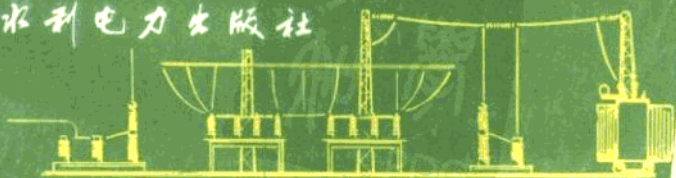


直流电机的维护与修理

沈 俊 杰

水利电力出版社



前 言

本书写作的目的是为了介绍和交流直流电机维护与修理方面的经验，以期达到共同提高技术水平，使直流电机能更长期地安全经济运行。

本书对直流电机的各种故障及原因，都作了较详细的介绍与分析。对故障的处理、正常维修和特殊修理，提供了检查测试方法、质量要求和多种实用的工艺、工具，以供参考。对于直流电机修理时的常用材料，由于很多书籍已经载有，为避免重复，本书定稿时决定不再附录，可参考有关书籍。

本书在写作中得到灞桥热电厂领导的支持与关怀，不少同志提供了资料，李作贤主任工程师、周春林副总工程师分别审阅了书稿的电气部份和机械部份，张振琪厂长审阅了全部书稿；本书在修改过程中，承蒙北京发电设备修造厂技术科的同志们以及石景山发电厂的左文英同志审阅，在此一并致谢。

由于水平和收集资料所限，书中难免有错误和不当之处，恳切希望读者指正。

作 者

一九八三年九月

目 录

前 言

第一章 直流电机的原理、结构和性能	1
第一节 直流电机的原理	1
第二节 直流电机的结构	5
第三节 直流电机的分类和特性	41
第四节 直流电机的铭牌数据和型号	74
第二章 直流电机的故障及处理	79
第一节 直流发电机的故障及处理	79
第二节 直流电动机的故障及处理	94
第三节 直流电机温度过高的原因及其防止	101
第四节 电机振动的原因及其消除的措施	104
第五节 绝缘故障的原因及处理	108
第六节 直流电机的检查测试方法	111
第三章 换向故障的原因、征象及处理	123
第一节 换向的电磁原理	123
第二节 换向的滑动接触原理	131
第三节 换向火花的等级标准	133
第四节 换向火花产生的原因	135
第五节 换向不良的处理	143
第四章 直流电机的维护及正常检修	193
第一节 直流电机运行中的检查	193
第二节 运行中对电刷的维护	194
第三节 对换向的维护	196
第四节 直流电机的拆装	207
第五节 直流电机的正常检修	227

第六节	直流电机装复时的测量及试运转	230
第五章	换向器的故障及修理	232
第一节	升高片开焊的修理	232
第二节	升高片断裂的修理	236
第三节	换向器内部片间短路和接地的修理	239
第四节	小换向器的更换	243
第五节	换向器的制作	244
第六章	直流电机的绝缘故障及修理	278
第一节	绝缘电阻下降的处理	278
第二节	极身绝缘的修理	280
第三节	电枢绕组的修理	283
第四节	电枢绕组的拆卸	289
第五节	电枢绕组的绝缘	291
第六节	电枢绕组的制作	295
第七节	电枢绕组的下线工艺	312
第八节	端部线圈的绑扎	323
第九节	电机的浸渍与干燥	332
第十节	直流电机的绝缘试验	341
第七章	直流电机的机械故障及修理	348
第一节	滚动轴承的故障原因及防止	348
第二节	滑动轴承的故障及修理	366
第三节	转轴的故障及修理	383
第四节	电枢不平衡的消除	395
第五节	转子找中心	413

第一章 直流电机的原理、 结构和性能

直流电机是一种可逆电机，分为直流发电机和直流电动机。输入机械能而输出直流电能的称为直流发电机；输入直流电能而输出机械能的称为直流电动机。

直流发电机主要用作各种电源，例如：供给同步发电机激磁用的直流励磁机，供给给粉电动机用的直流给粉发电机，供给蓄电池用的直流浮充电发电机，作为焊接电源用的直流电焊机以及事故照明和其它电源。

