

船舶結構設計

刘应群 卢文芳 晏焕平

合 编

武汉造船工程学会
《武汉造船》编辑部

11662

11556
L 76

224259

船舶結構設計

刘应群 卢文芳 晏焕平



《武汉造船》编辑部

一九八六年

925455

序

本书系按我院造船专业“船舶结构设计”课程教学要求编写的，内容以民用船舶结构的规范设计法为限，所举示例以内河船结构为主。但结构设计的基本方法及原则，亦同样适用于海船结构。此外，为提高使用建造规范的水平，我们重点介绍了(78)长江水系钢船建造规范中有关船体结构强度尺度要求的由来。在内容编排上，以基本结构设计步骤为序，结构设计的特殊性问题，则集中在有关章节中，以便按实际教学内容决定取舍。

本书共分十一章，绪论及第八、十、十一章由刘应群同志编写，第二、三、四、五章由卢文芳同志编写，第六、七、九章由晏焕平同志编写，并由刘应群同志负责统稿，最后经船舶结构力学教研室集体审阅。本书在重印时，已按(84)长规修改通报作了修订。

由于我们水平有限，时间仓促，错误与不当之处在所难免，悬望提出批评指正。

编 者



目 录

第一章 绪 论

§ 1—1	结构设计任务与要求	1
§ 1—2	结构设计方法及“规范”简介	3
§ 1—3	结构设计中的几个问题	5

第二章 船体外板设计

§ 2—1	概 述	12
§ 2—2	外板尺寸	13

第三章 甲板板设计

§ 3—1	甲板的作用及分类	19
§ 3—2	甲板剖面积与甲板板厚度	21
§ 3—3	甲板设计中的几个问题	26

第四章 船体骨架设计方法

§ 4—1	船体骨架的规范公式	30
§ 4—2	组合型材剖面设计	36

第五章 船底结构设计

§ 5—1	船底结构概述	42
§ 5—2	横骨架式单底结构	44
§ 5—3	双层底结构	50

第六章 船侧结构设计

§ 6—1	船侧结构概述	58
§ 6—2	构件尺寸	60
§ 6—3	节点连接	63

第七章 甲板结构设计

§ 7—1	甲板结构概述	65
§ 7—2	构件尺寸	67
§ 7—3	节点连接	71
§ 7—4	仓口	73
§ 7—5	仓口支持结构的设计	77
§ 7—6	支柱	81
§ 7—7	桁架结构	84
§ 7—8	无支柱甲板结构	87

第八章 特殊仓室结构设计

§ 8—1	机仓结构	89
§ 8—2	货油仓结构	92
§ 8—3	双壳驳货仓结构	98

第九章 仓壁结构设计

§ 9—1	仓壁结构概述	103
§ 9—2	平面仓壁	106
§ 9—3	槽型仓壁	112
§ 9—4	仓壁节点连接	114

第十章 首尾及其它结构设计

§ 10—1	首部结构	118
§ 10—2	首柱	122
§ 10—3	顶推架	127
§ 10—4	尾部结构	129
§ 10—5	尾柱	132
§ 10—6	尾轴架	136
§ 10—7	主机座	141
§ 10—8	上层建筑结构	147

第十一章 总纵强度

§ 11—1	总纵强度规定	152
§ 11—2	客货轮的总纵强度	155
§ 11—3	(78)长规总纵强度标准的制定方法	159

第一章 绪 论

§ 1--1 结构设计的任务与要求

一、依 据

船体结构设计通常是在船舶总体设计初步完成后，根据已经确定的主要尺度、线型图、总布置图并按技术任务书的要求（船舶用途、航区、装载情况、建筑形式、甲板层数、主要设备及使用要求等）进行的。

二、任 务

在方案设计及技术设计阶段结构设计的主要任务是：

1. 确定整个船体结构设计的原则，如选择材料、骨架形式、肋骨间距、分析结构重量对经济性的影响、新结构与新材料的采用等。

2. 解决结构设计中的主要技术问题，如在满足总布置的前提下进行构件的布置并处理与总体设计要求的矛盾，确定构件尺寸及其连接方式，同时应充分考虑结构施工的可行性。它们集中地反映在中剖面图与基本结构图中。

