

## 七 性能计算（快速性）

目的：设计合适参数的螺旋桨（包括强度），满足航速的要求

步骤：

1. 选取合适的主机；
2. 有效马力的换算：使用海军系数法，根据母型船的有效马力换算得到设计船的有效马力；（本次设计不需要对有效马力进行浅水修正）
3. 推进因子的确定（ $t$ 、 $w$ ）：方法一、参考母型船的推进因子选取；方法二、根据经验公式选取；
4. 螺旋桨的设计：功率储备取 10%， 轴系效率  $\eta_s=0.97$ ， 齿轮箱的效率取 0.97 螺旋桨敞水收到功率  $P_{D0}=P_s*0.9*0.97*0.97*\eta_s*\eta_R$
5. 空泡校核：
6. 螺旋桨的强度校核

以下为螺旋桨设计过程的一个参考：

### 1、船型参数

(1) . 本船主要尺度和系数

总长 $L_{oa}$	21m
水线长 $L_{wl}$	18.8m
水线宽 $b$	1.6m
吃水 $T$	0.97m
方型系数 $C_b$	$\sim 0.447$
排水量 $\Delta$	$\sim 26T$
桨轴距基 $z_p$	0.4m

(2) . 主机参数

型号	WD615.67C01 柴油机 2 台（杭州汽车发动机厂）
标定功率	180kw $\times$ 2
转速	2000rpm
齿轮箱	120C 型
速比	$i=2.0$
齿轮箱效率	0.97
轴系效率	0.97

### 2、快速性的估算

快速性估算的目的在一定 MHP 下预报航速  $V_s$ ，为此有两部分的工作要做。一是有效马力估算，二是螺旋桨推马力估算（即螺旋桨设计）

3、有效马力估算（阻力估算）

由于无法做船模试验，本设计只能用近似方法进行估算。采用海军系数法

$$Pe = \frac{\Delta^{2/3} V^3}{C_m}$$
 进行有效马力估算

表 7-1 有效马力估算

母型船速度		25	26	27.5	28	30	32	32.5	34	35
度	Vs(km/h.)									
	V'(m/s)	6.94	7.22	7.64	7.78	8.33	8.89	9.03	9.44	9.72
	Vs(kn.)	13.50	14.04	14.85	15.12	16.20	17.28	17.55	18.36	18.90
母型船阻力										
	Rs(kgf)	1421.28	1510.10	1604.70	1530.20	1698.85	1790.30	1823.52	1910.40	1956.06
母型有效马力										
	EHP(kw)	96.76	104.17	120.18	125.00	138.80	155.28	161.40	176.14	186.44
实船有效马力										
	EHP(kw)	63.06	67.88	78.3144	81.46	90.45	101.19	105.17	114.39	121.50
实船阻力										
	Rs(KN)	9.080	9.399	10.252	10.473	10.854	11.384	11.650	12.112	12.497

4、浅水修正

采用阿普赫金法，由于原有效马力速度范围所限，且本船航区水深较小，所以估算采用外插法修正，并作适当的调整处理<sup>[9]</sup>。

太湖平均水深为 1.89m

12 届 ITTC 推荐的实船试验不计浅水影响的最小水深公式为：

$$h > 3\sqrt{BT}$$

$$h > 2.75v_s^2 / g$$

又对于本设计  $2.75v_s^2 / g = 19.1 > 1.89$

$$3\sqrt{BT} = 3.964 > 1.89, \text{ 必须进行修正}$$

又  $h/T=3$  时，得到深水的水深  $h=3T=3*0.97=2.91\text{m}$ ，而  $F_{rh1} = v/\sqrt{gh}$

插图得到

表 7-2 浅水修正计算表

母型船速度	Vs(km/h.)	27.50	28.00	30.00	32.00	32.50	34.00	35.00
	V'(m/s)	7.64	7.78	8.33	8.89	9.03	9.44	9.72
	Vs(kn.)	14.85	15.12	16.20	17.28	17.55	18.36	18.90
计算	Frh1	1.43	1.46	1.56	1.66	1.69	1.77	1.82
查图有	$\Delta V/V$	-0.17	-0.14	-0.01	0.06	0.05	0.09	0.20
	V(m/s)	6.34	6.69	8.25	9.43	9.48	10.29	11.67
实船阻力	Rs(KN)	830.00	860.00	990.00	1061.00	1050.00	1090.00	1200.00
修正 EHP	V*Rs	65.00	70.06	89.54	107.36	110.43	124.69	145.80

