



电拖及机床电气控制

DIANTUO JI JICHUANG DIANQI KONGZHI

◎主编 张文红 王锁庭



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电拖及机床电气控制

主 编 张文红 王锁庭
副主编 于伟霞 沙连华 张曜玮
参 编 曹 月 陈 龙

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

电拖及机床电气控制 / 张文红, 王锁庭主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 8
ISBN 978 - 7 - 5682 - 0635 - 8

I. ①电… II. ①张… ②王… III. ① 电力传动 ②机床 - 电气控制 IV. ①TM921
②TG502. 35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 108681 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.75

字 数 / 390 千字

版 次 / 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

前 言

为适应我国高等教育的发展,满足高等教育的需要,培养适合我国现代化建设和经济发展的高素质技能型人才,高等教育在对电气自动化技术、生产过程自动化技术、应用电子技术、机电一体化技术等相关专业人才的培养过程中,应使学生掌握电机拖动及机床电气控制技术的基本知识和基本操作技能,为在今后的生产实践中灵活地应用电机拖动及机床电气控制技术解决实际问题打下良好的理论和实践基础,因此,“电拖及机床电气控制”也就成为教学中的必修课之一。根据多年的教学经验,并查阅和参考了许多相关的书籍和资料,在北京理工大学出版社的统一组织下,基于校企合作、工学结合的模式,以任务驱动的工程实训项目为线索,结合工业企业生产实际以及实际人才需求共同编写了本教材。

本教材内容包括 11 个技能训练项目,分别为直流电机的运行与维护,变压器的运行与维护,三相异步电动机的拆装与运行维护,常用电工工具及常用电工仪表的使用,三相异步电动机单向运行控制线路板的制作,三相异步电动机正反转运行控制线路板的制作,三相异步电动机可逆运行的两地控制电路的装调,三相异步电动机顺序控制电路的装调,三相异步电动机自动往返循环控制线路板的制作,三相异步电动机星形—三角降压启动控制线路板的制作,常见机床电气控制电路的装调与故障维修,涵盖了电机拖动及机床电气控制技术主要的岗位能力要求。每个项目包含若干任务,每个任务包括任务目标、任务描述、知识准备以及任务实施四方面的内容。

本教材具有以下特色:

(1) 将电机拖动及机床电气控制技术的知识和技能紧密结合,使学生通过技能训练掌握实际操作技能,同时又通过相关的知识点掌握相应的理论知识,达到岗位技术能力培养的要求。

(2) 采取校企合作方式组建编写团队,基于校企合作、工学结合的模式,以任务驱动的工程实训项目为线索,结合工业企业生产实际以及对就业岗位的实际人才需求进行编写。

(3) 保证基础,加强应用,突出能力,突出实际、实用、实践的原则,贯彻重概念、重结论的指导思想,注重内容的典型性、针对性。

(4) 讲解深入浅出,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本教材按 60 ~ 100 课时编写,各学校根据不同的教学课时可以选择重点的项目进行教学。

本书由张文红、王锁庭担任主编并统稿,于伟霞、沙连华、张曜玮担任副主编,靳建伟参与审稿工作。具体参加编写的有:王锁庭(编写项目 1、2、3),于伟霞(编写项目 4、5、6),张文红(编写项目 7、8 及一些项目的任务实施内容),张曜玮(编写项目 2、4、5、

6、8 的部分内容)，曹月（编写项目 9、10），陈龙（编写项目 11）。在编写过程中，编者参阅了许多同行、专家的论著和文献，在此一并真诚致谢。

限于编者的学术水平和实践经验，书中的错漏及不足之处，恳切希望有关专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

项目 1 直流电机的运行与维护	1
任务 1 直流电机的基本特性	1
任务 2 他励直流电动机的拖动及其实现	28
项目 2 变压器的运行与维护	43
任务 1 单相变压器的认识与分析	43
任务 2 三相变压器的分析及其应用	59
项目 3 三相异步电动机的拆装与运行维护	68
任务 1 三相异步电动机的拆装	68
任务 2 三相异步电动机的拖动及其实现	80
项目 4 常用电工工具及常用电工仪表的使用	98
任务 1 常用电工工具的使用	98
任务 2 常用电工仪表的使用	110
项目 5 三相异步电动机单向运行控制线路板的制作	120
任务 1 常用低压电器的识别与拆装	120
任务 2 三相异步电动机点动控制线路的装配与故障调试	148
任务 3 三相异步电动机长动控制线路的装配与故障判断	156
任务 4 既能点动控制又能连续控制运行的控制线路的装配与故障判断	162
项目 6 三相异步电动机正反转运行控制线路板的制作	168
任务 1 三相异步电动机正反转运行控制线路板的制作	168
任务 2 三相异步电动机正反转双联锁运行的控制线路板制作	173
项目 7 三相异步电动机可逆运行的两地控制电路的装调	179
任务 1 三相异步电动机两地控制单联锁线路的装配及故障的判断	179
任务 2 三相异步电动机两地控制双联锁线路的装配及故障判断	184

