造船理论

伍景英 編

国防工业出版社

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，內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。书中旣有理論又有实踐，各章并附有計算实例說明。

本书可供造船工程技术人員，高等院校师生參考之用。

造船理論

伍景英 編

*

国防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行　　各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16　印張 29 3/4　698千字

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

統一书号：15034·1042　　定价：（科六）3.60元

序

本书內容以闡明造船理論为基础，以运用原則为归宿，前者是明其所以然，后者是知其所当然。因此本书旣偏重于理論叙述，又兼顾到实踐运用。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静力学問題。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。

第十三章研究潛水艇。潛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，此項問題較为复杂，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。书中資料来源較多，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，詞不达意和舛謬之处在所难免，尙希讀者批評指正。

伍景英

1965 年 5 月

目 录

第一章　面积、中心、体积

1. 面 积 計 算

有关造船学的計算經常需要求某一图形的面积。所求的面积通常一边系曲綫，而其他各边則为直綫所包圍。此种曲綫并不屬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計算其面积。但現有几个方法可用以計算造船学常見的一类图形面积。虽則这几个方法的运算純是算术的，实則系根据数学原理而导出。知其理論而广其用途，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拋物綫形其他各边为直綫的面积的方法常称为辛浦生法則。假定曲綫边为拋物綫的一部分。船体的部分綫形事实上是极似此形状，故用此法則进行造船学計算所得結果足够准确。

設 $ABCD$ 为一曲綫所包圍的面积，DC 系一曲綫，假定是二次拋物綫。AB 是基綫，AD 及 BC 是末端纵座标，垂直于基綫。

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

$$面积=\frac{1}{3}AE(AD+4EF+BC)。$$

或用 y_1，y_2，y_3 代表各纵座标，h 代表纵座标間的距离，则

$$面积=\frac{h}{3}(y_1+4y_2+y_3)。$$

凡长曲綫下的面积（曲綫假定为連續沒有折断处，若曲綫有折断处，則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（假定各座标間的距离均等于 h）等于：

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

此即求曲綫下面积用的辛浦生第一法則。

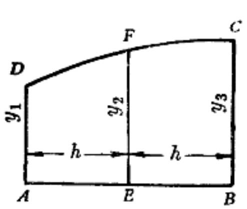

图 1-1

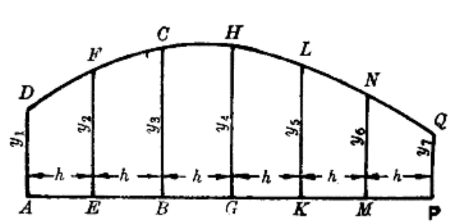

图 1-2

注意：划分段数必須为偶数，纵座标数目必須为奇数，方可采用辛浦生第一法則。所以辛浦生第一法則可說明如下：

将基綫分为若干偶数等分，在分点上豎起纵座标与曲綫相交，末端两纵座标值之和加上偶数纵座标值的四倍，奇数纵座标值的两倍得一总和，以三分之一座标間距乘之即得到面积。

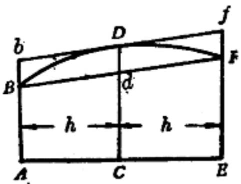

图 1-3

此法則的正确性可用几何法証明如下：

見图 1-3，$ABDFE$ 为需求面积的曲綫图形，其 BDF 曲綫边假定为抛物綫的一部分。bf 切綫与 BF 平行，切抛物綫于 D 点。CD 系 AB 和 EF 两纵座标的中間纵座标，則

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

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

BDF 既系抛物綫之一部分，則

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

設該值等于 $2a$，

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

于是

$$\text{曲綫下 } ABDFE \text{ 面积} = Abf E \text{ 梯形面积} - a = ABFE \text{ 梯形面积} + 2a。$$

又
$$3 \times ABDFE \text{ 面积} = (2 \times Abf E \text{ 梯形面积} - 2a) + (ABFE \text{ 梯形面积} + 2a)$$

$$= (4CD \times AC) + \{(AB + EF) \times AC\} = AC(4CD + AB + EF);$$

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

辛浦生建議所有短的曲綫应作为一段抛物綫处理；又任何长的曲綫可截成短段，而此一簡单的計算方法可以适用于各段。現举例求一象限的面积，图 1-4 表示此一象限，圓的半徑为 8 吋，$AE = EQ$，由 A 至 E 的各纵座标均相距一单位（以吋为单位）。依几何法算得各纵座标的长度为：

