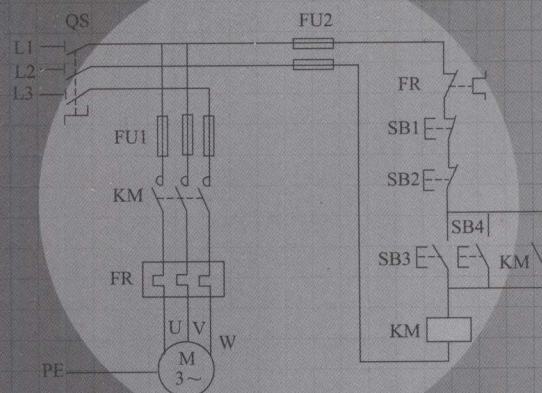
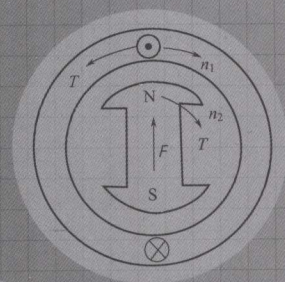
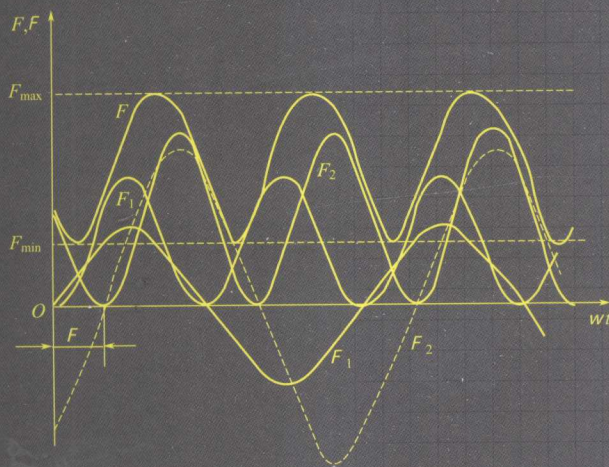


全国高职高专 **工作过程导向** 规划教材

电机与电气控制

赵旭升 陶英杰 主编

DIANJI YU DIANQI KONGZHI



化学工业出版社

全国高职高专 *工作过程导向* 规划教材

电机与电气控制

赵旭升 陶英杰 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与电气控制/赵旭升, 陶英杰主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 9

全国高职高专工作过程导向规划教材

ISBN 978-7-122-05701-3

I. 电… II. ①赵…②陶… 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. TM3
TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 117362 号

责任编辑: 卢小林 高墨荣
责任校对: 战河红

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17¼ 字数 454 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

“全国高职高专工作过程导向规划教材” 编写委员会

主任 俸培宗

副主任 (按姓名笔画排列)

于增信	么居标	付宏生	朱凤芝	刘 强
刘玉宾	刘京华	孙喜平	张 耀	张春芝
张雪莉	罗晓晔	周伟斌	周国庆	赵长明
胡兴盛	徐红升	黄 斌	彭林中	曾 鑫
解海滨				

委员 (按姓名笔画排列)

于增信	么居标	王 会	卞化梅	布 仁
付宏生	冯志新	兰俊平	吕江毅	朱 迅
朱凤芝	朱光衡	任春晖	刘 强	刘玉宾
刘京华	刘建伟	安永东	孙喜平	孙琴梅
杜 潜	李占锋	李全利	李慧敏	李德俊
何佳兵	何晓敏	张 彤	张 钧	张 耀
张小亮	张文兵	张红英	张春芝	张雪莉
张景黎	陈金霞	武孝平	罗晓晔	金英姬
周伟斌	周国庆	孟冬菊	赵长明	赵旭升
胡 健	胡兴盛	侯 勇	贺 红	俸培宗
徐红升	徐志军	凌桂琴	高 强	高吕和
高英敏	郭 凯	郭宏彦	陶英杰	黄 伟
黄 斌	常慧玲	彭林中	葛惠民	韩翠英
曾 鑫	路金星	鲍晓东	解金柱	解海滨
薄志霞				

