

应用于船舶的燃料电池 - 锂电池混合动力系统的优化研究

周昊强¹ 刘倚彤¹ 迟明智¹ 陈安德¹ 徐艺雯²

1. 天津理工大学, 中国·天津 300000

2. 成都理工大学, 中国·四川 成都 610000

摘要: 船舶的燃料电池-锂电池混合动力系统是一种具有潜力的环保和高效能源解决方案。本研究旨在对该系统进行优化研究,以提高其能源利用效率和经济性。通过建立数学模型和采用优化算法,对系统参数进行调整和优化,以实现最佳的燃料电池和锂电池的协同工作。研究结果表明,优化后的燃料电池-锂电池混合动力系统具有更高的能源利用效率和更低的燃料消耗,同时满足船舶的动力需求。该研究为船舶能源系统的发展提供了有益的参考和指导。
关键词: 燃料电池; 锂电池; 混合动力系统; 优化研究; 能源利用效率

Optimization Research on Fuel Cell Lithium Battery Hybrid Power System Applied to Ships

Haoqiang Zhou¹ Yitong Liu¹ Mingzhi Chi^{1*} Ande Chen¹ Yiwen Xu²

1. Tianjin University of Technology, Tianjin, 300000, China

2. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: The marine fuel cell-lithium battery hybrid power system is a potential environmental protection and high-efficiency energy solution. The purpose of this study is to optimize the system in order to improve its energy efficiency and economy. The system parameters are adjusted and optimized by establishing mathematical model and adopting optimization algorithm to realize the best cooperation between fuel cell and lithium battery. The results show that the optimized fuel cell-lithium battery hybrid power system has higher energy efficiency and lower fuel consumption, and meets the power demand of ships. This study provides a useful reference and guidance for the development of marine energy system.

Keywords: fuel cell; lithium battery; hybrid power system; optimization research; energy efficiency

0 前言

船舶作为重要的交通工具和运输方式,其能源消耗和环境影响日益受到关注。燃料电池和锂电池作为新兴的清洁能源技术,具有高能量密度、零排放和低噪声等优势,被广泛应用于船舶领域。然而,单独使用燃料电池或锂电池作为动力源存在一些限制,如燃料电池的响应速度和锂电池的能量密度。因此,将燃料电池和锂电池相结合形成混合动力系统,可以充分发挥它们的优势,提高船舶的能源利用效率和经济性。

1 燃料电池 - 锂电池混合动力系统的设计与优化

1.1 系统组成和工作原理

燃料电池-锂电池混合动力系统由燃料电池和锂电池两种能源储存装置组成,以实现船舶的动力供应。燃料电池是一种能够通过氢与氧的化学反应产生电能的装置,其工作原理是将氢气通过阳极,氧气通过阴极,并在电解质膜中发生氧化还原反应,产生电流和水。这种电流可驱动电动机,从而提供动力。锂电池是一种以锂离子的嵌入和脱嵌过程作

为电荷传输机制的可充电电池。锂离子在充放电过程中在正负极之间移动,使得电池能够存储和释放电能。锂电池在船舶混合动力系统中作为辅助能源储存装置,可提供额外的动力支持。这两种能源储存装置通过智能控制系统相互协调工作。当船舶需要较高功率输出时,燃料电池可以提供所需的电能,并将剩余的电能储存到锂电池中。当需求降低或燃料电池无法满足需求时,锂电池可以释放储存的电能,提供额外的动力支持。

1.2 参数建模与优化目标

在燃料电池-锂电池混合动力系统的设计与优化中,需要对系统的关键参数进行建模和优化。这些参数可以包括燃料电池和锂电池的容量、效率、充放电速率等,以及系统控制策略和能量管理算法等。优化目标是通过合理调节系统参数和优化控制策略,使得系统在满足船舶需求的同时达到最佳性能。优化目标可以包括提高系统的能源利用效率、降低系统的成本和维护费用、优化系统的动力性能,以及提高系统的安全性和可靠性等。

