

VLCC 设计的新理念

赵耕贤

(708 研究所,上海 200011)

摘要: 2005 年以来,国内外船东在我国共订购 20 艘 VLCC,我国 VLCC 的设计与建造进入了一个新的高峰期。本文旨在回顾我国 LCC 和 VLCC 的设计与建造历程的基础上,论及油船结构共同规范(CSR)中有关 VLCC 设计的一些新观点、新理念,以期与同仁交流与探讨。

关键词: VLCC; 规范差异; 设计理念

中图分类号: U674.13⁺3.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9962(2006)03-0009-03

Abstract: Since 2005, the shipowners at home and abroad have ordered 20 very large crude carriers (VLCC) in all in China. As the result, China's VLCC design and construction enter into a new high tide period. This paper reviews the course of LCC and VLCC design and construction in our country at first, then expound some new viewpoint and new ideas of VLCC design in Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker.

Key words: VLCC; difference between rules; idea of design

1 前言

业内人士认为超大型油船(VLCC)与小型油船、灵便型、巴拿马型和阿法拉型油船相比,有极大的变化。VLCC 的设计与建造理念,有更大的突破。

随着 IACS 的 CSR 规范(Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker)^[1]推出,VLCC 设计又产生了新的理念。今天,VLCC 结构设计的原则,应该是确保主要功能前提下(如载重量、航速、稳性等),采用合理的结构型式,在更高层面上保证船体的强度和刚度,实现船体的可靠与安全。本文旨在回顾我国大型油船(LCC)和 VLCC 设计与建造历程的基础上,论及 CSR 规范中有关 VLCC 设计的一些新观点、新理念,以期与同仁作些交流与探讨。

2 我国研制超大型油船的历程

我国的油船设计与建造,已有近 50 年的历史。从中小型油船、LCC 到 VLCC,走过了自行设计与建造——与国外联合设计——自主创新研制的历程:

(1) 1960~1970 年代为自行设计与建造阶段,自行设计与建造了 1 500 dwt、3 000 dwt、4 500 dwt、1 万 dwt、5 万 dwt、6 万 dwt 油船;

(2) 1980~1990 年代为与国外联合设计阶段,国内船厂与挪威联合设计了 10.5 万 dwt、11.8 万 dwt 大型油船,与韩国联合设计了 VLCC(伊朗船东);

(3) 1990 年代至今为自主创新研制阶段。在这

作者简介: 赵耕贤,男,研究员。1941 年生,1964 年上海交通大学船舶制造系毕业,长期从事船舶及海洋工程设计研究工作。

16 年里又可分为下列几个过程:

起步: 1991 年在原中国船舶工业总公司组织下,708 所开发的 180 万桶与大连造船新厂开发的 200 万桶两型 VLCC,应该说是我国研制 VLCC 的起步。

初试: 1995 年开始,大连造船新厂与 708 所合作,为挪威安德斯·威廉姆森航运公司设计与建造 3 艘 15 万 dwt 苏伊士最大型原油船(LCC)。首制船“WILMI YANGZE”号在 1996 年 11 月试航获得一次成功,不仅载重量、航速、强度都达到了规定的指标,而且船体振动良好,深受船厂及挪威船东的赞赏。DNV 船级社中港台地区经理誉该船:“她又为中国船舶工业树立了另一座里程碑”。这是在世人面前显示我国有能力研制 VLCC 的一次初试锋芒。嗣后,中运公司大连分公司入 CCS 船级的 15.9 万 dwt 原油船(LCC)设计与建造,再次为我国设计与建造 VLCC 打下了基础。

推进: 1997 年,美国 Cambridge 公司欲向江南造船厂订购 10 艘 VLCC,一时轰动整个世界。在原中国船舶工业总公司贸易部组织下,708 所与 LR、ABS、DNV 三大船级社广泛讨论,开发了 30.4 万 dwt VLCC 的设计,积极地推动了国内设计与建造 VLCC 的进程。

自主创新: 近 10 多年来,中国船舶工业集团公司始终将自主创新 VLCC 为其追求目标,708 所增加人力与物力投入,完成 LCC 和 VLCC 的开发设计研究,积累了一定的经验。包括:针对双壳体油船的特点,采用专家经验和优化技术,提出优良的 LCC/VLCC 方案;了解 LCC 和 VLCC 船体结构的高应力区域及其处理技术;掌握减少大型船舶尾部

螺旋桨激振的特殊结构;可以预报大型船舶的甲板室振动,提高甲板室整体刚度的有效措施等等^[2-6]。2000年以来,708所还在引进、消化、吸收VLCC新技术方面做了大量工作。