随着市场经济体制的完善、科学技术的进步、产业结构的调整及劳动力市场的变化，职业教育面临着“以服务社会主义现代化建设为宗旨、培养数以亿计的高素质劳动者和数以千万计的高技能专门人才”的新任务。高等职业教育是全面推进素质教育，提高国民素质，增强综合国力的重要力量。2005年颁布的《国务院关于大力发展职业教育的决定》中国家进一步推行以就业为导向、继续实行多形式的人才培养工程和推进职业教育的体制改革与创新，提出“职业院校要根据市场和社会需要，不断更新教学内容，合力调整专业结构”。在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》（教高[2006]16号）文件中，教育部明确指出“课程建设与改革是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点。高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程，根据技术领域和职业岗位（群）的任职要求，参照相关的职业资格标准，改革课程体系和教学内容。”

新时期下我国经济体制转轨变型也带来对人才需求和人才观的新变化。大量新技术、新工艺、新材料和新方法的不断涌现使得社会对新型技能人才的需求更加迫切，而以传统学科式职业教学体系培养出来的人才无论从数量、结构和质量都不能很好满足经济建设和社会发展的需要，而满足社会的需要才是职业教育的最终目的。在新形势下，进行职业教育课程体系的教学改革是职业教育生存和发展的唯一出路。改革现行的培养体系、课程模式、教学内容、教材教法，培养造就技术素质优秀的劳动者，已成为高等职业学校教育改革的当务之急。

针对上述情况，高职院校应大力进行课程改革和建设，培养学生的综合职业能力和职业素养。课程设计以职业能力培养为重点，与企业合作进行基于工作过程的课程开发与设计，充分体现职业性、实践性和开放性的要求，重视学生在校学习与实际工作的一致性，有针对性地采取工学交替、任务驱动、项目导向、课堂与实习地点一体化等行动导向的教学模式。课程的教学内容来自于企业生产、经营、管理、服务的实际工作过程，并以实际应用的经验和策略等过程性知识为主。以具体化的工作项目（任务）或服务为载体，每个项目或任务都包括实践知识、理论知识、职业态度和情感等内容，是相对完整的一个系统。在课程的“项目”或“任务”设置上，充分考虑学生的个性发展，保留学生的自主选择空间，兼顾学生的职业发展。

为此，化学工业出版社在全国范围内组织了二十所职业院校机械、电气、汽车三个专业的百余位老师编写了这套“全国高职高专工作过程导向规划教材”，为推动我国高等职业院校教学改革做了有益的尝试。

在教材的编写思路上，我们积极配合新的课程教学模式、教学内容、教学方法的改革，结合学校和企业工业现场的设备，打破学科体系界限和传统教材以知识体系编写教材的思路，以知识的应用为目的，以工作过程为主线，融合了最新的技术和工艺知识，强调知识、能力、素质结构整体优化，强化设备安装调试、程序设计指导、现场设备维修、工程应用能力训练和技术综合一体化能力的培养。

在内容的选择上，突出了课程内容的职业指向性，淡化课程内容的宽泛性；突出了课程

内容的实践性，淡化课程内容的纯理论性；突出了课程内容的实用性，淡化课程内容的形式性；突出了课程内容的时代性和前瞻性，淡化课程内容的陈旧性。

在编写力量上，我们组织了一批高等职业院校一线的教学名师，他们大都在自己的教学岗位上积极探索和应用着新的教学理念和教学方法，其中一部分教师曾被派到德国进行双元制教学的学习，再把国外的教学模式与我国职业教育的现实进行有机结合，并把取得的经验和成果毫无保留地体现在教材编写中。

同时，我们还邀请企业人员参与教材编写，并与相关职业资格标准、行业规范相结合，充分体现了校企合作和工学结合，突出了创新性、先进性和实用性。

本套教材从编写内容和编写模式方面，都充分体现了全国高职院校教学改革成果，符合学生的认知规律，适应科技发展的需要，必将为职业院校培养高素质人才提供强有力的保证。

编委会

课程建设与改革是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点。为贯彻教育部教学改革的重要精神，同时为配合职业院校教学改革和教材建设，更好地为职业院校深化改革服务，化学工业出版社组织二十所职业院校的老师共同编写了这套“全国高职高专工作过程导向规划教材”。本套教材涉及机械、电气、汽车专业领域，其中电气专业包括：《自动化生产线安装、调试与维护》、《电机控制与维修》、《电子技术》、《电机与电气控制》、《变频器应用与维修》、《PLC技术应用——西门子S7-200》、《单片机系统设计与调试》、《工厂供配电技术》、《自动检测仪表使用与维护》、《集散控制系统应用》、《液压气动技术与应用》（非机械专业适用）共11种教材。

