

高速双体船的总体性能

摘要：顾名思义，我们一般把由两个单船体横向固联在一起而构成的船称为双体船。高速双体船由于把单一船体分成两个片体，使每个片体更瘦长，从而减小了兴波阻力，使其具有较高的航速，目前其航速已普遍达到 35-40 节；由于双体船的宽度比单体船大得多，其稳定性明显优于单体船，且具有承受较大风浪的能力；双体船不仅具有良好的操纵性，而且还具有阻力峰不明显、装载量大等特点，因而被世界各国广泛应用于军用和民用船舶。以船舶结构力学、静力学、流体力学为基础，运用计算方法，简单分析高速双体船的结构性能，从而证明双体船在未来的实用性。

关键字：高速双体船；结构力学；结构性能；结构材料

随着科学技术的发展和生活水平的提高，以及军事应用方面的要求，高性能船在世界上获得了蓬勃的发展。在 50 至 60 年代，水翼船优先得到了发展；在 60 年代中后期，气垫船进入使用领域，占领了部分水上高速客运市场；在 70 年代后期，高速双体船迅速崛起，并在北欧地区首先得到发展，澳大利亚后来居上。据不完全统计，目前全世界已有 40 多个国家和地区的 200 多家公司经营水上高速客运业务。双体船作为高性能船舶的重要成员之一，其发展尤其令人瞩目。

高速双体船是一种集优良的耐波性、快速性、稳性和回转等各种航海性能于一身的高性能船型。它既保留了小水线面双体船的低阻，高耐波性及常规双体甲板面积宽敞的优点，同时融会变通了深 V 船型的特点，克服了小水线面双体的片体无储备浮力、空间狭小和要求复杂的航态控制系统和传动系统等缺点克服了常规双体船的片体干舷高储备浮力过大，对波浪响应敏感，船体纵摇和摇周期接近，易出现“螺旋状”摇摆而引起乘客不适等缺点。

1.高速双体船的性能特点^[1]

双体船，即由两条船型一样，尺度相同的船体又名片体，中间采用连结桥将它们连结起来的一种船型。这类船舶的一大特点是甲板宽敞、平坦。在每个片体尾部各装一台主机和推进器直线航行时，左右两只螺旋桨可同时运转发出推力。双体船与相同排水量的其他类型单体船相比，它的甲板面积及舱容较大，约比单体船增大左右。用于载客时，它宽大的甲板面积便于布置较多生活条件较舒适的客舱，与同类单体船相比载客能力增加一倍以上，所以双体船的经济效益显然较高。双体船左右两个片体的船型瘦长，有利于船舶的航向稳定性‘此外两个螺旋桨与舵分别位于两个片体的尾部，并且横向间距较大，故在一定的操舵角和正车、倒车的情况下可提供大的回转力矩与回转角速度，使船的操纵性与回转性都特别好。双体船由于宽大，有利于船舶的横稳性，并且横摇角也小，这样就增加了船舶航行时的安全感，而且航行时较平稳。双体船两个片体之间距离如果选择恰当，还可以减少船舶航行时的阻力，提高航速。

双体船用作客船，它的单位客位造价较低，所以双体船适合于沿海、内河及湖泊中的客船。除此之外，双体船也适用于汽车渡船、工程船、渔船、海洋调查船和钻探船等。正是由于上述其它船型不可比的优点，使得双体船能够迅速兴起，并广泛占领高性能船舶市场。据不完全统计，目前高速双体船在高性能船舶市场占有率达 40%以上，高居高性能船的首位。

1.1 甲板面积大

高速双体船单位排水量甲板面积比单体船大50%，如果考虑到双体船可以有效地增加上层建筑层次，上述比例可达100%，而不用担心稳性不够。对需要足够甲板面积和追求多层次上层建筑的客船、游览船、渡船来讲，双体船具有独特的优越性。高速双体船连接桥增加了大量甲板面积，但亦带来了钢料重量明显增加，因此，双体船不宜于要求载货能力大的货船和冷藏船。

