

中等专业学校、技工学校试用教材

内燃机车电传动

赵敬超 化海亭 主编

中国铁道出版社

中等专业学校、技工学校试用教材

内 燃 机 车 电 传 动

赵敬超 化海亭 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 1 年 • 北 京

内 容 简 介

本书是根据铁道部教育局组织制订的铁路中等专业学校 133 学时和铁路司机学校 130 学时的《内燃机车电传动》教学大纲编写的。内容包括：内燃机车电机、电器、电传动原理、电阻制动、电路及水阻试验等。

本书可作为铁路中等专业学校、司机学校内燃机车专业试用教材。也可供从事内燃机车工作的工程技术人员、技术工人学习参考。

中等专业学校、技工学校试用教材

内 燃 机 车 电 传 动

赵敬超 化海亭 主编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：14.75 插页：2 字数：363 千

1981年11月 第1版 1981年11月 第1次印刷

印数：0001—4,500册 定价：1.30元

前 言

本书主要介绍内燃机车电机、电器的基本构造及工作原理、电传动原理、电阻制动原理、电路及水阻试验等内容。鉴于我国铁路各地区使用机车的类型不同,本书以东风₄型内燃机车为主,兼顾东风₃型内燃机车,也适当地包括了ND₄型、ND₂型内燃机车的内容,以适应全路各地区的需要。考虑到内燃机车电传动装置的发展,本书对内燃机车交—交流电传动原理和可控硅斩波励磁系统,也作了一些介绍。本书内容基本上反映了我国铁路现阶段内燃机车电传动方面的面貌。

本书的任务是使学生掌握内燃机车电机、电器的基本构造、作用原理及特性,掌握电传动原理及电路等方面的知识,结合实习及试验,使学生掌握一定的电机、电器检修工艺,电传动装置故障分析处理以及调整试验的能力。电机部分中等专业学校另有教材。

部分铁路中等专业学校和司机学校根据本专业的《内燃机车电传动》教学大纲,曾分别编写出两本书稿,并在两类学校之间多次进行交流。后经部教育局教材处召集部分中等专业学校、司机学校有关教师在济南召开了《内燃机车电传动》教材会议。鉴于两本书在内容、分量以及授课学时等方面基本相同,与会同志一致认为,当前采取两类学校用书合编的形式是适宜的。会议研究制订了教材合编方案,决定在两本书稿的基础上,由济南铁路机械学校赵敬超、武汉铁路司机学校化海亭担任主编,北京铁路司机学校邱惠霖担任主审。根据两类学校教学大纲的差别,对合编教材在内容上作了必要的选择和取舍。本书各章编写者:第一、七章为济南铁路机械学校赵敬超、大连铁路司机学校马贵德,第二、三章为武汉铁路司机学校化海亭、北京铁路司机学校邱惠霖,第四章为赵敬超、邱惠霖、化海亭,第五、六章为兰州铁路技术学校张金才、大连铁路司机学校马贵德,第八章为北京铁路司机学校齐明定、内江铁路技术学校俞明德,第九章为马贵德、张金才,第十章为俞明德、齐明定,第十一章为马贵德、赵敬超。

之后,在柳州召开了审稿会议。参加单位有:内江、广州、苏州、兰州、昆明铁路技术学校,济南铁路机械学校,北京、武汉、大连、柳州、齐齐哈尔铁路司机学校。

本书在编写过程中,得到许多单位和有关同志的热情帮助和支持,在此表示衷心感谢。

主 编

1980年9月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 内燃机车传动装置的功用.....	1
第二节 内燃机车电传动装置的分类.....	2
第二章 直流牵引电机	5
第一节 概述.....	5
第二节 直流电机的主要结构.....	5
第三节 直流电机的电枢绕组.....	8
第四节 直流电机的电枢反应.....	14
第五节 直流电机的换向.....	15
第六节 串励电动机的运行特性.....	18
第七节 ZQDR-410型直流牵引电动机.....	20
第八节 GDTM533型直流牵引电动机.....	26
第九节 TAO659C1型直流牵引电动机.....	28
第十节 ZQFR-1350型直流牵引发电机.....	29
第十一节 GCE1100/10型直流牵引发电机.....	37
第十二节 ZQF-80型起动发电机.....	40
第十三节 双机组.....	42
第三章 同步牵引发电机	48
第一节 同步发电机基本构造.....	48
第二节 同步发电机电枢绕组.....	50
第三节 同步发电机电枢绕组的感应电势.....	52
第四节 同步发电机的电枢反应.....	53
第五节 同步发电机的运行特性.....	57
第六节 TQFR-3000型同步牵引发电机.....	59
第七节 AT7·3 1A1型同步牵引发电机.....	64
第八节 TQL-45型同步牵引励磁机.....	64
第九节 GQL-45型感应子牵引励磁机.....	67
第十节 东风 ₄ 型内燃机车电机.....	75
第四章 内燃机车电传动原理	78
第一节 牵引发电机的理想外特性.....	78
第二节 同步发电机的自然外特性与理想外特性.....	80
第三节 同步牵引发电机调整特性.....	82
第四节 测速发电机励磁系统.....	84
第五节 磁放大器励磁调节系统.....	88
第六节 可控硅斩波励磁系统.....	98

