

152

面向 21 世纪高职高专系列教材

# 电机与电气控制

任志锦 主编  
朱家健 审



机械工业出版社

本书是为高职高专院校电子技术类专业编写的综合类教材。主要内容包括常用低压电器的构造与应用、交直流电机的原理和控制方法、控制电机的特性和应用、晶闸管相控整流电源及调速控制、实用电气控制电路原理和故障分析。内容较为丰富全面,编写中以实用性、综合性为主线,精选电气控制技术中多门课程的内容,根据高职高专教育的特点有机组合而成。

本书可作为高职高专电子专业,电子技术应用专业,楼宇自动化专业和电子信息类专业以及相关的电子类专业的教材使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电机与电气控制/任志锦主编. —北京:机械工业出版社,2002.1  
面向21世纪高职高专系列教材  
ISBN 7-111-08317-2

I. 电… II. 任… III. ①电机—高等学校:技术学校—教材  
②电气控制—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第096964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:胡毓坚 版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟

责任编辑:王琼先 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年2月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mmB5·7.25印张·328千字

0 001—5 000册

定价:21.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

# 面向 21 世纪高职高专 电子技术专业系列教材编委会成员名单

顾问	王文斌	陈瑞藻	李奇	杨杰	
主任委员	曹建林				
副主任委员	穆天保	张中洲	张福强	巩志强	董维佳
	祖炬	华永平	任德齐		
委员	张锡平	刘美玲	杨元挺	刘涛	马彪
	华天京	冯满顺	周卫华	崔金辉	曹毅
	朱华贵	孙吉云	孙津平	吴元凯	孙心义
	张红斌	饶庆和	苟爱梅		
秘书长	胡毓坚				
副秘书长	邓红				

# 前 言

本书是根据全国高职高专电子技术专业教材编委会关于新一轮高职教材建设的指导思想而编写的。

全书共分八章，包括常用低压器的结构和应用、晶闸管相控整流电源的原理、交直流电动机的原理和控制方法、变压器的结构和应用、控制电机的原理和应用、交直流发电机的原理和特性以及实用电气控制线路工作原理和故障分析。本教材适用于电子技术专业，电子应用专业，信息电子专业等电子类专业的相关课程。

电机与电气控制是一门传统的课程，对电子类专业而言它既是一门专业基础课，同时也相当于一门实用的专门课教材。因此，在编写这本教材时，作者充分考虑到它的特色问题，并力求在以下几个方面加以体现：1) 本教材是为电子类专业编写的，必须充分注意学生弱电知识的优势，尽可能地使教材内容在强电与弱电方面进行有机的结合；2) 体现教材编委会关于科学性等七个方面的重要思想，因此教材内容在实用性、综合性、通俗性、新颖性方面作了精选。3) 明确为高职高专学生而编写，理论适度够用，有一定的岗位针对性。因此有些编目增加了电气故障分析的丰富内容，面向第一线应用技术人材。4) 针对电子设备技术中各种控制电机的广泛使用，本教材对控制电机的知识进行强化和更新，以满足毕业生今后的岗位需要。总之，本教材遵循“删繁就简三秋树，标新立异二月花”的精神，将原电机与变压器，电力拖动基础、电器控制设备和晶闸管变流技术等多门课程的内容反复精选，删旧增新编写成这本新的《电机与电气控制》，这是在当前教材综合化趋势中作者作出的一种探索和一种尝试。

本书是 80 学时的高职教材，根据各种电子类专业的不同需求，在使用时可对教材内容作合理节选。但为了保证知识的实用性，必要的实验是很重要的。

本书由任志锦副教授任主稿，第 1 章、第 6 章由刘利宏编写，第 2 章由任志锦编写，第 3 章、第 5 章由何丽英编写，第 4 章、第 7 章由史进编写，第 8 章由任志锦和何丽英合写。

本书由朱家健副教授审稿，他对本书的编写和具体内容提出了许多宝贵意见。

由于编者的水平所限，特别对于综合化课程教材的选材和组合经验不足，书中难免存在种种问题，敬请广大读者批评指正，特别是使用本教材的同行多多赐教。

编 者

## 出版说明

积极发展高职高专教育，完善职业教育体系，是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为了深化职业教育的改革，推进高职高专教育的发展，培养 21 世纪与我国现代化建设要求相适应的，并在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备运作的高级职业技术应用型人才，尽快组织一批适应高职高专教学特色的教材，已成为各高职高专院校的迫切要求。为此，机械工业出版社与高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会联合组织了全国 40 多所院校的骨干教师，共同研究开发了一批计算机专业、电子技术专业和机电专业的高职高专系列教材。

各编委会确立了“根据高职高专学生的培养目标，强化实践能力和创新意识的培养，反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段，造就技术实用型人才为立足点”的编写原则。力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。

本套系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业、机电专业教材编委会分别会同各院校第一线专业教师针对高职高专计算机、电子技术和机电各专业的教学现状和教材存在的问题开展研讨，尤其针对目前高职高专教学改革的新情况，分别拟定各专业的课程设置计划和教材选题计划。在教材的编制中，将教学改革力度比较大、内容新颖、有创新精神、比较适合教学、需要修编的教材以及院校急需、适合社会经济发展的新选题优先列入选题规划。在广泛征集意见及充分讨论的基础上，由各编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员，实行主编负责制，编委会通过责任编委和主审对教材进行质量监控。

