

1 000 TEU 级集装箱船的优化开发设计*

曹山林 裘治杰

摘 要 本文就1 000 TEU 级集装箱船的优化开发设计工作进行简要介绍,并与国外设计的优秀母型船作比较。

关键词 中小型集装箱船 优化 知识产权 总吨位 航速 均箱数 空船重量

Optimization development and design of 1 000 TEU container vessel

Cao Shanlin Qiu Zhijie

Abstract: The paper briefly introduces the optimization, research, development and key point of design for a 1 000 TEU container vessel, and compares with the first-rank mother vessel designed by foreign company.

Keywords: medium-sized & pint-sized container vessel; optimization; property right; gross tonnage; speed; homogeneous container number; light weight

1 前 言

集装箱船因其码头装卸迅速便捷、甲板以上空间利用率高等特点,已逐步取代普通干货船,在杂货海运中占据主导地位。为降低营运成本,运输在干线上,呈现持续大型化的趋势,然而超大型集装箱船只能停靠大型枢纽港,配套的支线船队将成为影响码头集疏能力的关键因素,同样十分重要。从目前的 market 情况来看,2 000 TEU 以下的中小型集装箱船,就艘数而言,仍然占有半壁江山,前景看好。

2 母型船简介

本研究的母型船——1 100 TEU 集装箱船由著名的德国 SCHIFFKO 公司开发,我院承担详细设计工作,首制船由江东船厂建造,主要性能指标均达到设计要求,已于2002年11月顺利交船。此后,该船需求量不断增加,目前国内已有江东、金陵、东方、青山、口岸、大洋等多家船厂接到共计60余艘的订单,尽管船价扶摇直上,但各国船东仍趋之若鹜。

母型船为单螺旋桨,柴油机驱动集装箱船。具有

前倾艏柱及球鼻首、方艏。设可调螺距螺旋桨、贝克舵、定距首侧推、两台40 t跨距29.5 m的克令吊、吊离式舱盖、导轨架。并布置防横倾水舱、轴带发电机等。甲板以上可装载大量2 500 mm和2 591 mm宽、45'和48'长的欧标集装箱,使用灵活。

母型船主要要素如下:

总 长	147.87 m
垂线间长	140.30 m
型 宽	23.25 m
型 深	11.50 m
满载吃水	8.50 m
设计吃水	7.30 m
载重量(满载吃水)	13 854 t
载重量(设计吃水)	10 487 t
装 箱 数	1 118 TEU
均 箱 数(14t/TEU)	696 TEU
主 机	MAN B&W 7L 58/64
功率及转速	9 730 kW/428 rpm
航速(90%MCR,设计吃水)	19.6 kn
入 级	GL

