

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

电机与电气控制

徐建俊 主编

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍了各种电机的工作原理、拖动性能, 低压电器及常用的电器控制方法, 各种常用机床的电气控制, PLC 控制技术及相关实验实训等内容。本书讲解透彻, 理论联系实际, 实用性很强。本书既可作为高职高专电机与拖动、电气控制技术、机床电气等课程的教材, 也可以供从事现代电气工程的技术人员学习和参考, 还适于初学者自学时使用。

版权所有, 翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签, 无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制 / 徐建俊主编. —北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2004.2
(21世纪高职高专规划教材·机电系列)

ISBN 7-81082-232-2

. 电... . 徐... . 电机学 - 高等学校: 技术学校 - 教材 电气控制 - 高等学校: 技术学校 - 教材 . T M 3 T M 921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001238 号

责任编辑: 韩 乐 特邀编辑: 高振宇

出版者: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 0.0 - 62276969

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010 - 51686045, 62237564

印刷者: 北京东光印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 18.25 字数: 456 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 0001 ~ 5000 册 定价: 24.00 元

前 言

本书既可作为高职高专电气及自动化、机电一体化、电子技术应用等专业的一门专业基础教材(参考教学时数为60学时),也可作为工程技术人员的参考用书。

本书共分10章,本着“理论够用、突出实践;综合应用、发展创新”的原则而编写。它具有较强的综合性,内容包括了电机与拖动、工厂电器控制设备、PLC三门学科的内容。

本书的理论体系主要包括电气控制的基本知识、直流电机拖动及电气控制、变压器、三相异步电动机及拖动的基本知识、异步电机的电气控制、单相电机、同步电机、控制电机、常用机床的电气控制系统及可编程序控制器等基本内容。本书“以应用为目的”、“以必须够用为度”,加强新技术、新工艺、新方法、新知识的介绍,特别是书中图例均采用了2000年7月1日开始实施的关于《电气简图用图形符号》的国家标准。内容上注意实践与理论、强电与弱电、使用与维修相结合,加强实践教学和现场教学环节,加强现代化教学手段的应用,突出专业技术能力的培养。

本书的实践体系包括基本实验和技能训练、专业技能训练、综合设计及应用等内容。在安排上,根据从基础到专业、从技能到技术、从单一到综合的原则,注重内容和方法手段的层次性、综合性、先进性和创新性。

本书内容较丰富,不同人员可根据自身的要求,合理选用。若作教材使用,因篇幅有限,建议在教学中合理使用现代化的教学手段,如CAI及计算机网络,要求学生能应用相关专业软件做有关习题,并利用网络查阅相关技术的发展动向、了解新产品。

本书由徐建俊担任主编,并编写了本书的绪论、第4章、第5章,彭波编写第7章和第10章,吴会琴编写第1章、第2章,居海青编写第3章和第6章,史宜巧编写第9章,刘莉编写第8章,本书由李宏担任主审。

由于水平有限,疏漏之处在所难免,欢迎各位读者批评指正。

编 者
2004.2

目 录

绪论	1
第 1 章 电气控制的基本知识	3
1.1 常用低压电器	3
1.1.1 低压电器概述	3
1.1.2 开关电器及主令电器	6
1.1.3 接触器	13
1.1.4 继电器	15
1.1.5 熔断器	21
1.1.6 常用起动器	21
* 1.1.7 主要电器元件故障诊断与维修	22
1.2 电气控制图的基本知识	26
1.2.1 电气图的符号	26
1.2.2 电气控制图的分类	26
1.2.3 电气原理图的绘制规则	28
1.2.4 电气图阅读的基本方法	29
1.3 电气控制的基本规律	30
1.3.1 自锁控制	31
1.3.2 互锁控制	31
小结	32
思考与练习	32
第 2 章 直流电机	34
2.1 直流电机的基本知识	34
2.1.1 直流电机的工作原理	34
2.1.2 直流电机的结构与分类	35
2.1.3 直流电机铭牌数据	38
2.1.4 直流电机的电枢电势和电磁转矩	39
2.1.5 直流电机的磁场和换向问题	41
2.2 直流电机的基本方程	44
2.2.1 电压平衡方程式	44
2.2.2 转矩平衡方程式	45
2.2.3 功率平衡方程式	45
2.3 电动机的机械特性	46
2.3.1 直流电动机的固有机械特性	46
2.3.2 直流电动机的人为机械特性	47

