

水利工程精益建造数字化管理平台研究和设计

夏瑞俊

湖北楚禹水务科技有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6664

[摘要] 本研究针对水利工程行业特点,从业务流程、功能、性能等方面进行需求分析;遵循模块化、接口标准化等原则,设计了5大架构,研究了4项关键技术,设计了10个子系统,覆盖水利工程全过程数字化管理,打破信息壁垒,促进跨层级、跨专业协作,实现业务流程数字化和自动化,提升管理水平与决策效率,优化资源配置,推动水利工程行业可持续发展。

[关键词] 水利工程; 数字化管理平台; 架构设计; 精益建造; 三维可视化

中图分类号: TV5 **文献标识码:** A

Research and Design of a Digital Management Platform for Lean Construction in Water Conservancy Engineering

Ruijun Xia

Hubei Chuyu Water Technology Co., Ltd.

[Abstract] In response to the characteristics of the water conservancy engineering industry, this study conducts a requirement analysis from the perspectives of business processes, functions, and performance. Adhering to principles such as modularization and interface standardization, it designs five major architectures, investigates four key technologies, and develops ten subsystems. These cover the entire process of digital management in water conservancy engineering, breaking down information barriers, promoting cross-hierarchical and cross-disciplinary collaboration, enabling the digitalization and automation of business processes, enhancing management levels and decision-making efficiency, optimizing resource allocation, and fostering the sustainable development of the water conservancy engineering industry.

[Key words] Water conservancy engineering; Digital management platform; Architecture design; Lean construction; 3D visualization

1 引言

1.1 研究背景

水利工程是国家战略中的重要组成部分,其显著特点是项目周期长、投资巨大、项目管理复杂、成本控制难度大、安全风险高。面对这些挑战,传统的项目管理模式显得力不从心。因此,构建一个能够实现信息高效集成与共享的数字化管理平台显得尤为必要,这不仅有助于提升水利工程的管理水平和决策效率,还能保障水利工程的质量和安^[1]。

1.2 研究目的与意义

本研究旨在开发适用于水利工程的精益建造数字化管理平台,通过集成先进的数字化技术,如云原生、大数据、云计算、BIM等,实现水利工程项目管理全过程的数字化转型。该平台将致力于提升水利工程的施工效率和管理水平,保障工程质量与安全,实现跨层级、跨专业的全过程高效协作,最终促进水利行业的可持续发展。

1.3 国内外研究现状

在水利工程领域,国内外对数字化管理的研究虽已取得显著进展,已在重大水利项目中普遍推行BIM、物联网等关键技术,但应当认识到,现有管理平台在实现全生命周期的数据集成、高效信息共享与多部门业务协同方面,仍存在系统性短板,这对于规模庞大、技术复杂且安全至上的水利工程而言尤为突出。针对上述瓶颈,本研究旨在探索并提出有效的创新解决方案。

1.4 研究内容与方法

本研究的主要方法包括需求分析、架构设计、关键技术研究、原型设计与开发。

2 平台需求分析

2.1 业务流程及特点

(1) 高度专业化: 水利工程管理需要专业知识和技能,包括但不限于水利水电、机械工程、电气工程、材料科学等,需要严格遵守国家和国际标准,确保安全和质量。



图1 应用架构图



图2 技术架构图

(2) 高度依赖信息技术: 信息化手段的应用对于水利工程项目管理至关重要, 可以实现数据、流程、资料的一体化管理。通过信息系统, 可以更好地监控项目进度, 管理成本, 确保质量。

(3) 严格的风险管理: 水利工程项目面临的风险包括质量风险、安全风险和进度延误等。需要建立完善的风险管理体系, 对潜在风险进行识别、评估和应对。

(4) 大量跨部门协作: 项目管理涉及多个职能部门, 如工程

技术、采购、施工、商务等, 需要各部门间紧密合作。项目负责人需要协调各方资源, 确保项目顺利推进。

2.2 功能需求

根据水利工程项目管理的业务需求, 数字化管理平台应覆盖技术管理、进度管理、物资管理、设备管理、文档管理、质量管理、商务管理、财务管理、安全管理、三维模型可视化等业务板块。既要满足项目业务人员日常业务办理的需求, 还要满

