

基于现场验证的电动塞拉门下导轨与旋转立柱间距优化研究

赵庆飞

云南京建轨道交通投资建设有限公司, 中国·云南 昆明 650032

摘要: 论文以昆明地铁 4 号线电客车电动塞拉门为研究对象, 针对下导轨下边缘与旋转立柱下摆臂上表面间距的技术要求进行现场验证与优化。通过对多个车门的实际测量数据进行分析, 发现原技术要求是将车门净开度开到最大时, 测量下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离为 5~6mm, 在车门开关过程中存在接磨风险。经过大量现场验证, 提出了将车门开至上导轨焊点接口处测量, 间距调整为 5~7mm 的技术要求, 并明确了相应的检查标准。研究结果表明, 优化后的技术要求能够有效避免接磨问题, 提升车门系统的可靠性和使用寿命。论文的研究成果可为轨道交通车辆车门系统的设计与维护提供参考。

关键词: 电动塞拉门; 下导轨; 旋转立柱; 间距优化; 接磨风险

Optimization Research on the Distance between the Lower Guide Rail and the Rotating Column of the Electric Sliding Door based on On-site Verification

Qingfei Zhao

Yunnan Jingjian Rail Transit Investment and Construction Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650032, China

Abstract: This paper takes the electric sliding door of Kunming Metro Line 4 electric passenger car as the research object, and conducts on-site verification and optimization of the technical requirements for the distance between the lower edge of the lower guide rail and the upper surface of the lower swing arm of the rotating column. By analyzing the actual measurement data of multiple car doors, it was found that when the original technical requirement was to open the door to its maximum net opening, the distance between the lower edge of the lower guide rail and the upper surface of the lower swing arm of the rotating column was measured to be 5-6 mm, which poses a risk of abrasion during the door opening and closing process. After extensive on-site verification, a technical requirement was proposed to measure the distance between the door opening and the welding point interface of the upper guide rail at a distance of 5-7 mm, and corresponding inspection standards were clarified. The research results indicate that the optimized technical requirements can effectively avoid wear and tear problems, improve the reliability and service life of the car door system. The research results of this article can provide reference for the design and maintenance of rail transit vehicle door systems.

Keywords: electric sliding door; lower guide rail; rotating column; spacing optimization; grinding risk

0 前言

地铁车辆具有载客量大、乘客上下车频繁等特点, 其车门数量多, 开关门动作频繁, 且与乘客直接接触, 是轨道交通车辆的重要组成部分, 其运行的稳定性和安全性直接影响到乘客的出行体验和列车的运营效率。因此, 车门系统的可靠性与运营服务质量息息相关。昆明地铁 4 号线电客车最高运营速度 100km/h 的 B1 型地铁列车, 客室车门为电动双扇塞拉门, 采用的驱动装置为直流驱动电机驱动, 齿带传动, 辊式滑车组成导向的动力装置。在车门系统中, 下导轨与旋转立柱的间距是一个关键参数, 其合理性直接决定了车门开关的顺畅性和部件的使用寿命。昆明地铁 4 号线电客车电动塞拉门的原技术要求为: 车门净开度开到最大时, 测量下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离为 5~6mm。然而,

在实际运营过程中, 发现按照此标准执行时, 车门开关过程中存在旋转立柱下摆臂与下导轨下边缘接触的风险。为此, 论文通过现场验证和数据分析, 提出了优化后的技术要求, 并对调整后的效果进行了评估。

1 客室车门的组成

驱动机构包括: 机构吊架、无刷电机总成(电机组件)、拉杆组成、锁闭转杆组成、锁闭门连杆组成、辊式滑车连接组成、光轴、上导轨组成、拖链、齿带、解锁拉杆组成、解锁旋转架组成、端子排组成、安装底板组成等, 如图 1 所示。驱动机构起到连接和承载门扇重量并带动门扇实现开关门动作的作用, 同时门扇的锁闭和紧急解锁也由驱动装置内的零部件实现。

