

信江梯级航运枢纽船闸智能化维保的数据交互与决策优化

丁光明, 赵玉忠, 郑涌

引用本文

丁光明, 赵玉忠, 郑涌. 信江梯级航运枢纽船闸智能化维保的数据交互与决策优化[J]. 计算机科学, 2024, 51(11A): 240800116-4.

DING Guangming, ZHAO Yuzhong, ZHENG Yong. [Data Exchange and Decision Optimization for Intelligent Maintenance of Xinjiang Ship Locks](#) [J]. Computer Science, 2024, 51(11A): 240800116-4.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[作战并行仿真技术综述](#)

Survey of Combat Parallel Simulation Technology

计算机科学, 2024, 51(11A): 240100127-7. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240100127>

[BEML:一种面向商品隐空间表征的混合学习分析范式](#)

BEML: A Blended Learning Analysis Paradigm for Hidden Space Representation of Commodities

计算机科学, 2024, 51(11A): 240300150-6. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240300150>

[融入区块链技术的医疗数据存储机制](#)

Medical Data Storage Mechanism Integrating Blockchain Technology

计算机科学, 2020, 47(4): 285-291. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.190400001>

[智能化信息物理系统中非确定性的分类研究](#)

Taxonomy of Uncertainty Factors in Intelligence-oriented Cyber-physical Systems

计算机科学, 2020, 47(3): 11-18. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.191100052>

[基于实时GPS的公交短时动态调度算法](#)

Bus Short-term Dynamic Dispatch Algorithm Based on Real-time GPS

计算机科学, 2019, 46(6A): 497-501.

信江梯级航运枢纽船闸智能化维保的数据交互与决策优化

丁光明¹ 赵玉忠² 郑涌²

1 江西省交通投资集团有限责任公司 南昌 330108

2 中水珠江规划勘测设计有限公司 广州 510610

摘要 梯级航运工程规模巨大、运行环境复杂,维保工作面临着检测感知不足、检测维保时间受限以及结构评估与维保决策难等问题。基于上述船闸运维问题及数据管理需求,以江西信江梯级航运枢纽为研究对象,研究建立了智能船闸的维保数据总体技术框架,实施智能航运船闸维保数据交互设计,优化了智能化监控管理、设备与人员的自动化部署、运维服务与决策管理等功能的建设,实现了各应用系统的自动化配置、监控预警以及运维服务的发布并对运维数据进行深度整合,形成了专业数据挖掘平台与维保数据可视化愿景,通过数据化驱动的模式使船闸运维管理及服务能力得到进一步提升,并为其他同类型项目的维保系统研究提供参考。

关键词: 船闸;智能化;维保;数据交互

中图分类号 TP311

Data Exchange and Decision Optimization for Intelligent Maintenance of Xinjiang Ship Locks

DING Guangming¹, ZHAO Yuzhong² and ZHENG Yong²

1 Jiangxi Communications Investment Group Co., Ltd., Nanchang 330108, China

2 China Water Resources Pearl River Planning Surveying and Designing Co., Ltd., Guangzhou 510610, China

Abstract Due to the huge scale and complex operating environment of cascade shipping hub engineering, its maintenance tasks still face problems such as insufficient detection perception, limited detection and maintenance time, and the need to improve the level of structural evaluation and maintenance decision-making. Based on the above ship lock operation and maintenance problems and data management requirements, taking the Jiangxi Xinjiang cascade shipping junction as the research object, this paper studies and establishes the overall technical framework of maintenance data for intelligent ship locks, implements the interactive design of intelligent shipping ship lock maintenance data, and optimizes the construction of functions such as intelligent monitoring and management, automated deployment of equipment and personnel, operation and maintenance services and decision-making management. It realizes the automated configuration, monitoring and early warning of various application systems and the release of operation and maintenance services, and deeply integrates operation and maintenance data, forming a professional data mining platform and the vision of visualized maintenance data. Through the data-driven model, the ship lock operation and maintenance management and service capabilities are further improved, and it provides a reference for the research of maintenance systems of other similar projects.

