



教育部高职高专规划教材

电机及电气控制

► 袁维义 主编
杨慧英 主审



化学工业出版社

教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电机及电气控制

袁维义 主编

杨慧英 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电机及电气控制/袁维义主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 1

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-8157-X

I. 电… II. 袁… III. ①电机学-高等学校: 技术学院-教材②电气控制-高等学校: 技术学院-教材

IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 000299 号

教育部高职高专规划教材

电机及电气控制

袁维义 主编

杨慧英 主审

责任编辑: 张双进

责任校对: 王素芹

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16¼ 字数 392 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8157-X

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书以教育部提出的高职高专三改二的精神为指导思想,将过去的《电机及拖动》、《工厂电气控制设备》两门课程的内容进行整合。在编写过程中自始至终贯彻“淡化理论,强化技能”的指导思想;以电机的应用为核心,理论方面以够用为度,强化了电机的维护、故障检查及试验等方面的内容。

全书共分9章,内容包括:直流电机、直流电动机的电力拖动、变压器、异步电动机、三相异步电动机的电力拖动、驱动和控制电机、常用低压电器、基本电气控制线路、常用机床的控制线路。

本书不仅适用于高等(中等)职业技术学校电气自动化、机电一体化、工业自动化专业的学生,也可作为企业电气人员的培训教材。

前 言

本书是根据高职高专电气自动化专业人才培养规格,以及“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”原则编写的。

本书以电机与电气控制技术在实际生产中的应用为编写依据,在内容选择上结合目前中国大、中型企业实际情况,简化了一些与电机实际应用关联不大的理论分析和计算,突出基本知识与操作技能的培养,还总结了从业人员在实际工作中常见故障的分析和处理方法,并引入了软启动器、变频器等新技术。本书可作为高职高专电类专业和机电一体化专业教材,也可作为职工培训教材。

本书在内容安排上遵照由浅入深的原则。主要内容有直流电机,直流电动机的电力拖动,变压器,异步电动机,三相异步电动机的电力拖动,驱动和控制电机,常用低压电器,基本电气控制线路,常用机床的控制线路。

全书共分9章,其中绪论和第1、2、4章由河北工业职业技术学院袁维义编写,第3、9章由河北工业职业技术学院高南编写,第6、7章由河北工业职业技术学院马保振编写,第5章由吕梁高等专科学校甄利玲编写,第8章由吕梁高等专科学校蔡保平编写。全书由袁维义统稿并担任主编,高南、马保振任副主编,由石家庄焦化集团高级工程师杨慧英担任主审。

在本书编写过程中石家庄焦化集团刘泽军、吕建忠两位高级工程师和程彦军、李建波两位高级技师,河北科技大学庞志峰、韩育两位教授以及石家庄钢铁集团刘海涛工程师提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2005年12月

目 录

绪论	1
0.1 电机及电力拖动系统概述	1
0.1.1 电机	1
0.1.2 电力拖动	1
0.2 电气控制	2
0.3 本课程的性质、任务和内容	3
0.4 课程目标	3
0.5 本课程的特点及学习方法	4
第1章 直流电机	5
1.1 直流电机的结构与工作原理	5
1.1.1 直流电机的主要结构	5
1.1.2 直流电机的基本工作原理	7
1.1.3 直流电机铭牌数据及主要系列	8
1.2 直流电机的绕组简介	9
1.2.1 电枢绕组基本知识	9
1.2.2 单叠绕组	10
1.2.3 单波绕组	12
1.3 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	13
1.3.1 直流电机的电枢电动势	13
1.3.2 直流电机的电磁转矩	13
1.4 直流电机的换向	13
1.4.1 换向概述	13
1.4.2 改善换向的方法	14
1.5 直流发电机	15
1.5.1 直流发电机的励磁方式	15
1.5.2 直流发电机的基本方程式	15
1.5.3 他励发电机的运行特性	17
1.5.4 并励发电机的自励条件和外特性	18
1.6 直流电动机	19
1.6.1 直流电动机的工作原理	19
1.6.2 直流电动机的工作特性	20
1.7 直流电动机的运行维护与故障处理	21
1.7.1 直流电动机的保养	22
1.7.2 直流电动机的运行与维护	23
1.7.3 直流电动机的故障检查	25