直流电动机具有良好的起动、制动及调速性能，主要应用于起动和调速性能要求较高的地方。例如用作起重机械、轧钢机、龙门刨、给粉机等电动机；也用作事故备用电动机，例如事故油泵电动机等。

第一节 直流电机的原理

一、机械能与电能的转换

直线导体 l 位于均匀磁场中，且与磁感应强度 B 的方向垂直，当此导体被外力 F 带动以速度 v 切割磁力线时，则在导体内将产生感应电动势 $E = Blv$ 。如果将此导体与外电路组成一闭合回路，则在导体中流过感应电流 I ，这时所产生的电功率 P 是：

$$P = EI = BlvI$$

其感应电流的方向与感应电势的方向一致，可用右手定则决定。

载流导体在磁场中将受到电磁力 $F_c = BIl$ 的作用。从图 1-1 可以看到，按左手定则所决定的电磁力方向是与此导体原先的运动方向相反的，也就是电磁力阻止外力使导体运动。要使导体继续保持速度 v 运动，则外力的大小必须等于电磁力的大小而方向相反，此时所需外力的功率 N 为：

$$N = F_w v = BIlv = P$$

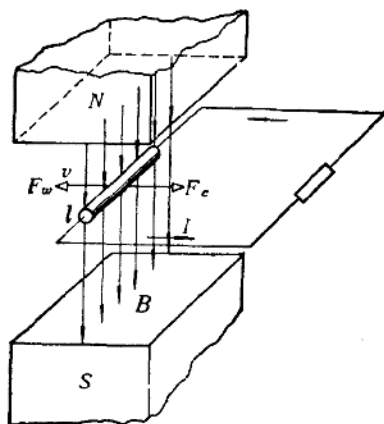


图 1-1 制动力

公式 $N = P$ 表明，在不考虑转换损耗的情况下，所需的机械功率和产生的电功率相等。

二、直流发电机原理

图 1-2 表示一台二极直流发电机原理图。固定部分是两个磁极：一个北极（N极），一个南极（S极）。转动部分是线圈 $abcd$ 及与线圈两端相连接且固定在轴上的两个半圆

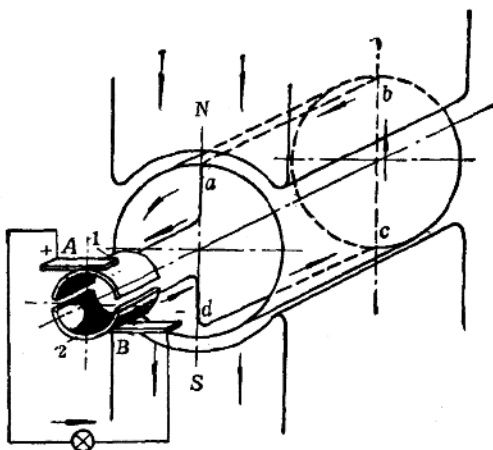


图 1-2 直流发电机原理图

环，这部分称为电枢。半圆环与静止的电刷A和B相接触，通过电刷与外电路连接。

电枢由原动机拖动，假定以逆时针方向旋转，线圈的两边ab和cd切割磁场的磁力线，并在其中产生感应电势。在图1-2所示的瞬时，导体ab中的电势方向由b至a，导体cd中的电势方向由d至c，故外电路的电流自半圆环1流出至电刷A，经负载后流至电刷B，自半圆环2进入线圈。电刷A为正电位，用记号+表示；电刷B为负电位，用记号-表示。

