

CHUANBOYUANLI

船舶原理

交通部广州水运工业学校

白式竹 编

人民交通出版社

120006

船舶原理

交通部广州水运工业学校

白式竹 编



人民交通出版社

内 容 提 要

全书除绪论部分外共分八章，包括船舶静力学和动力学两部分：前者为船舶的主要尺度和几何形状、浮性、稳性、抗沉性四章；后者为船舶阻力、推进、操纵、摇摆四章。书中以浮性、稳性、阻力和推进四章为重点，并比较系统地加以阐述；与船舶原理关系密切的流体力学则在有关章节中简述了其基础理论。

本书作为交通系统中等专业学校、技工学校造船专业的教学用书，也可供船厂技术人员和造船工人阅读参考。

船 舶 原 理

交通部广州水运工业学校

白 式 竹 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：13 字数：314千

1980年6月第1版

1980年6月第1版第1次印刷

印数：0001—6,000册 定价：1.05元

前 言

本书根据交通部于1978年在北京召开的教材编写会议精神，以及同年10月由交通部系统船厂技工学校在山海关会议上确定的《船舶原理》教材编写大纲，指定原文冲船厂技工学校负责编写，并由原上海船厂技工学校审稿。编写大纲按照“着眼未来，照顾现在，结合实际，突出重点”和“精简教材”的原则，提出按技工学校船舶制造专业学生具备了高等数学、工程力学知识的基础上讲授本课程；并应适于造船工人自学用书的要求。本书就是按照这个原则编写的。1979年10月，交通部在北京召开的水运工业中等专业学校会议上定本教材为中等专业学校教学用书。

在编写中，为达到兼顾，便于读者理解，对船舶原理中的部分公式适当给以推导并附实例演算。并试对可以增减的篇幅，于有关章节的内容前用星号“*”标注。凡有“*”标注的章节，由各技工学校授课时自行取舍。有关螺旋推进器的制图方法一节，原列为可以增减的篇幅，审稿时经讨论编入书后附录，不作授课。

本书由交通部广州水运工业学校白式竹编，并经交通部上海水运工业学校芦文沛和林光仪审稿，作了部分修改删节。在审稿工作中，上海水运工业学校给予了大力支持和帮助，谨致以衷心的感谢。

限于编者的理论知识和教学经验，有关资料的收集和处理，难以反映现代造船科学的发展水平；课程的内容也难以适应各校的教学要求。故本书编入的内容及阐述的论点，错误和不妥之处在所难免，恳切希望各校师生和读者批评指正。

绪 论

船舶原理是研究船舶航海性能的科学理论。它包括船舶静力学和船舶动力学两大部分，前者研究的对象包括浮性、稳性及抗沉性；后者研究的对象包括速航性、摇摆性和操纵性。船舶飘浮在流体上是呈运动状态的，所以在研究静力学时也涉及到动力学的因素。对上述船舶性能的研究是根据船舶的主要尺度、几何形状和载荷分布等各要素间的函数关系，用数学分析方法进行的。但是，由于船舶技术性能复杂，有些问题还不能从理论上用数学分析方法解决，只能借助某些科学实验（如模拟试验）以求取所需的关系，并通过长期实践积累的经验来充实这些基本理论。

科学技术的发展，总是从实践到理论，再以理论来指导实践。造船科学的发展也是这样。公元前的古希腊学者阿基米德创立了浮性定律，这个定律的创立是经过了多次试验的，从理论上准确地证明：物体的重量等于该物体所排开的水体积的重量。即所谓阿基米德原理。但是，这个理论在古代长久以来没有被应用于造船实践。我国造船工作者虽然很早对船的浮性、稳性、抗沉和抗摇方面有所认识，却未著书立说，没有提高到理论上指导实践。船舶科学理论的形成还是十七世纪的事。十八世纪中叶以后，相继发表了“船舶原理”、“船舶科学”等领域的理论文献，到十九世纪前半期，世界上许多数学家才对船的浮性和稳性做了大量研究工作，船舶原理这门科学就发展起来了。所以，造船科学在本世纪初还是一门比较年青的科学。

人们对船舶原理的认识，从浮性到稳性，进而经过实践的检验，认识到仅以初稳心高度还不足以衡量船舶的稳性，必须考虑到船在波浪上的摇摆和在阵风的作用下，当横倾角增大时，船的稳性会逐渐降低这一因素。因之各国造船工作者相继提出了大倾角稳性的理论和各种计算方法；制定了按船体型线图计算浮性和稳性的方法；并提出比较实用的近似计算方法以确定船体的重心位置。随着钢质船的发展，抗沉性的问题引起了人们的重视，对船体水密分舱的划分进行了大量的研究，并于1929年在国际海上人命安全会议上制订了“国际海上人命安全公约”，首次以国际公约的形式对船舶的抗沉问题作出规定。我国早在宋朝前（约公元960年前），对船的抗沉问题就具有深刻的认识和实践经验，所造舰船均设有水密隔舱。十三世纪旅行来我国的意大利人马哥·勃罗，在他的游记里对宋代舰船的水密隔舱赞扬备至，以后随同防摇披水板的经验传到欧洲。

