

中华人民共和国国家标准

船用同步发电机通用技术条件

GB 12975—91

General specification for synchronous generator in ship

本标准参照采用国际标准 IEC 92(1980 年第三版)。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了 2 500 kW(50 Hz 和 60 Hz)以下船用同步发电机及其励磁装置的基本参数、技术要求、试验方法和检验规则、包装等内容。

本标准适用于由内燃机驱动,用作船舶和海上石油平台电站的同步发电机及其励磁装置。

本标准对用汽轮机拖动的发电机、轴带发电机和容量超过 2 500 kW 的船用发电机,亦可参照采用。

2 引用标准

- GB 191 包装储运图示标志
- GB 755 旋转电机基本技术要求
- GB 997 电机结构及安装型式代号
- GB 1029 三相同步电机试验方法
- GB 1971 电机出线端标志与旋转方向
- GB 1993 电机冷却方法
- GB 2423.4 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Db:交变湿热试验方法
- GB 2423.16 电工电子产品基本环境试验规程 试验 J:长霉试验方法
- GB 2423.17 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Ka:盐雾试验方法
- GB 4772.1~4772.3 电机尺寸及公差
- GB 4831 电机产品型号编制方法
- GB 4942.1 电机外壳防护分级
- GB 7060 船用电机基本技术要求
- GB 10068.1 旋转电机振动测定方法及限值 振动测定方法
- GB 10068.2 旋转电机振动测定方法及限值 振动限值
- GB 10069.2 旋转电机噪声测定方法及限值 噪声简易测定方法
- GB 10069.3 旋转电机噪声测定方法及限值 噪声限值

3 分类、基本参数及型号表示方法

3.1 分类

产品按下述分类所选择的具体类别,应在各自产品技术条件中规定。

3.1.1 按相制分:

- a. 三相同步发电机,产品代号为 TF。

b. 单相同步发电机,产品代号为 TFD。

3.1.2 按转子结构分:

- a. 凸极转子;
- b. 隐极转子。

3.1.3 按结构及安装型式(见 GB 997)分:

表 1

项号	规定 1	规定 2	备 注
a	IMB3	IM1001	
b	IMB15	IM1201	
c	IMB20	IM1101	端盖上不带凸缘
d	IMB20	IM1101	端盖上带凸缘、凸缘上有通孔、凸缘在 D 端
e	IMB34	IM2101	
f	IMB35	IM2001	

3.1.4 按冷却方式(见 GB 1993)分:

- a. IC01。该类别中又分不带空气过滤器和带空气过滤器二种,带空气过滤器的结构代号为 L;
- b. ICW37A71。带水冷却器的结构代号为 S。

3.1.5 按外壳防护等级(见 GB 4942.1)分:

- a. IP22;
- b. IP23;
- c. IP44,仅适用于 ICW37A71 冷却方式的电机。

如发电机有接线盒,其接线盒防护等级应不低于 IP44。1 000 V 以上发电机防护等级应不低于 IP23。

3.1.6 按励磁方式分:

- a. 相复励系统,励磁方式代号为 X;
- b. 带自动电压调节器的三次谐波励磁系统,励磁方式代号为 S;
- c. 无刷励磁系统,励磁方式代号为 W;
- d. 其他励磁方式,其励磁方式代号按 GB 4831 的要求在产品技术条件中规定。

3.1.7 按轴承结构分:

- a. 滚动轴承;
- b. 滑动轴承。

3.1.8 按滑动轴承润滑方式分:

- a. 自润滑;
- b. 强迫润滑。

3.1.9 按轴承配置型式分:

- a. 双轴承。为基本结构型式;
- b. 单轴承。如用户需要,应在产品订货时明确。

3.1.10 按发电机旋转方向分:

- a. 顺时针方向(从发电机轴伸端看)。为基本结构型式;
- b. 逆时针方向。如用户需要,应在产品订货时明确。

3.2 基本参数、定额、工作制

3.2.1 额定频率

50、(60) Hz。

注：(60 Hz)供出口产品选用。

3.2.2 额定电压

额定电压见表 2。

表 2

相 别	额定电压,V	额定频率,Hz
三相	390 或 400	50
	450	(60)
	600 或 690	50、(60)
	3 150	50、(60)
	6 300	50、(60)
单相	115	50、(60)
	230	50、(60)

3.2.3 额定转速

额定转速见表 3。

表 3

额定频率,Hz	额定转速,r/min						
50	3 000	1 500	1 000	750	600	500	428
(60)	3 600	1 800	1 200	900	720	600	—

3.2.4 额定功率因数

额定功率因数见表 4。

表 4

相 别	额定功率因数(滞后)
单相	0.9 或 1
三相	0.8

3.2.5 额定功率

1、2、3、5、7.5、10、12、16、20、24、30、40、50、64、75、90、120、150、200、250、(280)、300、(315)、(355)、400、(450)、500、(560)、630、(710)、800、(900)、1 000、(1 120)、1 250、(1 400)、1 600、(1 800)、2 000、(2 240)、2 500 kW。