当电枢转过 180° ，也即导线ab和半圆环1与导线cd和半圆环2的位置互换，在同一旋转方向下，N极下导线的感应电势仍由里向外，也即由c至d，故电刷A保持正电位不变。同理，电刷B保持负电位不变。这样，通过半圆环和电刷，及时的改变了线圈与外电路的联接，将线圈产生的交变电势改变为电刷A和B之间方向恒定的电势，故半圆环被称

作换向片。这就是直流发电机的基本原理。

三、直流电动机原理

图 1-3 表示一台二极直流电动机原理图，其基本结构和直流发电机完全相同。将电刷 A 接电源正极，电刷 B 接电源负极，则其电流方向如图 1-3 所示。在该图所示的瞬时位置，导体 *ab* 所受的电磁力向左，导体 *cd* 所受的电磁力向右，这两个力大小相等、方向相反而不作用在一直线上，因而构成了一个转矩。电枢在此转矩的作用下，作逆时针旋转。

当电枢自图 1-3 所示的位置转过 90° 时，此时电刷不与换向片相接触而与换向片间的绝缘相接触，也即线圈中没有电流，因而转矩消失。由于机械惯性作用，电枢能继续转过一个角度，这时电刷 A 与 B 所接触的换向片正好互换，使进入 N 极下的线圈边电流方向和 S 极下线圈边的电流方向不变，从而使所受的电磁力方向不变，也即转矩方向不变，使电枢

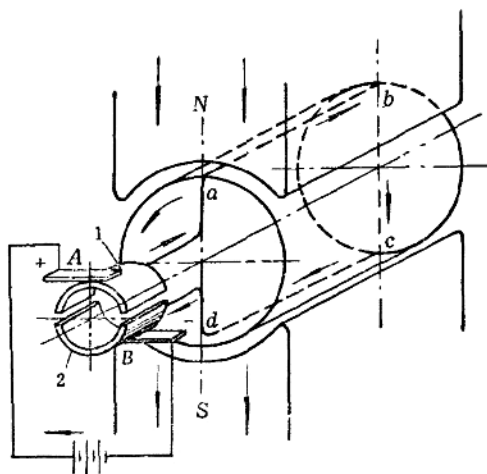


图 1-3 直流电动机原理图

继续保持逆时针方向旋转，这就是直流电动机的基本原理。

第二节 直流电机的结构

从直流电机的基本原理知道，其基本结构应由产生磁场的定子部分，具有载流导体和换向器的旋转电枢部分，定子和电枢之间的空气隙，其它的辅助部分如底座、端盖、刷架、刷握等构成。Z2系列直流电机的总装配如图1-4所示。

直流电机的通风，按照一般的方法可分为以下四大类：

- (1) 开启自冷式：由电枢风扇自行通风；
- (2) 封闭强制通风：由外风扇或电枢风扇鼓风，密闭循环。换向器有在闭合风路外的，也有在闭合风路内的；
- (3) 端盖轴承防护自冷式；
- (4) 端盖轴承管道通风式。

下面详细介绍直流电机的主要部件的作用和结构。

一、定子部分

定子的作用，在电磁方面是产生主磁场和作为磁路的组成部分，在机械方面是电机的支撑。定子由机座、主磁极、换向磁极、补偿绕组及联接线、引出线等组成。

1. 机座

直流电机的机座是电机的机械支撑，它固定主磁极、换向磁极和端盖，也是电机主磁通磁路的一部分。在电机运行时，机座将承受由磁拉力等产生的较大的应力，因此机座轭圈的厚度除满足导磁要求外，还应满足机械强度和刚度的要求。

