

造船理论

伍景英編



國防工業出版社

造船理論

伍 景 英 編



國防工業出版社

1966

內 容 簡 介

本书系船舶制造的理論基础，内容包括靜力学和动力学中的各有关問題，并論及模型試驗，試航分析和潛水艇等章节的一般原理。书中既有理論又有实践，各章并附有計算实例說明。

本书可供造船工程技術人員：高等院校師生參考之用。

造 船 理 論

伍 景 英 編

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 号

新华书店北京發行所發行 各地新华书店經售

国防工業出版社印刷厂印裝

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 印張 29 $\frac{3}{4}$ 698 千字

1966 年 3 月第一版 1966 年 3 月第一次印刷 印數：0,001—4,000 册

統一書號：15034·1042 定價：（科六）3.60 元

序

本书内容以阐明造船理論为基础，以运用原則为归宿，前者是明其所以然，后者是知其所当然。因此本书既偏重于理論叙述，又兼顧到实践运用。另书中列举許多实例釋明，并附图表以助了解。

自第一章至第九章系关于船舶的靜力学問題。第十章涉及波浪理論，因其与其它各章有关，故亦作初步討論。第十一章論述船之运动灵活問題，而第十二章則討論船舶下水技术問題。

第十三章研究潜水艇。潜水艇之計算原則与水面船舶相同，但运算步驟各异。鉴于其对于国防和将来远航发展有关，茲仅指出其特点，作为讀者进一步研討該問題之参考。

自第十四章以后分別討論船舶动力学問題，此項問題較為复杂，各国专家仍在不断試驗研究中。

造船学是綜合性应用科学，理論上多有假定，故至今仍未能达到完备阶段。作者从事于造船工作数十年，所知者仍九牛一毛，本书所討論之各問題只能作为讀者进一步研究造船理論之基础。书中资料来源較多，除作者未經公开发表之原作外，其余多采自国外专家著作。总而言之，本书只可謂編述，而不敢称之为著作。由于水平所限，詞不达意和舛誤之处在所难免，尚希讀者批評指正。

伍景英

1965年5月

目 录

序	3	2. 求静稳性臂 GZ 的方法	124
第一章 面积、中心、体积	7	3. 静稳性曲线的修正及讨论	133
1. 面积计算	7	4. 动稳性	135
2. 力矩和中心位置计算	15	5. 长方形船的大横倾	138
3. 径向积分计算	19	6. 三角形船的小角度倾侧	147
4. 求体积	21	7. 三角形船的大角度倾侧	149
5. 杜兰法则及辛浦生法则应用的推广	22	8. 结论	155
第二章 机械积算仪	26	第八章 分舱隔水	157
1. 面积仪	26	1. 空舱淹水	157
2. 积分仪	29	2. 渗透率	163
3. 画线积分仪	33	3. 假设部分不透水的舱	163
4. 图解积分法	39	4. 可浸长度曲线	167
第三章 排水量、浮心、系数等	41	5. 许可长度	171
1. 排水量和浮心位置计算	41	6. 分舱因数和业务衡准数	173
2. 海水与淡水中船的吃水变化	46	7. 薛洛考尔算法	175
3. 船型系数	46	8. 画线积分仪法	181
4. 特别考虑和近似计算公式	48	第九章 淹水对于稳性的影响	184
5. 载重标尺	51	1. 横向分舱	184
6. 浸水面积	52	2. 淹水对于稳性的影响	190
7. 邦戎曲线	58	3. 某些特殊问题	200
第四章 重量计算	60	第十章 波浪理论	203
1. 初步估计	60	1. 摇摆波概论	203
2. 船的重心计算	64	2. 坦谷波之几何特性	204
3. 重量分类	65	3. 静水面与帆圆中心线之距离	205
第五章 初稳性	71	4. 波长与波速之关系	206
1. 基本原则	71	5. 浪面压力恒定的条件	207
2. 求 BM 的方法	73	6. 帆圆半径因深度的变化	208
3. 倾斜试验	75	7. 波的结构	211
4. 船内自由液面的影响	77	8. 波中任何一点之压力	212
5. 舱内水的数量有变化时的影响	79	9. 波的能量	213
6. 甲板上积水	88	10. 混合波	214
7. 自由液面的限制	90	11. 浅水波	215
8. 具有简单形状剖面的船的稳性	92	12. 移动波	220
9. 特殊情况	100	13. 实地观测的海波	222
10. 结束语	105	第十一章 舵计算	223
第六章 纵倾	108	1. 论迴转	223
1. 纵稳心	108	2. 舵面压力	225
2. 改变吃水差 1 吋的力矩	111	3. 压力中心	226
3. 纵倾水线下的排水量	115	4. 舵头直径	228
4. 纵倾曲线图	120	5. 舵形	237
第七章 大角度横倾时的稳性	123	6. 测量迴转直径的方法	239
1. 概述	123	第十二章 船舶下水及下水计算	241
		1. 船尾浮起	241

