

Energy Efficiency Optimization and Reliability Evaluation of Ship Power Equipment

Yuan Wang

Hubei Ourun Ship Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

Abstract

With the intensification of global energy shortages and the continuous improvement of environmental protection standards, energy efficiency optimization and reliability assessment of ship power equipment have become core elements in promoting the transformation and development of the maritime industry towards green and low-carbon. This article deeply explores various ways to improve the energy efficiency of ship power equipment and systematically analyzes their evaluation methods. By combining modern advanced technological means, this article scientifically evaluates the reliability of ship power equipment, with the aim of providing a solid theoretical foundation and practical operational guidance for the efficient and stable operation of ship power systems. The article elaborates on the key technical measures for energy efficiency optimization, establishes a comprehensive energy efficiency evaluation index system, and constructs a reliability evaluation model.

Keywords

ship power equipment; Energy efficiency optimization; Reliability assessment; Energy saving technology; Operation and maintenance

船舶动力设备能效优化与可靠性评估

王元

湖北欧润船舶工程有限公司，中国·湖北 宜昌 443000

摘 要

随着全球范围内能源短缺问题的加剧以及环境保护标准的不断提升，船舶动力设备的能效优化与可靠性评估已经成为推动海运业向绿色低碳转型发展的核心要素。本文深入探讨了提升船舶动力设备能效的多种途径，并对其评价方法进行了系统的分析。通过结合现代先进的技术手段，本文对船舶动力设备的可靠性进行了科学的评估，目的是为了给船舶动力系统的高效和稳定运行提供坚实的理论基础和实用的操作指导。文章详细论述了能效优化的关键技术措施、建立了一套全面的能效评价指标体系，并构建了可靠性评估模型。

关键词

船舶动力设备；能效优化；可靠性评估；节能技术；运行维护

1 引言

作为船舶运行核心系统的是船舶动力设备，该性能直接影响到航运的效率以及安全性。全球海运业此刻正面临燃油消耗以及排放控制的双重压力，助力动力设备往高效节能方向转变成为发展大势。船舶航行安全以及运营成本和设备运行可靠性紧密相连，科学实施可靠性评估，对保障动力系统稳定运转意义重大。本文以船舶动力设备能效优化及可靠性评估为主题展开，全面探究其理论根基与应用举措，意在为动力系统的优化升级给予技术上的支撑。

2 船舶动力设备能效优化技术路径

2.1 动力系统设计优化

以优化发动机设计、推进装置配置及辅助系统集成成为途径，能大幅增进设备的整体运行功效。在发动机设计领域，采用先进计算流体力学（CFD）技术对进排气系统及燃烧室予以优化，使燃烧进程实现更充分均匀，降低燃料消耗及排放水平。这不仅加大了发动机的动力输出，而且延长了设备的使用年限。采用智能控制系统，做到发动机工作参数的实时变动，进一步使发动机在各工况下达到最佳性能水平。

采用高效燃烧与变缸技术，为减少能源浪费的关键途径。高效燃烧技术借助对燃料喷射与空气混合的优化，增进燃烧效率，抑制未燃烧燃料的排放水平。基于负载需求，变缸技术动态调整发动机的工作缸数目，实现节能的工作模式，防止空载或低负载情况下的能量损耗^[1]。采用废热回收系统，能把发动机排放的余热转换为可利用的能量，以驱动

【作者简介】王元（1982-），男，中国重庆人，工程师，从事船舶研究。

辅助设备,或实现燃料的预热,切实提升能源的利用效能。针对推进装置而言,采用含高效叶片的可变螺距螺旋桨设计,乃提升推进效率的关键举措,可变螺距技术使螺旋桨能根据航行的速度、负载情况调整叶片角度,维持最优推力,降低动力的流失。高效叶片设计凭借优化叶片的形状及材料达成目的,加大推进效率,保障设备在各种航速下均能维持出色的性能水平,综合采用这些技术,对设备的节能减排及性能提升起到有力支撑作用。

2.2 智能控制与运行优化

采用智能监控系统及自动调节手段,可完成动力设备实时运行参数的优化操作,增进设备运行效率及稳定性。智能监控系统依托安装多样的传感器,实时采集发动机的温度、压力、转速、燃油消耗等关键数据。这些数据借助高速传输到控制中心,系统可实时对设备状态开展监测,即时找出异常情形,减少故障出现的潜在风险。自动调节技术靠着监测到的数据支撑,自动修正设备运行的参数,如燃料喷射量、空气供给比例这类情况,让发动机始终维持在最佳的工作情形,实现能源节约与消耗降低的成效。

