



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材

船舶原理

主 编 杜嘉立

副主编 姜 华



大连海事大学出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材

船舶原理

主 编 杜嘉立

副主编 姜 华

大连海事大学出版社

© 杜嘉立 2016

图书在版编目(CIP)数据

船舶原理 / 杜嘉立主编. — 大连 : 大连海事大学出版社, 2016. 1

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材

ISBN 978-7-5632-3269-7

I. ①船… II. ①杜… III. ①船舶原理—高等学校—教材 IV. ①U661

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 005890 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路 1 号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2016 年 1 月第 1 版

2016 年 1 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:14.5

字数:347 千

印数:1 ~ 3000 册

出版人:徐华东

责任编辑:陆 梅 孙延彬

责任校对:张 华

封面设计:王 艳

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3269-7

定价:29.00 元

编者的话

“船舶原理”是航海类专业的专业基础课程,本书包括船舶原理和船体强度两部分。船舶原理是以理论力学和流体力学为基础研究船舶平衡和运动规律的一门科学;船体强度是以材料力学和结构力学为基础研究船体抵抗内外力作用的一门科学。

本书从船舶的基本原理、基本知识、估算方法、试验研究、船舶规范与衡准等方面加以论述,并尽可能将近年来国内外相关公约、规则及规范的新内容体现在各章节中,宗旨是使学习者对船舶的基本特性、计算原理和安全评判方法有全面的了解,为培养其综合分析问题的能力打下良好的基础。

全书共分为十一章:第一章船体形状,第二章船体计算的近似积分法,第三章浮性,第四章稳性,第五章吃水差,第六章船舶的分舱与破损稳性,第七章船体强度,第八章船舶阻力,第九章船舶推进,第十章摇荡性,第十一章操纵性。在第四、五、六章中,重点介绍了包括纵倾范围的静水力参数表和稳性横截曲线;梳理和强调在需要计入船舶纵倾影响时,船舶稳性、吃水差等的基本概念和计算方法;简要介绍了概率法的基本原理和破损稳性的衡准;增加了船舶破损稳性计算时所采用的确定性方法和概率法的基本概念和计算方法。

本书由杜嘉立主编,姜华副主编。参编的还有叶正兵、赵海莲。全书由杜嘉立修改并统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

杜嘉立

2015年12月

目 录

第一章 船体形状	(1)
第一节 型线图	(1)
第二节 船舶尺度	(3)
第三节 主尺度比	(5)
第四节 船型系数	(6)
习题一	(7)
第二章 船体计算的近似积分法	(9)
第一节 船体坐标系	(9)
第二节 近似积分法	(9)
习题二	(13)
第三章 浮性	(14)
第一节 船舶的平衡条件及浮态	(14)
第二节 船舶重量和重心位置	(17)
第三节 排水量和浮心位置的计算	(21)
第四节 平行沉浮及每厘米吃水吨数	(34)
第五节 舷外水的密度改变对船舶浮态的影响	(35)
第六节 储备浮力及载重线标志	(37)
习题三	(40)
第四章 稳性	(43)
第一节 船舶稳性的基本概念	(43)
第二节 初稳性	(45)
第三节 船内重物变化对船舶初稳性的影响	(49)
第四节 装卸重物对船舶初稳性的影响	(55)
第五节 大倾角稳性	(60)
第六节 静稳性曲线的应用	(67)
第七节 动稳性曲线图	(71)
第八节 影响船舶稳性的因素	(73)
第九节 船舶稳性规范简介	(77)
第十节 船舶随浪稳性	(83)
习题四	(84)
第五章 吃水差	(87)
第一节 航行船舶对吃水及吃水差的要求	(87)

