ICS 29.160.20
CCS K 20

T/SDZBZZ

团 体 标 准

T/SDZBZZ XXXX—XXXX

船用三相永磁轴带发电机通用技术条件

General technical specification for marine three-phase permanent magnet shaft generators

草案版次选择

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布 XXXX - XX - XX 实施

山东省装备制造业协会 发 布

目　　次

前　　言 III
引　　言 IV
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 要求 2
4.1 环境条件 2
4.2 材料要求 2
4.3 设计要求 2
4.4 结构要求 5
4.5 性能要求 6
4.6 机械外观质量 9
4.7 分类 9
5 试验方法 9
5.1 机械外观质量检查和标志检查 9
5.2 尺寸检查 9
5.3 绕组冷态电阻测量 10
5.4 空载试验和空载反电势测定 10
5.5 绕组对机壳及绕组间绝缘电阻测定 10
5.6 稳态电压调整率测定 10
5.7 瞬态电压调整率和恢复时间测定 10
5.8 发电机效率测定 10
5.9 工频耐电压 10
5.10 过电流试验 10
5.11 外壳防护 10
5.12 交变湿热性能试验 10
5.13 电磁兼容性-传导发射 10
5.14 相序检查 10
5.15 超速试验 11
5.16 温升试验 11
5.17 倾斜试验 11
5.18 盐雾试验 K_a 11
5.19 加热带及传感器检查 11
5.20 稳态短路试验 11
6 检验规则 11
6.1 产品合格程序 11
6.2 检验条件 11
6.3 检验分类 11

6.4 出厂检验 12
6.5 型式试验 12
7 标志、包装、运输和贮存 13
7.1 铭牌与标识 13
7.2 接地牌 13
7.3 方向矢 13
7.4 出线端子 13
8 包装、运输和贮存 14
8.1 包装 14
8.2 运输、贮存 14
9 质量保证期 14
附 录 A （资料性） 船用三相永磁轴带发电机安装案例 15
参 考 文 献 17

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国中小企业协会提出并归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

本文件为首次发布。

引　言

随着全球航运业加速向绿色低碳转型，船舶电力推进系统技术不断革新，船用三相永磁轴带发电机作为船舶辅机电站的关键核心设备，直接关系到船舶电力系统的稳定性、能效水平及运营安全性，其技术规范的统一化、标准化需求日益凸显，已成为推动航运业绿色低碳发展的重要技术支撑。当前船用轴带发电机市场存在产品性能差异大、技术参数不统一等问题，导致船舶设计选型和维护保养面临诸多困难。GB/T 7060虽对船用旋转电机提出基本要求，但针对永磁轴带发电机的特殊性能指标缺乏专项标准，无法满足行业对该类设备精细化、专业化的技术管控需求。

在缺乏统一技术规范的行业背景下，船舶设计院、船厂和船级社在发电机选型验收时面临技术指标不明确、试验方法不统一等实际问题。永磁体性能稳定性、轴带工况适应性等关键技术要求缺乏量化标准，影响设备可靠性和船舶运营安全。现有标准如GB/T 26680主要针对陆用永磁发电机，无法完全覆盖船用轴带工况的特殊要求。

本文件在参考GB/T 755对旋转电机的通用技术要求的基础上，结合GB/T 7060的船用特殊规定，针对额定功率范围在500kW至4700kW的船用三相永磁轴带发电机，制定专项技术规范。本文重点规定发电机的环境适应性、电磁性能、机械结构等关键技术指标，并细化试验验证方法。技术内容涵盖温升限值、防护等级、倾斜摇摆适应性等船舶特殊工况要求。

本文件主要适用于船舶设计单位、发电机生产企业及船级社检验机构。设计单位可依据本标准进行系统匹配计算，生产厂商可参照本标准规范产品设计和质量控制流程，船级社可采用本标准作为产品认证的技术依据。通过统一技术规范，将有效提升产业链协同效率。

本文件的实施将促进船用三相永磁轴带发电机技术规范化、标准化发展，标准实施后预计可降低船舶电站系统设计成本，减少因技术参数不匹配导致的设备故障率，显著提升船舶运营的经济性与安全性。同时为船舶能效提升提供标准化技术支撑，助力航运业实现碳减排目标。标准中规定的效率指标较传统产品大幅度提升，全生命周期可节约燃油消耗，为船舶能效水平提升提供标准化技术支撑，助力航运业切实降低碳排放强度，推动全球航运绿色低碳转型目标的实现。

船用三相永磁轴带发电机通用技术条件

1 范围

本文件规定了船用三相永磁轴带发电机（以下简称“发电机”）的技术要求、试验方法、检验规则、分类、标志和包装等内容。

本文件适用于由船舶主轴驱动，用于船舶辅机电站额定功率500kW至4700kW发电机。其它同类型船用永磁轴带发电机可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志
GB/T 755 旋转电机 定额和性能
GB/T 1029 三相同步电机试验方法
GB/T 1971 旋转电机 线端标志与旋转方向
GB/T 1993 旋转电机冷却方法
GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热（12 h+12 h循环）
GB/T 4942.1 旋转电机整体结构的防护等级（IP代码）分级
GB/T 7060 船用旋转电机基本技术要求
GB/T 12975—2021 船用同步发电机通用技术条件
GB/T 22714 交流低压电机成型绕组匝间绝缘试验规范
GB/T 22719.2 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第1部分：试验限值
GB/T 3667.1 船舶电缆敷设和电气设备安装附件 第1部分：电缆贯通装置
JB/T 4159—2013 热带电工产品通用技术要求