《电机与电气控制》一书突出学生在教学过程中的主导地位，紧密结合职业技能证书考核的要求，创设工作情境，加大实操比例，使学生在实践中掌握相关知识，培养、提高学生的职业能力。本书突出了实践在教学过程中的主体地位，由任务引领，以工作过程为导向，以活动为载体，按照职业岗位、工作任务和工作过程组织编写教材内容，突出了理论与实践相结合并更好地服务于实践的特点。给学生提供了一个真实的过程，通过反复训练，便于学生掌握规范系统的电机与电气控制方面的专业知识。

全书共分为7个工作情境，分别是：直流电机、变压器、异步电动机、特种电机、常用低压电器、基本控制环节、典型机床电气控制。每个学习情境设有若干任务，每个任务设有[任务描述]、[任务分析]、[知识准备]、[任务实施]和[知识拓展]。任务的选取从简单到复杂、由单一到全面，基本知识由浅入深贯穿全书。每个任务基于完整的工作过程，具有可操作性和可行性，内容安排合理。在教学过程中，建议不同院校根据本学校不同专业的设置和教学学时数的情况，选择适当的任务进行教学。

本书可作为高职高专、高等工科院校、成人教育等电气类、自动化类和机电类专业教材，不同专业在选用时可根据专业需求合理选择授课内容。参考总学时为60~120学时。可结合教材中的评价标准对学生的学习过程进行综合评定。

本书由赵旭升、陶英杰主编，南京化工职业技术学院赵旭升编写情境1~4，天津渤海职业技术学院陶英杰编写情境5、6及情境7中的任务7.3和任务7.4，天津渤海职业技术学院王玉忠编写情境7中的任务7.1、7.2。南京化学工业有限公司化工机械厂蒋智云高级工程师担任本书的主审，并提出了许多宝贵的意见。

本书在编写前进行了广泛的调研，在制定编写提纲的过程中听取了有关兄弟院校专业教师和学生的建议，在编写过程中得到了相关学校教师的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

本教材的教学课件及自我评估习题答案请到 <http://www.cipedu.com.cn> 下载！

学习情境 1 直流电机

学习目标	1	【任务分析】	11
任务 1.1 直流电机的基本特性	2	【知识准备】	11
【任务描述】	2	1. 直流电动机的启动与反转	11
【任务分析】	2	2. 他励直流电动机的调速	13
【知识准备】	2	3. 他励直流电动机的制动	15
1. 直流电机的工作原理及其结构	2	【任务实施】 他励直流电动机的启动、	
2. 直流电机的电动势、电磁转矩		反转和调速的操作	19
和功率	6	【知识拓展】 直流电动机的常见故障	
3. 他励直流电动机的机械特性	8	处理及其维护	20
【任务实施】 直流电机的运行		学习小结	21
准备	10	自我评估	21
任务 1.2 直流电动机的拖动及其		评价标准	22
实现	11		
【任务描述】	11		

学习情境 2 变压器

学习目标	23	【任务实施】 单相变压器极性、变比	
任务 2.1 单相变压器的认识与分析	24	和外特性的测定	40
【任务描述】	24	任务 2.2 三相变压器的分析及其	
【任务分析】	24	应用	41
【知识准备】	24	【任务描述】	41
1. 变压器的应用、变压器的		【任务分析】	41
分类及变压器的额定值	24	【知识准备】	41
2. 单相变压器基本结构及		1. 三相变压器的基本结构	41
工作原理	26	2. 三相变压器的联结与应用	45
3. 单相变压器的作用	28	【任务实施】 三相变压器联结	
4. 单相变压器的基本特性	31	组别判定	48
5. 其他用途变压器	33	【知识拓展】 小型变压器的常见	
6. 单相变压器的极性判定	38	故障及其维护	49