Keywords Ship lock, Intelligence, Maintenance, Data exchange

1 引言

我国内河船闸数量庞大,在建设和运营期间积累了较长时间、多尺度、多来源、异构等海量信息,但信息之间缺乏有效互动,信息庞杂,信息融合难度越来越大,造成信息叠加浪费,已成为我国内河船闸建设面临的一大难题。近年来,国内外研究者针对类似的问题在交通、电力、水利等行业的智能化维保方面进行了积极讨论^[1-4],并取得了富有成效的成果。

目前,人们认为信息融合缺乏融合结构化与非结构化数据的研究手段,也存在对多源信息智能化交互融合、可视化分析方法不足的问题。为准确评判船闸服役性态,通过交互融合数据,采用数据分析与机器学习算法等技术,系统分析船闸时空多源监测数据及特征,建立船闸多源异构信息融合体系

和准则;研发船闸服役环境中同类和异类信息融合的感知模型,提出船闸多源异构信息高效融合技术和船闸安全空间警戒域,实现船闸信息特征层和数据层的深度融合。在可视化分析层面,通过建立集成船闸三维模型与多源信息的参数化BIM模型,研究基于BIM的船闸无缝集成与智能可视化分析方法。最终为实现船闸大量多源异构数据的高效、智能、动态可视化分析的船闸健康诊断与智慧管理决策提供技术支撑^[4]。

江西信江梯级航运枢纽工程共有4个航电枢纽:井冈山、石虎塘、新干以及八字嘴航电枢纽,其中八字嘴航电枢纽有虎山嘴电站与豹皮岭电站。本文基于大数据的船闸维保系统架构和数据交互策略,针对信江梯级航运枢纽船闸运行期间的监测、检测、评估、维保决策等维保业务需求,提出梯级船闸智

能化维保的大数据服务架构及数据交互优化策略,以期为研发其他梯级船闸智能维保系统提供支撑。

2 信江船闸维保智能化数据的迫切需求

船闸维保的工作包括:常规检查和日常巡检,监测和评估,保养和修理。通常情况下,船闸的规模很大,工作环境和条件也很复杂,传统的维保工作具有监测范围广、感知能力弱、检测维保作业时间窗口有限、结构及设备评估及维保决策水平有待提升等问题。目前,所收集到的信息大多为纸质信息或者电子信息资料,存在着多元异构数据之间的关联程度不高的问题,导致信息资料的查询和利用效率低下,很难为运营管理工作提供有效的支持。除此之外,在运行期间,船闸也将不断地产生并积累大量的数据,如由船闸闸门结构健康监测监测系统所产生的监测数据。除此之外,在船闸维保作业中,也会产生大量的图片、文字报表以及视频等非结构化数据。鉴于目前单一业务主导大数据分析功能,因此导致数据关联度低且离散化,故大数据材料及运用广度与深度有限,而且,由于缺少对预测性分析、挖掘算法和可视分析等方面的经验,且大数据分析功能还具有分析结果的可靠性和准确性不高、响应时间较长和维护费用较高等缺陷,导致分析结果很难为工程维保提供高效的服务。为此,需要对船闸各个专业进行智能化,建立一个统一的规范,并进行多专业数据的融合和分析。根据以上所描述的船闸运维业务的特征和数据管理的需要,本文在对这些数据进行融合和挖掘的关键技术基础上,确定了以下几个方面的优化目标:

1)在 BIM 技术的基础上,建立船闸的数字化模型,并获得船闸的数字化信息。根据维保工作的要求,分析并编码,使物理构件和数字构件相匹配。除此之外,还可以把在船闸设计和施工中所生成的静态信息,引入到船闸数字模型中,对数字模型初始化。

2)数字化船闸模型的动态感知是通过载入实时运行的船闸动态数据来实现的。综合船闸结构健康监测、机电设施监控所产生的大量数据以及在船闸检查与巡检过程中所产生的大量数据,利用无人智能设备反馈验证,可为船闸各类构造物之早期预警、评估及维保之相关工作提供数据资料支持。对多年来累积的数据资料进行融合,并对船闸服役期状态的动态变化进行分析。

3)实现运维数据的一体化管理,对大量的运行数据进行融合和深度挖掘。建立一个数据统一的管理平台,将时间和空间上有交集的多元异构数据进行融合,并对数据的相关性及其演变规律进行分析,为数据进一步挖掘提供基础,为船闸运维业务提供决策依据。