3 术语和定义

GB/T 755、GB/T 7060和GB/T 2900界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 船用三相永磁轴带发电机 marine three-phase permanent magnet shaft generator

由船舶主轴直接驱动，采用永磁体励磁的三相同步发电机。

注：典型结构包括穿轴式和抱轴式两种安装形式，额定功率范围为500kW至4700kW。

3.2 空载反电势 no-load induced back EMF

发电机在额定转速下空载运行时产生的线电压有效值。

3.3 稳态电压调整率 steady-state voltage regulation

负载从空载到额定负载变化时，输出电压的最大偏差与额定电压的百分比。

3.4 穿轴式发电机 through-shaft generator

主轴上含一体安装法兰，直接套接在船舶主轴上的安装结构形式。

3.5 抱轴式发电机 split-hub generator

采用分半式转子结构，通过胀紧装置法兰抱合在船舶主轴上的安装形式。

注：典型特征为安装维护便捷，适用于改造船舶加装场合。

3.6 IC86W 冷却方式 IC86W cooling method

采用水冷器进行次级冷却，机壳表面自然散热的复合冷却方式。

3.7 IC71W 冷却方式 IC71W cooling method

内部热量采用温差自然对流散热至机壳，次级冷却通过电机机壳内的循环水与外部空气进行热交换的冷却方式。

3.8 匝间冲击耐电压 turn-to-turn impulse withstand voltage

对绕组施加特定波形和幅值的冲击电压以检验匝间绝缘性能的试验。

3.9 热分级 thermal class

表征绝缘材料耐热能力的等级划分。

4 要求

4.1 环境条件

发电机在下列环境条件下正常工作。

a）环境空气温度为0℃~45℃，采用水冷却时，初始冷却水温度不超过32℃。

b）空气相对湿度不应大于95%，并有凝露。

c）有盐雾、油雾、霉菌的影响。

d）倾斜与摇摆：

1）纵倾：5°（应急发电机为10°）；

2）纵摇：7.5°（应急发电机为10°）；

3）横倾：15°（应急发电机为22.5°）；

4）横摇：22.5°。

装运液化气体和化学品的船舶，其应急发电机在船舶横倾达30°的极限状态下能保持供电。

e）海上勘探或开发海底石油资源的各类移动式平台和固定式平台用的发电机有二氧化硫和硫化氢等化学活性物的影响。

f）有船舶和近海装置正常营运和作业中产生的冲击和振动的影响。

4.2 材料要求

发电机所用材料应符合GB/T 7060的规定。永磁体材料应具备与热分级相适应的耐温特性，并采取可靠的防腐措施。所有结构材料应能承受船舶环境下的机械应力和化学腐蚀，确保在规定的使用寿命内保持性能稳定。