学习小结 50

自我评估 50

评价标准 51

学习情境 3 异步电动机

学习目标 52

任务 3.1 三相异步电动机的基本特性 53

【任务描述】 53

【任务分析】 53

【知识准备】 53

1. 三相异步电动机的工作原理 53

2. 三相异步电动机的结构与铭牌数据 55

3. 异步电动机的机械特性 59

【任务实施】 61

1. 三相异步电动机的拆装 61

2. 三相异步电动机定子绕组首尾端的判别 61

【知识拓展】 三相异步电动机定子绕组重绕 63

任务 3.2 三相异步电动机的拖动运行 66

【任务描述】 66

【任务分析】 67

【知识准备】 67

1. 三相异步电动机的启动 67

2. 异步电动机的调速 70

3. 三相异步电动机的制动 73

【任务实施】 三相异步电动机的启动和反转 76

【知识拓展】 三相异步电动机的维护和检修 77

任务 3.3 单相异步电动机 79

【任务描述】 79

【任务分析】 79

【知识准备】 79

1. 单相异步电动机的工作原理 79

2. 单相异步电动机的分类 80

【任务实施】 单相异步电动机的调速与反转操作 82

【知识拓展】 单相异步电动机的常见故障及其处理 84

学习小结 84

自我评估 84

评价标准 85

学习情境 4 特种电机

学习目标 86

【任务描述】 87

【任务分析】 87

【知识准备】 87

1. 伺服电动机 87

2. 测速发电机 91

3. 步进电动机 93

4. 直线电动机 96

【任务实施】 99

1. 伺服电动机的应用 99

2. 测速发电机的应用 100

3. 步进电动机的应用 100

4. 直线电动机的应用 101

【知识拓展】 直流无刷电动机 101

学习小结 103

自我评估 103

评价标准 103

学习情境 5 常用低压电器

学习目标	104
任务 5.1 认识常用低压电器	105
【任务描述】	105
【任务分析】	105
【知识准备】	105
1. 概述	105
2. 低压开关	113
3. 主令电器	119
4. 熔断器	122
5. 接触器	124
6. 继电器	128
【任务实施】 常用低压电器的识别、 测试、拆装	142
任务 5.2 三相笼型异步电动机 正转点动控制线路	

安装与调试	144
【任务描述】	144
【任务分析】	144
【知识准备】	144
1. 三相笼型异步电动机正转 点动控制线路的设计	144
2. 低压电器的选用	144
3. 三相异步电动机单向点动 控制线路工作原理	148
【任务实施】 三相异步电机点动控制 线路安装与调试	148
学习小结	152
自我评估	153
评价标准	154

学习情境 6 基本控制环节

学习目标	155
任务 6.1 三相异步电动机正反转 控制线路安装与调试	156
【任务描述】	156
【任务分析】	156
【知识准备】	156
1. 电气控制线路的设计及绘制 与国家标准	156
2. 三相异步电动机的直接启动 控制线路	162
【任务实施】 接触器联锁正反转控制 电路安装与调试	167
自我评估	170
任务 6.2 三相异步电动机限位 控制线路安装与调试	171
【任务描述】	171
【任务分析】	171
【知识准备】	171
1. 位置控制线路	171
2. 自动往返控制线路	172
【任务实施】 伸缩电动门控制	

电路安装与调试	173
任务 6.3 三相异步电动机降压启动 控制线路安装与调试	175
【任务描述】	175
【任务分析】	175
【知识准备】	176
1. 三相笼型异步电动机降压 启动控制	176
2. 三相绕线转子异步电动机 启动控制线路	179
【任务实施】 星形-三角形降压启动 控制电路的安装与 调试	182
自我评估	185
任务 6.4 三相异步电动机调速控 制线路安装与检修	185
【任务描述】	185
【任务分析】	185
【知识准备】	185
1. 三相异步电动机的变极 调速控制线路	185

2. 双速异步电动机控制线路的一般检修方法	189
【任务实施】 双速三相异步电动机的自动变速控制线路检修	191
自我评估	193
任务 6.5 三相异步电动机制动控制线路安装与检修	194
【任务描述】	194
【任务分析】	194
【知识准备】	194
1. 三相异步电动机反接制动控制线路	194
2. 异步电动机能耗制动控制线路	196
【任务实施】 三相异步电动机的反接制动线路的安装与调试	197
自我评估	198

