

前 言

本书是根据石油部劳资司1984年审定的柴油机专业《石油井场发电与供电教学大纲》编写而成的。全书内容按70~80学时考虑,如教学时数较少,正文中标题前标有*号的内容可选学。

本书立足石油井场发电设备的现状,为了照顾发展,适当介绍了一些新设备和新技术,如变换器式仪表、可控硅励磁和无刷励磁等。

本书由华北石油技工学校邢官清编写概论和第一、二章并任主编,四川石油管理局技工学校毛建华编写第三章,辽河石油勘探局技工学校赵祖营编写第四、五章,最后由主编统稿,对部分章节作了补充、改写和重写。本书在编写中得到各校领导和有关同志的大力支持,华北石油技工学校绘图室陈晓建、李学荣清绘了插图,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

编 者

目 录

概论.....	(1)
第一节 发电与供电的一般问题.....	(1)
第二节 柴油发电机组.....	(3)
第三节 本课程的性质、任务、内容及学习要求.....	(6)
第一章 直流励磁机.....	(8)
第一节 直流发电机的基本结构.....	(8)
第二节 直流发电机的工作原理.....	(10)
第三节 直流发电机的分类.....	(13)
第四节 并励发电机的自励原理.....	(14)
第五节 直流发电机的电枢反应.....	(16)
第六节 并励直流发电机的外特性和调节特性.....	(17)
实验 并励直流发电机的空载和负载.....	(18)
第二章 三相同步发电机.....	(23)
第一节 交流励磁机.....	(23)
第二节 三相同步发电机的基本结构.....	(24)
第三节 同步发电机的工作原理.....	(28)
第四节 同步发电机的电枢反应.....	(31)
第五节 同步发电机的外特性和调节特性.....	(36)
第六节 同步发电机的并列.....	(37)
第七节 同步发电机的电磁功率.....	(40)
第八节 同步发电机并联运行时有功功率的调节.....	(42)
第九节 同步发电机并联运行时无功功率的调节.....	(45)
第十节 同容量发电机并联运行时的功率调节.....	(48)
第十一节 同步发电机的励磁方式.....	(49)
第十二节 不可控相复励系统.....	(52)
第十三节 三次谐波励磁系统.....	(55)
第十四节 可控硅励磁系统.....	(58)
实验 三相同步发电机的并联运行.....	(60)
第三章 控制屏.....	(64)
第一节 概述.....	(64)
第二节 配电部分.....	(69)
第三节 测试部分概述.....	(73)
第四节 互感器和分流器.....	(79)
第五节 电气仪表.....	(82)

第六节	电气测量	(96)
第七节	变换器式仪表	(107)
第八节	调压部分概述	(113)
第九节	TD型炭阻式自动电压调节器.....	(114)
第十节	不可控相复励恒压	(117)
第十一节	三次谐波励磁可控硅分流调节器	(119)
第十二节	可控硅励磁调节器	(126)
第十三节	无刷励磁系统	(136)
第四章	石油井场电力线路	(150)
第一节	石油井场电力系统	(150)
第二节	导线及其选择	(153)
第三节	线路支持物	(158)
第四节	井场电力线路的架设要求	(162)
第五节	架空线路施工	(164)
第六节	母线	(171)
第七节	石油井场电力线路的运行与维护	(171)
第五章	安全发供电常识	(175)
第一节	柴油发电机组的使用	(175)
第二节	柴油发电机组的并列	(176)
第三节	并联运行功率的分配	(183)
第四节	发电机组的维护	(184)
第五节	发电机组的常见故障和检修	(186)
第六节	防雷	(193)
第七节	石油井场安全用电	(195)
附录		(198)
附录一	石油井场常用绝缘导线和裸导线的型号和规格	(198)
附录二	常用柴油发电机组的主要技术规格	(204)
主要参考文献		

概 论

随着石油勘探开发事业的发展,钻井装备不断更新,井场用电设备不断增多,对电力的需要也随之增加。加之发电设备本身自动化程度的提高和电子技术的广泛采用,对井场发电设备的使用和维护提出了更高的要求。为了保证石油井场电力的正常供应,培养具有一定水平的石油井场发电工,就显得十分迫切和重要了,本书就是为此目的而编写的。

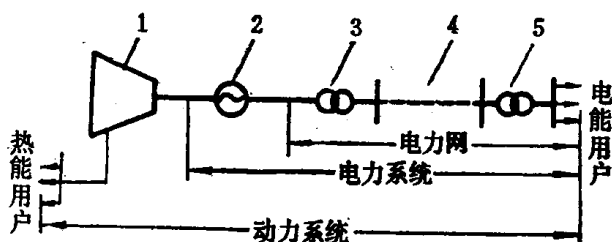
第一节 发电与供电的一般问题

石油井场发电与供电是一种特殊场合的发供电,它既有发供电的一般问题,又有自己的特殊问题,为了学好石油井场发电与供电,首先需要知道发电与供电的一般问题。

一、电力生产和供应常识

1. 电力网

电力由电站生产,通过电力线路的输送,最后分配给各处用电设备,这样就形成了发电、输电、配电、用电的完整系统——电力系统。具体讲,电力系统是指由发电机变、电所、电力线路、配电装置和用电设备组成的统一整体。电力系统中由各级电压的电力线路(包括变电所)组成的部分,叫做电力网,简称电网。电力系统加上能源动力装置(如汽轮机、水轮机、柴油机等),称为动力系统,如图概-1所示。



