

基于大数据的船舶机电设备维修决策支持系统研究

陆雪军

上海中远海运重工有限公司 上海 202162

摘要: 在船舶运营领域, 机电设备维修决策的科学性对保障船舶安全与高效运行意义重大。本研究聚焦基于大数据的船舶机电设备维修决策支持系统, 深入剖析系统架构, 涵盖数据采集、存储、分析及决策等关键环节。详细阐述数据采集与预处理、设备状态监测与故障诊断、预测性维护与决策支持等核心技术。通过整合多源数据, 运用先进算法实现精准决策。研究旨在为船舶机电设备维修提供智能化支持, 提升维修效率、降低成本, 推动船舶行业智能化发展。

关键词: 大数据; 船舶机电设备; 维修决策; 关键技术

1 船舶机电设备特点

1.1 复杂系统结构

船舶机电设备通常由多个子系统相互协作构成, 系统结构复杂且高度集成。动力系统作为核心部分, 涵盖主机、辅机、传动装置等, 主机类型多样(如柴油机、燃气轮机、蒸汽轮机等), 不同主机又适配不同的启动、调速、冷却等辅助系统。推进系统包含螺旋桨、轴系、舵机等, 需与动力系统精准匹配, 以实现船舶的高效航行与灵活转向。电气系统则包括发电、配电、用电设备, 要保障全船电力供应的稳定与可靠, 同时满足不同设备的用电需求。还有液压系统、润滑系统、消防系统、通风系统等众多子系统, 各子系统之间相互关联、相互影响, 一个环节出现问题可能引发连锁反应, 影响整个船舶的正常运行。

1.2 恶劣运行环境

船舶机电设备长期处于恶劣的运行环境中。海洋环境湿度大, 盐雾腐蚀性强, 容易导致设备金属部件生锈、腐蚀, 电气元件绝缘性能下降, 影响设备的使用寿命和可靠性^[1]。船舶在航行过程中会遭遇各种海况, 如大风浪、颠簸、振动等, 这会对设备的安装精度、连接可靠性产生不利影响, 加剧设备的磨损和疲劳损伤。船舶运行温度范围广, 从极地航行的低温环境到热带海域的高温环境, 设备需适应较大的温度变化, 这对材料的性能、润滑效果以及电子元件的稳定性都提出了严峻挑战, 船舶在海上航行时, 难以像陆地设备那样进行及时的维护和保养, 设备故障排查和修复难度较大, 进一步增加了对设备可靠性和耐久性的要求。

2 传统船舶机电设备维修模式的问题

2.1 计划维修导致过度维护或维护不足

传统船舶机电设备维修多采用计划维修模式, 即按

照固定的时间间隔或运行里程对设备进行维护保养。这种模式存在明显弊端。一方面, 由于不同设备的工作负荷、运行工况存在差异, 按照统一标准进行维护, 可能导致部分设备在尚未出现故障或性能下降时就被提前拆解检查、更换零部件, 造成过度维护。过度维护不仅增加了维修成本, 还可能因频繁拆装引入新的故障隐患, 缩短设备使用寿命。另一方面, 对于一些实际运行状况较差、故障风险较高的设备, 按照固定计划可能无法及时察觉潜在问题, 导致维护不足, 使设备在运行过程中突发故障, 影响船舶的正常运营。

2.2 事后维修成本高、停机时间长

事后维修是在设备出现故障后才进行维修的模式。在船舶运行过程中, 一旦机电设备发生故障, 往往需要船舶停航进行维修。船舶停航意味着运输任务中断, 可能造成货物运输延误, 给货主和船东带来经济损失^[2]。而且, 在海上或偏远港口进行维修, 维修资源相对匮乏, 零部件供应不及时, 维修人员技术水平参差不齐, 这些因素都会导致维修时间延长。长时间的停机维修不仅增加了维修成本, 还影响了船舶的运营效率和经济效益。事后维修通常是针对已出现的故障进行修复, 难以对设备进行检测和预防性维护, 故障可能反复出现, 进一步增加了维修成本和停机时间。

2.3 缺乏数据驱动的决策支持工具

传统船舶机电设备维修主要依赖维修人员的经验和现场检查来做出决策。维修人员通常根据设备的运行时间、故障历史等简单信息进行判断, 缺乏对设备运行数据的深入分析和挖掘。然而船舶机电设备运行过程中会产生大量的数据, 如振动数据、温度数据、压力数据等, 这些数据蕴含着设备运行状态的重要信息。由于缺乏有效的数据驱动决策支持工具, 无法对这些数据进行

实时监测、分析和预警，难以提前发现设备的潜在故障和性能下降趋势。这使得维修决策缺乏科学依据，难以实现精准维修，导致维修效果不佳，无法有效提高设备的可靠性和可用性。

