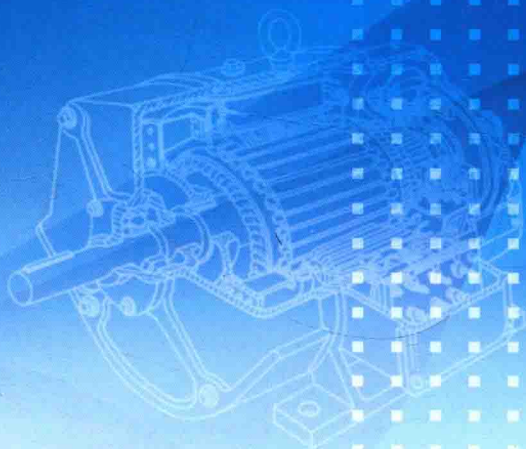


21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

王艳秋 刘寅生 主编

电机及电力拖动 基础

DIANJI JI DIANLI TUODONG
JICHU



化学工业出版社

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

王艳秋 刘寅生 主编

电机及电力拖动 基础



化学工业出版社

·北京·

ISBN 978-7-122-15000-0

全书共分六章，分别介绍了直流电机的基本工作原理、直流电机的电力拖动、变压器、三相异步电动机的基本工作原理、三相异步电动机的电力拖动、电动机容量的选择。

本书可作为普通高等院校的自动化、电气、电力、机电一体化等电类专业的教材，也可供企业有关工程技术人员参考。

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

主编 王艳秋 刘寅生

电机及电力拖动基础
王艳秋 刘寅生 主编
化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电机及电力拖动基础/王艳秋, 刘寅生主编. —北京: 化学工业出版社, 2017.9

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

ISBN 978-7-122-30201-4

I. ①电… II. ①王…②刘… III. ①电机-高等学校-教材②电力传动-高等学校-教材 IV. ①TM3
②TM921

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 164574 号

责任编辑: 潘新文
责任校对: 边涛

装帧设计: 关飞

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)

印装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 436 千字 2017 年 9 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: 39.80 元

版权所有 违者必究

前 言

电机及拖动基础是普通高等院校电气自动化、电力工程、机电一体化等专业的专业基础课，它是将“电机学”与“电力拖动”等课程有机结合而成的，属于一门理论性很强的技术基础课，涉及的基础理论很广，综合了电学、磁学、动力学、热力学等多学科的理论知识，又与生产实际的联系颇为紧密，因此在使学生掌握课程中的基本理论的同时，加强其实践能力的培养，也是本课程的任务之一。本书的编写正是基于这种指导思想，笔者结合多年的教学和实践经验，精心编写而成这本教材。

全书主要内容包括直流电机的基本工作原理、直流电机的电力拖动、变压器、三相异步电动机的基本工作原理、三相异步电动机的电力拖动和电动机容量的选择等，本书编写时注重体现如下特点。

① 始终遵循高等教育人才培养目标及培养规格的要求，贯彻理论部分以“必需、够用”为度，精选必需的理论知识。

② 每一章前配有“学习导航”“学习目标”（包括“知识目标”和“能力目标”）的内容，使学生们明确本章的学习任务和知识脉络。

③ 每章末附有本章小结和本章习题。本章小结对本章内容进行了高度的概括和总结，本章习题类型多样，包括填空题、判断题、单项选择题、多项选择题、简答题及计算题，书后还给出了部分习题的参考答案。通过各种类型的习题练习，学生可以加深对课堂所授理论知识的消化和理解。

④ 书中符号均采用国家最新标准。

本书还配有辅助教材《电机及电力拖动题库及详解》（王艳秋教授主编，化学工业出版社出版），并配有全部习题的详尽解答。

本书由王艳秋、刘寅生主编。本书的绪论及第二、第五章由沈阳工学院王艳秋教授编写；第一、第六章由沈阳理工大学刘寅生编写；第三章由辽宁科技学院周璐编写，第四章由沈阳工学院孙昕编写；全书由王艳秋统稿。

