



中华人民共和国船舶行业标准

CB/T 347—1997

一般排水型船舶模单桨自航试验方法

**Test method of single screw model self-propulsion
for general displacement ship**

1997-10-17 发布

1998-06-01 实施

中国船舶工业总公司 发布

前 言

本标准是对CB*/Z 347—85进行修订的。在修订时,保留了CB*/Z 347—85中实践证明适合我国各单位水池的内容;同时,根据我国“七五”、“八五”的科学研究成果,充实了假艉修正、“零飘”修正,并根据对试验结果作误差分析或作不确定度分析等内容。

本标准从生效之日起,同时代替CB*/Z 347—85。

本标准由船舶理论与实验分技委提出。

本标准由中国船舶工业总公司第七研究院七〇二所归口。

本标准起草单位:七〇二所。

本标准主要起草人:俞汉祥。

本标准1985年10月首次发布。

中华人民共和国船舶行业标准

一般排水型船船模单桨自航试验方法

Test method of single screw model self-propulsion
for general displacement ship

CB/T 347—1997

分类号:U 11

代替 CB*/Z 347—85

1 范围

本标准规定了一般排水型船船模单桨自航试验和实船快速性性能的预报方法。

本标准适用于一般排水型船船模单桨自航试验及其实船快速性性能的预报。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

CB*/Z 326—82 一般排水量船模阻力试验规程及结果的标准表达式

CB/T 346—1997 螺旋桨模型散水试验方法

3 一般要求

3.1 船模自航试验,其船模及螺旋桨的几何形状,应和实船及其螺旋桨保持几何相似,模型的桨轴和尾轴管之间的配合应适度。

3.2 船模除了做自航试验外,还要做船模阻力试验和桨模散水试验,船模的自航试验一般紧接在船模阻力试验和桨模散水试验以后进行。

3.3 推荐采用强迫自航的方法进行试验。

3.4 试验时,选用测试精度高的电测式或机电混合式的测试仪表。各测试参数的测定值,应处在所选仪表的1/3~2/3满量程范围内。

3.5 要求对试验结果作误差分析,或作不确定度分析。

4 模型阻力试验

4.1 试验方法

试验应按CB*/Z 326规定进行,在测定了船模的总阻力 R_{Tm} 、拖曳速度 V_m 和试验时水池的水温 t_m 以后,按CB*/Z 326规定的方法,或按二因次方法进行实船换算。

4.2 二因次换算方法

4.2.1 实船裸体总阻力系数 C_{TSN} 按公式(1)换算。

$$C_{TSN} = C_{FS} + C_R + \Delta C_F \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: C_{FS} ——摩擦阻力系数;

ΔC_F ——阻力附加补贴值(相关因子),由各试验水池根据自己积累的经验统计资料选取。

4.2.2 单桨船的舵龙骨阻力,一般取裸船体总阻力的2%,空气阻力一般也取2%,单桨船的总阻力系数 C_{TS} 、实船总阻力 R_{TS} 及实船有效功率 P_E 分别按公式(2)、(3)、(4)计算。

$$C_{TS} = 1.04 \times (C_{FS} + C_R + \Delta C_F) \dots\dots\dots (2)$$

$$R_{TS} = C_{TS} \times [(1/2)\rho_s \cdot S \cdot V_S^2] \dots\dots\dots (3)$$

$$P_E = (R_{TS} \times V_S) / 1000 \dots\dots\dots (4)$$

式中: C_R ——船模或实船的剩余阻力系数;

ΔC_F ——阻力附加补贴值;

ρ_s ——15℃时的海水密度, kg/m³;

S ——实船湿表面积, m²;

V_S ——实船航速, m/s;

P_E ——实船有效功率, kW;

R_{TS} ——实船总阻力, N.

5 螺旋桨模型散水试验

5.1 与自航试验相配的螺旋桨模型的散水试验按 CB/T 346 规定的试验方法进行, 并进行假载推力修正。桨模的缩尺比应与船模的缩尺比相同。

5.2 桨模的散水试验结果用 CB/T 346 规定的无因次系数表达。

5.3 实船螺旋桨的散水性能曲线可以是桨模的散水性能曲线, 也可以是作尺度效应修正后的散水性能曲线, 尺度效应的修正按 CB/T 346 规定的方法进行。

6 模型自航试验

6.1 自航试验的速度范围

自航试验一般应不少于 4 个自航速度, 即 V_{m1} 、 V_{m2} 、 V_{m3} 、 V_{m4} , 其中 V_{m3} 和实船设计航速相当, V_{m4} 则稍高于实船的设计航速。各自航速度间的速度间隔应合理选取, 但这一速度间隔最大不能超过 1.5kn。

