

船舶压载水处理装置的工作原理与技术发展分析

徐华彪，徐飞

江南造船(集团)有限责任公司，上海 201913

摘 要： 船舶压载水处理装置主要用于防止外来物种通过压载水的转移而引发生态危害。其工作原理基于物理、化学、生物等多种技术手段，通过过滤、紫外线消毒、电解、氧化还原等方式去除水中的有害生物和沉积物。随着国际法规对船舶排放水质标准的严格要求，压载水处理技术不断发展，逐步向高效、绿色、低能耗方向迈进。未来技术的创新与完善，将进一步提升船舶环境保护能力，确保航运业的可持续发展。

关 键 词： 船舶压载水；处理装置；工作原理；技术发展；环保

Analysis of Working Principle and Technological Development of Ship Ballast Water Treatment Device

Xu Huabiao, Xu Fei

Jiangnan Shipbuilding (Group) Co., Ltd. Shanghai 201913

Abstract： Ship ballast water treatment devices are primarily used to prevent ecological hazards caused by the transfer of alien species through ballast water. Their working principle is based on various technical means such as physics, chemistry, and biology, removing harmful organisms and sediments in water through filtering, ultraviolet disinfection, electrolysis, redox, and other methods. With the strict requirements of international regulations on the water quality standards for ship emissions, ballast water treatment technology has continuously developed, gradually moving towards high efficiency, environmental friendliness, and low energy consumption. Future technological innovation and improvement will further enhance the environmental protection capabilities of ships and ensure the sustainable development of the shipping industry.

Keywords： ship ballast water; treatment device; working principle; technological development; environmental protection

引言

随着全球航运业的迅速发展，船舶压载水成为外来物种传播的重要途径，对生态环境造成了严峻挑战。为了应对这一问题，国际社会逐渐加强了船舶压载水的管理要求。船舶压载水处理装置应运而生，作为有效的环境保护手段，其技术不断创新与完善。通过多种技术手段，处理装置能够有效净化压载水，防止有害生物的扩散。随着技术的进步，这些装置不仅提高了处理效率，还兼顾了节能与环保，推动了航运业的绿色发展。

一、船舶压载水处理装置的工作原理

船舶压载水处理装置的工作原理涉及多种技术手段的综合应用，旨在有效清除压载水中的有害生物、细菌、沉积物等。首先压载水经过物理过滤系统，去除水中的大颗粒杂质，如泥沙、海藻等。这一环节通过细网格过滤器或精密过滤装置，确保水质得到初步净化，减少后续处理的负担。过滤后的水将进入下一处理阶段，通常是紫外线消毒或电解消毒系统。在紫外线消毒系统中，水流通过特定波长的紫外线照射，能够有效杀灭水中的细菌、病毒等微生物，确保船舶压载水不携带有害生物。

除了紫外线消毒，电解消毒技术也是船舶压载水处理中常用

的一种方式。通过电解装置，水中的溶解氧与电解液反应，产生氧化剂或氯化物等强氧化性物质，这些物质能够快速分解水中的有害生物，进一步确保处理效果。电解技术具有较高的效率，且能耗较低，因此在许多船舶上得到了广泛应用。除物理过滤与紫外线消毒外，生物处理技术也成了压载水处理的一个重要方向。生物技术通过培养特定的微生物，利用它们分解水中的有害物质，在减少环境污染方面发挥着重要作用^[1]。

随着国际航运业对环保标准的日益严格，船舶压载水处理装置不断迎来技术革新。传统的单一处理方法逐步被多重技术联动的综合处理方案所取代，逐渐实现了高效、环保、低能耗的目标。例如，近年来，一些先进的装置不仅结合了物理、化学和生

物方法，还引入了智能控制技术，能根据水质的变化自动调节处理参数，实现对压载水的动态管理^[2]。这些创新技术的应用，不仅提升了处理效率，也增强了装置的适应性和稳定性，使船舶在全球航行中能够更好地履行生态保护责任，符合日益严格的国际环保法规。

二、主要技术手段及其应用分析

船舶压载水处理装置的技术手段主要包括物理、化学和生物处理三种类型。这些技术各自发挥独特作用，通常根据实际需求和水质条件组合使用，以达到最佳的处理效果。物理处理技术主要通过过滤系统去除水中的大颗粒杂质，例如泥沙、海藻和其他浮游生物。传统的物理过滤装置包括网状过滤器、砂滤器和膜过滤装置，这些装置能有效去除水中的固体物质，确保后续处理系统不受过多负担。通过物理过滤后，水中的有害颗粒物减少，水质得到了初步净化，为后续的化学和生物处理提供了更加纯净的水源。

在化学处理方面，紫外线消毒和电解消毒是常见的技术手段。紫外线消毒技术利用特定波长的紫外光对水中的微生物进行辐射杀灭，能够有效减少细菌、病毒等病原体的存在。紫外线消毒技术的优势在于不添加化学药剂，避免了二次污染，并且处理速度较快，适用于大多数船舶的需求。而电解消毒技术通过电解水中的氯化物产生氯化物和其他氧化性物质，这些物质具有强烈的杀菌作用，可以彻底消除水中的有害生物。电解技术具有较高的处理效率，并且能耗较低，因此被广泛应用于船舶压载水的处理中。随着电解技术的发展，现代的电解装置已经更加高效且自动化，能够根据实际水质变化动态调整处理强度^[3]。