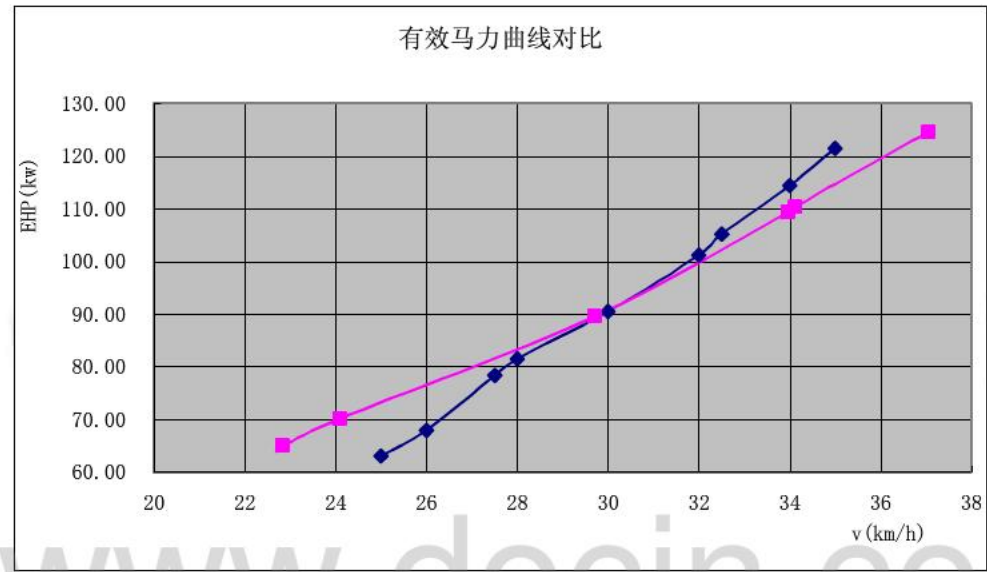


图7-1 有效马力修正

作上述修正后本船在浅水中的有效马力为：

表7-3 修正后的有效马力

Vs(km/h.)	26.00	27.00	28.00	29.00	30.00	31.00	32.00	33.00	34.00	35.00
Vs(kn.)	14.04	14.58	15.12	15.66	16.20	16.74	17.28	17.82	18.36	18.90
EHP(kw)	77.10	79.20	82.80	87.20	89.81	95.60	99.70	104.11	109.80	114.10

5、螺旋桨设计

(1)主要设备选型

① 主机选型

选定柴油机的型号是杭州汽车发动机厂生产的 WD615. 67C01，额定功率是

180 KW, 转速为 2000r/min,

## ② 齿轮箱选型

从艉部线型和吃水条件来看, 普通船舶的螺旋桨直径大致在下列范围:

$$D = (0.7 \sim 0.8) T (\text{单桨});$$

$$D = (0.6 \sim 0.7) T (\text{双桨});$$

所以可以估算出设计船舶螺旋桨直径的大致范围:

$$D = (0.7 \sim 0.8) T = (0.7 \sim 0.8) \times 0.97 = 0.672 \sim 0.776 \text{m}$$

由螺旋桨限制直径公式

$$D = 1.04 \times [EHP / (N / 100)^3]^{0.2}$$

可以估算出螺旋桨转速。

$$N = 100 (EHP / (D / 1.04)^5)^{1/3}$$

N: 1166.26 ~ 917.8

相应减速比为: 1.714 ~ 2.179

经过比较, 最后选用的齿轮箱如下:

型号	120C
额定转速 (r/min)	1000~2500
重量	225 kg
减速比	2.0
外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	352×432×650