项目 8 三相异步电动机顺序控制运行控制电路的装调	189
任务 1 三相异步电动机顺序启动同时停止控制线路装配及故障的判断	189
任务 2 三相异步电动机顺序启动顺序停止控制线路装配及故障的判断	193
任务 3 三相异步电动机顺序启动逆序停止控制线路装配及故障的判断	198
项目 9 三相异步电动机自动往返循环控制线路板的制作	203
任务 1 三相异步电动机自动往返循环控制线路板的制作	203
项目 10 三相异步电动机星形—三角形降压启动控制线路板的制作	210
任务 1 三相异步电动机星形—三角形降压启动控制线路板的制作	210
项目 11 常见机床电气控制电路的装调与故障维修	217
任务 1 C6140 型车床的电气控制电路的装调与故障维修	217
任务 2 T68 型卧式镗床的电气控制电路的装调与故障维修	225
任务 3 X62W 型万能铣床电气控制电路的装调与故障维修	236
任务 4 Z3040B 型摇臂钻床的电气控制电路的装调与故障维修	248
参考文献	259

项目 1 直流电机的运行与维护



学习目标

- (1) 掌握基本工作原理与结构。
- (2) 掌握直流发电机的性能。
- (3) 掌握直流电动机的性能。
- (4) 掌握他励直流电动机的启动、调速、制动。
- (5) 掌握直流电动机的维护、故障与检修方法。
- (6) 学习电机实验的基本要求与安全操作注意事项。
- (7) 认识在直流电机实验中所用的电机、仪表、变阻器等组件及使用方法。
- (8) 熟悉他励直流电动机（即并励直流电动机按他励方式）的接线、启动、改变电动机转向与调速的方法。
- (9) 测定他励直流电动机在各种运转状态的机械特性。

任务 1 直流电机的基本特性

【任务目标】

- (1) 学习电机实验的基本要求与安全操作注意事项。
- (2) 认识在直流电机实验中所用的电机、仪表、变阻器等组件及使用方法。
- (3) 熟悉他励直流电动机（即并励直流电动机按他励方式）的接线、启动、改变电机转向与调速的方法。
- (4) 测定他励直流电动机在各种运转状态的机械特性。

【任务描述】

他励直流电动机的启动、调速、接线。

【知识准备】

一、直流电机的工作原理及其结构

1. 电机的基本知识及发展概况

1) 电机

在现代，电能是一种广泛应用的能源。电能与其他能源相比，有突出的优点：首先电能

的生产与转换比较经济，目前我国公共电网就是由众多的火力发电厂与水力发电站并网运行组成的；其次电能传输与分配比较容易，尤为突出的是，它可以远距离输送，可把某地生产的电能输送到几千公里^①之外的地区；再者电能的使用与控制比较方便，且易于实现自动化。因此，在现代社会中，电能的应用已遍及各行各业。

在电能的生产、转换、传输、分配、使用与控制等方面，都必须通过能够进行能量（或信号）传递与变换的电磁机械装置，这些电磁机械装置被广义地称为电机。

通常所说的电机，是指那些利用电磁感应原理设计制造而成的，用于实现能量（或信号）传递与变换的电磁机械装置的统称。按电机的功能来分类，电机可分为：

(1) 发电机——把机械能转变成电能。

(2) 电动机——把电能转变成机械能。

(3) 变压器、变频器、变流机、移相等，是分别用于改变电压、频率、电流及相位的机械装置，即把一种类型的电能转变成另一种类型的电能。

(4) 控制电机——应用于各类自动控制系统中的控制元件。

值得指出的是，从基本工作原理来看，发电机与电动机只是电机的两种不同的运行方式，从能量转换的观点来看，二者是可逆的。

上述的各种电机中，有些是静止的，如变压器；有些是旋转的，如各种类型的发电机与电动机。按电流的类型及工作原理的差异，旋转电机又可分为直流电机、交流异步电机、交流同步电机及各种具有专门用途的控制电机等。

下面把电机的主要类型归纳如下：

- (1) 直流电机 { 直流发电机
直流电动机
- (2) 交流电机 { 同步电动机
同步发电机
三相异步电动机
单相异步电动机
- (3) 变压器 { 电力变压器
其他变压器
- (4) 控制电机 { 直流、交流测速发电机
直流、交流伺服电动机
步进电动机
旋转变压器