2. 仰傾及滑道末端的压力	241
3. 造船台	242
4. 滑道	242
5. 龙骨墩	243
6. 滑板	243
7. 下水架	243
8. 前支架	244
9. 影响下水計算的因素	244
10. 下水观测及分析	246
11. 滑道施滑	247
12. 滑道上的压力与坡度的关系	247
13. 滑道宽度	248
14. 滑道上压力的分布	248
15. 前支架的应力	250
16. 制速布置	252
17. 放行裝置	255
18. 下水时的稳性及强度的考虑	257
19. 总结	258
20. 下水曲线图	259
21. 下水情况变更的影响	262
第十三章 潜水艇	269
1. 概說	269
2. 重量与浮力	270
3. 潛艇内的水輪	273
4. 排水量及其他曲线	277
5. 稳性	279
6. 潛艇的特性	283
7. 深度控制	285
8. 潛艇系統	287
9. 結論	288
第十四章 阻力	296
1. 概說	296
2. 比較定律及其应用	298
3. 船行进时水的扰动	301
4. 阻力的类别	303
5. 摩擦阻力	303
6. 剩余阻力	309
7. 空气阻力	318
8. 影响阻力之因素	320
9. 排水量长度系数之影响	322
10. 平行中体之采用	324
11. 淺水之影响	325
第十五章 模型試驗	329
1. 試驗池及拖車	329
2. 模型	329
3. 阻力记录仪	331
4. 记录紙	332

第十六章 标准試驗結果之应用	334
1. 概說	334
2. 傅汝德标准化法	334
3. 泰洛标准化法	338
4. 近似計算法	343
第十七章 船舶推进	346
1. 螺旋推进器的几何学	346
2. 推进器的理論	355
3. 推进器的模型試驗	360
4. 影响推进器效能的各种因素	372
5. 空泡	374
6. 随流和推力損	379
7. 車叶强度計算	387
8. 明輪	389
9. 噴水推进	391
10. 風力推进	392
第十八章 試航及分析	396
1. 測定里程	396
2. 速度与馬力試航	396
3. 分析	403
第十九章 靜水中的搖摆	408
1. 概說	408
2. 无阻力小搖摆的周期	409
3. 搖摆运动阻力的决定	411
4. 有阻力小搖摆的周期	418
5. 大角度搖摆周期	420
第二十章 測量搖摆角的方法	425
1. 简单的悬摆	425
2. 馬尔乐克搖摆指示器	426
3. 傅汝德自动记录仪	427
4. 木条瞄准法	428
5. 桅杆因搖摆而产生的应力	428
第二十一章 在波浪間的搖摆	430
1. 概說	430
2. 无阻力的搖摆	430
3. 有阻力的搖摆	437
4. 結論	442
5. 搖摆运动方程式的图解积分法	445
第二十二章 船舶搖摆的模型試驗	453
罗素的“尼維陀”	453
第二十三章 减小搖摆的方法	457
1. 舳龙骨	457
2. 消滅搖摆的水艙	461
3. 陀螺稳定器	472
4. 丹尼-白朗稳定器	475

第一章 面积、中心、体积

1. 面积计算

有关造船学的计算经常要求某一图形的面积。所求的面积通常一边系曲线，而其他各边则为直线所包围。此种曲线并不属于那种形状其方程可以容易决定者；所以不能用积分数学方法计算其面积。但现有几个方法可用以计算造船学常见的一类图形面积。虽则这几个方法的运算纯是算术的，实则系根据数学原理而导出。知其理论而广其用途，亦使数典不致忘其祖，因此先叙述其原理：

用算术方式求一边系抛物线形其他各边为直线的面积的方法常称为辛浦生法则。假定曲线边为抛物线的一部分。船体的部分线形事实上是极似此形状，故用此法则进行造船学计算所得结果足够准确。

