



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

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/mm²) 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。

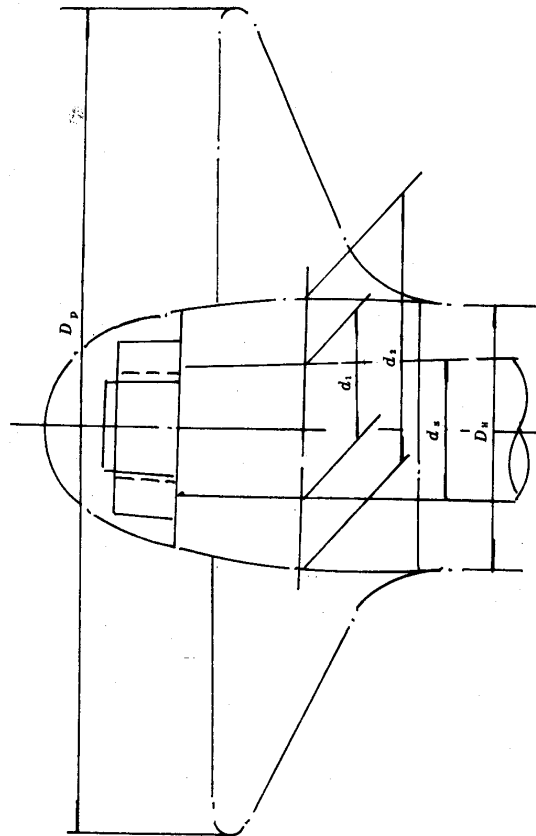
2 符号说明见表1及图1。

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 ²]
P_d	倒车时接触压力	MPa [kgf/mm ²]
P_{s0}	正车0℃时压紧力	MPa [kgf/mm ²]
P_{d0}	倒车0℃时压紧力	MPa [kgf/mm ²]
P_{v0}	满足要求c情况下0℃时压紧力	MPa [kgf/mm ²]
P_k	单位压紧力的推入量	mm/MPa [mm/kgfmm ⁻²]
S	推入量	mm
I_f	冰区因素	
μ	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

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 ²
R	尺寸系数	
θ	$\frac{1}{2}$ 锥度	
K_3	壳径比	
E_2	桨壳弹性模数	MPa [kgf/mm ²]
E_1	轴弹性模数	MPa [kgf/mm ²]
μ_2	桨壳的泊桑系数	
μ_1	轴的泊桑系数	
α_2	桨壳的线膨胀系数	1/°C
α_1	轴的线膨胀系数	1/°C
$[\sigma_s]$	材料的屈服强度	MPa [kgf/mm ²]
σ_{e0}	0 °C 时桨壳内表面应力	MPa [kgf/mm ²]



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 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

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

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

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

4 倒车时的推入量 S mm4.1 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⁻²]

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。

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。

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	艉轴锥体平均外径	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 ²		1019341.006
6	摩擦系数	μ			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	艉轴振动扭矩	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 ²)	$\frac{S_s}{A(\mu^2 - \theta^2)} \left[-\theta + \sqrt{\mu^2 \left(1 + \frac{Q_s^2}{S_s^2}\right) - \left(\frac{\theta Q_s}{S_s}\right)^2} \right]$	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 ²)	材料力学手册	206920.32 (21100)
20	桨毂弹性模数	E_2	MPa (kgf/mm ²)	材料力学手册	117679.8 (12000)
21	桨毂泊桑系数	μ_2		材料力学手册	0.33
22	轴的泊桑系数	μ_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

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 ⁻²)	$d_1 \cdot R_k / 2\theta \cdot E_1$	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	α_2	1/℃	材料手册	1.75×10^{-5}
32	轴毂线膨胀系数	α_1	1/℃		1.18×10^{-5}
33	0℃时压紧力	P_0	mm/MPa (mm/kgfmm ⁻²)	$P_a + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k}$	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 ²)	$\frac{S_s}{A(\mu^2 - \theta^2)} \left[\theta + \sqrt{\mu^2 \left(1 + \frac{Q_s^2}{S_s^2} \right) - \left(\frac{\theta Q_s}{S_s} \right)^2} \right]$	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 ²)	$P_s + \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times 35 \times E_1}{R_k}$	28.672 (2.9237)
6	0℃时倒车推入量	S_0	mm	$P_k \cdot P_{s0}$	4.041

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 ²)		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 ²)	$20 + \frac{(a_2 - a_1) \times 35 \times E_1}{R_k}$	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 ²)	取 P_{a0}, P_{s0}, P_{v0} 大值	29.779 (3.0366)
3	桨毂内表面应力	σ_{e0}	MPa (kgf/mm ²)	$P_0 \frac{\sqrt{3 \left(\frac{D_H}{d_s} \right)^4 + 1}}{\left(\frac{D_H}{d_s} \right)^2 - 1}$	72.972 (7.441)
4	桨毂许用屈服强度	$[\sigma_s]$	kgf/mm ²	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。