

煤炭系统高等院校试用教材

电机及其应用

(上册)



中国矿业学院电工教研室编

本书常用文字符号表

下表是本书常用文字符号，凡物理量的符号都采用国际惯例，如电阻用 R （或 r ）表示，电流用 I （或 i ）表示。脚注基本上采用汉语拼音，少数采用习惯表示法，如最大功率 P_{max} ，最小功率 P_{min} ，相电压 U_{ph} ，线电压 U_L ，铜损耗 p_{cu} ，铁耗 p_{Fe} ，空载电流 I_0 等。

瞬时值用小写字母表示，为 e ， i 分别表示电动势和电流的瞬时值。

有效值和恒定直流，用正楷字母表示，为 E ， I 分别表示电动势及电流的有效值。

矢量用正楷字母上方加点表示，如 $\dot{E}$ ， $\dot{I}$ 即表示电动势和电流的矢量值。

符 号	意 义	符 号	意 义
a	——电枢绕组支路对数	E	——电（动）势有效值；电场强度
A	——安培、线负载	E_m	——正弦交流电（动）势幅值
b	——电纳；宽度	$\dot{E}$	——电（动）势矢量
B	——磁通密度（磁感应强度）	E_y	——元件电势有效值
B_p	——平均磁通密度	E_q	——极相组电势有效值
B_δ	——气隙磁通密度	E_{ph}	——相电势有效值
B_m	——磁通密度最大值	E_L	——线电势有效值
c	——电容；比热	E_1, E_2	——原、副边电势或定、转子电势
c_z	——变压器线圈对地电容	E_{L1}, E_{L2}	——原、副边漏磁感应电势
c_h	——变压器线圈对线圈之间电容	f	——频率；力的瞬时值；磁势瞬时值
C_e	——直流电机的电动势常数	F_m	——磁势幅值
C_T	——直流电机的力矩常数	F	——电磁力；发电机；磁势
d	——电线直径	F_s	——电枢磁势
D	——电枢直径、电	F_{sd}	——直轴电枢磁势
e	——电（动）势	F_{sq}	——交轴电枢磁势
e_R	——电抗电势	F_K	——换向极磁势
e_K	——换向电势	F_δ	——气隙磁势

符 号 意 义

F_1, F_2 —— 原、副边磁势或定、转子磁势

$\dot{F}_s$ —— 电枢磁势矢量

$\dot{F}_L$ —— 励磁磁势矢量

$\dot{F}_\delta$ —— 气隙磁势矢量

g —— 电导

G —— 磁导、重量

h —— 高度

H —— 磁场强度

i —— 电流瞬时值

I —— 电流有效值；恒定直流

$\dot{I}$ —— 电流矢量

I_m —— 电流幅值

I_p —— 电流平均值

I_a —— 电流有功分量

I_r —— 电流无功分量

I_s —— 电枢电流

I_L —— 励磁磁场电流

I_0 —— 无载电流

I_e —— 额定电流

j —— 电流密度

J —— 转动惯量

k —— 常数；变比

k_d —— 电枢绕组分布系数

k_p —— 电枢绕组短矩系数

k_w —— 电枢绕组系数

k_w —— 谐波绕组系数

符 号 意 义

k_u —— 电压变换比

k_i —— 电流变换比

K —— 换向片数；开关；控制绕组常数；

KVA —— (千伏安)

KW —— 千瓦

KWH —— 千瓦小时

L —— 自感；长度；力臂

l —— 磁路长度；铁心长度；导线长度

m —— 相数

M —— 互感

n —— 转速

n_1 —— 同步转速

N —— 电枢导体数

p —— 极对数；瞬时功率；损耗

p_o —— 空载损耗

p_d —— 短路功率

p_{cu} —— 铜损耗

p_{Fe} —— 铁心损耗

p_j —— 机械损耗

p_f —— 附加损耗

P —— 功率

P_e —— 额定功率

P_m —— 电磁功率

P_j —— 机械功率

P_0 —— 无载功率

P_d —— 短路功率

符 号 意 义

P_1	——输入功率
P_2	——输出功率
Q	——电量；热量；槽数；无功功率
q	——每极每相槽数
r	——电阻；半径
R	——电阻
R_s	——电枢回路内电阻
R_{sf}	——电枢回路附加电阻
R_{fz}	——负载电阻
R_{Lp}	——励磁绕组电阻
R_{Lf}	——励磁回路附加电阻
R_q	——起动电阻
R_m	——磁阻、铁心励磁电阻
s	——转差率；距离
s_e	——额定转差率
s_m	——最大转差率
S	——视在功率；元件数；截面
t	——时间；温度；齿数
T	——力矩；周期；时间常数
T_{max}	——最大力矩
T_q	——起动力矩
T_e	——额定力矩
T_0	——无载制动力矩
T_{fz}	——负载制动力矩
T_s	——静负载制动力矩
u	——电压瞬时值
U	——电压有效值

