



全国船舶标准化技术委员会指导性技术文件

CB\*/Z 350—87

---

## 船舶螺旋桨有键联接推入量计算

1987—04—20发布

---

全国船舶标准化技术委员会 批准

全国船舶标准化技术委员会指导性技术文件

# 船舶螺旋桨有键联接 推入量计算

CB\*/Z 350—87

分类号：U 48

本标准适用于各种轴颈的螺旋桨和桨轴的有键联接。

## 1 计算要求：

- 35℃和0℃正车时的推入量。
- 35℃和0℃倒车时的推入量。
- 在35℃时接触面接触压力不小于19.62MPa (2 kgf/mm<sup>2</sup>)时的推入量。
- 校核桨毂内表面的等效应力不大于桨毂材料屈服强度的35%。
- 推入量的最后确定：

根据a、b、c三种情况下计算出来的推入量，若它们在0℃时都满足强度要求，则取数值较大者作为0℃和35℃时的安装推入量，0℃和35℃之间可用插入法；若有一个强度校核不满足，可以选用安全系数略小于1的情况再进行计算或放大螺旋桨毂等其他方法进行修正。

- 关于键槽和键的设计应满足中华人民共和国船舶检验局规范的要求。

## 2 符号说明见表1及图1。

表 1

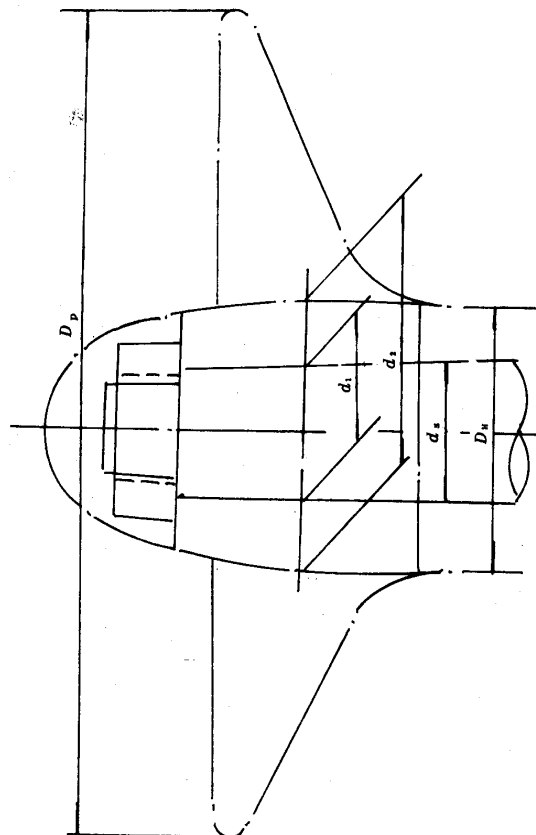
符 号	名 称	单 位
$N_e$	主机额定功率	kW [ $H_p$ ]
$n$	螺旋桨转速	r/min
$T_m$	螺旋桨轴上的平均扭矩	N·mm [kgfmm]
$T_v$	振动扭矩	N·mm [kgfmm]
$T_s$	总振动扭矩	N·mm [kgfmm]
$Q_s$	螺旋桨轴正车时扭力	N [kgf]
$Q_d$	螺旋桨轴倒车时扭力	N [kgf]
$S_s$	螺旋桨轴正车时推力	N [kgf]
$S_d$	螺旋桨轴倒车时推力	N [kgf]
$P_s$	正车时接触压力 (也称压紧力)	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$P_d$	倒车时接触压力	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$P_{s0}$	正车0℃时压紧力	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$P_{d0}$	倒车0℃时压紧力	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$P_{v0}$	满足要求c情况下0℃时压紧力	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$P_k$	单位压紧力的推入量	mm/MPa [mm/kgfmm <sup>-2</sup> ]
$S$	推入量	mm
$I_f$	冰区因素	
$\mu$	摩擦系数	
$L$	有效接触长度	mm
$d_1$	轴锥体平均外径 [ $\frac{1}{2}$ (轴的大端直径 + 小端直径)]	mm
$d_2$	桨壳平均外径 [ $\frac{1}{2}$ (桨壳大端直径 + 小端直径)]	mm

全国船舶标准化技术委员会1987-04-20发布

CB\*/Z 350—87

续表 1

符 号	名 称	单 位
$d_0$	轴内径	mm
$D_H$	桨外壳大端直径	mm
$d_s$	螺旋桨轴直径	mm
$D_p$	螺旋桨直径	m
$A$	有效接触面积	mm <sup>2</sup>
$R$	尺寸系数	
$f$	$\frac{1}{2}$ 锥度	
$K_3$	壳径比	
$E_2$	桨壳弹性模数	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$E_1$	轴弹性模数	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$\mu_2$	桨壳的泊桑系数	
$\mu_1$	轴的泊桑系数	
$\alpha_2$	桨壳的线膨胀系数	1/°C
$\alpha_1$	轴的线膨胀系数	1/°C
$[\sigma_s]$	材料的屈服强度	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{e0}$	0 °C 时桨壳内表面应力	MPa [kgf/mm <sup>2</sup> ]



