

船舶等级维修管理系统的设计与开发

魏明焱, 宋庭新

(湖北工业大学机械工程学院, 湖北 武汉 430068)

✉961660920@qq.com; stx@hbut.edu.cn



摘要: 船舶在营运过程中会发生不同程度的磨损、腐蚀和损坏, 需要根据损伤程度确定维修级别和保养方式。基于该问题, 本文设计开发了一套船舶等级维修管理系统, 可根据船舶设备的技术状态数据, 使用FMEA(失效模式与影响分析)分析和阈值分析法对船舶的维修等级与最佳维修时机进行分析计算, 生成维修需求报告。测试表明, 该系统可快速确定船舶维修等级、维修时间和维修范围, 对节约修船成本、缩短维修周期具有重要作用。

关键词: 等级维修; 失效模式与效果分析; 船舶; 信息系统

中图分类号: TP311.5 **文献标识码:** A

Design and Development of Ship Maintenance Management System

WEI Minghan, SONG Tingxin

(School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

✉961660920@qq.com; stx@hbut.edu.cn

Abstract: Ships will experience various degrees of wear, corrosion and damage during operation, and the damage degree determines repair level and maintenance strategy. In view of these problems, this paper proposes a set of ship maintenance level management system. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) analysis and threshold analysis methods are used in the system to analyze and decide ship maintenance level and best maintenance timing based on technical status of ship equipment. Then, a maintenance demand report is generated. Tests show that the proposed system can quickly determine ship's repair level, repair time, and repair scope, which helps to reduce both ship repair costs and repair cycle.

Keywords: grade maintenance; failure mode and effect analysis; ship; information system

1 引言(Introduction)

船舶在运营过程中, 为了节约维修成本和减少磨损、腐蚀等, 通常根据损伤程度确定维修等级, 按等级进行船舶的维修保养, 船舶维修等级一般分为小修、中修和坞修^[1]。小修是指对船体进行检查, 对局部腐蚀严重的外板、甲板及上层建筑进行修补; 中修是对船体进行全面的检修, 修换已损坏或不符合标准的部件; 坞修需要使用船坞, 对影响船体大深度航行安全的船体、管路系统和各种装置进行检修, 消除故障隐患。船舶的维修周期和费用会随着维修级别的增高而变大。因此, 确定船舶的维修等级、维修范围和最佳维修时间, 就成为船舶维修保养的一个重要问题。为保证船舶航行安全, 控制维修成本, 提高船舶运营效率, 需要评估船舶的

修理等级、可靠性和经济性^[2]。

目前, 基于船舶技术状态数据分析维修等级的方法主要有决策树、层次分析法、灰色关联分析等^[3]。但是船舶维修等级的判断不仅仅要考虑技术状态和经济效益, 还要考虑船坞周期和维修窗口时间等因素。在实际决策中发现采用上述三种方法均产生一定程度的偏差, 影响维修效率。针对上述背景, 本文设计开发了一套船舶等级维修需求生成管理系统。该系统采用FMEA分析法和阈值分析法, 分别从定性和定量的角度去分析船舶技术状态数据和故障现象, 确定每个故障设备的维修等级, 然后采用规则推理评估算法计算各个设备的最佳维修时间, 进而确定整艘船舶的维修等级、维修时间和维修范围, 为船舶的维修管理的管理人员提供了强有力的

支持,更加精准地提高了船舶的维修效益。

2 框架介绍(Framework introduction)

系统采用B/S模式,使用了SpringBoot框架。SpringBoot框架可以简化应用程序配置,同时SpringMVC提供模型-视图-控制器框架,将业务处理从界面交互中独立出来,封装到模型和控制器中,使前后端之间互相解耦合分离,可以独立扩展。Mybatis作为持久层数据访问框架,由于其支持自定义SQL语句、存储过程以及高级映射,所以在使用时,只需使用简单的XML注解和配置,就可将数据表映射到Java接口和实体类,简化了应用程序的开发^[4]。系统总体架构如图1所示。

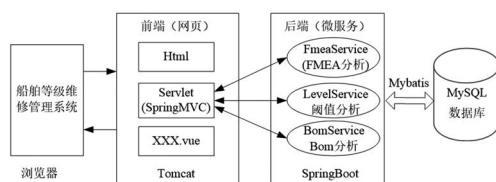


图1 系统架构图

Fig.1 System structure

3 系统设计方案(System design)

3.1 系统总体设计

根据船舶等级维修的业务需求,本系统设计了船舶管理、维修BOM管理、技术状态数据管理、维修等级分析、维修需求生成和系统管理六个功能模块。每个模块之间既相互独立又相互联系,通过任务驱动机制建立各个模块之间的连接,不同职能的用户根据分配的权限执行工作任务。整个系统采用MVC设计模式,实现视图层和业务层的分离,最大限度的减少客户端、服务器和数据库之间的耦合性,有利于系统的升级与维护^[5]。系统功能结构如图2所示。

