



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

螺旋桨终结设计 计算报告

学生姓名：_____吕德淞_____

学生学号：_____520021910366_____

任课教师：_____王建华_____

编写日期：_____2022.12.15_____

目 录

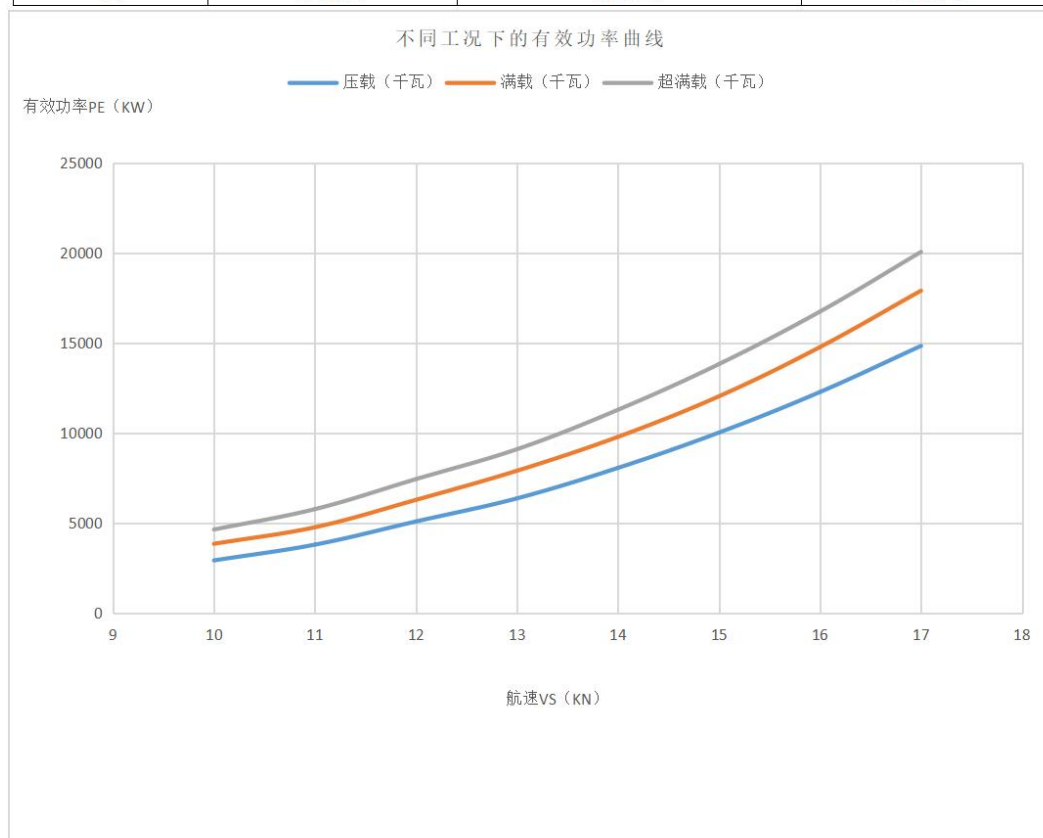
1. 设计输入	1
2. 最大航速计算	3
3. 空泡校核	7
4. 强度校核	9
5. 螺距修正	11
6. 重量及惯性矩计算	12
7. 设计桨的敞水性征曲线	12
8. 系柱特性计算	13
9. 航行特性计算	14
10. 设计要素总结	15

1. 设计输入

船舶主尺度	
水线长 $L_{WL}[m]$	325.5
垂线间长 $L_{BP}[m]$	320
型宽 $B[m]$	58
吃水 $draft[m]$	15.8
排水体积 $Vol[m^3]$	312622
方形系数 C_B	0.8098
主机参数	
主机功率 $P_s[kW]$	19125
主机转速 $N[RPM]$	68
轴系参数	
轴系传递效率 η_s	0.97
相对旋转效率 η_R	1
桨轴距基线高度 h_z	5.8
桨轴沉深 h_s	10
桨参数	
桨系列	AU/MAU
数量	单桨
材料	Cu ₃ 镍铝青铜
材料系数 K	1.38
材料密度 $G[g/cm^3]$	7.6
叶数 Z	4
旋向	右
桨转速 $n[RPM]$	68
毂径 $d_h[m]$	1.8
系列标准毂径比	0.18
螺距比 P/D	不随位置变化
纵倾 $\epsilon[^\circ]$	10
推进因子	
伴流分数 ω	0.36
推力减额分数 t	0.21
相对旋转效率 η_R	1
环境参数	
温度 $T[^\circ C]$	15
静态气压 $p_0[Pa]$	101234
饱和蒸气压 $p_v[Pa]$	1705.2
海水密度 $\rho[kg/m^3]$	1025
重力加速度 $g[m/s^2]$	9.8

