

船舶维修保养管理研究现状与动态

桑惠云, 谢新连*, 张 薇

(大连海事大学 综合运输研究所, 辽宁 大连 116026)

摘要:从维修保养体制、数学方法及模型、决策支持系统开发等方面分析船舶维修保养管理方法的研究现状. 分析结果表明:船舶维修保养管理方法的研究尚有较大的发展空间;新优化模型、算法的研究与应用和维修保养决策支持系统的开发与应用仍是今后研究的重点和方向,船舶海上维修的研究也应被提上日程.

关键词:船舶;维修保养;管理方法

中图分类号:U672

文献标志码:A

Research on status and trends of ship repair & maintenance

SANG Hui-yun, XIE Xin-lian*, ZHANG Wei

(Integrated Transport Institute, Dalian
Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: The status of ship maintenance and repair management was analyzed from aspects of maintenance system, mathematical methods and models, and development of decision support system, etc. Result shows that there has a larger development space in ship maintenance management method research, and the research of new optimization model and algorithm and their applications, the development and application of maintenance decision support system are still the focuses and directions in the future research. Marine repair at sea should also be on the agenda.

Key words: ship; repair & maintenance; management methods

0 引言

船舶维修最初没有受到应有的重视,直到二战之后,才备受关注^[1]. 时至今日,与交通运输领

域的其他方面相比,船舶维修保养管理的组织规划仍然稍显逊色. 国内外关于船舶维修保养管理的深入研究并不多,管理模式相对落后,这必然影响航运企业资源的充分利用,制约其经济发展. 本文通过对这一领域近年来发表的相关文献的总结,分析国内外船舶维修保养管理方法的研究现状,提出该领域今后的研究重点与方向.

1 维修保养体系

维修保养单独成为一门学科独立研究,始于1954年的美国. 我国从20世纪70年代初开始介入这门学科,且普及发展很快. 船舶维修作为这一学科的一个分支,也越来越受到关注. 但船舶维修一直没有受到相应的重视,原因是在很长的一段时间内,船舶经营人并没有意识到通过合理的规划可以减少不必要的支出,延长船体、机件的使用寿命,减少维修项目,节约修理时间和费用.

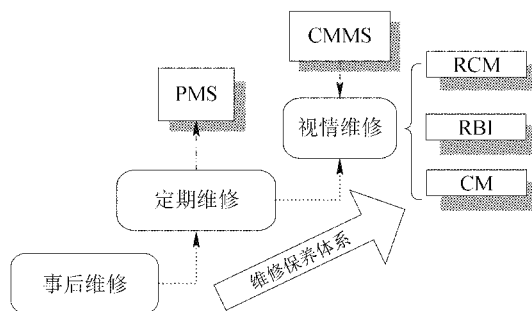


图1 船舶维修保养体系发展动态

Fig. 1 The trend of maintenance practices

事后维修是早期比较流行的一种维修方式,如图1所示^[1]. 事后维修是指设备发生故障或者

收稿日期:2014-04-08; 修回日期:2014-08-06.

基金项目:教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20102125110002).

作者简介:桑惠云(1986-),女,博士生,E-mail:hysang@139.com;谢新连*(1956-),男,教授,博士,博士生导师,E-mail:xxlian77@yahoo.com.

性能下降至合格水平以下时采取的非计划性维修或对事先无法预计的突发故障采取的维修方式。事后维修一般包括以下几个步骤:首先,鉴别、分析已存在的故障;其次,分析故障原因;最后,实施事后维修方案。事后维修是一种被动的维修方式,往往因事先不知道故障何时发生,缺乏修理前的准备而使得修理停歇时间较长。在船舶维修管理中,事后维修方式主要应用于备件暂时供应不足情况下的设备维修、闲置船舶的维修,以及对船舶航行安全和营运影响不大、不十分重要的设备及其系统的维修^[2]。