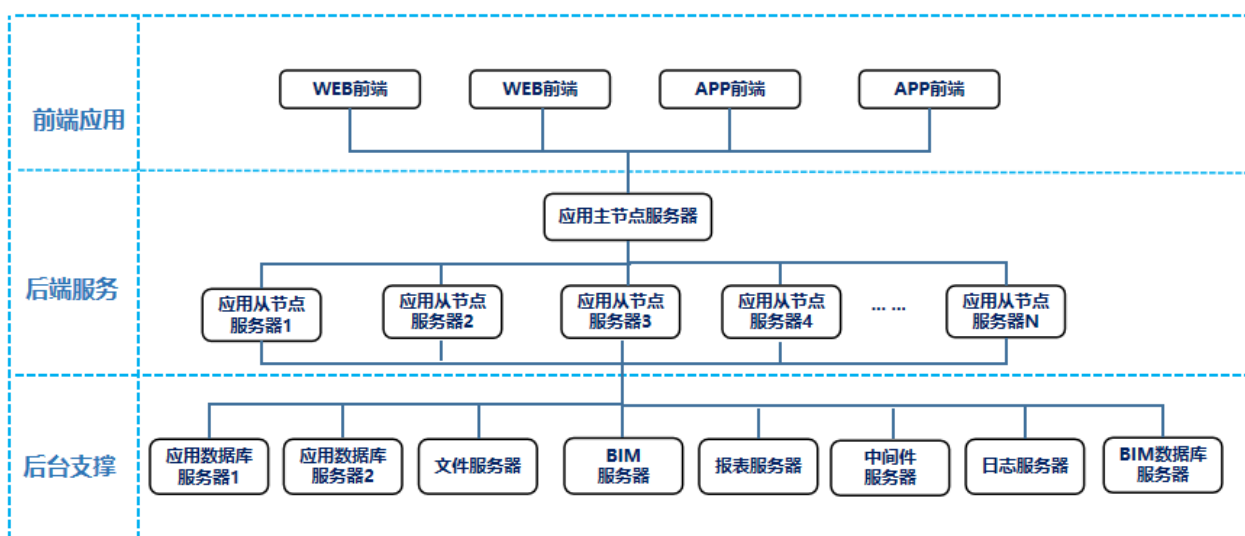


图3 部署架构图

足各级管理者通过平台进行项目管理的需求,通过数据驱动提升管理效率。

2.3 性能需求

为满足水利工程大规模、高复杂度的业务需求,在性能方面应该满足如下需求:

(1) 可靠性:平台需具备7×24小时不间断运行能力,数据存储应采用多重备份机制,确保即使遭遇硬件故障、自然灾害等极端情况,数据也不会丢失,且系统能在短时间内恢复正常运行。

(2) 稳定性:要经过大量严格的测试,在高并发业务场景下,系统不出现崩溃、死机等情况,各项业务流程能平稳执行。

(3) 安全性:平台应采用先进的加密技术,对数据的传输和存储进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。

(4) 数据处理能力:平台要能够处理海量的工程数据,包括设计图纸、三维模型、施工记录数据等。具备强大的数据清洗和整合能力,将不同来源、不同格式的数据进行统一处理,以便进行有效的数据分析和挖掘。

3 平台架构设计

3.1 架构设计原则

为确保平台能够适应水利工程的发展变化和不断增长的业务需求,平台采用模块化设计,每个模块负责特定的功能,便于扩展和维护;所有模块间的数据交换遵循统一的标准接口协议,确保不同模块之间的兼容性和互操作性;以数据为核心,支持数据的高效采集、处理、存储和分析;具备良好的可扩展性和灵活性,能够快速响应业务需求的变化和技术进步^[1]。