符 号 意 义

$\dot{U}$	——电压矢量
U_{ph}	——相电压有效值
U_L	——线电压有效值
v	——线速度
V	——体积
w	——瓦特；匝数
w_1, w_2	——原、副边绕组匝数
w_y	——之件匝数
W	——能量
x	——电抗
x_L	——漏电抗
x_1, x_2	——原副边漏电抗
x_s	——电枢反应电抗
x_T	——同步电抗
x_d	——直轴电抗
x_d'	——直轴瞬变电抗
x_d''	——直轴超瞬变电抗
x_q	——交轴电抗
x_m	——励磁电抗
y	——元件节距
Y	——导纳；星形连结
z	——阻抗（模值）
Z	——阻抗（复量）
Z_{fz}	——负载阻抗
Z_d	——短路阻抗
Z_m	——励磁阻抗
$Z_1 Z_2$	——原、付边（定、转子）漏阻抗

符 号 意 义

α	——散热系数；角度
β	——系数、角度
δ	——空气隙长
η	——效率
η_e	——额定效率
θ	——功率角
λ	——过载能力；导热系数
μ	——导磁率
ν	——谐波次数
ρ	——电阻系数
τ	——温升；极距

符 号 意 义

ϕ	——交变磁通瞬时值
$\Phi_{1L}\Phi_{2L}$	——原、副边漏磁通
Φ	——恒定磁通、每极磁通
Φ_m	——磁通最大值
Φ_p	——磁通平均值
φ	——功率因数角；相位差角
Ψ	——磁链
ψ	——初始相位差角
ω	——角速率（电角计量）；圆频率
Ω	——欧姆；角速率（机械角计量）

本书常用脚注意义

符 号 意 义

cu	——铜耗
d	——“短”路值；纵轴值
e	——“额”定值
f	——“反”向；“反”转
fz	——“负载”
Fe	——铁耗
$in(或1)$	——输入
$ouf(或2)$	——输出
j	——“机”械损耗或“机”械功率
K	——“控”制绕组
L	——“漏”抗；“励”磁；线值

符 号 意 义

m	——幅值；电磁力矩；电磁功率
max	——最大值
min	——最小值
0	——无载
p	——“平”均值
ph	——相值
q	——“起”动
s	——电“枢”绕组
t	——“停”止
z	——“正”转；“正”向

目 录

序	(1)
---------	-------

第一篇 直流电机

第一章 直流电机的基本工作原理和构造	3
第一节 直流发电机的基本工作原理	3
第二节 直流电动机的基本工作原理	6
第三节 直流电机的构造	7
第四节 直流电机的电枢绕组	11
第五节 直流电机的磁路和磁场	22
第六节 直流电机的换向	27
第七节 直流电机的铭牌	35
第二章 直流发电机	39
第一节 直流发电机的几个基本关系	39
第二节 直流发电机的基本特性	42
第三节 直流测速发电机	48
第四节 交轴磁场电机放大机	51
第三章 直流电动机	59
第一节 直流电机的可逆原理	59
第二节 直流电动机的功率, 电压和力矩平衡关系	60
第三节 直流电动机的运行特性	62
第四节 直流电动机的起动	67
第五节 直流电动机的调速	69
第六节 直流电动机的制动	75
第七节 可控硅供电对直流电动机的影响	81

第二篇 变压器

第四章 单相变压器	90
第一节 变压器的工作原理和主要构造	90

第二节 变压器的无载运行.....	93
第三节 变压器的有载运行.....	101
第四节 变压器的运行特性.....	115
第五章 三相变压器.....	129
第一节 三相变压器的原理和结构.....	129
第二节 三相变压器绕组的联接方式和组别.....	134
第三节 三相变压器的不对称运行.....	140
第六章 变压器的并联运行.....	151
第一节 变压器的并联运行条件.....	151
第二节 变压器实际并联运行的情况.....	151
第七章 变压器的瞬变过程.....	159
第一节 变压器的无载合闸时的冲击电流.....	159
第二节 突然短路时的电流.....	162
第三节 变压器的过电压.....	164
第四节 变压器有载时的暂态分析.....	166
第八章 其他种类的变压器.....	170
第一节 自耦变压器.....	170
第二节 电压互感器和电流互感器.....	172
第三节 电焊变压器.....	175

序

(一) 大家知道在工农业生产、科学实验及日常生活中, 每时每刻都离不开电机。不论小到只有几瓦的微型电机, 或大到数以兆瓦计的巨型发电机, 它们的很多方面是相似的。作为能量转换、传递和控制工具的电机, 它的基本问题, 可以归结到五个方面来研究。

(1) 电路——主要讨论各种绕组在电机中的作用及由它产生的电动势和磁动势;

(2) 磁路——主要研究不同类型电机、变压器等的磁通, 如何经济而有效地利用, 以满足不同机器的特性要求;

(3) 机、电能量转换——主要研究电磁力矩、电磁功率的产生、传递与转换;

(4) 发热与冷却——主要研究能量转换过程中如何减少损耗及如何有效地散热等问题;

(5) 材料问题——包括导电、导磁、绝缘和金属等材料的合理使用。

简单说来, 可用“电”、“磁”、“力”、“热”、“材”五个字来概括。尤其是电、磁、力这三个方面, 是研究电机的核心, 学习时应予特别注意。至于“热”、“材”问题, 更多的牵涉到结构, 工艺等方面, 是设计、制造中的大问题。对于从事电气化、自动化专业的人员来说, 重点在掌握每种类型电机的原理、构造和应用。

电机的种类很多, 但基本类型可归纳为四种: 即变压器、异步机、同步机和直流机。其中变压器和异步机是本课程的重点, 应给予足够的重视。控制电机可以看成是前面四个基本机器的衍生物, 本书只讲伺服电动机、测速发电机、自整角机、旋转变压器、交轴磁场电机放大机(简称交磁放大机)及微型同步机, 将分别在有关章节中讨论。

