

# 甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用

庞 傲

上海中远海运重工有限公司 上海 200120

**摘要：**本文深入探讨了甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用。首先概述了甲醇燃料的特性及双燃料动力系统的基本原理，分析当前超大型集装箱船动力系统的现状与挑战，文章重点阐述了甲醇双燃料动力系统的技术方案与实施细节，包括甲醇储存与供应、发动机改造、系统集成与调试等方面。通过对该系统性能评估和经济效益的分析，本文证明了甲醇双燃料动力系统在降低排放、提高能效和节约燃料成本方面的显著优势。

**关键词：**甲醇双燃料动力系统；超大型集装箱船；应用

**引言：**随着全球环保意识的提升和国际海事组织排放法规的日益严格，超大型集装箱船动力系统的革新已成为航运业关注的焦点。甲醇作为一种清洁、可再生的能源，其双燃料动力系统在船舶上的应用展现出巨大的潜力和优势。本文旨在全面探讨甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用，分析其技术特点、实施细节以及经济与环境效益，为航运业的可持续发展提供理论支撑和实践指导。

## 1 甲醇燃料及双燃料动力系统概述

### 1.1 甲醇燃料特性

甲醇（Methanol），化学式为CH<sub>3</sub>OH，结构简式是CH<sub>3</sub>OH，它是一种无色透明的液体，是一种有机化合物，分子量为32，沸点为64.7°C，低闪点、易挥发具有独特的燃料特性。首先，甲醇是一种清洁能源，其燃烧产生的二氧化碳排放量相较于传统燃油有所减少，有助于缓解全球气候变暖问题。其次，甲醇的含氧量高，有助于提高燃烧效率，减少不完全燃烧产生的有害排放物，如颗粒物、氮氧化物和硫氧化物等。此外，甲醇的燃烧性能稳定，易于储存和运输，安全性相对较好。最后，甲醇的来源广泛，可以通过天然气、煤炭、生物质等多种原料合成，具有较高的可持续性。因此，甲醇作为一种替代燃料，在船舶动力领域具有广阔的应用前景。

### 1.2 双燃料动力系统原理

双燃料动力系统是一种能够在两种或多种燃料之间灵活切换的动力装置，其中甲醇双燃料动力系统是指能够在甲醇和另一种燃料（如柴油或重油）之间切换的系统。该系统通常由发动机、燃料供应系统、控制系统和排放处理系统组成。在甲醇双燃料动力系统中，甲醇作为主要燃料，通过专门的供应系统被送入发动机进行燃烧。同时，为了保持系统的灵活性和可靠性，系统还保留了传统燃料的供应通道，以便在甲醇供应不足或发动

机需要更高功率输出时切换至传统燃料。控制系统负责监测燃料供应状态、发动机运行参数以及排放水平，并根据预设策略调整燃料切换时机和发动机运行状态，以确保系统的高效、稳定和环保运行。排放处理系统则用于进一步减少发动机排放的有害物质，以满足日益严格的环保法规要求<sup>[1]</sup>。

## 2 超大型集装箱船动力系统现状分析

### 2.1 传统燃料动力系统

超大型集装箱船作为全球贸易的重要载体，其动力系统的选择与优化直接关系到航运效率、运营成本以及环境影响。传统上，这些巨轮主要依赖重油或柴油作为动力来源。重油因其高热值、低成本而在远洋航行中广受欢迎，但与此同时，它也带来了显著的环境问题。重油燃烧产生大量硫氧化物、氮氧化物和颗粒物，这些污染物不仅加剧了大气污染，还对海洋生态系统构成了严重威胁。随着全球环保意识的提升和国际海事组织（IMO）排放法规的日益严格，传统燃料动力系统的弊端愈发凸显。

为了应对环保挑战，一些超大型集装箱船开始采用柴油作为燃料，尽管其燃烧产生的污染物相对较少，但柴油的高成本限制了其广泛应用，柴油供应的稳定性也是船东们需要考虑的重要因素。在燃油价格波动频繁的市场环境下，依赖单一燃料的动力系统可能面临成本控制的挑战。因此，如何在保证动力性能的同时，降低排放并控制燃料成本，成为超大型集装箱船动力系统升级的关键问题。

### 2.2 混合动力系统探索

鉴于传统燃料动力系统的局限性，混合动力系统在超大型集装箱船上的应用探索日益受到关注。混合动力系统结合了多种能源形式，如柴油、液化天然气（LNG）、电池储能以及潜在的未来能源（如氢能），

旨在通过优化能源配置，提高能效并减少排放。LNG作为一种相对清洁的化石燃料，已成为许多超大型集装箱船动力系统升级的首选方案。LNG燃烧产生的硫氧化物几乎为零，氮氧化物排放量也远低于重油，同时二氧化碳排放量也有所减少。然而，LNG动力系统的初期投资成本较高，且需要建立完善的LNG供应和加注网络，这些因素限制了其广泛应用；电池储能系统，特别是锂离子电池，在混合动力系统中扮演着越来越重要的角色。它们可以为船舶在港口或低负载航行期间提供电力，减少对传统燃料的依赖，当前电池技术的能量密度和充电效率仍是制约其在超大型集装箱船上广泛应用的关键因素，电池的成本、循环寿命以及安全性也是需要重点关注的问题<sup>[2]</sup>。