第二节	船舶纵稳性	(88)
第三节	船舶吃水差	(89)
第四节	船舶进坞与搁浅	(96)
第五节	纵倾对船舶浮态的影响	(98)
习题五		(101)
第六章	船舶的分舱与破损稳性	(103)
第一节	破损稳性的计算方法	(103)
第二节	船舶浸水后的浮性和稳性计算	(105)
第三节	海洋客船的分舱和破损稳性	(109)
第四节	概率法简介	(112)
第五节	船舶抗沉能力的分析	(115)
第六节	破损控制图和破损控制手册	(116)
习题六		(119)
第七章	船体强度	(120)
第一节	基本概念	(120)
第二节	船体总纵弯矩和切力的计算	(121)
第三节	影响船体总纵弯矩和切力的因素	(126)
第四节	总纵弯曲应力与剪切应力的计算	(128)
第五节	总纵强度	(130)
第六节	估算法控制船中弯矩	(133)
第七节	局部强度	(135)
第八节	船舶装载手册简介	(137)
习题七		(140)
第八章	船舶阻力	(142)
第一节	船舶阻力的分类和成因	(142)
第二节	相似定律与傅汝德假设	(147)
第三节	基本阻力的估算及百分数	(151)
第四节	附加阻力的计算	(154)
第五节	限制航道中船舶的阻力	(157)
习题八		(159)
第九章	船舶推进	(160)
第一节	螺旋桨的结构和几何特征	(160)
第二节	机翼的升力和阻力	(163)
第三节	螺旋桨的工作原理	(164)
第四节	船体和螺旋桨的相互影响	(169)
第五节	螺旋桨的空泡现象	(173)
第六节	影响螺旋桨推进性能的因素	(175)
第七节	特种螺旋桨	(177)
习题九		(179)

第十章 摇荡性	(180)
第一节 船舶摇荡运动的基本概念	(180)
第二节 船舶在静水中的横摇	(184)
第三节 船舶在静水中无阻尼纵摇和垂荡	(187)
第四节 波浪运动简介	(188)
第五节 船在波浪中的摇荡	(192)
第六节 减摇装置	(197)
习题十	(198)
第十一章 操纵性	(200)
第一节 船舶操纵性的基本概念	(200)
第二节 船舶操纵运动方程	(201)
第三节 舵	(203)
第四节 船舶的回转运动	(207)
习题十一	(213)
参考文献	(214)

第一章 船体形状

船体的几何形状指船体的外部形状,它能够反映出船体的大小、形状、肥瘦变化及船体线型(hull forms)的光顺程度。船体几何形状对于船舶性能、船体强度等有很大的影响,所以,在研究船舶性能之前,首先要了解船体形状的定义和表达方法、型线图的绘制和识读及各种船舶参数的定义。

第一节 型线图

船体的几何形状一般都是双向曲面,其形状的基本图形表示方法是型线图。故,型线图(lines drawing/lines plan)是描述船体几何形状和大小的图形,它是船舶设计、性能计算和建造的重要依据。型线图所表示的船体外形为船体型表面(moulded surface)。钢船体型表面为外板的内表面(不包括船壳板和甲板板厚度在内的船体表面),水泥船和木质船的型表面则为船壳的外表面。