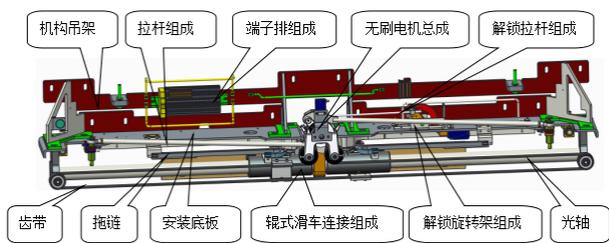


图 1 驱动机构组成

2 问题描述与研究方法

2.1 问题描述

在昆明地铁 4 号线的运营过程中，部分列车在车门开关过程中，出现了旋转立柱下摆臂与下导轨下边缘接磨的现象，根据维修手册要求车门完全打开的状态下，测量旋转立柱下摆臂与下导轨下边缘距离 $X=5\sim 6\text{mm}$ ，如图 2 所示。在确保其他尺寸及该尺寸都满足技术要求的情况下，部分车门在开关过程中会导致接磨、碰撞的情况，造成运营风险，还可能加速部件的磨损，增加维护成本。通过对多个车门的现场测量，发现原技术要求车门净开度开到最大时，测量下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离为 $5\sim 6\text{mm}$ ，在实际操作中存在一定的局限性，尤其是在车门开到最大位时，在下导轨的某个位置间距过小可能导致接磨的情况。

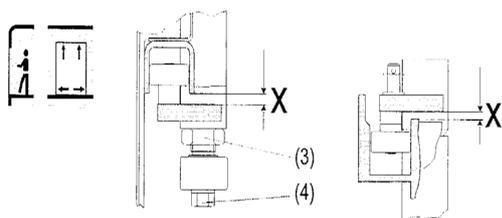


图 2 下导轨间隙

2.2 故障原因

电客车电动塞双扇拉门在每个门扇的框架侧面安装一旋转立柱。旋转立柱下端与车体通过关节轴承连接，上端与驱动装置组成连接。旋转立柱焊接上下两个转臂，转臂随机构动作以立柱为轴心做主动转动。转臂上装有导轮，上、下导向轮在门扇的上、下导轨内运动。

在驱动系统和旋转立柱之间有转臂，转臂所起的作用是：使两扇门的外摆运动同步；保障闭锁力传递给门扇，如图 3 所示。

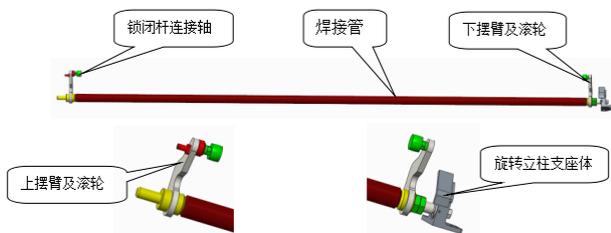


图 3 旋转立柱组成

客室推拉门的传动部分主要由两个滑车构成。每一滑车均在一根导向光轴上运行并通过一组平行转向装置与各自的门扇连接，平行转向装置使门扇向外摆动，同时这一运动又受到导向轨的控制。滑车与电机组件连接。

在门扇解锁后的开启动作中，摆动臂和导向臂均向外摆。这一外摆运动受到导向轮的控制，导向轮与摆动臂相连接，在外摆运动中导向轮的运动范围是导轨的弯曲段。

当导向轮到达导轨的直段时，外摆运动过程结束，此时门扇开始与列车外壁平行运动，两个滑车在导向光轴上作推移运动，如图 4 所示。

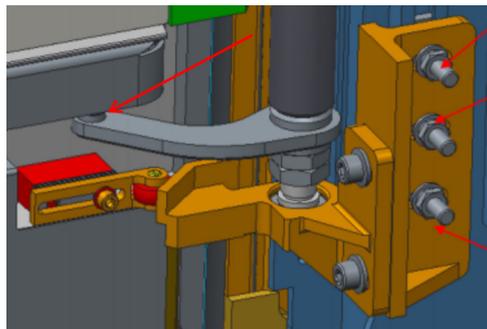


图 4 旋转立柱与下导轨

2.3 研究方法

论文采用现场测量与数据分析相结合的方法，对多个车门进行了详细测量。测量内容包括：车门净开度开到最大时，测量多个车门下导轨下边缘与旋转立柱下摆臂上表面的间距，仔细观察车门运动过程且确认车门开关过程中是否存在接磨现象；车门开至弯道进直道时，测量下导轨下边缘与旋转立柱下摆臂上表面的间距，仔细观察车门运动过程且确认车门开关过程中是否存在接磨现象；车门开至上导轨焊点接口处，测量下导轨下边缘与旋转立柱下摆臂上表面的距离，仔细观察车门运动过程且确认车门开关过程中是否存在接磨现象。