3. 提出船体主要钢材预估单并为总体设计提供船体钢料的重量重心资料。

4. 有时还需结合承造厂的施工条件拟制船体建造的原则方案。

在这一设计阶段中通常需完成的主要图纸项目及技术文件有：

*船体主要构件计算书；

*中剖面图；

*基本结构图；

首、尾结构图；

*首、尾柱结构图；

*甲板平面图；

肋骨线型图；

*外板展开图；

*主仓壁结构图；

*主机座结构图；

*尾轴架结构图；

上层建筑调壁结构图；

船体其它另、部件结构图（根据需要决定）。

其中加 * 号者是需送验船部门审查的主要图纸及技术文件。

在施工设计阶段的主要任务是：结合承造厂的施工条件绘制所有结构及另、部件的施工详图（如果进行分段建造时，则应绘制分段划分图及各分段的施工详图，并计算各分段的重心重心，供吊运参考）；编制船体建造原则工艺说明书及焊接规格；详细计算船体结构的重心重心细目等。

应当指出，对于内河中、小型船舶设计阶段往往不是划分得很清楚，一般在决定了主要尺度，完成了线型图及总布置图以后就开始进行施工设计，此时除中剖面图及基本结构图外，其他图纸就可直接按施工设计要求绘制施工图纸。图纸项目也不是绝对的，应按船舶大小并结合承造厂的条件有所伸缩。

在船舶建造完工以后，需按结构在建造中更改实迹绘制完工图供船舶维修之用。

三、要 求

结构设计中会出现众多的矛盾，如何处理好这些矛盾，使设计的船体具有适当的强度和良好的技术经济性能，并体现既能照顾全局、又能突出重点，是设计者必须遵循的原则，也是对结构设计提出的要求。这些矛盾反映在下述几个方面：

1. 强度与重量的矛盾

保证船体结构具有足够的强度、刚度及稳定性是设计者应该首先考虑的问题，否则会造成结构损坏或变形过大，危及安全，影响使用。例如东方红 38* 轮因外板多处发生裂缝，内部骨架失稳，轴线偏移，不得不进厂加固；长江 1080*—1100* 货驳因结构太软长期不能使用；东方红 324*—327* 轮尾部壳板反复振裂；长江 1007* 货驳折断等惨痛事故均系结构强度不足造成之恶果。

当然，我们可以加大构件尺寸来提高强度，但是结构尺寸过大，强度过剩又会造成重量增加，钢材消耗多，建造成本提高并减少船舶载运能力，也是不经济的。因此必须恰当地处理这一矛盾。

保证强度是矛盾的主要方面，在此前提下应力求减轻结构重量，节省钢材，降低成本。

2. 结构与工艺性的矛盾

船舶建造方法对结构设计有重大影响，必须密切结合承造厂的实际情况进行结构设计。设计时必须充分考虑结构工艺性的要求：

(1) 最大限度地扩大分段建造范围，采用新工艺，节省劳动量，提高生产效率，缩短建造周期。

(2) 提高建造质量，改善工人劳动条件，避免在封闭狭小的区域内施工，至少要做到“工人眼能看到，手能达到”。

(3) 扩大自动焊范围，合理布置焊缝，减少焊接变形及焊缝总量。

(4) 尽量简化结构，统一另、部件尺寸规格，采用标准件以便于备料和加工。“T”型组合型材面板宜选用扁钢，避免用钢板剪裁。

(5) 尽量减少另、部件的曲线外型，简化加工及装配工艺；结构上的开孔、切角等应符合标准尺寸或取常用尺寸；构件连接方式应考虑施工方便等。

(6) 应考虑船舶结构维修与保养的可能性与方便性。

3. 结构与使用性的矛盾

结构的布置与构件尺寸要符合使用要求，例如货船的结构布置要便于装卸货物，旅客及船员住舱应有适当的净高；支柱的布置不应妨碍总体布置及机器设备安装的要求等。因此结构设计要与总体、轮机和设备的设计密切配合，树立整体观念，保证船舶各方面都有良好的性能。