4.3 设计要求

4.3.1 频率

发电机的频率范围9Hz～45Hz或用户协议中规定的要求。

4.3.2 额定电压

发电机的额定电压应符合表 1 的要求。表 1 未做规定的电压，应在订货合同中另行规定。

表 1 额定电压

相别	额定电压(V)
三相	390 或 400
	450
	600 或 690

4.3.3 空载反电势

发电机的空载反电势≤830V（20℃）或用户协议中规定的要求。

4.3.4 额定电流

发电机的额定电流为200A～6000A。

4.3.5 额定转速

发电机的额定转速30 rpm～500 rpm。

4.3.6 额定功率因数

发电机的额定功率因数应符合表2的要求。

4.3.7 额定容量和效率

发电机的额定容量和效率应按表3规定制造。如需其他功率等级的发电机，由订货合同中另行规定。

4.3.8 接法

发电机的接法为三相六线制或三相四线制。

4.3.9 绝缘等级

发电机的绝缘等级为H（180）级。

4.3.10 外壳防护等级

发电机的防护等级为IP44。

4.3.11 极数

发电机极数为16极-60极。

4.3.12 工作制

发电机的工作制为（S1）。

4.3.13 型号表示方法

型号表示示意见图1。

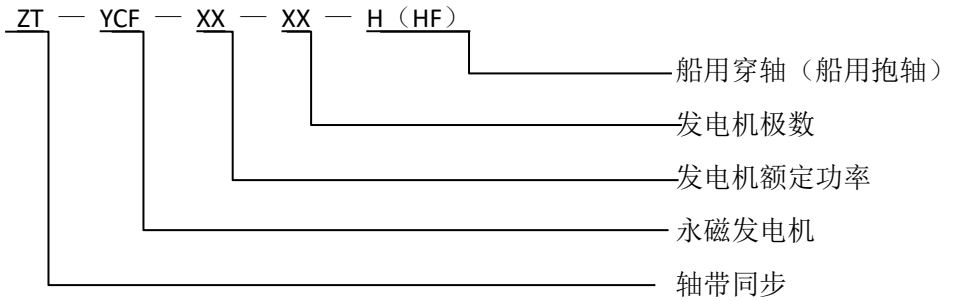


图 1 型号表示示意图

4.3.14 尺寸

穿轴发电机的外形安装尺寸见图2、抱轴发电机的外形安装尺寸见图3，如有特殊要求合同另行规定。船用轴带发电机安装案例见附录A。

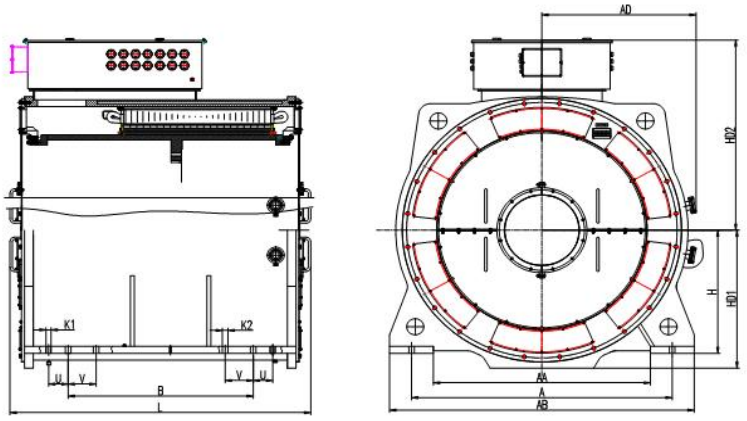


图 2 穿轴发电机的外形安装尺寸示意图

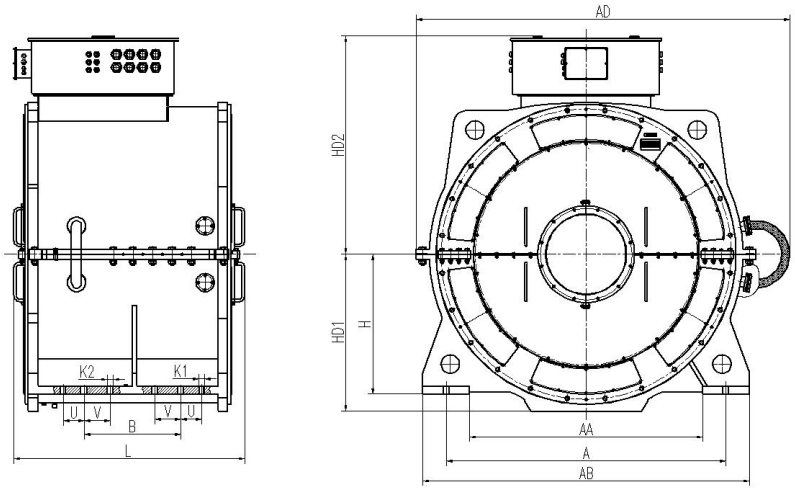


图 3 抱轴发电机的外形安装尺寸示意图

表 2 船用三相永磁轴带发电机尺寸要求（穿轴）

发电机型号	A	B	D	H	L	U	V	K1	K2	AA	AB	AD	HD1	HD2
ZTYCF-500-36-H	1720	690	370~430	850	1300	-150	—	4-M42	8-Φ46	1340	1980	1100	950	1600
ZTYCF-550-36-H		690			1300									
ZTYCF-600-H		740			1350									
ZTYCF-680-H		790			1400									
ZTYCF-780-H		940			1550									
ZTYCF-850-H		1040			1700									
ZTYCF-950-H	2140	1130	400~530	1070	2060	160	200	4-M42	8-Φ46	1780	2500	1350	1200	1700
ZTYCF-1100-H		1130			2060									
ZTYCF-1280-H		1230			2160									
ZTYCF-1400-H		1310			2250									
ZTYCF-1540-H		1410			2350									
ZTYCF-1700-H	2330	1100	430~600	1080	2020	160	200	4-M42	8-Φ46	1970	2690	1450	1390	1890
ZTYCF-1800-H		1100			2020									
ZTYCF-2000-H		1210			2120									
ZTYCF-2200-H		1300			2220									
ZTYCF-2600-H	2390	1260	480~700	1100	2190	160	200	4-M42	8-Φ58	2140	2740	1550	1450	2100
ZTYCF-2800-H		1350			2300									
ZTYCF-3000-H		1440			2400									
ZTYCF-3200-H		1540			2510									
ZTYCF-3500-H		1650			2660									
ZTYCF-4200-H	2680	1350	650~900	1200	2200	180	250	4-M56	8-Ø58	2210	3010	1570	1550	2130
ZTYCF-4350-H		1480			2320									

发电机型号	A	B	D	H	L	U	V	K1	K2	AA	AB	AD	HD1	HD2
ZTYCF-4550-H		1600			2450									
ZTYCF-4700-H		1700			2600									

表 3　船用三相永磁轴带发电机尺寸要求（抱轴）

发电机型号	A	B	D	H	L	U	V	K1	K2	AA	AB	AD	HD1	HD2
ZTYCF-500-HF	1720	740	370~430	850	1400	-150	—	4-M42	8-Φ46	1340	1980	2370	950	1600
ZTYCF-550-HF		740			1400									
ZTYCF-600-HF		790			1470									
ZTYCF-680-HF		840			1540									
ZTYCF-780-HF		990			1590									
ZTYCF-850-HF		1150			1750									
ZTYCF-950-HF	2140	1120	400~530	1070	2110	160	200	4-M42	8-Φ46	1780	2500	2860	1200	1700
ZTYCF-1100-HF		1120			2110									
ZTYCF-1280-HF		1250			2220									
ZTYCF-1400-HF		1380			2300									
ZTYCF-1540-HF		1490			2390									
ZTYCF-1700-HF	2330	1090	430~600	1080	2150	160	200	4-M42	8-Φ46	1970	2690	3060	1390	1890
ZTYCF-1800-HF		1090			2150									
ZTYCF-2000-HF		1200			2240									
ZTYCF-2200-HF		1280			2320									
ZTYCF-2500-HF	2520	1260	500~700	1100	2180	160	260	4-M42	8-Ø58	2140	2900	3350	1400	2100
ZTYCF-2700-HF		1350			2320									
ZTYCF-3000-HF		1460			2460									
ZTYCF-3200-HF		1590			2610									