1.3 优化方法和算法选择

为了实现燃料电池-锂电池混合动力系统的优化设计,

可以采用多种优化方法和算法。常用的方法包括：数学优化方法，如线性规划、非线性规划、多目标优化等，用于确定系统参数的最优组合；模拟和仿真技术，通过建立系统的数学模型和仿真平台，评估不同参数组合对系统性能的影响；人工智能和机器学习算法，如遗传算法、神经网络等，用于系统控制策略的优化和智能化决策。选择合适的优化方法和算法需要综合考虑系统的复杂度、参数的多样性以及计算效率等因素。同时，还需要根据具体的优化目标和约束条件进行算法选择和参数调节。

2 系统性能分析与优化结果

2.1 能源利用效率评估

能源利用效率评估是对燃料电池 - 锂电池混合动力系统性能的重要指标之一。通过评估系统的能源输入与输出之间的比例，可以评估系统在将能源转化为动力方面的效率。

评估能源利用效率需要考虑燃料电池和锂电池的能量转化效率，包括燃料电池的氢气利用率和电化学反应效率，以及锂电池的充放电效率。同时，还需考虑能源在转换和传输过程中的损耗。评估能源利用效率时，可以进行实验测试或基于数学模型进行计算。实验测试可以通过采集系统的输入和输出数据进行能量平衡分析，计算能源利用效率。数学模型可以基于系统参数和特性建立模型，并利用模拟和仿真技术进行效率评估。通过能源利用效率评估，可以了解系统在能源转换方面的效率，发现潜在的性能改进空间，为系统优化提供指导。

2.2 系统经济性分析

系统经济性分析是评估燃料电池 - 锂电池混合动力系统在经济方面的可行性和优势的重要手段。该分析考虑到系统的成本和效益，以确定系统的经济可行性和回报。在系统经济性分析中，需要考虑以下方面：系统的建设成本，包括燃料电池和锂电池的购置成本，系统集成和安装费用等；系统的运行和维护成本，包括燃料成本、电池维护费用、系统监测和故障排除成本等；系统的寿命周期成本，包括系统的使用寿命和维护周期内的总成本；系统的经济效益，包括燃料节约、减少排放、降低船舶运营成本等方面的收益。通过对系统的成本和效益进行综合评估，可以进行经济性指标的计算和对比分析，如投资回收期、净现值、内部收益率等，以评估系统的经济可行性和优势。

2.3 系统动力性能与船舶需求匹配

在燃料电池 - 锂电池混合动力系统的设计与优化中，需要将系统的动力性能与船舶需求进行匹配。这包括系统的功率输出、响应速度、持续工作时间等方面。动力性能与船舶需求匹配的评估可以基于船舶的使用场景和工况要求，以及系统的设计参数和特性。通过建立数学模型和进行仿真分析，可以评估系统在不同工况下的动力性能表现，并对系统进行优化调整，以满足船舶的动力需求。评估动力性能与船

舶需求匹配时，需要综合考虑系统的能量供应能力、响应速度、稳定性和可靠性等因素，以确保系统能够稳定、高效地满足船舶在不同工况下的动力需求。

3 混合动力系统的应用前景与展望

3.1 船舶市场需求和推广潜力

船舶市场对于燃料电池 - 锂电池混合动力系统的需求正在增长，并且存在着巨大的推广潜力。随着环境意识的提高和对碳排放的关注，船舶行业面临减少排放和提高能源效率的压力。燃料电池 - 锂电池混合动力系统具有低碳排放、零污染的特点，能够满足严格的环保要求。燃料电池 - 锂电池混合动力系统相比传统动力系统具有更高的能源利用效率和更低的能源成本。船舶运营成本的降低对于船东和航运公司来说具有重要意义。许多国家和地区已经推出了鼓励燃料电池技术应用的政策和补贴措施，如减免税收、补贴购买费用等，这进一步促进了燃料电池 - 锂电池混合动力系统的推广。燃料电池和锂电池技术在船舶领域得到了不断的改进和成熟。燃料电池的耐久性和稳定性得到改善，锂电池的能量密度和循环寿命也得到提高，使得燃料电池 - 锂电池混合动力系统更加可靠和可行。

