

# 双体船螺旋桨最佳设置部位的研究

· 张松鹤 ·

**提 要** 本文提出了双体船两种螺旋桨最佳设置部位的方法,分析了提高推进效率的因素,还介绍了有关设计细节。

**主题词** 双体船 船用螺旋桨 最优设计 推进效率

## 一、概 述

近年来,随着国内外造船业的发展,涌现了一批大型和快速双体船。但是,由于这些船的桨均位于船艏中心,且均采用传统的推进系统,即螺旋桨、轴系、主机三者布置在一直线上的传动方式。这样,片体船艏部由于水流分离,旋涡多、气泡大,尤其螺旋桨只能吸入贴近船壳且流阻较大的舷外水流,而不能利用位于两片体之间的水流动能,致使推进效率较低。

据此,为了不断提高船舶的推进效率和进一步实现双体船的节能,今后,除了要在船体线型等方面继续改进外,深入研究双体船螺旋桨的最佳设置部位及进一步探索新型推进系统,也显得较为重要。

## 二、存在问题的分析

在目前国内双体船的常规推进系统中,一是桨位于片体船艏中心,二是桨、轴、机三者呈一直线传动。实践证明,实用中存在以下推进效率较低等不利节能的问题。

(1)流体旋涡多,阻力大。从流体力学的原理可知,旋涡的产生一般是以两个物理现象为

前提。其中一个液体具有粘滞性,因为在相对运动中,由于粘滞性的作用在相邻各层的液层间将产生剪应力。对贴近船壳表面的液层来说,流体的运动处于水力粗糙区,流速慢,而离壳板稍远的流层其流速相对较快。这样,使流过船艏的流层所承受的剪应力而构成力偶,并易产生旋涡。造成旋涡产生的另一个物理现象则是液层的波动,较丰满的船艏易产生水流分离,使液层发生额外的波动。这样,在液层凸起的一边,微小流速伸出,水流断面减小而流速增大。反之,在凹入的一边,微小流束长度压缩,水流断面增大而流速相对减小。这样,在波峰与波谷间组成力偶也易形成旋涡。因此,若双体船的片体船艏处于上述两种旋涡的叠加作用下,则可使流阻明显增大。

(2)流体气泡大,推进效率低。通常,当船体方形系数较大时,就易出现艏部水流分离现象而产生气泡。当这些含气泡的分离流态与表面凹凸不平的壳板碰撞时,小气泡往往会被撞裂而相继形成大气泡。这样,当这些气泡从船艏两侧一起涌入桨前并被吸入时会造成推进效率的降低。因为,由船舶原理的知识可见,螺旋桨吸收的扭矩为

$$M_B = K_2 \cdot \rho \cdot D^5 \cdot n_s^2$$

式中  $\rho$ ——介质密度;

$D$ ——桨径;

$n_s$ ——桨速;

$K_2$ ——随桨相对进程  $\lambda_r$  而变的扭矩系数。

而当式中的  $K_2$ 、 $D$ 、 $n_s$  均为定局时,则  $M_B \propto \rho$ 。因气泡内所含空气的比重只有水的 1/800,因此随着船速增加,进入桨前空气的增多会使  $M_B$

下降,造成推进效率降低。

(3)水流稀疏,“冲压”不足。由图1可见,方形系数较大的船型水流在流经船艏时的流态,一般在水流分离的界面前是较匀称且较密集(即此时水流含量 $>$ 气泡含量),而途径界面时水流却渐渐散开(即此时水流含量 $\leq$ 气泡含量),而在界面后,尤其在船艏正中处水流散成

点滴(即此时水流含量 $<$ 气泡含量),这一点对越贴近壳板的液层则发生上述水流稀疏的现象就越严重。这样,由于空气-气泡的密度小、质量轻,产生的加速度小,造成水流“冲压”不足,使位于船艏正中处的螺旋桨盘面处会因来流不畅而降低了桨叶的吸入能力。