3 基于大数据的船舶机电设备维修决策支持系统架构

3.1 系统架构设计原则与目标

设计原则：船舶机电设备维修决策支持系统是船舶安全、高效运营的核心保障，其可靠性至关重要。系统应采用冗余设计、容错机制和备份恢复策略，确保在硬件故障、软件错误或网络中断等情况下，仍能保持系统的稳定运行，持续为维修决策提供数据支持。随着船舶技术的不断发展和船舶机电设备的更新换代，系统需要具备良好的可扩展性。架构设计应支持模块化开发，方便新增功能模块和接入新的数据源。系统应能够适应不同规模船舶的需求，从小型船舶到大型邮轮，都能进行有效的部署和应用。船舶机电设备数据包含大量敏感信息，如船舶运营数据、设备技术参数等，系统必须具备严格的安全防护机制。采用数据加密技术对传输和存储的数据进行加密处理，设置访问控制策略，限制不同用户对数据的访问权限，防止数据泄露和恶意攻击。船舶机电设备的运行状态变化迅速，系统需要具备实时数据处理和分析能力。通过采用高速数据采集技术和实时计算框架，确保能够及时采集、传输和处理设备数据，为维修决策提供及时的反馈，以便快速响应设备故障和异常情况。

设计目标：整合船舶机电设备的多源数据，利用大数据分析和机器学习算法，对设备运行状态进行实时监测和评估，准确预测设备故障发生的可能性和时间，为维修人员提供科学合理的维修建议，避免过度维护和事后维修。通过精准的维修决策，合理安排维修计划和资源，减少不必要的维修作业和零部件更换，降低维修成本。减少设备停机时间，提高船舶的运营效率和经济效益^[3]。实现对船舶机电设备的预防性维护，及时发现设备的潜在故障和性能下降趋势，采取有效的维护措施，延长设备的使用寿命，提高设备的可靠性和可用性，保障船舶的安全运行。建立统一的维修管理平台，实现设备数据、维修记录、维修计划等信息的集中管理和共享。利用人工智能技术实现维修决策的自动化和智能化，提高维修管理的效率和决策水平。

3.2 系统架构的组成部分及其功能

第一、数据采集层负责采集船舶机电设备的各种运行数据，包括传感器数据（如温度、压力、振动、转速等）、设备运行参数（如功率、油耗等）、维修记录、

设备技术文档等。通过有线或无线通信方式将采集到的数据传输到数据存储层。采用高精度的传感器技术，确保数据的准确性和可靠性；运用多种通信协议（如Modbus、CAN总线、以太网等），实现不同设备之间的数据通信。第二、数据存储层：对采集到的数据进行存储和管理，提供高效的数据查询和检索功能。采用分布式文件系统和关系型数据库相结合的存储方式，既能满足大数据量的存储需求，又能保证数据的结构化查询。同时对数据进行预处理和清洗，去除噪声和异常数据，为后续的数据分析提供高质量的数据基础。运用Hadoop、Spark等大数据存储和处理框架，实现数据的分布式存储和并行处理；采用数据挖掘算法对数据进行清洗和预处理，提高数据的质量。第三、数据分析层：对存储层的数据进行深入分析和挖掘，提取有价值的信息。利用机器学习算法（如决策树、神经网络、支持向量机等）建立设备故障预测模型，对设备运行状态进行评估和预测；运用统计分析方法对设备故障模式和维修历史进行分析，总结故障规律和维修经验。掌握多种机器学习算法和统计分析方法，根据不同的应用场景选择合适的算法模型；运用可视化技术将分析结果以直观的图表形式展示给用户，方便用户理解和决策。第四、决策支持层根据数据分析层的结果，为维修人员提供维修决策建议。包括维修时间、维修内容、所需零部件等信息。同时提供维修计划制定、维修任务分配等功能，实现维修管理的自动化和智能化。开发决策支持算法，综合考虑设备故障风险、维修成本、船舶运营计划等因素，生成最优的维修决策方案；运用 workflow 技术实现维修任务的自动化分配和跟踪。第五、用户界面层：为用户提供友好的操作界面，方便用户访问系统功能和查看数据信息。用户可以通过界面进行设备数据查询、维修决策查看、维修计划制定等操作。采用Web技术或移动应用开发技术，实现跨平台的用户界面；注重用户体验设计，提高界面的易用性和美观性。

