

高等學校交流講義

船舶原理

武汉水运工程学院 編



人民交通出版社

高等學校交流講義

船舶原理

(船機製造與修理專業用)
(河船和海船輪機管理)

武漢水運工程學院 編

人民交通出版社

目 录

緒論

第一篇 船舶靜力学

第一章 船体几何及近似算法.....	10
§ 1-1 船体主要尺度及系数.....	10
§ 1-2 綫型图、型值表.....	15
§ 1-3 数值积分法及其在船体計算上的应用.....	19
§ 1-4 用梯形法求积分曲綫.....	26
第二章 船舶的浮态.....	31
§ 2-1 船舶浮态的标志、决定浮态的方法.....	31
§ 2-2 小傾角复原力矩、稳心公式、稳心、稳性、 及稳性系数.....	40
§ 2-3 稳心公式应用举例.....	48
§ 2-4 靜水性能曲綫.....	56
第三章 稳性.....	58
§ 3-1 大角横傾的复原力矩、靜稳性曲綫.....	58
§ 3-2 动力作用下的大角傾側.....	64
§ 3-3 稳性标准.....	72
第四章 抗沉性.....	77
§ 4-1 抗沉性的基本概念.....	77
§ 4-2 水密横艙壁的分布.....	78

第二篇 船舶动力学

第五章 船舶阻力.....	82
---------------	----

§ 5-1	基本概念	82
§ 5-2	相似条件、阻力系数	85
§ 5-3	主体水阻力各组成的部分	91
§ 5-4	用模型試驗結果推算实船阻力的方法	111
§ 5-5	附加阻力	115
§ 5-6	阻力近似估算	118
§ 5-7	外界条件对阻力的影响	137
第六章 船舶推进		150
§ 6-1	推进器的功用, 船舶推进中的能量轉化过程	150
§ 6-2	船舶推进器的分类及描述	154
§ 6-3	理想推进器	170
§ 6-4	螺旋桨几何及制图	176
§ 6-5	螺旋桨工作原理	187
§ 6-6	螺旋桨試驗, 試驗图谱及其用法	192
§ 6-7	螺旋桨与船体間的相互影响	209
§ 6-8	气蝕現象	218
§ 6-9	船体—螺旋桨—主机的平衡配合問題	225
§ 6-10	螺旋桨設計問題	230
§ 6-11	螺旋桨强度計算	235
§ 6-12	提高螺旋桨工作效能的方法	242
§ 6-13	可变节距螺旋桨	252
§ 6-14	明輪設計問題	260
第七章 船舶操縱		267
§ 7-1	基本概念	267
§ 7-2	船舶的迴旋运动	270
§ 7-3	迴旋时的横傾	278
§ 7-4	舵力、舵力矩的发生及影响因素	281
§ 7-5	船用舵的計算	293
§ 7-6	改善操縱性能的一些方法	300

第八章 船舶搖擺·····	303
§ 8-1 基本概念·····	303
§ 8-2 靜水無阻橫搖·····	305
§ 8-3 靜水有阻橫搖·····	310
§ 8-4 在波浪中的橫搖·····	313
§ 8-5 減搖裝置·····	322

第三篇 船體強度與結構

第九章 船體強度·····	330
§ 9-1 基本概念·····	330
§ 9-2 船舶的總縱彎曲·····	333
§ 9-3 總縱強度的核算·····	335
§ 9-4 標準總縱強度·····	338
§ 9-5 船舶檢驗局和船舶建造規範·····	339
第十章 鋼質船體的結構·····	340
§10-1 基本概念·····	340
§10-2 船底骨架·····	342
§10-3 船側骨架·····	349
§10-4 甲板骨架·····	351
§10-5 船殼板和甲板板·····	354
§10-6 艙壁結構·····	358
§10-7 首尾結構·····	361
§10-8 主機與鍋爐座結構·····	366
§10-9 軸隧·····	368
附錄·····	369

緒 論

船舶是一种漂浮于水上的建筑物。就民用船舶而言，它担负着载运客货的任务，或从事有关水上客货运输的辅助工作。为了能胜任其所负担的任务，船舶应具有相应的性能。概括起来，船舶性能可区分为两大类——营运性能和航行性能。属于营运性能的标志有：载重量、载货容积、速度、续航距离、强度和刚性等等；属于航行性能的有：漂浮性、稳性、抗沉性、快速性、摇摆的平稳性、操纵性等等。