4.4　结构要求

4.4.1　基本要求

发电机结构设计应满足船舶特殊工况下的可靠性要求。外壳防护等级应达到IP44，防止固体异物和溅水进入内部。冷却系统可采用IC86W或IC71W方式，确保在高温环境下稳定运行。冷却方式可参考GB/T 1993的要求。

接地装置应符合GB/T 755的规定，额定电压1000V及以下的发电机应在接线盒内设置接地端子，100kW以上的发电机还应在机座上增设外接地端子。出线端子标志应符合GB/T 1971的要求，确保安装和维护的便利性。

4.4.2　吊装和排水

发电机应设置吊攀或起吊孔。对于冷却方式为IC71W的发电机，其机座底部应设置排水孔。

4.4.3　冷却方式

发电机的冷却方式按IC86W和IC71W。

4.4.4　结构及安装方式

发电机的结构及安装型式为IMB20或IMB3。

4.4.5　防冷凝加热器

应在发电机内部设置防冷凝加热器，加热器的总功率应使发电机被加温到机壳内的温度比电机所处的周围温度约高5K，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，其安装应便于检查和更换。

4.4.6　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。

4.4.7　水冷却器

对带有水冷却器的发电机，水冷却器内部冷却介质为海水或淡水。初级冷却水温度不超过38℃。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。管道和水室材料应是耐腐蚀的，材料腐蚀速率应控制在 0.02mm/a 以下（即每年腐蚀深度不超过0.02毫米）水冷却器的通水部分应能承受1.5倍工作压力、30 min的水压试验。

4.4.8 热保护

为监视发电机绕组温度和防止绕组过热，在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10K。这些温度检测元件和热保护元件都应埋置在定子绕组最热点处，并分别埋置在每相绕组里，温度检测元件和热保护元件和被测绕组应有良好的热接触。

4.4.9 接地

发电机应有可靠的接地装置。接地装置的设计应满足GB/T 755的规定。

采用接地螺栓接地时，接地螺栓应采用铜质或导电良好的耐腐蚀材料制成，并具有足够的机械强度。接地螺栓最小直径应符合表4规定。

表 4 接地螺栓最小直径

发电机额定电流 A	螺栓最小直径 mm
200＜I_N≤630	8
630＜I_N≤1000	10
1000＜I_N	12

4.4.10 出线位置

发电机应装有接线盒。

接线盒上应装有金属电缆贯通装置，电缆贯通装置应符合CB/T 3667.1的规定，或符合订货合同的规定。

接线盒内应设有端子接线图（接线图也可设于铭牌上或铭牌附近）。

4.4.11 出线端

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排，接线排和接线板之间应加以紧固，防止松动。接线排之间应留有一定空间，以便于操作，避免短路、接地和触及。

4.4.12 紧固和减震措施

发电机所有紧固件应有可靠的防松装置。

4.4.13 旋转方向

发电机的旋转方向从非驱动端视之应为顺时针方向。如有特殊要求，应在订货合同中另行规定。

4.4.14 接线盒（箱）内电气间隙和爬电距离

发电机接线盒（箱）内出线端子之间及对机壳的电气间隙和爬电距离的最小值应符合表5规定。

表 5 电气间隙和爬电距离

额定工作电压 V	电气间隙 mm	爬电距离 mm
U_N≤375	6.3	6.3
376＜U_N≤750	9.5	9.5

4.5 性能要求

4.5.1 稳态电压调整率（δ_{stu}）

发电机及逆变控制系统在原动机稳定调速率5%情况下，当发电机负载（三相对称负载）为零到额定功率之间的任一负载值，且其功率因数保持0.8（滞后），发电机的稳态电压调整率应不超过2.5%。稳态电压调整率按式（1）计算：

$$\delta_{stu}=\frac{U_{st\,max}-U_{st\,min}}{2U_N}\times 100\%\cdots\cdots(1)$$

式中：

$U_{st\,max}$、$U_{st\,min}$ ——负载在满载与空载之间变化时发电机端电压的最大、最小值，单位为伏特（V）；

U_N ——发电机额定电压（V）。

4.5.2 电压谐波因数（波形畸变）

配套恒压恒频系统后，发电机的空载线电压波形总谐波畸变率应不大于5%。

4.5.3 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。

4.5.4 过电流

发电机及逆变控制系统在热态下，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。不得发生损坏及有害变形。

4.5.5 温升

发电机额定运行至热稳定（功率因数0.8～0.99），其定子绕组应符合表8规定。磁钢温度限值应符合设计要求。

对采用水冷却器的发电机，其温升应按进入发电机的已被冷却的空气温度计算。冷却器的初始冷却水温度不超过38℃。若冷却后的空气温度不超过45℃，则发电机各部分温升限值按表6规定；若冷却后的空气温度超过45℃，则其温升限值应为表8规定减去冷却后的空气温度超过45℃的值。

