





高等职业教育规划教材

交通职业教育教学指导委员会推荐教材  
高等职业院校船舶技术专业教学用书

# 船 舶 原 理

船舶工程技术专业

● 潘晓明 主编 ● 彭 辉 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是高等职业教育船舶技术类船舶工程专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一,按照《船舶原理》教学大纲的要求编写的。

本书共分十章,主要内容包括:绪论、船体几何要素及近似计算、浮性、初稳性、大倾角稳性、抗沉性、流体力学基础、船舶阻力、船舶推进、操纵性和耐波性方面的知识。

本书是针对三年制高等职业教育编写的,二年制的也可参考使用。同时,本书还适用于船厂职工的自学以及其他形式的职业教育。

### 图书在版编目 ( C I P ) 数据

船舶原理/潘晓明主编. —北京:人民交通出版社,  
2007.1

ISBN 978-7-114-06375-6

I. 船... II. 潘... III. 船舶原理 IV. U661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 002947 号

书 名: 船舶原理

著 者: 潘晓明

责任编辑: 赵履榕

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.5

字 数: 458 千

版 次: 2007年2月第1版

印 次: 2007年2月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06375-6

印 数: 0001—2000 册

定 价: 33.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



为深入贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》，积极推进课程改革的教材建设，为职业教育教学和培训提供更加丰富、多样和实用的教材，更好地满足我国造船工业快速发展的需要，交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会委托交通职业教育研究会船舶技术专业委员会，联合组织全国开办有船舶技术类专业的职业院校及其骨干教师，编写了高等职业教育船舶工程专业、轮机工程技术（船舶动力机械与装置方向）专业和电气自动化技术（船舶电气方向）专业交通职业教育教学指导委员会规划教材。

本系列教材注重以就业为导向，以能力为本位，面向市场，面向社会，体现了职业教育的特色，满足了高素质的实用型、技能型船舶技术专业高等职业人才培养的需要。本系列教材在组织编写过程中，形成了如下特色：

1. 认真总结了全国开办有船舶技术类专业的职业院校多年来的专业教学经验，并吸收了部分企业专家的意见，代表性强，适用性广；
2. 以职业岗位的需求为出发点，适当精简了教学内容，减少了理论描述，具有较强的针对性；
3. 教材编写时在每章前列出了知识目标和能力目标等学习目标要求，每章结尾处编制了大量思考与练习题，便于组织教学和学生学。

本系列教材是针对三年制高等职业教育编写的，二年制的也可参考使用。同时，本系列教材还适用于船员的考证培训和船厂职工的自学以及其他形式的职业教育。

《船舶原理》是高等职业教育船舶技术类船舶工程专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一，按照《船舶原理》教学大纲的要求而编写的，着重介绍和分析了船舶航行性能中有关问题的基本原理和解决方法。

参加本书编写工作的有：主编江苏海事职业技术学院潘晓明（编写第一至三章），参编武汉交通职业学院徐得志（编写第四、五、七章）、江苏海事职业技术学院胡杰（编写第六章），重庆交通大学应用技术学院雷林（编写第八章）、重庆交通大学应用技术学院谢世平（编写第九章）、重庆交通大学应用技术学院唐义虎（编写第十章）。

本书由渤海船舶职业学院彭辉担任主审，武汉航海职业技术学院吴邦文参审。在此表示感谢！

限于编者经历和水平，教材内容难以覆盖全国各地的实际情况，希望各教学单位在积极选用和推广本系列教材的同时，注重总结经验，及时提出修改意见和建议，以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会  
二〇〇六年三月



绪论	1
第一章 船体几何要素及近似计算	2
第一节 主尺度、船型系数和尺度比	2
第二节 船体近似算法	5
思考与练习	12
第二章 浮性	15
第一节 浮性概述	15
第二节 船舶重量和重心位置的计算	18
第三节 排水量和浮心位置的计算	19
第四节 船舶在纵倾状态下排水体积和浮心位置的计算	27
第五节 储备浮力及载重线标志	29
思考与练习	30
第三章 初稳性	33
第一节 概述	33
第二节 浮心的移动和稳心及稳心半径	34
第三节 初稳性公式和稳性高	39
第四节 船舶静水力曲线图	41
第五节 重量移动对船舶浮态及初稳性的影响	43
第六节 装卸载荷对船舶浮态及初稳性的影响	47
第七节 自由液面对船舶初稳性的影响	52
第八节 悬挂重量对船舶初稳性的影响	54
第九节 船舶在各种装载情况下浮态及初稳性的计算	54
第十节 船舶倾斜试验	57
思考与练习	63
第四章 大倾角稳性	66
第一节 概述	66
第二节 静稳性曲线的计算	67
第三节 稳性横截曲线	71
第四节 上层建筑及自由液面对静稳性曲线的影响	74
第五节 静稳性曲线的特征	79
第六节 动稳性	81