4)对船闸服役状态进行评估,预估船闸服役态势。运用有限元仿真技术建立船闸结构的多维度仿真模型,导入船闸当前运行的数据,为船闸运行维护工作提供决策依据,通过数据融合共同驱动、推演船闸设施运行情况。

5)利用智能算法,对异构的数据进行深度挖掘,对其进行有效处理。当前,AI的运算法能够对大量的数据资料进行结构性的处理。例如维保业务中的视频、图像等非结构化数据,可通过结合视觉技术与语音处理等技术挖掘数据,实现面向对象的数据交互功能。此外,根据智能算法的自学习与自适应特性,挖掘更深更广的数据特征,优化维保业务与决策工作等。

3 信江航运船闸维保的数据交互与决策

系统业务实施流程具体包括数据感知、信息融合与认知的过程,利用数据分析为管理者做出船闸维保决策依据。

1)对运行状态的感知。船闸管理系统感知阶段针对船闸结构检测和维保作业特点,建立起检测、监测和结构属性数据感知框架,这是驱动维保业务流转和实现“数字孪生”的基础。检测数据来源包括:巡检、检查,以及无人智能化装备巡检等。检测的数据资料以船闸结构健康系统采集的数据为依据。

2)对运行状态的认知。结构和设备技术状况评价可采用船闸巡检和检查等数据,健康监测数据可作为结构和设备实时预警、结构和设备运行状态评价的依据,数值模型可建立在船闸结构和设备属性数据上。基于多源数据的船闸结构及设备评定、评估结论,在船闸维保认知阶段建立综合评价体系,研判船闸结构及设备的服役性态,根据数据深度融合与挖掘技术形成船闸结构及设备认知模型,提升结构及设备评估的可靠性、准确性。

3)船闸维保决策。针对当前船闸结构和设备服役情况进行全面评估,确保船闸结构和设备状态恢复到最优的维保措施,并给出预算范围、相应措施的实施流程和时间周期,以及当前相应的船闸维保计划和中长期计划,最大限度地利用维保资源。根据中长期船闸结构和设备规划需求,在考虑结构和设备性能退化的基础上,结合综合评价结论,对维保资金的分配方案进行规划。

4)船闸维保作业。一般维保作业在短期时间尺度上划分为3种类型:1)船闸结构及设备轻微病害由维保人员依据规范执行日常维保作业;2)急迫病害、设备故障或应急事件,需专家决策,再由人工执行应急维护;3)管理人员根据系统推荐的维保方案,在维保系统决策后制定早期病害(故障)或常规病害的实施方案,发布指令。管理人员可根据系统推荐的维保计划,在船闸结构和设备的中长期维保时间尺度等方面,研究维保资金的分配策略^[5]。

4 信江航运船闸的维保数据优化

4.1 建立专业数据挖掘平台

信江智慧船闸信息系统是基于管控一体化平台的信息系统。以管控一体化平台为核心的智慧船闸管控系统是以优质服务为宗旨,以客户服务、企业资产和设备管理体系和科学统计分析为依据的经营决策体系。大数据的计算能力直接影响船闸安全保障能力、管控能力、应急调度能力和风险决策响应效率等。为了提升船闸安全监视数据资料的利用价值,在船闸安全检测云端服务系统上,根据船闸安全检测的相关标准,将船闸安全监测、监控和分析评估的理论和方法相结合,构建包含特殊分析计算模块、状态诊断模块、监测预警模块的专业数据挖掘平台。

由于原始的监测数据通常作为变量来计算得到目标函数,所以系统中应预置数据计算方法,如查表、公式以及复杂的流程算法等。另外,函数中的相关变量参数间的物理量需要转换,可在系统中预定义多种公式,这样用户可根据仪器测值选择相应的公式类型,提高效率的同时避免用户自建公式导致错误。系统接口能扩充新仪器和计算公式,以满足工程的后续需求。