机座的型式，除少数大型电机作成分半式外，绝大多数为整个式。分半式机座的分半面，通常在内圆的水平中心面

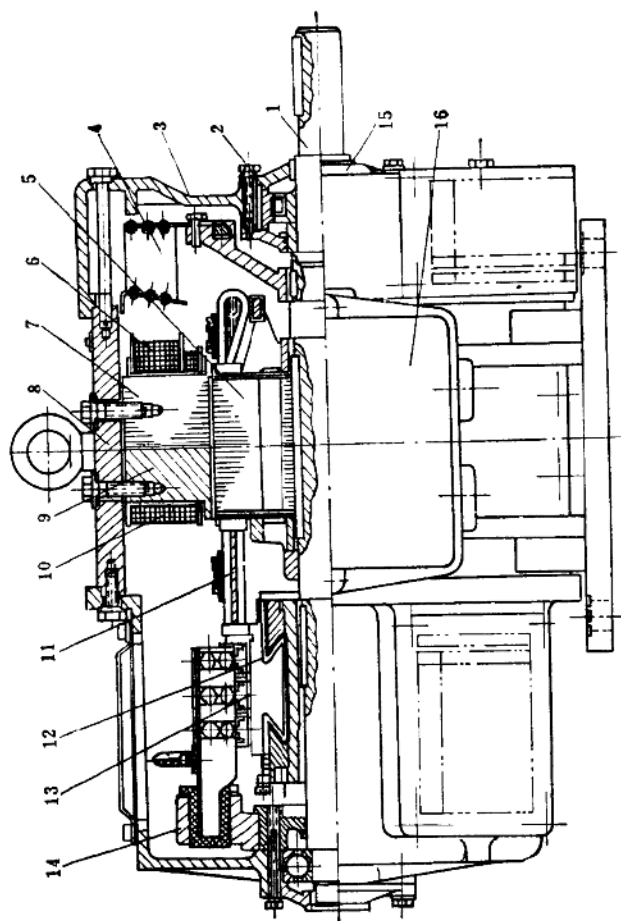


图 1-4 直流电机总装配

1—轴，2—轴承，3—端盖，4—风扇，5—电枢铁芯，6—主极铁芯，7—主极绕组，8—机座，9—换向极铁芯，10—换向极绕组，11—电枢绕组，12—换向器，13—电刷，14—刷架，15—轴承盖，16—出线盒

上,但也有低于此面一段距离的。上、下半机座,按照轴向长度用2~5个螺钉固紧,为了防止拆装后的位移,在接合面的横向和纵向用几个圆锥销固定,作定位用。为便于运输和修理,在上、下半机座上均有吊攀螺孔或其它可以穿过钢丝绳的圆孔。

为了便于机座与台板或基础的固定,机座必须有两个底脚。

机座通常用35号铸钢或低碳钢板焊接而成。大型电机的机座通常制成外圆带筋式的,就是这样有时还感到刚度不够。为了防止变形而影响空气隙尺寸,一般在机座的下腰部还附设有千斤顶。

对由可控硅电源装置供电的某些大容量、冲击负荷、可逆转的直流电机,机座轭圈用1~1.5毫米厚钢板或0.5毫米厚硅钢片冲制叠压而成,这种机座见图1~5所示。因为在可控硅电源装置供电的电压和电流中,均含有高次谐波成分,且电流的变化率 $\frac{di}{dt}$ 大,从而使换向磁路存在涡流阻尼

作用,使换向极磁通落后电流一个相位角,使电抗电势得不到补偿而产生换向火花。机座改成叠片式以后,其时间常数比铸钢机座能小近1万倍,这样使电流和磁通基本上同相位,使换向电势抵销电抗电势,从而减小换向火花。

机座应有均匀分布的通孔,以便穿过紧固主极和换向极的螺钉。由于机座外圆粗糙不光滑且系弧形,故在穿孔处需铰一定深度的较大的孔,以使穿孔外表面平整。如果主极、换向极铁芯上只有一排紧固用的螺钉孔,则机座上的这些通孔的中心线必须通过机座内圆中心;如果一个磁极有两排紧固用的螺钉孔,则机座上这两排孔是相互平行的,两孔之间