我国是一个历史悠久、海岸线漫长、河流密布、水运自然条件优越的航海国家，远在2200多年前的战国时代，我国民族就已交通海外各民族了，当时已航行到马来半岛一带，进入印度洋。唐宋以来，我国民族的航海事业发展到高峰，而欧洲人涉洋航海仅初始阶段。举世闻名的明朝郑和七下西洋（指中印半岛、马来半岛、苏门答腊、爪哇、加里曼丹等西南海岸诸国），远达红海和非洲东岸，航程十万余里，开辟了亚丁湾到非洲赤道以南的航线，史称郑和西航线。郑和船队统率大船62艘，中小船200余艘，乘员近三万人。据明史“郑和传”记载：“造大船修四十四丈，广十八丈者六十二。”该船气势雄伟，巨无与敌，竖大桅九根，张十二帆，蓬、帆、锚、舵非二三百人莫能举动。船队航行在惊涛骇浪的海洋上，绘出了

“维纲挂席，际天而行”的壮丽图景，可称为十五世纪初叶世界航海史上的壮举。航海事业的发展是与造船技术的发展分不开的，说明当时我国民族对船的浮性、稳性、抗沉、抗摇、推进和操纵方面积累了长期实践的丰富经验。这些经验对造船技术的交流和发展具有卓越的贡献。只是由于我国民族长期受封建社会的政治经济制度约束，使这些经验失之记载和流传。新中国成立后，我国造船技术的发展才获得复苏，造船工业从一穷二白发展到繁荣壮大。现在，向社会主义四个现代化进军的号角吹响了，我国的造船科学正迈向欣欣向荣的道路。

近代在造船科学发展过程中，受到其他科学技术发展的促进和帮助，更日益向前发展了；同时造船科学也促进了其他科学技术的发展。造船科学与流体力学的关系密切，也与空气动力学、波浪学及工程力学有关，所以我们学习船舶原理，也应学习流体力学和其他有关的科学理论知识。自从1871年佛鲁德创立船模试验水池以来，各国科学工作者相继利用水池作船模试验，研究流体的性质及其对船体的作用力。因之对船舶原理这门科学，也可称为船舶流体力学。在二十世纪近几十年间，船舶流体力学日益发展起来，从而更专门地研究船舶流体力学中的各项课题，如船舶静力学、船舶动力学、船型学和船舶操纵等，这样对某一专门部分的研究就更深入了。但是，世界上对流体力学的研究尚未臻于完善，至今对船舶静力学的研究虽得到充分的发挥，而对船舶动力学的研究则需进一步探讨。

船舶稳性是保证海上航行安全的重要因素。近二三十年间，各国对船舶稳性标准进行了大量研究工作，分别制订出适合本国情况的稳性标准，并协商成立了国际间组织进行技术交流和监督。1960年国际海上人命安全会议上提出了关于完整稳性标准的建议，并由政府间海事协商组织（海协）进行对客船、货船和渔船的完整稳性的研究，把保证完整稳性的规定列入国际公约。我国于1974年由船舶检验局颁布了关于履行《1960年国际海上人命安全公约》和《1966年国际船舶载重线公约》的暂行规定，接受了国际间监督。我国在1960年公布了《海船稳性规范》试行草案，以后对海船适航性进行研究，并对海洋航行条件有所掌握，同时，由于我国造船科学技术水平进一步提高，遂对海船稳性规范试行草案进行了修改，于1974年我国正式公布施行了《海船稳性规范》。在我国内河方面，船舶检验局于1967年公布了《长江船舶稳性规范》草案，要求各地区从实际情况出发来处理问题，参考试用。其他内河船舶，基本上是参考试用《长江船舶稳性规范》。船舶的设计、制造和营运均必须满足稳性标准。凡符合稳性规范要求的，船舶检验部门才发给航行证书，这样就保障了海河船舶的航行安全。

科学技术的发展永远不会停留在原有的水平上，对船舶的稳性、抗沉性、运动中的阻力、推进效率的提高等方面还须继续深入研究。现代，由于船舶发展的多样化和高速度，对船舶在各种航行条件下的适航性和速航性更须进一步研究。如过去对船舶适航性的研究，均假定船舶是在规则波上运动的，而实际上船舶是在不规则的海洋波浪上运动，这样对在不规则波浪中航行的船舶的兴波阻力理论和船舶摇摆的流体动力理论尚须深入研究改进。总之，造船科学的许多领域中理论和实际之间还存在一定的距离，这就要求我们作出更大的努力。

我国造船工作者，现正为建成我国完整的造船工业体系而努力。但是，我国的造船科学技术还较落后，尤其对科学基础理论的研究还远逊工业先进国家。我们要大力发展造船工业，大量造船，必须学习和利用外国的造船科学技术的先进经验和理论。把外国的先进技术与我国劳动人民长期实践所积累的造船技术成就结合起来，学习再学习，我们是可以琢磨出璀璨的科学之花的。

