

中国船级社

铜制螺旋桨检验须知

版本号：XMPM05-1.0-2003

生效日期：2003.06.01

目 录

- A 通则
- B.检验依据
- C. 制造厂（车间）的工厂认可
- D. 图纸/文件的批准
- E. 认可后的产品检验
- F. 螺旋桨技术条件及试验/检验要点
- G 缺陷修补
- H.焊接修补
- I.矫正.
- J.热处理
- k. 临时修复
- L.标记和质量证明书
- 附录 A 铜合金焊补工艺评定试验
- 附录 B 铜合金螺旋桨型式试验大纲
- 附录 C 证书填写说明
- 附录 D 组合式螺旋桨单叶力矩测算方法

中国船级社工业产品处

A 通则

A.1 目的

- (1) 为贯彻执行 IACS 统一要求 W24-1996《铸造铜合金螺旋桨》及中国船级社（以下简称本社）对船用螺旋桨检验的规定，特制定《船用螺旋桨工厂认可及检验须知》（以下简称须知）。
- (2) 本须知用于指导本社现场验船师掌握具体检验和技术要领，便于验船师对船用金属螺旋桨进行技术检验。

A.2 适用范围

- (1) 本须知适用于新造铜合金铸造整体式和组合式螺旋桨的检验，包括可调螺距螺旋桨和方位推进器；
- (2) 本须知亦适用于铜制螺旋桨的修补检验。

A.3 定义

- (1) 大型螺旋桨：直径大于 2.5m 的螺旋桨；
- (2) 中、小型螺旋桨：直径 0.6m ~ 2.5m, 包括 2.5m 的螺旋桨；
- (3) 可调螺距螺旋桨：它是一种利用设置于桨毂中的操纵机构能使绕垂直与桨轴的轴线转动的桨叶改变角度（螺距）的螺旋桨。

B. 检验依据

- a. 本社《材料与焊接规范》及其修改通报；
- b. 本社《产品检验规则》；
- c. ISO484/1、2 造船—船用螺旋桨—制造公差；
- d. GB12916-91 船用金属螺旋桨技术条件；

- e. CB*3290 民用船舶铜合金螺旋桨着色探伤方法及评级。

C. 制造厂（车间）的工厂认可

C.1 文字资料审查重点

- (1) 工厂概况：应重点审查工厂的生产历史和生产经验。
- (2) 产品明细：包括工厂日常生产的铸件种类和合金类型，同时详细说明制造厂申请本社认可的螺旋桨的材料级别、螺旋桨毛坯最大重量、螺旋桨最大直径、螺旋桨种类（整体式、组合式等）、冶炼方法、除气方法（对于金属液体与空气接触面积较大的冶炼设备，尤其是反射炉，因为吸气较多，一定要进行合适的除气处理）、浇铸方式、热处理、交货状态。
- (3) 原材料来源一览表：铜合金制备一般采用下列原材料
 - a. 初次金属；
 - b. 二次金属锭（中间合金）；
 - c. 生产中的回炉料，按牌号分类之废品铸件、浇冒口。
- (4) 生产工艺及检验：
 - a. 船用金属螺旋桨制造的主要工艺如下：铸模造型—熔化铜合金—浇铸—保温冷却—铸件清理—热处理（如适用）—毛坯加工—成品检查—安装使用（如适用）。
 - b. 工厂应利用一定的设备或制定相应的工艺，防止在浇铸过程中杂物或熔渣被带进铸型中去。
 - c. 对于利用反射炉化铜的工厂，应制定合适的工艺除去铜水中的气体。对于利用大型感应电炉生产大型螺旋桨的工厂，由于熔

化中的铜水与空气的接触面积较大，吸气较严重，一般也需要进行除气处理；对于利用小型油炉生产小型螺旋桨的工厂，由于坩埚内的铜水不与空气直接接触，且在熔化过程中，铜水表面可以生成氧化膜，进一步与空气隔绝，因此，一般不需要除气处理。

- d. 工厂应制定合适的去应力退火热处理工艺，以减轻铸件在冷却过程中产生的内部应力。
- e. 由工厂设定的检验/试验控制点应包括本社规定的所有检验项目且便于本社验船师进行检验。

(5) 生产及其辅助设备:

- a. 应至少包括熔化、造型、浇铸、除气（如适用）、起重、机加工、焊补等工序所涉及的设备编号、型号及能力等。
- b. 如果需要对铸件进行热处理，工厂应说明热处理设备的尺寸、燃料品种以及温度测量与控制仪器的布置。
- c. 通过审查，应能够确定工厂的最大生产能力。
- d. 确定最大生产能力时应注意各个生产环节中的最差环节，它将直接决定工厂的制造能力。

(6) 试验、检验设备:

- a. 包括型砂性能检测设备、化学成分检验设备、除气效果检测设备（如适用）、力学性能检测设备、静平衡机、动平衡机（如适用）、无损检测设备、金相检验设备（如适用）、密性试验设备（如适用）、尺寸和形状检测设备（螺距规、卡钳、板尺、

各种样板等)、表面粗糙仪、称重仪器等;

- b. 工厂应说明各种检测设备的制造厂商、型号、生产系列号(或工厂固定资产编号)、误差范围等。
- c. 对于大型螺旋桨,测量设备的最大允许误差不得超过被测尺寸或被测之参量公差的一半,或者在几何尺寸测量时不得超过0.5mm,两者选择较大的值。
- d. 对于中、小型螺旋桨,测量设备的最大允许误差不得超过被测尺寸或被测之参量公差的一半,或者,在几何尺寸测量时不得超过0.25mm,两者选择较大的值。
- e. 主要试验设备和主要衡器必须有国家计量部门签发的有效证明文件。
- f. 工厂还应说明螺旋桨及其试样在生产、检验的各个阶段的标识所表明的意义。

(7) 主要生产、检查人员的资格证明:

- a. 化验(包括金属化学成分分析及型砂质量检验)、金相检验、力学性能、无损检测(应具备不低于Ⅱ级资格证书)、焊补人员的资格证明。
- b. 图纸设计人员(如适用)、合同评审人员以及质量检查人员应具备一定资格。
- c. 主要生产设备的操作者应具备一定操作经验和理论资格。

(8) 交货验收条件:

- a. 铜制螺旋桨的材料理化性能、外观及无损探伤可以按照本社

《材料与焊接规范》及其修改通报的相关要求作为工厂检验依据。

b. 静平衡、动平衡要求值的计算方法。

c. 尺寸测量及表面粗糙度测量公差。

(9) 质量管理文件。可以参照本社《产品检验规则》中工厂认可中的相关要求进行审核。

(10) 相关质量记录、铸件标记样本等。

a. 质量记录应符合本社《产品检验规则》第六章 3.2.6 条的要求；

b. 工厂应利用适当方法将打在铸件表面上的钢印标记拓在白纸上形成标记样本，供本社验船师存档备查。

(11) 认可试验大纲：工厂可以按照附录 B 制定试验大纲。

C.2 现场审核要点

(1) 对照经本社审查合格的由工厂提供的文字资料，审核其现场实际情况是否与其一致。

(2) 注意了解工厂图纸设计人员、合同评审人员、质量检验人员掌握的技术文件是否有效并满足本社规范要求，合同评审人员是否熟悉本社检验程序。

(3) 注意确认工厂的焊补工艺的成熟性。

C.3 认可型式试验

(1) 型式试验典型件的选取应按照下面原则进行：

a. 每一级别的铜合金认可至少选取 2 件典型件。建议选取 2 只同型桨，或与已经完成的同型螺旋桨的检查记录进行比

较，以便于考查工厂控制螺旋桨形状、重量偏差的能力。

- b. 申请认可最大毛坯重量的 80%以上（不强制要求）。
- c. 申请认可最大直径的 80%以上。
- d. 应尽量选择生产工艺难度最大的产品（如多炉浇注等）进行工厂认可试验，以考察工厂控制复杂工艺的能力。
- e. 选取的典型产品的图纸资料应经过本社审图部门审查批准。