2) 电机以及电力拖动的发展概况

始于19世纪六七十年代的第二次工业革命，是以电力的广泛应用为显著特点的。从此人类社会由蒸汽机时代步入了电气化时代。在法拉第电磁感应定律基础上，一系列电气发明相继出现。1866年，德国工程师西门子制成发电机；1870年比利时人格拉姆发明了电

^① 1公里=1千米。

动机,电力开始成为取代蒸汽来拖动机器的新能源。随后,各种用电设备相继出现。1882年法国学者德普勒发明了远距离送电方法。同年,美国著名发明家爱迪生创建了美国第一个火力发电站,把输电线结成网络,从此电力作为一种新能源而被广泛应用。那时,电机在工业上刚刚得到初步应用,各种电机初步定型,电机设计理论和电机设计计算初步建立。

社会生产的发展和科技的进步,对电机也提出了更高的要求,如:性能良好,运行可靠,单位容量的重量轻、体积小等,而且随着自动控制系统的发展,在旋转电机的理论上,又派生出多种精度高、响应快的控制电机,成为电机学科的一个独立分支。电机制造也向着大型、巨型发展。中小型电机正向多用途、多品种方向发展,向高效节能方向发展。各种响应快、启停快的特种电机在各种复杂的计算机控制系统和无人工厂中实现了比人的手脚更复杂而精巧的运动。古老的电机学已经和电力电子学、计算机、控制论结合起来,发展成了一门新的学科。

在我国,电机制造业也发生了巨大的变化。我国的电机生产从1917年至今已有90多年的历史,经过改革开放30多年的发展,特别是近10年的发展,有了长足的进步,令世人瞩目。目前已经形成比较完整的产业体系,电机产品的品种、规格、性能和产量满足了我国国民经济发展的需要,而且一些产品已经达到或接近世界先进水平。近年来,世界上电机行业专家纷纷预测,中国将会成为世界电机的生产制造基地。

近年来我国已生产了很多大型直流电动机、异步电动机和同步电动机;在中小型电机和控制电机方面,亦自行设计和生产了很多新系列电机;对电机的新理论、新结构、新工艺、新材料、新运行方式和调试方法,进行了许多研究和试验工作,取得不少成果。

3) 电力拖动系统

与电机发展过程一样,电力拖动技术也有不断发展的过程。电动机拖动生产机械的运转称为电力拖动(或称为电气传动)。电力拖动系统一般由控制设备、电动机、传动机构、生产设备、反馈装置和电源六部分组成,它们之间的关系如图1.1所示。

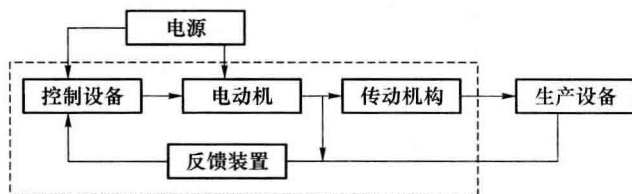


图 1.1 电力拖动系统的构成

电力拖动代替蒸汽或水力拖动之初,电力拖动的方式是成组拖动,就是由一台电动机拖动一组生产机械,从电动机到各个生产机械的能量传递以及各个生产机械之间的能量分配完全用机械的方法,靠“天轴”以及机械传动系统来实现,车间里有大量的天轴、长皮带和皮带轮等。这种传动方式效率低、生产率低、灰尘大、劳动条件和卫生条件差且容易出事故。另外,电动机发生故障,则成组拖动的所有生产机械都将停车,生产将可能停滞。显然,这是一种落后的电力拖动方式。

20世纪20年代,生产机械上广泛采用单电机拖动系统,即一台生产机械用一台单独的

电动机拖动，从而简化了机械结构，且易于实现生产设备运转的全部自动化。但是，由于是一台电动机拖动具有多个工作机构的生产机械，故需要负责能量传递的机械传动机构。从20世纪30年代起，广泛采用“多电动机拖动系统”，即每个工作机构由单独的电动机拖动，因而生产机械的机械结构大大简化，提高了机械机构的可靠性。随着生产的发展和科技水平的提高，对拖动系统提出了更高的要求，如：要求提高加工精度与工作速度，要求快速启动、制动及反转，实现大范围内调速以及整个生产过程自动化等。这些，都必须要有自动控制设备，以组成自动化的电力拖动系统。

最早的电力拖动控制系统是继电器-接触器自动控制系统，属于有触点断续控制系统。接着，出现了发电机-电动机组，使得直流电动机得到广泛应用。在这个基础上，发展成为采用电力电子器件组成的自动化直流电力拖动系统，并且正向大容量方向发展；自动化元件已有成套标准控制单元，控制装置集成化、小型化、微型化，设备可靠性高，维护简便，许多设备都可做到自动运行，不需要监视和维护。