1.2 兴波性小

高速双体船将片体宽度做得很瘦削, $L/B=8\sim 15$, 甚至达22。当 $F_n>0.3$ 时, L/B 大者, 对降低兴波阻力和减少船波具有明显效果。当选择的主尺度范围使双体船处于低兴波状态的所谓有利干扰区, 双体船的快速性能明显优于相同排水量的单体船。尤其是当高速单体船掀起巨大船波, 严重危害内河道中过往小船及冲刷两岸河堤时, 内河双体船成了人们期望发展的船型。

1.3 稳性好

它又是高速双体船显著突出的特点。高速双体船有两个分开的片体组成, 使水线面的横向惯性矩大大增加, 所以复原力矩很大, 稳性极好, 稳性储备比单体船大2~4倍。

现提供两个近似公式:

$$\text{浮心距基线高度} \quad KB = \frac{C_w}{C_w + C_b} \cdot T$$

$$\text{横稳心高度} \quad BM = \frac{b^2}{T \cdot C_b} \cdot C_w \left[\frac{1}{4} \left(\frac{k}{b} \right)^2 + 0.06 \right]$$

式中 C_w 、 C_b —片体水线面系数和方形系数

b 、 T —片体水线宽度和吃水 (m)

K —双体船的片体间距 (m)

1.4 操纵性好

高速双体船的两个片体保证它有良好的航向稳定性, 即使单机航行, 仍然在很小舵角下保持直线航行。两个片体造成两个桨之间和两个舵之间的间距大, 使双体船获得很好操纵性。当一车正一车倒时, 船能原地回转或作侧向移动。航向稳定性和迴转性跟双体船片体间距在正常范围内变化几乎没有影响。双体船迴转直径要比相同尺度和相同排水量的单体船大, 漂角要小, 进程要大, 担抗飘能力强。双体船片体间距加大会使进程变大。

1.5 横摇周期短

高速双体船固有横摇周期很短, 一般在6s以下, 称之为“急摇”。在横摇时舷边产生较大的横摇加速度, 平均约为0.25g。

高速双体船的横摇周期容易接近纵摇周期, 形成“扭摇”, 即为“对角线”摇摆。双体船的“急摇”和“扭摇”使乘员很不舒服。因此, 内河双体客船颇受旅客欢迎, 而海上双体客船多受旅客批评。至于目前国内蔽遮海域使用的高速双体客船, 因为它的动力性能已不同于常规排水型双体船, 在风浪中升沉是它主要运动, 加之航行时间短, 航区的浪亦小, 因而在蔽遮海域获得一定发展。

高速双体船的横摇特点:

(1) 当波长等于片体间距时, 高速双体船的两个片体始终同时处在波峰、波谷或者其他波浪斜率相同的位置, 这时双体船只会作升沉运动而不产生横摇。当波长等于2~3倍片体间距时, 一个片体处于波峰, 另一个片体处于波谷, 这时双体船横摇最激烈。我国沿海多此海况, 故旅客对沿海双体船持批评态度。

(2) 高速双体船在大风浪中将如小木筏随波面运动, 这时双体船最大横摇角等于最大波面斜度 $180 h / \lambda$ (h / λ 为波浪的坡度比)。如长波的 ≥ 20 , 则双体船最大横摇角 $\leq 9^\circ$ (单幅)。

(3) 高速双体船横摇阻尼系数比单体船大4-7倍, 双体船横摇衰减强有力。如果遇到强浪, 双体船将很快地从横摇中恢复原状(单体船还将继续摇摆, 会与第二个强浪来时叠加, 情况危险)。由此可见, 在大风浪中双体船的横摇程度比单体船好。

1.6 不沉性

双体船破损时极大多数为不对称破损, 甲板边缘入水角及破损横倾角较难满足SOLAS客船规范要求。因此, 在双体船总布置时, 应缩短片体内舱室长度, 尤其应尽可能缩短机舱长度; 进入片体内的主甲板上开口尽可能靠中, 门槛和舱口围板高度要适当提高, 片体内力求不设置旅客舱, 适当提高干舷以及采取必要的扶正措施。