担任本套教材编写的老师们都是来自各高职高专院校教育第一线的教师，他们以高度的责任感和使命感，经过近一年的努力，终于将本套教材呈现在广大读者面前。由于高职高专教育还处于起步阶段，加上我们的水平和经验有限，在教材的选题和编审中可能出现这样那样的问题，希望使用这套教材的教师和学生提出宝贵的意见和建议，以利我们今后不断改进，为我国的高职高专教育事业的繁荣而共同努力。

高职高专系列教材编委会  
机械工业出版社

# 目 录

出版说明

前言

<b>第 1 章 常用低压电器</b> .....	1
1.1 常用低压电器概述 .....	1
1.1.1 电器分类 .....	1
1.1.2 电器基本结构 .....	2
1.1.3 电气元件的文字符号和 图形符号 .....	4
1.2 开关 .....	5
1.2.1 刀开关 .....	5
1.2.2 转换开关 .....	7
1.2.3 倒顺开关 .....	8
1.3 主令电器 .....	9
1.3.1 按钮 .....	9
1.3.2 行程开关 .....	10
1.3.3 接近开关 .....	11
1.4 熔断器 .....	12
1.4.1 无填料瓷插式熔断器 .....	12
1.4.2 无填料封闭管式熔断器 .....	13
1.4.3 有填料螺旋式熔断器 .....	14
1.4.4 快速熔断器 .....	15
1.4.5 熔断器的型号 .....	15
1.4.6 熔断器的选择和维护 .....	16
1.5 交流接触器 .....	17
1.5.1 交流接触器的工作原理 .....	17
1.5.2 交流接触器的结构 .....	18
1.5.3 接触器常见故障 .....	19
1.5.4 接触器的选择 .....	20
1.5.5 接触器的应用 .....	21
1.5.6 接触器控制的优点 .....	21
1.6 继电器 .....	22
1.6.1 电磁式电流、电压、中间 继电器 .....	22
1.6.2 时间继电器 .....	24
1.6.3 热继电器 .....	27

1.6.4 速度继电器 .....	29
1.7 空气断路器 .....	30
1.7.1 空气断路器的工作原理 .....	30
1.7.2 空气断路器的分类和选择 .....	30
1.8 小结 .....	31
1.9 习题 .....	31
<b>第 2 章 晶闸管整流</b> .....	33
2.1 晶闸管 .....	33
2.1.1 晶闸管的结构与工作原理 .....	33
2.1.2 晶闸管的伏安特性与 主要参数 .....	34
2.1.3 国产晶闸管的型号 .....	37
2.2 单相整流电路 .....	38
2.2.1 单相半波整流电路 .....	38
2.2.2 单相桥式全控整流电路 .....	43
2.2.3 单相桥式半控整流电路 .....	46
2.3 晶闸管简单触发电路 .....	47
2.3.1 对晶闸管触发电路的要求 .....	48
2.3.2 单晶体管触发电路 .....	49
2.4 三相半波整流电路 .....	51
2.4.1 带电阻负载的三相半波 整流电路 .....	51
2.4.2 带大电感负载的三相半波 整流电路 .....	52
2.5 三相桥式相控整流电路 .....	53
2.5.1 三相桥式全控整流电路 .....	54
2.5.2 三相桥式半控整流电路 .....	56
2.6 整流电路的换相压降、外特性和 直流电动机的机械特性 .....	57
2.6.1 换相期间的输出电压 .....	57
2.6.2 整流电路的外特性 .....	59
2.6.3 晶闸管整流电路供电的直流 电动机机械特性 .....	59
2.7 晶闸管的保护 .....	61
2.7.1 过电压保护 .....	61

4.8.2	单相交流电动机的起动	119	6.2.6	直流测速发电机的选择 和使用	142
4.8.3	单相交流电动机的反转 控制和调速	122	6.3	交流异步测速发电机	144
4.9	习题	122	6.3.1	概述	144
<b>第5章</b>	<b>发电机</b>	124	6.3.2	交流异步测速发电机的结构和 工作原理	144
5.1	交流发电机的结构及 工作原理	124	6.3.3	交流异步测速发电机的 性能指标	146
5.1.1	同步发电机的结构	124	6.3.4	交流异步测速发电机的 选择和使用	148
5.1.2	同步发电机的工作原理	125	6.4	直流伺服电动机	148
5.1.3	同步发电机的运行	126	6.4.1	概述	148
5.2	直流发电机的工作原理和 励磁方式	127	6.4.2	直流伺服电动机的结构和 工作原理	149
5.2.1	直流发电机的工作原理	127	6.4.3	直流伺服电动机的 控制方式	151
5.2.2	直流发电机的励磁方式	128	6.4.4	直流伺服电动机的 运行特性	151
5.3	直流发电机的运行特性	129	6.4.5	直流伺服电动机的性能 指标	153
5.3.1	他励直流发电机的 运行特性	129	6.4.6	直流伺服电动机的应用 和选择	154
5.3.2	并励直流发电机的 运行特性	130	6.5	交流伺服电动机	156
5.4	小结	132	6.5.1	概述	156
5.5	习题	133	6.5.2	交流伺服电动机结构和 工作原理	157
<b>第6章</b>	<b>特种电机</b>	134	6.5.3	交流伺服电动机产生自转的原因 和消除方法	158
6.1	特种电机的种类、用途及 发展概况	134	6.5.4	交流伺服电动机的 控制方式	160
6.1.1	作为信号元件用的 特种电机	134	6.5.5	交流伺服电动机的 性能指标	161
6.1.2	作为功率元件用的 特种电机	135	6.5.6	交流伺服电动机的应用 范围和选择	162
6.1.3	特种电机的发展概况	135	6.6	步进电动机	162
6.2	直流测速发电机	136	6.6.1	概述	162
6.2.1	直流测速发电机的 基本结构	136	6.6.2	步进电动机的结构和 工作原理	163
6.2.2	直流测速发电机的 工作原理	137	6.6.3	步进电动机的驱动电源	166
6.2.3	直流测速发电机的 电枢反应	138	6.6.4	步进电动机的性能指标	166
6.2.4	直流测速发电机的电路图和 输出特性	139	6.6.5	步进电动机的应用范围	
6.2.5	直流测速发电机的性能 指标	141			

