

贵州省煤矿学校 编

柴油发电机组

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书对常用国产柴油发电机组作了较全面的叙述。特别是对交流发电机的硅整流、相复励、三次谐波、可控硅等几种励磁方式和电压自动调节装置的原理、线路以及柴油发电机组并列运行的各种操作方法、并列后负荷的调节和分配以及交互振荡问题均作了较详细介绍。书末附有十二种技术资料。

本书可供煤矿、冶金、地勘等部门有关的运转和维修工人、技术人员阅读，也可作为中等专业学校有关专业的教材。

责任编辑：李秀荣

柴 油 发 电 机 组

贵州省煤矿学校 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $9^{1/4}$ 插页 3
字数 243 千字 印数 1—5,120
1982年10月第 1 版 1982年10月第 1 次印刷
书号 15035·2490 定价 1.30 元

前 言

本书是在我校为培养地方煤矿技术干部所编教材的基础上，充实整理而成的。

柴油发电机组是地方煤矿主要的机电设备之一。现场人员普遍反映缺乏励磁和恒压装置的原理、线路方面的学习资料，有时机组并列运行因找不到恰当的方法而不能并列，造成很大浪费。为此，我们编写了《柴油发电机组》一书。

本书对国产柴油发电机组的组成、构造、原理、使用、维修、故障处理等内容作了较全面的叙述。全书力求通俗易懂，图文并茂，便于学习参考。

书中错误和缺点在所难免，欢迎读者提出批评意见，以便再版时修改。

本书由我校李世杰同志执笔整理，由中国矿业学院黄章、丁国玺两位同志审阅，在编审过程中，得到很多单位和有关同志的协助，特此表示感谢。

编 者

1981年2月

目 录

第一章 柴油发电机组	1
第一节 柴油发电机组的组成	1
第二节 柴油发电机组的基本技术要求	3
第三节 柴油发电机组输出功率的计算	7
第二章 交流同步发电机和控制屏	10
第一节 交流同步发电机的构造	10
第二节 交流同步发电机的励磁和恒压	12
第三节 控制屏	45
第三章 柴油机	68
第一节 柴油机总体构造及其主要机构	68
第二节 柴油供给系统	95
第三节 柴油机的调速器和调速特性	113
第四节 润滑和冷却系统	119
第五节 起动系统	133
第四章 柴油发电机组的使用和维护	163
第一节 柴油发电机组的使用	163
第二节 柴油发电机组的并列运行	173
第三节 柴油发电机组的维护	215
第五章 柴油发电机组的故障和检修	227
第一节 柴油发电机组常见故障及排除方法	227
第二节 柴油发电机组的检修	246
附录	264
一、常用柴油发电机组规格和主要技术数据	264
二、硅整流电路特性参数	264
三、可控硅整流电路的基本电量关系	266
四、2CZ系列硅整流二极管主要参数	270
五、3CT系列可控硅主要参数	271
六、熔断器规格	272
七、常用熔体规格	273

八、DZ10系列自动空气开关	274
九、GL型过电流继电器	275
十、常用柴油机及其附件规格和主要技术数据	276
十一、常用柴油机主要零件配合间隙及其磨损极限	281
十二、国产整步表规格	289

第一章

柴油发电机组

第一节 柴油发电机组的组成

柴油发电机组就是将柴油机与发电机组合在一起的发电设备的总称，由柴油机、发电机、控制屏三部分组成，如图1-1所示。

柴油机与发电机是用弹性联轴器连接在一起，并用减震器安装在公共底盘上，便于移动和安装。

柴油机是柴油发电机组的动力部分，它是在恒定转速下工作，因此，柴油机上的调速器应有良好的稳定性和调速性。为了适应高海拔地区使用的需要，柴油机应有足够的储备功率。同时，又要能在我国南北环境温度 $-40\sim+40^{\circ}\text{C}$ 范围内可靠工作，这就需要柴油机的柴油、润滑油以及冷却系统作特殊考虑，保证在低温下可靠地起动、高温下不超过允许温度。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、160系列等。