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

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

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

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

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

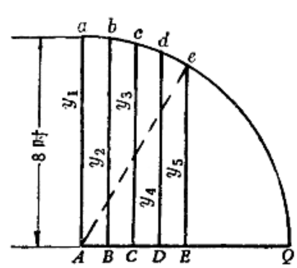

图 1-4

座标間距离取为一单位，

$$AaeE\text{的面积} = AacC\text{部分} + CceE\text{ 部分}$$

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

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

$$= 30.6113154。$$

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

于是

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

因为 $\frac{AE}{Ae}=0.5$，Ae 半徑与基綫成 $60°$ 角，Aea扇形面积系象限面积的 $\frac{1}{3}$，于是象限面积依此計算为 50.264727。

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

按辛浦生第一法則

$$\frac{\pi}{4}\times 8^2=50.264727,$$

$$\frac{\pi}{4}=\frac{50.264727}{64}=0.78538636。$$

絕对誤差为 $0.78539816-0.78538636=0.0000118$;

而相对誤差为 $\frac{0.0000118}{0.78539816}=\frac{1}{66559}=0.00001502$。

相差不过万分之 0.1502；如此微小的誤差可认为足够正确。

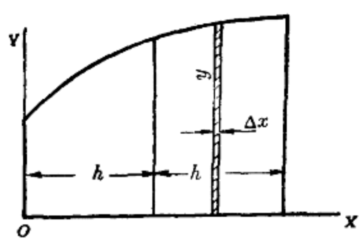

图 1-5

辛浦生第一法則还可用定积分方法証明：假定曲綫系二次抛物綫的一部分，設曲綫方程为：

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

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，寬为 Δx 的窄条，其面积等于 $y\times\Delta x$。

所求的自横座标 $x=0$ 至 $x=2h$ 的面积就是組成面积的所有此項窄条的面积总和。虽則可以 Δx 寬的窄条作为对象而考虑，但仍未計及窄条上端一小三角形的面积。但窄条寬度小到极限 dx，此項三角形亦将小到极限。于是可用定积分公式表示：

$$面积=\int_0^{2h} y\times dx=\int_0^{2h}(a_0+a_1x+a_2x^2)\,dx=\left[a_0x+\frac{a_1x^2}{2}+\frac{a_2x^3}{3}\right]_0^{2h}$$

$$=2a_0h+2a_1h^2+\frac{8}{3}a_2h^3 \tag{1}$$

现假設

$$面积=Ay_1+By_2+Cy_3 \tag{2}$$

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

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

$$x=2h,\quad y=y_3=a_0+2a_1h+4a_2h。$$

代入方程式（2），得

$$面积=Aa_0+B(a_0+a_1h+a_2h^2)+C(a_0+2a_1h+4a_2h^2)$$

$$=a_0(A+B+C)+a_1(Bh+2Ch)+a_2(Bh^2+4Ch^2) \tag{3}$$

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。

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

$$Bh+2Ch=2h^2,\ 或\ B+2C=2h;$$

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

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）

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

此即辛浦生第一法則的公式，又称辛浦生（1，4，1）法則。

辛浦生第一法則的正确性不仅限于二次拋物綫下之面积，施用于三次拋物綫下的面积亦然。

辛浦生第二法則用四条纵座标，以三次拋物綫方程式为基础，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則求面积的算术式：

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

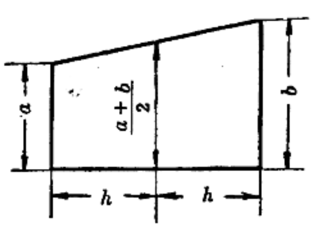

图 1-6

辛浦生第一法則亦可用于求直角三角形，长方形，梯形或簡单的曲綫 $y=x^2$ 包圍的任何图形的面积。

見图 1-6，設梯形两端纵座标值为 a 和 b，座标間距离为 h，中間纵座标值为 $\frac{a+b}{2}$，按几何方法計算梯形面积是 $\frac{a+b}{2}\times 2h=h(a+b)$。