## (2) 推进因子

伴流分数  $\omega = 0.113$

推力减额  $t = 0.104$

相对旋转效率  $\eta_r = 1.0$

船身效率  $\eta_H = (1-t) / (1-\omega) = (1-0.104) / (1-0.113) = 1.01$

## (3) 螺旋桨桨叶数 Z 及桨型的选取

根据一般情况, 单桨船多用四叶, 加之四叶图谱资料较为详尽、方便查找, 故选用四叶。加之 MAU 桨图谱较为详尽, 方便查找, 故选用 MAU 型螺旋桨。

## (4) $A_E/A_0$ 的估算

按公式  $A_E/A_0 = (1.3 + 0.3Z) * T / (p_0 - p_v) D^2 + k$  进行估算,

其中:  $T = P_E / (1-t) V = 90.45 / ((1-0.104) * 8.33) = 12.12 \text{kN}$

水温 15℃ 时汽化压力

$$p_v=174 \text{ kgf/m}^2=174*9.8 \text{ N/m}^2=1.705 \text{ kN/m}^2$$

$$h_s=T-Z_p=0.97-0.4=0.57$$

静压力

$$p_0=p_a+\gamma h_s=(10330+1000*0.57)*9.8 \text{ N/m}^2=106.82 \text{ kN/m}^2$$

k 取 0.2

$$D_{\text{允许}}=0.7*T=0.7*0.97=0.679\text{m}$$

$$\begin{aligned} A_E/A_0 &= (1.3+0.3*Z)*T / (p_0-p_v)D^2 + k \\ &= (1.3+0.3*4)*12.12/((106.82-1.705)*0.679*0.679)+0.2 \\ &=0.82 \end{aligned}$$

(5) 根据估算的  $A_E/A_0$  选取 2~3 张图谱

根据  $A_E/A_0=$  选取 MAU4-40、4-55、4-70 三张图谱

(6) 列表按所选图谱（考虑功率储备）进行终结设计

功率储备取 10%， 轴系效率  $\eta_s=0.97$ ,

螺旋桨敞水收到功率

$$P_{D0}=P_s*0.9*\eta_s*\eta_R$$

$$=180\times0.9\times0.97\times1.0$$

$$=157.14\text{kW}=213.8\text{UShp}$$

按 MAU4-40、MAU4-55、MAU4-70

由图谱可查得：

表7-4 MAU型螺旋桨图谱计算

假定航速 $V_s$ (km/h)		26	28	30	32	34
航速 $V_s$ (kn)		14.04	15.12	16.2	15.33	16.29
$V_A=(1-\omega) V_s$ (kn)		12.45	13.41	14.37	15.33	16.29
$B_p$		26.71	22.195	18.679	15.896	13.66
$\sqrt{B_p} = \left(\frac{NP_D^{0.5}}{V_A^{2.5}}\right)^{0.5}$		5.168	4.711	4.322	3.9975	3.696
查 MAU4-40 图谱	$\delta$	62.5	57.8	54.7	50	46.6
	P/D	0.713	0.725	0.75	0.8	0.84
	$\eta_0$	0.62	0.64	0.655	0.675	0.695
	$P_{TE}$ (hp)	133.858	138.176	141.4145	145.7325	150.105

查 MAU4— 55 图谱	$\delta$	61	56	52	48.5	45.2
	P/D	0.76	0.8	0.837	0.87	0.9
	$\eta_0$	0.607	0.625	0.645	0.665	0.683
	$P_{TE}$ (hp)	131.0513	134.9375	139.2555	143.5735	147.4597
查 MAU4— 70 图谱	$\delta$	60	55.8	51.8	48	44.4
	P/D	0.77	0.807	0.84	0.877	0.93
	$\eta_0$	0.577	0.594	0.615	0.63	0.645
	$P_{TE}$ (hp)	124.5743	128.2446	132.7785	136.017	139.2555

