**基于小水线面布局的水翼船稳性可调系统研究**

**（郭昂）**

（中国船舶科学研究中心，江苏 无锡 214082）

**摘 要：** 针对水翼船在复杂海况下横向和纵向稳定性面临的挑战，本文提出了一种基于小水线面布局的复合型水翼船设计方案。此方案通过创新性地结合水翼技术与小水线面船技术，从布局和稳性可调两个方面着手，有效提升了水翼船在高速航行时的低阻特性，并显著增强了其在复杂海况条件下的稳定性。这一设计方案对于推动水翼船在复杂海况条件下的应用与发展具有重要的指导意义。

**关键词：**小水线面；水翼船；稳性可调

**中图分类号：U**664.3**文献标识码：A文章编号：**

**Research on Stability Adjustable System of Hydrofoil Ship Based on Small Waterplane Layout**

（GUO Ang）

1. China Ship Scientific Research Center, Wu Xi 214082, China

**Abstract：** This paper proposes a design scheme for a composite hydrofoil vessel based on a small waterline surface layout to address the challenges faced by hydrofoil vessels in terms of lateral and longitudinal stability under complex sea conditions. This scheme innovatively combines hydrofoil technology with small waterline surface ship technology, starting from two aspects of layout and adjustable stability, effectively improving the low resistance characteristics of hydrofoil ships during high-speed navigation and significantly enhancing their stability under complex sea conditions. This design scheme has important guiding significance for promoting the application and development of hydrofoils under complex sea conditions.

**Key words：**small waterline surface; hydrofoil ship; adjustable stability

1 引言

水翼船是一种特殊设计的船舶，其特点在于船身底部装有支架和水翼。随着船速的逐步提升，水翼产生的升力将船身逐渐抬离水面，从而显著降低水阻力，极大提升了船的航行速度。水翼船以其兴波小、阻力低、航速高等优势而备受关注。然而，在复杂的海洋环境下，为了确保水翼船的稳定性，必须采用复杂且成本高昂的自控水翼设备，这在一定程度上限制了水翼船的进一步推广和应用[1]。

鉴于当前水翼技术的局限性，我们提出了从复合船型角度出发的解决方案。通过将水翼技术与其他船型技术相结合，并辅以简便可靠的稳性可调系统，我们有望显著提高水翼船在复杂海况条件下的横向和纵向稳定性，从而推动水翼船技术的进一步发展和应用。

2 小水线面布局的稳性可调式水翼船

小水线面布局的稳性可调式水翼船（如图1所示）的构造包括船体、后支柱体、后水翼、前支柱体、前水翼、稳性可调潜体组件以及稳性调节控制系统等多个部分[2]。根据总体的设计需求，两个后支柱体的主要作用是连接船体和后水翼，其中上端与船体相连接，下端则与后水翼一侧的上表面相连。这两个后支柱体在后水翼上表面的两侧呈对称布置，且其支柱截面设计为扁薄、外凸的流线型。同样，两个前支柱体负责连接船体和前水翼，其上端与船体相连，下端则与前水翼一侧的上表面相连，并在前水翼上表面的两侧呈对称布置，支柱截面亦呈扁薄、外凸的流线型。值得一提的是，后支柱体和前支柱体垂直布置，不仅作为船体与后水翼、前水翼以及稳性可调潜体组件之间的连接通道，还确保了整个船体结构的稳固性。

后水翼和前水翼均设计为矩形升力翼，当它们在水中运动时，能够产生足够的升力以平衡船体的重量。根据总体的设计需求，这些升力翼的剖面形状可以进行相应的调整。后水翼和前水翼的上表面两侧分别与后支柱体和前支柱体的下端相连，确保了船体结构的完整性。同时，后水翼和前水翼的两端分别与稳性可调潜体组件的潜体圆柱面相连，这样的设计使得船体、后支柱体、后水翼、前支柱体、前水翼以及稳性可调潜体组件共同构成了具有小水线面布局的船型，从而满足了船体稳性和可调性的要求。

