

团 体 标 准

T/CANSI 6—2019

船用中空螺旋桨

Marine propeller with hollow structure

2019-04-15 发布

2019-04-15 实施

中国船舶工业行业协会发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 量、符号和单位	2
5 分类	2
6 要求	3
7 检验方法	7
8 检验规则	7
9 包装、运输和贮存	8
附录 A（规范性附录）船用中空螺旋桨强度校核方法	9

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国船舶工业行业协会标准化分会归口。

本标准起草单位：中国船舶工业综合技术经济研究院、台州市创驰螺旋桨厂。

本标准主要起草人：郑卫兵、祁超、朱珉虎、王卉隼、曾进国、王琮、陶江明。

船用中空螺旋桨

1 范围

本标准规定了船用中空螺旋桨（以下简称中空螺旋桨）的分类、要求、检验方法、检验规则、包装、运输和贮存等。

本标准适用于中空螺旋桨的设计、制造与验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 7727 船舶通用术语
- GB/T 12916 船用金属螺旋桨技术条件
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 20878 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
《材料与焊接规范》（中国船级社）

3 术语和定义

GB/T 7727 和 GB/T 12916 确定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

吸力面 suction side

船体前进时，螺旋桨桨叶负压吸水的一面，即为吸力面。又称叶背面。

3.2

压力面 pressure side

船体前进时，螺旋桨桨叶推水的一面，即为压力面。又称叶面。

3.3

面板 front-panel

中空螺旋桨构造中，处于压力面的板，即为面板。

3.4

背板 back-panel

中空螺旋桨构造中，处于吸力面的板，即为背板。

3.5

撑板 support-panel

中空螺旋桨构造中，在桨叶内部支撑面板和背板的加强板条，即为撑板。

3.6

面板厚度 thickness of front-panel

螺旋桨桨叶面板未经切削部分的厚度。

3.7

背板厚度 thickness of back-panel

螺旋桨桨叶背板未经切削部分的厚度。

3.8

撑板厚度 thickness of support-panel

中空螺旋桨桨叶内部撑板的厚度。

4 量、符号和单位

量、符号和单位应符合表 1 的规定。

表 1 量、符号和单位

序号	名称	符号	单位
1	螺旋桨直径	D	mm
2	螺旋桨半径	R	mm
3	螺旋桨截面半径	r	mm
4	螺旋桨桨叶截面宽度	b	mm
5	螺旋桨叶片螺距	P_0	mm
6	螺旋桨叶片夹角	α	(°)
7	螺旋桨桨叶截面厚度	t	mm
8	螺旋桨后倾角	θ	(°)
9	螺旋桨质量	m	kg
10	螺旋桨叶片数	z	片
11	面板厚度	t_1	mm
12	背板厚度	t_4	mm
13	撑板厚度	t_5	mm

5 分类

5.1 型式

5.1.1 中空螺旋桨按直径 D 分为：

- a) 大型螺旋桨： $D > 3500$ mm；
- b) 中型螺旋桨： $1500 \text{ mm} \leq D \leq 3500$ mm；
- c) 小型螺旋桨： $D < 1500$ mm。