船舶原理的研究对象是船舶的航行性能。

由于船舶是一种漂浮于水上的建筑物，这就要求它具有漂浮性、稳性和抗沉性。这些性能是陆上建筑物所无需具备的。

漂浮性是指装载一定重量后仍能漂浮于一定位置的能力。研究漂浮性有两个方面：一是选择船舶的尺度和半满度以保证有一定的漂浮能力；另一方面是决定给定船舶在各种装载状态下的平衡位置——浮态。前者是船舶设计师所关心的，而后者则为船舶使用者所经常关心的问题。例如：装载货物后船舶吃水是否为港口、航道水深所容许；干舷是否足够；修船时如何能达到指定的纵倾等等。

稳性是指船舶能抵抗一定的外力矩作用不致倾侧到危险倾角而导致倾复的能力。显然，这是保证水上建筑物的安全性所必需具备的一种性能。按倾角的大小可将稳性区分为初稳性和大角稳性。初稳性是讨论小倾角范围内抵抗外界倾侧力矩的能力的。它本来不足以作为船舶安全与否的最终判断，但一方面由于其计算方法简单，另一方面由于它也可在一定程度上标志着船舶的稳性，此外在决定浮态问题上还必需应用它的结果，所以在一般著作中均将它与大角稳性分别处理。

抗沉性是指船舶遭遇海損而进水后仍能保持漂浮和相当的稳性的能力。从实际工作来看，这也是保证水上建筑物的安全所必需具备的性能。但从研究这一性能的方法的实质来看，它不过是船舶在特种情况下（破舱进水情况下）的漂浮性和稳性问题。

以上三种性能是根据船体上的静力作用来进行研究的，所以统称为船舶静力学问题。

船舶作为一种运输工具，就要求具有快速性、操纵性和摇摆平稳性。

快速性是指船舶在一定的功率供给下能获得相应的相对于水的速度的能力。船舶作为一种运输工具，是十分需要加速其生产过程，缩短其生产周期的。船舶快速性的研究包括两个方面：一个方面是研究船舶航驶所遭遇的阻力，另一个方面是研究产生推力以克服阻力的设备——推进器。研究阻力的目的在于掌握阻力变化的规律，从而改善船型，降低其所遭遇的阻力；研究推进器的目的在于设计出符合给定要求的高效率的推进器。

操纵性是指船舶在驾驶员的操纵下能改变航向或保持其航向的能力。研究操纵性的目的在于使所设计的船舶能迅速准确地反应驾驶员的意图。这里，研究的对象包括两个方面，即：船舶本身和保证操纵性的设备——舵。

摇摆平稳性是指船舶在不利的天文条件下仍能不产生过于急剧的摇摆的能力。船舶的摇摆不论对于船体结构和船员旅客的生理作用，以及其他的航行性能都是不利的。研究摇摆平稳性的目的在于掌握其规律，采取措施以减缓船舶的摇摆。

快速性、操纵性以及摇摆平稳性都是属于船舶的运动状态的，所以称之为船舶的动力学。

船舶静力学的基本原理——静水力学定律早在二千年以前已为阿基米德所提出，但一直没有被实际应用到船舶建造方面，甚至到中世纪时造船经验已经达到了相当完善的程度还没有船舶原理这门科学。仅在十七世纪末叶，以现代高等数学为基础的数学分析方法引起了数学、力学及其他科学的巨大进展，这才推动了

船舶原理作為一門科學的創立，應用了其他科學的成果，總結了船舶建造的實踐經驗。1749年彼得堡科學院院士歐拉所著的“船舶科學”一書的出版標誌着船舶原理作為一門科學的開始。此後在這一方面出現了一些更進一步的著作。到十九世紀中葉已經可以說在船舶靜力學方面的基本問題在很大程度內被研究過了。這個時期也是在船舶原理中應用近似計算方法有決定意義的轉折點。蘇聯克雷洛夫院士在這個領域內的工作具有重大的意義，他全面地研究了穩性的許多問題，並制定了實用上很方便的計算方案。

輪船的發明、應用鋼鐵製造船體、利用蒸汽機作為動力、採用明輪及螺旋槳代替風帆作為推進器等，都促進了人們努力去創造新型船舶，且對船舶原理提出一系列的新問題，其中主要是快速性問題。但一直到現在，由於所研究的現象的複雜性與研究時所引起的數學上的困難，船舶動力學還遠不及船舶靜力學研究得完善。

