

基于数字孪生的船舶消防总管压力检验系统开发与应用

郝 学

中国船级社实业有限公司广州分公司 广东广州 511340

摘 要: 随着船舶行业对安全性要求的不断提高, 船舶消防系统的压力检验成为了关键的技术环节。现有的压力检验方法普遍依赖人工操作, 存在一定的误差和安全隐患, 且缺乏实时数据监控和分析手段, 导致效率低下且难以进行精确评估。为了改善这一问题, 本文基于数字孪生技术, 提出了一种船舶消防总管压力检验系统的开发与应用方案。通过构建船舶消防系统的虚拟模型, 结合实时传感器数据, 实现了对船舶消防总管压力的实时监测与虚拟仿真测试。

关键词: 数字孪生; 船舶消防; 压力检验

引言

随着船舶规模和复杂性不断增加, 船舶消防系统的设计和运维面临着越来越高的要求。传统的消防总管压力检验方法存在一定的局限性, 尤其在实际应用中, 如何准确评估消防系统在极端情况下的性能成为了亟待解决的问题。数字孪生技术的引入使船舶建造过程中的许多问题得以优化。通过信息化手段和系统开发, 数字孪生模型可以在虚拟环境中进行工艺仿真、优化资源配置、预测设备的行为和维护需求, 从而减少意外情况的发生。这不仅提高了生产效率, 还能显著降低成本和减少资源浪费。通过虚拟模型与实际系统的紧密结合, 数字孪生能够实时反映船舶消防总管的运行状态, 预测潜在故障, 并优化检验过程。这种技术不仅提高了压力测试的精度和效率, 还为船舶消防系统的故障诊断和维护提供了科学依据, 进而推动了船舶安全管理水平的提升。

1 船舶消防总管系统及其重要性

1.1 船舶消防系统的结构与功能

船舶消防总管系统是船舶消防设备中的关键部分, 主要负责保障船舶在火灾等紧急情况下的灭火能力。该系统通常由水泵、管道、阀门、消防水枪及喷头等组成。水泵负责提供灭火所需的水流压力, 管道则连接各个设备并输送水源, 阀门用来控制水流的开关, 消防水枪和喷头直接进行灭火作业。在设计时, 船舶消防总管的压力和流量需要精确计算, 以确保在发生火灾时, 能够迅速且高效地供应水流, 保证船员的安全。

1.2 船舶消防系统的压力检验要求与挑战

在船舶消防系统的压力检验过程中, 面临着一系列的

挑战。船舶消防总管的设计和运行必须保证在火灾等紧急情况下能够迅速有效地提供所需的水流压力。在实际操作中, 消防管网的密封性、管道设计的合理性、以及系统内部各个组件的协同工作都对压力检验结果产生重要影响。

为了有效应对这些挑战, 船舶消防系统的压力检验需要考虑多方面的因素。首先, 系统必须在设计阶段就对管道布局和设备选型进行精确计算, 确保水泵的压力输出能够满足不同区域的需求。其次, 随着船舶使用年限的增加, 消防系统的管道可能会出现老化或积垢现象, 这会影响水流的顺畅度和压力的稳定性。因此, 定期的维护和实时的监控变得尤为重要。

2 基于数字孪生的船舶消防总管压力检验系统开发

2.1 系统架构与工作流程

基于数字孪生的船舶消防总管压力检验系统架构主要由三大部分组成: 虚拟模型构建、传感器数据融合及实时数据处理。虚拟模型构建是系统的核心, 它通过构建船舶消防系统的数字化双胞胎模型, 精确还原船舶消防总管的结构和工作状态。这一模型不仅反映了船舶的物理特性, 还能模拟压力变化及管道受力状态, 为后续的检验提供重要数据支持。传感器数据融合则通过多个实时传感器的数据采集, 将船舶实际状态与虚拟模型进行比对, 确保系统能实时反映出船舶消防总管的实际运行情况。系统采用高效的数据处理算法, 确保传感器数据的及时处理和反馈, 提高检验的准确性和效率。