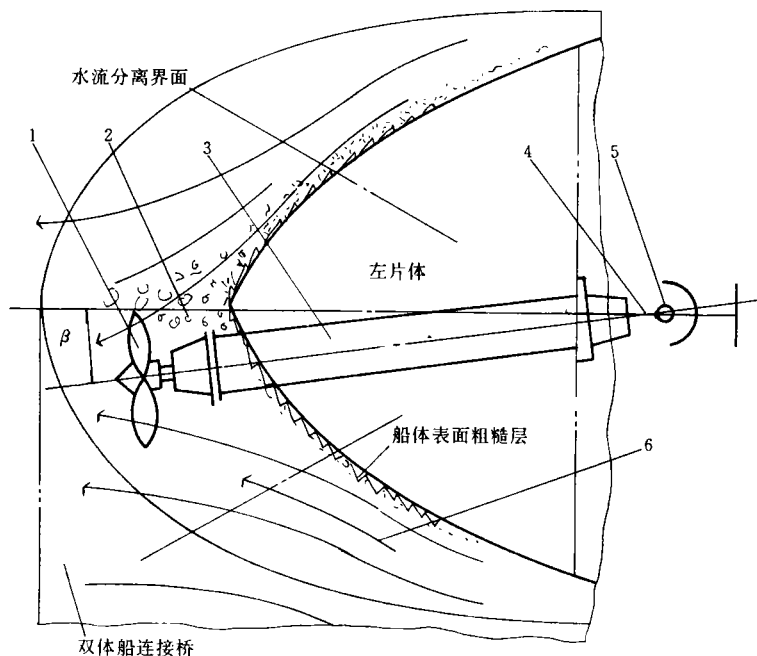


图1 双体船采用万向节偏移传动螺旋桨简图

1-桨;2-气泡群;3-艏管及轴承;4-桨轴;5-万向节;6-流线

(4)无法利用处于两片体之间水流的动能。由图2可见,位于两片体之间的壳体其形状好似“瓶颈状”。这样,当流体从船舶流经瓶颈最细处(因该处断面最小),则流体会出现增速、降压,而到船艏时因该处断面渐渐扩大,则流体出现降速、增压,从而可使双体船两片体之间的流体压力出现前低后高的现象,利于增加辅助推力。而且,流体越接近中间,则流态相对越稳定、流线就越直,受壳体几何形状与表面粗糙度等影响的干涉就越小(流体相当于“层流区”),使流体出现降速快、增压高。但当桨设于船艏正中位置时,则由于只能吸入贴近船壳处且流阻很大的流体,从而无法利用上述位于两片体之间

水流的动能,故不利于增加辅助推力。

### 三、螺旋桨最佳部位的设置方法

为了充分利用位于双体船两片体之间水流的动能来提高螺旋桨的推进效率,一般螺旋桨最佳的设置部位有以下两种。

#### 1. 采用万向节偏移传动螺旋桨

由图1可见,只要分别在双体船每一片体的艏轴与主机之间增设万向节,并使螺旋桨中心偏移主机轴线的夹角 $\beta \leq 7^\circ$ ,则可改变以往在桨、轴、机三者直线传动中桨的同心传动为折线传动(不过在这里,应使左片体向右偏移主机轴

线,即右侧设桨;而右片体向左偏移主机轴线,即左侧设桨),即可实现使桨中心偏移(主机轴心位置)传动,并使桨都位于两片体内侧的优化

轴系传动之目的。这样,仍可使每一片体内主机的曲轴中心线与船中心线重合,而不影响机舱布置。

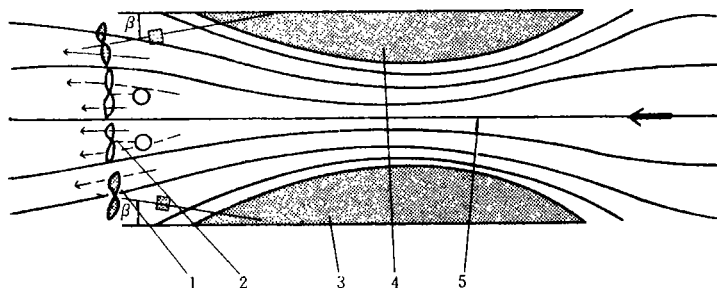


图2 双体船桨理想设置部位简图

1-偏移传动桨;2-舵桨或挂桨;3、4-双体船的左、右片体;5-水流流线  
 $\beta$ -桨轴偏移传动夹角(当采用万向节偏移传动时,一般 $\beta \leq 7^\circ$ )