据上表结果可绘制  $P_{TE}$ 、 $\delta$ 、P/D 及  $\eta_0$  对 V 的曲线，如下图所示：

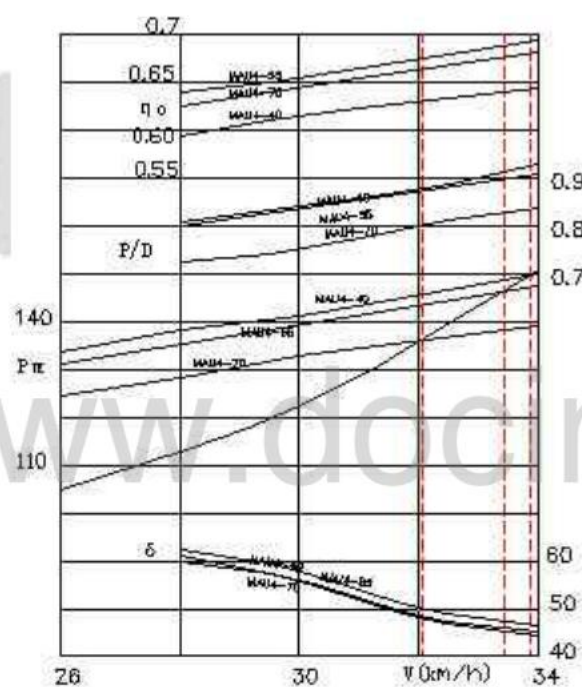


图 7-2  $P_{TE}$ 、 $\delta$ 、P/D、 $\eta_0$  对 V 的曲线

于是得到螺旋桨最佳要素如表 7-5

表 7-5 螺旋桨最佳要素

MAU	$V_{max}$ (km/h)	P/D	$\delta$	D	$\eta_0$
4—40	33.88	0.837	46.24	0.75	0.693
4—55	33.42	0.891	45.83	0.7334	0.672

4—70	32.06	0.878	47.8	0.734	0.63
------	-------	-------	------	-------	------

### (7) 空泡校核

由图解法求出不产生空泡的  $(A_E/A_0)_{\min}$  及相应的  $V_{s\max}$ 、 $P/D$ 、 $\eta_o$ 、 $D$ 。按柏努利空泡限界线上商船上限线，计算不发生空泡之最小展开面积比。

桨轴沉深  $h_s=T-Z_p=0.97-0.4=0.57\text{m}$

计算温度  $15^\circ\text{C}$ ， $\rho=101.89\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$ ，

$p_v=174\text{kgf}/\text{m}^2$ ，

$$P_0 - P_v = p_a + \gamma h_s - p_v$$

$$=10330\text{kgf}/\text{m}^2 + 999.541 \times 0.57 - 174 = 10725.7\text{kgf}/\text{m}^2 \quad P_D=213.8\text{hp}$$

根据上述结果作下图，可求得不发生空泡的最小盘面比以及所对应的最佳螺旋桨要素。

表7-6 空泡校核

序号	项目	单位	MAU4—40	MAU4—55	MAU4—70
1	$A_E/A_0$		0.40	0.55	0.70
2	$V_{\max}$	kn	18.295	18.047	17.313
3	$V_A=0.5144*V_{\max}*(1-\omega)$	m/s	8.432	8.318	7.979
4	$(0.7\pi ND/60)^2$	$(\text{m/s})^2$	755.642	722.562	723.745
5	$V_{0.7R}^2=V_A^2+(4)$	$(\text{m/s})^2$	826.746	791.749	787.415
6	$1/2\rho V_{0.7R}^2$		42118.586	40335.650	40114.870
7	$\sigma=(p_0-p_v)/(1/2\rho V_{0.7R}^2)$		0.255	0.266	0.267
8	$\tau_c$ (查图 5-20)		0.154	0.157	0.158
9	推力 $T=75*P_D*\eta_o/V_A$	kgf	1317.811	1307.278	1266.257

10	需要投射面积 $A_p = T / (\tau_c^{1/2} \rho V_{0.7R}^2)$	$m^2$	0.203	0.206	0.200
11	需要展开面积 $A_E = A_p / (1.067 - 0.229 * P/D)$	$m^2$	0.232	0.239	0.231
12	$A_0 = \pi D^2 / 4$	$m^2$	0.442	0.423	0.423
13	需要的 $A_E/A_0$		0.525	0.565	0.545