由于经验不足，编写水平和业务水平有限，书中难免有不当之处，恳请各院校师生和广大读者批评指正。

编者

2017年4月

常用符号

- a ——直流绕组并联支路对数；交流绕组并联支路数
- B ——磁通密度（磁感应密度）
- B_a ——直流机电枢磁动势产生的气隙磁通密度
- B_{av} ——平均磁通密度
- B_g ——气隙磁通密度
- C ——电容；热容量
- C_e ——电动势常数
- C_T ——电磁转矩常数
- D ——直径；调速范围
- E ——感应电动势
- E_a ——直流机电枢电动势；导体电动势
- E_N ——额定电动势
- E_σ ——漏电动势
- E_1 ——变压器一次侧电动势；异步电机定子绕组感应电动势
- E_2 ——变压器二次侧电动势；异步电机转子绕组感应电动势
- E_{2s} ——异步电机转子旋转时的电动势
- E_0 ——同步电机励磁磁场感应电动势
- F ——磁通势
- F_a ——电枢磁通势
- F_{ad} ——直轴电枢反应磁通势
- F_{aq} ——交轴电枢反应磁通势
- F_m ——单相磁通势幅值
- F_0 ——空载磁通势
- F_1 ——变压器一次侧磁通势；异步电机定子磁通势
- F_2 ——变压器二次侧磁通势；异步电机转子磁通势
- F ——力
- f_2 ——异步电机转子频率
- G ——重力
- GD^2 ——飞轮力矩
- GD_{meq}^2 ——等效飞轮力矩
- f_N ——额定频率

H ——磁场强度
 H_{δ} ——气隙磁场强度
 I ——电流
 I_a ——电枢电流
 I_f ——励磁电流
 I_k ——堵转电流
 I_N ——额定电流
 I_0 ——空载电流
 I_1 ——变压器一次侧电流；异步电动机定子电流
 I_2 ——变压器二次侧电流；异步电动机转子电流
 i_a ——导体电流
 J ——转动惯量
 J_L ——生产机械的转动惯量
 J_R ——电动机转子转动惯量
 j ——减速比
 K ——直流电机换向片数
 k ——变压器的变比
 k_e ——异步电机定、转子电动势比
 k_i ——异步电机定、转子电流比
 k_q ——分布系数
 k_w ——绕组系数
 k_y ——短距系数
 L ——电感，自感
 L_{σ} ——漏电感
 l ——长度；导体长度
 m ——相数；质量；串电阻启动级数
 N ——匝数；直流电机总导体数
 N_f ——励磁绕组匝数
 N_1 ——变压器一次侧绕组匝数；异步电动机定子绕组匝数
 N_2 ——变压器二次侧绕组匝数；异步电动机转子绕组匝数
 n ——转速
 n_N ——额定转速
 n_0 ——直流电动机理想空载转速
 n_1 ——交流电机同步转速
 P_L ——负载功率
 P_m ——电磁功率
 P_{Ω} ——异步电机总机械功率
 P_N ——额定功率
 P_1 ——输入功率
 P_2 ——输出功率

- p ——极对数
 P_{Cu} ——铜损耗
 P_{Fe} ——铁损耗
 P_f ——励磁损耗
 P_k ——短路损耗
 P_m ——机械损耗
 P_s ——附加损耗
 P_0 ——空载损耗
 Q ——无功功率；热量；流量
 R ——电阻；半径
 R_a ——电枢电阻
 R_c ——直流电动机外串电阻
 R_L ——负载电阻
 R_{st} ——启动电阻
 r_m ——变压器，异步电动机励磁电阻
 r_k ——变压器，异步电动机短路电阻
 r_1 ——变压器一次侧电阻；异步电机定子电阻
 r_2 ——变压器二次侧电阻；异步电机转子电阻
 S ——元件数；视在功率
 s ——转差率
 s_N ——额定转差率
 s_m ——临界转差率
 T ——转矩；电磁转矩；时间常数
 T_H ——电动机发热时间常数
 T_k ——堵转转矩
 T_L ——负载转矩
 T_M ——机电时间常数
 T_{max} ——最大转矩
 T_N ——额定转矩
 T_0 ——空载转矩
 T_1 ——输入转矩
 T_2 ——输出转矩
 U ——电压
 U_c ——控制电压
 U_f ——励磁电压
 U_k ——短路电压
 U_{kN} ——额定短路电压
 U_N ——额定电压
 U_0 ——直流发电机空载电压
 U_1 ——变压器一次侧电压；异步电机定子电压