第七节	直流牵引发电机调整特性	101
第八节	横向分裂极励磁机励磁系统	102
第九节	磁场变阻器(功调电阻)励磁系统	106
第十节	牵引电动机的速度调节	108
第十一节	机车牵引特性曲线的绘制	115
第十二节	电力传动装置的主要调节参数	118
第十三节	交-交流电力传动工作原理	121
第五章	牵引电器基本知识	126
第一节	牵引电器的工作特点	126
第二节	电器的触头	126
第三节	灭弧装置	128
第四节	电器的驱动装置	129
第六章	接触器	132
第一节	电磁接触器	132
第二节	电空接触器与组合接触器	135
第三节	司机控制器	137
第四节	转换开关	141
第五节	反向器与电阻制动转换器	143
第七章	继电器及电压调整器	147
第一节	过渡继电器	147
第二节	时间继电器	152
第三节	中间继电器	155
第四节	电磁联锁	156
第五节	空转继电器	156
第六节	接地、过流及风速继电器	158
第七节	油压继电器	160
第八节	水温继电器	161
第九节	差示压力计	163
第十节	电压调整器	163
第八章	电测仪表及蓄电池	172
第一节	电测仪表	172
第二节	汞氙灯	176
第三节	蓄电池	177
第九章	电路图	183
第一节	电路图的一般知识	183
第二节	柴油机起动电路	186
第三节	柴油机起动后的辅助电路	189
第四节	机车走车电路	194
第五节	机车保护电路	202
第六节	电器动作检查及示灯的使用	206

第七节 预热锅炉电路	209
第十章 电阻制动	211
第一节 电阻制动原理	211
第二节 电阻制动特性及工作范围	212
第三节 电阻制动电路	214
第四节 电阻制动的基本要求和操作方法	217
第十一章 水阻试验	221
第一节 试验前的准备工作	221
第二节 柴油机起动、空转与负荷试验	222
第三节 调整牵引发电机外特性	223
第四节 各部分温度、温升和压力	225

第一章 概 述

第一节 内燃机车传动装置的功用

柴油机是内燃机车的原动力，它的功率通过从柴油机曲轴到动轮之间的所谓传动装置传给动轮。内燃机车为什么不将柴油机的功率直接传给动轮，中间还需要一套传动装置呢？为了说明这个问题，首先应了解柴油机的工作特性：

1. 柴油机有一个最低工作转速 n_{min} ，低于这个转速，柴油机就不能工作。例如：东风₄型内燃机车上用的16240Z型柴油机最低转速为500转/分。柴油机也有一个最高转速 n_{max} ，超过此转速时，可能因机械强度不够，而受到破坏。例如：16240Z型柴油机的最高转速为1100转/分。

2. 柴油机所发出的扭矩 M_c ，随着每循环供油量的增加而增加。当每循环的供油量一定时，柴油机的扭矩几乎不随转速的改变而改变，或者说当柴油机转速改变时，它的扭矩变化很小，如图1—1所示。

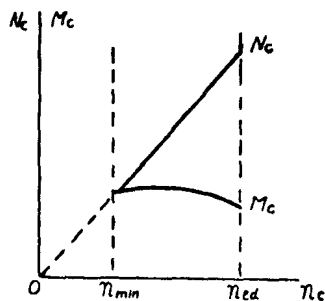


图 1—1 柴油机扭矩特性

3. 柴油机的功率 N_c 基本上与转速成正比，柴油机只有在额定转速的情况下，才有可能发出额定功率。

4. 柴油机承受过载的能力很差，稍一过载速度就会下降，甚至熄火。

5. 柴油机不能带负荷起动。

如果把柴油机的曲轴和机车的动轮通过离合器和速比不变的齿轮直接相连，就构成了所谓直接传动的内燃机车，这种不用传动装置的内燃机车的牵引特性曲线如图1—2中的ZJ所示。它的形状和柴油机扭矩特性曲线（图1—1中的 M_c 曲线）的形状是完全一样的，只是坐标的比例不同而已。直接传动的内燃机车的主要问题如下：