设置船舶原理这门课程的主要目的是使我国新一代的造船工作者能掌握造船科学的基本理论，利于他们今后继续学习提高。

目 录

| | |
|---------------------|-----|
| 绪 论 | 1 |
| 第一章 船的主要尺度和几何形状 | 1 |
| 第一节 型线图 | 1 |
| 第二节 船体几何形状特征 | 1 |
| 第三节 船体主要尺度和尺度比 | 4 |
| 第四节 船型系数 | 7 |
| 第二章 浮性 | 11 |
| 第一节 浮态及平衡条件 | 11 |
| 第二节 船体重量和重心计算 | 13 |
| 第三节 船体水线面积和漂心位置计算 | 16 |
| 第四节 船体体积和浮心位置计算 | 23 |
| 第五节 排水量曲线 | 32 |
| 第六节 浮心坐标曲线 | 36 |
| 第七节 邦津曲线 | 39 |
| 第八节 储备浮力与载重线标志 | 42 |
| 第三章 稳性 | 44 |
| 第一节 概述 | 44 |
| 第二节 等体积倾斜定理 | 45 |
| 第三节 重心移动定理 | 46 |
| 第四节 稳心和稳心半径 | 48 |
| 第五节 初稳心公式 | 51 |
| 第六节 静水力性能曲线图 | 55 |
| 第七节 船上重量移动对稳性的影响 | 60 |
| 第八节 自由液面对稳性的影响 | 69 |
| 第九节 倾斜试验 | 73 |
| 第十节 大倾角稳性 | 75 |
| 第十一节 静稳性和动稳性 | 85 |
| 第十二节 稳性衡量标准和提高稳性的办法 | 95 |
| 第四章 抗沉性 | 97 |
| 第一节 概述 | 97 |
| 第二节 可浸长度曲线 | 99 |
| 第三节 破舱稳性计算 | 105 |
| 第五章 船舶阻力 | 111 |
| 第一节 流体运动的一般概念 | 111 |

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 第二节 | 粘性流体运动 | 120 |
| 第三节 | 船舶水阻力的组成 | 122 |
| 第四节 | 船模试验 | 134 |
| 第五节 | 船舶阻力与主机功率的关系 | 142 |
| 第六节 | 减少船舶阻力的办法 | 150 |
| 第六章 | 船舶推进 | 155 |
| 第一节 | 概述 | 155 |
| 第二节 | 螺旋推进器的种类 | 155 |
| 第三节 | 螺旋推进器的几何形状特征 | 157 |
| 第四节 | 螺旋推进器的理论基础 | 161 |
| 第五节 | 螺旋推进器与船体的相互作用 | 164 |
| 第六节 | 螺旋推进器的空泡现象 | 170 |
| 第七章 | 船舶操纵性 | 174 |
| 第一节 | 概述 | 174 |
| 第二节 | 舵的作用原理 | 174 |
| 第三节 | 船的回转性能概述 | 178 |
| 第八章 | 船舶摇摆 | 182 |
| 第一节 | 概述 | 182 |
| 第二节 | 减摇装置的作用 | 185 |
| 附录一 | 螺旋推进器的制图方法 | 187 |
| 附录二 | 本书主要符号名称及计量单位表 | 195 |

第一章 船的主要尺度和几何形状

船体在水上运动，其主要尺度和形状，特别是水下部分的外形、大小和肥瘦程度与船舶的航海性能密切相关，如对浮性、稳性、速航性、摇摆和操纵等方面均会产生影响。为减小船舶航行时的阻力，船体表面均做成流线型的光顺曲面。因此，我们研究船舶的航海性能，首先要了解船体的形状、大小、肥瘦程度以及图形的表示方法。

第一节 型线图

船体外形是一个复杂的具有多向变化的双重曲率的面，长期来一般很难用数学分析式来准确地表达船体表面的几何形状，而是采用作图方法来完整地表达船体的外形轮廓，这种图称为船体型线图，如图1-1所示。

六十年代后期，电子计算和数控技术在造船中的应用获得迅速的发展。近年来，各国都在致力于研究发展直接用数学方法设计光顺的船型，即所谓数学船型。用数学表达的意思，指对整个船体曲面用许多解析函数来规定，而这些函数可以满意地表征一艘船，以代替所有图形的描绘。上述的这些函数必须象用型线图和普通的型值表来规定船体那样，对每一组自变量都能简单地求值。当前，国外已可根据船舶的主要尺度和剖面形状，用数学方法直接产生光顺的船体型线。

船体型线图是船舶原理计算的主要原始资料，是设计和制造的依据，故要求图形完整地 and 正确地表达出船体型线，以适应计算要求的准确度。今后，发展数学船型，是船舶设计和建造实现自动化的关键。可以预料，这种方法在当前的世界科学技术水平上，会得到进一步的研究发展和推广应用。

关于用普通方法绘制船体型线图或现在正进行的用“影响函数”绘制设计型线图的方法等知识在本书中不作介绍。这里提到型线图，因为它关系到在学习船舶原理中提供计算所必需的正确型值。有关船体三个相互垂直面的关系及坐标轴概念，在以后各章的学习中将经常用到，由于读者在船舶概论、制图和工艺中已学过，这里从略。

第二节 船体几何形状特征

各种类型船舶的船体几何形状，按运输要求和不同的技术性能而各具特征。下面仅以民用船舶为例按常见的船型作简略的介绍，如图1-2所示。实际上，包括各种专业船舶在内，其船型种类是很多的，这里只不过略举部分船型的例子。