通过车门开关门的运动过程及对不同位置测量数据的分析，提出了优化后的技术要求，并对调整后的效果进行了验证。

3 现场验证与数据分析

3.1 测量数据

根据维修手册技术要求将车门净开度开到最大时测量下导轨下边缘与旋转立柱下摆臂上表面的间距，同时现场选取两个参照位置【车门净开至弯道进直道位置；车门净开至上导轨焊点接口处（白线位置）】对多个车门尺寸测量，测量数据如表 1 所示。

3.2 数据分析

通过对优化前的测量数据分析，按照维修手册要求车门净开度开到最大时，测量下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离，发现部分车辆车门开关至弯道进直道、上导

轨焊点接口处（白线位置）时，部分车辆车门的间距趋近于 1mm，极易导致车门开关过程中存在接磨风险。为此，根据车门开关过程的运动轨迹，重新选取参照位置，并提出

了将车门开至上导轨焊点接口处测量，间距调整为 5~7mm 的技术要求，并对调整后的效果进行了验证，测量数据如表 2 所示。

表 1 测量数据（优化前）

| 序号 | 车辆号 | 位置 | 弯道进直道 (最小值)/mm | 上导轨焊点接口处 (白线位置)/mm | 车门开到最大净开度 (最大值)/mm | 备注 |
|----|------|------|-------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| 1 | TC2 | B1 右 | 3.5 | 5 | 6.8 | |
| 2 | TC2 | A3 右 | 5 | 5.5 | 6.5 | |
| 3 | TC2 | A3 左 | 3 | 4 | 6.5 | |
| 4 | M1-2 | B2 左 | 5 | 5.5 | 6 | |
| 5 | M1-2 | A3 右 | 3.8 | 4.5 | 6.5 | |
| 6 | M2-2 | A2 左 | 4.5 | 5 | 6 | |
| 7 | M2-1 | B2 左 | 2 | 3 | 5.8 | |
| 8 | M1-1 | A3 右 | 3.2 | 4.1 | 5.4 | |
| 9 | TC1 | B4 左 | 1 | 1.2 | 6 | |
| 10 | TC1 | B4 右 | 5 | 5.3 | 6.1 | |

表 2 测量数据（优化后）

| 序号 | 车辆号 | 位置 | 弯道进直道 (最小值)/mm | 上导轨焊点接口处 (白线位置)/mm | 车门开到最大净开度 (最大值)/mm | 备注 |
|----|------|------|-------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| 1 | TC2 | A1 左 | 4.3 | 5 | 9 | |
| 2 | | A1 右 | 5 | 6 | 7.5 | |
| 3 | | B1 左 | 5.5 | 5.8 | 7.5 | |
| 4 | | B1 右 | 5 | 6 | 8 | |
| 5 | | A2 右 | 4 | 5.5 | 9 | |
| 6 | | A2 左 | 5 | 5.5 | 7 | |
| 7 | | B2 左 | 5.5 | 6 | 9 | |
| 8 | | B2 右 | 5.5 | 6 | 7.8 | |
| 9 | | B3 左 | 5.5 | 6 | 6.5 | |
| 10 | | B3 右 | 5 | 5.6 | 9.5 | |
| 11 | | A3 左 | 4 | 5.5 | 8.5 | |
| 12 | | A3 右 | 5 | 5.5 | 6 | |
| 13 | | A4 左 | 4.5 | 5.5 | 7 | |
| 14 | | A4 右 | 4.5 | 5.8 | 9 | |
| 15 | | B4 左 | 5.1 | 6.2 | 9 | |
| 16 | | B4 右 | 5 | 5.5 | 7.6 | |
| 17 | M1-2 | A1 左 | 4.8 | 5.5 | 8.5 | |
| 18 | | A1 右 | 5.5 | 6 | 8 | |
| 19 | | B1 左 | 5 | 6 | 7 | |
| 20 | | B1 右 | 5.4 | 5.8 | 8.5 | |
| 21 | | A2 右 | 4 | 6 | 7.5 | |
| 22 | | A2 左 | 4.5 | 5 | 8 | |
| 23 | | B2 左 | 5 | 5.5 | 8.5 | |
| 24 | | B2 右 | 5.8 | 6 | 7 | |
| 25 | | B3 左 | 5 | 5.7 | 8 | |
| 26 | | B3 右 | 5 | 5.5 | 9 | |
| 27 | | A3 左 | 5 | 6 | 9 | |
| 28 | | A3 右 | 5.5 | 6 | 7.8 | |
| 29 | | A4 左 | 4.5 | 5.5 | 8.2 | |
| 30 | | A4 右 | 5 | 6 | 9 | |