2.4	直流电动机的拖动	49
2.4.1	直流电动机的起动和反转	49
2.4.2	直流电动机的调速	50
2.4.3	直流电动机的制动	53
2.5	直流电动机的电气控制	56
2.5.1	直流电动机的起动控制	56
2.5.2	直流电动机的调速控制	57
2.5.3	直流电动机的制动控制	57
* 2.6	直流电机的故障分析及维护	59
2.6.1	直流电机常见的故障与处理方法	59
2.6.2	直流电机修理后的检查和实验	61
	小结	62
	思考与练习	63
第 3 章	变压器	65
3.1	变压器的构造和基本原理	65
3.1.1	变压器的构造和分类	65
3.1.2	变压器的基本工作原理	67
3.1.3	变压器的铭牌数据	68
3.2	变压器的运行分析	69
3.2.1	变压器的空载运行	69
3.2.2	变压器的负载运行	72
3.3	单相变压器的空载与短路试验	75
3.3.1	空载试验	75
3.3.2	短路试验	76
3.4	变压器的运行特性	77
3.4.1	电压变化率	77
3.4.2	变压器的外特性	78
3.4.3	变压器的效率和效率特性	78
3.5	三相变压器	79
3.5.1	三相变压器的磁路	80
3.5.2	变压器的联接组	81
3.5.3	三相变压器的并联运行	84
3.6	特种变压器	86
3.6.1	自耦变压器	87
3.6.2	仪用互感器	88
	小结	89
	思考与练习	90
第 4 章	三相异步电动机	92
4.1	三相异步电动机的原理和结构	92

4.1.1	三相异步电动机的工作原理	92
4.1.2	三相异步电动机的基本结构	96
4.1.3	三相异步电动机的铭牌	98
4.2	三相异步电动机的定子绕组	100
4.2.1	三相异步电动机定子绕组的基本知识	100
4.2.2	三相单层绕组	101
* 4.2.3	三相双层绕组	104
4.2.4	定子绕组的磁势和电势	106
4.3	三相异步电动机的运行分析	108
4.3.1	三相异步电动机的工作情况	109
4.3.2	电动机中的平衡关系	109
4.3.3	异步电动机的等值电路	112
4.3.4	功率和转矩平衡关系	116
4.3.5	异步电动机的参数测定	118
4.4	三相异步电动机的工作特性	120
4.4.1	转速特性 $n = f(P_2)$ 与转矩特性 $T = f(P_2)$	120
4.4.2	电流特性 $I_1 = f(P_2)$ 和功率因数特性 $\cos \varphi_1 = f(P_2)$	121
4.4.3	效率特性 $\eta = f(P_2)$	121
	小结	121
	思考与练习	122
第5章	三相异步电动机的拖动特性	124
5.1	三相异步电动机的机械特性	124
5.1.1	机械特性方程	124
5.1.2	固有机械特性方程	125
5.1.3	人为机械特性方程	126
5.2	生产机械的负载特性	127
5.2.1	恒转矩负载	127
5.2.2	恒功率负载	128
5.2.3	通风机型负载	128
5.3	三相异步电动机的起动	128
5.3.1	鼠笼式异步电动机的起动	129
5.3.2	绕线式异步电动机的起动	135
5.4	三相异步电动机的调速	137
5.4.1	变极调速	137
5.4.2	变频调速	139
5.4.3	改变转差率调速	139
5.5	三相异步电动机的反转与制动	141
5.5.1	三相异步电动机的反转	141
5.5.2	三相异步电动机的制动	142