任务 6.6 三相异步电动机的基本控制线路故障检修	198
【任务描述】	198
【任务分析】	199
【知识准备】	199
1. 电气基本控制线路的检修方法	199
2. 电气基本控制线路故障分析	202
3. 基本控制线路故障检修实例分析	209
【任务实施】 三相异步电动机基本控制线路故障排除训练	211
【知识拓展】 异步电动机软启动控制	212
学习小结	215
自我评估	215
评价标准	217

学习情境 7 典型机床电气控制

学习目标	218
任务 7.1 CA6140 型卧式车床电气控制电路安装与调试	219
【任务描述】	219
【任务分析】	219
【知识准备】 CA6140 型车床电气控制线路	219
【任务实施】 CA6140 型车床电气控制线路的安装与调试	222
【知识拓展】 CA6140 型车床电气控制线路的检修	223
任务 7.2 M7130 型磨床电气控制线路的检修	225
【任务描述】	225
【任务分析】	225
【知识准备】	225
1. 概述	225
2. M7130 型平面磨床电气控制线路分析	227

【任务实施】 M7130 型平面磨床电气控制线路的检修	228
任务 7.3 X62W 型万能铣床电气控制电路检修	230
【任务描述】	230
【任务分析】	230
【知识准备】	230
1. 概述	230
2. 电气控制线路分析	232
3. X62W 型万能铣床电气故障与维修	239
【任务实施】 X62W 型万能铣床故障的分析与排除	241
任务 7.4 T68 型镗床电气控制电路检修	248
【任务描述】	248
【任务分析】	248
【知识准备】	248
1. 概述	248
2. T68 型卧式镗床的电气	

控制线路分析	250	学习小结	260
3. T68 型镗床电气系统故障		自我评估	261
诊断与维护	253	评价标准	262
【任务实施】 T68 型镗床故障的			
分析与排除	255		

参考文献	263
-------------------	-----

学习情境 1

直流电机

①



学习目标

能力目标：

1. 能拆装小型直流电机，能分析其工作原理。
2. 能分析直流电机的常见故障并能进行简单维护。
3. 能根据实际情况运用直流电机启动、调速、反转、制动的
方法。

知识目标：

1. 掌握直流电机的工作原理、结构。
2. 能分析直流电机转速、电磁转矩的变化与各参数的关系。
3. 会利用直流电机的工作特性和机械特性分析实际问题。
4. 熟悉直流电机启动、调速、反转和制动方法。

任务 1.1 直流电机的基本特性

【任务描述】

(1) 将机械能转变为直流电能的电机称为直流发电机，直流发电机可作为各种直流电源，如直流电机电源、化学工业中电解电镀所需的低电压大电流的直流电源、直流电焊机电源等；将直流电能转变为机械能的电机称为直流电机，直流电机具有宽广的调速范围、平滑的调速特性、较高的过载能力、较大的启动和制动转矩等特点，广泛应用于对启动和调速要求较高的生产机械。需掌握其工作原理及其结构。

(2) 直流电动机作为一拖动机械，需了解直流电机的机械特性。应能对直流电机出现的常见故障进行分析，并能进行维护。

【任务分析】

- (1) 以工厂使用的典型直流电机为载体，掌握直流电机的工作原理、结构。
- (2) 掌握直流电机机械特性。
- (3) 对直流电机的简单故障能进行维护。

【知识准备】

1. 直流电机的工作原理及其结构

(1) 直流电机的基本工作原理

直流电机可分为直流电动机和直流发电机两大类，其工作原理可通过模型加以说明。

1) 直流发电电动机的工作原理

图 1-1 所示为直流发电机的物理模型。在图 1-1 中 N、S 为磁场，磁极固定不动，称为直流发电机的定子，其可以是电磁铁，也可以是永久磁铁。abcd 是固定在可旋转导磁圆柱体上的线圈，线圈连同导磁圆柱体是直流电机可转动部分，称为发电机转子（又称电枢）。线圈的首末端 a、d 连接到两个相互绝缘并可以随线圈一同转动的导电片上，该导电片称为换向片。转子线圈与外电路的连接是通过放置在换向片上固定不动的电刷进行的。在定子与转子间有间隙存在，称为空气隙，简称气隙。