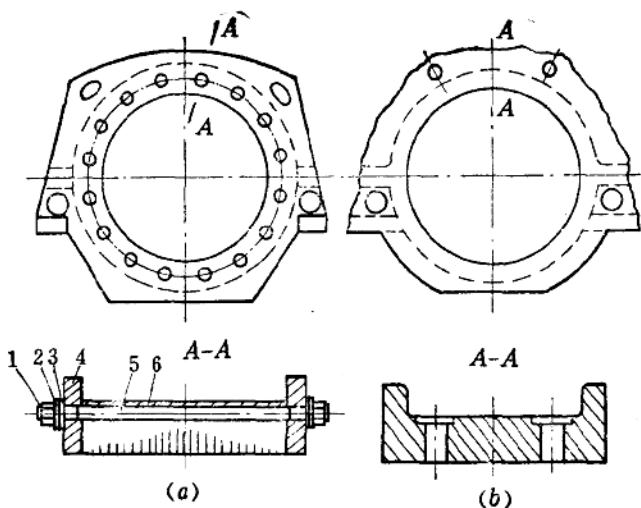


图 1-5 机座

(a) 叠片机座与剖面, (b) 铸钢机座与剖面

1—螺母, 2—垫圈, 3—绝缘垫圈, 4—机座端板, 5—绝缘螺杆,
6—冲片机座轭

的中心线通过机座内圆中心。

一些微型和小型电机, 其机座也有用铸铝或铸铁的。此时, 机座的作用仅作电机支撑用, 其磁轭及磁极直接用硅钢片或钢片冲出, 叠压以后装于机座内。

2. 主磁极

主磁极的作用是建立电机的主磁势, 产生主磁通。主磁极由主极铁芯、绕组及它们之间的绝缘所组成。

(1) 主极铁芯。主极铁芯通常用 1 毫米厚钢板冲制后叠成, 两端用 2~10 毫米厚的钢压板以铆钉铆紧或用螺杆固紧。主极铁芯靠近机座部分称为极身, 靠近电枢部分称为极

掌或极靴，主极极靴如图 1-6 所示。无补偿电机的极靴大多制成使气隙从极中心向两个极尖逐渐增大，这样，一方面使由电枢反应引起的磁场畸变减小，因此片间电压峰值也减小，另一方面使主极磁场在换向区的漏磁减小。极靴的弧长 b_p 与极距 τ 之比，称为极弧系数。

通常极弧系数 $\alpha_p = \frac{b_p}{\tau} \approx$

$\frac{2}{3}$ 。由于侧边磁通的存在，

实际上的电气极弧比机械极弧要大一些。极靴在机械上的作用是使套于铁芯上的激磁线圈更为紧固。

主极与机座的接触面一般是圆形的，所以极顶也是圆形的。极顶部半径往往比机座内半径大些，所以能稳定地放在机座上。主极固定于机座上时，通常在极身的顶部与机座内圆之间垫有磁性垫片。垫片按用途分为两种，一种是调整主极位置用的，另一种是调整磁饱和程度用的。垫片用硅钢片或铁片制成。调整主极位置

用的垫片，其大小与极身顶部尺寸相同或稍大。调整磁饱和程度用的垫片有两种：一种是在铁片上铆有一定厚度的对称

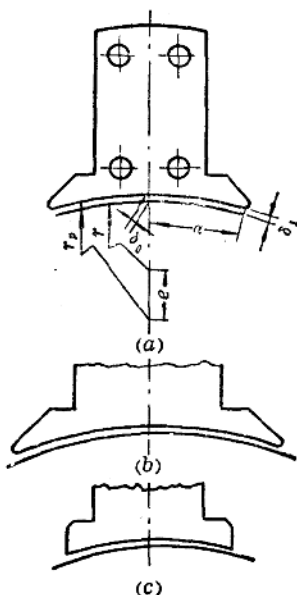


图 1-6 主极极靴
(a)带偏心气隙；(b)带倾斜极靴尖角；(c)带截断极靴尖角
 r_p —极靴内孔半径； τ —电枢外圆半径； e —偏心距； δ_0 —极中心气隙； δ_1 —极尖气隙 ($\delta_1 > \delta_0$)； $\alpha = \frac{1}{2}$ 极靴夹角