2.7.2	过电流保护	64	3.8.2	基本结构和作用	86
2.7.3	电压及电流上升率的限制	65	3.9	小结	87
2.8	小结	65	3.10	习题	87
2.9	习题	66	<b>第4章 交流电动机及控制</b>	89	
<b>第3章 直流电动机及其控制</b>	68		4.1 交流电动机的原理与结构	89	
3.1 直流电动机的工作原理和 电磁关系	68		4.1.1 三相异步电动机的工作 原理	89	
3.1.1 直流电动机的工作原理	68		4.1.2 三相异步电动机的结构	92	
3.1.2 电枢感应电动势和 电磁转矩	69		4.1.3 三相异步电动机的铭牌数据 及主要系列	94	
3.2 直流电机的结构	70		4.2 交流电动机的定子和 转子电路	95	
3.2.1 定子部分	71		4.2.1 旋转磁场对定子绕组的 作用	95	
3.2.2 转子部分	72		4.2.2 旋转磁场对转子电路的 作用	96	
3.2.3 气隙	73		4.3 交流电动机的功率与转矩	98	
3.3 他励直流电动机的工作 特性	73		4.3.1 功率平衡方程式	98	
3.3.1 直流电动机的分类	73		4.3.2 转矩平衡方程式	99	
3.3.2 直流电动机的基本方程式	74		4.3.3 电磁转矩公式	100	
3.3.3 他励直流电动机的工作 特性	75		4.4 交流电动机的机械特性	101	
3.4 直流电动机的机械特性	76		4.4.1 固有机特性的分析	101	
3.4.1 机械特性(他励直流电动 机)方程式	77		4.4.2 固有机特性方程式	102	
3.4.2 固有机特性和人为 机械特性	77		4.4.3 异步电动机的人为 机械特性	104	
3.5 直流电动机的起动控制	79		4.5 交流电动机的起动控制	105	
3.5.1 直流电动机的起动原理 及方法	79		4.5.1 笼型异步电动机的 起动方法	105	
3.5.2 直流电动机的起动 控制线路	80		4.5.2 绕线转子异步电动机的 起动方法	107	
3.6 直流电动机调速控制	81		4.6 交流电动机的制动控制	109	
3.6.1 电枢回路串电阻调速	81		4.6.1 回馈制动	110	
3.6.2 改变主磁通调速	82		4.6.2 反接制动	110	
3.6.3 改变电压调速	83		4.7 交流电动机的调速控制	112	
3.7 直流电动机的制动控制	83		4.7.1 变极调速	113	
3.7.1 能耗制动	83		4.7.2 变频调速	115	
3.7.2 反接制动	84		4.7.3 转子电路串电阻调速	116	
3.8 无刷直流电动机	85		4.8 单相交流电动机	117	
3.8.1 无刷直流电动机的工作 原理	85		4.8.1 单相交流电动机的工作 原理	117	



和选择 .....	167	7.5 特殊变压器 .....	193
6.7 微型同步电动机 .....	168	7.5.1 互感器 .....	193
6.7.1 永磁式微型同步电动机 .....	168	7.5.2 自耦变压器 .....	194
6.7.2 反应式微型同步电动机 .....	170	7.5.3 脉冲变压器 .....	196
6.7.3 磁滞式同步电动机 .....	172	7.6 习题 .....	196
6.8 直线电动机 .....	174	<b>第8章 实用电气控制电路</b> .....	198
6.8.1 概述 .....	174	8.1 X62W型万能铣床电气	
6.8.2 直线电动机的分类和		控制电路 .....	198
工作原理 .....	175	8.1.1 主要结构和运动情况 .....	198
6.8.3 直线感应电动机的应用 .....	176	8.1.2 电气控制分析 .....	199
6.9 直流力矩电动机 .....	177	8.1.3 常见故障分析 .....	203
6.9.1 直流力矩电动机的结构特点		8.2 Z35型摇臂钻床的电气	
和工作原理 .....	178	控制线路 .....	204
6.9.2 直流力矩电动机的应用 .....	179	8.2.1 主要构造及运动形式 .....	204
6.10 小结 .....	180	8.2.2 机床对电力拖动的要求 .....	205
6.11 习题 .....	181	8.2.3 控制线路介绍 .....	205
<b>第7章 变压器</b> .....	183	8.2.4 故障情况和故障分析 .....	208
7.1 变压器的基本结构与类型 .....	183	8.3 电梯轿厢门控制电路 .....	209
7.1.1 铁心 .....	183	8.3.1 轿厢门电动机主电路 .....	209
7.1.2 绕组 .....	184	8.3.2 轿厢门电动机控制电路 .....	210
7.1.3 附件 .....	185	8.4 晶闸管直流调速电路 .....	212
7.1.4 变压器的分类 .....	185	8.4.1 主电路 .....	212
7.2 变压器的空载运行 .....	186	8.4.2 移相触发电路 .....	213
7.2.1 理想变压器的空载运行 .....	187	8.4.3 给定信号环节与电压负	
7.2.2 变压器损耗与参数的测定 .....	188	反馈环节 .....	213
7.3 变压器的有载运行 .....	189	8.4.4 电流正反馈环节 .....	214
7.3.1 有载运行的分析 .....	189	8.4.5 电流截止负反馈环节 .....	214
7.3.2 变压器的作用 .....	190	8.4.6 失磁保护环节 .....	214
7.4 变压器运行特性 .....	191	<b>附录 电气常用图形符号和文字符号</b>	
7.4.1 变压器的外特性和电压		<b>新旧标准对照表</b> .....	216
调整率 .....	191	<b>参考文献</b> .....	220
7.4.2 变压器的损耗和效率 .....	192		