该系统的工作流程分为三个主要步骤: 数据采集、虚拟模型更新和状态分析。首先, 传感器对消防总管系统进行

实时监测,收集各类数据,如管道压力、流量和温度等;然后,系统将这些数据与虚拟模型进行对比和更新,实时反映出管道的当前状态;最后,通过状态分析模块,系统对数据进行分析,并为维护人员提供诊断结果,以确保船舶消防系统的正常运行。在此过程中,系统通过与传统应急消防设备的关系,能够有效提高船舶消防总管的检验效率和准确性。

2.2 虚拟模型构建与传感器数据融合

虚拟模型的构建是基于数字孪生的船舶消防总管压力检验系统中的关键组成部分,其目的在于通过创建一个高度还原船舶消防总管结构和工作状态的数字化模型,来实现对实际系统的实时监控和状态分析。该虚拟模型不仅包括船舶消防系统的几何形状和结构特性,还需要结合管道的压力分布、流体力学及热传导等因素,进行全面的模拟。通过与传感器数据的融合,系统能够实时反映出船舶消防总管的运

行状态。例如,传感器采集到的压力、流量、温度等数据,会被实时传输到系统中,并与虚拟模型中的预设状态进行对比,从而更新模型的参数并提供准确的实时反馈。这种数据融合技术能够有效提高检测精度和响应速度,帮助维护人员在发现问题时及时采取有效措施,确保船舶消防系统的正常运作。

船舶应急消防泵的状态检查与维护是确保船舶消防系统可靠性的关键环节。在船舶消防总管的压力检验过程中,通过数字孪生模型的实时更新与传感器数据的精确融合,不仅能够为船用应急消防泵的检查提供数据支持,还能够辅助检测泵的运行状况和性能是否符合标准,避免因设备故障而导致的船舶滞留问题。表格中展示了虚拟模型构建与传感器数据融合过程中的关键技术参数及其对船舶消防系统性能的影响:

表 1 虚拟模型构建与传感器数据融合

技术环节	描述	影响因素	参数范围
虚拟模型构建	基于船舶消防系统的三维几何模型与力学特性	压力、温度、流量等	10~1000 Pa
传感器数据采集	实时采集管道内的压力、流量、温度等数据	精度、响应速度	1s
数据融合与实时更新	将传感器数据与虚拟模型进行比对并更新	模型更新频率	0.1~1 秒
系统性能评估	通过分析实时数据与模型的偏差评估系统运行状态	检测精度、计算效率	95% 以上

虚拟模型与传感器数据融合可以为船舶消防系统的压力检验提供准确的实时数据支持,增强系统对船舶消防总管状态的监测能力。

3 系统实现与应用

3.1 系统功能模块与实现

在本研究中,船舶消防总管压力检验系统的功能模块和实现方法紧密围绕系统的实际应用需求展开。系统的核心功能模块包括压力监测模块、数据采集与处理模块、虚拟模型显示模块及报警控制模块等。每个模块都基于现代数字技术和智能化传感器技术,力求实现高效、精准的船舶消防总管压力检验。

压力监测模块采用高精度压力传感器来实时监测船舶消防总管的压力数据,并将数据传输至系统后台。为了应对复杂的海上环境,传感器选用抗腐蚀、耐高温材质,确保其稳定性与可靠性。在数据采集与处理模块中,系统利用高速数据采集卡将压力信号转化为数字信号,并通过滤波算法去除噪声,确保数据的准确性。采集到的数据经过时序分析,计算出各项压力参数,并与预设的安全阈值进行对比,从而

判断当前系统的运行状态。

虚拟模型显示模块则采用数字孪生技术,将船舶消防总管的虚拟模型与实际物理系统进行实时映射。这一模块依赖于高精度的三维建模和数据可视化技术,能够直观地呈现消防总管系统的运行状态及压力分布情况。通过虚拟模型,操作员可以在无需接触实际设备的情况下,实时查看系统运行参数,并对系统进行调试和优化。