用辛浦生第一法則得

$$面积=\frac{h}{3}\left(a+4\times\frac{a+b}{2}+b\right)=\frac{h}{3}\times\frac{6(a+b)}{2}$$

$$=h(a+b)，与上式无异。$$

假使 a 纵座标值縮小至零，图形成为一直角三角形，則面积按几何方法計算是 $\frac{0+b}{2}\times 2h=bh$。

用辛浦生第一法則計算得

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

又設 $a=b$（长方形），按几何方法計算是 $a\times 2h=2ah$。

用辛浦生第一法則計算得

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

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

見图 1-7，設有簡单的曲綫方程为

$$y=x^2,$$

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

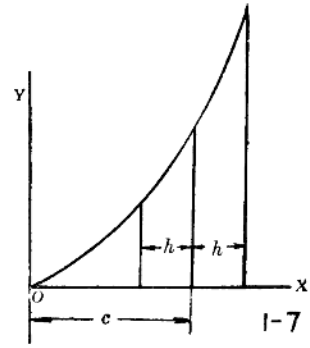

图 1-7

$$面积=\int_{c-h}^{c+h}x^2dx=\left[\frac{1}{3}x^3\right]_{c-h}^{c+h}$$

$$=\frac{1}{3}\left[(c+h)^3-(c-h)^3\right]$$

$$=\frac{1}{3}(6c^2h+2h^3)=\frac{2h(3c^2+h^2)}{3}。$$

用辛浦生（1，4，1）法則計得

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

$$=\frac{h}{3}(6c^2+2h^2)=\frac{2h(3c^2+h^2)}{3}。$$

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。先考慮以方程 $y=x^3$ 代表的曲綫，求自 $x=c-h$ 至 $x=c+h$ 之面积。

用积分法計算

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

用辛浦生法則，得

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

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

$y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3$，亦可适用。

特別法則

前所討論的方法是用三条以上纵座标値求面积，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。

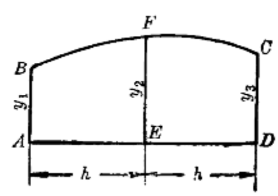

图 1-8

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

$$面积=\int_0^h ydx=\int_0^h(a_0+a_1x+a_2x^2)\,dx=\left[a_0x+\frac{a_1x^2}{2}+\frac{a_2x^3}{3}\right]_0^h$$

$$=a_0h+\frac{1}{2}a_1h^2+\frac{1}{3}a_2h^3 \qquad (4)$$

当 $x=0,\quad y=a_0;$

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

$x=2h,\quad y=a_0+2a_1h+4a_2h^2$。

假設面积$=Ay_1+By_2+Cy_3$。 (5)

$$\text{面积}=Aa_0+B(a_0+a_1h+a_2h^2)+C(a_0+2a_1h+4a_2h^2)$$

$$=a_0(A+B+C)+a_1(Bh+2Ch)+a_2(Bh^2+4Ch^2)。\qquad(6)$$

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）法則。5，8两数字用于所求面积的界綫座标，从起端起排列。

$$ABCD\ \text{面积}=ABFE\ \text{面积}+EFCD\ \text{面积}=\frac{h}{12}(5y_1+8y_2-y_3)+\frac{h}{12}(5y_3+8y_2-y_1)$$

$$=\frac{h}{3}(y_1+4y_2+y_3)。$$

由此可見用（5，8减1）法則分两段求得之面积与用辛浦生第一法則一次求得的面积是一样的。两法用数学証明都为正确。

（5，8减1）法則可以应用于长方形，直角三角形，梯形，这很容易用算术方法証明：

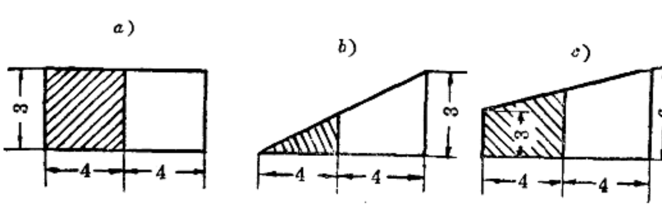

图 1-9

图1-9表示三种直綫形。有綫紋的部分用几何方法或用（5，8减1）法則求其面积所得結果是一样的。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）