设 $ABCD$ 为一曲线所包围的面积， DC 系一曲线，假定是二次抛物线。 AB 是基线， AD 及 BC 是末端纵坐标，垂直于基线。

将 AB 等分于 E 点，作 EF 垂直于 AB 交曲线于 F 。于是 $ABCD$ 面积可用下列方程式求得

$$\text{面积} = \frac{1}{3} AE(AD + 4EF + BC)。$$

或用 y_1, y_2, y_3 代表各级坐标， h 代表纵坐标间的距离，则

$$\text{面积} = \frac{h}{3} (y_1 + 4y_2 + y_3)。$$

凡长曲线下的面积（曲线假定为连续没有折断处，若曲线有折断处，则需以此点作为一分点）可以分为若干段，每段与图 1-1 同。如图 1-2 $BCLK$ 一段的面积为

$$\frac{h}{3} (y_3 + 4y_4 + y_5)；$$

又 $KLQP$ 一段的面积为 $\frac{h}{3} (y_5 + 4y_6 + y_7)$ ，所以全部面积（假定各坐标间的距离均等于 h ）等于：

$$\frac{h}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + 4y_6 + y_7)。$$

此即求曲线下面积用的辛浦生第一法则。

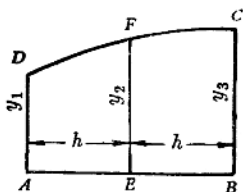


图 1-1

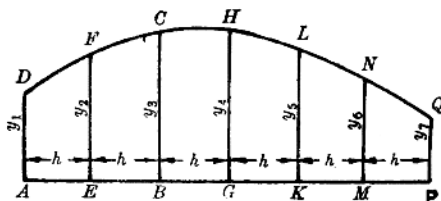


图 1-2

注意：划分段数必须为偶数，纵坐标数目必须为奇数，方可采用辛浦生第一法则。所以以辛浦生第一法则可说明如下：

将基线分为若干偶数等分，在分点上竖起纵坐标与曲线相交，末端两纵坐标值之和加上偶数纵坐标值的四倍，奇数纵坐标值的两倍得一总和，以三分之一座标间距乘之即得到面积。

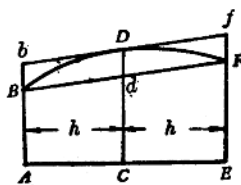


图 1-3

此法则的正确性可用几何法证明如下：

见图 1-3, $ABDFE$ 为需求面积的曲线图形，其 BDF 曲线边假定为抛物线的一部分。 bDf 切线与 BF 平行，切抛物线于 D 点。

CD 系 AB 和 EF 两纵坐标的中间纵坐标，则

$$AbfE \text{ 梯形面积} = CD \times AE = 2CD \times AC;$$

$$ABFE \text{ 梯形面积} = (AB + EF) \times AC;$$

BDF 既系抛物线之一部分，则

$$BDFd \text{ 面积} = \frac{2}{3} AE \times dD,$$

设该值等于 $2a$,

及

$$BbFD \text{ 面积} = \frac{1}{3} AE \times dD = a;$$

于是

$$\text{曲线下 } ABDFE \text{ 面积} = AbfE \text{ 梯形面积} - a = ABFE \text{ 梯形面积} + 2a.$$

又

$$3 \times ABDFE \text{ 面积} = (2 \times AbfE \text{ 梯形面积} - 2a) + (ABFE \text{ 梯形面积} + 2a) \\ = (4CD \times AC) + \{(AB + EF) \times AC\} = AC(4CD + AB + EF);$$

$$ABDFE \text{ 面积} = \frac{AC}{3} (AB + 4CD + EF) = \frac{h}{3} (y_1 + 4y_2 + y_3).$$

辛浦生建议所有短的曲线应作为一段抛物线处理；又任何长的曲线可截成短段，而此一简单的计算方法可以适用于各段。现举例求一象限的面积，图 1-4 表示此一象限，圆的半径为 8 吋， $AE = EQ$ ，由 A 至 E 的各纵坐标均相距一单位（以吋为单位）。依几何法算得各纵坐标的长度为：

$$Aa = \sqrt{8 \times 8} = \sqrt{64} = 8.0000000;$$

$$Bb = \sqrt{8^2 - 1^2} = \sqrt{63} = 7.9372539;$$

$$Cc = \sqrt{8^2 - 2^2} = \sqrt{60} = 7.7459667;$$

$$Dd = \sqrt{8^2 - 3^2} = \sqrt{55} = 7.4161985;$$

$$Ee = \sqrt{8^2 - 4^2} = \sqrt{48} = 6.9282032.$$

座标间距离取为一单位，

$AacE$ 的面积 = $AacC$ 部分 + $CceE$ 部分

$$= \frac{1}{3} (y_1 + 4y_2 + y_3) + \frac{1}{3} (y_3 + 4y_4 + y_5) = \frac{1}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + y_5)$$

$$= \frac{1}{3} (8.0000000 + 31.7490156 + 15.4919334 + 29.6647940 + 6.9282032)$$

$$= 30.6113154.$$

$$AeE \text{ 三角形的面积} = 6.9282032 \times 4 \times \frac{1}{2} = 13.8564064,$$

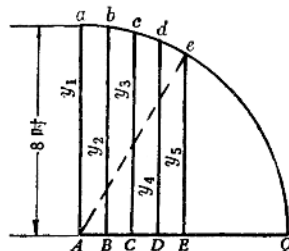


图 1-4

于是

扇形 Aea 的面积 = $30.6113154 - 13.8564064 = 16.754909$ 。

因为 $\frac{AE}{Ae} = 0.5$, Ae 半径与基线成 60° 角, Aea 扇形面积系象限面积的 $\frac{1}{3}$, 于是象限面积依此计算为 50.264727。

但象限面积的正确数值为 $-\frac{\pi}{4} \times 8^2$, $-\frac{\pi}{4}$ 的正确值计至八位小数系 0.78539816。

按辛浦生第一法则

$$\begin{aligned} -\frac{\pi}{4} \times 8^2 &= 50.264727, \\ -\frac{\pi}{4} &= \frac{50.264727}{64} = 0.78538636. \end{aligned}$$

绝对误差为 $0.78539816 - 0.78538636 = 0.0000118$;

而相对误差为 $\frac{0.0000118}{0.78539816} = \frac{1}{66559} = 0.00001502$ 。

相差不过万分之 0.1502; 如此微小的误差可认为足够正确。

辛浦生第一法则还可用定积分方法证明: 假定曲线系二次抛物线的一部分, 设曲线方程为:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2,$$