### 3 正车时的推入量

3.1 正车时接触压力 $P_a$ 按(1)式或(2)式计算:

$$P_a = \frac{S_a}{A(\mu^2 - f^2)} \left[ -f + \sqrt{\mu^2 \left( 1 + \frac{Q_a^2}{S_a^2} \right) - \left( \frac{fQ_a}{S_a} \right)^2} \right] \text{ MPa} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_a = \frac{S_a}{A(\mu^2 - f^2)} \left[ -f + \sqrt{\mu^2 \left( 1 + \frac{Q_s^2}{S_a^2} \right) - \left( \frac{fQ_s}{S_a} \right)^2} \right] \text{ kgf/mm}^2 \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $A$ ——接触面积  $\text{mm}^2$ ;

$$Q_a = 2T_a / d_1 \quad \text{N (kgf)};$$

$$T_a = I_f \cdot T_m + T_v \quad \text{N} \cdot \text{mm} [\text{kgf} \cdot \text{mm}];$$

$$T_m = 9549.3 \times 10^3 \frac{N_e}{n} \quad \text{N} \cdot \text{mm};$$

$$[T_m = 716200 \frac{N_e}{n} \quad \text{kgf} \cdot \text{mm}];$$

$$T_v = T_{v3} = (356 - 0.2216d_s) d_s^3 \times 10^{-2} \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$[T_v = T_{v3} = (36.3 - 0.0226d_s) d_s^3 \times 10^{-2} \quad \text{kgf} \cdot \text{mm}]$$

$S_a$ 值在没有精确数据时采用(3)式或(4)式计算:

$$S_a = 76400 \frac{N_e}{D_p \times n} \quad \text{N} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left[ S_a = 5730 \frac{N_e}{D_p \times n} \quad \text{kgf} \right] \dots\dots\dots (4)$$

3.2 单位压紧力的推入量 $P_k$ 按(5)式或(6)式计算:

$$P_k = \frac{d_1 \cdot R_k}{2f \times E_1} \quad \text{mm/MPa} \dots\dots\dots (5)$$

$$\left[ P_k = \frac{d_1 \times R_k}{2f \times E_1} \quad \text{mm/kgf} \cdot \text{mm}^{-2} \right] \dots\dots\dots (6)$$

式中:  $R_k = R / F_k$

$$F_k = 0.935 \sim 0.965$$

(在 $K_3$ 较大和同一尺寸分档中轴颈较大时取大值)

$$R = \frac{E_1}{E_2} \left( \frac{K_3^2 + 1}{K_3^2 - 1} + \mu_2 \right) + \left( \frac{1 + l^2}{1 - l^2} \right) - \mu_1$$

$$K_3 = \frac{d_2}{d_1}$$

$$l = \frac{d_0}{d_1}$$

3.3 安全系数为1, 正车时推入量 $S$ 可按(7)式或(8)式计算:

a. 35℃时的推入量 $S_{35}$  mm

$$S_{35} = P_k \cdot P_a \quad \text{mm} \dots\dots\dots (7)$$

b. 0℃时推入量 $S_0$  mm

$$S_0 = P_k \cdot P_{a0} \quad \text{mm} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{式中: } P_{a0} = P_a + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k} \quad \text{MPa}$$

$$\left[ P_{a0} = P_a + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k} \quad \text{kgf/mm}^2 \right]$$

CB\*/Z 350—87

4 倒车时的推入量  $S$  mm

4.1 倒车时的接触压力  $P_s$  可按 (9) 式或 (10) 式计算:

$$P_s = \frac{S_s}{A(\mu^2 - \beta^2)} \left[ \beta + \sqrt{\mu^2 \left( 1 + \frac{Q_s}{S_s} \right)^2 - \left( \frac{\beta Q_s}{S_s} \right)^2} \right] \text{ MPa} \dots\dots\dots (9)$$

$$P_s = \frac{S_s}{A(\mu^2 - \beta^2)} \left[ \beta + \sqrt{\mu^2 \left( 1 + \frac{Q_s}{S_s} \right)^2 - \left( \frac{\beta Q_s}{S_s} \right)^2} \right] \text{ kgf/mm}^2 \dots\dots\dots (10)$$