1.7.4 直流电动机常见故障及处理	29
习题 1	36
第 2 章 直流电动机的电力拖动	38
2.1 电力拖动系统的运动方程式和负载转矩特性	38
2.1.1 电力拖动系统的运动方程式	38
2.1.2 负载转矩特性	39
2.2 他励直流电动机的机械特性	40
2.2.1 机械特性的表达式	40
2.2.2 固有机械特性和人为机械特性	41
2.2.3 电力拖动系统稳定运行的条件	42
2.3 他励直流电动机的启动	43
2.3.1 电枢回路串电阻启动	44
2.3.2 降压启动	46
2.4 他励直流电动机的制动	47
2.4.1 能耗制动	47
2.4.2 反接制动	49
2.4.3 回馈制动	51
2.4.4 直流电动机的反转	52
2.5 他励直流电动机的调速	52
2.5.1 调速指标的评价	52
2.5.2 调速方法	53
2.5.3 调速方式与负载类型的配合	55
习题 2	59
第 3 章 变压器	61
3.1 变压器的基本工作原理和结构	61
3.1.1 变压器的基本工作原理及分类	61
3.1.2 变压器的基本结构	62
3.1.3 变压器的铭牌	65
3.2 变压器的运行特性	66
3.2.1 变压器的外特性与电压变化率	66
3.2.2 变压器的损耗、效率和效率特性	67
3.3 三相变压器	68
3.3.1 三相变压器的磁路系统	68
3.3.2 三相变压器的联结组别	69
3.4 变压器的并联运行	72
3.4.1 并联运行的理想状态	72
3.4.2 变压器并联运行的条件	73
3.5 其他用途的变压器	73
3.5.1 自耦变压器	73
3.5.2 仪用互感器	74

3.5.3 电焊变压器	76
3.6 电力变压器的运行维护	77
3.6.1 电力变压器的容量选择	77
3.6.2 电力变压器的运行标准	77
3.6.3 变压器的维护	77
3.6.4 变压器的异常运行及处理	78
3.7 变压器参数的测定	78
3.7.1 空载试验	78
3.7.2 短路试验	79
3.7.3 变压器的其他试验	80
习题3	83
第4章 异步电动机	84
4.1 三相异步电动机的基本结构与工作原理	84
4.1.1 基本结构	84
4.1.2 基本工作原理	86
4.1.3 三相异步电动机的铭牌和主要系列	89
4.2 交流电机的绕组	91
4.2.1 交流绕组的基本知识	91
4.2.2 三相单层绕组	92
4.2.3 三相双层绕组	93
4.3 交流电机绕组的感应电动势	94
4.3.1 线圈的感应电动势及短距系数	94
4.3.2 线圈组的感应电动势及分布系数	96
4.3.3 一相绕组中的基波感应电动势	96
4.4 三相异步电动机的空载运行和负载运行	97
4.4.1 空载运行时的电磁关系	97
4.4.2 三相异步电动机的负载运行	98
4.5 三相异步电动机的功率平衡、转矩平衡和工作特性	100
4.5.1 功率平衡和转矩平衡	100
4.5.2 三相异步电动机的工作特性	101
4.6 三相异步电动机的试验	103
4.6.1 空载试验	103
4.6.2 短路试验	104
4.6.3 电动机修理后的各项试验	105
4.7 三相异步电动机的操作	108
4.7.1 选用电动机	108
4.7.2 电动机的运行要求	110
4.7.3 电动机启动前的检查	111
4.7.4 电动机启动后的检查	112
4.7.5 电动机运行中的检查	112