表 1 设计输入 1

三种工况下不同航速对应的有效功率			
航速 V_s [kn]	有效功率 P_E [kW]		
	压载	满载（设计工况）	超满载
10	2938	3860	4654
11	3814	4780	5787
12	5101	6301	7454
13	6384	7918	9114
14	8077	9801	11305
15	10039	12054	13843
16	12292	14787	16759
17	14854	17921	20074



图表 1 设计输入 2

2. 最大航速计算

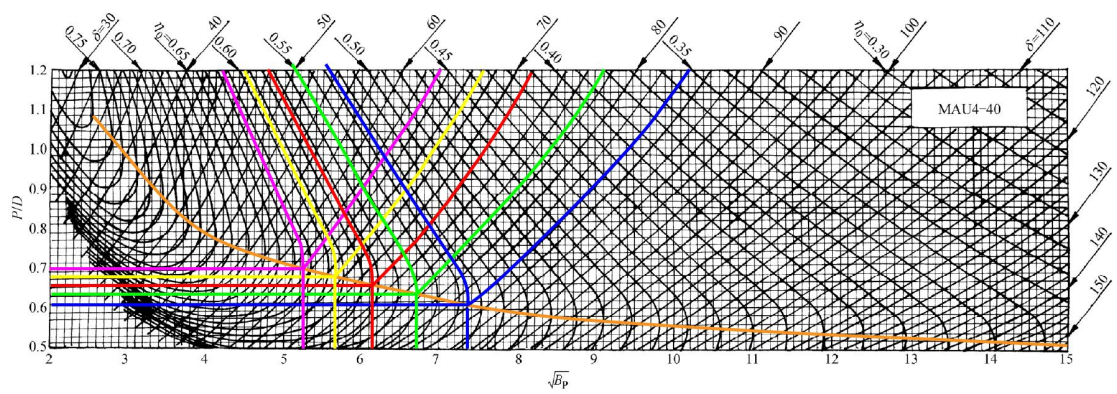
项 目		数 值			
桨收到功率 $P_D[kW]=P_s\eta_R\eta_s$		18551			
船身效率 $\eta_H=(1-t)/(1-\omega)$		1.234			
航速 $V_s[kn]$		13	14	15	16
进速 $V_A[kn]=(1-\omega)V_s$		8.32	8.96	9.60	10.24
$Bp^{0.5}=(1.166nP_{D0}^{0.5}/V_A^{2.5})^{0.5}$		7.354	6.704	6.150	5.673
MAU4-40	δ	82	77	72	67
	P/D	0.60	0.62	0.64	0.67
	η_0	0.525	0.550	0.58	0.595
	$P_{TE}[kW]=P_D\eta_H\eta_0$	12022	12595	13167	13625
MAU4-55	δ	81	76	71	66
	P/D	0.66	0.68	0.70	0.73
	η_0	0.508	0.535	0.555	0.580
	$P_{TE}[kW]=P_D\eta_H\eta_0$	11633	12251	12709	13282
MAU4-70	δ	79	74	69	64
	P/D	0.68	0.70	0.72	0.75
	η_0	0.495	0.517	0.540	0.560
	$P_{TE}[kW]=P_D\eta_H\eta_0$	11335	11839	12366	12824