第七节 稳性衡准 .....	87
第八节 稳性的影响因素和改善稳性的措施 .....	91
思考与练习 .....	94
<b>第五章 抗沉性</b> .....	<b>96</b>
第一节 进水舱的分类及渗透率 .....	96
第二节 舱室进水后船舶浮态及稳性的计算 .....	97
第三节 可浸长度的计算 .....	104
第四节 分舱因素及许用舱长 .....	110
思考与练习 .....	111
<b>第六章 流体力学基础</b> .....	<b>113</b>
第一节 流体的主要物理性质 .....	113
第二节 流体静力学基本方程 .....	117
第三节 流体运动学基础 .....	119
第四节 流体动力学基础 .....	122
思考与练习 .....	128
<b>第七章 船舶阻力</b> .....	<b>130</b>
第一节 船舶阻力的分类及成因 .....	130
第二节 估算阻力的近似方法 .....	136
第三节 船舶阻力相似理论和阻力换算 .....	144
第四节 船舶摩擦阻力的计算 .....	149
思考与练习 .....	152
<b>第八章 船舶推进</b> .....	<b>154</b>
第一节 概述 .....	154
第二节 螺旋桨几何特征 .....	155
第三节 螺旋桨的理论基础 .....	160
第四节 螺旋桨的工作原理 .....	166
第五节 螺旋桨模型的敞水试验 .....	172
第六节 螺旋桨与船体相互影响 .....	175
第七节 螺旋桨设计方法及 $B_p - \delta$ 型图谱的应用 .....	182
第八节 螺旋桨的空泡现象和强度校核 .....	191
第九节 拖船的拖力曲线及自由航速的估算 .....	210
第十节 设计螺旋桨时应考虑的若干因素 .....	214
第十一节 图谱设计螺旋桨实例 .....	217
第十二节 螺旋桨总图的绘制 .....	226
思考与练习 .....	235
<b>第九章 操纵性</b> .....	<b>238</b>
第一节 船舶回转运动 .....	238
第二节 舵力 .....	245
第三节 舵的设计 .....	249
第四节 影响船舶操纵性的因素 .....	263

思考与练习	266
<b>第十章 耐波性</b>	267
第一节 概述	267
第二节 船舶横摇	270
第三节 纵摇与升沉运动	278
思考与练习	279
<b>附录 螺旋桨设计图谱</b>	280
<b>参考文献</b>	286





## 绪 论

船舶原理是研究船舶航行性能的一门科学,其中包括:

(1) 浮性——船舶在一定装载情况下浮于一定水平位置的能力。

(2) 稳性——在外力作用下船舶发生倾斜而不致倾覆,当外力的作用消失后仍能回复到原来平衡位置的能力。

(3) 抗沉性——当船体破损,海水进入舱室时,船舶仍能保持一定的浮性和稳性而不致沉没或倾覆的能力,即船舶在破损以后的浮性和稳性。

(4) 快速性——船舶在主机额定功率下,以一定速度航行的能力。通常包括船舶阻力和船舶推进两大部分,前者研究船舶航行时所遭受的阻力,后者研究克服阻力的推进器及其与船体和主机之间的相互协调一致。

(5) 耐波性(或称适航性)——船舶在风浪海况下航行时的运动性能。主要研究船舶的横摇、纵摇及升沉(垂荡)等,习惯上统称为摇摆运动。

(6) 操纵性——船舶在航行中按照驾驶者的意图保持既定航向的能力(即航向稳定性)或改变航行方向的能力(即回转性)。因此,船舶操纵性包括航向稳定性和回转性两部分内容。

船舶原理通常分为船舶静力学和船舶动力学两大部分。前者以流体静力学为基础,研究船舶的浮性、稳性及抗沉性等,后者以流体动力学为基础,研究船舶的阻力、推进、摇摆及操纵等。

船舶设计建造部门总希望所设计建造的船舶具有优良的航行性能,用船部门(航运公司、海军等)理所当然要求所属的各类船舶都具有优良的航行性能。概括说来,所谓优良的航行性能大体包括:船舶是否具有合理的浮态和足够的稳性,是否属低阻力的优良船型,推进器的效率是否最佳,推进器与船体及主机是否匹配,是否具有良好的航向稳定性和回转性,在风浪中航行时是否会产生剧烈的摇摆运动以及砰击、甲板上浪及失速等。但在实际造船工作中,判断船舶是否具有优良的航行性能是有一定衡量指标的,有些指标因考虑到航海安全而由船级社乃至国际组织规定必须满足的硬指标,有些指标则是与长期积累的优秀船型资料相比较而判定的。所有这些指标都和船舶的主要尺度、船体形状、装载情况等密切相关。因此,船舶原理中所讨论的众多问题,都是船舶设计、建造和营运乃至新型船舶的研究开发需要用到的专门基础知识。







