

中等专业学校教材

船舶原理

龔益華等編



國防工業出版社
國

中等专业学校教材

船舶原理

龔益華等編

杜惠文 趙福生 審



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书是根据船体制造专业“船舶原理”教学大纲所规定的內容編写的。全书共分十章，阐述了船舶静力学及船舶动力学两大部分。前者包括浮性、初稳性、大倾角稳性和抗沉性等；后者包括船的阻力、船舶推进、船舶操纵和船舶摇摆等。在静力学部分中，比較詳細地阐述了各项性能的基本概念及基本計算原理；在动力学部分中，則着重阐述基本概念及基本規律。此外，还集中地讲解了有关船体的近似計算方法，并对船体几何要素作了一般性的叙述。

本书的讀者对象主要是中等技术学校船体制造专业的学生。也可供一般造船厂的工人閱讀。

船 舶 原 理

龔 益 华 等 編

杜 惠 文 赵 福 生 审

*

国防工业出版社 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 5 1/8 116 千字

1965年9月第一版·1965年9月第一次印刷 印数：0,001—1,340册

統一书号：K15034·988 定价：(科四) 0.60 元

目 录

緒論	5
第一章 船体几何要素	7
第一节 綫型图	7
第二节 船舶主要尺度与船型系数	7
第二章 船体近似計算法	10
第一节 引言	10
第二节 船体近似計算法	10
第三节 水綫面面积、面积形心座标及惯性矩計算	12
第四节 設計水綫下船舶排水体积及其形心座标計算	15
第五节 积分曲綫的繪制	17
第三章 浮性	19
第一节 船舶的平衡条件与平衡方程式	19
第二节 船舶重量和重心座标的計算	19
第三节 排水体积曲綫	20
第四节 平均吃水的变化	21
第五节 浮心座标曲綫的計算	23
第六节 船舶纵傾水綫下排水体积及浮心纵座标的計算	24
第七节 儲备浮力	25
第四章 初稳性	26
第一节 稳性的一般概念	26
第二节 稳心及稳心半徑	27
第三节 初稳心公式	27
第四节 稳心半徑及稳心高度的計算	30
第五节 靜水船性曲綫	31
第六节 載荷移动及裝卸后船舶浮态和稳性的变化	32
第七节 液体載荷对船的初稳性的影响	35
第八节 傾斜試驗	36
第五章 大傾角稳性	38
第一节 基本原理	38
第二节 靜稳性曲綫图	40
第三节 稳性插值曲綫	42
第四节 动稳性	42
第五节 动稳性曲綫图	44
第六节 風压横傾力矩的計算	45
第六章 抗沉性	46
第一节 概述	46
第二节 船舶破損进水后的浮态及稳性計算	46
第三节 船艙可浸长度曲綫	48
第七章 船舶阻力	50

第一节	流体运动的一般概念、伯努利方程式	50
第二节	粘性流体运动的概念	52
第三节	船舶水阻力的組成部分	53
第四节	摩擦阻力	54
第五节	渦流阻力	55
第六节	兴波阻力	56
第七节	附屬体阻力	58
第八节	总阻力	58
第九节	船模試驗	59
第十节	船舶阻力与主机功率的关系	61
第八章	船舶推进	63
第一节	概述	63
第二节	螺旋桨的几何形状	64
第三节	螺旋桨的制图方法	66
第四节	螺旋桨的理論基础	69
第五节	螺旋桨与船体的相互作用	71
第六节	空泡現象	73
第九章	操纵性	75
第一节	基本定义	75
第二节	舵的作用原理	75
第三节	迴轉	77
第十章	船的搖摆	79
第一节	概述	79
第二节	船舶在靜水中的搖摆	79
第三节	船舶在波浪上的搖摆	80
第四节	减搖裝置	81