（2）材料的炉前化学成分分析应包括杂质的含量。注意桶样化学成分分析的快速性。应从机械性能试样上截取样品验证化学成分值。

C.4 年度复查

- （1）对于经常生产螺旋桨的工厂，可检查其主要生产设备的技术状况是否正常；主要检测设备是否都在有效期内及其技术精度状况；技术标准及主要工艺文件（包括配料工艺、浇铸工艺、焊补工艺等）是否有变化；质量管理体系有无变更；主要岗位人力资源是否适任等情况。
- （2）对于虽然经本社认可，但不经常生产螺旋桨的工厂，除按第（1）条进行核查外，还应按型式试验大纲内容进行全面考核。

C.5 工厂认可证书

工厂认可证书的编写可参考附录 C。

D. 图纸/文件的批准

D.1 图纸/文件的批准程序

螺旋桨在制造前，其图纸应按下列步骤进行审查和批准：

(1) 本社船舶审图部门结合具体船舶对螺旋桨图纸/文件的下列内容进行审查：

- a. 螺旋桨强度计算是否满足本社规范要求；
- b. 螺旋桨及其附件所选用的材料级别；
- c. 螺旋桨与螺旋桨轴的结构、安装设计和相关计算；
- d. 组合式螺旋桨（特别是可调螺距螺旋桨）的叶片与桨毂间是否有良好的密封装置及其检验方法。

(2) 本社产品检验部门应结合制造厂具体情况和订货技术协议对螺旋桨图纸/文件的下列内容进行审查，但不必再编写对外的批准文件：

- c. 静平衡计算公式是否满足本须知要求；
- d. 外型尺寸、形状及表面粗糙度的公差是否满足本须知的规定；
- e. 其它技术要求。

D.2 图纸批准时注意事项

如果某产品的图纸资料送审方与该产品的制造厂所在地处于不同单位的辖区，则图纸资料由产品制造厂所在地区的单位办理审批，特殊情况下经该单位同意后，可由送审方所在地的单位办理图纸审批。

E. 认可后的产品检验

E.1 认可后的螺旋桨产品检验项目见表 1。

表 1

检验项目	技术要求
化学成分	F.1
金相检验(如适用)	F.2
计算锌当量(如适用)	F.3
力学性能	F.4
外观检验尺寸、形状公差	F.5
表面粗糙度	F.6
无损检测	F.7
静平衡	F.8
动平衡(如适用)	F.9
密性试验(如适用)	F.10
称重	按实际重量

E.2 产品检验证书

认可后的产品检验证书的编写及签发见附录 C。

F. 螺旋桨技术条件及试验/检验要点

F.1 材料

目前，制造螺旋桨的金属材料主要有铜合金，也有部分使用铸钢、铸铁和不锈钢材料。在我国的内河小船上也有采用钢板焊接螺旋桨。

(1) 铜合金螺旋桨材料

由于铜合金螺旋桨的综合优点，尤其是其优良的耐海水腐蚀性能，不但目前在海洋船舶上应用普遍，而且从分类上，各国也日趋统一。

本社规范把铜合金螺旋桨分为 4 个级别。铸件的化学成分和机械性能见表 2 和表 3。

分体浇铸的吉尔试件的机械性能仅仅作为一个统一的判定标准来代表每炉铜合金的性能，它并不是铸件本体的性能。通常，铸件本

体的机械性能要比分体吉尔试件的机械性能低 30%。

经本社同意，工厂可以在铸件上浇铸连体试件。连体试件应置于桨叶的 0.5R 和 0.6R 之间（R 为螺旋桨半径）。注意，不允许用热切割方法切取试件。

工厂通常在炉前仅对 Cu、Al、Mn、Zn、Fe 这五个主要元素进行逐炉的桶样分析，而对于 Ni、Sn、Pb 三个杂质元素则进行成品样分析，对于采用多炉浇铸工艺的螺旋桨，这三个杂质元素的成分实际上是中间包的成分，而非逐个熔化炉的成分。这种方式一般是可以接受的。但应注意个别易烧损元素，如 Al、Zn 尤其是黄铜合金（包括本社规范中的一、二级铜合金）中的 Zn 元素，因为在从出炉到浇铸的过程中仍存在较大烧损，所以应采取措施以确定其最终成分。

表 2 铜制螺旋桨铸件的化学成分 (%)

铜合金种类	Cu	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb
1 级锰青铜 Cu ₁	52-62	0.5-3.0	0.5-4.0	35-40	0.5-2.5	1.0	1.5	0.5
2 级镍锰青铜 Cu ₂	50-57	0.5-2.0	1.0-4.0	33-38	0.5-2.5	2.5-8.0	1.5	0.5
3 级镍铝青铜 Cu ₃	77-82	7.0-11.0	0.5-4.0	0.1	2.0-6.0	3.0-6.0	0.1	0.03
4 级锰铝青铜 Cu ₄	70-80	6.5-9.0	8.0-20.0	6.0	2.0-5.0	1.5-3.0	1.0	0.05

*, **Cu₁ 和 Cu₂ 叫锰青铜和镍锰青铜不恰当，因为这两种材料实质上是铜锌合金，属黄铜。应称为高强度黄铜。

表 3 铜制螺旋桨的力学性能

铜合金种类	抗拉强度 σ_b 不小于(N/mm ²)	规定非比例伸长应力 * $\sigma_{p0.2}$ 不小于(N/mm ²)	伸长率不小于(%)
1 级锰青铜 Cu ₁	440	175	20
2 级镍锰青铜 Cu ₂	440	175	20
3 级镍铝青铜 Cu ₃	500	245	16
4 级锰铝青铜 Cu ₄	630	275	18

*在油压无键安装型式的螺旋桨的安装工艺中,规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 是用于计算螺旋桨套合到轴上的轴向推入量的一个参数。对于其它型式的螺旋桨, $\sigma_{p0.2}$ 值仅供参考,如果没有特别需要,在拉力试验中可不作要求。

国内目前一些现存旧桨的换新仍沿用过去的铜合金材料牌号,其化学成分及力学性能符合 CB818 的规定,验船师可按本社批准的图纸要求进行检验。在进行机械性能试验时,验船师应按 CB818 的规定增加冷弯试验和布氏硬度试验,同时注意其拉力试样尺寸为: $\phi 10\text{mm}$, $L_0=50\text{mm}$ 。对于 ZHAL67-5-2-2 和 ZHMn55-3-1 应逐个浇包检验金相组织。其 α 相计算方法和结果应符合本须知 F.2 的规定。

如铜合金螺旋桨铸件仅由满足本社要求的化学成分的合金铸锭熔化制备时,且在熔化时未加入其它的合金添加剂,则铸锭制造厂的化学成分分析可以被认为是螺旋桨铸件的化学成分。但对于在铜锌合金(Cu1、Cu2 等)可能涉及的不可忽视的 Zn 的烧损问题,需要引起重视。如果在熔炼过程中向熔体添加了任何初次金属、回炉料或废料等,则必须重新按本社规范要求进行化学成分分析。

- (2) 为了提高螺旋桨的性能,应允许制造厂采用本社规范中没有推荐的新型材料,但制造厂应将该材料的化学成分、机械性能、热处理工艺、焊补工艺和耐海水腐蚀性能等资料提交本社审查。

F.2 金相组织

Cu1 和 Cu2 型合金的螺旋桨产品应逐个浇包取样进行金相检验,测定 α 相的比例。试样可由拉伸试样的一端截取,其显微组织是两相结构,即较硬的 β 相基体中分布着较软的、韧性好的 α 相粒子,这两相组织的相互比例影响着材料的机械性能。 β 相的含量增高,