在直流发电机的模型中，当有原动机拖动转子以一定的转速逆时针旋转时，根据电磁感应定律可知，在线圈 abcd 中将产生感应电动势。

导体中感应电动势的方向可用右手定则确定。在逆时针旋转情况下，如图 1-1(a) 所示导体 ab 在 N 极下，感应电动势的极性为 a 点高电位，b 点低电位；导体 cd 在 S 极下，感应电动势的极性为 c 点高电位，d 点低电位，在此状态下电刷 A 的极性为正，电刷 B 的极性为负。当线圈旋转 180° 后，如图 1-1(b) 所示，导体 ab 在 S 极下，导体 cd 则在 N 极下，此时导体中的感应电动势方向已改变，但由于原来与电刷 A 接触的换向片已经与电刷 B 接触，而与电刷 B 接触的换向片换到与电刷 A 接触，因此电刷 A 的极性仍为正，电刷 B 的极性仍为负。

从图 1-1 中可以看出，和电刷 A 接触的导体总是位于 N 极下，和电刷 B 接触的导体总是位于 S 极下，因此电刷 A 的极性总为正，而电刷 B 的极性总为负，在电刷两端可获得直流电动势。

实际直流发电机的电枢是根据实际应用情况需要有多多个线圈。线圈分布于电枢铁芯表面

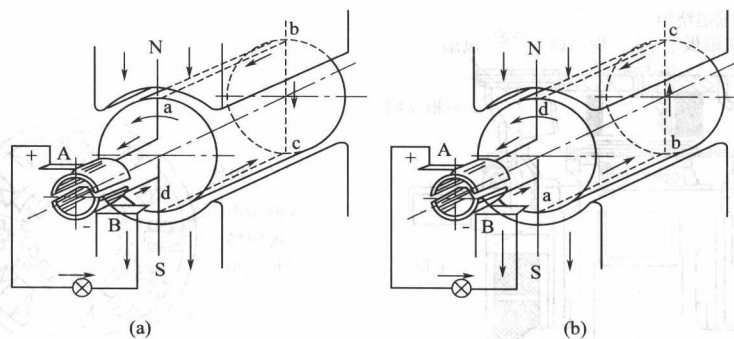


图 1-1 直流发电机模型

的不同位置上, 并按照一定的规定连接起来, 构成发电机的电枢绕组。磁极也是根据需要 N、S 极交替放置多处。

2) 直流电动机的工作原理

图 1-2 所示为直流电动机的物理模型。把电刷 A、B 接到一直流电源上, 电刷 A 接电源的正极, 电刷 B 接电源的负极, 根据电枢线圈中将有电流流过。

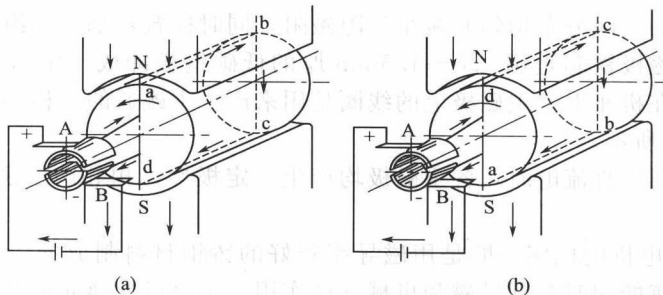


图 1-2 直流电动机的模型

导体受力方向由左手定则确定。在图 1-2(a) 的情况下, 位于 N 极下的导体 ab 受力方向为从右向左, 而位于 S 极下的导体 cd 受力方向为从左到右。导体所受电磁力对轴产生一转矩, 这种由于电磁作用产生的转矩称为电磁转矩, 电磁转矩的方向为逆时针。当电磁转矩大于阻力矩时, 线圈按逆时针方向变为从右向左; 而原位于 N 极下的导体 ab 转到 S 极下, 导体 ab 受力方向变为从左向右, 该转矩的方向仍为逆时针方向, 线圈在此转矩作用下继续按逆时针方向旋转。这样虽然导体中流通的电流为交变的, 但 N 极下的导体受力方向和 S 极下导体受力的方向并未发生变化, 电动机在此方向不变的转矩作用下转动。

同直流发电机相同, 实际的直流电动机的电枢并非单一线圈, 磁极也并非一对。

任何一台电机既可作发电机运行, 也可作电动机运行, 这一性质称为电机的可逆原理。电机的可逆原理不仅适用于直流电机, 也适用于交流电机。电机的实际运行方式由外施条件决定: 如果电机转子输入机械能, 而电枢绕组输出电能, 电机作为发电机运行; 如果在电枢绕组中输入电能, 转子输出机械能, 则电机作为电动机运行。