图 1-1 所示的三个互相垂直的基准面(base planes)是型线图绘制的基本投影平面,符号“ $\boxtimes$ ”表示船长(垂线间长)的中点。

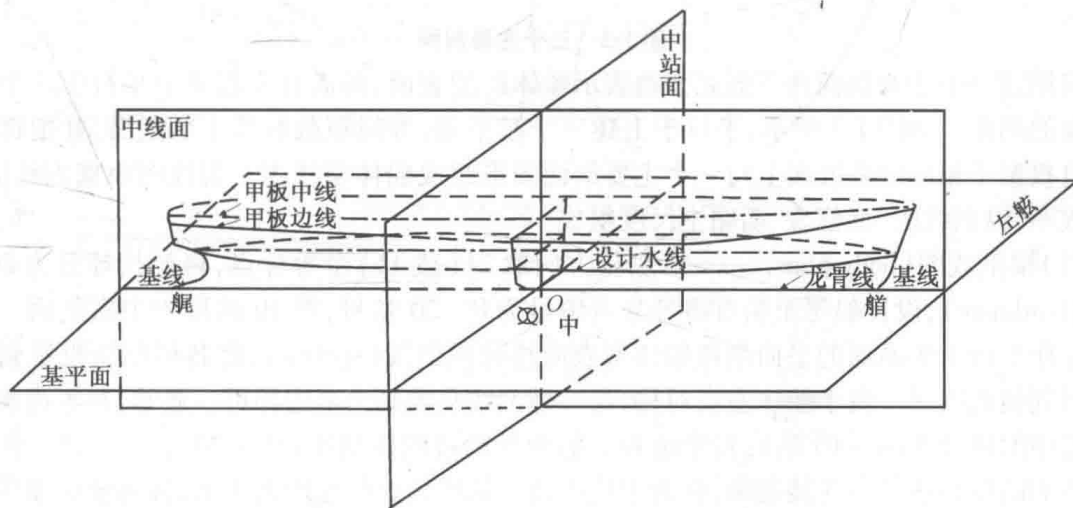


图 1-1 三个互相垂直的基准面

中线面(center line plane)——通过船宽中央的纵向垂直平面,它将船体分为左右舷两部分。一般情况下中线面是船体左右两舷部分的对称面。

中立面(transverse plane)——通过船长(垂线间长或设计水线长)中点的横向垂直平面,且垂直于船舶的中线面,它将船体分为首尾两部分。

基平面(base plane)——通过中线面和中立面交线上的船底板上缘平行于设计水线面的平面,它与中线面、中立面相互垂直。

基线(baseline)——基平面与中线面的交线称为基线。

船体的几何形状是比较复杂和不规则的,必须用型线图才能准确地表示出来。但是三个主要剖面可以大致地反映出船体几何形状的特征,这三个主要剖面(如图 1-2 所示)是:

中纵剖面(centreline)——中线面与船体型表面相截所得的船体剖面。中纵剖面的形状反映甲板、船底、艏艉端的侧视轮廓,对船舶操纵性、速航性、耐波性有影响。

中横剖面(midship section)——中立面与船体型表面相截所得的船体剖面。中横剖面的形状反映了舷侧外板的外飘程度、舭部升高和舭部半径的大小,对船舶阻力、横摇、舱容的大小及排泄舱底水有影响。

设计水线面(designed waterline plane)——过设计夏季载重吃水(designed summer draft)做平行于基平面的水平面与船体型表面相截所得的船体剖面。设计水线面的形状对船舶阻力、稳性、船舶布置等有影响。

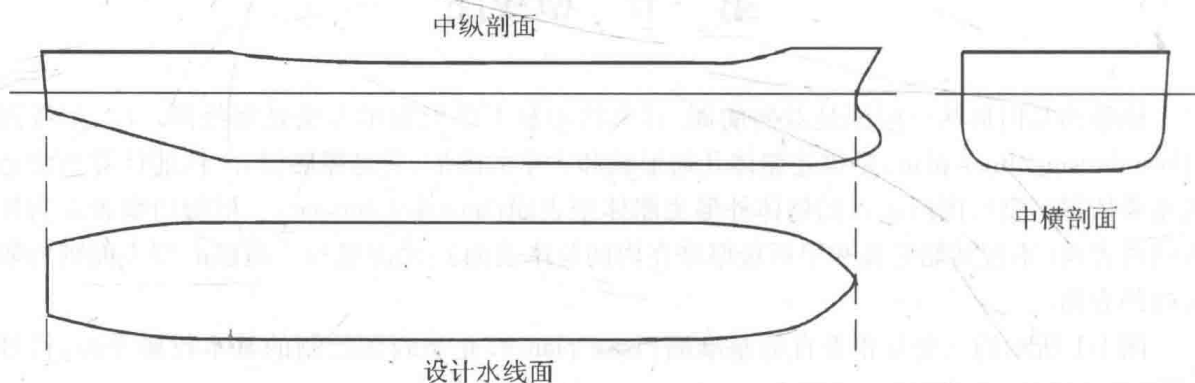


图 1-2 三个主要剖面

仅用这三个主要剖面并不能完整地表示船体的型表面,尚需补充若干个平行于三个基本投影面的剖面。如图 1-3 所示,平行于上述三个基平面,等间距截取若干个剖面,并把这些剖面各自投影于相应的基准面上与三个主要剖面图形组成船体型线图。型线图由横剖线图、半宽水线图、纵剖线图、型值表、船舶主尺度组成。

(1)横剖线图(body plan)——沿船长方向取 21(或 11)个等分点,将船长等分为 20(或 10)站(ordinate),设自船尾至船首将等分点编号为 0~20 站号,第 10 站即为中横剖面。过每一站号作平行于中立面的平面剖切船体型表面得到横剖线(section),将各横剖线投影到中立面处得到横剖线图。由于船体左右对称,每一横剖线只需画出半边即可。通常,左半边表示船尾至船中的横剖线(0~10 站);右半边表示船中至船首的横剖线(10~20 站)。另外,将各站处横剖面的甲板边缘点连接起来,称为甲板边线。舷墙顶点的连线也画出,称为舷墙顶线。

(2)半宽水线图(half-breadth waterline plan)——沿吃水方向取若干个等间距的水平剖面,将各水平剖面截船体型表面所得的曲线称为水线(waterline),将各水线投影到基平面处得到水线图。由于船体左右对称,每一水线只需画出半边即可,故称为半宽水线图。此外,在半宽水线图上还需画出上甲板边线,艏楼、艉楼甲板边线和舷墙顶线等的水平投影,以反映出它

