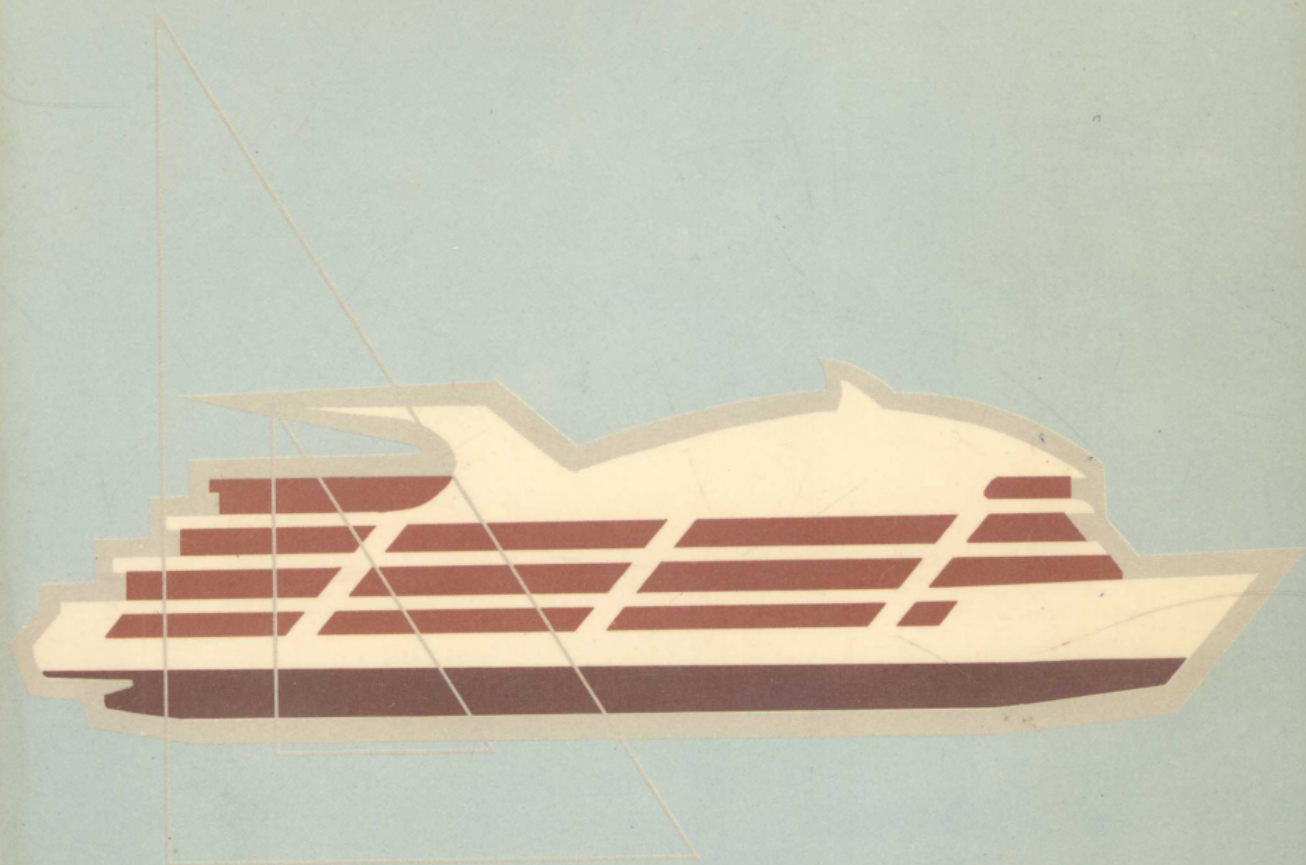


内河船舶设计手册

朱珉虎 主编



中国标准出版社

内河船舶设计手册

朱珉虎 主编

中国标准出版社

前 言

对于造船工作者来说,一本汇集各种计算公式和方法以及实用性技术资料的手册是必备的工
具书。以往出版的几套手册在资料汇编方面堪称一流,但由于沿用了几套不同的计量单位制,使用
起来颇感不便。经过了十多年之后,某些资料也已有了更新的必要。更何况书店里这一类手册早已
绝迹。为此,我们深感有必要以一种新的思路来编写这样一本手册:它既保留以往手册中真正实用
的精华部分内容,又汲取近年来船舶科技工作者发表的一些新的设计方法、回归公式和实船参考资
料。同时把所有的公式和图表用法定计量单位制统一表达,以利于减少计算工作中的差错和换算的
麻烦。并且在内容上突破仅限于船体设计的框框,把船舶报价、轴系计算和电气设计三部分内容也
包含进去,成为一本综合性的设计手册。

编写本书的最早发起人当推江苏造船界老前辈梅琴生先生,是他草拟了本书的编写大纲并且
做了许多前期工作,只是由于经费问题而难于进展。在我担任《江苏船舶》杂志主编之后,随即采用
分篇连载的形式在杂志上陆续发表。令人感动的是梅老先生亲自为本书撰写了三个重要的篇章(第
三、五、十三章),为本书奠定了基础。参加本书编写的尚有省内外的许多有名望的专家:季良民(第
六章)、翁启猷、段裘龙(第八章)、毛立忠(第十章)、丁建中(第十一章)、张寿富(第十四章)、刘延生
(第十五章)、骆宁森(第十七章)。其余各章则由我执笔完成。本书出版前又根据读者的意见做了一
次全面的修订增补工作,其中一、二、五、八、十一章的内容作了改写,并且增加了三个附录,使内容
更加完整,资料更加翔实。最后,中国标准出版社的郭丹编辑为本书做了细致的编辑加工,在此一并
表示感谢。

我们希望本书的出版能对全国众多的内河中小型船舶企业的管理和技术人员提供工作上的方
便。对于有志于学习造船的青年人来说,本书是一本很好的教材。本书虽是针对内河船舶设计的需
要而编写的,但大部分内容对于沿海小船和渔船的设计也是适用的。由于时间仓促,差错和疏漏在
所难免,欢迎大家在使用中提出宝贵意见,今后再版时再作改进。