3.2 总体架构设计

架构设计内容包括业务架构、数据架构、应用架构、技术架构、部署架构五大架构。

3.3 业务架构设计

业务架构设计是对平台业务蓝图的描述,旨在构建一个清晰、完整且高度适应的业务模型,更清晰地定义业务归属、更高

效地促进业务协作、更系统地指导平台开发^[2]。

3.4 数据架构设计

数据架构设计的目标是构建一个高效、安全且可扩展的数据管理框架,用于指导各业务板块的数据集成,形成统一数据共享通道与技术交互方案,确保数据完整性、唯一性,实现数据管理标准化,为数据分析和决策提供支持^[2]。

3.5 应用架构设计

应用架构设计的目标是构建模块化、可扩展且易集成的应用框架,明确应用系统边界和应用系统间的关系,避免重复建设。承接业务架构和数据架构规划,本平台应用架构采用经典的三层设计,包括云平台(IaaS层)、技术平台(PaaS层)和应用层(SaaS层)。其中应用层为核心,主要包括文档管理、质量管理、技术管理等10个子系统。应用架构设计如图1所示:

3.6 技术架构设计

技术架构设计的目标是构建一个高性能、高可靠性和可扩展的技术框架,以支持水利工程数字化管理平台的业务和技术需求,确保平台的稳定运行,同时为未来的扩展和升级提供支持^[2]。技术架构设计如图2所示:

3.7 部署架构设计

采用微服务+容器化的集群部署方式,提高系统的可用性、稳定性。部署架构如图3所示。

3.8 技术选型

为构建一个高效、稳定、可扩展的软件系统,满足多样化的业务需求,采用主流的前后端分离技术,具体技术选型如下:

- (1) 编程语言: JAVA、JavaScript、SQL。
- (2) 数据库: Oracle、MySQL、Redis。
- (3) 前端框架: Vue。
- (4) 后端框架: Spring Cloud、Spring Boot。
- (5) 工具和库: Docker、Nginx、Nacos、Kubernetes等。

4 关键技术研究

4.1 数据集成与共享技术

数据集成与共享技术是指通过多种技术和工具,将来自不同源头的数据进行整合,形成统一的数据资源池,以实现数据的高效共享和利用^[3]。本平台基于多数据源管理与在线封装接口能力,可连接其他系统的数据库在线创建数据接口,让数据不再成为“孤岛”。

4.2 三维可视化模型集成技术

三维可视化模型集成技术是指综合利用多种数据源,通过三维建模、数据融合、实时渲染等技术手段,实现复杂三维场景的高效可视化与交互^[4]。本平台通过运用数字孪生技术,通过内置3D渲染引擎,结合多源异构设计文件解析、AI识图等技术自动解析设计文件生成三维模型,采集项目全过程、全要素数据并自动流转,构建数字孪生体信息模型。

4.3 低代码开发技术

低代码开发技术是一种通过图形化界面、预制模板和模块化组件简化软件开发过程的技术,旨在让非专业开发人员也能高效地创建应用程序^[5]。本平台通过自定义、可视化、流程化配置实现业务对象建模、应用设计和流程编排,支持高、中、低代码融合的快开发应用,可帮助开发及实施人员简洁、高效、快捷地完成业务应用系统构建。

4.4 数据分析与挖掘技术

数据分析与挖掘技术是指从大量复杂数据中提取有价值信息和知识的过程,主要包括数据准备、挖掘、评估与应用等步骤,利用算法如聚类、分类、预测和关联分析等,以支持决策和创新^[6]。本平台利用该技术对水利工程项目管理过程中各领域产生的大量数据进行深度分析和挖掘,提取有价值的信息和知识,形成决策层、管理层、执行层三级的管理看板和报表,为决策提供支持。