1. 因受柴油机最高转速和最低转速以及扭矩基本不变的限制，这种机车的运行速度和牵引力变化范围都很小，不能满足列车运行的要求。

2. 由于这种机车的运行速度与柴油机的转速成正比，因此机车只有在最高运行速度时，柴油机才有可能发出额定功率。实际上，机车的运行速度是经常变化的，所以柴油机的功率不能够得到充分地利用。

3. 由于柴油机的过载能力很差，大功率（1000马力以上）的离合器在制造上还有一定的困难，所以机车的起动问题很难解决。

由此得出结论：内燃机车不用传动装置是不行的。在柴油机曲轴与机车动轮之间，必须有一套速比可变的传动装置。目前，在大功率内燃机车上都采用电力传动装置或液力传动装置，很少采用机械传动装置。这是因为内燃机车采用电力传动装置或液力传动装置以后，均

可使机车的牵引性能符合如图 1—2 所示的牵引特性曲线 ABC 的要求。内燃机车的牵引力和运行速度的变化范围扩大，以便满足列车运行的要求。在内燃机车最高速度和最低速度范围内，可使柴油机始终在额定工况下工作，因此，柴油机的功率能够得到充分利用。

此外，采用电力传动装置的内燃机车还有下面的优点：

1. 可以利用牵引电动机短时过载的能力，充分利用机车的粘着重量。
2. 电力传动装置本身效率高，工作比较可靠。

电力传动内燃机车也有其缺点，机车重量大，传动装置用铜多。这将随着电子技术的迅速发展，交流电力传动装置的出现，传动装置的用铜量才会大幅度降低，机车的重量也会下降。

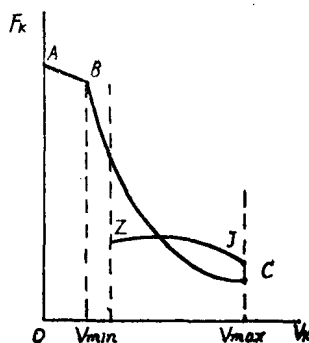


图 1—2 机车牵引特性曲线

第二节 内燃机车电传动装置的分类

内燃机车电力传动装置根据牵引发电机和牵引电动机电流制的不同，可分为直一直流、交一直流和交—交流电力传动装置三种。

一、直一直流电力传动装置

东风₃型内燃机车采用直一直流电力传动装置。即牵引发电机是直流的，牵引电动机也是直流的。其示意图如图 1—3。柴油机驱动直流牵引发电机 F ，由发电机 F 把柴油机的机械能转化为电能，并对直流牵引电动机 D 供电。牵引电动机通过齿轮减速箱驱动机车的动轮。

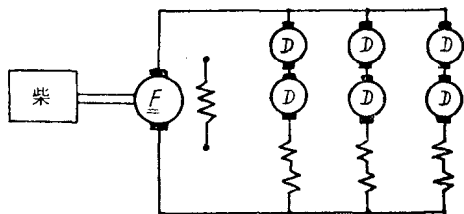


图 1—3 直一直流电力传动装置示意图

牵引发电机为直流他励发电机。柴油机启动时，它作为直流串励电动机使用，并由蓄电池供电。

牵引电动机为直流串励电动机。这是因为直流电动机比交流电动机调速方便，直流串励电动机的机械特性比其他电动机更适合内燃机车牵引特性的要求。

机车的正反向行驶是通过改变牵引电动机励磁电流的方向实现的。

由于受换向条件和机车尺寸的限制，直流牵引发电机的功率很难做到大于 3,000 马力，因而它限制了机车功率进一步的提高。3,000 马力以上的内燃机车就很难采用直一直流电力传动这种型式了。

二、交一直流电力传动

交一直流电力传动装置的牵引发电机为同步交流发电机，而牵引电动机仍为直流串励电动机。东风₄型内燃机车采用交一直流电力传动装置，其示意图如图 1—4。柴油机驱动三相交流同步发电机 F ，发出的三相交流电经硅整流器 Z 整流后，传给直流牵引电动机 D 。牵引电动机通过齿轮减速箱驱动动轮。

由于交流发电机没有换向器（因而不受换向条件的限制）、结构简单、运用可靠、省铜、维护比较方便。与同等功率的直流机相比，要轻得多，大约只有直流机重量的一半。目前三千马力以上的内燃机车都普遍采用交一直流电力传动装置。