(2) 直流电机的结构

直流电动机和直流发电机的结构基本是相同的, 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, 在定子和转子之间存在着空气隙。小型直流电动机结构如图 1-3 所示, 其剖面结构如图 1-4 所示。

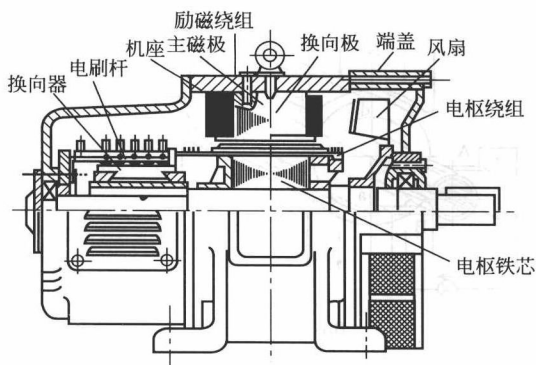


图 1-3 小型直流电动机的结构

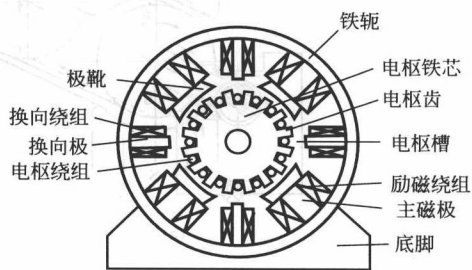


图 1-4 小型直流电动机的剖面结构

1) 定子部分

定子的作用，在电磁方面是产生磁场和构成磁路，在机械方面是整个电机的支撑，定子由磁极、机座、换向极、电刷装置、端盖和轴承组成。

① 主磁极。主磁极的作用是产生恒定、有一定的空间分布形状的气隙磁通密度。主磁极由主磁极铁芯和放置在铁芯上的励磁绕组构成。主磁极铁芯分成极身和极靴，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，主磁极铁芯是用 $1.0 \sim 1.5\text{mm}$ 厚的低碳钢板冲成一定形状，用铆钉把冲片铆紧，然后再固定在机座上。主磁极上的线圈是用来产生主磁通的，称为励磁绕组。主磁极的结构如图 1-5(a) 所示。

当给励磁绕组通入直流电时，各主磁极均产生一定极性，相邻两主磁极的极性是 N、S 交替出现的。

② 机座。直流电机的机座一般是用磁导率较好的铸钢材料制成的，具有良好的导磁性能和机械强度，机座能同时起到导磁和机械支撑作用。主磁极、换向极及端盖均固定在机座上，机座起支撑作用。

③ 换向极。换向极又称为附加极，其结构如图 1-5(b) 所示，换向极安装在相邻的两主磁极之间，用螺钉固定在机座上，用来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。

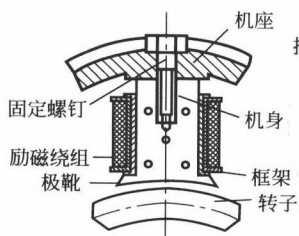
换向极是由换向极铁芯和换向极线圈组成。换向极铁芯可根据换向要求用整块钢制成，也可用厚 $1 \sim 1.5\text{mm}$ 厚钢板或硅钢片叠成，所有的换向极线圈串联后称换向绕组，换向绕组与电枢绕组串联。换向极数目一般与主极数目相同，但在功率很小的直流电机中，只装主极数一半的换向极或不装换向极。换向极极性根据换向要求确定。

④ 电刷。电刷装置的作用是通过电刷和旋转的换向器表面的滑动接触，把转动的电枢绕组与外电路连接起来。电刷装置一般由电刷、刷握、刷杆、刷杆座和汇流条组成，电刷的结构如图 1-6 所示。电刷是用石墨制成的导电块，放在刷握内，用弹簧以一定的压力将它压在换向器的表面上。刷握用螺钉夹紧在刷杆上，刷杆装在一个可以转动的刷杆座上，成为一个整体部件。刷杆与刷杆座之间是绝缘的，以免正、负电刷短路。