定期维修,也称为计划预防维修,目的是实现防患于未然,减少故障和事故,减少停机损失,提高生产效益,是较为注重维修经济性的维修方式。传统上认为,船舶设备及其系统的可靠性随使用时间的增加而降低,当设备运转时间达到一定程度时,故障率会迅速增加,故基于该特点,分析、确定设备及其系统、部件、零件的安全使用寿命,并按规定的寿命进行设备的全部或部分修理^[2]。1993 年 IMO 颁布的国际安全管理规则 (ISM) 的第 10 章中详细规定了船舶维修时船公司需履行的程序及义务责任,以确保船公司遵照国际标准实施船舶维修作业^[3]。随着航运公司保养体系的日趋完善,国际船级社协会 IACS 在 1989 年提出了 PMS 检验模式,中国船级社在 1996 年版《钢质海船入籍和建造规范》中引入了 PMS 要求。PMS 是指船公司根据船检机构的要求,制定出适合于船舶设备及其系统的、具有周期性的详细检查、保养、维修计划及其文件体系、操作程序。船舶营运过程中,公司相关管理部门和船员都严格、有效地按计划体系执行,使船舶机械始终保持良好的技术状态,并准确记录维修保养情况以备后期查阅^[3]。定期维修的优点是节约检验时间和费用,降低故障率,增加船舶设备的维修间隔时间,从而减少船舶维修时间和维修费用^[4]。定期维修适用于故障率与运转时间有明显、稳定的关系,特别是已经掌握了其磨损规律的设备及其系统。而在实务中,船舶设备系统的保养、检修也采用类似于定期维修的管理模式。文献[5]基于系统部件可靠性研究了定期维修在复杂系统中设备维修(包括润滑、清洁、检查和校对等)与更换中的应用。

视情维修是指以状态监测和预测技术为基础的一种维修方式,是维修方式发展的一种高级形式^[6-7],根据对系统运行状态的监测数据及预测

结果来确定最佳修理时间,即在故障发生之前维修、更换具有潜在故障的部件,从而降低设备发生故障的风险,减少停工时间。同时,视情维修注重优化维修间隔,最大限度延迟备件更换周期,减少备件的消耗,从而大幅度减少购买和贮存费用。这种维修方式针对性、有效性强,但因在监测上投入较大,故多用于技术状态、参数易于检查、测量的设备系统及故障率高、停机损失大、易磨损和易腐蚀且对船舶的安全运营活动有重要影响的设备维修。如图 1 所示,视情维修分为三类,分别为 RCM (以可靠性为中心的修理)、RBI (风险检验) 和 CM (状态监测),且采用视情维修时一般由计算机维修管理系统 (CMMS) 辅助进行。

RCM 起源于美国军事部门,美国航空运输协会将其应用于波音 747 系列飞机的修理中,取得了很好的应用效果。Mokashi 等^[8]通过对比飞机与船舶的维修工作,介绍了 RCM 在船舶保养与维修中的应用,以燃油净化系统为例进行案例分析并证明其提出方法的通用性及应用 RCM 后对船员工作的影响。Robert 等^[9]分析了美国船级社 (ABS) 提出的“RCM 为基础的检验指南”的技术背景,将风险分析技术和 RCM 应用于优化维修任务从而达到船舶可靠性最优,通过案例分析验证了 RCM 在船舶设备维修保养中的实际应用以及为延长维修保养周期而提出的要求。

英国卫生和安全执行局首次提出了 RBI 并将其应用于海岸精炼厂、化学品处理设施的综合管理 (HSE 2004) 和压力系统及其设备的检测 (HSE 2001) 中。文献[10]在研究油气行业设备维修基础上提出风险分析维修系统,利用模糊逻辑方法计算岸上设施维修作业的风险水平。Hamada 等^[11]以船舶建造计算机管理系统为基础,根据已知船体数据资料将 RBI 应用于船体结构监测,预知故障发生的概率。Turan 等^[12]以化学品船舶体维修分析为例,研究风险监测技术对生命周期费用的影响。文献[13]应用 RBI 分析了船舶状态评估的相关问题,特别是船体结构的碰撞管理。文献[14]为船舶及海上作业设施的所有的可修部件和非可修部件的可靠性评价提供了很好的参考。