(二) 电机的应用是多种多样的, 除了发电、电动、制动、变压和变流等基本作用以外, 还可在系统中用来变频、调速、整流、放大、指示、反馈和移相等。近年来由于电子技术的迅速发展, 电机和许多电子器件结下了不解姻缘, 使它的应用更趋复杂多样。在本课程中只要求了解几种最基本、最典型的应用方法, 至于它们在系统中的具体选择和控制, 将在有关后续课程中去讲。

(三) 建国三十年来, 在中国共产党的领导下, 我国电机设计、制造和使用等各方面, 都有了很大的发展和进步。从设计制造来看, 各种类型的电机都有了自己的系列产品, 有的还进行了多次改型设计, 并逐步趋向标准化、通用化, 缩小了电机体积, 减轻了重量, 提高了性能指标, 创制了新的大型双水内冷汽轮发电机等先进产品。根据我国资源具体情况, 以铝代铜, 发展了铝线电机、变压器系列, 普遍采用了E级以上的新型绝缘材料, 可以改善性能, 提高质量。从电机的应用来看, 在控制、保护方面也有很大的进展, 如结合可控硅的使用, 出现了新的交直流调速系统和无刷调速同步电动机。从电机在煤矿中使用情况来看, 从无到有生产了矿用防爆电机基本系列JB, BJO₂及其他专用电机。矿井提升除了一般的交直流提升系统以外, 也有采用低频机组控制系统和可控硅控制系统的。

目前国内外在发电方面正在研究采用超导技术来提高巨型电机的单机容量,如大型同步发电机转子采用铝钛绕组液氮冷却,容量约可提高四倍以上。磁流体发电是值得注意的一个发展方向。在控制电机方面,直流力矩电动机是在接近堵转状态下长期工作的低转速大力矩的电动机,可不经齿轮而直接带动负载。多极旋转变压器可以大大提高控制系统的精度。直线电机容量较小者用在传送带等直线运动的控制系统中,容量较大者有用在高速列车上的。

在电机的调速性能方面,历来直流机居于优势地位,但从大功率可控制硅元件问世后,交流机的调速性能也得到不少改进。无刷调速同步电动机(又称电子换向式无刷直流电动机或可控硅电动机),是用可控硅整流逆变系统和转子位置检测装置代替直流机的电刷和换向器的一种新型电机,可以获得和直流机一样广阔的无级调速特性,却避免了换向火花带来的麻烦,国内外都在研究试制。此外大功率反应式同步电动机,近来在国外又得到了发展,它特别适用于要求严格同步的群机拖动系统。就是对于一般系列电机,也力求采用新材料、新工艺,千方百计缩小体积,减轻重量,在国外,差不多每十年电机重量降低20%左右。总之,国产电机虽已有了很大的发展和改进,但和国外比较,还有不少差距,这有待于在今后四化过程中迎头赶上。

(四)本课程是煤矿电气化自动化专业的一门技术基础课。根据1978年煤炭系统高等院校在西安召开的教学大纲审订会议,要求通过本课的学习,能掌握电机、变压器的原理、构造及特性;初步具备运用电机基本理论分析一般问题的能力;具有一定的实验技能。本教材就是按照这次会议确定的教学大纲编写的。全书共分五篇:即直流机、变压器、交流机的共同问题,异步机和同步机。根据课程性质和专业要求,确定以异步机和变压器为重点,对同步机作了适当精简;增添了电机容量选择及控制电机内容;适当增加了电机及变压器的暂态分析;加强了电机在起动、调速及制动等方面的讨论。有关磁路、铁心线圈及对称分量法等内容应在先行课中讲授。本课只略加复习,关于起动设备的选择计算及其他微特电机,在有关后续课中讲授。

教学计划规定,本课程总学时为140,实验时数为30。教材内容基本上是根据上述时数编写的。其中附“*”号者,以作选学内容。至于各部分学时的分配和内容取舍,可视具体情况灵活掌握。

(五)本书编写工作由中国矿业学院电工教研究负责,第一篇由张霞同志编写,第二篇由刘惠鹏同志编写,第三篇,第四篇和第五篇由戴鸿仪同志编写。初稿写成后于1979年5月在重庆北碚召开了审稿会议,会上阜新矿业学院、山东矿业学院、山西矿业学院、西安矿业学院、淮南煤炭学院、焦作矿业学院、重庆大学、贵州工学院、河北矿业学院等兄弟院校有关同志,对初稿提出许多宝贵意见,我们表示感谢。会上并委托西安矿业学院负责全书审校。本书由中国矿业学院戴鸿仪主编,西安矿业学院何其华同志、中国矿业学院黄章同志吴震春同志审阅。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,希予批评指正。

编者 1979年10月

第一篇 直流电机

直流电机是现代工业企业电气化和自动化的主要设备之一。虽然，工业上广泛应用着交流电和交流电动机，但在某些工业部门如电化工业、冶金工业、运输业(电力牵引)等方面仍然需用直流电和直流电动机。在这些部门中，直流电机被用作直流电源，向负载供电，如同同步机的励磁机，蓄电池的充电、电解、电镀等。直流电动机则被当作原动机拖动各种生产机械，如大型轧钢设备，大型精密机床、大型矿井提升机、电机车等。此外，在控制系统中，还有测速电机，伺服电机，交轴磁场电机放大机等。