此外，根据使用要求在选取构件尺寸时要合理地考虑锈蚀、磨损余量及其他特殊加强，以降低经常维修费用和提高使用年限，这也是船舶的一项重要经济指标。

4. 对材料的要求与材料来源间的矛盾

选用材料时不仅要考虑材料的机械性能与工艺性能，也要考虑材料来源及国家供应情况，立足于国内产与适当进口材料相结合。对于内河中、小型船舶材料级别可取得低些及选取代用材料等。

§ 1—2 结构设计的方法及“规范”简介

一、方 法

目前民用船舶结构设计主要是依据“船舶建造规范”进行的，并辅以必要的强度计算。

“规范”是以往船舶设计、建造和营运实践的经验总结，随着生产和科学技术的发展，“规范”也逐渐地运用了船舶强度理论，具有一定的理论依据。按“规范”设计比较简便，一般能保证船舶强度，为验船部门所承认。但是“规范”也有很大局限性，它仅对一般的运输船舶和通用的结构形式有所规定而对特种船舶如水翼船、气垫船、双体船和工程船（汽车轮渡、挖泥船和起重船等）就没有规定，设计时需参照型船和进行强度计算决定。若采用新的结构形式也需进行强度计算。对某些特殊受力的结构仍需辅以强度校核。

由于船舶结构及其承受外力的复杂性，迄今为止尚不能全部采用强度计算方法来设计船体结构，即使今后计算方法日趋发展与完善，但经验的总结与运用仍然是结构设计所不可缺少的。

二、步 骤

目前结构设计大致的做法是：

1. 根据总布置图、线型图及使用要求，通过调查研究，总结分析同类型船舶在结构上存在的问题，确定结构形式、肋骨间距以及在新设计船上需改进的结构措施。

2. 船中所受弯矩最大，是全船结构主要矛盾之所在，因此，设计应从中部开始，即在船中部0.4L范围内选取2~4个具有代表性的剖面（一般应取中部大开口处的机仓及其它仓的剖面）进行设计。先按规范计算主要构件尺寸，然后参考型船实际结构尺寸并结合使用要求及材料供应情况等来选取设计船的构件尺寸（选取的尺寸应符合材料规格及型号）。对某些规范上未作规定的构件需参考型船按经验决定或用强度计算方法确定。

绘制中剖面图，在该图中集中反映了设计船的结构形式、主要构件尺寸、连接方式等。一般绘图与计算是交叉进行的，因为有些构件需从图上量取跨距。

3. 根据中剖面图和总布置图进行全船结构布置——绘制基本结构图，同时完成主要构件计算书。

中剖面图及基本结构图是全船结构全局性构想，为绘制船体其他结构图的原则依据。但随着结构设计阶段的发展，局部性结构设计的不断深化，包括基本结构图在内的所有结构图纸的绘制与计算均不免要反复加以修改，直到彼此能准确呼应。

4. 进行船体结构的重量重心计算，并完成船体钢料予估单。

三、规范简介

我国船检局(Z.C)于1973年颁布了《长江水系小型钢船建造规范》(简称(73)小规),以满足内河船及各省地方造船发展的需要。它是在调查统计实船并分析比较了内河规范的基础上制定的,适用于船长不超过30m、单机马力不大于300匹的小型运输船舶。据调查反映,(73)小规对长江B级航区情况比较切合实用,使用亦较方便,但所收集的实船资料局限于B级航区,对A级航区结构偏弱,C级则偏强,壳板偏厚,目前正在征询各地意见,拟作一定的修改,向(78)长规靠拢。

我国船检局于1978年又颁布了《长江水系钢船建造规范》(简称(78)长规)。它根据我国造船工业发展的技术政策,以系统地总结我国长江船舶实践经验及综合比较国内外内河规范为基础,对长江船舶的船体、轮机、电气、材料、焊接、消防、救生设备及航行信号设备等,规定了较为全面的指导性要求。(78)长规为适应我国内河船舶的发展,从船型数量、主尺度及比值范围、装载、新结构形式、新工艺诸方面扩大了规范的适用范围,正式规定了总纵强度标准,并对长江船上层建筑参加总纵弯曲问题首次作了尝试性突破。所有这些都是可喜的成就。当然,(78)长规,将在经受我国内河造船实践的考验中,被检验、充实与发展,它将需不断修订与完善。