中等专业学校教材

船舶原理

龔益華等編

杜惠文 趙福生 審



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书是根据船体制造专业“船舶原理”教学大纲所规定的內容編写的。全书共分十章，阐述了船舶静力学及船舶动力学两大部分。前者包括浮性、初稳性、大倾角稳性和抗沉性等；后者包括船的阻力、船舶推进、船舶操纵和船舶摇摆等。在静力学部分中，比較詳細地阐述了各项性能的基本概念及基本計算原理；在动力学部分中，則着重阐述基本概念及基本規律。此外，还集中地讲解了有关船体的近似計算方法，并对船体几何要素作了一般性的敘述。

本书的讀者对象主要是中等技术学校船体制造专业的学生。也可供一般造船厂的工人閱讀。

船 舶 原 理

龔 益 华 等 編

杜 惠 文 赵 福 生 审

*

国防工业出版社 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 5 1/8 116 千字

1965年9月第一版·1965年9月第一次印刷 印数：0,001—1,340册

統一书号：K15034·988 定价：(科四) 0.60 元

目 录

緒論	5
第一章 船体几何要素	7
第一节 綫型图	7
第二节 船舶主要尺度与船型系数	7
第二章 船体近似計算法	10
第一节 引言	10
第二节 船体近似計算法	10
第三节 水綫面面积、面积形心座标及惯性矩計算	12
第四节 設計水綫下船舶排水体积及其形心座标計算	15
第五节 积分曲綫的繪制	17
第三章 浮性	19
第一节 船舶的平衡条件与平衡方程式	19
第二节 船舶重量和重心座标的計算	19
第三节 排水体积曲綫	20
第四节 平均吃水的变化	21
第五节 浮心座标曲綫的計算	23
第六节 船舶纵傾水綫下排水体积及浮心纵座标的計算	24
第七节 儲备浮力	25
第四章 初稳性	26
第一节 稳性的一般概念	26
第二节 稳心及稳心半徑	27
第三节 初稳心公式	27
第四节 稳心半徑及稳心高度的計算	30
第五节 靜水船性曲綫	31
第六节 載荷移动及裝卸后船舶浮态和稳性的变化	32
第七节 液体載荷对船的初稳性的影响	35
第八节 傾斜試驗	36
第五章 大傾角稳性	38
第一节 基本原理	38
第二节 靜稳性曲綫图	40
第三节 稳性插值曲綫	42
第四节 动稳性	42
第五节 动稳性曲綫图	44
第六节 風压横傾力矩的計算	45
第六章 抗沉性	46
第一节 概述	46
第二节 船舶破損进水后的浮态及稳性計算	46
第三节 船艙可浸长度曲綫	48
第七章 船舶阻力	50

第一节	流体运动的一般概念、伯努利方程式	50
第二节	粘性流体运动的概念	52
第三节	船舶水阻力的組成部分	53
第四节	摩擦阻力	54
第五节	渦流阻力	55
第六节	兴波阻力	56
第七节	附屬体阻力	58
第八节	总阻力	58
第九节	船模試驗	59
第十节	船舶阻力与主机功率的关系	61
第八章	船舶推进	63
第一节	概述	63
第二节	螺旋桨的几何形状	64
第三节	螺旋桨的制图方法	66
第四节	螺旋桨的理論基础	69
第五节	螺旋桨与船体的相互作用	71
第六节	空泡現象	73
第九章	操纵性	75
第一节	基本定义	75
第二节	舵的作用原理	75
第三节	迴轉	77
第十章	船的搖摆	79
第一节	概述	79
第二节	船舶在靜水中的搖摆	79
第三节	船舶在波浪上的搖摆	80
第四节	减搖裝置	81

緒 論

船舶原理是研究船舶航海性能——浮性、穩性、抗沉性、搖擺、快速性及操纵性的科学。它通常分为船舶靜力学和船舶动力学两大部分，属于前者的有浮性、穩性及抗沉性；属于后者的有快速性、搖擺和操纵性。

船舶原理的研究是根据船舶的主要尺度、基本数据和表示这些性能的各要素之間的函数关系，用数学分析法来进行的。但是，由于船舶原理研究的对象复杂，有不少的問題用数学分析法研究往往有困难，甚至无法进行。这时，就靠已有的基本理論的指导进行試驗，以求得所需的关系，并以此来檢驗和进一步充实理論。