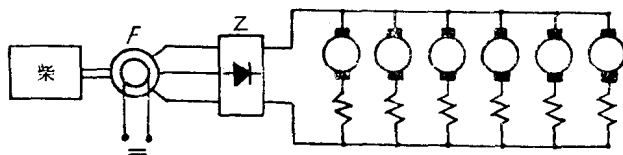


图 1—4 交一直流电力传动装置示意图

三、交—交流电力传动装置

交—交流电力传动装置的牵引发电机是交流的，牵引电动机也是交流的。由于交流电动机，特别是鼠笼式电动机具有结构简单、运行可靠、体积小、价格低等优点，从事牵引动力的工作者早就想把它用于传动装置。但是，由于交流电动机机械特性较硬，调速困难，与牵引电动机的要求不相适应。所以，一直很难在机车上应用。直到七十年代，由于大功率静止逆变器的出现，可以在交流发电机和交流电动机之间建立一个大功率变频调压系统，这样交流异步电动机用于牵引动力才得以实现。

交—交流电力传动装置有两种：一种是具有直流环节的，称为交—直—交流电力传动装置；一种是没有直流环节的，称为交—交流电力传动装置。

（一）交—直—交流电力传动装置

交—直—交流电力传动装置的示意图如图 1—5。柴油机驱动同步牵引发电机发出的三相交流电，经整流器 Z 整成直流电，然后再经过逆变器 N ，把直流电变成频率和电压皆能调节的三相交流电，并对牵引电动机供电。逆变后的三相交流电的频率与机车的速度有关，而与同步牵引发电机发出的三相交流电的频率无关。

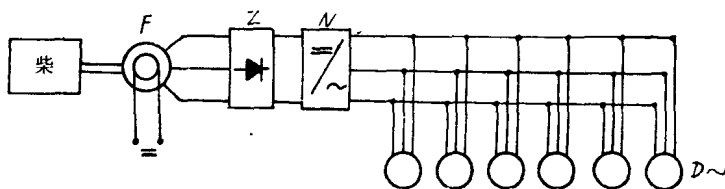


图 1—5 交—直—交流电力传动装置示意图

(二) 交—交流电力传动装置

交—交流电力传动装置示意图如图 1—6。柴油机驱动同步牵引发电机发出的三相交流电，经过一个或数个变频器 BP ，直接成为三相变频电源，对交流牵引电动机供电。

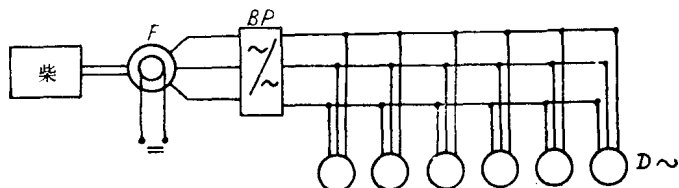


图 1—6 交—交流电力传动装置示意图

交—交流电力传动装置，目前用于大功率内燃机车在技术上还有许多困难和问题。但随电子技术的发展，这些问题（如控制系统复杂、成本高、可靠性不够等）将逐步克服。这种交—交流电力传动的内燃机车将成为一种很有价值的新型机车。

第二章 直流牵引电机

第一节 概 述

电传动内燃机车的牵引电机，主要指直流牵引发电机和直流牵引电动机。近年来，由于大功率整流元件的出现，直流牵引发电机逐渐由同步牵引发电机所取代。而直流牵引电动机，目前基本上仍采用直流串励电动机。

直流牵引发电机在电传动内燃机车上，有三种用途：在起动柴油机时，它作为直流串励电动机运行，由蓄电池供电，带动柴油机转动；在柴油机起动完毕后，它又作为发电机运行，供给直流牵引电动机用电；在电阻制动时，它作为励磁机使用，供给牵引电动机励磁电流。

直流牵引电动机在内燃机车上也有两种用途：一是在机车牵引工况下，作为电动机运行。它从发电机获得电能，将其转变为机械能，使机车产生牵引力；二是在机车制动工况下，牵引电动机作为发电机运行，由机车的动轮带动，它所产生的制动转矩作用于轮对，形成机车制动力。例如东风₃型内燃机车和 ND₂ 型内燃机车的直流牵引发电机和直流牵引电动机，就有上述几种用途。

内燃机车上使用的牵引电动机，和普通直流电动机相比，工作条件十分恶劣。一是牵引电动机的尺寸受到很大的限制，径向受到轮对直径的限制，轴向受到轨距的限制；二是从机车起动到高速运行，电动机的电流和电压在很大范围内变化。同时，一台机车的数台牵引电动机在电路上组成几条支路使用，如因轮对直径差别过大，或因轮对发生空转，将会引起各电机间电流的分配不均匀。过大的电流或电压，势必给电机的换向带来很大的困难，造成电机温升过高、绝缘老化；三是机车在行驶中，尤其是高速通过轨缝和道岔时，使电动机受到较大的机械冲击和振动，这不仅会给换向带来困难，而且会造成机械破损；四是牵引电动机悬挂在机车下面，易受风沙雨雪的侵袭和温度、湿度变化的影响。因此，机车的牵引电动机，在构造上应具有结构紧凑，零部件具有较高的绝缘性能和机械强度，具有防尘、防潮、防雨雪的严格气密性，具有良好的通风条件和较大的过载能力，并应采用各种改善换向的措施。