有关实践证明,采用该方案具有以下特点:

(1)结构紧凑。只需增设一套万向节传动装置即可实现。由图1可见,由于仅需在艉轴与主机的结合处增设一套万向节,而整个轴系结构(包括全套零部件)都几乎可按常规设计。这样,它比历来双体船的每一片体,采用桨、轴、机三者的公共轴心线全部偏移(平行)船舫,而造成机舱布置困难与管理、维修不便的设计方法要合理得多。

此外,在万向节后,毋需再增设推力轴承。因为,一般万向节的轴销能承受螺旋桨的推力。对中小型双体船而言,在轴系增设万向节的传动装置后毋需再设置推力轴承;即使对于中大型双体船,若要满足较大的推力,也可立足国内专门设计万向节,或向国外订购成品;再有,必要时可引进国外技术国内生产等等,从而有利于简化轴系结构。

(2)工作可靠。本方案采用的万向节在陆上车辆安全使用的历史已百余年,后来“移植”在船上的合理使用期也在20年以上。此外,由于万向节结构设计合理,制造质量上乘,据说历来都未发生过重大的质量事故。而且,万向节传动夹角满足万向节最佳传动法则的规定。虽然刚性万向节能在两轴偏斜角较大的情况下工作,但万向节的最佳偏斜角仍是 $2^\circ \sim 7^\circ$ 。本方案采

用的 $\beta \leq 7^\circ$ 是合理的,因此传动效率高。

据称,一艘日本20万吨级的(单体)矿砂船,因其螺旋桨传动采用偏移传动,也是采用类似万向节的结构来实现的,其特点是工作可靠、投资少、效果好。

(3)节能效果较显著,可提高双体船的推进效率9~12%。主要表现在旋涡少、气泡小及水流较密集,这是提高推进效率的关键。

由图1可见,当螺旋桨偏移船舫位置后,由液体粘滞所引起的片体船艉旋涡对螺旋桨进流的影响,几乎由两侧减至一侧,故利于减小阻力。此外,由于螺旋桨偏移位置后,且刚好处于水流分离界面的附近,即流体中水流含量、气泡含量因该处水流尚未大量分离,故密集程度相对较高,气泡也少而小。这样,螺旋桨进流时随着介质密度的提高,利于增加螺旋桨进流时的“冲压”而提高推进效率。

此外,能利用两片体之间水流的动能,利于提高推进效率。由图2可见,当螺旋桨偏移船舫位置后,运转时就能吸入离船壳稍远的流水。这样,一方面使螺旋桨刚好处于水流分离界面附近,因水流尚未大量分离,可提高相对的密集程度;另一方面,受两片体之间“瓶状”效应的影响,有利于水流对桨提高相对“冲压”程度。

某双体船初步测定结果表明,双体船桨改

为偏移传动后,可提高推进效率达 9~12%,受到用户的好评。

不过,实现上述方案时应注意以下几点。

(1)要超宽。因为,螺旋桨偏移船壳板的距离越大,船体流阻对螺旋桨进流的影响越小,以

及充分利用“瓶状”效应对提高桨的“冲压”越有利,见表。因此,只要万向节的偏转夹角 $\beta \leq 7^\circ$ ,使桨尽量接近双体船的中心(即可尽量超出片体船的半宽),对提高螺旋桨的推进效率越有利。但也应注意左右片体桨之间留有最小间距,