主编 朱珉虎

一九九五年十月

目 次

第一章 船舶主要量度和常用资料.....	1
1.1 船舶的主要量度	1
1.2 通用符号表	1
1.3 速长比和傅氏数	3
1.4 风级和浪级	3
第二章 主尺度及船型系数的估算.....	7
2.1 估算船长的经验公式	7
2.2 合理选取宽度和吃水	7
2.3 方形系数 C_B 的估算	7
2.4 其它船型系数的选取	8
2.5 兴波阻力“谷”值检验	10
2.6 内河拖船主尺度的估算	10
2.7 内河小驳船主尺度估算	11
2.8 内河小型货船(机动驳)的主尺度估算	11
2.9 欧洲型内河机动货船的设计方法	12
参考文献	15
第三章 静水力曲线的计算与绘制	16
3.1 计算方法	17
3.2 计算用表格及算例	17
3.3 端点修正	23
3.4 隧道形船尾的计算	24
3.5 静水力曲线的绘制	25
符号表	26
第四章 邦戎曲线及其应用	27
4.1 邦戎曲线计算书	27
4.2 邦戎曲线图的绘制	29
4.3 隧道型船邦戎曲线的计算	29
4.4 纵流型船邦戎曲线的计算	29
4.5 邦戎曲线的应用	30
符号表	31
第五章 螺旋桨设计	32
5.1 简易设计法	32
5.2 查表法	33
5.3 伴流系数及推力减额	36
5.4 图谱设计法	37
5.5 空泡校核	40
5.6 计算 K_T 、 K_Q 的回归公式	42
5.7 B型螺旋桨绘制的桨型数据	44

5.8	螺旋桨重量和惯性矩	48
5.9	螺旋桨制图	48
5.10	经验叶型	51
5.11	螺旋桨最佳要素计算式	52
5.12	AU 型螺旋桨	53
5.13	导管螺旋桨设计	55
5.14	高恩桨	60
5.15	罗姆逊强度校核法	65
5.16	例题演算	66
	符号表	68
	参考文献	69
第六章	喷水推进设计方法	70
6.1	基本公式	70
6.2	轴流泵型喷水推进系统的设计方法	71
6.3	泵叶扭角和螺距计算	73
6.4	应用实例及倒车机构	73
	符号表	77
第七章	船舶重量重心计算	78
7.1	船舶重量分类	78
7.2	重量重心计算书的编制	78
7.3	重量重心估算	81
	附:常用船舶重量计算资料	91
	符号表	97
	参考文献	97
第八章	轴系设计	98
8.1	传动轴及连接螺栓	98
8.2	螺旋桨键的强度计算	105
8.3	传动轴加工技术要求	106
8.4	万向传动轴	106
8.5	轴承设计	110
8.6	尾轴管	117
	符号表	120
第九章	阻力、功率、航速估算方法	121
9.1	阻力计算的基本公式	121
9.2	阻力、功率近似计算方法	125
9.3	航速估算方法	136
9.4	浅水阻力计算方法	137
9.5	浅水狭道阻力计算方法	142
9.6	驳船队阻力计算方法	143
	符号表	147
	参考文献	148
第十章	稳性计算	149
10.1	初稳性及纵倾计算	149
10.2	倾斜试验	151

10.3 大倾角稳性及其计算	157
符号表	169
参考文献	169
第十一章 船舶估价报价	170
11.1 报价的分类	170
11.2 意向性报价	170
11.3 方案设计报价	171
11.4 施工设计报价	177
附:25 m 工作船报价单	179
符号表	180
参考文献	180
第十二章 双体船设计	181
12.1 船型及主尺度系数选择	181
12.2 阻力计算	185
12.3 结构设计	191
12.4 方案设计实例	200
符号表	202
参考文献	202
第十三章 船舶型线图的绘制	203
13.1 横剖面面积曲线	203
13.2 型线设计	210
13.3 型线图的绘制	216
符号表	220
参考文献	220
第十四章 船体结构计算	221
14.1 船体中剖面要素的计算	221
14.2 船舶总纵强度计算	222
14.3 船舶扭转强度计算	225
14.4 局部强度计算	226
14.5 应力合成和许用应力	238
附录 I 简单剖面的几何要素	239
附录 II 单跨梁的弯曲要素表	240
符号表	241
参考文献	241
第十五章 顶推船队设计	242
15.1 船队总体设计	242
15.2 分节驳船设计	248
15.3 现代推船设计	256
符号表	267
参考文献	268
第十六章 艇设计	269
16.1 主尺度选择	269
16.2 排水量纵向分布	271
16.3 艇型设计	274

16.4 阻力估算	276
符号表	290
参考文献	290
第十七章 小型船舶电气设计.....	291
17.1 小型船舶电站负荷计算方法	291
17.2 小船短路电流计算及船用开关的配备	293
17.3 小型船舶电力系统设计的一般方式与要求	297
17.4 应急电源蓄电池容量的近似估算以及充放电的控制方法	298
17.5 电网电压降计算	299
17.6 船舶照明设计及照明设备的配备	299
17.7 常用通信设备的配备	301
第十八章 舵设计.....	304
18.1 普通舵	304
18.2 襟翼舵	314
18.3 组合舵	327
18.4 倒车舵	331
符号表	332
参考文献	332
附录1 B系列螺旋桨设计图谱	333
附录2 船型资料表.....	352
附录3 法定计量单位制及其换算.....	364

第一章 船舶主要量度和常用资料

1.1 船舶的主要量度

总长 L_{OA} ——船体首、尾两端的最大水平距离, m;

水线长 L_{WL} ——一般指满载水线长, 是沿满载水线(海船的夏季载重水线)由首柱前缘量至尾部端点间的距离, m;