式中:  $Q_s = 2T_a/d_1$  N [kgf]

$$T_a = 0.8I_f \cdot T_m + T_v \text{ N} \cdot \text{mm} [\text{kgf} \cdot \text{mm}]$$

$$S_s = 0.8S_a \text{ N} [\text{kgf}]$$

4.2 单位压紧力的推入量  $P_k$  mm/MPa [mm/kgf·mm<sup>-2</sup>]

同正车时一样。

4.3 安全系数为 1, 倒车时推入量  $S$  可按 (11) 式或 (12) 式计算

a. 35℃ 时推入量  $S_{35}$

$$S_{35} = P_k \cdot P_s \text{ mm} \dots\dots\dots (11)$$

b. 0℃ 时推入量  $S_0$

$$S_0 = P_k \cdot P_{s0} \text{ mm} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{式中: } P_{s0} = P_s + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k} \text{ MPa}$$

$$[P_{s0} = P_s + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k} \text{ kgf/mm}^2]$$

5 满足计算要求 C 时的推入量  $S_v$  可按 (13) 式或 (14) 式计算

a. 35℃ 时推入量  $S_{v35}$

$$S_{v35} = P_k \times 19.62 \text{ mm} \dots\dots\dots (13)$$

$$[S_{v35} = P_k \times 2 \text{ mm}]$$

b. 0℃ 时推入量  $S_{v0}$

$$S_{v0} = P_k \cdot P_{v0} \text{ mm} \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{式中: } P_{v0} = 20 + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k} \text{ MPa}$$

$$[P_{v0} = 2 + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k} \text{ kgf/mm}^2]$$

6 桨壳内表面应力校正:

$$\sigma_{eo} = P_o \cdot \frac{\sqrt{3 \left( \frac{D_H}{d_s} \right)^4 + 1}}{\left( \frac{D_H}{d_s} \right)^2 - 1} \leq 0.35 [\sigma_s] \text{ MPa} [\text{kgf/mm}^2] \dots\dots\dots (15)$$

式中:  $P_o$  取  $P_{ao}$ ,  $P_{so}$ ,  $P_{vo}$  中的数值较大值。

CB\*/Z 350—87

---

附 录 A  
推入量起始点确定  
(参考件)

理论上推入量的起始点,应为螺旋桨壳内孔和桨轴的配合面既无间隙又无过盈时螺旋桨和桨轴的相对位置。

本标准建议推入量的实际起始点,可按螺旋桨和轴拂配时接触面积 $\geq 75\%$ 时的桨和轴的相对位置。  
推入量计算的精度为小数点后3位,四舍五入到两位。

CB\*/Z 350—87

附录 B  
算 例  
(参考件)

以27000吨 I 型为例:  
正车时推入量 (安全系数为 1)

表 B 1

序号	名 称	代号	单 位	计 算 公 式 及 来 源	数 值
1	主机功率	$N_e$	kW (HP)	已知	7869.846 (10700)
2	主机转速	$n$	r/min	已知	150
3	艏轴锥体平均外径	$d_1$	mm	已知	438.468
4	有效接触长度	$L$	mm	已知	740
5	有效接触面积	$A$	mm <sup>2</sup>		1019341.006
6	摩擦系数	$\mu$			0.170
7	冰区因素	$I_t$			1
8	平均扭矩	$T_m$	Nmm (kgf·mm)	$9549.3 \times 10^3 \frac{N_e}{n}$ $(716200 \frac{N_e}{n})$	501010135 (51088933)
9	螺旋桨轴直径	$d_s$	mm	已知	473
10	艏轴振动扭矩	$T_u$	Nmm (kgfmm)	$(365.8 - 0.2216) d^3 \times 10^{-2}$ $[(36.3 - 0.0226) d^3 \times 10^{-2}]$	276182384 (28159929.4)
11	振动扭矩	$T_v$	Nmm (kgfmm)	与 $T_u$ 同	276182384 (28159929.4)
12	总扭矩	$T_s$	Nmm (kgfmm)	$I_t T_m + T_v$	777192519 (79248862.7)
13	正车扭力	$Q_s$	N (kgf)	$2T_s/d_1$	3545036.4 (361480.7)
14	桨毂平均外径	$d_2$	mm	已知	888
15	螺旋桨直径	$D_p$	m	已知	4.900
16	正车时推力	$S_s$	N (kgf)	$76400 \times N_e/D_p/n$ $(5730 \times N_e/D_p/n)$	818035.7 (83416.326)
17	正车时接触压力	$P_s$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\frac{S_s}{A(\mu^2 - \theta^2)} \left[ -\theta + \sqrt{\mu^2 \left(1 + \frac{Q_s^2}{S_s^2}\right) - \left(\frac{\theta Q_s}{S_s}\right)^2} \right]$	20.470 (2.087)
18	键槽系数	$F_k$		0.935~0.965	0.950
19	轴弹性模数	$E_1$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	材料力学手册	206920.32 (21100)
20	桨毂弹性模数	$E_2$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	材料力学手册	117679.8 (12000)
21	桨毂泊桑系数	$\mu_2$		材料力学手册	0.33
22	轴的泊桑系数	$\mu_1$		材料力学手册	0.26
23	毂径比	$k_3$		$d_2/d_1$	2.025
24	轴内孔	$d_0$			0