# 第一章 船体几何要素及近似计算

## ● 学习目标

### 知识目标

1. 掌握船体主尺度、船型系数等船形参数的定义及几何意义；
2. 理解船体近似计算法的基本原理；
3. 掌握梯形法、辛氏法的计算公式；
4. 掌握运用梯形法进行船体水线面和横剖面计算的数值积分公式及计算表格；
5. 掌握曲线端点修正方法。

### 能力目标

1. 能够根据相关数据计算船型系数；
2. 能运用梯形法、辛氏法进行积分的近似计算；
3. 能运用梯形法进行船体水线面和横剖面计算。

船体形状对于船舶的性能(特别是航行性能)有很大的影响。船体形状一般是以形状要素和图形表示。船体外形的图形表示方法(型线图)在《船体制图》中已做介绍,本章主要讨论表示船体形状的主要要素的定义。

由于船体形状通常为双向曲面,难以直接用数学解析式表达和计算,因此本章还将讨论船体计算中常用的近似计算方法。

## 第一节 主尺度、船型系数和尺度比

船体主尺度、船型系数和尺度比,是表示船体大小、形状、肥瘦程度的几何参数,这些参数对于船舶设计、建造、使用和分析航行性能十分有用。

### 一、船体主尺度

船舶的大小可由船长、型宽、型深和吃水等主尺度来度量,这些特征尺度的定义如图 1-1 所示,即:

(1) 船长( $L$ )——通常选用的船长有 3 种,即总长、垂线间长和设计水线长。

总长( $L_{OA}$ ):自船首最前端至船尾最后端的水平距离。

垂线间长( $L_{PP}$ ):首垂线  $FP$  与尾垂线  $AP$  之间的水平距离。首垂线是通过设计水线与首柱前缘的交点所作的垂线(垂直于设计水线面);尾垂线一般在舵柱的后缘,如无舵柱,则取在舵杆的中心线上。一般情况下,如无特别说明,习惯上所說的船长常指垂线间长。

设计水线长( $L_{WL}$ ):设计水线在首柱前缘和尾柱后缘之间的水平距离。

在船舶静水力性能计算中一般采用垂线间长  $L_{PP}$ ,在分析阻力性能时,常用设计水线长



$L_{wl}$ ,而在船进坞、靠码头或通过船闸时应注意它的总长  $L_{OA}$ 。

(2)型宽( $B$ )——指船体两侧型表面(不包括船体外板厚度)之间垂直于中线面的水平距离,一般指中横剖面设计水线处的宽度。最大船宽是指包括外板和伸出两舷的永久性固定突出物如护舷材、舷伸甲板等在内,并垂直于中线面的最大水平距离。

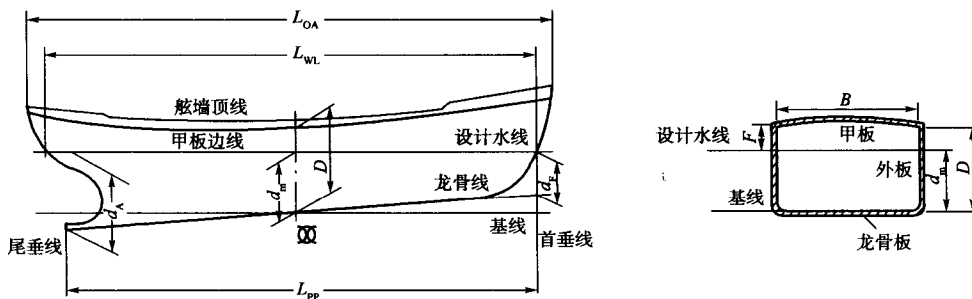


图 1-1 特征尺度定义

(3)型深( $D$ )——在上甲板边线最低点处,自龙骨板上表面(即基线)至上甲板边线的垂直距离。通常,甲板边线的最低点在中横剖面处。

(4)吃水( $d$ )——基线至设计水线的垂直距离。有些船,设计的首尾正常吃水不同,则有首吃水、尾吃水及平均吃水,当不指明时,是指平均吃水,即

$$d = \frac{d_F - d_A}{2}$$

式中: $d$ ——平均吃水,也就是中横剖面处的吃水  $d_m$ ;

$d_F$ ——首吃水,沿首垂线自设计水线至龙骨线的延长线之间的距离;