British Standards 定义 CM 为 (BS1993): 对表征设备状态的数据进行持续性或周期性的管理、统计、分析和说明,以决定该设备是否需要维修。BSI/ISO^[15]概述了状态监测步骤和设备审查的过程,为实施状态监测提供了基本指导,此外,BSI/

ISO18436 标准对实施状态监测人员的素质和技术水平提出了要求。Wang 等^[16]将状态监测技术应用于海军舰艇的船壳结构监测中,将光纤传感器嵌入一艘快速巡逻舰的船壳中,对得到的船壳状态数据进行分析,为船舶设计提供了较好的依据。Chandroth^[17]、Yamamoto 等^[18]分别将 CM 应用于柴油机设备的状态监测和 LNG 船体结构的疲劳度监测中。

为提高船舶维修保养的计划性、科学性,规范持续地监控船舶技术状态,我国国家技术监督局发布并于 1997 年 6 月实施了《船舶维修保养体系》国家标准,GB/T 16558.1-16558.7 共 7 个独立部分。《船舶维修保养体系》(简称 CWBT)是将传统的船舶设备管理和国际上插卡式船舶设备管理相结合,形成集计划、管理、指导于一体的一种新颖、科学、实用的船舶设备管理模式,其基本设计思想是根据船舶设备及其系统的功能和特点不同,将其分为安全设备、船级设备、重要设备和非重要设备,不同类别的设备采用不同的维修方式。一般来讲,涉及船级检验的设备和长期运转的设备采用定期维修方式;主要动力设备采用定期维修方式,有条件时逐步向视情维修方式转变;耐用设备、低值设备、非生产性设备和维修费用高但不危及航行安全的设备采用事后维修方式^[2]。

2 数学方法及模型

2.1 事后维修

设备出现故障后选择维修方案时,一般要综合考虑维修时间、费用及可靠性等因素的影响。维修级别分析(LORA)是确定事后维修方案的有效方法,是装备保障性分析的重要组成部分,是指装备的各个产品因故障或者损伤需要修理时,确定其维修级别(在哪里修理)的过程,并通过综合权衡与维修保障相关的经济性指标和非经济性指标,为装备确定可行的、费效比最佳的修理级别或者做出报废决策,同时确定相应的修理资源、备件、人力等相关的决策信息^[19-20]。

文献[21]建立了基于集对分析的船舶维修级别分析决策模型,对船舶维修备选方案中各指标和理想方案中各相应指标进行分析,以同一度为标准对各方案进行排序,进而选出最优方案。文献[22]建立了船舶维修级别经济性分析决策树模型。该模型借鉴装备维修级别分析方法,引入概率理论,以维修费用期望值最小为目标函数,设计了

不同级别的维修费用与维修成功率之间的关系图,直观表达出最佳维修级别。但当前研究多是对某一系统中单层设备的维修级别分析工作,相对容易;而多系统多设备及同一系统中不同层次设备的维修级别分析工作相对复杂。鉴于此,多层设备系统的维修级别分析问题仍是今后的研究任务。