由于对船舶理論的研究，所以在設計船舶时就可計算方法决定所有的基本尺寸及要素，以便保証所要求的质量。同样，在知道船舶的尺寸及各要素之后，也可用船舶原理的公式及結論来解决船舶日常运行中产生的实际問題。

在生产和使用船舶的过程中，劳动人民积累了丰富的經驗。二千多年前，人們就对船的浮性与穩性有了認識。随着輪船的发明，在上世紀末和本世紀初，就对船的抗沉性、搖擺、快速性和操纵性展开了一系列的研究。但是，由于研究現象的复杂性所引起数学上的困难，使得船舶动力学的研究还远不及靜力学的研究来得完备。

我国是历史悠久的文明古国，我們的祖先在造船事业上也作出了卓越的貢獻。早在东汉年代（公元 25~220 年），我国航海家的踪迹已远达印度和錫兰等地。唐代（公元 618~907 年）所造的海船长达 20 余丈，可載六七百人；宋代（10~13 世紀）所造的船已經載重 30 万斤，載人达一千之多。至于明代郑和七下西洋远达非洲的輝煌成就，更是人所共知的。作为推进工具的搖櫓为我国所专有。帆船防橫搖的披水板也是我国最先使用，以后才傳至欧洲。据記載，明輪船亦为我国所首創。我国的帆船經過长期航行經驗的积累，創造了适宜于各类地区航行的优良綫型。同时，船內有水密分艙，保証了船舶具有一定的抗沉性。由此可見，我們的祖先在造船技术上有卓越成就的。只是由于长期封建統治和近百年来帝国主义的侵略，使这些先进的經驗和成就失去記載和流傳。

1949 年中华人民共和国成立以后，我国造船事业得到了飞跃发展。1951 年建成了我国的第一个船模試驗池。1953 年开始的第一个五年計劃期間，造船产量成倍增长，所有的老船厂都进行了大規模的扩建和改建，船厂設計机构也由解放初期的一个产品設計小組发展成包括各个专业室的設計院。1958 年大跃进以来，我国自行設計制造了远洋貨輪、沿海客貨輪、貨輪、油輪、拖輪、漁船、捕鯨船、火車輪渡、电站船、挖泥船和破冰船等各种船舶。我国的船舶研究机构也大为发展，船模試驗池由一个发展为几个，并陸續建成了空泡試驗筒、露水水池和風筒等試驗設備，进行了沿海貨輪、油輪和客貨輪等的船型試驗研究工作以及万吨級远洋貨輪的航海性能試驗等一系列的研究工作。建国十五年来，我国造船事业正以前所未有的高速度向前发展。我国作为一个海岸綫长达一万一千余公里、沿海島嶼林立、內陆江河纵横的社会主义国家，还要进一步发展造船事业。为了保証船在海上航

行的安全，对船舶的稳性、抗沉性等要作进一步研究；为了使造出的船能多装快跑，对减少船在水中运动的阻力，提高推进器的效率等方面还需深入研究。总之，造船科学的许多领域中理论和实际之间还存在着一定的距离，这就要求我们作出巨大的努力。今天，我国的一个完整的造船工业和科学研究系统正在逐步形成，我们要在毛泽东思想的指导下，高举党的社会主义建设总路线的光辉旗帜，进一步开展阶级斗争、生产斗争、科学实验三大革命运动，从胜利走向胜利。

设置船舶原理这门课程的主要目的是使学生掌握浮性、稳性及抗沉性的基本概念，了解其基本计算原理；熟悉静水船性曲线中几条主要曲线的计算方法；了解船舶阻力及推进的基本概念、基本规律及简单计算知识；并对操纵及摇摆的一般概念有所了解。

第一章 船体几何要素

第一节 綫型图

船体外表面是一个复杂的具有双重曲率的面，一般无法用数学分析式来表达，而是采用繪制所謂綫型图（图1-1）来表示。用綫型图表示出来的是肋骨外緣所形成的面，也就是不包括船壳外板的面（木船除外）。

