
机车电机与电器

主 编 付 娟 崔 晶 杨会玲
主 审 李益民 邢永红 纪 涛

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书为高等职业院校铁道机车（机车驾驶与机车检修）专业教材，采用任务驱动的形式进行编写，内容包括：直流电机的结构、工作原理、起动、调速和制动，直流牵引电动机的工作特性和机械特性；变压器的结构和工作原理，牵引变压器的特性和应用；异步电动机的结构、工作原理、起动、调速和制动，异步牵引电动机的结构和特性；同步电机、感应子励磁机的结构和工作原理；劈相机、步进电机的结构和应用；电器的发热和散热，电器的电动力与触头，电弧的燃烧和熄灭及电器的传动装置；接触器、继电器、自动开关等通用电器的结构、工作原理和在机车上的应用；受电弓、主断路器、司机控制器等主型电器的结构、工作原理和在机车上的应用。为了让学生近距离上岗，还介绍了牵引电机、受电弓、主断路器以及高压接地开关等的维护方法以及检修工艺。

本书除作为高等职业院校专业教材外，还可作为成人教育、职工培训教材，司机提职考试培训用书及有关技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

机车电机与电器 / 付娟，崔晶，杨会玲主编. —成都：西南交通大学出版社，2021.8
ISBN 978-7-5643-8164-6

机... 付... 崔... 杨... 电力机
车 - 牵引电机 - 高等职业教育 - 教材 电力机车 - 牵引电
器 - 高等职业教育 - 教材 U264

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2021）第 150693 号

Jiche Dianji yu Dianqi

机车电机与电器

主编 付娟 崔晶 杨会玲

责任编辑 王旻 孟苏成

封面设计 曹天擎

出版发行 西南交通大学出版社
（四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼）

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 19

字数 475 千

版次 2021 年 8 月第 1 版

印次 2021 年 8 月第 1 次

定价 52.00 元

书号 ISBN 978-7-5643-8164-6

课件咨询电话：028-81435775

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

前言

“机车电机与电器”是铁道机车专业的一门专业核心课程，我们根据 2020 年全国铁道职业教育指导委员会“高等职业学校铁道机车专业建设指导标准”的要求编写了本书。本书采用任务驱动的教学模式编写，先提出任务目标，并对该任务中涉及的相关知识进行阐述，然后进行任务实施，让学生在具体操作中进一步理解相关知识，通过思考题和自测题让学生更好地掌握该项技能。

本书以直流传动机车 SS_{4G}、DF_{4B}、DF₈ 和交流传动机车 HXD₃、HXN₅ 为例编写，兼顾其他车型；教材数字资源丰富，有与教材配套的 PPT 和授课的视频或微课，是一本既适合于理论教学，又贴近生产实际的教材。

教材的使用建议：

(1) 教学中要坚持理论与实践相结合的原则，避免“重理论、轻实践”的错误做法。为了提高学生的实际动手能力，应结合其他专业课在适当的时候安排学生去现场进行一段时间的实习，将课堂知识转化为实际技能。

(2) 突出教学的直观性。“机车电机与电器”是一门直观性、实践性很强的专业课，如果只是强调课本上的图文，不追求实物所带来的直观性，那就会使教学效果事倍功半。因此，教师在授课时，一方面要充分利用实物、模型等教具或多媒体课件激发学生的学习兴趣，另一方面要适当增大实验、实训课的教学时数。

(3) 我国目前铁路干线运行的国产和进口机车型号多达数十种，加之新型机车的不断推出，本书由于篇幅所限，很难包罗所有车型，仅选择具有代表性的 5 种机车加以介绍。因此，作为本专业教师，应该时刻关注机车发展的新动向，在教学中，随时将机车发展的新技术、新知识、新工艺补充进去；同时，在教学中总结出各型机车的异同点，做到举一反三，使学生具有较强的适应性和应变能力。