式中 a_0, a_1, a_2 为常数; 如图 1-5 所示, 在所求面积中一长等于 y , 宽为 Δx 的窄条, 其面积等于 $y \times \Delta x$ 。

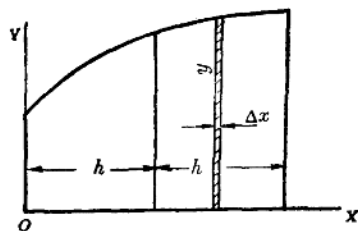


图 1-5

所求的自横座标 $x = 0$ 至 $x = 2h$ 的面积就是组成面积的所有此项窄条的面积总和。虽则可以 Δx 宽的窄条作为对象而考虑, 但仍未计及窄条上端一小三角形的面积。但窄条宽度小到极限 dx , 此项三角形亦将小到极限。于是可用定积分公式表示:

$$\begin{aligned} \text{面积} &= \int_0^{2h} y \times dx = \int_0^{2h} (a_0 + a_1x + a_2x^2) dx = \left[a_0x + \frac{a_1x^2}{2} + \frac{a_2x^3}{3} \right]_0^{2h} \\ &= 2a_0h + 2a_1h^2 + \frac{8}{3} a_2h^3 \end{aligned} \quad (1)$$

现假设

$$\text{面积} = Ay_1 + By_2 + Cy_3 \quad (2)$$

$$x = 0, \quad y = y_1 = a_0;$$

$$x = h, \quad y = y_2 = a_0 + a_1h + a_2h^2;$$

$$x = 2h, \quad y = y_3 = a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2.$$

代入方程式 (2), 得

$$\begin{aligned} \text{面积} &= Aa_0 + B(a_0 + a_1h + a_2h^2) + C(a_0 + 2a_1h + 4a_2h^2) \\ &= a_0(A + B + C) + a_1(Bh + 2Ch) + a_2(Bh^2 + 4Ch^2) \end{aligned} \quad (3)$$

因为方程式 (1) 和 (2) 都是代表同一面积, 其系数 a_0, a_1, a_2 理应相等。

$$\therefore A + B + C = 2h;$$

$$Bh + 2Ch = 2h^2, \text{ 或 } B + 2C = 2h;$$

$$Bh^2 + 4Ch^2 = \frac{8}{3}h^3, \text{ 或 } B + 4C = \frac{8}{3}h.$$

于是得到三个方程式

$$A + B + C = 2h;$$

$$B + 2C = 2h;$$

$$B + 4C = \frac{8}{3}h。$$

解得

$$2C = \frac{2}{3}h, \quad C = \frac{1}{3}h;$$

$$B = 2h - \frac{2}{3}h = \frac{4}{3}h;$$

$$A = 2h - \frac{5}{3}h = \frac{1}{3}h。$$

将 A, B, C 之值代入方程式 (2)

$$\text{面积} = \frac{h}{3}y_1 + \frac{4h}{3}y_2 + \frac{h}{3}y_3 = \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3)。$$

此即辛浦生第一法则的公式，又称辛浦生 (1, 4, 1) 法则。

辛浦生第一法则的正确性不仅限于二次抛物线下的面积，施用于三次抛物线下的面积亦然。

辛浦生第二法则用四条纵坐标，以三次抛物线方程式为基础，即

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3。$$

用上述同样的方法可以导出辛浦生第二法则求面积的算术式：

$$\text{面积} = \frac{3}{8}h(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + y_4)。$$

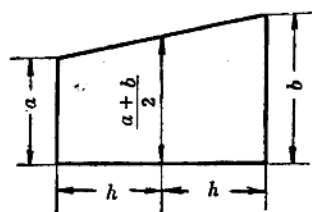


图 1-6

辛浦生第一法则亦可用于求直角三角形，长方形，梯形或简单的曲线 $y = x^2$ 包围的任何图形的面积。

见图 1-6，设梯形两端纵坐标值为 a 和 b ，坐标间距离为 h ，中间纵坐标值为 $\frac{a+b}{2}$ ，按几何方法计算

梯形面积是 $\frac{a+b}{2} \times 2h = h(a+b)。$

用辛浦生第一法则得

$$\begin{aligned} \text{面积} &= \frac{h}{3} \left(a + 4 \times \frac{a+b}{2} + b \right) = \frac{h}{3} \times \frac{6(a+b)}{2} \\ &= h(a+b), \text{ 与上式无异。} \end{aligned}$$

假使 a 纵坐标值缩小至零，图形成为一直角三角形，则面积按几何方法计算是 $\frac{0+b}{2} \times 2h = bh。$

用辛浦生第一法则计算得

$$\text{面积} = \frac{h}{3} \left(0 + 4 \times \frac{b}{2} + b \right) = \frac{h}{3} \times 3b = bh。$$

