

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD03-2021



中国船级社

轮缘推进装置检验指南

2021

2021年3月1日生效

北京

目 录

1 一般规定	1
1.1 一般要求.....	1
1.2 定义.....	1
1.3 图纸资料.....	2
2 功能构造	3
2.1 桨叶.....	3
2.2 轴承.....	4
2.3 旋转环及桨毂.....	5
2.4 导流罩壳及基座.....	5
2.5 推进电机.....	6
2.6 转向系统（如有）	7
2.7 监测报警.....	8
3 侧推装置要求	8
3.1 一般要求.....	8
4 产品检验	9
4.1 一般要求.....	9
4.2 材料与焊接.....	9
4.3 检验试验要求.....	10
5 建造检验	13
5.1 系泊试验.....	13
5.2 航行试验.....	13
6 建造后检验	13
6.1 年度检验项目	13
6.2 中间检验项目	14
6.3 特别检验项目	14
6.4 坞内检验项目	14

1 一般规定

1.1 一般要求

1.1.1 本指南适用于使用轮缘推进装置作为主推进或者侧推的内河及海上船舶的审图及检验。

1.1.2 轮缘推进装置除应满足本指南要求外，还应根据其所在船舶的特性和航行区域符合 CCS 相应规范的适用规定。

1.1.3 轮缘推进装置应具有足够的强度、能力和必需的支持系统，以便为船舶在所有操作工况下提供有效的推力和转向控制。

1.1.4 当用作船舶的主推进时，一般应至少设有两套推进装置。如仅设有单套推进装置时，应设有两套独立的推进电机及转向动力设备（如适用），以确保推进装置的整体有效性。

1.1.5 轮缘推进装置的设计和布置应符合其预定的使用环境条件要求。

1.1.6 轮缘推进装置零件材料应符合 CCS《材料与焊接规范》或公认标准的有关规定。

1.1.7 对于装配有符合本指南要求的轮缘推进装置作为主推进且申请入级检验的船舶，可授予轮缘推进装置附加标志 Rim-driven Thruster。

1.2 定义

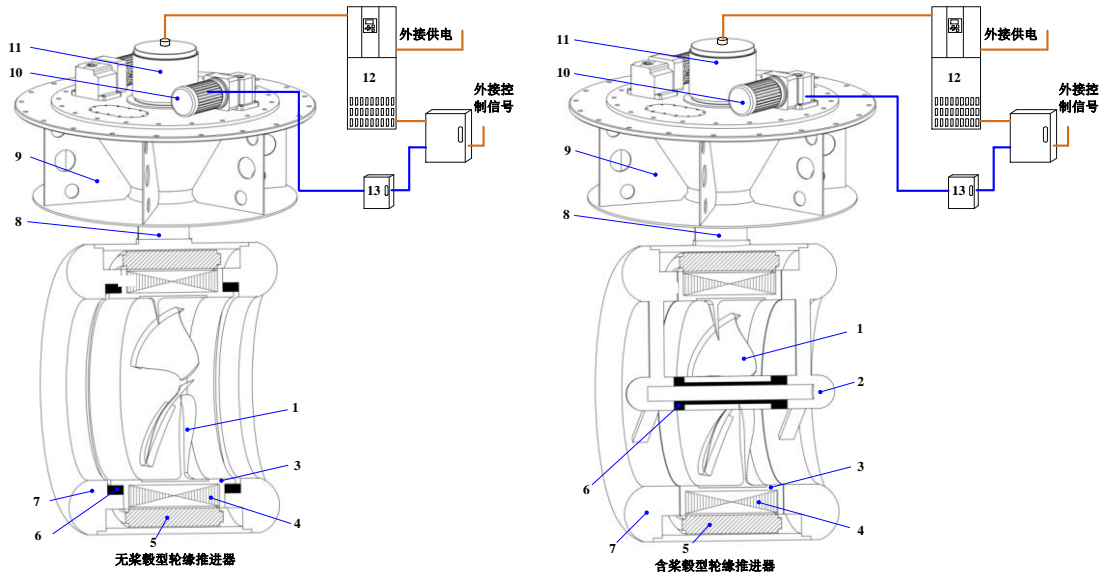
1.2.1 轮缘推进装置

轮缘推进装置（Rim-driven Thruster）系指采用集成电机技术，取消传统的机械传动轴系，将轮缘驱动电机与螺旋桨、轴承等部件进行集成一体化设计制造的推进装置。