5.5.3	三相异步电动机运行状态小结	147
5.6	三相异步电动机故障分析及维护	148
5.6.1	起动前的准备	148
5.6.2	起动时的注意事项	148
5.6.3	运行中的监视	148
5.6.4	电动机的定期维修	149
5.6.5	常见故障及排除方法	150
	小结	151
	思考与练习	152
第6章	三相异步电动机的电气控制	154
6.1	三相异步电动机的典型控制	154
6.1.1	顺序控制电路	154
6.1.2	多地控制电路	157
6.2	三相异步电动机的起动控制	158
6.2.1	三相鼠笼式异步电动机的起动控制	158
6.2.2	绕线形异步电动机的起动控制	167
6.3	三相异步电动机调速和制动控制	169
6.3.1	三相异步电动机的变极调速控制	169
6.3.2	三相异步电动机的制动控制	170
6.4	三相异步电动机的保护控制	174
6.4.1	短路保护	174
6.4.2	过载保护	175
6.4.3	过流保护	175
6.4.4	欠压保护	175
6.4.5	零压保护(失压保护)	175
6.5	电控线路故障诊断与维修	176
6.5.1	电气设备的维护和保养	176
6.5.2	电控线路的故障检修	177
	小结	181
	思考与练习	182
第7章	其他种类的电机	184
7.1	单相异步电动机	184
7.1.1	单相异步电动机的机械特性	184
7.1.2	两相异步电动机	185
7.1.3	单相异步电动机的起动方法	185
7.1.4	三相异步电动机的单相运行	187
*7.2	同步电机	187
7.2.1	同步电机的基本工作原理和结构	187
7.2.2	同步发电机的并联运行	189

7.2.3	同步电动机	189
7.2.4	同步电动机功率因数的调节及同步调相机	190
* 7.3	控制电机	191
7.3.1	伺服电动机	191
7.3.2	测速发电机	193
7.3.3	步进电动机	196
小结	197
思考与练习	198
第8章	常用机床的电气控制.....	199
8.1	车床的电气控制.....	199
8.1.1	普通车床的主要结构及运动形式	199
8.1.2	C620 - 1 型普通车床的电气控制	200
8.1.3	C650 - 2 型普通车床的电气控制	202
8.2	磨床的电气控制.....	203
8.2.1	平面磨床主要结构及运动形式	204
8.2.2	M 7130 平面磨床的电气控制	205
8.3	摇臂钻床的电气控制.....	207
8.3.1	摇臂钻床的主要结构及运动形式	207
8.3.2	Z35 摇臂钻床的电气控制	208
8.3.3	Z3040 摇臂钻床的电气控制	212
8.4	铣床的电气控制.....	214
8.4.1	卧式万能铣床的主要结构及运动形式	215
8.4.2	铣床的电气控制	216
8.5	组合机床.....	220
8.5.1	组合机床的组成结构	221
8.5.2	组合机床的工作特点	221
8.5.3	组合机床控制电路的基本控制环节	222
小结	225
思考与练习	225
第9章	可编程序控制器.....	227
9.1	PLC 的基本组成及工作原理	227
9.1.1	PLC 的基本组成	227
9.1.2	PLC 的工作原理	228
9.2	PLC 的特点及应用领域	229
9.2.1	PLC 的特点	229
9.2.2	PLC 的应用领域	231
9.3	PLC 的基本指令与编程	231
9.3.1	PLC 的编程语言	231
9.3.2	三菱 F1 系列 PLC 的编程元件	232

9.3.3	三菱 F1 系列 PLC 的基本指令与编程	233
9.3.4	三菱 FX _{2N} 系列 PLC 的一般编程元件与基本指令	237
9.3.5	程序的输入、调试及运行	240
9.4	PLC 的程序设计	241
9.4.1	梯形图的绘制规则	241
9.4.2	梯形图设计举例	241
	小结	246
	思考与练习	247
第 10 章	电机与电气控制的实践内容	249
10.1	基本实验	249
10.1.1	低压电器的认识实验	249
10.1.2	电气 CAD 软件应用	249
10.1.3	直流电动机的调速实验	251
10.1.4	三相变压器绕组的极性和联接组的测定	252
10.1.5	变压器的运行试验	255
10.1.6	异步电动机典型控制的接线实验	257
10.1.7	单相异步电动机的运行试验	261
10.1.8	可编程序控制器实现电动机典型控制(- 起动)	262
10.2	三相异步电动机的基本拆装实习	263
10.2.1	异步电动机的拆卸	263
10.2.2	电动机的装配	264
10.2.3	装配后的检查	265
10.3	综合设计	266
10.3.1	低压电器控制设计	266
10.3.2	电梯的控制设计	267
	《电机与电气控制》专业名词中英文对照	270
	参考文献	276

绪 论

1. 电机与电气控制在国民经济中的作用

电能是现代最常用且极为普遍的一种二次能源。电能具有许多优点，表现在：它的生产、传输、控制和使用都比较方便，且效率较高，因而广泛用于工农业生产、交通运输、科学技术、信息传输及日常生活中，极大地推动了技术的进步和生产力的发展。