直流电动机虽然较异步电动机结构复杂，价格昂贵，维护检修比较麻烦，然而直流电动机具有优良的调速特性和起动特性，因此在需要广阔平滑调速的电力拖动中，仍广泛应用直流电动机。不过，近年来在利用可控硅整流装置代替直流发电机方面，已取得较大进展，因而使直流发电机在工业中的地位日趋下降，但在某些场合，直流发电机还有其一定的 重要性。

直流发电机作为直流电源，将机械能转变成直流电能输送给负载；直流电动机作为原动机，将直流电能转变成机械能拖动各种生产机械。虽然它们的用途各不相同，但它们的基本结构一样，而且都是利用电和磁的相互作用来实现机电能量转换的。它们所依据的基本原理是：(1)电磁感应定律，即导体切割磁力线产生感应电动势；(2)电磁力定律，即载流导体在磁场中受到电磁力的作用。因此，直流电机从结构上看，都包括磁路部分和电路部分。从原理上看，都体现着电和磁的相互作用，是电、磁矛盾的统一体。因而学习本篇时要紧紧抓住电、磁矛盾，才能在复杂的现象中抓住事物的本质。

第一章 直流电机的基本工作原理和构造

第一节 直流发电机的基本工作原理

直流发电机是将机械能转变成直流电能的装置。那么，直流电动势是如何建立起来的呢？为便于理解，首先从交流电动势产生的原理入手，然后再说明直流电动势是怎样获得的。

一、交流电动势的产生——交流发电机原理。

图 1—1(a)表示交流发电机的原理性结构图。在两个固定的磁极 N, S 之间，有一个可以旋转的圆柱形铁心，铁心上放置一线圈 $abcd$ ，线圈的 a, d 两端，分别接在两个和铁心一起旋转的铜环(又称滑环)上，再经两个固定不动的电刷 A, B 与外电路相连。

当原动机拖动圆柱形铁心在磁场中反时针方向以转速 n (转/分)旋转时，线圈的 $ab—cd$ 边

将切割磁力线，感生电动势。感应电动势的大小与导体所在处磁感应强度 B 、导体有效长度 l 及导体切割磁力线的速度 v 成正比，即 $e = 2Blv$ ，方向按右手定则确定。显然，当导体从 N 极转入 S 极时（或从 S 极转入 N 极时），其中感应电动势方向将要改变，而铁心每旋转一周，电动势方向将变化两次。所以，当铁心不停地旋转时，线圈 $abcd$ 中将感应出交变电动势，并通过电刷 A 、 B 引出。如在电刷 A 、 B 间接一灯泡，就有交流电能输出。由于感应电动势 $e = 2Blv$ ，其中 l 和 v 均为常数，所以电动势 e 的大小与 B 成正比，且波形与 B 相同。由于主磁极极掌两端被削斜，使气隙磁感应强度 B 在空间呈梯形分布，中间一段磁密最大，而在极掌边缘附近却开始急剧下降，直到极间中心线处降为零，

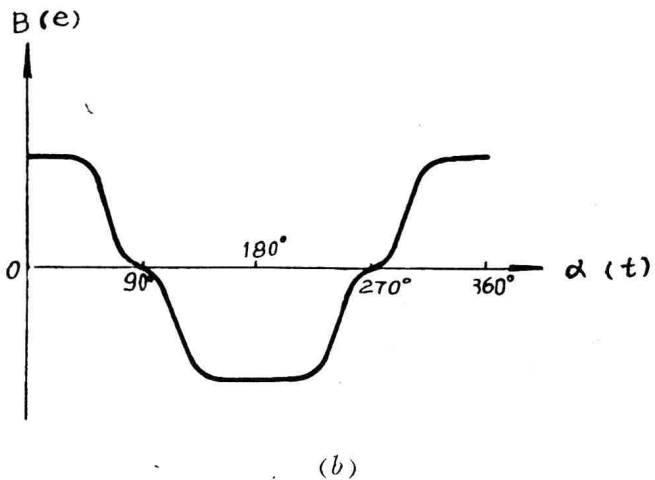
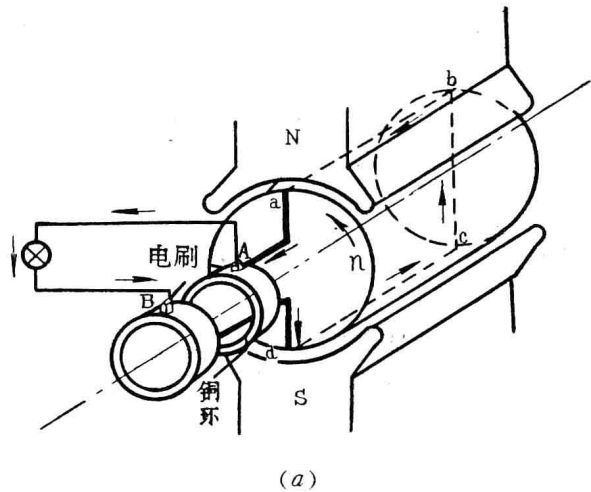