表 2 最大航速计算流程

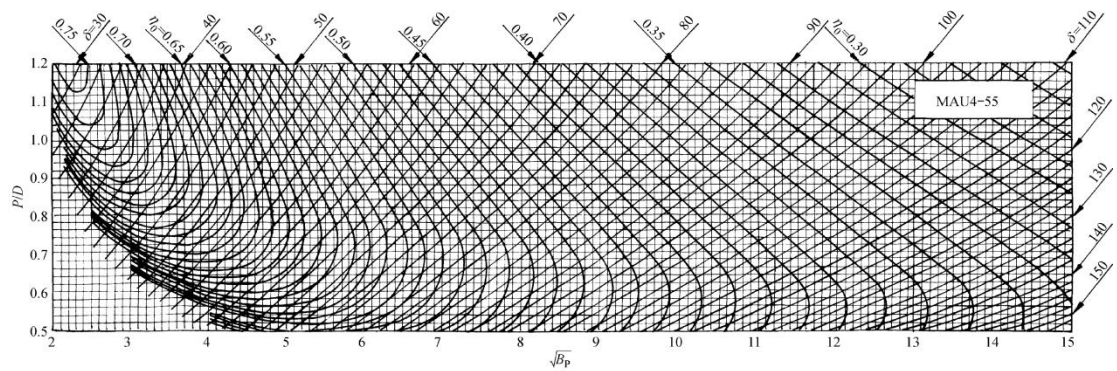
P.S.表中关于 $\delta, P/D, \eta_0$ 的读取：

先画出 MAU4-40 关于 $\sqrt{B_p}$ 的最大效率线，再据 $\sqrt{B_p}$ 找到对应的

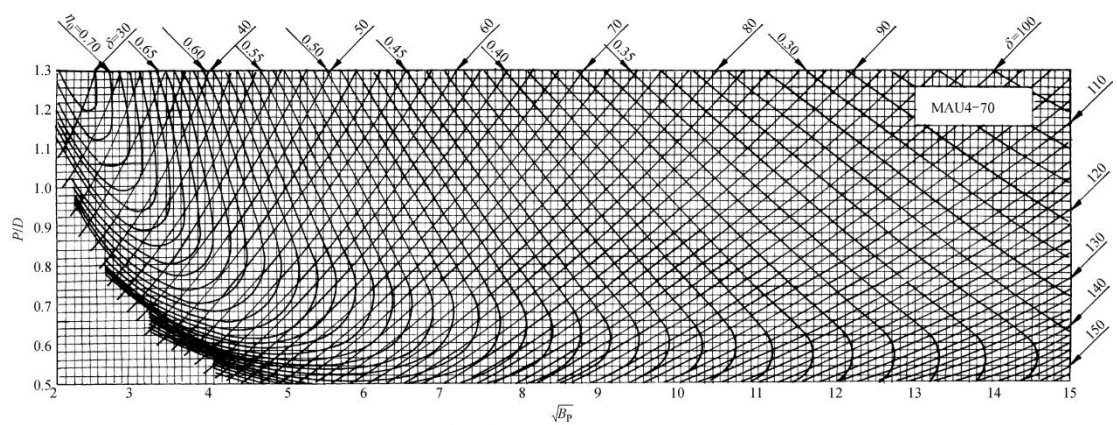
$\delta, P/D, \eta_0$ 。MAU4-55、MAU4-70 同理，辅助线略。