5.1.2 中空螺旋桨按制造精度等级分为 S 级、1 级、2 级及 3 级，见表 2。

表 2 中空螺旋桨制造精度等级

螺旋桨精度等级	制造精度
S 级	特高精度
1 级	高精度
2 级	中等精度
3 级	一般精度

5.2 结构外形

5.2.1 中空螺旋桨由螺旋桨叶片和桨毂组成，桨毂和桨叶分别加工成型后通过焊接组装形成一个整体螺旋桨。

5.2.2 桨毂结构应符合 GB/T 12916 的要求。

5.2.3 桨叶为中空结构（见图 1），由三块不锈钢板经过型面切削后焊接而成。桨叶剖视图见图 2。桨叶拆解后的背板、撑板、面板形状见图 3。

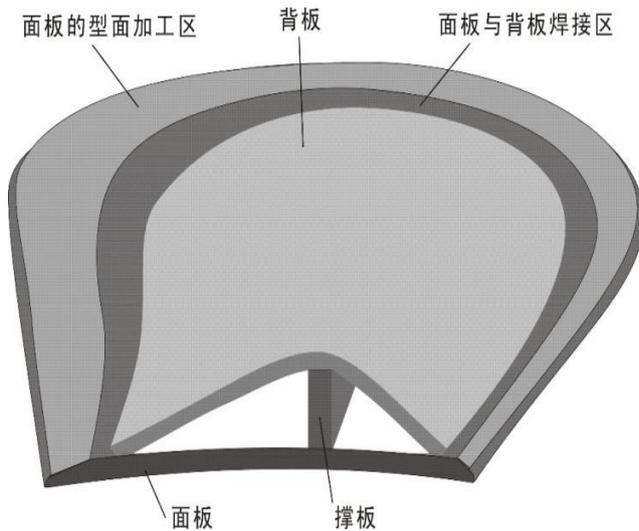


图 1 中空螺旋桨桨叶结构图

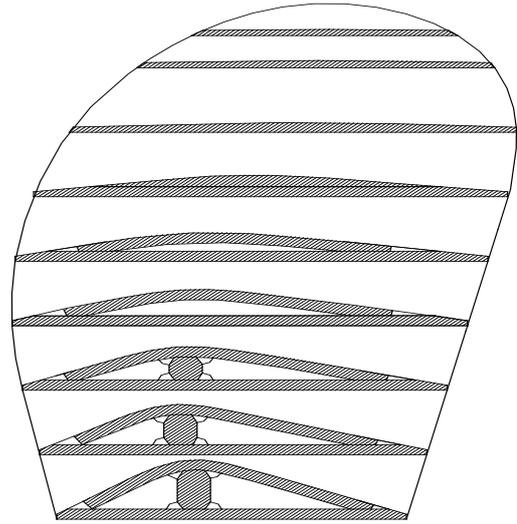


图 2 中空螺旋桨桨叶剖视图

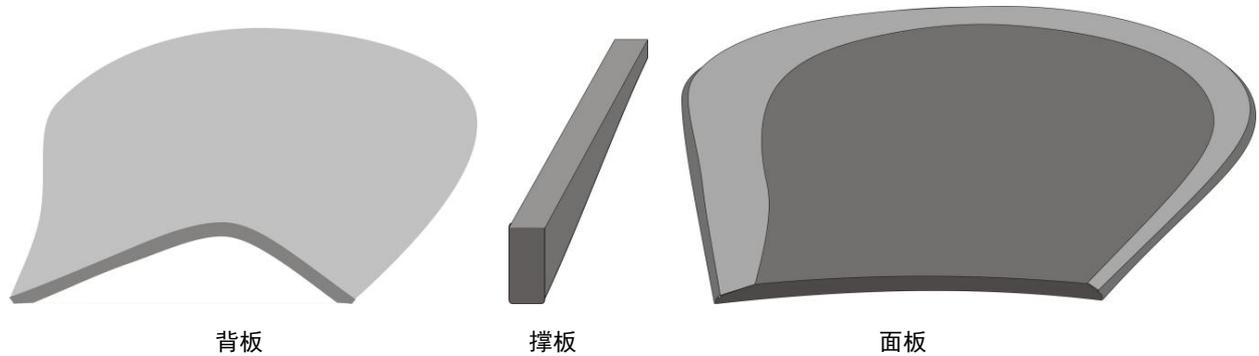


图 3 中空螺旋桨叶片组成部件结构图

6 要求

6.1 材料

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 中空螺旋桨宜由奥氏体不锈钢材料制成，材料应符合 GB/T 20878 以及中国船级社《材料与焊接规范》的要求。