我国制造的电传动内燃机车，它的牵引电动机均为抱轴悬挂式、强迫外通风的直流串励电动机。我国制造的东风₁₋₃型内燃机车，以及进口的 ND₂ 型内燃机车的牵引发电机，均为直流牵引发电机。

第二节 直流电机的主要结构

直流电机主要由下列几部分组成。

一、定 子

定子是电机的静止部分，它的主要作用是产生磁场和支撑转子。它由下列各部分组成：

（一）机座

它的作用一方面作为各磁极间的磁的通路，同时也作为电机的机械支架。机座一般用厚钢板弯成筒形焊起来，或是用铸钢件（在小电机中有时用铸铁件）铸成圆筒形或八棱形等。它的厚度一方面须有足够的强度和刚度，另一方面要有足够的截面积，使磁通密度不致太高。在机座下部的两边焊上或铸出来两个底脚，以便把电机固定在底板上，见图 2—1。

（二）主磁极

主磁极的作用是产生主磁通，它包括极身和极靴两部分。为了减小涡流，一般用 0.5 ~ 1.0 毫米厚的硅钢片或低碳钢板冲压成形后，迭起来用铆钉铆紧。小电机中有时用整块的铸钢磁极。磁极用螺栓固定在磁轭上，磁极上套有励磁线圈，线圈用绝缘铜线绕成。线圈和磁极间用绝缘纸和蜡布或云母纸绝缘。各极上的线圈一般是串联起来的。主磁极总数为偶数。

（三）换向极

在两相邻主磁极间有一小的磁极，构造与主磁极相似，称为换向极或附加极。它的作用是为了在电机运行时消除换向器上的火花。

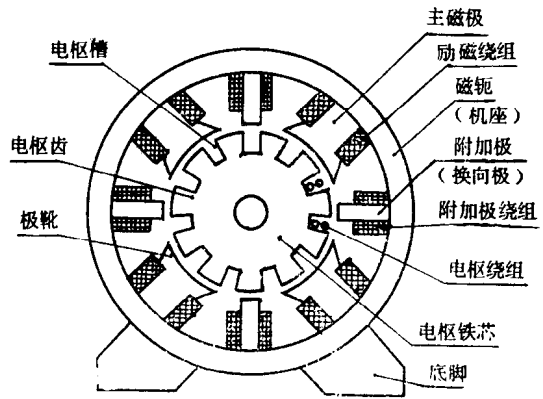


图 2—1 直流电机剖面图

二、转 子

转子是电机的转动部分，它的作用是感应电势和通过电流。转子主要由电枢和换向器等组成，它们一起装在电机轴上，见图 2—2。

电枢是电枢铁芯和电枢绕组的总称，它是直流电机中感生电势、产生力矩实现能量转换的枢纽。

（一）电枢铁芯

电枢铁芯是用来安放电枢绕组的，并且构成电机磁路的一部分。电枢铁芯一般用 0.5 毫米厚的电枢冲片迭压而成，两端用夹件或螺栓夹紧装于电枢轴上。当电枢在磁场中旋转时，铁芯中将产生涡流及磁滞损耗，用硅钢冲片可以减小涡流、降低温升和提高效率。在硅钢片上冲出通风孔，在圆周上冲出嵌线槽也称为电枢槽。电枢冲片如图 2—3 所示。

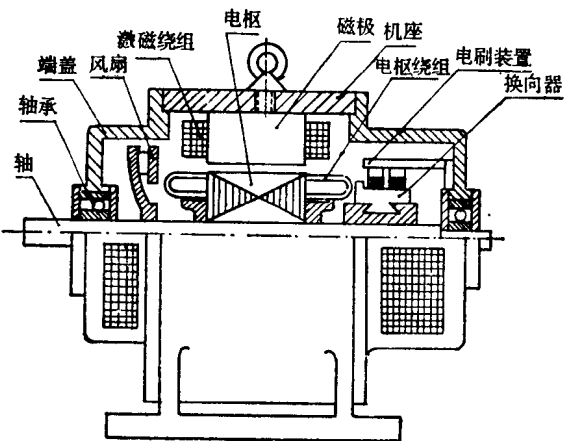


图 2—2 直流电机结构示意图

（二）电枢绕组

电枢绕组是直流电机中非常重要的部件。它是由完全相同的线圈按照一定的规律连接起来的。这些线圈由绕组元件组成。每个绕组元件的两端分别接在两个换向片上，通过换向片把这些独立的线圈互相连接在一起，成为电枢绕组。