注：① 优先采用非括号的数据。

② 额定功率可用相应的 kV·A 数表示。

③ 如用户需要其他环境温度的电机，其额定功率折算数据由电机制造厂提供。

3.2.6 接法

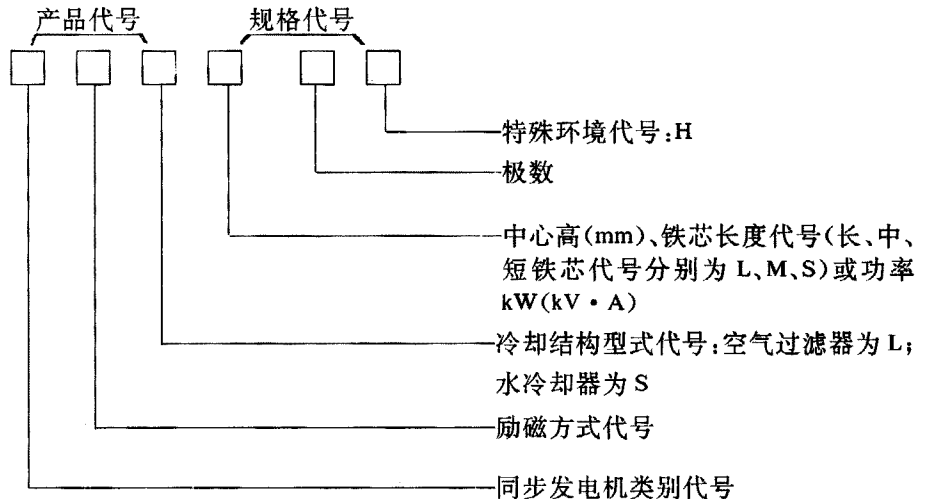
三相发电机绕组接法为三相三线制或三相四线制。

3.2.7 工作制

连续工作制(S1)。

3.3 型号表示方法

发电机型号由产品代号、规格代号和特殊环境代号三部分,依次序排列组成,各种代号的选用应符合 GB 4831 的有关规定。型号表示方法如下:



注: 250 kW(kV·A)及以下发电机的规格代号用中心高、铁芯长度和极数表示;250 kW(kV·A)以上发电机的规格代号可按上述二种表示方法的一种表示,但要在产品技术条件中明确。

4 技术要求

4.1 环境条件

发电机及其励磁系统在下列环境条件下应能正常工作。

- 4.1.1 环境空气温度为 50℃。采用水冷却器时,冷却器的进水温度应不超过 32℃。
- 4.1.2 空气相对湿度为 95%,并有凝露。
- 4.1.3 有盐雾、油雾、霉菌的影响。
- 4.1.4 倾斜摇摆:
 - 横倾 15°(应急发电机为 22.5°)。
 - 横摇 22.5°。
 - 纵倾 5°(应急发电机为 10°)。
 - 纵摇 7.5°(应急发电机为 10°)。
- 4.1.5 有船舶和海上石油平台在营运或作业时产生冲击和振动的影响。

4.2 材料要求

- 4.2.1 外壳材料应选用钢质材料或抗拉强度为 196.13×10^6 Pa,抗弯强度为 392.27×10^6 Pa 以上的铸铁材料。
- 4.2.2 转轴材料应按适当的工艺进行热处理,其抗拉强度应不小于 441.30×10^6 Pa,屈服点不小于 210.84×10^6 Pa,试样的伸长率(纵向)应不小于 24%,其钢材的化学成分应符合 GB 7060 的规定。
- 4.2.3 应采用滞燃、耐潮、耐霉、低毒的材料。
- 4.2.4 发电机及其励磁系统中所采用的半导体元器件应尽量选用硅型材料的产品,并应经过适当的热老化和电老化筛选处理。无刷发电机用的旋转整流管应符合有关标准的规定。

4.3 结构要求

4.3.1 机座

- a. 机座应设置吊攀或起吊孔；
- b. 对 ICW37A71 型带水冷却器电机，应在机座底部设置排水孔，以方便排出凝露水或泄水；
- c. 机座上应设有检查窗口，以便于检查和更换电刷或旋转整流管；
- d. 在机座的明显部位应留有安放铭牌、方向矢和打印船检或产品许可证标记的地位。

4.3.2 轴承

a. 在 4.1.4 条规定的倾斜状态下运行，轴承应能有效地连续润滑。采用油环的自润滑滑动轴承，应采取措施强制油环不离开转轴而且能自由旋转；

b. 应采取适当措施，防止润滑油（脂）沿电机轴或其他通道流入到电机绝缘部件或任何带电部件上；

c. 20 kW 及以上采用滚动轴承结构的发电机应设置有效的加油孔和排油孔。如用户要求，也可提供滚动轴承的温度测量装置；

d. 装有自润滑的滑动轴承的发电机，应装有观察孔或油位指示装置。为防止轴承中含油过量，每个轴承座上并设置一个适当的溢油口，同时备有轴承温度测量装置；

e. 电机应有防止轴电流有害影响的措施。对不加绝缘隔离的滑动轴承，其轴电压允许峰值 $U_{ms} \leq 500$ mV，对应的有效值 $U_s \leq 360$ mV。对强迫润滑的滑动轴承结构，在加设轴承绝缘的同时，还应在油管法兰处加设绝缘环，以防止轴承绝缘被油管短路。

4.3.3 防冷凝加热器

需要在发电机内部设置防止潮气在绕组上凝露的防冷凝加热器时，加热器的总功率应使电机被加温到机壳内的温度比电机所处的周围温度约高 5 K，但不致使加热器附近的绝缘超过规定的温度限值。加热器应采用单相供电，而且安装得应便于检查和更换。

4.3.4 空气过滤器

对有空气过滤器的发电机，其空气过滤器应选用透气性好，滤清效率高及洗涤方便的材料。过滤器的安装应便于拆卸和清洗。装置空气过滤器的电机内部应设有温度检测或热保护元件。

4.3.5 水冷却器

水冷却器内部冷却介质为海水。进口海水温度不超过 32℃，保证冷却后的气体温度不超过 50℃。水冷却器的结构和安装方式应便于拆装和清洁，其管道的排列应易于用压缩空气吹出管内的积尘垃圾。管子和水室材料应是耐腐蚀的，并设置防止电腐蚀的措施。水冷却器的通水部分应能承受 49×10^4 Pa、15 min 的耐水压试验。装有水冷却器的 ICW37A71 型发电机应设置由报警传感元件组成的漏水保护装置及温度检测元件。

ICW37A71 型发电机应设计成当水冷却器的冷却水短缺或水冷却器元件有故障时，可方便的改成相当于 IP23 防护型自通风式发电机作应急情况使用。

4.3.6 热保护

为监视发电机绕组温度和防止绕组过热，在 IC01 型加设空气过滤器的发电机和 ICW37A71 型发电机内应设置温度检测元件或热保护元件。如用户需要，也可两者同时使用。温度检测元件的特性应和发电机绝缘等级相配合，用于报警温度检测元件的运行温度应比跳闸温度检测元件的运行温度低 20 K。这些温度检测元件和热保护元件都应埋置在预计为定子绕组最热点处，并分别埋置在每相绕组里，检测和热保护元件和被测绕组应有良好的热接触。