6.1.1.2 可采用其他的可焊性材料来取代奥氏体不锈钢材料，但应符合船检部门的要求。

6.1.2 化学成分

奥氏体不锈钢的熔炼分析化学成分应符合表 3 的规定。

表3 奥氏体不锈钢的成分

牌号	统一数字代号	化学成分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	其他
06Cr19Ni10	S30408	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	8.0~11.0	—	—	
022Cr19Ni10	S30403	≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	8.0~12.0	—	—	
022Cr19Ni10N	S30453	≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	8.0~11.0	—	0.10~0.16	
06Cr17Ni12Mo2	S31608	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	
022Cr17Ni12Mo2	S31603	≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	
022Cr17Ni12Mo2N	S31653	≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	16.0~18.0	10.0~13.0	2.0~3.0	0.10~0.16	
06Cr19Ni13Mo3	S31708	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	
022Cr19Ni13Mo3	S31703	≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	
022Cr19Ni13Mo4N	S31753	≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	0.10~0.22	
06Cr18Ni11Nb	S34778	≤0.08	≤1.0	≤2.0	≤0.045	≤0.03	17.0~19.0	9.0~12.0	—	—	10C≤ Nb≤ 1.10

6.1.3 力学性能

奥氏体不锈钢的力学性能应符合表4的规定。

表4 奥氏体不锈钢的力学性能

牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ^① 不小于 (N/mm ²)	规定非比例延伸强度 $R_{p1.0}$ ^① 不小于 (N/mm ²)	抗拉强度 R_m ^② 不小于 (N/mm ²)	伸长率 A_s 不小于 (%)
06Cr19Ni10	205	245	515	40
022Cr19Ni10	175	215	480	40
022Cr19Ni10N	245	285	550	40
06Cr17Ni12Mo2	205	245	515	40
022Cr17Ni12Mo2	175	215	480	40
022Cr17Ni12Mo2N	245	285	550	40
06Cr19Ni13Mo3	205	245	515	40
022Cr19Ni13Mo3	205	245	520	40
022Cr19Ni13Mo4N	275	315	570	40
06Cr18Ni11Nb	205	245	520	40

注：①一般测定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 。如合同另有规定，允许以非比例延伸强度 $R_{p1.0}$ 为交货条件。
②奥氏体不锈钢的抗拉强度上限应不超过表列值加200 N/mm²。

6.2 板的最小厚度

中空螺旋桨桨叶的面板、背板和撑板的厚度应满足强度要求，根据不同的设计载荷、叶片形状和螺旋桨尺度设计选用。为了满足刚度要求，面板和背板的最小厚度应不小于螺旋桨直径的 0.7%，撑板的厚度应不小于螺旋桨直径的 2%。

6.3 焊接

6.3.1 焊接工艺

6.3.1.1 奥氏体不锈钢宜采用能量集中的焊接方法进行焊接（如熔化极惰性气体保护焊）。

6.3.1.2 应制订合理的焊接工艺。厚度超过 10 mm 的板必须开坡口。焊前板材表面应彻底清除油污物和杂质。

6.3.1.3 为减小焊接变形，应适当采取反变形措施。反变形量由工厂根据经验确定。焊接后产生的（剩余）变形量采用在模具中进行压力加工予以修正。

6.3.2 焊接结点

中空螺旋桨的桨叶与桨毂的焊接结点形式如图 4 所示。为了在桨叶内部焊接撑板与桨毂，在背板根部开有工艺孔，见 B 结点详图。工艺孔的高度为 30mm，待撑板焊接结束后，在工艺孔里侧加填焊接衬板，然后封填工艺孔。焊接衬板的厚度应不小于连接板的板厚的 1/2。