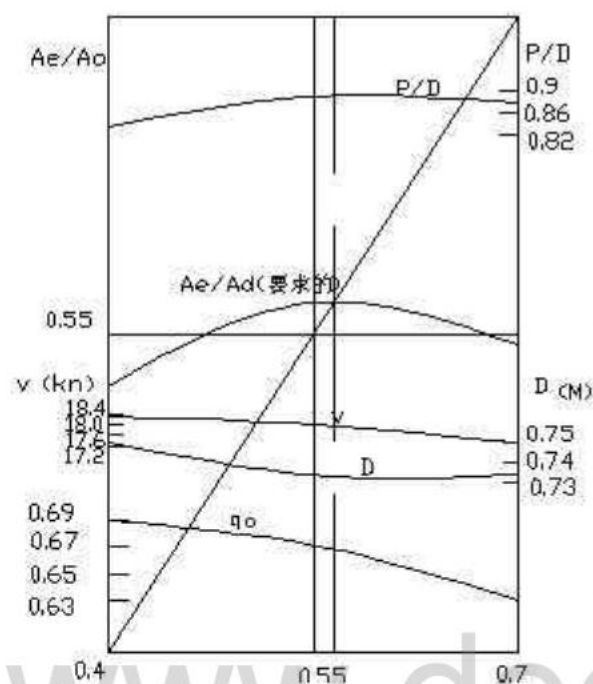


图 7-3 空泡校核

见上表所示可以得到

表 7-7 最佳螺旋桨要素

$A_E/A_0$	$P/D$	$D(m)$	$\eta_o$	$V_{max} (kn)$	$V_{max}(km/h)$
0.565	0.881	0.733	0.667	17.92	33.18

#### (8) 强度计算

计算 0.25R 剖面处桨叶厚度  $t$ ，及叶梢处的厚度  $t_{1.0}$

$$0.25R \text{ 处桨叶厚度为: } t_{0.25R} = C \sqrt{\frac{3.4 N_e A}{Z b n_c B}} \text{ mm。}$$



式中：  $A = (1.5 + 3.5 \frac{D}{P_{0.7}} + \frac{D}{P_{0.25}}) \times 10^5$  ；

$$B = K - (0.035\varepsilon + 0.25)(\frac{n_e D}{1000})^2$$

$K$ ——材料系数。锰黄铜  $K=1.0$ ；铝黄铜  $K=1.38$ ；铸铁  $K=0.76$ 。

$D$ ——螺旋桨直径， $D=0.733m$ ；

$P_{0.7}$ ——螺旋桨 0.7R 处的桨叶螺距， $P_{0.7}=0.7*0.733=0.5131$ ；

$P_{0.25}$ ——螺旋桨 0.25R 处的桨叶螺距， $P_{0.7}=0.6654*0.5131=0.3414$

$N_e$ ——主机额定功率， $N_e=180kw$ ；

$Z$ ——桨叶数，  $Z=4$ ；

$b$ ——螺旋桨 0.25R 处的桨叶宽，

$$b_{0.25R}=0.722*2.26* A_E/A_0*D/Z =0.169m=169mm$$

$n_e$ ——螺旋桨转速，  $n_e=1000r/min$ ；

$\varepsilon$  ——桨叶后倾角，  $\varepsilon =10^\circ$  ；

$C$ ——系数，  $C=1$ ；

所以：  $A = (1.5 + 3.5 \frac{D}{P_{0.7}} + \frac{D}{P_{0.25}}) \times 10^5 = (1.5+3.5/0.881+0.733/0.5131) \times 10^5$

$$=6.902 \times 10^5$$

$$B = K - (0.035\varepsilon + 0.25)(\frac{n_e D}{1000})^2 \begin{cases} 0.678(K=1) \\ 1.057(K=1.38) \\ 0.437(K=0.76) \end{cases}$$

计算得到 锰黄铜  $t_{0.25}=30.358mm$ ； 铝黄铜  $t_{0.25}=24.314mm$ ； 铸铁  $t_{0.25}=37.81mm$ 。

1.0R 处桨叶厚度为：铜质  $t_{1.0}=3D=2.199m$ ；铁质  $t_{1.0}=1.25 \times 3D=2.749$ .

桨叶的标准厚度为  $t_{0.25R}=0.03825*D=33.5mm$ ，  $t_{1.0}=2.199mm$ 。

故实取厚度分别为：

表 7-8 强度校核

厚度	锰黄铜	铝黄铜	铸铁
$t_{0.25R}$ （mm）	31.0	25	38.0
$t_{1.0}$ （mm）	2.5	2.5	3.0



[www.docin.com](http://www.docin.com)