2.2 定期维修

定期维修着重于检修、保养,以船舶设备实际运行状态为依据制定维修计划,以实现防患于未然、减少故障率和事故率。通常来讲,船舶维修主要分为两个层次:一是不影响船舶正常运行的小修作业;二是需要船舶停航甚至进坞的大修工作。Deris 等^[23]以后者为基础为马来西亚皇家海军舰队的舰船制定维修规划。文中将舰船维修规划问题描述为一个调度问题,以定期维修体系理论为指导,建立约束满足问题数学模型(Constraint Satisfaction Problem,简称 CSP),并设计适合模型求解的遗传算法与约束推理算法的混合求解算法。在保证舰船适航性的前提下,决策出每个维修期需要停航维修的舰船数量及各艘舰船的维修安排(包括维修初始时间及间隔时间),使得同时处于维修状态的舰船数量最小,从而最大化适航舰船的数量。这种混合算法在求解模型时大量的时间用于搜索非可行解,这在一定程度上限制了该模型及算法的效率。此外,在研究船队维修规划问题时,舰船的应急故障维修或船坞资源受约束时的维修规划也应作为研究的重点。Turan 等^[24]同样针对第二种维修工作,利用寿命周期模型研究了以船舶维修为导向的船体优化问题。以某一液体化学品船为例,以周期大修费用、燃油费用、营运收入和拆船费用为基础建立了以优化船舶维修为导向的生命周期费用模型(GLCMC),该模型不仅考虑了与船舶维修保养相关的问题,同时考虑了营运过程中可能发生的其他费用,但是该模型并没有考虑船舶初期建造时的成本。Rigo 则在考虑了初期建造成本的情况下将模型应用于 370 000 吨级的浮式储油和卸载装置^[25]及 LNG 船的维修工作中^[26],这对于后续研究有一定的借鉴意义。

Pillay 等利用 Delay-time^[12,27]原理以拖网渔船为研究对象,以定期维修体系理论为指导优化船舶设备的保养检修周期。文献[28]构造了一个渔船检查保养的案例,以船舶潜在故障的出现服从正态分布为例建立了 Delay-time 船舶检修周

期优化模型,旨在通过合理安排船舶检修周期,及早发现潜在故障并施以适当维修,降低故障出现的概率,从而减少船舶的停工时间.文献[29]研究了船舶故障风险评估及船舶设备的维护保养问题.文中构造了两个模型:首先,通过建立 FTA 模型评估渔船设备的故障概率及其对船舶营运安全的影响;其次,分别以停工时间和维修费用为优化目标,以船舶潜在故障的出现服从正态分布为例建立了以停工时间最小和以维修费用最低为目标的 Delay-time 模型.上述模型建立时,均是以完备性检测为前提.鉴于船舶维修保养工作及船舶多系统复杂设备的实际,完全实施完备性检测是不可能的,因此有必要对本方法应用于船舶维修时的非完备性检测问题进行继续研究.

Go^[30]等以定期维修体系为指导针对按固定班期表营运的班轮船舶建立混合整数规划模型,基于班轮运输特点,分别对船舶设备系统的运行和维修时间进行规划,以确定各个系统的计划维修时间和实际维修时间并设计了适合文中模型的启发式优化算法,以最小化计划维修时间与实际维修时间之间的时间差为目标,对模型进行规划求解,以求得各个系统的运行时间和维修时间.

2.3 其他方法

Aksu 等^[31]以视情维修体系理论为指导,将失效模式和效果分析(FMEA)、故障树分析(FTA)、马尔科夫分析等方法应用于滚装船的推进系统的风险评估分析中.Iraklis 等^[1]在 Aksu 等研究的基础上综合应用故障模式影响及致命度分析(FMECA)、动态故障树分析(DFTA)等改进方法,根据某一客船 5 年内的故障数据对该船各设备系统的可靠性进行了评价,指明了系统中的关键部件和整个系统及其分系统的可靠性,这为维修任务先后顺序的确定提供了依据.Guo^[32]等利用 BP 神经网络建立军用舰船的维修费用预测模型,研究了影响船舶维修成本的影响因素及其对维修成本的影响程度,该模型求解后得到的是局部最优解,且收敛速度低,这不仅影响了计算效果同时降低了模型的求解速度.在船舶作业、营运过程中,船舶的维修任务受到船舶状态、日常维护保养水平、船舶营运作业环境及船舶技术状况的影响,因此在分析船舶维修保养时,船舶设备的故障风险分析也应受到足够重视.