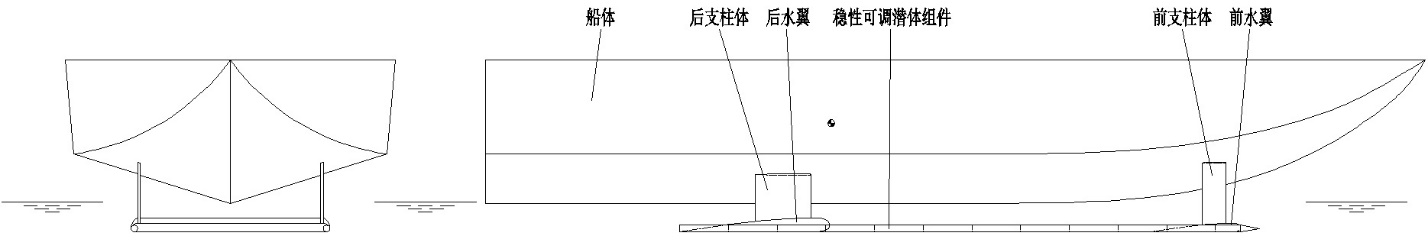


图1小水线面布局的稳性可调式水翼船

3 稳性可调系统设计

3.1稳性可调潜体组件

稳性可调潜体组件（如图2所示）由圆柱壳体、隔板和子弹头体构成，共计两套，其布局设计独特，遵循小水线面原则，保持平行且相互对称。与常规小水线面船的潜体相比，此组件展现出三大差异。首先，圆柱壳体呈现细长形态，区别于小水线面船潜体的粗壮圆柱体设计。在此组件中，圆柱壳体主要扮演连接后水翼与前水翼的角色，强化了整体结构的稳固性。而小水线面船的潜体则主要负责提供主要的浮力。其次，圆柱壳体的内部被隔板划分为多个压载舱，这些舱室通过稳性调节控制系统进行注水或排水操作，以实现对水翼船稳性的精确调控，其功能相对专一。相对而言，小水线面船的潜体内部需容纳动力、燃油、压载、传动机构等多种组件，功能更为多元化。最后，圆柱壳体的头部采用子弹头体设计，而非小水线面船潜体常见的传统水滴形。这种设计旨在满足高航速下水翼船水下部件对低水阻力的要求，而小水线面船的水滴形潜体头部则在中低航速下展现出相应的水阻力特性，以满足其运行需求[3-5]。

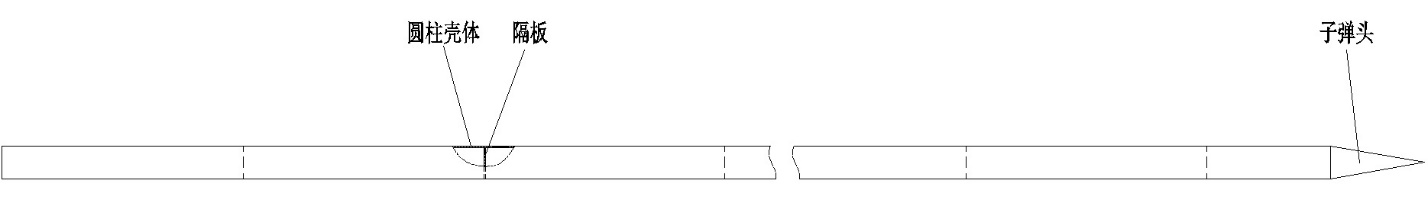


图2 稳性可调潜体组件

3.2稳性调节方法

经过对小水线面布局的水翼船进行深入分析，我们发现其稳性可调潜体组件的压载水量控制和调节是实现船舶纵向与横向稳定性调控的关键。通过精确调控压载水量，可以调整潜体组件的重力大小及重心位置，进而调整整船的重力分布和重心位置，确保后水翼和前水翼始终保持在最佳的航行姿态角。

小水线面布局的水翼船，其两个稳性可调潜体组件本身就具有一定的横向间距。结合对各压载舱的注水操作，可以有效地调节整船的横向恢复力矩，从而提升船舶的横向稳定性。

通过向稳性可调潜体组件的压载舱注水，整船的重心G会发生下移。在外界倾斜力矩的作用下，船的平衡状态将被打破，船体会以M点为原点转动一定的角度φ。此时，水线由WL变为W1L1，浮心位置由B点移动到B1点，而重心G保持不变。由于重心与浮心不再重合，将产生一个与倾斜力矩方向相反的复原力矩。在复原力矩的作用下，船舶能够恢复到原来的平衡位置。船舶的稳性好坏取决于外界倾斜力矩与船舶自身复原力矩的相对大小。当稳性可调潜体组件的压载舱注水后，由于重心G下降，复原力矩的力臂（即重心G与浮心B1之间的水平距离）增大，进而增大了复原力矩，从而提高了小水线面布局水翼船的横向稳性裕度。

