

[研究与设计]

147 000 m³ 薄膜型LNG(液化天然气)船船型开发*

袁红良

(沪东中华造船集团 上海 2000129)

[关键词] 薄膜型LNG船; 线型设计; 螺旋桨设计

[摘 要] 该文对国内第一个LNG船项目的船型开发、船模试验等方面进行了简单的介绍, 并就螺旋桨的设计与桨叶数量的选择等问题进行了分析比较。

[中图分类号] U674.13+3.3 [文献标识码] A [文章编号] 1001-9855(2006)06-0010-04

Development of ship type of a 147 000 m³ membrane LNG tanker

Yuan Hongliang

Keywords: membrane LNG tanker; lines design; propeller design

Abstract: This paper introduces the development of ship type and ship model test of the first LNG tanker project of China, and analyzes and compares the design of propeller and selection of blade number and so on.

1 概 述

由于环境、大气等的污染对地球造成的危害越来越严重, 使得全球的气候、自然环境等变得越来越恶劣, 其中主要原因之一是传统的能源特别是煤对环境造成的污染影响比较大。从环保的角度考虑, 逐步以清洁、高热值的天然气取代煤来作为发电、日常生活等的能源不失为一种有效途径。正因为这样, 我国从2001年开始研究从国外引进液化天然气的可行性, 而作为运载工具的LNG船的研究与设计从20世纪90年代末已经开始。本文就国内第一个LNG船项目——广东项目的投标、设计过程中对LNG船在快速性方面所进行的优化设计的一点心得进行阐述, 希望对从事LNG船研究、设计的人员有所帮助。

2 LNG船的优化设计与试验

目前, 世界上的LNG船主要有两种型式: 球罐

型和薄膜型。国内第一个LNG船项目采用了法国GTT公司的薄膜型货舱维护系统, 它相对于球罐型液化天然气船来说有许多优点。目前球罐型船的设计采用4或5个直径相同的球体, 由于球罐的直径达40 m左右, 货舱区船体线型受到较大的限制, 整个船体的容积利用率较低。而薄膜型在线型变化较大的船首部一号货舱区域采用了梯形设计, 货舱可以最大限度地充满船体, 合理利用了船体空间; 同时船体线型受货舱形状的限制比球罐型船小, 可以较多地从流体力学与快速性的角度出发优化船体线型、降低船体阻力、提高推进效率、降低所需的主机功率。相同舱容的薄膜型船与球罐型船相比, 船舶主尺度小些, 另外, 平坦的凸形甲板的受风面积较小, 风压影响对船舶阻力、操纵性的影响均较小。

表1给出了收集到的国外同类型船的主尺度和参数。根据项目的要求, 通过对同类型船进行分析比较后, 确定了本船的主尺度, 如表2。

本项目船要求的服务航速为19.50 kn, 针对这一要求, 曾要求国外多家水池及设计公司提供了所需的功率预报(见表3)。

* [收稿日期] 2006-7-3

[作者简介] 袁红良(1971.1-), 男, 汉族, 江苏丹阳人, 高级工程师, 主要从事船舶总体研究设计工作。

表1 国外 140 000 m³ 级 LNG 船主尺度与参数

项 目	法国大西洋	韩国大宇	韩国三星
舱 容(m ³)	130 000	138 000	138 200
总 长(m)	274.30	277.00	278.8
垂线间长(m)	260.80	266.00	266
船 宽(m)	43.30	43.40	42.6
型 深(m)	25.40	26.00	26
吃 水(m)	10.86	11.30	11.35
载 重 量(t)	62 265	68 834	68 100
主机功率(kW)	22 710	29 430	24 700
航 速(kn)	19.9	20.5/21% S.M.	20.10/15% S.M.
货舱型式	GTT NO. 96	GTT NO. 96	GTT MKIII
交船日期	1994.8	1999.8	2002.11

表2 沪东 140 000 m³ 级 LNG 船的主尺度与参数

舱 容(m ³)	147 200	吃 水(m)	11.43
总 长(m)	292.0	载 重 量(t)	73 100
垂线间长(m)	274.10	主机功率(kW)	27 300
船 宽(m)	43.35	航 速(kn)	19.50/27% S.M.
型 深(m)	26.25		

表3 LNG 船国外水池与设计公司的航速预报

	Marin	SSPA	HSVA
19.5 kn (21% S.M.)	26 600 kW/ 5 叶桨	25 252 kW/ 5 叶桨	26 113 kW/ 6 叶桨
	26 910 kW/ 4 叶桨		