| 序号 | 车辆号 | 位置 | 弯道进直道 (最小值)/mm | 上导轨焊点接口处 (白线位置)/mm | 车门开到最大净开度 (最大值)/mm | 备注 |
|----|------|------|-------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| 31 | M1-2 | B4 左 | 5.2 | 6 | 7.8 | |
| 32 | | B4 右 | 5.5 | 6 | 6.7 | |
| 33 | M2-2 | A1 左 | 5.3 | 6 | 6.9 | |
| 34 | | A1 右 | 5 | 6.1 | 10 | |
| 35 | | B1 左 | 5 | 6 | 8 | |
| 36 | | B1 右 | 5 | 5.5 | 7.5 | |

通过对优化后的测量数据可以看出,将车门开至上导轨焊点接口处测量,间距调整为 5~7mm 的技术要求,不仅能保证车门弯道进直道下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离大于等于 4mm,同时也保证车门净开度开到最大时,下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离 6~10mm,最终保证了下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂的距离和上导轨上边缘距旋转立柱上摆臂的距离,不会存在接磨的现象。

4 技术要求优化与验证

4.1 技术要求优化

基于现场验证的结果,论文提出了以下优化后的技术要求:

①测量要求:将车门打开至上导轨焊点接口处(辊式滑车体滚轮的中心点与白线重合位置),测量下导轨下边缘距旋转立柱下摆臂上表面的距离为 5~7mm。

②检查要求:车门净开度开到最大时,下滚轮不得外漏下导轨外边缘;车门关闭锁紧时,上滚轮不得外漏上导轨外边缘;开关门过程中,旋转立柱下摆臂与下导轨外边缘不接磨;开关门过程中,旋转立柱上摆臂与上导轨外边缘和携门架上边缘均不接磨。

4.2 验证结果

通过对多辆列车的调整和验证,发现优化后的技术要求能够有效避免接磨问题,车门开关过程更加顺畅,部件的磨损也显著减少。

5 结论

论文通过对昆明地铁 4 号线电客车电动塞拉门的现场验证和数据分析,提出了将车门打开至上导轨焊点接口处(辊式滑车体滚轮的中心点与白线重合位置),测量下导轨下边缘与旋转立柱下摆臂上表面的间距调整为 5~7mm 的技术要求。优化后的技术要求能够有效避免车门开关过程中的接磨问题,提升车门系统的可靠性和使用寿命。论文的研究成果可为轨道交通车辆车门系统的设计与维护提供参考,具有较高的实际应用价值。

5.1 优化后车门开关作业的可靠性与可行性总结

通过优化后的技术要求,车门在开关门作业过程中的可靠性和可行性得到了显著提升。具体表现在以下几个

方面:

①接磨问题的有效避免:优化后的技术要求将下导轨与旋转立柱下摆臂的间距调整为 5~7mm,确保了车门在开关过程中不会出现接磨现象。通过对多辆列车的调整和验证,车门开关过程更加顺畅,接磨风险显著降低。

②开关门动作的稳定性提升:优化后的技术要求确保了车门在开关过程中的各个关键点间距合理,避免了因间距过小导致的卡滞和碰撞现象。车门开关动作更加平稳,减少了因机械故障导致的运营中断。

③维护成本的降低:通过优化技术要求,车门系统的磨损显著减少,延长了关键部件的使用寿命,降低了维护频率和成本。运营部门可以更专注于其他关键系统的维护,提高了整体运营效率。

5.2 使用寿命的详细阐述

优化后的技术要求对车门系统的使用寿命产生了积极影响,具体体现在以下几个方面:

①关键部件的磨损减少:通过调整下导轨与旋转立柱下摆臂的距离,避免了接磨现象的发生,减少了旋转立柱下摆臂和下导轨的磨损。关键部件的使用寿命得到了显著延长。

②系统整体寿命的提升:车门系统的各个部件在优化后的技术要求下协同工作更加顺畅,减少了因局部磨损导致的系统故障。整体系统的使用寿命得到了提升,减少了更换和维修的频率。

③经济效益的提升:通过延长车门系统的使用寿命,减少了更换部件的频率和维护成本,提高了运营的经济效益。优化后的技术要求不仅提升了车门系统的可靠性,还为运营部门带来了显著的经济效益。

5.3 实际应用价值

论文的研究成果不仅适用于昆明地铁 4 号线,还可为其他轨道交通车辆车门系统的设计与维护提供参考。优化后的技术要求在实际应用中表现出较高的可行性和可靠性,具有广泛的应用前景。通过推广论文的研究成果,可以进一步提升轨道交通车辆车门系统的整体性能,为乘客提供更加安全、舒适的出行体验。

参考文献:

- [1] 昆明地铁4号线电客车电动塞拉门维修手册[Z].昆明市轨道交通4号线工程项目,2019.