单位为开尔文

表 6 温升限值

序号	电机的部件	热分级								
		130（B）			155（F）			180（H）		
		Th	R	ETD	Th	R	ETD	Th	R	ETD
1	功率 500kW 以上发电机的交流绕组	——	75	85	——	100	110	——	120	135
注：Th——温度计法；R——电阻法；ETD——埋置检温计法。										

试验地点的环境温度与实际运行环境温度不同时，温升限值的修正按GB/T 755的规定。

4.5.6 绝缘电阻

额定电压1000V及以下发电机绕组的冷态绝缘电阻应不低于5MΩ，热态绝缘电阻应不低于2MΩ。

4.5.7 工频耐电压

发电机各绕组对地和绕组间应能承受表9规定的50 Hz或60 Hz实际正弦波试验电压，历时1 min而不发生击穿或闪络现象。

表 7 工频耐电压

项号	部件名称	试验电压（有效值）
1	发电机电枢绕组对机壳	1000V+2U_N，但最低为 l500V
2	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	1000V+2U_N，但最低为 l500V
3	防冷凝加热器对发电机机壳	1500V

4.5.8 匝间冲击耐电压

发电机在制造过程中，应进行绕组（线圈）匝间冲击耐电压试验，而不发生击穿。

对额定电压1000V及以下的发电机散嵌绕组匝间冲击耐电压试验参数按GB/T 22719.2的规定，主要试验参数为：

a）冲击试验电压峰值应不低于式（2）计算的值：

$$U_T = K_1 K_2 U_G \cdots\cdots (2)$$

式中：

U_T ——发电机绕组（线圈）匝间冲击试验电压峰值，单位为伏特（V）；

K_1 ——电压系数，取1.4；

K_2 ——运行系数，取1.1；

U_G ——绕组对地绝缘工频耐电压试验值（按表5规定），单位为伏特（V）。

b）冲击试验电压波前时间为0.2 μs。

对额定电压1000V及以下的发电机成型绕组匝间冲击耐电压试验参数按GB/T 22714的规定，主要试验参数为：

c）冲击试验电压峰值应不低于式（3）计算的值：

$$U_T = K_1 K_2 U_G \cdots\cdots (3)$$

式中：

U_T ——发电机绕组（线圈）匝间冲击试验电压峰值，单位为伏特（V）；

K_1 ——电压系数，取$\sqrt{2}$；

K_2 ——工序系数，浸渍前取0.95，浸渍后取1.1；

U_G ——绕组对地绝缘工频耐电压试验值（按表9规定），单位为伏特（V）。

d）冲击试验电压波前时间为0.2 μs。

4.5.9 三相发电机相序检查

发电机按4.4.13规定的旋转方向旋转时，三相定子绕组出线端及其在接线板上相应的标志，由出线填料函口视之，从左到右或从上到下依次为U、V、W。如有合同，可另行规定。

4.5.10 容差

发电机性能指标的容差应符合表8规定。

表 8 容差

序号	参量	容差
1	500kW 及以上发电机（效率η）	$-10\%(1-\eta)$
2	总损耗（适用于 500 kW 以上发电机）	总损耗的±10%

4.5.11 耐潮性能

发电机绕组经55℃、6周期交变湿热试验后，应能满足下列要求：

a）发电机电枢绕组对机壳及绕组间的绝缘电阻应不低于下列值；

1）IP44以下防护等级的发电机。按式（4）确定绝缘电阻：

$$R = 2 \times \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \cdots\cdots (4)$$

式中：

P——发电机额定功率，单位为千伏安（kW）；

U——发电机绕组的标称电压，单位为伏特（V）；

R——发电机绕组的绝缘电阻。单位为兆欧（MΩ）。

确定的绝缘电阻值低于0.33MΩ时，则按0.33MΩ考核。

2）IP44及以上防护等级的发电机。按式（5）确定绝缘电阻：

$$R = 3 \times \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \quad (5)$$

b）发电机绕组应能承受历时1 min工频耐电压试验，不发生击穿，试验电压的有效值为表5规定试验电压的85%；
c）金属电镀件和化学处理件的外观质量应不低于JB/T 4159—2013中5.4.a）规定的三级要求；
d）表面油漆外观质量和附着力应不低于JB/T 4159—2013中5.4.b）规定的2级要求；
e）塑料零部件的外观应不低于JB/T 4159—2013中5.4 .e）的3级要求。