綫型图的表示方法，是由平行于三个互相垂直的投影面的許多剖面，与船体外表面的交綫繪在图紙上而組成的。这三个互相垂直的平面为：

1. 中央纵剖面，即纵向豎立的船舶对称平面；
2. 設計水綫面，是与正常載荷下船所漂浮的水平面相重合的面，它分船为水上和水下两部分；
3. 舢剖面，是通过船舶計算长度中央的横向豎立平面，在图上用符号 Δ 表示。

平行于中央纵剖面的一些平面与船体表面的交綫，称为纵剖綫，它在中央纵剖面上的投影为真实形状的曲綫，而在另两个面上的投影为直綫；平行于舢剖面的一些平面与船体表面的交綫称为横剖綫，它在舢剖面上的投影为真实形状，而在另两个面上的投影为直綫；平行于設計水綫面的一些平面与船体表面的交綫称为水綫，它在設計水綫面上的投影为真实形状，而在另两个面上的投影为直綫。

纵剖綫、横剖綫及水綫在中央纵剖面上的投影总和称为側面图；在舢剖面上的投影总和称为横剖面图；在設計水綫面上的投影总和称为半寬图。由于船舶的对称性，横剖面图和半寬图仅需繪出一半；而在横剖面图上，右边曲綫表示由船舢到船艏部分，左边曲綫则表示由船舢到船艉部分。

綫型图上除了繪出諸剖面外，同时还繪出上甲板与船舷的交綫，即上甲板边綫。

第二节 船舶主要尺度与船型系数

1. **主要尺度** 船舶的主要尺度包括船长、船寬、吃水与型深（图1-2）。船长 L_L 为艏艉垂綫間长度。許多船的 L_L 与其設計水綫間的长度 L_{WL} 相同。在船舶原理計算中，常采用这个船长。

船寬 B 为設計水綫面的最大寬度。

吃水 T 为舢剖面上基綫到設計水綫間的距离。如船有纵傾，則船艏和船艉的吃水不同，分別称为艏吃水 T_f 和艉吃水 T_w ，而在舢剖面处的吃水称为平均吃水。

型深 H 为舢剖面处沿垂綫自基綫量到甲板边綫間的距离。型深与吃水之差，称为干舷。

上述尺度的相互比值与船舶航海性能密切相关。几个主要的尺度比值为 $\frac{L}{B}$ 、 $\frac{L}{T}$ 、

$\frac{B}{H}$ 及 $\frac{H}{T}$ 等。

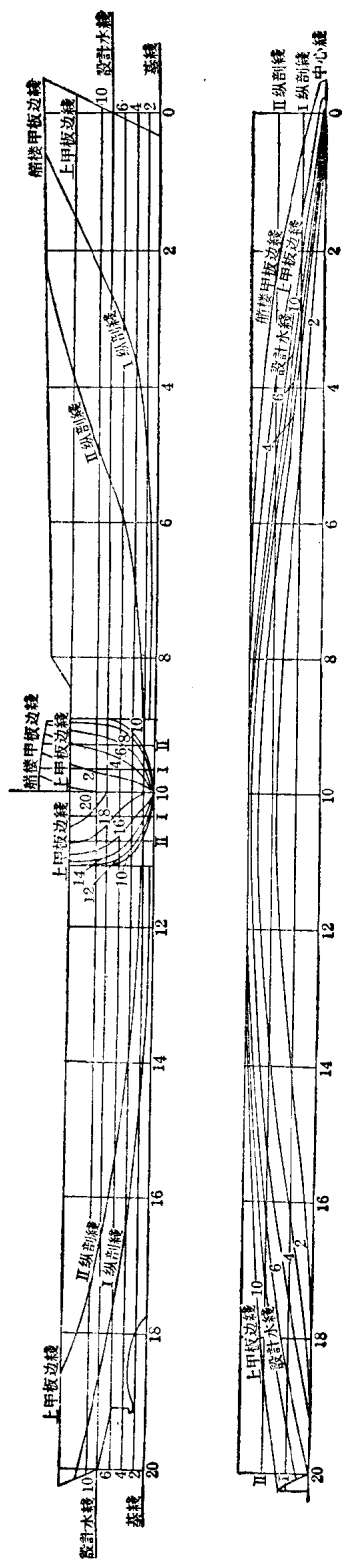


图 1-1



图 1-2

2. 船型系数 用以表示船体几何形状与肥瘦程度的无因次系数称为船型系数。

1) 水线面积系数 α : 为水线面积 S 与其外切长方形面积的比值:

$$\alpha = \frac{S}{LB}$$

它表征船的水线面的肥瘦程度(图1-3 a)。

2) 舭剖面系数 β : 为舭剖面入水面积 $\omega_{\text{舭}}$ 与其外切长方形面积的比值:

$$\beta = \frac{\omega_{\text{舭}}}{BT}$$

它表征船的舭剖面肥瘦程度(图1-3 b)。

3) 排水体积系数(或称方形系数)

δ : 为船的水下部分体积 V 与其外切立方形体积的比值:

$$\delta = \frac{V}{LBT}$$

它表征船的总的肥瘦程度(图1-3 c)。

图 1-3

4) 纵向棱形系数 φ : 为船的水下部分体积 V 与剖面面积为 $\omega_{\text{舭}}$ 、长为 L 的棱形体积的比值:

$$\varphi = \frac{V}{\omega_{\text{舭}}L}$$

或

$$\varphi = \frac{V}{\omega_{\text{舭}}L} = \frac{\delta LBT}{\beta BTL} = \frac{\delta}{\beta}$$

它表征船的排水体积沿船长的分布情况(图1-3 d)。

5) 竖向棱形系数 χ : 为船的水下部分的体积 V 与以水线面积 S 为底吃水 T 为高的棱形体积的比值:

$$\chi = \frac{V}{ST}$$

或

$$\chi = \frac{V}{ST} = \frac{\delta LBT}{\alpha LBT} = \frac{\delta}{\alpha}$$

它表征船的排水体积沿船体竖向的分布情况(图1-3 e)。

现将几种船舶的主要尺度比和船型系数的大致范围列于下表:

船舶类型	主要尺度比			船型系数		
	L/B	B/T	H/T	α	β	δ
远洋客船	8~10	2.4~2.8	1.6~1.8	0.75~0.82	0.95~0.96	0.57~0.71
远洋货船	6~8.0	2.0~2.4	1.1~1.5	0.80~0.85	0.95~0.98	0.70~0.78
渔船	5~6	2.0~2.4	1.1~1.3	0.76~0.81	0.77~0.83	0.50~0.62
巡洋舰	8~11	2.8~3.3	1.70~2.00	0.69~0.72	0.76~0.89	0.45~0.65
驱逐舰	9~12	2.8~4.5	1.70~2.00	0.70~0.78	0.76~0.86	0.40~0.54
炮艇	6.5~9.0	2.8~3.3	1.65~2.80	0.70~0.80	0.80~0.90	0.52~0.64

第二章 船体近似計算法

第一节 引言

对于每一船舶,必須根据其綫型图或型值表来計算每一横剖面及每一水綫面的面积,以及各該剖面的重心位置;同时,还必須計算每一水綫下的体积及其重心等。这些計算是船舶設計中最基本的一种工作。

大家知道,所有这些計算都要运用定积分,但船体表面是一个双重曲率的表面,无法用数学方程式来表示,因此就只能采用近似法則来計算这些定积分。这种計算方法应滿足:①能够根据綫型图上可以量得的数值或型值表中可以找到的数值来进行計算;②方法要簡便,适合实用;③要达到一定的准确性,通常船体計算的精确度为0.5%;④計算的方法,要能灵活运用于任何剖面之全部或一部,同时也可以运用于面积靜矩、慣性矩、体积和重心位置的計算等。