本书由西安铁路职业技术学院付娟、崔晶、杨会玲担任主编，西安铁路职业技术学院侯艳、湖南高速铁路职业技术学院王小刚、新疆铁道职业技术学院王伟芳

担任副主编,西安铁路职业技术学院李益民,中国铁路西安局集团有限公司邢永红、纪涛担任主审。参加编写的人员及编写任务分工是:西安铁路职业技术学院付娟(项目一)、刘芳璇(项目三的任务一、二)、王晓琴(项目三的任务三、四)、张笛(项目四)、崔晶(项目六)、侯艳(项目七,项目三的任务五、六)、杨会玲(项目八)、虞梦月(项目九)、雷云涛(项目五的任务一、二)、王东东(项目五的任务三、四)、潘俞如(项目五的任务五、六)、湖南高速铁路职业技术学院王小刚(项目二的任务一、二),新疆铁道职业技术学院王伟芳(项目二的任务三、四)、西安机车检修段赵欢(项目二的任务五,项目三的任务七)。

教材在编写过程中得到西安铁路职业技术学院林辉、刘宏利、柏承宇、张省伟、朱亚男老师的大力支持,在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不足之处,殷切希望读者批评指正。

编者

2021年6月

《机车电机与电器》数字资源列表

序号	二维码名称	资源类型	书籍页码
1	项目一 PPT	PPT	001
2	直流发电机的工作原理	视频	002
3	直流电动机的工作特性	视频	031
4	项目一自测题	PDF	038
5	项目二 PPT	PPT	039
6	变压器的基本结构	视频	039
7	变压器的空载运行	视频	043
8	项目二自测题	PDF	064
9	项目三 PPT	PPT	065
10	三相异步电动机的结构	视频	066
11	三相异步电动机的工作原理	微课	074
12	刹车也精彩	微课	091
13	项目三自测题	PDF	103
14	项目四 PPT	PPT	104
15	电动机的结构及工作原理	微课	106
16	项目四自测题	PDF	126
17	项目五 PPT	PPT	127
18	劈相机的起动和电压调整	视频	135
19	项目五自测题	PDF	156
20	项目六 PPT	PPT	157
21	熄灭电弧的基本装置	视频	173
22	电器的传动装置	视频	177
23	项目六自测题	PDF	182

序号	二维码名称	资源类型	书籍页码
24	项目七 PPT	PPT	183
25	继电器的基本知识	视频	198
26	项目七自测题	PDF	211
27	项目八 PPT	PPT	212
28	受电弓的动作原理	视频	215
29	主断路器的作用	视频	226
30	高压隔离开关的基本知识	视频	240
31	高压连接器的基本知识	视频	251
32	项目八自测题	PDF	266
33	项目九 PPT	PPT	267
34	项目九自测题	PDF	291
35	附录 A ~ E	PDF	292

目 录

项目 一

直流（脉流）牵引电机	001
任务一 直流电机的工作原理	001
思考题	003
任务二 小型直流电机	004
思考题	008
任务三 典型脉流牵引电机	008
思考题	014
任务四 典型直流牵引电机	014
思考题	020
任务五 直流电机的磁场	020
思考题	023
任务六 直流（脉流）牵引电机的换向	023
思考题	026
任务七 直流电机的基本方程	027
思考题	031
任务八 直流电动机的工作特性和机械特性	031
思考题	034
任务九 直流电动机的起动、调速和制动	034
思考题	038
自测题 1	038

项目 二

牵引变压器	039
任务一 单相变压器的结构及工作原理	039
思考题	043
任务二 单相变压器的空载及负载运行	043

项目三

思考题	049
任务三 变压器的运行特性	049
思考题	051
任务四 牵引变压器	052
思考题	059
任务五 自耦变压器和仪用互感器	059
思考题	064
自测题 2	064

