



大型 集装箱船



文集

俞宝均 选编

中国船舶工业第七〇八研究所

2000年9月



前 言

由于集装箱运输具有“快速、安全、价廉、货损少”且可通过综合利用公路、铁路、水运、民航等多种运输方式,实现“门到门”的运输优点,自 50 年代中期由美国将集装箱运输方式从陆上推向海上以来,国际集装箱运输得到了飞速发展,集装箱运输已成为交通运输中最主要的现代化运输方式。集装箱船型的发展速度压倒了一切船型的发展速度。全集装箱船逐步取代了普通的干货船、杂货船,至今已成为世界三大民用运输船型之一(三大船型是油船、散货船和集装箱船)。

在集装箱船型中船舶大型化来势迅猛,集装箱船的升级换代的时间呈加速趋势。自第一代全集装箱船从 1968 年问世以来,至今第六代集装箱船已投入营运。目前第四代大型集装箱船已成为当前的主流船型。有关专家预测,2005 年前后,第五代集装箱船将取代第四代集装箱船而成为主流船型,同时第六代集装箱船将成为最具发展潜力的船型。

中国船舶工业第七〇八研究所在原中国船舶工业总公司和国家有关部委的支持下,自 80 年代末开始,十多年来对大型集装箱船的设计技术进行了科技攻关和船型开发,并一直跟踪世界大型集装箱船的最先进技术和发展趋向。十多年来大型集装箱船的总体设计、船模试验和结构优化设计三大方面取得了一批科研成果。已进行的和正在进行的巴拿马型和超巴拿马型集装箱船的系列船模试验结果表明,我们开发的大型集装箱船的优秀线型是成功的。

我们已经收集了世界上至 1998 年底的所有全集装箱船的主要要素、性能等资料。本论文集集中挑选了国内外自 90 年代中期以来资料

比较详情的且有代表性的有关大型集装箱船船型开发方面的一些文章和资料,内容涉及总体、结构和模型试验三方面,还包括 DNV、GR 等国外船级社对大型集装箱船技术状况和发展趋势的评估。

大型集装箱船的设计制造技术从巴拿马型开始发展到超巴拿马型,我们收集的文章内容也力求体现这一过程,因此从现在的眼光看,90 年代前期收集的船型不能说先进的了,但对我国广大科研设计建造的技术人员来说,从中可得到一点启示。

我们原计划在出版冷藏船文集和新型油船文集后接着出版大型集装箱船文集,由于种种原因,特别是我国船厂一直接不到建造大型集装箱船的订单,该论文集的出版便搁置下来,近年来我国又掀起建造集装箱船的热潮,特别是国家出台了“国轮国造”的决策,沪东造船厂和大连造船新厂接到了中海集团建造 8 艘 5 600 TEU 的超巴拿马型集装箱船订单,广大造船和航运部门的科技人员对大型集装箱船文章更为关注,我们期望这本文集的出版能对我国自行开发大型集装箱船有所帮助。

由于水平所限,不妥之处在所难免,敬请批评指正。

编 者

2000 年 7 月

目 次

国际集装箱运输船舶大型化趋势·····	俞宝均 杨燮庆 张良(1)
大型集装箱船的技术现状及发展趋势·····	俞宝均(8)
集装箱船的费效设计和安全性·····	DNV Wilhelm Magelssen(16)
未来超大型集装箱船的可行性与设计·····	H. G. 派尔 L. 威腾堡(33)
大型(巴拿马型)集装箱船主尺度及要素分析·····	俞宝均 唐云澜(38)
5 250 TEU“鲁河”号超巴拿马型集装箱船·····	张磊(50)
C10 型超巴拿马型集装箱船·····	唐云澜(54)
典型的第四代巴拿马型集装箱船·····	唐云澜(57)
3 800 TEU“珍河”号巴拿马型集装箱船·····	俞宝均 林赛琴(61)
3 800 TEU“俊河”号巴拿马型集装箱船·····	俞宝均 林赛琴(65)
3 800 TEU“远河”号巴拿马型集装箱船·····	俞宝均 林赛琴(67)
2 700 TEU“高河”号巴拿马型集装箱船·····	俞宝均 林赛琴(70)
2 700 TEU“柏林快航”号冷风型集装箱船设计·····	王德祥(74)
大型集装箱船线型优化设计及节能试验研究·····	都绍裘 陈碧(81)
大型集装箱船高稳心线型开发研究·····	都绍裘 俞宝均 陈碧(90)
集装箱船结构强度·····	李小平 黄芳昌编译(99)
集装箱船和大舱口散货船的结构设计 ·····	李小平 周永青 黄芳昌编译(103)
超宽舱口集装箱船横向过道甲板的强度分析及其 对船体扭转刚度的影响·····	周承先 黄芳昌 李小平(110)
4 000 TEU 级巴拿马型集装箱船船体结构设计 ·····	黄芳昌 李小平(117)
大型集装箱船整体强度和疲劳分析方法·····	高志龙 孙松琦(125)

国际集装箱运输船舶大型化趋势

俞宝均 杨燮庆 张 良

1 概 述

世界集装箱运输的迅速发展,有力地刺激了各大航运公司的订船欲望,从而使世界集装箱船队船舶保有量快速增长。据统计,到1998年一季度止,世界全集装箱船保有量为2 206艘,箱位量约365万TEU(以下所述集装箱船均指全集装箱船)。其中4 000 TEU以下2 047艘,占总量的92.8%,以箱位量计占79.9%;4 000 TEU以上虽然只有159艘,仅占总量的7.2%,但以箱位量计占20.10%,在世界集装箱主干航线上担当运输的主力。

当今世界经济日益趋向一体化,许多航运公司为了缓和竞争压力、提高服务质量、降低成本,纷纷进行联盟,向集团化、联营化方向发展,走联营、兼并的道路。而且联盟内部也将不断分化重组,以实现联合派船、互租舱位,达到最优配置,从而保证大型集装箱船尽可能高的舱位利用率。

2 全集装箱船的发展历史和特点

集装箱船习惯上是按其箱位量的多少来进行划分的,本文根据造船界和航运界的习惯讲法,将世界全集装箱船大致分为六代:

第一代:<1 000 TEU

第二代:1 000~2 499 TEU

第三代:2 500~3 499 TEU

第四代:3 500~4 799 TEU

第五代:4 800~6 600 TEU

第六代:>6 600 TEU

2.1 各代集装箱船的发展历程

本文根据劳氏船级社及国外有关期刊的资料,统计了1968年至1998年第一代到第六代集装箱船每年新增的艘数和箱位量,从中我们可以大致看出集装箱船的发展历程:

(1) 第一、二代新建集装箱船同时从1968年开始出现;

(2) 第三代为巴拿马型集装箱船,虽然始建于1972年,但直至1984年开始才批量建造;

(3) 第四代集装箱船可分为两类:一类为巴拿马型船,船舶的几何尺度(船长、船宽、吃水)都达到了巴拿马运河所能允许的极限值;另一类是早期的超巴拿马型船。世界上第一艘典型的第四代集装箱船始建于1988年。此后,每年均保持较快增长,年艘数增长量达到了两位数,箱位量的增长超过了45 000 TEU;

(4) 第五代集装箱船始建于1995年,当年的箱位量就达到了39 040 TEU,且全部都是超巴拿马型船;

(5) 第六代超大型集装箱船已于1997年问世。

由上可见,各代集装箱船问世的时间间隔呈逐步缩短的趋势,其中第三与第四代之间为16年,第四与第五代之间为7年,第五与第六代之间仅为2年。

2.2 全集装箱船发展特点

2.2.1 全集装箱船的主流船型不断大型化

自1972年出现第三代集装箱船以来,各代集装箱船的发展呈现出较明显的阶段性特征:

(a) 1973年后,第一代集装箱船发展最快,在1976~1979年间进入成熟期,艘数比例和箱位量比例分别在1977年和1979年达到自身的最高峰,为57.9%和26.8%,是这一时期集装箱船的主流船型。同一时期,第二代和第三代集装箱船发展缓慢,其艘数和箱位量所占的比例均呈下降趋势。

(b) 1978年后,第二代集装箱船开始加快发展,很快在1980~1984年间进入成熟期,艘数和箱位量比例基本保持在41%和60%左右,是其自身发展的最高水平,为这一时期集装箱船的主流船型。这一期间,第一代集装箱船渡过成熟期、所占比例开始下降。第三代集装箱船仍发展缓慢,其艘数和箱位量比例继续有所降低,原因是设计制造技术需要继续完善、使用定位还不够明确、营运效益不太明显,使其艘数和箱位量比例均呈下降趋势,可谓导入期漫长。

(c) 1984年,第三代集装箱船开始进入成长期,在1988~1994年间为成熟阶段,箱位量和艘数所占的比例达到自身发展的最高峰,分别为28.6%和14.4%,是当时集装箱船的主流船型。

(d) 第四代集装箱船自1988年迅速进入成长期,到1995年第五代集装箱船出现后才放慢增长速度,逐渐进入成熟期,设计制造技术变得完善,船型与船公司的经营方式和经营水平最为适应,在各航线上的使用已很普遍、营运效益稳定,是目前阶段的主流船型。这时,第一代到第三代集装箱船在集装箱远洋运输中的重要性有所下降,原因是已落后于规模经营的要求、营运成本相对较高,开始局限在某些特定航线上使用。

综上所述,全集装箱船的主流船型呈不断大型化之势。但可以预见,为满足集装箱远洋、支线及某些特定干线的运输需要,第一至

第三代集装箱船将长期保持一定比例,其艘数和箱位量的绝对数还会随总需求的增长而继续有所增加。

2.2.2 超巴拿马型集装箱船数量急剧增多

早期超巴拿马型集装箱船的船宽不大于39.4米,最大箱位量不超过4743 TEU,属第四代集装箱船。自美国总统轮船公司(APL)于1988年建造第一艘超巴拿马型集装箱船以来,该型船一度发展不快,至1994年,世界上这种类型的集装箱船总共才15艘。但自1995年以来发展迅速,队伍急速壮大,而且大多为箱位量超过4800 TEU的第五代集装箱船。1995~1997年的3年中新增超巴拿马型集装箱船共56艘(其中第五代集装箱船47艘,总箱位量达25.2万TEU)。1997年更是出现了一批第六代超大型集装箱船,目前最大的马士基公司“Sovereign Maersk”号船,箱位量已达到8736 TEU。上述情况表明,集装箱船大型化已进入超巴拿马型化时代。

2.2.3 大型集装箱船集中航行于全球三大主干航线

世界上的集装箱班轮航线可以粗分为两大类:主干航线和支线。主干航线包括:远东/北美、远东/欧洲、欧洲/北美、地中海、澳洲、中东、中南美、非洲和印度等航线,其中前3条航线包括环球、钟摆式航线在内是三大主干航线。世界集装箱枢纽港都在这3条航线上,而且2500 TEU以上的大型集装箱船大多集中航行于这3大航线上。《劳氏航运经济学家》将2500 TEU以上的大型集装箱船按航线配船分类统计分析成表1。

从表1可以看出,在三大航线上航行的2500 TEU以上大型集装箱船,2500~3249 TEU级别的占其总数的55.6%,3250~4249 TEU级别的占65%,4250 TEU以上级别的占91.5%。

4250 TEU以上的集装箱船绝大多数为超巴拿马型船,因此超巴拿马型船几乎全在

三大航线上航行,特别是远东-北美和远东-欧洲两条航线。从这一点也可说明随着集装箱船的大型化,其营运航线日趋向主干航线集中,国际集装箱枢纽港的功能主要是接纳这些超巴拿马型集装箱船,这一点更加明确,其作用也因此更加突出。

2.2.4 各代大型集装箱船的尺度概况

随着船舶设计技术和建造技术的不断提高,同样尺度船舶的箱位量明显提高,因此统计已建集装箱船的尺度情况,所得到的箱位量数据是相当离散的。为此,本文将典型的大型集装箱船的尺度情况列于表2。经归纳,大

型集装箱船的尺度如表3所示。

表1 2500 TEU以上集装箱船按航线配船分类统计 (单位:艘数)

航 线	2500~3249 TEU	3250~4249 TEU	4250 TEU以上	总计
多边贸易	76	62	7	145
远东/北美	86	35	35	156
远东/欧洲	37	73	40	150
欧洲/北美	12	9	—	21
其他航线	32	1	—	33
总 计	243	180	82	505