附录图7 MAU4-40 $\sqrt{B_p}$ - δ 图谱



附录图8 MAU4-55 $\sqrt{B_p}$ - δ 图谱



附录图9 MAU4-70 $\sqrt{B_p}$ - δ 图谱

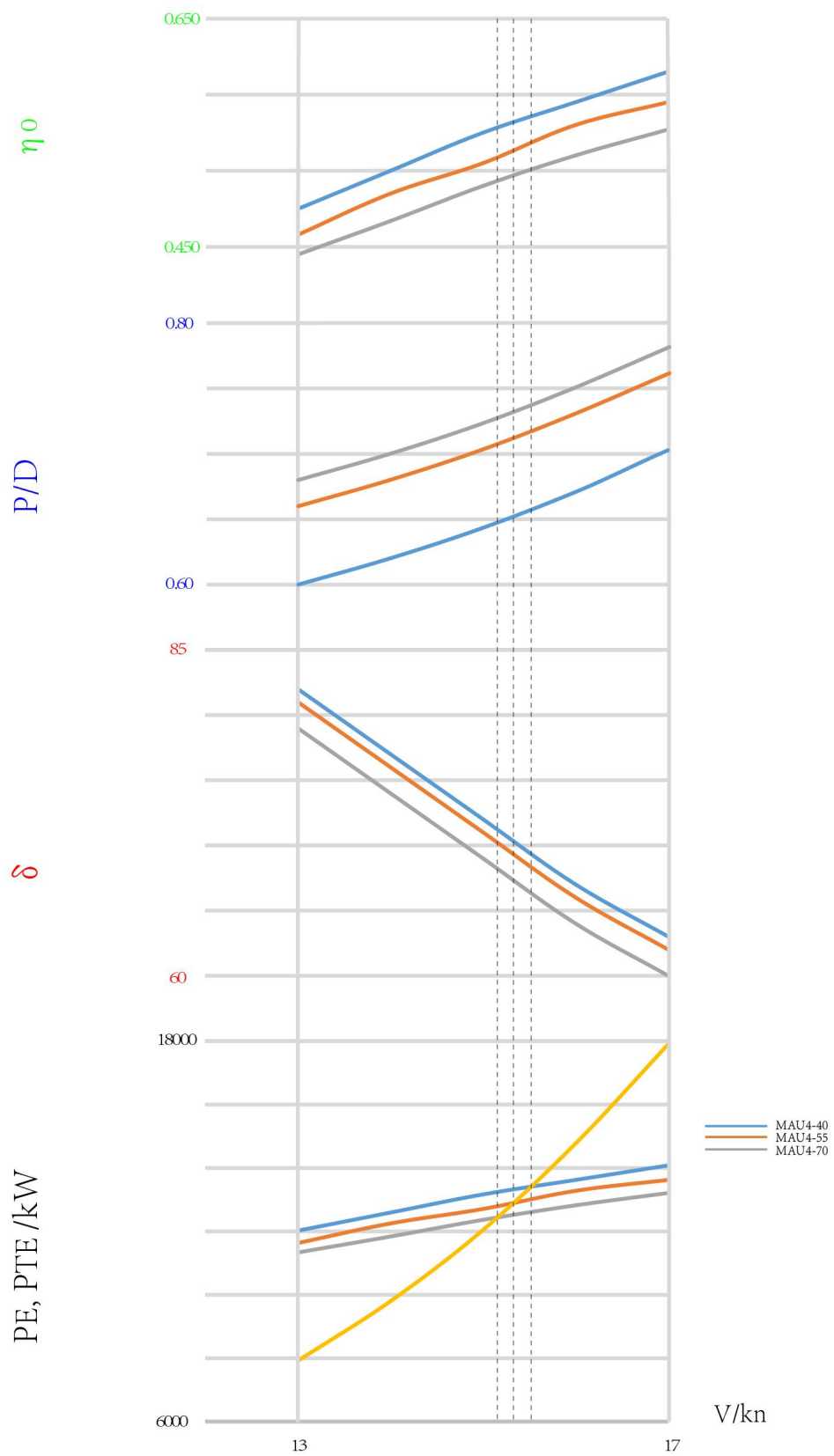


图 1 最大航速点及对应参数的读取

盘面比	0.4	0.55	0.7
$V_{\max}[\text{kn}]$	15.51	15.33	15.16
$P_E[\text{kW}]$	13398	12930	12507
δ	69.35	69.24	68.24
$D[\text{m}]$	10.12	9.99	9.74
P/D	0.657	0.711	0.726
η_0	0.564	0.535	0.509

表 3 最大航速点及对应的有效功率、桨径、螺距比和敞水效率

P.S.表中桨径的求取： $\delta = ND / V_A \Rightarrow D = \delta V_A / N$

至此，已求得三种不同盘面比的 MAU 系列桨的初步设计要素。

3. 空泡校核

项 目	数 值		
盘面比	0.4	0.55	0.7
$V_{\max}[\text{kn}]$	15.51	15.33	15.16
$V_A[\text{m/s}]=0.5144V_{\max}(1-\omega)$	5.106	5.047	4.991
$V_{0.7R}^2[(\text{m/s})^2]=V_A^2+(0.7\pi ND/60)^2$	662.68	645.41	613.79
$\sigma=(p_0-p_v)/(0.5\rho V_{0.7R}^2)$	0.589	0.605	0.636
τ_c	0.20	0.20	0.21
$T[\text{N}]=P_E/(\eta_H V_A)$	2125691	2075527	2030140
$A_p[\text{m}^2]=T/(0.5\rho V_{0.7R}^2 \tau_c)$	31.68	31.22	31.05
$A_E[\text{m}^2]=A_p/(1.067-0.229P/D)$	34.57	34.52	34.47
$A_E/A_0=A_E/(\pi D^2/4)$	0.43	0.44	0.46

表 4 空泡校核流程

P.S.表中 τ_c 的读取:

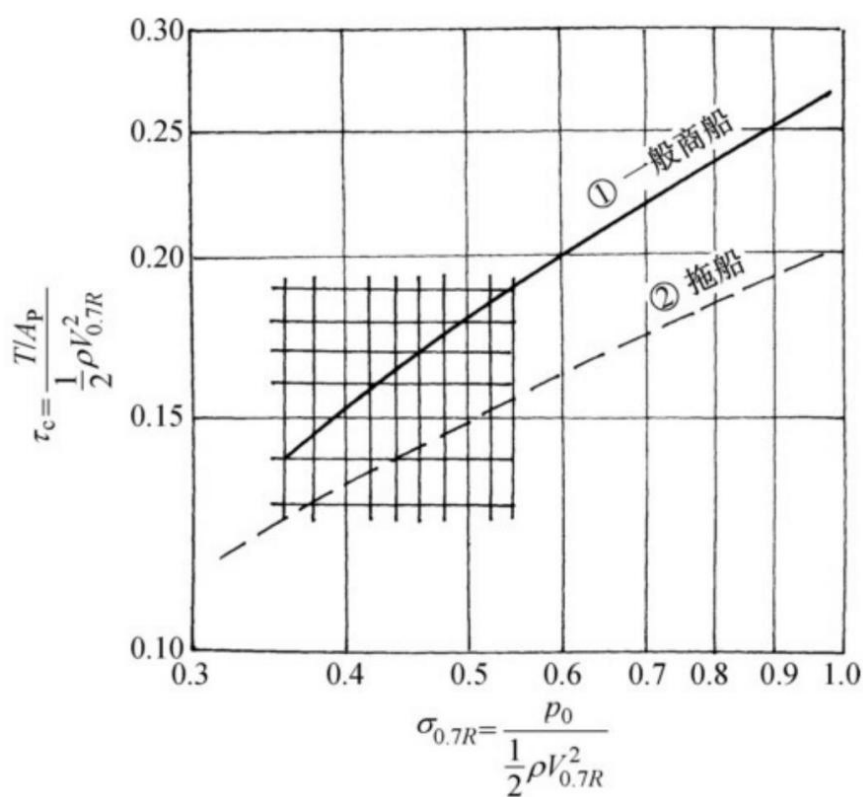


图 2 空泡界限图

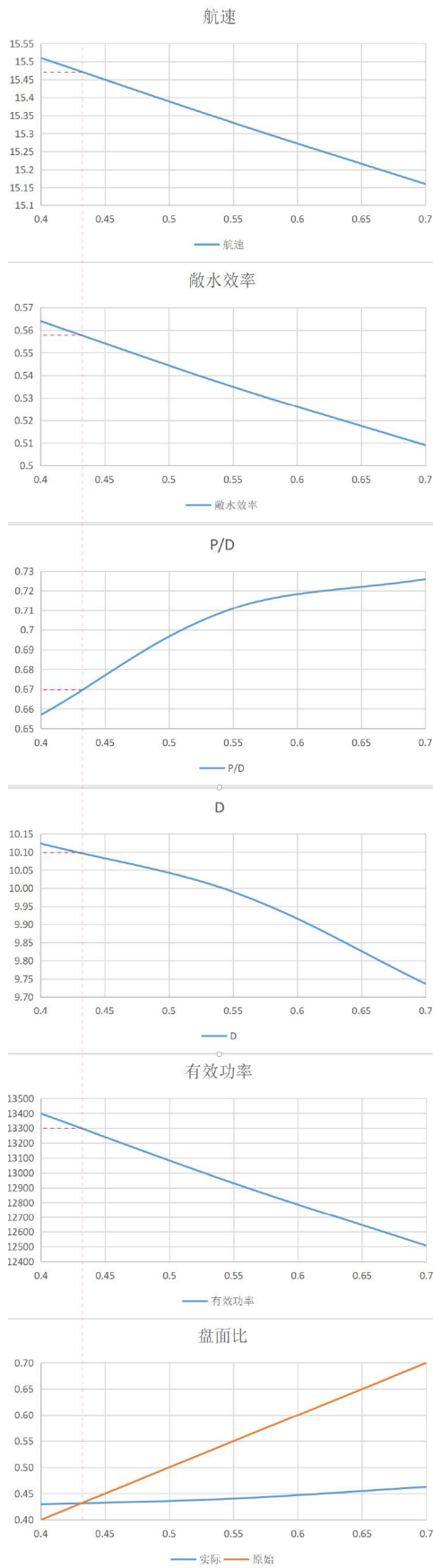


图 3 不发生空泡的最小盘面比及对应的设计参数的读取

A_E/A_0	$P_E[\text{kW}]$	$D[\text{m}]$	P/D	η_0	$V[\text{kn}]$
0.43	13300	10.1	0.67	0.558	15.47

表 5 空泡校核结果汇总

4. 强度校核

项目	数值	
位置	0.25R	0.6R
$t_{1.0R}[\text{mm}]=0.0035D$	35.35	
$b_{0.66R}[\text{m}]=0.226DA_E/A_0/(0.1Z)$	2.454	
$b[\text{m}]$	1.770	2.432
K1	634	207
K2	250	151
K3	1410	635
K4	4	34
$A1=D/P(K1-K2D/P_{0.7R})+K3D/P_{0.7R}-K4$	2489.8294	886.33861
$Y=1.36A_1Pe/(Zbn)$	93561.513	24236.257
K5	82	23
K6	34	12
K7	41	65
K8	380	330
$A2=D/P(k5+K6\varepsilon)-K7\varepsilon+K8$	1419.85	1193.43
$X=A_2GA_d n^2 D^3/(10^{10}Zb)$	0.3123	0.1910
$t[\text{mm}]= (Y/(K-X))^{0.5}$	296.02	142.77
标准桨叶厚度[mm]	407.03	220.18
校核结果	满足	满足
实取桨叶厚度[mm]	407.03	220.18

表 6 强度校核流程

P.S.弦长 b 和标准桨叶厚度从表 7 中插值求取。

r/R	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.66	0.7	0.8	0.9	0.95	1
r/mm	743.00	1114.50	1486.00	1857.50	2229.00	2451.90	2600.50	2972.00	3343.50	3529.25	3715.00
母线到叶片 随边距离 (%)	27.96	33.45	38.76	43.54	47.96	49.74	51.33	52.39	48.49	42.07	17.29
母线到叶片 随边距离 (mm)	710.18	849.63	984.50	1105.92	1218.18	1263.40	1303.78	1330.71	1231.65	1068.58	439.17
母线到叶片 导边距离 (%)	38.58	44.25	48.32	50.80	51.15	50.26	48.31	40.53	25.13	13.55	
母线到叶片 导边距离 (mm)	979.93	1123.95	1227.33	1290.32	1299.21	1276.60	1227.07	1029.46	638.30	344.17	
叶片宽度 (%)	66.54	77.70	87.08	94.34	99.11	100.00	99.64	92.92	73.62	55.62	
叶片宽度 (mm)	1690.12	1973.58	2211.83	2396.24	2517.39	2540.00	2530.86	2360.17	1869.95	1412.75	
叶片厚度 (%)	4.06	3.59	3.12	2.65	2.18	1.90	1.71	1.24	0.77	0.54	0.30