2. 高速双体船的阻力特性^[2]

双体船的阻力, 除了具有片体作为单体船时的摩擦阻力 R_f 和两个片体自身的剩余阻力 R_r 外, 还有片体间波系干扰所引起的剩余阻力增值 ΔR_f 。

单个片体的波系干扰, 如同常规单体船一样, 仅发生于自身的首横间干扰外, 两片体各自产生的波也会相互发生干扰, 这种情况即为片体间波系干扰。

两个片体波系的干扰也可以用图形来描述, 本文所用的波系用Kelvin波表示。

因为两片体分别产生的横波相位一致, 所以高速双体船片体间有利干扰或不利干扰发生的相位与片体本身首、尾横波干扰的相位趋于一致, 并且前者的干扰程度比后者激烈。片体间波系干扰的结果加大了阻力曲线的凹凸。

3. 双体船的改进^[3]

尽管高速双体船具有上述的优点, 但它也有不尽人意之处:

(1) 由于双体船总长和总宽相差不大, 使得双体船纵摇与横摇周期相差比较小, 当船受到横浪作用时, 将会产生横摇和纵摇的复合摇摆运动, 因而有较大的线加速度, 使船抵挡横浪影响的能力较差;

(2) 由于船的总宽度较大, 阻力大, 因而横摇角小, 复原反应会引起较大的横摇加速度, 使旅客有不舒服的感觉;

(3) 采用螺旋桨推进的双体船, 尾部兴波较大, 造成较大的尾浪;

(4) 双体船的两个片体之间的连结桥, 跨度大, 离开水面高度小, 迎浪航行, 使底部受拍击严重, 左右两舷受力情况复杂及非对称性, 导致它的结构强度问题的处理较为麻烦, 这在很大程度上限制了双体船向大型化的方向发展。

针对高速双体船所存在的上述问题, 造船工作者不断探索着改进的途径, 并已经取得相当的进展:

(1) 上述(1)(2)两个缺点, 实质是船的耐波性问题。为了克服这两个缺点, 必须减小船的水线面积, 以减少波浪对双体船所产生的撞击作用。为此产生了小水线面双体船, 它是排水型船舶中耐波性较好的一种船型。根据有关报道, 小水线面双体船, 其摇摆加速度仅为单体船的 $1/3$, 横摇角也仅为单体船的 $1/3$, 纵摇角则约为单体船的 $1/2.5$ 。不过在其结构重量、造价等方面尚不尽人意。那么, 可否根据小水线面双体船耐波性的优点, 对普通高速双体船加以改造, 提高其耐波性呢? 浪型双体船的产生就是成功的例子。穿浪型双体船将两片体的上半部做成倒V型, 使其在波浪中航行时能较柔和切入波面, 具有较佳的穿越波浪的能力。穿浪型双体船的浮体干舷较低, 尤其是大幅度地减少首部干舷, 从而减少了船体迎浪航行时的俯仰运动。此外, 连接上层建筑与浮体的流线型支柱截面瘦削, 在波浪中运动时浮力变化较小, 减少了波浪的运动响应。

(2) 对于上述(3)的缺点,可以采用喷水推进装置,以减小尾浪。喷水推进装置与螺旋桨推进装置不同,它不设倒车齿轮箱、桨轴、尾轴套管、船身附加物(例如美人架)等,也不设传统的舵装置,整套喷水装置受到船体保护。喷水推进器可以减少船舶吃水,而且不会因航道水浅流急而导致操作失灵的危险。目前喷水推进已经应用于双体船。

(3) 对于上述(4)的缺点的克服,为了加大连结桥处强度和尽量减少水动力作用于船体的不对称性,可以考虑适当加大连结桥处的垂向尺寸,槽道滑行艇就有效地解决了这个问题。

4. 高速双体船结构材料的选择

结构优化是结构设计的一个追求目标,然而结构重量最轻往往又是结构优化的目的,在满足强度需求的同时,达到结构重量最轻,就需要对结构的材料进行正确的选取。

4.1 船舶材料的应用现状^[4]