的四个小凸块；另一种是与极身等长而宽度小得多的垫条，垫于紧固螺钉的两侧。

图 1-7 所示的主极铁芯冲片，在极身中腰开有二个长方形缺口，在缺口中垫磁性和非磁性垫片，以调整主极的磁饱和程度。

在高速、大容量及负荷和方向剧速变化的直流电机上，其主极的冲片制成图 1-8 所示的形状。在极靴上冲出的槽是专为安装补偿绕组用的。

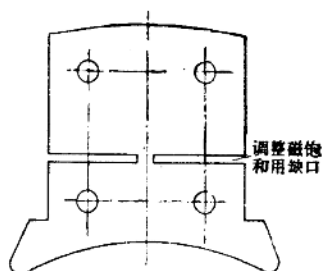


图 1-7 带有调整缺口的主极冲片

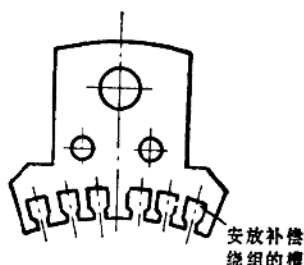


图 1-8 带有补偿绕组槽的主极冲片

(2) 主极绕组。在主极铁芯上安放的绕组通常为并激绕组，有时还装有串激绕组、辅助励磁绕组和补偿绕组。

并激绕组是由圆的或扁的高强度漆包线、玻璃丝包线或双玻璃丝包线绕制而成的多层绕组。小型电机的并激绕组直接在模架上绕成，并用斜纹布带或玻璃丝带半叠绕整个绕组，然后进行浸渍。绕组对铁芯和机座的绝缘用绝缘纸板、柔软云母板或漆布绝缘，其绝缘层厚度为1.5~3毫米。中、大型电机的并激绕组是绕在特殊的框架上并一起套在主极上，在绕制时每一层或每二层放一层厚0.025毫米的多孔性纸或电话纸。

引出线或引线铜皮通常用厚0.15毫米云母纸及厚0.2毫米绝缘纸各一层包住，绝缘比引线每边宽约10毫米。为使绕组两边一样高，可在绕组两边适当垫几层绝缘纸，然后按引线头所在位置用白布带扎紧，布带末端用线缝住，浸黑胶泥或浸漆。用电缆引出的绕组，在浸渍后焊接电缆。电缆焊接处用厚0.15毫米云母纸包住，纸比引线每边宽约10毫米，然后用浸漆布带在有引线的一边把引线和绕组半叠包一层扎紧，末端用线缝住，喷1321灰瓷漆一层。并激绕组的外形如图1-9所示。

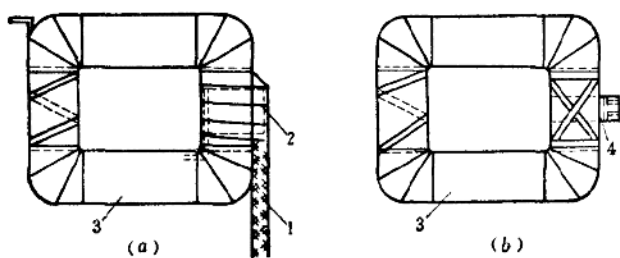


图 1-9 并激绕组

(a)带引出线的并激绕组；(b)带引出铜皮的并激绕组
1—引出线；2—半叠包漆布带；3—绕组；4—引出铜皮

并激绕组绝缘的典型结构如图1-10所示。图中的绕组为外面绕有斜纹布带或玻璃丝带，已经浸渍或涂有绝缘胶的线圈；对地绝缘为线圈和铁芯（或框架）间的绝缘，按照绝缘等级不同而用电工纸板或塑性云母板等绝缘；绝缘垫板为层压纸板、布板或环氧玻璃布板；托板为把线圈固定在主极铁芯上的金属框架。