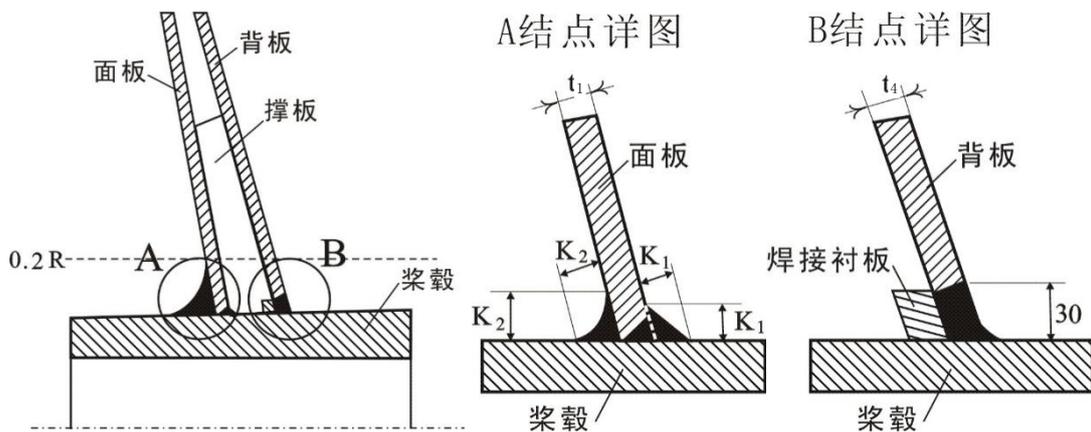


图 4 桨叶与桨毂的焊接结点图

6.3.3 焊脚高度要求

6.3.3.1 对焊脚高度的要求：焊脚高度 $K_1 \geq t_1$ ； $K_2 \geq 1.5 t_4$ 。 t_1 为面板的厚度， t_4 为背板的厚度。

6.3.3.2 桨叶面板、背板与撑板的焊接结点形式如图 5 所示。要求：焊脚高度 $K_3 \geq 0.6 t_5$ 。 t_5 为撑板的厚度。

6.3.3.3 背板与面板的填角焊要充分填满空隙，并盈出板面，然后用砂轮磨去盈余部分，使板面光滑过渡。

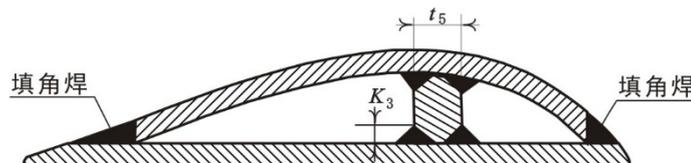


图 5 桨叶面板、背板与撑板的焊接结点

6.3.4 焊接填敷材料（焊丝）

奥氏体不锈钢应选用其熔敷金属的化学成分与母材基本相当的焊接填敷材料。

6.3.5 焊缝外观质量

所有焊缝表面应成型均匀，并平缓地向两侧过渡。焊缝表面不应有裂纹、气孔、未填满、焊瘤和咬边等缺陷。

6.3.6 焊缝内部质量

焊缝的内部质量应达到 NB/T 47013.3 规定的 III 级要求。

6.3.7 密性检查

焊接后的桨叶应进行密性检查，在 0.2MPa 的试验压力下稳压不少于 30s，焊缝上应无渗漏，试验后桨叶应无残余变形。

6.4 表面粗糙度要求

不同精度等级的中空螺旋桨表面粗糙度应符合 GB/T 12916 的规定。

6.5 几何尺寸公差要求

中空螺旋桨的桨叶几何尺寸公差要求应符合 GB/T 12916 的规定。

6.6 静平衡要求

6.6.1 螺旋桨在作静平衡之前，应先进行随遇平衡检验。

当螺旋桨直径 $D > 1500\text{mm}$ 时，按式 (1) 计算挂重 G ：

$$G = C \frac{m}{R \cdot n^2} \dots\dots\dots (1)$$

当螺旋桨直径 $D \leq 1500\text{mm}$ 时，按式 (2) 计算挂重 G ：

$$G = 0.025D^2 + 0.02 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

G ——挂重，kg；

m ——螺旋桨质量，kg；

R ——螺旋桨半径，mm；

n ——螺旋桨在额定功率时运转的转动速度，(r/min)；

D ——螺旋桨直径，mm；

C ——系数，按螺旋桨转速及螺旋桨精度等级的系数 K 而定。当 $n \geq 180$ r/min 时， $C=K$ ；当 $n < 180$ r/min 时， $C=K(n/180)^2$ 。 K 值按表 5 选取。