图概-1 动力系统示意图

1—汽轮机; 2—发电机; 3—升压变压器; 4—输电线路;
5—降压变压器

2. 电站

电站是将其他形式的能量转换为电能的场所。

1) 电站的分类

(1) 按照发电能源的不同,电站可以分为火电站(厂)、水电站、核电站、地热电站、潮汐电站、风力电站、柴油机电站等。有些火电站除生产电力外,还能供应蒸汽和热水,这称为热电站(厂)。

(2) 按照容量的不同分为大型电站、中型电站、小型电站和微型电站等。大中型电站均装有多台发电机组。

(3) 按照站址能否移动来分类:凡站址不能移动的电站,称为固定电站,火电站、水电站、核电站等大中型电站及地热、潮汐电站等,都是固定电站;凡站址能够移动的电站,称为移动电站,如列车电站、汽车电站、拖车电站、船舶电站等,都是移动电站。

2) 电站的构成 电站的型式虽然各异,但都是由动力、发电、控制等几大部分构

成的。

动力部分是发动机，又称原动机，如汽轮机、水轮机、柴油机等。其作用是将其其他形式的能量转换为机械能。

发电部分是发电机，如同步发电机等。其作用是将机械能转换为电能。

控制部分是控制屏（台），如开关屏、配电盘等。其作用是对电力生产进行控制（如监测、保护、调节、分配等）。

3. 电力线路

电力线路是输送电力的线路。电站生产的电力，除一小部分自用和附近用户使用外，大部分需要通过电力线路送往很远的用电地区。为了减少远距离送电的电能损失，电能需要升高电压后，通过高压电力线路输送。输电容量越大，输送距离越远，输电电压也越高。

二、电力生产和供应的特点

电力工业（由电站、电力线路、用电设备三个环节组成）与其他工业相比，有着截然不同的特点。

1. 电能与各部门的关系密切

电能与其他能量之间转换方便，使用电能较使用其他能量有显著优点，如效率高、控制方便等。因此，各部门都广泛使用电能。电能供应的中断或减少，必将影响各部门的工作。

2. 过渡过程非常短暂

发电机、变压器、电力线路、电动机等的投入或退出，所引起的电磁、机电过渡过程非常短暂，因而正常和故障情况所进行的调整和切换操作也要非常迅速，这对发供电工作提出了自动化和远动化的要求。

3. 电能不能大量贮存

电能的生产、输送、分配和使用，是在同一时刻进行的，电站任何时刻生产的电能，必定等于该时刻用电设备耗用的电能和输送、分配过程中损失的电能之和。电能生产和消费的同时性，使电力工业的各个环节，形成了紧密联系的整体。

三、对电力生产和供应的基本要求

根据上述电力工业的特点，电力的生产和供应，必须达到以下基本要求。

1. 保证可靠地发供电

供电的中断将使生产停顿，生活混乱，甚至危及人身和设备安全，产生十分严重的后果。为了在检修或事故停机时可靠地供电，电站一般应有备用容量。

2. 保证良好的电能质量

良好的电能质量主要是指：电压正常，偏差不超过额定值的 $\pm 5\%$ ；频率正常（工频为50赫芝），偏差不超过 ± 0.5 赫芝。电压和频率偏差过大，会引起减产，产生废品，严重时会造成人身事故，损坏设备。

第二节 柴油发电机组

一、柴油发电机组的特点

作为一种发电设备，柴油发电机组具有机动灵活，使用维护方便，对环境的适应性强等优点。因此，在国民经济的各个部门，尤其是那些对电力需要量不太大，而要求有一定机动性的场合（如石油井场），得到了广泛的应用。

二、柴油发电机组的组成

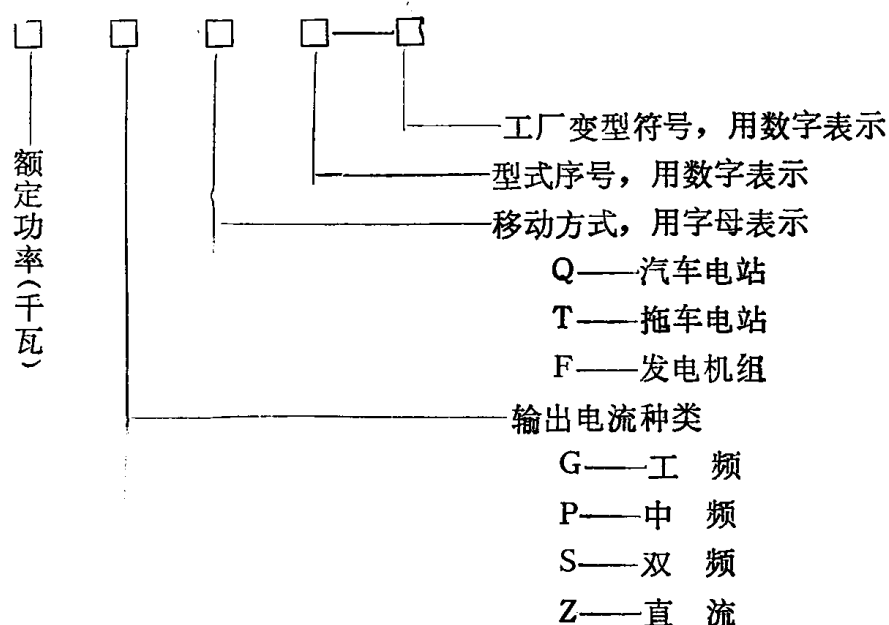
柴油发电机组是柴油机和发电机组合在一起的发电设备的总称。它由柴油机、发电机、控制屏三大部分组成。一般工厂生产的成套柴油发电机组，都是用同一底盘把主要组成部分安装在一起。为了减小机组的振动，在柴油机、发电机、控制屏等件与底盘的连接处，通常都装有减振器。