发电机是柴油发电机组的发电部分，通常是用同步发电机，其结构多是旋转磁场式，电枢绕组在定子上，励磁绕组在转子上，磁极形式有凸极和隐极两种。目前，柴油发电机组普遍使用72系列、72S系列和TZT系列同步发电机。72S系列发电机又称三次谐波发电机，与72系列不同点是在定子上有一套三次谐波绕组。TZT系列发电机是相位复式励磁方式三相同步发电机，简称相复励发电机。

控制屏是柴油发电机组的控制和输配电部分。在控制屏上装有各种监视发电机运行状况的仪表和开关，此外，还有过载及短路保护装置，有的还装有电压自动调节器和并列运行辅助装置。在运行时，控制屏受到冲击和震动，故有防震装置。仪表和电气元件应该是防震的。

小煤矿多数是用24~160千瓦的柴油发电机组，在这个范围内

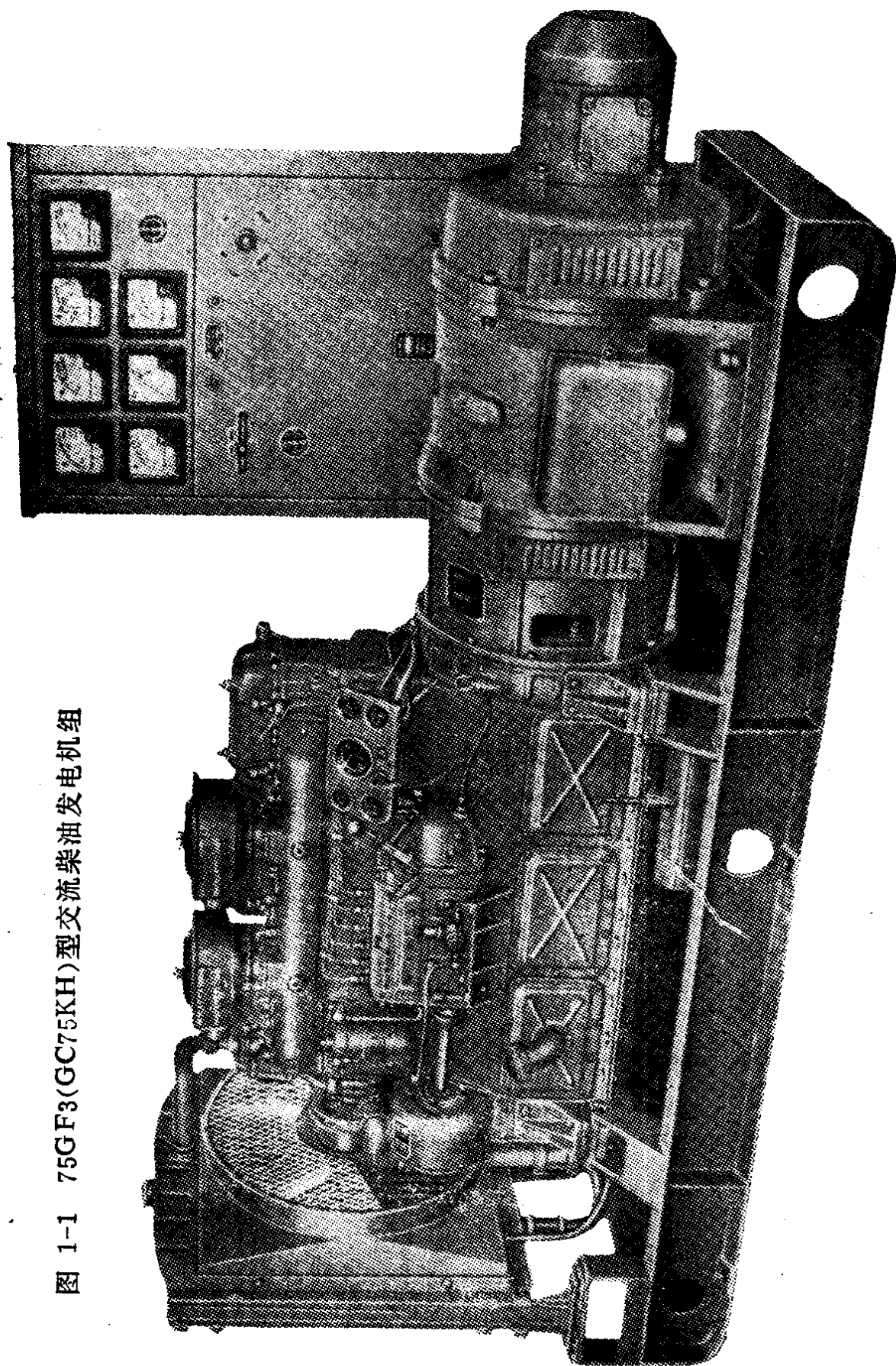
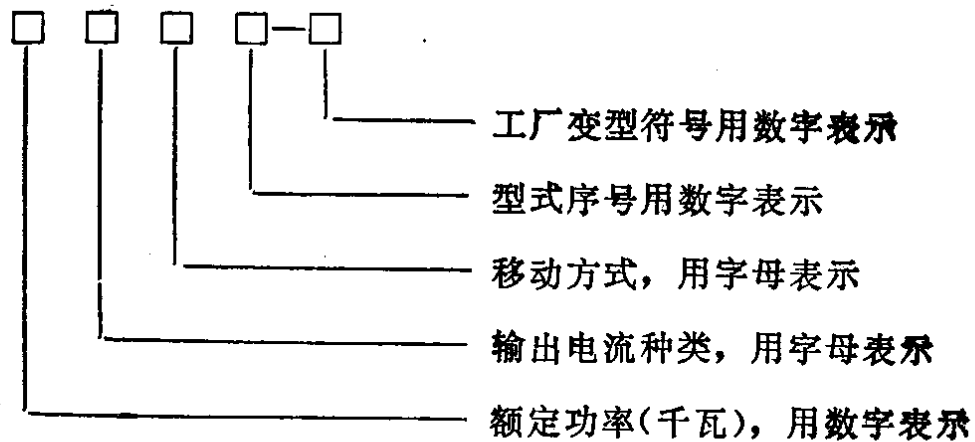