两柱间长 L_{BP} ——指沿满载水线(海船的夏季载重水线)由首柱前缘量至舵柱后缘的距离, 对于无舵柱的船舶则量至舵杆中心处, m;

型宽 B ——船体中横剖面处, 沿满载水线自肋骨的外缘量至另一舷的肋骨外缘间的水平距离, m;

型深 D ——船体中部舷侧由龙骨上缘量至主(上)甲板下缘的垂直距离, m;

吃水 d ——船体中部由龙骨的上缘量至满载水线(海船的夏季载重水线)的垂直距离, m;

首吃水 d_F ——自首垂线与龙骨底线的延伸线的交点至满载水线的垂直距离, m;

尾吃水 d_A ——自尾垂线与龙骨底线的延伸线的交点至满载水线的垂直距离, m;

吨位——指船体内部容积, 每 2.833 m^3 算作一吨单位, 为船舶注册登记而规定的。

1.2 通用符号表

下列符号若在本书各章中无特别说明, 即可认为是通用符号, 其定义和单位说明如下:

L ——船舶的计算长度, 通常指水线长, m;

B ——船体型宽, m;

D ——船体型深, m;

d ——船之吃水, m, 通常指平均吃水;

∇ ——排水体积, m^3 ;

Δ ——船之排水量, t;

x_B ——浮心纵向位置, m, 常指距船舳的距离, 舳前为正, 舳后为负;

z_B ——浮心的垂向位置, m, 指距基线的高度;

z_G ——重心距基线的高度, m;

x_G ——重心的纵向位置, m, 指距船舳的距离, 舳前为正, 舳后为负;

C_B ——方形系数;

C_M ——中剖面系数;

C_P ——棱形系数;

C_w ——水线面系数;

ν ——水的动力粘性系数, m^2/s , 随温度而变(见表 1-1);

ρ ——水的密度, $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 或 kg/m^3 , 随温度而变(见表 1-1);

V ——船之航速, 通常指船与水的相对速度, 其单位, 海船多数用“节”(kn)表示; 内河船多数用 km/h 表示;

v ——船速, m/s ;

Fn ——傅汝德(Froude)数, 简称傅氏数, 一般指长度傅氏数, $Fn = v/(g \cdot L)^{0.5}$;

g ——重力加速度, 一般取 $g = 9.81\text{ m}/\text{s}^2$;

Re ——雷诺数, $Re = v \cdot l/\nu$, 式中 l 称为特征长度, 视计算对象而不同, 船体阻力计算中一般以船长代入, 舵的计算中以弦长代入;

R ——阻力, N;

P ——功率, kW;

N ——转速, r/min;

n ——转速, s^{-1} ;

η ——效率;

M ——力矩或弯矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

I ——惯性矩, m^4 ;

σ_b ——材料的抗拉强度, MPa;

σ_s ——材料的屈服强度, MPa;

$[\sigma]$ ——抗拉强度的许用应力, MPa。

表 1-1 水的动力粘性系数 ν 及密度 ρ 值表

水 温 ($^{\circ}\text{C}$)	淡 水		海 水	
	动力粘性系数 ν (m^2/s)	密度 ρ ($\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)	动力粘性系数 ν (m^2/s)	密度 ρ ($\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)
0	$1.792\,2 \times 10^{-6}$	999.980 2		1 028.228 2
1	$1.731\,3 \times 10^{-6}$	1 000.022 3		1 028.176 3
2	$1.673\,9 \times 10^{-6}$	1 000.062 6		1 028.093 9
3	$1.619\,4 \times 10^{-6}$	1 000.083 1		1 028.001 7
4	$1.567\,8 \times 10^{-6}$	1 000.083 1		1 027.908 5
5	$1.518\,9 \times 10^{-6}$	1 000.083 1	$1.565\,0 \times 10^{-6}$	1 027.816 4
6	$1.472\,5 \times 10^{-6}$	1 000.083 1	$1.519\,1 \times 10^{-6}$	1 027.671 2
7	$1.428\,4 \times 10^{-6}$	1 000.031 2	$1.475\,5 \times 10^{-6}$	1 027.527 1
8	$1.386\,4 \times 10^{-6}$	999.959 6	$1.433\,9 \times 10^{-6}$	1 027.382 9
9	$1.346\,3 \times 10^{-6}$	999.918 4	$1.394\,2 \times 10^{-6}$	1 027.228 0
10	$1.308\,1 \times 10^{-6}$	999.825 2	$1.356\,3 \times 10^{-6}$	1 027.042 6
11	$1.271\,8 \times 10^{-6}$	999.733 1	$1.320\,2 \times 10^{-6}$	1 026.908 3
12	$1.237\,0 \times 10^{-6}$	999.639 9	$1.285\,7 \times 10^{-6}$	1 026.722 9
13	$1.203\,7 \times 10^{-6}$	999.495 7	$1.252\,7 \times 10^{-6}$	1 026.485 6
14	$1.171\,9 \times 10^{-6}$	999.350 6	$1.221\,1 \times 10^{-6}$	1 026.300 2
15	$1.141\,3 \times 10^{-6}$	999.206 4	$1.190\,7 \times 10^{-6}$	1 026.062 9
16	$1.112\,2 \times 10^{-6}$	999.073 1	$1.161\,7 \times 10^{-6}$	1 025.877 6
17	$1.084\,2 \times 10^{-6}$	998.886 7	$1.133\,8 \times 10^{-6}$	1 025.608 9
18	$1.057\,4 \times 10^{-6}$	998.701 4	$1.107\,1 \times 10^{-6}$	1 025.383 3
19	$1.031\,5 \times 10^{-6}$	998.514 1	$1.081\,3 \times 10^{-6}$	1 025.155 8
20	$1.006\,7 \times 10^{-6}$	998.330 7	$1.056\,5 \times 10^{-6}$	1 024.877 3
21	$0.982\,9 \times 10^{-6}$	998.104 2	$1.032\,7 \times 10^{-6}$	1 024.595 9
22	$0.959\,9 \times 10^{-6}$	997.908 0	$1.009\,8 \times 10^{-6}$	1 024.321 3
23	$0.937\,9 \times 10^{-6}$	997.650 1	$0.987\,8 \times 10^{-6}$	1 024.042 8
24	$0.916\,7 \times 10^{-6}$	997.422 6	$0.966\,4 \times 10^{-6}$	1 023.764 2
25	$0.896\,2 \times 10^{-6}$	997.145 1	$0.945\,8 \times 10^{-6}$	1 023.433 8
26	$0.876\,5 \times 10^{-6}$	996.918 5	$0.926\,1 \times 10^{-6}$	1 023.156 2
27	$0.857\,5 \times 10^{-6}$	996.640 0	$0.907\,0 \times 10^{-6}$	1 022.876 7
28	$0.839\,1 \times 10^{-6}$	996.361 5	$0.888\,5 \times 10^{-6}$	1 022.496 2
29	$0.821\,4 \times 10^{-6}$	996.083 0	$0.870\,6 \times 10^{-6}$	1 022.165 8
30	$0.804\,3 \times 10^{-6}$	995.753 5	$0.853\,3 \times 10^{-6}$	1 021.836 3