表2 典型大型集装箱船的尺度情况

船 名	第三代 高远	第四代 俊河	第四代 Hannover Express	第四代 杜鲁门总统号	第五代 C-H	第五代 America	第五代 鲁 河	第六代 铁行	第六代 Sovereign maersk
航运公司	中远	中远	哈-劳	总统轮船	总统轮船	东方货柜	中远	铁行	马士基
总 长 (m)	230.6	276.5	294.0	275.3	276.3	276.0	280.0	299.9	346.7
型 宽 (m)	32.2	32.2	32.25	39.4	40.0	40.0	39.8	42.8	43.0
型 深 (m)	18.8	21.2	21.4	23.6	24.3	24.3	23.6	24.4	24.7
吃 水 (m)	12.02	12.5	13.52	12.5	14.0	14.03	14.0	13.5	14.5
甲板上集装箱列数	13	13	13	16	16	16	16	17	17
箱位量 (TEU)	2716	3802	4407	4340	4832	4960	5250	6674	8736
主机最大功率 (kW)	16670	34300	36500	41880	48820	48620	43100	65910	
航速 (kn)	19.0	24	23	24.2	24.5	24.5	24.7	24.5	
船 型	巴 拿 马 型				超 巴 拿 马 型				

表3 大型集装箱船的尺度

尺 度	总 长 (m)	船 宽 (m)	吃 水 (m)	甲板上集装箱的列数
第三代集装箱船	220~280	32.2	12.0	13
第四代集装箱船	巴拿马型	270~294	32.2	12.5~13.5
	早期的超巴拿马型	275~280	37.1~40.0	12.5~13.0
第五代集装箱船	5000 TEU级	276~296	40.0~42.5	14.0
	6000 TEU级	300~318	40.0~42.5	14.0
第六代集装箱船	300~347	42.5~45.0	14.0~14.5	17~18

3 集装箱船大型化发展趋势预测

3.1 集装箱船大型化加速发展的驱动力

超巴拿马型集装箱船加速发展的主要原因是跨国公司的生产经营活动已经成为全球经济活动的主导力量。跨国经营对世界海运货物的结构、流向产生了巨大的影响,跨国公司成为集装箱班轮运输市场的主要需求者。而加速发展的内部驱动力则是超巴拿马型大型集装箱船的规模经济效益明显提高。

从市场竞争角度看,目前集装箱航运市场竞争激烈,千方百计降低营运成本是各大航运公司的一致目标。伦敦德鲁里航运咨询公司对 6 000 TEU 以上的超巴拿马型船作了分析,认为用单位 TEU 成本与巴拿马型船作比较,船员费用可节约 30%,燃油成本可节约 20%,保险费用可节约 10%,港口费用可节约 15%,维修及保养费用可节约 25%。据我们走访调查所了解,航运公司也做过这方面的实际营运成本分析比较,证实第五代超巴拿马型集装箱船与第四代巴拿马最大型集装箱船相比,每 TEU 成本可减少大约 200 美元。

以下四方面因素更使超巴拿马型集装箱船的迅速发展成为现实:

(1) 从船舶角度看,超巴拿马型船的尺度比(船长/船宽=6.50~7.26)比巴拿马型船的尺度比(船长/船宽=8.82)更趋合理,船舶各项性能更易得到保证。超巴拿马型船的船宽增加后,船舶的稳性得到改善,从而可以减少压载水的容量,使原本用来装载压载水的载重量变为货箱,这样船舶重箱的载箱率可大大提高;

(2) 从港口设施角度看,90 年代前,世界上许多集装箱枢纽港的装卸桥吊仅适应于

巴拿马船型,只能吊 13 列集装箱。进入 90 年代后,超巴拿马型装卸桥吊已占所造装卸桥吊的 62.7%,现在订造的占有订单的 68.9%。至 1995 年,世界上大部分集装箱枢纽港的装卸桥吊已经改造,能适应 16~18 列集装箱船的装卸,从而保证了超巴拿马型集装箱船的迅速发展。

(3) 从集装箱运输趋势看,一是运输的重心从大西洋转移到远东,远东份额 1995 年已上升到 43.7%;二是美洲陆桥的兴旺发达,把远东到北美航线的大部分箱量都吸引到北美西海岸的温哥华/长滩一线,而不必运到非美东海岸的纽约。这就意味着巴拿马运河在集装箱运输中的重要性下降,超巴拿马型船舶随之大幅上升。

(4) 各家航运公司组成联营体后,在主干航线上的集装箱运输实现合理配船,保证了航线上大型集装箱船的载箱率可明显提高。

3.2 可能制约集装箱船大型化发展的因素

尽管集装箱船大型化的势头迅猛,但在下世纪初的几年内,很难突破 10 000 TEU。货源的组织与疏散、集装箱船在港作业时间以及港口码头的改造等等,都是制约集装箱船大型化的重要原因。从大型集装箱船建造角度考虑,其大型化发展则受到以下两个因素的制约:第一,选不到更大的柴油机来保证大型集装箱船的航速。目前专为大型集装箱船开发的柴油机有两种型号,一是 MAN B&W K98MC-C,单缸功率 5 710 kW,最多 12 缸,功率为 68 520 kW;二是 WARTSILA Sulzer RTA96C,单缸功率 5 490 kW,最多 12 缸,功率为 65 880 kW,这几乎是柴油机功率的极限。8 000 TEU 级集装箱船需选用该两型主机之一,而 10 000 TEU 以上的集装箱船为保证航速,则必须选用具有更大功率的主机。第二,船舶结构设计技术、制造技术和材料选择在一定程度上也限制了更大型船舶的出现。

随着科学技术的进步,以上两个限制条件会有所突破,例如不再选用柴油机而选用电力推进系统作为主机,但这需要时间。

3.3 大型集装箱船发展趋势预测

从现有订单分析,绝大部分航运公司订造的干线船舶都属 5 000~6 600 TEU 级的第五代集装箱船,今后 5 年内其保有量会有较大幅度增长,2000 年后,将进入成熟期、成为大型集装箱船的主流船型。