$$A=3\times4=12;$$

$$A'=\frac{4}{12}(5\times3+8\times3-3)\ \frac{4}{12}\times12\times3=12。$$

（b）
$$A=\frac{3\times4}{2\times2}=3；$$

$$A'=\frac{4}{12}(5\times0+8\times1.5-3)=\frac{4}{12}\times9=3。$$

（c）
$$A=\frac{3+4.5}{2}\times4=15;$$

$$A'=\frac{4}{12}(5\times3+8\times4.5-6)=\frac{4}{12}\times45=15。$$

（5，8減1）法則旣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，前者是用于特別需要之处，以补辛浦生第一法則之不足。

除辛浦生法則外尙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。纵座标的数目与抛物綫次数相同。曲綫之方程式为

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

n 是一个正整数。切氏法則規定：凡在第 n 次抛物綫下之面积，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 为轴綫，ABC 为曲綫边，假定为二次抛物綫，$ABCED$ 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，$ABC$ 曲綫系三次抛物綫，$ABCED$ 为所求的面积。設 $2L$ 为基綫长度，起点 O 在基

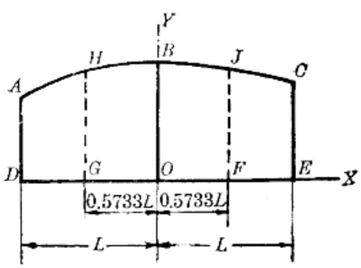

图1-10　用两纵座标

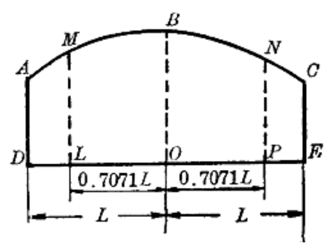

图1-11　用三纵座标

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	0.6010	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，兹举四条纵座标規定的面积为例如下：

見图 1-12，設 CD 曲綫为抛物綫的一部分其方程式为

$$y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4 \tag{7}$$

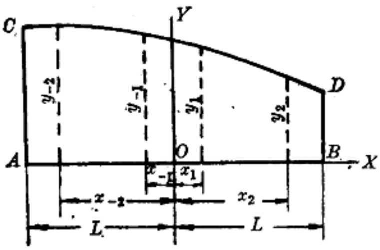

图 1-12

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抛物綫）。

設基綫长度为 $2L$，以基綫的中心为起点。于是所求的面积

$$\text{面积}=\int_{-l}^{+l} y\,dx$$

$$=\int_{-l}^{+l}(a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4)\,dx$$

$$=\left[a_0x+\frac{a_1x^2}{2}+\frac{a_2x^3}{3}+\frac{a_3x^4}{4}+\frac{a_4x^5}{5}\right]_{-l}^{+l}=2l\left(a_0+a_2\frac{l^2}{3}+a_4\frac{l^4}{5}\right) \tag{8}$$

設面积 $=C\times$ 四纵标之和

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

当

$$y=y_1,\quad x=x_1;$$
$$y=y_{-1},\quad x=x_{-1}=-x_1;$$
$$y=y_2,\quad x=x_2;$$
$$y=y_{-2},\quad x=x_{-2}=-x_2。$$

代入方程（7）

$$y_1=a_0+a_1x_1+a_2x_1^2+a_3x_1^3+a_4x_1^4;$$
$$y_{-1}=a_0-a_1x_1+a_2x_1^2-a_3x_1^3+a_4x_1^4;$$
$$y_2=a_0+a_1x_2+a_2x_2^2+a_3x_2^3+a_4x_2^4;$$
$$y_{-2}=a_0-a_1x_2+a_2x_2^2-a_3x_2^3+a_4x_2^4。$$

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

$$\text{面积}=C\{4a_0+2a_2(x_1^2+x_2^2)+2a_4(x_1^4+x_2^4)\}$$

$$=4C\left\{a_0+\frac{a_2}{2}(x_1^2+x_2^2)+\frac{a_4}{2}(x_1^4+x_2^4)\right\} \tag{10}$$