1.3 速长比和傅氏数

速长比和傅氏数都是一种相对速度概念,在船舶性能计算中经常用到。但由于以往采用单位制的不同,得出的速长比数值也不同,这在参阅其它资料时要特别注意,这里介绍一下不同单位制速长比与傅氏数的换算公式。本书中的单位制已全部转换成法定计量单位制,傅氏数的表达式为:

$$Fn = v / \sqrt{g \cdot L}$$

相应速长比的表达式为: $v / \sqrt{L}$

两者相差一个 $\sqrt{g}$, 即

$$v / \sqrt{L} = 3.132 Fn$$

$$Fn = 0.3193(v / \sqrt{L})$$

采用英制的速长比表达式中, V 的单位是‘节’(kn), L 的单位是‘英尺’(ft), 则与傅氏数的换算式为:

$$\frac{V(kn)}{\sqrt{L(ft)}} = 3.358 Fn$$

当已知英制速长比时, 将英制速长比乘以系数 0.2978 即能求得 Fn 值, 近似计算时, 此系数可用近似值 0.3 代替。在一些采用‘米’制的国家中, 速长比还有另一种表达方式, 即 V 的单位用‘节’(kn) 而 L 的单位用‘米’(m) 来计算, 则有如下的换算式:

$$\frac{V(kn)}{\sqrt{L(m)}} = 6.082 Fn$$

$$Fn = 0.1644 \frac{V(kn)}{\sqrt{L(m)}}$$

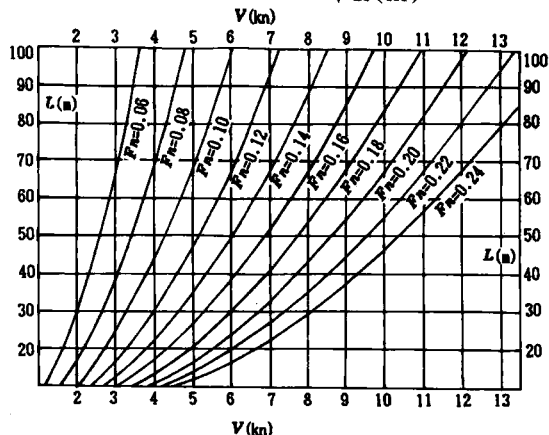


图 1-1 估算傅氏数 Fn 的图表

1.4 风级和浪级

1.4.1 风级

一般常用蒲福风级来表示风的速度, 蒲福风级的要点见表 1-2。图 1-2 表示离海平面以上 0~40 m 随高度而变化的 12 条风速曲线, 对应于平均风级为 1 级~12 级。图 1-3 表示离海平面以上 0~40 m 高度处作用于船上的 10 条风压曲线, 对应于平均风级 3 级~12 级。