线圈的尺寸和形状与匝数和导体截面有关，也与各极间空间地位有关。对截面不大的导体可制成倾斜形线圈或梯形

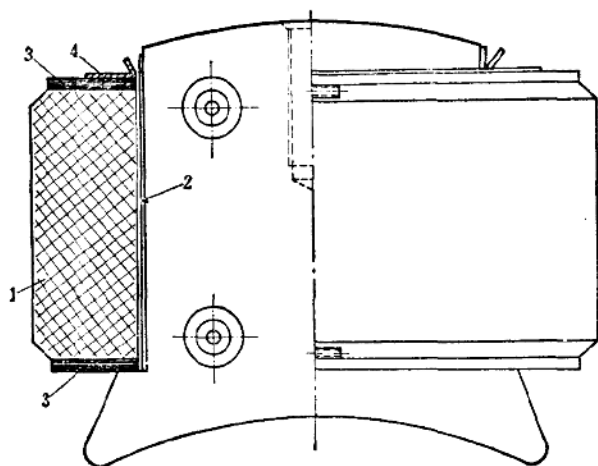


图 1-10 并激绕组的绝缘结构

1—绕组；2—对地绝缘；3—绝缘垫板；4—托板

线圈，以增加线圈外圈的表面积，因而改善它们的冷却条件。

为了改善轴向冷却条件，也可以制成二段梯形线圈，在二段间安放钢质或木质支持物作为轴向风道。木质支持物的可靠性较差，由于干燥的缘故可能松动，因此可改用环氧玻璃布板。

在径向通风时，并激绕组沿径向分成二段，使空气沿着半径方向通过各段的中间。

轴向和径向通风的并激绕组结构如图 1-11 所示。

并激绕组线圈间的连接，几乎毫无例外地采用串联连接，在连接时应注意线圈产生的极性（相邻磁极的线圈产生的极性相反）。这种连接方法简单，只要相邻线圈头与头连，尾与尾连即可。其极性连接的正确与否可用磁针法

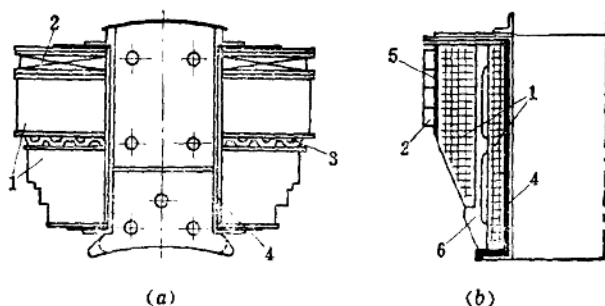


图 1-11 有通风道时的并激绕组

(a) 两段梯形并激绕组, (b) 径向分开的并激绕组

1—并激绕组, 2—串激绕组, 3—轴向风道, 4—对地绝缘,
5—绕组间绝缘, 6—径向风道

检查。

辅助励磁绕组(反馈绕组)的结构与并激绕组相同, 只是匝数较少。这种绕组多安装于用作同步发电机的励磁机主极上, 用来自动调整电压。也即当同步发电机所联的系统电压大于该励磁机所供的同步发电机电压时, 通过一系列的反馈使辅助励磁绕组获得一个与并激绕组同极性的励磁电流, 从而增加主极磁势, 使励磁机的电势升高, 供给同步发电机转子的激磁电流增加, 提高该同步发电机电压, 直至与系统电压相等。反之, 如该同步发电机电压高于系统电压, 则辅助励磁绕组获得一个与并激绕组反极性的电流, 从而降低该同步发电机电压使之与系统电压相等, 起到自动调节电压的作用。

串激绕组在串激电机中单独置于主极铁芯上, 在复激电机中与并激绕组一起置于主极上。

串激绕组采用裸的、高强度漆包或双玻璃丝包扁铜线绕制, 一般采用平绕或立绕的单层线圈。用裸导线绕制时, 其