图 1—1 交流发电机的工作原理图

如图 1—1(b)中 $B = f(\alpha)$ 曲线所示。其中横座标 α 为线圈转角，且以图 1—1(a)所示线圈位置为零度。由于 e 的大小与 B 成正比，且波形与 B 相同，因而线圈中感应电动势随时间亦按梯形规律变化。当采用不同比例尺时，图 1—1 (b) 亦表示 $e = f(t)$ 的变化规律。

二、直流电动势的获得——换向器的作用。

从上述交流发电机原理可以看出，用两个铜环的这种电动势引出装置，只能获得交流电能。如果把交流发电机的两个铜环换成两个相互绝缘的半圆形铜片（又称换向片）；而两半园形铜片分别与线圈的 a 、 d 端相接，且与电刷 A 、 B 接触。这时从电刷 A 、 B 两端将获得直流电动势。这种直流电动势引出装置称作换向器，如图 1—2 所示。为什么这时电刷间将获得直流电动势呢？

当电枢（产生感应电动势的绕组及圆柱形铁心的总称；在直流电机中，电枢是指转子）被

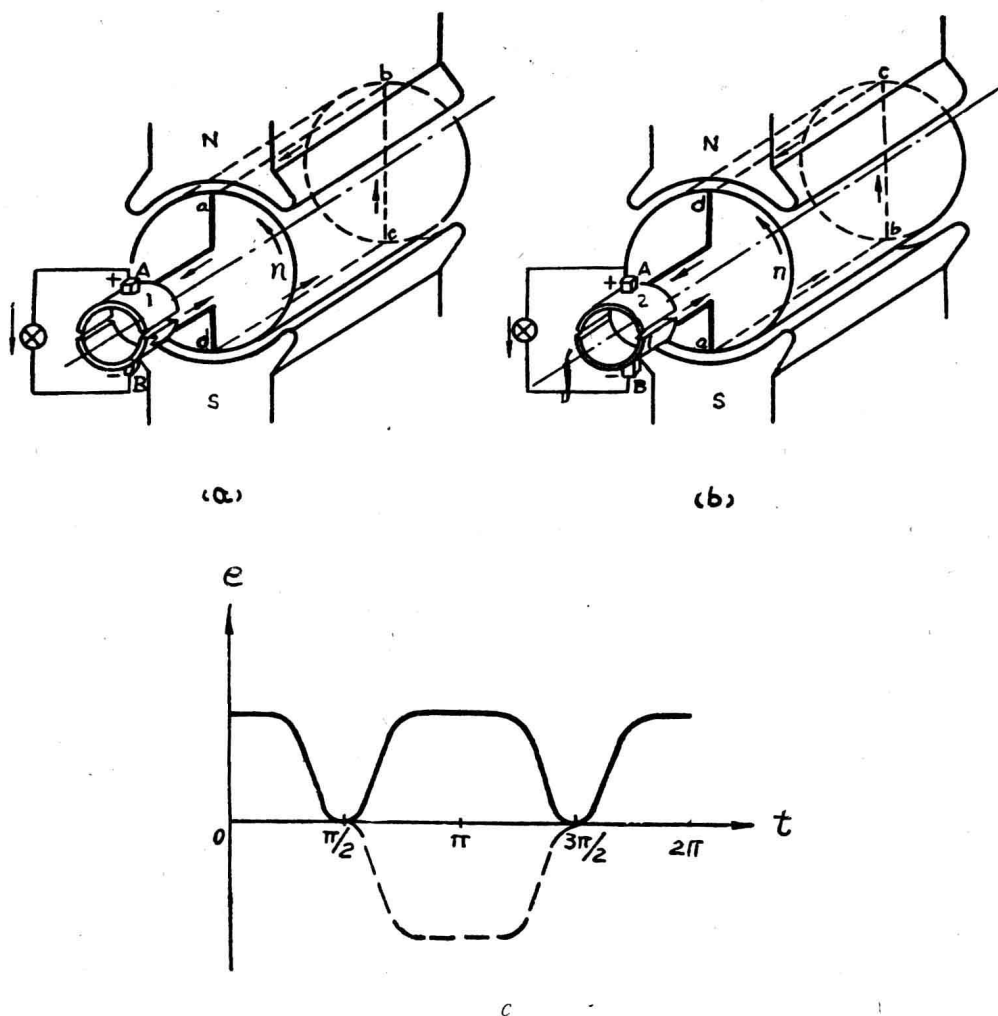


图 1—2 直流发电机的工作原理图

原动机拖动沿反时针方向以转速 n 旋转时，在图 1—2(a) 瞬间，线圈的 ab 、 (cd) 边正处于 N (S) 极范围内。根据右手定则，导体 ab 所产生的感应电动势的方向是从 b 指向 a ；而导体 cd 所产生的感应电动势的方向是从 d 指向 c 。从整个线圈来看，感应电动势的方向是从 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。因此，和线圈 a 端相接的铜片 1 和电刷 A 处于正电位，而和线圈 d 端相接的铜片 2 和电刷 B 则处于负电位。如果接通外电路，电流就从电刷 A 经负载流入电刷 B ，再经线圈构成闭合的电流通路。

当线圈转过 180° ，线圈的 ab 、 (cd) 边转到 S 、(N) 极范围内，如图 1—2(b) 所示。根据右手定则可以判定：这时线圈边 cd 中产生的感应电动势的方向是从 c 指向 d ，而 ab 边中的感应电动势的方向则是从 a 指向 b 。由于电刷静止不动，此时和线圈 d 端相接的铜片 2 与电刷 A 接触，且仍然是正电位。而与线圈 a 端相接的铜片 1 则和电刷 B 接触，其电位仍为负。当接通外电路时，电流仍然自电刷 A 经负载流入电刷 B ，再经线圈构成闭合的电流通路。因而