随着国内外油运市场的急需,国内外船东近期在我国订购了20艘VLCC,使我国VLCC的设计与建造进入了一个新的高峰期。

3 VLCC 结构设计技术

业内人士认为:VLCC是扩大了LCC,在解决防污染、稳性、强度、防腐、消防、外输、电站等方面,有十分相似之处。而船体、结构两者也有相类似之处,如采用双壳体结构、有三道水平桁与垂直扶强材组成的平面舱壁。当然,VLCC的油舱较宽,比LCC多设了一道纵向舱壁。而且边油舱和中油舱也较长,液舱的晃动要特别予以关注。所以,舱内往往设有撑杆。当然,撑杆的设置还起到了支撑船体结构的作用。如不设撑杆的油舱,则加设半高的开孔舱壁(制荡舱壁)。但还是可以这样说,LCC的一些设计理念是触类旁通的^[3]。主要在于:

(1)要遵循共同的规范(如船级社的规范、CSR规范、MARPOL修正案等)以及制定结构型式的原则(决定梁拱形式、舳部半径、骨材间距、骨材形式……)。

(2)合理设定静水弯矩值的原则,要能包含所有的装载工况。也就是说,设定的静水弯矩值应大于装载手册中任何工况的静水弯矩。

(3)平面舱壁三道水平桁的位置,尽量使与舱壁水平桁之间的垂直扶强材尺寸相近,以便于工厂加工。水平桁的位置,如能与舷侧边舱平台位置一致,那是更好的选择。

(4)关键节点设计原则,包括桁材趾端和纵骨穿过桁材的节点型式、防倾肘板设计、纵舱壁最前端和最后端的过渡等。

(5)控制高强度钢的使用比例。一般都控制在船体重量的35%以下。

(6)应用船级社的相关软件,设计关键性图纸,并进行结构的强度和疲劳分析。

另外,应该说VLCC主尺度选择并不十分困难。因为,总可以找到许多VLCC的参考资料。设计师只要按业主提出的载重量或业主提供的参考图纸,根据经验确定主尺度,并对其性能指标进行论证与类比。参考文献[7]列出一些VLCC的基本尺度, L/D 基本上在9.8~10.8,型深在30m左右,

吃水在22m左右,船宽在58~60m左右。设计的重点还是油舱区的边压载舱的划分,以满足破舱稳性、线型问题,以及合理地划分油舱以减少船体的中拱静水弯矩等。

参考文献[7]还详述了VLCC船体的总强度储备以及中剖面设计的有关问题(如骨材间距的影响、构件尺寸与纵骨类型的选取、高强度钢应用、撑杆位置等)。提供VLCC的尺度为 $L=318\text{ m}$, $B=58\text{ m}$, $D=31.25\text{ m}$, $d=22.2\text{ m}$ (最大中拱静水弯矩为 $7.15\times 10^6\text{ kNm}$,中垂静水弯矩为 $6.17\times 10^6\text{ kNm}$)。现在VLCC的船宽一般为60m,所以,VLCC的尺度为 $L=318\text{ m}$, $B=60\text{ m}$, $D=29.8\text{ m}$, $d=22\text{ m}$ (最大中拱静水弯矩为 $7.2\times 10^6\text{ kNm}$,中垂静水弯矩为 $6.38\times 10^6\text{ kNm}$)。VLCC船体的总强度储备一般可将甲板设定在3%~5%,而底部的储备往往很大,甚至会超过25%。

随着CSR规范实施,VLCC结构设计将提高到一个新的起点。CSR规范是在IACS发起下,由ABS、DNV、LR三家船级社共同研究推出的。在CSR规范制定过程中,ABS是侧重在超巨型油船(ULCC)和马拿马型油船,DNV侧重在灵便型和苏伊士型油船,LR侧重在灵便型和马拿马型油船方面研究。因此,从某种程度上来说,CSR规范是上述三家船级社规范的合成与发展。例如:晃动及局部强度取自DNV船级社,当用NDV船级社规范时,晃动冲击载概率水平是 10^{-4} 。底部砰击与首部舷侧拍击取自LR船级社,舱内动压力计算取自ABS船级社等。纵观CSR规范,除了增设极限强度要求及考虑动载外,总体框架与各家船级社以前的油船规范基本相似。然而CSR规范已开始摆脱了传统的简单公式设计,它的计算公式开始变得复杂,计及了诸多因素。如果没有一定研究,没有一定的专用软件,要设计好一艘大型或超大型的双壳体油船的难度可能是很大的。此外,VLCC的理念也有明显的变化。下面例举CSR规范与以前的油船规范的主要差异。

(1)构件总厚度有了更清晰的描述,它是构件净厚度加上腐蚀余量。净厚度就是按构件所承受的载荷,满足规范要求的尺寸。而腐蚀余量由两部分构成:规范定义的腐蚀余量 t_{corr} (指构件的耗损量加上0.5mm)和业主额外要求的腐蚀余量。而各种构件的耗损量在CSR规范中已经有明确的规定,不像以前的规范,规定得比较笼统、原则。

