

船舶减摇技术现状及减摇鳍的应用管理

蒋丛福

(渤海轮渡集团股份有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 船舶减摇技术是提高船舶安全性、舒适性和经济性的重要手段。在海洋工程、军事应用和民用运输等领域, 船舶减摇技术都发挥着至关重要的作用。本文将介绍船舶减摇技术的现状、关键技术以及减摇鳍实例, 以期为相关领域的研究和应用提供参考。

关键词: 船舶减摇; 舳龙骨; 减摇水舱; 减摇鳍

中图分类号: U664.72

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0080—03

海上航行气候多变, 船舶受到风、浪、流等外部因素扰动, 不可避免的导致船舶发生摇摆和晃动。剧烈的摇摆和晃动不仅会影响船上人员的舒适度, 而且可能导致船舶结构损坏、货物泄漏、导航失灵等问题。为了降低这些不良影响, 船舶减摇技术应运而生。

现代科技的高速发展, 促进了减摇技术的更新换代。船舶减摇产品种类繁多, 按其作用特点分为被动减摇和主动减摇两大类。被动减摇产品主要包括舳龙骨、减摇鳍等, 其特点是结构简单、可靠性高, 但减摇效果有限。主动减摇产品则主要包括减摇陀螺仪、主动抑摇鳍等, 这些产品采用了先进的控制理论和算法, 能够实现更加精准的减摇控制。

1 摇荡运动对船舶性能的影响

船舶摇荡是指因遭受外力作用, 打破其原有平衡状态, 使船舶绕原平衡位置做往复性运动, 因此摇荡对船舶安全性影响很大。

- (1) 使船舶因稳性破坏而倾覆。
- (2) 使船体结构和设备受到损坏。
- (3) 使得货物的重心发生变化, 这将对船舶的安全构成威胁。
- (4) 影响设备及仪表的运转。
- (5) 影响螺旋桨的推进效率, 增加航行阻力。
- (6) 工作和生活条件恶化, 甲板上浪等。

2 减摇技术的应用

为了控制减弱摇荡对船舶的影响, 一方面要在保证船舶操纵安全的前提下合理进行装载, 其次是安装必要的减摇装置。以下是目前几种常见的装置:

2.1 舳龙骨

在构建船只的过程中, 常会在船舶底部外部放置一条长型板, 该板顺着水流动的方向并位于船舶的舳部两侧, 这便是人们熟知的舳龙骨。由于它具有良好的减摇性能、制作简便等优点, 几乎所有类型的船只都配备

6 结论

本文以某型广西内河标准化小型甲板渡船为研究对象, 针对运输农用三轮车这类轻量化货物所导致局部应力集中现象突出的特点, 依据《内规》的要求进行建立有限元模型直接计算, 以设计之初的相当水头压力作用于甲板结构应力成分包络值作为许用值, 得出不满足强度衡准的结论, 并针对轮印负荷产生的应力集中现象, 对此提出了结构应采取补强措施, 并用同样的计算方法进行验证, 说明经加强后的甲板结构强度等效于原设计结构强度, 确保内河小型甲板渡船甲板结构的局部强度、刚度以及稳定性满足正常、安全工作的基本要求。

参考文献:

- [1] 中国船检社. 钢质内河船舶建造规范 2016(第1分册)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2016.
- [2] 吴梵, 朱锡, 梅志远. 船舶结构力学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [3] 裴志勇, 谌伟, 杨平, 吴卫国. 船体强度与结构设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [4] 中国船检社. 内河小型船舶建造规范 2022[S]. 北京: 人民交通出版社, 2022.
- [5] 张少雄, 李雪良, 陈有芳. 船舶结构强度直接中板单元应力的取法 [J]. 上海: 船舶工程, 2004.
- [6] 汽车和挂车类型的术语和定义 (GB3730.1-2001) [S].

了舢龙骨以降低船体的横向摆动幅度。舢龙骨板的长度大约是船长的四分之一至三分之一之间，宽度一般介于200~600毫米范围内（对于大中型的船来说可能更宽一些），大致垂直于舢部列板，但不能超过船身一半的宽度及船底基线的边界，避免碰撞港口或海床造成损害。根据结构类型划分，舢龙骨可以划分为连续式和间隔式两种。其中，连续式的结构较为简洁明了，主要用于慢速行驶的船只；而间隔式的则因为能减少航行时的阻力，但却增加了横向摆动的阻力，因此多见于高速行驶的船只。此外，为了防止船体的外壳受到舢龙骨损伤的影响，往往需要使用一层覆盖板将其与舢部外壳相连。

2.2 减摇水舱

在船内横向设置“U”字形水舱，这样可以使得水位的波动和船体的摆动存在一定的相位偏移。利用这种方式，水的重量能够产生一种反作用力矩，从而降低了船只的晃动程度。减摇水舱是一种通过水的物理运动产生稳定力矩的装置，其设计精妙，主要分为被动式和主动式两种。