4.3.7 阻尼绕组及高次谐波抑制措施

对有并联要求的发电机应设置阻尼绕组或采用与此等效的实心转子结构。对使用在海上石油平台和工程船舶的发电机，由于大容量非线性负载的使用。还应适当采取抑制高次谐波电流的有效措施，以免电机过热。

4.3.8 绝缘等级

以 B 级、F 级为船用同步发电机的基本绝缘等级。

4.3.9 接线盒位置

接线盒(包括在背包式相复励箱侧出线)位于发电机纵轴线的右侧(从轴伸端看)。如有特殊要求、应在订货合同中另行规定。

4.3.10 出线端

4.3.10.1 发电机各绕组出线端子及各附加装置的出线端子应按表 5 规定的标志标明,接线盒内的接线板上有相应的标志。出线端子和接线板上的标志应耐磨清晰。

4.3.10.2 为了便于外部接线,应在易接近的位置设置适当截面和机械强度的铜接线柱(排)。接线柱(排)和接线板之间应加以紧固,防止松动。接线柱(排)之间应留有一定空间,以便于操作,避免短路、接地和触及。

4.3.10.3 1 000 V 以上发电机的定子绕组所有出线端均应引至出线盒中,除非采取措施保证能毫无危险地接近低压出线端子外,发电机的中压出线端子不应与低压出线端子混同在一个出线盒内。

表 5

元件名称	定子绕组				励磁绕组或无刷发电机励磁机的励磁绕组		防冷凝加热器	温度检测元件	热保护元件	
	单相	三相			正端	负端				
线端名称		相 1	相 2	相 3	中线	正端	负端	—	—	—
线端标志	N1 N2	U V	V W	W N	N	F1	F2	K1 K2	T1 T2 T3	P1 P2 P3

4.3.11 接线盒内的电气间隙和爬电距离

接线盒内的电气间隙和爬电距离的最小值应符合表 6 的要求。

4.3.12 紧固和减震措施

所有紧固件应有可靠防松装置。装在电机上的相复励装置或自动电压调节器应防震或加减震措施。

4.3.13 接地

发电机应有可靠的接地装置,并标以规定的接地符号或图形标志,接地装置的设计应满足 GB 755 中 13.1 条的规定。采用接地螺栓接地时,接地螺栓直径对 1 000 V 以下的发电机应不小于 4 mm,对 1 000 V 以上的发电机应不小于 10 mm,并应考虑具有足够的机械强度。接地螺栓用铜质或导电良好的耐腐蚀材料制成。

表 6

mm

标称电压, V	电 气 间 隙	爬 电 距 离
≤60	3	4
61~250	5	8
251~380	6	10
381~500	8	12
501~1 500	20	30
1 501~3 600	30	50
3 601~7 200	60	90

4.4 性能要求

4.4.1 起励

发电机及其励磁装置能可靠的起励,不可控相复励发电机冷态起励后电压不低于 95% 额定电压,可控相复励、可控三次谐波励磁和无刷发电机起励电压应达到稳态电压调整率范围内的电压值。

4.4.2 电压整定范围 (ΔU_s)

发电机的励磁装置应设置电压整定装置,该装置放在配电板上,空载时电压整定范围为 95%~105% 额定电压(不可控相复励发电机的电压整定范围应不包括起励状态)。

4.4.3 稳态电压调整率 (δ_{stu})

发电机及其励磁装置在原动机稳定调速率 5% 情况下,当发电机负载(三相发电机为三相对称)为零到额定功率之间的任一负载值时,且其功率因数保持额定值,发电机的稳态电压调整率应不超过 $\pm 2.5\%$ 。

稳态电压调整率按式(1)计算:

$$\delta_{stu} = \pm \frac{U_{stmax} - U_{stmin}}{2U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: U_{stmax} 、 U_{stmin} —— 负载由零到额定负载之间变化时,发电机端电压(有效值)的最大值和最小值, V;

U_N —— 发电机额定电压, V。

注: 原动机稳定调速率应不超过 5%, 一般为 2%~5%。

4.4.4 三相发电机瞬态电压调整率 (δ_{dynu}) 和恢复时间 t_u

三相同步发电机及其励磁装置在额定转速和接近额定电压状态下运行。发电机在空载状态下,突加 60% 额定电流及功率因数不超过 0.4(滞后)的三相对称负载;稳定后,再突卸上述负载,当电压跌落时,其瞬态电压调整率应不大于 15%;当电压上升时,其瞬态电压调整率应不大于 20%,发电机端电压恢复到、并保持在与最终稳态值之差不得超过 $\pm 3\%$ 额定电压的范围内,所需的时间应不大于 1.5 s。

瞬态电压调整率按式(2)、式(3)计算:

$$\delta_{+dynu} = \frac{\hat{U}_{dynmax} - \hat{U}_N}{\hat{U}_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: \hat{U}_{dynmax} —— 突卸负载后的最大电压(峰值), V;

\hat{U}_N —— 额定电压(峰值), V。

$$\delta_{-dynu} = \frac{\hat{U}_{dynmin} - \hat{U}_N}{\hat{U}_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: \hat{U}_{dynmin} —— 突加负载后的最小电压(峰值), V;

\hat{U}_N —— 额定电压(峰值), V。

4.4.5 波形畸变

同步发电机空载线电压波形正弦性畸变率应不超过如下数值:

额定功率在 24 kW 及以上者为 5%;

额定功率在 10 kW 至 24 kW 以下者为 10%;

额定功率在 10 kW 以下者,在各类产品技术条件中规定。

4.4.6 三相发电机不平衡负载

三相同步发电机在带载运行状态下,任何一相电流均不超过额定值,且各相电流的差值不超过 15% 额定电流时,应能长期工作,其温升符合 4.4.15 条的规定。此时线电压最大值(或最小值)与三相线电压平均值之差应不超过三相线电压平均值的 5%。