其中以 SSPA 提供的预报功率比国外合作方(即法国大西洋船厂)提供的低 5.3%, 因为 SSPA 水池近年来为韩国大宇、三星等船厂的一系列大型 LNG 船进行了船型研究, 在大型液化天然气船的线型开发、船模试验等方面有着较为丰富的经验。由于合作方提供的航速指标与韩国船厂设计、建造的大型 LNG 船相比在快速性方面不具备竞争力, 因此沪东中华造船集团有限公司在船型开发前期也就大型 LNG 船的总体布置、快速性以及两者的相互影响等方面进行了一系列研究, 同时开发了适合本项目的

船体线型, 并在上海船舶运输研究所进行了船模试验及线型的优化工作。由于这是国内首次开发大型 LNG 船线型, 没有合适的母型船, 只能利用一艘尺度比较接近, 且有良好快速性的多用途船进行母型改造法, 产生了适合本船的线型。船模试验的结果显示: 尽管母型船有着良好的快速性, 但并不适用于大型 LNG 船。因为大型 LNG 船船型与多用途船在布置上有很大的差异, 而与集装箱船有相似之处, 即线型的设计与货舱形式有较大的关系, 但与集装箱船相比, 方型系数偏大, 而傅氏德数也相对较低。通过对试验结果进行分析, 针对大型 LNG 船的特点, 重新设计了前体线型, 提高了球艏前端, 使前体船型排水量下移, 让船型略显 U 型, 改善了艏部的进水角, 使水流平顺。对后体也进行了修改, 改善了艉框, 提高了艉封板的高度, 因为该船的螺旋桨直径较大, 这样可增大桨叶叶梢与船底的距离, 减小振动。并对球艉线型进行了修改, 与艏部相呼应, 相对排水量下移, 使船艉线型也略显 U 型(图1)。试验结果显示: 优化后线型的阻力性能较好, 有效功率比原来降低了 8.4%(见图2)。而且推进效率提高了 3%, 主机功率降低了 11.3% 左右, 达到了船东要求的指标。

同时在这次试验的基础上进行了节能装置的研究, 通过加装舵球与前置导管后, 节能装置收到了良好的效果。表4列出了各方案的自航因子, 从中可以看出: 加装舵球产生的效果主要是相对旋转效率较原来有了较大的提高, 使得总推进效率有了相应的提高, 而相对于同样的线型, 所需收到功率必然会降低。在此基础上再加装前置导管又进一步改善了艉部的伴流分布, 使得伴流分数有了提高, 船身效率与总推进效率也有了相应的提高。