# 第 1 章 常用低压电器

通常，把用于接通和断开电路以及对电路或用电设备进行控制、调节、切换、检测和保护的元器件称为电器。

就现代机床或其他生产机械而言，它们的运动部件大多是由电动机来带动的。因此，在生产过程中要对电动机进行自动控制，使生产机械各部件的动作按顺序进行，保证生产过程和加工工艺合乎预定要求。对电动机主要是控制它的起动、停止、正反转、调速及制动。

对电动机或其他电气设备的接通或断开，当前国内还较多地采用继电器、接触器及按钮等控制电器来实现自动控制。要懂得一个控制线路的原理，必须了解其中各个电器元件的结构、动作原理以及它们的控制作用。本章主要介绍在电力拖动和自动控制系统中应用广泛的低压电器。

## 1.1 常用低压电器概述

### 1.1.1 电器分类

电器的种类繁多、构造各异、功能多样，通常可分为以下几类。

#### 1. 按工作电压分类

按照我国现行标准的规定，工作在交流电压 1200V 或直流电压 1500V 及以下的电器属于低压电器，其余属于高压电器。

#### 2. 按动作方式分类

(1) 自动电器 按照信号或某个物理量的变化而自动动作的电器。例如：接触器、继电器等。

(2) 非自动电器 通过人力操作而动作的电器。例如开关、按钮等。

#### 3. 按控制作用分类

(1) 执行电器 用来完成某种动作或传递功率。例如：电磁铁。

(2) 控制电器 用来控制电路的通断。例如：开关、继电器。

(3) 主令电器 用来控制其它自动电器的动作，以发出控制“指令”。例如：按钮、开关、主令开关等。

(4) 保护电器 用来保护电源、电路及用电设备，使它们不致在短路、过载状态下运行，免遭损坏。例如：熔断器、热继电器等。

## 4. 按动作原理分类

(1) 电磁式电器 它是根据电磁铁的原理工作的。例如：接触器、继电器等。

(2) 非电量电器 它是依靠外力（人力或机械力）或某种非电量变化而动作的电器。例如：行程开关、按钮、速度继电器、热继电器等。

### 1.1.2 电器基本结构

各类电器的基本结构，大都由触头系统、推动系统和灭弧装置组成。

#### 1. 触头系统

触头是电器的执行部分，用来接通和分断电路。

(1) 触头的结构形状 图 1-1a 所示是点接触的桥式触头；图 1-1b 所示是面接触的桥式触头。两个触头串于同一电路中，共同控制电路的通断。点接触式适用于小电流；面接触式适用于大电流场合。图 1-1c 所示是指形触头，其接触区为一直线，适用于通断次数多、电流大的场合。

(2) 触头的分类 固定不动的称为静触头，由连杆带着移动的称为动触头。如图 1-2 所示。

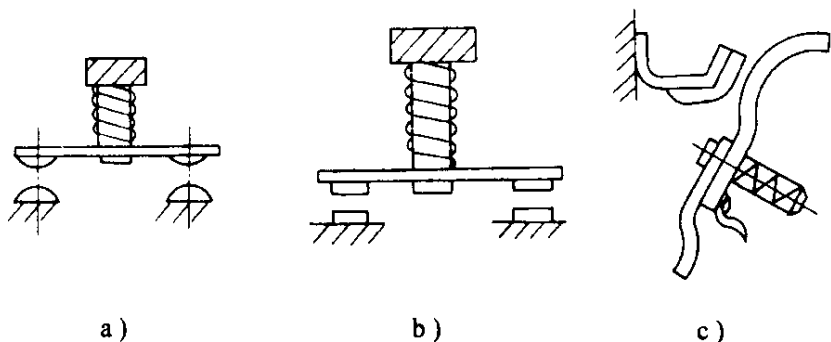


图 1-1 触头的结构形状

- a) 点接触的桥式触头
- b) 面接触的桥式触头
- c) 指形触头

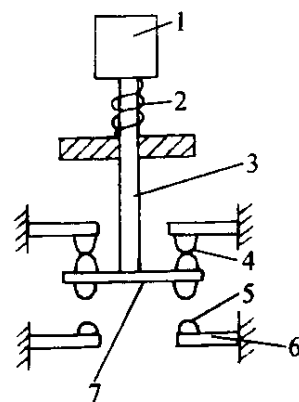


图 1-2 触头的分类

- 1—推动机构 2—复位弹簧 3—连杆
- 4—常闭触头 5—常开触头
- 6—静触头 7—动触头

触头通常以其初始位置，即“常态”位置来命名的。对电磁式电器来说，是电磁铁线圈未通电时的位置；对非电量电器来说，是在没有受外力作用时的位置。

动断触头（又称常闭触头）——常态时动、静触头是相互闭合的。动合触头（又称常开触头）——常态时动、静触头是相互分开的。

#### 2. 推动机构

推动机构与动触头的连杆相接，以推动动触头动作。

对于电磁式电器，推动力是电磁机构（电磁铁）的电磁力。电磁机构是电磁式电器的主要组成部分之一，它将电磁能转换成机械能，带动触头闭合或断开，电磁机构由线圈和磁路组成。磁路包括铁心、衔铁、铁轭。线圈通入电流产生磁场，因而线圈又称励