1996 年汉堡码头营运会议曾展出 15 000 TEU 级集装箱船的设计图纸,其主尺度大体是:船长 398 m,船宽 69 m,结构吃水 14 m,航速 25 kn,采用电力推进。根据船舶本身的经济性,15 000 TEU 船的结构吃水设在 17.0 m 比较合理,由于港口条件限制,定为 14.0 m 在技术上是可行的。但根据目前水平,很难在 2010 年之前予以实用性开发。

4 当前大型集装箱船的实际营运状态

集装箱船不同于散货船或油船,它有载重量和箱位量两个装载因素,其装载状态通常用 14 t/TEU 平均箱重的集装箱装到船舶结构吃水(满载吃水)时的载箱率来进行衡量。一般而言,第四代巴拿马型集装箱船为 72~78%(随船东要求而定),第五、第六代超巴拿马型集装箱船还要高一些。需要指出的是,设计吃水是衡量或比较船舶各项性能和技术指标优劣的一种基准吃水,主要在船舶试航、交付时使用,对船舶的真实营运状况没有实际意义。

根据对世界著名的几家船公司和一些集装箱枢纽港的分析来看:

(1) 从港口方面看,据香港葵涌某集装箱货柜码头(该码头 12.2 m 水深和 15 m 水深泊位分别占 60%和 40%)统计,1997 年在

该码头靠泊的集装箱船共计 2 582 艘,其中营运吃水达到 12 m 及以上的占 27.5%;而香港特区政府海事处官员介绍,现在进出香港的集装箱船舶,其吃水最大的总在 13 m 以上。美国长滩某集装箱货柜码头泊位水深为 15 m,全年接纳吃水达到 14 m 的集装箱船的比例不足 3%,但吃水达到 12.5 m 的船舶的比例则较大。

(2) 从船公司方面看,某国际著名船公司,其远东-欧洲航线上的 3 800 TEU 集装箱船,1997 年 52 个航次中,在新加坡离港驶往地中海沿岸时达 12.5 m 满载吃水的概率在 90%以上,此时载箱量为 3 200~3 400 TEU 左右,其中还有 60 TEU 左右的空箱;重箱的平均箱重也只有 12~14 t,远小于 24 吨的最大箱重;另一著名船公司,其远东-美西航线上营运的 5 000 TEU 级超巴拿马型集装箱船,在离开香港赴美时,大多数航次是满箱位的,平均吃水为 13.4 m 左右,艉吃水 13.8 m,接近 14 m 的满载吃水;而离开长滩赴香港时,大多数航次载重 4 200~4 300 TEU,平均吃水为 12.5 m 左右;还有一家著名船公司,其远东-美洲航线营运的 4 800 TEU 集装箱船,对 1997 年从美国到香港的其中 13 个航次作统计,平均载箱量为 4 626 TEU,其中 5 个航次为满箱位,平均吃水 12 m,其中最大吃水为 12.38 m。

综上所述,当前大型集装箱船在实际营运中大体有以下特点:第一,第四代集装箱船作为当前集装箱干线运输的主流船型,其营运吃水出现 12.5 m 较为典型。纽约港最近急于将航道水深疏浚到 13.7 m 就印证了这一点。第二,远东赴美欧与从美欧赴远东的航次相比,箱量满载的概率较大,同样载箱量下的营运吃水也要大一些。第三,满箱位量、满载重量、吃水达到满载吃水的营运状态在大型集装箱船的实际营运中是完全可能出现的。因此,尽管满载吃水 14 m 的第五、第六代集装箱船的比例目前还不太高,因为货源

组织的关系,载箱率可能也比第四代集装箱船低一些,但我们可以预见,2000年后,随着船公司全球联盟的发展以及第五代集装箱船成为主流船型,船舶营运达到近14m的结构吃水将不会是少见的特殊现象。

5 集装箱船大型化与国际集装箱枢纽港建设

5.1 集装箱航运公司对港口的要求

调查中,多家船公司从集装箱运输的客观需要出发,谈了对集装箱枢纽港的要求,归纳如下:

(1) 集装箱船是班轮,实行定线、定港、定班、定时服务,务必要保证随时接纳大型集装箱船进出港;

(2) 大型集装箱船是高附加值船,一天船价的商业贷款利息近2.5万美元,平均每天所得运费收入达15万美元,如果要候潮进出,航运公司将蒙受相当大的经济损失;

(3) 集装箱船停靠的港口是定点的,但所载货物的重量和箱数是随机的,虽然不可能次次都满载,但一旦达到满载吃水而进不了港,是不能忍受的;

(4) 集装箱枢纽港不一定就在集装箱的生成地。集装箱可通过集疏运环节集中,因此枢纽港的选择是有多余地的。航运公司在选择枢纽港时必然要考虑该港口的航道、泊位水深是否能满足本公司集装箱船规模经营的要求。

(5) 船舶的油、水必然有装满的时候。现在某远东航运公司下属的超巴拿马集装箱船在远东-北美航线,去北美时,几乎绝大部分航次油水都是装满的,因此达到结构吃水的概率极大。

(6) 集装箱运输的货种在不断扩大,现已不仅是贵重货物、轻货物装箱运输,大宗货物装箱运输的情况也越来越多,因此重箱的

比例越来越大,要求船舶的载重量越来越大,达到结构吃水的概率随之增加。

5.2 世界主要集装箱枢纽港现状和发展规划

超巴拿马型集装箱船的发展对国际集装箱枢纽港来说是一个挑战。其主要障碍有:港口泊位水深限制,陆上集疏运基础设施的限制以及装卸桥吊的外伸距,其中主要的还是水深的限制。因此,世界主要集装箱港口都在纷纷建设深水航道和泊位。与上海港一样,这些港口同样都有潮差可利用,汉堡、菲力克斯托和安特卫普等港口的潮差还比上海港要大,但事实上都不乘潮进港,而是加快建设15米水深的航道和泊位。有些港口的深水泊位建设与大型集装箱船发展基本同步,香港第一个14.5米集装箱泊位启用于1988年,釜山第一个14米水深的集装箱泊位投产于1990年上半年,大致上是第四代集装箱船问世和第三代集装箱船成为主流船型的时期。