线圈的导线一般是铜线。绕组元件内通过的电流越大，所用铜线就越粗。容量在几千瓦以下的小电机，一般用圆导线。容量较大的电机，一般用矩形截面的导线。线圈安放在电枢槽里，导线与导线之间，槽内的上下层之间，最外层导体与铁芯之间都有绝缘。在槽口处用槽楔将线圈压住，以免线圈受离心力作用被甩出来，如图 2—4。槽楔一般用木片、竹片或胶木板做成。

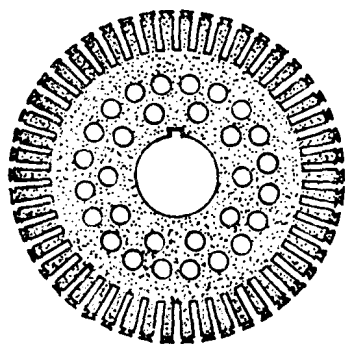


图 2—3 电枢冲片

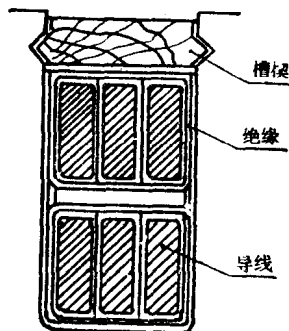


图 2—4 电枢槽剖面图

（三）换向器

绕组各元件的引线都接到换向器上。换向器的结构如图 2—5 所示，它是由许多带有燕尾形的铜片（换向片）迭成一圆筒形组成的。在两片相邻的换向片间都垫一片云母片。整个圆筒在两端用两个截面为 V 形的环夹住，在 V 形环和铜片组成的圆筒之间也垫以 V 形的云母绝缘垫圈。每一换向片上有一凸起部分，叫升高片，上面开有小槽，以便焊接绕组接线端。

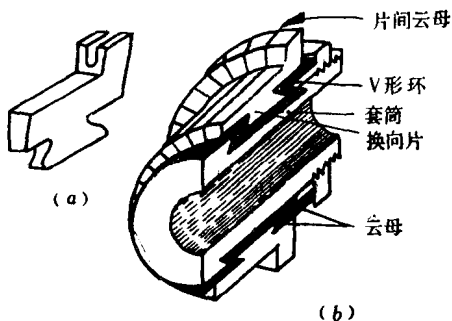


图 2—5 换向器和换向片

（四）转轴

电机轴既承受转子的重量，又传递很大的扭矩，因此，轴应有足够的强度和刚度。一般用 45# 钢锻制而成。在小电机中，电枢铁芯直接套在轴上，较大的电机，在铁芯和轴之间还有一铸钢或用钢板焊成的转子支架。用了支架可以节省硅钢片并减轻重量。轴的两端通过轴承支撑在端盖上。

（五）冷却装置

电机工作时，由于各部分的电磁和功率损失，使电机温度升高，严重地影响到电机的正常运行和使用寿命，为此，电机应有一定的冷却措施。一般中小型电机都采用“防护式”自通风或外通风，在电机两端的端盖上开有进风口或出风口。自通风的电机在转轴上装有风扇，电枢转动时，风扇把冷空气从进风口吸入电机，经过一定的风路冷却电机内部，最后从出风口排

到机外。强迫外通风是从电机外部向电机进风口鼓风，经过电机内部，风从排风口排到机外。

另外，在极靴和电枢之间有一空气隙，它的大小和形状对主磁极磁通在空气隙中的分布以及对电机的运行都有很大的影响。在小容量电机中，气隙约为 1—3 毫米，在大电机中可达 10—12 毫米。

三、电 刷 装 置

电刷装置是电机内外电路联系的桥梁，它由刷杆、刷架、刷握（刷盒和电刷）等组成。

电刷是主要由石墨做成的导电块，放在刷盒内，用弹簧以一定的压力将其压在换向器表面。刷架用螺钉紧固在刷杆上，刷杆紧固在刷架座圈上，刷杆起支撑和绝缘作用。按电流的大小每一刷架可由几块电刷组成。各刷块的电流都通过软连线汇在一起，然后再把同极性的刷架用导线（即汇流环）接到一处，引出出线盒内的接线板上。电刷装置如图 2—6 所示。

刷架的数目一般等于主磁极的数目。刷盒离换向器表面的距离应相等。不等时，可通过齿板或垫片来调整。刷架通过刷架座圈安装到电机的机座或端盖上，刷架座圈上有弧形孔，以调整刷盒与主磁极中心线，使之互相对应。