三相异步电机	065
任务一 三相异步电动机的结构	065
思考题	071
任务二 三相异步电机的工作原理	071
思考题	076
任务三 三相异步电动机的功率和转矩	076
思考题	080
任务四 三相异步电动机的工作特性和机械特性	080
思考题	083
任务五 三相异步电动机的起动	083
思考题	088
任务六 三相异步电动机的调速和制动	088
思考题	092
任务七 典型异步牵引电动机	093
思考题	103
自测题 3	103

项目四

三相同步电机	104
任务一 三相同步电机的结构和工作原理	104
思考题	110
任务二 典型同步牵引发电机	110
思考题	117
任务三 微型同步电动机	117
思考题	121
任务四 感应子励磁机	121
思考题	126
自测题 4	126

项目五

劈相机和其他电动机	127
任务一 单相异步电动机	127
思考题	133
任务二 异步劈相机	133
思考题	137
任务三 电力机车用辅助电动机	138
思考题	144
任务四 内燃机车用辅助电动机	144
思考题	149
任务五 步进电动机	149
思考题	152
任务六 测速发电机	153
思考题	156
自测题 5	156

项目六

电器基础知识	157
任务一 电器的发热和散热	157
思考题	162
任务二 电器的电动力和触头	162
思考题	170
任务三 电弧的燃烧与熄灭	170
思考题	177
任务四 电器的传动装置	177
思考题	182
自测题 6	182

项目七

接触器与继电器	183
任务一 电磁接触器	183
思考题	192
任务二 电空接触器	192
思考题	197
任务三 电磁继电器	198
思考题	205
任务四 机械式继电器	205
思考题	211
自测题 7	211

项目八

机车主型电器	212
任务一 受电弓	212
思考题	226
任务二 主断路器	226
思考题	239
任务三 高压隔离开关和高压接地开关	239
思考题	245
任务四 两位置转换开关	245
思考题	251
任务五 高压连接器	251
思考题	257
任务六 司机控制器	257
思考题	266
自测题 8	266

项目九

机车用其他电器	267
任务一 自动开关	267
思考题	273
任务二 万能转换开关及扳键开关	273
思考题	278
任务三 蓄电池	278
思考题	283
任务四 高压互感器	283
思考题	288
任务五 避雷器	288
思考题	291
自测题 9	291

附 录	292
-----	-----

参考文献	293
------	-----

项目一

直流（脉流）牵引电机



知识目标：

- (1) 掌握直流电机的基本结构和工作原理；
- (2) 能描述主磁场、漏磁场、电枢磁场的特点；
- (3) 了解火花等级、换向过程和改善换向的方法；
- (4) 熟悉直流电动机的工作特性和机械特性。



项目一 PPT



技能目标：

- (1) 能正确实施直流电动机的起动、调速、反转和制动；
- (2) 能绘制绕组展开图，说出主要励磁方式、读懂铭牌；
- (3) 能列举直流（脉流）牵引电机的主要部件，并进行维护和检修；
- (4) 能描述 ZD105、ZD115 型脉流牵引电机的结构特点；
- (5) 能描述 ZQDR-410、ZD-109B 型牵引电动机的结构特点；
- (6) 强化创新意识，培养职业道德及综合分析能力。

任务一

直流电机的工作原理

【任务提出】

直流电机是电能和机械能相互转换的旋转电机之一，应用电磁感应原理进行能量转换。将机械能转变为直流电能的电机称为直流发电机；将直流电能转变为机械能的电机称为直流电动机。直流发电机可作为直流电源。直流电动机具有宽广的调速范围、平滑的调速特性、较高的过载能力、较大的起动和制动转矩，应用于对起动和调速要求较高的生产机械，如电力机车、内燃机车、工矿机车、城市电车等的拖动电机。

【任务目标】

- (1) 了解直流发电机的模型结构；
- (2) 能描述直流电动机、直流发电机的工作原理。

【相关知识】

直流发电机模型

直流发电机的物理模型如图 1.1 所示。图中 N、S 为固定不动的主磁极，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。线圈 abcd 固定在可旋转导磁圆柱体上，线圈连同导磁圆柱体是直流电机可转动部分，称为电机转子（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。在定子与转子之间有间隙存在，称为空气隙，简称气隙。