双体船片体采用万向节偏移传动螺旋桨的有关参数量值表

<div><div>横向偏移量(m)</div><div>对应纵向长度(m)</div><div>角度 <math>\beta(^{\circ})</math></div></div>	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	万向节效率 $\eta_m$	船之有效推力 减额 $\rho_y$	增加的推力 $P_T^*$ (%)		
													理想	实际( $\geq$ )
	双体船													
5.0	9.144	10.287	11.430	12.573	13.716	16.000	18.974	20.574	22.860	0.9925	0.0040	9~12	7.85~10.85	
5.5	8.308	9.347	10.385	11.424	12.462	14.540	16.617	18.694	20.771	0.9920	0.0050		7.7~10.7	
6.0	7.611	8.563	9.514	10.466	11.417	13.320	15.223	17.126	19.287	0.9915	0.0055		7.6~10.6	
6.5	7.022	7.900	8.777	9.655	10.521	12.288	14.043	15.789	17.554	0.9907	0.0065		7.42~10.42	
7.0	6.515	7.330	8.144	8.959	9.773	11.402	13.031	14.660	16.289	0.9900	0.0075		7.24~10.25	

\* 表中  $P_T$  值系按横向偏移量等于 1 m 时估算。由表可见,横向偏移量大、偏角小、轴系长,万向节传动效率高;反之,横向偏移量小、偏角大、轴系短,万向节传动效率也低。

以防止桨波干涉而引起船体振动的加剧等等。

(2)不要“压舵”。双体船采用螺旋桨的偏移传动方法后,正常航行时不会使船偏航,因此双体船不要“压舵”航行。

(3)要核算万向节支点的承受最大推力的能力。因为,目前船用轴系的万向节都是选用批量生产的汽车配件,由于船用时桨轴受扭、受剪及承受轴向推力的状况均比车用时复杂。因此,船用时必须核算万向节的销轴(支点)的受力状况,并使计算的应力比许用值高出 2 倍以上,以确保万向节船用时的可靠性。

(4)要重视轴系的扭振计算。轴系歪斜偏移布置,尤其是采用万向节传动后,轴系的扭振将与众不同。为此,应重视轴系的扭振计算,特别对大中型双体船采用万向节传动时,则更应重视。

(5)要适当增强船体结构。因轴系在万向节后采用歪斜布置与偏移传动,故船体应在轴支架支点及艏管装置斜穿船体构架等处予以适当加强,以利船舶的安全航行。

2. 采用舵桨或挂桨直接传动螺旋桨

由图 2 可见,只要在双体船的连接桥甲板上中部的适当部位设置舵桨或挂桨的主机,并在相应的水下部位悬挂舵桨或螺旋桨。待甲板

上的主机运转时,通过相应的传动构件即可驱动水下螺旋桨使双体船行进。这种装置具有以下特点。

(1)“冲压”足。因为位于两片体之间的壳体其形状似“瓶状”,而当流体从“瓶颈”不断流向“瓶底”时,随着断面的不断扩大,可使流体压力出现前低后高的现象。水流越接近双体船的中心线,受壳体几何形状与表面粗糙度等影响的干涉就越小,流态相对较稳定,流线也较直。从而,使流体出现降速快、增压高,对螺旋桨的进流“冲压”足;且双体船航速越高,对桨的“冲压”就越足。

(2)进流多。主要是两个原因:一是当螺旋桨位于双体船中部进流时可免受两侧壳体形状的影响,从而使水流流阻小、气泡少,可使螺旋桨进流多;二是因“瓶状”效应,能最大限度地对桨实现“冲压”,故可使桨进流最多。

(3)推进效率高。因上述原因,使螺旋桨的吸入水流具有流阻小、气泡少、水流密集度高等特点,使桨“冲压”足、进流多。因此,可同样由公式  $M_B = K_2 \cdot \rho \cdot D^5 \cdot n_s^2$  解释,当式中的  $K_2$ 、 $D$ 、 $n_s$  均为定局时,当  $\rho$  的密度提高后则  $M_B$  加大。因此,采用本方案,约可提高推进效率达 12% 以上。这一点也可由〔下转第 27 页〕