* 收稿日期:2005年11月

100 A 5 E Equipped for carriage of containers and Strengthened for heavy cargo

SOLAS II-2, REG. 19 IW

MC E AUT

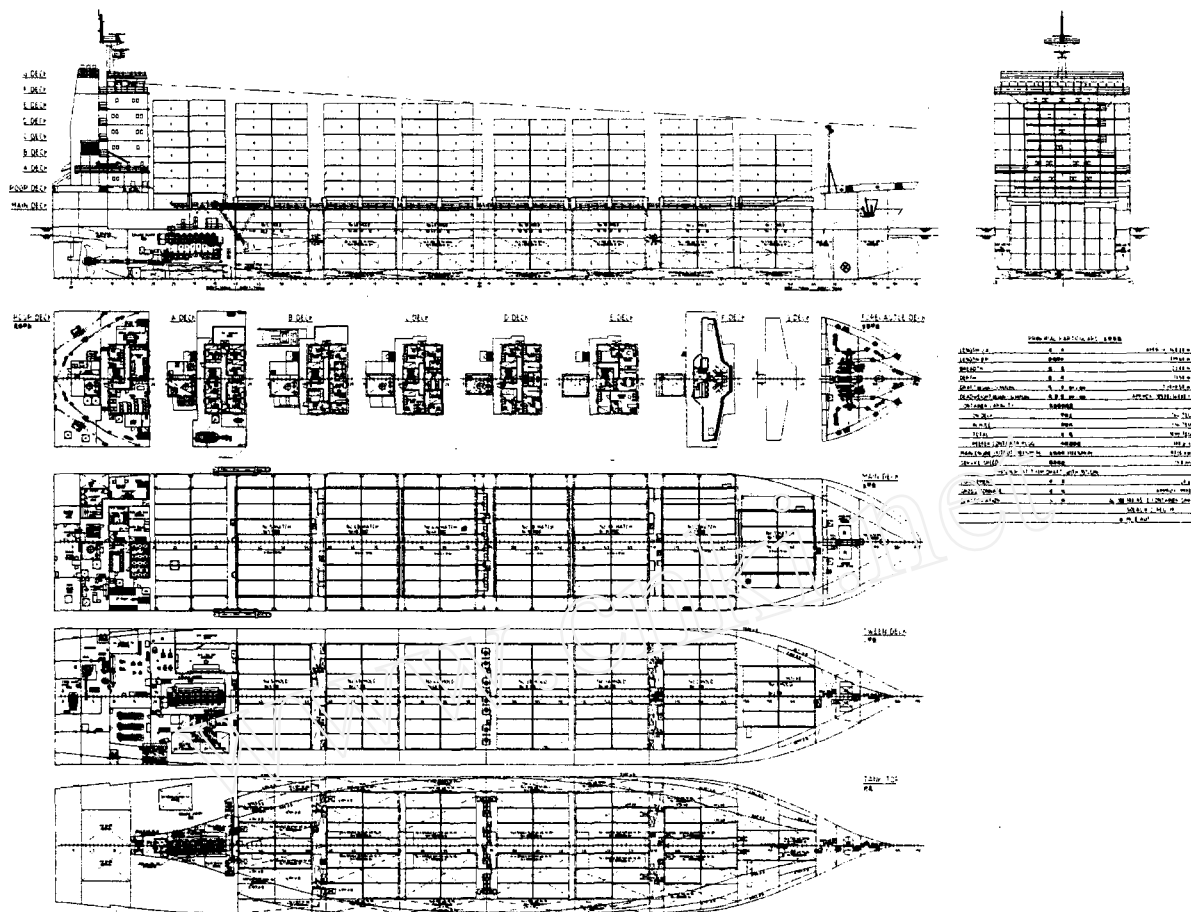


图1 1 000TEU 级集装箱船总布置图

1 000 TEU 级集装箱船总布置图见图1。

母型船主要特点如下:

(1)快速性

母型船7.3 m 设计吃水时航速19.6 kn,傅氏数为0.272,载重量10 487.8 t,海军常数达420,与其它实船资料及传统图谱估算结果相比较,快速性优秀。

(2)装箱数

母型船总吨控制在10 000 以下(实际为9 966 GT),总装箱数达1 118 TEU,其中14 t 均箱数达696 TEU,载重量13 854 t,载重量/均箱数=19.9,各项指标均较先进。

在两个货舱内共可装载56个冷藏箱,在由1道水密横舱壁分隔开的前后各2档肋位的空间里,各布置了1个上下通道、3层工作平台以及7个通风管,在甲板上的风机室上还布置45'和48'集装箱支柱,并且符合澳大利亚码头工人联合会要求,十分紧

凑。

(3)空船重量重心

母型船按金陵厂首制船的倾斜试验结果,空船重量为5 133.3 t,重心距基线高度为9.38 m。其中钢料重量3 390 t,占66%;舾装重量1 130 t,占22%;轮机重量535 t,占10%;电气重量78.3 t,占2%。

空船重量与立方数之比仅为0.137,较先进。

空船重心高度为型深的81.6%。

(4)稳性

母型船为最小干舷设计,储备浮力较少,破舱稳性要求最难满足,采取了连通边舱及提高部分空气管等措施后,满载吃水时,刚好满足696个14 t 集装箱装载的要求。

(5)存在问题

虽然母型船各项性能指标比较优秀,受到了广大欧洲船东的青睐,但仍有不足之处,如:首制船出

现局部振动问题,空船重量重心均略高出原来估算值,因此14 t/TEU均箱数未达到原定的700 TEU,实船航速也略低于船模试验结果;结构方面按多用途船的思路设计骨架及箱脚加强,不甚合理,总纵强度较紧张;机舱的布置对实际使用的考虑比较欠缺,管理不便。

3 主尺度优化

母型船的一个重要优点是总吨位控制在10 000以下。这样不但可以节省停靠码头的费用,而且进出部分港口时可免去引水的麻烦,是理想的集装箱支线运输船型。

我们在保持总吨位不大于10 000,以及装箱数指标的前提下,适当压缩了货舱长度和边舱的宽度,将主尺度进一步紧凑化,尽量降低建造成本,提高新船型的竞争力,具体见表1:

表1

项 目	母型船	本 船	比 较
垂线间长 (m)	140.30	139.60	-0.5%
型 宽 (m)	23.25	23.00	-1.0%
型 深 (m)	11.50	11.50	—

4 快速性优化

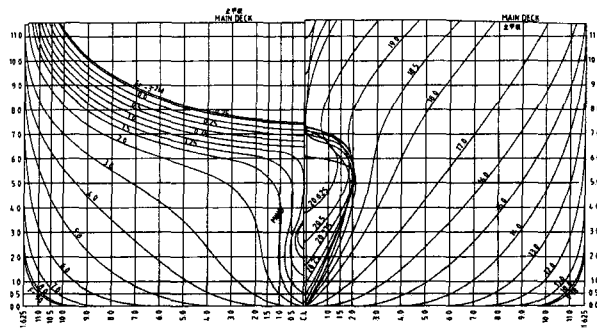
4.1 线型

母型船的快速性比较优秀,其线型是SCHIFFKO公司多年积累,并通过反复试验分析,优化而得,船模试验前还进行过CFD理论分析。要在此基础上进一步优化难度较大,而且小修小改难免有侵犯他人知识产权之嫌。经与上海船舶运输科学研究所的专家反复研究讨论,终于设计了一个全新线型,快速性更为优秀,与SCHIFFKO的线型差别也很明显。详见图2。

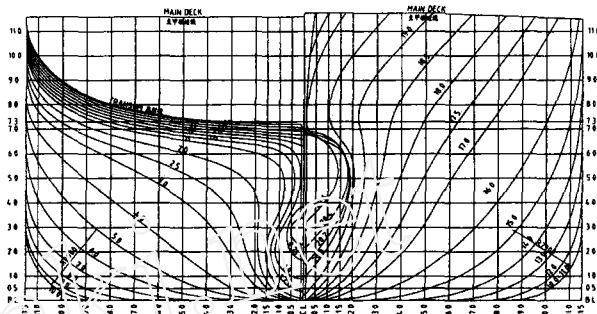
该线型与SCHIFFKO线型比较,浮心位置前移,去流段更加顺畅;6.5 m~8.5 m吃水区域的水线面系数较大,同时球尾更突出。详见下表2:

4.2 船模试验

经过对SCHIFFKO船型的船模试验报告的分析,发现该船虽然在20 kn附近的航速考核点区域的指标较好,但在19 kn以下区域的收到功率则相对较高,因此在实际常用的18 kn左右的服务航速时优势会减少。



SCHIFFKO 线型



本船线型

图2

表2

项 目		SCHIFFKO 线型	本船线型	比较
7.30 m吃水时浮心纵向 位置 LCB		49.1% L_{BP}	50.7% L_{BP}	+1.6% L_{BP}
水线面系数 C_w	4.0 m吃水	0.663	0.681	+0.018
	6.0 m吃水	0.738	0.754	+0.016
	7.3 m吃水	0.802	0.846	+0.044
	8.5 m吃水	0.859	0.901	+0.042

在收到功率曲线上还可以明显发现(见图3),在18 kn以下区域设计吃水与压载吃水的功率曲线几乎重合,说明压载时的快速性还有改进的余地。

此外,母型船船模试验未开首侧推孔,试验结果应该需要修正。

为增加可比性,本船船模试验的参数选取均与SCHIFFKO相同,比较结果摘要见表3:

本船为最大限度地提高稳性、提高装箱数,方形系数选为0.644,原船为0.636,湿表面积为4 036.0 m^2 ,原船为3 968.9 m^2 ,均不利于阻力,但由表3可见,本船的推力减额 t 更小,而伴流分数 w 更大,推进效率优于原船,因此在19 kn以下区域收到功率反而低于原船,19 kn以上区域略高;另外考虑到本