但是，由于交流电动机较直流电动机具有结构简单、价格便宜、维护方便、惯性小等一系列优点，而且单机容量可以做得很大，电压等级可以做得很高，可以实现高速拖动等，所以，人们一直在致力研究性能更高的交流调速系统。目前，随着电力电子器件的发展，交流调速系统已经得到广泛应用，性能指标进一步提高，容量进一步增大，控制系统集成化程度进一步提高。交流电力拖动系统取代直流电力拖动系统已经是无可争议的事实。

我国的电力拖动系统取得的发展是有目共睹的，但是，与国外相比，还是有很大差距，主要体现在：技术水平相对较低、拖动运行效率不高、成套技术不成熟等。目前，正在开展一些关键技术的研究，以期尽快缩短与国外的差距，力争达到拖动系统的综合技术经济指标最佳。

4) 电机及电力拖动系统的发展前景

电气信息化时代，在性能、可靠性及容量等方面，对电机提出了更高的要求。交流变频调速系统及变频电机、大功率无刷直流电机、永磁同步无刷电机等得到了很大发展。同时，随着新兴行业的发展，微电机成为电机行业发展的亮点，是我国电工电器行业（电机）发展的重点产品。稀土永磁电机、无轴承电机也是电机技术发展的新方向。

与此相适应，电机拖动也有了新的发展，对拖动系统又提出更高要求，如要求提高加工精度和工作速度，要求快速启动、制动和逆转，实现很宽范围内的调速及整个生产过程的自动化等，这就需有一整套自动控制设备组成自动化的电力拖动系统。而这些高要求的拖动系统随着自动控制理论不断发展，半导体器件和电力电子技术的采用以及数控技术和计算机技术的发展与采用，正在不断地完善和提高。

综上所述，电力拖动技术发展至今，它具有许多其他拖动方式无法比拟的优点。它启动、制动、反转和调速的控制简单、方便、快速且效率高；电机的类型多，且具有各种不同的运行特性来满足各种类型生产机械的要求；整个系统各参数的检测和信号的变换与传送方便，易于实现最优控制。因此，电力拖动已成为国民经济电气自动化的基础。

2. 直流电机的基本工作原理

直流电动机和直流发电机通称为直流电机，二者是可逆的，若把直流电能转换为机械能量称为电动机，反之称为发电机。直流电动机与交流异步电动机相比，具有较好的启动性能，在

较宽的范围内达到平滑无级地调速，同时又比较经济，所以，广泛应用于轧钢机、电力机车、大型机床拖动系统以及玩具行业中。直流发电机主要是采用交流电机拖动作直流电源，但随着电力电子技术的发展，晶闸管变流装置将逐步取代作直流电源的直流发电机。

电机是利用电磁作用原理进行能量转换的机械装置。直流电机能将直流电能转换为机械能，或将机械能转换为直流电能。将直流电能转换成机械能的装置称为直流电动机，将机械能转换为直流电能的装置称为直流发电机。

直流电机有结构复杂、使用有色金属多、生产工艺复杂、价格昂贵、运行可靠性差等缺点，限制了直流电机广泛应用。随着近年电力电子学和微电子学的迅速发展，在很多领域内，直流电动机将逐步被交流调速电动机所取代，直流发电机则正在被电力电子器件整流装置所取代。

但是直流电机的主要优点——良好的启动性能和调速性能、较大的过载能力等，使得直流电机在许多场合仍继续发挥重要作用。如直流电动机常应用于那些对启动和调速性能要求较高的生产机械，如大型机床、电力机车、轧钢机、矿井卷扬机、船舶机械、造纸机和纺织机等。直流发电机作为直流电源，供给需要直流电能的场合，如化工中的电解、电镀等。

图 1.2 所示为一台直流电机的最简单模型。N 和 S 是一对固定的磁极，可以是电磁铁，也可以是永久磁铁。磁极之间有一个可以转动的铁质圆柱体，称为电枢铁芯。铁芯表面固定一个用绝缘导体构成的电枢线圈 $abcd$ ，线圈的两端分别接到相互绝缘的两个半圆形铜片（换向片）上，它们组合在一起称为换向器，在每个半圆铜片上又分别放置一个固定不动而与之滑动接触的电刷 A 和 B，线圈 $abcd$ 通过换向器和电刷接通外电路。