6.2 自航试验的强制力范围

在每一个选定的自航速度 V_m 情况下, 应试验不少于 5 个不同强制力 Z_{m1} 、 Z_{m2} 、 Z_{m3} 、 Z_{m4} 和 Z_{m5} 。 Z_{m1} 取在“零”值附近, 相当于船模自航点; Z_{m3} 在 F_D 值附近, 相当于实船自航点; Z_{m2} 约为 0.5 F_D 值; Z_{m4} 约为 1.5 F_D 值; Z_{m5} 约为 2 F_D 。 F_D 为船模在速度 V_m 时相应于实船自航点的阻力修正值, 可按公式(5)计算。

$$F_D = (C_{Fm} - C_{FS'}) \times (1/2)\rho_m \cdot S_m \cdot V_m^2 \left. \vphantom{F_D} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$C_{FS'} = C_{FS} + \Delta C$$

式中: ρ_m ——试验时水池的水密度, kg/m³;

V_m ——船模拖曳速度, m/s;

S_m ——船模湿表面积, m²;

ΔC ——各试验水池根据自己经验而选取的附加摩擦阻力系数;

C_{FS} ——实船的摩擦阻力系数;

C_{Fm} ——船模的摩擦阻力系数。

摩擦阻力系数 C_{Fm} 或 C_{FS} 按公式(6)计算。

$$C_F = 0.075 / (\log Re - 2)^2 \dots\dots\dots (6)$$

式中: C_F ——摩擦阻力系数;

Re ——船模雷诺数。

6.3 速度差异对转速、强制力、推力及扭矩的修正

在对某一选定速度 V_m 进行不同强制力下的自航试验时, 当试验速度存在小量偏差(以不超过 V_m 的 1% 为限)时, 应对测量数据作修正, 其修正方法如下:

某次试验测得的船模拖曳速度为 V_m' , 桨模的推力和扭矩为 T_m' 和 Q_m' , 转速为 n_m' , 强制力为

Z_m' , 则相应于选定速度 V_m 情况下的 T_m 、 Q_m 、 n_m 和 Z_m 值应按公式(7)、(8)、(9)、(10)计算。

$$V_m'/V_m = n_m'/n_m \dots\dots\dots (7)$$

$$T_m'/T_m = (V_m'/V_m)^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_m'/Q_m = (V_m'/V_m)^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$Z_m'/Z_m = (V_m'/V_m)^2 \dots\dots\dots (10)$$

如上述的速度差异大于 1% 时, 应重新进行试验。

6.4 “零飘”修正

应在试验即将开始前, 拆除桨模, 换上假毂和导流帽后旋转(此时的 $V_m=0$), 对装在船模内的自航仪作零线标定; 自航试验后, 重复上述的动作, 再对零线作标定。两者之间的差异即为“零飘”值, “零飘”值与试验测得的最大 T_m (或 Q_m) 值之比不大于 2% 时, 可对 T_m (或 Q_m) 值作“零飘”修正; 否则应重新进行测定。

推力 T_m (或扭矩 Q_m) 试验测定值的“零飘”修正方法如下:

先从试验记录中查找开始出现推力(或扭矩)“零飘”的相应试验次数的序号 n , 并求出推力(或扭矩)的“零飘”值 ΔT_m (或 ΔQ_m) 值和 $\Delta T_m/n$ (或 $\Delta Q_m/n$) 值, 然后对在第 n 次试验前测定的(包括第 n 次试验的) n 组推力(或扭矩)值 T_{m1} 、 T_{m2} 、 $\dots\dots T_{mn}$ (或扭矩值 Q_{m1} 、 Q_{m2} 、 $\dots\dots Q_{mn}$) 按公式(11)或公式(12)作“零飘”修正, 求得修正后的推力(或扭矩)值 T_{m1}' 、 T_{m2}' 、 $\dots\dots T_{mn}'$ (或 Q_{m1}' 、 Q_{m2}' 、 $\dots\dots Q_{mn}'$)。此时, 尽管各组的推力(或扭矩)修正值是不同的, 但在对每组中的 5 个推力(或扭矩)测量值分别作修正时, 它们的修正都作为一个常量来处理。

$$\left. \begin{aligned} T_{m1}' &= T_{m1} \pm (1/n)\Delta T_m \\ T_{m2}' &= T_{m2} \pm (2/n)\Delta T_m \\ &\vdots \\ &\vdots \\ T_{mn}' &= T_{mn} \pm \Delta T_m \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