船舶甲板的型线分直线形和首、尾部成曲线升高的两种，后者起防浪作用。船的舷部有垂直的、向内倾和向外展的多种。龙骨线分水平式、尾倾式和曲折型线等多种。水平龙骨应用较普遍；尾倾式的作用是增大尾吃水，便于装置大直径螺旋桨，增加推力，改善操纵性；曲折型线的龙骨主要用在快艇上，其作用是利用高速航行时产生的水动力，托起艇身，以减

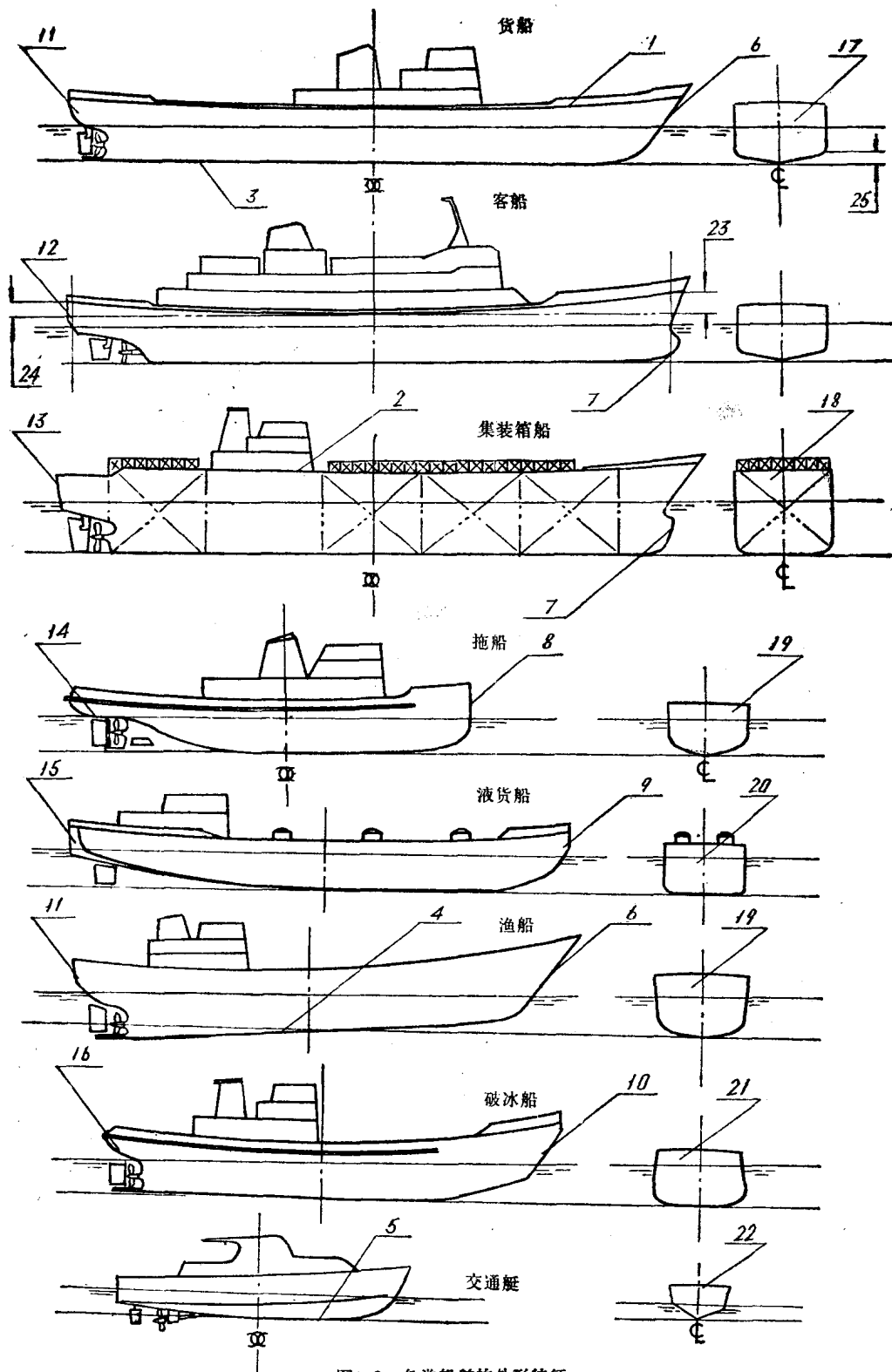


图1-2 各类船舶的外形特征

1-舷弧甲板, 2-平直甲板, 3-平直龙骨, 4-倾斜龙骨, 5-曲线龙骨, 6-倾斜首, 7-球鼻首, 8-直式首, 9-杓形首, 10-破冰船首, 11-巡洋舰尾, 12-方形尾, 13-直方尾, 14-椭圆翼式尾, 15-雪橇型尾, 16-椭圆尾, 17-海船中剖面型, 18-集装箱船中剖面型, 19-拖船、渔船中剖面型, 20-驳船中剖面型, 21-破冰船中剖面型, 22-快艇中剖面型, 23-首舷弧, 24-尾舷弧, 25-升高艏部