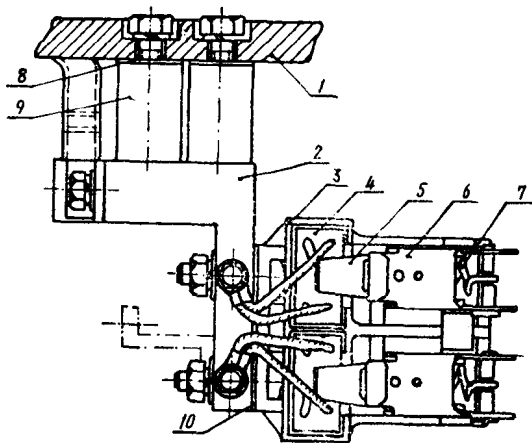


图 2—6 电刷装置

- 1——刷架座圈；2——刷架；3——刷盒；4——电刷；
5——压指弹簧；6——压指；7——弹簧；8——调整垫；9——刷杆；10——齿板。

第三节 直流电机的电枢绕组

电枢绕组是直流电机的一个最重要的部件。在发电机中，当电枢在驱动力矩作用下在磁场中转动时，绕组中就感应出电势，并通过换向器及电刷把电流引出。当发电机接上负载后，电流流过电枢绕组，产生电枢磁场，电枢磁场与气隙磁场互相作用，产生制动的电磁力矩（即制动力矩），它与外加驱动力矩相平衡，因而发电机吸收了一定的机械功，实现了将机械能转换为电能的过程。在电动机中，当电枢接上电源后，电流流入电枢绕组，产生了电枢磁场，电枢磁场与气隙磁场互相作用而产生电磁力矩。电磁力矩将力求与负载反力矩相平衡。于是电枢绕组从电源吸收了一定的电功率，从而实现了将电能转换成机械能。所以，电枢绕组在感生电势，产生力矩，实现能量转换的过程中起着重要的作用。

直流电机的电枢绕组，按照不同的联接方法，可分成单迭绕组、复迭绕组、单波绕组、复波绕组和蛙式绕组等型式。本节只讨论单迭和单波绕组的绕法及特点。

一、电枢绕组的基本概念

为了讨论电枢绕组的联接规律，首先应明确几个基本概念。

（一）元件和线圈

绕组元件是指从一个换向片开始绕到另一个换向片为止的这一部分导体。它是绕组的一个最基本的单元，故称绕组元件或简称元件。

元件有单匝和多匝之分，图 2—7 分别表示单匝元件和两匝元件。两匝以上的元件即为多匝元件。元件放在电枢铁芯槽内能切割磁力线的直边，叫做元件的有效边。两有效边之间的连接线或有效边与换向片之间的连接线叫做元件的端接。在换向器一端的叫前端接，另一端叫后端接。后端接拐弯处称为鼻部。由于电流的趋肤效应和便于绕组成型，每匝元件又常常有多股导线组成。在生产中为了制造方便，常常把几个元件包扎在一起而成为一个多元件的线圈。ZQDR-410 牵引电动机的线圈有 4 个元件，每个元件有二根导体组成。嵌线时，线圈的一个边嵌入一个槽的下层，另一边嵌入另一个槽的上层，如图 2—8 所示。这样每个槽内都有一个线圈的上层边和另一个线圈的下层边，这样嵌放的电枢绕组称双层绕组。

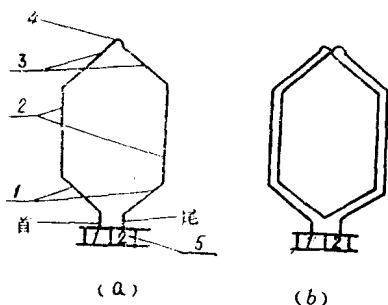


图 2—7 绕组元件

(a) 单匝元件；(b) 两匝元件。

1 —— 前端接；2 —— 有效边；3 —— 后端接；
4 —— 鼻部；5 —— 换向片。

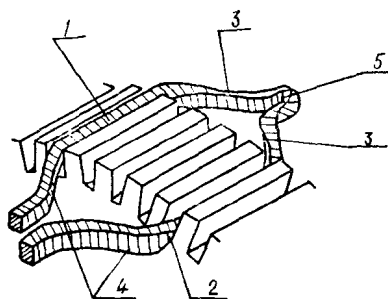


图 2—8 电枢线圈嵌放示意图

1 —— 线圈上层边；2 —— 线圈下层边；
3、4 —— 线圈端接；5 —— 线圈的鼻部。

(二) 实槽和虚槽

电枢铁芯上嵌线的槽称为实槽，实槽数用 Z 表示。虚槽实际上并不存在，而是人为地把每个实槽内上下相迭的两个元件边所占的位置看成为一个槽，并把它称为虚槽。虚槽数用 Z_v 表示。虚槽数 Z_v 和实槽数 Z 的关系是： $Z_v = Z \cdot u$ 。其中 u 代表每一实槽所包含的虚槽数。 $u = 1$ 表示实槽等于虚槽数。例如，ZQDR-410 牵引电动机每一实槽包含四个虚槽，即 $u = 4$ 。有了虚槽的概念，就便于确切地说明每一元件所处的具体位置了。