或

$$\left. \begin{aligned} Q_{m1}' &= Q_{m1} \pm (1/n)\Delta Q_m \\ Q_{m2}' &= Q_{m2} \pm (2/n)\Delta Q_m \\ &\vdots \\ &\vdots \\ Q_{mn}' &= Q_{mn} \pm \Delta Q_m \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

6.5 库存桨模型自航试验

库存桨(备用桨)模型自航试验的试验方法与设计桨的模型自航试验相同, 其试验结果可对设计船的快速性作初步预报或为设计正式桨提供更确切的设计参数。库存桨的选取必须以已知设计桨的主要参数为前提, 桨的直径一般应与设计桨的直径相同, 若不能相同, 二者之间的差别不允许超过 1.5%; 螺距比也应接近设计桨; 叶面比、壳径比、桨叶数、叶剖面形状等与设计桨之间的差别也不应太大。

6.6 船模自航试验曲线

船模自航试验的测量结果应绘制成图 1 所示的曲线。

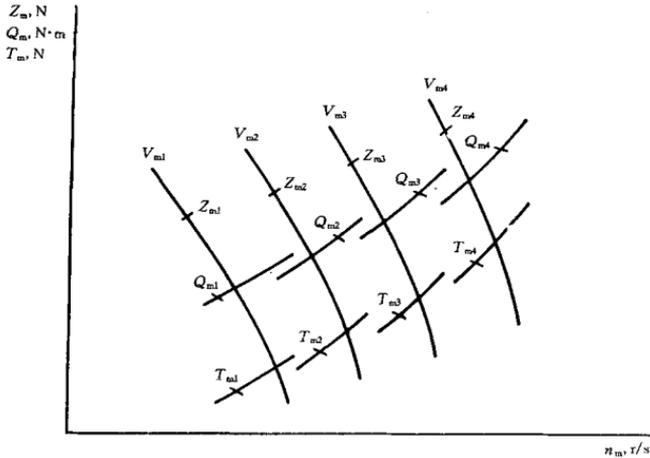


图1 船模自航试验曲线

6.7 船模自航试验结果分析

6.7.1 实船自航点的确定

先按公式(5)计算出不同 V_m 下的 F_D , 然后求出该 F_D 值与各 V_m 时的自航试验强制力 Z_m 曲线的交点, 该交点即为实船自航点, 并查得与此相对应的 T_m 、 Q_m 和 n_m 值, 这些 T_m 、 Q_m 和 n_m 值即为实船自航点时桨模的推力、扭矩及转速。

6.7.2 模型推进效率成分的分析

根据图1曲线和模型自航试验前得到的阻力试验曲线及桨模敞水性征曲线, 按表1和表2所列的分析步骤进行推进效率成分的分析, 其中推进效率 η_{Dm} 的分析步骤见表1; 推进效率成分的分析步骤见表2。

由表1、表2中求得的 η_{Dm} 在数值上应基本相同, 它们之间的差值不得超过1%。

表1 推进效率计算表

名称及符号		测量点的值				
船模自航试验速度 V_m , m/s		V_{m1}	V_{m2}	V_{m3}	V_{m4}	V_{m5}
实船相当速度 $V_s = \sqrt{\lambda} \times V_m$, kn(或 km/h)		V_{s1}	V_{s2}	V_{s3}	V_{s4}	V_{s5}
船模自航试验前的阻力 R_{Tm} , N		R_{Tm1}	R_{Tm2}	R_{Tm3}	R_{Tm4}	R_{Tm5}
确定实船自航点的阻力修正 F_D , N		F_{D1}	F_{D2}	F_{D3}	F_{D4}	F_{D5}
由桨模推力克服的船体阻力 $R_m = R_{Tm} - F_D$, N		R_{m1}	R_{m2}	R_{m3}	R_{m4}	R_{m5}
由 F_D 在船模自航试验曲线上查得:	桨模转速 n_m , r/s	n_{m1}	n_{m2}	n_{m3}	n_{m4}	n_{m5}
	桨模推力 T_m , N	T_{m1}	T_{m2}	T_{m3}	T_{m4}	T_{m5}
	桨模扭矩 Q_m , N·m	Q_{m1}	Q_{m2}	Q_{m3}	Q_{m4}	Q_{m5}
推进效率 $\eta_{Dm} = (R_m \cdot V_m) / (2\pi n_m \cdot Q_m)$		η_{Dm1}	η_{Dm2}	η_{Dm3}	η_{Dm4}	η_{Dm5}