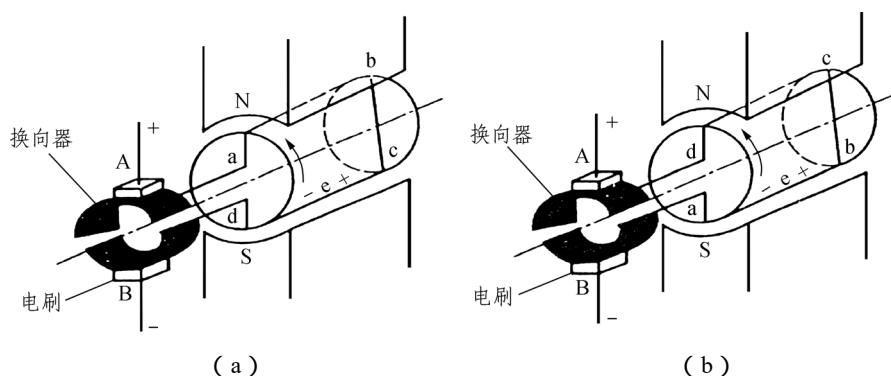


图 1.1 直流发电机模型

【任务实施】

基本任务 直流电机的工作原理



直流发电机的
工作原理

1. 直流发电机的工作原理

在直流发电机的模型中，当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，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。此时，电刷 A 的极性为正，电刷 B 的极性为负。当线圈旋转 180° 后，见图 1.1 (b)，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发生改变，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。

由以上分析可知，在电枢线圈内部为一交变电动势，但电刷两端引出的电动势方向始终不变，为一单方向的直流电动势。

图 1.1 所示为直流发电机的简单模型，实际直流发电机的电枢根据具体应用需要有多个线圈。线圈分布于电枢铁心表面的不同位置上，并按照一定的规律连接起来，构成电机的电枢绕组。磁极也是根据需要 N、S 极交替放置。

2. 直流电动机的工作原理

将直流电源接到电刷 A、B 上，电刷 A 接电源的正极，电刷 B 接电源的负极，电枢线圈中将有电流流过，如图 1.2 所示。

在图 1.2 (a) 中，线圈的 ab 边位于 N 极下，线圈的 cd 边位于 S 极下，载流导体在磁场中受到电磁力的作用，其受力方向由左手定则确定。导体 ab 受力方向为从右向左，导体 cd 受力方向为从左向右。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转矩时，线圈按逆时针方向旋转。当电枢旋转到图 1.2 (b) 所示位置时，位于 N 极下的导体 ab 转到 S 极下，导体 ab 受力方向为从左向右；而位于 S 极下的导体 cd 转到 N 极下，导体 cd 受力方向为从右向左，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。

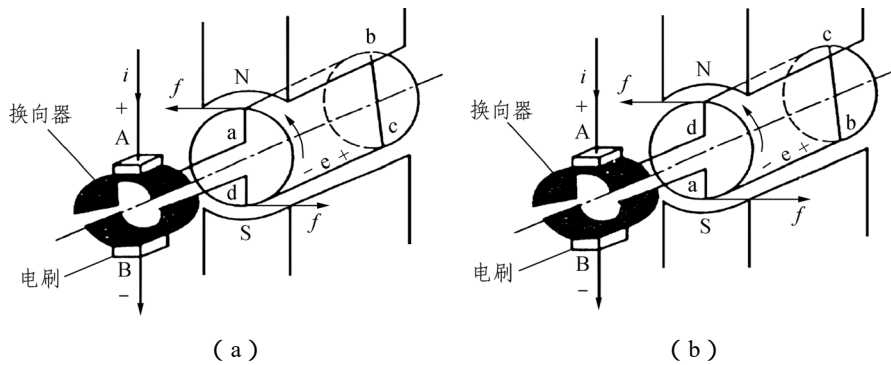


图 1.2 直流电动机模型

由以上分析可知，在电枢线圈中流通的交变电流，但 N 极下导体受力的方向和 S 极下导体受力的方向并未发生变化，因此电动机在此方向不变的电磁转矩作用下连续转动。

3. 直流电机的可逆原理

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。直流电机也具有可逆性，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。例如机车在牵引工况时，牵引电机作电动机运行，产生牵引力；在制动工况时，牵引电机作发电机运行，将机车和列车的动能转换成电能，产生制动力对机车进行制动。