又设 $a = b$ (长方形)，按几何方法计算是 $a \times 2h = 2ah。$

用辛浦生第一法则计算得

$$\text{面积} = \frac{h}{3} (a + 4a + a) = \frac{6ha}{3} = 2ah。$$

可見辛浦生第一法則可採用于求图形面积其方程为 $y = cx + d$, $y = cx$ 或 $y = d$ 。

见图 1-7, 設有简单的曲綫方程为

$$y = x^2,$$

該曲綫所包圍的任何面积, 假定自 $x = c - h$ 至 $x = c + h$, 用积分法計算

$$\begin{aligned} \text{面积} &= \int_{c-h}^{c+h} x^2 dx = \left[\frac{1}{3} x^3 \right]_{c-h}^{c+h} \\ &= \frac{1}{3} [(c+h)^3 - (c-h)^3] \\ &= \frac{1}{3} (6c^2h + 2h^3) = \frac{2h(3c^2 + h^2)}{3}. \end{aligned}$$

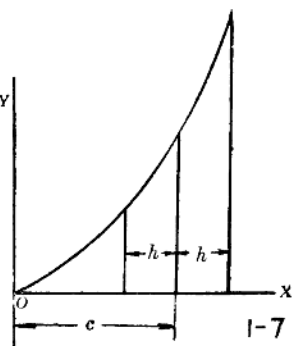


图 1-7

用辛浦生 (1, 4, 1) 法則計得

$$\begin{aligned} \text{面积} &= \frac{h}{3} [(c-h)^2 + 4c^2 + (c+h)^2] = \frac{h}{3} (c^2 - 2ch + h^2 + 4c^2 + c^2 + 2ch + h^2) \\ &= \frac{h}{3} (6c^2 + 2h^2) = \frac{2h(3c^2 + h^2)}{3}. \end{aligned}$$

两者所得結果完全相同。

辛浦生第一法則也可以施用于三次方程。先考虑以方程 $y = x^3$ 代表的曲綫, 求自 $x = c - h$ 至 $x = c + h$ 之面积。

用积分法計算

$$\text{面积} = \int_{c-h}^{c+h} x^3 dx = \left[\frac{1}{4} x^4 \right]_{c-h}^{c+h} = \frac{1}{4} [(c+h)^4 - (c-h)^4] = 2ch(c^2 + h^2);$$

用辛浦生法則, 得

$$\text{面积} = \frac{h}{3} [(c-h)^3 + 4c^3 + (c+h)^3] = 2ch(c^2 + h^2).$$

两者所得的結果相同。于是 (1, 4, 1) 法則对 $y = x^3$ 曲綫而言也是正确的。当然亦可用于 $y = lx^3$ 曲綫, l 是一常数, 因而对上述的結論沒有影响。前經証明, $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ 是第一法应用的基本方程式, 如与 lx^3 方程联合起来, 即成为一般的三次方程

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3, \text{ 亦可适用。}$$

特別法則

前所討論的方法是用三条以上纵座标值求面积, 有时需要从三条纵座标中只求两条纵座标間的面积。有一特別法則可以滿足此要求。

图 1-8 中 ABCD 面积在长度中間以纵座标 EF 分为两段。

基綫长度等于 $2h$ 。假定曲綫边系二次抛物綫, 其方程为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2.$$

現在要求 AB 与 EF 間的面积

$$\begin{aligned} \text{面积} &= \int_0^h y dx = \int_0^h (a_0 + a_1x + a_2x^2) dx = \left[a_0x + \frac{a_1x^2}{2} + \frac{a_2x^3}{3} \right]_0^h \\ &= a_0h + \frac{1}{2} a_1h^2 + \frac{1}{3} a_2h^3 \end{aligned} \quad (4)$$

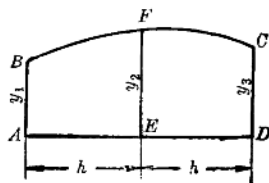


图 1-8

$$\begin{aligned}\text{当 } x &= 0, & y &= a_0; \\ x &= h, & y &= a_0 + a_1 h + a_2 h^2; \\ x &= 2h, & y &= a_0 + 2a_1 h + 4a_2 h^2.\end{aligned}$$

假设面积 $= Ay_1 + By_2 + Cy_3$.

$$\text{面积} = Aa_0 + B(a_0 + a_1 h + a_2 h^2) + C(a_0 + 2a_1 h + 4a_2 h^2)$$

$$= a_0(A + B + C) + a_1(Bh + 2Ch) + a_2(Bh^2 + 4Ch^2).$$

(5)

(6)

方程 (4) 与 (6) 均代表同一面积, 故 a_0, a_1, a_2 的系数相等。

$$A + B + C = h;$$

$$Bh + 2Ch = \frac{1}{2}h^2, \text{ 或 } B + 2C = \frac{1}{2}h;$$

$$Bh^2 + 4Ch^2 = \frac{1}{3}h^3, \text{ 或 } B + 4C = \frac{1}{3}h.$$

由此得到

$$C = -\frac{1}{12}h;$$

$$B = \frac{2}{3}h;$$

$$A = \frac{5}{12}h.$$

以 A, B, C 值代入方程式 (5), 得

$$\text{面积} = \frac{5h}{12}y_1 + \frac{2h}{3}y_2 - \frac{h}{12}y_3 = \frac{h}{12}(5y_1 + 8y_2 - y_3).$$