会导致材料的抗拉强度增高，硬度增高，韧性降低。在海水中， β 相对应力腐蚀开裂也十分敏感。因此， β 相应保持低含量，以保证足够的冷加工塑性和耐腐蚀疲劳性能。

经验表明，锰青铜螺旋桨中的 α 相含量约为 40% 时，其抗拉强度、韧性、腐蚀疲劳强度特性为最佳。 α 相含量小于 25% 的铜合金，在焊补修复的周围区域，具有应力腐蚀开裂敏感性。

为保证足够的韧性，由 5 个读数计算出的平均值至少应含有 25% 的 α 相组织。

F.3 计算锌当量

鉴于目前铜制螺旋桨大多以铸态交货，其在冷却中的相变过程基本相同，为满足 F.2 中对高强度黄铜螺旋桨金相组织中 β 相应保持低含量的要求，在铜合金成分设计时可以利用锌当量计算来近似评价组织中的 β 相所占比例。

$$\text{锌当量} = 100 - (100 \times \text{Cu}\%) / (100 + A) \quad \%$$

$$\text{式中：} A = 1 \times \text{Sn}\% + 5 \times \text{Al}\% - 0.5 \times \text{Mn}\% - 0.1 \times \text{Fe}\% - 2.3 \times \text{Ni}\%。$$

从上式可以看出各种化学元素对合金形成 β 相组织的影响。在公式中 A 的代数表达式中，前面的系数为负数的元素 Mn、Fe、Ni 有利于减少 β 相的比例。

锌当量应不超过 45%，当 α 相的比例达到或超过 25% 时，可不考虑锌当量的要求。

F.4 机械性能试样

机械性能试样按照本社《材料与焊接规范》第 1 篇第 9 章 9.1.6

条的要求制取。

F.5 外观、尺寸、形状公差检验

- (1) 验船师应对所有螺旋桨产品在裸露条件下进行外观检查, 包括桨毂内孔和螺栓孔的内表面, 特别是 A 区 (见本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第四节)。
- (2) 验船师应在精加工前后对铸件表面进行外观检验, 在进行外观检验前, 螺旋桨表面应保持清洁。
- (3) 铸件上的微小缺陷如夹砂、夹渣、冷疤等均应予以修饰; 较大的影响使用的缺陷如非金属夹杂、缩孔、气孔和裂纹等应用适当的方法予以消除, 并按照本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节的有关规定进行修补。
- (4) 完工的螺旋桨的尺寸、形状公差应符合批准图纸的要求, 但对于大型螺旋桨一般不低于 ISO 484 中的 1 级。
- (5) 制造厂应对完工的螺旋桨的尺寸、形状进行测量, 确保其符合本社批准图纸的公差要求。测量报告应提交本社验船师进行审核。验船师可以要求现场见证。测量方法可参考 ISO 484。

F.6 表面粗糙度

完工螺旋桨的表面粗糙度应符合本社批准图纸的要求, 但对于大型螺旋桨一般不低于 ISO 484 中的 1 级。

F.7 无损检测

(1) 着色探伤

对于直径小于 1.5m 的小型螺旋桨, 如果没有特殊要求, 可以不

做探伤。

螺旋桨应按照本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节的 8.4.3 条的规定分为三个区进行着色探伤，用以发现气孔、砂眼、夹渣、冷隔、未熔合和裂纹等表面开口缺陷。同时提供探伤报告。

通常 A 区检测应在验船师在场下进行，对 B 和 C 区进行检测时验船师可要求在场。如果螺旋桨已通过研磨或焊补进行了修整，则修整过的区域无论是属于哪个区，均应在验船师在场的情况下进行着色探伤，并且应按照 A 区的标准进行检验。

工厂应在修补前向本社验船师提供所有螺旋桨铸件上要求焊补修理的缺陷的位置和尺寸、面积，在征得同意后方可按照本须知相关要求要求进行焊补。验船师可以要求对铸件表面进行轻微腐蚀以确认铸件的焊补情况。腐蚀溶液可按照下列选取：

- a. 铜合金：氯化铁溶液
- b. 铸钢件：4%硝酸酒精
- c. 马氏体、铁素体不锈钢：12.5ml 盐酸+2.5g 苦味酸+250ml 酒精
- d. 奥氏体不锈钢（按体积）：1/2 甘油+1/3 盐酸+1/6 硝酸

着色探伤前，探伤表面必须彻底清洁、干燥，不能有染色、杂质、油渍等异物，为保证探伤结果，表面粗糙度应高于 $6.3\ \mu\text{m}$ 。

着色探伤灵敏度：至少可发现在灵敏度对比试块上宽度为 $1\ \mu\text{m}$ 的裂纹。螺旋桨材料温度过高或过低可影响着色检测的灵敏度，导致探伤结果不准确或清洗困难。着色探伤温度控制应保持在 15°C 到 50°C 。

℃之间。

渗透剂的使用可采取诸如浸染、涂刷或喷涂等方法，从而在表面形成一层均匀的渗透剂薄膜。这层薄膜应保持足够长的时间，以使渗透剂达最大程度的渗透。必需的渗透时间取决于所使用的渗透剂型式和螺旋桨的材质，对于青铜材料渗透时间应在 10 至 30 分钟。

不同区域内的缺陷大小和数量应不超过本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节的表 8.4.3.5 的规定。

(2) 磁粉探伤:

磁粉探伤方法不适用于铜制螺旋桨。

(3) 射线探伤和超声波探伤

对怀疑内部可能有严重缺陷处，验船师可要求做进一步无损检测。对缺陷判定标准，可由制造工厂和本社依据公认的标准经协商确定。

a. 超声波探伤:

超声波检测不适用 Cu₁ 和 Cu₂，因为这两种材料对超声波有很高的减幅吸收力。但是 Cu₃、Cu₄ 是可以利用超声波检测。

b. 射线探伤:

300KV X 射线可检测 50mm 厚的铜合金，钴 60 γ 射线可检测 160mm 厚的铜合金。由于厚度受到限制和其他实际原因，射线探伤法对厚度较大的螺旋桨是不太适用的。

F.8 静平衡

当螺旋桨每一叶片的重量或相邻两叶片之间的夹角不等时，就产生整个螺旋桨重心不在旋转轴上的静力不平衡现象。若不加以平

衡就会影响螺旋桨的工作性能，产生振动。

所有螺旋桨均加工完毕后均应根据批准的图纸要求进行静平衡试验。检验方法是，在螺旋桨锥孔中心装一根轴，把轴的两端放在水平的滚珠轴承支架上（或类似装置），是螺旋桨能自由转动并自行停止，这时较重的桨叶总是向下。若在较重的桨叶上去掉多余的重量就能使螺旋桨处于随遇平衡状态。多余重量需从叶背上剔除，且面积要宽广些，剔除后的表面匀顺光滑。

在检验静平衡时，允许螺旋桨存在一定的不平衡重量。

最大不平衡重量(挂重)可按下列公式计算：

(1)GB12916 标准规定

$$G=Cm/Rn^2$$

式中：G—计算挂重， ；

m—螺旋桨质量， ；

R—螺旋桨半径，m；

n—转速，r/min；

C—系数，按螺旋桨转速 n 及螺旋桨级别系数 K 而定。

当 $n \geq 180\text{r/min}$ 时， $C=K$

当 $n < 180\text{r/min}$ 时， $C=K \cdot (n/180)^2$ ，系数 K 值见表 4。

表 4

螺旋桨级别	S 级	1 级	2 级	3 级
K	15	25	40	75

当螺旋桨直径 $D \leq 1.5\text{m}$ 时，可以按下列公式计算 G 值。

$$G = 0.025D^2 + 0.02$$

式中： G —计算挂重， kg ；

D —螺旋桨直径， m 。

(2) ISO484 标准规定：

$$P = Cm/Rn^2$$

$$\text{或 } P = Km$$

采用二式中较小者

其中： P —计算挂重， kg ；

m —螺旋桨重量， kg ；

n —转速， r/min ；

R —螺旋桨半径， m ；

C 和 K —系数，根据级别按表 5 选取。

表 5

级别	S	I	II	III
C	15	25	40	75
K	0.0005	0.001	0.001	0.001

在计算不平衡挂重时，上述系数的选取可以按照以下原则：

对于大型螺旋桨，应按照 I 级以上选取系数；

对于中小型螺旋桨，可以按照订货技术协议中要求选取系数。

螺旋桨作静平衡检验时，在试验台上将挂重分次挂于各桨叶叶梢最大厚度点上，然后将挂重的桨叶叶梢最大厚度标记点转到水平位置

并使其静止，当去掉支承后，挂重的桨叶向下转动即为合格。

对组合式螺旋桨的静平衡试验，首先应对单个叶片进行力矩平衡试验，分别确定各个桨叶重心对于螺旋桨轴线的平衡力矩（平衡力矩的测算方法详见附录 D），然后在与桨毂与桨叶按照最差力矩平衡条件组装后进行静平衡试验。以保证组合式螺旋桨在现场安装时桨叶按何种顺序安装均可满足静平衡条件。