表 7 AU 螺旋桨桨叶轮廓尺寸表

r/R	叶片厚度[mm]
1	35.35
0.25	407.03

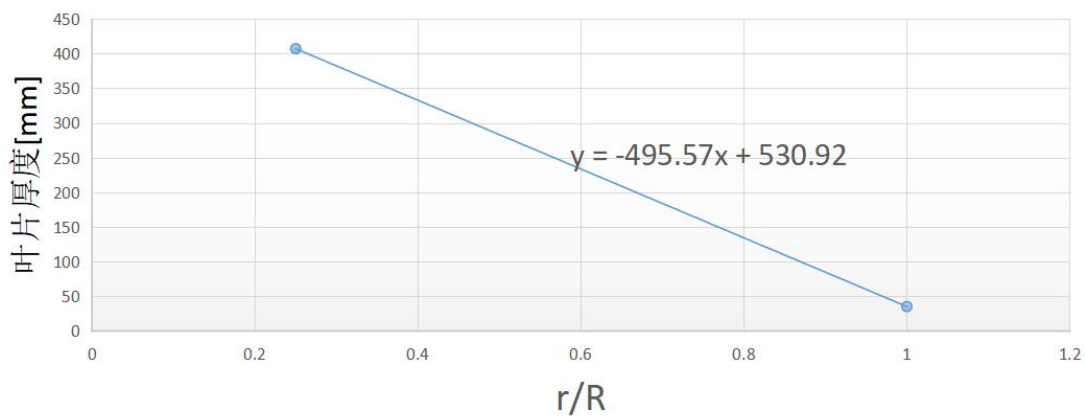


图 4 插值公式的求取

实际桨叶厚度分布按照叶梢与 0.25R 处进行厚度线性插值进，得到各半径处的厚度（经验证，0.66R 处厚度亦满足强度校核要求）：

r/R	叶片厚度[mm]
0.2	431.81
0.3	382.25
0.4	332.69
0.5	283.14
0.6	233.58
0.7	184.02
0.8	134.46
0.9	84.91
1	35.35

图 5 强度校核结果

5. 螺距修正

针对毂径比差异进行修正	
修正量 $\Delta \mathbf{Ph/D}=0.1 \times (\text{dh/D}-\text{标准毂径比})$	-1.78E-04
修正后的螺距比 $\mathbf{P/D'}=P/D+\Delta P_h/D$	0.6698
针对厚度差异进行修正	
滑脱比 $\mathbf{1-s=VA/(nP)}$	0.6641
设 $(\mathbf{t/b}) _{0.7R}$	0.0571
标 $(\mathbf{t/b}) _{0.7R}$	0.0584
$\Delta(\mathbf{t/b}) _{0.7R}=0.75/0.755 \times (\text{设}(\mathbf{t/b}) _{0.7R}-\text{标}(\mathbf{t/b}) _{0.7R} \times 0.650/0.755)$	3.99E-03
$\Delta(\mathbf{Ph/D})_t=-2(P/D')(1-s)\Delta(\mathbf{t/b}) _{0.7R}$	-3.55E-03
最终确定的螺距比 $\mathbf{P/D_{end}}$	0.6663

表 8 螺距修正流程

6. 重量及惯性矩计算

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
r/R	面积系数 K_a	弦长×最大厚度 $b \times t/m^2$	切面面积 $S/m^2(S=K_a b t)$	辛氏系数SM	(4)×(5)	(6)r	(6)r ²
0.2	0.674	0.7050	0.4752	1	0.4752	0.4799	0.485
0.3	0.674	0.7289	0.4912	4	1.9650	2.9770	4.51
0.4	0.674	0.7109	0.4792	2	0.9584	1.9359	3.91
0.5	0.6745	0.1213	0.0818	4	0.3272	0.8261	2.086
0.6	0.6745	0.5681	0.3832	2	0.7664	2.3221	7.036
0.7	0.677	0.4500	0.3046	4	1.2185	4.3074	15.23
0.8	0.683	0.3066	0.2094	2	0.4188	1.6921	6.836
0.9	0.695	0.1534	0.1066	4	0.4264	1.9382	8.809
1	0.7	0.0482	0.0338	1	0.0338	0.1706	0.861
求和					6.5896	16.6492	49.76
$d_0[m]=0.045+0.12(P_D/n)^{1/3}$					0.823		
每叶片质量[kg]=(R/30sum(6)+0.166×0.02R)G					8558		
叶片总质量[kg]					34231		
桨毂质量[kg]=(0.88-0.6d ₀ /d _n)d _n ³ G					26841		
桨总质量[kg]					61072		
质量惯性矩[kg·m ²]=0.0948GZb _{max} (0.5t _{0.2} +t _{0.6})D ³					3275156		