图 1-1 75GF3(GC75KH)型交流柴油发电机组

的柴油发电机组的型号和主要技术数据列于附录一。

柴油发电机组的型号含意如下：



型号中用字母 Z 表示直流输出、G 表示交流工频输出、P 表示交流中频输出、S 表示交流双频输出、Q 表示汽车电站、T 表示拖车电站、F 表示发电机组。

例如：75GF2-1型柴油发电机组是表示75千瓦交流工频发电机第2种型式，第1次变型。

第二节 柴油发电机组的基本技术要求

柴油发电机组在一定的工作条件下，应该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允许的工作条件和主要电气性能指标。

一、工作条件

柴油发电机组在下列条件下，应能正常工作：

- 1) 海拔高度不超过1000米(当海拔高度在1000~4000米时，允许按使用说明书降低柴油发电机组的输出功率使用)。
- 2) 环境温度范围为5~40℃、-20~40℃、-40~40℃(在-20℃或-40℃时，柴油发电机组应保证30分钟内顺利起动)。
- 3) 空气相对湿度不大于95% (25℃时)。
- 4) 有霉菌。

二、主要电气性能指标

- 1) 柴油发电机组的调整率和波动率的各项指标不大于表1-1

规定。

表 1-1

种类	指标	稳态电压调整率 (%)	电压稳定时间 (秒)	频率调整率 (%)		频率稳定时间 (秒)	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	

稳态电压调整率是指机组在负载变化后的稳定电压相对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:

$$\text{稳态电压调整率} = \left| \frac{u_1 - u}{u} \right| \times 100\%$$

式中 u ——空载整定电压(伏);

u_1 ——负载变化后的稳定电压最大值 (或最小值) (伏), 按相对于空载整定电压差值大的计算。

稳态频率调整率是指负载变化前后的机组稳定频率的差值与额定频率的比值, 用下式计算:

$$\text{稳态频率调整率} = \left| \frac{f_1 - f_0}{f} \right| \times 100\%$$

瞬时频率调整率是指负载变化时, 瞬时频率与负载变化前频率之差和额定频率的比值, 用下式计算:

$$\text{瞬时频率调整率} = \left| \frac{f_s - f_0}{f} \right| \times 100\%$$

式中 f ——额定频率(赫芝);

f_0 ——负载变化前频率(赫芝);

f_1 ——负载变化后的稳定频率最大值(或最小值)(赫芝);