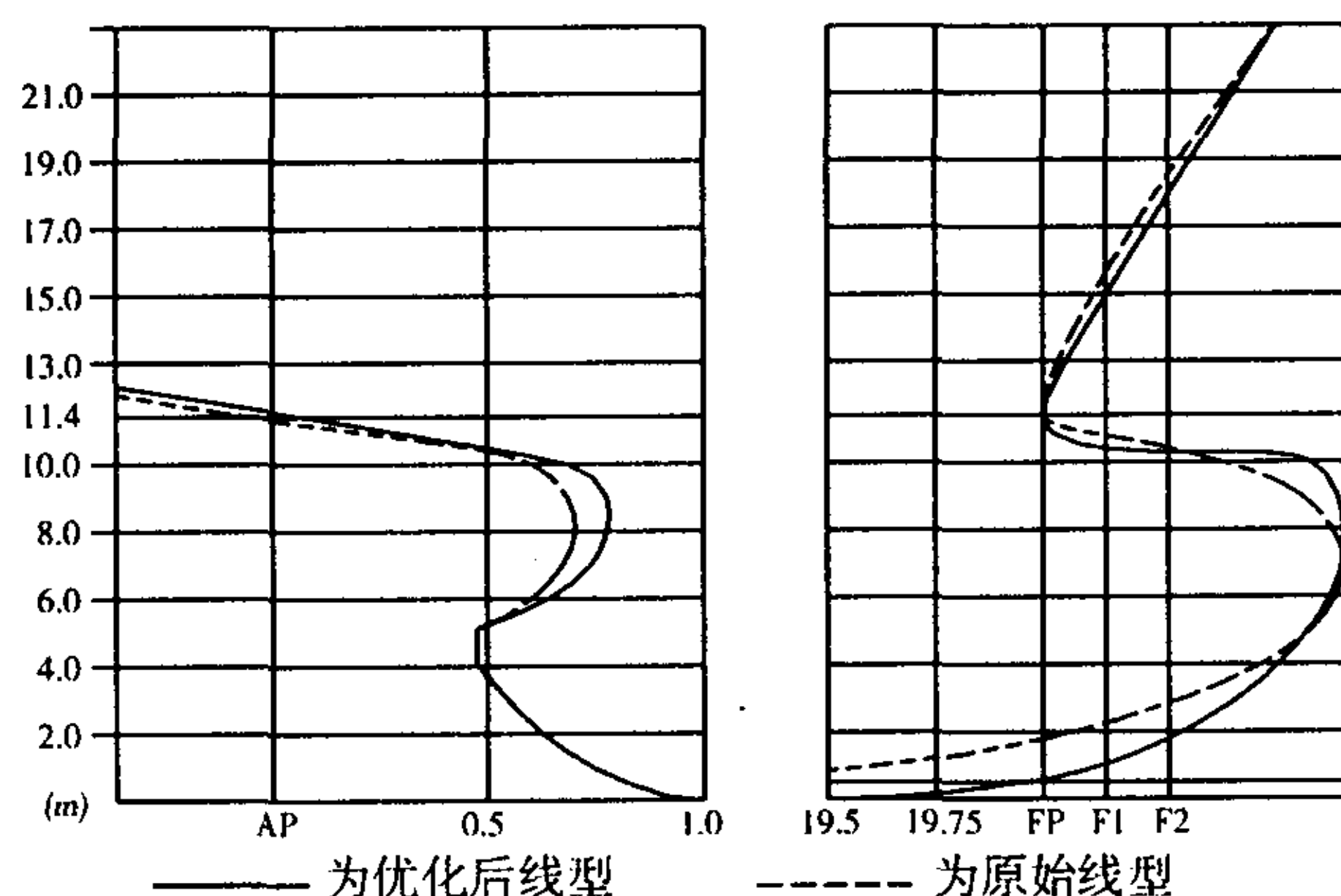


图1 国内优化方案线型

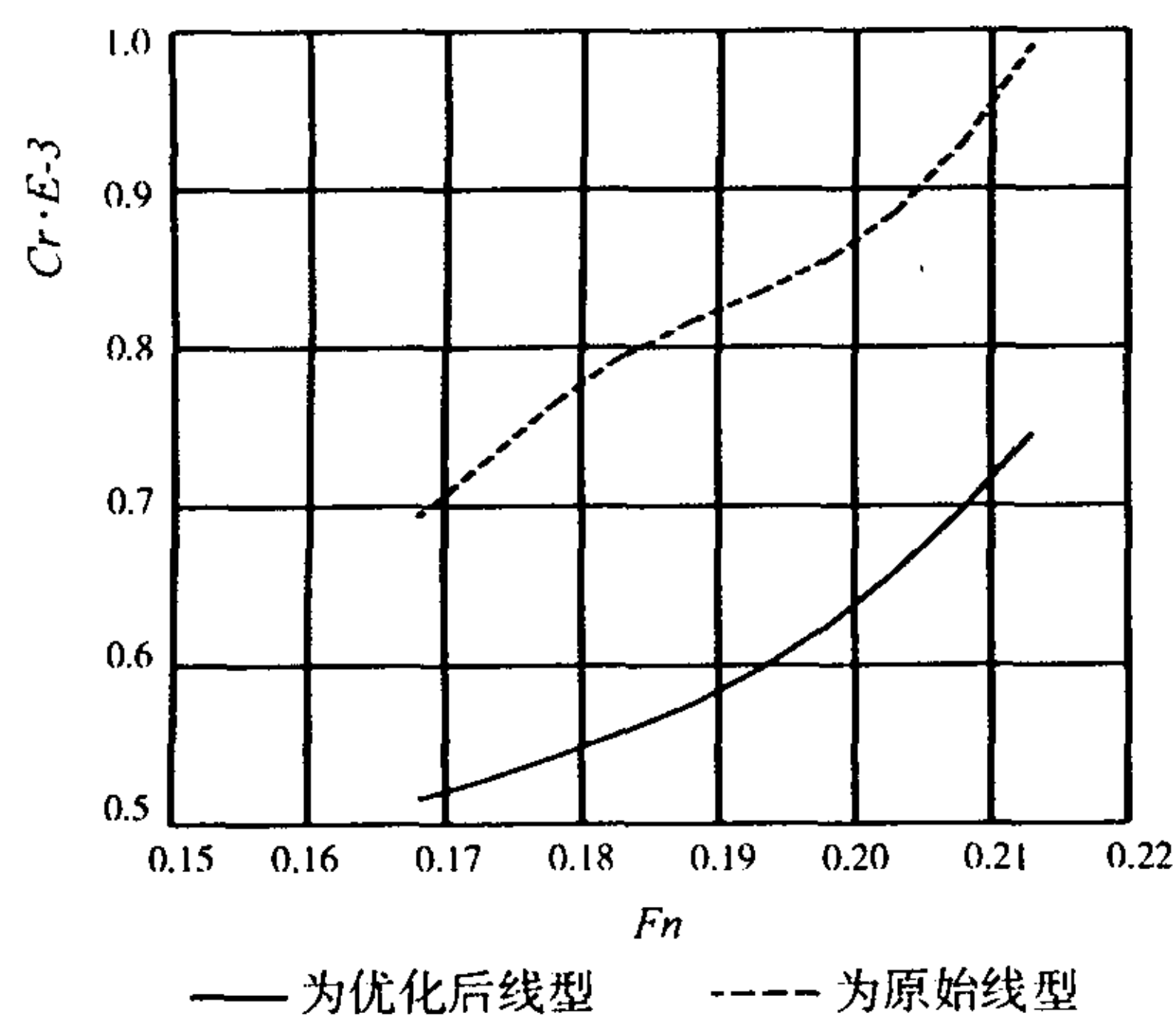


图2 F_n - C_r 曲线

表4 航速19.50 kn时自航因子及推进功率的比较

	优化方案	优化方案+舵球	优化方案+舵球+前置导管
伴流分数	0.3185	0.3164	0.3265
推力减额	0.2047	0.2066	0.2054
船身效率	1.1669	1.1606	1.1798
敞水效率	0.6235	0.6238	0.6206
相对旋转效率	0.9854	1.0067	1.0046
总推进效率	0.7169	0.7288	0.7355

通过这次线型的开发与船模试验,使我们初步掌握了大型LNG船线型的特点与需要注意的地方,并获得了第一手资料,使得国外合作方在我们的船模试验所获得数据的基础上将方案设计所需的主机功率降低了1 000 kW,因而可以选用更小一档的主机,使得机型选择的范围有所扩大,为公司降低了设备成本,而经济性与市场竞争力也得到了提高。

随着设计的深入,本项目采用了与国外进行联合设计的方式,而国外合作方也并未采用我们初步开发的线型,而是在原来建造过的130 000 m³大型LNG船的基础上进行母型变换法生成了适合于本项目的线型。2003年9月在瑞典国家水池(SSPA)进行了第一次试验,但试验结果与预期目标相差甚远,瑞典国家水池利用自己先前积累的丰富经验对原线型进行优化,并同时考虑了因船东要求而增加的2 500 m³排水体积,试验结果获得了较大的成功。尽