柴油机通过联轴器直接驱动发电机的转子，旋转方向通常为顺时针方向（从水箱端视之）。

底盘一般都用型钢或钢板焊制而成，形如雪橇，便于滑行移动和安装。因此，这种型号的柴油发电机组，又称为滑移式柴油发电机组。

三、柴油发电机组的型号

移动式柴油发电机组的型号为



型号示例：50GF 1 - 1 为50千瓦工频发电机组，第一种型式，第一次变型。

对于固定式柴油发电机组，目前暂不受此标准限制，一般由制造厂自行编制。

*四、柴油发电机组的主要电气性能指标

作为发电设备，柴油发电机组应能向用电设备提供符合质量要求的电能。而衡量电能质量的重要内容是柴油发电机组的主要电气性能指标。因此，使用者必须了解柴油发电机组的主要电气性能指标。

(一) 调整率和波动率

柴油发电机组的调整率和波动率的各项指标不大于表概-1的规定。

表概-1 柴油发电机组的调整率和波动率指标

种类	指标	稳态电压调整率 (%)	电压稳定时间 (s)	频率调整率 (%)		频率稳定时间 (s)	波动率 (%)		说明
				稳态	瞬态		电压	频率	
I		1	0.5	0.3	2	3	±0.3	±0.25	机组在0~25%额定负载下，其电压波动率和频率波动率允许比表列数值大0.5
II		1	0.5	1	5	3	±0.5	±0.5	
III		3	1	3	7	5	±0.5	±0.5	
IV		5	3	5	7	6	±1	±1	

1. 调整率

1) 稳态电压调整率 稳态电压调整率是指机组在负载变化后的稳定电压相对于机组在空载时整定电压的偏差程度，用百分比来表示，其计算公式如下

$$\text{稳态电压调整率} = \left| \frac{U - U_0}{U_0} \right| \times 100\% \quad (\text{概-1})$$

式中 U_0 ——空载整定电压，V；

U ——负载变化后的稳定电压的最高（或最低）值（V），按相对于空载整定电压差值大的计算。

稳态电压调整率取决于励磁调节器的调节能力。调节能力愈强，稳态电压调整率愈小。

2) 稳态频率调整率 稳态频率调整率是指机组负载变化前后的稳定频率的差值与额定频率的比值，用下式计算

$$\text{稳态频率调整率} = \left| \frac{f - f_0}{f_0} \right| \times 100\% \quad (\text{概-2})$$

式中 f_0 ——额定频率，Hz；

f_0 ——负载变化前的频率，Hz；

f ——负载变化后的稳定频率的最高（或最低）值（Hz），按相对于负载变化前频率差值大的计算。

稳态频率调整率取决于柴油机调速器的调节能力。

3) 瞬态频率调整率 瞬态频率调整率是指负载变化时，瞬时频率与负载变化前的频率的差值，相对于额定频率的比值，用下式计算

$$\text{瞬态频率调整率} = \left| \frac{f_s - f_0}{f_0} \right| \times 100\% \quad (\text{概-3})$$

式中 f_1 ——负载变化时的瞬时频率最高（或最低）值（Hz），按相对于负载变化前频率差值大的计算。

2. 波动率

（1）电压波动率 电压波动率是指机组的电压在负载不变时，由于机组内部的原因产生的波动，用下式计算

$$\text{电压波动率} = \frac{U_B - U_P}{U_P} \times 100\% \quad (\text{概-4})$$

式中 U_B ——负载不变时的最高（或最低）电压，V，

U_P ——负载不变时的平均电压，V，

$$U_P = \frac{U_{B\text{最高}} + U_{B\text{最低}}}{2}$$

（2）频率波动率 频率波动率是指机组的频率在负载不变时，由于机组内部原因产生的波动，用下式计算

$$\text{频率波动率} = \frac{f_B - f_P}{f_P} \quad (\text{概-5})$$

式中 f_B ——负载不变时的最高（或最低）频率，Hz，

f_P ——负载不变时的平均频率，Hz，

$$f_P = \frac{f_{B\text{最高}} + f_{B\text{最低}}}{2}$$

3. 稳定时间

稳定时间是指从负载突变时起，至电压或频率开始稳定所需的时间。

（二）空载电压整定范围

空载电压整定范围为95~105%额定值。若机组的额定电压为400伏，则其电压整定范围应为380~420伏，这就保证了由于输电线路产生电压降后，用电设备仍有正常的工作电压。当空载电压整定范围为95~105%（对不可控相复励机组只考核100%）额定电压时，稳态电压调整率和波动率应满足表概-1的有关规定。

（三）发电机电压波形正弦性畸变率

发电机电压的理想波形是正弦波，但实际上发电机的感应电动势中含有三次及三次以上的高次谐波，三次谐波励磁的发电机尤为严重。因此，发电机的电压波形产生正弦性畸变。

电压波形正弦性畸变率是指总的谐波电压相对于基波电压的百分比。机组在空载额定电压时，线电压波形正弦性畸变率应不大于10%（通常用失真度测量仪测定）。

电压波形正弦性畸变率过大，会使发电机严重发热，温度升高，发电机的绝缘受到影响。同时也对电气设备的正常工作有影响，例如可能引起继电保护、自动装置、电子计算机等的误动作或工作不正常。