磁线圈，通入电流称为励磁电流。铁心通常固定不动，衔铁是活动的。线圈通电后，衔铁即被吸向铁心。

根据电磁铁线圈通入励磁电流的种类不同，分为直流电磁铁和交流电磁铁两类。

直流电磁铁的励磁电流是大小和方向不随时间变化的恒稳电流，因而，在一定的空气隙下，它所产生的磁通也是大小和方向都不随时间变化的恒稳磁通。因此，直流电磁铁的铁心用整块的铸铁。直流电磁铁的励磁电流  $I$  的大小与空气气隙的大小无关，即与衔铁的运动过程无关，这是因为励磁电流  $I$  仅取决于线圈的电阻及加在线圈上的电压  $U$ 。而作用在衔铁上的吸力  $F$  却与空气隙有关，即与衔接的位置有关。当电磁铁刚启动时，空气隙最大，此时磁路中磁阻最大，磁感应强度亦小，故吸力最小；当衔铁完全吸合后，空气隙最小，此时磁路中磁阻最小，磁感应强度亦大，吸力最大。

交流电磁铁的励磁电流是随时间改变其大小和方向的交变电流，它所产生的磁场是交变磁场。交变磁场会在铁心和衔铁内产生能量损耗（铁损耗是由磁滞和涡流产生的）而使之发热，因而交流电磁铁的铁心和衔铁不像直流电磁铁用整块的铁磁材料做成，而用彼此绝缘的硅钢片叠成的，以减小铁损耗。

交流电磁铁由于磁通是交变的，因此，电磁吸力的大小是随时间而变化的。由于吸力是脉动的，使得衔铁以两倍电源频率在振动，既会引起噪声，又会使电器结构松散，寿命降低，触头接触不良，容易被电弧火花熔焊与蚀损。因此，必须采取有效措施，使得线圈在交流电变小和过零时仍有一定的电磁吸力以消除衔铁的振动。为此，在磁极的部分端面上嵌入一个铜环——称为短路环或分磁环，如图 1-3 所示。

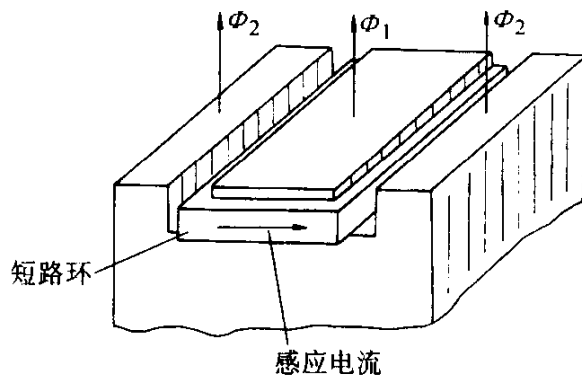


图 1-3 分磁环

当磁极的主磁通发生变化时，由于在短路环中产生的感应电流和磁通，阻碍主磁通的变化，使在磁极两部分中的磁通之间产生相位差，因而磁极各部分的磁通不会同时降为零，磁极总是具有一定的电磁吸力，这就消除衔铁的振动，也除去了噪声。

交流电磁铁刚启动时，气隙最大，磁阻最大，电感和感抗为最小，因而这时的电流为最大；在吸合过程中，随着气隙的减小，磁阻减小，线圈电感和感抗增大，电流逐渐减小。当衔铁完全吸合后，电流为最小。在电磁铁启动时，线圈的电流虽为最大，但这时的磁阻可增大到几百倍，而线圈的电流受到漏阻抗的限制，不能增加相应的倍数。因此启动时磁动势的增加小于磁阻的增加，于是磁通、磁感应强度减小，吸力较小。当衔铁吸合后，磁阻减小较多，磁动势减小较少，于是磁通、磁感应强度增大，吸力增大。

交流电磁铁工作时衔铁与铁心之间一定要吸合好。如果由于某种机械故障，衔铁或机械可动部分被卡住，通电后衔铁吸合不上，线圈中流过超过额定值的较大电流，将使线圈严重发热，甚至烧坏，这点必须注意。

对于非电量电器，推动力是人力或机械力。当推动力消失后，依靠复位弹簧的弹力使动触头复位。

### 3. 灭弧装置

不管什么电器，其触头在闭合或断开（包括熔体在熔断时）的瞬时，都会在触头间隙中由电子流产生弧状的火花，这种由电气原因造成的火花，称为电弧。触头间的电压越高，电弧就越大；负载的电感越大，断开时的火花也越大。电弧会烧坏触头，引起接触不良。因此大容量电器应采取适当措施，将电弧切短、冷却、隔离，以迅速熄灭电弧。为了熄灭电弧，应设法降低电弧温度和电场强度，根据这个原则，常用的灭弧方法有以下几种。

(1) 电动力灭弧 电弧在触头回路电流所产生的磁场的作用下，受到电动力的作用，使电弧拉长，并在拉长过程中迅速冷却以使电弧熄灭。

(2) 多断口灭弧 在双断点触头中，将电弧分成两段，使每个触头间的电压降低，再利用上述电动力使交流电过零不能重燃而熄灭。

(3) 纵缝灭弧 栅片是指由两块陶土或石棉水泥形成的狭窄缝隙，电弧在电动力作用下进入缝隙，电弧就与室壁接触被迅速冷却而熄灭。

(4) 栅片灭弧 栅片是由许多间隔着的金属片所组成的。电弧在电动力作用下，进入栅片并被栅片分割成许多段短的电弧，使每个栅片间电弧达不到燃烧电压，又由于栅片对电弧的作用，使交流电过零后不能重燃而熄灭。