为了适应集装箱船向超巴拿马型发展这一趋势,世界主要集装箱港口都纷纷制定港口发展规划。德国汉堡计划2003年前在Altenwerder地区填海造地的新生地上建成4个能靠泊6000 TEU集装箱船的深水泊位,一期工程将建成2个,预定2001年前投入使用。法国勒阿弗尔港制定了“2000港口”新计划,政府已将该计划确立为国家重点项目;届时将不受潮差影响而随时接纳总长300~350米、船宽40~45米、吃水13.5~14.5米的6000 TEU以上大型集装箱船。比利时泽布腊赫港计划在Albert2号码头北侧新建一个集装箱码头,第一阶段占地40公顷,岸线长750米,泊位水深16米,第二阶段将岸线延长到1500米,占地面积扩大到100公顷,1998年开工。美国洛杉矶港将投资5.5亿美元兴建全球最大的集装箱码头,其泊位水深15米。美国帅勒氏码头装卸公司计划在荷兰阿姆斯特丹港动工兴建迎合21世纪第5、第6代集装箱船需要的巨型船坞式集装箱码

头, 坞长 300 米、水深 15 米, 预计 1999 年投入使用。远东地区新加坡、香港、高雄、釜山、横滨和神户等主要集装箱港口发展规划更是引人注目。预测到 2003 年, 该地区新增水深 15 米的集装箱港泊位 34 个, 其中新加坡增建 12 个、香港 4 个、神户 5 个、高雄 3 个、釜山 4 个、横滨 2 个。

如果世界各国所公布的港口扩建规划得以实施, 则 1996~2000 年世界集装箱装卸能力将提高 48%, 达到 2.755 亿 TEU, 其中投资扩建最积极的东亚, 其装卸能力占世界的份额将由 1996 年 41.9% 上升到 2000 年的 47.2%。

5.3 上海港航道、泊位的水深条件不能满足需要

上海港因受长江口航道的制约, 水深条件严重不足, 不能满足船舶自由进出港的需要。以第四代集装箱船为例, 或考虑进出上海港仅装载一半油水, 则在不同水深条件时, 其载箱率见表 4。

表 4 第四代集装箱船(3 800TEU)不同水深条件时的载箱率

(1 米富裕水深)

水 深 (m)	载箱率 (以 10T/TEU 计)
7.0 m 水深	<20%
8.5 m 水深	~33%
7.0 m 水深+2.6 m 平均潮差	~49%
8.5 m 水深+2.6 m 平均潮差	~72%
12.5 m 水深	~90%

随着世界主要集装箱枢纽港、特别是周边港口一批 15 米深水泊位的相继建成, 满载吃水 14 或 14 米以上的第五、第六代集装箱船所占比例会越来越大, 逐渐成为主干航线运输的主流船型。大型集装箱船在主干线上停靠港的数目也将越来越少, 国际集装箱枢纽港的地位显得越来越重要。这对上海国际集装箱枢纽港的建设将是严峻挑战, 形势逼人。如果不急起直追, 抓紧建设 15 米水深的航道和集装箱泊位, 最终将降低上海港的综合竞争力、影响上海国际航运中心建设。

大型集装箱船的技术现状及发展趋势

俞宝均

1 前言

集装箱船已经发展成为世界上三大运输船型(油船、散货船和集装箱船)之一。除大宗货物以外,世界的贸易量主要依靠集装箱船运输。

在集装箱船中,则以大型集装箱船发展最快。近几年大型集装箱船的订造量,其箱位占全集装箱船 2/3。

在大型集装箱船中,80 年代末、90 年代初以 4 000 TEU 级的 Panamax 型发展较快,超巴拿马型(Post-Panamax)一度发展不快。

但近两年来发展较快,在 4 000 TEU 以上的集装箱船造船订单中,超巴拿马型集装箱船占 80.1%。

大型集装箱船是高技术、高附加值船,是目前世界造船的重点发展船型之一。每艘船的造价是同吨位散货船的 2.5 倍以上,而且在整个造船市场上呈持续看好的趋势。

2 集装箱船的分类

根据造船界、航运界的习惯讲法,集装箱船大致可按表 1 分类。

表 1 集装箱船分类

1 000		2 000		3 000		4 000		5 000		6 000		7 000		8 000 TEU					
小 型		中 型		大 型								超 大 型							
第一代		第二代		第三代		第四代		第五代				第六代							
$B < 32.2 \text{ m}$				Panamax 型 $B = 32.2 \text{ m}$															
								Post-Panamax 型											
								$B \approx 40 \text{ m}$ 或				$B \approx 40 \text{ m}$ 或				$B \approx 42.5 \text{ m}$ 或			
								$B \approx 37.5 \text{ m}$				$B \approx 42.5 \text{ m}$				$B \approx 45 \text{ m}$			

表 1 清楚地表明了载箱量与“型”、“代”以及船宽之间的关系,同时也表明了“型”与“代”间的关系以及“型”、“代”与船宽之间的关系。平常所说的大型集装箱船是指 2 500 TEU 以上的、第三代以后的 Panamax 型或 Post-Panamax 型集装箱船。

3 Panamax 型集装箱船技术特征

3.1 主尺度特征

(1) 船宽

Panamax 型集装箱船,船宽是固定值约 32.2 m。

(2) 船长

Panamax 型集装箱船其垂线间长选取由载箱量决定,是非连续变化数值,呈间断状,其间隔的大小约为 7~8 m,是一只 20' 集装箱长度再加大约 2 个肋距长度。