们的俯视轮廓。

(3) 纵剖线图 (sheer plan) ——沿船宽方向平行于中线面, 取若干个纵剖面, 将各剖面截船体型表面所得的曲线称为纵剖线 (buttock), 将各纵剖线投影到中线面上, 即得纵剖线图。在纵剖线图上还需画出龙骨线、首尾轮廓线、甲板边线和舷墙顶线等的侧投影。

由于三组剖面图是相互垂直的, 因此每一组剖切线在一个投影面上为曲线 (表示它的真实形状), 而在另外两个投影面上则为直线。例如: 纵剖线在纵剖线图上为曲线, 而在横剖线图和半宽水线图上则为直线。船体型表面上任何一点在三个图上都有它相对应的位置, 而且彼此必须符合“宽相等、高平齐”的原则。在绘制型线图时, 可利用此原理校验型线图是否正确, 并在横剖线图、半宽水线图、纵剖线图上对船舶曲线进行光顺。

在船体型线图上 (经过放样和光顺后) 量取各型线交点值的三向坐标, 制成表格, 称为型值表 (table of offsets)。型线图和型值表是计算船形参数和静水力性能的主要依据, 同时也是船体建造的主要依据。

舷弧 (sheer): 船舶的甲板边线自船中向首尾逐渐升高, 船舶甲板边线的这种升高称为舷弧。在艏艉垂线处的甲板升高称为“艏舷弧”和“艉舷弧”。船舶的舷弧可减少船舶首尾部甲板的上浪, 提高船舶的适航性等。

梁拱 (camber): 甲板中线比其左右两舷的甲板边线高, 这种高度差称为梁拱。船舶的梁拱有利于船舶迅速排泄甲板积水, 增强甲板刚性等。

平行中体 (parallel middle body): 船中前后有一段船体在设计水线下的横剖面形状与中横剖面处相同, 称为平行中体。

第二节 船舶尺度

船舶尺度是反映船体大小的几何参数, 这些参数对于船舶设计、建造、操纵、避碰、船舶管理都十分重要。船舶尺度按其度量方式不同, 可分为主尺度、登记尺度、最大尺度三类。

一、主尺度

从型表面上量取的尺度称为型尺度。船舶的主尺度 (principal dimensions) 是根据《钢质海船入级规范》定义的船体型尺度, 主要用于船舶性能计算。主尺度包括船长、型宽、型深和型吃水 (图 1-4)。

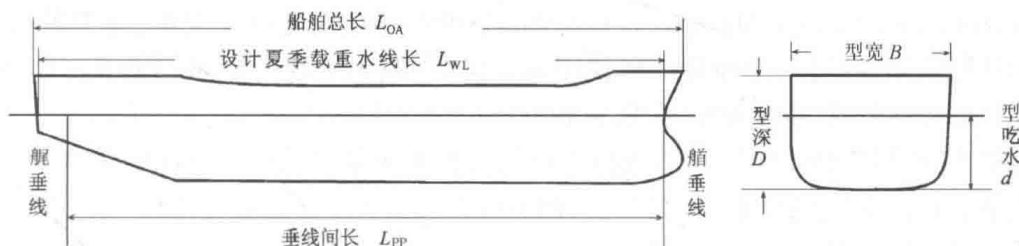


图 1-4 船舶尺度

艏垂线(forward perpendicular/FP):通过夏季载重线与艏柱前缘交点的垂线。

艮垂线(after perpendicular/AP):通过夏季载重线与舵柱后缘交点的垂线,对无舵柱的船舶取舵杆中心线。

垂线间长 L_{pp} (length between perpendiculars):艏垂线与艮垂线之间的水平距离。

船长 L (length):沿夏季载重水线,由艏柱前缘量至舵柱后缘的长度;对无舵柱的船舶由艏柱前缘量至舵杆中心线的长度;但均不得小于夏季载重水线总长的 96%,且不必大于 97%。一般情况下,船长指艏垂线、艮垂线间长 L_{pp} (两柱间长)。

