。

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，则熔体熔断的时间越短。这一特性称为熔断器的保护特性（或安秒特性），如图1-15所示。熔断器安秒特性数值关系见表1-1。

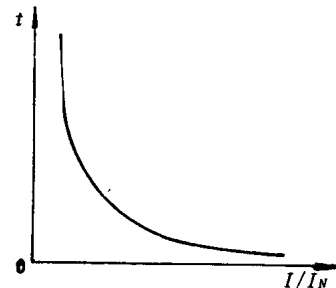


图1-15 熔断器的安秒特性

表1-1 熔断器安秒特性数值关系

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

二、熔断器的类型

熔断器的类型及常用产品有：

1. 瓷插（插入）式熔断器 瓷插式熔断器的外形见图1-16a。常用产品有RC1A系列，主要作为低压分支电路的短路保护。
2. 螺旋式熔断器 螺旋式熔断器的外形见图1-16b。常用产品有RL1系列，多用于机床配线中作短路保护。RLS系列为螺旋式快速熔断器。
3. 封闭管式熔断器 该种熔断器分为无填料、有填料和快速三种。RM7、RM10等系列为无填料的，在低压电力网络、成套配电设备中作短路保护和连续过载保护。RT0系列为有