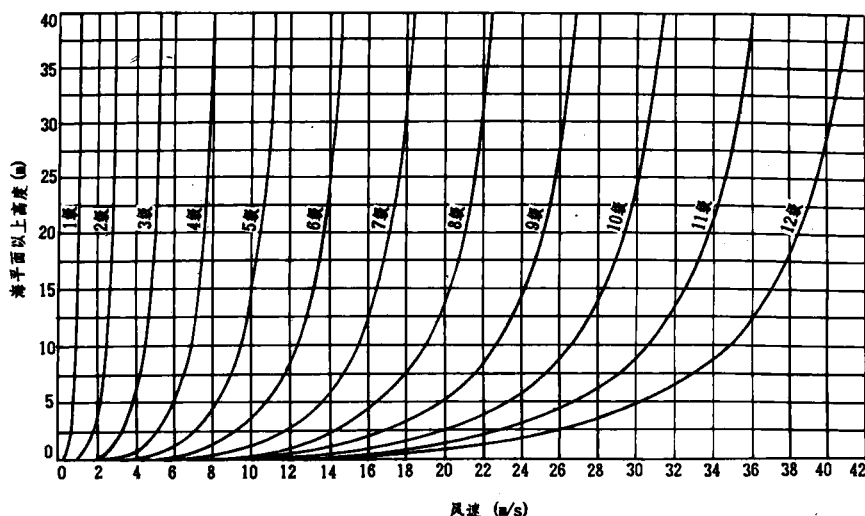


图 1-2 海平面以上高度的风速曲线

表 1-2 蒲福风级表

风级	名称	平均风速范围(距海面 6 m)			船 舶 征 象	陆上地面物征象	突风 风速 (距海 面 6m) m/s	风压 (距海面 6m) Pa		我国沿海气象台 规定风速	
		m/s	n mile/h	km/h				平均	突风时	m/s	n mile/h
0	无风	0~0.5	<1	<2	静	静,烟直上	1.0	0	0.98	0~0.2	0~1
1	软风	0.6~1.7	1~4	2~6	寻常渔船略觉 摇动	烟能表示风向, 但风向标不动	3.2	1.96	7.85	0.3~1.5	1~3
2	轻风	1.8~3.3	4~7	6~12	渔船张帆时每 小时可随风移行 2~3 km	人面感觉有风, 树叶有微响,风向 标能转动	6.2	8.83	30.40	1.6~3.3	4~6
3	微风	3.4~5.2	7~11	12~19	渔船渐簸动,每 小时随风移行 5~ 6 km	树叶及微枝摇 动不息,旌旗展开	9.6	21.57	73.55	3.4~5.4	7~10
4	和风	5.3~7.4	11~15	19~27	渔船满帆时倾 斜一方	能吹起地面灰 尘和纸张,树的小 枝摇动	13.6	44.13	147.1	5.5~7.9	11~16
5	清劲风	7.5~9.8	15~20	27~36	渔船缩帆(即收 去帆之一部)	有叶的小树摇 摆,内陆的水面有 微波	17.8	76.49	252.0	8.0~10.7	17~21
6	强风	9.9~12.4	20~24	36~45	渔船加倍缩帆, 捕鱼须注意风险	大树枝摇动,电 线呼呼有声,举伞 困难	22.2	122.6	392.3	10.8~13.8	22~27
7	疾风	12.5~15.2	24~30	45~55	渔船停息在港 中,在海者下锚	全树摇动,大树 枝弯下来,迎风步 行感觉不便	26.8	184.4	572.7	13.9~17.1	28~33
8	大风	15.3~18.2	30~35	55~66	近港的渔船皆 停留不出	可折毁树枝,人 向前行感觉阻力 甚大	31.6	264.8	797.3	17.2~20.7	34~40
9	烈风	18.3~21.5	35~42	66~77	轮船航行较困 难	烟囱及平房屋 顶受到损坏,小屋 遭到破坏	36.7	367.7	1 075.8	20.8~24.4	41~47
10	狂风	21.6~25.1	42~49	77~91	轮船航行困难	陆上少见,见时 可使树木拔起或 将建筑物摧毁	42.0	501.1	1 407.3	24.5~28.4	48~55
11	暴风	25.2~29.0	49~56	91~105	轮船遇之极危 险	陆上很少,有则 必有重大损毁	47.5	670.8	1 309.2	28.5~32.6	56~63
12	飓风	>29.0	>56	>105	波浪滔天	陆上绝少,其摧 毁力极大	53.0	877.7	2 245.7	32.7~36.9	64~71

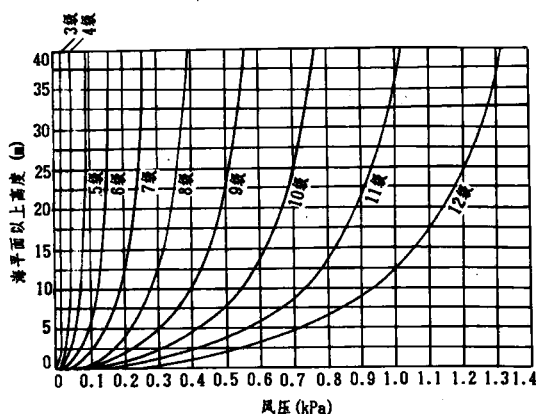


图 1-3 作用于船上的风压关系曲线

1.4.2 浪级

海洋中的波浪分为两类：风浪和涌浪。风浪是由于风压力和风与水面摩擦力而产生，波长较短而陡。涌浪是由远处风浪经过了长距离的传播而来的规则波浪，长而平坦，可能是无风而有浪。风浪、涌浪分为 9 级。表 1-3 列出了我国沿海气象台关于浪级的规定。风级与浪级之间的大致关系见表 1-4。

表 1-3 风浪、涌浪等级表

风浪 级别	风浪 名称	风 浪 的 尺 度			涌 浪 （平均尺度）			海 面 特 征	我国沿海气象台 规定浪级表		
		波高(m)	波长(m)	周期(s)	波高(m)	波长(m)	周期(s)		浪级	波高(m)	
										一般	最高
0	平 静				0	0	0	海平如镜	无浪		
1	微 浪	0.25	5.0	<2	<0.25	<10.0	<2	有波纹	微波	0.1	0.1
2	轻 浪	0.25~0.75	5~15	2~3	0.50	15.0	3	波峰不大,开始破裂,但浪花不是白色,而呈玻璃色	小波	0.2	0.3
3	中 浪	0.75~1.25	15~25	3~4	1.00	30.0	4	波浪不大,但很触目,其中有些波峰破裂,形成白色绕旋的浪花——“白浪”	小波	$\frac{2}{3}$	1
4	大 浪	1.25~2.00	25~40	4~5	2.00	60.0	5	波浪具有十分明显的形状,到处形成白浪	轻浪	1	$1\frac{1}{2}$
5	强 浪	2.00~3.50	40~75	5~7	3.00	90.0	9	出现高大的波峰,泡沫状的波顶占有很大的面积,风开始破坏波峰上的浪花	中浪	2.0	2.5
6	巨 浪	3.5~6.0	75~125	7~9	5.00	150.0	10	波峰出现风暴波的长浪形状,波峰上风所破坏的浪花开始沿着波浪的斜面伸长	大浪	3	4
7	狂风浪	6.0~8.5	125~170	9~11	7.00	210.0	12	风所破坏的浪花长带布满了波浪的斜面,有些地方溶合达到波谷	巨浪	4	5.5
8	暴风浪	8.5~11.0	170~220	11~12	≥7.10	≥210.0	≥12	浪花广阔而稠密溶合成带,布满了波浪斜面,海面变成白色,只有波谷,有些地方没有浪花	狂浪	5.5	7.5
9	飓风浪	≥11.0	≥220	≥12	—	—	—	整个海面布满了稠密的浪花层,空气中充满了水点与飞沫,能见度显著降低	狂涛	7.0	10.0

