

BIM技术对水厂改扩建中的智慧运用与研究

沈 建

天津水务集团华森规划勘测设计研究院有限公司 天津 300220

摘 要：本文探讨了BIM技术在水厂改扩建中的智慧运用。阐述其在设计阶段优化设计流程、实现多专业协同；施工阶段精准统计工程量、模拟施工进度；运维阶段构建数字孪生、实现预测性维护等核心价值。分析了厂区布局、复杂结构安装、地质支护、管线综合等关键应用场景，以及全生命周期数据管理、BIM与物联网协同、可视化决策支持系统构建等技术创新与实践路径，并提出应对挑战的策略。

关键词：BIM技术；水厂改扩建；数字孪生；智慧运维；多专业协同

引言：随着城市化进程加快，水厂改扩建需求日益增长。传统水厂改扩建模式在设计、施工、运维各阶段存在信息沟通不畅、效率低下、管理粗放等问题。BIM技术凭借其三维可视化、多专业协同、数据集成等优势，为水厂改扩建提供了新的思路与方法。将BIM技术应用于水厂改扩建，有助于提升项目全生命周期的管理水平，保障水厂安全稳定运行，推动水务行业向智慧化方向发展。

1 BIM技术在水厂改扩建中的核心价值

1.1 设计阶段优化

在水厂改扩建项目中，BIM技术通过构建三维可视化模型，将复杂的水处理工艺流程以直观的方式呈现。传统二维图纸难以表达空间结构的相互关系，而三维模型能精准展现构筑物、管线、设备的空间位置，帮助设计人员全面理解设计意图，发现潜在设计缺陷。基于三维模型的工艺流程模拟，可对水厂取水、沉淀、过滤、消毒等环节进行动态推演，检验水流路径、设备衔接是否合理，提前优化处理效率。多专业协同设计是BIM技术的另一重要优势。在改扩建项目中，建筑、结构、给排水、电气等多专业需紧密配合。BIM平台为各专业提供统一协作环境，各专业设计成果实时共享、同步更新。

1.2 施工阶段赋能

BIM技术在施工阶段可实现工程量精准统计与成本控制。三维模型包含详细的构件信息，通过参数化设置，可自动计算各类材料用量，如混凝土体积、钢材重量、管道长度等，避免人工统计误差，为招投标、物资采购提供可靠依据。基于准确的工程量数据，结合市场价格信息，可制定更精确的成本预算，有效控制项目成本^[1]。施工模拟与进度动态管理是BIM技术赋能施工的重要体现。通过将施工进度计划与三维模型关联，进行4D施工模拟，直观展示各施工阶段的进度安排、资源配置情况。施工管理人员可提前预判施工过程中的潜在风险，

如工序衔接不合理、场地空间不足等问题，及时调整施工方案。施工过程中，通过现场数据采集设备将实际进度信息反馈至BIM模型，实现进度动态管理。对比计划进度与实际进度，分析进度偏差原因，采取针对性措施，确保项目按时完成。

1.3 运维阶段智慧化

在水厂运维阶段，BIM技术通过数字孪生实现全要素数据集成。将水厂实体建筑、设备设施、管线系统等信息完整映射至虚拟数字模型，整合设计图纸、施工记录、设备参数等全生命周期数据，形成水厂的数字化镜像。智能一体化净水装置采用高度集成化的设计，可实现“U盘”式的即插即用，启动快速，方便快捷。运维人员可通过数字孪生模型快速查询设备位置、规格型号、安装时间等信息，实现设备的精细化管理。基于数字孪生模型的设备健康监测与预测性维护，可显著提升水厂运维效率。将标准的智能一体化装置系列化，通过模块化的装配，可满足不同处理水量的需要，同时便于运输。将传感器采集的设备运行数据，如温度、压力、振动等信息接入数字孪生模型，实时监测设备运行状态。利用数据分析与机器学习算法，对设备运行数据进行深度挖掘，预测设备故障发生的可能性及时间，提前制定维护计划。相比传统的定期维护模式，预测性维护可减少不必要的维护成本，避免因设备故障导致的停水事故，保障水厂安全稳定运行。通过BIM技术，水厂运维从被动响应转变为主动管理，实现智慧化运维目标。同时可根据不同地域环境和文化的不同，对设备外观进行变装调整，充分融入周边环境，打造环境友好型的生态水厂。