由于每一个元件的两端接到两个换向片上，同时每个换向片也与两个元件相联，所以当所有元件和换向片都联上，总的元件数 S 一定等于换向片的总数 H ，即 $S = H$ 。又由于每个虚槽包含两个元件边，所以总虚槽数等于元件总数，即 $Z_v = S = H$ 。

(三) 绕组的节距

电枢绕组各元件是通过换向片按一定的方式联接起来的，它的联接规律是由节距来决定的。所谓节距，是指被联接起来的两个元件边或换向片之间的距离。

1. 第一节距 y_1

第一节距 y_1 是指一个元件的两有效边在电枢表面所跨的距离，常用所跨的虚槽数表示。

节距 y_1 应等于或近于一个极距。所谓极距，是指相邻两主极中心线之间沿电枢表面圆周的距离。极距用 τ 表示。由图 2—9 可见， $\tau = \frac{\pi D}{2P}$ ，其中 D 是电枢直径， P 是磁极对数。

如果极距用槽数来计算，则 $\tau = \frac{Z}{2P}$ ，其中 Z 为电枢实槽数；若用虚槽数表示时，则 $\tau =$

$$\frac{Z_a}{2P}。$$

对于 $y_1 = \tau$ 的元件称为整距元件，由整距元件联成的绕组称为整距绕组。由于整距绕组线圈两有效边所感生的电势没有抵消的现象，所以在发电机中整距绕组的感应电势为最大。同理，两有效边受力是同一旋转方向的，所以在电动机中，整距绕组的电磁转矩也最大。

$y_1 < \tau$ 时称为短距绕组， $y_1 > \tau$ 时称为长距绕组，如图2—10所示。由于短距绕组的端接部分较短，有节省材料等优点，所以在牵引电机中一般都采用短距绕组。显然不论长距或短距绕组，其平均电势都比整距绕组小。

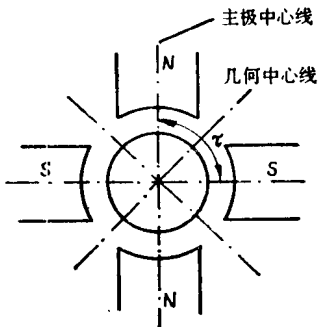


图 2—9 极距

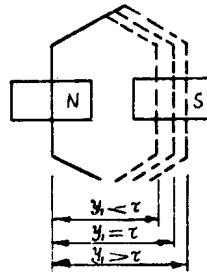


图 2—10 绕组形式

2. 换向器节距 y_H

一个元件首尾两端所接的换向片，在换向器表面的跨距称为绕组的换向器节距，用所跨的换向片数来表示。不同的换向器节距就决定了不同的绕组型式。

图2—11表示 $y_H = 1$ 的联接方法，这时每个元件的两个边分别接在相邻的两换向片上，而且是位置相邻的两个元件直接串联起来，这种型式的绕组称为单迭绕组。

每个元件的两端所接的两换向片相隔较远，相串联的两个元件也不是相邻的，而是相隔近于 2τ ，这样联接起来的元件形成图2—12所示的波形，故称为波绕组。

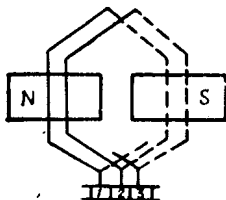


图 2—11 单迭绕组

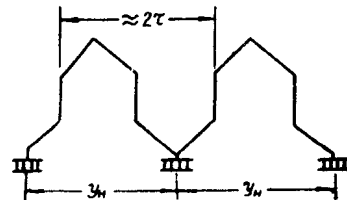


图 2—12 波绕组

二、单迭绕组的绕法和特点

（一）单迭绕组的联接

绕组的联接方法，可以用绕组的展开图来表示。展开图是把电枢表面沿轴向剖开，并把它展成一平面，如图2—13。各磁极在圆周上的位置必须是对称的，每极的宽度一般约等于0.7个极距。图上表示的磁极是在电枢绕组的上面。我们用一个简单的例子来进行讨论，例如有一台直流电机， $2P = 4$ ， $Z = S = H = 16$ ， $y_H = 1$ ， $y_1 = \frac{Z}{2P} = \frac{16}{2 \times 2} = 4$ 。由上述参