表 5 系数 K 值

螺旋桨精度等级	S 级	1 级	2 级	3 级
K	15	25	40	75

6.6.2 螺旋桨在卧式平衡仪上做静平衡检验时，将挂重分次挂于各桨叶叶梢最大厚度标记点上，然后将挂重的桨叶叶梢最大厚度标记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。

6.7 动平衡要求

转速 500 r/min 以上的螺旋桨应要求进行动平衡试验，允许的不平衡力矩应符合中国船级社批准图纸的要求。如批准图纸无要求时，则要求螺旋桨的剩余不平衡质量不得超过按以下公式进行计算得出的衡准值 U_{per} 。

$$U_{\text{per}} = 30000G' / (\pi rn) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

U_{per} ——许用不平衡质量，g；

G' ——平衡品质等级，mm/s；

表 6 平衡品质等级 G' 值

螺旋桨精度等级	S 级	1 级	2 级	3 级
G' (mm/s)	6.3	16	25	40

m ——螺旋桨质量, kg;

r ——平衡半径, r 取 $0.8R$, mm;

n ——螺旋桨转速, r/min。

6.8 中空螺旋桨的强度校核

中空螺旋桨的强度校核方法见附录 A (规范性附录)。

7 检验方法

7.1 材料

查看材料的材质证明书。

7.2 焊接外观质量

目视检查焊缝表面的外观质量。

7.3 焊接内部质量

按照NB/T 47013.3的要求, 采用超声波仪对焊缝的内部质量进行无损检测。

7.4 密性检查

在焊接后的桨叶正面钻螺纹孔, 连接气泵, 然后施加0.2MPa的气体, 稳压时间不少于30s。

7.5 表面粗糙度

采用粗糙度样块检查桨叶表面粗糙度。

7.6 桨叶几何尺寸公差

采用螺距规检查桨叶几何尺寸公差。

7.7 静平衡

采用卧式平衡仪对中空螺旋桨进行静平衡检验。

7.8 动平衡

采用滚动轴承支架对中空螺旋桨进行动平衡检验。

8 检验规则

8.1 检验分类

中空螺旋桨的检验分为型式检验和出厂检验。

8.2 型式检验

8.2.1 中空螺旋桨在下列情况之一时, 应进行型式试验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;
- b) 产品结构、材料、工艺的变化足以影响产品的性能;
- c) 产品定期质量检查或上级产品质量监督部门强制要求检验;
- d) 产品停产 5 年以上, 恢复生产;
- e) 批量生产 (10 件以上) 的首制产品。

8.2.2 中空螺旋桨型式检验的项目和顺序按表7进行。

表7 中空螺旋桨检验项目和顺序

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	要求章条号	检验方法章条号
1	材料	●	-	6.1	7.1
2	焊接外观质量	●	●	6.3.5	7.2
3	焊缝内部质量	●	-	6.3.6	7.3
4	密性检查	●	●	6.3.7	7.4
5	表面粗糙度	●	○	6.4	7.5
6	桨叶几何尺寸公差	●	●	6.5	7.6
7	静平衡	●	●	6.6	7.7
8	动平衡	●	○	6.7	7.8

注：●必检项目；○订购方和承制方协商检验项目；-不检项目。

8.2.3 中空螺旋桨型式检验的样品数量为一台。

8.2.4 中空螺旋桨样品全部检验项目均符合要求时，则判定中空螺旋桨型式检验合格。若有个别尺寸超标或精度不符合要求，允许采取纠正措施后对该中空螺旋桨进行该项目的复验。若复验符合要求，仍判定中空螺旋桨型式检验合格；若仍不符合要求，则判定中空螺旋桨型式检验不合格。

8.3 出厂检验

8.3.1 中空螺旋桨出厂检验的项目和顺序按表7进行。

8.3.2 中空螺旋桨应逐台进行出厂检验。

8.3.3 中空螺旋桨的所有检验项目均符合要求，则判该中空螺旋桨出厂检验合格。若有任何一项不符合要求，允许采取纠正措施后对该中空螺旋桨进行该项目的复验。若复验符合要求，仍判定该中空螺旋桨出厂检验合格；若仍不符合要求，则判定该中空螺旋桨出厂检验不合格。