表 1-4 风级、浪级与波高之间的关系

风 级		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
风级名称		无风	软风	轻风	微风	和风	清风	强风	疾风	大风	烈风	狂风	暴风	飓风
浪级名称		平静	微波	小波	小波	轻浪	中浪	大浪	巨浪	狂浪	狂涛	狂涛	非常现象	
波高 (m)	一般	平静	0.1	0.2	0.66	1.0	2.0	3.0	4.0	5.5	7.0	9.0	11.5	14.0
	最高	平静	0.1	0.3	1.0	1.5	2.5	4.0	5.5	7.5	10.0	12.5	16.0	—

第二章 主尺度及船型系数的估算

2.1 估算船长的经验公式

决定船舶的主尺度一般都是参照母型船估算出新船的排水量,然后根据航速要求估算出船长,再确定宽度、吃水以及各个船型系数。反过来,再按船舶总布置要求、快速性要求以及船舶与航道配合的合理性检验所选主尺度是否恰当,逐步调整以求得最佳的主尺度组合。

估算船长 L 一般采用巴氏公式或诺吉德公式。这二个公式均已换算到法定计量制单位,应用时加以注意:

① 巴氏公式

$$L = 8.5 \left(\frac{V}{3.7 + V} \right)^2 \nabla^{0.333} \quad (2.1)$$

② 诺吉德公式

$$L = 2.2V^{0.333} \nabla^{0.333} \quad (2.2)$$

式中: V ——设计航速, km/h;

∇ ——排水体积, m^3 ;

L ——船长, m。

2.2 合理选取宽度和吃水

在内河支流中航行的船舶,其宽度和吃水一般均受航道尺度的限制,选取时要因地制宜。吃水的选取一般都是充分利用航道水深以容纳较大的螺旋桨,利于提高推进效率。但富余水深(即船底离开河床底面的最小距离)一般不得小于 0.1 m;对于速度较高的船舶或航行于浅水急流航道的船舶,富余水深应大于 0.3 m。

船宽的选取一般可参考母型船或由 L/B 的统计值来估算:

一般内河客船 $L/B=4.5\sim6$

西漳型内河驳船 $L/B=4\sim4.8$

长江拖轮 $L/B=4\sim4.5$

内河小拖船 $L/B=3.5\sim4.5$

内河浅水拖轮 $L/B=4\sim5.3$

内河油船 $L/B=5\sim7$

欧洲经济委员会拟定的标准型机动驳,其 L/B 在 7.7~9.6 之间。在浅狭航道中营运的船舶采用较高的长宽比对降低阻力性能大有好处,尤其在船速较高时更为明显。

为了保证稳性要求,可用辛浦生公式求出满足特定初稳性高度 h_0 所要求的最小船宽:

$$B_{\min} = \sqrt{\left[z_G + h_0 - d \left(\frac{5C_w - 2C_B}{6C_w} \right) \right] \frac{d}{0.09}} \quad (2.3)$$

式中: h_0 ——初稳性高度,即初横稳心距重心的距离, m;

z_G ——重心距基线的高度, m;

d ——船之平均吃水, m;

C_w ——水线面系数;

C_B ——方形系数。

以上公式虽然是指拖轮及渔轮而言,内河小型机动船多数与拖轮的型式接近,故可引用。

2.3 方形系数 C_B 的估算

2.3.1 苏联《内河船舶设计》中的公式:

$$C_B = k - 1.67Fn \quad (2.4)$$

式中: k ——系数,取值范围在 0.95~1.12 之间,航速要求高的取小值;航速要求低的取较大值。

2.3.2 爱尔(Ayre)公式

当 $Fn \leq 0.3$ 时

$$C_B = 1.08 - 1.68Fn \quad (2.5)$$

当 $Fn > 0.3$ 时

$$C_B = 1.06 - 1.68Fn \quad (2.6)$$

2.3.3 兰末仑(Van Lammeren)公式

$$C_B = 1.37 - 2.01Fn \quad (2.7)$$

2.3.4 米诺斯基(Minorsky)公式

$$C_B = 1.22 - 2.38Fn \quad (2.8)$$

2.3.5 泰尔否(Telfer)公式

$$C_B = 1 - 1.25(B/L + 1)Fn \quad (2.9)$$

适用于 $Fn < 0.3$, $L/B = 6 \sim 8$ 的船舶。

2.3.6 沙比特(Sabit)推荐公式

$$C_B = 0.65 + 3.19Fn - 13.53Fn^2 \quad (2.10)$$

2.3.7 卡茨乌利斯(P. S. Katsoulis)回归公式^[2-2]

卡茨乌利斯统计了 200 艘各种各样实船资料,运用回归分析的方法求得 C_B 与主尺度及航速的关系式:

$$C_B = 0.8217 \cdot f \cdot L^{0.42} \cdot B^{-0.3072} \cdot d^{0.1721} \cdot V^{-0.6135} \quad (2.11)$$

这个公式适用于海船,航速 V 的单位是 kn。式中的 f 是不同船型的修正系数,见表 2-1。

表 2-1 船型修正系数 f

海军船舶	0.91
滚装船	0.97
冷藏船	0.97
定期货船	0.98
通用货船	0.99
油船	0.99
运木船	1.00
集装箱船	1.00
客船	1.00
散货船	1.03
液化天然气船	1.04
成品液罐船	1.05
化学品液罐船	1.06
渡船	1.09

2.3.8 内河船回归公式

上面提到的各种方形系数估算公式大部分是适用于海船的。对内河船来说,船舶主尺度的选择受到航道条件的制约,方形系数的选择呈现与海船不同的规律。本文作者统计了近十年内发表的 165 艘优良船型资料,通过计算机回归后得到如下的表达式:

$$C_B = 0.644 \cdot f \cdot L^{0.3067} \cdot B^{0.1191} \cdot d^{-0.2023} \cdot V^{-0.4640} \quad (2.12)$$