CB\*/Z 350—87

续表 B 1

序号	名 称	代号	单 位	计 算 公 式 及 来 源	数 值
25	轴孔径比	$l$		$d_0/d_k$	0
26	尺寸系数	$R$		$\frac{E_1}{E_2} \left( \frac{K_3^2 + 1}{K_3^2 - 1} + \mu_2 \right) + \left( \frac{1 + l^2}{1 - l^2} \right) - \mu_1$	4.212
27	系数	$R_k$		$R/F_k$	4.434
28	$\frac{1}{2}$ 锥度	$\frac{1}{2} \theta$		已知 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{15}$	$\frac{1}{30}$
29	单位压紧力的推入量	$P_k$	mm/MPa (mm/kgfmm <sup>-2</sup> )	$d_1 \cdot R_k / 2 \theta \cdot E_1$	0.14094 (1.3821)
30	35℃正车时推入量	$S_{35}$	mm	$P_k \cdot P_a$	2.885
31	桨毂线膨胀系数	$\alpha_2$	1/℃	材料手册	$1.75 \times 10^{-5}$
32	轴毂线膨胀系数	$\alpha_1$	1/℃		$1.18 \times 10^{-5}$
33	0℃时压紧力	$P_0$	mm/MPa (mm/kgfmm <sup>-2</sup> )	$P_a + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k}$	29.779 (3.0366)
34	0℃正车时推入量	$S_0$	mm	$P_k \cdot P_0$	4.197

倒车时推入量 (安全系数为 1)

表 B 2

序号	名 称	代号	单 位	计 算 公 式 及 来 源	数 值
1	倒车时扭力	$Q_s$	N (kgf)	$2 \times (0.8 I_t \times T_m + T_v) / d_1$	3087981.3 (314886.5)
2	倒车时推力	$S_s$	N (kgf)	$0.8 S_a$	654428.55 (66733.14)
3	倒车时接触压力	$P_s$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\frac{S_s}{A(\mu^2 - \theta^2)} \left[ \theta + \sqrt{\mu^2 \left( 1 + \frac{Q_s^2}{S_s^2} \right) - \left( \frac{\theta Q_s}{S_s} \right)^2} \right]$	1.929
4	35℃时倒车推入量	$S_{35}$	mm	$P_k \cdot P_s$	2.729
5	0℃时倒车接触压力	$P_{s0}$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	$P_s + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k}$	28.672 (2.9237)
6	0℃时倒车推入量	$S_0$	mm	$P_k \cdot P_{s0}$	4.041



CB\*/Z 350—87

满足计算要求C时的推入量

表 B 3

序号	名 称	代号	单 位	计 算 公 式 及 来 源	数 值
1	接触面正压力	$P_v$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )		19.62 (2)
2	35℃时推入量	$S_{35}$	mm	$P_k \cdot P_v$	2.764
3	0℃时接触正压力	$P_{v0}$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	$20 + \frac{(a_2 - a_1) \times 35 \times E_1}{R_k}$	28.930 (2.949)
4	0℃时推入量	$S_0$	mm	$P_k \cdot P_{v0}$	4.077

根据上述计算结果值,正式推入量取下列值:

35℃时 2.885mm

0℃时 4.197mm

如在0℃与35℃之间的任一温度下安装,则用插入法。

桨毂内表面应力校核:

表 B 4

序号	名 称	代号	单 位	计 算 公 式 及 来 源	数 值
1	螺旋桨外壳大端直径	$D_H$	mm	约取	888
2	最大接触压力	$P_0$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	取 $P_{a0}, P_{s0}, P_{v0}$ 大值	29.779 (3.0366)
3	桨毂内表面应力	$\sigma_{e0}$	MPa (kgf/mm <sup>2</sup> )	$P_0 \frac{\sqrt{3 \left( \frac{D_H}{d_s} \right)^4 + 1}}{\left( \frac{D_H}{d_s} \right)^2 - 1}$	72.972 (7.441)
4	桨毂许用屈服强度	$[\sigma_s]$	kgf/mm <sup>2</sup>	已知 0.35 $[\sigma_s]$	274.5862 (28) 96.11 (9.8)

所以桨毂内表面应力符合要求。

附加说明:

本标准由海洋运输船分委员会提出,由上海船舶设计研究院归口。

本标准由中国船舶及海洋工程设计研究院起草。

本标准主要起草人侯惠莲、张富明。