



上海交通大学

Shanghai Jiao Tong University

第七章

螺旋桨的强度校核



螺旋桨可能受到的外力

- 水动力：轴向推力、旋向相反的阻力
- 旋转产生的离心力
- 侧斜或者纵斜情况下的弯曲和扭转力
- 其它外力：撞击(冰块)、漂浮物

以上的外力会使得螺旋桨产生弯曲和扭转，离心力还可能导致桨叶拉伸等等，为了保证船舶航行安全，必须要保证具有足够强度。

为此，必须在设计螺旋桨时进行强度计算和确定桨叶的厚度分布



螺旋桨强度校核方法

- **经验公式**：由船级社制定规范，最为常用
- **理论分析计算**：简化，很难精确计算
- **数值模拟**：采用有限元方法，较难确定精确的外载荷输入条件

各船级社（如CCS、ABS、BV、LR、DNV、NK等）均对螺旋桨的强度校核进行了规定，根据船舶入级不同选择不同的校核规范。

本章主要讨论规范校核方法，采用的是时CCS于2015年发布的《钢制海船入级规范》中对螺旋桨强度的规定。



螺旋桨桨叶厚度的确定

桨叶厚度 t (mm, 固定螺距螺旋桨为 $0.25R$ 和 $0.6R$ 切面处, 可调螺距桨为 $0.35R$ 和 $0.6R$ 处) 不得小于下式计算值:

$$t = \sqrt{\frac{Y}{K - X}}$$

式中, Y 为功率系数, K 为材料系数 (查表7-1可得), X 为转速系数, 且 X 和 Y 的值可以通过公式计算求得。



功率系数Y的确定

$$Y = \frac{1.36A_1N_e}{Zbn_e}$$

$$A_1 = \frac{D}{P} \left(K_1 - K_2 \frac{D}{P_{0.7}} \right) + K_3 \frac{D}{P_{0.7}} - K_4$$

式中， D 为螺旋桨直径， P 为所计算切面处的螺距， $P_{0.7}$ 为 $0.7R$ 处的螺距， N_e 为主机额定功率， Z 为桨叶数， b 为计算处弦长， n_e 为主机额定功率时的转速， K 为系数，通过查表可得。



转速系数X的确定

$$X = \frac{A_2 G A_d n_e^2 D^3}{10^{10} Z b}$$

$$A_2 = \frac{D}{P} (K_5 + K_6 \varepsilon) + K_7 \varepsilon + K_8$$

式中，G为桨叶材料密度， A_d 为螺旋桨的盘面比， ε 为桨叶纵斜角。

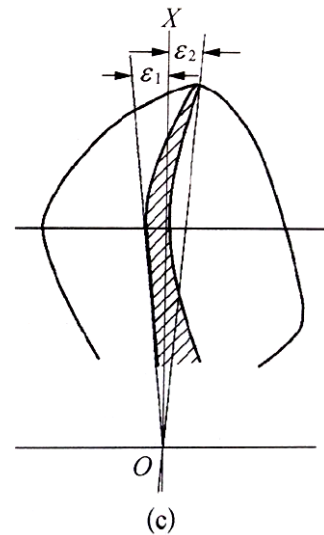
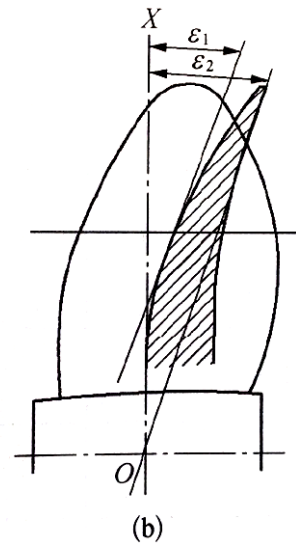
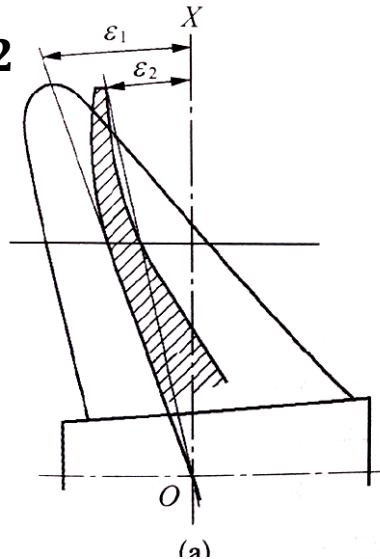