对于组合式螺旋桨，应将其螺距调整到 0 时进行静平衡试验。

对于组合式螺旋桨，由于大多数的铸造厂只生产其部件而无法对其装配后进行静平衡试验，而造船厂在对其装配后由于不具备试验条件也无法对其进行静平衡试验。根据此实际情况，某些铸造厂采取的对单个桨叶进行力矩平衡试验的方法是值得推荐的，多年的实践证明，利用此种方法检验的组合式螺旋桨在性能上还是可靠的（4 叶螺旋桨力矩平衡的基本原理及试验方法详见附录 D，其余型号螺旋桨的不平衡力系的计算应被本社认可）。

检验静平衡用装置的心轴的摩擦力矩不大于下式中 M 值。

$$M = (G/2) R$$

式中：G—计算挂重，kg；

R—螺旋桨半径，m。

F.9 动平衡

若各桨叶重心的轴向位置不一致，则螺旋桨转动时各叶产生的离心力将不在垂直于桨轴轴线的同一平面内，从而造成不平衡动力的力偶，这将导致螺旋桨和轴系的振动，这种现象对高转速螺旋桨的影响

尤为显著。然而，由于螺旋桨处于不均匀流场中受到的不均匀水动力远较上述不平衡动力为大，故有人认为不必作动平衡检验。

本社规范规定对额定转速在 500r/min 以上的螺旋桨应进行动平衡检验。

检验动平衡的方法是将螺旋桨装置在弹性支架上，当螺旋桨作高速转动时，不平衡的离心力将使支架振动，根据支架振幅大小，确定不平衡程度。

在检验动平衡时，允许螺旋桨存在一定的不平衡力矩，其值为：

$$M \leq GL/100$$

式中 M —允许遗留的不平衡力矩， kgf.m;

G —螺旋桨重量， kgf;

L —桨叶轴向投影长度， m。

F.10 密性试验

若螺旋桨与轴及毂冒的连接处要求水密时，应能进行密性试验。

密性试验可以按照 6MPa, 10min 的要求或本社批准的图纸要求进行。

F.11 称重试验

(1) 每件螺旋桨应进行称重。但在认可后的制造检验时对实际重量和理论重量的偏差不作硬性要求，本社验船师可以根据情况与工厂协商是否在型式认可试验中按照下面(2)、(3)条要求对螺旋桨重量进行检验。

(2) 首件螺旋桨成品重量偏差一般应不超过理论重量的 $\pm 4\%$ 。对同型第二件及以后螺旋桨成品重量根据首件螺旋桨成品重量确

定，重量差值一般不超过理论重量的 $\pm 2\%$ 。

(3) 左旋螺旋桨与右旋螺旋桨重量差值应不大于由公式(3)确定的值。

$$\Delta G = m \times 2\% + 0.5 \dots \dots \dots (3)$$

式中： ΔG —左、右旋螺旋桨的实际重量差， kg；

m —左右旋螺旋桨的理论重量， kg。

G 缺陷修补

G.1 缺陷修补方法

螺旋桨缺陷修补的主要方法

- a 利用塑料填料进行填充。
- b 采用如打磨、铣磨或铲削等机械方法去除缺陷。
- c 焊接修补。
- d 矫正

G.2 缺陷修补方法的选择

- (1) 对于检查中发现的不影响强度的细小表面缺陷（直径小于 1mm 的圆气孔），除非是连续或密集型，一般可不修补。
- (2) 对于桨毂端面或孔的内表面的局部气孔，如果它们对铸件强度并不构成有害影响，经适当处理后，可采用适当的塑料填料进行填充。铸造厂应保存所有曾作过此类修补的铸件的记录及其细节。
- (3) 若发现铸件上有不允许存在的缺陷（如裂纹、缩孔、夹砂、夹渣、非金属夹杂、气孔等可能削弱螺旋桨安全使用的缺陷），一

般可采用磨、削、铣等机械方法将其去除。本社验船师应利用着色探伤的方法来确认缺陷是否完全去除。

(4) 消除缺陷所产生的浅槽或凹陷, 如果其不能明显减低螺旋桨强度可以适当打磨光顺, 以避免应力集中和减轻空泡剥蚀。

(5) 若确有焊补的必要, 应事先提交详细的焊补工艺和焊补范围等资料并经本社验船师认可后才可进行。

(6) 各区域可焊补的总面积和允许焊补的单个缺陷大小可参照本须知的表 6, 但应避免面积小于 5mm^2 的焊接修补。

H. 焊接修补

H.1 允许焊补的区域

允许进行焊接修补的区域见表 6

表 6 新螺旋桨允许的焊补修整面积

严格要求 区域或范围	单个缺陷焊补的最大面积	焊补的最大总面积
A 区	通常不允许焊补	
B 区 C 区	60cm^2 或 $0.6\% \times S$ (取其较大者)	B 和 C 两区内焊补面积之和为 200cm^2 或 $2\% \times S$, 取其较大者, 但对压力面上的 B 区, 不得超过 100cm^2 或 $0.8\% \times S$, 取得较大者.
其它范围 (见注)	17cm^2 或 $1.5\% \times$ 范围面积, 取其较大者	50cm^2 或 $5\% \times$ 范围面积, 取其较大者.
表中: S— 一个桨叶一面的面积= $0.79D^2B/N$; D—螺旋桨竣工直径; B—展开面积比;		

N—桨叶数.
<p>注：其它范围包括下列部位：</p> <p>(a) 内孔；</p> <p>(b) 桨毂的前后面；</p> <p>(c) 桨毂处表面至叶根圆角的起始处；</p> <p>(d) 可调螺距螺旋桨桨叶叶爪的内表面；</p> <p>(e) 可调螺距螺旋桨整流罩的所有表面；</p> <p>(f) 整体铸造轴颈的表面至可调螺距螺旋桨除叶根圆角外的桨叶.</p>

H.2 焊补时应注意的问题

- (1) 对于 B 区缺陷的修复深度超过打磨修复允许范围的小缺陷可进行焊补修复，但修复的范围应限制在深度不超过 $t/3$ 。
- (2) 内径表面部分的焊接，由于不接触海水而不易产生应力腐蚀裂纹，所以不必进行消除应力处理。
- (3) 对于桨毂外表面的焊补，特别是在桨叶叶根部分的焊补，由于焊接产生热应力，应注意避免裂纹的产生。
- (4) 经验表明，不论多小的裂纹若产生在边缘都是危险的，这种裂纹是一种很强的应力集中因素，这种情况下，螺旋桨若受到冲击，会使大部分桨叶断裂，而其它无裂纹处可能使桨叶弯曲，因此，采取恰当的修补程序以消除任何边缘裂纹就显得非常重要。
- (5) 焊补应在无风和非恶劣气候条件的遮蔽处所进行。
- (6) 焊接开始前，工厂应向本社提交包括焊接设备、坡口型式、焊接位置、焊接参数（电流、电压、焊接速度）、母材厚度、填充金属、预热、层间温度控制、焊后热处理以及检验程序等的详