（四）三相负载不平衡

三相不平衡负载将导致发电机三相绕组所供给的电流不平衡，使发电机的线电压之间产生偏差，同时使发电机发热和振动。对三相异步电动机，将产生对转子起制动作用的反向旋转磁场。因此，规定柴油发电机组三相中任何一相电流均不得超过额定值。各相电

流不平衡度不超过25%额定电流时,线电压的最高(或最低)值与三相线电压平均值之差,不超过三相线电压平均值的5%。

线电压不平衡度的计算公式如下

$$\text{线电压不平衡度} = \left| \frac{U - U_p}{U_p} \right| \times 100\% \quad (\text{概-6})$$

式中 U ——在不平衡负载下,相对于三相平均线电压差值大的线电压的最高(或最低)值, V ;

U_p ——在不平衡负载下,三相线电压的平均值, V 。

$$U_p = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}$$

(五) 直接起动空载鼠笼式异步电动机的能力

柴油发电机组直接起动空载鼠笼式异步电动机的能力如下:

柴油发电机组的额定功率不大于40千瓦时,起动70%发电机容量的异步电动机;机组容量为50、64、75千瓦时,起动30千瓦异步电动机;机组容量为90、120千瓦时,起动50千瓦的异步电动机;机组容量为150、200千瓦时,起动75千瓦异步电动机。

第三节 本课程的性质、任务、内容及学习要求

一、本课程的性质和任务

本课程是一门由内燃动力技术、电工技术和电子技术相结合而成的技术课——石油井场电力技术课。同学们在柴油机、电工、电子等课程中学到的知识和技能,在本课程中得到了具体的体现和应用,这是柴油机专业的同学学习本课程颇为有利的因素。

本课程的任务是培养石油井场发电工。具体讲就是通过本课程的学习,使学生获得有关石油井场发供电设备的基本结构、工作原理,运行操作、维护保养、常见故障判断与排除等方面的基本知识和技能,为同学们日后从事石油井场发供电工作奠定基础。

二、课程内容

本课程主要有三个内容。

(一) 石油井场发电设备——柴油发电机组

石油井场的特点是地区分布广,流动性大,工作地点经常搬迁。因此,要求发电设备既要结构紧凑,体积小,重量轻,便于搬迁安装,又要操作维护方便,燃料和水的消耗量小。柴油发电机组正是能够满足上述要求的理想发电设备。

如前所述,柴油发电机组由柴油机、发电机和控制屏三大部分组成。

1. 柴油机

柴油机是机组的动力部分,它是在恒定转速下工作的。因此,柴油机上的调速器应有良好的稳定性和调节性。目前柴油发电机组普遍使用135系列柴油机,此外还有110系列和160系列等。柴油机方面的知识在柴油机课程中讲授,本书不予重述。

2. 发电机

发电机是机组的发电部分。他励式同步发电机由主机和副机两大部分组成。

(1) 主机 主机为三相同步发电机,其结构多为旋转磁场式,电枢绕组在定子上,励磁绕组在转子上。磁极型式有凸极和隐极两种。目前柴油发电机组上普遍使用 T_2 (或72) 系列、 T_2S (或72S) 系列、 T_2X (或72X) 系列等同步发电机。 T_2S (或72S) 系列为三次谐波励磁发电机,简称谐波励磁发电机。 T_2X (或72X) 系列为相位复式励磁发电机,简称相复励发电机。关于同步发电机的基本结构和运行调节原理,将在第二章中讲述。

(2) 副机 副机为励磁机,其作用是为主机提供励磁功率。

励磁机又分为直流励磁机和交流励磁机两种。直流励磁机为并励直流发电机,关于直流发电机的基本结构和工作原理,将在第一章中讲述。交流励磁机为旋转电枢式同步发电机,其基本结构和工作原理,将在第二章中讲述。

3. 控制屏

控制屏是机组的控制部分,它是机组运行时进行监视、控制和调节的中心,是柴油发电机组不可缺少的组成部分。对于工作场所经常变更的小容量柴油发电机组,一般采用箱式结构;对于固定式或容量较大的柴油发电机组,多采用柜式结构。关于控制屏的组成、工作原理和使用须知,将在第三章中讲述。

(二) 石油井场供电设备——石油井场电力线路

石油井场电力线路一般为低压架空电力线路,担负着为井场用电设备输送和分配电能的重要任务。关于低压架空电力线路的构成和运行维护知识,将在第四章中讲述。

(三) 石油井场安全发供电常识

本书第五章把石油井场发、供、用电三个环节作为一个整体——石油井场电力系统,讲述石油井场安全发供电的各种基本操作、常见故障的判断和排除、发供电设备的维护与保养等知识。

三、学 习 要 求

本课程注重理论与实践的结合,教材紧密结合石油井场发电与供电设备进行讲述,要求同学们在学习本课程时要手脑并用,把理论学习和实际操作密切结合起来,把石油井场电力技术真正学到手,为我国石油工业的更大发展贡献自己的力量。

复 习 思 考 题

1. 何谓电力网?电力系统?动力系统?
2. 何谓移动电站?举例说出三种移动电站。
3. 电站由哪几大部分构成?其作用各是什么?
4. 何谓电力线路?其电压高低决定于什么?
5. 电力工业的特点是什么?
6. 对电力生产和供应的基本要求是什么?
7. 何谓柴油发电机组?其特点是什么?
8. 柴油发电机组的主要电气性能指标有哪些?
9. 励磁机的作用是什么?同步发电机的励磁机有哪两种?
10. 说说你对本课程的认识和学习打算。