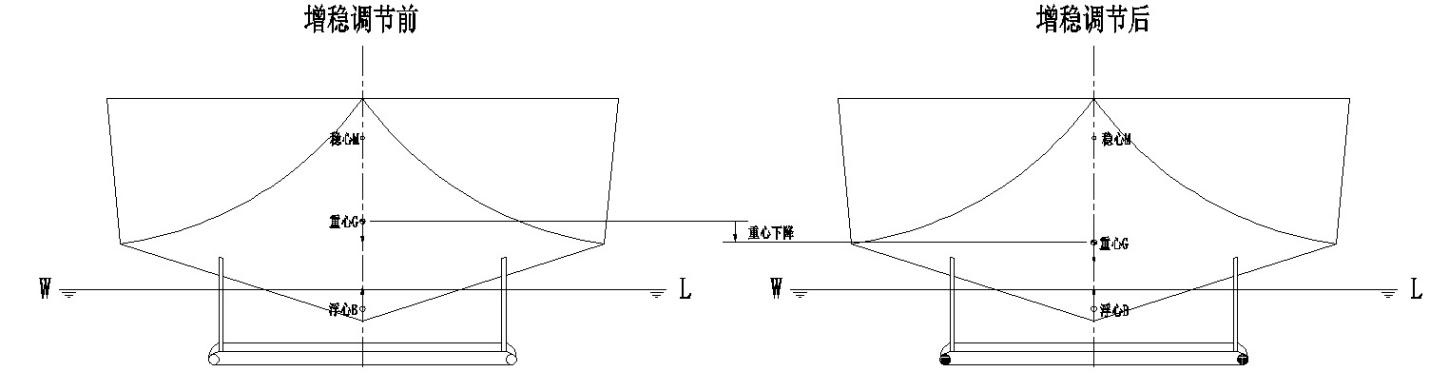


图3 横向增稳调节方法

水翼船的纵向稳定性设计一般是通过对前、后水翼进行合理配置，即保证相对大的前后水翼间距，并使前后水翼始终处于设计要求的攻角范围内，这样就可以保证在一定的使用范围内水翼船的纵向稳定性。对可操纵水翼来说，可以根据需要对前、后水翼升力进行调节，此种类型的水翼能够满足恶劣海况条件下的使用要求。但对固定式水翼来说，由于没有办法对前、后水翼升力进行调节，也就无法满足恶劣海况条件下的使用要求，这是大多数水翼船只能在江河湖中使用而无法在海上使用的根本原因。小水线面布局的水翼船采用了独特的纵向增稳调节方法（见图4），一方面通过两个稳性可调潜体组件将后水翼和前水翼连成一体，共同构成了小水线面布局形式。由此在加强后水翼和前水翼的结构强度和刚度的同时，可适当拉大前水翼和后水翼之间的纵向距离，提升水翼船纵向稳定性；另一方面按照稳性调节控制装置发出的控制指令，可以对稳性可调潜体组件各压载舱内的压载水量实施注入或排出操作。这样通过对压载水量的调节，可以使前、后水翼处于设计要求的纵向攻角范围内，满足了水翼船在某一特定海况条件下纵向稳定性要求。