轮缘推进装置可以单独使用，也可以结合其他机构组合使用，包括：与全回转机构组合形成全回转式轮缘推进装置；与翘摆式机构组合形成翘摆式轮缘推进装置；与升降机构组合形成升降式轮缘推进装置；与舵轴组合形成摆舵式轮缘推进装置。轮缘推进装置可以做主推进也可以用于侧推；可以含桨毂、不含桨毂；

单级、对转等多种型式。

全回转式的轮缘推进装置共包括桨叶、旋转环、推进电机、轴承、导流罩壳、转向电机、转向齿轮、立柱、导电滑环、安装基座和控制系统等几部分构成，其基本构造示意图如图 1.2.1 所示：



1、桨叶；2、桨毂；3、旋转环；4、电机转子；5、电机定子；6、轴承；7、导流罩壳；8、立柱；9、安装基座；10、转向电机；11、导电滑环；12、主控制箱；13、转向控制箱

图 1.2.1：全回转式轮缘推进装置基本构造示意图

1.3 图纸资料

1.3.1 船舶审图除现有规范要求外，还需提交下列图纸资料：

- (1) 轮缘推进装置布置图；
- (2) 轮缘推进装置基座的承重和支撑构件强度计算书；

1.3.2 产品审图需提交的图纸资料：

- (1) 产品主要性能规格（如图纸中已包含此内容可不单独提交）；
- (2) 总装配图；
- (3) 主要零部件图（如导流罩壳、桨叶、推进电机、轴承、转向电机及控制系统、转向齿轮、立柱、密封装置布置方案等）；

(4) 电机及控制装置、监测报警部分送审图纸参见《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 2 节和第 7 篇第 2 章第 6 节图纸资料相关要求；

(5) 计算书（轴承承载、桨叶强度、通过电机定子与转子的冷却水流量、采用缩放模型的等效计算书（如适用）、所有关键传力构件强度计算书，包括导流罩壳、旋转环、转向齿轮、立柱等）；

(6) 验收标准；

(7) 主要零部件理化性能一览表（如图纸中已包含此内容可不单独提交）；

(8) 原型试验大纲（如适用）；

(9) 出厂试验大纲；

(10) 产品说明书。

2 功能构造

2.1 桨叶

2.1.1 一般要求

(1) 螺旋桨桨叶应作表面质量和尺寸偏差检查，桨叶表面质量和尺寸偏差应满足《GB/T 12916 船用金属螺旋桨技术条件》相关要求；

(2) 螺旋桨桨叶应进行称重试验，桨叶、旋转环及电机转子应进行整体静平衡试验，转速 500r/min 以上的推进装置应进行桨叶、旋转环及电机转子整体动平衡试验。静平衡等级应满足《GB/T 12916 船用金属螺旋桨技术条件》相关要求，动平衡等级满足 ISO-1940 中 G6.3 要求；

(3) 需要对螺旋桨桨叶进行屈服强度和疲劳强度校核。

2.1.2 屈服强度校核

(1) 屈服强度校核一般应基于应力分析方法，如有限元强度分析。校核工况应包含船舶使用该推进装置的极限航行工况。对于主推进装置来说，校核工况一般应包括推进装置以额定功率全速正车、全速倒车和紧急制动等工况，其中紧急制动为船舶以最大营运前进航速下，螺旋桨以全速倒车的航行工况。对于侧推

装置来说，校核工况能够满足船舶低速航行及靠离泊的需求。桨叶强度校核的安全系数不小于 6；

(2) 有限元强度计算报告中应包括载荷出处（试验结果或者 CFD 计算结果等）、有限元强度分析模型图及其说明、计算结果（包括变形图、应力云图等），以及采用应力衡准的说明；

(3) 对计算中所使用的数据和方法，必要时可要求提供相关试验结果或使用经验等支持材料。

2.1.3 疲劳强度校核

疲劳分析应采用业界公认方法，疲劳强度计算报告中应包括基于疲劳评估的载荷、疲劳评估方法、疲劳评估结果，以及采用的疲劳接受衡准的说明。疲劳强度校核区域应至少包括但不限于桨叶根部、随边中部及最大交变应力区。