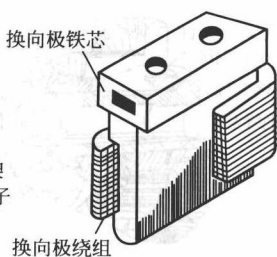
⑤ 端盖。电机中的端盖主要起支撑作用。端盖固定在机座上，其上放置轴承支撑直流电机的转轴，使直流电机能够旋转。

2) 转子部分

转子又称电枢，是电机的转动部分，其作用是感应电势和产生电磁转矩，从而实现能量的转换，转子由电枢铁芯、换向器、电机转轴、电枢绕组、轴承和风扇组成。



(a) 主磁极结构



(b) 换向极结构

图 1-5 直流电动机主磁极和换向极结构

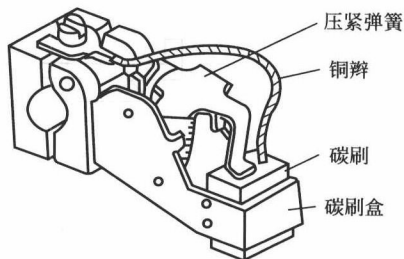


图 1-6 电刷的结构

① 电枢铁芯。电枢铁芯的作用是通过磁通（电机磁路的一部分）和嵌放电枢绕组。为减小当电机旋转时铁芯中的磁通方向发生变化引起的磁滞损耗和涡流损耗，电枢铁芯用 0.35mm 或 0.5mm 厚的硅钢片叠成，叠片两面涂有绝缘漆。铁芯叠片沿轴向叠装，中小型电机的电枢铁芯通常直接压装在轴上；在大型电机中，由于转子直径较大，电枢铁芯压装在套于轴上的转子支架上。

电枢铁芯冲片上冲有放置电枢绕组的电枢槽、轴孔和通风孔。图 1-7 所示为小型直流电机的电枢冲片形状和电枢铁芯装配图。

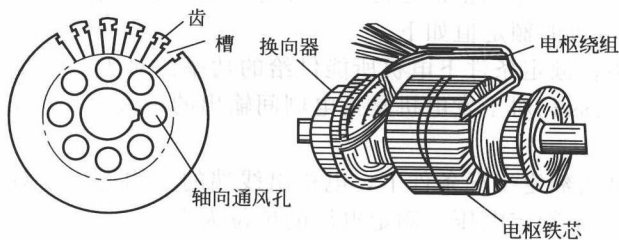


图 1-7 电枢冲片和电枢铁芯装配图

② 电枢绕组。电枢绕组用圆铜线或矩形截面铜导线制成，按一定规律安放在电枢铁芯槽内，并与换向器相连接，在直流电机中，除导线本身包有绝缘外，上下层线圈间及线圈和铁芯之间都必须妥善绝缘。为了防止线圈在离心力作用下甩出，在槽口处用槽楔将线圈边封在槽内，线圈伸出槽外的端接部分，用热固性无纬玻璃丝带或非磁性钢丝扎紧。槽楔可用竹片或酚醛玻璃布板制成。电枢绕组是电机的核心部件，电机工作是在其中产生感应电动势和电磁转矩，实现机电能量的转换。

③ 换向器。换向器又称为整流子，其与电刷一起，起转换电动势和电流的作用。换向器结构如图 1-8 所示。换向器是由换向片组合而成，是直流电机的关键部件，也是最薄弱的部分。

换向器采用导电性能好、硬度大、耐磨性能好的紫铜或铜合金制成。换向片的底部做成燕尾形状，换向片的燕尾部分嵌在含有云母绝缘的 V 形钢环内，拼成圆筒形套入钢套筒上，相邻的两换向片间以 0.6~1.2mm 的云母片作为绝缘，最后用螺旋压圈压紧。换向器固定在转轴的一端。换向片靠近电枢绕组一段的部分与绕组引出线相焊接。

④ 转轴。转轴起转子旋转的支撑作用，需有一定的机械强度和刚度，一般用圆钢加工而成。

⑤ 空气隙。主极极靴和电枢间的间隙称为空气隙。气隙既保证了电机的安全运行，又是磁路的重要组成部分。由于空气磁阻远大于铁磁物质的磁阻，而电机的能量转换是依靠气