3 其他研究

3.1 决策支持系统开发

船舶维修保养管理决策支持系统是借助计算机技术,实现船舶维修管理决策的自动化.文献[33]介绍了一个新开发的船舶设备维修级别分析系统,该系统综合应用经济性分析和非经济性分析方法,考虑了影响船舶维修级别决策的各个因素,如费用、时间、可靠性等,以综合成本最低为目标为船舶故障设备确定合理的维修级别.但该系统只对单系统、单层设备的维修决策问题进行分析.Hamada 等^[11]开发了船体监测信息系统,该系统包括 4 个部分,分别为船体监测模拟器、监测信息输入系统、监测状态核实系统、监测信息管理系统,且与造船计算机集成制造系统(CIM)相连,便于有效应用船舶结构信息.该系统能帮助监测者方便、及时地检测到船体损伤信息.周刚^[34]以“集成管理”思想为指导建立了船舶维修集成管理系统,探讨集成管理方法在船舶维修保障中的应用.该系统由现场信息处理子系统和决策层维修管理子系统两部分构成,前者用来处理与船舶故障及故障诊断相关的数据,后者用以制订合理的维修计划并实时监测计划的执行情况,以实现维修费用最少、效益最大的目标.但该系统在故障诊断的自动化、智能化和故障诊断的准确度等方面稍显不足.

3.2 海上维修

近年来,船舶海上应急修理已受到学者的关注.文献[35]提出了海上维修的构想,即利用维修船、供应船等将岸基修理拓展到海上.文献[36]提出了一种远洋船舶维修保障新方案,即建立一艘自航式半潜维修船,发挥其远海维修及移动船厂功能,摆脱船舶大修对岸基设施的依赖,但目前的研究侧重于理论研究和概念设计阶段,方案实施的安全性、自航式半潜维修船的船型选择论证及方案的经济性仍有待于继续分析研究.文献[37]重点分析了美国海军供应舰只的情况及其海上机动抢修手段,认为具有远洋作战能力的舰船须有有力的跟进式技术保障平台实施技术保障.文献[38]针对海上机动维修的需求展开研究,提出军民结合、平战结合的方法,并针对快速组建海上维修力量,提出建立海上机动维修组合方舱.我国海军舰队也致力于研究海上维修在舰船维修保养中的应用.2009 年 6 月,海军东海舰队对浮动船坞

应用于受损舰艇海上维修进行了实地演习,新型浮动维修船坞实现了海上故障检测、修理、试验全套全方位保障,使得装备维修从岸基拓展到海上。

4 结 论

通过对相关参考文献的回顾与分析,可以总结出这一领域研究内容的变化趋势,提出未来的研究方向。

(1)新优化模型、算法的研究与应用. 与其他工业设备不同的是,船舶外界营运条件复杂、不确定性因素多,制定完善的维修保养策略、计划调度方案,改进或开发新的优化模型、算法仍然是今后研究的重点。

(2)维修保养决策支持系统的开发与应用. 随着计算机技术的发展,维修保养决策支持系统的开发与应用将成为发展的必然趋势. 开发出兼有故障诊断、维修保养决策功能的决策支持系统是船舶维修管理工作的需要,也是促进船舶维修保养工作自动化进程的关键因素。

(3)海上维修的研究. 为确保在各种远海环境下我国商贸船舶安全航行,必须建立海上维修保障力量,科学、合理地组织远海维修工作。

参考文献(References):