由於在經典流體力學中，為了避免數學上的困難所作的一些假定與實際現象之間存在着相當的差別，所以船舶動力學一直到現在仍以試驗研究為主。1870年佛魯德創設了第一個船模試驗池，應用牛頓力學相似定律借助船模試驗來推測實船阻力，佛魯德在試驗池內所作的平板摩擦阻力試驗和他的換算方法，曾經長期成為決定船舶阻力的主要資料。其後各國都先後建立了船池，除了測定阻力外並進行了船型系列試驗，探索設計優良船型的規律。

十九世紀和廿世紀之交，出現了儒哥夫斯基和米契爾等的有關興波阻力理論的著作，這些著作成為船舶興波阻力近代理論的基礎。十月革命以後蘇聯學者斯列金斯基、柯欽等在這方面發展了儒哥夫斯基和米契爾的興波理論，巴甫連柯並擬定了按已知綫型計算興波阻力的方法，他還解決了深水中最小興波阻力問題。

在推進器理論方面，早在1778年時，歐拉就研究過槳的理論。1865年蘭金也發表過動量理論，但直到1912~1918年儒哥夫

斯基發展了他自己的著名的螺旋槳渦旋理論后才奠定了螺旋槳近代理論的基礎。與此同時，隨著試驗技術的發展，對螺旋槳也進行了大量的試驗研究，積累了大量的經驗，可以作為挑選優良推進器的依據。

歐拉曾經頗為詳細地討論了船舶靜水橫搖問題，其後彼得堡科學院院士伯諾里對此作了進一步的發展，創立了波浪中搖擺的理論，由於當時還沒有出現波浪理論，因而伯諾里的研究雖然得出了重要結果（如確定了共振現象），但卻導出了錯誤的結論。上世紀70年代佛魯德改正了伯諾里的錯誤，並發展了波浪中搖擺的理論。但是佛魯德的理論也存在着嚴重缺點，這是因為他沒有考慮到船體尺度的影響。俄羅斯數學力學家、造船學家克雷洛夫創造了在波浪中搖擺的一般理論，奠定了俄羅斯學者在這個研究領域內的第一流地位。

船舶操縱性這一部分由於現象的複雜性及數學上的困難，目前的成就多半在於試驗結果的積累，在理論探索方面還必需進一步努力，以便使之適應於近代船舶的要求。蘇聯學者們（巴生、拉弗侖契也夫等）在這方面的工作是值得注意的，他們已經取得了顯著的成就。

我國在解放前反動統治下是談不上有組織有計劃地進行船舶原理的研究的。解放後在黨的領導下，在1950年開始籌建船模試驗池，這個水池的全部工程，包括一切精密電子控制及測量儀表都是我國自行設計和製造的。水池投入使用的後又陸續建成了氣蝕試驗水筒、露天試驗水池等，幾年來對我國沿海船、內河客貨船、漁船等船型的研究都起了一定的作用。例如僅就某七種船舶綫型改進來說，平均提高效率達6.93%。這七種船舶總功率約一萬馬力，因而每年節約燃料費用即約達十一萬元。

船體結構是船舶一切航行性能賴以存在的物質基礎。它提供了載貨空間及工作場所；它承受着載貨重量及水壓力，保證了船體一定的排水體積和形狀，從而保證了漂浮性以及其它一切性能。

船体結構必需在所受各种正常負荷作用下不致损坏。船体結構具有此种能力謂之有足够强度。

从經濟观点看，船体結構应具有尽可能輕的重量，从而可以减少造船材料的用量和建造工时，可以在一定排水量下提供更大的載重能力，或在一定載重量要求下可以縮小船体体积以便有利于阻力的降低。研究采用何种結構形式及构件尺寸既能保証足够强度又能获致最小重量乃是船舶結構力学的課題。

远在結構力学形成一門科学以前，劳动人民从丰富的实践經驗中已經創造了合适的結構形式，早期木船的橫骨架結構形式一直沿用到初期的鉄船，甚至近代的小型船舶仍基本上采用着这种形式。

造船材料以鋼鉄代替木材是船舶建造史上的一次巨大变革。木材作为造船材料的最大弱点是連接强度不够，妨碍了木材机械性能及物理性能的充分發揮，从而妨碍了船舶縱向尺度的增大，不能滿足人們对大型船舶日益增长的需要。以鋼鉄代替木材不仅消除了船舶发展中的这一障碍，而且孕育着結構形式进一步发展成为縱骨架式及按板架的不同任务采用不同骨架式的可能。当然，这种結構形式上的发展也是与人們的結構力学的知識日益丰富分不开的

第二次世界大战前后，在船舶建造工艺中广泛地以焊接代替了鉚接，这又掀起了船体結構中第二次巨大变革。省去了許多仅起着連接功用而在强度方面作用不大的构件，构件的材料分布也更趋合理。

我国造船业有悠久的历史。相传在距今4600多年前的黃帝时代，便已发明了舟船。秦汉以来，更有所发展。嗣后逐渐改进，并出現了結構优良的，能航行大洋的帆船，为世界所称譽。例如，明史宦官传就曾記載郑和下西洋的情况：“明永乐三年(公元1405)六月，命郑和及王景弘等通使西洋……造大船，修四十四丈，广十八丈者六十二……以次通历諸番国”。說明我国当时的造船业及航海业是极为发达的。但是，由于历代反动統治階級的

腐敗統治，特別是帝國主義、封建勢力及官僚資本對中國的殘酷壓迫與剝削，嚴重地束縛了造船生產的發展，使造船工業長期地停留在落後狀態，以致解放前的船舶產量很少，而且建造的船舶基本上還是採用鉚接結構，採用落後的生產方法。

解放後，造船業在黨的領導下，開始按照近代化艦船的技术要求，進行了全面的技術改造，開展了規模較大的基本建設工作，裝備了近代化的機械設備，採用了先進的建造工藝，從而基本上扭轉了技術落後的面貌，大大地提高了船舶生產能力，保證了第一個五年計劃所規定的船舶建造任務的提前完成，使得解放後十年中我國船舶工業的總產量，比舊中國一百年的船舶總產量增加一倍以上。

隨著總產量的迅速增長，船舶產品的品種也有了很大增加。解放初期僅能建造簡單的內河拖輪和駁船，目前已能為國民經濟各個用船部門及國防建設提供各種大型的、技術要求複雜的船舶。例如，建造了各種噸位的客船、貨船、駁船；各種馬力的拖輪以及供整治航道、勘測調查、科學研究等用的技術要求複雜的專門船舶。此外，並開始建造萬噸級的遠洋貨輪，這一成就標誌了我國造船業的巨大進步。

在1958年的大躍進中，造船業的職工在黨的社會主義建設總路綫的光輝照耀下，破除迷信，解放思想，大膽革新創造，制成了許多新型產品，使造船業的面貌又較前几年起了更大變化，並為今后的巨大發展打下了強有力的基礎。

我國解放後短短十多年內在造船業方面的飛躍成就，雄辯地證明了這是黨的路綫、方針的勝利。今後在黨的正確領導下，在三面紅旗的光輝照耀下，造船業必將繼續取得巨大的躍進！

第一篇 船舶静力学

第一章 船体几何及近似算法

§ 1-1 船体主要尺度及系数

船舶的大小决定于船体的主要尺度。在进行船舶原理的计算时通常将主要尺度区分为：长度，宽度，型深，型吃水。在叙述这些尺度的定义以前，先说明一些有关的名词。

所谓满载水线是指船舶在正常载重情况下的水面与船壳的交线，通常以 LWL 表示。首垂线则是指通过满载水线与首柱前侧的交点所作的铅垂线，如图 1-1a 所示。对于具有尾柱的船舶，尾垂线是指通过尾柱后侧与满载水线的交点所作的铅垂线，如图 1-1b 当船舶无尾柱时，则以通过舵杆中心线与满载水线的交点所作的铅垂线作为尾垂线，如图 1-1c 所示。

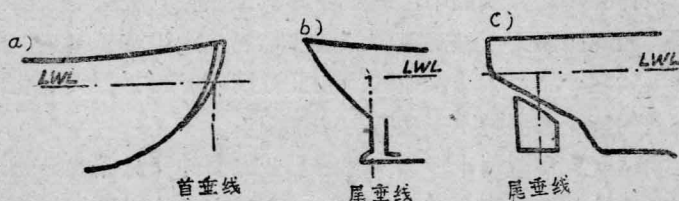


图 1-1

船长具有很多不同的定义。在船舶原理中最常用到的是垂线间长度 L_{bp} ，它表示首、尾垂线间最短距离。满载水线长度则表示在满载水线处船舶的最大长度，一般以 L_{LWL} 表示。而总长则表示为船体沿长度上两最远点之间的距离，以符号 L_{OA} 表示。图 1-2 所示即为按各不同长度定义所得的船长。由于垂线间长度应

用最多，故如不作特別說明，一般称为“船长”的，或以符号 L 表示的均指垂綫間长度。

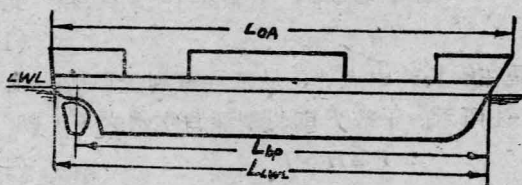


图 1-2

寬度 B 表示平行于中央縱剖面，在船壳二側內表面，位于滿載水綫的二切綫間的最短距离，如图1-3a所示。此即船舶在滿載水綫处，不包括壳板厚度的最大寬度，故又称为型寬。对一般民用船舶，此最大寬度通常处于船长中点。

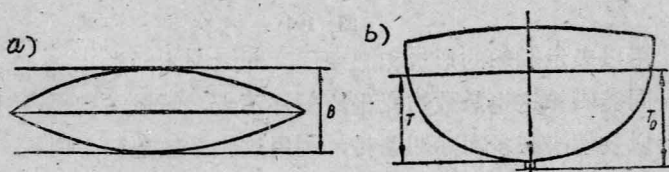


图 1-3

型吃水 T 是指基面与滿載水綫平面間的最短距离，即从龙骨內緣量到滿載水綫的垂直高度，如图1-3b所示。但对于实际使用船舶者而言，更感兴趣的是包括龙骨高度在內的吃水（以符号 T_0 表示）。对于具有方龙骨的船舶， T_0 与 T 之数值有相当的差别。船舶在運轉中往往有縱傾現象，这时船舶的型吃水可分为首型吃水 T_H 、尾型吃水 T_K （从对应的首、尾垂綫处量得）和平均型吃水 T_{cp} （在船长中点处量得）。它們具有如下的关系：

$$T_{cp} = \frac{T_H + T_K}{2} \quad (1-1)$$

船舶的縱傾值，通常以首尾吃水差 Δ_0 来表示，即：

$$\Delta_0 = T_H - T_K \quad (1-2)$$

若 $\Delta_0 > 0$ ，則为首縱傾；

若 $\Delta_0 < 0$ ，則为尾縱傾；

若 $\Delta_0 = 0$ ，則沒有縱傾，船舶处于正浮状态，此时：

$$T_H = T_K = T_{ep} \quad (1-3)$$

型深 H 是在船长的中点处，从基面量到上甲板边綫的垂直高度，如图 1-4 所示。干舷 F 則为型深与吃水之差，即

$$F = H - T \quad (1-4)$$

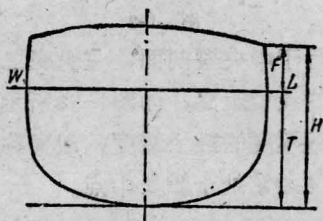


图 1-4

用以表示船舶的形状和肥瘦程度的无因次系数称为肥瘦系数。同类船舶这些系数的变化范围并不大，所以在初步設計阶段中，以及解决許多实际问题时，利用这些系数是很方便的。

水綫面面积系数 α ：是滿載水綫面积 S 与主要尺度 L 与 B 的乘积之比（图1-5），即

$$\alpha = \frac{S}{LB} \quad (1-5)$$

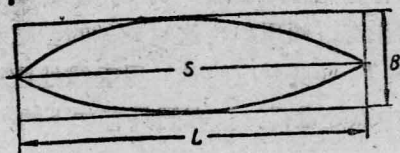


图 1-5

它說明水綫的丰满程度。一般船只在滿載时，其系数約在0.67~0.87之間。

舦断面面积系数 β ：是滿載水綫以下船長中点处的断面面积 ω_m 与主要尺度 B 与 T 的乘积之比（图1-6），即

$$\beta = \frac{\omega_m}{B T} \quad (1-6)$$

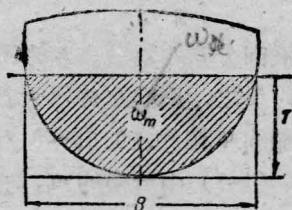


图 1-6

它說明舦断面面积的肥瘦程度。一般船舶滿載时在0.75~0.99之間，高速船数值較小，低速船数值較大。

方形系数（又称为排水量肥瘠系数） δ ：是排水体积 V 和主要尺度 B 、 L 及 T 的乘积之比（图1-7），即

$$\delta = \frac{V}{L B T} \quad (1-7)$$

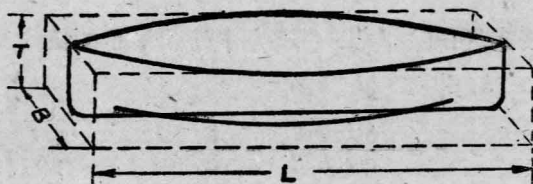


图 1-7

它表示排水体积和由 L 、 B 及 T 所組成的平行六面体体积之比。它表明着船体肥瘦的程度，一般商船在0.5~0.84之間，船舶速度愈高，則此項系数值愈小。

稜形系数 φ ：是排水体积与由 L 及 ω_m 所組成的稜柱体积之比（图1-8），即

$$\varphi = \frac{V}{\omega_m L} \quad (1-8)$$



图 1-8

它表示排水体积纵向分布的情况。棱形系数大，排水体积在纵向的分布比较均匀；反之，则排水体积大部分集中中部，而两端比较尖瘦。一般船舶的 φ 值约在 0.55~0.84 之间。

将式 (1-6) 与式 (1-7) 中所得的 ω_m 与 V 代入式 (1-8)，可得

$$\varphi = \frac{\delta L B T'}{\beta L B T} = \frac{\delta}{\beta} \quad (1-9)$$

因为 β 一般是小于 1 的，所以系数 $\delta < \varphi$ 。

如果所用之棱柱体是由 S 和 T 所组成的，则可得到竖向棱形系数 χ (图 1-9)，即

$$\chi = \frac{V}{S T} \quad (1-10)$$

同样地将式 (1-5) 与式 (1-7) 中的 S 与 V 的值代入式 (1-10) 可得

$$\chi = \frac{\delta L B T'}{\alpha L B T} = \frac{\delta}{\alpha} \quad (1-11)$$

因为 α 总是小于 1 的，所以 $\chi > \delta$ 。



图 1-9

除了上述所提出的几种系数外，在表示船体形状中尚常常采用下列比值。

船长与船宽的比值 L/B 一般在 $4 \sim 11$ 之間。 L/B 愈大，表示船舶愈瘦长；反之，則寬而短。內河船舶由于长度和吃水受到限制，因此往往使得 B 值增大， L/B 值趋向小的数值。

船寬和吃水的比值 B/T 对于海船一般在 $2 \sim 3.5$ ；內河船舶由于吃水受到限制故此数值較大，可以达到 $4 \sim 5$ ，甚至更大。

船长和型深的比值 L/H ，一般在 $10 \sim 13$ 之間。內河船舶的該項比值要較海船大些，从强度观点看， L/H 的比值不宜过大。

各类型船舶的主要尺度系数的范围可参攷表1-1所示。

表1-1

船舶类型	α	β	δ	$\frac{L}{B}$	$\frac{B}{T}$
軍 艦					
主 力 艦	0.70-0.77	0.90-1.00	0.55-0.70	5.3-8.7	2.9-4.1
巡 洋 艦	0.63-0.73	0.76-0.90	0.45-0.60	8.5-11.3	2.6-4.2
驅 逐 艦	0.63-0.73	0.75-0.86	0.44-0.53	9.2-11.9	2.5-4.1
炮艦与炮艇	0.70-0.74	0.86-0.92	0.50-0.72	3.9-9.2	2.1-3.8
商 船					
客 船	0.73-0.81	0.89-0.95	0.55-0.65	7.9-10.0	1.9-2.7
客 貨 船	0.74-0.86	0.90-0.96	0.60-0.75	7.0-9.0	2.0-2.5
貨 船	0.80-0.87	0.90-0.98	0.60-0.84	4.7-7.5	1.9-2.9
拖 船	0.68-0.83	0.75-0.84	0.40-0.60	3.0-5.5	1.8-5.0

§ 1-2 綫型图、型值表

船体水下部分的形状对船舶的航行性能起着决定性的作用。因此，为了要研究船舶的航行性能，就必须知道船体水下部分的形状。通常，船体的形状是借助于一种图形来表达的。这种图形我們称为綫型图，如图1-10所示。

与一般机械制图相同，綫型图包含着三个互相垂直的投影面。此三个互相垂直的投影面是：1)中央縱剖面，即縱向豎立的船舶对称平面，以符号 $\Delta. \Pi.$ 表示；2)舢断面，即通过船长中点