表 2 推进效率成分计算表

名称及符号		测量点的值				
船后桨模之推力系数 $K_{Tm} = T_m / (\rho_m \cdot n_m^2 \cdot D_m^4)$		K_{Tm1}	K_{Tm2}	K_{Tm3}	K_{Tm4}	K_{Tm5}
船后桨模之扭矩系数 $K_{Qm} = Q_m / (\rho_m \cdot n_m^2 \cdot D_m^5)$		K_{Qm1}	K_{Qm2}	K_{Qm3}	K_{Qm4}	K_{Qm5}
按等推力法在桨模 散水性征曲线上查 得:	进速系数 J_m	J_{m1}	J_{m2}	J_{m3}	J_{m4}	J_{m5}
	散水扭矩系数 K_{Qom}	K_{Qom1}	K_{Qom2}	K_{Qom3}	K_{Qom4}	K_{Qom5}
	散水效率 η_{om}	η_{om1}	η_{om2}	η_{om3}	η_{om4}	η_{om5}
相对旋转效率 $\eta_{rm} = K_{Qom} / K_{Qm}$		η_{rm1}	η_{rm2}	η_{rm3}	η_{rm4}	η_{rm5}
推力减额分数 $t_m = 1 - (R_m / T_m)$		t_{m1}	t_{m2}	t_{m3}	t_{m4}	t_{m5}
伴流分数 $\omega_m = 1 - [(J_m \cdot n_m \cdot D_m) / V_m]$		ω_{m1}	ω_{m2}	ω_{m3}	ω_{m4}	ω_{m5}
船身效率 $\eta_{sm} = (1 - t_m) / (1 - \omega_m)$		η_{sm1}	η_{sm2}	η_{sm3}	η_{sm4}	η_{sm5}
推进效率 $\eta_{Dm} = \eta_{om} \cdot \eta_{sm} \cdot \eta_{rm}$		η_{Dm1}	η_{Dm2}	η_{Dm3}	η_{Dm4}	η_{Dm5}

7 实船快速性能预报

实船快速性能预报可按 1978 年国际拖曳水池会议性能委员会推荐的方法或 ΔC_T (或 ΔC_F)、 $\Delta \omega$ 方法进行。

7.1 1978 年国际拖曳水池会议性能委员会单桨实船快速性能预报法

此方法第一部分是标准预报法,一切分析计算参照按国际拖曳水池会议性能委员会规定的步骤进行;第二部分是结合各试验水池的经验作一定的修正。

7.1.1 1978 年国际拖曳水池会议性能委员会标准预报法如下:

- 实船阻力按 CB*/Z 326 中的规定进行换算;
- 实桨的散水性能应根据模型桨的散水性能作尺度效应修正后求得,尺度效应的修正按 CB/T 346 规定的方法进行;
- 模型的推进效率成分,如 ω_m 、 t_m 和 η_{rm} 等用等推力法分析求得,见 6.6;
- 实船伴流分数 ω_s 根据模型伴流分数 ω_m 按公式(13)计算:

$$\omega_s = (t_m + 0.04) + [\omega_m - (t_m + 0.04)] \times [(1 + K)C_{FS} + \Delta C_F] / (1 + K)C_{Fm} \dots\dots (13)$$

式中: ΔC_F ——实船粗糙度附加值,按 CB*/Z 326 规定进行计算;

t_m ——推力减额分数,由表 2 计算;

C_{FS} ——实船摩擦阻力系数,按 CB*/Z 326 规定计算;

C_{Fm} ——船模摩擦阻力系数,按 CB*/Z 326 规定计算;

$(1 + K)$ ——形状因子,按 CB*/Z 326 规定计算。

- 假定实船和模型的推力减额系数 t 及相对旋转效率 η_r 相同,即可忽略尺度效应的影响, $t_s = t_m$, $\eta_{rs} = \eta_{rm}$;