少水阻力。首部外形采用倾斜式较普遍，其优点是增加首甲板面积，减少上浪；垂直式首通常用于河船及工程船；破冰船首在水下部分具有较大倾斜度，这样利于冲压冰层；球鼻首的作用是以其所造波系来干扰航行时的兴波，进而消减航行波，降低兴波阻力；杓形首通常用于河船上较多。巡洋舰尾采用较普遍，其优点是尾部大部分浸入水中，改善尾端水线面形状，藉以获得较好的尾流，因而增进航速，同时对舵和螺旋桨也起到保护作用；方形尾属巡洋舰尾的另一种型式，多用于高速船，其作用是使船在高速航行时不致造成尾端入水过多；其他椭圆、雪撬型尾多用于河船。船底型线，一般河船底平直，海船底瘦削。水线面外形，其中部一段型线，大部分的船型为直线，它与中纵剖面线平行，这段型线称平行中体；在这段型线的前端称进体，其尾端称后体。平行中体、进体和后体所占水线面型线的比例长度是否恰当，对船体所受的水阻力有很大影响。没有平行中体的船，外形曲线较光顺，一般高速船、客船和拖船多采用这种型线。

双体船比普通的单体船要瘦长，其两个片体的瘦长性在很大程度上能减少兴波阻力。但由于双体船有两个船身，增加了船身浸水面积，却又导致摩擦阻力的增加。对高速船来说，总阻力仍较单体船为低。关于阻力的问题，以后有专篇阐述，这里不作介绍。

第三节 船体主要尺度和尺度比

上节阐述了船的几何形状特征，要衡量其形状的大小，所用基本尺度一般以船长、船宽、船深和吃水来度量。鉴于船体是由多向曲面所组成的几何体，度量各种船型时必须有个作依据的准则，习惯上规定了统一的度量标准，即度量基准线。按此线的位置来量取尺度。

一、度量基准线

通常作以下规定（图1-3）：

1. 型表面

亦称模表面，就是用型线图所表示的船体肋骨外缘表面。这是指钢壳船而言。木壳船、水泥船、钢筋混凝土船和玻璃钢塑料船等，均以船壳板外缘表面为型表面。我们度量船体外形尺寸时以此型表面为起点。

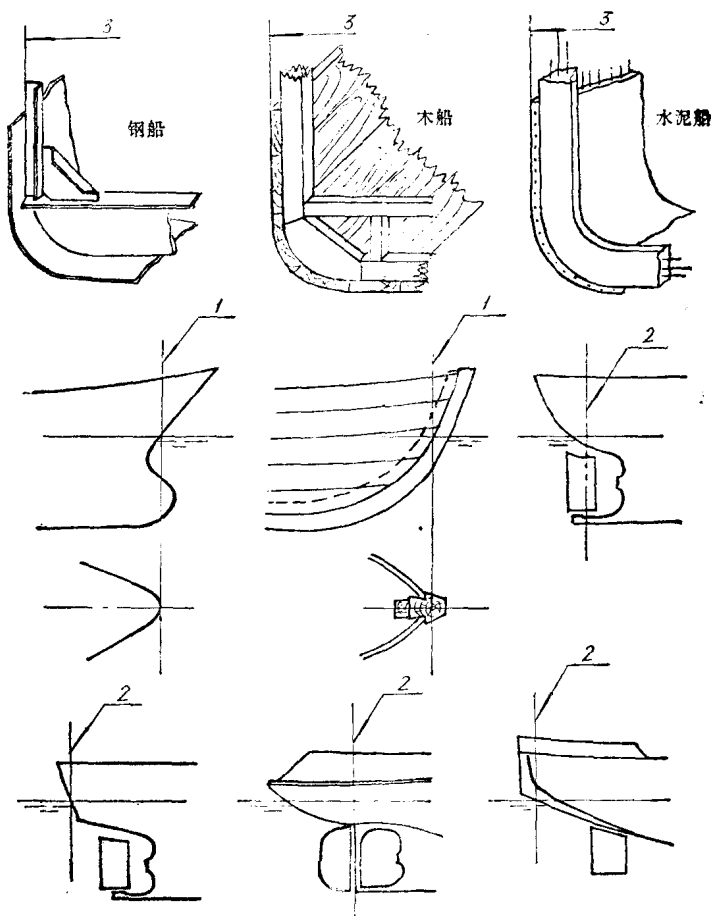


图1-3 度量基准线
1-首垂线；2-尾垂线；3-型表面

2. 首垂线

通过首柱前缘中线与设计水线的交点所作垂直于水平面的垂线。

3. 尾垂线

通过尾柱后缘中线与设计水线的交点所作垂直于水平面的垂线。巡洋舰尾的船，则以舵杆的中心线作尾垂线。

二、船体主要尺度

在中纵剖面、中横剖面和设计水线面上表达出来的某些尺度称船体主要尺度（图1-4）。

1. 船长 L

通常表达船长有三种量度，即总长、垂线间长和设计水线长。一般指的船长 L 为设计水线长或垂线间长。在军用船设计中均取设计水线长为船长。在船舶原理计算中习惯采用垂线间长为船长 L 。对各种长度的含义分述如下：

1) 总长 L_t 。船体首、尾端间的最大水平距离。亦称最大长度。内河船舶的首、尾部具有延伸甲板伸出船体外者，则以首、尾延伸甲板最外缘之间的水平距离为总长。

2) 垂线间长 L_{\perp} 。首垂线与尾垂线之间的水平距离。亦称两柱间长。垂线间长的中点用符号 ∇ 表示。

3) 设计水线长 L 。沿设计水线自首柱前缘到尾柱后缘之间的水平距离；无尾柱的船舶，指设计水线与首、尾端轮廓线交点之间的水平距离。亦称满载水线长 L_{ms} 。