2.1.4 螺旋桨桨叶的安装

(1) 螺旋桨桨叶应可靠地固定在旋转环上，应设置可靠的防止松动及防蚀措施。对于焊接螺旋桨，焊接材料、焊接工艺、焊接坡口、预热及后处理应提交本社认可，焊接结构的无损检测应满足 A 区要求；

(2) 螺旋桨桨叶与旋转环交界处应光滑过渡，不应有凸肩或圆角。

2.2 轴承

2.2.1 水润滑轴承

(1) 水润滑轴承摩擦副选用的材料基本性能以及环境适应性应满足轴承设计要求，材料性能应通过 CCS 进行试验见证或取得相应的产品证书。

(2) 水润滑轴承结构设计，应在额定工况下在摩擦副形成完整的润滑水膜，并能有效散热，避免出现无水润滑或干摩擦；

(3) 水润滑轴承应根据船舶实际航行水域环境，磨损率满足推进装置设计要求。

2.2.2 磁推力轴承

(1) 如有磁推力轴承配合使用时，磁推力轴承和水润滑推力轴承的总承载

能力满足各工况下推进装置的使用要求；

(2) 磁推力轴承结构设计应能有效散热，轴承工作温度上限不应超过磁性材料的退磁温度。

2.2.3 油润滑轴承

(1) 带桨毂结构轮缘推进装置可采用油润滑轴承。油润滑轴承的性能应满足推进装置的设计使用要求；

(2) 油润滑轴承密封装置静态泄漏量为 0，密封装置的动态泄漏量、磨损量和可靠性应满足推进装置的设计使用要求；

(3) 需对油润滑轴承运行状况有且不限于温度等状态参数进行监测，报警。

2.3 旋转环及桨毂

2.3.1 旋转环强度应能满足推进装置极限航行工况使用要求，并进行相应的强度校核，强度校核安全系数不小于 6。

2.3.2 对于装配桨毂的轮缘推进装置，桨毂强度应能够有效传递推力并满足支撑推进装置桨叶和转子重量的要求。

2.4 导流罩壳及基座

2.4.1 推进装置导流罩壳应有足够的强度，能够有效传递推力并保护推进装置受到异常冲击，导流罩壳结构应满足下述要求：

(1) 内壳板厚度 t 应不小于按下式计算所得之值：

$$t = 1.45\sqrt{\alpha k b^2 V^2} + 1 \quad \text{mm}$$

式中： V ——航速；

α ——导流罩壳最小内径 D_h 与导流罩壳长度 l_h 之比，即 $\alpha = D_h / l_h$ ；

b ——内壳板支承框架的短边长度，m；

k ——系数，根据 a/b 的比值按表 2.5.1 选取，其中 a 为内壳板支承框架的长边长度。

表 2.5.1: 系数 k

a/b	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
k	0.048	0.055	0.063	0.069	0.075
a/b	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
k	0.081	0.086	0.091	0.095	0.099
a/b	2.0	3.0	4.0	≥ 5.0	
k	0.102	0.119	0.124	0.125	

(2) 导流罩壳外壳板厚度应不小于内壳板厚度的 0.8 倍；

(3) 导流罩壳内壳板的中部应设置加强环，加强环厚度应不小于内壳板厚度的 2 倍。加强环材料可用铸钢或厚钢板制成，该加强环亦可用不锈钢制成或表面铺设不锈钢板；

(4) 导流罩壳板内需用纵向隔板和环状隔板加强。隔板应均匀设置，环状隔板的设置对固定导流罩应不少于一道，对转动导流罩应不少于两道。隔板厚度应不小于导流罩外壳板的厚度，隔板上应有开孔。

2.4.2 推进装置穿过船体结构处应设有密封装置，以防海水进入船中。推进装置安装基座一般应适当设置与船体结构相连的支撑构件。基座的承重和支撑构件应按照 CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 15 章第 3 节的适用要求进行强度校核。

2.5 推进电机

2.5.1 供电、控制和保护

(1) 推进装置供电、控制和保护应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 15 章第 2 节相关适用要求；