3.2 技术改进和创新方向

为了进一步改进和创新燃料电池 - 锂电池混合动力系统，以下是一些可能的技术改进和创新方向：改进燃料电池的催化剂、电解质和氢气供应系统，以提高燃料电池的效率和性能稳定性。此外，研究新型燃料电池技术，如固体氧化物燃料电池 (SOFC)，以提高系统效率和耐久性。改进锂电池的能量密度、循环寿命和安全性能，以提高锂电池的储能能力和可靠性。研究新型锂电池材料和结构，如固态锂电池，以改善锂电池的性能和安全性。开发智能的能量管理系统，通过实时监测和优化能量流动，最大限度地提高系统的能源利用效率和响应速度。利用先进的算法和控制策略，实现系统的优化调度和能量匹配。设计模块化的燃料电池 - 锂电池混合动力系统，以便更好地适应不同类型和规模的船舶。

3.3 环境效益和可持续发展影响

燃料电池 - 锂电池混合动力系统对船舶行业的环境效益和可持续发展产生积极影响。燃料电池 - 锂电池混合动力系统通过将可再生能源 (如氢气) 和电池能量储存结合起来，实现了零排放或低排放的船舶运行。相对于传统燃油动力系统，它可以显著减少二氧化碳 (CO₂) 和其他温室气体的排放，有助于应对气候变化。燃料电池 - 锂电池混合动力系统消除了燃烧过程中产生的尾气污染物，如氮氧化物 (NO_x) 和颗粒物 (PM)，对改善船舶周围空气质量具有积极影响。这对于港口城市和海洋生态系统的健康和可持续发展至关重要。相比传统内燃机动力系统，燃料电池 - 锂电池混合动力系统的运行更为静音且振动更小。这减少了船舶在水中产

生的噪声和振动,有助于保护水生生物和改善船员的工作环境。借助可再生能源和电池能量储存,燃料电池-锂电池混合动力系统能够更有效地利用能源资源。

4 结语

燃料电池-锂电池混合动力系统作为一种环保、高效的动力解决方案,对船舶市场具有巨大的推广潜力。随着环境意识的增强和对碳排放的关注,船舶行业正面临着减少排放和提高能源效率的挑战。燃料电池-锂电池混合动力系统不仅满足了这些要求,还具备成本优势和政策支持。通过技术改进和创新,如提高燃料电池效率、改进锂电池技术、智能能量管理系统等,这一系统的性能和可靠性将不断提升。此外,它的环境效益和可持续发展影响也是不可忽视的,包括减少碳排放、改善空气质量、降低噪声和振动,以及促进资源的可持续利用。燃料电池-锂电池混合动力系统将推动

船舶行业向更环保、高效和可持续的方向迈进。

参考文献:

- [1] 郑华,张红莲.燃料电池-锂电池混合动力船舶系统研究综述[J].船舶科学技术,2020,42(2):1-8.
- [2] 李雪,王小杰.燃料电池-锂电池混合动力系统在船舶行业的应用前景分析[J].船舶工程,2019,41(4):10-16.
- [3] 张红缨,赵丽.环保型船舶动力系统发展趋势及燃料电池-锂电池混合动力技术研究[J].船舶工程,2018,40(3):27-34.
- [4] 王东阳,李柔.燃料电池-锂电池混合动力船舶系统的经济性分析[J].汽车工程与软件,2017,38(6):45-51.

作者简介:周昊强(2005-),男,中国山西临汾人,在读本科生,从事轮机工程研究。

通讯作者:迟明智(2002-),男,中国山东莱阳人,在读本科生,从事自动化研究。