4.4.7 超速

发电机在空载情况下应能承受 120% 额定转速,历时 2 min,而不发生损坏及有害变形。

4.4.8 偶然过电流

发电机及其励磁装置在热态下,应能承受 150% 额定电流,历时 2 min,此时端电压尽可能维持在额

定值,功率因数为 0.5(滞后)、不得发生损坏及有害变形。

4.4.9 过载

发电机及其励磁装置在热态下,应能在 110%额定电流下运行 1 h,此时不考核电机温升,但不得发生损坏及有害变形。

4.4.10 短时升高电压试验

发电机的绕组应承受短时升高电压试验,而匝间绝缘不发生击穿,试验在发电机空载时进行,试验的感应电压为额定电压的 130%,历时 3 min。在提高电压至 130%额定电压时,允许同时提高转速,但不应超过 115%额定转速。

对磁路比较饱和的发电机,在转速增加到 115%额定转速,且励磁电流已增加至容许的限值时,如感应电压仍不能达到所规定的试验电压,则试验允许在所能达到的最高电压下进行。

4.4.11 突然短路电流

三相同步发电机在空载额定电压,额定频率下运行,三相突然短路,此时短路电流峰值应不大于额定电流峰值的 15 倍或有效值的 21 倍,单相同步发电机的突然短路电流值应在该类产品技术条件中规定。

4.4.12 突然短路的机械强度试验

发电机的突然短路机械强度试验,仅在订货时用户提出明确要求的情况下才进行。如无其他规定,试验应在电机空载而励磁相应于 105%额定电压下进行,短路历时 3 s。试验后应不产生有害变形,且能承受耐电压试验,则认为合格。

4.4.13 短路电流维持能力

发电机及其励磁装置在短路状态下,短路电流至少能维持 3 倍额定电流值,历时 2 s。

4.4.14 并联运行

对有并联要求的三相同步发电机应能稳定地并联运行。作并联运行的各台发电机,当负载在总额定功率的 20%~100%范围内变化时,各发电机实际承担的无功负载与总无功负载按各发电机定额比例分配值计算的无功分配差度应不大于下列数值中的较小值:

- a. 最大发电机额定无功功率的 $\pm 10\%$;
- b. 最小发电机额定无功功率的 $\pm 25\%$ 。

4.4.15 温升

4.4.15.1 发电机及其励磁装置在 50℃环境温度下运行时,其各部分温升值应符合表 7 的规定。

4.4.15.2 轴承温度不超过:

对于滑动轴承为 80℃(出油温度不超过 65℃);

对于滚动轴承为 90℃。

4.4.15.3 对采用水冷却器的电机(ICW37A71 型),其温升应按进入电机的已被冷却的空气温度计算。冷却器的进水温度不超过 32℃,若此时冷却后气体温度为 45℃。其温升允许按表 7 规定提高 5 K。

4.4.16 介电性能试验

发电机的介电性能试验包括测量绝缘电阻,对地和匝间绝缘耐压试验。

4.4.16.1 绕组的绝缘电阻

电机绕组的冷态绝缘电阻应不小于 5 M Ω ,热态绝缘电阻应不小于 2 M Ω 。测量仪表的电压等级应按表 8 规定。

表 7

序号	电机的部件	绝缘等级								
		B 级			F 级			H 级		
		T	R	E	T	R	E	T	R	E
1	a. 功率大于 200 kW(kV·A),但小于 5 000 kW(kV·A)发电机的交流绕组	—	70	80	—	95	100	—	115	120
	b. 功率为 200 kW(kV·A)及以下发电机的交流绕组 ¹⁾	—	70	—	—	95	—	—	115	—
2	用直流励磁的交流发电机磁场绕组(但除 3 项外)	60	70	—	75	95	—	95	115	—
3	a. 用直流励磁绕组嵌入槽中的圆柱形转子交流发电机的磁场绕组	—	80	—	—	100	—	—	125	—
	b. 表面裸露或仅涂清漆的交流发电机单层绕组 ²⁾	80	80	—	100	100	—	125	125	—
4	永久短路的绝缘绕组 ³⁾	70	—	—	90	—	—	115	—	—
5	永久短路的无绝缘绕组	这些部件的温升,在任何情况下不应使其本身或邻近的绝缘或其他材料有损坏危险的数值出现								
6	不与绕组接触的铁心及其他部件									
7	与绕组接触的铁心及其他部件	70	—	—	90	—	—	115	—	—
8	集电环 ⁴⁾	70	—	—	80 ⁵⁾	—	—	90 ⁵⁾	—	—
9	与外部绝缘导体相连接的接线端子	有银防蚀层		60						
		有锡防蚀层		50						

注: 1) 对额定功率为 200 kW 及以下发电机的 B、F 级绝缘绕组,用叠加法测量时,其限值可比表中用电阻法的限值提高 5 K。

2) 对多层绕组,如下面的各层都与循环的初冷却介质接触,也包括在内。

3) 温度计可用热敏试验带取代。

4) 温升限值,只有在集电环采用了与限值相适应的绝缘时才是允许的。但如集电环与绕组靠近,则它们的温升应不超过邻近绕组所采用绝缘等级的限值,温升只限于用膨胀式温度计测得,当采用热电偶或电阻温度计时,温升限值应由制造厂与用户协商。