(5) 磁吹灭弧 磁吹灭弧装置如图 1-4 所示，主要由磁吹线圈、灭弧角和灭弧罩所组成。磁吹线圈由扁铜条弯成，与电路相串联，中间装有铁心，它们之间有绝缘套筒，铁心两端装有导磁夹板，它引导铁心中的磁场并穿过电弧，其方向如图所示。电弧在该磁场作用下受力向上拉长、冷却并熄灭。如果是交流电，当电流改变方向时，磁场的方向也同时改变，使电磁力的方向不变，电弧仍向一方运动，灭弧作用一样，所以，磁吹灭弧在交直流接触器中都可使用。由于它是利用电弧电流本身而灭弧的，因而电弧电流越大，灭弧能力越强，所以叫做磁吹灭弧。

(6) 灭弧罩灭弧 灭弧罩常用陶土做成，罩在触头上，具有吸热和隔弧作用，从而起到灭弧的效果。

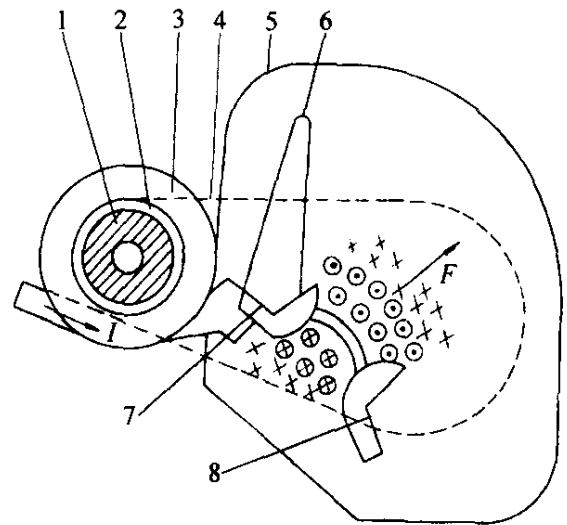


图 1-4 磁吹灭弧装置

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

#### 1.1.3 电气元件的文字符号和图形符号

电气元件的符号包括文字符号和图形符号，各种电气的文字符号和图形符号必须符合国家标准。我国于 1984、1985 年采用 IEC617—1983 发布了 GB4728—1984~1985《电气图用图形符号》系列标准，并于 1987 年发出《在全国电气领域推行电气图用图形符号国家标准的通知》。为了满足不断发展的科学技术的需要，国际电工委员会于 1996 年又修订并出版了 IEC617 的新标准。我国于 1998~2000 年又采用 IEC617—1996 并修订发

布了 GB/T 4728—1998~2000 年《电气简图用图形符号》的系列标准，标准的电气简图用图形符号已完全与发达国家一致。

我国于 1987 年 10 月 1 日起实施的 GB 7159—1987《电气技术中的文字符号制订通则》所规定的文字符号适用于电气技术领域中的技术文件的编制，也可表示在电气设备、装置和电气元器件上，以标明电气设备、装置和元器件的名称、功能、状态和特征。它代替了由汉语拼音字母组成的 GB 315—1964。本书中的文字符号和图形符号，均按照新的国家标准编绘。但旧的文字符号和图形符号 (GB 312—1964 和 GB 315—1964) 还不能立即在所有技术资料 and 以前出版的书籍中消失，因此在本书的附录中摘录列出了新旧标准对照，以供参考。

## 1.2 开关

刀开关和转换开关都是手动操作的低压电器，一般用于接通和分断低压配电电源和用电设备，也常用来直接起动小容量的异步电动机。

### 1.2.1 刀开关

刀开关又称刀闸开关，是一种结构最简单且应用最广泛的一种低压电器。它是由操作手柄、触刀、静插座和绝缘底板组成，依靠手动进行触刀插入插座与脱离插座的控制。为保证刀开关合闸时触刀与插座有良好的接触，触刀与插座之间应有一定的接触应力。

刀开关的种类很多。按刀的极数可分为单极、双极和三极；按刀的转换方向可分为单掷和双掷；按操作方式可分为直接手柄操作式和远距离连杆操纵式；按灭弧情况可分为有灭弧罩和无灭弧罩等。常用的刀开关有开启式负荷开关和封闭式负荷开关。

#### 1. 开启式负荷开关

开启式负荷开关由瓷底板、静触头、触刀、瓷柄、熔体和胶盖等构成，故又称瓷底胶盖刀开关。图 1-5a 所示为 HK 系列负荷开关结构，图 1-5b 为开关的图形符号。