此法通常称为 (5, 8 减 1) 法则。5, 8 两数字用于所求面积的界线座标, 从起端起排列。

$$\begin{aligned}ABCD \text{ 面积} &= ABFE \text{ 面积} + EFCD \text{ 面积} = \frac{h}{12}(5y_1 + 8y_2 - y_3) + \frac{h}{12}(5y_3 + 8y_2 - y_1) \\ &= \frac{h}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3).\end{aligned}$$

由此可见用 (5, 8 减 1) 法则分两段求得之面积与用辛浦生第一法则一次求得之面积是一样的。两法用数学证明都为正确。

(5, 8 减 1) 法则可以应用于长方形, 直角三角形, 梯形, 这很容易用算术方法证明:

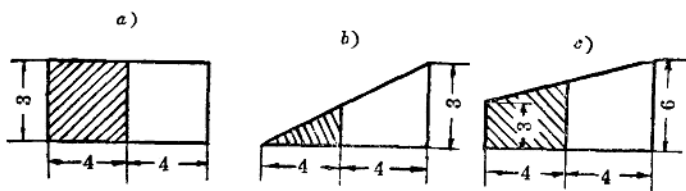


图 1-9

图 1-9 表示三种直线形。有纹纹的部分用几何方法或用 (5, 8 减 1) 法则求其面积所得结果是一样的。以 A 代表用几何方法求得的面积, 而用 A' 代表用 (5, 8 减 1) 法求得的面积

$$(a) \quad A = 3 \times 4 = 12;$$

$$A' = \frac{4}{12}(5 \times 3 + 8 \times 3 - 3) = \frac{4}{12} \times 12 \times 3 = 12.$$

$$(b) \quad A = \frac{3 \times 4}{2 \times 2} = 3;$$

$$A' = \frac{4}{12} (5 \times 0 + 8 \times 1.5 - 3) = \frac{4}{12} \times 9 = 3.$$

$$(c) \quad A = \frac{3 + 4.5}{2} \times 4 = 15;$$

$$A' = \frac{4}{12} (5 \times 3 + 8 \times 4.5 - 6) = \frac{4}{12} \times 45 = 15.$$

(5, 8 減 1) 法則既是与辛浦生第一法則基于同一的数学基础, 可知两者具有同样的性质, 前者是用于特别需要之处, 以补辛浦生第一法則之不足。

除辛浦生法則外尚有一称为切比雪夫法則者, 亦多用于船舶計算工作, 对于計算稳性曲綫甚为簡便, 但用于一般的船体計算不如辛浦生法則便利。此法則与一般的法則不同之处是所用的纵座标并不是等間距的, 而是有規定的距离, 纵座标的总和直接与面积成比例。纵座标的数目与拋物綫次数相同。曲綫之方程式为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n,$$

n 是一个正整数。切氏法則規定: 凡在第 n 次拋物綫下之面积, 可用 n 条纵座标的总和乘上基綫长度再除以纵座标数目 n 求得。

如图 1-10, 設 O 为起点, OX , OY 为軸綫, ABC 为曲綫边, 假定为二次拋物綫, $ABCED$ 为所求之面积。設 $2L$ 为基綫长度, 起点 O 在基綫的中点。在起点两旁标出距离 OF 及 OG , 各等于 $0.5733L$, 豎起纵座标 GH 及 FJ 。 $ABCED$ 面积 $= 2L \times \frac{1}{2} (GH + FJ)$ 。又图 1-11, ABC 曲綫系三次拋物綫, $ABCED$ 为所求的面积。設 $2L$ 为基綫长度, 起点 O 在基

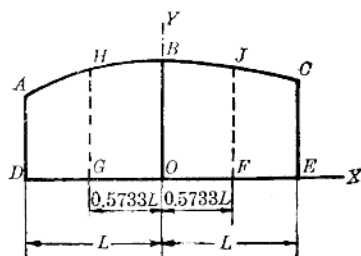


图1-10 用两纵座标

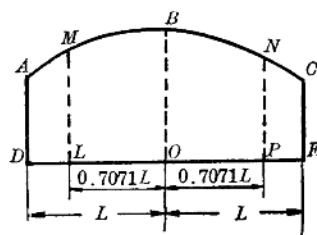


图1-11 用三纵座标

綫的中点。在起点两旁量取距离 OL 及 OP 各等于 $0.7071L$, 豎起纵座标 LM 及 PN , 用三纵座标 $ABCED$ 面积等于

$$2L \times \frac{1}{3} (LM + OB + PN).$$

表 1-1 为依所用纵座标数目而定的纵座标位置。

表 1-1

纵座标数目	纵座标距离基綫中点之距离(以基綫半徑长度作一单位)					
2	0.5773					
3	0	0.7071				
4	0.1876		0.7947			
5	0	0.3745		0.8325		
6	0.2666		0.4225		0.8662	
7	0	0.3239		0.5297		0.8839
8	0.1026		0.4062		0.5938	0.8974
9	0	0.1679		0.5288		0.9116
10	0.0838		0.3127		0.5000	0.6873 0.9162