5) 若采用 90 K 或更高的温升时,对电刷材料选择需特别注意。

表 8

V

发电机额定电压	绝缘电阻测试仪的电压等级
36~500	500
501~3 300	1 000
>3 300	≥2 500

4.4.16.2 对地绝缘耐电压试验

发电机及其励磁装置的各绕组对地绝缘耐电压试验应能承受表 9 规定的试验电压,历时 1 min 而不发生击穿。

表 9

项号	部 件 名 称	试验电压(有效值)
1	发电机电枢绕组及辅助绕组对机壳	1 000 V+2 U _N ,但最低为 1 500 V
2	发电机电枢绕组对辅助绕组	1 000 V+2 U _N ,但最低为 1 500 V
3	发电机励磁绕组及励磁装置中与励磁绕组相连部分对机壳: a. 额定励磁电压为 500 V 及以下者 b. 额定励磁电压在 500 V 以上者	10 倍额定励磁电压,但最低为 1 500 V 4 000 V+2 倍额定励磁电压
4	与电枢绕组相连的励磁装置中的部分对机壳及各相	1 000 V+2 U _N ,但最低为 1 500 V
5	交流励磁机	与主发电机所连接的绕组相同
6	电枢绕组中埋置的温度检测元件和热保护元件对各相绕组和机壳	1 000 V+2 U _N ,但最低为 1 500 V
7	防冷凝加热器对发电机机壳	1 500 V
8	成套设备	应尽量避免重复以上 1~7 项的试验。但对新的成套设备作试验,而其每一组件已事先通过耐电压试验,则试验电压应为成套装置任一组中最低试验电压的 80% ¹⁾

注: ① 半导体器件和电容器不作此项试验。无刷发电机的旋转整流管接线拆开后进行该项试验。

1) 对一台或多台电机作电连接的绕组,其电压应为绕组对地实际存在的最高电压。

4.4.16.3 匝间绝缘试验

发电机绕组匝间绝缘冲击试验限值的确定。

a. 1 140 V 及以下发电机的散嵌绕组冲击试验电压峰值:

$$U_T = K_1 \times K_2 \times K_3 \times U_G \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中: U_T —— 发电机绕组匝间绝缘冲击试验电压峰值, V;

K₁ —— 电压系数,取 1.4;

K₂ —— 运行系数,取 1.1;

K₃ —— 尺寸系数,机座号小于或等于 100 者,取 0.9;机座号大于 100 者,取 1.0;

U_G —— 定子或转子绕组对地绝缘工频耐电压试验值(有效值), V。

冲击试验电压波前时间为 0.5 μs。

b. 1 140 V 以上发电机定子绕组冲击试验电压峰值:

发电机额定电压为 3.15 kV 者, U_T 取 6.6 kV;额定电压为 6.3 kV 者, U_T 取 10.9 kV。当绕组匝数为 4 匝及以下者,冲击电压峰值 U_T 取上述值的 85%。

4.4.17 耐潮试验

发电机及其励磁装置应具有耐潮性能,经 55℃、6 周期交变湿热试验后,应能满足下列要求。

4.4.17.1 电机绕组对机壳和绕组间的绝缘电阻应不低于下列数值:

a. IP22、IP23 的发电机,按式(5)确定绝缘电阻:

$$R = 2 \times \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

按上式确定的绝缘电阻值低于 0.33 MΩ 时,则按 0.33 MΩ 考核。

b. IP44 的发电机按式(6)确定绝缘电阻:

$$R = 3 \times \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \dots\dots\dots (6)$$

上两式中： P ——发电机额定功率，kW(kV·A)；

U ——发电机绕组的标称电压，V；

R ——发电机绕组的绝缘电阻，M Ω 。

4.4.17.2 发电机绕组应能承受历时 1 min 耐电压试验，不发生击穿，试验电压的有效值为 4.4.16 条表 9 规定试验电压的 85%。

4.4.17.3 发电机及其励磁装置的金属电镀件和化学处理件外观应满足以下要求，则认为合格：

a. 标牌、导电零件的接触部位、活动零件的关键部位等能影响产品性能的零件(或部位)出现腐蚀现象，面积为该零件主要表面积 5%~25%的零件数不得超过该类零件总数的 20%；

b. 除 a 项零件以外其他零件(或部位)出现腐蚀破坏面积为该零件主要表面积 5%~25%的零件数不得超过该类产品零件总数的 30%，但允许个别零件的腐蚀破坏面积大于 25%。

4.4.17.4 发电机表面油漆外观应满足下列要求，则认为合格：

a. 产品主要表面的漆层任一平方米正方形面积内直径为 0.5~3 mm 的气泡不得多于 9 个，其中直径大于 1 mm 的气泡不超过 3 个，直径大于 2 mm 的气泡不超过 1 个，不允许出现直径大于 3 mm 的气泡及超过 30% 表面积的隐形气泡；

b. 允许底金属出现个别锈点以及漆层有少量起皱；

c. 不得有脱落、开裂、严重的桔皮或流挂现象；

d. 铁芯叠片表面锈蚀面积不得超过 15%。

4.4.17.5 油漆附着力测定是在湿热试验后 24~48 h 内进行检查，检查时用新的 11 号或 12 号医用手术刀在产品的主要部件的平整的漆层上横竖垂直切割四条划痕至底金属，形成 9 个小方格，每个方格的面积为 1 mm²。然后检查方格中漆膜脱落情况，若 9 个小方格底漆没有脱落或面漆脱落不超过三个方格，则认为合格。

4.4.17.6 塑料零部件外观质量出现下列现象，则认为不合格。

表面严重变色和粗糙；严重的填料膨胀或外露、皱纹、变形、裂纹或出现直径 0.3~0.5 mm 的气泡分布面积大于零件面积的 5%；直径 0.5~1 mm 气泡分布面积大于零件面积的 15%者。