以下简要介绍(78)长规及(73)小规的若干原则规定。

1. 航区划分

根据长江水系的水文、气象等实际情况,将航区划分为A、B、C三级,如表1-1所列。

表 1-1

航 区	区 段	波高×波长
A 级	自江阴至吴淞口(包括崇宝沙至堡镇)之间及 长江北口五条港	2.5×30 m
B 级	长江——自江阴至宜昌(包括江阴及宜昌港内) 黄浦江——自分水龙王庙经闵行至吴淞口 淮河——自新城口至许咀子 赣江——自南昌经吴城至鄱阳湖 湘江——自株州以下至洞庭湖 洪泽湖、高邮湖、邵泊湖、太湖、巢湖、鄱阳湖、 洞庭湖以及类似的大型水库	1.5×15 m
C 级	长江——自宜昌以上 黄浦江——自分水龙王庙以上 赣江——自南昌以上 湘江——自株州及其以上 源水、资水、澧水、汉水、嘉陵江、岷江、乌江 以及A、B级没有提到的其他长江水系支流	0

2. 船型范围

表 1—2

(78)长规	(73)小规
船长大于30m的长江水系民用钢质运输船舶,其中包括: 机动船——中机型轮、尾机型轮、油轮、推(拖)轮等 非机动船——舱口驳、半舱驳、油驳、甲板驳、双壳驳等	船长等于或小于30m的长江水系小型运输船舶,包括:客轮、货轮、客货轮、拖轮及驳船等

3. 主尺度及比值范围

表 1—3

(78)长规	(73)小规
船长 L ; 机动船: $30 < L \leq 130$ m 推(拖)轮 $30 < L \leq 50$ m 非机动船: $30 < L \leq 100$ m 主尺度比值: 机动船: A级: $L/D \leq 25$, $B/D \leq 4.0$ B、C级: $L/D \leq 30$, $B/D \leq 4.5$ 非机动船: A级: $L/D \leq 28$, $B/D \leq 5.0$ (油驳、甲板驳 $B/D \leq 5.5$) B、C级: $L/D \leq 33$, $B/D \leq 5$ (油驳、甲板驳 $B/D \leq 5.5$)	船长 L ; $L \leq 30$ m $B/D \leq 4.5$

§ 1—3 结构设计中的几个问题

一、骨架式

内河船的骨架式一般有:

- (1) 横骨架式——横向构件稠密,间距小。
- (2) 纵骨架式——纵向构件稠密,横向强构件疏稀布置。
- (3) 混合骨架式——船体部分结构采用横骨架式,部分采用纵骨架式的纵——横骨架式。如船侧为横骨架式,船底及甲板采用纵骨架式。

就整个船体而言,设计时采用何种骨架式较好,应统筹兼顾强度、使用条件、工艺性等因素,酌情决定。

从总纵强度考虑,纵骨架式因有较多的连续的纵向构件可计入船体梁,且板格的稳定性

优越，从而提高了壳板参加总纵弯曲的有效性，所以总纵强度好。对于其总纵强度要求较高的大型内河船，采用纵骨架式可以显著降低船体结构重量，提高技术——经济性能。但中、小型船舶，因总纵强度易于满足，壳板厚度系按局部强度、使用条件及锈蚀等因素所决定，如采用纵骨架式，重量减少甚微，甚至反而增加。

从局部强度考虑，船长小于50m时，局部强度是主要矛盾，一般来说，宜用横骨架式。又如船侧骨架主要承受局部弯曲及横向弯曲，其参加总纵弯曲效率较低，一般均采用横骨架式。此外，首、尾结构主要承受局部荷重，除顶推船外，均采用横骨架式等等。

从横向强度考虑，纵骨架式的横向强度较差，故当横向强度矛盾突出时，如装运重货的双壳驳以及 $B/D > 5 \sim 5.5$ 的大开口船舶等，应优先考虑采用横骨架式。

从工艺性及使用条件考虑，纵骨架式因纵骨布置稠密，横向强骨材尺度大，节点复杂，焊接——装配施工较为困难，且仓容、净空损失较多，尤其是纵骨架式双层底，在使用上诸多不便。因此，除总纵强度确有需要外，纵骨架式中、小船舶少用为佳。

此外，采用纵——横混合骨架式时，应考虑合理搭配与过渡。如甲板为纵骨架式，而其船侧采用横骨架式时，则应采用每3—4档布置强肋骨及船侧纵桁的交替肋骨制，使强横梁与强肋骨合理搭配，以提高结构强度。

上述仅就全船而言，至于各种船型和结构各部分，其骨架式的选择，详见各章所述。

二、强力甲板

作为船体梁上翼板的强力甲板，是保证总纵强度的重要成分。对于内河客货轮、多甲板的货轮及推(拖)轮等，适当选择强力甲板是结构设计首当其冲的问题。

近来，长江大中、型客货轮设计中，对强力甲板的选择有不同的趋势，以东11*为代表的A级航区大型客货轮，因总纵强度要求较高，故以上甲板为强力甲板，而以干舷甲板为下层计算甲板，呈双甲板船形式。据分析，当其干舷甲板无货或载少量轻泡货时，这样的选择既合理分布了主体材料，又使各层上层建筑甲板适度地参加了总纵弯曲，全船结构重量轻，经济性能较好。另一趋势则以东119*中型区间客货轮为代表。因川江船设计需严格控制吃水，重量矛盾远比总纵强度突出，如选择上甲板为强力甲板，虽可使总纵强度水平大为提高，但其按货载条件确定的干舷甲板并不能因此有所减薄，其后果是结构重量增加，材料分配不甚合理。所以，东119*轮鉴于上述原因，设计成以干舷甲板为强力甲板的单甲板船，因船长较短，且属C级航区，总纵强度仍可满足。问题是经实船应力测试表明，其上层建筑甲板的总纵弯曲负担过重。设计时应采取内移侧壁、减小侧壁扶强材尺寸等措施，以削弱与主体的连接程度，减轻其总纵弯曲负担。

三、骨材间距

骨材间距系指肋骨间距及纵骨间距。

普通骨材系作为板格的支承边界，其间距应根据等强度条件按重量最小的原则决定。据研究，当肋距 $S = 500 \sim 600\text{mm}$ 时板格重量最小。又据统计，86%的长江小型机动船为

500mm, 85%的大、中型长江船为550mm, 所以一般取 $S=500\sim 600\text{mm}$ 。纵骨间距 S_1 可适当大些, 大约 $S_1=1.1S$, 但不宜超过650mm。规范对骨材间距的规定如表1—4。

表1—4

		(78)长规 (mm)	(73)小规 (mm)
肋距 S	首尖仓	$S \leq 500$	机动船 $S = 500$
	其它	$S = 500 \sim 600$	非机动船 $S \leq 600$
纵骨间距 S_1		≤ 650	——

内河船的骨材间距还应考虑工艺、布置上的方便, 不应过小。

四、构件布置原则

构件的布置应遵循一定原则, 主要有:

1. 荷重的有效传递

构件的布置应按一定的空间秩序进行, 务使船体所有主要构件构成空间体系, 以保证任一承载构件向相邻构件及结构的纵深进行荷重的有效传递。便在某一外力作用下, 结构具有连锁反应的能力。例如, 承载甲板横梁向甲板纵桁传递载荷, 后者又经支柱将部分荷重传递到船底结构上, 部分荷重直接传递到仓壁上。因此, 甲板横梁要求通过节点与甲板纵桁构成平面板架结构, 甲板板架又通过支柱连接(设有支柱时)与船底结构形成空间结构。

同样地, 船底桁材——甲板纵桁——仓壁扶强材——支柱应尽可能布置在同一纵剖面内, 以形成纵向框架; 肋板——强肋骨——强横梁要求布置在同一横剖面内, 以形成横向框架; 船侧纵桁——仓壁水平桁——水平撑材要求布置在同一水平面内, 以形成水平框架等等。这些结构设计中经常运用的“框架性”布置原则, 均基于荷重有效传递的考虑。

2. 构件的连续性

一种结构型式或某一构件, 在其布置方向上不能突然中断或尺寸突变, 以免破坏内力的传递和引起严重的应力集中, 这就是结构的连续性原则。

例如, 中部0.4L内所有纵向构件应连续贯通; 凡前后不能在同一延伸线上的纵向构件在中断处应彼此交错延伸两档以上; 双层底向首、尾单底过渡时, 应采用水平过渡肋板等措施逐步进行; 中部纵骨架式向首、尾横骨架式过渡时, 纵骨不能同时中断在同一剖面处, 而应逐渐消失等等。

3. 等间距性

支承构件应尽可能等间距布置, 使被支承骨材可按等强度条件决定尺寸, 以利充分利用材料, 降低结构重量。

例如, 等间距布置的强横梁可使甲板纵骨等跨距, 等间距布置的支柱可使甲板纵桁等跨距, 均可使各跨的甲板纵骨或甲板纵桁具有相同的强度尺寸。

4. 节点连接

船体构件在艏部、舷边及仓壁等处, 一般要间断过渡, 从而出现为数众多的节点, 在节点处构件彼此之间一般采用肘板连接, 肘板可以保证刚性连接、传递内力、减少应力集

中。

从强度、工艺、使用诸方面，合理进行节点结构设计，包括选择各部位节点的肘板型式及尺寸，将是贯穿结构设计全过程中的十分重要的内容。目前，各国内河规范对肘板均有一系列规定，为节点设计提供指导。

五、带板宽度

船体骨材与板是焊接组合的，当骨材承弯或承压时，与骨材毗邻的一部分板与之共同工作，通称“带板”。因此，计算骨材剖面几何要素时，可以包括一定宽度的带板在内。

带板宽度一向争议较多，各种推荐算法出入较大。一般来说，带板宽度应从弯曲强度与稳定性两方面作不同的考虑。当骨材承受横荷重而弯曲时，带板宽度与骨材的边界条件、跨长、荷重类型等有关，此时带板宽度，对普通骨材可取骨材间距，对强骨材可取跨距的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ ，或取强骨材间距。按稳定性条件决定的骨材，其带板宽度应按板格失稳后的工作状态确定，据研究，约为板厚的50倍，也有人建议取骨材间距的25%。

同一骨材（如纵骨），按强度条件决定的带板宽度一般比按稳定性条件决定的带板宽度大得多，两者对骨材剖面模数的影响不大，但对惯性矩的计算相差甚远。

我国内河规范的带板宽度如下：

(78) 长规：普通骨材取骨材间距，强骨材取跨距的 $\frac{1}{3}$ ，但不大于平均支承宽度，亦不小于普通骨材间距。

(73) 小规：不论普通骨材或强骨材均为500mm。

以上规定对强度与稳定性不加区别的作法，理论上是有缺陷的。

六、横向强度与扭转强度

内河船B/D较大，船型扁宽，加上甲板如有大开口的削弱，横强度往往不足。如B/D>5的仓口货船、装运重货的双壳驳、B/D>5.5的油驳及甲板驳等应采取适当措施保证横强度。

主要措施有：横仓壁间距一般应不大于6D、全船采用横骨架式、大开口区域增设舷侧半仓壁，甲板设置连接过桥，设置间距不大于四档肋距的强肋骨框架，如有可能（如油驳、甲板驳），设置一定数量的横向桁架等等。设计时，应视具体情况灵活掌握。

此外，大仓口内河船由于斜浪航行及前后装载不均，可能引起整个船体的扭转。必要时，增加外板及甲板厚度、设置舷边纵仓壁等可以提高剖面抗扭刚度。对于双壳型长仓口船，增大箱体边仓的宽度及提高首、尾横仓壁对纵向构件的固定程度，均可提高扭转强度。有关内河船的扭转强度理论还不成熟，目前可用于结构设计的结果还不多，有待进一步研究。

七、上层建筑

长江客货轮的上层建筑很发达，大、中型船一般具有3~4层长甲板室，其长度约占船长的65~80%，其参加总纵弯曲与否，多年悬置未决。

近年来，有关单位经理论研究、实船应力测试及事故分析证实：现有长江客货轮，不论甲板室的布置及结构型式如何，实际上均不同程度地参加船体总纵弯曲，属于轻上层建筑类型。

因此，设计船长超过50m的长江客货轮时，应按(78)长规规定，凡符合一定条件的上层建筑应按参加总纵弯曲处理。船长小于50m时，其上层建筑虽也参加总纵弯曲，但由于此时总纵强度一般不是主要矛盾，其上层建筑可按不参加主体总纵弯曲考虑。

八、船体振动

内河船由于主尺度小，马力大，结构单薄，船体往往出现严重的振动。振动会造成很多恶果，如壳板振裂，轴系不能正常运转，工作与生活条件恶化，严重者甚至被迫停航。因此振动是当前内河船急待解决的关键问题之一。

经调查分析，内河船的振动主要表现为机仓区结构的强迫振动及尾结构振动。前者为主机不平衡干扰力所引起，后者系螺旋桨所致。

消除或减轻机仓振动的主要途径是选用动平衡优良的机型作主辅机，以减小振源干扰力。致于4135柴油机，因其动平衡性太差，应予以逐步淘汰。其次，采用动力消振器等亦可以有效减振。

从尾部线型及螺旋桨设计入手，是消除及减小尾振动的主要途径。如尾部线型应考虑件流分布较为均匀；选用四叶螺旋桨对减振较为有利；螺旋桨与船壳的间隙应不小于0.1D；应避免叶梢空泡现象；结构适当加强等等。

进行结构设计时，应优先考虑振动的预防已是今后的一个趋势。

九、船体钢材

内河船的结构材料广泛采用低碳钢，要求具有一定的机械性能，良好的可焊性及耐蚀性等。又可分为船用低碳钢及普通钢两类：

1. 船用炭素钢是按船体结构要求专门生产的，这种钢供应时不仅要满足化学成分和机械性能的要求，而且必须保证规定的试验项目的要求。现将船用钢材的等级及其钢号、化学成分、机械性能、应用范围等列于表1—5。

表 1—5

钢材等级	钢号	机械性能				化学成分 (%)					应用范围	
		屈服点 σ_s kg/mm ²	抗拉强度 σ_b kg/mm ²	伸长率 δ_s , %	冲击韧性 kg·m/cm ²	180°冷弯 d = 弯心直径 a = 试样厚度	碳 C	锰 Mn	硅 Si	硫 S		磷 P
	1C	22	38~47	21~27		d = 0.5a 不裂	≤ 0.23	0.35~0.60	≤ 0.4	≤ 0.05	≤ 0.045	内河船上层建筑及次要结构, 小型船舶也可采用
I	2C	≥ 24	41~50	≥ 22	\geq 3(-20°)	d = 2a 不裂	≤ 0.23	0.4~0.8	$\frac{1}{6} \text{Mn}(\%) \leq 0.4$	≤ 0.05	≤ 0.045	内河船和港口船舶的主体结构
I	3C											国内沿海船舶及内河船舶主要结构
II	4C	(略)				(略)					无限航区船舶, 内河船舶不供应	
IV	5C	(略)				(略)					铆接船舶	

2. 普通炭素钢

在原材料供不应求的情况下, 允许把普通炭素钢中的甲类钢作为船用炭素钢 1C, 2C, 3C 的代用品。这类钢按规定的机械性能供应, 但不严格规定化学成分, 所以用于造船时须作化学分析, 其化学成分应符合船用碳素钢的规定, 这主要是考虑可焊性的问题。兹将这类钢的机械性能列于表 1—6。

表 1—6

钢号	机械性能			
	屈服点 σ_s kg/mm ²	抗拉强度 σ_b kg/mm ²	伸长率 δ_s , %	180°冷弯 d = 弯心直径 a = 试样厚度
A3	≥ 24	≥ 38	≥ 23	d = 0.5a
A4	≥ 26	≥ 42	≥ 25	d = 2a

关于低合金高强度钢(如16锰钢等), 虽然强度较高可减小构件尺寸, 但考虑到内河船构件刚度和稳定性的要求, 构件尺寸也不宜太小, 且此种钢的腐蚀性与普通炭素钢差不多, 价格又贵, 故内河船一般不采用。

关于船用平炉沸腾钢及半镇静钢，由于其在振动时易于产生裂缝，可焊性较差，所以船舶应限制使用，但因其成本低、产量较高，在材料供应有困难时，允许在一定范围内使用。

船用平炉沸腾钢是指不脱氧含硅量 $<0.07\%$ 的平炉钢。(78)长规规定，其化学成分(含硅量除外)和机械性能符合表1—5和表1—6规定时，可代替船用低碳钢相当钢号用于焊接船体。它的使用范围如表1—7所示，其中对船体大接头、起重柱、吊货杆、吊艇架等重要构件部位应采用碱性焊条。

船用平炉沸腾钢 (78长规)

表1—7

	结 构 部 位
机 动 船	(1) 外板及机仓构件不得使用 (2) 强力甲板、中桁材、内底边板、纵骨架式的旁桁材 (3) 强力甲板以上其他结构及上层建筑
非 机 动 船	(1) 外板、强力甲板 (2) 内部骨架及上层建筑 (3) 排水量在300吨以下、C级航区的全部船体

经验船部门和船舶所有人同意，对厚度 $\leq 12\text{mm}$ 的A级钢可采用沸腾钢，但应在材料证书上注明。

第二章 船体外板设计

外板重量占船体结构重量一半以上，因此处理好强度、重量、工艺、使用等诸方面的矛盾，是外板设计中的关键。本章仅就(78)长规及(73)小规的有关规定，介绍外板尺寸的决定方法。至于外板局部加强及板缝布置等施工设计问题，不在这里赘述。

§2—1 概 述

一、组 成

外板包括：平板龙骨、船底板、舭列板、船侧板及船侧顶列板，如图2—1所示。

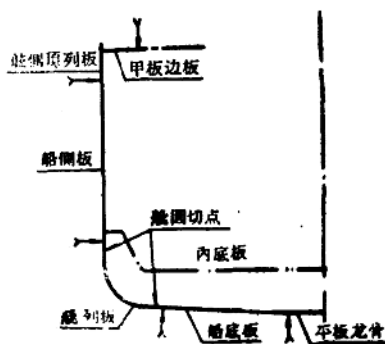


图2—1

其宽度不超过舭圆切点的船底各列板称为船底板；其高度不低于舭圆切点的船侧各列板称为船侧板；其最上一列与甲板边板连接的船侧板称为船侧顶列板；舭圆切点之间的由船底过渡到船侧的弧形列板称为舭列板。

二、作 用

1. 外板形成船体外形，保证船体水密，从而保证了船舶各种性能的实现。
2. 外板是保证船体总纵强度的基本构件之一，起着船体梁下翼板及腹板的作用。
3. 直接承受水压力，并以骨架带板的形式参与骨架的局部强度。

三、受 力

1. 总纵弯曲应力：船底板承受总纵弯曲正应力，而船侧板是船体梁的腹板，承受总纵弯曲剪应力和沿型深变化的正应力。
2. 横向荷重：外板直接承受舷外水压力与仓内液体压力，这些力使板格产生局部弯曲。由于横荷重的作用，船体骨架亦会发生局部弯曲，此时与骨架毗邻的一部分外板受到拉伸（或压缩）。
3. 波浪冲击力：船在波浪中航行时，由于较大的升沉和纵摇，使首部船底出水。其重新入水之际，会发生严重的冲击，往往会因过高的冲击压力使首部外板及其骨架破坏，甚至会出现总纵强度的不足。