2. 船宽 B

一般指型宽，沿设计水线在中横剖面处的两舷型表面之间的水平距离。内河船和工程船等还有表达最大船宽的量度。

最大船宽 B_m ，亦称总宽，包括在船体壳板以外的护舷、或舷边延伸甲板等外缘间的最大水平距离。

3. 型深 H

在船长中部舷侧，由基线量至上甲板的甲板边线的垂直距离。亦称舷高。

4. 吃水 T

在船长中部，由设计水线量至基线的垂直距离。一般指设计吃水。船舶处于设计要求的重载或轻载情况下的吃水称满载吃水或轻载吃水。轻载吃水一般表达出船舶建造完成后的自重。

水翼船在航行时吃水浅，停泊时吃水深，故要表达航行吃水和停泊吃水两种吃水状态。

如船底为倾斜龙骨，或某些类型的船其舵、螺旋桨、水翼等附属体伸出龙骨之下，通常须表达以下几种吃水：

1) 首吃水 T_s 。沿首垂线自设计水线量到龙骨上缘延长线之间的垂直距离。

2) 尾吃水 T_w 。沿尾垂线自设计水线量到龙骨上缘延长线之间的垂直距离。

3) 最大吃水 T_z 。指设计水线量到龙骨下缘之间的最大垂直距离。对上述具有附属体伸出龙骨下的船，最大吃水须量至该附属体的最下缘。

具有首、尾纵倾的船，沿船长中点位置附近为平均吃水 T_p 。

5. 干舷 F

通常指设计水线量至船中位置的甲板边缘间的最小垂直距离。亦指设计水线以上的舷高。通常近首、尾端的干舷较高，这是由于自甲板中部边线分别向首、尾端按一定的曲率上

翘。这种高出型深的曲线，其高度差所表达的垂直距离称**舷弧**。在首尾垂线与舷弧曲线的交点处，所作距船中甲板边线的垂直距离，分别称**首舷弧**和**尾舷弧**，各以符号 h_s 和 h_w 表示。

甲板在横剖面方向，中部拱起，成抛物线形分向左右舷逐渐地对称下降。中横剖面处甲板中部距边线的垂直距离称**梁拱**。通常规定梁拱的高度取船宽的 $\frac{1}{50}$ 。梁拱以符号 h_0 表示。

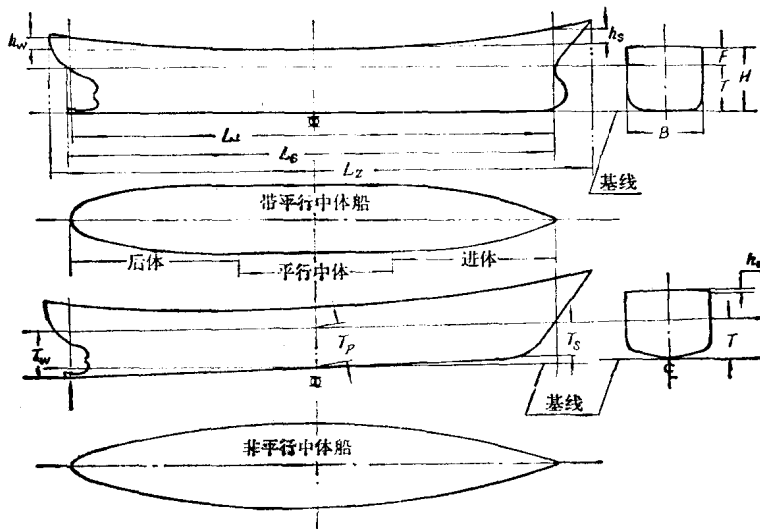


图1-4 船体主要尺度

三、主要尺度比

主要尺度比的作用是表征船体主要尺度间的关系，在一定程度上表达了船舶的航海性能，现简要介绍几种相关的尺度比。

所取船长 L 为垂线间长或设计水线长。

1. 长宽比 L/B

为船长与船宽的比值。此值与船舶的速航性有关。比值大，则船身瘦长，瘦长的船所受水阻力小，船就快速。故通常高速船的长宽比值均较大。

双体船型更瘦长，它的长宽比较具有同样船长和排水体积的单体船为大。如英国某海峡单体客船和双体客船的垂线间长均为107米，吃水尺度相近，总的排水体积均为3400米³以上，但它们的长宽比各不同。

$$\text{单体船 } L/B = 7.5$$

$$\text{双体船 } L/b = 15.5$$

2. 型深吃水比 H/T

为船的型深与设计吃水的比值。此值与船的稳性、抗沉性等有关。比值大，则干舷高，相应抗沉性就好；比值过大，增加了受风面积，反而对稳性不利；也增加了不适当的结构重量。

3. 船宽吃水比 B/T

为船的型宽与设计吃水的比值。此值与船的稳性、速航性和航向稳定性有关。比值大，则稳性好；比值过大，既增大水阻力，影响船的快速；又使船的横摇增剧；同时，使船的长宽比变小，并影响到船的航向稳定性。

