

中等专业学校教材

船舶结构与强度

吳仁元等編
胡南山审



国防工业出版社

532
3

中等专业学校教材

船舶结构与强度

吳仁元等編

胡南山审



国防工业出版社

1966

內容簡介

本書敘述了現代船舶的船體總結構和局部結構，以及它們簡單的強度計算方法。

通過本書的學習，可以熟悉船舶各部分結構之間的相互關係和選擇結構構件的基本原則與要求，初步建立結構力學和強度計算的概念。

本書主要作為中等專業學校船體製造專業學生教材，也可供造船廠工人和有關的工作人員參考。

船舶結構與強度

吳仁元等編

胡南山審

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

*

787×1092 1/16 印張 8 7/8 205 千字

1966 年 2 月第一版 1966 年 2 月第一次印刷 印數：0,001—1,500 冊

統一書號：K 15034·1083 定價：（科四）0.95 元

目 录

緒論	5
----------	---

第一部分 船舶結構

第一章 总論	7
§ 1-1 作用在船体上的力	7
§ 1-2 船体总强度和局部强度概念	9
§ 1-3 船体結構各主要构件的作用	10
§ 1-4 造船鋼材	11
第二章 船体結構的基本型式	14
§ 2-1 对船体結構的基本要求	14
§ 2-2 船体結構的基本連接型式	14
§ 2-3 船体构架的型式	16
第三章 外壳板結構	20
§ 3-1 外板的結構	20
§ 3-2 外板展开图	23
§ 3-3 舷 墙	24
第四章 底部結構	25
§ 4-1 底部构架的結構型式	25
§ 4-2 底部結構的构件	28
§ 4-3 舳龙骨	35
第五章 舷部結構	36
§ 5-1 舷部构架的結構型式	36
§ 5-2 舷部結構的构件	37
第六章 甲板与平台結構	42
§ 6-1 甲板构架的結構型式	42
§ 6-2 甲板結構的构件	44
§ 6-3 甲板开口处的加强及甲板間断处的結構	46
§ 6-4 支柱結構	47
第七章 艙壁結構	49
§ 7-1 水密艙壁的結構	49
§ 7-2 輕型艙壁的結構	52
第八章 艏艙端、艏艙柱及軸架結構	54
§ 8-1 艏艙端結構	54
§ 8-2 艏艙柱結構	56
§ 8-3 推进器軸支架和軸包架	58
第九章 上层建筑結構	60

§ 9-1 上层建筑的类型及其受力特点	60
§ 9-2 上层建筑与甲板室结构	62
第十章 主机、辅机及锅炉基座的结构	65
§ 10-1 一般概念	65
§ 10-2 主机、辅机及锅炉基座的结构	66
第十一章 钢质海船建造规范概述	70
§ 11-1 关于规范的一般概念	70
§ 11-2 底部构架	71
§ 11-3 舷部构架	74
§ 11-4 甲板构架	76
§ 11-5 外板和甲板	77

第二部分 结构力学基础与船体强度

第十二章 杆的弯曲与稳定性	79
§ 12-1 直梁的弯曲	79
§ 12-2 单跨度梁的静不定弯曲	86
§ 12-3 刚性支座上的连续多跨度梁	88
§ 12-4 工字形梁剖面的选择	92
§ 12-5 杆的稳定性	94
第十三章 板的弯曲与稳定性	97
§ 13-1 一般概念	97
§ 13-2 板的筒形弯曲	98
§ 13-3 绝对刚性板一般弯曲的计算	103
§ 13-4 板的稳定性	104
§ 13-5 板的有效宽度	107
第十四章 强度校核和许用应力	110
§ 14-1 强度校核方法	110
§ 14-2 许用应力	112
第十五章 船舶的总强度	113
§ 15-1 船体的总弯曲	113
§ 15-2 总弯曲应力的计算	116
第十六章 船舶的局部强度	122
§ 16-1 甲板和平台的强度计算	122
§ 16-2 舷部的强度计算	124
§ 16-3 底部的强度计算	125
§ 16-4 舱壁的强度计算	127
附录 I 静定梁的弯曲要素表	129
附录 II 单跨静不定梁的弯曲要素表	136

緒 論

一、造船发展簡史

我国是一个文化历史悠久的国家。历代劳动人民曾經創造出性能优良，結構坚固的各种內河船舶和海船。随着社会生产力的发展，造船技术也不断地得到提高。

木材是最早使用的造船材料；早在春秋时代（公元前770年~475年），我国的木工技术已达到相当高的水平。当时为了适应战争的需要，已能制造类型較多的舰船。有所謂大翼、小翼、突冒、楼船和桥船之分。至于将船舶作为水上运输和交通的工具，在我国則是更早以前就有了。木船結構由原始的独木舟发展到用木板和梁材組合的結構，在当时是一个很大的进步。这对合理使用材料和增大船舶的裝載量开辟了新的途徑。随着海上貿易的兴盛，船舶的尺度愈来愈大，对船体結構坚固性的要求也相应提高。

十五世紀初期，明代著名的航海家郑和率領了由200余艘舰船組成的龐大舰队出使南洋，先后作了七次远洋航行；他們的航迹遍及印度尼西亚、印度、波斯灣、紅海及非洲东部，前后达三十年之久。海洋巨風駭浪的长期考驗証明，我国的木船航行性能优良，船身非常坚固。但是由于材料的强度不均匀，并且受到自然尺度的限制，木船构件之間的连接不甚可靠，不能發揮相互的整体作用。为了保証結構的强度，不得不把构件做得特別粗大，使船身結構显得非常笨重。由于总纵强度的限制，因此木船的长度很少超过30米以上。

十八世紀产业革命后，冶金工业发展至相当水平，机械制造业已能提供輾压的熟鉄板和型材，开始出現了鉄质結構的船舶。十九世紀后半期，进一步开始采用低碳鋼来造船。此后，鋼质結構的船舶便逐渐替代了木船，而成为造船的主要材料。早期的鋼质船舶的結構，大部分仍保留了木船的結構型式，船体結構都是采用橫式构架，并有粗大的方形龙骨作为船体的主梁。

近年来，开始采用高强度鋼造船，結構构件的厚度减薄。現在較大的海洋航行的船舶已普遍地采用了纵式构架的結構型式。从木船发展到今天的鋼质船舶，船体的結構起了本质的变化。由于鋼材的結構均匀，机械性能良好，它具有彈性物体的理想性质，这就为結構力学在船舶結構的研究上創造了条件，使造船技术起了一次飞跃。

在船体的建造方面，本世紀30年代开始采用电焊造船，代替了过去铆釘造船的方法。电焊結構比铆釘結構具有极大的优越性，它使船体形成更完整和紧密的結構。由于省掉了铆釘結構中的连接角鋼和搭接板，使結構的重量大为減輕。此外，还減輕了工人的劳动强度，促使生产自动化，降低了建造成本，提高了产品的质量和产量。

二、我国造船发展概况

解放前，我国长期受到封建割据、官僚統治和帝国主义的侵略和压迫，造船事业非常落后。沿海大城市虽然有一些船厂，但都是为帝国主义和反动政府服务的，主要以修配为主，即使造出了一些新船，但造船材料和机械設備大部分还是依靠从外国进口。这些船厂的生产

水平十分低，在解放前的近百年中，船舶的总产量只有 50 余万吨，平均每年不到 6000 吨。

解放后，在中国共产党和中央人民政府正确的领导下，我国造船事业获得了新生，迅速地得到发展。在 1950 年～1952 年，三年经济恢复时期，我国造船厂建造了大批内河船舶，解决了当时军事运输和城乡物资交流的迫切需要。1953 年～1957 年第一个五年计划期间，我国建造的船舶无论在数量上或质量上都有显著的提高。这期间我国造船厂建造了许多类型的船舶，包括拖轮、客货船、货船和客轮等。这些船舶的性能优良、设备完善，船体几乎全是采用了电焊结构。这标志着我国造船工业水平的新发展。1958 年以后，又相继建造了沿海货船、万吨级远洋货船、沿海油轮、火车渡轮、渔轮、冷藏运输船和捕鲸船等。仅解放后十年中间所造的船舶总产量就比解放前一百年来的船舶总产量还要多一倍以上。这些船舶的建成，大大地提高了我国的造船技术水平，加速了社会主义建设和加强了国防力量。

我国造船工业正在以快速的步伐前进着，但是造船工业的发展，还跟不上国民经济和国防建设的需要。特别是帝国主义经常地侵犯我国的领海，进行军事挑衅，威胁着我国的安全。为了保卫社会主义祖国不受侵犯，保卫世界和平，粉碎帝国主义和一切反动派的战争阴谋，我们造船工作者正面临着十分艰巨的任务，除了要满足国民经济的需要外，我们还必须进一步以现代化的舰艇来武装我们的人民海军。

三、本课程的任务和学习方法

本课程是船体制造专业的专业课程，是理论和生产实际紧密结合的工程科学。它主要的任务是研究船体总的和局部的结构。

学好本课程，必须要掌握船体结构的受力和强度概念，熟悉船体结构的建造工艺特点。因此，我们除了要重视书本知识和作必要的练习外，更要重视实船结构的观察和调查，参加造船的生产实践。毛主席曾经指出：“读书是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习”^①。只有以这种正确的观点进行学习，我们才能真正地掌握船体结构的知识。

本课程的内容重点是叙述纵式构架和横式构架船舶的船体结构。它们都是具有代表性的典型结构，掌握了这几类船舶的结构型式，对其他类型的船舶结构就不会有多大困难。

本课程在叙述具体结构时，参照了有关船体结构设计的规定和海船建造规范。这些“规定”或“规范”，都是根据长期的造船实践和使用经验得出的，并且充分利用现代船舶结构力学的原理作为指导。“理论的基础是实践，又转过来为实践服务”^②。一切船舶结构的设计都离不开实践，因此船体的结构设计，除了要参照“规定”和“规范”外，还必须参考过去较成功的母型船结构，在此基础上再用结构力学的方法进行强度校核。在结构工艺性方面，必须要符合船厂的施工实际，深入现场，虚心向工人学习，在充分调查研究的基础上才能获得合理的结构。

“规定”和“规范”本身也是随着造船技术的发展而不断改进的。因此我们在运用它们时，必须要有正确的辩证观点，在调查研究的基础上，对具体的情况进行具体的分析，这样才能做到理论与实际相结合。

① 摘自《毛泽东选集》第一卷，人民出版社出版，1964年版，第174页。

② 摘自《毛泽东选集》第一卷，人民出版社出版，1964年版，第273页。

第一部分 船舶結構

第一章 总 論

船舶是用作完成特定任务和运输任务的水上工程建筑物。船舶从建造、下水、停泊、航行及进坞修理等全部过程中，受到各种外力的作用。研究船舶结构的目的就是使船体在这些外力的作用下，能保证船体总的和局部的结构具有足够的强度和刚度，使船体结构达到最小的重量，提高船舶营运的经济性，降低建造成本。

§ 1-1 作用在船体上的力

1. 船体在静水中的总纵弯曲

船舶在静水中受到的外力有船本身的重力及水的浮力，如图 1-1 所示。

重力包括船体的重量、机械装置、燃料、水、供应品及载货的重量，军舰还包括武备

及防护等重量。重力的方向向下，合力 P 通过舰船的重心 G 点。

浮力等于船体排开水的体积 V 与水的比重 γ 的乘积，其合力通过浮心 C 。

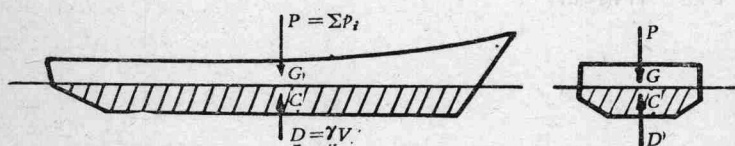


图1-1 船体在静水中力的平衡

重力与浮力总的来讲在静水中是处于平衡的，但如果设想将船体分为数段，并且假设段与段之间可以上下自由移动，那末各段将会发生向上或向下的变动。这是因为每段上作用的重力与浮力并不相等，现在若将段与段之间的约束解除，各段为了重新取得平衡，必然会产生上下的移动，直到取得静力平衡为止，

如图 1-2 所示。

事实上船体是一个整体的结构，当然不可能产生如图 1-2 所示的那种变动，现在不让它们变动，在船体内部就会有内力产生。

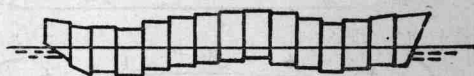


图1-2 船体变形的趋势

船体各段重力与浮力的不平衡是因为重量分布的规律与浮力分布的规律不一致造成的。通常重量的分布是不规则的，而浮力的分布是按照船体浸水部分的形状决定的，它是有规律的。

各段上重力与浮力的差值即为作用在船体上的载荷。如果将船体当作一根梁来看，那末它就会产生弯曲变形，在船体内部也会产生内力，即剪力和弯矩。这个原理与材料力学中横梁的弯曲是一样的。图 1-3 所示就是把船体作为梁弯曲计算所得到的剪力曲线和弯矩曲线图。

船体的弯矩曲线和剪力曲线的特点为：船体两端的剪力与弯矩为零，这是因为船体两端是没有约束的，相当于完全自由端。

弯矩最大值在船体长度的中央部分，该处的剪力为零。

剪力最大值在船体长度方向距两端约 $\frac{1}{4}$ 船长处。

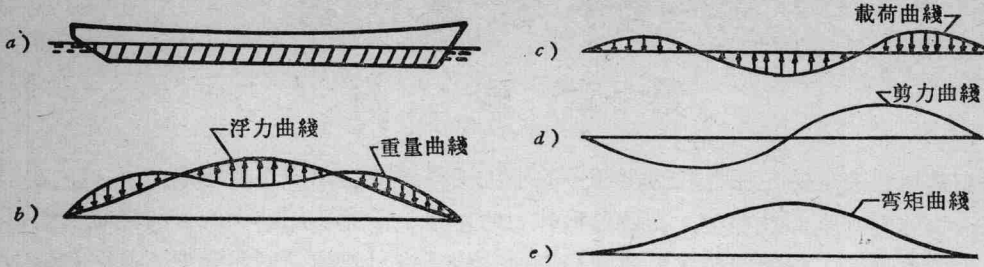


图1-3 弯矩曲线和剪力曲线

2. 船体在波浪中的受力

船舶实际上大部分时间是航行于波浪状况下的。船舶在波浪状况下产生的剪力和弯矩较静水状况下为大，此外由于波浪的动水力作用，会使船舶发生摇摆，并产生惯性力作用。下面简要地叙述船体在波浪上受力的特点。

(1) 船体在波浪中的弯曲

波浪与船长的相对关系有下述三种情况：

- a. 波长大于船长；
- b. 波长小于船长；
- c. 波长等于船长。

以上三种情况中以波长等于船长对船体最为不利，船体的弯曲最为严重。当波峰在船舳时，会使船体中部向上弯曲，称为中拱弯曲。当波谷在船舳时，会使船体中部向下弯曲，称为中垂弯曲。中拱弯曲时船体的甲板受拉伸，底部受压缩，中垂弯曲时船体的甲板受压缩，底部受拉伸，如图 1-4 所示。

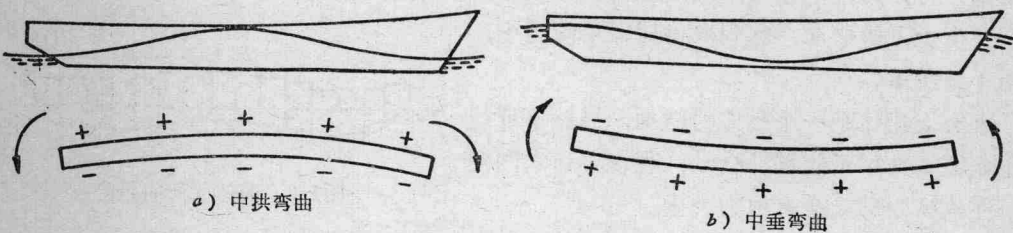


图1-4 船体的中拱和中垂弯曲

中拱弯曲和中垂弯曲产生的总纵弯矩可达到很大的数值。因此在船体总强度计算时，必须考虑到中拱和中垂两种情况。

(2) 船体在波浪中摇摆时所受到的力

船舶的摇摆有三种基本形式：

- a. 垂向的升降运动；

- b. 纵向的俯仰运动;
- c. 横向的摇摆运动。

第一和第二两种情况,对船体的纵向弯曲是有影响的,但与波浪情况下的弯矩数值相差不大,一般可以不予考虑。

第三种情况,船体在波浪上横摇时会引起肋骨的歪斜和船体的扭曲。这是因为在横摇时产生了惯性力,船体的上部向一方歪斜,而下部向另一方歪斜,这样便造成船体肋骨的歪斜和船体的扭曲如图 1-5 所示。

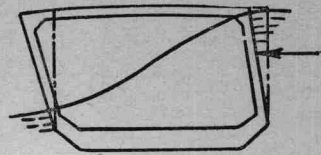


图1-5 船体肋骨框架的歪斜

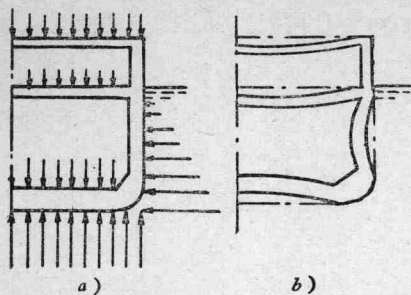


图1-6 船体的横向变形

此外舰船上还受到机器的振动力,发射火炮时的反作用力及爆炸物的冲击波等局部的作用力。

3. 船体在其他情况下的受力

船体除了在静水及波浪中的受力外,还会在下水,进坞等受力不均的情况下产生总弯曲。特别是在进坞时,由于船体的重量及龙骨墩木的反力作用,会使船体产生严重的横向弯曲。

4. 船体的局部受力

船体的局部弯曲是相对于船体的总弯曲而言的,船体在静水或波浪中除了产生总弯曲之外,它的各部分板架受到横向的局部水压力或重物的作用也会同时产生局部的弯曲,如图 1-6 所示。

§ 1-2 船体总强度和局部强度概念

作用在船体上的力虽然是多种多样的,但从船体的强度观点来看,总的可以归纳为三种情况,即:船体的总纵强度,总横强度和局部强度,因此要保证船体有足够的坚固性就必须满足这三方面的强度要求。

1. 船体的总纵强度

船舶在下水、进坞和航行过程中都会产生总纵弯曲。实践证明,船舶在波浪中产生的总纵弯矩往往较静水中时为大。船舶在波浪中航行时,船是在航行着的,而波浪也是在交替地变动着的,因此船体的弯曲也是中拱和中垂交替地出现的。交变的总纵弯曲可能使船体断裂或产生纵向变形,船体结构抵抗这种纵向弯曲可能使船体断裂或产生纵向变形的能力叫做船体的总纵强度。

通常可以将船体看作为自由漂浮在水面上的变断面的空心梁,它对总纵弯曲的抵抗能力是由其剖面模数决定的。当船体的横剖面形状和面积给定时,剖面模数仅随横剖面中的纵向连续构件的高度位置而变,而与构件的横向位置无关,这在梁的弯曲正应力公式中可以清楚地看到:

$$\sigma = \frac{MZ}{I} \quad (1-1)$$

式中 σ ——总纵弯曲正应力;

M ——总纵弯曲力矩;

Z ——构件离船体横剖面中和轴的距离;

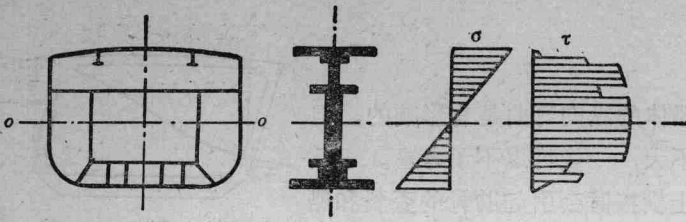


图1-7 等值梁

I ——船体横剖面对中和轴的主惯性矩。

船体上最大的总纵弯曲正应力通常出现在上甲板和底部。

船体总纵弯曲的计算是与梁的弯曲理论一样的,这种梁在船体结构上的术语叫等值梁。等值梁在实质上是表示船体的纵向连续构件在剖面高度上的分布情况,如图1-7所示。

等值梁的剪应力公式如下:

$$\tau = \frac{NS}{I\delta} \quad (1-2)$$

式中 τ ——总纵弯曲剪应力;

N ——最大剪力;

S ——等值梁的面积静力矩;

I ——等值梁的剖面主惯性矩;

δ ——计算截面处的总厚度。

最大的剪应力发生在船体中和轴处。

从以上公式可以看出船体对总纵弯曲的抵抗能力,在材料给定时,是由等值梁的剖面分布特性来决定的。任何组成等值梁的构件不被破坏时,才能认为总纵强度满足要求。

2. 横向强度和局部强度

除了总纵弯曲之外,船舶在使用过程中同样会产生横向弯曲(见图1-6)。横向强度一般是指整个船体横向构件(如肋骨框架和横舱壁等)抵抗横向弯曲的能力。舰船在进坞时,横向弯曲的情况较为严重,必须采取措施加强。

船体的局部强度是指板架结构或个别构件对局部作用力的抵抗能力。有时船体的总强度虽能保证,但局部强度不一定能保证。如船舱破损时的水压力或水密试验时的水压力等局部力的作用下,构件都可能发生破坏或产生严重的变形。

船体的横向强度和局部强度的计算也是建立在梁的弯曲理论的基础上进行的。

§ 1-3 船体结构各主要构件的作用

在研究具体结构之前我们先来熟悉一下船体总的结构情况,图1-8是纵式构架船体构造的示意图,结构各部分的名称已清楚地图上注明。

在保证船舶强度方面船体结构各主要构件的作用如下:

(1) **外壳板和甲板** 外壳板和甲板是保证船体总强度和局部强度的重要构件,底部外板是等值梁的下翼板,上甲板是等值梁的上翼板,而舷部的外板相当于等值梁的腹板。外壳板和甲板除了保证船体强度外,它还起着保证船体水密性的重要作用。

(2) **纵舱壁和横舱壁** 纵舱壁象舷部外板一样,在船体总纵弯曲时起着等值梁的腹板作用,它保证了甲板和船底在抵抗纵向弯曲时共同起作用,并在它们之间建立更均衡的应力状态。此外纵舱壁和横舱壁还承受局部作用力并作为甲板船底和舷侧的刚性支座。

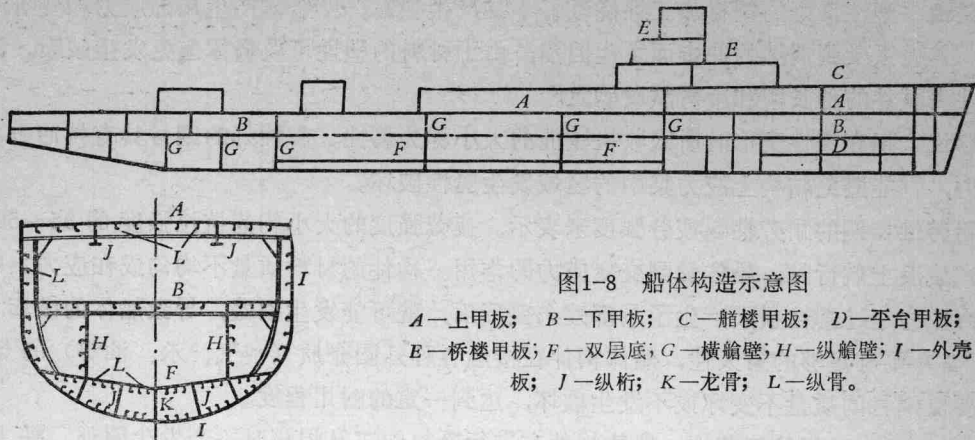


图1-8 船体构造示意图

A—上甲板； B—下甲板； C—船楼甲板； D—平台甲板；
E—桥楼甲板； F—双层底； G—横舱壁； H—纵舱壁； I—外壳
板； J—纵桁； K—龙骨； L—纵骨。

横舱壁是保证船舶横强度的主要构件，并且在保证船舶的抗沉性方面起着极其重要的作用。

(3) **船体纵向构架** 船体纵向构架由龙骨，纵桁和纵骨组成。龙骨、底纵桁和甲板纵桁是船体结构中的强构架，甲板纵桁靠近等值梁的上翼板而龙骨和底纵桁靠近等值梁的下翼板，它们是参与抵抗总纵弯曲的重要构件。此外它们又是承受局部外力的主要构架梁，通过龙骨及纵桁将外力传递给刚性更大的横舱壁上去。同时它们对轻型横向骨架（横梁、肋骨等）起着刚性支座的作用。

轻型的纵向骨架（如甲板纵骨、舷纵骨及船底纵骨）主要是用来保证甲板和外板的稳定性。特别对采用高强度钢材的船舶，它们的甲板和外板较薄，其优点就更为显著。此外纵骨也参与抵抗总纵弯曲。

(4) **船体横向构架** 船体横向构架由横梁、肋骨和肋板组成，它们共同组成肋骨框架来保证船体的横向强度。横向构架主要承受各自板架的局部外力，它们不直接参与总纵强度，但是由于横向构架支撑了纵向构架并保证了船体的外形，因此它们也就间接地参与保证了船体的总纵强度。

由以上各构架的作用来看，船体中各构架实际上是连接成一个整体的结构，它们在受到外力后互相支持，互相传递作用力，并最后在整个船体结构内取得力的平衡。

§1-4 造船钢材

钢材是建造船体的主要材料，在船体结构中大量采用各种规格的板材和型钢，钢材的重量占船舶排水量的很大比例，合理地选择船用钢材对减轻结构重量提高船舶的经济性具有重大的意义。

1. 对造船用钢材的要求

对建造船体用的钢材主要有以下几方面的要求：

(1) 要有一定的机械性能，包括强度、塑性、韧性及耐劳性等，保证船体在承受各种静力或动力的作用时构件不会被破坏。

强度 钢的强度以抗拉强度 σ_s 和屈服极限 σ_s 来表示。船用钢材必须具有足够的强度，在一定的排水量条件下，保持一定的船体强度以减少结构重量和降低材料的使用量。

塑性 塑性良好的鋼材加工性能較好不易产生裂縫。当船体产生局部应力和变形时，例如，外壳板受到偶然的冲击而发生凹陷，由于材料的塑性可使船体避免发生破裂。鋼材的塑性由試件的伸长率和冷弯試驗确定。

韌性 鋼在塑性变形时所吸收机械能的大小称为韌性。韌性好的鋼材具有抗冲击载荷的能力，并能避免結構上应力集中的区域发生脆性破坏。

耐勞性 鋼的耐勞性以疲劳强度来表示，疲劳强度的大小約为抗拉强度的 35~50%。船舶在波浪上航行时，船体受到交变应力的作用。构件的材料质量不均匀或在应力集中区域，当应力超过彈性极限产生了局部残余变形后，就可能发生裂縫，导致船体的破坏。

(2) 要有足够的耐久性，船体构件在接触各种外圍介质（空气、水、油等）的情况下，要使鋼材的质量不变坏或不发生破坏，达到一定的耐用程度。

(3) 要有良好的工艺性，船体构件在进行冷热加工及焊接时不会发生困难，并且加工后不降低鋼材原有的质量。

鋼的机械性能，耐久性和工艺性等与鋼的化学成份有密切的关系。鋼的含碳量增大，能提高强度，但塑性及可焊性会降低，重要的焊接結構其含碳量不宜超过 0.25%。

鋼内含少量的錳能提高强度，而塑性降低不大，通常的含錳量約为 0.4~0.8%。

鋼内含硅能提高强度，但可焊性降低，通常含硅量不大于 0.35%。

鋼內的有害物质主要是磷和硫，磷会引起鋼的冷脆性，硫会引起鋼的热脆性。造船鋼材中規定磷的含量不超过 0.045%，硫的含量不超过 0.05%。优质鋼材中硫的含量不应超过 0.03%。

在船体結構中保証鋼材的强度是最主要的，通常以鋼材的屈服极限作为主要特征。采用那一种强度的鋼材要看船舶的大小来决定。初看起来似乎采用屈服极限愈高的鋼材，愈能減輕船体結構的重量。然而事实证明并非如此，采用高强度鋼只是对較大排水量的船舶才是合理的。小型船舶采用高强度鋼不一定是合适的。因为船体外壳板和构架的最小厚度往往是根据构造、工艺及耐久性等要求来确定的，不可能完全根据强度的理想要求来决定构件的最小厚度。对小型船舶来讲材料的利用率不高，船体重量就得不到減輕，所以应合理地进行分析来选择鋼材的牌号。

对纵构架式舰船，鋼材的牌号可根据船的排水量大小来决定：例如大中型的軍舰可采用屈服极限为 3000~4000 公斤/厘米²的鋼材牌号，輔助舰艇和运输船可采用屈服极限为 2400~3000 公斤/厘米²的鋼材牌号等。

同一船体中的主要結構应采用相同的鋼材牌号，在任何情况下纵向构架的材料不能低于板的材料强度。低强度的鋼材只能用在受力不大的次要构件上，如輕上层建筑，圍罩及平台等。

2. 船用鋼材的种类和牌号

建造船体的鋼材有：造船用热轧碳素鋼及低合金鋼。它們的机械性能及工艺性能应符合表 1-1、表 1-2 規定。

建造船体用的鋼材絕大多数是热轧鋼板和型钢，此外也少量的用到鋼鑄件及鋼鍛件。

(1) 鋼板 鋼板的尺寸一般以三組数字相乘来表示，即厚度×宽度×长度，单位为毫米。4 毫米以下厚度的鋼板称为薄鋼板。船用鋼板的厚度一般不超过 20 毫米。造船鋼板

表1-1 碳素鋼鋼板的机械性能

鋼 号	抗 拉 强 度 σ_b 公斤/毫米 ²	伸 长 率 $\delta_{10}\%$, 厚 度: 毫 米							屈 服 极 限 σ_s 公斤/毫米 ² 不 小 于	180°冷弯試驗 a —板厚 d —弯心直徑
		≥ 8	7	6	5	4	3	2~2.5		
		不 小 于								
A3C	38~47	—	—	—	—	18	17	16	22	$d = 0.5 a$
A4C	42~52	20	19	18	17	16	—	—	24	$d = 2 a$
A5C	50~62	16	15	14	13	13	12	12	27	$d = 3 a$

表1-2 低合金鋼的机械性能

鋼 号	抗 拉 强 度 σ_b 公斤/毫米 ²	屈 服 极 限 σ_s 公斤/毫米 ² 不 小 于	伸 长 率 $\delta_{10} \%$	冲 击 韧 性 a_k 公斤米/厘米 ²
CXJI-1	50~60	35	18	6
CXJI-4	54~75	40	16	5

的寬度和长度常用的有两种規格：1500×6000毫米及1800×8000毫米，4毫米以下的薄板有1200×4800毫米等。特殊需要时也可按訂貨合同供应較长較寬的鋼板。

(2) 型鋼 建造船体用的型鋼最常用的有球扁鋼、等边或不等边角鋼和焊接組合的T形鋼（見图1-9）。舰艇結構中的型鋼大多数是用球扁鋼及焊接T形鋼，角鋼很少被采用，因为无論从工艺及强度要求来看角鋼都不如球扁鋼来得好。但在目前，民船上角鋼还是用得很普遍。球扁鋼的号数从第5~27号，訂貨长度一般在4~19米，常用的长度在10米左右。此外船体上也用到少量的圓鋼、半圓鋼、扁鋼、鋼管及特殊形状的型鋼。

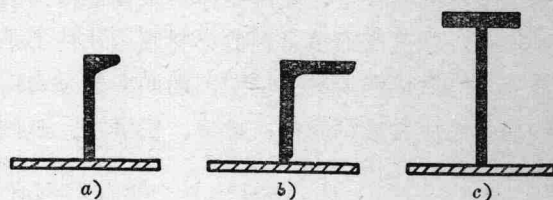


图1-9 常用的型鋼

a) 球扁鋼; b) 角鋼; c) 焊接T形鋼

(3) 鋼鑄件 鋼鑄件可以用来制造船艙柱、軸支架、艙軸管、錨鏈筒及舵框架等。由于鋼鑄件結構笨重，澆鑄时材料内部容易有缺陷，大型的鑄件并且受到船厂的設備条件限制，所以近来有力求采用焊接結構来代替鑄造結構的趨勢。

(4) 鋼鍛件 形状簡單的构件可采用鋼鍛件来制造，如船艙柱、舵杆、推进器軸等。鋼鍛件的材料及劳动量消耗較大，形状較复杂的鍛件更是費工，在船体上尽可能少用，尽量以焊接結構代替。

造船工程上所用的鋼材品种繁多，使用数量也极大，在选用鋼材时应力求簡化鋼材种类和牌号，采用大量的各种不同規格的材料会造成訂貨工作的困难。

第二章 船体结构的基本型式

§2-1 对船体结构的基本要求

船体结构是否合理，主要从结构合理性和结构工艺性及结构自重等几个方面来衡量。首先必须确保结构的强度和刚度，同时应避免局部区域的应力集中。但是，过分的强度是不必要的，它会增大船体结构的重量。因此，每一构件的形状、尺度和连接方式都应考虑结构的合理性。

结构设计还应考虑工艺上的要求。配合船厂的生产实际，力求采用新工艺，充分掌握整条船的工艺过程，简化构件的种类，便于各个构件的加工、制造和装配，缩短劳动周期与减少劳动量。例如：双层底和船艏端的狭窄区域，往往给装配焊接工作带来困难，设计该部分的结构时应该考虑到施工条件。有时太薄的钢板不能施焊，便不得不放弃强度上的合理性而将板适当加厚等等。

在保证足够的强度和满足施工要求的原則下，减轻结构重量有着重要的意义。在原有排水量不变的条件下，减轻船体重量便能增加装载量或加大主机的功率。

但是，强度高而重量轻的梁材腹板往往都是很高的，会占去船体内部的有限容积，为了能充分有效地利用舱室空间，船舶各部分构件的尺寸不宜设计得过分高大。

另外还应考虑到维护、检修、经济性、锈蚀和美观等要求。

§2-2 船体结构的基本连接型式

船体是由钢板，各种型钢和少数铸、锻件装配结合起来的完整体。每一构件随着它的形状，大小及位置的不同，都各有不同的特点。要使每一构件都能发挥其应起的作用，使它们既能保证连接处的强度，又适合于工艺上的要求，就必须选择合理的连接型式。针对具体的结构，根据理论研究和实际使用经验，创造新的结构型式，以符合现代造船的需要。

目前构件的连接，主要是采用焊接。现将几种典型焊接构件的连接型式分述如下：

1. 钢板的连接

在同一平面两钢板间的连接，一般都采用对接。薄板可直接对焊，不必开坡口。厚板可采用坡口对接，坡口的型式有：V、U、X及Y形等。

两相交钢板的连接采用填角焊接，如图2-1所示。其中有连续焊、单面间断焊，错纵式或链式双面间断焊。为了适应自动焊和半自动焊的需要，尽可能不用间

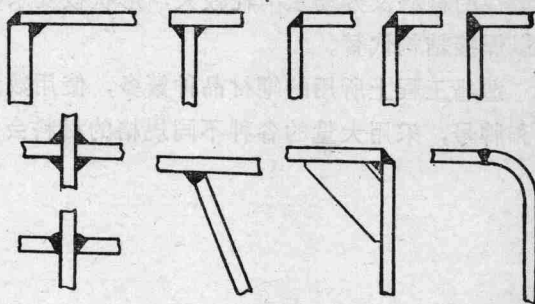


图2-1 相交钢板的连接

断焊而改为单面连续焊。有时为了增大节点处的强度，往往加装肘板。在上层建筑等围板

边缘处的连接，为获得光滑的结构，通常都将钢板弯成圆角相对接。

2. 型钢的连接

同一方向型钢间的连接，直接以型钢端面进行对接。较大尺度的型钢对接焊时需要开坡口。

两根相交的梁，当腹板的高度相同时，应使主要受力的梁材保持连续，次要的梁材间断（图 2-2 a）。当两根梁的高度不同时，可用图 2-2 b 所示的连接形式。当两根梁为角接时，则应加肘板，装焊时最好使肘板平面对准两梁材的腹板，如图 2-2 c 所示。

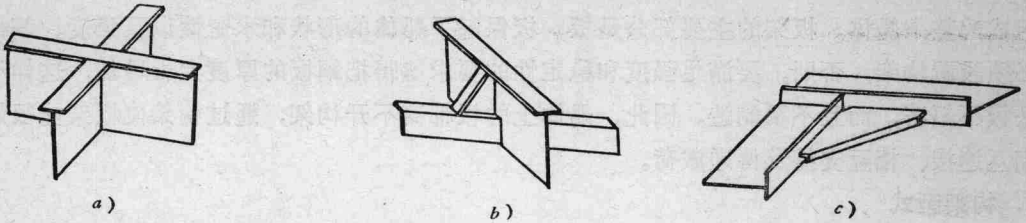


图2-2 相交梁材的连接

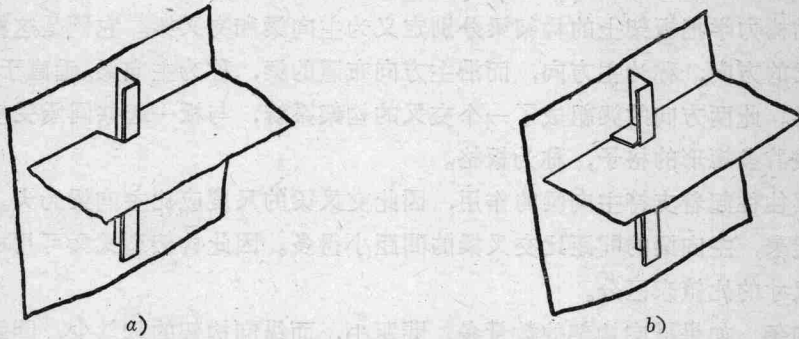


图2-3 型钢通过钢板处的连接

型钢通过钢板的连接情况有两种：一种是非水密的连接，在钢板上开出一定形状的孔口，让型钢通过如图 2-3 a 所示。为便于装配，开口应比型钢稍大。当型钢穿过钢板时，如果有水密要求，那么必须用补板将钢板的孔口进行封焊，如图 2-3 b 所示。

3. 肘板的作用

在船体构件的连接中，肘板应用得很广泛。加装肘板能使节点连接得更牢固。肘板还能减小梁材角接处的应力集中。无肘板的型钢，当它受到横向载荷的作用时，其两端相当于自由支承的梁。装置肘板后，梁的两端受到某种程度的刚性约束，梁的变形和弯矩显著降低，在同样载荷作用下可减小型钢的尺寸。但是肘板必须有足够的宽度，一般不小于梁材跨度的 $\frac{1}{10}$ 。图 2-4 所示为两端自由支持和两端刚性固定梁材的弯矩值比较。

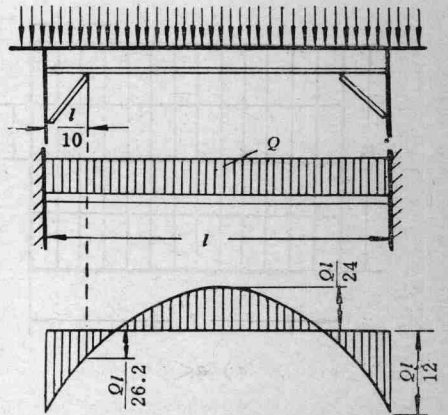


图2-4 梁材的弯矩图

肘板有不折边、折边和T型三种型式。小尺度的

可以不折边，大肘板都需折边或焊成T型。

为了便于焊接和保证焊接质量，肘板角端处应开切角。

肘板能保证节点处的强度和可靠的连接，它在船体结构中的作用是很大的，因此得到了普遍的应用。但在某些非主要的结构中，为了简化结构和工艺可以不设肘板。

§ 2-3 船体构架的型式

1. 船体构架

船体结构的基本构件是钢板和构架，合并称为板架。船底、舷侧、甲板和舱壁等板架组成整个船体。板架的主要部分是板，板保证了船体的形状和水密性以及强度。钢板上必须设置构架，否则，要满足强度和稳定性的要求就得把钢板的厚度大大增加，这样不仅是极不经济，而且不易制造。因此，船体上的板都离不开构架，通过构架使板架能很好地相互连接、相互支持及传递载荷。

2. 构架型式

船体的构架型式有横式、纵式和纵横混合式三种。构架的型式是由板架的主向梁的方向决定的。

船舶结构力学把板架上的构架梁分别定义为主向梁和交叉梁。它们是这样区分的：平行于多数梁的方向，称为主方向，而沿主方向布置的梁，称为主向梁。垂直于主方向的梁，称为交叉梁。此两方向的梁组成了一个交叉的构架系统，与板一起共同承受横向载荷。板被构架分成许多矩形的格子，称为板格。

交叉梁往往起着支持主向梁的作用，因此交叉梁的尺度应比主向梁为大。

一般说来，主向梁的间距比交叉梁的间距小得多。因此构架型式又可用板格的方向或板格长宽尺寸的比值来区分。

横式构架 如果横向构架的数量多，间距小，而纵向构架的数量少，间距大，即 $a < b$ ，或者说板格的长边平行于船的横方向，此种型式称为横式构架，如图 2-5 a 所示。

纵式构架 如果 $a > b$ ，板格的长边平行于船长方向，称为纵式构架，如图 2-5 b 所示。

混合式构架 如果纵、横构架的间距接近相等 ($a \approx b$)，这种构架称为混合式构架，如图 2-5 c 所示。

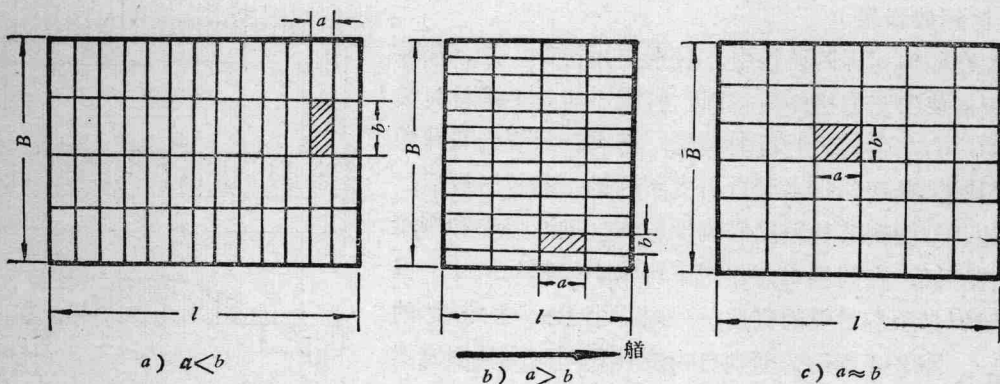


图2-5 构架型式示意图