$d_A$ ——尾吃水,沿尾垂线自设计水线至龙骨线的延长线之间的距离。

(5)干舷( $F$ )——在船侧中横剖面处自设计水线至上甲板边板上表面的垂直距离。因此,干舷  $F$  等于型深  $D$  与吃水  $d$  之差再加上甲板及其敷料的厚度。

## 二、船形系数

船形系数是表示船体水下部分面积或体积肥瘦程度的无因次系数,这些系数对分析船型和船舶性能等有很大的用处。

(1)水线面系数( $C_{wp}$ )——与基平面相平行的任一水线面的面积  $A_w$  与由船长  $L$ 、型宽  $B$  所构成的矩形面积之比(图 1-2a),即  $C_{wp} = \frac{A_w}{LB}$ ,它的大小表示水线面的肥瘦程度。通常情况下  $C_{wp}$  指设计水线面系数。

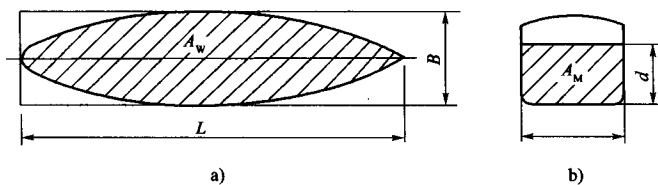


图 1-2 水线面系数和中横剖面系数



(2) 中横剖面系数 ( $C_M$ )——中横剖面在水线以下的面积  $A_M$  与由型宽  $B$ 、吃水  $d$  所构成的矩形面积之比 (图 1-2b), 即  $C_M = \frac{A_M}{Bd}$ , 它的大小表示水线以下的中横剖面的肥瘦程度。

(3) 方形系数 ( $C_B$ )——船体水线以下的型排水体积  $\nabla$  与由船长  $L$ 、型宽  $B$ 、吃水  $d$  所构成的长方体体积之比 (图 1-3), 即  $C_B = \frac{\nabla}{LBd}$ , 它的大小表示船体水下体积的肥瘦程度。

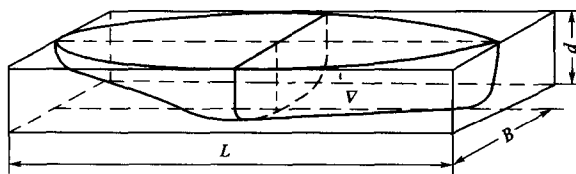


图 1-3 方形系数

(4) 棱形系数 ( $C_P$ )——船体水线以下的型排水体积  $\nabla$  与由相对应的中横剖面面积  $A_M$ 、船长  $L$  所构成的棱柱体体积之比 (图 1-4), 即  $C_P = \frac{\nabla}{A_M L} = \frac{\nabla}{C_M B d L} = \frac{C_B}{C_M}$ , 它的大小表示排水体积沿船长方向的分布情况。  $C_P$  又称纵向棱形系数。

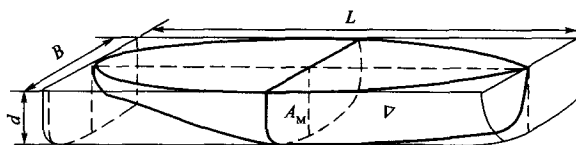


图 1-4 棱形系数

(5) 垂向棱形系数 ( $C_{VP}$ )——船体水线以下的型排水体积  $\nabla$  与由相对应的水线面面积  $A_w$ 、吃水  $d$  所构成的棱柱体体积之比 (图 1-5), 即  $C_{VP} = \frac{\nabla}{A_w d} = \frac{\nabla}{C_{WP} L B d} = \frac{C_B}{C_{WP}}$ , 它的大小表示排水体积沿吃水方向的分布情况。

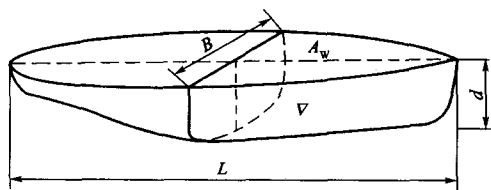


图 1-5 垂向棱形系数

上述各系数的定义, 如无特别指明, 通常都是指设计水线处而言。在计算不同水线处的各系数时, 其船长和船宽常用垂线间长 (或设计水线长) 和设计水线宽, 如最大横剖面不在船中处, 则应取最大横剖面处的有关数据。吃水则取所计算水线处的吃水值。