型宽 B (moulded breadth):在船舶最宽处,由一舷肋骨的外缘量至另一舷肋骨的外缘之间的水平距离。

型深 D (moulded depth):在船长中点处,沿船舷由平板龙骨上缘量至上层连续甲板横梁上缘的垂直距离。

型吃水 d (moulded draft):在船长中点处,沿船舷由平板龙骨上缘量至夏季载重水线的垂直距离。

通常船舶的艏吃水、艮吃水不同,艏吃水 d_F 是指艏垂线处吃水,艮吃水 d_A 是指艮垂线处吃水,船中吃水 d_M 是指中横剖面处吃水,三者满足

$$d_M = \frac{d_F + d_A}{2}$$

船舶的吃水差 t 为艏艮吃水的差值,即

$$t = d_F - d_A$$

干舷 F (freeboard):指在船长中点处,沿舷侧自夏季载重水线量至干舷甲板上边缘的垂直距离,即

$$F = D + \delta - d \approx D - d$$

式中: δ ——上甲板边板的板厚,干舷甲板通常是最高一层露天全通甲板。

此外,常用的船舶型尺度还有:

船舶总长 L_{OA} (length overall):包括两端上层建筑在内的船体型表面最前端与最后端的水平距离。

设计夏季载重水线 L_{WL} :设计夏季载重水线与船舶型表面相交,其最前端和最后端交点的水平距离。

二、登记尺度

船舶登记尺度(registered dimensions)是根据《1969 年国际船舶吨位丈量公约》(International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969)中的规定所定义的,是主管机关在登记船舶和计算船舶总吨位、净吨位时所使用的尺度,它载明于吨位证书(Tonnage Certificate)上。登记尺度包括长度、宽度和型深,定义如下:

长度指水线总长度的 96%,该水线位于自龙骨板上缘量得的最小型深的 85% 处;或者是指该水线从艏柱前缘量到舵杆中心的长度,两者取其较大者。如船舶设计具有倾斜龙骨,作为测量本长度的水线应平行于设计水线。

宽度指船舶的最大宽度,对金属壳板的船,其宽度是从船长中点处量到两舷的肋骨型线;对其他材料壳板的船,其宽度是从船长中点处量到船体外面。

型深:

(1) 型深是指从龙骨上缘量到船舷处上甲板下面的垂直距离。对木质船舶和铁木混合结构船舶,垂直距离是从龙骨镶口的下缘量起。倘船舶中央横剖面的底部具有凹形或装有加厚的龙骨翼板,垂直距离是从船底平坦部分向内引伸与龙骨侧面相交的一点量起。

(2) 具有圆弧形舷边的船舶,型深是量到甲板型线和船舷外板型线相交之点,这些线的延伸是把该舷边看作是设计为角形的。

(3) 当上甲板为阶形甲板,并且其升高部分延伸超过决定型深的一点时,型深应量到此甲板较低部分的延伸虚线,此虚线平行于甲板升高部分。

三、最大尺度

船舶的最大尺度(overall dimensions)——包括各种附属结构在内的,从一端点到另一端点的总尺度,最大尺度是船舶的实际尺度,主要用于检查船舶在营运中能否满足桥孔、航道、船闸、船台、泊位等外界条件的限制。

最大长度 $L_{\max}$ ——船舶最前端与最后端之间包括外板和两端永久性固定突出物(如顶推装置等)在内的水平距离。对于两端无永久性固定突出物的船舶,如木质、水泥、玻璃钢等船舶,最大长度等于总长,钢质船舶的最大长度与总长相差两端外板的厚度。

最大宽度 $B_{\max}$ ——包括船舶外板和永久性固定突出物(如护舷材、水翼等)在内的垂直于中线面的船舶最大水平距离。对于两舷无永久性固定突出物的船舶,如木质、水泥、玻璃钢等船舶,最大宽度等于型宽,钢质船舶的最大宽度与型宽相差两舷外板的厚度。

最大高度 $H_{\max}$ ——自船舶空载水线面到船舶固定建筑物(包括固定的桅、烟囱等在内的任何构件)最高点之间的垂直距离。

第三节 主尺度比

船舶的主尺度只能表达船舶单方向的尺度大小,而不能反映船体的肥瘦程度。尺度比(proportions)能够反映船舶的肥瘦程度和某些航海性能的好坏。常用的尺度比如下:

L/B ——长宽比,与船舶快速性和操纵性有关,该比值大表示船体狭长,阻力较小,快速性好,航向稳定性好,但港内操纵不灵活。通常高速船的长宽比大于低速船的长宽比。

B/d ——宽吃水比,与稳性、摇荡性有关。该比值大,稳性好,但耐波性变差,航行阻力增加。一般内河船的宽吃水比大于海船的宽吃水比。

D/d ——深吃水比,与船舶大角度横倾时的稳性和抗沉性有关。该比值大,干舷高,储备浮力大,大倾角稳性好。一般客船的深吃水比较大,而油船的深吃水比较小。

B/D ——宽深比,与船体结构强度有关,该值越大,则船体横向强度越差,一般干货船 $B/D \leq 2.5$ 。

L/D ——长深比,与船体结构强度有关,该值增大,对纵向强度不利,一般干货船的长深比 $L/D \leq 17$ 。

L/d ——长吃水比,该值增大,船舶的操纵回转性能变差。

第四节 船型系数

船型系数(coefficients of form)是表示船体水下部分面积或体积肥瘦程度的无因次系数,这些系数的大小对分析船型和船舶性能等有很大的用处。

(1) 水线面系数 C_w (waterplane coefficient)