气泡的分布面积用下列方法确定。

a. 当相邻两气泡之间距离小于或等于 3 mm 时，它是指相邻气泡之间的连接线围定的封闭面积；

b. 当相邻两气泡之间距离大于 3 mm 时，每个气泡的面积按 1 mm² 计算，所有气泡面积的总和为其分布面积。

4.4.18 防霉性能

发电机及其励磁装置的绕组和绝缘材料应具有一定防霉能力，经试验后，应达到 GB 2423.16 规定的二级要求。

4.4.19 耐盐雾性能

发电机及其励磁装置的金属镀件和化学处理件应具有耐盐雾性能，根据金属零件材料、镀层及处理工艺，其盐雾试验的持续时间和合格标准见表 10。

4.4.20 倾斜

发电机的倾斜按 4.1.4 条中规定的使用环境条件进行试验，试验后，轴承应不超过 4.4.15.2 条中规定的允许极限温度，润滑脂(油)不应泄漏。

4.4.21 噪声

发电机的噪声应符合 GB 10069.3 的规定。

表 10

底金属和镀层类别	试验持续时间, h	合格标准
钢镀镉	96	未出现白色、灰黑色、棕色等颜色的腐蚀物 未出现棕色或其他色的腐蚀物
钢镀锌	48	
钢镀装饰铬	48	
铜及铜合金镀镍铬	96	未出现灰白色或绿色的腐蚀物
铜及铜合金镀镍	48	
铜及铜合金镀银	24	
铜及铜合金镀锡	48	未出现灰黑色腐蚀物
铝及铝合金阳极氧化	48	未出现灰色腐蚀物

4.4.22 振动

发电机的振动应符合 GB 10068.2 的规定。500 r/min 及以下发电机的振动限值在各自产品技术条件中规定。

4.4.23 无线电干扰

发电机的无线电干扰应不大于 GB 7060 规定的无线电干扰允许值。

4.4.24 效率

发电机的效率指标在各自产品技术条件中规定。

4.4.25 容差

发电机性能指标的容差应按 GB 755 的规定。

5 试验方法

5.1 一般性能试验

除本标准作出规定者外,应按 GB 1029 规定进行。

5.2 外壳性能试验

在 3.1.5 条中规定的防护等级应按 GB 4942.1 的规定进行外壳防护性能试验。

5.3 耐潮性能试验

在 4.4.17 条中规定的耐潮性能试验,应按 GB 2423.4 规定进行。

5.3.1 试验严酷程度:高温温度为 55℃;试验周期为 6 天;降温阶段相对湿度下限值为 85%。

5.3.2 初始检测:湿热试验前应在正常试验大气条件下放置 24 h 以上后,进行如下检测,若有不符合本标准的要求时应予停试:

- a. 外观检查:电机表面油漆应无气泡、裂纹、剥落等现象,金属镀层应无锈蚀现象;
- b. 绝缘电阻检测:对不同额定电压的电机应选用表 8 规定的绝缘电阻测试仪。

5.3.3 安装在试验室(箱)内的状态,电机在不包装、不通电“准备使用”状态和正常工作位置放入试验室(箱)内,IC01 型带空气过滤器的发电机,应将空气过滤器拆除,ICW37A71 型全封闭发电机,应打开封闭结构,均按防滴型结构进行湿热试验。

注:相复励装置整流管和无刷发电机旋转整流管拆开后进行耐潮性能试验。

5.3.4 最后检测:湿热试验最后一个周期,低温高湿阶段保持 6 h 后进行最后检测,应满足 4.4.17 条的规定,测试时的温度为 25±3℃,相对湿度为 95%~98%。

- a. 在试验室(箱)内进行电机绕组的绝缘电阻和耐电压试验,若试验条件不许可,则另行协商解

决。

b. 在电机取出试验室(箱)外的 24 h 内,完成电机表面漆外观、电镀件和化学处理件、绝缘、塑料零部件及轴承润滑脂检测;

c. 在电机取出试验室(箱)外的 24~48 h 内,完成电机外表面附着力测定。

5.4 防霉试验

电机绕组和绝缘零件材料的防霉试验按 GB 2423.16 的规定进行,经 28 d 暴露结束后,应满足 4.4.18 条的规定。

5.5 盐雾试验

金属电镀件和化学处理件耐盐雾试验,按 GB 2423.17 的规定进行,试验结果应满足 4.4.19 条的规定。

5.6 倾斜试验

倾斜试验的目的是鉴定发电机在船舶和平台的倾斜条件下,轴承工作的可靠性,试验按下述方法进行:

a. 滚动轴承的发电机应使其轴伸与水平成下列角度进行空载运转试验:

向上倾 15°,试到轴承温度稳定为止;

向下倾 15°,试到轴承温度稳定为止;

向上倾 22.5°、5 min;

向下倾 22.5°、5 min。

b. 滑动轴承的发电机应使其轴伸与水平成下列角度进行空载运转试验:

向上倾 15°,试到轴承温度稳定为止;

向下倾 15°,试到轴承温度稳定为止。

试验后应检查发电机轴承温度,不应超过 4.4.15.2 条规定的允许温度限值,润滑油(脂)不应泄漏。

5.7 无线电干扰试验

无线电干扰的测定按 GB 7060 规定进行。

5.8 稳态电压调整率的测定

由稳定调速率为 5% 的原动机(或模拟原动机调速特性的电动机)拖动,加上额定功率,调整原动机转速至额定转速,电压整定在额定电压附近(但不得超过稳态电压调整率的上限和下限对应的电压值)卸去负载,在不改变原动机调速机构和励磁装置条件下,从零逐步加载到额定功率,再逐步减载到零(对用电动机拖动者,应使其转速按规定的稳定调速率作线性变化),其功率因数保持在额定值,约每隔 25% 的额定功率读取端电压,电流和频率值。

热态下稳态电压调整率应在温升试验后立即进行(允许电压重新整定在额定值附近)。

注:① 采用模拟原动机调速特性进行稳态电压调整率的测定时,一般按稳定调速率 5% 进行。如用户另有要求,可在 2%~5% 范围内任一稳定调速率下进行试验,但应在合同中明确规定。