### 三、尺度比

除上述船型系数外, 还经常采用尺度比来反映主尺度之间的关系, 并利用这些比值来预估



船体各项性能之差异。与船舶航行性能有密切关系的主要尺度比值是：

- (1) 长宽比  $L/B$ ：与船的快速性有关。该比值越大，船越细长，在水中航行时所受的阻力越小，特别是高速航行时。
- (2) 船宽吃水比  $B/d$ ：与船的稳性、快速性和航向稳定性有关。
- (3) 型深吃水比  $D/d$ ：与船的稳性、抗沉性、船体的坚固性及船体的容积密切相关。
- (4) 船长吃水比  $L/d$ ：与船的回转性有关，比值越小，船越短小，回转越灵活。

## 第二节 船体近似算法

在船舶性能计算中，经常需要计算各种封闭曲线的面积和几何要素，如横剖面及水线面的面积及形心、水线面面积曲线的面积及形心（即排水体积及浮心）和水线面面积的惯性矩等。这些计算统称为船体计算，是船舶设计中的基础工作之一。按理这些计算都可以用定积分直接计算，但由于船体型线通常不能用解析式表达，因此一般都是根据型线图（或型值表）用数值积分方法来进行近似计算。在船体计算中，最常用的数值积分法有辛氏法、梯形法、乞贝雪夫法和样条曲线积分等。本节主要讨论前两种数值积分法的基本原理以及船体计算中常用的具体方法。

### 一、梯形法

设某一计算曲线  $DB$ （图 1-6），曲线  $DB$  下所围面积  $A$ ，其定积分式为：

$$A = \int_0^b y dx$$

式中：被积函数  $y=f(x)$ 。

利用梯形法求曲线  $DB$  下所围的面积，就是将曲线  $DB$  分为若干等分（图 1-6 分为三等分，横向坐标间距均为  $l$ ），用直线  $DE$ 、 $EF$  和  $FB$  近似地表示曲线  $DB$ ，而折线  $DEFB$  下所围的面积，则是曲线  $DB$  下所围面积的近似值。图中每一梯形的面积为  $\frac{l}{2}$

$(y_0 + y_1)$ 、 $\frac{l}{2}(y_1 + y_2)$ 、 $\frac{l}{2}(y_2 + y_3)$ ，故曲线  $DB$  下所围面积为

$$A = \int_0^b y dx \approx l \left( \sum_{i=0}^3 y_i - \frac{y_0 + y_3}{2} \right)$$

若分为  $n$  等分，则有

$$A \approx l \left( \sum_{i=0}^n y_i - \frac{y_0 + y_n}{2} \right) \quad (1-1)$$

式中： $\sum_{i=0}^n y_i$  ——累加和；

$\frac{y_0 + y_n}{2}$  ——首尾修正项。

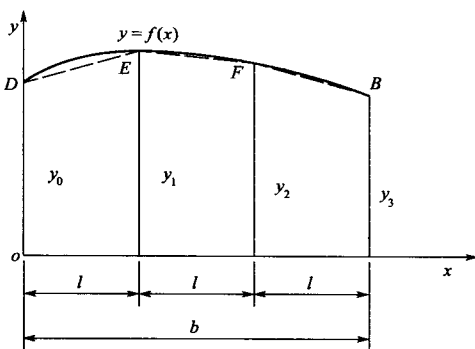


图 1-6 梯形法



式(1-1)是梯形法的通式。整理成式(1-1)的形式,其目的在于多横向坐标时运算简便。式中横向坐标  $y_i$  在实用上可表示为直线量度、面积、面矩及其他物理量等。运算简便为梯形法的突出特点,故在船舶性能计算(手算)中得到广泛的应用。

## 二、辛氏法

梯形法系假设计算曲线为折线。若假设设计曲线为抛物线,则称为抛物线法。利用抛物线导出计算曲线下所围面积的公式较多,常用的有辛氏法。

### 1. 辛氏第一法

若曲线  $DB$  为二次抛物线(图 1-7),即被积函数为  $y = ax^2 + bx + c$ ,则曲线  $DB$  下所围面积  $A$ ,用定积分求得如下

$$A = \int_{-l}^l (ax^2 + bx + c) dx = \frac{2}{3}al^3 + 2cl \quad (1-2)$$

利用待定系数法,令二次抛物线  $DB$  在三垂线处交点的横向坐标为:  $y_1$ 、 $y_2$  和  $y_3$ ,并设曲线  $DB$  下所围面积为

$$A = K_1y_1 + K_2y_2 + K_3y_3$$

因为

$$\begin{cases} x_1 = -l \\ x_2 = 0 \\ x_3 = l \end{cases}$$

所以对应

$$\begin{cases} y_1 = al^2 - bl + c \\ y_2 = c \\ y_3 = al^2 + bl + c \end{cases}$$