电机是与电能的生产、传输和使用有着密切关系的电磁机构。例如，将自然界的一次能源如水能、热能、风能和原子能等转换为电能需用发电机，它是电厂的主要电气设备；为了经济地使用和分配电能需用变压器，它是电力系统的主要电气设备；在其他各行各业各部门都大量使用各种电动机作为原动机，用以拖动各种机械设备，这称为电力拖动；在军事、信息和各种自动控制系统中，则应用大量的控制电机，作为检测、执行和计算等元件；在医疗、文教和日常生活中，电机的应用也十分广泛。

随着电机及电力拖动技术的发展，其控制技术也发展迅速。特别是随着数控、电力电子、计算机及网络等技术的发展，电力拖动也正向自动控制系统——无触点控制系统、计算机控制系统迈进。

2. 课程的性质和任务

《电机与电气控制》是电气工程及自动化、机电、应用电子技术等专业的一门专业基础课。它由电机原理、拖动理论和电气控制三部分组成。在专业的整个课程体系中，它起着承上启下的作用。与它密切相关的先行课程是电路基础，它所服务的后续课程是电力电子技术、工厂供电、自动控制与系统等课程。

本课程的任务是培养学生掌握相关的基本理论、学会分析运算的基本方法与维修的技能，能借助计算机及相关软件来进行该课程的学习，最后使其具有较高的专业技术应用能力。

本课程在内容上注重实践与理论、强电与弱电、使用与维修相结合，加强实践教学和现场教学环节，加强现代化教学手段的使用，突出技能的培养，全面提高学生素质，增强适应职业变化的能力。在搜集材料、讨论编写的过程中，注意做到：综合是有机综合，而不是内容的简单叠加，如将电气控制基本知识放在前面论述，并将交、直流电机的电气控制内容与电机拖动的内容融合到一起，更加便于读者的学习和实验；简化纯理论性的原理叙述和公式推导，如交流绕组磁势是时间、空间的变化函数，牵涉到分布和短距系数等，不宜过深介绍；加强学习方法的训练，培养学生分析问题、解决问题的能力。特别是在教授该课程时，应注意教会学生工程上的近似分析方法，正确处理严密的理论推导和合理的工程近似的关系。每一种具体的工业装置，都受到许多条件的制约，因此必须将问题简化，找出主要矛盾，运用理论加以分析推导。如电机理论中许多公式的简化、T形等效电路等都做了这样的处理。

课程的实践教学体系包括基本实验和技能训练、专业技能训练、综合设计及应用等内容。在安排上，根据从基础到专业、从技能到技术、从单一到综合的原则，注重内容和方法

手段的层次性、综合性、先进性和创新性。本课程实践教学安排建议按如下三部分选用：一是基本实验内容（8~10课时），主要结合教材基本理论内容安排，包括电器元件的认识实验，直流电机的拖动实验，交流电机的正反转、调速控制实验，Y- 启动控制实验，* 单相电机的拖动实验，* PLC控制实验等。通过训练，形成基本的实践操作能力，并为中级电工的操作考核作好准备；二是安排异步电动机的拆装实习（1周），其目的是学会电机拆装、检查和维修，进一步培养学生的专业技能；三是安排课程的综合设计和应用（1周），其内容是根据拟定的开放性的设计课题，分别拟出设计方案；然后将方案在计算机上进行绘制和模拟，观察设计效果；最后再根据方案选择元器件，并进行制作和调试。通过设计，培养学生计算机应用能力及综合运用所学知识的能力和创新能力。

3. 学习本课程应掌握的基本电磁理论

1) 载流导体在磁场中的受力分析

带有电流的直导线放在磁场中将受到磁场力的作用。力的方向由左手定则确定，让磁力线穿过掌心，若四指的指向为导体中电流方向，则拇指的指向即为导体的受力方向。

2) 电磁感应定律

导体切割磁力线时，导体中会产生感应电动势。感应电动势的方向由右手定则判断，让磁力线穿过掌心，若拇指所指方向为导体在磁场中的运动方向，则四指所指方向即为导体中感应电动势的方向。