② 400 kW 以上发电机允许在额定转速下试验,但应保证在成套试验时满足 4.4.3 条的规定。

5.9 瞬态电压调整率

试验前,用拍摄示波图方法检查开关三相同步合闸性,各触头闭合和分断的时间差应不大于 15° 电角度。

首先,在发电机空载时将转速调整到额定值,电压整定为接近额定值的条件下,突加 60% 额定电流,功率因数不超过 0.4(滞后)的三相对称负载,考虑到负载本身过渡特性的影响,当发电机稳定后,重新将转速调整在额定值,电压整定为接近额定值,负载应调整到 60% 额定电流,功率因数不超过 0.4(滞后)的稳定状态下,突卸上述负载。试验中应记录负载突变前后的输出线电压、相电流的稳定值,并用示波器拍摄突加和突卸时线电压和相电流的波形,并保证拍摄到稳定状态,取合闸相角小于 15° 电角度的电压波形(周期分量)进行分析,必要时重复几次,计算出 4.4.4 条所要求的考核数据。亦允许采用每次

拍摄三个线电压进行分析,取其平均值,再重复测量三次,取中间值为 4.4.4 条的考核数据。同时要核对突加瞬间负载电流(周期分量)值,若不是 60%额定电流时,应调整后重新试验,亦可通过公认的公式进行折算。并应使用冲击电流小的设备作试验负载。

5.10 并联运行

将分别由稳定调速率为 5%¹⁾的原动机(或模拟原动机调速特性的电动机)拖动的两台或两台以上发电机并联运行。首先加上 75%总额定功率(并联运行中所有发电机额定功率总和)的负载,调整各原动机调速机构和发电机无功负载分配调节器。使转速为 101.25%额定转速,并使各台发电机所承担的有功负载和无功负载均按各自定额比例分配,在不再调整发电机无功负载分配调节器的情况下,改变其负载,使其分别为总额定功率的 100%→75%→50%→20%→50%→75%,并保持总负载的功率因数为额定功率因数不变,在每次改变负载后,除并联运行中一台大发电机原动机的调速机构不作改变(对用电动机拖动者,应使其中一台大发电机的拖动机转速按规定的调速率作线性变化)外,改变其他各台发电机原动机的调速机构,使各发电机承担按各自定额比例分配的有功负载²⁾。每次改变负载后,稳定运行 10 min,读取各发电机所承担的实际无功负载值。

仅在订货合同明确规定时,也可以选择 20%额定功率为基调点进行试验,即首先加上 20%总额定功率的负载,调整原动机调速机构和发电机无功负载分配调节器,使各发电机承担的有功负载和无功负载均按各自定额比例分配,然后改变负载进行试验。

各发电机所承担的实际无功负载按发电机规定比例计算的无功分配差度 ΔQ (%)由式(7)确定:

$$\Delta Q = \left(\frac{Q_i}{Q_{IN}} - \frac{Q_{\Sigma}}{Q_{\Sigma N}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中: Q_i —— 所涉及第 i 台并联发电机实际承担的无功负载, kvar。

Q_{IN} —— 所涉及第 i 台并联发电机的额定无功负载, kvar。

Q_{Σ} —— 参加并联发电机承担的总无功负载, kvar。

$Q_{\Sigma N}$ —— 参加并联发电机额定无功负载总和, kvar。

注: 1) 在用户另有要求时,可在 2%~5%范围内任一稳定调速率下进行试验,但应在合同中明确规定。

2) 当具有标准规定的调速率原动机配套,并联运行时在有功分配差度不大于我国现行船规的规定范围内,其无功分配差度仍应满足 4.4.14 条的规定。

5.11 三相发电机不平衡负载试验

5.11.1 发电机在不平衡负载工作时电压偏差程度的测定:

试验时,发电机为三相三线制,先加 70%额定功率的三相对称负载,功率因数为 0.8(滞后),然后在任意两相间加电阻性负载,并调整到使该两相电流平均值等于 85%额定电流,测定其线电压的最大和最小值与其三相线电压平均值之差。

5.11.2 发电机在不平衡负载工作时各绕组温升测定:

先加 85%额定功率的三相对称负载,功率因数为 0.8(滞后),然后在任意两相间加电阻性负载,使最大一相电流达到额定值,并测定发电机和励磁装置各绕组的温升。

5.12 短路电流维持能力的测定

发电机及其励磁装置在空载时,调整到额定转速,电压整定在接近额定电压下,电枢出线端突然短路,用拍摄示波图的方法进行检查,电流波形取周期分量进行分析。

短路电流维持能力的测定亦可采用其他等效方法进行,但要在各自产品技术条件中明确。

5.13 发电机效率测定

5.13.1 发电机的恒定损耗,直接负载损耗、励磁损耗和杂散损耗的测定应按 GB 1029 规定进行。

5.13.2 相复励或无刷系统的整流管损耗按整流桥的型式分别进行计算,但每只整流管按 $0.6I \times 10^{-3}$ kW 计算, I 为整流装置的输出电流(A)。

5.13.3 自动电压调节器和附加装置的损耗允许采用计算值。

5.14 噪声测定

噪声的测定按 GB 10069.2 的规定进行。

5.15 振动测定

振动的测定按 GB 10068.1 的规定进行。

5.16 匝间冲击耐电压试验

发电机的绕组匝间冲击耐电压试验应在各自产品技术条件中规定其试验方法。

6 检验规则

6.1 产品合格程序及有关文件

本标准规定的试验和检查项目合格后,发电机才能出厂。

6.2 检验分类

- a. 检查试验;
- b. 型式试验。

6.3 检查试验

每台发电机均应进行检查试验,检查试验项目见表 11。

6.4 型式试验

凡遇下述情况之一,应按表 11 规定项目进行型式试验。

- a. 新产品试制完成时;
- b. 电机及其励磁装置在设计 and 工艺上变更以引起某些特性和参数发生变化时,则应进行有关的型式试验项目;
- c. 当检查试验结果与以前进行的型式试验结果发生不允许偏差时;
- d. 成批生产的发电机定期抽试,每年至少一次。400 kW(kV·A)以上的发电机,亦可按累计生产 50 台数时抽试一次,但应在各自产品技术条件中明确,但抽试时间间隔最长不超过四年;
- e. 国家质量检验部门认为有必要时,可对型式试验中某些项目进行抽试,但一年不得多于一次。