Panamax 型集装箱船总长必须 $\leq 294.23 \text{ m}$ 。

表 2 几艘典型 Panamax 型集装箱船的主要尺度及技术参数

项 目	柏林快航	高 河	俊 河	远 河	MARCHEN MAERSK	HANNOVE EXPRESS	4 800 TEU
总长 (m)	233.92	236	276.5	275.099	294.23	294.0	294.0
垂线长 (m)	220.42	224.5	259.9	264.2	284.72	281.6	283.0
型宽 (m)	32.20	32.2	32.2	32.0	32.22	32.25	32.2
型深 (m)	18.80	18.8	21.2	21.5	21.5	21.4	21.5
设计吃水 (m)	11.0	11.0	11.5	11.522	12.2	12.0	12.0
结构吃水 (m)	12.5	12.02	12.5	12.522	13.521	13.52	13.0
载重量(设计吃水时) (m)	33 100	41 175	42 529	44 035	50 600	52 600	53 000
载重量(结构吃水时) (m)	42 200	47 625	49 945	51 280	60 900	64 500	61 000
载箱量总计 (TEU)	2 716	2 716	3 802	3 764	4 000	4 407	4 786
甲板上 (TEU)	1 452	1 355	1 734	1 716	1 895	2 125	
舱内 (TEU)	1 264	1 406	2 068	2 048	2 105	2 282	
平均箱重 11 t 时实箱数 (TEU)		2 565	3 003	2 977			
平均箱重 14 t 时实箱数 (TEU)	2 288	2 400	2 968	2 860			
主机	7RTA84-EB	6L80MC	16L80MC	9RTA84C	10K90MC-C	9K90MC+TCS	
MCR (kW×r/min)	21 300×78	16 670×88	34 300×93	34 380×100	39 400×90	36 500×93	41 040×104
服务航速(%SM)(kn)	21(15)	19.0(29)	24(19.5)	24	23	23	24.5
GT		37 143	48 161	48 311	52 191	58 783	
船级	GL	CCS	LR	CCS	LR	GL	
建造厂	沪东厂	HDW	KAWASAKI	BREMER	ODENSE	三星釜山	
建造年份	1990.5.8	1990.11.	1994.9.16	1994.8.8	1989.1.	1992	1997
备 注	我国建造的第一艘大型集装箱船	中远集团购买的第一批 2700TEU 船			世界上第一艘巴拿马最大型集装箱船		

(3) 型深

Panamax 型集装箱船其型深分两档,一档舱内装 7 层箱,型深 18.8~19.2 m;另一档舱内装 8 层箱,型深 21.2~21.6 m。

大型集装箱船其型深选取一般考虑装 8.5' 高集装箱,适当考虑装 1~2 层 9.5' 高集装箱。

(4) 吃水

大型集装箱船一般均有二个吃水。一是

设计吃水 d_d ——性能吃水,用来考核船舶航速等船舶性能的吃水;二是结构吃水 d_s ——衡定船舶能达到的最大载重量。 $d_s \approx d_d + (1 \sim 1.5) \text{ m}$,其数值大致如下:

载箱量	4 000TEU 级	3 500TEU 级	3 000TEU 级	2 700TEU 级
$d_s(\text{m})$	13~13.5	12.5~13.0	12.0~12.5	11.5~12.0

3.2 集装箱船的布置

集装箱船的设计目标之一是追求载箱

量,因此集装箱的布置是设计考虑的第一因素。

通常每货舱长度方向布置4行20'集装箱(2只40'集装箱),每货舱设2只货舱盖(每只货舱盖上布置2行)。货舱长度为 $32s + 4s'$ 。其中 s 为集装箱处的肋距。 s' 为集装箱间的肋距。

目前Panamax型集装箱船横向布置11列货箱,为4-3-4布置,货舱盖为3块,中间一块舱口盖布置3列货箱。11列有两种形式布置,一是舱口中间有两道纵桁,从而使两舷双壳特别狭窄,甲板边缘宽度很小;二是横

向为一个货舱口,设三块舱口盖,中间舱口盖支撑点仅前后两头,三块舱口盖又可分为有序开启和无序开启两种,目前已较多地采用这种11列的布置形式。

货舱内布置7层或8层集装箱,3500 TEU以上的集装箱船以8层布置居多。

3.3 导轨架

集装箱的布置取决于集装箱间的间隙大小,而集装箱之间间隙与导轨架结构尺寸及形式有关,特别与喇叭口(进出口)的结构形式有关。目前导轨架大致有以下四种形式(见图1)。

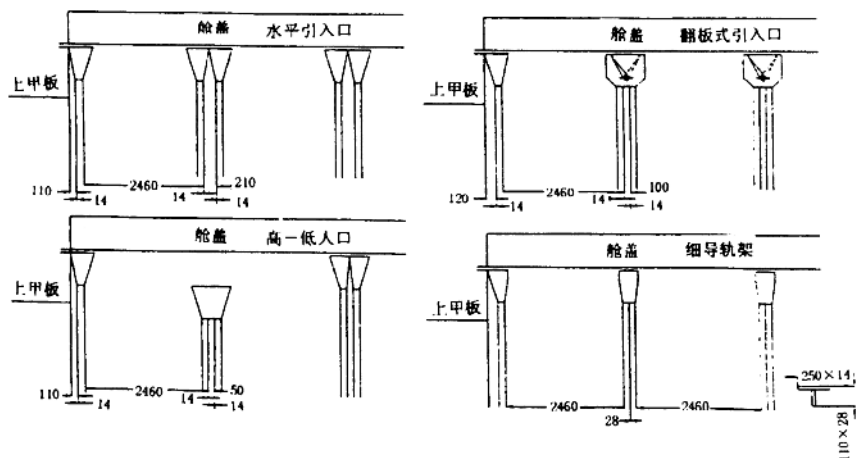


图1 导轨架形式

(1) 水平入口(喇叭口)。两根导轨同样高低,间隙较大,操作方便。早期的导轨架均采用此形式。近几年来已较少采用。

(2) 高低入口。两根导轨架一高一低,集装箱吊装时,紧靠高的一端滑下,滑到低口进入,其间隙可缩小至 ~ 120 mm。

(3) 翻板式入口。喇叭口端部可以翻动,同样可缩小间隙。

(4) 细导轨架。导轨架由两根角钢改为 $\perp$ 型钢,间隙可缩至最小。

3.4 平均箱重和稳性衡准

通常所讲的平均箱重更确切地说是均质箱重,它是指船舶的最大载箱数在扣除空箱

数之后,所有的集装箱(包括舱内和甲板上的集装箱)均取为同一重量,在满足稳性的条件下,每只20'集装箱所能达到的最大重量 t/TEU 。

平均箱重越大,装载能力越大,船东越受欢迎。这是船舶设计追求的另一技术指标。

大型集装箱船全部航行于国际航线,航线中有相当数量的中间港口,需要按行装、卸部分集装箱,所以集装箱只能按地点按行布置,不可能做到全部重箱在下,轻箱在上,这就必需考虑均质箱。