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,如图 1-5(a)所示,即是水线面系数 C_w 。

$$C_w = \frac{A_w}{L \cdot B}$$

水线面系数用来表示水线面的肥瘦程度,该值对船舶快速性、稳性和甲板布置都有影响。

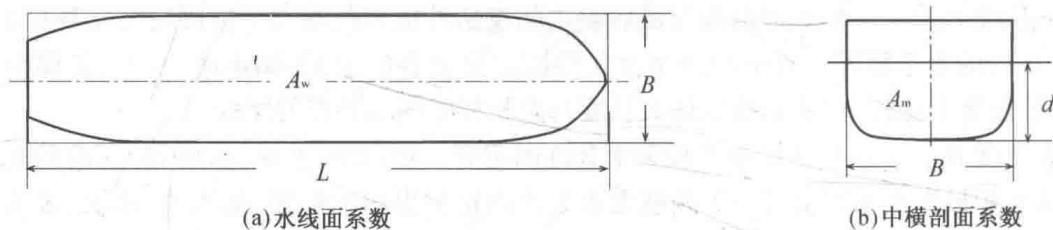


图 1-5 面积系数

(2) 中横剖面系数 C_m (midship section coefficient)

中横剖面处水线以下的面积 A_m 与由型宽 B 、吃水 d 所构成的矩形面积之比,如图 1-5(b)所示,即是中横剖面系数 C_m 。

$$C_m = \frac{A_m}{B \cdot d}$$

C_m 表示船体水线下的中横剖面的肥瘦程度,该值对船舶快速性和耐波性均有影响。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。

(3) 方形系数 C_b (block coefficient)

船体水线(通常指夏季载重水线)以下的型排水体积 ∇ (moulded volume) 与由船长 L 、型宽 B 、吃水 d 所构成的长方体体积之比(图 1-6),即是方形系数 C_b 。

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d}$$

方形系数用来表示船体水下体积的肥瘦程度,该值对船舶排水量、舱室容积、快速性、耐波性等均有影响。

(4) 棱形系数 C_p (prismatic coefficient)

船体水线以下的型排水体积 ∇ 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 1-7),即是棱形系数 C_p 。

$$C_p = \frac{\nabla}{A_m \cdot L} = \frac{C_b}{C_m}$$

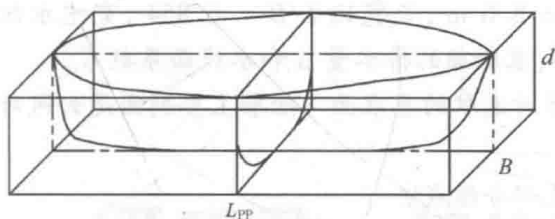


图 1-6 方形系数

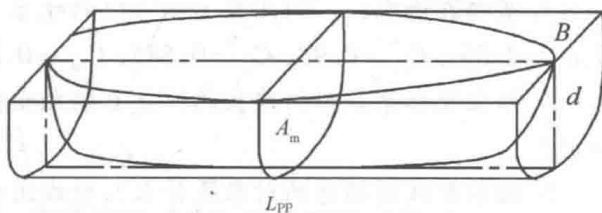


图 1-7 棱形系数

它的大小表示水线下排水体积沿船长方向的分布情况。 C_p 又称纵向棱形系数。

(5) 垂向棱形系数 C_{vp} (vertical prismatic coefficient)

船体水线以下的型排水体积 ∇ 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 1-8), 即是垂向棱形系数 C_{vp} 。

$$C_{vp} = \frac{\nabla}{A_w \cdot d} = \frac{C_b}{C_w}$$

C_{vp} 的大小表示水线下排水体积沿垂向的分布情况。

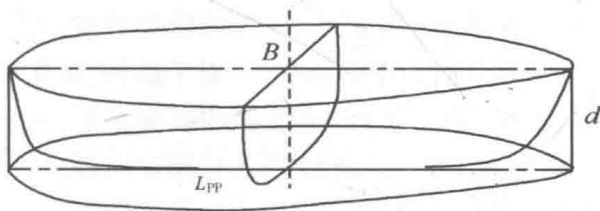


图 1-8 垂向棱形系数

从上述五个系数的表达式可见: 水线面系数 C_w 、中横剖面系数 C_m 、方形系数 C_b 是三个互相独立的无因次系数, 其他两个系数可以从这三个系数推导得出。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。