4. 课时安排

本课程的总课时为60课时左右，应根据不同专业的不同要求来选择所需内容。建议课时分配如表1所示。

表1 课时分配表

内 容		方 案 一	方 案 二	方 案 三
电气控制的基本知识		6	4	6
直流电机		6	10	4
变压器		4	8	4
三相异步电动机结构及工作运行原理		4	6	2
三相异步电动机的拖动特性		4	6	4
三相异步电动机的电气控制		6	6	8
其他种类 的电机	单相异步电动机	2	4	2
	同步电机	2	2	
	控制电机	4	4	4
常用机床的电气控制		4		8
PLC控制		8	另开课	8
实验		10	10	10
总计		60	60	60
			侧重电机与拖动	侧重电气控制

第 1 章 电气控制的基本知识

知识目标 了解低压电器的分类、电磁机构、触头系统和灭弧方式；掌握常用开关电器、主令电器、接触器、继电器和熔断器的用途、基本结构、工作原理及图形符号；了解电器元件的故障诊断与维修；了解电气控制图的基本知识、电气原理图的绘制规则和读图方法，掌握电气控制的基本规律。

能力目标 能正确地选用低压电器，能进行常见故障的维修，能看懂电气控制原理图，能熟练运用电气控制的基本规律。

学习方法 结合实物演示、拆装及观看声像资料等进行学习。

1.1 常用低压电器

凡是能自动或手动接通和断开电路，以及对电路或非电路现象能进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件统称为电器。按工作电压高低，电器可分为高压电器和低压电器两大类。高压电器是指额定电压为 3 kV 及以上的电器。低压电器是指交流电压为 1 000 V 或直流电压为 1 200 V 以下的电器，它是电力拖动自动控制系统的基本组成元件。

1.1.1 低压电器概述

1. 低压电器的分类

低压电器种类繁多、构造各异、功能多样，其分类的方法也有多种。

1) 按控制作用分类

执行电器 用来完成某种动作或传递功率。例如：电磁铁。

控制电器 用来控制电路的通断。例如：开关、继电器。

主令电器 用来控制其他自动电器的动作，发出控制“指令”。例如：按钮、转换开关等。

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

2) 按动作方式分类

自动切换电器 它是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。

非自动电器 它是通过人力操作而动作的电器。例如：开关、按钮等。

3) 按动作原理分类

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。

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

2 低压电器的基本结构

低压电器一般由两个基本部分组成：感受部件和执行部件。感受部件能感受外界的信号，做出有规律的反应。在自动切换电器中，感受部件大多由电磁机构组成；在手控电器中，感受部件通常为操作手柄等。执行部件是根据指令，执行电路的接通、切断等任务，如触点和灭弧系统。对于自动开关类的低压电器，还具有中间(传递)部分，它的任务是把感受部件和执行部件两部分联系起来，使它们协调一致，按一定的规律动作。

1) 电磁机构

电磁机构是电器元件的感受部件，它的作用是将电磁能转换为机械能并带动触点闭合或断开。它通常采用电磁铁的形式，由电磁线圈、静铁心(铁心)、动铁心(衔铁)等组成，其中动铁心与动触点支架相连。电磁线圈通电时产生磁场，使得动、静铁心磁化并互相吸引，当动铁心被吸引向静铁心时，与动铁心相连的动触点也被拉向静触点，令其闭合，接通电路。电磁线圈断电后，磁场消失，动铁心在复位弹簧作用下，回到原位，并牵动动、静触点，分断电路。如图 1 - 1 所示。

图 1 - 1 电磁机构示意图

电磁铁有各种结构形式。铁心有 E 形、U 形。动作方式有直动式、转动式。它们各有不同的机电性能，适用于不同的场合。图 1 - 2 列出了几种常见电磁铁心的结构形式。

图 1 - 2 电磁铁心的结构形式

电磁铁按励磁电流不同可分为直流电磁铁和交流电磁铁。在稳定状态下直流电磁铁中磁通恒定，铁心中没有磁滞损耗和涡流损耗，只有线圈产生热量。因此，直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成的，电磁线圈没有骨架，且做成细长形，以增加它和铁心直接接触的面积，利于线圈热量从铁心散发出去。交流电磁铁中磁通交变，铁心中有磁滞损耗和涡流损耗，铁心和线圈都产生热量。因此，交流电磁铁的铁心一般用硅钢片叠成，以减小铁损，并且将线圈制成粗短形，由线圈骨架把它和铁心隔开，以免铁心的热量传给线圈致使其过热而烧坏。