1) 直流电动机工作原理

将外部直流电源加于电刷 A（正极）和 B（负极）上，则线圈 $abcd$ 中流过电流，在导体 ab 中，电流由 a 指向 b ，在导体 cd 中，电流由 c 指向 d 。导体 ab 和 cd 分别处于 N、S 极磁场中，受到电磁力的作用。用左手定则可知导体 ab 和 cd 均受到电磁力的作用，且形成的转矩方向一致，这个转矩称为电磁转矩，为逆时针方向。这样，电枢就顺着逆时针方向旋转，如图 1.2（a）所示。当电枢线圈旋转 180° ，导体 cd 转到 N 极， ab 转到 S 极，如图 1.2（b）所示，由于电流仍从电刷 A 流入，使 cd 中的电流变为由 d 流向 c ，而 ab 中的电流由 b 流向 a ，从电刷 B 流出，用左手定则判别可知，电磁转矩的方向仍是逆时针方向。

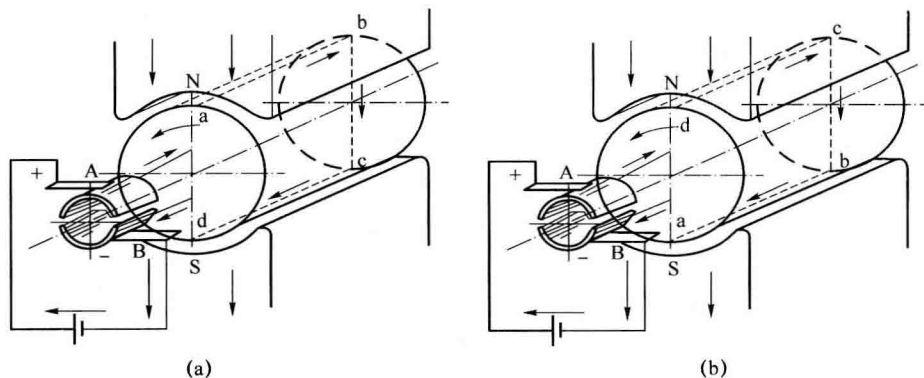


图 1.2 直流电动机工作原理示意图

由此可见,加于直流电动机的直流电源,借助于换向器和电刷的作用,使直流电动机电枢线圈中流过的电流,方向是交变的,从而使电枢产生的电磁转矩的方向恒定不变,确保直流电动机朝确定的方向连续旋转,这就是直流电动机的工作原理。

实际的直流电动机,电枢圆周上均匀地嵌放许多线圈,相应的换向器由许多换向片组成,使电枢线圈所产生的总电磁转矩足够大并且比较均匀,电动机的转速也就比较均匀。

2) 直流发电机工作原理

直流发电机模型与直流电动机模型相同,不同的是用原动机(如汽轮机等)拖动电枢朝某一方向(例如逆时针方向)旋转,如图 1.3 (a) 所示。这时导体 ab 和 cd 分别切割 N 极和 S 极下的磁力线,感应产生电动势,电动势的方向用右手定则确定。可知导体 ab 中电动势的方向由 b 指向 a ,导体 cd 中电动势的方向由 d 指向 c ,在一个串联回路中相互叠加,形成电刷 A 为电源正极,电刷 B 为电源负极。电枢线圈转过 180° 后,导体 cd 与导体 ab 交换位置,但电刷的正负极性不变,如图 1.3 (b) 所示。可见,同直流电动机一样,直流发电机电枢线圈中的感应电动势的方向也是交变的,而通过换向器和电刷的整流作用,在电刷 A、B 上输出的电动势是极性不变的直流电动势。在电刷 A、B 之间接上负载,发电机就能向负载供给直流电能,这就是直流发电机的工作原理。

从以上分析可以看出:一台直流电机原则上可以作为电动机运行,也可以作为发电机运行,取决于外界不同的条件。将直流电源加于电刷,输入电能,电机将电能转换为机械能,拖动生产机械旋转,作电动机运行;如用原动机拖动直流电机的电枢旋转,输入机械能,电机将机械能转换为直流电能,从电刷上引出直流电动势,作发电机运行。同一台电机,既能作电动机运行,又能作发电机运行的原理,称为电机的可逆原理。