表 1-1 是各类船舶的尺度比值和船型系数的大致范围。

表 1-1 船舶尺度比和船型系数

系数尺度比	C_b	C_m	C_w	L/B	B/d	D/d
客船、集装箱船等高速船	0.50 ~ 0.60	0.85 ~ 0.97	0.68 ~ 0.78	6.0 ~ 8.5	2.5 ~ 3.5	1.2 ~ 2.0
普通货船等中速船	0.65 ~ 0.75	0.98 ~ 0.99	0.8 ~ 0.85	5.5 ~ 7.0	2.2 ~ 2.7	1.3 ~ 1.6
散货船、矿石船、油船等低速船	0.78 ~ 0.85	0.995	0.86 ~ 0.92	6.0 ~ 7.0	2.3 ~ 2.85	1.2 ~ 1.5

习题一

1. 已知某船的船长 $L = 129 \text{ m}$, 长宽比 $L/B = 6.93$, 吃水 $d = 8.08 \text{ m}$, 方形系数 $C_b = 0.7$, 求该船在淡水 ($\rho = 1.0 \text{ t/m}^3$) 中的排水量。

2. 已知某船的船长 $L = 120 \text{ m}$, $d = 5.8 \text{ m}$, $\nabla = 7350 \text{ m}^3$, $C_b = 0.62$, $C_w = 0.75$, 求船舶的水线面积 A_w 。

3. 某船在海水 ($\rho = 1.025 \text{ t/m}^3$) 中的吃水 $d = 8.6 \text{ m}$, 长宽比 $L/B = 6.854$, 宽吃水比 $B/d = 2.36$, $C_m = 0.98$, $C_p = 0.685$, $C_{vp} = 0.824$, 求船舶的排水量 Δ 和水线面系数 C_w 。

4. 船舶坐标系是如何建立的? 建立船舶坐标时所选取的基准面与船舶主要剖面是如何对应的?

5. 船舶型线图描述的对象是什么? 型线图由几部分组成?

6. 名词解释: 型表面, 附体, 船体坐标系, 型线图, 船型系数, 主尺度, 最大尺度, 登记尺度, 主要剖面, 舷弧, 梁拱, 平行中体。

第二章 船体计算的近似积分法

第一节 船体坐标系

建立船体坐标系 (coordinate system) 是为了确切地表达船上任意一点的空间位置, 便于进行位置确定和船舶性能计算, 通常采用如图 2-1 所示的固定在船舶上的 $Oxyz$ 直角坐标系。它以三个互相垂直的坐标基准面 (基平面、中站面和中线面) 的交点作为坐标原点 O , 而以三个基准面的交线作为坐标轴, 基平面与中线面的交线是 x 轴 (纵轴), 指向船首为正; 基平面与中站面的交线是 y 轴 (横轴), 指向右舷为正; 中线面与中站面的交线是 z 轴 (垂轴), 向上为正; 于是任意一点可用 (x, y, z) 三个坐标值来定位, 其中 x 值为纵向坐标, y 值为横向坐标, z 值为垂向坐标。

我国船舶资料中的坐标原点取在船中, 但也有些国家将坐标原点取在其他位置, 如艏垂线上, 如图 2-2 所示。对于国外建造的船舶, 在阅读随船资料和使用数据时要格外小心。