第一章 直流励磁机

同步发电机运行时，必须向转子绕组中送入一直流电流，常称它为励磁电流。为同步发电机提供励磁电流的直流发电机，称为直流励磁机。直流励磁机一般为并励发电机。本章将讲述直流发电机的基本结构，工作原理，并励发电机的自励原理和运行特性。

第一节 直流发电机的基本结构

直流发电机的基本结构包括固定的和转动的两大部分。固定的部分叫定子，包括主磁极、换向极、机座、端盖和电刷装置等部件；转动的部分叫转子，又叫电枢，包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器、风扇和转轴等部件。定、转子之间为空气隙，它是电机磁路的一部分。由主磁极所产生的主磁场，在气隙中按一定的形状分布。

下面分别说明上述各部件的作用和结构。

一、定 子

1. 主磁极

主磁极的作用是产生主磁场。主磁极由主磁极铁芯和励磁绕组两部分组成。图1-1a

是主磁极铁芯的形状，它一般是用薄钢板冲片叠压而成，铁芯的下部做成弧形，叫做极靴，极靴的形状可以保证在电枢表面外的气隙里产生按一定形状分布的磁感应强度。极靴在机械上的作用是使励磁绕组更为牢固。励磁绕组是用绝缘铜线绕制而成，并牢固地套在铁芯上。整个主磁极用螺栓固定在机座上，如图1-1b所示。

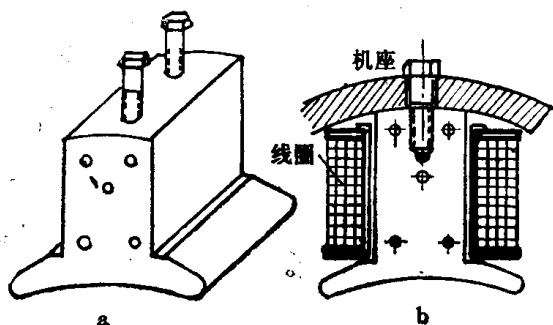


图 1-1 直流电机的主磁极
a—用薄钢板叠成的主磁极铁芯，b—主磁极和励磁绕组一起固定在机座上

当励磁绕组通入直流电流时，各主磁极产生一定极性的磁通。相邻主磁极的极性，应为N，S 交替出现。为此，励磁线圈相串联时，应保证它们有正确的极性。

2. 换向极

换向极的作用是用来改善直流电机的换向。换向极由铁芯和绕组两部分组成，如图1-2所示。换向极铁芯一般由整块钢刨削而成。换向极绕组是与电枢绕组相串联的，流过电枢电流，因而导线较粗，匝数较少。换向极安装在两个相邻的主磁极中间，故又称间极。换向极用螺栓固定在机座上。

3. 机座

机座一般用铸钢或钢板制成，其作用有二：一是用来固定主磁极、换向极和端盖等，

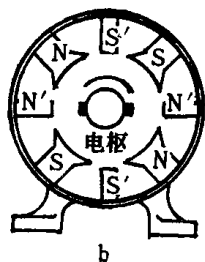
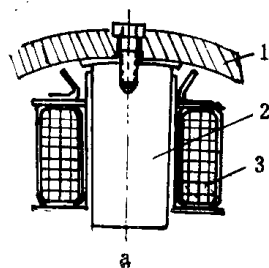


图 1-2 换向极的结构和极性
a—换向极的结构；b—换向极的极性；
1—机座；2—铁芯；3—绕组

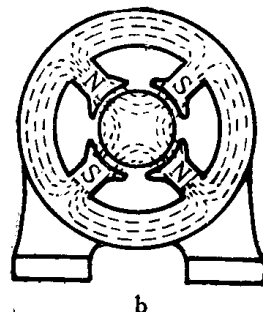
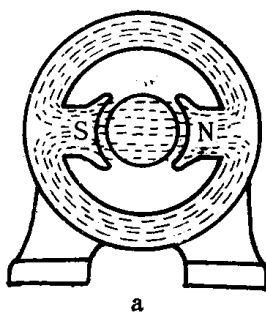


图 1-3 直流电机的磁路
a—两极；b—四极

作为电机的机械支架；二是构成磁路。机座中传导磁通的部分叫磁轭，它是电机磁路的一部分。主磁极铁芯、磁轭、电枢铁芯、空气隙，共同构成了电机的磁路，如图1-3所示。机座下部有底脚，借以与基础固定，两端有止口，以便安装端盖。

4. 电刷装置

电刷装置是直流电的引出装置，通过固定的电刷和旋转的换向器之间的滑动接触，把电枢绕组中的交流电变换成直流电引到外电路。

电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆座等组成，如图1-4所示。电刷活动地安装在刷握的刷盒中，利用弹簧压板把电刷压在换向器上。刷握固定在刷杆上，借铜丝辫把电流从电刷引到刷杆上，再用导线引到电机出线盒的接线板上。刷杆装在刷杆座上，刷杆与刷杆座之间是绝缘的。小容量电机的刷杆座固定在端盖上，大容量电机的刷杆座则固定于机座上。

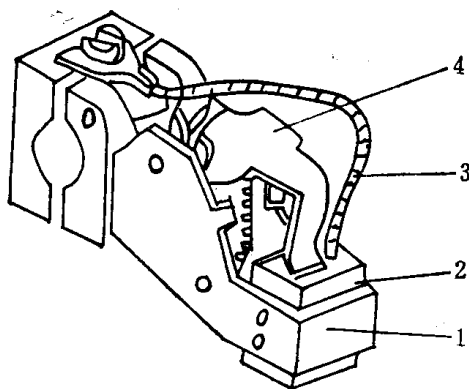


图 1-4 刷握装配
1—刷盒；2—电刷；3—铜丝辫；4—压紧弹簧

二、转 子

在直流发电机里，转子由原动机驱动旋转，于是在转子绕组中就会产生感应电动势，把机械能转换为电能，可见它是实现能量转换的枢纽，故称电枢。

1. 电枢铁芯

电枢铁芯由0.5毫米厚的硅钢片叠成，硅钢片的两面涂有绝缘漆，先冲成电枢冲片，如图1-5所示，然后再叠压成铁芯。电枢铁芯的外圆周上有均匀分布的槽，用来嵌放电枢绕组。