代入上式则有

$$\begin{aligned} A &= K_1(al^2 - bl + c) + K_2c + K_3(al^2 + bl + c) \\ &= al^2(K_1 + K_3) + bl(K_3 - K_1) + c(K_1 + K_2 + K_3) \end{aligned} \quad (1-3)$$

因为式(1-2)与式(1-3)恒等,所以含  $a$ 、 $b$  和  $c$  的各项应分别相等,为此有

$$\begin{cases} K_1 + K_3 = l \\ K_3 - K_1 = 0 \\ K_1 + K_2 + K_3 = 2l \end{cases}$$

解上述联立方程,得  $K_1 = \frac{1}{3}l$ ,  $K_2 = \frac{4}{3}l$ ,  $K_3 = \frac{1}{3}l$ ,故

$$A = \frac{1}{3}ly_1 + \frac{4}{3}ly_2 + \frac{1}{3}ly_3 = \frac{1}{3}l(y_1 + 4y_2 + y_3) \quad (1-4)$$

式(1-4)称为辛氏第一法。横向坐标前的 1、4、1 称为辛氏乘数。显然,计算曲线  $DB$  为二次抛物线时,则利用辛氏第一法求出的面积为  $DB$  曲线下所围面积的精确值,不然则为近似值。辛氏第一法适用于求具有三个等间距横向坐标曲线下所围的面积。

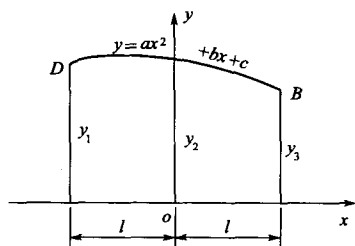


图 1-7 辛氏第一法



## 2. 辛氏第二法

若曲线  $DB$  为三次抛物线(图 1-8),即被积函数为

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

则该曲线  $DB$  下所围面积  $A$  可证明为

$$A = \frac{3l}{8}(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + y_4) \quad (1-5)$$

式(1-5)称为辛第二法。此法适用于求具有等间距的四个横向坐标曲线下所围之面积。

若计算曲线是二次或三次抛物线时,则用辛氏第一或第二法求出的面积,即为计算曲线下所围面积的精确值,否则就为其近似值。与梯形法相比,辛氏法的计算较为繁琐,但在相同的等分间距下,它的精确度较高,所以在船体计算中也被广泛采用。

梯形法和辛氏法是船体计算中常采用的方法,而乞贝雪夫法通常只用于大倾角稳性计算,故在第四章中再行讨论。

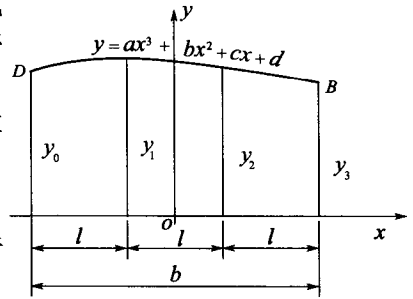


图 1-8 辛氏第二法

## 三、数值积分法在船体计算中的应用

## 1. 水线面计算

水线面计算通常包括面积  $A_w$ , 漂心纵向坐标  $x_F$  及水线面系数  $C_{wp}$  三项。

在造船中水线面面积  $A_w$  的形心称为漂心。由于水线面是左右对称的,其面积形心总是在中纵剖面上,因此只需计算其纵向位置  $x_F$ 。

由图 1-9 可知,微面积  $dA_w = 2ydx$ , 整个水线面面积为

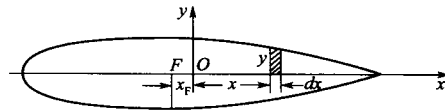


图 1-9 水线面

$$A_w = 2 \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} y dx \quad (1-6)$$

式中:  $y$ ——离  $Oy$  轴  $x$  处的水线面半宽;

$L$ ——水线长,在计算中一般取垂线间长。

由图 1-9 可知,水线面面积  $A_w$  对  $Oy$  轴的静矩为

$$M_{Oy} = 2 \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} xy dx \quad (1-7)$$

所以

$$x_F = \frac{M_{Oy}}{A_w} = \frac{\int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} xy dx}{\int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} y dx} \quad (1-8)$$

图 1-10 表示船舶在某一吃水时的水线面,由于水线面对称于中纵剖面,所以通常只给出水线面的一半,习惯上把  $Oy$  轴放在左舷。在进行计算时,一般将船长  $L$  分成 20 等分,即取 21 个站,间距  $\delta L = \frac{L}{20}$ ,站号从船尾至船首依次编为 0 至 20,各站相应的半宽为  $y_0, y_1, y_2, \dots, y_{19}, y_{20}$ 。