生物处理技术作为一种新兴的处理方式，通过利用特定微生物分解水中的有害物质，逐步成为压载水处理装置中的重要组成部分。通过培养适应性强的微生物群体，生物处理可以有效降低水中的有害物质浓度，尤其是对溶解性有机物和营养盐类物质的降解效果显著。与物理和化学方法相比，生物处理通常需要较长的反应时间，但其绿色环保、能耗低的特点使其在处理过程中越来越受到青睐。此外，近年来随着智能技术的发展，越来越多的压载水处理装置引入了自动化控制系统，结合实时水质监测与数据分析技术，能够根据水质变化智能调节处理方式，进一步提高了处理效率和精准度^[4]。这些技术的应用提升了船舶压载水处理的综合性能，为航运业的绿色发展奠定了技术基础。

三、国际法规对船舶压载水处理的要求

随着全球航运业的快速发展，船舶压载水被认为是外来物种传播的重要途径，对生态环境造成了显著威胁。为了应对这一问题，国际社会加强了对船舶压载水排放的管理和控制，制定了严格的法规和标准。国际海事组织（IMO）通过《船舶压载水管理公约》（Ballast Water Management Convention, BWM Convention）要求所有国际航行的船舶在排放压载水时必须进行

处理，确保水质符合公约规定的标准。该公约自2017年生效，规定船舶必须安装符合标准的压载水处理系统，以防止外来物种的传播。这项公约在全球范围内实施，目的是减少由压载水带来的环境风险，保护各国海洋生态系统。

根据国际法规要求，船舶在处理压载水时必须达到一定的水质标准。具体而言，压载水中的有害生物浓度必须低于规定的限值，通常为每立方米水中活性生物的最大数量不得超过10个。为了实现这一目标，船舶压载水处理装置需要使用经过认证的技术手段，能够有效杀灭或去除水中的病原体 and 外来物种。国际海事组织对压载水处理装置的技术要求进行了详细规定，提出了不同等级的水质标准，包括对浮游生物、细菌和病毒的限制。同时，各国海事当局也根据这一标准实施了严格的检验和认证程序，确保船舶所使用的处理设备符合环保要求，避免对航运业和生态环境造成不利影响^[5]。

随着环保意识的不断提高，国际法规对船舶压载水处理的要求逐步升级。除了严格的水质标准，新的法规还强调处理技术的创新与可持续发展。例如，IMO要求所有新建船舶自2022年起必须安装符合最新标准的压载水处理系统，而现有船舶则要求在2024年之前完成技术改造。此外，新的国际标准也更注重技术的多样性与灵活性，允许船舶根据不同航行区域的具体环境条件选择合适的处理技术。随着国际环保法规的不断完善，船舶压载水处理不仅成为航运业的合规要求，也推动了相关技术的不断创新，促进了绿色航运的发展^[6]。各国海事机构和船东必须共同努力，确保船舶压载水处理技术的实施能够有效减少外来物种的传播，保护海洋生态环境。

四、压载水处理技术的创新与发展趋势

随着全球环保标准的日益严格，船舶压载水处理技术迎来了快速发展与创新。最初，压载水处理主要依靠传统的物理过滤和化学消毒手段，但随着技术进步，现代处理装置逐步整合了更多先进技术，提高了处理效率和环境友好性。目前，紫外线消毒、电解消毒以及生物处理技术已成为压载水处理中最常见的技术手段。紫外线技术的优势在于其能够高效杀灭水中的细菌和病毒，并且不会对环境造成二次污染。电解消毒则利用电解反应生成氧化剂，具有较低的能耗和高效的杀菌能力。而生物处理技术则通过微生物的自然降解作用，有效去除有机物和溶解物质，具有良好的环保性和可持续性^[7]。

未来，压载水处理技术的发展趋势主要体现在几个方面。首先，随着国际法规对船舶排放标准的不断提高，处理设备的性能将进一步提升，尤其是在处理效率和环保方面。新一代的压载水处理设备将实现更加精确的水质控制，能够根据水质的变化自动调节处理强度，确保每一艘船舶都能达到国际规定的环保要求。同时，处理装置的体积和重量将更加紧凑，能够适应不同船型和航行条件的需求。这一技术进步使得压载水处理系统在航运中的应用更加广泛，为船舶环保提供了更加可靠的技术保障^[8]。

智能化和自动化技术的引入是压载水处理技术的另一个重要

发展趋势。通过实时监测压载水中的水质变化,结合大数据分析和人工智能技术,船舶的压载水处理系统将能够实现智能调控。系统可以根据水中有害物质的浓度、船舶的航行环境和其他参数,自动调整处理过程的各项指标,确保处理效果的最大化。此外,随着绿色能源的崛起,未来的压载水处理装置将更注重节能减排,采用太阳能、风能等可再生能源为系统提供动力,进一步减少能源消耗,推动航运业向更加绿色、可持续发展的方向。