- U_2 ——变压器二次侧电压；异步电机转子电压
 U_{20} ——变压器二次侧开路电压；绕线转子异步电动机转子开路电压
 v ——速度；导体切割磁场的线速度
 X_1 ——变压器一次侧漏电抗；异步电机定子漏电抗
 X_2 ——变压器二次侧漏电抗；异步电机转子漏电抗
 X_{2s} ——异步电机转子旋转时的漏电抗
 X_δ ——漏电抗
 y ——节距；合成节距
 y_k ——换向节距
 y_1 ——第一节距
 y_2 ——第二节距
 Z ——阻抗；槽数
 Z_k ——短路阻抗
 Z_m ——励磁阻抗
 Z_0 ——空载阻抗
 Z_1 ——变压器一次侧漏阻抗；异步电机定子漏阻抗
 Z_2 ——变压器二次侧漏阻抗；异步电机转子漏阻抗
 Z_L ——负载阻抗
 α ——空间电角度；槽矩角
 β ——直流电机机械特性斜率；短矩角；变压器负载系数
 δ ——气隙长度；静差率
 η ——效率
 θ ——转角；温度
 λ_M ——过载倍数
 μ ——磁导率
 μ_δ ——气隙磁导率
 γ ——谐波次数；异步电机能耗制动时的转差率
 ρ ——回转半径
 τ ——极距；温升
 Φ ——磁通；主磁通
 Φ_m ——变压器、异步电机主磁通幅值
 Φ_δ ——漏磁通
 φ ——功率因数角
 ψ ——磁链；内功率因数角
 Ω ——机械角速度
 Ω_1 ——同步角速度
 ω ——电角速度；角频率

目 录

绪论	1
第一章 直流电机的工作原理	4
第一节 直流电机的工作原理及基本结构	5
第二节 直流电机的电枢绕组	10
第三节 直流电机的磁场	15
第四节 直流电机电枢绕组的感应电动势与电磁转矩	20
第五节 直流发电机	22
第六节 直流电动机	27
本章小结	31
本章习题	32
第二章 直流电机的电力拖动	37
第一节 他励直流电动机的机械特性	38
第二节 生产机械的负载转矩特性	47
第三节 电力拖动系统的运动方程式	49
第四节 他励直流电动机的启动和制动	52
第五节 他励直流电动机的调速	67
本章小结	75
本章习题	76
第三章 变压器	83
第一节 变压器的基本原理、用途及结构	84
第二节 变压器的空载运行	89
第三节 变压器的负载运行	94
第四节 变压器参数测定	101
第五节 变压器的运行特性	104
第六节 三相变压器	107
第七节 特殊变压器	113
本章小结	117

本章习题	118
第四章 三相异步电动机的基本工作原理	125
第一节 异步电动机的主要用途与分类	126
第二节 三相异步电动机的基本工作原理及结构	126
第三节 三相异步电动机的定子绕组	132
第四节 三相异步电动机定子绕组的电动势	136
第五节 三相异步电动机的空载运行	141
第六节 三相异步电动机的负载运行	142
第七节 异步电动机的等值电路	145
第八节 三相异步电动机的功率和电磁转矩	150
第九节 三相异步电动机的工作特性	153
第十节 三相异步电动机的参数测定	155
本章小结	158
本章习题	159
第五章 三相异步电动机的电力拖动	165
第一节 三相异步电动机的机械特性	166
第二节 笼型异步电动机的启动	176
第三节 绕线转子异步电动机的启动	185
第四节 三相异步电动机的调速	190
第五节 三相异步电动机的各种运行状态	209
第六节 单相异步电动机	220
本章小结	224
本章习题	225
第六章 电动机容量的选择	234
第一节 电动机选择的一般概念	235
第二节 电动机的发热与冷却	237
第三节 电动机的工作方式分类	241
第四节 连续工作制电动机容量的选择	244
第五节 短时及断续周期工作制电动机容量的选择	253
第六节 鼠笼式电动机允许小时合闸次数	258
本章小结	259
本章习题	261
部分习题参考答案	267
参考文献	273