4.8 电动机常见故障分析与处理	114
4.8.1 电动机带载启动	114
4.8.2 电动机负载运行故障	116
4.8.3 电动机故障停车	119
4.8.4 滚动轴承故障	119
4.8.5 绕组绝缘不良	120
4.8.6 绕组接地	121
4.8.7 绕组短路故障	122
4.8.8 绕组断路故障	124
4.8.9 绕组连接错误	126
4.9 单相异步电动机	127
4.9.1 单相异步电动机结构和工作原理	127
4.9.2 单相异步电动机的主要类型	129
习题4	132
第5章 三相异步电动机的电力拖动	134
5.1 三相异步电动机的机械特性	134
5.1.1 机械特性的表达式	134
5.1.2 三相异步电动机的固有机械特性和人为机械特性	136
5.2 三相异步电动机的启动	138
5.2.1 三相笼型异步电动机的启动	138
5.2.2 三相绕线型异步电动机的启动	142
5.2.3 软启动器的应用简介	145
5.3 三相异步电动机的制动	148
5.3.1 能耗制动	148
5.3.2 反接制动	149
5.3.3 回馈制动	151
5.4 三相异步电动机的调速	152
5.4.1 变极调速	153
5.4.2 变频调速	156
5.4.3 变转差率调速	158
5.4.4 变频器的应用	159
习题5	165
第6章 驱动和控制电机	167
6.1 测速发电机	167
6.1.1 直流测速发电机	167
6.1.2 交流测速发电机	168
6.2 伺服电机	169
6.2.1 直流伺服电机	170
6.2.2 交流伺服电机	172
6.3 步进电机	173

6.3.1 步进电机的结构与工作原理	173
6.3.2 反应式步进电机的特性	175
6.3.3 驱动电源	177
习题 6	180
第 7 章 常用低压电器	181
7.1 刀开关和转换开关	181
7.1.1 刀开关	181
7.1.2 转换开关(组合开关)	183
7.2 自动开关	183
7.2.1 自动开关的结构和工作原理	183
7.2.2 断路器的选用及使用注意事项	185
7.3 主令电器	186
7.3.1 控制按钮	186
7.3.2 行程开关	186
7.4 接触器	187
7.4.1 交流接触器	187
7.4.2 直流接触器	189
7.4.3 接触器的主要技术数据	189
7.4.4 接触器的选择、安装及使用注意事项	189
7.5 继电器	191
7.5.1 电磁式电流、电压和中间继电器	191
7.5.2 时间继电器	192
7.5.3 热继电器	193
7.5.4 速度继电器	194
7.6 低压熔断器	194
7.6.1 熔断器的结构及安秒特性	194
7.6.2 熔断器的技术参数	195
7.6.3 熔断器的型号	195
7.6.4 常用的熔断器简介	195
7.6.5 熔断器的选用	196
7.6.6 熔断器的安装	196
习题 7	197
第 8 章 基本电气控制线路	198
8.1 电气控制线路图的绘制	198
8.1.1 常用图形符号	198
8.1.2 电气控制系统图	199
8.2 基本电气控制线路	201
8.2.1 点动正转控制线路	201
8.2.2 正转控制线路	202
8.2.3 接触器联锁的正反转控制路线	203

8.2.4	时间继电器自动控制Y-△降压启动线路	205
8.2.5	制动控制线路	207
8.2.6	能耗制动控制线路	211
8.3	电气控制线路的故障检查方法	213
8.3.1	故障查询	213
8.3.2	通电检查法	214
8.3.3	断电检查法	215
8.3.4	电压检查法	216
8.3.5	电阻检查法	218
8.3.6	短接检查法	219
习题 8		220
第 9 章	常用机床的控制线路	222
9.1	车床	222
9.1.1	车床的结构及运行	222
9.1.2	车床电气控制线路分析	223
9.1.3	车床电气控制系统图	227
9.2	钻床	229
9.2.1	钻床的结构	229
9.2.2	摇臂钻床的运行	229
9.2.3	电气控制线路分析	230
9.3	铣床	235
9.3.1	铣床的结构及运行	235
9.3.2	铣床电气控制线路分析	236
习题 9		244
部分习题参考答案		245
参考文献		246

绪 论

0.1 电机及电力拖动系统概述

0.1.1 电机

电机是生产、传输、分配及应用电能的主要设备。电力拖动系统则是在现代化生产过程中,为了实现各种生产工艺过程所必不可少的传动系统,是生产过程电气化、自动化的重要前提。