- [2] 李明.轨道交通车辆车门系统设计与维护[J].轨道交通装备与技术,2020.
- [3] 张伟.电动塞拉门在轨道交通中的应用研究[J].城市轨道交通研究,2019.
- [4] 王强.车门系统接磨问题的分析与解决方案[J].机械工程学报,2018.
- [5] 刘洋.轨道交通车辆车门系统的可靠性分析[J].铁道车辆,2021.
- [6] 国家轨道交通标准委员会.电动塞拉门技术规范与标准[S].2020.
- [7] 陈刚.车门系统优化设计及其在轨道交通中的应用[J].机械设计与制造,2019.
- [8] 赵磊.轨道交通车辆车门系统的故障诊断与维护[J].城市轨道交通研究,2020.
- [9] 孙鹏.电动塞拉门的关键技术研究[J].轨道交通装备与技术,2021.
- [10] 李强.车门系统接磨问题的现场验证与优化[J].铁道车辆,2022.
- [11] 孙法维.东莞地铁2号线列车车门自动防夹故障分析及改进[J].机车电传动,2019.
- [12] 张卓豪.马来西亚动车组电动塞拉门故障分析及检修规程改进[J].技术研发,2015.

作者简介: 赵庆飞(1987-),男,中国云南昆明人,本科,工程师,从事轨道交通车辆架修技术管理研究。

船舶节能减排技术及其应用研究

黄家顺

中国船级社实业有限公司宁波分公司, 中国·浙江 宁波 315000

摘要: 论文综述了船舶节能减排技术的重要性、发展现状及应用成果。随着全球能源危机和环境污染问题的加剧, 船舶节能减排已成为航运业发展的关键。论文从动力系统优化、推进系统节能、辅助设备改进、智能化技术应用、能源管理策略及排放控制技术等方面, 详细阐述了船舶节能减排技术的具体应用及成效。通过案例分析, 展示了新技术在节能减排方面的显著效果。研究表明, 船舶节能减排技术不仅能降低运营成本, 提高经济效益, 还能显著减少温室气体排放, 对环境保护具有重要意义。

关键词: 船舶节能减排; 动力系统优化; 推进系统节能; 智能化技术; 排放控制

Research on Energy Saving and Emission Reduction Technologies for Ships and Their Applications

Jiashun Huang

China Classification Society Industrial Corp. Ningbo Branch, Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: This paper summarizes the importance, development status, and application achievements of energy-saving and emission reduction technologies for ships. With the intensification of the global energy crisis and environmental pollution problems, energy conservation and emission reduction of ships have become the key to the development of the shipping industry. The paper elaborates on the specific application and effectiveness of ship energy-saving and emission reduction technologies from the aspects of power system optimization, promoting system energy conservation, improving auxiliary equipment, applying intelligent technologies, energy management strategies, and emission control technologies. Through case analysis, the significant effects of new technologies in energy conservation and emission reduction have been demonstrated. Research has shown that energy-saving and emission reduction technologies for ships can not only reduce operating costs and improve economic benefits, but also significantly reduce greenhouse gas emissions, which is of great significance for environmental protection.

Keywords: ship energy conservation and emission reduction; optimization of power system; promote energy conservation in the system; intelligent technology; emission control

0 前言

船舶运输作为全球贸易的重要组成部分, 承担着大量的货物运输任务。然而, 随着全球能源危机和环境污染问题的日益严重, 船舶的能耗和排放问题也受到了广泛关注。船舶节能减排不仅关系到环境保护, 还直接影响到航运成本和企业的可持续发展。因此, 研究船舶节能减排技术及其应用具有重要的现实意义。

1 船舶节能减排技术概述

1.1 节能减排技术的重要性

在全球经济一体化的大背景下, 船舶运输作为国际贸易的主要载体, 承担着超过 90% 的货物运输量, 其重要性不言而喻。然而, 随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提升, 船舶运输所带来的能耗与排放问题日益凸显, 成为制约航运业可持续发展的关键因素。船舶节能减排不仅关乎航运企业的经济效益, 更是响应全球节能减排号召、履行环境保护责任的重要举措。