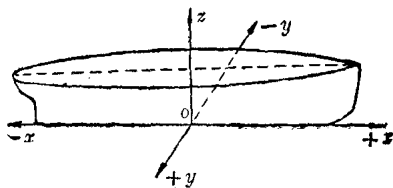


图 2-1

在船体計算时,所取的座标系統为:以中央纵剖面作为 xoz 平面,基面作为 xoy 平面,垂直于前两个平面而位于船中部的横向鉛垂平面作为 yoz 平面,如图 2-1 所示。对于座标軸的方向取 oz 向上为正, ox 軸向船艏为正,而 oy 軸則向右舷为正。

第二节 船体近似計算法

1. 梯形法 假使图 2-2 中 AB 曲綫是船体任何剖面曲綫的一部分, oA , bB 是其两端的纵座标。現在要計算 $ABbo$ 的面积。这块面积可用 $\int_0^b y dx$ 形式的积分来表示,式中被

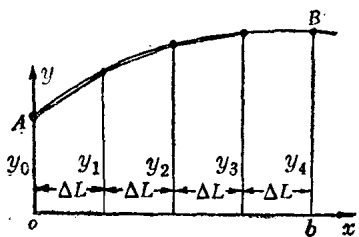


图 2-2

积函数 y 为曲綫 AB 所給定。

用梯形法計算 AB 曲綫所包含的面积时,可将基綫 ob 分割为四个等分,相邻等分的間距为 ΔL ,并繪出相应的纵座标 y_0 , y_1 , y_2 , y_3 及 y_4 ,如图 2-2 所示。通过纵座标与曲綫 AB 的各交点作弦,这些弦形成一条折綫来代替曲綫 AB 。如此,图形的面积就可以近似的确定为諸梯形面积的总和,即

$$\begin{aligned} A &= \int_0^b y dx = \Delta L \frac{y_0 + y_1}{2} + \Delta L \frac{y_1 + y_2}{2} + \Delta L \frac{y_2 + y_3}{2} + \Delta L \frac{y_3 + y_4}{2} \\ &= \Delta L \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right) \end{aligned}$$

如果要計算的面积包含 n 个纵座标、間距为 ΔL 时,則面积 A 可用下式計算:

● 本課程內有关近似計算方程式的近似等于符号 $\approx$ 一律直接写作 $=$ 。

$$A = \Delta L \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \cdots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right)$$

为了便于用表格形式来进行计算, 在式中加上再减去两端纵坐标之和的一半, 则上式变为

$$A = \int_0^b y dx = \Delta L \left(y_0 + y_1 + y_2 + \cdots + y_{n-1} + y_n - \frac{y_0 + y_n}{2} \right)$$

括弧内 $\frac{y_0 + y_n}{2}$ 一项称为校正值, 上式可简写为

$$A = \int_0^b y dx = \Delta L \Sigma y,$$

式中 Σy ——各纵坐标之总和减去校正值 $\frac{1}{2}(y_0 + y_n)$ 后之总和。

计算可按表 2-1 格式进行。

2. 乞氏法 乞伯雪夫法的实质是用高次抛物线来代替曲线, 并按特定的规则来设置纵坐标(图 2-3)。坐标的原点设在底线中央, 纵坐标则按中线对称地设置。任意纵坐标 y_i 的

表 2-1

纵坐标编号	纵坐标
0	y_0
1	y_1
2	y_2
...	...
n	y_n
总 和	Σ
校 正 值	$\frac{1}{2}(y_0 + y_n)$
校正后总和	Σy
面 积	$A = \Delta L \Sigma y$

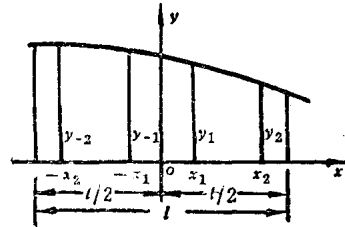


图 2-3

表 2-2

n	k_i
7	$\pm 0.844; \pm 0.530; \pm 0.324; 0$
9	$\pm 0.912; \pm 0.601; \pm 0.529; \pm 0.168; 0$
10	$\pm 0.916; \pm 0.687; \pm 0.500; \pm 0.313; \pm 0.084$
12	$\pm 0.933; \pm 0.711; \pm 0.633; \pm 0.367; \pm 0.289; \pm 0.067$