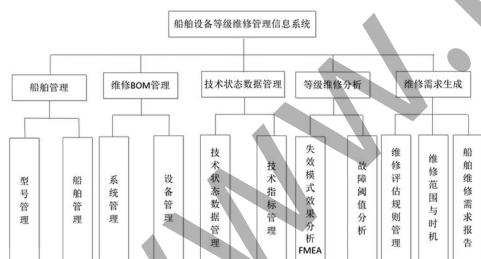


图2 系统功能结构

Fig.2 System function structure

3.2 系统主要功能模块介绍

船舶等级维修管理系统的主要业务包括船舶技术状态数据管理、等级维修分析、维修需求生成、维修BOM管理和船舶管理等任务。具体如下:

(1)技术状态数据管理。主要包括设备的技术状态数据和健康指标。技术状态数据主要指各种检测数据、故障现象和故障信息等,由维修人员和设备管理人员录入。健康指标指设备的技术状态参数范围,不同的阈值对应不同的健康状态,也对应不同的维修等级,由设备厂家在出厂时设定或者通过实验确定。

(2)维修等级分析。采用定性分析和定量分析相结合的方式来确定船舶的维修等级。失效模式和效果分析(FMEA)

是一种定性分析方法,主要用于分析一些现象级的故障描述信息,这类故障描述信息一般由现场检修人员通过观察和测量获得,包括设备的故障现象、失效模式、工作状态和维修过程,具有一定的经验性和主观性^[6]。FMEA通常用于对各种故障风险进行分析和评价,以便根据现有的故障现象评估设备的健康状态和风险等级。FMEA主要包括几个步骤:(1)确定分析的设备对象。(2)获取设备的技术状态信息,如船舶的检修记录、故障现象等。(3)组建一个有权威性和代表性的专家团队,根据设备的技术状态和故障现象进行风险评估,并从风险严重程度(Severity, S)、检测度(Likelihood of Detection, D)和风险发生频率(Frequency of Occurrence, O)三个方面进行评估。(4)计算风险系数(Risk Priority Number, RPN)。风险系数由严重度S、检测度D和发生率O三项分值相乘($RPN=S \cdot D \cdot O$)得到。在FMEA分析中,最主要的就是计算失效模式的风险系数RPN。风险系数RPN的优先排序用以明确失效模式的优先顺序。在计算风险系数RPN前,风险的发生率O、检测度D及严重度S需分别根据评价准则赋值。阈值分析是一种定量分析方法,主要用于分析检测数据。若船舶设备的技术状态信息中包含有明确的测量数据,则可以采用阈值分析方法。阈值分析法需要根据设备的技术测量数据和健康指标阈值来确定设备的健康状态和维修级别。阈值分析的前提是需要有实测数据和健康指标,经过两者对比来确定设备的健康状态。

(3)维修需求生成。该业务包含维修评估规则管理、维修范围与时机确定、船舶维修需求报告生成。在维修评估规则管理中,会根据每个设备的维修等级、维修周期和使用寿命,采用规则推理的方式来确定修理时间。修理时间分三种情况:①有明确的修理时间和维修周期。这类设备主要包括船体结构和动力系统,如发动机等,间隔一段时间就需要维修。②有一些设备是没有明确的维修时间的,但是会有使用寿命要求^[6]。如船舶动力系统、控制系统和船体腐蚀问题,甚至在修理期间还会发生腐蚀,如船体结构、管路等。③在维修范围与时机模块,会根据FMEA分析和阈值分析的结果确定各个设备的维修等级与维修时机。然后采用IF-THEN-ELSE规则,对整艘船的维修级别、时间和范围进行逻辑推理,最后生成船舶维修需求报告。

(4)维修BOM管理。维修BOM不同于产品BOM,是基于船舶维修需求确定的船舶核心部件,具有一定的维修周期和使用寿命,易遭受破坏或损伤。不同的船型维修BOM不同,需在船舶管理中作为基础数据录入系统数据库。

3.3 数据库设计

本系统涉及的数据主要包括船舶的技术状态数据、健康指标数据、FMEA数据、评估规则、维修BOM、维修清单及船舶基础信息等。其中,技术状态数据是动态导入的,其他数据如船舶基础信息、维修BOM、设备健康指标等需要作为初始数据事先录入。系统会根据所录入的基本信息,通过FMEA计算和阈值分析,按照评估规则自动计算船舶设备的维修等级与维修时间,最后生成维修需求报告。各模块之间的数据流向和相互关系如图3所示。