- [1] LAZAKIS I, TURAN O, AKSU S. Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy [J]. *Journal of Ships and Offshore Structure*, 2010, 5(4):337-357.
- [2] 谢新连. 船舶运输管理与经营[M]. 大连:大连海事大学出版社, 2009.
- [3] IMO Assembly Resolution. The International Safety Management Code [S/OL]. (1993-07-01) [2014-04-08]. <http://www.admiraltylawguide.com/conven/ismcode>.
- [4] PINTELON L M, GELDERS L F. Maintenance management decision making [J]. *European Journal of Operational Research*, 1992, 58(3):301-317.
- [5] TSAI Yuo-Tern, WANG Kuo-Shong, TSAI Lin-Chang. A study of availability-centered preventive maintenance for multi-component systems [J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2004, 84(3):261-270.
- [6] 靳志宏, 关志民. 运营管理[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [7] 李葆文. 国外设备管理模式及发展趋势(一) [J]. 设备管理与维修, 2000 (7): 36-37.
LI Bao-wen. Development of abroad management modes in equipment maintenance [J]. *Plant Maintenance Engineering*, 2000 (7): 36-37. (in Chinese)
- [8] MOKASHI A J, WANG J, VERMAR A K, et al. A study of reliability-centered maintenance in maritime operations [J]. *Marine Policy*, 2002, 26(5):325-335.
- [9] CONACHEY R M. Development of machinery survey requirements based on reliability-centered maintenance [C]// *ABS Technical Papers 2005*. [S. l.]: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2005:229-244.
- [10] KHAN F I, SADIQ R, HADDARA M M. Risk-based inspection and maintenance (RBIM): Multi-attribute decision-making with aggregative risk analysis [J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2004, 82 (B6):398-411.
- [11] HAMADA K, FUJIMOTO Y, SHINTAKU E. Ship inspection support system using a product model [J]. *Journal of Marine Science and Technology*, 2002, 6 (4):205-215.
- [12] TURAN O, AKSU O, LAZAKIS I, et al. Maintenance/repair and production-oriented life cycle cost/earning model for ship structural optimization during conceptual design stage [J]. *Journal of Ships and Offshore Structure*, 2009, 4(2):107-125.
- [13] PAIK J K, MELCHERS R. Condition assessment of aging structures [M]. Cambridge (UK): Woodhead Publishing Ltd, 2008.
- [14] SOARES C G, TEIXEIRA A P. Risk assessment in maritime transportation [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2001, 74(3):299-309.
- [15] BSI/ISO17359: Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines [S/OL]. (2003-07-01) [2014-04-08]. http://nickd.ru/standart/tk-183/pas/idos/standard/iso_17359.
- [16] WANG G, PRAN K, SAGVOLDEN G, et al. Ship hull structure monitoring using fibre optic sensors [J]. *Smart Materials and Structure*, 2001, 10:472-478.
- [17] GOPINATH C. Condition monitoring: the case for integrating data from independent sources [J]. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 2004, A4:9-16.
- [18] YAMAMOTO N, KOIWA T, DOBASHI H, et al. A study of a fatigue management system for long LNG carriers using a new fatigue damage sensor [J]. *Journal of Ships and Offshore Structure*, 2007, 2(4):361-370.
- [19] 金家善, 罗云. 用于修理级别分析的费用模型开发 [J]. 中国机械工程, 1998, 9(12):30-33.
JIN Jia-shan, LUO Yun. The cost model for level of repair analysis [J]. *China Mechanical Engineering*, 1998, 9(12):30-33. (in Chinese)