转速系数 X 的确定

桨叶纵斜角 ε 的取法如下：

- 图7-1 (a)，0.6R和叶梢均向后纵倾，且 $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ 则 $\varepsilon = \varepsilon_1$
- 图7-1 (b)，0.6R和叶梢均向前纵倾，且 $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ 则 $\varepsilon = \varepsilon_2$
- 图7-1 (c)，0.6R向后，叶梢向前纵倾，且 $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ 则 $\varepsilon =$

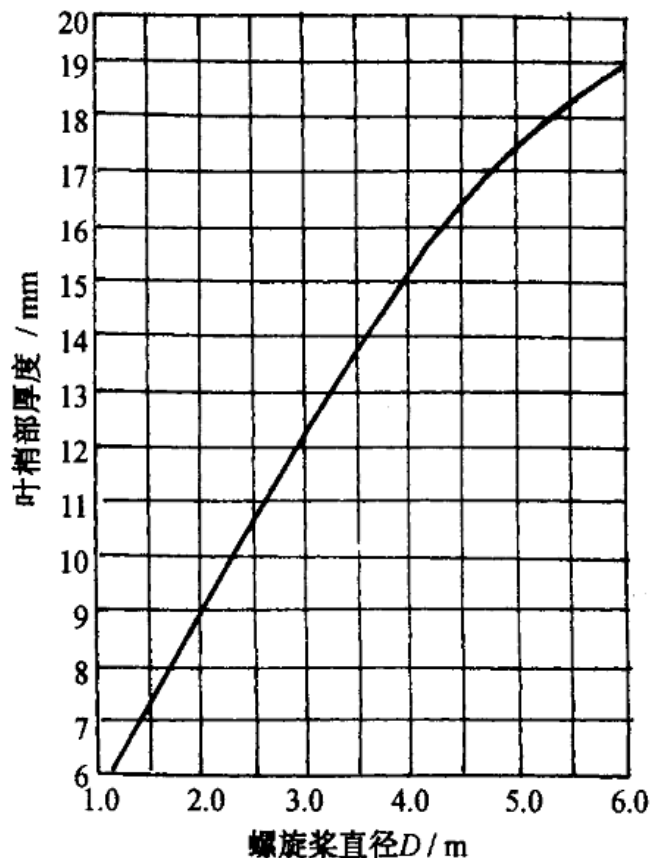
ε_1 ，反之则 $\varepsilon = \varepsilon_2$





桨叶的叶梢厚度

确定叶厚沿径向的分布前，首先需要确定叶梢厚度 t' ，一般的叶梢厚度可以通过图7-6（右图）根据直径查询；





桨叶的叶梢厚度

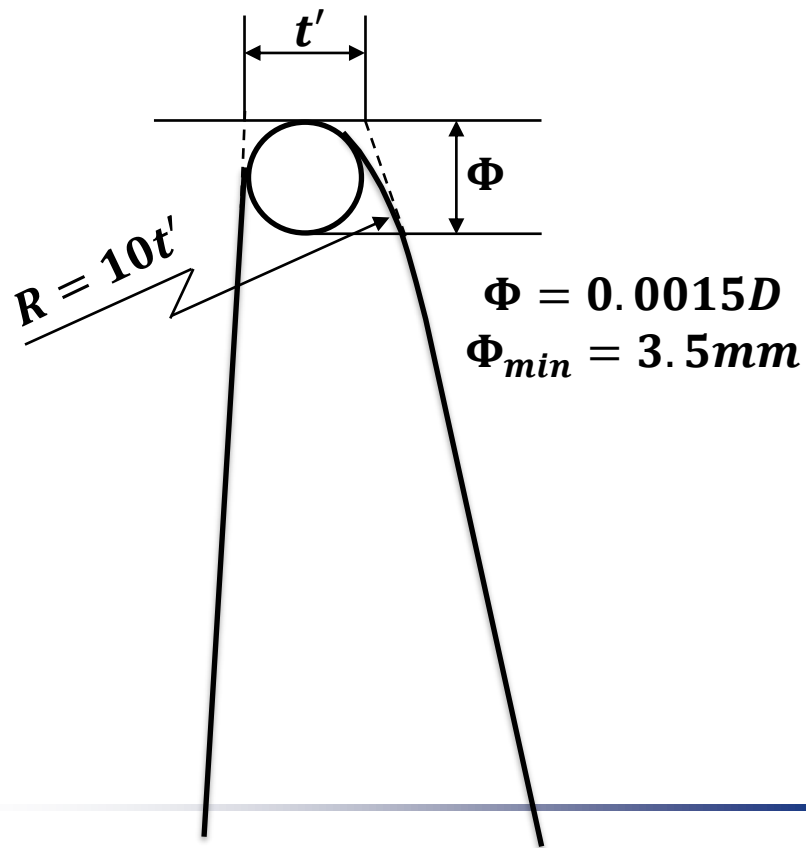
确定叶厚沿径向的分布前，首先需要确定叶梢厚度 t' ，一般的叶梢厚度可以通过图7-6根据直径查询；