舰船船体结构用材料主要是船体结构钢、铝合金和钛合金。

(1) 船体结构钢

船体结构钢是现代舰船建造最主要、最重要、最关键的结构材料,其性能优劣直接关系舰船战术性能提高。船体结构钢作为船体结构材料,必须具有足够的强度和韧性、良好的工艺性及耐海水腐蚀性能。第二次世界大战后,世界各军事强国为了满足舰船装备的发展需求,研究开发了系列高强度舰船用钢。

(2) 船体用铝合金

近年来,由于能源短缺的加剧以及全球环保运动的日益高涨,舰船的轻量化及合金材料再生利用的要求,使铝合金在实际应用中得到进一步的发展。铝合金由于具有密度小、比强度大以及无磁性、高导电性和导热性等特点,已被用于建造中小型舰艇,主要目的是减轻舰艇的重量、提高航速和各种性能。

(3) 船体用钛合金

由于现代潜艇要求下潜深度愈来愈大,钛合金具有高比强度、耐海水腐蚀、无磁性等特点,在潜艇上应用相当广泛。是制造潜艇和深潜器耐压壳体极有前途的材料,各国都很重视船用铁合金的研究开发。

我国船用钛合金的研究始于20世纪60年代。几十年来,研究开发的船用钛合金基本能满足水面船舶、潜艇和深潜器用的不同强度级别的要求并适用于其不同部位。

4.2 高速双体船的材料选取^[5]

由于高速船的航速要求,重量最轻则成为船舶结构设计的目标,通过以上铝合金和合金钢的计算结果比较,同等满足结构强度要求下,选铝合金较为适宜。而钛合金,虽然比铝合金的物理性能更好,但是由于其造价太高,所以不做考虑。

铝合金高速船制造业相比钢质普通船制造业是低投入高产出,市场看好的工业部门。高速双体船在船价可以用每载客客位1.0~1.5万美元来估算,航速低者可取低值,航速高者要取高值。一艘40m、32kn、350客位高速双体船在澳大利亚订购价在300~400万美元,相当于一艘3000~5000t钢质货船价格。一艘76m、40kn、1000客位高速双体船,订购价近万美元,相当于一艘2000万吨级钢质货船价格。与钢质船制造厂相比铝合金船制造厂规模和职工人数可小少得多。

另一方面铝合金船制造与建立一套与钢船制造业不同的设备、舾装件、管件以及木作家俱等的配套系统,与船用铝材相适应的铝合金材料供应系统。这些系统有的国内完全有条件组成,有的可以从国际配套来组成。发展铝合金船舶制造业值得有识人士考虑并投资。

5. 结论

通过本文的分析，得出了以下几点结论：

（1）高速双体船拥有甲板大、兴波性小、稳性好、操纵性好、不沉性等优点。

（2）高速双体船耐波性差、阻力大、易造成摇摆等缺点，因此双体船需要通过结构设计解决出现的问题，使之更适应各方面的需求。

（3）高速双体船的船体材料应选择船体用铝合金，铝合金由于具有密度小、比强度大以及无磁性、高导电性和导热性等特点，并且铝合金价格相对便宜。

各类高性能船都有其优点和缺点，如何充分发挥双体船所具有的优势，把其它高性能船的优点引入双体船，克服双体船所存在的缺点，这是造船界的一项使命。现在世界各国都在利用各种高性能船舶的特殊技术，派生出各种新型高性能船舶，如小水线面水翼船、双体水翼船、双体穿浪船、双体气垫船、气垫水翼双体船等相继问世。相信，在未来高性能船的发展中，双体船将越来越扮演重要的角色。

参考文献

- [1] 宋国华，双体船的总体性能设计，船舶，1998
- [2] 汪诚仪，高速双体船阻力特征及其应用，中国造船，1994，8
- [3] 郑道昌、赵智萍，高速双体船的特征及其发展，航海技术，2001
- [4] 黄晓艳、刘波，舰船用结构材料的现状与发展，船舶结构，2004，6（3）
- [5] 吕松龄，澳大利亚高速双体船建造的启示，船舶设计通讯，1995, 9