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

$$4C=2l,\qquad C=\frac{l}{2}。$$

$$\frac{1}{2}(x_1^2+x_2^2)=\frac{l^2}{3},\qquad x_1^2+x_2^2=\frac{2}{3}l^2;$$

$$\frac{1}{2}(x_1^4+x_2^4)=\frac{l^4}{5},\qquad x_1^4+x_2^4=\frac{2}{5}l^4。$$

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的力矩，即沿着船长前后方向的纵向力矩。

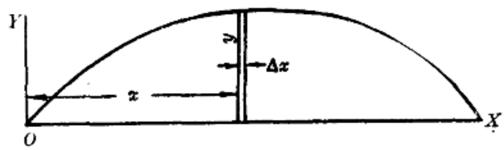

图 1-13

如图 1-13 所示，图中窄条面积的大小可用 $\int y dx$ 表示。該窄条面积对 OY 軸的纵向力矩可用 $\int xy dx$ 表示。第二力矩或慣性矩可用 $\int x^2 y dx$ 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1-14 a）代表某船的載重水綫面，为清晰起見，把寬度比例尺放大。边界曲綫表示水綫寬度 y 值的变化，水綫面的面积用 $\int y dx$ 表示。

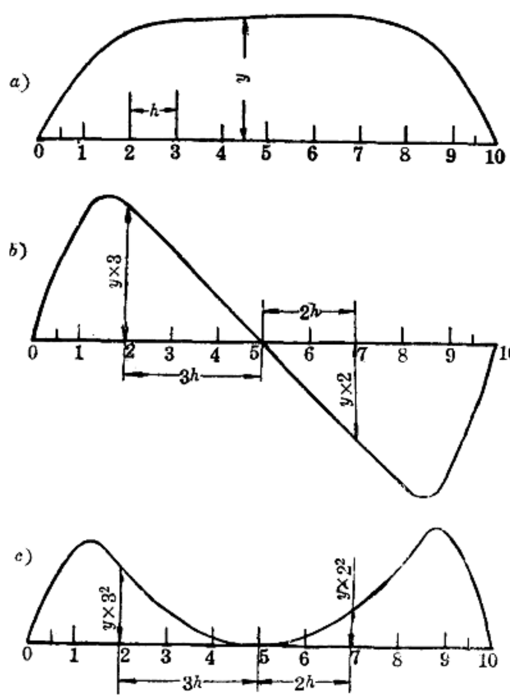

图 1-14

图 b）表示乘积 xy 的变化，該图每条纵座标代表图 a）相应纵座标和纵座标与所取的軸綫（船中部第 5 号纵座标）的距离 x 的乘积。图 a）所示面积对船中部軸綫的力矩总和系用积分式 $\int xy dx$ 表示；換言之，面积对船中部軸綫的力矩之和系以图 b）中正負两部分的总面积的代数和表示。图 c）表示 $x^2 y$ 的变化，該图每条纵座标代表与图 a）相应的纵座标和該座标至所需軸綫（亦以船中部纵座标作为軸綫）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 $\int x^2 y dx$ 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較为方便；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 $x^2 y$ 的实际数値也不用到。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塡入計算。例如图 b）第二号纵座标距离軸綫三个座标間距，故用 $y \times 3$ 塡入表中計算。但实际图 b）的纵座标（呎·呎）値必須用座标間距 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内計算；例如第二号纵座标距离軸綫三个座标間距故用 $y\times3^2$。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。因为求慣性矩时需要求面积和力矩，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，第一項系站号，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 項系水綫半寬呎数，就是图 a）曲綫的纵座标。第 3 項是辛浦生第一法则的乘数。第 4 項是（2），（3）两項相乘之积。第 4 項之总和为 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	$4\,1/2$	58.50	$4\,1/2$	263.25
1	15.1	$1\,1/2$	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	$1\,1/2$	36.60	4	146.40	4	585.60
$9\,1/2$	13.3	2	26.60	$4\,1/2$	119.70	$4\,1/4$	538.65
10	0	$1/2$	0	5	0	5	0
			1030.70		1105.70		5381.15
					888.55		
					217.15		
			S_A		S_M		S_I

由表 1-2 得

$$\text{水綫面积}=S_A\times\frac{2}{3}\times h=1030.7\times\frac{2}{3}\times60=41228\text{呎}^2;$$

$$\text{中心距离船中部}=\frac{S_M}{S_A}\times h=\frac{217.15\times60}{1030.7}=12.64\text{呎};$$