管排水体积有所增加,但收到功率数值却与第一次的试验结果相当。由于所选主机功率下的航速与合同航速相比,余量较小,因此对第二次线型进行了再优化,第三次试验结果也收到了良好的效果,试验结果比第二次有效功率低了2%,收到功率低了2.7%,而相对于第一次低了近4%。尽管瑞典国家水池通过对这次试验结果的分析,认为还可以通过对艏部线型进行较小的修改以改善艏部流场,但试验结果证实,并未得到预期的效果。从表5的结果可以看出:在合同航速范围内的伴流分数并未增加,反而减低,尽管推力减额也有所减低,但最终的船身效率却没有得到提高。

表5 SSPA第三次优化线型与第四次优化线型自航因子及推进功率的比较

航速(kn)	SSPA-C线型			SSPA-D线型		
	伴流分数	推力减额	船身效率	伴流分数	推力减额	船身效率
17	0.325	0.216	1.161	0.315	0.214	1.147
18	0.33	0.23	1.15	0.318	0.219	1.145
19	0.33	0.233	1.145	0.323	0.227	1.141
19.5	0.333	0.237	1.144	0.326	0.232	1.14
20	0.333	0.238	1.143	0.327	0.235	1.136
21	0.327	0.231	1.142	0.329	0.242	1.13
22	0.33	0.233	1.144	0.324	0.239	1.125