按相对于负载变化前频率差值大的计算；

f_s ——负载变化时的瞬时频率最大值(或最小值)(赫芝)，

按相对于负载变化前频率差值大的计算。

电压波动率和频率波动率是机组的电压和频率在负载不变时由于机组内部的原因产生的波动，其计算公式如下：

$$\text{电压波动率} = \frac{u_B + u_{\text{平均}}}{u_{\text{平均}}} \times 100\%$$

$$\text{频率波动率} = \frac{f_B + f_{\text{平均}}}{f_{\text{平均}}} \times 100\%$$

式中 u_B ——负载不变时的最大(或最小)电压(伏)；

f_B ——负载不变时的最大(或最小)频率(赫芝)；

$u_{\text{平均}}$ ——负载不变时平均电压(伏)；

$$u_{\text{平均}} = \frac{u_{B\text{最大}} + u_{B\text{最小}}}{2}$$

$f_{\text{平均}}$ ——负载不变时平均频率(赫芝)；

$$f_{\text{平均}} = \frac{f_{B\text{最大}} + f_{B\text{最小}}}{2}$$

稳定时间为从负载突变时起至电压或频率开始稳定所需时间。

2) 空载电压整定范围为95~105%额定电压。若柴油发电机组的额定电压为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95~100% (对采用不可控相复励励磁的机组只考核100%) 额定电压时的稳态电压调整率及波动率应满足第1条中的有关规定。

3) 发电机的理想波形是正弦波，但实际上发电机的感应电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。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，也对用电设备的正常工作有影响。发电机电压波形取决于发电机的结构：磁极形状，电枢绕组的连接方式等。

4) 在环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 及空气相对湿度为 $50 \sim 70\%$ 时，机组的各电气回路（指机组的一次回路和二次回路，一次回路包括发电机的电枢绕组、控制屏的一次回路，二次回路包括发电机的励磁回路、控制屏的二次回路）对地（指机组上专用的接地螺钉）及相互间的冷态（指发电机各部分的温度与环境温度之差不超过 3°C 时的状态）绝缘电阻不低于2兆欧。其测量方法是在运转前实际冷态下，将机组各开关置于接通位置，用500伏兆欧表测量其绝缘电阻。

5) 三相不对称负载将导致发电机三相绕组所供给的电流不平衡，使发电机线电压间产生偏差，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超过额定值，各相电流不平衡度不超过25%的额定电流时，线电压的最大值（或最小值）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：

$$\text{线电压不平衡度} = \frac{u_p - u_{p\text{平均}}}{u_{p\text{平均}}} \times 100\%$$

式中 u_p ——在不对称负载下，相对于三相平均电压绝对差值大的线电压最大值（或最小值）（伏）；

$u_{p\text{平均}}$ ——在不对称负载下，三相电压的平均值（伏）

$$u_{p\text{平均}} = \frac{u_{AB} + u_{BC} + u_{CA}}{3}$$

6) 柴油发电机组在额定方式下运行应能连续12小时（其中包括过载10%运行1小时）；超出12小时连续运行时，其输出功率为额定功率的90%。

7) 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：当柴油发电机组的额定功率不高于40千瓦时，起动70%发电容量的异步电动机；柴油发电机组容量为50、64、75千瓦时，起动30千瓦异步电动机；柴油发电机组容量为90、120千瓦时，起动55千瓦异步电动机；柴油发电机组容量为150、200千瓦时，起动75千瓦的异步电动机。

三、其它要求

1) 柴油发电机组各电气测量仪表（柴油机仪表除外）精度等级不低于2.5级。

2) 柴油发电机组输出电缆末端发生短路时，保护装置应能迅速动作，保证机组无任何损坏。

3) 柴油发电机组运转时，应无不正常的振动及噪音；应无漏油、漏水、漏气现象。

4) 柴油发电机组的整个电气安装应符合电气原理图，各导线连接处应有不易脱落的明显标志，相序应按顺时针方向排列（面向插座）。

5) 柴油发电机组应有减震装置，紧固件应有防松措施。

第三节 柴油发电机组输出功率的计算

一般在柴油发电机组铭牌上标名的额定功率是指大气压力为760毫米水银柱、室温为20℃、相对湿度为50%时的标准环境条件下12小时连续运转功率（其中允许超负荷10%运转1小时）。机组在超过12小时连续运转时，其输出功率应按额定功率90%运行。