因此,压载水处理技术的创新与发展将朝着更高效、环保、智能化的方向前进。随着技术的不断进步和国际标准的不断严格,船舶压载水处理将为全球海洋生态保护贡献更多力量,推动全球航运业走向更加绿色和可持续的未来。

五、未来船舶压载水处理装置的挑战与前景

未来船舶压载水处理装置面临的主要挑战之一是技术的适应性和可靠性。尽管目前已有多种技术手段可用于处理压载水,但不同航行区域的水质、温度、盐度等因素差异较大,导致一些处理技术的效果在特定环境下可能不尽如人意。尤其是在低温、低盐等极端条件下,一些传统的处理技术可能无法有效发挥作用,导致处理效率降低。因此,如何开发出更为适应多变海域环境的压载水处理技术,将是未来技术发展的重要方向。此外,装置的长期运行稳定性也是一个亟待解决的问题。船舶在长时间航行中,设备的磨损和维护问题需要得到有效管理,确保处理系统在不同航程中都能稳定高效地工作^[9]。

另一个重要的挑战是合规性和标准化问题。随着国际航运环保法规的日益严格,尤其是《船舶压载水管理公约》的实施,船舶压载水处理装置必须符合越来越高的技术标准。然而,由于各

国在压载水处理领域的监管力度和具体要求有所不同,可能会出现标准不统一或实施力度不足的情况,这给全球船舶压载水处理技术的推广和应用带来了不小的挑战。因此,国际间的合作与协调,制定统一的技术标准和认证体系,将是未来解决这一问题的关键。为了符合这些日益严格的法规,船舶压载水处理装置的创新和技术迭代势在必行^[10]。

尽管面临这些挑战,船舶压载水处理装置的发展前景仍然十分广阔。随着环保意识的不断增强以及全球对生态保护的高度重视,压载水处理技术的需求将持续增长。未来,压载水处理装置不仅会在功能上更加多样化和智能化,还将朝着更加环保和节能的方向发展。先进的智能控制技术将帮助船舶压载水处理系统实现实时监控与自适应调节,进一步提升处理效率和安全性。同时,绿色能源的广泛应用,如太阳能和风能,将进一步推动船舶压载水处理装置的能源消耗降低,减少对传统能源的依赖。此外,随着技术的不断成熟和创新,船舶压载水处理设备的成本也有望逐渐降低,使得更多的船舶能够负担得起先进的处理系统,从而在全球范围内推动环保技术的普及与应用。

六、结语

船舶压载水处理装置在保护海洋生态环境和应对全球环保法规方面发挥着至关重要的作用。随着技术的不断创新,压载水处理装置逐步向高效、智能、环保的方向发展,解决了航运业中的诸多挑战。然而,面对技术适应性、合规性等问题,仍需不断完善和突破。未来,随着技术进步和国际标准的统一,船舶压载水处理系统将更广泛应用,为全球海洋生态保护和可持续航运事业做出更大贡献。

参考文献

[1] 朱勤一. 采用微机控制的船舶压载水处理装置的研究 [D]. 大连海事大学, 2005.

[2] 包国治, 孙玉科, 陈宁. 船舶压载水处理装置系统设计 [J]. 江苏船舶, 2012, 29(05): 21-25. DOI: 10.19646/j.cnki.32-1230.2012.05.008.

[3] 孟梦, 包国治, 陈宁. 船舶压载水 UV 处理装置的设计与仿真 [J]. 江苏科技大学学报 (自然科学版), 2015, 29(04): 338-344.

[4] 杨元兵. 船舶压载水处理装置实用分析 [A]. 管理科学和工业工程协会. 探索科学 2016 年 5 月学术研讨 [C]. 管理科学和工业工程协会: 管理科学和工业工程协会, 2016: 1.

[5] 李春鹏, 司忠良, 刁凤磊. 简述船舶压载水处理装置设计 [A]. 辽宁省暨大连市造船工程学会. 2016 中国大连国际海事论坛论文集 [C]. 辽宁省暨大连市造船工程学会: 中国造船工程学会, 2016: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2016.008425.

[6] 张小芳. 中国出入境船舶压载水排放量分析及其高级氧化应急处理技术研究 [D]. 大连海事大学, 2018.

[7] 李凯, 胡以怀, 方云虎, 张陈, 芮晓松, 陈彦臻. 免处理的船舶压载水系统液位自动调节装置 [J]. 造船技术, 2019(02): 62-67+72.

[8] 赵维一. 船舶压载水处理装置装船类型原理分析及 PSC 检查探讨 [J]. 中国设备工程, 2019(16): 131-133.

[9] 陈文祥, 朱发新, 滕宪斌, 丁孔星, 王召健. 一种船舶压载水处理装置设计 [J]. 广州航海学院学报, 2020, 28(04): 1-4.

[10] 滕建斌, 王智磊. 船舶压载水处理装置远程监测系统设计与开发 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(06): 96-99. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2022.0397.