(2) 对于对转形式的轮缘推进装置，每一推进电机都应视作独立的电机，满足相应的控制及保护要求。

2.5.2 电机性能

推进电机的温升、过载及短路等性能应满足《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 2 节及第 8 篇第 15 章第 2 节中相关适用要求。

2.5.3 电机外壳防护

推进电机外壳防护型式，应符合 IEC60529 的规定。防护等级应满足 IP 68 要求。

2.5.4 导电滑环（如有）

导电滑环应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 15 章第 2 节中有关导电滑环的适用要求。

2.6 转向系统（如有）

2.6.1 一般要求

(1) 使用全回转式轮缘推进装置的海上航行船舶，转向系统应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 13 章第 1 节中有关操舵装置的适用要求；

(2) 使用全回转式轮缘推进装置的内河航行船舶，其转向系统应满足《钢质内河船舶建造规范》第 2 篇第 9 章第 1 节中有关操舵装置的适用要求。

2.6.2 基本性能

每套转向系统都能满足有关主转向装置的性能要求，且：

(1) 在客船上，当任一动力设备不能运转时，每套转向系统应仍能按主转向装置的要求来操纵船舶方向控制系统；

(2) 在货船上，当所有动力设备都运转时，每套转向系统应能按主转向装置的要求操纵船舶方向控制系统；

(3) 每套转向系统应布置成当其管系或 1 台动力设备发生单一故障时，船舶转向能力能够保持或迅速恢复。

(4) 转向系统的转向时间应根据船舶的航行水域满足主管机关的有关要求。

2.6.3 供电

(1) 海上航行船舶采用双套或多套配置的推进装置，每套转向系统的电源及线路敷设应满足《钢质海船入级规范》第 3 篇第 13 章第 1 节 13.1.8 的要求；

(2) 对于航行于急流航段或通过三峡大坝的内河船舶，其应急能源设置应满足《钢质内河船舶建造规范》第 2 篇第 9 章 9.1.6 的要求。

2.6.4 应采取适当的措施，以减少由于电磁能量所产生的干扰，从而保证转向系统装船后在船舶电磁环境中能正常工作。

2.6.5 转向齿轮能够满足推进装置在极限航行工况下的旋转要求，并提供相应的齿轮承载能力计算书。

2.6.6 推进装置发生故障时，转向系统至少应有保持当前舵位的能力。

2.7 监测报警

2.7.1 轮缘推进装置应在驾驶室、舵机舱或舵桨舱附近设置舵角（如适用）、转速的监测。

2.7.2 应自动监测可能导致推进及转向系统性能降低或失效的大多数可能发生的故障，监测和报警项目应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 15 章 15.2.11 适用要求。对于 50kW 及以上的电动机，下列报警项目应特别设置：

- (1) 电动机绝缘报警；
- (2) 轴承温升报警；
- (3) 报警和监测系统电源故障。
- (4) 对于 1000kW 及以上的推进装置，应设置定子防护层厚度监测及报警。

3 侧推装置要求

3.1 一般要求

3.1.1 当轮缘装置用作船舶侧推装置时，应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 11 章 11.3.8 中有关侧推装置的适用要求。

3.1.2 对下列故障应在驾驶室和监控室(如设有时)均设有单项或组合报警指示：

- (1) 推进装置电源故障；
- (2) 电动机温升、超速、过载、绝缘及短路报警；

- (3) 轴承温升报警；
- (4) 报警和监测系统电源故障。

3.1.3 下列项目应在驾驶室设有单项指示：

- (1) 螺旋桨推力方向和转速。

4 产品检验

4.1 一般要求

轮缘推进装置产品检验除应满足本章要求外，还应满足《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的相关适用要求。

4.1.1 检验模式要求

- (1) 图纸审查批准后，开展单件/单批检验；
- (2) 推进电机、转向系统应按照 CCS《电气电子产品型式认可试验指南》进行试验。

4.1.2 主推进装置持证要求

下列部件（如有）应持有 CCS 证书或按照本指南要求进行检验：

桨叶、导流罩壳、轴承、旋转环、推进电机、转向电机、转向齿轮、导电滑环、变频器及电机控制系统。

4.1.3 侧推进装置持证要求

下列部件（如有）应持有 CCS 证书或按照本指南要求进行检验：

桨叶、轴承、旋转环、推进电机、变频器及电机控制系统。

4.2 材料与焊接

4.2.1 轮缘推进装置中的产品原材料及主要零部件（桨叶、旋转环、立柱（如有）、转向齿轮（如有）和导流罩壳（如有））应按照 CCS《材料与焊接规范》进行材料试验和无损探伤检测。