细焊接工艺程序技术说明书。本社验船师应在实际焊补前按照本须知的规定进行焊补工艺评定。铜制螺旋桨的焊补工艺及焊工资格评定按附录 A 中规定进行。

- (7) 成功的铜合金螺旋桨的焊补要求焊工不仅有丰富的焊接经验和
技术还要掌握预热、焊后消除应力的知识，即焊工应持有 CCS
焊工证书（考核办法见附录 A）。
- (8) 焊补前应消除焊补区域附近 150mm 的金属屑、油污、泥沙、水
锈、氧化物及一切污物。
- (9) 缺陷磨光后，验船师应在现场进行着色探伤检查，以确认缺陷
清除是否干净。
- (10) 采取适当的加热方法有助于桨毂的拆卸和安装，而且温度
不允许超过 150℃，热源的集中是不允许的。比较合适的热源是
蒸汽和电金属加热器。
- (11) 许多证据表明锰青铜（Cu₁）材质的桨毂由于采取不当的加
热方法在从轴上拆卸时会产生裂纹。
- (12) 袋装固体二氧化碳（干冰）绕覆在轴前后端有助于松动螺
旋桨且是安全的方法。
- (13) 青铜材质桨的各种焊补可采用金属电弧焊，对于 Cu₁，Cu₂
材料厚度小于 30mm，气焊即可达到满意的焊接效果。
- (14) 药皮焊条的电弧焊和气体保护焊工艺（GMAW）最常被采
用。钨极氩弧焊（GTAW）由于有较高热量输入，所以使用时应
特别注意。

- (15) 所有青铜合金最好采用平焊。如果无法采用这种焊接形式，最好采用惰性气体保护焊（MIG）。
- (16) 层间温度必须保持不高于表 7 的规定值，这点对于镍铝青铜（Cu₃）材质尤为重要。
- (17) 焊补过程中，在焊下一焊道前应将上一焊道所有焊渣、咬边和其它缺陷清除掉。
- (18) 工厂应保存每一次焊补的记录，记录中应注明焊补工艺、热处理以及焊补位置和范围。本社验船师可以随时对焊补记录进行审查。

I. 矫正.

I.1 热矫正

对弯曲桨叶的热矫正可通过对弯曲部件和区域进行加热，其温度范围表 7。加热应缓慢均匀。由于火焰较集中，不可采用氧化乙炔和氧化丙烷加热，应提供充分的时间使热量非常均匀地传递到桨叶部分的整个厚度。在整个热矫正过程温度应控制在规定范围，热电偶仪器可用于测量温度。保温和均匀降温可采用覆盖石棉毯的方法。

I.2 冷矫正

冷矫正方法只可用于桨叶尖部和边缘部件的较小缺陷修复。锰青铜（Cu₁）、镍锰青铜（Cu₂）和锰铝青铜（Cu₄）的冷矫正后应进行热处理，因为这三种材质合金易于产生应力腐蚀裂纹。

I.3 施加载荷

热矫正和冷矫正只能采用静态载荷。

J.热处理

J.1 应力腐蚀

- (1) 锰青铜 (Cu_1) 和镍锰青铜 (Cu_2) 二者对应力腐蚀具有敏感性，当桨叶边缘局部加热至 300°C 以上时，受热区的两边冷却至常温过程，会产生较高的应力，从加热温度快速的冷却会导致 α 和 β 相的不理想分布。这种情况下的螺旋桨在海水中易于产生应力腐蚀裂纹。因此，常会看到局部加热修复的区域自边缘向区域内延伸的裂纹，这种型式裂纹可在浸入海水后 3 个月内产生，但若应力较低，则需一年或更长时间才能表现出来，由于缓慢冷却会给 α 相形成以充足的时间，所以控制冷却速度可以有效地解决此问题。因此，对这两种材质，无论是预热还是应力消除操作，都必须慎重选择合适的加热程序，这意味着加热应是缓慢的，以便热量能完全扩散。如果要使应力扩散到桨叶的大部分区域（包括修复部分），则应将桨叶缓慢均匀地加热至 350°C 以上，然后，桨叶用绝热毯覆盖。
- (2) 镍铝青铜合金 (Cu_3)，此合金几乎不受应力腐蚀裂纹影响，因而这个问题在修复中不必考虑。但 Cu_3 合金在 $200^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$ 之间易于出现脆裂，如果要求进行热处理，则加热温度至少应在 450°C 以上。

J.2 预热

焊前预热必须仔细进行以避免局部过热，电阻加热器（金属带加热器）和合适的瓦斯喷灯都是本须知推荐采用的。氧化丙烷和氧化乙

炆喷灯由于易产生太集中的热量，所以应避免使用。

应使热量完全传递至整个修补区域厚度和 300mm 宽的毗邻区域。必须选择合适的加热部位，以使最大程度地防止热量扩散和受热区域的收缩。对于桨叶 0.7R 内的修复，这种加热将包括整个桨叶宽度的范围。

温度可由热电偶等仪器来测量。预热温度范围参见表 7，且预热温度应一直保持到焊补结束。焊补结束后，螺旋桨应缓慢冷却至 100℃。

表 7 预热温度范围

铜合金 级别	填充金属	最低预 热温度 ℃	最大道 间温度 ℃	消除应力热 处理温度℃	热矫正温度 ℃
Cu1	铝青铜 锰青铜(见注 1)	150	300	350—500	500—800
Cu2	铝青铜 镍锰青铜	150	300	350—550	500—800
Cu3	铝青铜 镍铝青铜(见注 2) 锰铝青铜	100	250	450—500	700—900
Cu4	锰铝青铜	100	300	450—600	700—850

注：1) 镍铝青铜和锰铝青铜也是可以允许的。

2) 如果填充金属为镍铝青铜则不要求消除应力处理。

J.3 消除应力

用于消除应力的热处理可以采用全部螺旋桨炉内整体加热或修复区域局部加热的办法来进行，由于第一种方法能达到均匀的结果和较好的控制，因此，本须知建议采用此方法。

若有可能，消除应力热处理应在有合适的气压和温度控制的炉内进行。铸件上应连接足够数量的热电偶以测量最厚和最薄处的温度。

各种型号合金的热处理温度见表 7，在达到表 7 所规定的相应热处理温度后，保温时间按每 25mm 厚度 20 分钟确定，且最长时间为 4 小时。

冷却时应适当加以控制以使有充分的时间开成良好的微观结构并使残余应力降至最小。通常降温速度应不超过 50℃/小时，直至温度降至 200℃ 以下。

如果工厂的焊补工艺比较成熟，并且采取了有效的措施防止在铸件上产生大的温度梯度，则可采用局部消除应力热处理。注意应对螺旋桨焊补部位相邻的区域进行适当的监测，以确认其保持了合适的温度梯度。

为了控制冷却速度的缓慢降低，对于局部热处理可采用石棉毯或类似材料覆盖受热区的办法。

局部热处理可采用通过瓦斯喷灯或电金属带加热器缓慢加热至合适的温度范围来进行。

在整个热处理过程中，应对螺旋桨桨叶提供必要的支撑。

焊补完毕，焊补区域应打磨光滑后进行外观检查和着色探伤。如果对螺旋桨或桨叶进行了消除应力的热处理，则首先在热处理之前应进行外观检查，然后在热处理之后还要进行外观检查和着色探伤。

k. 临时修复

如果由于时间和费用问题，永久修复不能进行时，营运船舶的损

坏螺旋桨可采用临时修复的办法,在这种情况下,关于降低转速(RPM)或螺距和相对短的时间内再检验的遗留项目要求由本社验船师给出。

一旦桨叶断掉,可通过截断其对应另一桨叶的部位,而使轴系保持平衡,则船舶在短时间内继续航行。

如果临时修复中,转速的减小必须考虑时,容易产生严重振动的速度范围必须避免。

L.标记和质量证明书

L.1 制造厂应对所有已验收的螺旋桨铸件清晰地标上本社的标志和下列标记:

(1) 整体式螺旋桨应在靠近桨毂小端、两叶之间的回转面上,刻印

下列标记:

- a. 制造厂名、最后检验日期;
- b. 螺旋桨图号;
- c. 材料等级或起缩写符号,炉号;
- d. 直径,螺距,盘面比;
- e. 旋向;
- f. 重量;
- g. 冰级符号,如适用;
- h. 制造厂检验合格标记;
- i. 本社证书号;
- j. 本社负责检验的单位及其钢印
- k. 负责检验的验船师的名字标记

(2) 组合式螺旋桨除了在桨毂表面上标上 G.1(1) 所规定的标记外, 还应在桨叶的根部, 在每叶的压力面方向打上桨叶序号, 在备用桨叶上打上“BY”记号, 在桨叶固定螺母的下端面及螺柱(螺栓)的端面打上两位数字, 其第一位表示桨叶号, 第二位表示螺柱(螺栓)或螺母号。

(3) 允许到外单位进行加工的铸件应具有下列标记:

- a. 螺旋桨(桨叶、桨毂)图号;
- b. 炉号;
- c. 材料牌号;
- d. 制造厂检验合格标记;
- e. 本社负责检验的单位及其钢印;
- f. 负责检验的验船师的名字标记;
- g. 制造厂名

L.2 每一已验收合格的螺旋桨铸件应具有下列内容的质量证明书:

- a. 订货方名或订货号;
- b. 船名或工程号, 如已知;
- c. 螺旋桨图纸的图号;
- d. 螺旋桨的直径、桨叶数、螺距、旋向;
- e. 大侧斜角螺旋桨的侧斜角;
- f. 成品桨的重量;
- g. 合金型号、炉号、化学成分;
- h. 产品编号;

- i. 热处理编号，如适用；
- j. 尺寸、形状测量记录；
- k. 静平衡检查记录；
- l. 动平衡检查记录；
- m. 密性试验记录，如适用；
- n. 无损检测方法及其结果；
- o. 力学性能试验结果；
- p. 金相检查中 α 相的比例（仅适用于 Cu1 和 Cu2 合金）。
- q. 其他还应说明的事项。