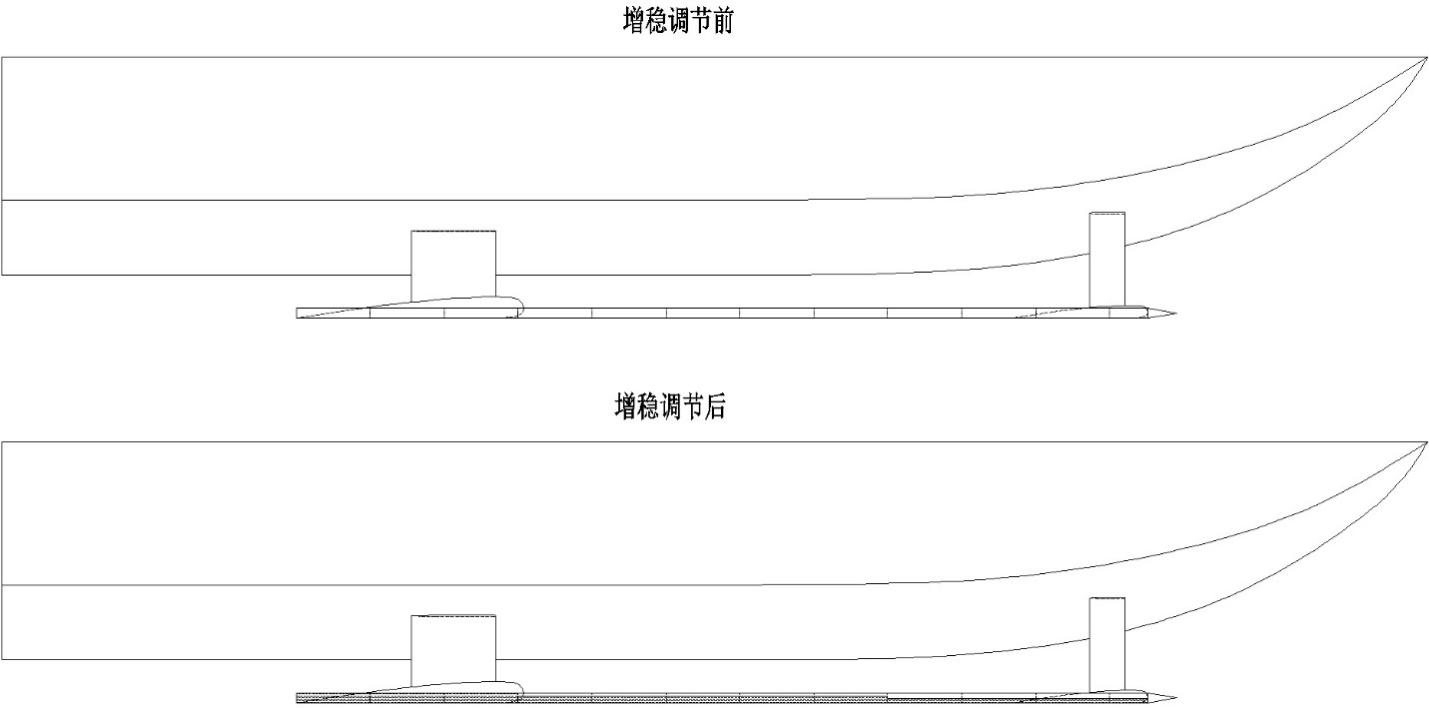


图4 纵向增稳调节方法

3.3稳性调节控制系统

稳性调节控制系统由舱外进排水口、进水电磁单向阀、排水电磁单向阀、管路、水泵、舱内进排水口及稳性调节控制装置等核心部件构成。在特定海况下，稳性调节控制装置负责精准感知并测量水翼船的航行姿态，进而对其稳性状态进行科学判断。系统会实时计算所需参数，以确保前、后水翼的纵向攻角及整船的横倾角均符合设计要求，并快速发出控制指令，调节稳性可调潜体组件各压载舱内的压载水量。当水翼船的姿态调整至预定目标后，即可实现在海上的高速航行。

4 结论

经过精心设计与研发，本文介绍了一种先进的复合型水翼船设计方案。该方案巧妙地将水翼技术与小水线面船技术相结合，并通过创新性的多压载舱细长体和子弹头体稳性可调潜体组件设计，有效提升了水翼船在复杂海况条件下的横向与纵向稳定性。同时，该方案也满足了水翼船在高航速下对低水阻力特性的严苛要求，展现了其卓越的性能与适应性。

**参考文献**

1. 李百齐. 21世纪海洋高性能船 [M].北京：国防工业出版社.2001年
2. 赵连恩等. 高性能船舶水动力原理与设计[M].哈尔滨：哈尔滨工程大学出版社.2001年
3. 赵连恩等. 槽道水翼滑行艇快速性能研究[J]. 中国造船，1997 (3)：1－8.
4. 柳卫东等. 单体小水线面水翼复合型高速船翼航状态运动稳定性研究[J]. 中国造船，2000 (4)：28－34.
5. 邓 超等. 波浪动力船水翼的推进性能分析[J]. 中国舰船研究，2020 (1)：119－126.