4.5.12 电磁兼容性

发电机的电磁兼容性试验按GB/T 7060的规定进行，试验项目为传导发射，试验参数和限值见表9。

表 9 发电机传导发射参数

频率范围	限值 $dB\mu V$
10 kHz～150 kHz	120～69
150 kHz～500 kHz	79
500 kHz～30 MHz	73

4.5.13 绕组冷态电阻

发电机绕组采用电桥进行测量。绕组电阻应不超过相应设计值的±10%；

4.5.14 空载特性

发电机在高中低不同转速下空载运行，分别测定不同转速下发电机空载电压（即空载反电势）。

4.5.15 稳态短路电流

发电机在稳态短路状态下，应能维持其测量的实际稳态短路电流值历时至少2s。

4.5.16 倾斜试验

发电机在额定电压额定频率下空载在运行，纵倾5°、横倾5°。

4.5.17 耐盐雾性能

发电机的金属电镀件和化学处理件应具有耐盐雾性能，经盐雾试验后应符合JB/T 4159—2013中表3的规定。

4.5.18 加热带及传感器检查

用万用表对发电机加热带及传感器的功能有效性进行检查。

4.6 机械外观质量

发电机表面油漆应干燥平整、无污染、裂痕等现象，装配应完整正确。

4.7 分类

发电机分为抱轴式和穿轴式。

5 试验方法

5.1 机械外观质量检查和标志检查

用目视方法检查发电机外观，以及铭牌、方向矢、接地、出线端等标志和标记。

5.2 尺寸检查

检查发电机的外形安装尺寸符合要求。

5.3 绕组冷态电阻测量

将发电机在室内放置一段时间，用红外测温仪（或埋置检温计）测量绕组、铁心（机壳）及环境温度。测得各绕组温度、铁心温度及环境温度之间的差值不应超过2K，此状态即为实际冷态。

测量绕组温度时，各绕组的测点不应少于3处，取平均值作为绕组的冷态温度。若测量绕组温度有困难时，可测量相应铁心的温度。

绕组直流电阻的测量采用电桥法进行，用双臂电桥对每一电阻测量3次，每次应在电桥重新平衡后测取读数，每次读数与3次读数的算术平均值之差应不大于平均值的±2%，取其平均值作为电阻实际值。

5.4 空载试验和空载反电势测定

发电机在高中低不同转速下空载运行，分别测定不同转速下发电机空载电压（即空载反电势），同时在额定转速时，测量空载线电压波形总谐波畸变率，满足4.5.2规定，反电势满足用户协议规定。

5.5 绕组对机壳及绕组间绝缘电阻测定

绕组对机壳及绕组间绝缘电阻测定符合4.5.6的规定。

5.6 稳态电压调整率测定

稳态电压调整率测定应与恒压恒频控制柜组成轴带发电机系统后进行，轴带发电机由稳定调速率为5%的原动机（或模拟原动机调速特性的电动机）拖动至额定转速，将轴带发电机系统输出电压和频率整定为额定值。从零逐步增加发电机系统负载功率到额定功率，再逐步减小负载到零（对用电动机拖动者，应使其转速按规定的稳定调速率作为线性变化），其功率因数保持在额定值。期间每隔25%的额定功率读取发电机系统的输出电压。应符合4.5.1的规定。

5.7 瞬态电压调整率和恢复时间测定

瞬态电压调整率和恢复时间测定应与恒压恒频控制柜组成轴带发电机系统后进行，发电机在额定转速下空载运转，系统输出电压调整为额定值，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，重新将发电机转速和系统输出电压整定为额定值，突卸上述负载。用示波器记录突加和突卸时系统输出电压波形，计算发电机瞬态电压调整率和恢复时间。

5.8 发电机效率测定

发电机效率测定按GB/T 1029中的损耗分析法分别测定发电机在最低、最高和额定转速下的效率。

5.9 工频耐电压

发电机绕组和其他绝缘件对机壳（地）工频耐电压按GB/T 14711-2013中第24章的规定进行。

5.10 过电流试验

发电机在额定频率、额定电压情况下逐步降低电压，使定子电流达到额定电流的1.5倍，历时2 min。

5.11 外壳防护

外壳防护性能试验按GB/T 4942.1的规定进行。

5.12 交变湿热性能试验

发电机的交变湿热性能试验按GB/T 2423.4规定进行，试验严酷程度：温度55℃，试验周期为6d。

5.13 电磁兼容性-传导发射

电磁兼容性试验项目传导发射测量受试设备频率范围为10 kHz～30 MHz，按GB/T 12975—2021中5.26的要求执行。

5.14 相序检查

用相序表检查发电机的相序。

5.15 超速试验

验前应仔细检查被试发电机的装配质量，特别是转动部分的装配质量。如无特殊规定，试验可在冷态下空载进行，当被试发电机达到额定转速时，观察运转情况，若无异常，则继续加速到1.2倍最大运行转速，维持2 min，转速达到规定值时开始计时，同时应随时观察被试发电机运转情况，若有异常立即停机，在试验结束后检查绕组绝缘电阻是否正常。

试验允许提高被试发电机电源频率进行，也可以由原动机拖动进行试验。

5.16 温升试验

被试发电机温升试验采用直接负载法，温度测量采用埋置检温计法或电阻法。被试发电机在规定的工况下持续运行，直到发电机各部分温升达到热稳定状态为止。运行过程中，一般应每30 min记录一次，在被试发电机温度渐趋稳定阶段应缩短间隔时间，变为每15 min记录一次。每次记录内容应包括：时间、转速、频率、定子电流、定子电压、定子功率、绕组温度、环境温度。

当被试发电机各部分的温度在30 min内变化不超过1K时，表明被试发电机已达到热稳定状态，稳定后被试发电机快速停车并断水，停车后测量直流电阻，测量方法同5.2.2并应使用与测量冷态直流电阻相同的测量装置，在断电120 s内测得第一点电阻值，则可用该电阻值计算绕组温升；如果测量时间超过120 s时，尽快以20 s～60 s的时间间隔读取附加的电阻读数，至少读取5～10个读数，按外推法进行修正采用，如果停机后测得的结果显示出温度继续上升，则取热态电阻最大值作为绕组温升计算值。