附录 A：铜合金焊补工艺及焊工资格评定试验

1 通则

评定试验中所采用的焊接程序、坡口角度、熔敷金属、预热和消除应力热处理应和实际的焊补工作相一致。

2 焊补工艺试板制备

(1) 按照图 1 所示，制备 2 块板厚不小于 30mm 的平位置对接焊试板。

(2) 按照图 1 所示在焊接好的试板上截取 2 个拉伸试样、3 个宏观断面试样。拉伸试样尺寸见图 2。

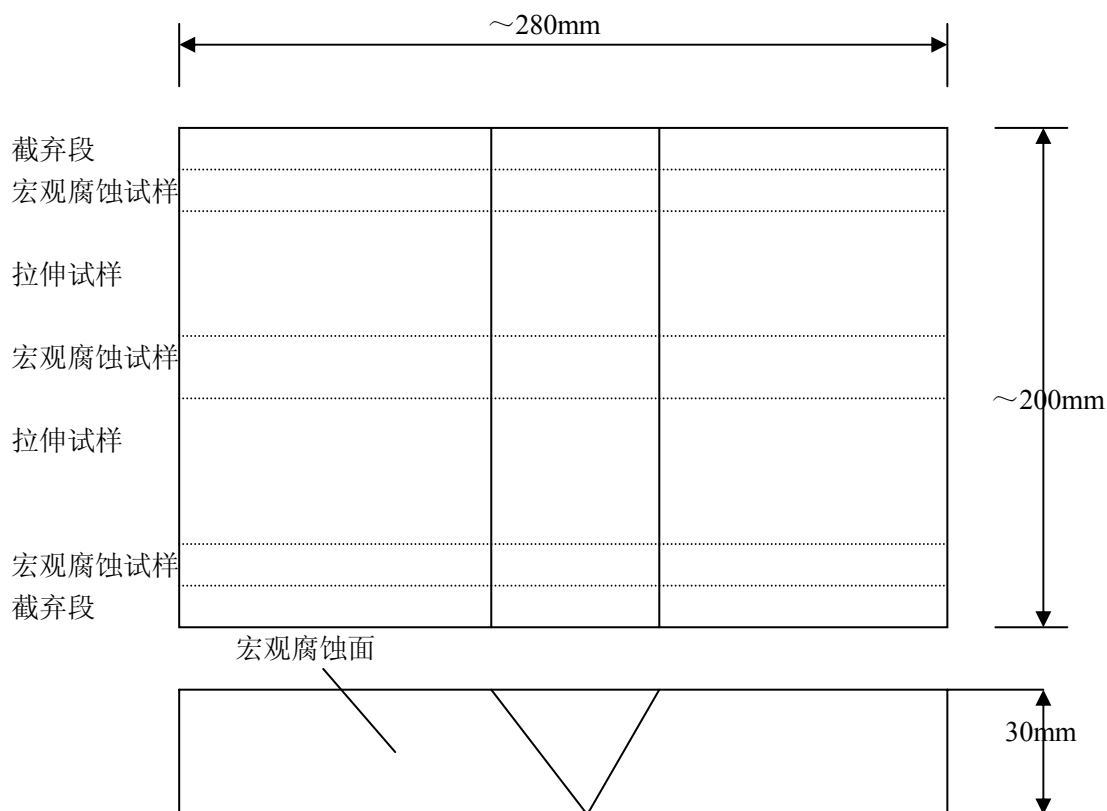


图 1 试验试样

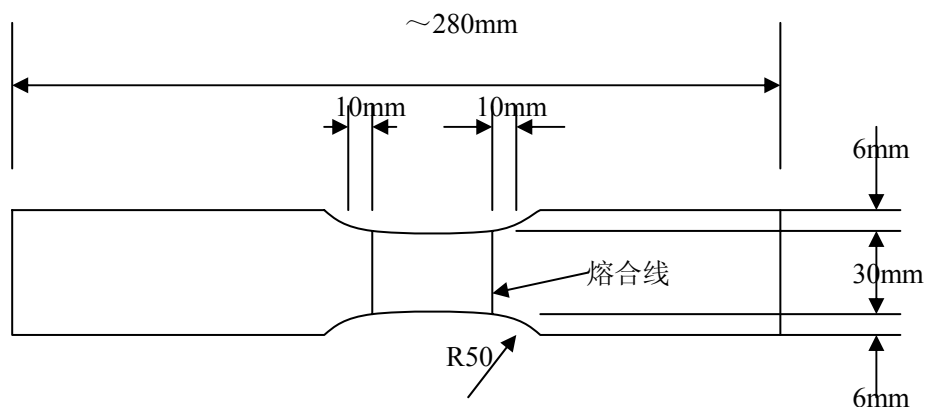


图 2 拉伸试样

3. 试验与检验

(1) 无损探伤

焊接完成后，焊区应进行 100%着色检测，不允许有裂纹。

(2) 宏观腐蚀

取 3 个宏观腐蚀试样，见图 1。

腐蚀剂制备：5g 氯化三铁；

30ml 盐酸；

100mm 水。

不允许有裂纹和大于 3mm 的气孔。

(3) 机械性能试验

取 2 个拉伸试样，尺寸如图 2。抗拉强度要求值见表 8 也可采用其它公认的标准制备拉伸试样。

表 8 抗拉强度最小值

合金级别	抗拉强度 (N/mm ²)
Cu1	370
Cu2	410
Cu3	500
Cu4	550

(4) 对于 Cu1 和 Cu2 级合金的焊补试验，还应取样对熔敷金属区、热影响区和母材进行金相检查，拍摄这三个区域 100x 的金相照片。

附录 B 铜合金螺旋桨型式试验大纲
XXX 工厂申请中国船级社工厂认可
型式试验大纲

A、产品认可范围：

A.1 材料级别： xxx

A.2 最大直径： xxx

A.3 铸件最大重量： xxx

B、工厂认可典型件：

B.1 产品样本明细：

产品名称： xxx

图号： xxx

本社图纸批准号： xxxxxxxxxxxx

材料级别： xxx*

直径： xxx

螺旋桨型式： xxx

螺旋桨结构： 整体式或组合式

生产工艺： 冶炼方式+浇铸方式+除气方式（如有）+造型材料

热处理工艺： xxxxx

毛坯理论重量： xxxx

成品理论重量： xxxx

B.2 取样技术条件：

（1）工厂应说明浇铸方法并提供标有浇、冒口系统的简图。

(2) 试件应采用与螺旋桨的铸型相同的造型材料，并应在同样的冷却条件下单独浇铸本社规范规定的吉尔型试件。

(3) 铸件由 X 个浇包浇铸而成，取 X 个吉尔型试件，分别在 XX 时候浇铸。每个吉尔型试件进行一套拉力试验、成品化学成分分析和金相检验（如有时）。

(4) 逐炉进行桶样化学分析。

B.3 试样尺寸：

每个试件按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章表 2.2.2.1 中 1

(B) 的规定制取拉伸试样。

C.型式试验项目：

检验项目	技术要求
化学成分（桶样、成品）	D.1
金相检验（如适用）	D.2
计算锌当量（如适用）	D.3
力学性能	D.4
外观检验尺寸、形状公差	D.5
表面粗糙度	D.6
无损检测	D.7
静平衡	D.8
动平衡（如适用）	D.9
密性试验（如适用）	D.10
称重试验	D.11
焊补工艺及焊工资格评定	D.12

D. 技术条件

D.1 化学成分

螺旋桨的化学成分应符合：（按照典型件的实际情况填写）

D.2 金相检验

α 相的比例取 5 次读数的平均值。测定结果 α 相不低于 25%。

D.3 计算锌当量

Cu1 和 Cu2 型合金的螺旋桨产品的锌当量按照 CCS《材料与焊接规范》第 9 章 9.1.3.3 条的公式进行计算。

锌当量不超过 45%，当 α 相的比例达到或超过 25% 时，可不考虑锌当量的要求。

D.4 力学性能

力学性能试验应测定其抗拉强度、0.2% 规定非比例伸长应力和伸长率。试验标准为：（按照典型件的实际情况填写）

D.5 外观、尺寸、形状公差检验

- （1）验船师应对所有螺旋桨产品在裸露条件下进行目测检查，特别是 A 区（见本社《材料与焊接规范》第 2 篇第 8 章第四节）。在进行目测检验前，螺旋桨表面应保持清洁。
- （2）铸件上的微小缺陷如夹砂、夹渣、冷疤等均应予以修饰；较大的影响使用的缺陷如非金属夹杂、缩孔、气孔和裂纹等应用适当的方法予以消除，并按照本社《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节的有关规定进行修补。
- （3）螺旋桨的尺寸、形状公差标准：（按照本社批准图纸的实际情况填写）

D.6 表面粗糙度

完工螺旋桨的表面粗糙度标准为：（按照本社批准图纸的实际情况填写）

D.7 无损检测

无损检测标准为: XXXX

D.8 静平衡

允许的静平衡挂重为: (按照本社批准图纸的实际情况填写)

D.9 动平衡

允许的动不平衡最大力矩为: XXXX

D.10 密性试验

密性试验要求: (按照本社批准图纸的实际情况填写)。结果应不得有泄露。

D.11 称重试验

应满足本须知 F.11 的要求。

D.12 焊补工艺及焊工资格评定

焊补工艺及焊工资格评定按附录 A。

E、试验地点: (与工厂协商确定)

F、试验报告

(1) 认可试验需经本社验船师见证, 并签署原始记录。

(2) 试验前, 制造厂应提交测试试验设备的计量鉴定证书供验船师现场确认, 这些鉴定证书清单及复印件。

附录 C 证书填写说明

A.工厂认可证书(CP301)

工厂认可证书应说明认可螺旋桨的结构、材料级别、最大直径、最大毛坯重量。

B.螺旋桨证书（CP310）

对于经本社验船师检验合格的整体式螺旋桨和完工的整套组合式螺旋桨应签发本社螺旋桨证书（CP310）。对于整体式螺旋桨的毛坯件或半成品件，在其完工后，本社进行完工检验的验船师还应对其换发成品螺旋桨证书。

证书包括下列内容：

B.1 产品编号：填写工厂的制造编号，可以用产品的铸造号表示，但一般不宜用炉号代替产品编号。对于成套组合式螺旋桨，应统一编号，同时，工厂应要存在有效的编号以区分不同的桨叶；

B.2 制造厂名：螺旋桨的生产厂全称。如果该螺旋桨的铸造和机加工是由不同厂家完成，应填写铸造厂名称；

B.3 材料和级别：应填写本社规范规定的材料级别。如果螺旋桨采用了不同于本社规范规定的其他材料，应注明其材料牌号及相关标准；

B.4 工厂认可证书号：本社工厂认可证书号；

B.5 订货方：应填写船东或造船厂，通常不填写中间商；

B.6 图纸批准号：本社的图纸批准号；

B.7 用于：船名或工程号（新造船）；

B.8 制造年月：应填写本社验船师最后检验日期；

- B.9 型式：图纸上的螺旋桨型式；
- B.10 无损探伤：可仅填写探伤方法；
- B.11 直径：螺旋桨的设计直径；
- B.12 热处理：实际热处理工艺，只填写工艺名称即可，如“正火”；
- B.13 叶片数：实际叶片数量；
- B.14 交货状态：毛坯、半成品、成品；
- B.15 重量：螺旋桨的实际重量；
- B.16 结构：整体式或组合式；
- B.17 旋向：当螺旋桨正车旋转时，由船后向前看去所见到的旋转方向为顺时针的为右旋桨。反之，则为左旋桨；
- B.18 静平衡：应按“<m kg (g)”的方式填写，其中 m 为根据本社批准图纸中的公式计算出来的允许的最大静不平衡重量；对于无法进行静平衡试验的螺旋桨部件，应注明每个桨叶的对于轴心产生的力矩大小；
- B.19 总平均螺距：填写螺旋桨的设计总平均螺距值；
- B.20 化学成分、机械性能：对于组合式螺旋桨，炉号栏中应包括所有涉及到的炉号。（工厂应存有有效的记录以便追溯其部件与炉号一一对应关系）。

C.部件材料证书（CP306）

对于非成套的组合式螺旋桨部件进行的检验，本社验船师应只签发部件材料证书（CP306）。该证书并非螺旋桨的最终证明文件，在螺旋桨的部件组装完并进行了全部检验项目后，本社验船师应对成品

螺旋桨换发螺旋桨证书（CP310）。

证书包括下列内容：

- C.1 部件名称：桨叶、桨毂、导流冒、三角架等部件名称；
- C.2 制造厂名：螺旋桨的生产厂全称。如果该螺旋桨的铸造和机加工是由不同厂家完成，应填写铸造厂名称；
- C.3 材料牌号：应填写本社规范规定的材料级别。如果螺旋桨采用了不同于本社规范规定的其他材料，应注明其材料牌号及相关标准；
- C.4 型式认可证书号：应改为工厂认可证书号；
- C.5 产品编号：工厂应对每个部件单独编号，特别应区分不同的桨叶；
- C.6 图纸批准号：本社图纸批准号；
- C.7 订货方：订货合同中的订货方。一般为机加工和装配厂；
- C.8 用于：船名或工程号（新造船）；
- C.9 规格：设计图纸中规定的型号规格；
- C.10 总重量：部件的实际总重量，可以按顺序分别填写。如“20.1kg+20.2kg”；
- C.11 件数：部件数量；
- C.12 无损探伤：探伤方法；
- C.13 热处理：实际热处理工艺，只填写工艺名称即可，如“正火”；
- C.15 化学成分、机械性能：应包括所有涉及到的炉号。（工厂应存有有效的记录以便追溯其部件与炉号一一对应关系）。