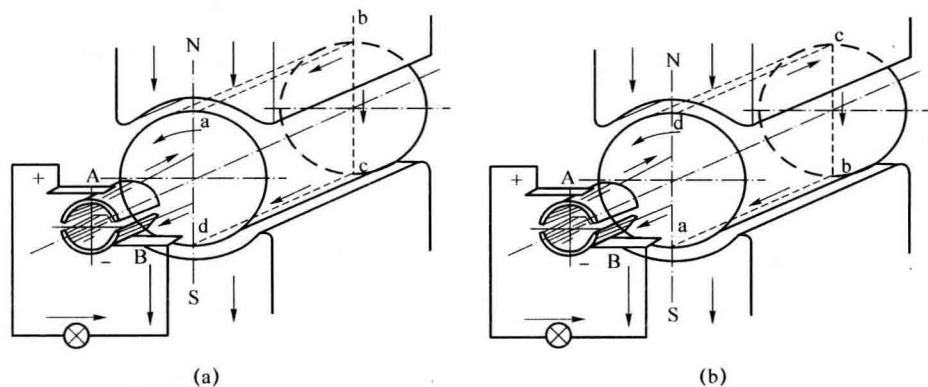


图 1.3 直流发电机工作原理示意图

3. 直流电机的结构

由直流电动机和发电机工作原理示意图可以看到,直流电机的结构应由定子和转子两大部分组成。直流电机运行时静止不动的部分称为定子,定子的主要作用是产生磁场,由机座、主磁极、换向极、端盖、轴承和电刷装置等组成。运行时转动的部分称为转子,其主要作用是产生电磁转矩和感应电动势,是直流电机进行能量转换的枢纽,所以通常又称为电枢,由转轴、电枢铁芯、电枢绕组、换向器和风扇等组成。装配后的电机如图 1.4 所示。直流电机的纵向剖视图如图 1.5 所示。

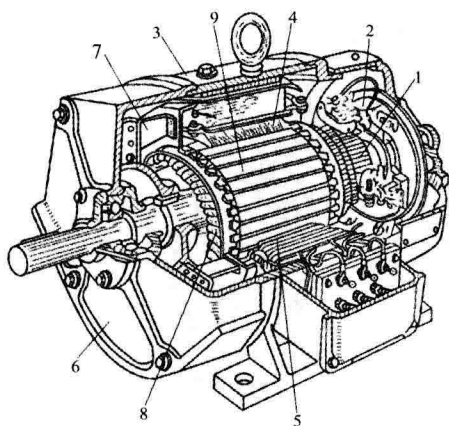


图 1.4 直流电机装配结构图

- 1—换向器；2—电刷装置；3—机座；
4—主磁极；5—换向极；6—端盖；7—风扇；
8—电枢绕组；9—电枢铁芯

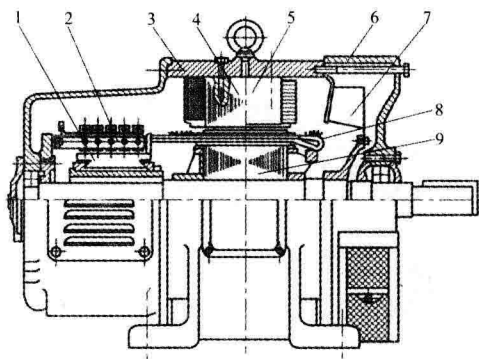


图 1.5 直流电机纵向剖视图

- 1—换向器；2—电刷装置；3—机座；4—主磁极；5—换向极；
6—端盖；7—风扇；8—电枢绕组；9—电枢铁芯

1) 定子

(1) 主磁极。

主磁极的作用是产生气隙磁场。主磁极由主磁极铁芯和励磁绕组两部分组成。铁芯一般用 $0.5 \sim 1.5 \text{ mm}$ 厚的硅钢板冲片叠压铆紧而成，分为极身和极靴两部分，上面套励磁绕组的部份称为极身，下面扩宽的部分称为极靴，极靴宽于极身，既可以调整气隙中磁场的分布，又便于固定励磁绕组。励磁绕组用绝缘铜绕线制而成，套在主磁极铁芯上。整个主磁极用螺钉固定在机座上，如图 1.6 所示。

(2) 换向极。

换向极的作用是改善换向，减小电机运行时电刷与换向器之间可能产生的换向火花，一般装在两个相邻主磁极之间，由换向极铁芯和换向极绕组组成，如图 1.7 所示。换向极绕组用绝缘导绕线制而成，套在换向极铁芯上，换向极的数目与主磁极相等。

(3) 机座。

电机定子的外壳称为机座，见图 1.5 中的 3。机座的作用有两个：一是用来固定主磁极、换向极和端盖，并起整个电机的支撑和固定作用；二是机座本身也是磁路的一部分，借以构成磁极之间磁的通路，磁通通过的部分称为磁轭。为保证机座具有足够的机械强度和良好的导磁性能，一般为铸钢件或由钢板焊接而成。

(4) 电刷装置。

电刷装置是用来引入或引出直流电压和直流电流的，如图 1.8 所示。电刷装置由电刷、刷握、刷杆和刷杆座等组成。电刷放在刷握内，用压紧弹簧压紧，使电刷与换向器之间有良好的滑动接触，刷握固定在刷杆上，刷杆装在圆环形的刷杆座上，相互之间必须绝缘。刷杆座装在端盖或轴承内盖上，圆周位置可以调整，调好以后加以固定。