9 包装、运输和贮存

9.1 中空螺旋桨出厂时应附有合格证书。证书上应注明：

- a) 制造厂名称；
- b) 直径；
- c) 螺距；
- d) 叶片数；
- e) 旋向；
- f) 材料；
- g) 质量（重量）；
- h) 精度级别。

9.2 验船部门的检验钢印应打在显眼位置。

9.3 经检验合格的螺旋桨表面应清洗干净，涂刷防锈油后，用塑料布或其他包装材料将叶片包装，用橡胶或其他塑性材料将叶片边缘包裹，包装应符合 GB/T 13384 的要求。

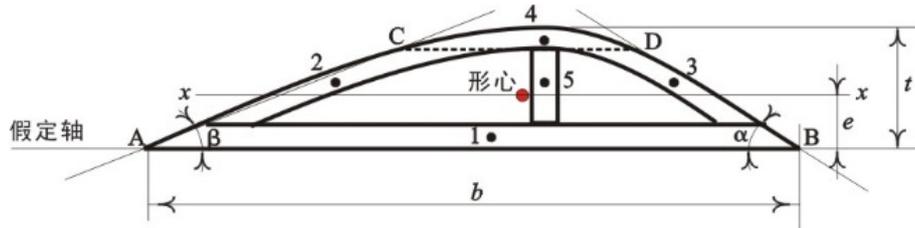
9.4 在运输和贮存过程中，做好防震、防损措施。

附录 A

(规范性附录)

船用中空螺旋桨强度校核方法

- A. 1 本计算方法适用于不锈钢焊接中空螺旋桨的强度校核。本强度校核采用理论计算方法。
- A. 2 中空螺旋桨桨叶剖面形状如图 A. 1 所示。



板 1——面板；板 2-4-3——背板；板 5——撑板；
 b——叶片宽度；t——叶型剖面的最大厚度；
 x——中和轴；e——中和轴距底边（假定轴）的距离；
 α——导边角；β——随边角

图 A. 1 中空螺旋桨叶片剖面形状

- A. 3 校核剖面位于叶片根部 0.2R 处。承受压应力最大处为图 A. 2 中 C 点，故取 C 点为强度校核剖面。
- A. 4 螺旋桨叶片工作时，叶片上承受的弯矩如图 A. 2 所示。
- A. 4. 1 螺旋桨产生的推力 T 以及螺旋桨推力产生的弯矩 M 的计算公式如下：

$$T = K_T \cdot \rho_{water} \cdot n^2 \cdot D^4 \dots\dots\dots (A-1)$$

$$M_T = -\frac{2T \cdot R}{Z(1-(d/D)^2)} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}x_p + \frac{1}{6}x_p^3 \right) \dots\dots\dots (A-2)$$

式中：R——螺旋桨半径， m；
 Z——螺旋桨叶片数；
 d——桨毂直径， m；
 D——螺旋桨直径， m；
 K_T——螺旋桨的推力系数；
 ρ_{water}——水的密度， kg/m³；淡水取 1 000 kg/m³；海水取 1 025 kg/m³；
 n——螺旋桨转速， s⁻¹；
 x_p——校核截面相对半径。

$$x_p = r_p / R$$

Q——螺旋桨产生的扭矩， N·m；

$$Q = \frac{9549.3P_D}{N} \dots\dots\dots (A-3)$$

P_D——螺旋桨收到功率， kW；
 N——螺旋桨转速， r/min。

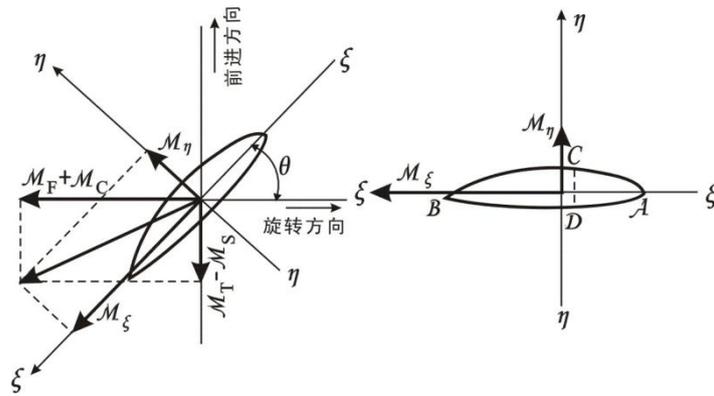


图 A.2 螺旋桨叶片上的弯矩

A.4.2 螺旋桨扭矩产生的弯矩 M 的计算公式如下:

$$M_F = -\frac{2Q}{Z(1-(d/D)^2)}\left(\frac{1}{2} - x_p + \frac{1}{2}x_p^2\right) \dots\dots\dots (A-4)$$

A.5 离心力 C 产生的弯矩如图 A.3 所示。

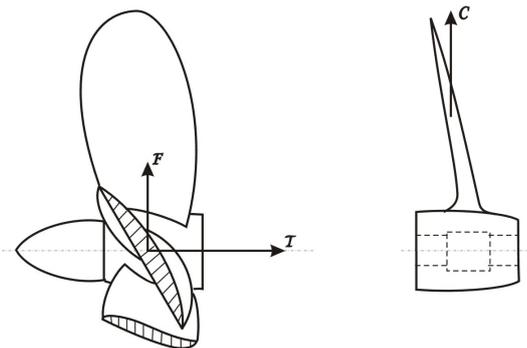


图 A.3 叶片上离心力产生的弯矩

A.5.1 单片桨叶产生的离心力 C 的计算公式如下:

$$C = \frac{4\pi^2 \cdot n^2}{g} W_B \cdot r_G \dots\dots\dots (A-5)$$

式中: g ——重力加速度, m/s^2 ; $g=9.81 m/s^2$;

W_B ——单片桨叶的质量, kg ;

r_G ——桨叶重心至轴线的距离, m 。可按下面的近似公式计算:

$$r_G = \frac{d}{2} + 0.3\left(\frac{D}{2} - \frac{d}{2}\right) \dots\dots\dots (A-6)$$

因桨叶后倾引起的离心力弯矩 M_S :

$$M_S = C \cdot l_G \dots\dots\dots (A-7)$$

式中, l_G ——后倾桨叶重心至叶根剖面形心的水平距离/ m : 可按下面的近似公式计算:

$$l_G \approx (r_G - r_p) \tan(\varepsilon + 6^\circ) \dots\dots\dots (A-8)$$

因叶面弯曲引起的离心力弯矩 M_c :

$$M_c = C \cdot I_s \dots\dots\dots (A-9)$$

式中: r_p ——校核截面在 r 处的半径, m;

ε ——桨叶后倾角, ($^\circ$);

I_s ——叶根剖面的形心与通过叶片重心的辐射线之间的距离, m。

近似公式 $I_s = 0.199b_{\max}$

A.6 弯矩合成: 现在我们把所有的弯矩投影到 $\eta - \eta$ 轴线上, 则得到 M_η :

$$M_\eta = (M_F + M_C)\sin\theta - (M_T - M_S)\cos\theta \dots\dots\dots (A-10)$$

其中:

$$\theta = \arctan\left(\frac{H}{\pi \cdot D}\right) \dots\dots\dots (A-11)$$

式中: θ ——螺距角, ($^\circ$);

H ——螺旋桨的螺距, m;

D ——螺旋桨直径, m。

A.7 强度校核

最大应力位于叶根处 C 点, 按下列公式计算:

$$\sigma_c = \frac{M_\eta}{\frac{I}{t-e}} = \frac{M_\eta}{W_{\min}} \dots\dots\dots (A-12)$$

式中: σ_c ——C 点应力, Pa;

M_η ——弯矩, N·m;

W_{\min} ——最小剖面模数, m^3 ;

I ——剖面惯性矩, m^4 ;

t ——叶型剖面的最大厚度, m; (参阅图 1)

e ——叶型剖面中和轴至底边的距离, m。(参阅图 1)