从经济层面看, 船舶能耗占运营成本的很大比例, 通过节能减排技术降低能耗, 可以直接减少运营成本, 提高航运企业的竞争力。同时, 随着国际油价波动加剧, 节能减排技术对于稳定运营成本、抵御市场风险具有重要意义。从环境层面看, 船舶排放的二氧化碳、硫氧化物、氮氧化物等污染物对大气环境造成严重影响, 是导致全球气候变化和空气污染的重要因素。因此, 推广船舶节能减排技术, 减少污染物排放, 对于保护生态环境、实现可持续发展目标具有不可替代的作用。

1.2 节能减排技术的发展现状

近年来, 随着科技的不断进步和环保法规的日益严格, 船舶节能减排技术取得了显著进展。在动力系统方面, 高效发动机、废气涡轮增压、电子控制燃油喷射等技术的应用, 有效提高了发动机的热效率, 降低了燃油消耗。同时, 液化天然气(LNG)、甲醇等清洁能源在船舶上的应用逐渐增多, 为减少碳排放提供了新的途径^[1]。

在推进系统方面, 优化螺旋桨设计、采用节能型推进器、应用电力推进系统等措施, 显著提高了船舶的推进效率, 降

低了能耗。此外,船舶能效设计指数(EEDI)的引入,促使船舶在设计阶段就充分考虑能效因素,推动了船舶能效水平的提升。

在辅助设备方面,智能控制系统、高效照明设备、节能型空调等技术的应用,有效减少了船舶辅助系统的能耗。同时,船舶能效管理系统的开发与应用,实现了对船舶能耗的实时监测与优化控制,进一步提高了能源利用效率^[2]。

1.3 节能减排技术的应用成果

在中国,船舶节能减排技术也取得了重要进展。例如,超大型油轮安装的仿生螺旋桨,通过模仿海豚皮的特性,有效降低了螺旋桨与水之间的剪切力,提高了推进效率,实现了能耗的降低。此外,我国还在积极推动 LNG 动力船舶的研发与应用,为减少船舶碳排放提供了新的解决方案。

同时,随着智能化与信息化技术的不断发展,船舶节能减排技术正逐步实现智能化管理。通过集成先进的传感器、通信技术和数据分析技术,船舶能效管理系统能够实时监测船舶能耗情况,为船员提供合理的航行策略和建议,进一步降低能耗。例如,一些先进的船舶能效管理系统已经能够实现对船舶动力系统的远程监控与管理,提高了船舶运营的安全性和效率^[3]。

2 船舶节能减排技术的具体应用

2.1 动力系统优化

主机作为船舶动力系统的核心,其性能直接决定燃油消耗与排放水平。当前主机优化技术主要聚焦于燃烧效率提升与热管理改进。例如,采用高压共轨燃油喷射系统可精确控制喷油量与时机,使燃油雾化更均匀,燃烧更充分。MAN Energy Solutions 推出的双燃料发动机,通过切换燃油与天然气模式,在降低硫氧化物排放的同时减少 15%~25% 的二氧化碳排放。此外,智能控制系统可实时监测主机工况,自动调整喷油参数与气门正时,确保发动机始终运行在最佳效率区间。韩国现代重工开发的智能主机管理系统,通过大数据分析预测主机故障,提前进行维护,避免非计划停机导致的能耗增加。

主机废气携带大量热能,传统船舶通常直接排放至大气。废热回收技术通过安装涡轮增压器与废气锅炉,将废气热能转化为电能或蒸汽。瓦锡兰公司的废热回收系统可将主机废气温度从 400℃ 降至 150℃,产生蒸汽驱动涡轮发电机,额外提供船舶总功率的 5%~10%。挪威某油轮安装该系统后,年燃油消耗降低 8%,二氧化碳排放减少 6000 吨。此外,热电联产技术可将废热同时用于发电与供暖,进一步提升能源利用率。

混合动力技术通过结合内燃机与电力推进系统,实现能源灵活调配。例如,电池-柴油混合动力船舶在低速航行时使用电池动力,高速航行时切换至柴油发动机,减少低速工况下的燃油消耗。芬兰某渡轮采用该技术后,港口停泊期间完全依靠电池供电,年燃油消耗降低 20%。氢燃料电池作为新兴动力源,其零排放特性备受关注。日本邮船开发的

