

中国职业技术教育学会轨道交通专业委员会推荐教学用书

CRH动车组系列教材

动车组 电机与电器

DONGCHEZU
DIANJI YU DIANQI

主编 张 龙

主审 郭世明



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

中国职业技术教育学会轨道交通专业委员会推荐教学用书
CRH 动车组系列教材

动车组电机与电器

主 编 张 龙

主 审 郭世明

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本书是根据动车组驾驶、检修专业的教学计划,参照职业技能规范,结合动车组运用、检修生产实际编写的。全书共分九章,第一、二章介绍直流电机基础、直流电机的电力拖动;第三章至第五章介绍异步电动机基础,动车组用三相交流异步牵引电动机的特点、原理、基本构成和交流电动机的检修;第六章介绍变压器的基本知识,动车组用牵引变压器的运行特点、基本参数;第七章至第九章介绍电器理论基础,动车组用接触器、继电器、网侧高压电气设备的结构、工作原理、主要技术参数等。

本书为高等职业院校动车组驾驶、检修专业的教材,也可作为普通中等职业学校动车组专业的教材,还可作为动车组驾驶和检修人员的岗位培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

动车组电机与电器 / 张龙主编. —成都:西南交通大学出版社, 2009.2

(CRH 动车组系列教材)

ISBN 978-7-5643-0173-6

I. 动… II. 张… III. ①高速列车: 动车—电机—教材
②高速列车: 动车—电器—教材 IV. U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 006609 号

CRH 动车组系列教材

动车组电机与电器

主编 张 龙

*

责任编辑 李晓辉

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13.625

字数: 337 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0173-6

定价: 23.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

“CRH 动车组系列教材”

编委会

主任：李晓村

委员：（以姓氏笔画为序）

邓木生 王连森 王建立 华平

何成才 张中央 张龙 张维

李益民 李瑞荣 连苏宁 陶若冰

谢家的 董黎生

序

我国铁路自 2007 年 4 月 18 日进行第六次大提速,并在国内首次开行时速 200 km 的动车组以来,统称为“和谐号”的 CRH 系列动车组即成为我国铁路迈入高速铁路俱乐部的象征。在“十一五”期间,我国将建设铁路新线 17 000 km,总投资达 2 万亿元。根据新调整的国家中长期铁路网规划,到 2020 年,全国铁路营运里程将达到 120 000 km,将建成“四纵四横”铁路快速客运通道以及经济发达和人口稠密地区城际客运系统。这将为 CRH 系列动车组提供进一步施展的舞台。

但目前 CRH 系列动车组的运用、检修专业人员的培养尚不能适应我国铁路发展的现状与趋势;铁路职业教育也迫切需要一套与 CRH 动车组专业联系紧密的教材,以实现有针对性的教学,为国家早日培养出铁路行业专门人才。由此,全国铁路高职、中专机车专业教学指导委员会以及其后的中国职业技术教育学会轨道交通专业委员会,会同相关院校,在西南交通大学出版社的大力支持与配合下,于 2007 年 5 月在武汉会议上组建了以李晓村为主任、何成才等为委员的“CRH 动车组系列教材”编委会。会议经分析、讨论,确定了动车组核心专业课程的设置和课时分配。之后又于 2007 年 11 月在成都会议上审定了各核心专业课程的编写大纲,最终确定了《动车组构造》、《动车组牵引与控制系统》、《动车组辅助设备》、《动车组电机与电器》、《动车组网络技术》、《动车组制动系统》、《动车组操纵与安全》、《动车组行车与规章》、《动车组维护与检修》等九种书为第一批 CRH 动车组系列教材。

本系列教材由全国铁路高职、中专机车专业教学指导委员会副主任李晓村担任总主编,特邀西南交通大学李芾教授担任总主审,由一批资深的行业专家担任各教材主编暨教材编委会委员,由路内外有关专家担任各教材主审。在实行第一主编负责制的前提下,编写人员本着对铁路发展负责任的态度,认真进行专业调查,收集相关资料,团结协作,确保了编写内容的准确性、适用性和及时性。

本系列教材适用于高职和中专铁道机车车辆专业动车组方向或相关专业的教学用书,也适用于动车组运用、检修人员的学习培训用书,以及相关专业技术管理人员的参考用书。

由于 CRH 系列动车组在我国运用的时间还不长，各型号动车组之间的结构原理存有显著差别（本系列教材中暂定以 CRH2 型动车组为主讲车型），部分技术资料欠缺，加上编写时间又十分仓促，本系列教材难免存在一些不足。但随着 CRH 系列动车组技术的日臻成熟，运用经验的积累与丰富，编写者理解水平的不断提高，我们会适时对其进行修订、补充，使之完善、提高。真诚希望各位专家、专业技术人员和教材使用者能积极提出宝贵意见，让本系列教材在积极发挥作用的同时，能进一步得到完善。

本系列教材在筹划编写过程中，得到了铁道部劳动和卫生司的大力支持和帮助；西南交通大学的李芾教授、付茂海教授等也给予了极大的关注，并提出了不少指导性意见；同时，许多一线的铁路专业技术人员也为我们提出了具体的意见和建议。此外，西南交通大学出版社的领导和工作人员为本书的出版付出了辛劳，并提供了极大的帮助，在此我们一并表示衷心感谢。

CRH 动车组系列教材编委会
2009 年 1 月

前言

“动车组电机与电器”是动车组驾驶、检修专业的一门主干专业课程。主要讲授动车组上应用的各种电机、电器的基本原理、结构特点、工作特性、技术参数等，本书以 CRH2 型动车组应用的各种电机、电器为典型介绍其具体结构。本书是“动车组电机与电器”课程的理论教材，教学大纲中的实践教学应由各院校根据具体的设备状况编写相应的指导书，以达到全面培养学生能力的目标。

本书在编写中力图体现以下特色：

◎ 结合实际

教材紧扣教学大纲基本要求，结合当前高等职业教育教学现状，理论知识以“必需、够用”为度，突出学生对所学知识的应用能力。

◎ 内容适当

教材既介绍电机、电器的基本理论知识，同时又注意反映我国当前动车组运用与检修的现状，以交-直-交传动的 CRH2 型动车组应用到的各种电机、电器为对象进行介绍。

◎ 有利自学

教材减少了繁杂的理论分析、公式推导，力求做到图文并茂、语言规范、深入浅出、通俗易懂，以突出教学重点，满足自学的需求。

本书由太原铁路机械学校张龙主编，西南交通大学郭世明教授主审。张龙编写第一、二章，太原铁路机械学校张志强编写第三章，华东交通大学刘敏军编写第四章，西安铁路职业技术学院武军编写第五章，郑州

铁路职业技术学院高伟编写第六章，广州铁路职业技术学院童巧新编写第七章，太原铁路机械学校祁冠峰编写第八、九章。本书在编写过程中，得到很多单位和职业教育界同仁的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏和不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2009年1月

目 录

第一章 直流电机基础	1
第一节 直流电机的基本工作原理	1
第二节 直流电机的基本结构	4
第三节 直流电机的磁场	14
第四节 直流电机的感应电动势和电磁转矩	21
复习思考题	23
第二章 直流电机的电力拖动	25
第一节 直流电机的基本方程	25
第二节 直流电动机的工作特性	28
第三节 直流牵引电动机的启动、反转、调速和制动	31
复习思考题	35
第三章 异步电动机基础	36
第一节 异步电动机的基本结构	36
第二节 交流绕组	41
第三节 交流绕组的电势和磁势	51
第四节 三相异步电动机的工作原理及运行分析	54
第五节 三相异步电动机的启动、反转、调速和制动	62
第六节 单相异步电动机	71
复习思考题	74
第四章 三相交流异步牵引电动机	76
第一节 三相交流异步牵引电动机变频调速的基本原理	76
第二节 异步牵引电动机运行的方式和特性	84
第三节 机车牵引中异步牵引电动机的特性调节	90
第四节 典型动车组用三相交流异步牵引电动机	93
复习思考题	95
第五章 交流电动机的检修	96
第一节 交流辅助电动机的解体	96
第二节 交流辅助电动机的检修	99
第三节 交流辅助电动机的组装	110
第四节 交流辅助电动机的检查试验	112

第五节 交流电动机定子绕组大修	119
复习思考题	127
第六章 变压器的基本知识	129
第一节 变压器的分类、铭牌及基本结构	129
第二节 变压器的工作原理及运行分析	136
第三节 单相变压器的连接组别	143
第四节 其他用途变压器	145
第五节 典型动车组用牵引变压器	149
复习思考题	151
第七章 电器基本理论	152
第一节 电器的发热与电动力	152
第二节 电弧的产生和灭弧方法	155
第三节 触头	159
第四节 传动装置	169
复习思考题	174
第八章 接触器和继电器	175
第一节 接触器的基本知识	175
第二节 动车组接触器的结构和原理	177
第三节 继电器的基本知识	182
第四节 动车组继电器的结构和原理	185
复习思考题	192
第九章 网侧高压电气设备	193
第一节 受电弓	193
第二节 主断路器	196
第三节 高压电流互感器	200
第四节 避雷器	203
复习思考题	206
参考文献	207

第一章 直流电机基础

第一节 直流电机的基本工作原理

直流电机是直流发电机和直流电动机的总称。直流电机具有可逆性，既可作直流发电机使用，也可作直流电动机使用。作直流发电机使用时，它将机械能转换成直流电能输出；作直流电动机使用时，则又将直流电能转换成机械能输出。

一、直流电机的模型结构

图 1.1 所示为直流电机简单模型图。N、S 为定子上固定不动的两个主磁极，主磁极可以采用永久磁铁，也可以采用电磁铁，在电磁铁的励磁线圈上通以方向不变的直流电流，便形成一定极性的磁极。

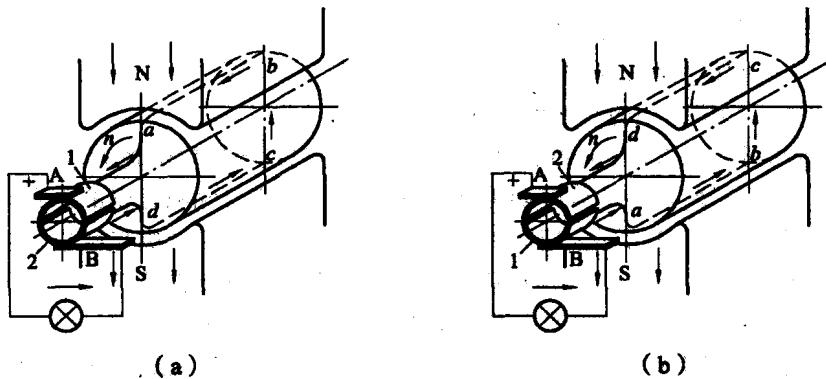


图 1.1 直流电机简单模型图

在两个主磁极 N、S 之间装有一个可以转动的、由铁磁材料制成的圆柱体；圆柱体表面嵌有一线圈 *abcd*（称为电枢绕组），线圈首末两端分别连接到两个弧形铜片（称为换向片）上。换向片及间隙中的绝缘材料构成一个整体，称为换向器，它固定在转轴上（但与转轴绝缘）并随转轴一起转动，整个转动部分称为电枢。为了接通电枢内电路和外电路，在定子上装有两个固定不动的电刷 A 和 B，并压在换向器上，与其保持滑动接触。

二、直流发电机工作原理

1. 感应电动势的产生

当直流发电机的电枢被原动机拖动，并以恒速 v 逆时针方向旋转时，如图 1.1 (a) 所示，

线圈两个有效边 ab 和 cd 将切割磁力线而感应产生电动势 e ，其方向用右手定则确定。导体 ab 位于 N 极下，导体 cd 位于 S 极下，感应电动势方向分别为 $b \rightarrow a$ ， $d \rightarrow c$ 。若接通外电路，电流从换向片 1 \rightarrow A \rightarrow 负载 \rightarrow B \rightarrow 换向片 2。电流从电刷 A 流出，具有正极性，用“+”表示；从电刷 B 流入，具有负极性，用“-”表示。

当电枢转过 90° 时，线圈有效边 ab 和 cd 转到 N、S 极之间的几何中心线上，此处磁密为零，故这一瞬时感应电动势为零。

当电枢转过 180° 时，导体 ab 和 cd 及换向片 1、2 位置互换，如图 1.1 (b) 所示。导体 ab 位于 S 极下，导体 cd 位于 N 极下，线圈两个有效边产生的感应电动势方向分别为 $a \rightarrow b$ ， $c \rightarrow d$ ，电势方向恰与开始瞬时相反。外电路中流过的电流从换向片 2 \rightarrow A \rightarrow 负载 \rightarrow B \rightarrow 换向片 1。由此可见，电刷 A (B) 始终与转到 N (S) 极下的有效边所连接的换向片接触，故电刷极性始终不变，A 为“+”，B 为“-”。

由以上分析可知，线圈内部为一交变电动势，但电刷引出的电动势方向始终不变，为一单方向的直流电动势。

2. 感应电动势的波形

根据电磁感应定律，每根导体产生的感应电势 e (单位为 V) 为：

$$e = B_x L v \quad (1.1)$$

式中 B_x ——导体所在位置的磁通密度 (T)；

L ——导体切割磁力线的有效长度 (m)；

v ——导体切割磁力线的线速度 (m/s)。

要想知道电动势的波形，先得找出磁密的波形，前已设电枢以恒速 v 旋转， v 为常数， L 在电机中不变，则 $e \propto B_x$ ，即导体电动势随时间的变化规律与气隙磁密的分布规律相同。设想将电枢从外圆某一点沿轴切开，把圆周拉成一直线作为横坐标，纵坐标表示磁密，而绘出的 B_x 分布曲线如图 1.2 所示，为一梯形波。由于 $e \propto B_x$ ，电动势波形与磁密波形可用同一曲线表示，只需换一坐标即可得到线圈内部交变电动势波形，如图 1.2 所示。

通过电刷和换向器的作用，及时地将线圈内的交变电动势转换成电刷两端单方向的直流电动势，如图 1.3 所示，但它是一个大小在零和最大值之间变化的脉振电动势。

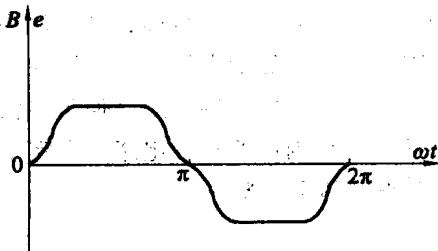


图 1.2 线圈内电动势波形

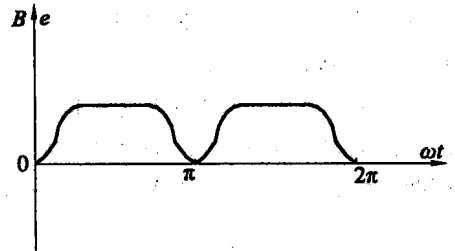


图 1.3 电刷两端的电动势波形

对于图 1.1 所示的直流电机简单模型图，由于电枢上只嵌放了一个线圈，所以感应电动势数值小，波动大。为了减小电动势的脉动，实际电机中，电枢上放置许多线圈组成电枢绕组，这些线圈均匀分布在电枢表面，并按一固定规律连接起来。图 1.4 表示一台两极直流电

机，电枢上嵌有在空间互差 90° 的两个线圈产生的电动势波形，由图可见，其脉动程度大大减小了。实践证明，若每极下线圈边数大于 8，电动势脉动的幅值将小于 1%，基本为一直流电动势，如图 1.5 所示。

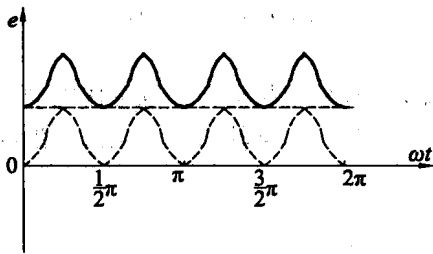


图 1.4 两个线圈换向后的电动势波形

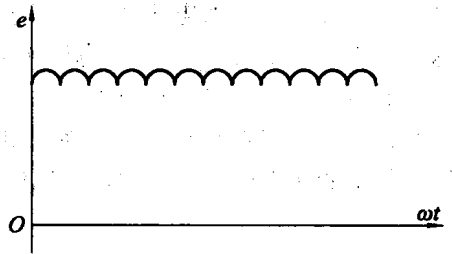


图 1.5 多个线圈电刷两端的电动势波形

3. 直流发电机产生的电磁转矩

当直流发电机电刷两端获得直流电动势后，若接上负载，便有一电流流过线圈，电流 i 与电动势 e 的方向相同。同时，载流导体在磁场中必然产生一电磁力 f ，其方向用左手定则确定。电磁力对转轴形成一电磁转矩 T ， T 与电枢旋转的方向相反，起到了阻碍作用，故称为阻碍转矩。直流电机要维持发电状态，原动机就必须输入机械能克服电磁转矩 T ，正是这种不断的克服，实现了将机械能转换成为电能。

三、直流电动机工作原理

图 1.6 所示为两极直流电动机工作原理图。直流电动机结构与直流发电机相同，不同的是电刷 A、B 外接一直流电源。图示瞬时电流的流向为 $+\rightarrow A\rightarrow$ 换向片 1 $\rightarrow a\rightarrow b\rightarrow c\rightarrow d\rightarrow$ 换向片 2 $\rightarrow B\rightarrow -$ 。根据电磁力定律，载流导体 ab 、 cd 都将受到电磁力 f 的作用，其大小为：

$$f = B_x Li \quad (1.2)$$

式中 i ——导体中流过的电流 (A)。

导体所受电磁力的方向用左手定则确定，在初期瞬时， ab 位于 N 极下，受力方向从右向左， cd 位于 S 极下，受力方向从左向右，电磁力对转轴便形成一电磁转矩 T 。在 T 的作用下，电枢便逆时针旋转起来。

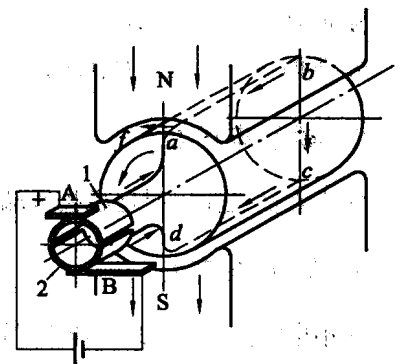


图 1.6 直流电动机工作原理图

当电枢转过 90° ，电刷不与换向片接触，而与换向片间的绝缘片相接触，此时线圈中没有电流流过， $i=0$ ，故电磁转矩 $T=0$ 。但由于惯性，电枢仍能转过一个角度，电刷 A、B 则又将分别与换向片 2、1 接触。线圈中又有电流 i 流过，此时，导体 ab 、 cd 中电流改变了方向，即为 $b\rightarrow a$ ， $d\rightarrow c$ ，且导体 ab 转到 S 极下， ab 所受的电磁力 f 方向从左向右， cd 转到 N 极下， cd 所受的电磁力 f 方向从右向左。因此，线圈仍然受到逆时针方向电磁转矩的作用，电枢始终保持同一方向旋转。

在直流电动机中，电刷两端虽然加的是直流电源，但在电刷和换向器的作用下，线圈内部却变成了交流电，从而产生了单方向的电磁转矩，驱动电机持续旋转。同时，旋转的线圈中也将感应产生电动势 e ，其方向与线圈中电流方向相反，故称为反电动势。直流电动机若要维持继续旋转，外加电压就必须高于反电动势，才能不断地克服反电动势而流入电流，正是这种“不断克服”，实现了将电能转换成为机械能。

由此可见，直流电机具有可逆性，即一台直流电机既可作发电机运行，也可作电动机运行。当输入机械转矩将机械能转换成电能时，电机作发电机运行；当输入直流电流产生电磁转矩，将电能转换成机械能时，电机作电动机运行。

第二节 直流电机的基本结构

一、直流电机的额定值

每一台电机都有一块铭牌，上面标注着各种额定数据，以简要地介绍这台电机的型号、规格、性能。铭牌是用户合理选择和正确使用电机的依据。

根据国家标准要求设计和试验所得的一组反映电机性能的主要数据，称为电机的额定值。

1. 额定功率 P_N

它指电机按规定的工作方式运行时，所能提供的输出功率。发电机的额定功率是指接线端子处的输出功率；电动机的额定功率是指电动机转轴的有效机械功率，单位为千瓦 (kW)。额定功率、额定电压和额定电流的关系为：

$$\text{发电机} \quad P_N = U_N I_N \quad (1.3)$$

$$\text{电动机} \quad P_N = U_N I_N \eta_N \quad (1.4)$$

2. 额定电压 U_N

它指在额定输出时电机接线端子间的电压，单位为伏 (V)。

3. 额定电流 I_N

它指电机按照规定的工作方式运行时，电机绕组允许流过的最大安全电流，单位为安 (A)。

4. 额定转速 n_N

它指电机在额定电压、额定电流和额定输出功率时，电机的旋转速度，单位为转/分 (r/min)。

此外，还有工作方式、励磁方式、额定励磁电压、额定温升、额定效率 η_N 等。

额定值是选用或使用电机的主要依据，人们一般希望电机按额定值运行。但实际上，电机运行时的各种数据可能与额定值不同，它们由负载的大小来确定。若电机的电流正好等于额定值，称为满载运行；若电机的电流超过额定值，称为过载运行；若比额定值小得多，称

为轻载运行。长期过载运行将使电机过热，降低电机寿命甚至造成损坏；长期轻载运行又使得电机的容量不能充分利用。这两种情况都将降低电机的效率，都是不经济的。故在选择电机时，应根据负载的情况，尽可能使电机运行在额定值附近。

二、直流电机的基本结构

直流电机由静止的定子和旋转的转子两大部分组成，在定子和转子之间有一定大小的间隙（称气隙），如图 1.7 所示。

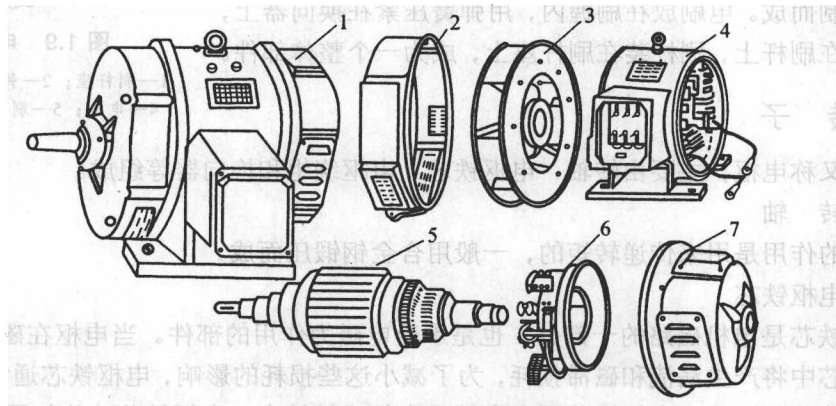


图 1.7 直流电机结构图

1—直流电机总成；2—后端盖；3—通风器；4—定子总成；5—转子（电枢）总成；
6—电刷装置；7—前端盖

1. 定 子

直流电机定子的作用是产生磁场和作为电机的机械支撑，主要由机座、主磁极、换向极和电刷装置等组成。

(1) 机 座

机座兼起机械支撑和导磁磁路两个作用。它既用来作为安装电机所有零件的外壳，又是联系各磁极的导磁铁轭。机座通常为铸钢件，也有采用钢板焊接而成的。对于换向要求较高的电机，可采用叠片结构的机座。

(2) 主磁极

主磁极如图 1.8 所示，由主极铁芯和主极线圈两部分组成。主极铁芯一般用 1~1.5 mm 厚的薄钢板冲片叠压后再用铆钉铆紧成一个整体。小型电机的主极线圈用绝缘铜线（或铝线）绕制而成，大中型电机主极线圈用扁铜线绕制，并进行绝缘处理，然后套在主极铁芯外面。整个主磁极用螺钉固定在机座内壁。

(3) 换向极

换向极又称为附加极，它装在两个主极之间，用来改善直流电机的换向。换向极由换向极铁芯和换向极线圈构

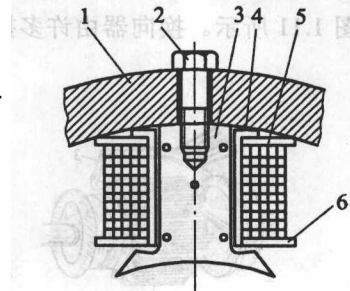


图 1.8 主磁极

1—机座；2—主极螺钉；3—主极铁芯；
4—框架；5—主极绕组；6—绝缘垫衬

成。换向极铁芯大多用整块钢加工而成。但在整流电源供电的功率较大电机中，为了更好地改善电机换向，换向极铁芯也采用叠片结构。换向极线圈与主极线圈一样也是用圆铜线或扁铜线绕制而成后，经绝缘处理再套在换向极铁芯上，最后用螺钉将换向极固定在机座内壁。

(4) 电刷装置

电刷装置的作用是通过电刷与换向器表面的滑动接触，把转动的电枢绕组与外电路相连。电刷装置一般由电刷、刷握、刷杆、刷杆座等部分组成，如图 1.9 所示。电刷一般用石墨粉压制而成。电刷放在刷握内，用弹簧压紧在换向器上，刷握固定在刷杆上，刷杆装在刷杆座上，成为一个整体部件。

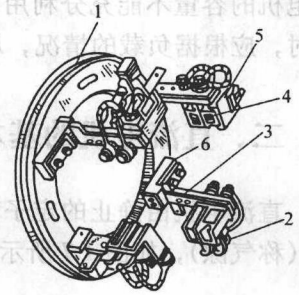


图 1.9 电刷装置

1—刷杆座；2—弹簧；3—刷杆；
4—电刷；5—刷握；6—绝缘件

2. 转 子

转子又称电枢，主要由转轴、电枢铁芯、电枢绕组和换向器等组成。

(1) 转 轴

转轴的作用是用来传递转矩的，一般用合金钢锻压而成。

(2) 电枢铁芯

电枢铁芯是电机磁路的一部分，也是承受电磁力作用的部件。当电枢在磁场中旋转时，在电枢铁芯中将产生涡流和磁滞损耗，为了减小这些损耗的影响，电枢铁芯通常用 0.5 mm 厚的电工钢片叠压而成，电枢铁芯固定在转子支架或转轴上。电枢铁芯冲片如图 1.10 所示，沿铁芯外圈均匀分布有槽，在槽内嵌放电枢绕组。

(3) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电势和通过电流产生电磁转矩，实现机电能量转换。它是直流电机的主要电路部分。电枢绕组通常都用圆形或矩形截面的导线绕制而成，再按一定规律嵌放在电枢槽内，上下层之间以及电枢绕组与铁芯之间都要妥善地绝缘。为了防止离心力将绕组甩出槽外，槽口处需用槽楔将绕组压紧，伸出槽外的绕组端接部分用无纬玻璃丝带绑紧。绕组端头则按一定规律嵌放在换向器铜片的升高片槽内，并用锡焊或氩弧焊焊牢。

(4) 换向器

换向器的作用是机械整流，即在直流电动机中，它将外加的直流电流逆变成绕组内的交流电流；在直流发电机中，它将绕组内的交流电势整流成电刷两端的直流电势。换向器的结构如图 1.11 所示。换向器由许多换向片组成，换向片间用云母片绝缘。换向片凸起的一端称

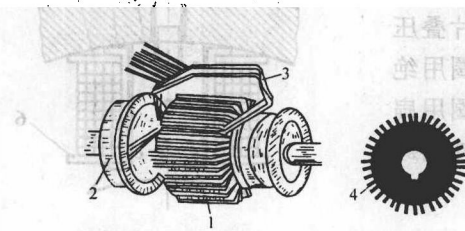


图 1.10 电枢铁芯冲片和铁芯

1—电枢铁芯；2—换向器；3—绕组元件；
4—铁芯冲片

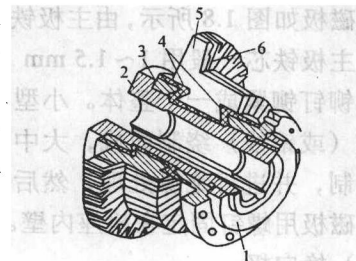


图 1.11 换向器

1—螺旋压圈；2—换向器套筒；3—V形压圈；
4—V形云母环；5—换向铜片；6—云母片

升高片，用以与电枢绕组端头相连；换向片下部做成燕尾形，利用换向器套筒、V形压圈及螺旋压圈将换向片、云母片紧固成一个整体。在换向片与换向器套筒、压圈之间用V形云母片绝缘，最后将换向器压装在转轴上。

三、直流电机的电枢绕组

电枢绕组是实现电能和机械能相互转换的枢纽，是直流电机的重要部件之一。绕组的形式与电机的性能、寿命和效率有很大的关系。研究直流电机电枢绕组，主要是找出绕组元件相互之间和元件与换向器之间的连接规律。不同类型的电枢绕组，具有不同的连接规律。直流电机的电枢绕组分为单叠绕组、复叠绕组、单波绕组、复波绕组等几种类型。

1. 电枢绕组概述

(1) 对电枢绕组的要求

电枢绕组是由许多形状相同的线圈，按一定规律连接起来的总称。对于电枢绕组，要求一定的导体数，应能产生较大的电势；通过一定大小的电流能产生足够大的电磁转矩。同时，应尽量节省有色金属和绝缘材料，且结构简单，运行安全可靠。

(2) 绕组元件

绕组元件是用绝缘铜导线绕制成的线圈，这些线圈是组成电枢绕组的基本单元，故称为绕组元件。一个元件有两个有效边，其中一个有效边嵌放在某个槽的上层（称为上元件边），另一个有效边嵌放在另一个槽的下层（称为下元件边），元件的首末端分别接于两个换向片上，如图 1.12 所示。元件在铁芯槽内的部分称为有效部分，槽外两端仅起连接作用，称为端节部分。

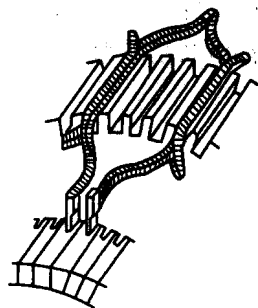


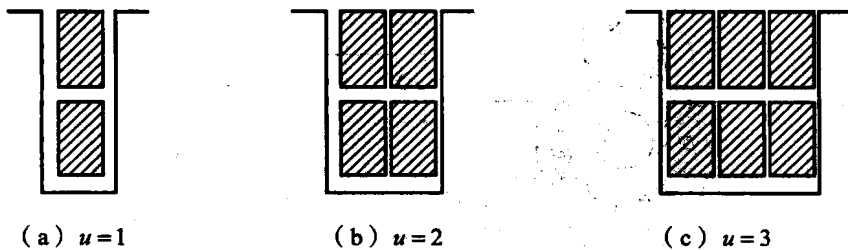
图 1.12 线圈与换向器

(3) 元件数 S 、换向片数 K 、虚槽数 Z_v 之间的关系

每个元件均有首末端，而每个换向片总是焊接着一个元件的末端和另一个元件的首端，因此，元件数与换向片数相等，即

$$S = K \quad (1.5)$$

若每一个实槽内嵌放上、下两个有效边，则称为一个单元槽或一个虚槽。但有些电机，一个实槽内上、下层常并列嵌放多个元件边，如图 1.13 所示。这时，电枢总的虚槽数为：



(a) $u=1$ (b) $u=2$ (c) $u=3$

图 1.13 实槽与虚槽