报警控制模块则是系统的应急响应核心。一旦检测到压力异常或设备故障,系统将自动启动预设的报警程序,发出声光报警信号并通知维护人员。在此基础上,系统还可通过远程控制功能,实现对船舶消防系统的远程调节与维护。

根据相关文献,船舶的主消防泵通常由主电源供电,并安装在机器处所。然而,若由于舱室失火导致所有消防泵无法正常工作,船用应急消防泵将承担全船的灭火作用,确保船舶在极端情况下的安全。

表 2 系统的功能模块与实现方法

功能模块	描述	技术细节
压力监测模块	通过传感器实时监测消防总管压力数据，确保数据精确传输	高精度压力传感器，抗腐蚀、耐高温材质
数据采集与处理模块	利用数据采集卡将压力信号转化为数字信号并进行时序分析，确保数据精确度	高速数据采集卡，滤波算法
虚拟模型显示模块	实时更新船舶消防总管的虚拟模型与实际物理系统相映射，提供直观的界面显示压力分布情况	3D 建模与数据可视化技术
报警控制模块	一旦发现压力异常或设备故障，系统立即发出报警信号，并可远程调节船舶消防系统	声光报警，远程控制功能

3.2 系统的实验验证与性能评估

在本研究中，船舶消防总管压力检验系统的实验验证与性能评估主要集中在检验系统的实际应用效果以及各个模块的协同工作性能。为了确保系统的可靠性和稳定性，我们在实验过程中模拟了不同的工作环境和应急场景，对系统进行了多项压力测试和性能评估。

通过与传统的船舶压力监测系统对比，基于数字孪生技术的系统在数据准确性、响应时间和故障预警能力方面具有显著的优势。具体来说，在压力监测方面，系统的实时误差范围控制在 $\pm 0.5\%$ ，远低于传统系统的 $\pm 3\%$ 。此外，系统在数据处理和报警响应的速度上也有了显著提升，平均响应时间缩短至 0.2 秒，相比传统系统的 0.8 秒，表现出了更强的应急反应能力。下表展示了实验中各项性能指标的比较结果：

表 3 系统的实验验证与性能评估

性能指标	基于数字孪生的系统	传统监测系统
数据监测精度	$\pm 0.5\%$	$\pm 3\%$
数据处理时间	0.02 秒	0.05 秒
报警响应时间	0.2 秒	0.8 秒
系统稳定性	高	中等
故障预警准确率	98%	85%

基于数字孪生的船舶消防总管压力检验系统不仅在数据精度和响应速度上具备较大优势，而且在故障预警和系统稳定性方面也显现出了明显的提升。随着系统的进一步优

化，其在实际应用中的表现将更加稳定可靠，有望成为未来船舶消防系统中不可或缺的重要组成部分。

4 结束语

在完成本研究的过程中，我深刻认识到数字孪生技术在船舶消防系统中的巨大潜力。通过本文提出的船舶消防总管压力检验系统的开发与应用，不仅能够为船舶消防设备的维护和检测提供更精确的技术支持，还能够大大提升船舶安全管理水平。系统通过融合虚拟模型与传感器数据，为船舶消防系统的压力测试提供了一种全新的方法，推动了船舶消防技术的进步。尽管在实际应用过程中仍然存在一定的技术挑战，但随着数字孪生技术和相关硬件设施的不断优化，未来船舶消防系统的检验与维护将变得更加智能化和高效。此项研究希望能够以供相关人士交流参考

参考文献：

- [1] 史恭波, 高龙龙. 船舶建造过程中数字孪生技术应用研究 [J]. 智慧中国 .2024, (11): 114.
- [2] 王昕. 船舶消防设计建造中存在的缺陷分析 [J]. 珠江水运 .2025, (07): 130.
- [3] 全后朋. 验船师浅谈船用应急消防泵的 PSC 检查 [J]. 中国水运 (下半月刊).2010, (18): 184.
- [4] 张伟. 浅谈船用应急消防泵的检查 [J]. 天津航海 .2008, (02): 152.
- [5] 陈勇. 浅析船舶应急消防水系统设计 [J]. 机电技术 .2013, (06): 76.