试验后测定各绕组的冷态直流电阻和温度。

5.17 倾斜试验

发电机在额定电压额定频率下空载运行，纵倾5°、横倾5°，发电机运行至少15 min，试验期间能可靠工作，试验后发电机应能正常工作。

5.18 盐雾试验 K_a

发电机的金属电镀件和化学处理件的盐雾试验按GB/T 2423.17中第3章～第8章的规定进行，试验持续时间为48 h。试验结果符合4.5.17的规定。

5.19 加热带及传感器检查

对测温传感器功能有效性进行复查，用万用表测量传感器阻值或用温度巡检仪确保传感器反馈信号有效。应对泄露报警器进行通断检查。用万用表测量加热带通断。

5.20 稳态短路试验

电枢端短路，拖动被试发电机稳定在额定转速，持续监测短路电流；当短路电流稳定时，测量并记录电枢电流。此型发电机转子含永磁体，属于恒励磁方式，定子感应电动势不可调，永磁发电机的结构特性决定了其稳态短路状态下短路电流只能达到2倍左右额定电流。

6 检验规则

6.1 产品合格程序

本标准规定的检验项目检验合格后，发电机方能交付，并应附有产品合格证。

6.2 检验条件

检验场地应维持在下列标准大气条件范围以内：

a）温度范围15℃～35℃；

b）相对湿度30%～90%；

c）气压86kPa～106kPa。

6.3 检验分类

检验分为：

a）出厂检验；

b）型式试验。

6.4 出厂检验

每台发电机均应进行出厂检验，检验项目见表10。

表 10 检验项目

项号	检验项目	出厂检验	型式检验	要求章条号	试验方法章条号
1	机械外观质量检查	√	√	4.6	5.1
2	标志检查	√	√	第 7 章	5.1
3	尺寸检查	—	√	4.3.14	5.2
4	绕组冷态电阻测定	—	√	4.5.14	5.3
5	空载特性测定	√	√	4.5.15	5.4
6	绕组对机壳及绕组间绝缘电阻测定[a]	√	√	4.5.6	5.5
7	相序检查	√	√	4.5.9	5.14
8	稳态电压调整率测定[a]	√	√	4.5.1	5.6
9	瞬态电压调整率及恢复时间测定	—	√	4.5.1	5.7
10	效率测定	—	√	4.3.7	5.8
11	工频耐电压	√	√	4.5.7	5.9
12	过电流试验	√	√	4.5.4	5.10
13	超速试验	√	√	4.5.3	5.15
14	温升试验	—	√	4.5.5	5.16
15	稳态短路电流	—	√	4.5.16	5.20
16	电压谐波因数（波形畸变）	—	√	4.5.2	5.4
17	交变湿热试验[b]	—	√	4.5.11	5.12
18	外壳防护[b]	—	√	4.4.3	5.11
19	电磁兼容性[b]	—	√	4.5.12	5.13
20	倾斜试验	—	√	4.5.16	5.17
21	盐雾试验[b]	—	√	4.5.17	5.18
23	加热带及传感器试验	√	√	4.5.18	5.19

[a] 出厂试验在冷态下进行。

[b] 仅在新产品完成时对典型样机进行。

注 1：试验项目 8、9 由于永磁轴带发电机不含电压调整系统，本实验宜在船舶试航时进行。

注 2：试验项目 15，永磁轴带发电机需配套恒压恒频控制柜使用，该控制柜提供限流保护，发电机不会发生稳态短路，该项目一般不适用。

6.5 型式试验

凡遇到下列情况之一，应按表 10 规定的项目进行型式试验：

a）新产品试制完成时；

b）设计或工艺重大变更时;

c）出厂检验结果异常；

d）停产三年后复产时。

6.5.1 型式检验的样品数

整台发电机试验的样品数为二台，发电机零部件检验（盐雾）为各三件。

6.5.2 样品抽检规则

成批生产的发电机整机定期抽试应按照每四年一次，抽检样品数为两台。对于500kW以上的发电机，可按累计生产50台时抽检一次。零部件的抽试项目（盐雾）样品数为各三件。

试验过程中如有一项不合格，则应从同一批发电机中加倍抽样进行复检，如仍不合格则应对该批产品逐台检验。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 铭牌与标识

铭牌采用黄铜或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）额定容量，单位为千瓦（kW）；
e）额定电压，单位为伏特（V）；
f）额定频率，单位赫兹（Hz）；
g）额定转速，单位为转每分（r/min）；
h）额定电流，单位为安培（A）；
i）额定功率因数；
j）极数；
k）转速范围；
l）工作制；
m）绝缘等级；
n）防护等级；
o）接线方法；
p）相数；
q）标准编号；
r）出厂编号；
s）重量；
t）制造日期；
u）船检标志。

7.2 接地牌

接地牌采用黄铜或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。

7.3 方向矢

方向矢采用黄铜或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。箭头方向从驱动端视之应为顺时针方向。如有特殊要求，应在订货合同中另行规定。

7.4 出线端子

发电机各绕组出线端子及各附加装置的出线端子应按表11规定的标志标明，接线盒内的接线板上应有相应的标志，标志应耐磨、清晰。

表 11 出线端子

元件名称	定子绕组			防冷凝加热器	温度检测元件	热保护元件
	三相					
线端名称	相 1	相 2	相 3	—	—	—
线端标志	U1、U2	V1、V2	W1、W2	HE1 HE2	TC1 TC2 TC3	TB1 TB2 TB3