(2)在CSR规范要求的强度分析中,对构件厚

度应用要特别注意,需要扣除规定的腐蚀余量 t_{corr} 。不同的强度分析,扣除量是不同的。如船梁剖面模数计算和舱段 FRA 分析中要扣除 $50\% t_{\text{corr}}$;局部强度计算和细网格 FEA 分析中要扣除 $100\% t_{\text{corr}}$;疲劳分析中:船梁应力要扣除 $25\% t_{\text{corr}}$,局部应力要扣除 $50\% t_{\text{corr}}$;屈曲和船梁极限强度分析:船梁应力要扣除 $50\% t_{\text{corr}}$,危险点的应力要扣除 $100\% t_{\text{corr}}$ 。

(3) 船梁纵向的弯曲强度,出处取自 IACS UR S7 和 IACS UR S11。船梁剖面模数还是应用线性弹性梁的理论以及海上和港口可接受的标准。但剪切强度中的波浪剪力已经是 IACS 所要求的值,再加 50% 。所以,CSR 规范中规定的许用剪应力,也从原来的 IACS UR S11 110 kN/mm^2 提高到 120 kN/mm^2 。

(4) 大型或超大型的双壳体油船结构设计中,除了要考虑结构强度与疲劳强度 (Fatigue Limit States — FLS) 外,还提出了要考虑其它的强度要求^[1]。如极限强度分析 (Ultimate Limit States — ULS)、意外载荷强度分析 (Accidental Limit States — ALS)。据统计,按这种标准设计,其船体结构重量比常规设计的高。当然,结构的极限强度并不是新的概念,只是以往船舶设计中较少应用,而今天的船体设计已开始明确了这一点。极限强度分析中主要是引入了如下的公式[参考文献[1]Sec. 9 1.2]:

$$(s M_S + w M_W < M_U / R)$$

式中:

M_S — 中拱垂直静水弯矩;

M_W — 中拱垂直波浪弯矩;

M_U — 中拱垂直极限弯矩(参考文献[1]附录 A);

s — 中拱垂直静水弯矩的局部安全系数, 1.0;

w — 中拱垂直波浪弯矩的局部安全系数(包括环境和波浪载荷预报的不确定性), 1.2 或 1.35;

R — 中拱垂直极限弯矩的局部安全系数(包括材料、几何特征和强度预报的不确定性), 1.1。

(5) 舱段 FEA 分析是采用三舱段模型,不像以前

只选中间的两舱段。如果大型双壳体油船油舱范围,纵向划分为 5 个舱,那么需要建立 No. 1 ~ No. 3、No. 2 ~ No. 4、No. 3 ~ No. 5 3 个三舱段模型,每个舱段模型的所有载荷工况都要做一次。另外,载荷工况也有增加。因此,舱段 FEA 分析工作量极大。

(6) 舱段 FEA 分析中的细网格范围要求增加,除了桁材趾端、主要桁材开口处、模舱壁处的甲板和底纵骨连接端部以外,还要求在下列桁材复板的 $2s$ 范围内建立细网格(s 是骨材间距):趾端背面处的桁材(如肋板、纵舱壁垂直桁及舷侧边舱内横向框)、底边舱折角点处的肋板和舷侧边舱内横向框、撑杆端部的纵舱壁垂直桁和舷侧边舱内横向框、甲板强横梁端部(见参考文献[1]附录 B)。

(7) 船体结构计算已不是简单的公式,公式里面包含了许多参数:除了载荷(有计及运动参量的动载荷、静载荷)、间距、跨距外,还有材料特性及许用弯曲应力系数等,计算显得十分繁琐。

(8) 制定了船梁中段高强度钢与首尾低碳钢之间过渡区域钢级的变化(见参考文献[1]图 8.1.9)。

(9) 值得注意典型的结构节点设计。CSR 规范给出了型材穿过桁材的苹果型或类似苹果型开孔的提示。

(10) 桁材及大肘板上的加强材都有明确的要求。

【参 考 文 献】

- [1] IACS. Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker[S]. 2006. 1.
- [2] 赵耕贤. 大型油船结构设计[J]. 船舶, 1992, (6).
- [3] 赵耕贤. 新一代大型油船结构设计特点[A]. 新型油船文集[C]. 708 研究所, 1995. 3.
- [4] 赵耕贤, 杨志勇. 15 万吨油船有限元强度分析及方法研究[J]. 船舶, 1997, (6).
- [5] 赵耕贤. 15 万吨油船中剖面优化[A]. 首届船舶与海洋工程结构力学学术讨论论文集[C]. 1999.
- [6] 708 研究所. 大型油船文集[C]. 1998.
- [7] Zhao Geng-xian. Midship Section Design of the 300,000 DWT Very Large Crude Oil Carrier [A]. PROCEEDINGS 2nd News-Tec Conference[C]. June, 1998.