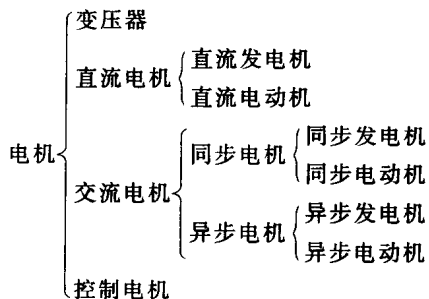
电机是利用电磁感应原理工作的机械,它应用广泛,种类繁多,性能各异,分类方法也很多。主要有如下两种常用的分类方法。

一种是按功能用途分,可分为发电机、电动机、变压器和控制电机四大类。发电机是将机械能转换为电能,电动机则是将电能转换为机械能,作为拖动各种生产机械的动力,是国民经济各部门应用最多的动力机械,也是最主要的用电设备,各种电动机所消耗的电能占全国总发电量的60%~70%左右。变压器的作用是将一种电压等级的电能转换为另一种电压等级的电能。控制电机主要用于信号的变换与传递,在各种自动化控制系统中作为多种控制元件使用,如国防工业、数控机床、计算机外围设备、机器人和音像设备等均大量使用控制电机。

另一种分类方法是按照电机的结构或转速分类,可分为变压器和旋转电机。变压器为静止不旋转电机。

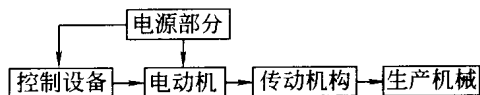
根据电源电流的不同旋转电机又分为直流电机和交流电机两大类,交流电机又分为同步电机和异步电机两类。

综合以上两种分类方法,可归纳如下。



0.1.2 电力拖动

用电动机作为原动机来拖动生产机械运行的系统,称为电力拖动系统。按照电动机的种类不同,电力拖动系统分为直流电力拖动系统和交流电力拖动系统两大类。电力拖动系统包括:电动机、传动机构、生产机械、控制设备和电源五个部分,它们之间的关系如下所示。



电动机把电能转换成机械能,通过传动机构把电动机的运动经过中间变速或变换运动方式后,再传给生产机械,驱动生产机械工作。生产机械是执行某一生产任务的机械设备,是电力拖动的对象。控制设备是由各种控制电机、电器、电子元件及控制计算机等组成,用以控制电动机的运动,从而对生产机械的运动实现自动控制。为了向电动机及电气控制设备供电,电源是不可缺少的部分。

由于电力拖动具有控制简单,调节性能好、损耗小、经济、能实现远距离控制和自动控制等一系列优点,因此大多数生产机械均采用电力拖动。

纵观电力拖动的发展过程,交、直流两种拖动方式并存于各个生产领域。在交流电出现以前,直流电力拖动是惟一的一种电力拖动方式。19世纪末期,由于研制出了经济实用的交流电动机,致使交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。但随着生产技术的发展,特别是精密机械加工与冶金工业生产过程的进步,对电力拖动在启动、制动、正反转以及调速精度与范围等静态特性和动态响应方面提出了新的、更高的要求。由于交流电力拖动比直流电力拖动在技术上难以实现这些要求,所以,20世纪以来,在可逆、可调速与高精度的拖动技术领域中,相当时期内几乎都是采用直流电力拖动,而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。

20世纪60年代以后,随着电力电子技术的发展,半导体变流技术的交流调速系统得以实现。尤其是20世纪70年代以来,大规模集成电路和计算机控制技术的发展,为交流电力拖动的广泛应用创造了有利条件。诸如交流电动机的串级调速、各种类型的变频调速、无换向器电动机调速等,使得交流电力拖动逐步具备了宽的调速范围、高的稳态精度、快的动态响应,以及在四象限做可逆运行等良好的技术性能,在调速性能方面完全可与直流电力拖动媲美。由于交流电力拖动具有调速性能优良、维修费用低等优点,现已广泛地应用于各个工业电气自动化领域中,并逐步取代直流电力拖动而成为电力拖动的主流。

0.2 电气控制

不同产品的生产工艺不同,需要生产机械具有不同的动作,这就要求对拖动机械设备的电动机进行控制。控制的方法很多,有电气控制、液压控制、气动控制和机械控制等,也可以多种控制方式配合使用,但以电气控制最为普遍。