外电路的电动势和电流方向不变,但是线圈内部的电动势和电流方向却反向了。

线圈不停地旋转,与两个电刷接触的线圈边在不断地改变,尽管线圈 $abcd$ 中感应电动势的方向不断地交变,但是电刷 A 永远和处于 N 极范围内的线圈边相接触,而电刷 B 永远和处于 S 极范围内的线圈边相接触,因此电刷 A 、 B 的极性始终不变;电刷 A 始终为正电位,电刷 B 始终为负电位。因此,由两电刷引出的是具有恒定方向的电动势,所以,负载上得到恒定方向的电压和电流。由此可见换向器的作用就在于将发电机线圈内的交变电动势,整流成为极性不变的刷间电动势。

从线圈内部来看,感应电动势是交变的,这一点和交流发电机一样。但是,经过换向器和电刷的联合作用对外电路来说,却得到了单方向的直流电动势。这个电动势在最大值和零值之间脉动;线圈旋转一周,电动势脉动两次。在直流电机中,由于气隙磁感应强度 B 是按梯形规律分布,因此换向后得到的单方向脉动的直流电动势也按梯形波的规律变化,如图1—2(c)所示。从波形图中可以看出,当发电机电枢上只有一个线圈时,虽然线圈的感应电动势方向不变,但数值变化却很大。实际需要的是一个幅值恒定的直流电,因此实际的直流电机电枢上不只一个线圈,而是绕有许多线圈,它们相互之间按一定规律连接起来,并与各自的换向片相接。实践和分析表明,增加线圈数及其相应的换向片数,就能使电刷间获得一恒定的直流电了。

第二节 直流电动机的工作原理

直流电动机的基本作用原理,是基于磁场和载流导体间的相互作用而实现直流电能转变成机械能的。

将电压为 U 的直流电源接到电刷 A 、 B 间。规定将电流引入电机的电刷 A 为正极,引出电流的电刷 B 为负极。于是电流从电刷 A 流入,经线圈 $abcd$ 和负电刷 B 流出。因为载流导体 ab 和 cd 处于磁场中,根据电磁力定律,导体将受到电磁力的作用,其方向由左手定则确定如图1—3所示。在电磁力的作用下,于是电枢反时针方向转动,拖动工作机械而做功。

当线圈的有效边 $ab(cd)$ 从 $N(S)$ 极下转到 $S(N)$ 极下时,流经线圈中的电流必须改变方向,才能保持产生的力矩方向不变,使电动机继续朝反时针方向转动。这时,由于换向器和电刷的联合作用,即每当一有效边(线圈切割磁力线部分)从一极面下转入另一极面下时,与它相连的换向片便一同转入另一极面下且同时与另一极性的电刷相接触,以保持 N 极下导体电流总是流

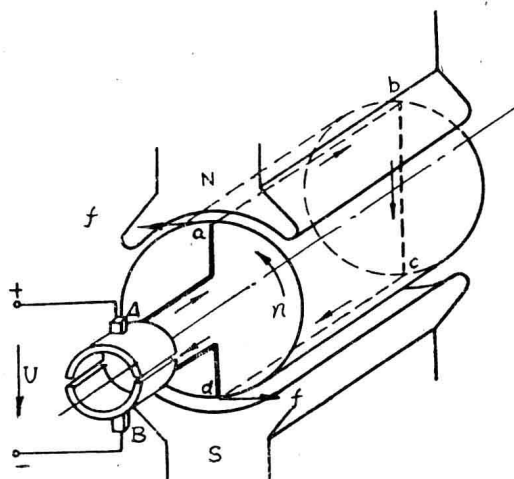


图1—3 直流电动机的工作原理图

入，S极下的导体电流总是流出，因此，所产生的力矩方向不变。由此可见，在直流电动机中，换向器和电刷的作用是把输入的直流电转变成线圈中的交流电，以保证所产生的力矩方向不变。

比较直流发电机和直流电动机的工作原理可以看出，它们的输入和输出的能量形式是不同的；直流发电机由原动机拖动，输入的是机械能，输出的是电能；直流电动机则由直流电源供电，输入的是电能，输出的是机械能。同时还应指出，既然直流电机是建立在电磁感应定律和电磁力定律基础之上，而电磁感应定律与电磁力定律间有着密切的内在联系，由此就确定了电机的可逆本质，所以，同一台直流电机既可以作为发电机运用，也可以作为电动机运用。关于这一点在第三章中还将详叙。