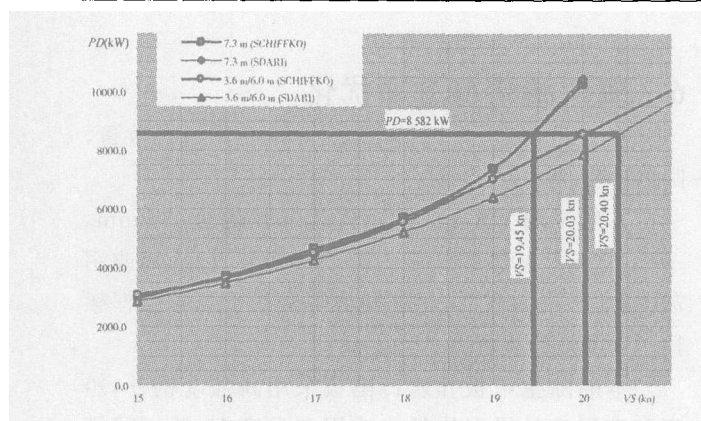


图3 SCHIFFKO 线型与本船线型的收到功率曲线比较

船为更接近实际情况,船模试验时已开首侧推孔,按常规估计将消耗1.5%的功率,因此可以认为本船与SCHIFFKO 船型相比,在整个15~20 kn 区域的快速性均毫不逊色,19 kn 以下常用服务航速区域则收益明显。

表3

设计吃水 7.3 m		SCHIFFKO 线型	本船线型	比较
推力减额 t	17.0 kn	0.1810	0.1695	-0.0115
	18.0 kn	0.1753	0.1748	-0.0005
	19.0 kn	0.1894	0.1777	-0.0117
	20.0 kn	0.1879	0.1692	-0.0187
伴流分数 w	17.0 kn	0.2559	0.2676	+0.0117
	18.0 kn	0.2534	0.2695	+0.0161
	19.0 kn	0.2593	0.2720	+0.0127
	20.0 kn	0.2541	0.2684	+0.0143
收到功率 P_D	17.0 kn	4 635.9	4 445.3	-4.1%
	18.0 kn	5 679.9	5 563.7	-2.0%
	19.0 kn	7 383.3	7 388.5	+0.1%
	20.0 kn	10 280.1	10 437.6	+1.5%

压载状态的比较结果如下表4所列。为增加可比性,本船压载状态的首尾吃水特意与原船取相同数值,首吃水3.6 m,尾吃水6.0 m。表列数据同样尚未考虑原船首侧推孔消耗功率的影响。

本船18 kn 左右的快速性优于母型船。本船设

1 400 kW轴带发电机,因此实际最常用于推进的功率为 $(9\,730 \times 0.9 - 1\,400) \times 0.98/1.15 = 6\,269.4$ kW,母型船对应的航速为18.4 kn,本船可提高0.05 kn,如考虑母型船船模未开首侧推孔的影响,估计本船比母型船快0.15 kn,而较小吃水时的快速性明显高于母型船,因此认为本船可比母型船更快或更节省燃油。

表4

压载吃水 3.6 m/6.0 m		SCHIFFKO 线型	本船线型	比较
收到功率 P_D	18.0 kn	5 559.5	5 192.6	-6.6%
	19.0 kn	7 017.1	6 376.6	-9.1%
	20.0 kn	8 539.3	7 852.9	-8.0%
	21.0 kn	10 083.0	9 633.1	-4.5%

所需功率有平均6%以上的节减。

3 装箱数优化

装箱数是集装箱船的一个重要指标,总的装箱数由于包括了大量的空箱数,并不能完全反映船舶的载货能力,因此目前14 t/TEU 均箱数已成为船东最关心的一个指标,母型船14 t/TEU 均箱数达696 TEU,载重量/均箱数(DWT/TEU_{14t})为19.9,对1 000 TEU 级的船舶而言,均已比较理想。然而我们并不满足,在线型、重量重心方面努力挖潜,希望最大幅度地提高这一指标。

提高14 t/TEU 均箱数其实就是要提高船舶的稳性。但由于本船的主尺度比母型船稍小,而横稳性半径 BM 正比于 B^2 ,如采用原线型变换的话,方形系数维持不变, BM 将下降2.1%,约0.127 m,若欲维持初稳性高度 GM 不变,仅此一项,就将使14 t/TEU 均箱数减少11 TEU;与此同时,由于主尺度减小,排水量将减少近300 t,载重量减少220 t,按DWT/TEU_{14t}=19.9 估算,14 t/TEU 均箱数又将减少11 TEU。

因此,必须采取有效手段,弥补因主尺度缩小而损失的均箱数。

本船首先将8.5 m 满载吃水处的水线面系数提高到0.9 以上,大幅度提高横稳性半径 BM 至6.26 m,超过母型船0.32 m,实际 KM 增加0.36 m。