当大气压力、环境温度和相对湿度不同时，柴油发电机组的输出功率要发生变化，因此，在不同的环境条件下使用时，输出功率应按下式进行修正。

$$N = (N_e \times K_1 - N_1) K_2 \times K_3$$

式中 N ——柴油发电机组输出功率（千瓦）；

N_e ——柴油机在标准环境下的额定功率（马力）；

表 1-2 相对湿度为50%时的功率换算系数 K_1

海拔高度 (米)	大气压力 (毫米汞柱)	大 气 温 度 (°C)									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	760	—	—	—	—	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.89
200	742	—	—	—	0.99	0.97	0.95	0.93	0.92	0.89	0.86
400	725	—	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.89	0.87	0.84
600	703	1.00	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
800	691	0.97	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.84	0.82	0.79
1000	674	0.94	0.92	0.90	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77
1500	634	0.87	0.85	0.83	0.82	0.80	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71
2000	596	0.81	0.79	0.77	0.76	0.74	0.73	0.71	0.70	0.68	0.65
2500	560	0.75	0.74	0.72	0.71	0.69	0.67	0.65	0.64	0.62	0.60
3000	526	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.55
3500	493	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.55	0.54	0.52	0.50
4000	462	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46

表 1-3 相对湿度为100%时的功率换算系数 K_1

海拔高度 (米)	大气压力 (毫米汞柱)	大 气 温 度 (°C)									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	760	—	—	—	—	0.99	0.96	0.94	0.91	0.88	0.84
200	742	—	—	1.00	0.98	0.96	0.93	0.91	0.88	0.85	0.82
400	725	—	0.99	0.97	0.95	0.93	0.90	0.88	0.85	0.82	0.79
600	703	0.99	0.97	0.95	0.93	0.91	0.88	0.86	0.83	0.80	0.77
800	691	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.85	0.83	0.80	0.77	0.74
1000	674	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.78	0.75	0.72
1500	634	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72	0.69	0.66
2000	596	0.80	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.66	0.63	0.60
2500	560	0.74	0.73	0.71	0.70	0.68	0.65	0.63	0.61	0.58	0.55
3000	526	0.69	0.67	0.65	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.53	0.50
3500	493	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.48	0.45
4000	462	0.58	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.41

K_1 ——柴油机功率在非标准环境下的温度、湿度与海拔高

度的综合修正系数（查表1-2或表1-3，如相对湿度为其它数值时，用插入法从表中计算出 K_1 值）；
 K_2 ——功率由马力转换成千瓦的换算常数（0.736）；
 K_3 ——发电机效率，查表1-4；
 N_1 ——柴油机风扇所消耗功率（马力），查表1-4。

表 1-4 常用柴油发电机组的柴油机风扇功率 N_1 和发电机效率 K_3

柴油发电机组型号	24GF1	30GF1	40GF1	50GF1	50GF2	64GF1	75GF1
柴油机风扇消耗功率 N_1 (马力)	3	3.5	4.5	4.5		7	7
发电机效率 K_3	0.87	0.88	0.895	0.895	0.895	0.90	0.905
柴油发电机组型号	75GF2	75GF3	120GF1	P_1	P_2	P_3	
柴油机风扇消耗功率 N_1 (马力)	7	7		—	—	—	
发电机效率 K_3	0.905	0.905	0.92	0.90	0.91	0.92	

〔例题〕 计算 50GF1 (GC50-JK) 型柴油发电机组在海拔 1000 米、相对湿度为 50%、大气温度为 25℃ 时的输出功率。

解：已知 $N_e = 80$ 马力， $K_2 = 0.736$ ，查表 1-2 得 $K_1 = 0.85$ 查表 1-4 得 $N_1 = 4.5$ 马力， $K_3 = 0.895$ 。

则发电机在几小时内连续运转时输出功率为： $N = (80 \times 0.85 - 4.5) \times 0.736 \times 0.895 \approx 41.8$ 千瓦。

若发电机在 24 小时连续运转时，输出功率为： $N = (80 \times 0.9 \times 0.85 - 4.5) \times 0.736 \times 0.895 \approx 37.4$ 千瓦。