采用大数据分析 with 机器学习算法,系统可对海量历史运行数据开展深度挖掘,生成设备运行相关模型。基于这些已有的模型,智能系统可预估设备运行状态及潜藏的故障问题,预先实施预防性的维护行动,避开突发故障引发的停机损失后果。机器学习算法还可动态地对运行策略进行优化,按照各异的工况及环境变化,改变动力设备的既定工作模式,实现更灵动精准的控制操作。这种借助智能技术开展的动态管理,不光提高了燃油的经济水平,也高效管控了有害排放,实现了环保及经济两方面效益目标。经由持续优化设备的运行参数,动力系统综合性能实现显著增进,为节能减排、可持续发展筑牢了技术支撑根基。

2.3 节能改造与技术升级

对既有的动力设备做节能改造,为增强整体能源利用效率的关键手段。对发动机喷油系统加以改进,可极大提高燃油的喷射精度与雾化效果,让燃料实现更充分的燃烧,以此降低燃油的使用量和减少废气排出^[2]。经由采用先进的电子控制喷油系统,能精准把控喷油时机与喷油量,适配多样工况的需求,提高发动机运行的效率与响应水准。

涡轮增压技术投入应用,让发动机进气压力升高,促使空气进入燃烧室后的密度上升,促进了燃烧过程的高效性。涡轮增压不仅提高了发动机的功率输出水平,还可在排量不变的状况下达成更优的燃油经济性。凭借合理匹配增压器及发动机参数,可有效抑制能量的无谓浪费,提高动力性能与节能效率。优化润滑油管理同样是节能改造的关键环节。采用具备高性能低粘度特性的润滑油能减少发动机内部摩擦损耗,改善机械的工作效率。创建科学的润滑油更换及监测机制,维持润滑系统的优良状态,有利于实现设备寿命的延长,降低保养开销。把节能型辅助设备跟高效电力系统

结合起来,如高效发电机、节能效果显著的风扇和智能控制模块,可进一步削减整体能源消耗,实现动力设备绿色运转,让经济效益最大化。

3 船舶动力设备能效评价体系构建

3.1 能效评价指标设计

构建多维度的能效评价指标体系,是全面考量船舶动力设备运行功效的核心举措。该指标体系理当涉及燃油消耗率、排放指标、热效率、传动效率以及辅助设备能耗等多个方面,设备燃料利用的经济情况由燃油消耗率直接体现,属于评估能效的核心指标范围。排放指标反映出设备对生态环境的影响,包含氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)以及颗粒物(PM)等污染物的排放数值,热效率反映出发动机把燃料能量转化为机械能的能力,属于衡量动力系统性能的关键参数。

辅助设备能耗与传动效率同样不可掉以轻心,传动效率对动力从发动机传递到推进装置期间的能量损失做评价,直接影响船舶整体动力性能的呈现^[3]。诸如发电机、泵、风扇等辅助设备所产生的能耗,虽说规模相对微小,但这种积累对整体能耗的影响十分显著。经由把这些指标放进评价体系,可更全面、精准地反映设备在实际操作中的能效情形。指标体系设计时应把经济性和环境性能统筹兼顾,适应不同种类船舶动力设备多样要求。不同船型及用途的动力设备,运行条件和性能要求存在区别,评价体系需拥有灵活及适应的属性,保证该体系具有广泛应用价值与指导意义。采用科学系统的能效评价手段,促进船舶动力设备的改良升级,实现节能减排、经济效益的双重收益。

3.2 能效数据采集与分析方法

采取传感器网络与物联网技术,达成关键参数的即时采集,是现代动力设备开展智能管理的关键基石。采用在设备的关键部位设置多种传感器,如温度传感器、压力监测器、振动探测器等,可实时不间断地采集发动机运行状态、能耗数据及环境参数。物联网技术把这些传感器缔造成一个高度集成的网络,实现数据的高效传输及远程监督,便于管理人员随时掌控设备的运行情形,及时找出异常端倪,让设备实现安全稳定的运行。

基于已进行的数据采集,采用数据清洗和特征提取的技术,保障所采集数据的精确性与实效性。数据清洗采用去除噪声、校正缺失值等手段,增强数据品质,杜绝数据异常造成的错误判定。特征提取是从大量原始数据中挖掘出与设备性能和能效紧密相关的关键指标,裁减数据规模,让后续分析的针对性与精度增强。采用统计分析与故障诊断方法,对设备能效表现实施动态监测与趋势预测。统计分析助力发现设备运行中的规律与异常波动,评判能效的变化走向。故障诊断技术借助对传感器数据开展实时分析,迅速发出潜在故障风险预警,开展预防性的维护行动。借助这些技术的