绪 论

一、国内外电机制造业的发展历史

1802年奥斯特发现了电流在磁场中受力的物理现象，随后人们相继总结出了磁路定律及全电流定律，并在此基础上研制成直流电动机的模型。1834年雅可比研制出第一台直流电动机，并用它拖动电动轮船，轮船在涅瓦河上运载11人，以4km/h的速度顺流而下和逆流而上，获得了成功，这是人类制成的最早的可实际应用的电动机。由于当时还没有直流发电机，为这个直流电动机供电的是化学电池。由于化学电池价格昂贵，因此在很长一段时间内限制了直流电动机的大量应用。

1831年法拉第发现了电磁感应定律，为生产制造各种发电机提供了理论依据。随后人们制成了直流发电机，代替价格昂贵的化学电池为直流电动机提供电能。在电机及电力拖动的发展历史上，首先得到广泛应用的是直流电机，直到19世纪70年代，随着电动机应用范围的扩大，用电量不断增加，直流电压无法得到进一步提高，在远距离输电方面遇到了困难，人们才开始认识到交流电的优越性。

进入20世纪以后，人们在降低电机成本，减小电机尺寸、提高电机性能、选用新型电磁材料、改进电机生产工艺等方面进行了大量工作，并不断地更新电机的绝缘材料，同时选用更好的导电和导磁材料，使电机的电磁性能不断提高。从下表所列资料可以大致看出，随着时代的发展，电机尺寸总体上在逐渐减小，重量在逐渐减轻。

年份	容量/(kW)	转速/(r/min)	外径/mm	总长/mm	总重/kg
1893	3.7	1500	450	600	150
1903	3.7	1500	430	550	105
1913	4.0	1500	390	500	94
1926	4.0	1500	350	470	65
1937	4.0	1500	290	400	56

我国的电机制造业是在新中国成立以后才快速发展起来的。新中国成立前，由于我国长期处于半封建半殖民地的地位，工业基础十分薄弱，工厂设备简陋，仅能制造200kW以下的直流发电机、135kW以下的直流电动机、2000kV·A的变压器。新中国成立后，我国的电机制造业得到了迅速的发展，20世纪50年代末生产出5万千瓦汽轮发电机、7.25万千瓦的水轮发电机和12万千伏安的变压器；1958年浙江大学与上海电机厂等合作研制出了世界上第一台1.2万千瓦双水内冷汽轮发电机。20世纪70年代我国已经能生产出单机容量为30万千瓦的汽轮发电机和30.8万千瓦的水轮发电机。目前我国已能制造出单机容量为60

万千瓦的发电机，变压器的单机容量也达 55 万千伏安，电压等级为 330~500kV。目前美国、俄罗斯、瑞士等国已经制造出 115 万~123 万千瓦的汽轮发电机，美国制出了 70 万千瓦轮发电机。与国际先进水平相比，我国的电机制造水平尚有一定的差距。

二、电机拖动的发展历史

人们很早就使用风力、水力等原动力来推动生产机械，此后又发明了蒸汽机、内燃机等作为生产机械的原动机。随着各类电机的制造成功，电机拖动技术快速发展起来。由于电能的传输和分配十分方便，控制十分灵活，电动机效率又比较高，而且运行经济，电力拖动很快成为拖动各种生产机械的主要方式。现在各行各业的多数生产机械基本都采用电力拖动。