此法簡便之处在于所用的纵座标数目較少，只用加法得其总和，不必乘任何系数即可求得面积。至于該法的数学分析証明，茲举四条纵座标規定的面积为例如下：

见图 1-12，設 CD 曲綫为拋物綫的一部分其方程式为

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 \quad (7)$$

式中 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 为常数（四个纵座标規定的曲綫作为四次拋物綫）。

設基綫长度为 $2L$ ，以基綫的中心为起点。于是所求的面积

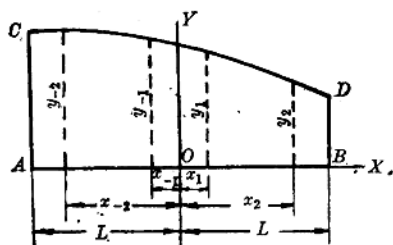


图 1-12

$$\begin{aligned} \text{面积} &= \int_{-l}^{+l} y dx \\ &= \int_{-l}^{+l} (a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4) dx \\ &= \left[a_0x + \frac{a_1x^2}{2} + \frac{a_2x^3}{3} + \frac{a_3x^4}{4} + \frac{a_4x^5}{5} \right]_{-l}^{+l} = 2l \left(a_0 + a_2 \frac{l^2}{3} + a_4 \frac{l^4}{5} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

設面积 $= C \times$ 四纵标之和

$$= C \times (y_1 + y_{-1} + y_2 + y_{-2}) \quad (9)$$

当

$$\begin{aligned} y &= y_1, & x &= x_1; \\ y &= y_{-1}, & x &= x_{-1} = -x_1; \\ y &= y_2, & x &= x_2; \\ y &= y_{-2}, & x &= x_{-2} = -x_2. \end{aligned}$$

代入方程 (7)

$$\begin{aligned} y_1 &= a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_1^3 + a_4x_1^4; \\ y_{-1} &= a_0 - a_1x_1 + a_2x_1^2 - a_3x_1^3 + a_4x_1^4; \\ y_2 &= a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + a_3x_2^3 + a_4x_2^4; \\ y_{-2} &= a_0 - a_1x_2 + a_2x_2^2 - a_3x_2^3 + a_4x_2^4. \end{aligned}$$

相加 $y_1 + y_{-1} + y_2 + y_{-2} = 4a_0 + 2a_2(x_1^2 + x_2^2) + 2a_4(x_1^4 + x_2^4)$ 。

将 y 值代入方程式 (9) 中，則

$$\begin{aligned} \text{面积} &= C \{ 4a_0 + 2a_2(x_1^2 + x_2^2) + 2a_4(x_1^4 + x_2^4) \} \\ &= 4C \left\{ a_0 + \frac{a_2}{2}(x_1^2 + x_2^2) + \frac{a_4}{2}(x_1^4 + x_2^4) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

方程式 (8) 与 (10) 代表同一面积，所以两方程中的 a_0, a_1, a_3, a_4 系数应相等，即

$$\begin{aligned} 4C &= 2l, & C &= \frac{l}{2}. \\ \frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2) &= \frac{l^2}{3}, & x_1^2 + x_2^2 &= \frac{2}{3}l^2; \\ \frac{1}{2}(x_1^4 + x_2^4) &= \frac{l^4}{5}, & x_1^4 + x_2^4 &= \frac{2}{5}l^4. \end{aligned}$$

解这两个方程式得到

$$x_1 = 0.1876l, \quad x_2 = 0.7947l.$$

x_1 和 x_2 表示纵座标的位置使所求面积 $= \frac{2l}{4} (y_1 + y_{-1} + y_2 + y_{-2})$ 。因此切比雪夫法則为，纵座标之和以全长乘之再除以纵座标的数目即得面积。

2. 力矩和中心位置計算

造船学計算常需要求得面积对于某一既定的軸綫之力矩，并求出該面积中心对此軸綫的距离。有时还要求算出面积对于通过其中心軸綫的慣性矩（也称为第二力矩）。前节討論求面积的方法亦可应用于求力矩。計算力矩和慣性矩所取之軸一般为两个相互垂直的軸，一与曲綫图形的纵座标平行，另一与纵座标垂直；两者計算的方法有所不同；茲先討論面积对于平行纵座标的軸之力矩，即沿着船长前后方向的纵向力矩。

如图 1-13 所示，图中窄条面积的大小可用 ydx 表示。該窄条面积对 OY 軸的纵向力矩可用 $\int xydx$ 表示。第二力矩或慣性矩可用 $\int x^2ydx$ 表示。諸式中 y 代表曲綫的任一纵座标值； x 代表該纵座标与所取 OY 軸間的距离。