在用梯形法进行计算时,水线面面积  $A_w$ 、漂心纵向坐标  $x_F$  及水线面系数  $C_{wp}$  的表达式可写成

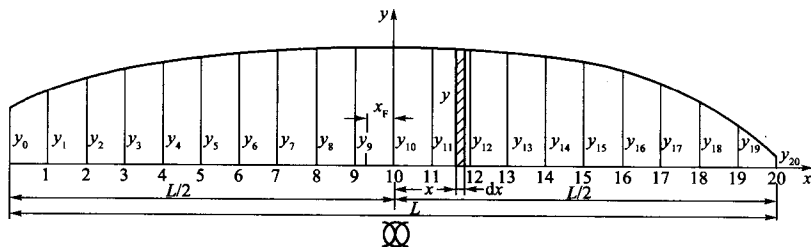


图 1-10 水线面计算图

$$A_w = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y dx \approx 2\delta L \sum' y_i$$

其中

$$\sum' y_i = y_0 + y_1 + \dots + y_{19} + y_{20} - \frac{y_0 + y_{20}}{2}$$

即计入首尾修正项的累加和。

$$M_{Oy} = 2 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} xy dx \approx 2(\delta L)^2 \sum' k_i y_i$$

其中

$$\begin{aligned} \sum' k_i y_i = & 0 \cdot y_{10} + 1 \cdot (y_{11} - y_9) + 2 \cdot (y_{12} - y_8) + \dots + 9 \cdot (y_{19} - y_1) \\ & + 10 \cdot (y_{20} - y_0) - \frac{1}{2} 10 \cdot (y_{20} - y_0) \end{aligned}$$

$$x_F = \frac{M_{Oy}}{A_w} = \frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} xy dx}{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} y dx} \approx \delta L \frac{\sum' k_i y_i}{\sum' y_i}$$

$$C_{WP} = \frac{A_w}{LB} = \frac{2\delta L \sum' y_i}{LB}$$

现以某货船的设计水线面为例,采用梯形法进行计算。该船船长  $L = 147.18\text{m}$ ,船宽  $B = 20.4\text{m}$ ,设计吃水  $d = 8.2\text{m}$ ,  $\delta L = \frac{L}{20} = 7.359\text{m}$ 。

图 1-11 为设计水线半宽图,各站处的半宽值附在表 1-1 中的“水线半宽”一栏内。

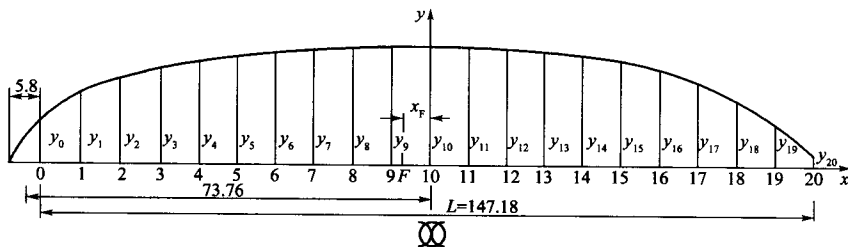


图 1-11 设计水线半宽图



梯形法计算

表 1-1

站号	水线半宽 $y_i$ (m)	乘数	面积乘积 II $\times$ III	矩臂	面矩乘积 IV $\times$ V
I	II	III	IV	V	VI
0	2.305	1/2	1.153	-10	-11.525
1	4.865	1	4.865	-9	-43.785
2	6.974	1	6.974	-8	-55.792
3	8.568	1	8.568	-7	-59.976
4	9.559	1	9.559	-6	-57.354
5	10.011	1	10.011	-5	-50.055
6	10.183	1	10.183	-4	-40.732
7	10.200	1	10.200	-3	-30.600
8	10.200	1	10.200	-2	-20.400
9	10.200	1	10.200	-1	-10.200
10	10.200	1	10.200	0	-391.944
11	10.200	1	10.200	1	10.200
12	10.200	1	10.200	2	20.400
13	10.200	1	10.200	3	30.600
14	10.040	1	10.040	4	40.160
15	9.416	1	9.416	5	47.080
16	8.015	1	8.015	6	48.090
17	6.083	1	6.083	7	42.581
18	3.764	1	3.764	8	30.112
19	1.885	1	1.885	9	16.965
20	0.375	1/2	0.187	10	1.875
总和			162.103		-92.390