即 50 千瓦发电机在本题规定条件下使用，若 24 小时连续运转时，输出功率为 37.4 千瓦（约占额定功率 74%）；若 12 小时连续运转时，输出功率为 41.8 千瓦（约占额定功率 84%）。

第二章

交流同步发电机和控制屏

第一节 交流同步发电机的构造

绝大多数交流同步发电机，都采用旋转磁极式结构。这种发电机是把三相交流绕组装在发电机定子铁芯上，而把磁极铁芯和励磁绕组装在转子上，如图2-1所示。

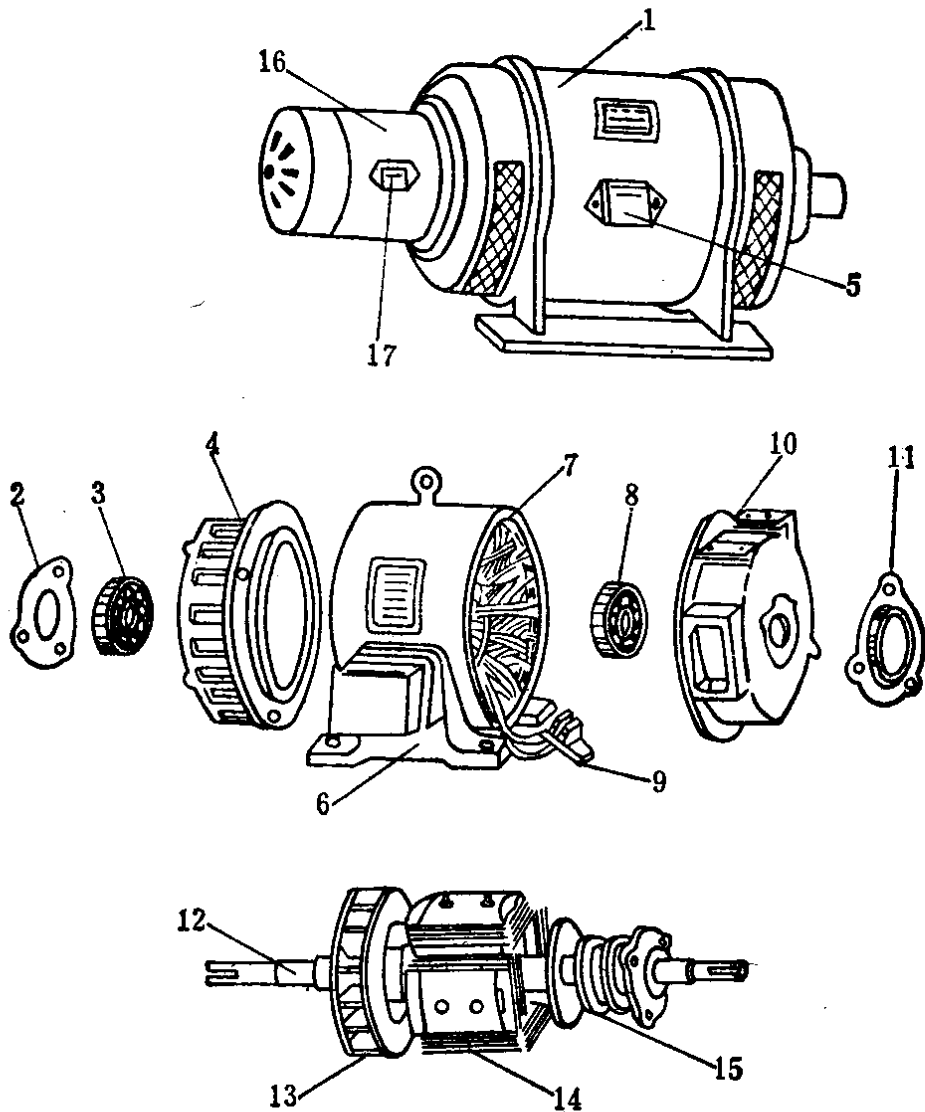


图 2-1 交流同步发电机的结构

1—发电机；2、11—轴承盖；3、8—轴承；4—前端盖；5—接线盒；6—机座和定子；7—定子绕组；9—电刷；10—后端盖；12—轴；13—风扇；14—转子；15—滑环；16—励磁机；17—励磁机接线盒