电气控制方式由手动逐步向自动控制方向发展,手动控制是利用刀开关、按钮等手动控制电器,由操作人员操作实现电动机的启动、停止或正转、反转等动作;自动控制是利用自动装置来控制电动机,操作人员只是发出信号,监视生产机械的运行状况。

随着科学技术的进步,生产工艺越来越复杂,对电气控制的要求也越来越高,控制方法由手动控制向手动控制与自动控制并存,进而达到全自动控制。控制功能从简单到复杂,控制技术从单机到群控,推动了生产技术的不断更新和高速发展。各种控制装置像雨后春笋不断出现,从可编程控制器(PLC)、单片计算机、工业控制计算机到计算机群控系统,即直接数控(DNC)系统等,使自动控制系统的水平不断提高。

电气控制技术的发展是伴随着社会生产规模不断扩大,生产水平不断提高而不断发展

的,同时电气控制技术的发展又促进了社会生产力的进一步提高。尽管自动化水平越来越高,但就中国目前多数企业来讲,继电器控制仍然非常普遍,故本书将对这方面的内容向读者做介绍。

0.3 本课程的性质、任务和内容

本课程是工业自动化、电气自动化技术、供用电技术和机电一体化等专业的一门专业基础课。它是将“电机学”、“电力拖动”、“控制电机”和“工厂电气控制设备”等课程有机结合而成的一门课程,在整个专业的课程体系中起着重要的承上启下的作用。

本课程的任务是使学生掌握变压器、交直流电机及控制电机的基本结构和工作原理,以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电机选择及试验方法和电气控制技术,为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识,本书强化了交直流电动机和变压器的运行维护和故障处理等方面的内容,培养学生在电机及电气控制方面分析和解决问题的能力,为学生参加工作后能尽快适应岗位要求打下良好的基础。

《电机及电气控制》课程在学生专业素质结构中的主要作用表现在以下几个方面。

① 通过层次性循序渐进的学习过程,使学生克服对本课程知识的枯燥、相关概念难理解和畏惧感,激发学生的求知欲,培养学生敢于克服困难、终生探索的兴趣。

② 通过电机、拖动及控制方法的学习与技能的训练,让学生掌握电机的应用,了解电机控制的基本知识与发展,从而使学生在未来的工作实践中能够把握该项技术的发展和应用趋势,更好地服务其专业工作。

③ 通过该课程各项实践技能的训练,使学生经历基本的工程技术工作过程,学会使用相关先进技术工具从事生产实践,形成尊重科学、实事求是、与时俱进、服务未来的科学态度。

④ 通过对电机及控制方法的认识和深刻领会,以及教学实训过程中创新方法的训练,培养学生独立分析问题、解决问题和技术创新的能力,使学生养成良好的思维习惯,掌握基本的思考与设计的方法,在未来的工作中敢于创新、善于创新。

⑤ 通过对电机、控制自身的深入认识,以及对其发展历史、相关边缘学科的现状和水平的了解,使学生明确电气技术和其他专业技术领域的关系;使学生明白掌握好电机及电气控制技术可以更好地为其他专业技术服务,同样也可以借鉴其他学科专业的最新成果促进电机及控制技术的发展;也使學生更加关心相关技术的发展和动态,关注其给生活和生产带来的进步和问题,树立正确的科学观。

0.4 课程目标

《电机及电气控制》课程在于通过电机的理论、应用、电气控制方法、电气控制系统的构成和设计方法的学习,让学生成为一名电机及控制技术方面的应用型技术人才。本课程的总目标如下。

① 在学习电机及其控制技术的过程中培养学生独立思考、钻研探索的兴趣,在平时学习实践中不断获取成就感、满足感和兴奋感,并引发他们对后续课程中涉及的更先进的控制方法和系统的学习热情和渴望;

② 学习基本的电机基础理论和电气控制的基础知识, 具有收集和处理信息的能力、获取新知识的能力、综合运用所学知识分析和解决问题的能力, 形成良好的思维习惯、工作方法和科学态度, 在未来的岗位上有能力进一步学习新技术, 解决新问题;