1. 直流发电机是如何将机械能转换成电能的？
2. 直流电动机通电以后，为什么可以沿一个方向持续旋转？

任务二 小型直流电机

【任务提出】

直流电机模型所描述的是仅有一个线圈、一对磁极的直流电机，主要是为了说明直流电机的工作原理，但仍然可以看出：要使直流电机运行，线圈、磁极、换向器和电刷是必不可少的，它们是直流电机的主要部件。

【任务目标】

- (1) 掌握直流电机各部件的位置和作用；
- (2) 读懂直流电机的铭牌。

【相关知识】

小型直流电机的结构

直流电机的结构按部件的运动状态可分为旋转部分和静止部分。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。直流电机的转子是直接完成电能和机械能相互转换的部件，定子是电机的安装基础并产生磁场。空气隙既保证了电机的安全运行，又是磁路的重要组成部分。小型直流电机的结构如图 1.3 所示。

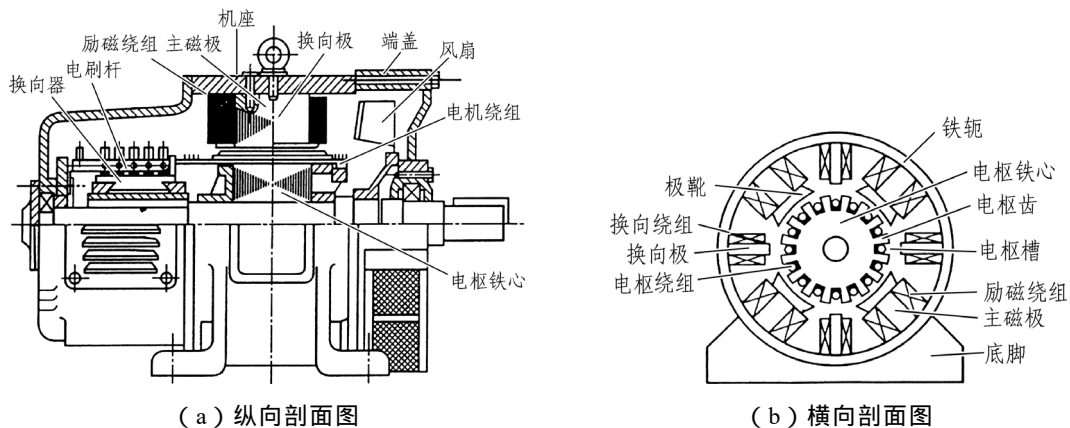


图 1.3 小型直流电机的结构

1. 定子部分

定子是电机的静止部分，其作用是在电磁方面产生磁场和构成磁路，在机械方面是整个电机的支撑。小型直流电机定子由主磁极、机座、换向极、电刷装置、端盖和轴承等组成。

1) 主磁极

主磁极简称主极，其作用是产生主磁场。主磁极由主磁极铁心和励磁绕组构成，其结构如图 1.4 (a) 所示。为了减小涡流损耗，主磁极铁心采用 1.0~1.5 mm 厚的低碳钢板冲制而成，再用铆钉把冲片铆紧成一个整体。小型电机的励磁绕组用绝缘铜线（或铝线）绕制而成，大中型电机励磁绕组用扁铜线绕制，并进行绝缘处理，然后套在主极铁心外面。整个主磁极用螺钉固定在机座内壁。