由于交流电磁铁的磁通是交变的，线圈磁场对衔铁的吸引力也是交变的。当交流电流过零时，线圈磁通为零，对衔铁的吸引力也为零，衔铁在复位弹簧作用下将产生释放趋势，这就使动、静铁心之间的吸引力随着交流电的变化而变化，从而产生振动和噪声，加速动、静

铁心接触面积的磨损,引起结合不良,严重时还会使触点烧蚀。为了消除这一弊端,在铁心柱面的一部分,嵌入一只铜环,名为短路环,如图1-3所示。该短路环相当于变压器副边绕组,在线圈通入交流电时,不仅线圈产生磁通,短路环中的感应电流也将产生磁通。短路环相当于纯电感电路,从纯电感电路的相位关系可知,线圈电流磁通与短路环感应电流磁通不同时为零,即电源输入的交流电流通过零值时,短路环感应电流不为零,此时,它的磁场对衔铁起着吸引作用,从而克服了衔铁被释放的趋势,使衔铁在通电过程总是处于吸合状态,明显减小了振动和噪声。所以短路环又叫减振环,它通常由铜、康铜或镍铬合金制成。

图1-3 铁心上的短路环

电磁铁的线圈按接入电路的方式不同可以分为电压线圈和电流线圈。电压线圈并联在电源两端,获得额定电压时线圈吸合,其电流值由电路电压和线圈本身的电阻或阻抗决定。由于线圈匝数多、导线细、电流较小而匝间电压高,所以一般用绝缘性能好的漆包线绕制。电流线圈串联在主电路中,当主电路的电流超过其动作值时吸合,其电流值不取决于线圈的电阻或阻抗,而取决于电路负载的大小。由于主电路的电流一般比较大,所以线圈导线比较粗,匝数较少,通常用紫铜条或粗的紫铜线绕制。

2) 触头系统

触头系统属于执行部件,按功能不同可分为主触头和辅助触头两类。主触头用于接通和分断主电路;辅助触头用于接通和分断二次电路,还能起互锁和联锁作用。小型触头一般用银合金制成,大型触头用铜材制成。

2) 触头系统

触头系统按形状不同分为桥式触头和指形触头。桥式触头如图1-4(a)、(b)所示,分为点接触桥式触头和面接触桥式触头。其中点接触桥式触头适用于工作电流不大,接触电压较小的场合,如辅助触头。面接触桥式触头的载流容量较大,多用于小型交流接触器主触头。图1-4(c)所示为指形触头,其接触区为一直线,触头闭合时产生滚动接触,适用于动作频繁、负荷电流大的场合。

触头按位置不同可分为静触头和动触头。静触头固定不动,动触头能由联杆带着移动,如图1-5所示。触头通常以其初始位置,即“常态”位置来命名。对电磁式电器来说,是指电磁铁线圈未通电时的位置;对非电量电器来说,是指没有受外力作用时的位置。常闭触头(又称动断触头)——常态时动、静触头是相互闭合的。常开触头(又称动合触头)——常态时动、静触头是分开的。

触头按位置不同可分为静触头和动触头。静触头固定不动,动触头能由联杆带着移动,如图1-5所示。触头通常以其初始位置,即“常态”位置来命名。对电磁式电器来说,是指电磁铁线圈未通电时的位置;对非电量电器来说,是指没有受外力作用时的位置。常闭触头(又称动断触头)——常态时动、静触头是相互闭合的。常开触头(又称动合触头)——常态时动、静触头是分开的。

图1-4 触头的结构形式

图1-5 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

3) 灭弧装置

各种有触点电器都是通过触点的开、闭来通、断电路的，其触头在闭合和断开(包括熔体在熔断时)的瞬间，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。在开断电路时产生电弧，一方面使电路仍然保持导通状态，延迟了电路的开断，另一方面会烧损触点，缩短电器的使用寿命。因此，要采取一些必要的措施来灭弧，常见的灭弧措施如图 1 - 6 所示。