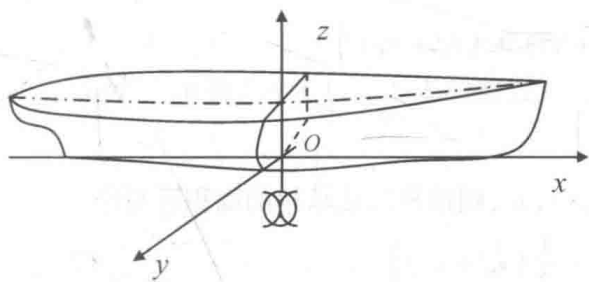


图 2-1 原点在船中

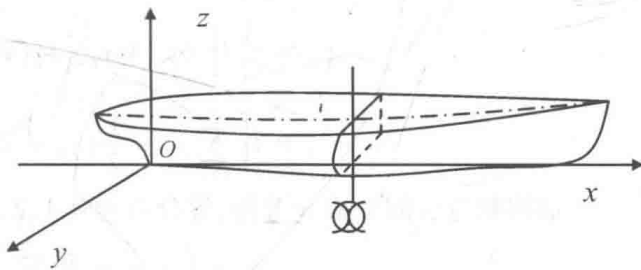


图 2-2 原点在船尾

第二节 近似积分法

在船舶性能计算中, 船舶设计单位可根据船舶型线图中相应的型值, 计算船舶各横剖面的面积、各水线面的面积、船舶体积及它们的几何形心、面积惯性矩等, 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, 因此在船体计算中, 只能根据定积分原理, 进行近似计算, 即近似积分法。在船体的近似计算中, 尽管计算的内容不同, 但均可归结为求某种曲线

下所围的面积。

如图 2-3 所示,某一曲线 AB , 函数表达式为 $y = f(x)$, 则该曲线在 (a, b) 区间所围的面积 S 可用定积分来表达

$$S = \int_a^b f(x) dx \quad (2-1)$$

对于具有空间几何曲度的船体来说,被积函数 $y = f(x)$ 难以用数学表达式来描述,我们只能根据型线图中相应的型值利用近似积分法进行计算。常用的近似法为梯形法和辛氏法。

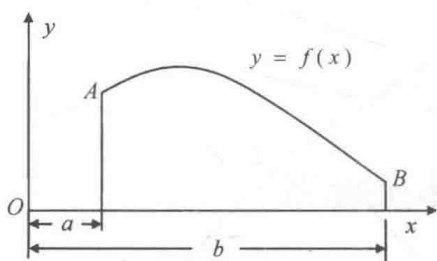


图 2-3 计算曲线

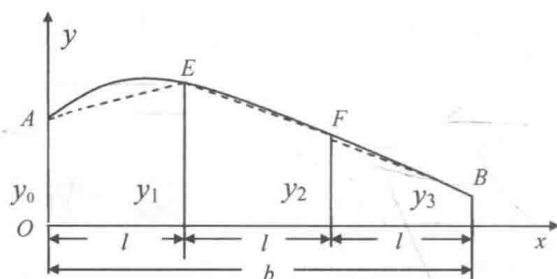


图 2-4 梯形法

一、梯形法

梯形法(trapezoidal method)的原理是以折线近似地代替曲线。如图 2-4 所示的某一曲线 AB , 为了求该曲线下的面积, 将积分区间沿 x 方向分成间距为 l 的 3 等份, 等分点为 0, 1, 2, 3, 各等分点处的被积函数值为 y_0, y_1, y_2, y_3 , 曲线下的面积被各个等分点分割成三部分, 每一部分可用一梯形面积替代曲线下的面积, 则曲线下的面积为

$$\begin{aligned} S &= \int_0^b y dx \approx S_1 + S_2 + S_3 \\ &= \frac{1}{2} l \left[(y_0 + y_1) + (y_1 + y_2) + (y_2 + y_3) \right] \\ &= l \left[\sum_{i=0}^3 y_i - \frac{1}{2} (y_0 + y_3) \right] \end{aligned}$$

如将积分区间分成 n 等份, 等分点为 0, 1, 2, 3, $\dots$, n , 则按梯形法求得的面积可写作

$$S = \int_0^{nl} y dx \approx l \left[\sum_{i=0}^n y_i - \frac{1}{2} (y_0 + y_n) \right] \quad (2-2)$$

式中: $\sum y_i$ ——各等分点处的被积函数值的代数和;

$\frac{1}{2} (y_0 + y_n)$ ——修正值, 被积函数在两端点处的函数值之和的一半。

式(2-2)为梯形法计算的通式。在实际计算中只要能表示成式(2-1)的形式, 均可用梯形法计算, 坐标 y_i 的物理量可以表示为船舶的宽度(求面积)、面积(求体积)等。

例题 2-1: 已知船舶某半宽水线分为 20 等份, 纵向坐标间距 l 为 13.2 m, 水线半宽值分别为: 0.00, 3.90, 8.00, 12.09, 15.19, 17.92, 19.29, 19.89, 19.89, 19.89, 19.89, 19.89, 19.89, 19.89, 19.66, 19.09, 17.75, 15.47, 12.09, 7.41, 0.98(m), 求船舶水线面的面积是多少?

解: 由式(2-2)的计算通式得