2) 机座

定子的外壳部分称为机座，机座的主体部分作为磁极间的通路，这部分称为磁轭。机座同时用来固定主磁极、换向极和端盖，起到固定和支撑整个电机的作用。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，该种机座能同时起到导磁和机械支撑的作用。叠片机座是用薄钢板冲片叠压成定子铁轭，再把定子铁轭固定在一个专起支撑作用的机座里，这样定子铁轭和机座是分开的，机座只起支撑作用，可用普通钢板制成。

3) 换向极

换向极又称为附加极，其结构如图 1.4 (b) 所示。换向极安装在相邻的两个主磁极之间，用螺钉固定在机座上。换向极用来改善直流电机的换向，一般电机容量超过 1 kW 时应安装换向极。

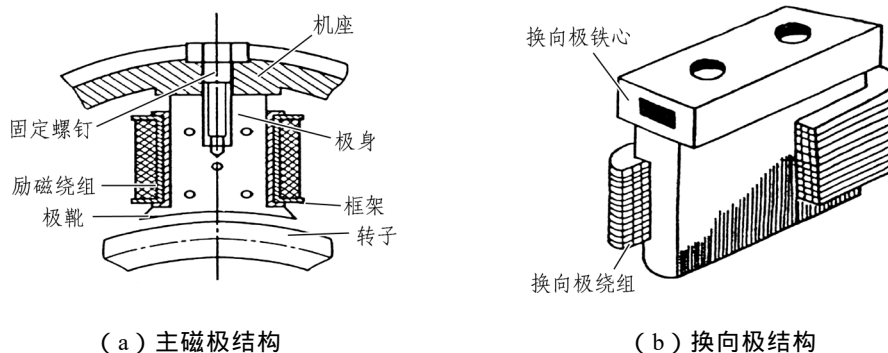


图 1.4 直流电机主磁极和换向极结构

换向极由换向极铁心和换向极线圈组成。换向极铁心大多采用整块钢加工而成，但在大功率的直流电机中，为了更好地改善电机换向，换向极铁心也采用厚 1~1.5 mm 的钢板或硅钢片叠成。换向极线圈采用圆铜线或扁铜线绕制而成，经绝缘处理后套在换向极铁心上，所有换向极线圈串联后称为换向绕组，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。

4) 电刷装置

电刷装置的作用是通过电刷和旋转的换向器表面滑动接触，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，刷握结构如图 1.5 所示。

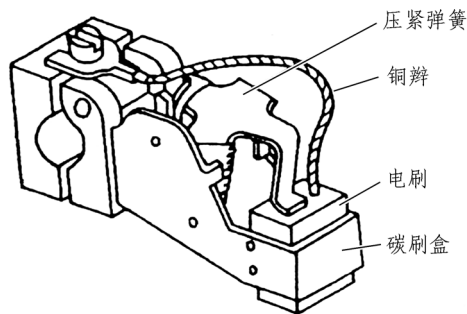


图 1.5 刷握结构

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。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。刷杆与刷杆座之间应绝缘，以避免正、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，其上放置轴承支撑电机的转轴，使电机能够旋转。

2. 转子部分

转子又称电枢，是电机的转动部分，其作用是产生感应电动势和电磁转矩，从而实现能量转换。转子由电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴、轴承和风扇等组成。