第三节 直流电机的构造

为了高效率地完成机电能量之间的相互转换，直流电机必须具备一定的结构形式。

图1—4是直流电机的外形图，如果把它拆开(如图1—5和1—6所示，)我们会发现，直流电机的所有部件可分成三个主要部分：

一、静止部分：主要用来产生磁场和起机械支撑的作用。包括：主磁极，换向磁极，机座，电刷装置等。

二、转动部分(又称电枢)：是用来实现机电能量转换的重要部件。包括：电枢铁心，电枢绕组，换向器，风扇、轴等。

三、空气隙：位于静止的磁极和转动的电枢之间，它是磁路的一部分。

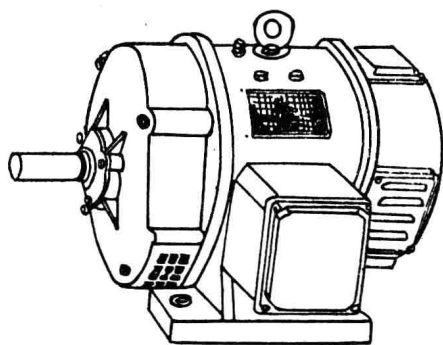
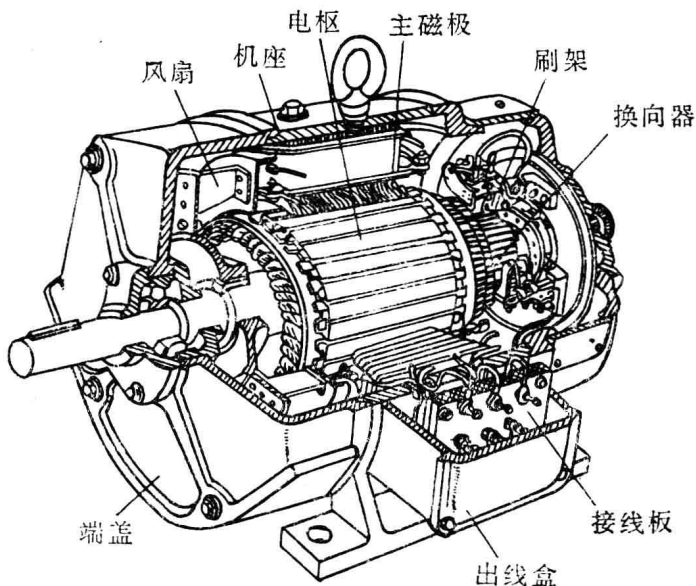


图1—4 Z₂型直流电机的外形图

图1—5 直流电机的内部结构



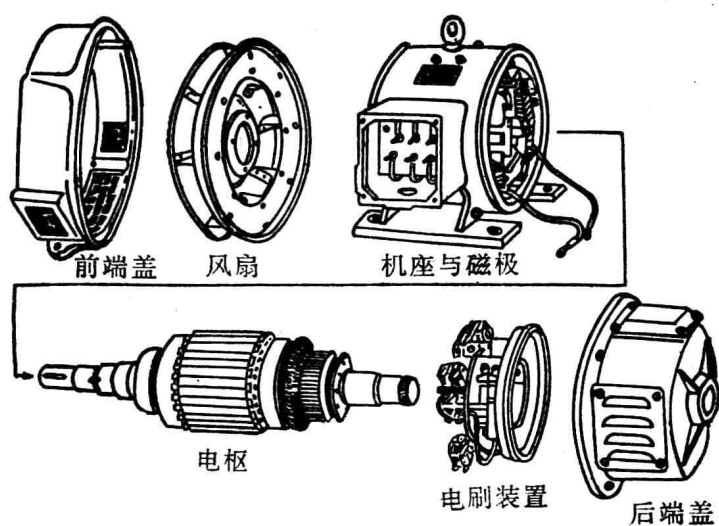
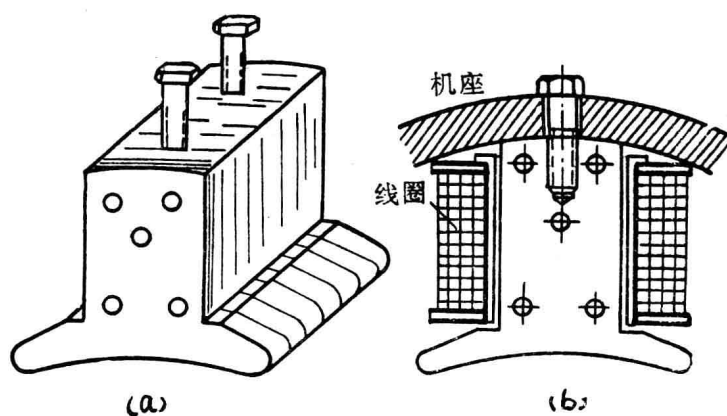