当螺旋桨直径 $D < 3.0m$ 时，

$$t' = 0.0045D.$$

当螺旋桨直径 $D \geq 3.0m$ 时，

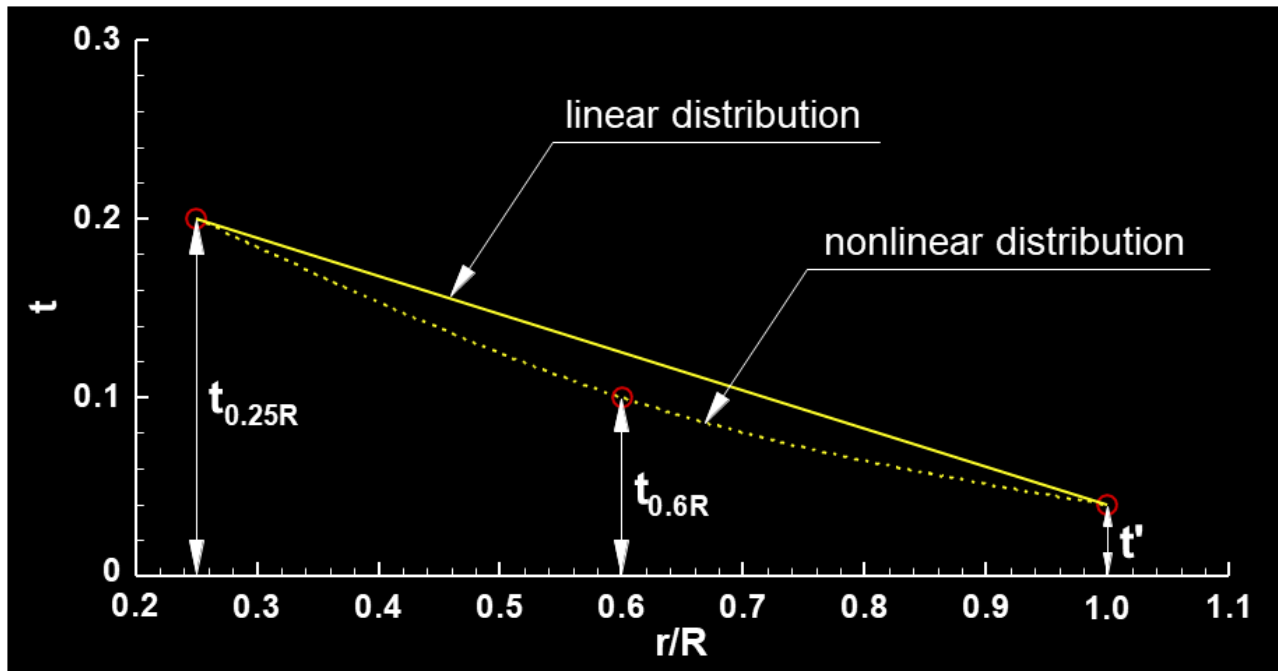
$$t' = 0.0035D.$$





桨叶厚度的径向分布

- 线性分布
- 非线性分布





桨叶厚度的径向分布

➤ 荷兰MARIN水池建议的厚度分布

$$t_x = f_x(t_{0.2} - t') + t'$$

其中， $t_{0.2}$ 为0.2R处切面的厚度；

t_x 为 $x = r/R$ 处切面的厚度；

f_x 为由表7-6所决定的系数。

表 7-6 决定叶切面最大厚度径向分布的系数 f_x

x	f_x	x	f_x
0.3	0.845	0.7	0.318
0.4	0.699	0.8	0.206
0.5	0.546	0.9	0.100
0.6	0.436	0.95	0.0495



螺距修正的原因

采用系列螺旋桨设计时，系列桨都有标注的厚度分布，并且敞水性能也是跟这些厚度分布对应的。

- 为满足强度要求不得不增加叶厚时
- 螺旋桨毂径比与系列螺旋桨不同时

为了使得基于系列桨设计时保证性能相同，必须对上述工况下的螺旋桨的螺距进行修正。



毂径比不同对螺距的修正

设 $(d_h/D)'$ 为设计螺旋桨的毂径比， d_h/D 为系列螺旋桨的毂径比。则所需的螺距比修正量 $\Delta \left(\frac{P}{D}\right)_B$ 如下：