3 LNG船螺旋桨设计研究

在进行了三次线型优化设计和船模试验之后,又选择了德国MMG公司作为本项目的螺旋桨设计、建造合作方:

3.1 螺旋桨直径的选择与试验

MMG公司通过全船的振动预报,认为该船用4叶桨比5叶桨在振动方面要好,并没有进行6叶桨的振动预报。由于主机的转速较低,而大型LNG船的吃水较小,螺旋桨的最佳直径受到限制。4叶与5叶桨最佳直径分别为9.5 m、9.1 m,而由于吃水的原因,只能采用限制直径8.8 m的4叶桨。通过敞水试验与空泡试验证实,尽管由于直径的限制,造成敞水

效率有所降低,但 4 叶螺旋桨的空泡与脉动压力方面都满足设计要求,试验结果完全可以接受。

3.2 螺旋桨转速的选择

目前的大型 LNG 船仍旧采用传统的蒸汽透平作为推进系统,在船机桨的匹配问题上与传统的低速柴油机有一定差别。在进行螺旋桨设计时,就这个问题与 MMG 存在一定的分歧。我们认为尽管与低速柴油机的匹配问题有一定差别,但还是要有一定量的转速裕量,有利于试航和新船的营运。而 MMG 认为正因为是蒸汽透平,较低的转速有利于功率的输出。经过咨询在这方面有经验的专家,同意我们的观点,转速裕量必须有,但比传统的低速柴油机略低。MMG 对设计桨的螺距进行了修改,达到了转速的要求。

3.3 螺旋桨桨叶数与振动

大型 LNG 船的螺旋桨桨叶数与振动的关系是造船界一直关心的课题,而且观点完全不同。本项目通过船后流场与螺旋桨的振动分析,认为 4 叶桨比 5 叶桨在振动方面要好。著名的英国螺旋桨设计、建造公司 SMM 曾经为亚洲船厂建造的大型 LNG 船提供过该公司设计、建造的桨,也曾对 4 叶桨与 6 叶桨的振动问题进行过研究,认为不仅 4 叶桨的振动频率远远低于 6 叶桨(见图 3),而且在效率方面比 6 叶桨高出 2%。而以球罐型 LNG 船建造著称的 Kvaerner-Masa 船厂 1993 年在设计、建造 135 000 m³ 球罐型 LNG 船时,曾在快速性、振动等方面进行了大量的计算、研究与试验,发现 4 叶桨在 90%-MCR/设计状态、80%-MCR/压载状态对全船的振动影响最大。他们曾试图通过修改结构设计以改善全船振动状况,也没有成功。6 叶桨尽管在效率

方面要比 4 叶桨低,但在振动方面 6 叶桨最好,特别是上层建筑位置的振动。而通过查阅韩国建造的球罐型、薄膜型大型 LNG 船发现:韩国建造的大型 LNG 船也大部分采用了 6 叶桨。从上面所述的情况来看,各家的结论是相互矛盾的,因此必须对大型 LNG 船的螺旋桨设计进行系统的考虑与研究。

4 船舶技术指标比较

通过表 6 对海军系数 $Vh^{2/3} \cdot Vs^3/P_s$ 的分析可以看出:尽管目标船比第一、二条船在快速性方面要略微好一些,但还不及第三条船,主要由于韩国三星采用了不同的货舱维护系统(GTT MKIII),在尺度相同的情况下,要比货舱维护系统 GTT No. 96 型的船货舱大些。但用 $\Delta^{2/3} \cdot Vs^3/P_s$ 重新进行分析,得出了同样的结论,说明目标船在快速性方面还有进一步优化的余地。

表 6

船 厂	法国大西洋	韩国大宇	韩国三星	沪 东
舱容(V_h) (m ³)	130 000	138 000	138 200	147 210
船长 (m)	260.80	266.00	266	274.1
船宽 (m)	43.30	43.40	42.6	43.35
型深 (m)	25.40	26.00	26	26.25
吃水 (m)	10.86	11.30	11.35	11.43
载重量	62 265	68 834	68 100	73 100
主机功率 (kW)	22 710	29 430	24 700	27 300
航速 V_s (kn)	19.9	20.5/21% S.M.	20.10/15% S.M.	19.5/27% S.M.
$Vh^{2/3} \cdot Vs^3/P_s$	890.5	946.2	1 010.7	961.7