2.2.1 被动式减摇水舱

由于其结构简洁、成本低廉的优势，被动式减摇水舱在各种船舶中得到了广泛的应用。其工作原理是利用船体本身的横摇运动，引发水舱内水的振荡。在共振情况下，水舱内水的运动滞后横摇角90度，使其产生的稳定力矩与波浪扰动力矩相反，从而减小横摇。具体来说，被动式减摇水舱通常由两个水舱组成，分别位于船体的左右两侧。在船舶发生横摇的情况下，由于惯性原理，水舱内的水将从一个水舱流向另一个水舱。这种动态会形成与船舶横摇方向相反的力矩，因此能够起到减轻摇晃的效果。据统计，被动水舱的减摇效果在中等海况下尤为显著，可降低横摇幅度约30%至40%。然而，随着海况的逐渐恶化，其减摇效果也会相应有所下降。

2.2.2 主动式减摇水舱

主动式减摇水舱利用角速度陀螺精确捕捉船只的横向摆动角度信号，从而通过伺服系统对水舱内部水流进行灵活调整。这一先进的设计使其能够在更广泛的频率范围内提供卓越的减摇效果。

主动式减摇水舱通常由水舱、传感器、控制系统和伺服机构等组成。传感器实时监测船舶的横摇角速度，并将信号传递给控制系统。控制系统根据信号计算出所需的水流方向和流量，然后指挥伺服机构调节水舱内水的流动，从而产生所需的稳定力矩。相关数据显示，主动式减摇水舱在恶劣海况下仍能降低横摇幅度约50%至60%。尽管主动式减摇水舱设备复杂、费用较高，但其强大的减摇能力使其在特种船舶和高端游艇等领域备受青睐。

2.3 陀螺仪减摇装置

利用陀螺转子的定轴性原理，陀螺减摇装置能够产生稳定的阻力矩来降低船舶的晃动。这种装置采用双层结构，外部看似普通的大白球，内部却拥有高速旋转的飞轮。当检测到船只左右摇晃时，飞轮会产生相反方向的推力，降低甚至完全抵消船只的晃动感。陀螺减摇装置能够在任意海况、任意速度下发挥作用，为船舶提供稳如陆地的航行体验。然而，由于造价昂贵，陀螺减摇装置并未得到广泛应用。

2.4 减摇鳍

依据能否被收入船体，可以将减摇鳍划分为非收放型和收放型。而收放型减摇鳍又进一步细分为伸缩型和折叠型；折叠型又可进一步划分为前收型和后收型。（向前或向后旋转90°收入鳍箱。）

下面以JQA-13-530型减摇鳍装置为原型，对其组成、工作原理、关键性部件及典型故障方面进行探讨。

2.4.1 组成及主要性能参数

主要由执行部件、鳍、液压装置以及电子控制设备构成减摇鳍装置。本型号减摇鳍装置基本功能流程图见图1所示。

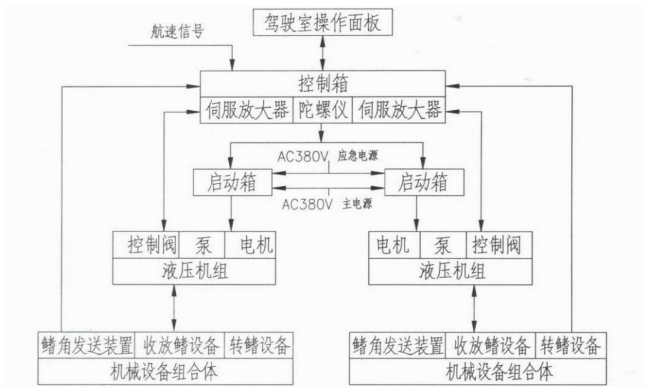


图1 系统组成框图

2.4.2 装置基本工作原理

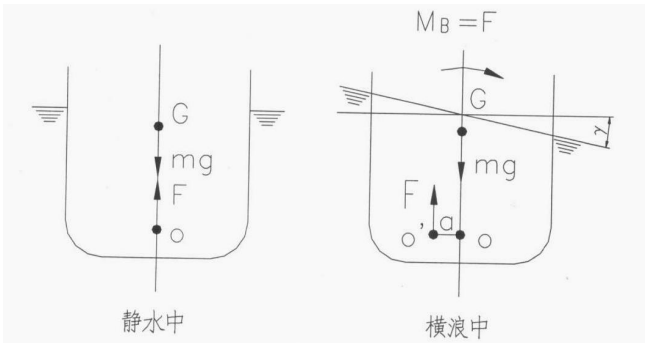


图2 波浪扰动力矩

如图2所示，对静水中船舶进行受力分析得知，浮力 F =重力 mg ，且二者方向相反，此刻船舶垂直方向受力平衡。其中 O 为浮心，此刻浮心位于重心 G 之下，

船舶在浮力与重力作用下处于正浮状态。

在现实环境中,当船只行驶的时候,因为海洋的波动状态,此时会有一波倾角 γ (波浪表面与水面之间夹角)的存在。这种波浪的倾斜使得船体的平衡点从原始的位置 O 点移至 O' 点,由此产生了施加在船体上的力矩 $MB=F$ 。这个力矩引起了船体围绕着它的横摇轴 G 做横向晃动,我们称此力矩为波浪扰动力矩。