3.3 数据流动与处理技术路线

通过传感器和通信接口实时采集船舶机电设备的运行数据，并将数据传输到数据采集服务器。采用可靠的网络通信技术，将采集到的数据从数据采集服务器传输到数据存储中心。可以采用有线网络（如以太网）或无线网络（如4G/5G、卫星通信）进行数据传输。将传输到数据存储中心的数据按照一定的规则进行存储和管理。根据数据的类型和特点，选择合适的存储方式和数据库管理系统。对存储的数据进行清洗、转换和集成等预处理操作，去除噪声和异常数据，将不同格式的数据转换

为统一的格式,为后续的数据分析做好准备。运用机器学习算法和统计分析方法对预处理后的数据进行分析 and 挖掘,提取有价值的信息。可以采用批量处理和实时处理相结合的方式,满足不同应用场景的需求。根据数据分析的结果,结合维修策略和规则,生成维修决策建议。决策生成过程可以采用专家系统或智能算法,提高决策的科学性和准确性。

4 基于大数据的船舶机电设备维修决策支持关键技术

4.1 数据采集与预处理技术

船舶机电设备种类繁多、运行环境复杂,要实现精准的维修决策,首先需要全面、准确地采集设备运行过程中的各类数据。数据采集技术涵盖了多种方式,一方面,通过安装在设备上的各类传感器,如温度传感器、压力传感器、振动传感器等,实时获取设备的物理参数。这些传感器能够精确感知设备的运行状态,并将模拟信号转换为数字信号进行传输。另一方面,利用船舶现有的控制系统和监测设备,如可编程逻辑控制器(PLC)、分布式控制系统(DCS)等,获取设备的运行参数和控制信息。采集到的数据往往存在噪声、缺失值和异常值等问题,因此需要进行预处理。数据清洗是预处理的重要步骤,通过去除重复数据、填补缺失值、修正异常值等操作,提高数据的质量。数据转换则将不同格式和单位的数据进行标准化处理,使其具有可比性和一致性。数据集成技术可将来自不同数据源的数据进行整合,形成一个完整的数据集,为后续的分析提供全面的数据支持。

4.2 设备状态监测与故障诊断技术

设备状态监测与故障诊断技术是船舶机电设备维修决策支持系统的核心功能之一。状态监测技术利用采集到的设备数据,建立设备的正常运行模型。通过对比实时数据与正常模型的偏差,判断设备是否处于正常运行状态。故障诊断技术则是在设备出现异常时,进一步确定故障的类型、位置和原因^[4]。常用的故障诊断方法包括基于模型的方法、基于信号处理的方法和基于人工智能的方法。基于模型的方法通过建立设备的数学模型,利用观测数据与模型预测值的差异进行故障诊断。基于信号处理的方法则对设备的振动、声音等信号进行分析,

提取故障特征。基于人工智能的方法,如神经网络、支持向量机等,能够自动学习设备的运行规律和故障模式,实现更准确的故障诊断。

4.3 预测性维护与决策支持技术

预测性维护与决策支持技术是基于大数据的船舶机电设备维修决策支持系统的最终目标。预测性维护技术利用设备的历史数据和实时数据,结合机器学习算法和统计模型,对设备的未来状态进行预测。同时考虑设备的运行环境、负载情况等因素,提高预测的准确性。决策支持技术为维修人员提供科学的决策建议。根据设备状态监测和故障诊断的结果,结合预测性维护的预测信息,综合考虑维修成本、设备可靠性、船舶运营计划等因素,生成最优的维修决策方案。决策支持系统可以采用专家系统、决策树等方法,为维修人员提供直观、易懂的决策依据。例如,在设备出现故障预警时,决策支持系统可以根据故障的严重程度和维修资源的情况,建议采取立即维修、计划维修或监测运行等不同的决策方案。

结束语

本研究围绕基于大数据的船舶机电设备维修决策支持系统展开,在系统架构设计与关键技术研究方面取得了一定成果。然而船舶机电设备维修决策涉及诸多复杂因素,本研究仍存在一些不足。未来,可进一步优化系统性能,提高数据处理的实时性和准确性;加强与其他船舶系统的集成,实现更全面的信息共享。随着人工智能、物联网等技术的不断发展,探索新技术在船舶机电设备维修决策中的应用,为船舶行业的智能化发展提供更强大的技术支持。

参考文献

- [1] 陈立,熊元元.基于大数据的船舶机电设备维修决策支持系统研究[J].广东造船,2024,43(6):101-103. DOI:10.3969/j.issn.2095-6622.2024.06.025.
- [2] 孟哲.论船舶电气设备的安全用电与管理维护[J].内燃机与配件,2021,(18):168-169.
- [3] 吴刚.船舶电气设备的管理和维修保养[J].船舶物资与市场,2020,(11):45-46.
- [4] 汤敏,曾力,李飒,万松,李长松.船海工程机电设备智能化新模式[J].船舶工程,2021,41(S1):128-133.