平均箱重的指标也可用载箱率的指标来代替。它是指达到某一平均箱重(目前航行界

和造船界最常用的是 14 t/TEU)时,船舶能够装载 20' 集装箱的数量占全部载箱量的百分数。

高的载箱率相当于高的平均箱重。

平均箱重(载箱率)指标是受稳性条件限制的。Panamax 型集装箱船的稳性衡准可以选用 IMO A. 749(18)的完整稳性规则。

经过相当数量船舶的验证,船舶的极限重心高在极大多数情况下是根据初稳性 GM 要求来决定的。即 GM 满足要求,大倾角稳性一般也能满足。

有几点应引起注意:

(1) 当甲板装 6~7 层甚至 8 层集装箱时,气象衡准必须重视。

(2) 大倾角稳性衡准应引入形状因数 C。

$$c = \frac{d \cdot D'}{B_w^2} \sqrt{\frac{d}{KG}} \left(\frac{C_b}{C_w} \right) \cdot \sqrt{\frac{100}{L}}$$

(3) 须按 92-B1 规则进行破舱稳性计算。

3.5 航速

选取航速时应考虑下述因素:

(1) 相当数量集装箱港口非海港而是河口港;该船型总长又很大,进出港不方便,有可能出现候潮水、候天气及拖带情况从而延误进出港时间。

(2) 该船航行远洋,极少遇到风平浪静,遇到 5、6 级风浪已算是有利天气了,而且集装箱堆高较高,空气阻力大,实际航速低于设计航速。

因此,大型集装箱船的特征不仅是航速高,而且其中包含的海上裕度大。

Panamax 型集装箱船的服务航速 V,均在 22 kn 以上,新建 3 800 TEU 以上的船, V, 达 24 kn 以上。

3.6 线型

Panamax 型集装箱船的线型需兼顾下列几个因素:

(1) 快速性好,有良好的阻力性能与推进因子;

(2) 横稳心高, KM 值达 15.0 m 以上;

(3) 舱内及甲板上能布置尽可能多的集装箱;

(4) 首部线型避免船舶拍击过大。

因此,其线型特征是:

(1) 横剖面线型必然是极 V 型,经典的 BSRA、SSPA 等系列图谱线型是无法满足集装箱船要求的。

(2) 水线之上的线型必然外飘,尾部是全宽线型,首部线型在注意适航性的条件下,尽可能地外飘。

(3) 根据不同船舶,球首可进行优化,经船模试验证实,整流球首是优秀线型之一。

需要说明的是集装箱船很少在压载状态航行。因此优化线型以满载状态为主。满载状态的功率-航速(BHP-V)曲线与压载状态的 BHP-V 曲线较为接近,甚至个别船舶出现压载状态的 BHP-V 曲线在满载状态之上方。

4 大型集装箱船的发展趋势

4.1 大型化

目前,在三大洲际航线上是以 3 500 TEU 以上的第四代集装箱船为主力船型,并且随着集装箱运输的发展以及集装箱航运市场的竞争加剧,多数集装箱航运公司十分追求规模优势和运作的灵活性,使集装箱船进一步向大型化发展。1995 年 11 月订造的船舶其每艘船的平均箱位数达到 4 033 TEU,大大超过 1990 年的 3 305 TEU。在大型化的过程中尤以超巴拿马集装箱船发展速度更快。今后随着造船技术的发展和港口设施的改造,这种大型化趋势将会进一步发展。有人预测,到下个世纪初三大洲际航线将以第五代的超巴拿马集装箱船为主力船型。

4.2 载箱量的大幅度增加

载箱量的增加,不仅表现在船舶尺度的增加,由 Panamax 型向 Post-Panamax 型发展,也表现在 Panamax 型船在其同一船舶的尺度下,载箱量的大幅度增加。

世界上第 1 艘巴拿马最大型集装箱船

“MARCHEN MAERSK”号 1989 年建造, L_{pp} 为 284.72 m, 载箱量 4 000 TEU, 每米船长载 14.05 TEU。1992 年建造的“HANNOVER EXPRESS”号, L_{pp} 为 281.6 m, 载箱量 4 407 TEU, 每米船长载 15.65 TEU。1997 年建造的集装箱船, L_{pp} 为 283 m 长, 载箱量 4 786 TEU, 每米船长载 16.91 TEU。由此可见, 80 年代末至 1997 年, 巴拿马型船在同一长度下载箱量增加了 600~800 TEU, 每米船长载箱量增加了 2.0~2.8 TEU。

载箱量的增加是由于船舶线型设计的突破, 单元货舱布置和总布置的紧凑、结构设计水平、绑扎技术和舱盖技术的提高, 以及甲板上货箱层数的增加等等, 表现出世界上大型集装箱船的科研、设计和建造水平已上了一个台阶。

4.3 平均箱重(载箱率)的提高

船舶装载能力的提高, 既表现载箱量的增加, 又表现平均箱重的增加。提高平均箱重的措施很多。例如舱内尽量多装货箱, 横向由 10 列改为 11 列, 舱盖高度不要太高, 以尽量降低集装箱货物重心; 尽量利用底压载水舱容积; 降低空船重心高度等等。但近年来平均箱重增加的主要原因是:

(1) 由 Panamax 型改为 Post-Panamax 型, 大幅度增加船宽后增加了 KM 值。

(2) 对 Panamax 型船来说, 船舶线型已有突破, 新的高稳心线型已设计成功。KM 值已由原来的 14.6 m 提高到 15.6 m 左右, 整整提高了 1 m。对于载重量 50 000 t 的 4 000 TEU 级的集装箱船来说, 相当于可减少双层底内约 6 000 t 压载水。

目前七〇八所已对此线型进行了初步研究, 验证该线型的快速性指标仍然达到 90 年代中期的优秀集装箱船线型的指标。

这里需要指出的是, 平均箱重的提高和载箱量的提高往往是一对矛盾。不同的船东有不同的追求。增加载箱量最经济有效的办法是增加甲板上集装箱层数, 从早期的三层发展到现在的七层, 甚至八层。但由于受绑扎