20 世纪 20 年代以前属于电力拖动技术发展的初级阶段，这一时期采用的是“成组传动”。所谓“成组传动”，就是由一台电动机来拖动多台生产机械，电动机离生产机械较远，通过天轴和皮带拖动生产机械，这种拖动方式传动损耗大，生产效率低，控制不灵活，一台生产机械出现故障，很可能引起多台生产机械停机，而且车间里皮带很多，生产环境、卫生条件较差，易出人身事故，也无法满足生产机械的启动制动、正反转及其他调速要求，是一种陈旧落后的拖动方式。进入 20 世纪 30 年代，这种拖动方式就逐渐被淘汰了，取而代之的是“单电动机拖动”和“多电动机拖动”方式。“单电动机拖动”方式就是一台生产机械单独用一台电动机拖动，这样车间里可以省去大量的皮带、天轴和一些机械传动机构。电能被直接用电缆送到装在每台生产机械上的电动机，每台电动机单独控制，可以满足生产机械的各种调速要求。“多电动机拖动”方式是一台生产机械上有几个工作机构，每个工作机构单独由电动机拖动，例如车间里的吊车都有大桥、小车和吊钩三个工作机构，它们分别由三台电动机拖动，这可使生产机械结构大为简化，分别控制也十分方便，更加灵活。

如前所述，在电力拖动的发展史上，最早出现的是直流电机拖动，此后随着生产的发展，由于直流电机电压无法得到很大提高，电网无法大规模扩大，其应用范围越来越受到限制。19 世纪末，三相交流电的出现使得三相发电、输变电、用电规模迅速扩大，极大地促进了工业的发展。特别是三相异步电动机的大量生产，使得生产机械的电力拖动领域迅速扩大，在此后几十年里发展很快。

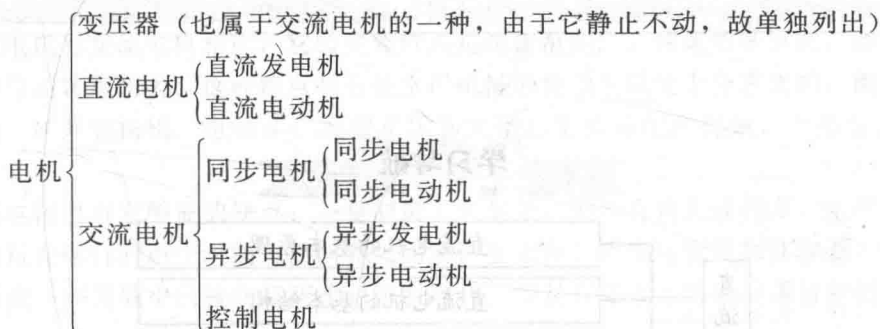
纵观电力拖动的发展过程，交、直流两种拖动方式并存于各个生产领域，由于各个时期科学技术的发展水平不同，因此他们所处的地位也有所不同，随着工业技术的发展，他们在相互竞争、相互促进中发生着深刻的变化。在交流电出现以前，直流电力拖动是唯一的一种电力拖动方式。19 世纪末期，由于研制出了经济实用的交流电动机，交流电力拖动在工业中得到了广泛的应用。但是随着生产技术的发展，特别是精密机械加工与冶金工业生产技术的进步，对电力拖动在启动、制动、正反转以及调速精度与范围等方面提出了新的、更高的要求，由于交流电力拖动在技术上较难实现这种要求，所以 20 世纪以来，在可逆、可调速与高精度的拖动技术领域几乎都是采用直流电力拖动，而交流电力拖动则主要用于恒转速系统。

虽然直流电动机具有调速性能优异这一突出优点，但是由于它具有电刷与换向器，因此它的故障率较高，使用环境也受到限制（如不能在有易燃易爆气体及尘埃多的场合使用），其电压等级、额定转速、单机容量的发展也受到限制。20 世纪 60 年代以后，随着电力电子技术的发展，交流调速技术不断进步和完善，在调速性能方面由落后状态直到可与直流调速媲美。今天，交流调速在很多场合已取代直流调速。在不远的将来，交流调速将完全取代直

流调速，可以说这是一种必然的发展趋势。

三、电机及电力拖动系统分类

电机是利用电磁感应原理工作的机械，其应用广泛，种类繁多，性能各异，分类方法也很多。主要有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；另一种是按照电机的结构或转速分类，可分为变压器和旋转电机。根据电源的不同，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，可归纳如下：



在现代工业生产过程中，为了实现各种生产工艺过程，需要使用各种各样的生产机械。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。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。