船用螺旋桨材料的许用应力按规范取抗拉强度的 10%。不锈钢的抗拉强度(参阅表 4)在 450~550 MPa 之间, 故取许用应力:

$$[\sigma] = 50 \text{ MPa}$$

若 $\sigma_c \leq [\sigma]$ 则满足强度要求, 即校核强度合格。

A.5 最小剖面模数的计算

A.5.1 不锈钢焊接中空螺旋桨叶根剖面形状如图 A.1 所示, 采用分块法计算。本法理论上适用于任何复杂的组合剖面形式。

A.5.2 图 A.1 中, 中空螺旋桨桨叶由面板 1、背板 2-4-3 和撑板 5 组成。计算剖面惯性矩时先假定轴线与底边 AB 线重合。 e 为中和轴距底边的距离。

A.5.3 过剖面内中空部分的顶点作 AB 的平行线 CD, 将背板划分为 2、3、4 三段。再作 AC 和 BD 两条直线, $\angle ABD$ 称为导边角 α ; $\angle BAC$ 称为随边角 β , 均可从图纸上量得。已知叶片宽度为 b , 最大厚度为 t , 面板的厚度为 t_1 , 背板的厚度为 t_4 , 撑板厚度 t_5 (叶片宽度、叶片厚度和板厚的单位为 m)。现将各块板的面积 A_i , 形心距假定轴的距离 u_i , 自身惯性矩 I_i 的计算公式列表如表 A.1 所示。

表 A.1 剖面要素计算公式

	板的面积 A_i/m^2	形心距假定轴的距离 u_i/m	自身惯性矩 I_i/m^4
板 1	$(2b - t_1/\tan\alpha - t_1/\tan\beta) \cdot t_1/2$	$t_1/2$	—
板 2	$\frac{t_4}{\sin\beta \cdot (t - t_1 - t_4)}$	$\frac{(t - t_1 - t_4)}{2} + t_1$	$\frac{t_4/\sin\beta \cdot (t - t_1 - t_4)^3}{12}$
板 3	$\frac{t_4}{\sin\alpha \cdot (t - t_1 - t_4)}$	$\frac{(t - t_1 - t_4)}{2} + t_1$	$\frac{t_4/\sin\alpha \cdot (t - t_1 - t_4)^3}{12}$
板 4	$0.667t_4 \cdot (b - (t - t_4) / \tan\alpha - (t - t_4) / \tan\beta)$	$t - 0.6t_4$	—
板 5	$(t - t_1 - t_4) \cdot t_5$	$\frac{(t - t_1 - t_4)}{2} + t_1$	$t_5 \cdot \frac{(t - t_1 - t_4)^3}{12}$

A.5.4 将以上计算的结果填入表 A.2，即可求得最小剖面模数。

表 A.2 最小剖面模数计算和强度校核

分段计算:	面积 A_i/m^2	距离 u_i/m	$A_i \cdot u_i/m^3$	$A_i \cdot u_i^2/m^4$	惯性矩 I_i/m^4
板 1					—
板 2					
板 3					
板 4					—
板 5					
Σ	ΣA_i	—	$\Sigma A_i \cdot u_i$	$\Sigma A_i \cdot u_i^2$	ΣI_i
$e = \Sigma A_i \cdot u_i / \Sigma A_i$	—	e	—	—	—
$I = \Sigma I_i + \Sigma A_i \cdot u_i^2 - e^2 \cdot \Sigma A_i$	—	—	—	—	I
最小剖面模数 $W_{\min} = I / (t - e)$	W_{\min}	剖面模数单位为 m^3	—	—	—
强度校核					
$M_n =$		按式 (A-10) 计算的结果，单位为 $N \cdot m$			
$\sigma_c = M_n / W_{\min} =$		对于不锈钢中空螺旋桨，若 $\sigma_c \leq 50$ MPa 即为满足强度要求			

A.5.5 如果计算得出的剖面模数不能满足许用应力水平的要求，可以通过增加板的厚度来满足要求。

A.6 根据本方法可用 Excel 表格编制强度校核计算书。