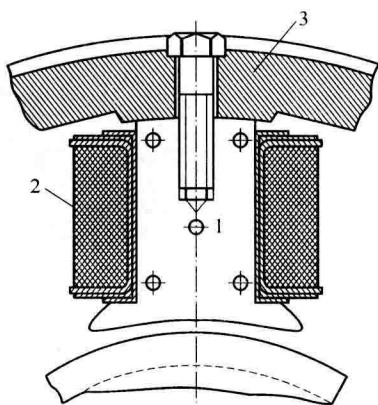


图 1.6 主磁极的结构

- 1—主磁极；2—励磁绕组；3—机座

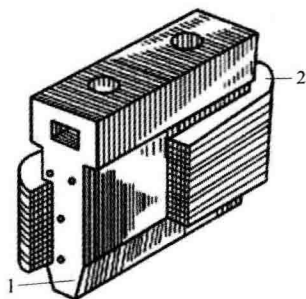


图 1.7 换向极

1—换向极铁芯；2—换向极绕组

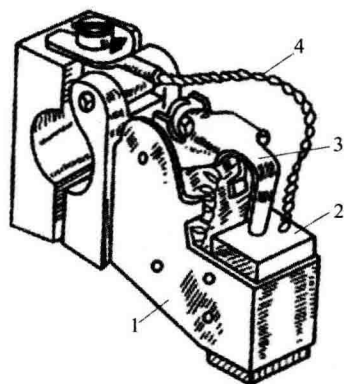


图 1.8 电刷装置

1—刷握；2—电刷；3—压紧弹簧；4—刷辫

2) 转子 (电枢)

(1) 电枢铁芯。

电枢铁芯是主磁路的主要部分，同时用以嵌放电枢绕组。一般电枢铁芯由 0.5 mm 厚的硅钢片冲制而成的冲片叠压而成（冲片的形状如图 1.9 (a) 所示），以降低电机运行时电枢铁芯中产生的涡流损耗和磁滞损耗。叠成的铁芯固定在转轴或转子支架上。铁芯的外圆开有电枢槽，槽内嵌放电枢绕组。转子的结构如图 1.9 (b) 所示。

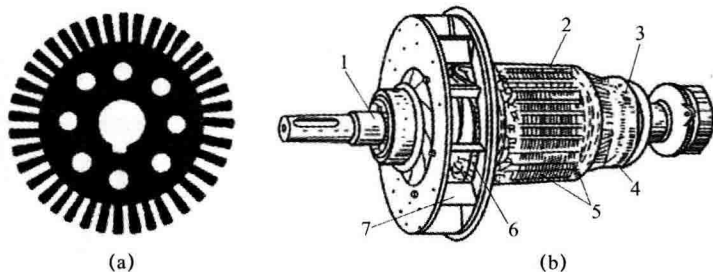


图 1.9 转子结构图

(a) 冲片；(b) 转子

1—转轴；2—电枢铁芯；3—换向器；4—电枢绕组；5—镀锌钢丝；6—电枢绕组；7—风扇

(2) 电枢绕组。

电枢绕组的作用是产生电磁转矩和感应电动势，是直流电机进行能量变换的关键部件，所以叫电枢。它是由许多线圈（以下称元件）按一定规律连接而成，线圈采用高强度漆包线或玻璃丝包扁铜绕线成，不同线圈的线圈边分上下两层嵌放在电枢槽中，线圈与铁芯之间以及上、下两层线圈边之间都必须妥善绝缘。为防止离心力将线圈边甩出槽外，槽口用槽楔固定，如图 1.10 所示。线圈伸出槽外的端接部分用热固性无纬玻璃带进行绑扎。

(3) 换向器。

在直流电动机中，换向器配以电刷，能将外加直流电源转换为电枢线圈中的交变电流，使电磁转矩的方向恒定不变；在直流发电机中，换向器配以电刷，能将电枢线圈中感应产生的交变电动势转换为正、负电刷上引出的直流电动势。换向器是由许多换向片组成的圆柱