2. 电枢绕组

电枢绕组由绝缘导线绕成线圈，嵌入电枢铁芯的槽内，然后按一定的规则与换向片相联而成电枢绕组。

槽内导线与槽壁之间要彼此绝缘。槽口由槽楔封固，在槽外的绕组端部，用镀锌钢丝绑扎牢固，防止因离心力产生径向位移。

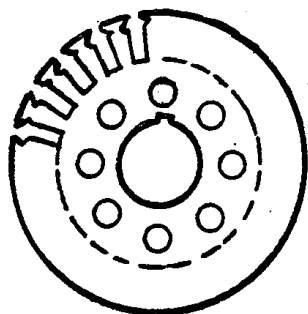


图 1-5 电枢冲片

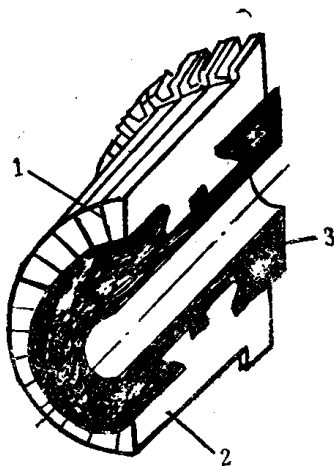


图 1-6 塑料换向器

1—片间绝缘；2—换向片；3—塑料

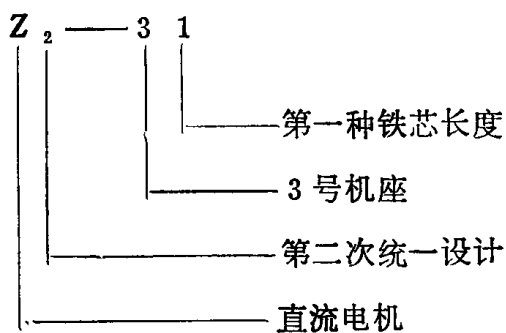
3. 换向器

换向器的作用是把电枢绕组中产生的交流电变成直流电，并经电刷输送出去。换向器的构成如图1-6所示，它是由许多换向片（铜片）组成，铜片之间彼此用云母片绝缘。

三、铭牌数据

每台直流发电机的机座上，都钉有一块铭牌，其上列出这台发电机的主要额定值（又称铭牌数据）。铭牌值的含义为：

(1) 型号 型号用字母与数字组合一起来表示，如



(2) 额定功率 额定功率指长期运行所允许的输出功率 (kW)。

(3) 额定电压 额定电压指额定功率时的端电压 (V)。

(4) 额定电流 额定电流指额定功率时供给负载的电流 (A)。

(5) 额定转速 额定转速指电压、电流、功率均为额定值时的转速 (r/min)。

(6) 额定温升 额定温升指在额定情况下，电机允许的工作温度与周围环境温度 (40℃) 之差。

第二节 直流发电机的工作原理

直流发电机的工作原理是基于电磁感应作用和换向器的换向作用。

一、直流电动势的产生

图1-7表示一最简单的直流发电机。N和S表示两个固定的磁极，两极之间有电枢，其上紧绕着一匝线圈1—2—3—4，线圈的两端分别焊到换向器的两个铜片5和6上，换向器装在轴上，并与轴绝缘。两个静止的电刷7（安放在N极下）和8（安放在S极下）与换向器铜片保持滑动接触。发电机通过这两个电刷与外电路联接。

当电枢在原动机拖动下以转速 n

逆时针旋转时，根据右手定则，线圈边1—2中感应电势的方向由2指向1，线圈边3—4中感应电势的方向由4指向3。从整个线圈来看，电势方向是4—3—2—1。因此，与1端连接的铜片5和电刷7处于正电位，与4端连接的铜片6和电刷8处于负电位。如果接通外电路，电流就从电刷7经负载 R 流入电刷8，与线圈一起构成闭合的电流通路。线圈中电流的方向是4—3—2—1。

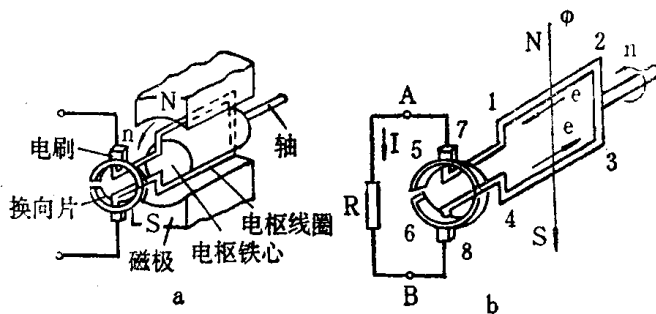


图 1-7 最简单的直流发电机
a—原理图；b—直流电动势的产生

当线圈的1—2边转到S极范围内时，3—4边也转到了N极范围内。这时3—4边中电势的方向由3指向4，而1—2边中电势的方向由1指向2。从整个线圈来看，电势方向是1—2—3—4。由于电刷是不动的，此时电刷7与铜片6接触，其电位仍为正，电刷8与铜片5接触，其电位仍为负。接通外电路时，电流仍是从电刷7经负载 R 流入电刷8，与线圈一起构成闭合回路。不过要注意，这时线圈内的电流已经反向了。

