

船舶首部结构优化设计

罗展贤

戎嘉隆

(广船国际船舶设计室) (广州远洋运输公司船技处)

提 要: 根据船舶使用周期不断缩短的严重现象出发, 提出在结构优化设计中应把船体结构的骨架形式作为一个设计变量来加以研究, 作者分析了船舶的首部锈蚀与船舶的结构形式、首部的形状(线型)、构件的强度等之间的关系; 指出: 船壳出现“瘦马形”之地段, 都是锈蚀严重之地; 内应力大(或高应力)的地方, 其锈蚀就特别严重; 产生集中应力的构件必然会锈块斑斑。

本文通过滚装船首部的纵骨架式和横骨架式两种设计形式的比较, 前者构件不仅轻了 28.4%, 并能抵抗船首“瘦马形”的发生。

关键词: 船舶结构设计 结构优化设计 船舶锈蚀 船舶寿命

1 课题的提出

从航运部门对船舶使用情况的反映, 首部的的外板常出现垂向“瘦马形”(永久变形), 外壳和内部结构锈蚀特别严重; 新船因腐蚀, 导致使用年限不断缩短; 我们认为不管首部结构所出现的变形, 还是锈蚀现象, 它都与作用在船舶首部的的外力有关。船的首部不仅线型变化大, 而且所受的外载极为复杂, 例如: 在空船压载状态下航行, 首部船底将受到海浪的拍击, 因此在船首底部外板及其骨架(肋板、纵骨、纵桁) 均需作特殊加强。船舶往往需要在冰带区航行, 那怕是最低一级的冰区加强, 其首部区域的舷侧外板(冰带区范围) 必须加厚, 而且要在冰带区范围内增设中间肋骨(即在主肋骨之间需要增加一根肋骨称中间肋骨或要求在纵骨与纵骨之间增加一根纵骨称中间纵骨)。如果首部线型外飘大或

船的航速高, 则首部还需考虑是否能承受波浪的冲击, 故需计算其冲击压力, 并采取结构的加强。此外, 首部球鼻首区域往往还因抛锚易被锚和锚链的撞击, 又必需在球鼻首的局部范围的外板进行加厚。

上述的作用力, 其中尤其是海浪的作用力, 它们是周期性的, 容易造成结构的疲劳破坏, 或因失稳而产生永久变形(出现瘦马形); 对首部外板及其构件的周期性的拉伸和压缩所产生的变形即使是弹性范围内, 它同样会降低油漆的附着力, 导致油膜的破坏与脱落, 而使船首外板或构件生锈。

当前在船舶的结构设计中, 对船舶的部区域已经采取了许多相应的加强措施。各国船级社的规范也特别规定了在首尖舱需设置间距不大于 2m 的强胸横梁或间距不大于 2.5m 的平台; 球鼻首内的前端需设置间距约 1m 水平隔板; 每隔 5 个肋位需设置强肋骨; 如果首部的宽度大于 0.5B 时(B 为船宽), 在船体中心处还需设置制荡舱壁等, 从而导致目前设计的船舶首部区域的结构极为复杂, 已成为船体建造中最难施工的区域之一。然而, 我们为了解决首部区域出现的“瘦马形”和首部区域的锈蚀问题, 结构势必还要进行加强。因此, 如何才能使首部区域的结构, 设计得最轻, 且又不易生锈, 以延长船舶使用寿命之目的, 已成为我们结构优化设计的研究课题。

2 首部区域结构化设计研究的着眼点

船舶的结构设计中, 船舫 0.4L 范围内的纵向构件是由总纵强度来决定, 而首部区域(即由首垂线向尾 0.3L 船长范围内) 的构

件则是按局部强度来设计。当前船舶结构优化设计(不管是按规范进行设计,还是进行三维有限元计算分析),它是以规格书、规范及强度(刚度)标准为约束条件,以结构重量最小(或造价最低)为目标,在首先确定某一种结构形式下,把构件的尺寸当作为设计变量,然后去寻找一组尽可能小的船体构件之尺寸,以达到船体结构重量最轻(造价最低)的目的。也就是把结构优化设计的数学命题为:求解结构重量(造价)为最小的目标函数极值;把构件的尺寸(如纵骨、纵桁、外板、甲板等)当作设计变量,而把结构形式仅仅是当作设计参数(先确定了一种的结构形式)去进行优化设计工作。现在,我们所研究的船首区域结构优化设计的着眼点,不仅把构件尺寸当作设计变量,而且把结构形式亦作为设计变量加于研究,研究船首部区域采用什么样的结构形式,才能使结构重量最轻。根据优化设计的广义的定义,只要有不同的方案存在,就存在着优化问题。我们以一艘最近在广船国际设计与建造的滚装船为对象,分别按《规范》设计成两种不同的结构形式——纵骨架式与横骨架式,然后,对这两个不同的方案进行比较,以达到首部区域结构优化的目的。另外,我们不仅把重量(造价)最小作为优化设计的目标,而且把船舶的寿命最长(最不易锈蚀)亦作为优化设计的目标函数(目的)来研究。分析船舶的锈蚀与结构的强度的关系,扩大优化设计的目标函数的研究范围(锈蚀),增加设计变量的种类(骨架形式),把船首部的锈蚀与球鼻首的造型及首部的结构强度结合起来分析研究。

3 按纵骨架与横骨架形式进行设计的比较

广船国际最近设计和建造的 120 车位滚装船的主尺度为:两柱间长(L_{bp}):134.00m;型宽(B):23.00m;设计吃水(T):5.00m;结构吃水(T_s):5.4m;航速: $V_s = 18.5\text{kn}$ 。该船首部

的线形外飘角较大,而且航速较高,因此,首部舷侧结构必须能承受波浪冲击压力的要求。当前 DNV 船级社及 LR 船级社对此都作了明确的规定,必须对首部舷侧骨架与外板进行强度校核。

该船无需冰区加强,船首舷侧外板所受的外载荷有:舷外海水的静压力、压载水舱内的动压力和静压力、波浪的冲击压力。我们对上述外载的计算结果进行了比较,得出波浪的冲击压力为最甚,故我们首先按 DNV 规范计算舷侧处不同点所受的波浪冲击压力(P_{sl})。然后,根据各点的压力(P_{sl})按纵骨架与横骨架两种结构形式计算出构件所需要的剖面模数,再根据计算所得的模数决定构件尺寸的大小,最后,两者加于比较,从中选择重量最小的结构形式。

3.1 首部波浪冲击压力(P_{sl})计算

根据 DNV 规范第三篇第一章第七节 E300,首部受波浪冲击压力计算公式为:

$$P_{sl} = C(2.2 \times 1.5 \tan \alpha)(0.4V_s \sin \alpha + 0.6L)^2(\text{kn/mm}^2) \dots (1)$$

其中: $C_w = 0.8611$;

$V_s = 18.5$; $d = 5.4$;

$c = 0.18(C_w - 0.5h_0)$;

$C_{max} = 1.0$;

对吃水 5m 至 12m 之间五条水线与首部区域的肋骨(FR148 - FR181)的相交点之中,针对其中的 119 点的压力进行了列表计算。最后,我们根据计算所得的值设绘了波浪压力图详见图 1。

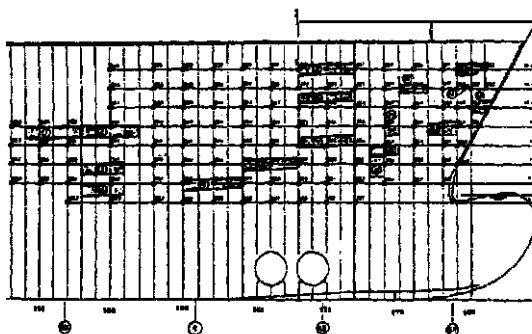


图 1 首部区域外板上的波浪压力分析

3.2 按纵骨架式进行设计——计算决定构件尺寸

按 DNV 规范要求首部区域的纵骨,为了满足波浪冲击压力的需要,纵骨的剖面模数 Z 应不小于下述公式(2)所计算所得的值:

$$Z = (0.2 \times l \times S \times P_{SL} \times W_k) / f_1 \dots\dots(2)$$

其中: l 为纵骨跨距(m)

s 为纵骨间距(m)

W_k - = 1为腐蚀系数

f_1 - = 1为材料系数

P_{SL} 为首部波浪冲击压力(kn/ m²)

按公式(2)进行了列表计算并根据计算得出的 Z 值选取型材,整理得到表 1。

表 1 纵骨架式首部纵骨模数与实取型材

名称	位置(肋位)	模数 $Z(\text{cm}^3)$	实取构件(型材)
SL - 2A 水线	FR177 - FR179	223	L200 ×90 ×8/ 14 ($Z=331$)
SL - 3 水线	FR149 - FR153	223	L2000 ×90 ×8/ 14 ($Z=331$)
	FR156 - FR172	519	L250 ×90 ×11/ 16 ($Z=526$)
	FR173 - FR175	192	L200 ×90 ×8/ 14 ($Z=331$)
SL - 7 水线	FR149 - FR153	416	L250 ×90 ×9/ 15 ($Z=478$)
	FR157 - FR168	470	L250 ×90 ×11/ 16 ($Z=526$)
SL - 10 水线	FR153 - FR156	247	L250 ×90 ×9/ 15 ($Z=478$)
	FR164 - FR168	478	L250 ×90 ×9/ 15 ($Z=478$)
SL - 12 水线	FR156 - FR158	234	L250 ×90 ×11/ 16 ($Z=526$)

表 1 列出了 5 条水线面在其不同的肋位上所选择的纵骨的尺寸并标注在首部的外展开图上得到了图 2 示意图(a)。它包括了首尖舱区、深水舱、侧推舱和货舱区等 3 个范围。从图中可以看出,除极个别地方仍保留横骨架形式(首柱及其附近的非常狭窄的地

方)外,其他地方均为纵骨架式,那些纵骨均由强肋骨支持,强肋骨为每隔三挡肋位设置,纵骨间距一般为 760mm。

3.3 按横骨架式设计——计算和决定构件尺寸

横骨架式首部区域的外板骨架,同样必须能承受波浪冲击压力,舷侧肋骨必须满足 DNV 规范所规定的最小剖面模数;即肋骨的剖面模数 Z 应不小于公式(2)所计算所得的值。不过,公式中的纵骨间距应改为主肋骨的间距;纵骨的跨距改为主肋骨的跨距即:

$$Z = (0.2 \times l \times S \times P_{SL} \times W_k) / f_1 \dots\dots(2)$$

其中: l 为横肋骨跨距(m);

s 为横肋骨间距(m)

W_k - = 1为腐蚀系数;

f_1 - = 1为材料系数

P_{SL} 为首部波浪冲击压力(kn/ m²)

我们按公式(2)进行了列表计算,根据计算的结果选取型材得表 2。

表 2 横骨架式首部肋骨模数及实取型材

舱名	位置		模数 (cm ³)	实取型材 规格
	平台之间	肋位		
首尖舱	10.5 平台至上甲板	FR172 - FR179	2385.3	┌ 15 ×460 └ 18 ×190
	10.5 以下	FR172 - FR179	788.33	L350 ×90 ×11/ 70
深舱	上甲板至主甲板	FR158 - FR172	1878.1	┌ 15 ×460 └ 18 ×190
	上甲板至深舱顶	FR158 - FR172	551.4	L300 ×90 ×10/ 16
货舱	上甲板至主甲板	FR144 - FR158	1362.4	┌ 12 ×400 └ 15 ×140
	主甲板以下	FR144 - FR158	1473.1	┌ 12 ×400 └ 15 ×16

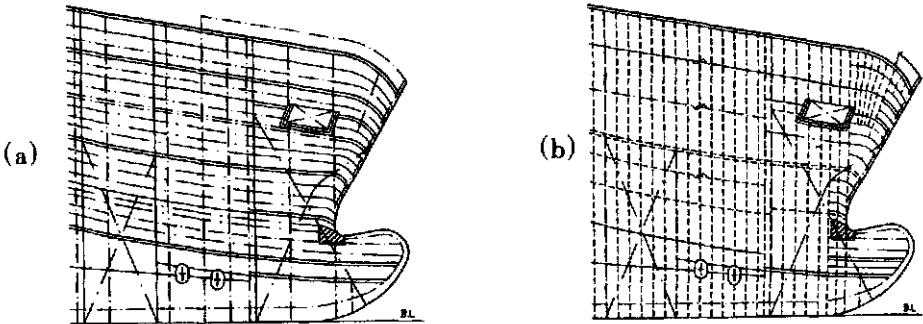


图 2 纵骨架式(a)与横骨架式(b)的外板展开及其结构布置示意图

表 2 所示,在不同的肋位上满足波浪冲击压力需设置不同规格的主肋骨,我们把它标注在首部外展开图上得到了图 2 示意图(b)。该图反映了该船首部设计成横骨架式的外板展开及其结构布置图情况,这一结构形式是我们当前国内万吨级船舶普遍采用的结构形式。从图中可以看到该船除了首柱处设置水平隔板以代替局部的肋骨外,其他地方均为横骨架式。

3.4 纵骨架式的船首区域构件重量与横骨架式构件的重量比较

我们将上述两种不同的结构形式(纵骨架和横骨架)的构件重量进行计算并将其进行比较见表 3。

从表 3 中我们可以十分清楚地看到:纵骨架式的首部区域的构件重量为 25119.2 (kg),而横骨架式的构件重量 32263(kg);纵骨架式的构件重量比横骨架式的构件重轻了 28.4 %。

4 船舶首部锈蚀与结构强度及线型

的关系

船舶报废的主要原因是船体烂得不能再使用了,即其主要原因是船壳锈蚀到难于用更换新的钢板来修复了。过去,对船舶锈蚀问题的研究,大都集中在对涂装的质量(涂料与施工的质量)或船舶的保养的研究上。然而,我们从大量的实船调研说明它还与结构型式、结构强度与首部型状(线型)都有着密切的关系。

4.1 船壳出现的“瘦马型”与船舶的锈蚀

上面我们所述的“瘦马型”是:船舶在营运的过程中舷侧壳外板明显地出现纵骨(或肋骨)隆起,而纵骨与纵骨(肋骨与肋骨)之间的外板陷进去,出现了永久变形,这种现象就好象瘦马的胸部,能明显地看到一条条的肋骨凸出来,故把它称作“瘦马型”。图 3 所示为舷侧出现“水平瘦马型”的典型例子。

“水平瘦马型”的发生,正说明了船体在受到垂向的外力作用下,纵骨做了“逃兵”,

表 3 纵骨架式的结构重量与横骨架式的比较

形式	纵骨架式				横骨架式				
	位置	名称	规格	一舷重量(kg)	总重量(kg)	名称	规格	一舷重量(kg)	总重量(kg)
1	首尖舱	纵骨	L150 ×90 ×9	106. 6	213. 2	主肋骨	<div><div>└</div><div>15 ×460</div></div>	1458	2916
			L200 ×90 ×8/ 14	523. 2	1046. 4		<div><div>└</div><div>18 ×190</div></div>		
			L250 ×90 ×9/ 15	629. 8	1259. 6		L350 ×90 ×11/ 17	287. 1	574. 2
		小计			1176. 4	2519. 2	小计		1745. 1
2	深舱侧推进区	纵骨	L250 ×90 ×9/ 15	1656	3312	主肋骨	<div><div>└</div><div>12 ×430</div></div>	4958. 8	9917. 6
			L250 ×90 ×11/ 16	3828	7656		<div><div>└</div><div>16 ×190</div></div>		
							L300 ×90 ×10/ 16	2102. 1	4204. 2
		小计			5484	10968	小计		7060. 9
3	货舱区	纵骨	L200 ×90 ×8/ 14	1308	2616	主肋骨	<div><div>└</div><div>12 ×400</div></div>	3653	7306
			L250 ×90 ×9/ 15	1518	3036		<div><div>└</div><div>15 ×140</div></div>		
			L250 ×90 ×11/ 16	1595	3190		<div><div>└</div><div>12 ×400</div></div>	3672. 5	7345
		小计			4421	8842	合计	<div><div>└</div><div>15 ×160</div></div>	7325. 5
4	纵骨加架式需设置强肋骨,比横骨架式主肋骨大,故增加重量为:				2180				
5	纵骨架式比横骨架式需要多设肘板等构件				610				
6	合计				25119				
7	纵骨架式比横骨架式轻 %					28. 4 %			

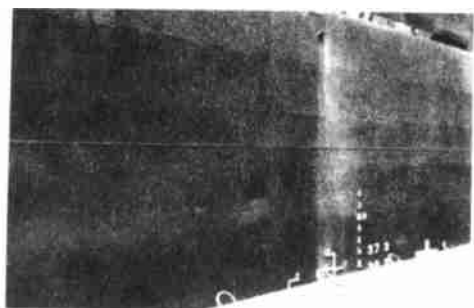


图3 舷侧舭部有害的水平向瘦马型典型图

未能抵抗垂向力的作用,结果不仅造成结构刚度(强度)的不足,使舷侧外板发生了永久变形。更致命的是:上甲板和船壳板的油漆尤其是上甲板涂层遭到破坏,加速锈蚀。

图4所示为船舶的首部出现垂向“瘦马型”的典型例子。它产生的原因是船体在承受沿船长方向的水平力的作用下,首部区域的肋骨当了“逃兵”,未能抵抗来自纵向外力的作用,导致了首部外板的永久变形和油膜层的破坏,使首部舷侧外板严重腐蚀。因此,我们可以得出这样的结论:船壳板的塑性变形、船壳板板材的蠕变、漆膜撕裂、海水的渗入,是造成锈蚀的主要原因。

因此,船壳凡是存在“瘦马型”的地方,也就是锈蚀严重发生的地方,其相应位置的内部结构也受到严重的影响(锈蚀)。

为了防止首部垂向“瘦马型”的出现,我们认为可把首部的结构形式由横骨架式改

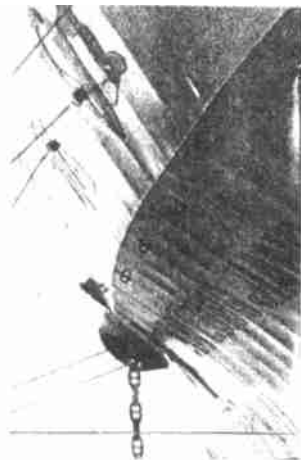


图4 首部有害的垂向“瘦马型”典型图

为纵骨架式,用纵骨来代替不能承受水平方向作用力的主肋骨,以提高船舶的抗锈蚀的能力,也是提高船舶的抗扭能力,即抵抗波浪外载荷的能力。

4.2 船舶锈蚀与结构强度的关系

船体结构中,构件因外力而产生的内应力的不同,会引起不同的锈蚀结果,在现有的老龄船上能找到许许多多的例子来说明这一点,如桅房的桅壁不易生锈,而与它相邻的甲板则严重锈蚀;又如经常发生抖动的大桅及吊杆,一、二十年使用下来,其锈蚀程度也远比甲板要良好得多。研究其原因:强力甲板虽然没有像舷侧外板那样整天泡在海水中,但它远离中和轴,当船舶发生总纵弯曲时,甲板板内的应力是最大的,因此,其锈蚀程度也比其他区域的外板来得严重。再如:支柱的上下端、散货船的货舱区的主肋骨上、下端的肘板、底边舱与顶边舱(高边柜与低边柜)内的隔板、舱口角隅、构件的开孔边缘等地方,其锈蚀程度也特别严重。分析其原因,我们亦发现这些地方都是高应力区或是集中应力发生的地方。

因此,我们又得到一个结论:船体结构中,应力最大的构件(板),其锈蚀的程度也最为严重。

在船体结构的设计中,为了能使船舶的寿命得到延长,必须尽可能地避免构件产生集中应力,如上面提到的舷侧主肋的上下端肘板的趾端及舱口纵向围壁两端与甲板的连接处,应进行软化处理,即设计成圆弧形肘板;纵向构件不能突然终断,而且它们之间的连接要有良好的过渡;这些做法虽然未能为减少结构重量和造价目标的优化设计带来多少效果,但当我们把延长船舶的寿命来作为结构优化设计的目标来综合研究时,上述的措施是十分重要的。

4.3 首部形状与船舶的锈蚀

根据我们对现有老龄船的调查,船舶首部的锈蚀还与首部的形状(线型)亦存在着密

切的关系。过去,人们对船型的研究特别是对首部线形,如球鼻首线形的研究主要是为了减少阻力(摩擦阻力、形状阻力、兴波阻力)为目的;船舶的线型未能与船舶的锈蚀连系起来进行研究;根据我们的观察发现:球鼻首线型凡是呈尖形的,其锈蚀的程度就不会太严重;这在“丰安山”轮不锈的原因中得到了证实。

5 设计分析与结论

(1) 在过去,船舶使用了 40~50 年后定为老龄船,到 60~70 年代演变成使用 20~30 年的船舶为老龄船,现在又成为了 15 年,甚至于说是 8 年了。在船舶的船龄不断减少的今天,我们从事结构设计,特别是从事结构优化设计的工作者,不能仅仅地以结构的先进性(重量最轻)和造价最低作为目标去进行研究,而应该结合延长船舶的寿命(防止船舶生锈),成为我们船舶优化设计的综合的目标去研究,当前研究建立包含船舶寿命最长为目标的综合的目标函数,是十分必要和十分迫切的。

(2) 我们通过对上述纵骨架式船首结构构件重量与横骨架式的比较,说明钢质海船的船首设计成纵骨架式远远优于横骨架式;纵骨架式的结构不仅能有利于延长结构寿命,而且可以减少构件的重量 28.4%;分析其原因,有如下几个方面:

海水的静压力是沿着船的吃水的深度的增加而增加,在船壳板上海水所成形的静水压力构成的等压曲线,基本上与水线面平行;即使是波浪的冲击压力,其等压力曲线也基本上接近以水平。因此,纵骨架式的结构布置可根据海水深度的变化,在船侧外板的纵向位置上,根据等压力曲线,设置相应的不同大小的纵骨,使纵骨能得到充分的优化,即使在一根水线上有个别的地方出现压力过高,只要在局部的位置上,设置一段满足强度要求的型材与其对应,可以做到等强度设计。然

而,横骨架式则难于做到这一点,因为横骨架式的肋骨设计压力作用点,按规范规定是取肋骨跨度的中点;因此,它所设计的肋骨从上到下尺寸是相同的,在船舶产品设计中,把主肋骨设计成变截面的还不现实,所以,构件不能像纵骨架式那样得到充分的优化,材料未能得到合理的利用。这就是纵骨架式的船首结构件比横骨架式的船首的构件轻的主要原因之一。

(2) 首尖舱的设计,按规范要求需隔 5 个肋位设置横向制荡舱壁或加强肋骨,即使是横骨架式也不例外,这对纵骨架式的结构来说,这横壁(或加强肋骨)正好成为纵骨两端的支持结构。一般说来,纵骨架式虽然需要设置一些强肋骨(本船为 3 档肋位设置),无疑它会比主肋骨的重量大一些,但强肋骨的设置使纵骨的跨距大大缩小,它比横骨架式的肋骨跨距小得多(本船设计成纵骨架式的纵骨跨距大部分为 2250mm;而设计成横骨架式时,其肋骨的跨度要达到 5~6m,这又是使纵骨架式的构件尺寸小于横骨架式的原因所在。

(3) 关于纵骨架式纵骨加工与装焊的难度问题

有的同志认为船首区域线型变化大,采用纵骨架式,势必带来纵骨加工和装焊的困难,他们认为,为了使纵骨与外板达到良好的连接及保持纵骨原有的剖面模数的数值,应将把纵骨加工成既能与外板垂直,又要在在水线面的线型达到一致,即要进行双曲面的加工,这种加工无疑是十分困难,既费时,又费工,非得用火工在长度方向逐点加工。但是现在这一问题已经得到了解决,我们曾经与日本 IHI 进行联合设计了一艘 25600t 干货船及最近我公司设计和建造的滚装船,该两艘船的首部外板就已经局部采用了纵骨架式的结构形式。为了解决上述的问题,我们的做法是:不要求纵骨的复板与外板构成角度非要 90° 不可;只要纵骨的复板与外板能

保持在 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 之间,就可以认为是满足强度要求,无需增大纵骨的剖面模数(已经得到 LR 船级社的认可)。DNV 规范亦作了明确的规定,外板与肋骨(扶材)复板的安装角度为不小于 75° 。因此,我们在一个分段上,对某一根纵骨设计一个角度,使其分段的前、后端的一个肋位上的纵骨复板与外板的交角在 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 之间;这样,在同一分段的每一根纵骨都可以保持一个相同的水平角度,因此避免了曲加工的问题(即仅对纵骨进行水平面方向的加工)。而分段合拢时只要对纵骨接口适当的加工对齐或在强肋骨上断开,用肘板连接。我们经过该两种类型船建造过程中的实践,已证明是十分成功的。

(3) 我们在从事首部结构优化设计中,把结构的形式作为设计变量来加以研究,进行了纵骨架与横骨架式的两个方案的比较,我们的目的不仅仅限于这两种结构形式或再加上纵、横混合结构形式的研究上,我们希望能

起到抛砖引玉的作用,展开对其他结构形式的研究,例如:展开对桁架结构形式、网络结构形式的研究。近几年来,中远广州分公司对桁架结构已经作了多方面的研究,起了一个好的开端,但是对于任何一种新的结构形的诞生,都是要经过整个行业(设计、科研、航远、船级社、造船厂)的共同努力才能实现的。我们期望在进入新的 21 世界的不久的将来,在造船界的新、老一代科技人员的共同努力下,一定会把我国的船舶设计与建造水平,提高到一个新的台阶。

参考文献

- 1 肖熙. 船舶结构优化设计. 上海交通大学出版社.
- 2 戎嘉隆. 丰安山轮船体钢板不锈原因分析和对现有船舶结构的建议. 造船技术资料汇编. 1999, 11
- 3 罗展贤. 船舶结构优化设计方法的应用与探索. 广东造船. 1993, (3)
- 4 戎嘉隆. 船舶结构的定性分析.

(收稿日期:2000-08-28)

(上接第 18 页)

另外的一个例证是在整个施工期间,管系方面的联系单共 214 份,设计修改内容有 96 份,占 48%。这种情况在首制船是普遍存在的。

公司对废返的原因进行多次分析,但要落实到实处,还是非常困难的。

(1) 原理图因素。主要是由于原理图送审阶段设备工作图未到或到公司后未能及时发现修改,如分油机进油管为 DN25,而设备为 DN40,造成现场较大的返工,还有各层漏水口,也是临时大量增加。

对高温排水口(锅炉上下排污水)原理图与规格书不符,排出口太高,造成现场修改。

再如 922 产品,高压水泵轴承冷却水、分油机水箱等,在图上均未表示有水供给,消音器也没有放泄管等等。

(2) 放样差错。管子与船体结构、电缆座

架碰撞。如 28000t SL31P 分段错误废返达 26%。原因是责任心不够强造成的。

(3) 订货不当。如 922 产品高压空气接头重复返工多次。

4 几点建议

管系现场施工出现返工,除了上述原因外,还有协调因素,人员素质等。要提高施工质量。

(1) 做好协调工作,加强专业之间的沟通。

(2) 建立完善的图纸审校制度,尤其对设备订货的工作图要详细审核。

(3) 加强设计人员的培训,增强责任心,提高设计人员的专业业务技术水平,使设计、施工质量更上一个台阶。

(收稿日期:2000-07-27)