- 标准预报按表 3 和表 4。

表 3 标准预报法计算表 A

名称及符号	测量点的值				
船模自航试验速度 V_m , m/s	V_{m1}	V_{m2}	V_{m3}	V_{m4}	V_{m5}
实船相当速度 $V_s = V_m \cdot \sqrt{\lambda}$, kn(或 km/h)	V_{s1}	V_{s2}	V_{s3}	V_{s4}	V_{s5}
实船总阻力 R_{TS} , N	R_{TS1}	R_{TS2}	R_{TS3}	R_{TS4}	R_{TS5}
实桨的进速 $V_A = (1 - \omega_s) \cdot V_s$, m/s	V_{A1}	V_{A2}	V_{A3}	V_{A4}	V_{A5}
实桨的推力 $T_s = R_{TS} / (1 - t_m)$, N	T_{S1}	T_{S2}	T_{S3}	T_{S4}	T_{S5}
实桨负荷系数 $K_T / J^2 = T_s / (\rho_s \cdot V_A^2 \cdot D_s^2)$	K_{T1}	K_{T2}	K_{T3}	K_{T4}	K_{T5}

表 3 中的 K_T / J^2 为克服船体阻力所要求的螺旋桨负荷系数,当船速 V_s 给定时, K_T / J^2 为一常数。在实桨散水性征曲线图中所作出的 K_T / J^2 曲线上可查与该值相对应的点,该点即为实桨在船速 V_s 时的工作点,由此可求出实桨的进速系数、散水扭矩系数 K_{Q0} 及散水效率 η_0 ,并按表 4 计算实桨的收到马力 P_{DS} 。

表 4 标准预报法计算表 B

名称及符号	测量点的值				
实桨的进速系数 J	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
实桨的散水扭矩系数 K_{Q0}	K_{Q01}	K_{Q02}	K_{Q03}	K_{Q04}	K_{Q05}
实桨的散水效率 η_0	η_{01}	η_{02}	η_{03}	η_{04}	η_{05}
实桨的转速 $N_s = (1 - \omega_s) V / (J \cdot D_s)$, r/s	N_{S1}	N_{S2}	N_{S3}	N_{S4}	N_{S5}
实船速度 V_s , m/s	V_{S1}	V_{S2}	V_{S3}	V_{S4}	V_{S5}
实船总阻力 R_{TS} , N	R_{TS1}	R_{TS2}	R_{TS3}	R_{TS4}	R_{TS5}
实船有效功率 $P_{ES} = (R_{TS} \cdot V_s) / 1000$, kW	P_{ES1}	P_{ES2}	P_{ES3}	P_{ES4}	P_{ES5}
实船的推进效率 $\eta_{DS} = \eta_{0S} \cdot \eta_{tm} \cdot [(1 - t_m) / (1 - \omega_s)]$	η_{DS1}	η_{DS2}	η_{DS3}	η_{DS4}	η_{DS5}
实桨收到功率 $P_{DS} = P_{ES} / \eta_{DS}$, kW	P_{DS1}	P_{DS2}	P_{DS3}	P_{DS4}	P_{DS5}

收到功率 P_{DS} 可按公式(14)计算:

$$P_{DS} = (2\pi \cdot N_s \cdot K_{Q0} / \eta_{tm}) \times \rho_s \cdot N_s^2 \cdot D_s^5 \dots \dots \dots (14)$$

- 式中: N_s ——螺旋桨转速, r/s;
- D_s ——螺旋桨直径, m;
- ρ_s ——15℃时的海水密度, kg/m³;
- η_{tm} ——船模或实船的相对旋转效率;
- K_{Q0} ——螺旋桨扭矩系数。

7.1.2 经验修正时,按公式(15)进行修正。

$$\left. \begin{aligned} P_{DS} &= P_{D1} / C_P \\ N_s &= N_1 / C_N \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

- 式中: P_{DS} ——用 ITTC 标准预报法得出的螺旋桨收到功率, kW;
- N_s ——用 ITTC 标准预报法得出的螺旋桨转速, r/s;

P_{DT} ——预估实船在试航时螺旋桨的收到功率, kW;

N_T ——预估的实船螺旋桨转速, r/s;

C_P ——功率因子, 由各水池根据自己积累的相关分析统计资料选取;

C_N ——转速因子, 由各水池根据自己积累的相关分析统计资料选取。

7.2 ΔC_T (或 ΔC_F)、 $\Delta\omega$ 法

7.2.1 实船总阻力由二因次方法换算而得, 见 4.2; 螺旋桨散水性征可直接应用模型试验结果或对尺度作用修正后的数据。

7.2.2 实船伴流分数 ω_s 可按公式(16)计算:

$$\omega_s = \omega_m - \Delta\omega \quad \text{..... (16)}$$

式中: ω_m ——模型试验得到的模型伴流分数;