结合,动力设备管理智能化水平得到提升,也为运行策略的优化、能耗的降低以及设备寿命的延长提供了可靠的数据支撑。

3.3 能效评价模型构建

依托多指标权重赋值与模糊综合评价方法,构建能效综合测评模式,是达成动力设备能效科学评估的关键方式^[4]。该模型借助整合多个能效相关指标,搭建一套兼具系统性与综合性的评价框架,可充分呈现动力设备的运行成效。多指标权重赋值过程把各指标在整体能效评价中的相对重要性纳入考量,保证评价结果具备合理性与代表性。模糊综合评价方法有效地处理了指标相互间的不确定性及模糊性,让评价结果的客观性与稳定性增强。

在权重确定的相关工作中,以成分分析(AHP)对各指标开展系统的分析与对比。采用构建层次结构模型的方式,把复杂的能效评价问题拆成多个层级结构,结合专家经验与实际情形,科学赋予各指标相应的权重。该方法不只是提高了权重分配的科学性,而且提高了评价环节的透明度及可操作性。以实测数据为依据对模型进行校准与验证,确保评价结果既准确又可靠。依靠对设备运行数据的实际测度,修正模型的相关参数,让模型与实际运行状况贴合度更高。此综合评价模型能完成对动力设备能效的定量测评,为设备的优化设计、运行管理以及节能改造给予科学支撑,驱动能源利用效率持续提高。

4 船舶动力设备可靠性评估方法

4.1 可靠性理论基础

动力设备的可靠性体现为设备在规定条件以及规定时间中,能平稳履行预定功能的能力。将概率统计理论与可靠性工程基本原理融合起来,一般采用可靠性指标和故障概率对设备性能进行量化,对设备的结构特征、材料属性与运行环境(像温度、湿度、振动这类)开展深入分析,可揭示影响设备可靠性的核心要素。基于这些相关要素,构建故障率模型与寿命分布模型之类的数学模型,对设备的故障表现与可靠程度进行量化刻画,为之后的维护及优化工作提供理论根基与决策支撑。

4.2 故障模式及影响分析(FMEA)

故障模式及影响分析(FMEA)作为一种系统性风险评

估方法,用以识别动力设备中可能会出现各类故障模式。经过分析各个故障的成因和其对设备整体运行的影响大小,可找出对系统安全和性能威胁最大的是哪些故障^[5]。结合设备运行及维护的实际数据,判定故障出现的概率和危害等级,为关键故障的优先应对提供依据。FMEA可助力找出潜在风险,指引开展针对性预防措施及维修策略的规划,改善设备的整体可靠及安全属性。

4.3 状态监测与寿命预测

状态监测技术借助振动分析、温度检测、润滑油成分分析等诸多手段,实时进行动力设备运行状态的监控与诊断,采集的实时数据辅以历史维护及故障记录。采用统计分析和寿命模型途径,可精准评定设备当下健康状态与剩余使用时长。依靠预测设备也许出现故障的时间点,为维修决策给予科学层面的依据,实现从传统事后维护迈向预测性维护的转变,最大程度削减突发停机的风险系数,减少维护开支,增进设备的可用程度与经济回报。

5 结语

船舶动力设备的能效优化与可靠性评估是实现绿色航运和安全运营的重要保障。通过动力系统设计优化、智能控制运行及节能技术升级,可显著提升设备能效水平。构建科学合理的能效评价体系,结合现代数据采集与分析技术,实现对动力设备能效的精准评价。同时,基于可靠性理论和故障分析方法,开展设备健康监测与寿命预测,有效提升系统运行稳定性和安全性。未来,随着智能化和信息化技术的不断发展,船舶动力设备能效与可靠性管理将更加科学高效,推动海运业可持续发展。

参考文献

- [1] 郑鹏.船舶动力系统能效提升的细节优化[J].船舶物资与市场, 2024, 32(8):89-91.
- [2] 徐家润,刘佳彬,周晓洁,等.内河混合动力船舶智能能效管理系统研制及应用[J].柴油机, 2024, 46(1):53-60.
- [3] 范爱龙,李永平,杨强,等.船舶混合动力系统能量管理预测控制方法研究[J].哈尔滨工程大学学报, 2024, 45(1):162-173.
- [4] 陈旭冉,郭燚.燃料电池-锂电池混合动力船舶的能量管理优化[J].舰船科学技术, 2023, 45(7):106-110.
- [5] 徐超,范立云,陈晨,等.船舶混合动力推进系统多目标优化研究[J].船舶工程, 2023, 45(9):79-87.