一、定子

交流同步发电机的定子是由机座、定子铁芯和绕组等组成，定子铁芯是由硅钢片叠成，在定子铁芯里放有三相绕组，每相绕组有首末两个引出端，一般中小型发电机绕组都是采用星形接法。在星形接法中，三相末端接在一起叫中点，三相首端和中点的引出线固定在机座接线盒内，用 D_1 、 D_2 、 D_3 （或A、B、C）表示三相首端，用0表示中点。也有用颜色来表示的，通常用黄色表示A相，绿色表示B相，红色表示C相，黑色表示中点0。

定子铁芯和定子绕组是产生电流往外输送电能的，通常把它叫电枢。

二、转子

交流同步发电机多采用凸极式转子，转子由磁轭、磁极铁芯、励磁绕组、轴、滑环等组成。磁轭是用整块低碳钢制成，磁极铁芯由低碳钢片或硅钢片迭成。在励磁绕组内通入直流电后，磁极铁芯被磁化成磁性很强的电磁铁。磁极总是成对的。在转子轴的一端装有两个铜滑环，滑环和转子轴之间是绝缘的，励磁绕组的两个引出线，分别与滑环相连。滑环上压有电刷，电刷通过刷握和刷座固定在后端盖上，刷握和刷座等和后端盖之间是绝缘的。电刷的引出线固定在接线盒内，一般用 L_1 和 L_2 或 F_1 和 F_2 表示。当滑环随转子轴一起转动时，电刷与滑环始终保持动接触，励磁电流通过电刷和滑环流入旋转的励磁绕组。在转子轴的前部装有离心式风扇，随转子轴一起转动，把发电机内的热空气抽出，同时从滑环一侧吸入冷空气，使发电机得到冷却。

三、励磁装置

为了使转子磁极具有磁性和恒定的极性，转子励磁绕组要用直流电来励磁。产生和供给励磁绕组直流电源的这部分装置叫励磁装置。励磁装置按励磁功率产生的方式，分他励式和自励式两种，励磁机励磁属他励式，将同步交流发电机输出功率的一部分经整流后，送入励磁绕组叫自励式，如不可控相复励、三次谐波励磁、硅整流励磁、可控硅励磁等。这些励磁装置在我们使用的

柴油发电机组中都要碰到，下一节将要详细的介绍这方面的内容。

第二节 交流同步发电机的励磁和恒压

交流同步发电机的励磁和恒压，包含同步发电机励磁电流产生的方式和励磁电流大小的调节方法两方面的内容。目前，在柴油发电机组上常见的励磁方式有：励磁机励磁、硅整流励磁、不可控相位复式励磁、三次谐波励磁、可控硅励磁等几种。励磁电流的大小，直接影响发电机端电压的大小，而发电机端电压是随着负载变化而变化的，为了维持发电机端电压的平稳(即恒压)，就要随着端电压的变化而相应地调节励磁电流的大小，当发电机端电压升高时，减少励磁电流，当发电机端电压降低时，增加励磁电流。调节励磁电流，也就是调整了发电机端电压。调整发电机端电压的方法有手动和自动两种，手动调压方式比较简单，但需要操作人员经常监视调整，有时感到很不方便，自动调压方式就比较方便，而且输出电压也比较稳定，还能起动容量较大的电动机。故现代柴油发电机组中，都有自动调压装置。自动调压装置种类很多，我们常用到的有：TD1型和TD4型炭阻式自动电压调整器、TLG型可控硅调压器、LTS型可控硅分流调节器、TKL型可控硅励磁调节器、相复励自动调压装置等。TD1型和TD4型炭阻式自动电压调整器是一种比较老的装置，很多书籍中都有介绍，这里就不再述及了。

本节要讲述的励磁和恒压装置有：

- 1) 励磁机励磁TLG1-13型可控硅调节器恒压；
- 2) 硅整流励磁；
- 3) 硅整流自励恒压；
- 4) 不可控相位复式自励恒压；
- 5) 三次谐波自励LTS-1型可控硅分流调节器恒压；
- 6) TKL型可控硅整流自励恒压。