氢燃料电池货轮,通过燃料电池与锂电池组合供电,续航里程达 1000 海里,碳排放较传统船舶降低 90%。

2.2 推进系统节能

螺旋桨性能直接影响船舶推进效率。现代螺旋桨设计采用计算流体力学(CFD)模拟技术,优化桨叶形状与扭曲角度,减少水流阻力。例如,Kappel 螺旋桨通过增加桨叶数量与特殊曲面设计,在相同功率下提升 5% 推进效率。仿生学技术为螺旋桨设计提供新思路,德国某研究机构模仿座头鲸鳍状肢的凸起结构,开发出仿生螺旋桨,其表面结节可引导水流形成涡流,降低桨叶表面压力差,实验室测试显示推进效率提升 8%。

船舶航行时船底与海水摩擦阻力占总阻力的 50% 以上。空气润滑系统通过向船底喷射压缩空气,形成气泡层减少水与船体的直接接触。三菱重工开发的空气润滑系统,在 30 万吨级油轮上应用后,日均燃油消耗降低 13%。银翼公司推出的微气泡润滑技术,通过特殊喷嘴产生直径小于 1 毫米的微气泡,附着在船底形成持久润滑层,实测显示阻力降低 15%~20%。

预旋定子安装在螺旋桨前方,通过引导水流预旋改善进流条件。挪威某散货船安装预旋定子后,螺旋桨推力提升 6%,燃油消耗降低 9%。节能导管通过包裹螺旋桨桨毂,减少桨毂涡流损失。瓦锡兰公司的 OptiDesign 导管采用非对称截面设计,在实船测试中使推进效率提升 4%~7%^[4]。

2.3 辅助设备改进

LED 照明技术已全面替代传统卤素灯,其能耗仅为后者的 20%,寿命延长 5~10 倍。智能照明系统通过人体感应与光照度自动调节,进一步降低能耗。例如,船舶走廊采用微波感应 LED 灯,无人时自动调暗至 10% 亮度,有人进入时恢复至 80% 亮度。某集装箱船改造智能照明后,年用电量减少 3.2 万千瓦时。

变频空调根据舱室负荷自动调节压缩机转速,避免频繁启停造成的能耗损失。某邮轮采用变频空调系统后,空调能耗降低 25%。通风系统优化包括采用高效风机、优化风道设计等措施。某油轮将传统轴流风机更换为翼型风机,风量提升 15% 的同时噪声降低 8 分贝,年耗电量减少 12 万千瓦时。

EMS 通过实时监测船舶各系统能耗,实现能源动态分配。例如,当发电机负载低于 70% 时,系统自动启动电池充电;当主机余热充足时,优先使用废气锅炉供汽。某散货船安装 EMS 后,通过优化能源调度,年燃油消耗降低 7.5%。预测性维护功能可提前发现设备性能衰退,避免突发故障导致的能耗激增。

上述技术的综合应用已形成显著减排效应。以某 20 万吨级散货船为例,通过主机优化、废热回收、高效螺旋桨、智能照明及 EMS 改造,年燃油消耗从 1.2 万吨降至 9800 吨,二氧化碳排放减少 1.8 万吨,运营成本降低 18%。未来随着人工智能与物联网技术的深度融合,船舶节能减排技术将向自适应优化、远程运维等方向演进,为全球航运业绿色转型提供更强大动力。

3 船舶节能减排技术的未来发展趋势

随着全球对环境保护和可持续发展的日益重视,船舶节能减排技术正面临着前所未有的发展机遇和挑战。在未来的发展中,船舶节能减排技术将呈现出以下几个显著趋势。

3.1 智能化与自动化技术的深度融合

智能化与自动化技术是船舶节能减排技术发展的重要方向。未来,船舶将更加注重智能化系统的集成与应用,通过先进的传感器、大数据、人工智能等技术手段,实现对船舶能耗、排放以及航行状态的实时监测与优化控制。

未来的船舶能效管理系统将更加智能化,能够自动分析船舶航行数据,预测能耗趋势,并提供优化建议。例如,系统可以根据天气、海况、货物负载等因素,自动调整航行速度、航线以及主机功率,以达到最佳的能效状态。随着自主航行技术的不断发展,未来船舶有望实现完全自主航行。这将大大减少人为操作带来的能耗浪费,提高航行效率。同时,自主航行技术还能通过优化航线、避免恶劣海况等方式,进一步降低能耗和排放。

通过物联网技术,船舶的能效管理系统可以与岸基中心实现远程连接,实现船舶能耗、排放以及设备状态的远程监控与诊断。这将有助于及时发现并解决问题,提高船舶的运营效率和安全性。