表 9 质量惯性矩计算步骤及结果

7. 设计桨的敞水性征曲线

MAU4-40（螺距比=0.670）敞水特性									
J	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
K _T	0.27	0.24	0.23	0.19	0.16	0.12	0.07	0.03	
10K _Q	0.27	0.26	0.24	0.22	0.19	0.16	0.12	0.07	
η ₀	0.00	0.17	0.31	0.43	0.54	0.63	0.65	0.51	
MAU4-55（螺距比=0.670）敞水特性									
J	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
K _T	0.29	0.26	0.23	0.19	0.16	0.11	0.07	0.01	
10K _Q	0.30	0.28	0.25	0.22	0.19	0.15	0.11	0.06	
η ₀	0.00	0.16	0.29	0.42	0.53	0.61	0.61	0.43	
MAU4-70（螺距比=0.670）敞水特性									
J	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	
K _T	0.29	0.26	0.23	0.19	0.15	0.11	0.06	0.00	
10K _Q	0.30	0.27	0.25	0.22	0.19	0.15	0.10	0.05	
η ₀	0.00	0.16	0.29	0.40	0.51	0.58	0.55	0.30	
多项式插值，求得MAU4-43（螺距比=0.666）敞水特性									右端额外点
J	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75 0.8
K _T	0.28	0.25	0.23	0.19	0.16	0.12	0.07	0.03	0
10K _Q	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.16	0.12	0.07	0.04 0
η ₀	0.00	0.17	0.31	0.43	0.54	0.62	0.64	0.50	0

表 10 敞水特性的数据插值获取

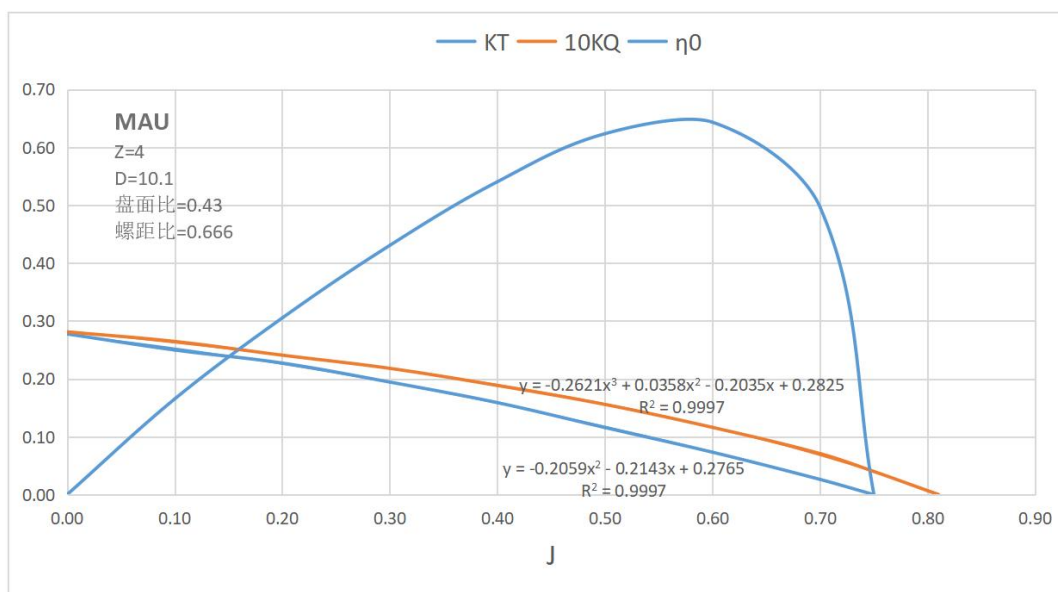


图 6 敞水特性曲线

8. 系柱特性计算

项 目	数值
$T[\text{kN}] = K_T Q / (K_Q D)$	2546.0
$Q[\text{kN} \cdot \text{m}] = P_D / (2\pi n)$	2605.2
$N[\text{RPM}] = 60(T / (\rho D^4 K_T))^{0.5}$	55.644
t_0	0.04
$F[\text{kN}] = T(1 - t_0)$	2444.2

表 11 系柱特性计算流程

9. 航行特性计算

名 称	数 值											
	N=68RPM				N=63RPM				N=58RPM			
V[kn]	14	15	16	17	14	15	16	17	14	15	16	17
$V_A[m/s]=0.5144(1-w)V$	4.61	4.94	5.27	5.60	4.61	4.94	5.27	5.60	4.61	4.94	5.27	5.60
$J=V_A/(ND)$	0.403	0.431	0.460	0.489	0.435	0.466	0.497	0.528	0.472	0.506	0.540	0.573
K_T	0.1568	0.1457	0.1343	0.1225	0.1445	0.1321	0.1193	0.1061	0.1294	0.1154	0.1009	0.0860
K_Q	0.0189	0.0180	0.0171	0.0161	0.0179	0.0169	0.0158	0.0147	0.0167	0.0155	0.0142	0.0128
$P_{TE}[kW]=K_{Tp}N^2D^4(1-t)\times 0.5144V$	12224	12170	11962	11594	9666	9467	9119	8616	7340	7013	6542	5921
$P_s[kW]=K_Q2\pi\rho N^3D^5/(\eta_s\eta_R)$	19225	18318	17360	16347	14484	13655	12774	11839	10516	9758	8949	8083