四、本课程的性质、任务及学习方法

本课程是工业电气自动化、电气技术、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”以及“控制电机”等课程有机结合而成的一门课。

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、工作原理以及电力拖动系统的运行性能、分析计算、电动机容量的选择，为学习后续课程和今后的工作准备必要的基础知识，同时也培养学生在电机及电力拖动方面分析和解决问题的能力。

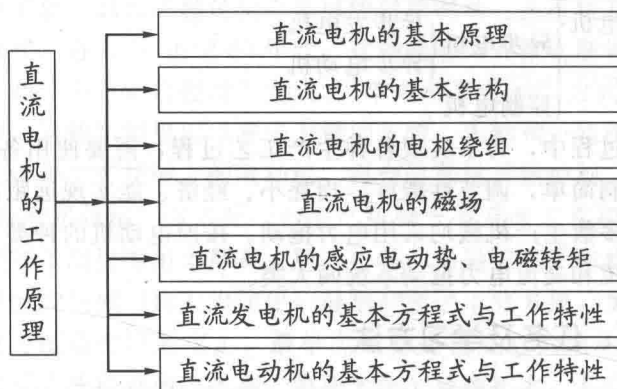
电机及电力拖动是一门理论性很强的技术基础课，在掌握基本理论的同时，还要注意学生的实践能力培养，在完成理论教学的同时，必须做一些实验，通过实验，对交、直流电动机工作特性及机械特性的性质、基本原理和理论加以验证；要学会测定各种电机（包括微特电机及变压器）的工作特性、电力拖动的机械特性及电机参数，提高实验技能，通常需要做以下几个实验：

- (1) 电机认识实验；
- (2) 直流发电机实验；
- (3) 他励直流电动机在各种运转状态下机械特性的测定；
- (4) 单相变压器实验；
- (5) 三相变压器实验；
- (6) 三相异步电动机参数及工作特性的测定；
- (7) 绕线转子三相异步电动机在各种运转状态下机械特性的测定；
- (8) 三相异步电动机启动与调速。

第一章

直流电机的基本工作原理

学习导航



学习目标

学习目标	学习内容
知识目标	<ol style="list-style-type: none">1. 直流电动机的基本工作原理及主要额定值2. 直流电动机的主要结构及用途3. 直流电机的电枢绕组4. 直流电动机的磁场5. 直流电动机的感应电动势、电磁转矩与电磁功率6. 直流发电机的基本方程式7. 直流电动机的基本方程式
能力目标	<ol style="list-style-type: none">1. 直流电动机的启动、调速与改变转向的方法2. 直流发电机运行特性的测定3. 并励发电机的自励4. 直流电机的设计5. 直流电机参数的计算6. 直流电机的拆装

直流电机是一种通过磁场的耦合作用实现机械能与直流电能相互转换的旋转式机械。直流电机包括直流电动机和直流发电机。将机械能转变成直流电能的电机称为直流发电机，将直流电能转变成机械能的电机称为直流电动机。直流电机具有可逆性，一台直流电机工作在发电机状态，还是工作在电动机状态，取决于电机的运行条件。

第一节 直流电机的基本工作原理及基本结构

一、直流电机的特点

直流电机和交流电机相比，它的主要特点是调速范围广，调速的平滑性、经济性好；其次是它的启动转矩较大。这种特点对有些生产机械的拖动来说是十分重要的，例如大型可逆式轧钢机、矿井卷扬机、电动车、大型车床和大型起重机等生产机械，大都是直流电动机拖动。

直流电机也有它明显的缺点：一是制造工艺复杂，消耗有色金属较多，生产成本低；二是直流电机在运行时由于电刷与换向器之间易产生火花，因而运行可靠性较差，维护比较困难。所以在一些领域中已被交流调速系统所取代。但是直流电动机的应用目前仍占有较大的比重。