4. 船长吃水比 L/T

此值与船在航行时的回转性有关。比值小，则船身短小，航行时转动灵敏，但又与航向稳定性有矛盾。故选用比值时，要从全面考虑。

上述船体主要尺度间的比值关系，只能比较值的大小和在一定程度上来表达船的航海性能，而未能表达船体形状及其全部性能的关系。因之，必须把选择的尺度比结合船形的肥瘦程度来考虑。就是选择尺度比，既有普遍性，也有特殊性，要作具体分析，从全面研究。

第四节 船型系数

所谓船型系数，就是表征船体水下部分的形状和肥瘦程度的无因次系数。即应用无尺度的系数，把船体的水线面积、中横剖面面积和浸水体积与简单的平面和立体的几何形状相比较。同类船的船型系数一般变化不大。不同类型的船，如货船与方驳船，高速客船与货船，若它们的主要尺度相等，而其重量和特征相差大，所以还必须通过船型系数来表征船体的浸水型线特性。船型系数主要有以下五种（图1-5）：

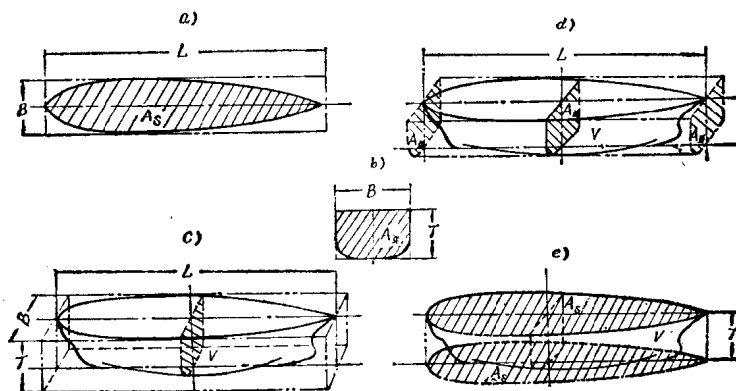


图1-5 船型系数

1. 设计水线面系数 α

为设计水线面面积 A_s 与长方形几何面积 LB 的比值。见图1-5a)所示。

此系数的大小，表达出设计水线面两端的尖削程度，它与船的速航性和稳性有关。客船较瘦，两端比较尖削， α 值较小；双体客船的片体设计水线面系数 α 值更小。货船、油船的首、尾两端较丰满，其 α 值就比较大。

$$\alpha = \frac{A_s}{LB} \quad (1-1)$$

2. 中横剖面系数 β

为设计水线下的中横剖面面积 A_m 与长方形几何面积 BT 的比值。见图1-5b)所示。

此系数的大小，表达出中横剖面的丰满程度。通常大型货船的中横剖面较丰满，其 β 值较大。河船的 β 值一般较海船大，而快速船舶、渔船等的 β 值则比较小。

$$\beta = \frac{A_m}{BT} \quad (1-2)$$

3. 排水体积系数 δ

亦称方形系数，为设计水线下的船体浸水体积 V 与长方形几何体积 LBT 的比值。见图1-5c)所示。

此系数的大小影响到速航性。内河船因吃水受限制，一般 δ 值均较大，相应阻力也增大，故影响到速航性；海船的 δ 值一般较河船小。不论海、河船，快速船的 δ 值一定小于慢速船，若增加其 δ 值，将使阻力较快增加。一般情况下，方驳船的 δ 值最大，货船次之，客船又次之，快艇则最小。

$$\delta = \frac{V}{LBT} \quad (1-3)$$

4. 棱形系数 φ

一般指纵向的棱形系数。在设计水线下，船体浸水体积 V 与以中横剖面形状所作棱柱形体积 $A_m L$ 的比值。见图1-5d)所示。

此系数的大小，对船的速航性和适航性有关。它表达出船舶水下形状沿船长方向变化的情况。 φ 值大，说明船舶水下形状沿船长分布得均匀； φ 值小，则说明其中部丰满两端瘦削。通常， φ 值不宜过大， φ 值过大时，水阻力增大； φ 值也不宜过小， φ 值过小时，型线突变的肩部会产生肩浪。

$$\varphi = \frac{V}{LA_m} \quad (1-4)$$

由上式导出棱形系数的关系式：

$$\varphi = \frac{V}{LA_m} = \frac{LBT\delta}{LBT\beta} = \frac{\delta}{\beta} \quad (1-5)$$

5. 竖向棱形系数 χ

在设计水线下，船体浸水体积 V 与以设计水线面形状所作棱柱形体积 $A_s T$ 的比值。见图1-5e)所示。

此系数表达出船舶水下形状沿吃水方向变化的情况。 χ 值越大，说明两舷越近于垂直，相应船底趋近于平坦；同时船的浮力作用点越低，它与 χ 值的大小成反比。

$$\chi = \frac{V}{A_s T} \quad (1-6)$$

由上式导出竖向棱形系数的关系式：

$$\chi = \frac{V}{A_s T} = \frac{LBT\delta}{LB\alpha T} = \frac{\delta}{\alpha} \quad (1-7)$$

从上述船型系数的介绍，说明船型系数能更好的表达出船体水下部分的形状沿船长变化的情况，它直接影响到船的航海性能。所以，船型系数在船舶原理中是很重要的数值。某一类型船舶的主要尺度比值和船型系数只在一定的范围内变动。我们选用系数值是按特定船舶的用途、性能和速度等因素作多方面考虑得出的。现将国内外对各种类型船舶的尺度比值和船型系数的大致范围列于表1-1供参考。