这种开关结构简单，价格低廉，常用作照明电路的电源开关，也可用来控制 5.5kW

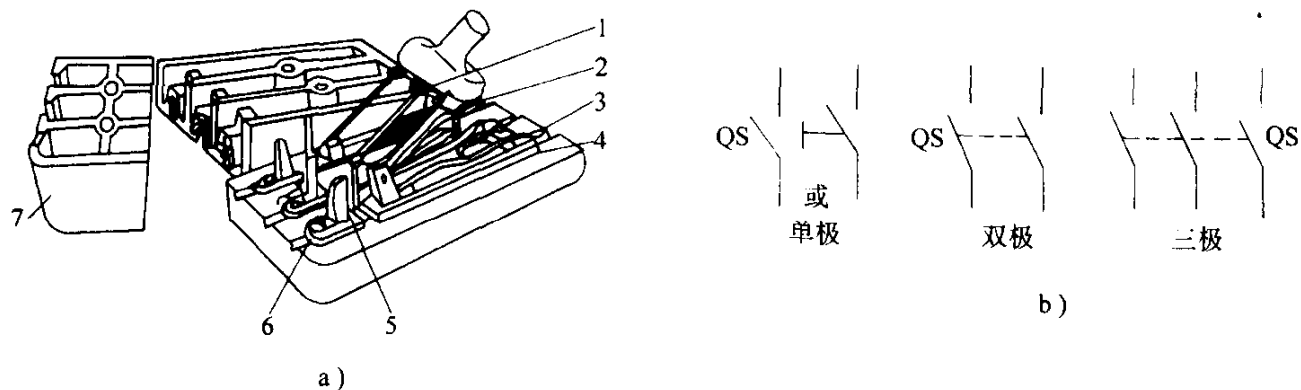


图 1-5 HK 系列负荷开关

a) 内部结构 b) 图形符号

1—瓷柄 2—触刀 3—出线座 4—瓷底座 5—静触头 6—进出线 7—胶盖

以下异步电动机的启动和停止。但这种开关没有专门的灭弧装置，不宜于频繁地分、合电路。

它的型号 (HKI—□) 含义为

HK——开启式负荷开关；I——设计序号；□——额定电流。

对于普通负载，闸刀开关可以根据额定电流来选择；而对于电动机，开关额定电流可选电动机额定电流的 3 倍左右。

安装和使用时应注意下列事项：

1) 电源进线应接在静触头一边的进线端（进线座应在上方），用电设备应接在动触头一边的出线端。这样，当开关断开时，闸刀和熔体均不带电，以保证更换熔体时的安全。

2) 安装时，刀开关在合闸状态下手柄应该向上，不能倒装和平装，以防止闸刀松动落下时误合闸。

常用的 HK 系列负荷开关的主要技术数据见表 1-1。

表 1-1 HK 系列负荷开关主要技术数据

型号	额定电流 /A	极数	额定电压 /V	可控制电动机最大容量 /kW	配用熔体线径 /mm
HK1	15	2	220	1.5	1.45~1.59
	30	2	220	3.0	2.30~2.52
	60	2	220	4.5	3.36~4.00
	15	3	380	2.2	1.45~1.59
	30	3	380	4.0	2.30~2.52
	60	3	380	5.5	3.36~4.00
HK2	10	2	250	1.1	0.25
	15	2	250	1.5	0.41
	30	2	250	3.0	0.56
	10	3	380	2.2	0.45
	15	3	380	4.0	0.71
	30	3	380	5.5	1.12

## 2. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关由触刀、熔断器、操作机构和铁外壳等构成。由于整个开关装于铁壳内，又称铁壳开关。图 1-6 所示为 HH 系列封闭式负荷开关的外形与结构图。

从图 1-6 可以看到，三把触刀固定于一根绝缘的轴上，由手柄操纵。为保证安全，铁壳与操作机构装有机械联锁，即盖子打开时开关不能闭合和开关闭合时盖子不能打开。操作机构中，在手柄转轴与底座之间装有速动弹簧，能使开关快速接通与断开，而开关的通断速度与手柄操作速度无关，这样有利于迅速灭弧。

它的型号 (HH4—□/□) 的含义为

HH——封闭式负荷开关；设计序号；□——额定电流；□——极数。

使用铁壳开关应注意下列事项：

1) 对于电热和照明电路，铁壳开关可以根据额定电流选择；对于电动机，开关额定电流可选电动机额定电流的 1.5 倍。

2) 外壳应可靠接地，防止意外漏电造成触电事故。

HH 系列封闭式负荷开关的主要技术数据见表 1-2。

表 1-2 HH 系列封闭式负荷开关主要技术数据

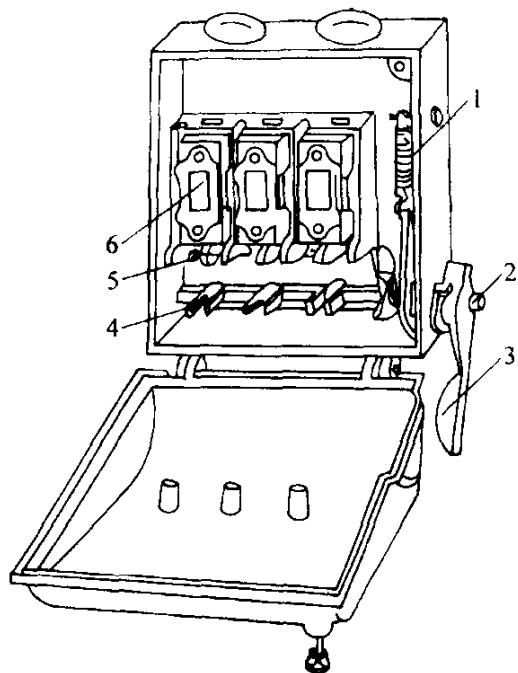


图 1-6 HH 系列封闭式负荷开关

1—速动弹簧 2—转轴 3—手柄  
4—触刀 5—静插座 6—熔体

型号	额定电流 /A	极数	额定电压 /V	熔体额定电流 /A	熔体线径 /mm
HH3	15	2、3	440	6	0.26
				10	0.35
				15	0.46
	30			20	0.65
				25	0.71
				30	0.81
HH4	15	2、3	380	6	1.08
				10	1.25
				15	1.98
	30			20	0.61
				25	0.71
				30	0.80