4.2.2 轮缘推进装置中的主要焊接结构件的焊接工艺，应按照 CCS《材料与焊接规范》中的相关要求进行焊接工艺评定，焊接结构的疲劳性能达到可接受的标准。

4.3 检验试验要求

4.3.1 主要材料和主要零部件（桨叶、旋转环、导流罩壳（如有）、轴承、推进电机、转向齿轮（如有）、导电滑环（如有）、变频器及电机控制系统）应按照本指南及相应规范的要求进行检验和试验，或持有相应的证书。

4.3.2 轮缘推进装置检验包括图纸审查、原型/型式试验以及对最终产品制造过程中的资料审查和试验。

4.3.3 制造过程中的资料审查和试验主要包括材料试验、主要零部件的探伤、桨叶称重试验、静平衡或动平衡试验、不锈钢晶间腐蚀试验、零部件的焊接、装配质量检查、焊接结构的疲劳性能试验。

4.3.4 对新设计在某特定功率范围内的首制产品应按批准的试验大纲进行原型试验。试验应至少包含以下表 4.3.4.1 列举的试验项目。推进装置首制产品的特定功率认定范围可参照表 4.3.4.2。

表 4.3.4.1：特定功率首制产品试验项目及技术要求

序号	试验项目	技术要求	试验方法
1	外观检查	批准的图纸及技术文件	批准的图纸及技术文件
2	尺寸检查	批准的图纸及技术文件	批准的图纸及技术文件
3	绝缘电阻测量	“规范” ^① 第 4 篇 3.2.9.6	“规范”第 4 篇 3.2.9.6
4	绕组电阻测量	技术条件	“规范”第 4 篇 3.2.9.7
5	过载/过流试验	“规范”第 4 篇 3.2.5.1	“规范”第 4 篇 3.2.5.1
6	超速试验	IEC60034-1 第 8.5 条	IEC60034-1 第 8.5 条
7	耐压试验	IEC60034-1 第 8.1 条	IEC60034-1 第 8.1 条
		IEC60034-15	IEC60034-15（对高压电动机）
8	空载试验	“规范”第 4 篇 3.2.9.14	“规范”第 4 篇 3.2.9.14
9	轴承检查	本技术要求 2.2	可结合耐久性试验进行
10	负载试验和温升测量	“规范”第 4 篇 3.2.3.1	IEC60034-1 第 7 条
11	外壳防护等级试验 ^②	IEC60034-5	IEC60034-5
12	能源波动试验 ^③	《电气电子产品型式认可试验指南》第 2.4 条	《电气电子产品型式认可试验指南》第 2.4 条
13	耐久性试验	本指南要求 4.3.8	本指南要求 4.3.8
14	功能效用试验	本指南要求 4.3.9	本指南要求 4.3.8

① 本表中的“规范”是指《钢质海船入级规范》；

② 试验水深应根据推进器使用环境的水深要求而定，一般应不少于 5m，或试验水压不低于 0.05MPa。

③ 如制造厂条件限制，可结合船上电网进行。

表 4.3.4.2: 首制造产品认定的功率范围

序号	机座号	额定功率 kW	功率范围 kW
1.	150	1.5	0.5-1.5
2.	200	6	3-6
3.	260	15	4-15
4.	330	30	10-30
5.	450	50	20-50
6.	600	90	35-90
7.	700	150	60-150
8.	900	200	80-200
9.	1000	245	100-245
10.	1300	390	120-390
11.	1500	500	230-500
12.	1700	900	300-900
13.	2000	1500	300-1500
14.	2200	2000	300-2000
15.	2500	2500	300-2500
16.	2800	3000	500-3000
17.	3200	3500	800-3500
18.	3600	4000	1200-4000
19.	4000	5000	1500-5000
20.	4500	6000	1500-6000

4.3.5 单件/单批检验试验项目至少应包含如下项目:

- (1) 外观检查;
- (2) 尺寸检查;
- (3) 绝缘电阻测量;
- (4) 绕组电阻测量;
- (5) 耐压试验;
- (6) 空载试验;
- (7) 负载试验;
- (8) 功能效用试验。

4.3.6 尺寸检查

尺寸检查需根据批准的图纸或者技术文件, 检查项目应至少包含: 安装间隙、电气间隙、爬电距离、轴承间隙、舵角零位等。

4.3.7 空载试验

空载运转时在设计转速下推进装置应平稳运转 30min,无明显振动,无异响杂音。

4.3.8 负载试验

推进装置以额定功率对应的转速平稳运转 2h,各系统正常工作,无报警,无异常振动、噪音、磨损。对于较大功率的产品,如果有必要,可以采用部分功率的负载试验,上船安装后进行额定功率实船试验。

4.3.9 耐久性试验

新型号研制时需做耐久性试验给予鉴定。耐久性试验应在推进装置实际航行环境的最恶劣水质下,按照推进装置额定功率连续运行时间不小于 200h。各系统正常工作,无报警,无异常振动、噪音和变形,轴承磨损率满足推进装置设计要求,拆解检查各主要零部件合格。

对于 200kW 以上的推进装置,耐久性试验可采用缩放模型的方式进行。采用缩放模型时,和实际产品相比,缩放模型应满足以下要求:

- (1) 产品结构相同:即缩放模型必须和实际产品具有相同的结构形式;
- (2) 轴承表面线速度相同或更高:缩放模型的轴承副线速度必须大于或等于实际产品轴承副表面的线速度;
- (3) 轴承表面比压相同或更高:缩放模型的轴承副比压必须和大于或等于实际产品轴承副表面的比压;
- (4) 轴承表面单位面积的冷却水流量相同或更低:流经缩放模型的轴承副表面单位面积的冷却水计算流量必须与实际产品的轴承副表面单位面积的冷却水计算流量相同,或更低。

4.3.10 功能效用试验

试验项目为推进装置功能试验。转向电机如无型式认可证书,则应随控制系统一起进行型式试验。功能效用试验项目如下:

- (1) 起停功能试验;

- (2) 转向和推进控制试验；
- (3) 控制转换试验；
- (4) 模拟报警功能试验；
- (5) 转向指示器独立性试验；
- (6) 升降/外摆试验（如适用）。

5 建造检验

5.1 系泊试验

5.1.1 应在船舶下水主机调试完毕后进行试验，推进装置应运转平稳，各系统（包括电气控制、监测和报警）工作正常，并进行报警功能模拟测试。系泊试验应至少包含以下试验内容：

推进控制系统的调速试验和系泊推力试验：将推进装置调至额定转速，观测推进装置的电流、电机绕组温升和轴承温升，运行一段时间至电机绕组温升和轴承温升不再持续上升为止，记录对应的电流、电机和轴承温度。

5.2 航行试验

5.2.1 按照批准的船舶航行试验大纲进行试验，满足设计指标要求，各系统工作正常。航行试验应至少包含以下试验内容：

(1) 航行负荷试验：测试推进装置在各种负荷工况下运行的电机绕组温度和轴承温度稳定的最高值。每种工况点运行时间不应少于 30min，记录下各工况点下的绕组温升和轴承温升。

6 建造后检验

6.1 年度检验项目

6.1.1 外观检查，确认设备运行状况良好。

6.1.2 应检查和试验轮缘推进装置转向系统及其有关设备和控制的运行状况。

6.1.3 应确认转向系统所要求的各种报警装置的运行令人满意。

6.1.4 应检查和试验导电滑环的基本性能和运行状况。

6.2 中间检验项目

6.2.1 同 6.1 所列年度检验项目。

6.3 特别检验项目

6.3.1 除应检验 6.1 所列项目外，还应对下列适用项目进行检查：

- (1) 推进装置的旋转环和轴承；
- (2) 转向系统；
- (3) 桨叶应作表面裂纹检测；
- (4) 拆开推进装置，检查水润滑轴承和电机内表面。

6.4 坞内检验项目

6.4.1 轮缘推进装置应进行外部检查，重点是桨叶、旋转环、轴承等。轴承应按照规定要求的磨损量进行更换。