由上述可知，当线圈不停地旋转时，虽然线圈中感应电势的方向不断交变，但是由于换向器随电枢一起旋转，使得电刷7总是接通在N极范围内运动的线圈边，电刷8总是接通在S极范围内运动的线圈边，它们的极性永远保持不变。这样，由于换向器的作用，线圈中的交流电经过电刷后，便成为外电路中的直流电了。

*二、换向原理

从直流电动势的形成过程可以看到，旋转着的电枢线圈每经过一次电刷，线圈中电流的方向就改变一次。经过电刷时线圈中电流改变方向的过程，叫做换向。按照上述情况，可得换向原理如下：

换向前(图1-8a)

1-2边在N极下运动，3—4边在S极下运动，电刷7与换向片5接触，线圈中电流方向为4—3—2—1。

换向中(图1-8b)

1—2边和3—4边都处于N、S极中间，电刷7把换向片5和6短路，线圈因而被短路，但此时线圈边不切割磁力线，故线圈中没有电流。

换向后(图1-8c)

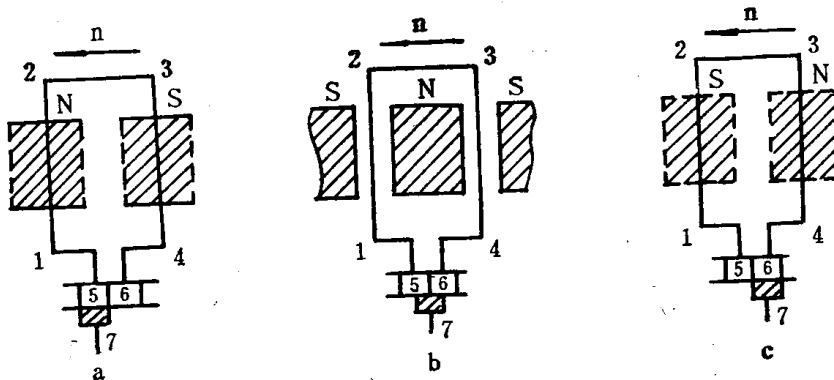


图 1-8 电流换向过程
a—换向前；b—换向中；c—换向后

1—2边在S极下运动，3—4边在N极下运动，电刷7与换向片6接触。此时线圈中电流方向与原来方向相反，变为1—2—3—4。

被电刷短路的线圈叫做换向线圈，换向线圈被短路的整个过程叫做换向过程。

只有一个线圈的发电机，刷间电势波动大，不适合用电要求。所以实际的发电机均有许多线圈嵌放在电枢圆周的不同槽内，相应地采用许多换向片组成换向器。这样，刷间电势便比较恒稳。

三、刷间电势与磁通和转速的关系

从上述直流电势产生的过程，可以求出刷间电势 E 与每极磁通 Φ 和转速 n 之间的关系式。为此，先求出极面下的平均磁通密度 B_p 和线圈边的线速度 v 。

$$B_p = \frac{\Phi}{\pi D l} = \frac{2p\Phi}{\pi D l} \quad (1-1)$$

式中 B_p ——平均磁通密度，(T)；

Φ ——每极磁通，(Wb)；

p ——磁极对数；

D ——电枢直径，m；

l ——电枢铁芯长度，m。

$$v = \frac{\pi D n}{60} \quad (1-2)$$

式中 v ——线圈边的线速度，m/s；

n ——转速，r/min。

由动生电势公式 $e = Blv$ 即可求出一匝线圈时的刷间电势

$$E_{1-4} = 2E_{1-2} = 2B_p l v = 2 \frac{2p\Phi}{\pi D l} \cdot l \cdot \frac{\pi D n}{60} = \frac{p}{15} \Phi n$$

显然，多匝线圈的刷间电势与匝数成正比。对于一台制造好的电机，极对数和电枢绕组匝数均为一定，因此，发电机的刷间电势

$$E = C_e \Phi n \quad (1-3)$$

式中 C_e 为常数(与电机的极对数和电枢绕组匝数有关)，称为电机常数。

四、发电机电压的调节原理

调节发电机的电压，实际上就是改变其电动势的大小。由 $E = C_e \Phi n$ 可知，只要调节发电机的磁通 Φ 或转速 n ，就可以调节电动势的大小，这就是我们调压的依据。