1) 电枢铁心

电枢铁心的作用是通过磁通和嵌放电枢绕组。图 1.6 所示为小型直流电机的电枢冲片形状和电枢铁心装配图。在电枢铁心冲片上冲有放置电枢绕组的电枢槽、轴孔和通风孔。

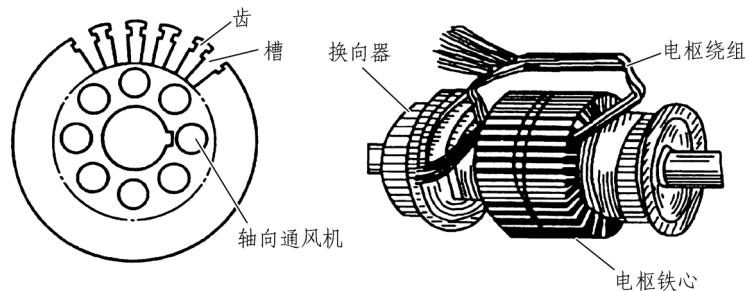


图 1.6 电枢冲片和电枢铁心装配图

为减小电机旋转时，铁心中的磁通方向发生变化引起的磁滞和涡流损耗，电枢铁心用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚的硅钢片叠成，叠片两面涂有绝缘漆。铁心叠片沿轴向叠装，中小型电机的电枢铁心通常直接压装在轴上；在大型电机中，由于转子直径较大，电枢铁心压装在套于轴上的转子支架上。

2) 电枢绕组

电枢绕组的作用是产生感应电动势和通过电流产生电磁转矩，实现机电能量转换。它是直流电机的电路部分，通常有叠绕组和波绕组两种基本形式。

3) 换向器

换向器又称为整流子。对于发电机，换向器的作用是把电枢绕组中的交变电动势转变为直流电动势向外部输出直流电压。对于电动机，它是把外界供给的直流电流转变为绕组中的交变电流以使电机旋转。换向器结构如图 1.7 所示。换向器由换向片组合而成，是直流电机的关键部件，也是最薄弱的部分。

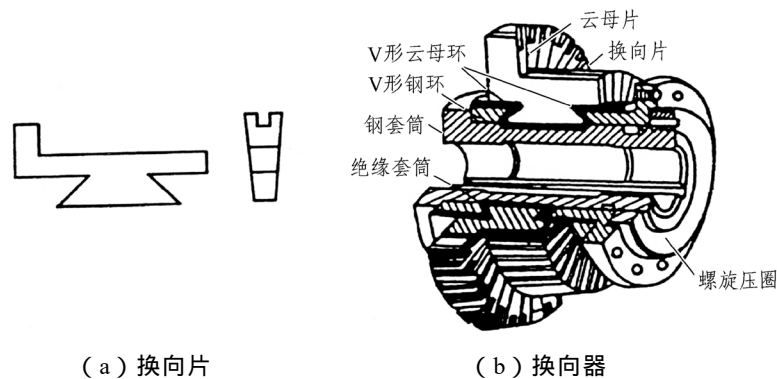


图 1.7 换向器结构

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，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 ~ 1.2 mm 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端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，一般用圆钢制成。

3. 空气隙

主极极靴和电枢间的间隙称为空气隙，简称气隙。由于空气磁阻远大于铁磁物质的磁阻，而电机能量转换是依靠气隙磁通为媒介进行的，所以气隙的大小和形状对电机性能有很大影响。

直流电机的气隙是不均匀的。极靴中部气隙较小，两侧气隙逐渐扩大，极尖处气隙最大。小型电机气隙为 1 ~ 3 mm；大型电机气隙可达 10 ~ 12 mm。

【任务实施】

基本任务 直流电机的铭牌

每一台电机都有一块铭牌，上面标注各种额定数据，简要介绍这台电机的型号、规格、性能，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

额定功率指电机按规定的工作方式运行时，所能提供的输出功率。对于发电机，额定功

率是指接线端子处的输出功率；对于电动机，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

$$\text{发电机} \quad P_N = U_N I_N \quad (1.1)$$

$$\text{电动机} \quad P_N = U_N I_N \eta_N \quad (1.2)$$

2. 额定电压 U_N

额定电压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

额定电流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

额定转速指电机在额定电压、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，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，降低电机寿命甚至损坏；长期轻载运行使电机的容量不能充分利用。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，应根据负载的要求，尽可能使电机运行在额定值附近。



1. 直流电机定子的作用是什么？主要包括哪些部件？
2. 直流电机的转子有什么作用？主要包括哪些部件？