零件强度等的限制, 再不可能无限制地增加层数。

4.4 航速的增加

前面已阐述大型集装箱船的航速既高且海上余度又大。这一方面是由于随着载箱量的增加, 船舶在港口的装卸时间有所增加, 在班期不变的情况下就要求航速提高。但航速增加的根本原因是集装箱航运市场竞争的结果。集装箱运输利润高, 经营集装箱运输的航运公司不断增加, 投入航线的船舶不断增加造成了市场的剧烈竞争, 目前已出现了低航速船揽不到货的现象。因此目前订购的大型集装箱船的航速是依航运市场的需求而定, 超巴拿马型集装箱船服务航速已达到 24.5~25 kn。

4.5 结构设计的合理性和低的空船重量

大型集装箱船不同于普通货船, 它不能单纯依赖于普通规范进行结构设计, 它的特点是甲板开口大, 达到 87~89%B (超巴拿马型集装箱船超过 90%B), 引起船体抗扭刚度下降, 产生较大翘曲应力, 而且节点的问题相当突出。它必须采用直接计算法进行结构设计。

由于该船型是一种新的船型, 世界上多家著名船级社都投入大量资金进行研究, 各家开发的软件也不尽相同。各船厂建造的船舶其结构材料相差较多。例如英国建造的 2 700 TEU “泰河”号空船重量比德国建造的 2 700 TEU “高河”号重 1 750 t。日本建造的 3 800 TEU “俊河”号比德国建造的 3 800 TEU “远河”号轻 1 013 t。这空船重量的差别当然是由多种原因造成的。但结构设计是否合理是主要原因之一。目前我们设计追求的目标之一仍然是低的空船重量, 但又必须满足抗扭强度、弯曲强度和疲劳强度。

值得提出的是空船重量还与货物装载的灵活性以及船舶使用年限有关, 要求船舶在实际营运中能满足尽可能多的装载情况以及较长的使用年限, 那末空船重量势必增大。

4.6 高度自动化

大型集装箱船向实现高度自动化发展,

船员编制减少到 12~14 人;

采用微信息处理技术实行船舶监控,机舱无人化;

采用一人遥控全船的船舶操纵中心(SOC);

计算机化的全船电力管理系统;

计算机监控泵阀的工作和系泊、解缆、货物装卸等。

4.7 不同尺寸货箱的兼装、混装、冷藏货箱的增多

除 20' 和 40' TEU 外,某些船东要求集装箱船能兼装 45'、48'、49' 的大箱和欧洲箱、舱内还要求 20' 和 40' 的混装,这给总布置和导机架设施带来一定困难。

此外,除了在甲板上布置冷藏集装箱外,近年来进一步要求在货舱内装载冷藏集装箱。

5 超巴拿马型集装箱船

超巴拿马型(Post-Panamax)集装箱船是指主尺度不受巴拿马运河限制,载箱量超过 4 000 TEU 的格栅式全集装箱船。它与巴拿马型集装箱船相比有如下优点:

(1) 由于船宽不受 32.31 m 限制,船舶主尺度间的比例关系趋于正常化。巴拿马型船 L_{pp}/B 最大达 284 m, $L_{pp}/B=8.82$, 超出了正常的 L/B 范围。中远集团从日本购买的“鲁河”号超巴拿马型船, $L_{pp}=267$ m, $B=39.8$ m, $L_{pp}/B=6.71$; 韩国重工开发的 CN 超巴拿马船型系列, $L_{pp}/B=6.5\sim 7.26$; 德国 HDW 船厂开发的 CS 超巴拿马船型系列, $L_{pp}/B=6.55\sim 7.28$, L/B 均在正常的范围之内。船舶的各项性能更能得到保证。

(2) 由于总长不受巴拿马运河 294.23 m 的限制,总长可达到 345 m 左右。船宽可加大到 45 m 左右,使载箱量有一个明显的突破,可由 4 000 TEU 达到 8 000 TEU。

(3) 因船宽的增加,大大改善了集装箱船最重要的技术指标——稳性。经初步估算,巴拿马型集装箱船往往需要携带 15% 排水

量的压载水来满足稳性需要。而超巴拿马型集装箱船仅需携带 5% 排水量的压载水。使原先装载的大量压载水变成了货箱。平均箱重(载箱率)可大幅度提高,经济效益显而易见。

世界上第一艘超巴拿马型集装箱船由德国 HDW 船厂于 80 年代末为美国总统航运公司(APL)建造的 C~10 船,总长 275.13 m,垂线间长 260.80 m,型宽 39.4 m,型深 23.6 m,设计吃水 11.0 m,结构吃水 12.5 m。总载箱量 4 340 TEU,舱内装 9 层,甲板 5 层。主机功率 41 900 kW $\times$ 95 r/min,服务航速 24.0 节。

因原先世界上大多数集装箱枢纽港岸吊跨距仅适应于 32.2 m 船宽。90 年代初期,该船型一度发展不快,1996 年底,在航的超巴拿马型集装箱船总共才 16 艘。

随着集装箱航运市场的迅速发展,巴拿马型船已不能适应市场竞争需要,集装箱枢纽港的岸吊更新的扩建步伐加快,有较多港口的岸吊跨距已发展到 40.0 m 和 45.0 m,个别港口达到了 50.0 m。从 90 年代中期开始,世界上大的航运公司订购的热点集中到超巴拿马型船上来。1996 年几艘第五代 5 000 TEU 以上集装箱船和 6 000 TEU “女皇马士基”号已投入营运。中远集团一次向日本订购 6 艘 5 250 TEU 集装箱船,第一艘“鲁河”号于 1996 年投入营运,1997 年底 6 艘船全部投入营运。英国半岛东方(P&O)公司的 6 600 TEU 超巴拿马型集装箱船以及 8 736 TEU “马士基君主”号均已投入营运。

韩国重工集团和 HDW 船厂开发的 CN 系列、CS 系列超巴拿马型集装箱船的主尺度及参数列于表 3,近几年投入营运的超巴拿马型集装箱船见表 4。

尽管集装箱船在不断大型化,但是集装箱船的箱位是不会无限制地发展下去。它将受到多方面的制约;受到船舶在港时间的制约;货源的制约;集疏运系统的制约;港口装备的制约;集装箱船主机功率的制约。作者认为 8 000 TEU 集装箱船将在 2010 年之前不