图 1 - 6 灭弧措施

1—静触点；2—动触点；3—引弧角；

v_1 —动触点移动速度； v_2 —电弧在磁场力作用下移动速度

1. 1. 2 开关电器及主令电器

1. 开关类电器

低压开关主要用做隔离、转换及接通和分断电路。常作为机床电路的电源开关，或用于局部照明电路的控制及小容量电动机的起动、停止和正反转控制等。

常用的低压开关类电器包括刀开关、转换开关和自动开关等。

1) 刀开关

普通刀开关是一种结构最简单且应用最广泛的手控低压电器，主要类型有负荷开关(如：胶盖闸刀开关和铁壳开关)、板形刀开关。这里主要对胶盖闸刀开关(简称闸刀开关)进行介绍。闸刀开关又称开启式负荷开关，广泛用在照明电路和小容量(5~5kW)、不频繁起动的动力电路的控制电路中。

闸刀开关的主要结构如图 1 - 7 所示。

安装刀开关时，瓷底应与地面垂直，手柄向上，易于灭弧，不得倒装或平装。倒装时手柄可能因自重落下而引起误合闸，危及人身和设备安全。

刀开关的型号含义如图 1 - 8 所示。

刀开关的图形符号及文字符号如图 1 - 9 所示。

图 1 - 7 胶盖瓷底闸刀开关的结构

1—出线盒；2—熔丝；3—动触头；4—手柄；5—静触头；
6—电源进线座；7—瓷座；8—胶盖；9—接用电器

刀开关的主要技术参数有额定电流、额定电压、极数、控制容量等。

2) 组合开关

组合开关又称转换开关，它实质上也是一种特殊的刀开关，只不过一般刀开关的操作手柄是在垂直安装面的平面内向上或向下转动，而组合开关的操作手柄则是在平行于安装面的平面内向左或向右转动而已。组合开关多用在机床电气控制线路中，作为电源的引入开关，也可以用做不频繁地接通和断开电路、换接电源和负载及控制 5 kW 以下的小容量电动机的正反转和星三角起动等。

组合开关的结构如图 1 - 10 所示。其内部有三对静触点，分别用三层绝缘板相隔，各自附有联接线路的接线柱。三个动触点互相绝缘，与各自的静触点对应，套在共同的绝缘杆上。绝缘杆的一端装有操作手柄，转动手柄，即可完成三组触点之间的开、合或切换。开关内装有速断弹簧，用以加速开关的分断速度。

图 1 - 8 刀开关的型号含义

图 1 - 9 刀开关的图形符号

图 1 - 10 组合开关的结构

1—手柄；2—转轴；3—弹簧；4—凸轮；5—绝缘垫板；6—动触点；7—静触点；8—绝缘方轴；9—接线柱

组合开关的型号含义如图 1 - 11 所示。

组合开关的图形符号及文字符号如图 1 - 12 所示。

图 1 - 11 组合开关的型号含义

图 1 - 12 组合开关的图形符号

如果组合开关用于控制电动机正反转，则在从正转切换到反转的过程中，必须先经过停止位置，待电动机停止后，再切换到反转位置。组合开关本身不带过载和短路保护装置，所以在它所控制的电路中，必须另外加装保护设备。

3) 自动开关

自动开关又叫自动空气开关或自动空气断路器。它集控制和多种保护功能于一身，除能完成接通和分断电路外，还能对电路或电气设备发生的短路、过载、失压等故障进行保护。它的动作参数可以根据用电设备的要求人为调整，所以自动开关使用方便可靠。通常自动开关根据其结构不同，可分为装置式和万能式两类。这里以装置式为例进行介绍。

(1) 自动开关的结构及原理

装置式自动开关又称塑料外壳式(简称塑壳式)自动开关或塑壳式低压断路器。一般用做配电线路的保护开关，电动机及照明电路的控制开关等。其结构如图 1 - 13 所示。其主要部分由触点系统、灭弧装置、自动与手动操作机构、脱扣器、外壳等组成。

图 1 - 13 常用装置式自动开关

1—按钮；2—电磁脱扣器；3—自由脱扣器；
4—接线柱；5—热脱扣器

自动开关工作原理如图 1 - 14 所示。正常状态，触头 2 闭合，与转轴相连的锁键扣住搭钩 4，使弹簧 1 受力而处于储能状态。此时，热脱扣器的发热元件 12 温升不高，不会使双金属片弯曲到顶住连杆 7 的程度。电磁脱扣器 6 的线圈磁力不大，不能吸住衔铁 8 去拨动连杆 7，开关处于正常吸合供电状态。若主电路发生过载或短路，电流超过热脱扣器或电磁脱扣