附录 D 组合式螺旋桨单叶力矩测算方法

A. 原理

螺旋桨由于种种原因，必然会产生不平衡重量。当轴在旋转时，由不平衡重量而引发的变动离心力，将对船的尾轴轴承产生变动负荷。当由不平衡重量而引发的变动离心力被控制在一定范围内，它对尾轴轴承产生的变动负荷将很小，可以忽略不计。某些厂家多年的生产实践表明，对于组合式螺旋桨，如果由叶片前端的不平衡重量引起的离心力小于整个螺旋桨重量的 1%，那么组装后的螺旋桨将可以满足静平衡的要求。我们知道，由叶片前端的不平衡重量引起的离心力是很难进行测量的，但我们可以把它转换成对桨叶的力矩测量，这样就简单得多。

B 叶片叶前端的允许不平衡重量的计算。

B.1 螺旋桨在组装状态下的叶片前端的允许不平衡重量 ΔW

$$\Delta W/g \times R \times (2\pi N/60)^2 = 0.01W \quad g=9.8\text{m/sec}^2 \quad (1)$$

$$\text{由 (1) 式 得出 } \Delta W = 8.937W/R N^2 \approx 9 W/R N^2 \quad (2)$$

式中：

ΔW ——螺旋桨在组装状态下的叶片前端的允许不平衡重量；

W ——螺旋桨的全部重量；

R ——螺旋桨半径 m；

N ——螺旋桨转速（转/分）。

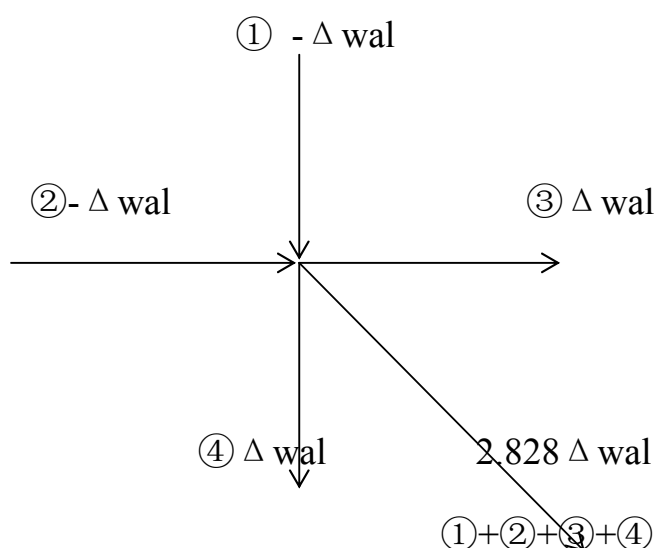
B.2 单个叶片叶前端的允许不平衡重量 Δw_{al}

若想计算单个叶片叶前端的允许不平衡重量 Δw_{al} ，应建立在以

下三个假设条件的基础上：

- (1) 各叶片允许的不平衡重量相等；
- (2) 桨毂外圆的允许不平衡重量和单个叶片的允许不平衡重量相等；
- (3) 考虑在桨毂和各个叶片上存在最差的不平衡重量。

下面以最常见的 4 叶螺旋桨为例，其最差的不平衡状态图如图五：



图五：4 桨叶螺旋桨最差不平衡重量分布图

$$\text{则：} \Delta W/g \times R \times \omega^2 = 2.828 \Delta wal/g \times R \times \omega^2 + \Delta wal/g \times R' \times \omega^2 \quad (3)$$

$$\text{由(3)式得 } \Delta wal = \Delta W / (2.828 + R' / R) = \Delta W / (2.828 + X_n) \quad (4)$$

式中：

X_n ——螺旋桨毂径比；

R' ——桨毂半径 m；

ω ——螺旋桨旋转角速度 rad/s 。

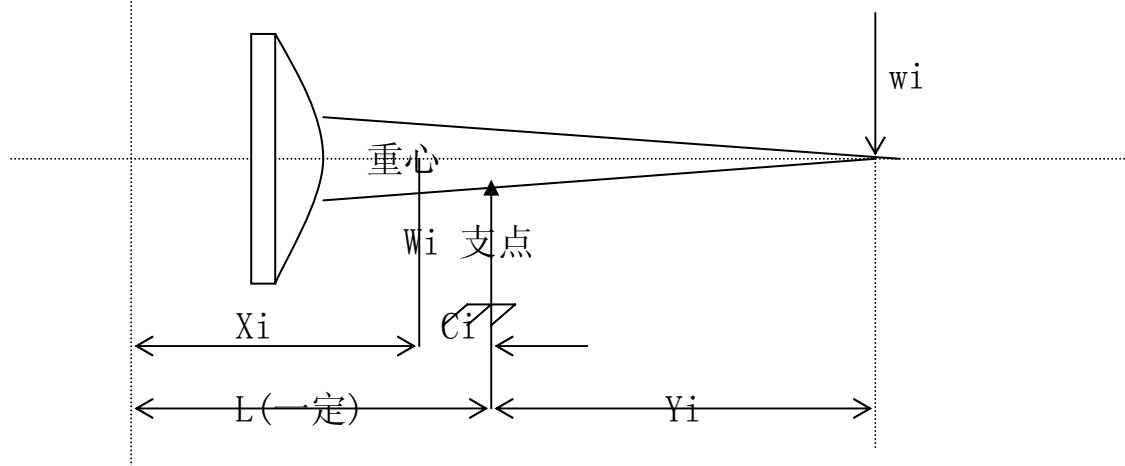
由 (2) (4) 式得出：

$$\Delta wal = 9.W / (2.828 + X_n) . R N^2 \quad (5)$$

C 叶片叶前端的允许不平衡重量的测量（力矩法）

C.1 力矩的测量

如图六



图六：单个叶片的力矩测量

W_i ——各叶片的实测重量；

w_i ——各叶片达到力矩平衡时的附加重量；

W_{pi} ——假设的位于叶前端的以轴心为支点的与重量力矩平衡的力；

ΔW_{pi} ——同上的不平衡重量；

应不断地有次序地添加附加重量，直到支点力矩平衡为止。

C.2 叶片叶前端的实际不平衡重量的测算。

由 C.1 中的测量结果可以得出：

$$C_i = Y_i \cdot w_i / W_i$$

叶片的重心位置 $X_i = L - C_i$

螺旋桨叶片相对轴心的旋转力矩为 $W_i \cdot X_i$

由重量力矩计算出的各叶片前端的平衡重量： $W_{pi} = W_i \cdot X_i / R$

则各叶片的叶前端的不平衡重量可以通过下式进行计算：

$$\begin{aligned}
\Delta W_{pi} &= W_{pi-1}/n \cdot \sum W_{pi} \\
&= W_i \cdot X_i / R - 1/(nR) \cdot \sum W_i \cdot X_i \\
&= W_i \cdot X_i / R - 1/(4R) \cdot \sum W_i \cdot X_i \quad (4 \text{ 叶时})
\end{aligned} \tag{6}$$

上述测算的不平衡重量应不超过 B.2 中计算的单个叶片叶前端的允许不平衡重量 Δw_{al} 。即：

$$W_{pi} \leq \Delta w_{al} \tag{7}$$

$$1/R \cdot \left| W_i \cdot X_i - 1/4 \sum W_i \cdot X_i \right| \leq 9 \cdot W / (2.828 + X_n) \cdot R \cdot N^2$$

由上式，得出单个桨叶的不平衡力矩：

$$\Delta m_i = \left| W_i \cdot X_i - 1/4 \sum W_i \cdot X_i \right| \leq 9 \cdot W / (2.828 + X_n) \cdot N^2$$

Δm_i 的单位为 kg.m

中国船级社铜制螺旋桨检验须知

2003 年 06 月首次发布

编写人：戈贲奇