为了减少船只在水平方向上的晃动,需要向船只施加一个与波浪扰动力矩 MB 相对方向的稳定力矩 M_{st} 。减摇鳍系统是一种能够有效产生稳定力矩的装置,由鳍和用于驱动和控制鳍运动的电液跟随系统组成。

鳍被安装于船只的两侧底部。设想当船体以速度 V 行驶时,某侧鳍的角度是 α ,如图3(a)所示,依据流动连续性的原则,我们知道鳍的上方流速较大且压力较低,而下方的流速较小但压力较高。所以,由于水的压力差的影响,鳍会产生向上提升的力量 P 。同样地,如果另一侧的鳍朝着相反的方向倾斜,也会导致类似的效果并生成下降力量 P 。这种情况下,两个鳍产生的上升和下降力量共同构成了一个稳定的力矩,其情形如图3(b)所示。

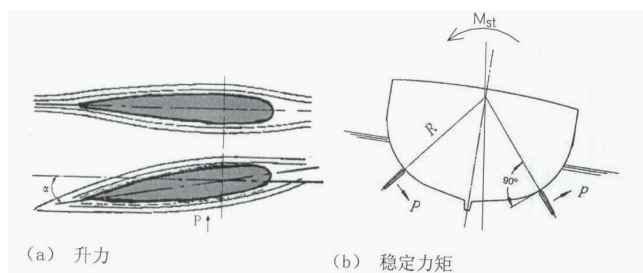


图3 升力及稳定力矩

稳定力矩与鳍面积 S , 航速 V 的平方, 鳍角 α 成正比。因此针对特定减摇鳍, 在定速航行时, 鳍面积为定值, 因此鳍角变化决定稳定力矩。

由此可见, 为了消除波浪对船的扰动力矩 M_{st} , 就要对鳍迎角 α 进行控制, 以此来使鳍对船产生稳定力矩, 从而达到无论何种航向下稳定船舶的作用。

2.4.3 装置控制原理

船体受波浪力矩 M_b 作用, 产生一横摇角 ψ , 角速度陀螺仪根据横摇角速度 $\dot{\psi}$, 输出转鳍指令信号 U_α 。系统此刻同时引入船舶航速信号, 经航速处理后鳍角指令为 $U_{\alpha V}$ 。伺服放大器、电液伺服阀、柱塞变量泵、转鳍油缸和油泵反馈装置、鳍角发送器一起构成转鳍伺服系统, 鳍角 α 随鳍角指令 $U_{\alpha V}$ 转动, 在水流作用下, 鳍上产生的升力形成一个与波浪力矩相抗衡的稳定力矩 M_{st} , 从而减小船的横摇角。

2.4.4 关键部件、功能及原理

(1) 执行机构。液压机组驱动的执行机构能够实现转动鳍、收放鳍、重置零位和锁定等功能。

(2) 液压机组。液压机组是减摇鳍装置功率放大及驱动的组件, 它将控制信号放大后驱动执行机构转鳍, 是将控制信号从电控系统传到执行机构的纽带。

(3) 鳍角发送器。鳍角发送器由底座、指针、刻度盘、电位器、微动开关等组成。它的主要功能是通过电位器将鳍角位置信息转换为电信号, 以此作为控制系统的输入信号; 凸轮上的相关凸台触动微动开关, 发出记录鳍角是否达到了电气限位或 3° 复零角, 并将这一信息传递给控制系统。

2.4.5 典型故障

(1) 鳍已放出, 进入减摇工况后, 鳍不动作。电液换向阀故障或其供电线路断线; 相应伺服放大器内继电器或其触点故障; 角速度陀螺仪损坏。

(2) 进入生摇、减摇工况后鳍偏向一边, 鳍角超限。鳍角发送器内部电位器线路断开; 反馈装置线路断路; 伺服阀线路故障; 伺服阀的阀芯卡住或者内部油路有问题; 主放模块故障。

(3) 鳍在运行过程失去控制, 飘忽不定。转鳍压力调节溢流阀压力调定值变小或溢流阀失效。

3 结语

船舶减摇装置是现代船舶设计中的重要组成部分, 它们通过不同的工作原理和结构形式, 为船舶在波涛汹涌的大海中提供稳定的航行保障。不论是构造简易且成本较低的舳龙骨, 或是技术繁复但能有效降低摇晃程度的减摇鳍与陀螺减摇装置, 它们都分别在其特定的范畴中起到了无法被取代的功能。随着科技发展的日新月异, 未来的船舶减摇设备将会变得更智能、更高效率, 从而给人们的水上旅行带来更为安稳、愉悦的感受。

参考文献:

- [1] 成春祥. 船舶轮机管理 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2011.
- [2] 张跃文. 船舶管理 (轮机专业) [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2012.
- [3] 黄加亮, 陈丹. 船舶动力装置技术管理 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2009.
- [4] 王科俊. 海洋运动体控制原理 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2007.
- [5] 安翔. 轮机工程基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [6] 范钦珊, 殷雅俊, 虞伟建. 材料力学 (第2版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.