③ 通过层次性的技能训练, 使学生具有初步的电机及其控制系统的维护、设计和推广能力, 具有运用和开发先进技术来解决电机及其控制系统的思想和潜力;

④ 培养学生既具有独立思考, 又具有团队精神, 掌握系统工程的方法, 善于团结协作, 共同完成技术问题;

⑤ 培养学生关注相关学科发展动态, 紧跟技术发展前沿, 终生适应科技发展水平, 树立创新意识, 培养创新精神。

0.5 本课程的特点及学习方法

《电机及电气控制》既是一门理论性很强的技术基础课, 又具有专业课的性质, 涉及的基础理论和实际知识面广, 是电学、磁学、动力学、热学等学科知识的综合, 所以理论性较强。而用理论分析各种电机及拖动的实际问题时, 必须结合电机的具体结构、采用工程观点和工程分析方法。基本理论够用为度, 重在培养学生应用能力和分析解决实际问题的能力, 因此实践性较强。鉴于以上原因, 为学好《电机及电气控制》这门课, 学习时应注意以下几点。

① 从实际应用出发, 抓主要矛盾, 有条件地略去一些次要因素, 找出问题的本质;

② 要抓住重点, 既应牢固掌握基本概念、基本原理、主要特性和典型的控制方法;

③ 要有良好的学习方法, 可运用对比或比较的学习方法, 找出各种电机的共性和特点, 以加深对各种电机及拖动系统性能和原理的理解;

④ 学习时要理论联系实际, 重视试验、实训和下厂实践;

⑤ 提倡多种教学形式, 如讲授、讨论、现场教学、实训和网上查询、搜集资料等教学形式, 以提高学生的学习兴趣, 及时了解相关技术的最新动态。

第1章 直流电机

本章主要介绍直流电机的基本结构及工作原理。在本章各节中讨论了直流电机的磁场分布、感应电动势的产生条件及性质，电磁转矩、电枢反应及其对电机的影响，电机的换向及改善换向的方法，从应用的角度较详细地分析了直流发电机的运行特性和直流电动机的工作特性。最后从实际应用出发，讲述了直流电动机的保养、直流电动机的运行与维护 and 直流电动机的故障检查方法。

1.1 直流电机的结构与工作原理

1.1.1 直流电机的主要结构

直流电机可作为电动机运行，也可作为发电机运行。电动机和发电机其结构基本相同，即都有可旋转部分和静止部分。可旋转部分称为转子，静止部分称为定子。

1.1.1.1 定子部分

定子主要由主磁极、机座、换向磁极、电刷装置和端盖组成。小型直流电机的结构见图 1.1，其剖面结构见图 1.2。

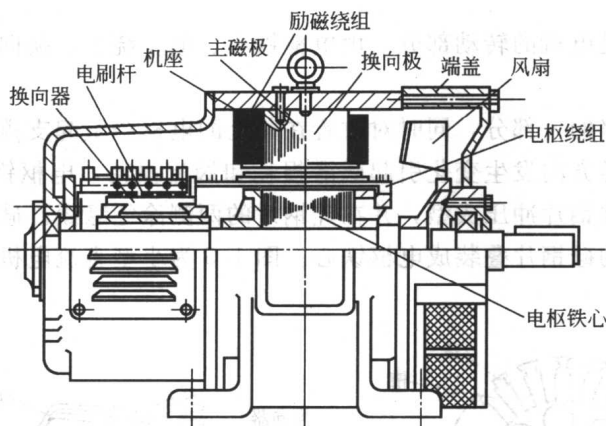


图 1.1 小型直流电机的结构

主磁极的作用是产生恒定、有一定空间分布形状的气隙磁通密度。主磁极由铁心和放置在铁心上的励磁绕组构成，主磁极铁心分成极身和极靴。极靴的作用是使气隙磁通密度的空间分布均匀并减小气隙磁阻，同时极靴对励磁绕组也起支撑作用。为减小涡流损耗，主磁极铁心是用 1.0~1.5mm 厚的低碳钢板冲成一定形状，用铆钉把冲片铆紧，然后固定在机座上。主磁极上的线圈是用来产生主磁通的，称为励磁