3.2 清洁能源与替代燃料的广泛应用

清洁能源与替代燃料的应用是船舶节能减排技术的另一重要方向。随着全球对化石燃料依赖的减少,未来船舶将更加注重清洁能源和替代燃料的使用。

氢能作为一种清洁、高效的能源,具有零排放、可再生等优点。氨燃料是一种零碳排放的替代燃料,具有来源广泛、易于储存和运输等优点。未来,随着氨燃料技术的不断进步和成本的降低,氨燃料有望在船舶上得到广泛应用。例如,一些大型航运公司已经开始了氨燃料船舶的研发和试航工作。

生物质燃料是一种可再生的清洁能源,具有来源广泛、环保等优点。未来,随着生物质燃料技术的不断进步和成本的降低,生物质燃料有望在船舶上得到更广泛的应用。例如,一些航运公司已经开始了生物质燃料船舶的研发和试航工作。

3.3 绿色设计与建造技术的创新

绿色设计与建造技术是船舶节能减排技术的基础。未来,船舶将更加注重绿色设计与建造技术的应用,通过优化船体结构、采用轻量化材料、提高船舶能效等方式,降低能耗和排放。

通过优化船体线型、减少船体阻力等方式,提高船舶的航行效率。例如,采用流线型船体设计、安装减阻装置等,可以显著降低船舶的能耗和排放。轻量化材料具有密度小、强度高等优点,可以降低船舶的自重,提高船舶的能效。例如,采用碳纤维复合材料、高强度钢等材料,可以显著降低船舶的能耗和排放。通过采用高效主机、优化推进系统、安装节能设备等方式,提高船舶的能效。例如,采用高效螺旋桨、安装空气润滑系统等,可以显著降低船舶的能耗和排放。

3.4 国际合作与标准统一

船舶节能减排技术的发展需要国际社会的共同努力和合作。未来,各国将更加注重国际合作与标准统一,共同推动船舶节能减排技术的发展和應用。

各国将加强在船舶节能减排技术领域的合作与交流,共同研发新技术、新产品,推动船舶节能减排技术的不断进步和应用。例如,通过国际海事组织(IMO)等平台,各国可以共同制定船舶节能减排的国际标准和规范。为了促进船舶节能减排技术的国际流通和应用,各国将努力统一船舶节能减排的标准和规范。例如,制定统一的船舶能效设计指数(EEDI)、碳排放强度指数(CII)等标准,以便各国在船舶节能减排方面进行比较和评估。

3.5 政策引导与市场机制

政策引导与市场机制是推动船舶节能减排技术发展的重要力量。未来,各国政府将更加注重政策引导和市场机制的建设,为船舶节能减排技术的发展和應用提供有力支持。

各国政府将出台一系列政策措施,鼓励和支持船舶节能减排技术的发展和應用。例如,提供财政补贴、税收优惠等激励措施,鼓励航运企业采用清洁能源和替代燃料;制定严格的环保法规和标准,限制高能耗、高排放船舶的运营等。通过市场机制的作用,推动船舶节能减排技术的发展和應用。例如,建立碳排放交易市场,通过碳排放权的买卖和交易,促使航运企业降低碳排放;推广绿色信贷等金融产品,为船舶节能减排项目提供资金支持等^[5]。

4 结语

船舶节能减排技术对于推动航运业的可持续发展具有重要意义。通过动力系统优化、推进系统节能、辅助设备改进以及智能化技术的应用,船舶节能减排技术已经取得了显著的成果。未来,随着技术的不断进步和创新,船舶节能减排技术将向智能化、信息化、高效与低排放以及绿色与可持续发展方向发展。这将有助于降低船舶的运营成本、提高经济效益,并显著减少温室气体排放,为环境保护做出重要贡献。

参考文献:

- [1] 孙鹏赞.船舶柴油机节能减排技术及其應用探讨[J].环球市场,2018(35):385.
- [2] 庄国生,任多.船舶柴油机节能减排技术及其應用探讨[J].内燃机与配件,2018(18):36-37.
- [3] 马林英.岸电设施领域节能减排技术运用研究[J].电力设备管理,2024(24):252-254.
- [4] 骆怀宏.20500DWT散货船节能技术应用研究[D].福建:集美大学,2021.
- [5] 白益飞.伴有新能源特性的船舶电力系统稳定性与节能减排研究[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2016.

作者简介:黄家顺(1990-),男,中国浙江衢州人,本科,工程师,从事船舶工程研究。