### 3 甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用

#### 3.1 应用背景与目的

在21世纪的全球航运业中，超大型集装箱船作为国际贸易的主力军，其动力系统的革新不仅是提升运输效率的关键，更是实现环境可持续发展的必要条件。国际海事组织（IMO）和欧盟的法规对船舶排放标准日益严格：MEPC 80确定《2023 IMO温室气体减排策略》关于实现净零排放的2个关键节点：截至2030年，航运温室气体减排较2008年标准至少20%，争取实现30%；截至2040年，航运温室气体减排较2008年标准至少70%，争取实现80%。2023年5月16日，欧盟将航运业纳入EU ETS的改革立法在欧盟官网正式公布，这意味着持续近2年的立法过程最终落幕，法案于20天后（6月5日）正式生效。2024年1月1日，欧盟碳排放权交易体系（EUETS）即将对国际航运业全面生效。航运业纳入EU ETS过渡期为2024-2026年，2024年和2025年分别只需缴纳总量40%和70%，直到2026年才需缴纳100%排放量的配额。因此传统依赖重油或柴油的动力系统已难以满足当前的环保要求。在此背景下，甲醇双燃料动力系统的引入成为了超大型集装箱船动力升级的重要选择。甲醇作为一种清洁、可再生的能源，其燃烧产生的温室气体排放量相较于传统燃油显著降低，同时硫氧化物和氮氧化物等有害排放物的生成也大幅减少。因此，甲醇双燃料动力系统的应用不仅能够积极响应IMO的减排目标，减少船舶对环境的影响，还能帮助航运企业顺应国家对于绿色、低碳发展的政策导向，提升企业形象和市场竞争力。甲醇双燃料动力系统的另一个重要目的是提高能源利用效率，在全球能源供应日益紧张的背景下，通过优化动力系统，实现甲醇与传统燃料的灵活切换，可以确保船舶在不同工况下都能保持最佳的经济性和环保性能。特别是在长距

离远洋航行中，甲醇作为主燃料，可以显著降低燃料成本，提升运营效益。而在港口附近或短距离航行时，切换至传统燃料以应对甲醇供应限制或发动机功率需求的变化，则进一步增强了系统的灵活性和可靠性。

#### 3.2 技术方案与实施

甲醇双燃料动力系统的实施是一个复杂而精细的过程，涉及甲醇储存与供应系统、发动机改造与优化以及系统集成与调试等多个关键环节。首先，甲醇储存与供应系统的设计至关重要。由于甲醇具有易燃易爆的特性，其储存和运输必须严格遵守安全规范。因此，需要设计专门的甲醇储罐，采用惰性气体保护、温度监控和压力释放装置等措施，确保甲醇在储存过程中的安全。同时，甲醇供应系统需实现与现有燃油系统的无缝对接，确保在切换燃料时能够迅速、平稳地完成过渡，避免对发动机造成损害。

发动机改造与优化是甲醇双燃料动力系统实施的核心环节，传统柴油发动机需要经过一系列改造，以适应甲醇燃料的燃烧特性。这包括调整喷油系统、点火系统以及进气系统等关键部件，以确保甲醇能够充分燃烧，同时减少有害排放物的生成。另外，发动机控制系统也需要进行升级，以实现甲醇与柴油的灵活切换和精准调控，确保船舶在不同工况下都能保持最佳的动力性能和燃油经济性；系统集成与调试是确保甲醇双燃料动力系统稳定运行的关键步骤，在系统集成阶段，需要将甲醇储存与供应系统、发动机改造部分以及现有燃油系统等进行全面整合，形成一个协调、高效的动力系统<sup>[3]</sup>。调试阶段则需要通过各种测试手段，验证系统的稳定性和可靠性，确保在正式投入运营前消除所有潜在的安全隐患。

#### 3.3 运营与维护

甲醇双燃料动力系统的运营与维护是确保其长期稳定运行和发挥最大效益的重要保障。在运营过程中，建立严格的甲醇供应管理体系，确保甲醇的质量、储存和运输安全。同时，定期对甲醇储存与供应系统、发动机以及控制系统等进行检查和保养，及时发现并解决问题。在维护方面，甲醇双燃料动力系统的特殊性要求维护人员具备更高的专业素养和技能水平，航运企业需要加强对维护人员的培训和教育，提高他们的甲醇燃料知识和系统操作技能。此外，还需要建立完善的应急预案和响应机制，以应对可能发生的甲醇泄漏、火灾等突发事件，确保人员和船舶的安全。为了降低运营成本，航运企业还可以探索甲醇燃料的多样化供应渠道，如与甲醇生产商建立长期合作关系、利用港口附近的甲醇加注设施等。同时优化航行路线、提高发动机效率等措施，进一步降低甲醇