位置由下式所得的对应横坐标 x_i 来决定:

$$x_i = k_i \frac{l}{2},$$

式中 k_i ——系数, 其值随纵坐标数 n 而定(见表 2-2);

l ——底线长度。

应当特别注意, 两端的纵坐标是不包括在计算之列的。

在用乞氏法求曲线下面积时, 可由 x_i 位置处量取各垂线长度 y_i , 将它们相加, 再乘以适当系数, 即得所求面积。乞氏法的一般公式:

$$A = \frac{l}{n} \Sigma y,$$

式中 l ——总长;

n ——纵坐标数;

Σy ——各纵坐标的总和。

上面已經介紹了梯形法和乞氏法的計算方法，下面就簡單的來說一下兩者的特點。

梯形法的精確度較乞氏法差，且要用大量的縱座標。然而，梯形法的計算簡便，可用來方便地進行變上限積分（這在以後要講到），並能利用型值表中現成的縱座標數值。因此，在船體計算中，此法應用最為廣泛。本課程以後的講述，也以梯形法為主。

乞氏法能以少量的縱座標來得到更為精確的結果，但需要特別地放置這些縱座標，且不能用作變上限積分的計算。因此，應用受到限制，一般僅在大傾角穩性計算中採用。

第三節 水綫面面積、面積形心座標及慣性矩計算

上面給出的計算公式，都是從求圖形面積推導出來的，實際上求任何定積分值都可應用這些公式。

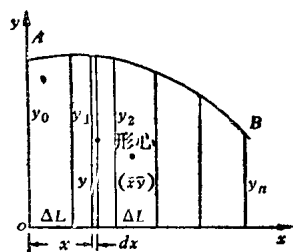


圖 2-4

設由 AB 曲綫圍成的圖形為水綫面的一部分（圖 2-4），其形心座標為 $\bar{x}$, $\bar{y}$ 。根據理論力學原理可知整個圖形面積的靜矩等於組成該面積之各小面積靜矩之和。即

$$M_y = A\bar{x}; \quad M_x = A\bar{y}$$

$$\text{或} \quad \bar{x} = \frac{M_y}{A}; \quad \bar{y} = \frac{M_x}{A}.$$

式中 M_y, M_x ——圖形面積對座標 oy 軸及 ox 軸的靜矩；

A ——圖形面積，可用梯形法求出，即用公式

$$A = \int_0^b y dx = \Delta L \sum y_i.$$

M_y 及 M_x 的求法如下：

取底為 dx 、高為 y 的微條面積（圖 2-4），則此微條面積對 oy 軸的靜矩 dM_y 為

$$dM_y = y dx \cdot x = xy dx,$$

將此式沿 o 到 b 積分，則得整塊面積對 oy 軸的靜矩為

$$M_y = \int_0^b dM_y = \int_0^b xy dx.$$

用求面積的同樣方法，可以得到梯形法表达式。

$$\text{因為} \quad A = \int_0^b y dx = \Delta L \left(y_0 + y_1 + \dots + y_n - \frac{y_0 + y_n}{2} \right),$$

$$\text{所以} \quad M_y = \int_0^b xy dx = \Delta L \left(x_0 y_0 + x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n - \frac{x_0 y_0 + x_n y_n}{2} \right),$$

式中 ΔL ——座標等分間距。

從圖中可以看到，座標 x 與 y 的對應關係為

$$\begin{aligned} \text{當 } y \text{ 為 } y_0 \text{ 時,} & \quad x_0 = 0 \cdot \Delta L; \\ \text{當 } y \text{ 為 } y_1 \text{ 時,} & \quad x_1 = 1 \cdot \Delta L; \\ \text{當 } y \text{ 為 } y_2 \text{ 時,} & \quad x_2 = 2 \cdot \Delta L; \\ & \quad \vdots \\ \text{當 } y \text{ 為 } y_n \text{ 時,} & \quad x_n = n \cdot \Delta L. \end{aligned}$$