$$\Delta \left(\frac{P}{D}\right)_B = \frac{1}{10} \left[\left(\frac{d_h}{D}\right)' - \frac{d_h}{D} \right]$$



叶厚比不同对螺距的修正

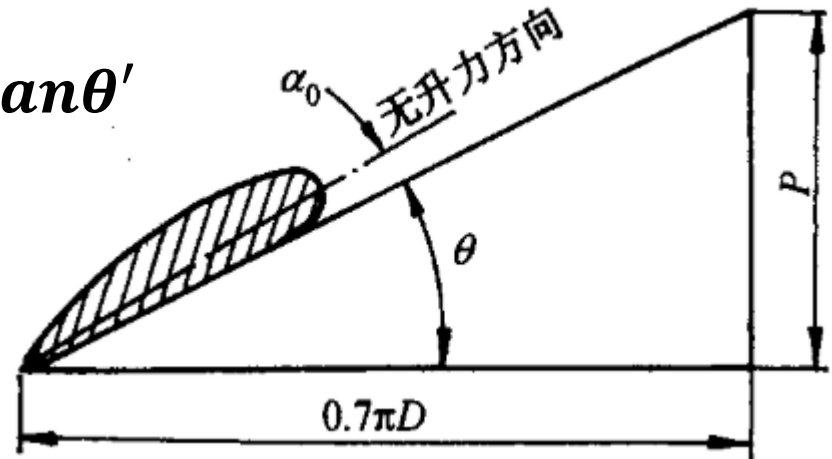
修正计算通常根据0.7R处切面的螺距角 θ 与升力角 α_0 之和等于常数这一原则，即 $\theta + \alpha_0 = const.$

$$\alpha_0 = 57.3K \left(\frac{t}{b} \right)$$

设 $\frac{t}{b}$ 为系列桨的厚度比， $\frac{t'}{b}$ 为设计桨的厚度比，则修正后的螺距角 θ' 为： $\theta' = \theta + \alpha_0 - \alpha'_0 = \theta + 57.3 \left(\frac{t}{b} - \frac{t'}{b} \right)$

修正后的螺距为：

$$P' = 0.7\pi D \tan\theta'$$





螺旋桨质量和惯性矩的重要性

- 总质量为叶片质量和桨毂质量之和
- 质量和惯性矩的准确估计可以为轴系计算、工厂备料以及离心力计算等提供数据
- 根据桨叶不同半径处各切面的形状求得其切面面积，采用近似积分方法可以得到螺旋桨的质量和惯性矩