$\Delta\omega$ ——伴流的相关因子, 各单位根据自己积累的经验来选取。

7.2.3 假定推力减额系数和相对旋转效率不受尺度作用的影响, 模型和实船的一样, 即: $t_s = t_m$, $\eta_{ts} = \eta_{tm}$ 。

7.2.4 实船快速性能预报方法按 7.1.1 条中 f) 的规定。

7.3 P_{DS} - V_S , N_S - V_S 曲线

由 7.1.1 中所求得实船快速性能预报结果应绘制成图 2 所示的曲线。

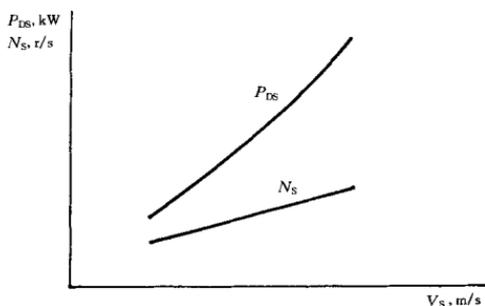


图 2 实船快速性能预报曲线

8 实船舶、机、桨匹配的判断

8.1 按公式(17)计算主机能供给螺旋桨的功率 P_{DS}' :

$$P_{DS}' = P_S \cdot \eta_s \quad \text{..... (17)}$$

式中: η_s ——轴系传送效率, 一般情况下, 对尾机型船: η_s 取 0.98; 对中机型船: η_s 取 0.97;

P_S ——主机功率, kW。

在采用减速齿轮箱的情况下, 在 η_s 中尚需考虑该减速箱的效率, 同时主机驱动螺旋桨的转速应将减速比考虑进去。

8.2 将 P_{DS}' 画在如图 3 所示的实船快速性能预报曲线上, 直线 P_{DS}' 与 P_{DS} (曲线) 的交点表示主机能供给桨的功率恰是桨所需要吸收的功率。由该交点对应的 N_S 及 V_S 值即为螺旋桨的转速及实船预报的航速。

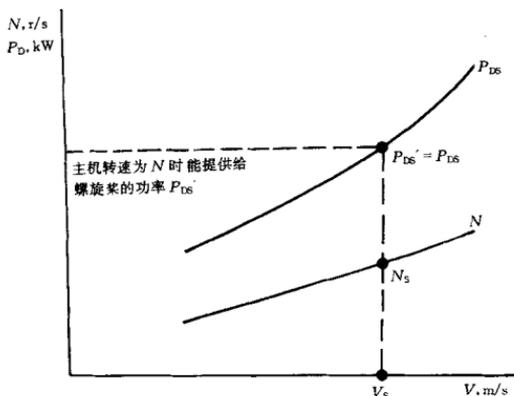


图3 船、机、桨匹配的判断

8.3 根据主机转速 N 与螺旋桨转速 N_s 之间的下列关系可判断桨与主机的匹配情况：

- 当 $P_{Ds}' = P_{Ds}$ 时，若 $N = N_s$ ，表示主机和螺旋桨是匹配的，故实船试航速预估值可达 V_s ；
- 当 $P_{Ds}' = P_{Ds}$ 时，若 $N < N_s$ ，表示主机和螺旋桨不匹配，螺旋桨的负荷“过小”；
- 当 $P_{Ds}' = P_{Ds}$ 时，若 $N > N_s$ ，表示主机和螺旋桨不匹配，螺旋桨的负荷“过大”。

9 船模自航试验报告内容

自航试验分析报告，除必要的分析和说明外，还可以包括以下内容：

- 船的横剖面及艏、艉轮廓图；
- 艉部布置简图，给出螺旋桨和舵等的位置；
- 螺旋桨简图；
- 实船有效功率曲线 ($P_E - V_s$ 曲线)；
- 螺旋桨的敞水性征曲线 ($K_T - J$ 、 $K_Q - J$ 和 $\eta_0 - J$ 曲线)，该曲线可以是桨模的，试验结果也可以按

5.3修正到实船螺旋桨，由各单位根据自己的实船-模型相关经验而定；

- 实船性能预估及航速预报曲线(图3)；
- 实船主尺度及船型参数表；
- 实船的主机参数，如主机型式、主机额定功率和额定转速等；
- 螺旋桨主尺度及参数表；
- 模型推进效率成分分析表；
- 实船性能预估分析表；
- 实船有效功率及螺旋桨敞水性能计算表；
- 船模自航试验曲线。