二、直流电机的基本工作原理

图 1-1 所示为直流电机基本工作原理，两个固定的永久磁铁作为一对磁极，一个是 N 极，一个是 S 极，在两个磁极之间有一个线圈，线圈由导体 ab 和 cd 构成，线圈的首末端分别连接到两片彼此绝缘的圆弧形铜片（称为换向片）上。换向片可与线圈一起旋转。为了把线圈电路与外电路接通，换向片上放置了在空间固定不动的电刷 A 和 B。当线圈转动时，电刷 A 只能与转到 N 极下的换向片相接触，而电刷 B 则只能与转到 S 极下的换向片相接触。

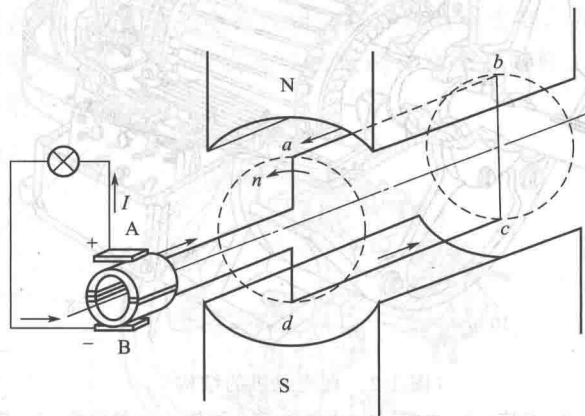


图 1-1 直流电机的基本工作原理

直流发电机是把机械能转变成直流电能的装置。用外力使线圈按逆时针方向旋转，转速为 n (r/min)。若导体的有效长度为 l ，线速度为 v ，导体所在位置处的磁通密度为 B_x ，根据电磁感应定律，则每根导体的感应电动势为 $e = B_x lv$ ，其方向可用右手定则决定。在图 1-1 所示瞬间， ab 导体处于 N 极下，其电动势方向由 $b \rightarrow a$ ；而导体 cd 处于 S 极下，电动

势方向由 $d \rightarrow c$ ，整个线圈的电动势为 $2e$ ，方向由 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。如果线圈转过 180° ，则 ab 导体和 cd 导体的电动势方向均发生改变，因此线圈电动势是交变电动势。由于电刷 A 只与处于 N 极下的导体相接触，当 ab 导体在 N 极下时，电动势方向为 $b \rightarrow a \rightarrow A$ ，电刷 A 的极性为“+”；线圈转过 180° ，即 cd 导体转到 N 极下时，电动势方向为 $c \rightarrow d \rightarrow A$ ，电刷 A 的极性仍为“+”，所以电刷 A 的极性永远为“+”。同理电刷 B 的极性永远为“-”。故电刷 A、B 间的电动势是直流动势。实际的直流发电机，通常由多个线圈按一定规律连接构成电枢绕组。

直流电动机是把直流电能转变成机械能的装置。在图 1-1 中，用一直流电源替代负载，可说明直流电动机的工作原理。由直流电源经电刷 A、B 引入直流电流，使电流从电刷 A 流入，从电刷 B 流出。由于电流总是经 N 极下的导体流进去，S 极下的导体流出来，由电磁力定律可知（电磁力的方向由左手定则决定）， ab 、 cd 导体在电磁力作用下所受到的电磁转矩始终为逆时针方向，因此带动轴上的机械负载也始终按逆时针方向旋转。由此可见，虽然直流电动机电枢线圈里的电流方向是交变的，但产生的电磁转矩却是单方向的。

三、直流电机的基本结构

直流电机由定子（固定不动）与电枢（旋转）两大部分组成，定子与电枢之间有空隙，称为气隙。定子部分包括机座、主磁极、换向极、端盖、电刷等装置；电枢部分包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部件。