## 1.2.2 转换开关

转换开关又称组合开关，转换开关由分别装在多层绝缘件内的动、静触片组成。动触片装在附有手柄的绝缘方轴上，手柄沿任一方向每转动 90°，触片便轮流接通或分断。为了使开关在切断电路时能迅速灭弧，在开关转轴上装有扭簧储能机构，使开关能快速接通与断开，其通断速度与手柄旋转速度无关。图 1-7 所示为 HZ10 系列转换开关的外形（图 a）、内部结构（图 b）和图形符号（图 c）。

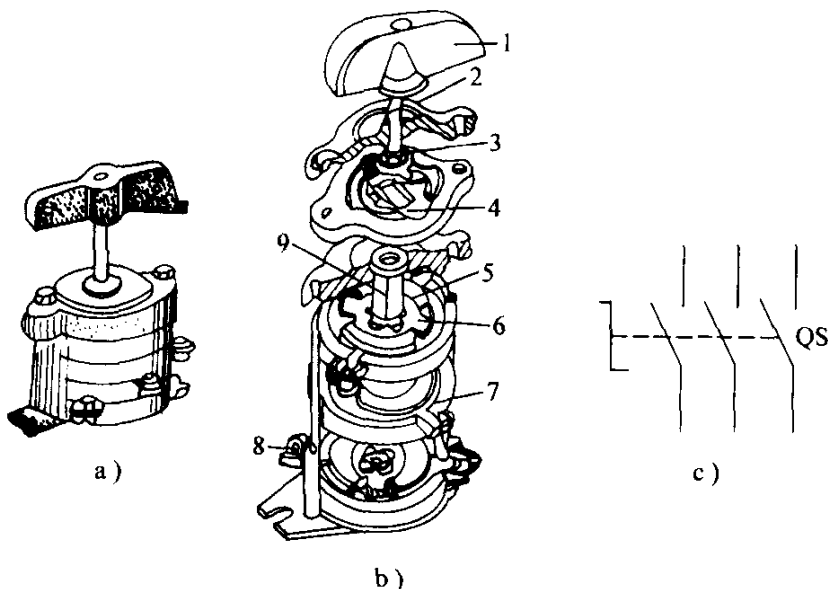


图 1-7 HZ10 系列转换开关

a) 外形 b) 内部结构 c) 图形符号

1—手柄 2—转轴 3—弹簧 4—凸轮 5—绝缘垫板  
6—动触片 7—静触片 8—接线柱 9—绝缘杆

这种开关适用于交流 50Hz、电压 380V 以下和直流电压 220V 以下的电气设备中接通与分断电路、



电源开关或 5kW 以下异步电动机的直接起动和正反转控制。使用时要根据电源的种类、电压等级、额定电流和触头数进行选用。

HZ 系列转换开关型号 (HZ10—□□/□) 的含义为

HZ——组合开关；

10——设计序号；

□——额定电流；

□——类型 (P 为二路切换, S 为三路切换)；

□——极数。

HZ10 系列转换开关的主要技术数据见表 1-3。

表 1-3 HZ10 系列转换开关的主要技术数据

型 号	额定电流 /A	极 数	额定交流电压 /V	额定直流电压 /V
HZ10—10	10	2、3	380	220
HZ10—25	25	2、3	380	220
HZ10—60	60	2、3	380	220
HZ10—100	100	2、3	380	220

### 1.2.3 倒顺开关

倒顺开关属于组合开关类型,是一种手动开关。它不但能接通和分断电源,而且还能改变电源输入的相序,用来直接实现对小容量电动机的正、反转控制,故又称可逆转换开关。

图 1-8 所示是 HZ3—123 型倒顺开关的外形。

倒顺开关手柄有三个位置:“顺”、“停”、“倒”。

当手柄处于“停”位置时,开关的动触头都不与静触头接触;当手柄扳至“顺”位置时,带动转轴将一组的动触头与静触头接触,电路接通;当手柄扳至“倒”位置时,带动转轴将另一组动触头与静触头接触,将电源两相相序变换。

使用时应注意,欲使电动机改变转向时,应先将手柄扳在“停”位置,待电动机停转后,再将手柄转向另一方。切不可不停顿地将手柄由一方直接转向另一方,因为电源突然反接,电动机定子绕组中会产生很大的电流,易使定子绕组过热而损坏。

由于倒顺开关可以改变电源相序,即实现电源反接,故也可用来对电动机实行反接制动。

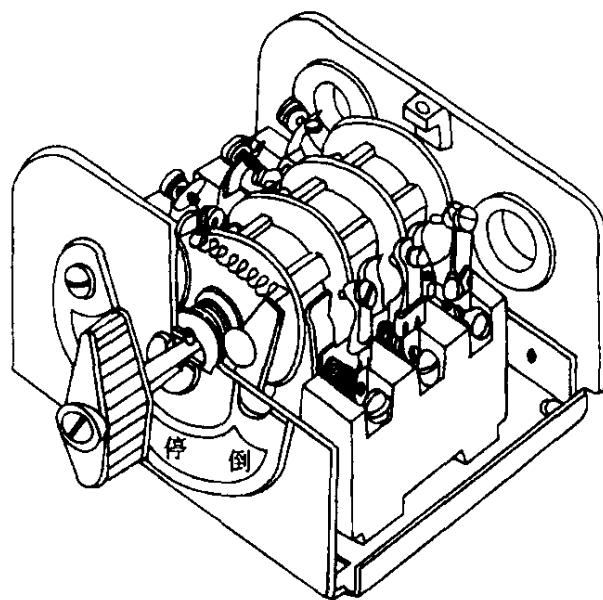


图 1-8 倒顺开关