5 平台功能设计

按照应用架构设计,本平台共设计了10个子系统,以物资管理子系统和商务管理子系统为例,其功能设计如下。



图4 物资管理子系统功能结构图

5.1 物资管理子系统

物资管理子系统包含需求计划管理、订单管理、到货管理、仓储管理、结算管理等模块,实现项目现场物资的全生命周期数字化管理,功能结构如图4所示。

5.2 商务管理子系统

商务管理子系统包含施工合同管理、施工图预算管理、分包结算管理、采购结算管理、签证索赔管理、成本管理等模块,实现从工程结构分解到施工任务实施再到施工劳务结算的全流程流转,提高劳务结算准确性、及时性、可追溯性,实时反映结算状态、争议情况及处理情况、劳务成本等数据。功能结构如图5所示。



图5 商务管理子系统功能结构图

6 平台功能实现

以进度管理子系统为例,该平台能够实现项目进度的实时跟踪和管理,帮助管理者及时了解项目进展,快速发现问题并及时协调,有助于控制项目进度,提升管理效率,其应用界面示例如图6所示。

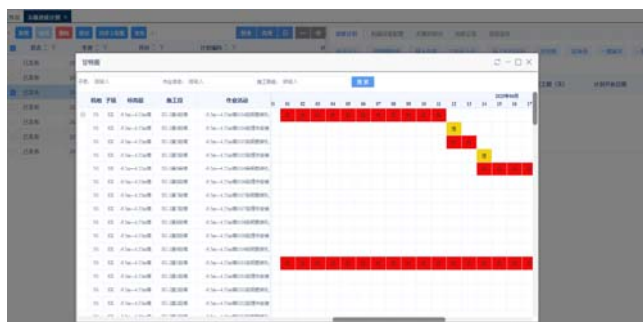


图6 进度管理子系统应用界面示例

7 结论与展望

7.1 研究成果与创新点

本研究设计了适用于水利工程的精益建造数字化管理平台,该平台涵盖文档、进度、技术等10个子系统,可实现水利工程项目管理全过程的数字化转型。深入研究数据集成与共享、三维可视化模型集成等4项关键技术,成功解决了现有平台在数据集成、信息共享等方面的问题。

本研究采用了精益建造理念与数字化工具结合的管理方法,优化管理流程,提高工程管理精细化程度。集成云原生、大数据、BIM等先进技术,以及三维可视化模型等关键技术,提升数据处理和分析能力,保障工程质量与安全。

7.2 研究不足与展望

技术先进性有待提升。在AI技术的融合应用方面,平台还有很大的进步空间。尤其是在复杂场景下的自动识别、预测和优化等功能上,表现不够理想^[7]。

未来将扩展企业级决策分析看板、报表、业务模块管理功能,优化三维可视化功能,以三维模型数据驱动业务管理,实现“一模到底”。引入AI大模型技术,提升数据处理能力,增强平台在复杂场景下的自动识别、预测预警等能力。

[参考文献]

[1] 丰慧,王荣华,卢婷.河湖长制综合管理数字化平台建设的现状、困境与展望[J].水利水电科技进展,2024,44(4):89-100.

[2] 夏瑞俊.基于TOGAF的核电工程数字化管理平台架构研究[J].中国科技成果,2025,26(9):34-36.

[3] 王冬.移动通信大数据系统建设分析[J].信息通信,2019,(09):133-134.

[4] 王方青.测绘数据的三维可视化研究[J].产品可靠性报告,2023,(11):102-104.

[5] 武星,殷浩宇,姚骏峰.基于增量学习的工业软件:转炉图像异常识别系统[J].武汉大学学报(理学版),2024,(03):30-38.

[6] 高志鹏,牛琨,刘杰.面向大数据的分析技术[J].北京邮电大学学报,2015,38(03):1-12.

[7] 何柳,安然,刘姝妍.基于知识图谱的航空多模态数据组织与知识发现技术研究[J].图学学报,2024,(02):63-70.

作者简介:

夏瑞俊(1984--),男,汉族,内蒙古卓资县人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:企业数字化转型及数智化技术应用。