其次,在航速允许的范围内,适当加大方形系数,使本船8.5 m 吃水时的排水量不低于母型船,提

高载重量,增加14 t/TEU 均箱数。

最后,进行结构优化,减少空船重量,提高载重量,以进一步增加14 t/TEU 均箱数。

通过以上各种措施,本船的14 t/TEU 均箱数不但未减少,反而比母型船提高了8 TEU,到达704 TEU。

另外根据实际征询多位船东的意见,目前一般航运公司的集装箱船的航线都比较固定,而集装箱专用码头的建设步伐也很快,极少会遇到码头无起货设备的情况,船舶配备的克令吊没有多少用武之地,而价格却不菲,因此大部分船东都建议只保留克令吊的安装位置,而不予配备。根据母型船的资料,发现两台克令吊包括基座的总重量超过160 t,而且重心距基线23.7 m高,对稳性影响较大,决定去除,这样不但可提高160 t载重量,而且空船重心将降低0.47 m,经计算本船14 t/TEU 均箱数将又可提高13 TEU,达到717 TEU, $DWT/TEU_{14t}=19.8$,优于母型船。

由于线型的特点不同,本船在8.50 m吃水时的极限最小GM值比母型船有所提高,母型船14 t/TEU 均箱数主要受破舱稳性限制,采取了连通边舱及提高部分空气管等措施后,勉强使极限GM值降低到1.10 m,这样14 t/TEU 均箱数可达到696个。而本船稳性主要受完整稳性衡准中的最大复原力臂对应角不小于25°的限制,极限GM值为1.476 m,虽然该GM值较高,但由于KM高,比较容易满足,14 t/TEU 均箱数反而超过母型船。并且极限最小GM值不受破舱稳性限制,不必采取任何不便的措施,可以满足。

各种措施引起的14 t/TEU 均箱数的变化过程如下表5所列:

表5

措 施	14 t/TEU 均箱数	比母型船 比较	制约因素
缩小主尺度引起 KM下降	685 TEU	-11 TEU	破舱稳性
缩小主尺度引起 载重量下降	674 TEU	-22 TEU	破舱稳性
采用大外飘线型 提高KM	685 TEU	-11 TEU	完整稳性
加大方形系数 提高载重量	697 TEU	+1 TEU	完整稳性
结构优化提高载重量	704 TEU	+8 TEU	完整稳性
去除克令吊	717 TEU	+21 TEU	完整稳性

6 船体结构等方面优化

在满足规范、规则的基础上,减少其钢材重量,降低造船成本。

本船采用790 mm肋距代替母型船的700 mm,一个40英尺标准箱长度内需要强框架五个,而改用790肋距,可节省2个强框架,则全船可节省强框架14个,因此可节省钢材约110 t。

本船除主甲板和舱口围板采用高强度钢外,船底和双层底的纵向构件亦改用高强度钢,用于减轻本船的结构重量。舷侧和纵舱壁改用纵骨架式,采用此骨架形式提高了纵向强度和扭转强度,弥补了由于大范围采用高强度钢带来其刚度的变化。

母型船的旁桁材在两集装箱箱脚的中间,由于加强构件之间的距离狭小,因此给建造带来很大的麻烦。本船将船底旁桁材设置的位置移至箱脚加强的位置,从而可取消一边的加强筋,从而方便了施工,减少了钢材。

同时在不影响其他剖面的纵向构件尺寸变化的前提下,将首部吃水从原来的3.6 m增加到4.0 m,首部抨击加强的板厚减少2.0~3.0 mm。

通过结构全面的优化设计,使船体结构重量比母型船减轻约153 t(为船体钢料重量的4.5%)。

在轮机方面,采用机舱功能区划分的理念,合理布局,简化管路,便于管理;改善货舱通风效果,方便施工。

7 小 结

本船的母型船已比较成熟,但通过这次科研课题研究,还是有所收获,主要有以下几处:

首先是主尺度更紧凑,可进一步降低造船成本。

其次是采用全新的线型,尽量加大满载吃水处的水线面系数,提高了KM值,使稳性有所提高,尤其是破舱稳性不再成为最难满足的制约因素。为进一步提高14 t/TEU 均箱数创造了条件。

再次是采用全新的肋距和骨架形式,适当使用高强度钢,提高了总纵强度,节省了钢材重量。

8 致 谢

作者在撰写本文期间,朱幕时研究员和石慈忠高级工程师给予了大量的帮助和建议,在此表示感谢!