表 12 航行特性计算流程

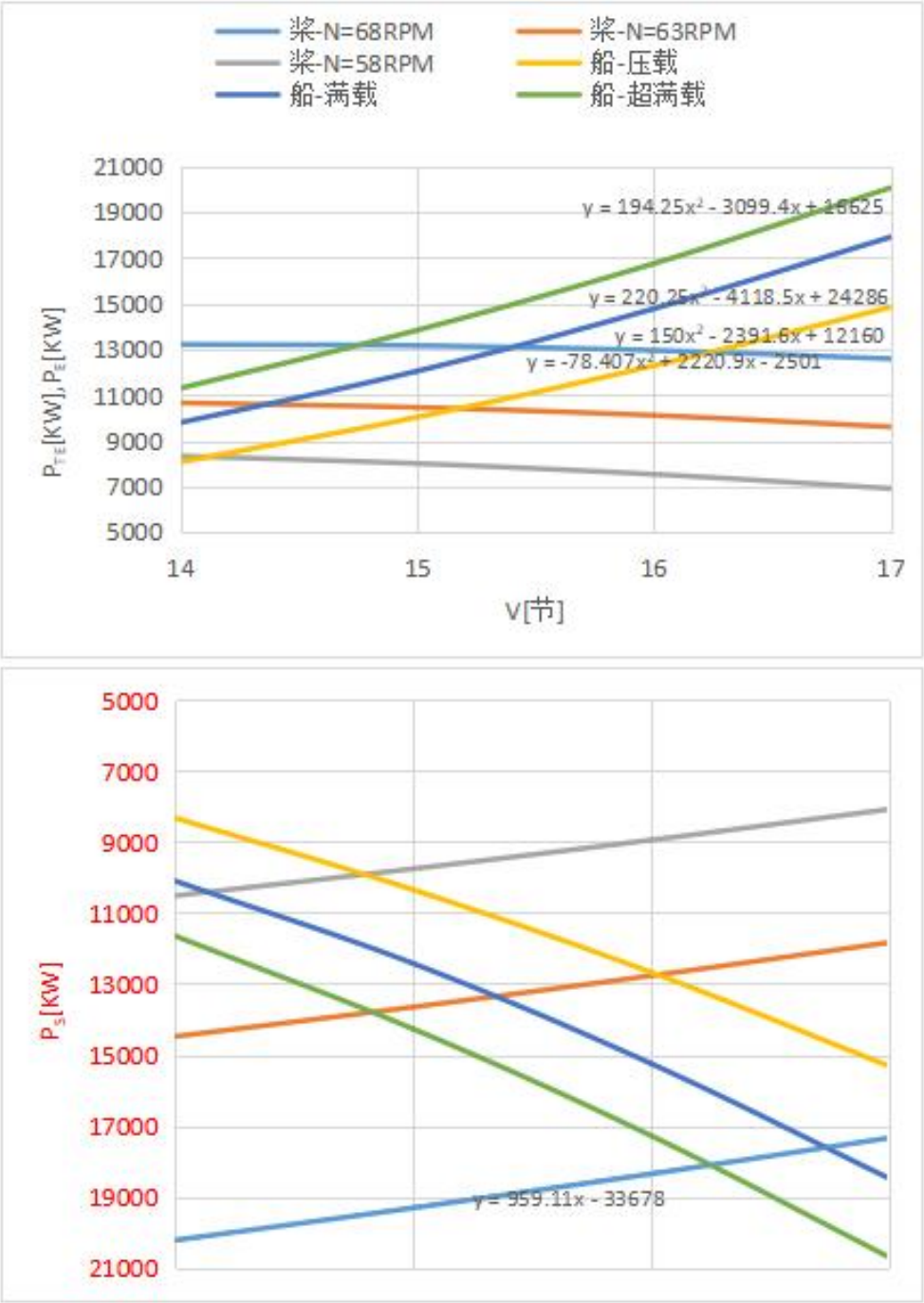


图 7 航行特性

工况	V[kn]	Ps[kW]
设计	15.47	19125
压载	16.25	17092
满载	15.44	18950
超满载	14.77	19326

表 13 设计转速下的数据汇总

由上表可见，满载时的各项计算结果与最初设计要求基本一致。

10. 设计要素总结

螺旋桨直径D[m]	10.1	设计航速 V_{\max} [kn]	15.47
螺距比P/D	0.6663	毂径比 d_h/D	0.1782
类型与叶数	AU4叶桨	旋向	右
盘面比 A_E/A_O	0.43	材料	Cu ₃ 镍铝青铜
纵倾角 ε [°]	10	质量m[kg]	61072
桨敞水效率 η_0	0.558	质量惯性矩I[kg·m ²]	3275156

表 14 设计要素总结

至此，已完成螺旋桨的全部设计计算，为后续船模自航试验、实船性能预估、机-桨匹配及实船-船模分析奠定基础。