第三节 直流发电机的分类

直流发电机的性能与它的励磁方式密切相关，因此，直流发电机一般都按励磁方式来分类。

一、他励发电机

他励发电机的励磁电流由其他直流电源（如蓄电池或其他直流发电机）供给，如图1-9所示。

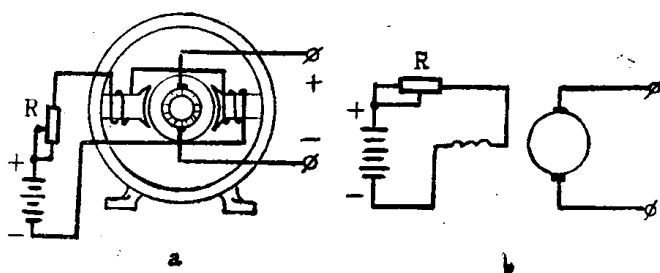


图 1-9 他励发电机
a—原理图，b—电路图

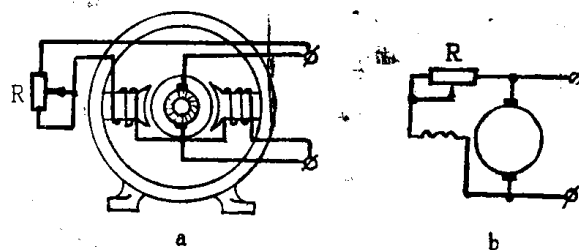


图 1-10 并励发电机
a—原理图，b—电路图

二、自励发电机

自励发电机的励磁电流由发电机本身供给。按励磁绕组的联接方式，又分为以下三种。

1. 并励发电机

并励发电机的励磁绕组与电枢绕组并联，如图1-10所示。

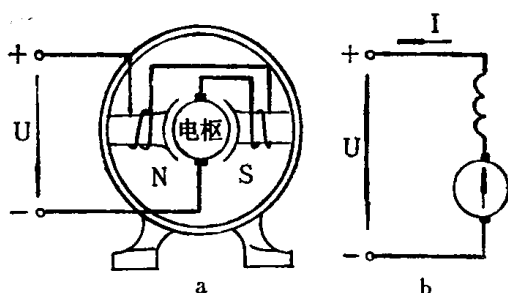


图 1-11 串励发电机
a—原理图，b—电路图

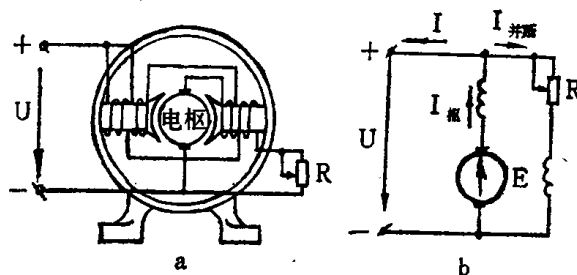


图 1-12 复励发电机
a—原理图，b—电路图

2. 串励发电机

串励发电机的励磁绕组与电枢绕组串联，如图1-11所示。

3. 复励发电机

复励发电机有两个励磁绕组：并励绕组和串励绕组。前者与电枢绕组并联，起主要作用；后者与电枢绕组串联，起辅助作用，如图1-12所示。

励磁所消耗的功率不大, 仅占电机额定功率的1~3%, 但它对电机的性能影响却很大。

并励发电机不需另外的直流电源供给励磁电流, 故应用较广。同步发电机的励磁, 常以并励直流发电机作为直流电源。

第四节 并励发电机的自励原理

并励发电机的励磁电流 I_L 是由发电机自身的端电压 U 产生的, 而端电压 U 又是由励磁电流 I_L 建立起来的。这样, 发电机自己建立电压(叫做自励)就成了一个特殊的问题。我们将首先分析这个问题, 然后归纳出并励发电机的自励条件和实现自励的技术措施。

一、自励过程

并励发电机利用本身的剩磁建立稳定电压的过程, 称为自励过程。图1-13为并励发电机的原理接线图。图中LQ为励磁绕组, 两个黑色方块代表电刷, R_b 为磁场变阻器。LQ与 R_b 串联后与电枢绕组并联。 R_b 用来调节励磁电流的大小, 从而改变磁通的大小, 以获得所需的直流输出电压。励磁回路的总电阻 R_L 为励磁绕组的电阻与磁场变阻器接入部分的电阻之和。

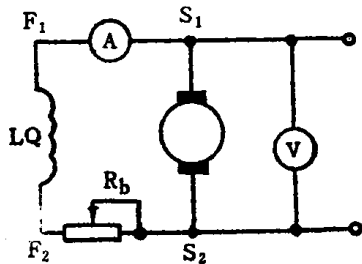


图 1-13 并励发电机原理接线图

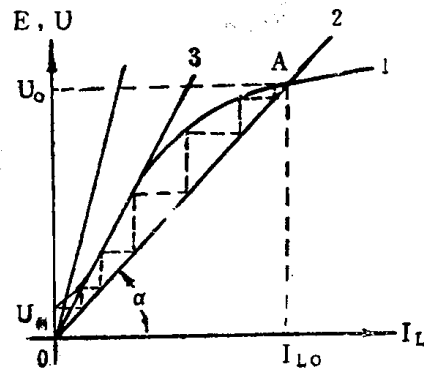


图 1-14 并励发电机的自励

并励发电机的励磁电流是由发电机本身供给的, 但电压尚未建立之前, 励磁电流为零。当电枢由原动机拖动以额定转速旋转时, 要使旋转的电枢产生电势, 则电机主磁极必须要有剩磁。所以, 有剩磁是自励的先决条件。

在有剩磁的条件下, 电机旋转时, 电枢绕组切割剩磁, 产生剩磁电势。剩磁电势约为额定电压的2~5%, 在此电势作用下, 励磁回路便流过一个小的励磁电流。这个电流产生的磁通, 其方向可能与剩磁方向一致, 也可能与剩磁方向相反, 这取决于电枢绕组和励磁绕组的联接是否正确。如果方向一致, 则气隙磁场增强, 从而使电枢电势和端电压上升。端电压的上升又使励磁电流增加, 使气隙磁场进一步增强, 如此循环促进, 电压就有可能建立起来。如果方向相反, 则剩磁被削弱, 电压就不能建立。所以, 使励磁电流产生的磁通与剩磁方向一致, 是自励的第二个条件。

满足以上两个条件, 只能说有了自励的可能性, 但是能否达到所需的稳定电压, 还要看励磁回路的总电阻是否合适。下面我们进一步分析 R_L 应满足的条件。

从电枢方面看: