

“海洋六号”船人性化设计

张炳炎

(中国船舶及海洋工程设计研究院,上海 200011)

[摘要] 简要介绍了船的总体设计及其建成后的实船性能,并对国内外近期建成的海洋调查船进行了主要性能数据比较,从中可以看到“海洋六号”船在某些关键技术性能方面处领先水平。

[关键词] 海洋调查船;原创设计;领先水平

[中图分类号] U662.2 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)04-0024-05

1 前言

“海洋六号”是我国首次自行研发成功的天然气水合物综合调查船,具有完全自主知识产权。该船的设计任务在公开招投标竞争中获胜取得。在投标方案设计之初,经查寻,未见国内外有将如此规模的地震物探系统、地质调查系统以及相关的水文系统、水声探测装置集于一船或相类同的综合调查船。在这种情况下,只能根据标书的规定和我们以往的设计经验进行原创设计。其中有两大类难题:第一类是船的重量能否控制在标书规定的吨位范围内,取得重量与吨位的平衡统一,以及选择何种主尺度和船型能满足各种大型专用设备的布置和总体性要求;第二类是如何解决国内外陆续出现的球鼻首和槽道式首侧推装置的船体开孔严重干扰深海多波束探测装置正常工作的前沿技术关键难题。

设计中标后,经试验研究和设计优化,成功解决了各技术疑难问题,圆满完成了设计。该船建成后,经实船试验和试航实测,各主要技术指标均处于相关标准规定的误差范围内,实现了顺利交船。

2 设计理念演化

设计理念演化过程为理念源于实践,统领设计;与时俱进,不断升华。20世纪60年代末,笔者承接

了“专项”工程远洋调查船的改装工作,按照“不避风、不停港、万无一失”的原则要求,首先进行了改装船的选择,然后驻厂改装设计和施工,并进行近海试验和试用训练等,共历时5年。其中研究制定了抗台风计算方法,并按计算结果做了固体压载。改装船在近海试用训练时,为避开一个台风,却闯入了另一个台风的台风眼,经受住了严峻考验。在旧船改装施工中又穿插进行了新的远洋综合调查船设计,新的远洋综合调查船建成后在南极海域执行调查任务时遇到了风速64 m/s的特大南极气旋和波高十几米的恶劣海况。船被大浪盖住,尾部上甲板齐腰深的水多时不退,情况十分危险。船在暴风中拼搏一天一夜,才冲出风暴区,安全返航。再次证明海洋调查船抗风暴问题必须给予充分关注,否则后果不堪设想!为此,笔者在总结经验的基础上,修改完善了抗台风计算方法和衡准标准,并于1994年公布生效了我国船舶行业标准《海洋调查船特殊抗风力要求》和其配套的《海洋调查船专用舱室及其设施的一般要求》及《海洋调查船生活舱室及其设施的设置要求》。

20世纪80年代进入市场经济后,海洋调查船的经济性问题凸显出来:耗油量特别大的船,因“用不起”而被闲置起来;在调查任务竞争中,经济性差的船被淘汰出局,而经济性比较好的船调查任务则

[收稿日期] 2010-12-22

[作者简介] 张炳炎(1934—),男,山东庆云县人,中国工程院院士,研究员,博士生导师,研究方向为舰船研究设计;

E-mail: byzhang@maric.com.cn

“忙不过来”,形成了有的调查任务没船用,而有的调查船则“没事做”的局面。在这种情况下,20世纪90年代初开始研究设计“东方红2号”综合性海洋实习调查船时特别关注了船的经济性问题,一改传统的双机双桨推进模式,破例采用了中速柴油机双机并车的单轴单调距桨推进系统,显著提高了推进效率和船的快速性。从多年的实际使用情况看来,该推进系统至今仍不失为性价比最好和使用最经济的一种推进模式。

2000年为新建一批海监船,进行“海监建设项目(一期)3000吨级海监船”的可行性研究论证时,提出了“以先进和适用性为目标,以经济性为准绳,以技术求效益,以创新促发展”的设计理念,并在广泛收集、分析研究国内外同类船资料的基础上,提出了船的吨位、尺度、推进方式和航速等基本参数,其中特别提出“为新建海监船配置直升机,可以弥补提高航速影响经济性的不足”,并将形成海空互动维权执法系统和快速反应能力。船建成后,在使用中获得了出乎预料的效果,“中国海洋环境监测监测船队”的文章称“中国海监83”船是“中国目前综合性能最优越,已进入领先水平的多功能大型中远程海洋监察船”,并被誉为海监船队的“旗舰”。

“海洋六号”船的设计工作始于2003年,根据当时的情况和船的特点,进行了人性化设计的探索。

3 人性化设计

海洋调查船的人性化设计不只限于船的生活居住方面,而且与调查作业密切相关;不仅涉及局部,而且与总体性能密切相关;不仅涉及物质方面,而且同精神和心理作用密切相关,是技术、艺术、经济和人文等各相关方面的融合设计,具有安全可靠、静动宜人、便捷高效和节能环保等突出特性。要达到“融合”设计,各方面的指标均应“适度”和比例恰当,增加了很大的设计难度。

3.1 安全第一原则

以人为本,安全第一。调查船的安全性是人性化设计的第一要务。

3.1.1 超规范设计

海洋调查船的基本特点是船小、人多、设备多、海上工作时间和风险大等,所以在采用相关安全方面的规范、规则和标准时均应提高一级要求。

1) 抗风浪和稳性要求。按民用规范规定,“海洋六号”船只要满足“完整稳性和破舱稳性”的计算

即可,我们的设计又附加了应满足船舶行业标准“调查船特殊抗风力要求”,提高船的抗台风能力。

2) 抗沉性。根据“海洋六号”船的情况,按规范规定只要满足“一舱不沉”的各项要求即可,但考虑到调查船所需去的调查海域的复杂性,船的抗沉性应提高到满足“相邻两舱同时进水不沉”的各项规定,其中对满足破舱稳性的要求增加了很大难度,不得不采取个别水密横隔壁的位置调整,才满足了要求。

3) 防火安全。按规范规定,“海洋六号”船的消防灭火设施按货船规定设计即可满足要求,但调查船人员较多,除船员外,科研调查人员是临时上船工作,对船的情况不熟悉;为提高船的防火安全性,将消防设施提高到按客船要求设计:划分防火区,设阻火隔堵,加大扶梯、通道的通畅性,以及加强探火和消防灭火措施等。

3.1.2 其他安全措施

1) 避碰问题。《国际避碰规则》规定了在船上设置航行灯的具体位置范围和高度要求。按其规定和要求,需在船的中后部设置高度较大的灯桅,该桅将影响吊机的使用。以此情况便可申请放宽或免除相关规定。只要船检批准申请,便可在后桅的前后距离位置方面,不按“规则”规定设置后航行灯。这样的设置虽然可以通过规范的审查批准,但如果在实际使用中发生海上碰撞,在判别事故责任时无疑将加重我方责任。为防止此类事情发生,“海洋六号”船在设置主桅的位置和形式上进行了优化,做到了完全满足规范规则对航行灯设置的各项规定和要求,同时避免了对吊机工作的影响。

2) 防断裂。“海洋六号”船的船体结构按中国船级社(China Classification Society, CCS)2001年版《钢质海船入级与建造规范》及其修改通报设计。在对应船的不均匀载荷和严重中拱状态,除做好纵向构件过渡部位节点的优化和局部加强外,采用了长首楼纵通甲板和阶梯型强力甲板(中后部分为上甲板,中前部分为首楼甲板),在两者的过渡交叉部位均做了加强。另外,在首楼甲板受力较大部分又覆盖了通至两舷的艇甲板,并做了适当加强。这样将受力甲板逐步上移,万一船体结构出现问题可及早发现,赢得采取补救措施的时间,阻止结构破损的延伸。

3) 封闭与开敞问题。该问题不仅涉及全船的安全性,而且同船上的健康生活环境密切相关,是调

查船人性化设计的典型问题。海洋调查船在高海况航行,甲板上水或船首穿浪是不可避免的,全船封闭处所的可靠水密性和开敞甲板的良好排水性对全船安全至关重要。如果封闭处持续进水或开敞甲板不能及时排水,不但损失船的稳性,而且使船的重心升高,更使船的倾覆危险加剧。另外,在非风暴天气,船上应具有适于人员活动的露天甲板,以供锻炼身体、呼吸新鲜空气和观赏海上美景,达到减少晕船、增进身心健康的目的。在消防灭火和救生方面亦需要封闭与开敞性的恰当匹配,既要有严密的防火封闭区,也应有便于消防灭火和救生脱险的畅通便捷的扶梯通道和适当匹配的开敞甲板部位。

根据“海洋六号”船的具体情况,船的前部以封闭性为主、开敞性为辅;后部以开敞性为主、封闭性为辅进行设计。为增强船的水密性,在艇甲板前端和上甲板后部的内通道进出口处均采取了防风浪措施,全船艇甲板以下的居住和生活工作舱室的舷侧均设置了防水性较强的圆形舷窗。在扶梯通道的畅通性方面,上甲板以下各居住舱内均设有对角线设置的由防火门和围壁保护的斜梯和通道,上甲板以上设有前后贯通的通道和上下扶梯,首楼甲板前部设有进出船内的扶梯通道和上艇甲板的外部斜梯,构成前后环通路线,前后均可快速到达登艇部位。露天活动部位:在船的中前有首楼甲板前端和艇甲板前部;在船的中后,上甲板以上各甲板均有可供人员室外活动部位。

3.2 吨位与尺度

3.2.1 吨位

为控制船的自身重量和吨位,对主尺度进行了优化。以往优选船的尺度主要着眼于船的总体性能,而忽略了减少船的自身重量和吨位的问题。实际上,这是海洋调查船先进性的一个重要指标,也是提高船的技术经济先进性有效的综合措施。为取得招投标竞争的胜利,在投标方案设计中接受了标书规定的吨位要求,实际上是很难做到的,既然做了承诺,只能在设计中采取措施严格控制船的重量和吨位。

3.2.2 尺度

经优选后的主尺度为:总长 106 m、垂线间长 96 m、设计型宽 16.8 m、型深 8.3 m、设计吃水 5.5 m。

3.3 船型与布局

美化船型和布局,以美术优化技术,既好看,又

好用。好看,给人以美的享受;好用,提高其技术经济性。

3.3.1 造型问题

海洋调查船的造型如同其他艺术创作,既有塑造什么形象,又有表达什么思想,体现什么气质,以及怎样表现,如何虚实统一和形式与内容统一等方面的问题。这均需要进一步探索研究,以便从简单模仿中脱胎出来,进而形成体现中华民族勤劳节俭,勇敢智慧和务实的风格。

“海洋六号”船的大型设备多,调查任务重,又需要战狂风斗恶浪,勇往直前无所畏惧,其形象应突出“敦实”,稳而有力,稳中带动。

物体的视觉形象是相对的,以周围参照物得出比例概念。比例恰当即可形成匀称的整体美,而且将优化调查船的一个重要技术经济性,即在漂泊作业时不打转,防止调查缆绳相互或与船体水下其他凸出物体的缠绕等问题,如设置动力控位系统则可提高效率,节省动力装置功率。另外,在日常生活和工作中,对物体和船的形象特征已形成了一些基本概念,如上小下大则稳,短粗则壮;直尔静,斜尔动等。利用这些概念,“海洋六号”船采用阶梯造型,以求改变各部位的长、宽、高比例的视觉形象,并特别处理了首尾形状和烟囱与主桅的匹配等,使船侧影形成前体为长斜边,后体为短斜边,重心居中偏后的虚拟三角形幻影,并优化了航行灯的设置,达到完全满足《国际海上避碰规则》的各项规定和要求,以防发生海上碰撞事故的责任纠葛。

“海洋六号”船的船型收到了良好的客观效果(见图1),在网上的评论中,被评价为“这条船的设计是根据它的用途而定的,谁也不像”,“这船一改以前的考察船的形象,真是漂亮”,“彪悍的外形,……”,“说真的这船真有战船风格”,体现了造型的初衷。

3.3.2 布局

全船设7层甲板或平台,其中3层甲板首尾贯通,既有利于船的纵总强度,又增加了露天作业甲板面积。设10道水密横隔壁,3道主防火壁,并在设施的设置方面满足各相关规范规则和公约对36人以下国际航行客船的各项规定和要求。

驾驶室为全景式,设于船中偏前,完全符合规范对“一人驾驶桥楼”的各项规定,并在留有充分后视窗的前提下,采用了同无线电报务及其蓄电池和充放配电板间,以及盥洗卫生间和就近登艇等紧密结

合的区域完整性设计,体现了人性化。

病房和医生住房相邻,设于艇甲板居住舱室末端,

后邻救生艇,前通直升机起降平台,便于海上救护。



图1 “海洋六号”天然气水合物综合调查船

Fig.1 “Hai Yang 6 Hao” hydrate comprehensive survey vessel

首楼甲板中后部为地质和水文调查及 ROV (remote operated vehicle, 水下机器人) 工作区, 中前部为居住区, 两者之间设有主防火壁相隔。主通道与前、后露天甲板相贯通。调查工作区内的实验室、调查设备和露天作业甲板面积按各系统的作业流程设置。调查作业区内设更衣室和厕所, 以及设有救生消防设备储存室, 以备应急之用。

上甲板后部为地震物探工作区, 其内设有更衣室和卫生间; 中部为厨房、大小餐厅和洗碗间等主要生活区。厨房内设有上通露天甲板, 下通伙食冷库和平台甲板的生活设备舱的物品升降机, 兼顾伙食品和机舱 500 kg 以下备品备件的物流之用。工作区与生活区之间设有横向内通道相隔。上甲板前部为居住区与生活区设主防火壁相隔。各区之间纵向设有双向内通道前后贯通, 后通露天甲板和左右舷梯, 前通备品备件储存舱。在居住区前端设有通往露天甲板的斜梯, 在相邻隔壁设内通门并在储存舱内设有单独上通露天甲板斜梯通道, 设有吊货舱口等, 加大了各方面的畅通性。

地震气爆空压机舱设于机舱后的平台甲板, 既避开了高压空气管穿过机舱, 又使气源靠近用气设备, 缩短了高压空气管路, 增加了安全性。机舱前的平台甲板设有桑拿间、更衣和卫生间以及健身房等。另外, 在靠近声学探测换能器安装部位设有声学设备发射舱及其备品备件储存室等。

平台甲板或内底以下为液体舱。为加强环保, 除在防污染设施的设置方面满足《国际防止船舶污染公约》的各项规定外, 设置了较大容积的污水水和灰水储存舱, 以备处理装置发生故障时存放污水等。

3.4 线型与性能

3.4.1 线型

在前期线型试验研究的基础上, 结合“海洋六号”船的具体情况进行了原创设计, 并经进一步试验优化, 生成了阻力试验数据比较稳定和满足各方面需求的球首、方尾、平底和外张舷侧的中 V 形线型。

3.4.2 性能

1) 吨位。船的吨位控制是设计的技术和经济性的综合体现。该船完工后经倾斜试验验证, 空船重量重心计算数据准确。按此数据计算的设计满载状况的吨位控制在规定范围内, 误差仅为 $\pm 2.2\%$, 小于规范限定的 $\pm 3\%$, 符合规范要求, 在整体上保证了船的技术经济性。

2) 阻力。该线型的船模阻力试验数据, 在经济航速段的单位排水体积阻力 (R_t/Δ) 为 $21.0 \sim 22.9 \text{ N/m}^3$, 最大航速段为 $40.4 \sim 42.9 \text{ N/m}^3$ 。

3) 抗风力。经计算, 各装载状况均满足《海洋调查船特殊抗风力要求》的各项规定, 并特别关注了船的水密性, 以提高在高海况航行的安全性。

4) 稳性。船的完整稳性和破舱稳性均满足我国《船舶与海上设施法定检验规则》的各项规定, 并满足《国际海上人命安全公约》和《特殊用途船舶安全规则》关于 36 人以下国际航行客船对相邻两舱同时进水不沉的各规定和要求。

4 前沿技术问题试验研究

近几年来, 国内外新建海洋调查船陆续出现了船的球鼻首和槽道式首侧推装置的船体开孔与深海多波束探测装置工作不相兼容的严重问题。国外部分新建成的海洋调查船, 由于多波束探测装置不能

正常工作而进厂返工,改造船首并割除了球鼻。国内部分新建调查船同样因为多波束问题而将首侧推船体开孔封闭等。

通过“海洋六号”船的线型和首侧推开孔优化及多波束的安装位置和导流形式匹配的多次模型试验结果来看,三者的关系不是单纯的局部问题,而是涉及船的尺度、线型和各相关设备的选型、安装及其导流等多种因素,既有理论问题,也有技术问题,可称得上是调查船设计的前沿技术问题。“海洋六号”船的设计虽取得初步成效,但仍不理想,仍需进一步加深研究。

5 数据与比较

5.1 设计数据

5.1.1 主尺度比

根据国内外海洋调查船主尺度的长期统计分析,结合“海洋六号”船的具体情况,经优选,将关系船的快速的长与宽之比取为 5.71,同国外船的平均数(5.69)基本持平,而略小于国内船的平均数(6.27);将关系船稳性的型宽与设计吃水之比取为 3.05,均大于国外(2.89)和国内船的平均数(2.944)。

5.1.2 舱室面积

1)生活舱室。我国海洋调查船的人员配置一般均多于国外船。“海洋六号”船的额定人员数为 65 人,其居住舱室人均面积为 13.1 m^2 ,公用处所的人均面积为 4.8 m^2 。

2)实验室。以 4 600 t 计算,单位实验室面积为 $0.099 \text{ m}^2/\text{t}$,单位露天甲板作业面积为 $0.20 \text{ m}^2/\text{t}$,同 2006 年新建的 5 400 t 级 James·Cook 号船(按其公布数据计算)的单位实验室面积($0.067 \text{ m}^2/\text{t}$)和露天甲板作业面积($0.083 \text{ m}^2/\text{t}$)相比,分别大 48.2% 和 142.1%。

5.2 实测数据

5.2.1 局部振动

在试航中,从驾驶室到机舱内底,从前到后,全船选了 26 个部位,进行了低、中、高三种航速状态的振动测量,共测了 78 个数据,其中低速状态振动最大的一点为 5.041 mm/s ,最小的一点为 0.028 mm/s ,其余的均小于 1.0;中速状态振动最大的一点为 4.417 mm/s ,最小的一点为 0.0103 mm/s ,其余的均小于 1.0;高速状态振动最大的一点为 1.627,次大的一点为 1.349 mm/s,最小

的一点为 0.106 mm/s ,其余的均小于 1.0。这些实测数据对照国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)振动标准所允许的最大振动值 9 mm/s ,可谓“微振”了。

5.2.2 舱室噪声

在全功率航行状态对各舱室进行了噪声测量,所测量数据全部满足国家标准《海洋船舶噪声级规定》,其中生活和工作舱室处于 55~65 dB。

5.2.3 快速性

为便于比较,将测速时测得的吨位(t)、航速(kn)和推进功率(kW)换算成快速性指数($t \cdot \text{kn}/\text{kW}$),即每千瓦推进功率推动船的吨位所能达到航速的单位综合指标。常用航速时的快速性指数为 27.61($t \cdot \text{kn}/\text{kW}$),最大航速为 18.28($t \cdot \text{kn}/\text{kW}$)。现将所收集到国内外类似船的最大航速的快速性指数做一比较(见表 1)。

表 1 国内外类似船的最大航速的快速性指数

Table 1 Similarity vessels' rapidity index of the maximum velocity at home and abroad

船名	东方红 2	阿特兰提斯	“回声”号	海监 83	James·Cook	海洋六号
建造年份	1995	1997	2003	2005	2006	2009
国别	中国	美国	英国	中国	英国	中国
快速性指数/ ($t \cdot \text{kn} \cdot \text{kW}^{-1}$)	18.42	14.26	15.31	18.22	16.20	18.28

注:国内船根据试航实测数计算,国外船根据其公布的数据计算

5.2.4 操纵性

a. 回转。经测试,全速回转直径为 2.09 倍船长,最大横倾角为 4.5° ,并具有低速原地回转特性。
b. 惯性。全速自动停船滑距 14.6 倍船长,滑行时间 9.2 min,首偏角 23° 。
c. 航向稳定性。全速航行 3 min 不操舵偏航 70° 。

6 结语

笔者多年从事海洋调查船的研究设计,并设计建造了多型不同类型的调查船,但感到有些原则性问题仍未得到满意的答案,如技术先进性与工程经济性、船的综合性与专业性、船的时代性和国内外船的差异性等关系。通过“海洋六号”船的设计、建造和试验试航及一年多的试用,有些问题比较清楚了,得到了比较满意的答案,这里不再赘述。

(下转 36 页)