此处 V 为服务航速,单位是 km/h; f 为船型影响系数,见表 2-2。

公式(2.12)只适用于内河小船,因为收集的 165 条型船的尺度范围是长度不超过 45 m,排水量不超过 500 t,属于常规单体船型。

表 2-2 船型影响系数 f

内河拖船	1.01
内河工作船	1.00
航政艇,交通艇	1.00
内河货船,自航驳船	1.11
内河客船	0.95
汽车渡船	0.95
内河驳船	1.12

2.4 其它船型系数的选取

2.4.1 棱形系数 C_P

当 $Fn < 0.2$ 时, C_P 对剩余阻力的影响甚微;当 $Fn = 0.2 \sim 0.25$ 时,较大的 C_P 对阻力影响较大,但 $C_P < 0.6$ 时则影响不显著;当 Fn 在 0.3 左右时,由于船的兴波阻力作用于两端,若船身两端尖瘦,则兴波阻力较小,因此应尽量取较小的 C_P 值;当 $Fn > 0.4$ 时,船的兴波阻力作用于全部船身,此时若船身两端尖瘦,则肩部的突变将产生巨大的肩浪,因此 C_P 值不宜取得很小,以 0.6~0.65 较适宜。 C_P 与 Fn 的关系见图 2-1。

对于内河浅水船,特别是尾部为隧洞式或双尾船型,尾部损失的排水体积较多,因此 C_P 值过大会增加绘制型线图的困难,因此 C_P 值不宜超过 0.7。

C_P 与兴波阻力‘峰’、‘谷’值关系可用图 2-2 来检验。图中阻力平衡值 $\textcircled{P} = 2.688Fn/C_P^{0.5}$ 。图中空白带为有利区,阴影带为不利区,当 $\textcircled{P}$ 值小于 $\sqrt{1/3}$ 时,兴波阻力较小,所以阴影部分无关重要。从图中可以看出:

兴波阻力‘峰’值 $\textcircled{P}$: $\sqrt{4}$, $\sqrt{4/5}$, $\sqrt{4/9}$, $\sqrt{4/13}$,

兴波阻力‘谷’值 $\textcircled{P}$: $\sqrt{4/3}$, $\sqrt{4/7}$, $\sqrt{4/11}$, $\sqrt{4/15}$,

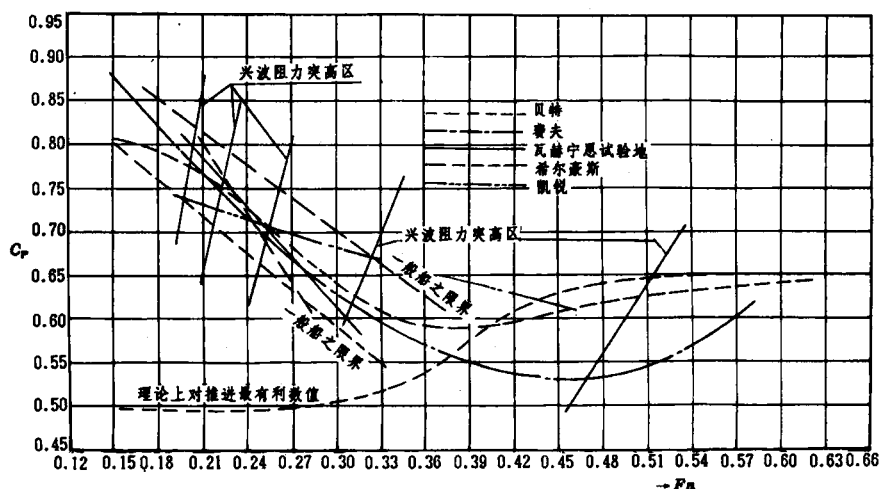


图 2-1 C_P 与 F_n 的关系

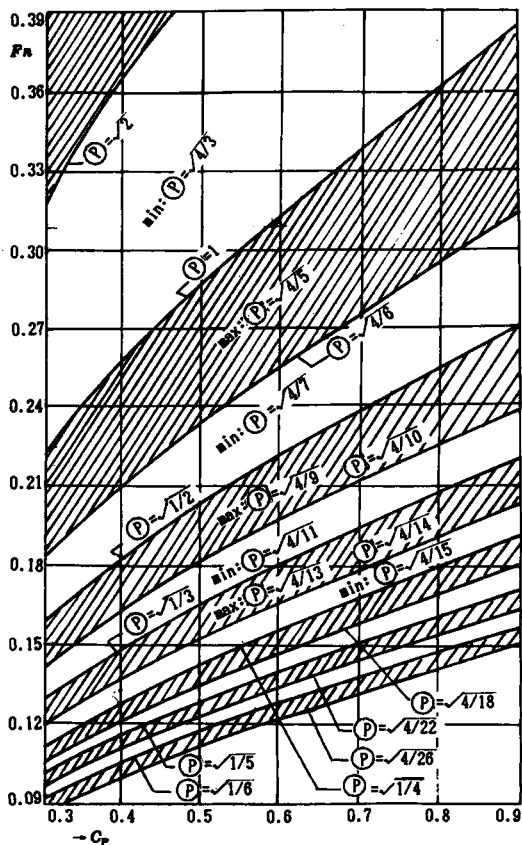


图 2-2 C_P, F_n 与 C_B 的关系

估算 C_P 的诺基德公式:

当 $F_n < 0.24$ 时, 经济的 C_P 值:

$$C_P = 1.015 - 1.46F_n \quad (2.13)$$

当 $F_n = 0.24 \sim 0.3$ 时, 经济的 C_P 值:

$$C_P = 0.325/F_n^{0.5} \quad (2.14)$$

贝克用下列公式表示 C_P 的限界值:

$$C_P = 1.02 - 0.1V/\Delta^{1/6} \quad (2.15)$$

式中 V 为服务航速, kn。此式表示若 C_P 值超过此限界值则阻力将迅速增加, 在实用上一般取比限界值小的 C_P 值。

速度较高的船, C_P 值可按表 2-3 选取。

表 2-3 适宜的 C_P 值

F_n	0.297	0.327	0.356	0.386	0.416	≥ 0.445
C_P	0.52	0.53	0.56	0.60	0.63	0.66

2.4.2 船型系数间的综合关系

船型系数 C_B 和 C_P 选定之后, 其它船型系数的选取可参阅表 2-4。

表 2-4 各船型系数间的综合关系

方形系数 C_B	棱形系数 C_P	中剖面系数 C_M	水线面系数 C_W
0.35	0.635~0.565	0.550~0.620	0.735~0.700
0.4	0.590~0.540	0.680~0.740	0.710~0.690
0.45	0.570~0.540	0.790~0.830	0.700~0.690
0.5	0.580~0.560	0.860~0.890	0.710~0.700
0.55	0.605~0.590	0.910~0.930	0.720~0.710
0.6	0.640~0.625	0.940~0.960	0.735~0.730
0.65	0.680~0.665	0.955~0.975	0.755~0.750
0.7	0.725~0.710	0.965~0.985	0.785~0.775
0.75	0.775~0.760	0.970~0.990	0.815~0.805
0.8	0.820~0.805	0.975~0.995	0.850~0.835

2.5 兴波阻力“谷”值检验

船长的选择是否合理,可以用兴波阻力“谷”值来检验。即合理的船长,其相应的傅氏数 Fn 应在“谷”值范围内,此时兴波阻力最小。下表是各种资料推荐的“谷”值。

表 2-5 兴波阻力“谷”点的 Fn 值

	$Fn = v / \sqrt{gL}$
长江船推荐值	0.258 0.293 0.315 0.341 0.364 0.446
大串雅信推荐值	0.258 0.284 0.309 0.341 0.387 0.457
泰勒推荐值	0.220 0.268 0.342
爱尔推荐值	0.214 0.256 0.342

对于 $Fn < 0.2$ 的低速船,兴波阻力较小,因此选择船长时可不作兴波阻力“谷”点检验。

2.6 内河拖船主尺度的估算

拖船的主尺度在很大程度上取决于装机功率的大小。珀尔·格里格对港作拖轮主尺度推荐如下的经验公式:

$$L_{BP} = 12.2 + (0.316P_B - 27.89)^{0.5} \quad (2.16)$$

$$B = 0.285L_{BP} \quad (2.17)$$

$$D = 0.14L_{BP} \quad (2.18)$$

公式(2.16)对小功率拖船来说略偏小了些。实际上,拖船的主尺度还取决于机舱布置的需要。例如双机拖船按机舱布置所需的最小船宽可按下式确定:

$$B = 2(\text{主机最大宽度} + 0.5 \text{ 中间走道宽度} + \text{主甲板舷侧走道宽度})$$

一般取中间走道宽度为 0.8~1.0 m;主甲板舷侧走道宽度为 0.5~0.8 m。

罗奇(Rouch)提出的拖船各主尺度之间的关系见图 2-3 所示,可供初估时参考。另一种方法是先估算出拖船的空船重量,再按空船重量来估算所需的最小长度值。文献[2-3]推荐拖船机电设备重量按下式估算:

$$W_M = 0.073 P_B^{0.9} + 1.25 \quad (2.19)$$

拖船舾装重量,包括木作及铸锻件的重量按下式估算:

$$W_E = 0.333W_H \quad (2.20)$$

于是可求得空船重量:

$$\Delta_0 = W_H + W_E + W_M = 1.333W_H + W_M \quad (2.21)$$

上述三式中的符号说明如下:

Δ_0 ——空船重量,t;

W_H ——船体钢料重量,t;参照母型船或统计公式求得(参阅本书第七章);

W_E ——舾装设备及木作重量,t;

W_M ——机电设备重量,t;

P_B ——装机功率,kW。

已知空船重量后,用下式估算所需的最小长度:

$$\lg L_{BP} = 0.3775 \lg \Delta_0 + 0.5966 \quad (2.22)$$

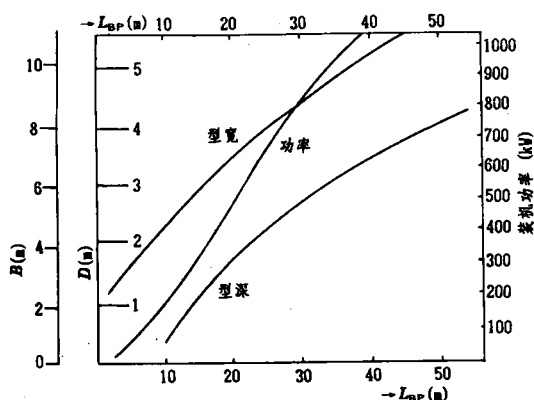


图 2-3 拖船主尺度与装机功率的关系

值得指出的是,文献[2-3]推荐的方法有可取之处,但其机电设备重量的回归公式(2.19)不一定适合我国国情,读者可按母型船参照比较选取。吴松泉^[2-4]收集了我国内河小拖船的实船数据,作了分析,提出了内河小拖船主尺度的估算公式:

$$L_{BP} = 14 + 0.036P_B \quad (2.23)$$

$$B = 0.21L_{BP} + 0.62 \quad (2.24)$$

$$d = (0.3 \sim 0.4) \nabla^{0.333} \quad (2.25)$$

$$D = d + 0.12B \quad (2.26)$$

$$\nabla = (0.27 \sim 0.37) L \cdot B \cdot D \quad (2.27)$$

初估排水体积 ∇ 时可取平均值 0.32 来估算。内河小拖船的方形系数 C_B 一般在 0.45~0.55 之间。本文作者推荐按(2.12)式计算 C_B ,但此时航速 V 应取自由航速。

航行于浅水急流航道上的小型拖轮要求吃水浅、功率大,为克服滩上的水流速度及坡降阻力必须具备较高的自由航速,在上滩时船尾部