体, 换向片之间用云母片绝缘, 换向器结构如图 1.11 所示, 换向片的下部做成鸽尾形, 两端用钢制 V 形套筒和 V 形云母环固定, 再用螺母锁紧。

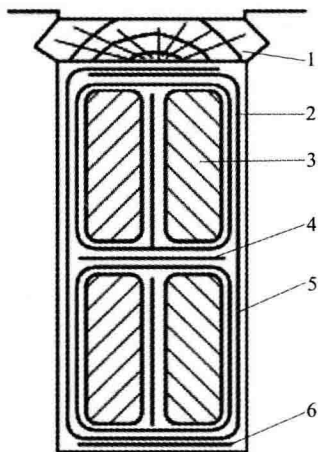


图 1.10 电枢槽的结构

1—槽楔；2—线圈绝缘；3—电枢导体；
4—层间绝缘；5—槽绝缘；6—槽底绝缘

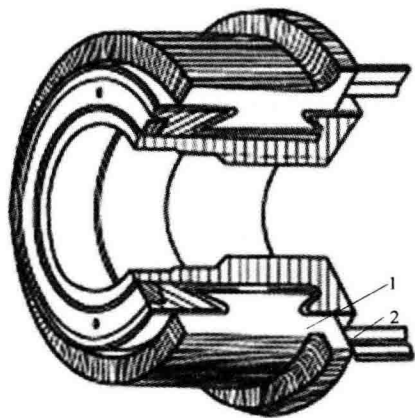


图 1.11 换向器结构

1—换向片；2—连接部分

(4) 转轴。

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

4. 直流电机的铭牌数据及主要系列

1) 铭牌数据及主要系列

铭牌钉在电机机座的外表面上, 上面标明电机主要额定数据及电机产品数据, 供使用者使用时参考。铭牌数据主要包括: 电机型号、电机额定功率、额定电压、额定转速和励磁电流及励磁方式等, 此外还有电机的出厂数据, 如出厂编号、出厂日期等。

电机的产品型号表示电机的结构和使用特点, 国产电机的型号一般采用大写的汉语拼音字母和阿拉伯数字表示, 其格式为: 第一部分字符用大写的汉语拼音表示产品代号; 第二部分字符用阿拉伯数字表示设计序号; 第三部分字符是机座代号, 用阿拉伯数字表示; 第四部分字符表示电枢铁芯长度, 用阿拉伯数字表示。以 Z3-95 为例说明如下:

Z—直流; 3—第三次改型设计; 9—机座号; 5—铁芯长度。

第一部分字符的含义如下:

Z 系列: 一般用途直流电动机。

ZJ 系列: 精密机床用直流电动机。

ZT 系列: 广调速直流电动机。

ZQ 系列: 直流牵引电动机。

ZH 系列: 船用直流电动机。

ZA 系列: 防爆安全型直流电动机。

ZKJ 系列: 挖掘机用直流电动机。

ZZJ 系列: 冶金起重直流电动机。

2) 额定值

电机制造厂按照国家标准, 根据电机的设计和试验数据而规定的每台电机的主要性能指标称为电机的额定值。额定值一般标在电机的铭牌上或产品说明书上。直流电机的额定值主要有下列几项:

(1) 额定功率 P_N 。

额定功率是指电机按照规定的工作方式运行时所能提供的输出功率。对电动机来说, 额定功率是指转轴上输出的机械功率; 对发电机来说, 额定功率是指电枢输出的电功率, 单位为 kW (千瓦)。

(2) 额定电压 U_N 。

额定电压是电机电枢绕组能够安全工作的最大外加电压或输出电压, 单位为 V (伏)。

(3) 额定电流 I_N 。

额定电流是电机按照规定的工作方式运行时, 电枢绕组允许流过的最大电流, 单位为 A (安培)。

(4) 额定转速 n_N 。

额定转速是指电机在额定电压、额定电流和输出额定功率的情况下运行时, 电机的旋转速度, 单位为 r/min (转/分)。

额定值一般标在电机的铭牌上, 又称为铭牌数据。还有一些额定值, 例如额定转矩 T_N 、额定效率 η_N 等, 不一定标在铭牌上, 可查产品说明书或由铭牌上的数据计算得到。

额定功率与额定电压和额定电流之间有如下关系:

直流电动机

$$P_N = U_N I_N \eta_N \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

直流发电机

$$P_N = U_N I_N \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

直流电机运行时, 如果各个物理量均为额定值, 就称电机工作在额定运行状态, 亦称为满载运行。在额定运行状态下, 电机利用充分、运行可靠并具有良好的性能。如果电机的电枢电流小于额定电流, 称为欠载运行; 电机的电枢电流大于额定电流, 称为过载运行。欠载运行, 电机利用不充分、效率低; 过载运行, 易引起电机过热损坏。

二、直流电机的电枢反应

直流电机工作中, 主磁极产生主磁极磁动势, 电枢电流产生电枢磁动势。电枢磁动势对主极磁动势的影响称为电枢反应。

为研究电枢反应对直流电机特性的影响, 首先要研究直流电机的空载磁场。

1. 直流电机的空载磁场

直流电机不带负载 (即不输出功率) 时的运行状态称为空载运行。空载运行时电枢电流等于零或近似等于零, 所以, 空载磁场是指主磁极励磁磁势单独产生的励磁磁场, 亦称主磁。一台四极直流电机空载磁场的分布如图 1.12 所示, 为方便起见, 只画一半。