图 1—6 直流电机的主要部件



(a) 用薄钢板叠成的主磁极铁心 (b) 主磁极和线圈一起固定在机座上
图 1—7 直流电机的主磁极

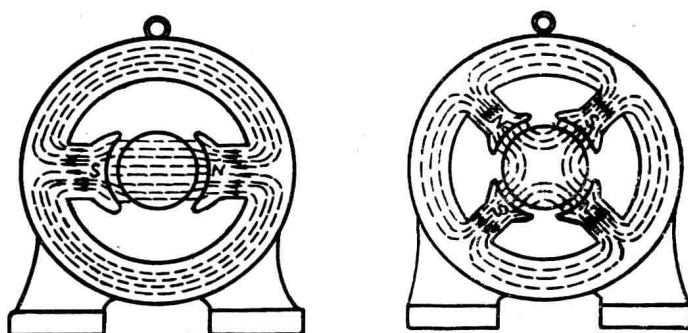


图 1—8 直流电机的磁路

直流电机各主要部件的构造和作用见下表

名 称			材 料 及 安 装 位 置	作 用
静 止 部 分	主 磁 极 (图 1—7)	铁 心	一般用 0.5—1.0 毫米厚的钢板冲制成形后叠装起来,再用铆钉铆紧而成。磁极极体用螺杆固定在磁轭上。	建立主磁场
		励磁 绕组	由多匝绝缘铜线(或铝线)绕成,套装在主磁极铁心上,线圈和铁心之间用绝缘纸和腊布或云母纸绝缘	
		极 掌	也称极靴,是主磁极铁心的一部分。极掌两端稍有倾斜,其作用是使磁密合理分布及支撑励磁绕组。	
	换向磁极 图 1—41		由铁心及绕组构成,铁心用叠片或整块钢加工而成。装在主磁极间的几何中线上。	改善电机换向性能
	磁 轭 (或称机座) (图 1—8)		一般用铁板或铸钢制成。	是磁极间的磁通路和机械支撑部件
	电刷装置 (图 1—9)		电刷由石墨、铜等材料制成。电刷置于刷握内,用弹簧以一定压力压紧在换向器表面上。而刷握固定在刷架上。	引 导 电 流
转 动 部 分	电枢铁心 (图 1—10)		由冲有槽的 0.5 毫米硅钢片叠成。片间籍绝缘漆或氧化膜绝缘,以减少磁滞和涡流损耗。铁心冲片叠装后用夹件或螺杆夹紧。	安放电枢绕组及导磁
	电枢绕组 (图 1—11, 12)		由许多个完全相同的“绕组元件”按一定的规律连接起来而构成。绕组元件一般用铜线绕制,小容量用圆导线,大容量电机用矩形截面的导线绕成。	产生感应电动势和电磁力而实现机电能量转换
	换 向 器 (图 1—13)		“绕组元件”引出线与换向片相连。它是由许多带有鸠尾形的铜片叠成的圆筒。各换向片间及换向片与套筒间均用云母垫片绝缘。小型直流电机换向器也有不用套筒和 V 形环而用塑料压制成一体的。	整 流 (即 换 向)

空气隙	位于磁极与电枢间，其大小和形状对电机运行性能有很大影响。中小型电机空气隙 $\delta = 1 \sim 3$ 毫米，大电机可达到 $10 \sim 12$ 毫米。	实现机电能量转换之必要条件。
-----	---	----------------

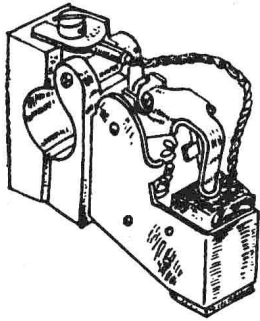


图 1—9 直流电机的电刷装置

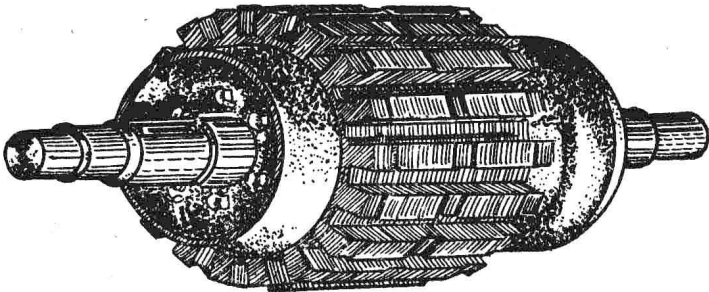


图 1—10 由硅钢片冲片叠成的电枢铁心

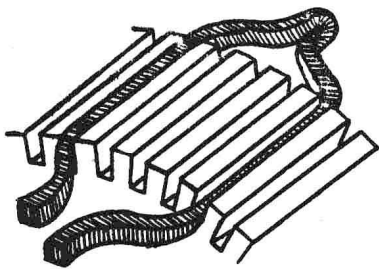


图 1—11 绕组元件在电枢铁心槽内的放置方法

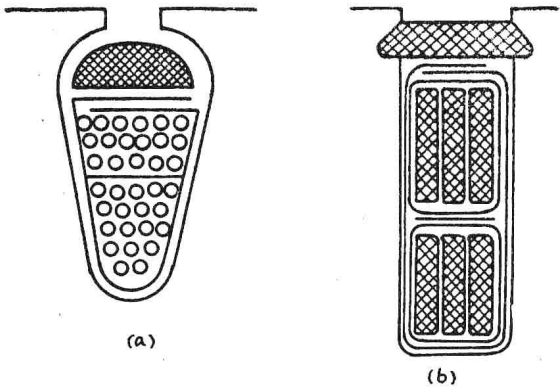


图 1—12 绕组元件在电枢铁心槽中的剖面图

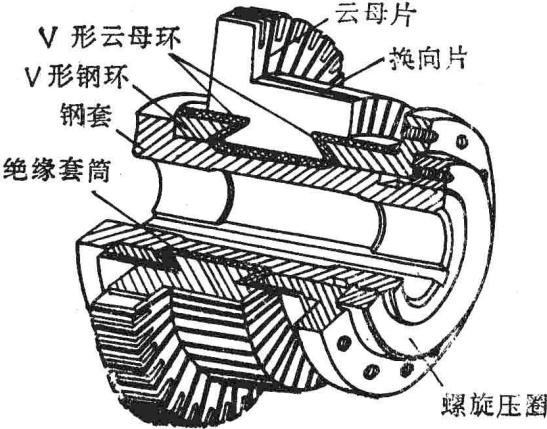


图 1—13 直流电机的换向器