表 11

项号	试 验 项 目	检查试验	型式试验	备 注
1	机械检查			
	a. 表面质量检查;	✓	✓	
	b. 轴承运行检查;	✓	✓	
	c. 安装尺寸及外形尺寸检查;	—	✓	按 GB 4772.1~4772.3 的规定
	d. 径向圆跳动及底脚支承面的不平行度和平面度,底脚螺栓通孔的位置度检查	—	✓	按 GB 4772.1~4772.3 的规定。当中心高大于 400 mm 者,在各自产品技术条件中规定
2	绕组对机壳及绕组间绝缘电阻测定	✓	✓	
3	绕组冷态直流电阻测试	✓	✓	
4	短时升高电压试验	✓	✓	已进行了 12 项试验,则本项可不做
5	发电机相序测定	✓	✓	
6	电压整定范围测定	✓	✓	检查试验在冷态下测定
7	超速试验	✓	✓	检查试验在冷态下进行,型式试验在热态下进行

续表 11

项号	试验项目	检查试验	型式试验	备注
8	稳态电压调整率测定	✓	✓	检查试验在冷态下进行,型式试验在冷、热态下测定
9	空载特性测定	✓	✓	无刷发电机空载特性以励磁机励磁电流为横坐标
10	短路特性测定	✓	✓	无刷发电机短路特性以励磁机励磁电流为横坐标
11	耐电压试验	✓	✓	
12	匝间冲击耐电压试验	✓	✓	
13	振动测定	✓	✓	可根据需要仅列为型式试验项目
14	噪声测定	—	✓	仅在产品定型时进行
15	温升试验	—	✓	
16	效率测定	—	✓	
17	偶然过电流试验	—	✓	
18	过载试验	—	✓	
19	波形畸变率测定	—	✓	
20	突然短路电流测定	—	✓	单相发电机不做此项
21	突然短路机械强度试验	—	✓	在用户提出要求时进行
22	短路电流维持能力测定	—	✓	
23	瞬态电压调整率	—	✓	单相发电机不做此项
24	不平衡负载试验	—	✓	单相发电机不做此项
25	并联运行试验	—	✓	仅在产品定型时进行。单相发电机不做此项
26	绕组电抗及时间常数测定	—	✓	仅在产品定型时对 90 kW 及以上发电机进行
27	湿热试验	—	✓	
28	防霉性能试验	—	✓	
29	无线电干扰试验	—	✓	
30	机壳防护性能试验	—	✓	仅在产品定型时进行
31	倾斜试验	—	✓	仅在产品定型时进行

7 标志、包装、运输、贮存

7.1 标志

7.1.1 铭牌

铭牌采用黄铜及耐腐蚀金属材料制成,应牢固地固定在发电机机座上的明显位置处,铭牌上文字和数据的刻划应耐磨、清晰。并标出以下项目及数据。

- a. 制造厂;
- b. 发电机名称;
- c. 发电机型号;
- d. 额定功率, kW(kV·A);

- e. 额定电压, V;
- f. 额定频率, Hz;
- g. 额定转速, r/min;
- h. 额定电流, A;
- i. 额定功率因数;
- j. 额定励磁电压, V;
- k. 额定励磁电流, A;
- l. 绝缘等级;
- m. 防护等级;
- n. 接线方式;
- o. 相数;
- p. 标准编号;
- q. 出厂编号;
- r. 重量;
- s. 制造日期;
- t. 船检标志。

7.1.2 接地牌

接地牌用黄铜及耐腐蚀金属材料制成,并固定在接地螺栓附近。接地符号应耐磨、清晰。

7.1.3 方向矢

方向矢用黄铜及耐腐蚀金属材料制成,并固定在发电机轴伸端处的机座或端盖上,箭头符号应耐磨、清晰。箭头方向应是从轴伸端看为顺时针方向。如有特殊要求,则应按订货合同的规定。

7.2 包装

7.2.1 发电机轴伸平键须绑扎在轴伸键槽上,轴伸、平键及凸缘加工装配表面应加防锈保护措施。

7.2.2 产品及所附备件在包装前对未经油漆或电镀保护的部分应采取临时性涂封保护。

7.2.3 发电机包装应坚固结实,能适合多次装卸运输。

7.2.4 包装箱应采取防淋和防潮措施。

7.2.5 包装箱外标志:

- a. 发货站和到货站;
- b. 制造厂名称和收货单位名称;
- c. 发电机型号和出厂编号;
- d. 发电机净重和整装箱毛重;
- e. 箱体尺寸;
- f. 包装箱外侧所标有的字样或符号应符合 GB 191 的规定;
- g. 整装箱吊装方式和位置;
- h. 附件箱上除标明上述需要项目外,还需标出随机件号和相应说明。

7.3 随机文件

- a. 使用维护说明书;
- b. 产品合格证;
- c. 船检证书;
- d. 随机文件目录;
- e. 用户需要的其他文件(应在合同中规定)。

7.4 备件

每台电机备件:

- a. 电刷 1/2 台份；
- b. 刷握一只；
- c. 前后轴瓦各一只。如用滚动轴承的电机，其轴承备件应在订货合同中规定；
- d. 空气过滤网 1/2 台份；
- e. 整流管或旋转整流管 1/3 台份；
- f. 防冷凝加热器，水冷却器备件等应在订货合同中规定。

7.5 运输、贮存

包装箱在运输和贮存过程中不得受雨水侵袭，产品应放置在没有雨雪侵入，空气流通，相对湿度在不大于 90%，温度不高于 +45℃ 与不低于 -25℃ 的仓库中。

8 质量保证期

在用户按照制造厂的使用说明书，正确地使用与存放电机情况下，制造厂应保证在使用的一年内，但自制造厂起运的日期不超过二年的时间内（如合同中无其他规定时）能良好运行，如在此规定时间内因电机制造质量不良而发生损坏或不能正常工作时，制造厂应无偿地为用户修理，更换零件或整台电机。

附加说明：

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由上海电器科学研究所归口和解释。

本标准由上海电器科学研究所负责起草。

本标准主要起草人唐树本、马俊镛、舒展。