建立状态诊断分析系统(见图1),对实时或历史数据库记录的大量设备运行状态数据进行追忆和分析,对各种设备进行集中监测与数据诊断分析,可为设备检修提供有效的状态信息,及早发现隐患^[6]。同时,系统能够深入开发、利用、挖掘各设备数据,在线智能感知设备状态,通过对大量设备运行数据的挖掘、建模,实现设备健康感知、安全感知、性能感知及预测分析^[7]。

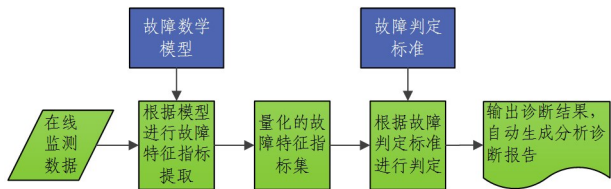


图1 故障模型诊断系统示意

Fig. 1 Schematic of fault model diagnosis system

监控预警模块可以利用典型小概率法、置信区间法等方法来构建出一套能够对船闸进行监控的指标,从而可以对其进行实时的安全监控。对于已知诊断模型的故障,系统将采用故障树诊断法,建立一套系统、完善的故障诊断数据库,根据监测数据对故障进行诊断;针对未知故障,开发机器学习模块,以大数据分析方法和模型为核心,以大量监测数据为基础,通过对设备的工作状态和数据进行分析,利用大数据挖掘技术识别出设备在工作状态下的参数范围,并构建相应的健康样本,通过对比实时参数与正常运行区间的参数变化情况以实现设备故障智能诊断。故障智能诊断结果经专家确认后,可生成故障样本并形成故障树,有利于后续的故障诊断时系统自动对标故障树。故障树应为开放的结构,可根据运行经验、设备维护管理水平不断丰富、完善;故障诊断的置信度应根据历次故障产生的实际原因自动、手动调整,不断完善。

4.2 维保数据可视化

以船闸安全监测的智能感知、数据汇总与分类管理、数据挖掘为依据,利用GIS+BIM技术和大量的图表控件,来完成对船闸安全监测结果的全面可视化的展示,并建立云服务系统集成船闸安全监测数据。例如,在视频系统的界面中展示导助航信息:导助航设备编号、名称、在线/离线状态(红绿灯)、是否故障、故障内容。基于GIS+BIM技术,实现安全监测成果的三维可视化表达^[8]。信江智能视频分析系统主界面由船闸的航拍图形成动态地图构成,其航拍图覆盖范围为:上下游650m和闸室300m,大致1.5km的范围。智能视频分析系统包括禁停线船舶的分析、电子地图和船闸设备在地图上的展示和分析。智能视频分析系统示意图如图2所示。



图2 智能视频分析系统示意

Fig. 2 Schematic of intelligent video analysis system

值表的定制与生成,并生成各类专题报告以供周报、月报及年报需求;根据数据特征,采用图形技术对安全监测成果进行表达,如过程线图、二维云图、矢量分布图等^[8]。另外,根据数据时间精度,整编出数据库表,以满足分析查询和应用展示。采用主动、随机采样以及间接、直接访问等方式,结合数据的级联关系、横向、纵向数据共享特点、主数据质量管理等,对检查接口进行数据冗余分析、数据残缺及完整性验证等,全面提升数据质量。

为提高安全监测决策支持能力,协助用户快速获取主要监测成果,数据平台需聚焦各级主管部门多个层次的用户需求,提炼关键业务数据指标,构建多层次数据大屏^[8];结合智能推荐算法支持用户定制所关注的监测成果内容。

5 信江八字嘴项目效益分析

目前江西信江梯级航运枢纽已完成云运维平台以及运维管理中心的建设,实现了各应用系统自动化的配置管理、应用发布以及监控告警,并开始对运维数据进行深度融合,进一步提升船闸数据化驱动的运维能力。

1)信息资产管理。采用API/Agent/SNMP等技术,以数据资源综合利用为目标,构建统一数据库。信息资产配置信息采用全自动化模式,提升了设备信息的实时性与准确性,降低了维护成本。

2)信息资产运营分析。基于信息资产配置信息与监控数据,对不同运维数据源进行融合,挖掘数据库的数据演化规律,建立有效的数据分析模型,为船闸维保业务状态、异常告警等提供实时数据可视化与决策依据,提升运维数据中的业务价值。