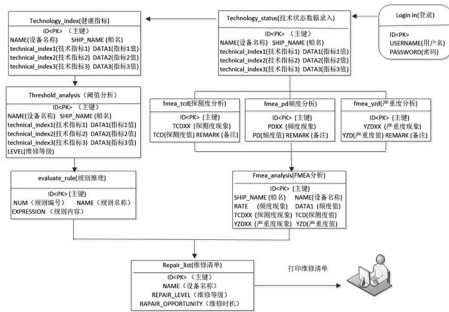


图3 数据流图

Fig.3 Data flow diagram

4 系统业务流程(System business process)

系统的主要流程如下:

- (1)收集并录入船舶设备的技术状态数据和过往的故障维修信息。
 - (2)分析影响船舶等级修理的因素(包括风险严重度、检测度、发生率等),制订风险评价准则和健康指标阈值。
 - (3)根据船舶装备技术状态数据,分别采用FMEA分析法和阈值法确定每个设备的维修等级。
 - (4)根据每个设备的维修等级、维修周期和使用寿命,采用规则推理方法确定其修理时间。
 - (5)根据每个设备的维修等级和修理时间,确定整个船舶的修理等级、修理范围和修理时机。
 - (6)生成船舶等级维修需求报告。
- 具体流程如图4所示。



图4 业务流程图

Fig.4 Business flowchart

5 系统开发(System development)

如图5所示,系统界面设计遵循简约风格,主体色彩简约大方,突出功能性与实用性^[7]。主页面为系统首页,由五个基本模块组成。最上方显示的是主操作标题栏,右上方为个人信息,左边为导航栏,右边为内容展示区,在左侧一级导航栏下设置了对应分类的二级导航栏,方便用户快速查找操作页面。



图5 系统主界面

Fig.5 System main interface

为了验证该系统是否有效,本文进行了测试。首先录入某型船舶的基础信息,包括船名、型号、维修BOM,然后从BOM中选取船体结构、船体防污涂层和减速齿轮箱三个部件为例,录入或导入该设备的技术状态数据,同时录入该设备的健康指标和评估规则。在进行维修等级分析时,优先考虑阈值分析法,即根据技术状态数据和健康指标,判断设备的维修等级。若技术状态数据缺失,仅有故障现象描述,则采用FMEA分析法。在进行FMEA分析之前,首先设置了风险等级的评价规则,然后计算风险值RPN,最后根据RPN数值的所示范围确定设备的维修等级。若阈值分析的结论和FMEA分析的结论不一致,以阈值分析的结论为准。这是因为定性分析的精度要高于定量分析。经过测试,该系统在评估规则的逻辑推理下,最终生成了整艘船舶的维修需求报告清单,包括维修的等级和最佳的维修时间等,达到了预期的效果。

6 结论(Conclusion)

本文在船舶等级修理需求的基础上,运用失效模式与效果分析、阈值分析等理论方法,实现了船舶的维修等级判断和维修需求决策。结合船舶维修特点,提出了一种新的等级维修管理流程,以此为基础,开发了船舶等级维修需求生成系统。该系统基于船舶技术状态数据,通过分析、评估和决策,实现了维修范围、维修时间和维修等级的计算。相比于传统的决策树、层次分析法和灰色关联法,分析速度快,结果更加准确和高效。同时,本系统采用自定义的逻辑推理规则,快速确定船舶设备及整艘船舶的最佳维修时间和维修等级,节省了大量不合理的维修成本,显著地提高了船舶运营效益。

参考文献(References)

- [1] 洪波.基于B/S模式的船舶维修保养管理信息系统的研究[D].大连:大连海事大学,2014.
- [2] 刘冬,严卫祥.船舶管理信息系统智能化发展探究[J].舰船科学技术,2020,42(11):176-179.
- [3] 史大.船舶维修策略研究及系统开发[D].武汉:武汉理工大学,2014.
- [4] 刘昊,李氏.基于SSM框架的客户管理系统设计与实现[J].软件导刊,2017,16(7):87-89.
- [5] 王丹,孙晓宇,杨路斌,等.基于SpringBoot的软件统计分析系统设计与实现[J].软件工程,2019,22(3):40-42.
- [6] 孙山林.基于FMEA的TPM设备故障改善在A公司的应用研究[D].天津:天津大学,2018.
- [7] Alain Bensoussan, Vijay Mookerjee, Wei T. Yue. Managing Information System Security Under Continuous and Abrupt Deterioration[J]. Production and Operations Management, 2020,29(8):190-197.

作者简介:

魏明焱(1993—),男,硕士生.研究领域:制造业信息化技术。
宋庭新(1972—),男,博士,教授.研究领域:智能制造信息化与工业工程。