注：辅助监测元件标识可自行定义。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

8.1.1 底脚平面应加防锈保护措施。
8.1.2 产品击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。
8.1.3 发电机包装应坚固结实，能适合多次装卸运输。
8.1.4 包装箱应采取防淋和防潮措施。
8.1.5 包装箱外标志应清楚，内容应包括：
a）发货站及到货站；
b）制造厂名称和收货单位名称；
c）发电机型号；
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/T 191的规定；
g）整装箱吊装方式和位置。
8.1.6 每台发电机应随机附有下列文件，文件放在防潮袋内，并固定于箱子内部：
a）使用维护说明书；
b）产品合格证；
c）船检证书；
d）装箱清单；
e）用户需要的其他文件（应在合同中规定）。
8.1.7 每台发电机的备件由产品技术条件规定。

8.2 运输、贮存

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

9 质量保证期

在用户按照制造厂的使用说明书，正确地使用与存放发电机的情况下，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发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、更换零件或整台发电机。

附 录 A
（资料性）
船用三相永磁轴带发电机安装案例

A.1 典型安装方案

船用三相永磁轴带发电机的安装方案应根据船舶动力系统布局和发电机结构特点进行设计。本附录提供了两种典型安装案例，分别为穿轴式安装和抱轴式安装，这两种安装方式均符合GB/T 7060的要求。安装过程中特别注意发电机的对中精度、减震措施以及冷却系统的布置，确保发电机在船舶运行环境下能够稳定工作。

穿轴式与抱轴式安装特性对比见表A.1。

表 A.1 穿轴式与抱轴式安装特性对比

特性	穿轴式	抱轴式
适用功率范围（kW）	500-4700	500-3500
安装空间需求	较大	较小
对中精度要求（mm）	±0.1	±0.2
典型安装型式	IMB20	IMB3
维护便利性	较好	一般

A.2 穿轴式安装案例

某5000吨级散货船采用穿轴式安装方案，发电机型号为ZTYCF-1540-H，额定功率1540 kW。安装时首先将发电机基座焊接在船舶机舱甲板上，基座平面度控制在0.1 mm/m以内。发电机与主轴采用法兰连接，法兰端面跳动不超过0.15 mm。

冷却系统采用IC86W方式，冷却器布置在发电机上方，冷却水管路采用不锈钢波纹管连接，并设置减震装置。接地系统按照GB/T 7060-2019要求，在接线盒和机座各设置一个M12接地端子。安装完成后进行对中检查，径向偏差控制在0.1 mm以内，轴向偏差不超过3 mm。

穿轴式安装关键参数见表A.2。

表 A.2 穿轴式安装关键参数

参数	数值
基座平面度（mm/m）	0.08
法兰端面跳动（mm）	0.04
冷却水流量（m³/h）	12.5
冷却水压力（MPa）	0.35
对中径向偏差（mm）	0.028
对中轴向偏差（mm）	0.042

A.3 抱轴式安装案例

某3000吨级油船采用抱轴式安装方案，发电机型号为ZTYCF-850-HF，额定功率850 kW。安装时采用分半式抱轴结构，将发电机固定在船舶主轴上。由于空间限制，冷却系统采用IC71W方式。

该安装方式使用胀紧装置法兰将转子抱合在法兰上，法兰端面跳动不超过0.3 mm。安装完成后进行对中检查，径向偏差控制在0.1 mm以内，轴向偏差不超过3 mm。

抱轴式安装测试数据见表A.3。

表 A.3 分半抱轴式安装测试数据

测试项目	测试值	允许值
振动速度有效值（mm/s）	2.1	≤4.5
噪声级（dB（A））	89	≤95
绝缘电阻（MΩ）	5.8	≥5

A.4 安装注意事项

在船用三相永磁轴带发电机安装过程中，应特别注意以下事项：安装前应检查发电机外观和绝缘状况，测量绕组冷态绝缘电阻不低于5MΩ。安装过程中要保护好永磁体，避免受到强磁场干扰和机械冲击。冷却系统安装后应进行1.5倍工作压力的水压试验，保压30 min无渗漏。

电气安装应符合船舶电气规范，电缆敷设应避开高温区域，并采取防火措施。调试时应先进行空载运行，检查电压波形畸变率不超过5%。负载试验时应逐步增加负载，监测各部位温升情况。安装完成后应做好防锈处理，非涂装表面涂抹防锈油脂，并定期检查维护。

参 考 文 献

[1] GB/T 997-2022 旋转电机结构型式、安装型式及接线盒位置的分类（IM代码）

[2] GB/T 10250-2007 船舶电气与电子设备的电磁兼容性

[3] GB/T 22719.1-2008 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第1部分：试验方法

[4] GB/T 26680-2011 永磁同步发电机技术条件

[5] IEC 60068-2-2 Environmental testing—Part 2-2：Tests—Test B：Dry heat（环境试验 第2-2部分：试验方法 试验B：干热）

[6] IEC 60068-2-6 Environmental testing—Part 2-6：Tests—Test Fc：Vibration （sinusoidal）（环境试验 第2-6部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦））

[7] IEC 60068-2-14 Environmental testing—Part 2-14：Tests—Test N：Change of temperature（环境试验 第2-14部分：试验方法 试验N：温度变化）

[8] GD22-2015电气电子产品型式认可试验指南

[9] 《钢质海船入级规范（2024）》，中国船级社