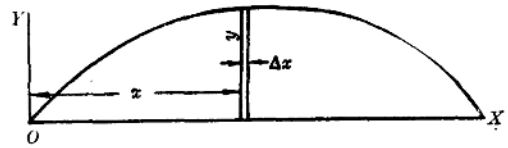


图 1-13

图 1-14 a) 代表某船的載重水綫面，为清晰起见，把宽度比例尺放大。边界曲綫表示水綫宽度 y 值的变化，水綫面的面积用 $\int ydx$ 表示。

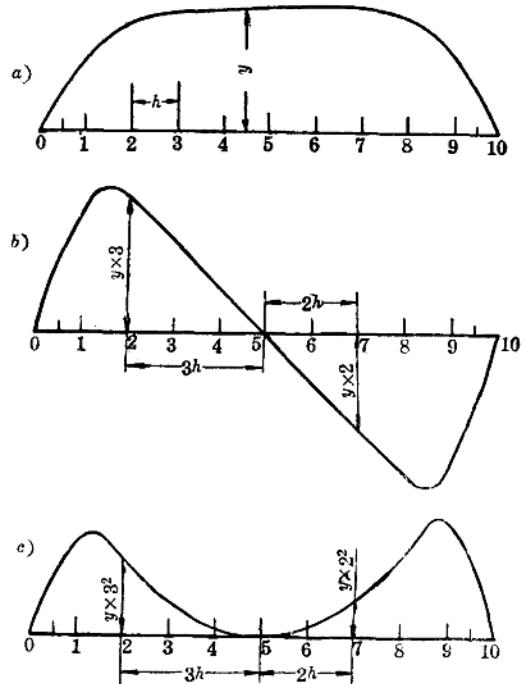


图 1-14

距离的平方相乘的积，图 a) 所示面积对船中部軸綫的第二力矩或慣性矩系用 $\int x^2ydx$ 表示；即用图 c) 曲綫下的总面积代表；对面积的慣性矩而言，船前后两部分都具有正符号。

力矩和慣性矩所取的軸綫并非必須在船中部，但一般以取船中部纵座标为軸綫较为方便；特别是要在計算力矩和慣性矩取同一軸綫的情况。在实际計算中，b)、c) 两图均不画出，而在計算时无形中已求出此两曲綫下之面积，并且 xy 和 x^2y 的实际数值也不用到。在一般船体計算中，将图 1-14 所示水綫面的全长分为十等分，两端等分再各等分之。图 b) 的纵座标可用图 a) 的纵座标与距离軸綫的座标間距数目的乘积填入計算。例如图 b) 第二号纵座标距离軸綫三个座标間距，故用 $y \times 3$ 填入表中計算。但实际图 b) 的纵座标 (呎·呎) 值必須用座标間距 h (呎) 乘之。同样图 c) 曲綫的纵座标可用图 a) 纵座标 (呎)

以座标与軸綫的間距数目的平方乘之填入表內計算；例如第二号纵座标距离軸綫三个座标間距故用 $y \times 3^2$ 。以座标間距作为乘数而不是以实际距离（呎）計算，在最后的計算阶段还要化成实际数值。用这种方法可以使計算工作簡化很多。

在实际計算中， xy 和 x^2y 值因为以座标間距数目作 x ，不必直接求出。因为求慣性矩时要求面积和力矩，而求力矩时也要求面积。所以排列計算程序时，应考虑到使用最少的計算手續而得到所需的数据。

参看表 1-2，第一项系站号，順序是自后端（船尾）0 号至前端（船首）10 号。每站相距 60 呎。第 2 项系水綫半寬呎数，就是图 a）曲綫的纵座标。第 3 项是辛浦生第一法则的乘数。第 4 项是 (2)，(3) 两项相乘之积。第 4 项之总和为 1030.7，通常以 S_A 表示。

表 1-2

面			积	力矩		慣性矩	
1	2	3	4	5	6	7	8
站号	纵座标 y (呎)	乘数	面积函数	間距	力矩函数	間距	I 函数
0	0.1	$1/2$	0.05	5	0.25	5	1.25
$1/2$	6.5	2	13.00	$4\frac{1}{2}$	58.50	$4\frac{1}{2}$	263.25
1	15.1	$1\frac{1}{2}$	22.65	4	90.60	4	362.40
2	31.8	4	127.20	3	381.60	3	1144.80
3	42.5	2	85.00	2	170.00	2	340.00
4	46.9	4	187.60	1	187.60	1	187.60
5	47.7	2	95.40	0	888.55		0
6	47.4	4	189.60	1	189.60	1	189.60
7	45.5	2	91.00	2	182.00	2	364.00
8	39.0	4	156.00	3	468.00	3	1404.00
9	24.4	$1\frac{1}{2}$	36.60	4	146.40	4	585.60
$9\frac{1}{2}$	13.3	2	26.60	$4\frac{1}{2}$	119.70	$4\frac{1}{4}$	538.65
10	0	$1/2$	0	5	0	5	0
			1030.70		1105.70		5381.15
			S_A		888.55		S_I
					217.15		
					S_M		

由表 1-2 得

$$\text{水綫面积} = S_A \times \frac{2}{3} \times h = 1030.7 \times \frac{2}{3} \times 60 = 41228 \text{呎}^2;$$

$$\text{中心距离船中部} = \frac{S_M}{S_A} \times h = \frac{217.15 \times 60}{1030.7} = 12.64 \text{呎};$$