气相对湿度不大于 85%，当钢板温度达不到 10℃时，可在贮罐内部加热。

此外，在圆顶盖上的绝热是表面粘贴预制聚氨酯泡沫板，然后向空隙里浇注聚氨酯泡沫塑料。

采用喷射聚氨酯泡沫使喷泡绝热层与支座和上浮保险装置连成一体，满足保冷要求。

喷灌聚氨酯泡沫塑料施工工艺流程大致为：

准备工作→配料→喷灌→发泡→检验→合格完工。

其中检验步骤是检查泡沫表面及内部质量以及与舱壁的粘贴情况，可凭经验采用肉眼观察或敲击听声判别有无质量问题，如发现有缺陷，可直接挖除不合格处，再以喷泡方式填补，同样也可采用低温型聚氨酯粘合剂重新粘贴预制泡沫板以修补保冷层。简便的修补过程也是聚氨酯泡沫塑料的一大特点。

#### 四、聚氨酯泡沫塑料应用前景

冷藏/集装箱船用于海上食品运输并兼顾集装箱装载，受到国内外航运界的青睐，可以预测，对冷藏船的需求将有大幅度增加。据悉，上海船厂自承接了 8 艘冷藏船的订单后，又收到了瑞典、英国、智利等国的询价单。

冷藏集装箱是一种产值高、效益好而工艺较为复杂的产品。日本、西欧是主要生产国和地

区，韩国才刚刚起步。由于冷藏集装箱的应用，使适宜装箱的货物品种不断扩大，推动了集装箱运输的发展。仅在国内，冷藏箱亦有相当的市场，自 1984 年以后，中国远洋运输总公司每年均向国外订购几百个冷藏集装箱，考虑到中国外贸货物 90%靠海上运输，而其中鲜货、土产、食品占有相当比重，可见，冷藏集装箱的需求量是极为可观的。

天然气是一种比较清洁的能源。据统计，1992 年世界液化天然气贸易量为 5 400 万 t，而液化石油气用途也极广，需求量在逐年增加，于是促进了液化气船运输业的发展。从 60 年代发展至今，其中日本是 LNG 船及 LPG 船的主要建造国。全世界现有 94 艘 LNG 船，据预测，1994~2000 年间 LNG 船建造量估计可达 52~59 艘，同样对于 LPG 船的需求也是前景看好。

以上所有船型的建造都离不开对保冷用低温及超低温绝热材的需求。有资料报道，上海船厂建造的冷藏船中制冷和绝热两个主要项目外汇费用就占用整艘船造价的 25%，而我们新近研制成功的 9118" 聚氨酯泡沫塑料使原材料国产化、造船成本降低、创汇能力提高，这样打入国际市场就成为可能。

综上所述，为提高造船国际市场竞争能力，为航运界开拓海运业务，材料工业的新产品开发与研制是大有作为的。

余滋朴,低温及超低温用聚氨酯泡沫塑料在船上的应用

〔上接第 17 页〕

澳大利亚近年来新建造的几艘载客双体船，因在两个片体中间悬挂两个舵桨，由两台 GM92TA 柴油机驱动而获得成功为证。

#### 参考文献

- 1 Rubber Propellers in Catamarans, Marine Propulsion International, 1992, (3/4): 17
- 2 密尔库洛夫. 大众流体力学. 北京: 科普出版社, 1981, (1):

1~252

- 3 李玉广译. 未来船舶的推进装置. 船舶设计通讯, 1990, (2): 56
- 4 董世汤. 船舶螺旋桨理论. 北京: 人民交通出版社, 1978. 1~282
- 5 张松鹤, 张全. 扩大万向节传动装置使用范围的优化设计. 造船技术, 1994, (1): 25
- 6 张松鹤. 减少机舱动力设备简化机舱管系实现船舶动力装置的节能. 舰船科学技术, 1985, (5): 24