注:0 站至 20 站的水线面面积  $A_1 = 2 \times \delta L \times 162.103 = 2 \times 7.359 \times 162.103 = 2385.83\text{m}^2$

$$0 \text{ 站以后部分的水线面面积 } A_2 = 2 \times \frac{1}{2} \times y_0 \times 5.8 = 2 \times \frac{1}{2} \times 2.305 \times 5.8 = 13.37\text{m}^2$$

$$\text{整个水线面面积 } A_w = A_1 + A_2 = 2385.83 + 13.37 = 2399.20\text{m}^2$$

$$0 \text{ 站至 } 20 \text{ 站对船中的水线面面矩 } M_1 = 2 \times (\delta L)^2 \times (-92.36) = 2 \times (7.359)^2 \times (-92.36) = -10003.49\text{m}^3$$

$$0 \text{ 站以后部分的水线面面矩 } M_2 = 13.37 \times (-73.76) = -986.17\text{m}^3$$

$$\text{整个水线面对船中的面矩 } M_{Oy} = M_1 + M_2 = -10003.49 + (-986.17) = -10989.66\text{m}^3$$

$$\text{漂心纵向坐标 } x_F = \frac{M_{Oy}}{A_w} = \frac{-10989.66}{2399.20} = -4.581\text{m}$$

$$\text{水线面系数 } C_{wp} = \frac{A_w}{LB} = \frac{2399.20}{147.18 \times 20.4} = 0.800$$

## 2. 横剖面计算

横剖面计算一般包括面积  $A_s$  以及面积形心垂向坐标  $z_a$  的计算,对中横剖面来说,还需计算中横剖面系数  $C_M$ 。





由图 1-12 可知,微面积  $dA_s = 2ydz$ 。整个横剖面面积

$$A_s = 2 \int_0^d y dz \quad (1-9)$$

式中:  $y$ ——离  $Oy$  轴  $z$  处的水线面半宽。

由图 1-12 可知,横剖面面积  $A_s$  对基线  $Oy$  轴的静矩为

$$M_{Oy} = 2 \int_0^d yz dz \quad (1-10)$$

所以,横剖面面积形心垂向坐标  $z_a$

$$z_a = \frac{M_{Oy}}{A_s} = \frac{\int_0^d yz dz}{\int_0^d y dz} \quad (1-11)$$

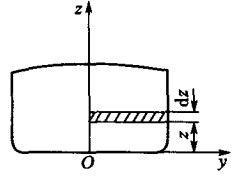


图 1-12 横剖面

图 1-13 表示某一横剖面曲线及不同吃水的半宽值,根据公式(1-9)、式(1-10)、式(1-11),如采用梯形法计算,在吃水  $d$  时,横剖面面积

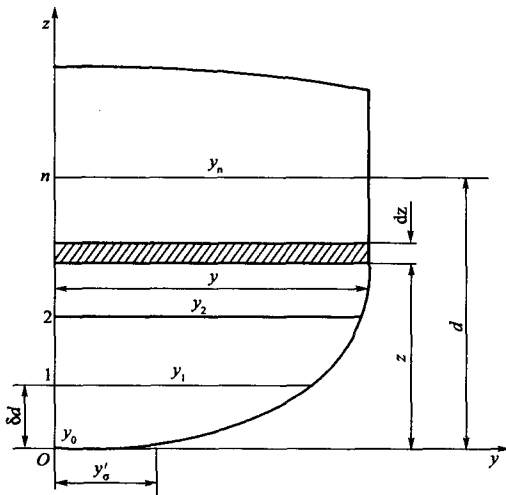


图 1-13 横剖面计算

$$A_s = 2 \int_0^d y dz \approx 2\delta d \sum' y_i$$

其中

$$\sum' y_i = y'_0 + y_1 + \dots + y_n - \frac{1}{2}(y'_0 + y_n)$$

式中:  $y'_0$ ——经过端点修正后的半宽值;

$\delta d$ ——各水线等间距值。

横剖面面积  $A_s$  对基线  $Oy$  轴的静矩

$$M_{Oy} = 2 \int_0^d yz dz \approx 2(\delta d)^2 \sum' k_i y_i$$

其中

$$\sum' k_i y_i = 0 \cdot y'_0 + 1 \cdot y_1 + \dots + n y_n - \frac{1}{2}(0 \cdot y'_0 + n y_n)$$

横剖面面积形心垂向坐标  $z_a$

$$z_a = \frac{M_{Oy}}{A_s} = \frac{\int_0^d yz dz}{\int_0^d y dz} \approx \delta d \frac{\sum' k_i y_i}{\sum' y_i}$$

中横剖面系数  $C_M$

$$C_M = \frac{A_M}{Bd}$$

式中:  $A_M$ ——船在吃水  $d$  以下的中横剖面面积;

$B$ ——船中横剖面处的船宽。

现以某货船为例,用梯形法进行中横剖面计算,见表 1-2。

中横剖面面积

$$A_M = 2 \times \delta d \times \sum' (\text{II}) = 2 \times 1.2 \times 70.25 = 168.6 \text{m}^2$$