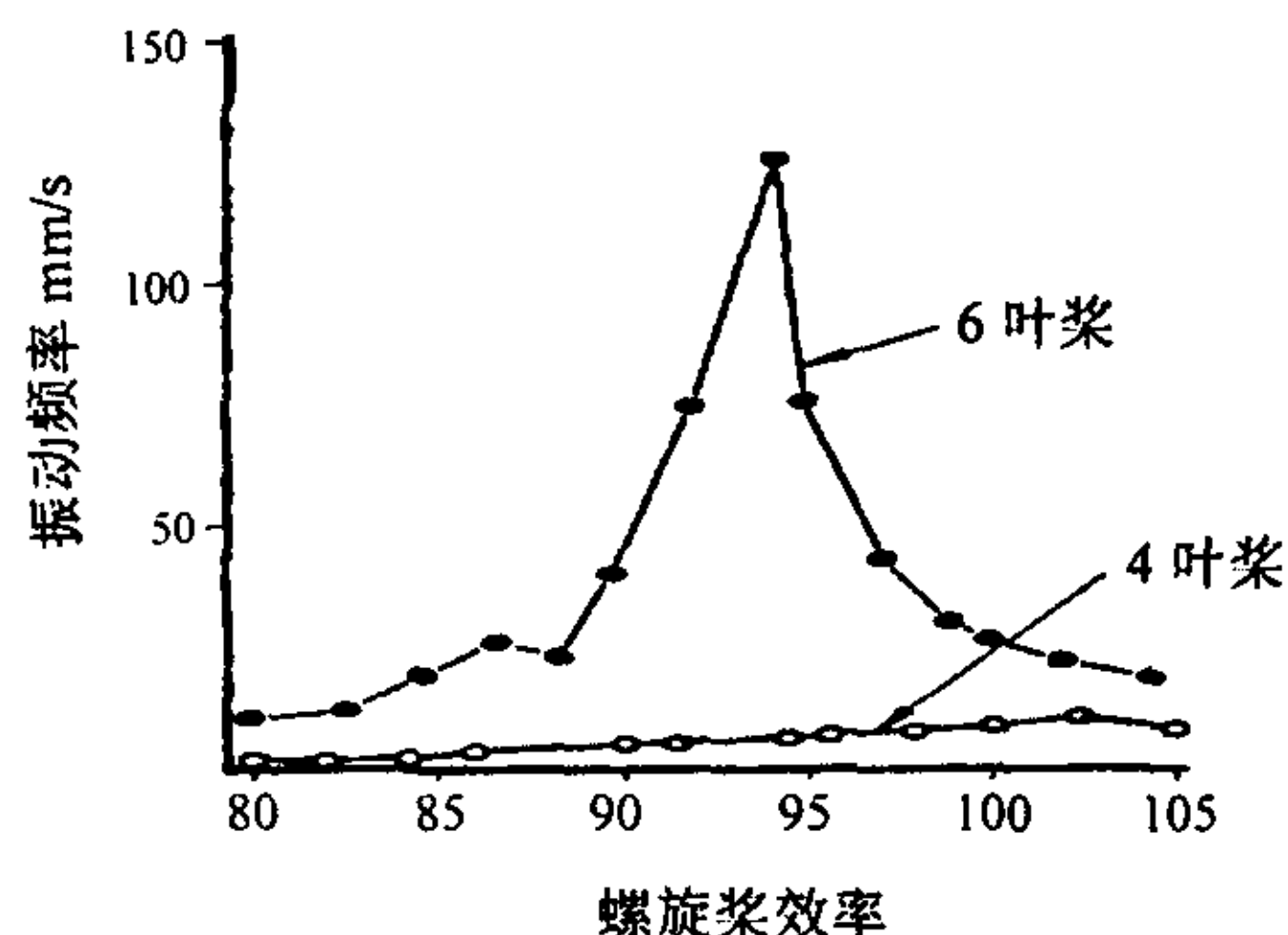


图 3 6 叶桨与 4 叶桨振动频率比较曲线

5 结束语

由于本项目才刚刚开始建造,一些数据与设计理念有待于今后的实船试验来验证。而中国的大型 LNG 船设计与建造也才刚刚起步,设计时遇到的一系列复杂的问题还需要研究机构与船厂花较长时间通过理论计算、试验等来共同完成。ㄣ