例一：我国某海洋客货船进厂修理，由于某项改装工程的需要，需了解其水下部分体

各类船舶主要尺度比和船型系数值

表1-1

| 船舶类型 | 主要尺度比值 | | | 船型系数 | | | |
|-------|----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | L/B | B/T | H/T | α | β | δ | φ |
| 海洋货船 | 6.0~8.0 | 2.0~2.6 | 1.1~1.5 | 0.80~0.86 | 0.95~0.98 | 0.68~0.78 | 0.62~0.82 |
| 海洋客船 | 8.0~10.0 | 2.4~2.8 | 1.6~1.8 | 0.75~0.82 | 0.95~0.96 | 0.57~0.72 | 0.64~0.77 |
| 沿海客货船 | 6.0~8.5 | 2.7~3.8 | 1.5~2.0 | 0.70~0.80 | 0.85~0.96 | 0.50~0.68 | 0.57~0.74 |
| 大型油船 | 7.0~8.0 | 2.2~2.5 | 1.2~1.6 | 0.82~0.88 | 0.98~0.99 | 0.75~0.80 | 0.70~0.84 |
| 内河油船 | 4.7~8.2 | 3.6~5.5 | 1.3~1.5 | 0.76~0.92 | 0.95~0.99 | 0.61~0.82 | 0.64~0.82 |
| 内河客船 | 6.5~10.0 | 2.8~7.5 | 2.0~3.0 | 0.78~0.87 | 0.98~0.99 | 0.50~0.89 | 0.56~0.67 |
| 内河货船 | 6.0~9.0 | 2.4~5.0 | 1.4~2.0 | 0.84~0.89 | 0.93~0.99 | 0.65~0.85 | 0.60~0.84 |
| 双体客船 | 7.0~15.0 | 1.4~4.5 | 1.3~3.0 | | 0.85~0.95 | 0.45~0.65 | 0.55~0.68 |
| 拖船 | 3.0~6.5 | 2.0~2.7 | 1.2~1.6 | 0.72~0.80 | 0.79~0.90 | 0.46~0.60 | 0.57~0.68 |
| 驳船 | 5.2~8.2 | 4.0~7.0 | 1.1~1.6 | 0.48~0.88 | 0.96~1.00 | 0.75~0.90 | |
| 机动驳船 | 4.2~5.9 | 4.6~8.0 | 1.2~1.7 | 0.74~0.88 | 0.90~0.98 | 0.63~0.74 | |
| 渔船 | 5.0~6.0 | 2.0~2.4 | 1.1~1.3 | 0.76~0.82 | 0.77~0.83 | 0.50~0.62 | 0.58~0.70 |

积、中横剖面面积和棱形系数。已知：船长 $L = 124$ 米；型宽 $B = 17.6$ 米；吃水 $T = 6$ 米；中横剖面系数 $\beta = 0.95$ ；方形系数 $\delta = 0.57$ 。

提示：已知给定的系数 β 和 δ ，利用式 (1-2) 和 (1-3) 移项即得所求体积和面积，然后按式 (1-4) 或式 (1-5) 求棱形系数。

解：(1) 水下部分体积 $V = LBT\delta$

$$\therefore V = 124 \times 17.6 \times 6 \times 0.57 = 7463.81 \text{米}^3$$

(2) 中横剖面面积 $A_{\text{中}} = BT\beta$

$$\therefore A_{\text{中}} = 17.6 \times 6 \times 0.95 = 100.32 \text{米}^2$$

$$(3) \text{棱形系数 } \varphi = \frac{V}{LA_{\text{中}}} = \frac{\delta}{\beta}$$

$$\therefore \varphi = \frac{0.57}{0.95} = 0.60$$

例二：某港消防船的水下体积 $V = 370 \text{米}^3$ ；长宽比 $L/B = 4.1$ ；船宽吃水比 $B/T = 2.7$ ；中横剖面系数 $\beta = 0.78$ ；棱形系数 $\varphi = 0.63$ ；竖向棱形系数 $\chi = 0.64$ 。从以上已知数据计算下列各值：(1) 船长 L ；(2) 船宽 B ；(3) 吃水 T ；(4) 水线面积系数 α ；(5) 方形系数 δ ；(6) 所求吃水 T 的水线面积 A_s 。

提示：按上例已知数据，要算出要求的主要尺度、两个系数和水线面积。这与方形系数公式 (1-3) 和两系数的关系式 (1-5)、(1-7) 有关，首先应从求船宽 B 着手，第一步先求 δ 值和 α 值，第二步以相关值代入 (1-3) 和 (1-1) 式即得。

解：(1) 求方形系数 δ

$$\text{由于 } \varphi = \frac{\delta}{\beta} \text{ 得 } \delta = \varphi\beta$$

$$\therefore \text{方形系数 } \delta = 0.63 \times 0.78 = 0.49$$

(2) 以 δ 值代入关系式 (1-7) 求 α

$$\text{由于 } \chi = \frac{\delta}{\alpha} \text{ 得 } \alpha = \frac{\delta}{\chi}$$