3)流程管理与自动化联动。通过自定义编排的流程引擎将自动化运维流程与服务管理流程进行关联,既实现了规范化和标准化的服务管理流程的管理,又提高了工作质量与效率,解决了船闸枢纽运维工作流程相互独立及其执行效率低的问题。信江八字嘴项目采用航电枢纽智慧集控系统后,大幅度提高了枢纽生产及管理效率,并减少约30%的运行人员和日常运维成本,同时整体提升了枢纽智慧化水平和整体形象。

4)巡检自动化。对于大部分日常规范的巡检操作步骤,采用自动化设备来替代。采用自动化运维技术后,巡检效率与准确性大幅提升,实现了精细化管理。实施管控一体化平台后,维护方面,因设备进行智能监控,枢纽每班次可减少至少40%的巡检人员,这样不仅减少了运维人员,同时也提高了设备的安全运行效率。

5)梯级船闸运维联动。各级船闸运维数据已纳入总智慧平台,不仅优化了设备物质配备效率,同时进一步减少了运维人员,通过会诊也增加了维修效率。

结束语 本文针对信江梯级航运枢纽船闸结构及设备的维保需求,讨论了船闸智能维保系统的总体架构及数据挖掘平台,分析了船闸智能化维保的数据交互与决策优化问题,取得了以下成果:

1)从船闸运维业务的特征和数据管理的需要出发,在运维数据进行融合和挖掘的关键技术基础上,建立了船闸的数字化模型。

2)通过载入实时运行的船闸动态数据提升了数字化船闸模型的动态感知能力;对多元异构数据进行融合与挖掘为船

闸运维业务提供了决策依据,并能预估船闸服役态势。

3)基于智能算法的自学习与自适应特性,挖掘更深更广的数据特征,优化了维养业务并进一步提升了决策效率,从而实现了信江梯级航运枢纽船闸结构及设备维养业务需求的优化目标。

(4)效益分析结果表明,信江八字嘴项目采用航电枢纽智慧集控系统后,实现了规范化和标准化的服务管理流程的管理,大幅度提高了枢纽生产及管理效率,同时也提高了设备的安全运行效率,并减少了运行人员,降低了日常运维成本。

(5)将流域电站数据资源纳入统一管理,并结合大数据分析工具及各种智能分析模型,实现了“数据平台一体化,生产运维智能化”为核心的智慧管理模式。实践证明,大数据系统架构对船闸智能维养系统的研究具有一定的借鉴意义,对类似项目的维养管理体系的建设提供了参考。

参 考 文 献

- [1] LIANG Z K,JIANG Z M,LI G,et al. Research on intelligent operation and maintenance management platform ofhydraulic electromechanical equipment based on digital twin technology[J]. EWRHI,2023,44(9):116-122.
- [2] CHEN H L. Construction of intelligent operation and management platform for highway and bridge based on digital Li Sheng technology[J]. China ITS Journal,2023(10):98-101.
- [3] YANG T Z,JIANG W,LUO Y J. Intelligent operation and maintenance technology for Offshore wind power projects based on

multi-source data fusion[J]. Hydropower and New Energy. 2024,38(6):28-31.

- [4] ZHONG D H,WANG F,WU B P,et al. From digital dam toward smart dam[J]. Journal of hydropower,2015,34(10):1-13.
- [5] XIA Z L,JIING Q,SUN S W,et al. Research on the architecture of intelligent maintenance system of sea-crossing bridge based on digital twin concept[J]. High IWay,2023,68(4):383-391.
- [6] YAN X B,MAO Q,CHEN X S,et al. SMA2000-based trend analysis system for Longyangxia Dam equipment[J]. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station,2021,44(10):46-48.
- [7] CHEN X S,ZHANG X,WEN Z G,et al. Research and implementation of iP9000-based diagnostic analysis technology for hydropower station equipment[J]. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station,2019,42(12):46-48.
- [8] HUANG Y W,NIU G L,LI D Y,et al. Research and application of intelligent perception and intelligent management technology for dam safety monitoring[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2021,38(10):180-185,198.



DING Guangming, born in 1977, Ph.D., engineer. His main research interests include traffic environment and safety technology.