下面介绍直流电机主要部件的作用与基本结构。直流电机的结构如图 1-2 所示。

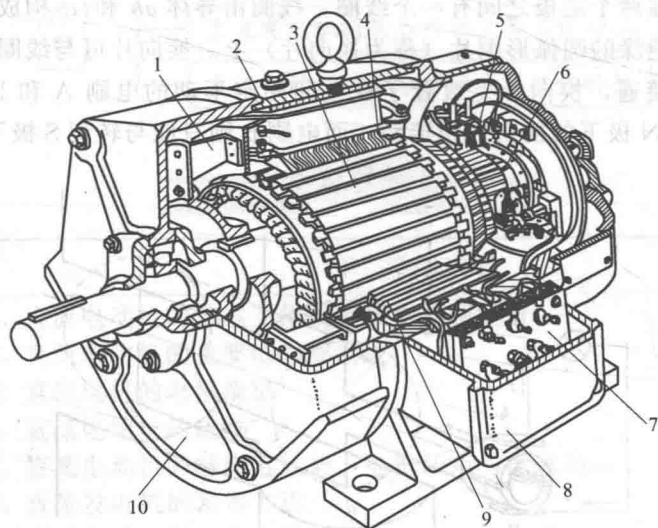


图 1-2 直流电机的结构

- 1—风扇；2—机座；3—电枢；4—主磁极；5—刷架；6—换向器；7—接线板；
8—出线盒；9—换向极；10—端盖

（一）定子部分

1. 机座

机座既可以固定主磁极、换向极、端盖等，又是电机磁路的一部分（称为磁轭）。机座

一般用铸钢或厚钢板焊接而成，具有良好的导磁性能和机械强度。

2. 主磁极

主磁极的作用是产生气隙磁场。它由主磁极铁芯和主磁极绕组（励磁绕组）构成，如图 1-3 所示。主磁极铁芯一般由 1.0~1.5mm 厚的低碳钢板冲片叠压而成，包括极身和极靴两部分。极靴做成圆弧形，以使磁极下气隙磁通较均匀。极身上面套励磁绕组，绕组中通入直流电流。整个磁极用螺钉固定在机座上。

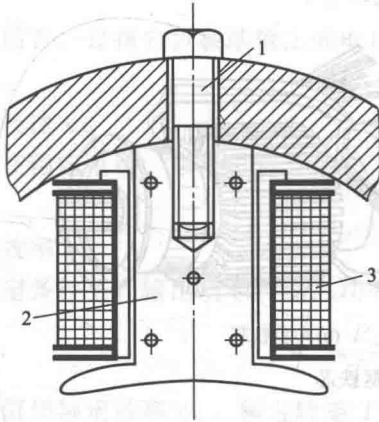


图 1-3 直流电机的主磁极

1—固定主极铁芯的螺钉；2—主极铁芯；3—励磁绕组

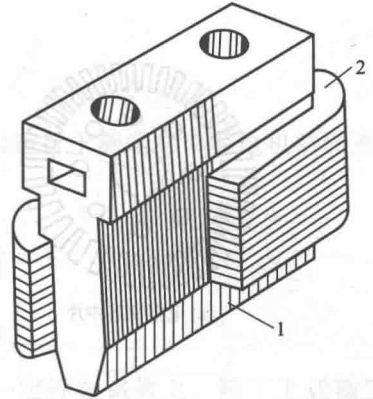


图 1-4 直流电机的换向极

1—换向极铁芯；2—换向极绕组

3. 换向极

换向极用来改善换向，由铁芯和套在铁芯上的绕组构成，如图 1-4 所示。换向极铁芯一般用整块钢制成，如换向要求较高，则用 1.0~1.5mm 厚的钢板叠压而成，其绕组中流过的是电枢电流。换向极装在相邻两主极之间，用螺钉固定在机座上。

4. 电刷装置

电刷与换向器配合可以把转动的电枢绕组电路和外电路连接，并把电枢绕组中的交流量转变成电刷端的直流量，见图 1-5。电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆架、弹簧、铜辫构成。电刷组的个数一般等于主磁极的个数。

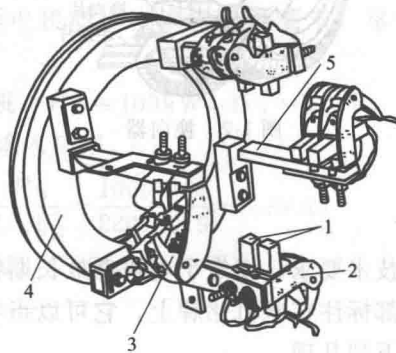


图 1-5 直流电机的电刷装置

1—电刷；2—刷握；3—弹簧压板；

4—座圈；5—刷杆