消耗量，提升运营效益。通过不断优化技术方案、加强运营与维护管理，航运企业可以推动绿色、低碳的航运发展，为实现全球碳中和目标贡献力量。

#### 4 甲醇双燃料动力系统的性能评估与经济效益分析

##### 4.1 性能评估

甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用，其性能评估是全面衡量该系统效果的关键步骤。性能评估主要包括排放性能、动力性能以及可靠性三个方面。在排放性能方面，甲醇作为清洁燃料，其燃烧产生的温室气体、硫氧化物、氮氧化物以及颗粒物等排放物显著低于传统燃油。通过对甲醇双燃料动力系统与传统燃油动力系统在相同工况下的排放数据，可以直观地反映出甲醇燃料在环保方面的优势。此外，随着甲醇双燃料动力系统的不断优化，其排放性能有望进一步提升，从而更好地满足国际海事组织（IMO）等环保机构对船舶排放的严格要求；在动力性能方面，甲醇双燃料动力系统需要确保船舶在各种工况下都能保持足够的动力输出。这要求发动机在甲醇和燃油之间切换时能够迅速、平稳地调整工作状态，避免对船舶航行造成不利影响。通过对甲醇双燃料动力系统进行动力性能测试，可以评估其在不同负荷、不同航速下的动力输出能力，以及与船舶整体性能的匹配程度。测试结果表明，经过优化后的甲醇双燃料动力系统，在动力性能方面能够达到甚至超过传统燃油动力系统的水平；在可靠性方面，甲醇双燃料动力系统的稳定性、耐久性以及故障率等指标是评估其性能的重要指标。由于甲醇燃料的特殊性，系统的储存、供应以及发动机燃烧等环节都可能面临一定的挑战<sup>[4]</sup>。因此，需要对甲醇双燃料动力系统进行全面、细致的可靠性测试，以确保其在实际运营中能够保持稳定、高效的工作状态。测试结果显示，甲醇双燃料动力系统在可靠性方面表现出色，能够满足超大型集装箱船长期、连续运营的需求。

##### 4.2 经济效益分析

甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用，不仅带来了环保方面的显著效益，还在经济效益上展现出巨大潜力。第一，在燃料成本方面，甲醇作为清洁、可再生的能源，其价格通常低于传统燃油。因此，采用

甲醇双燃料动力系统可以有效降低船舶的燃料成本。特别是在当前国际油价波动频繁的市场环境下，甲醇燃料的成本稳定性更为突出，有助于航运企业降低运营成本风险。第二，在运营效率方面，甲醇双燃料动力系统通过优化发动机燃烧过程，提高了燃料的利用率和动力输出效率。这不仅可以缩短船舶的航行时间，提高运输效率，还可以减少燃料的消耗和排放，进一步降低运营成本。另外，甲醇双燃料动力系统还具备灵活的燃料切换功能，可以根据实际情况调整燃料使用策略，以适应不同工况和市场需求<sup>[5]</sup>。第三，在政策激励方面，许多国家和地区为了推动绿色、低碳的航运发展，纷纷出台了针对甲醇等清洁燃料的政策激励措施。这些措施包括税收减免、补贴奖励以及优先通行权等，为采用甲醇双燃料动力系统的航运企业提供额外的经济效益。

##### 结束语

本文通过对甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上应用的深入研究，揭示了其在降低排放、提高能效和节约燃料成本方面的显著优势。随着技术的不断进步和政策的持续推动，甲醇双燃料动力系统有望在航运业得到更广泛的应用，为实现全球碳中和目标贡献力量。未来，航运企业应继续加大研发投入，优化技术方案，加强运营与维护管理，推动航运业的绿色、低碳发展。

##### 参考文献

- [1] 张鼎,孔小兵,刘奕谦,等.超大型集装箱船绑扎桥结构轻量化设计[J].船海工程,2020(5):41-44.
- [2] 马征,赵月林,王金昕.超大型集装箱船风中操纵性研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2020(5):897-902
- [3] 姚安仁,贾宝富,马宝东,等.甲醇燃料在船舶内燃机动力中的应用[J].柴油机,2022,44(3).DOI:10.12374/j.issn.1001-4357.2022.03.001.
- [4] 马浩然,刘军恒,嵇乾,等.甲醇/柴油双燃料发动机超低排放集成控制试验研究[J].西华大学学报(自然科学版),2022,41(5).DOI:10.12198/j.issn.1673-159X.4585.
- [5] 于瑶,周清华,黄智焱,等.甲醇双燃料动力系统在超大型集装箱船上的应用[J].船舶与海洋工程,2024,40(5):47-52,75.DOI:10.14056/j.cnki.naoe.2024.05.009.