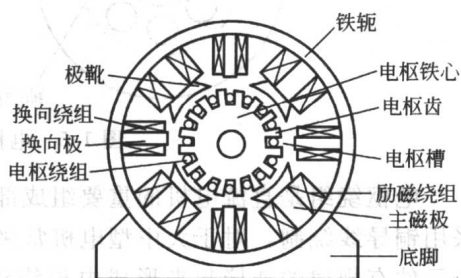


图 1.2 小型直流电机的剖面图

绕组。主磁极的结构见图 1.3。

直流电机的机座有两种形式，一种为整体机座，另一种为叠片机座。整体机座是用导磁效果较好的铸钢材料制成，能同时起到导磁和机械支撑作用。

换向极又叫附加极，其作用是改善直流电机的换向，一般电机容量超过 1kW 时均应安装换向极。

电刷装置是直流电机的重要组成部分。通过该装置把电枢中的电流与外部静止电路相连或把外部电源与电枢相连，并把电枢中的交变电流变成电刷上的直流或把外部电路中的直流变换为电枢中的交流。电刷的结构见图 1.4。

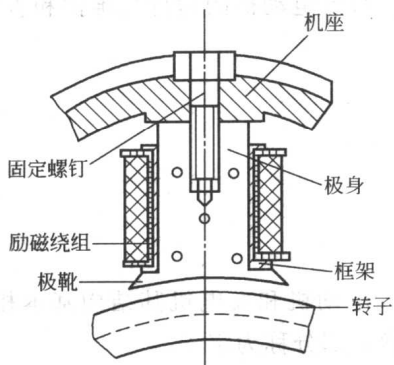


图 1.3 直流电机主磁极结构

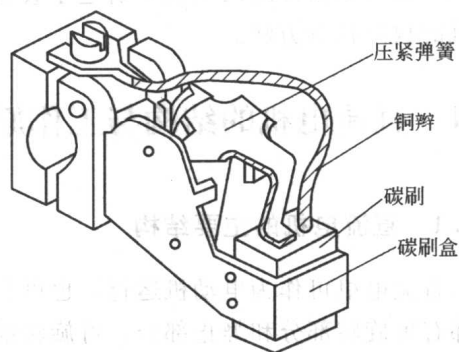


图 1.4 电刷的结构

端盖主要起支撑作用。

1.1.1.2 转子部分

直流电机的转子是电机的转动部分，由电枢铁心、电枢绕组、换向器、电机转轴和轴承等部分组成。

电枢铁心是主磁路的一部分，同时对放置在其上的电枢绕组起支撑作用。为减少当电机旋转时铁心中由于磁通方向发生变化引起磁滞损耗和涡流损耗，电枢铁心通常用 0.5mm 厚的低硅硅钢片或冷轧硅钢片冲压成型，并在硅钢片的两侧涂绝缘漆。硅钢片上冲出转子槽用来放置绕组，冲制好的硅钢片叠装成电枢铁心。图 1.5 为小型直流电机的电枢冲片形状和电枢铁心装配图。

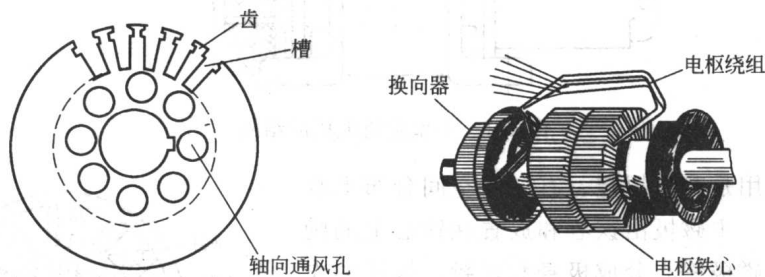


图 1.5 电枢冲片形状和电枢铁心装配图

电枢绕组是直流电机的重要组成部分。绕组由带绝缘的导体绕制而成，对于小型电机常采用铜导线绕制，对于大中型电机常采用成型线圈。在电机中每一个线圈称为一个元件，多个元件有规律的连接起来形成电枢绕组。绕制好的绕组或成型绕组放置在电枢铁心上的槽内，放置在铁心槽内的直线部分在电机运转时将产生感应电动势，称为元件的有效部分；在