- [20] 徐豪,董振华,谢新连. 船舶维修工程级别综合分析[J]. 大连海事大学学报, 2009, 35(2):27-30.
XU Hao, DONG Zhen-hua, XIE Xin-lian. A comprehensive analysis for levels of ship-repair engineering[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2009, 35(2):27-30. (in Chinese)
- [21] 桑惠云,谢新连. 基于集对分析的船舶维修级别分析[J]. 上海海事大学学报, 2011, 32(2):34-36.
SANG Hui-yun, XIE Xin-lian. Analysis of ship repair level based on set-pair analysis[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2011, 32(2):34-36. (in Chinese)
- [22] 谢新连,霍伟伟,徐豪,等. 基于决策树的船舶设备维修级别分析[J]. 船舶工程, 2009, 31(6):84-87.
XIE Xin-lian, HUO Wei-wei, XU Hao, et al. Analysis of repair level for ship equipment based on decision tree[J]. Ship Engineering, 2009, 31(6):84-87. (in Chinese)
- [23] DERIS S, OMATU S, OHTA H, et al. Ship maintenance scheduling by genetic algorithm and constraint-based reasoning[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(3):489-502.
- [24] RIGO P. Least-cost structural optimization oriented preliminary design[J]. Journal of Ship Production, 2001, 17(4):202-215.
- [25] RIGO P. An integrated software for scantling optimization and least production cost[J]. Ship Technology Research, 2003, 50:126-141.
- [26] BAKER R D, WANG Wen-bin. Developing and testing the delay time model[J]. Journal of Operational Research Society, 1993, 44(4):361-374.
- [27] CHRISTER A H, WALLER W M. Delay-time models of industrial inspections maintenance problems[J]. Journal of the Operational Research Society, 1984, 35(5):401-406.
- [28] PILLAY A, WANG J, WALL A D, et al. A maintenance study of fishing vessel equipment using delay-time analysis[J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2001, 7(2):118-127.
- [29] PILLAY A, WANG J, WALL A D. Formal safety assessment of shing vessels: risk and maintenance modeling[J]. Journal of Marine Engineering and Technology, 2004, A4:29-42.
- [30] HUN Go, KIM Ji-Su, LEE Dong-Ho. Operation and preventive maintenance scheduling for container ships: mathematical model and solution algorithm[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 229:626-636.
- [31] AKSU S, AKSU S, TURAN O. Reliability and availability of pod propulsion systems[J]. Quality and Reliability Engineering International, 2006, 22:41-58.
- [32] GUO Bing-bing, LI Fang, WANG Wei. Prediction method of vessel maintenance outlay based on the BP neural network[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2002, 13(3):61-70.
- [33] 桑惠云,邢恩普,谢新连. 船舶维修级别分析程序的设计与实现[J]. 大连海事大学学报, 2011, 37(1):32-34.
SANG Hui-yun, XING En-pu, XIE Xin-lian. Design and implementation of the level of ship repair analysis program[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2011, 37(1):32-34. (in Chinese)
- [34] 周刚. 船舶维修集成管理系统设计研究[J]. 中国修船, 2004(1):38-40.
ZHOU Gang. Research on integrated ship maintaining and managing system[J]. China Ship-repair, 2004(1):38-40. (in Chinese)
- [35] KIMBER A. Future ship concepts for repair and maintenance at sea[C]// Word Maritime Technology Conference. London: The Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST), 2006, 3:1-11.
- [36] 谢新连,桑惠云,张杨. 一种舰船远海维修保障新方案[J]. 舰船科学技术, 2013, 35(12):50-54.
XIE Xin-lian, SANG Hui-yun, ZHANG Yang. A new approach for ocean ship repair & maintenance[J]. Ship Science and Technology, 2013, 35(12):50-54. (in Chinese)
- [37] 张文瑶. 浅谈美国海军海上机动抢修手段[C]// 中国造船工程学会修船技术学术委员会船舶维修理论与应用论文集第七集. 2004:359-361.
ZHANG Wen-yao. Elementary analysis on navy motor repair methods of the united states[C]//The Seventh Proceedings of Repairing Technology Academic Committee of Chinese society of Naval Architects and Marine Engineering. 2004:359-361. (in Chinese)
- [38] 李祖民,夏志澜. 船舶海上机动维修的研究[J]. 江苏船舶, 2002, 19(5):36-37.
LI Zu-min, XIA Zhi-lan. Research on motor repair of ships at sea[J]. Jiangsu Ship, 2002, 19(5):36-37. (in Chinese)