2 BIM技术在水厂改扩建中的关键应用场景

2.1 厂区布局与工艺流程分析

水厂改扩建项目中，厂区布局与工艺流程优化直接影响项目整体效能。BIM技术通过现状实景模型与新建

单体融合设计,解决新旧设施衔接难题。利用激光扫描技术获取厂区现有建筑、道路、设备等实景数据,构建高精度现状模型,在此基础上叠加新建单体设计方案,直观展现新旧结构的空間关系。设计人员可通过模型对比,调整新建构筑物位置、尺寸,确保与既有设施无缝衔接,避免空间冲突。管线综合与空间布局优化是厂区设计的重要环节。水厂内部管线系统复杂,涵盖给水、排水、电气、自控等多类管线。

2.2 复杂结构与设备安装模拟

在水厂改扩建中,叠合结构与深基坑支护协同设计是保障施工安全的关键。BIM技术构建三维结构模型,对叠合结构的新旧混凝土结合面、钢筋连接节点进行精细化设计,确保结构受力合理。同时建立深基坑支护模型,模拟支护结构与周边环境、地下管线的相互作用,评估开挖过程中土体变形、支护结构受力情况。通过协同设计,提前优化支护方案,避免施工对既有建筑、管线造成影响。设备吊装路径与检修空间校核是设备安装阶段的重要工作。水厂大型设备如水泵、搅拌机等,安装过程需精准规划吊装路径与空间^[2]。BIM模型整合设备尺寸、厂房空间、周边障碍物等信息,模拟设备吊装过程,规划最优吊装路径,避免与建筑结构、管线发生碰撞。通过模型分析设备检修所需空间,预留足够操作区域,确保后期维护人员能够安全便捷地进行设备检修与更换。

2.3 地质与基坑支护模型

三维地质建模与支护方案验证为水厂改扩建提供地质数据支撑。利用勘察数据在BIM平台构建三维地质模型,直观呈现地层分布、岩土特性、地下水位等信息。设计人员基于地质模型分析不同区域地质条件对基坑开挖的影响,评估潜在风险。结合地质模型与基坑支护设计方案,模拟基坑开挖过程,验证支护结构的稳定性,分析土体位移、沉降情况,优化支护参数,确保支护方案安全可靠。风险预判与施工安全管控贯穿基坑施工全过程。BIM模型实时更新施工进度与工况信息,模拟不同施工阶段基坑受力变化,预测可能出现的风险点,如边坡失稳、涌水等。针对高风险区域,制定专项应急预案,提前布置监测点,利用传感器实时采集基坑变形、水位等数据并反馈至模型。一旦监测数据超出预警值,系统自动报警,施工人员可依据模型分析快速定位风险位置,采取有效措施控制风险,保障施工安全。

2.4 总图管线综合与碰撞检查

现状与新建管道连接节点可视化是水厂改扩建管线设计的重点。BIM技术将既有管线与新建管线模型整合,

通过三维可视化展示连接节点构造细节,如管道接口形式、阀门安装位置等。设计人员可直观查看连接节点与周边环境的关系,评估施工可行性,优化连接方案,确保新旧管线连接顺畅、密封性良好。多系统管线冲突检测与优化是提升管线设计质量的关键步骤。水厂内给排水、电气、暖通等多系统管线密集,传统二维设计难以全面排查冲突问题。BIM平台自动检测不同系统管线间的碰撞、间距不足等问题,生成冲突报告。设计人员根据报告对管线走向、标高进行调整,通过模型反复验证优化方案,减少施工阶段因管线冲突导致的设计变更与返工,降低施工成本,缩短工期。对于隐蔽管线,BIM模型可提供详细的三维定位信息,为后期管线维护、改造提供精准指引,避免因管线位置不明导致的误挖、误损情况,保障水厂运行安全与稳定。

3 BIM技术在水厂改扩建中的技术创新与实践路径

3.1 全生命周期数据贯通与管理

水厂改扩建项目涉及设计、施工和运维等多个阶段的数据交互,BIM技术需要构建一个贯穿全生命周期的数据链条。在设计阶段生成的三维模型作为信息源头,包含了建筑结构、设备参数、管线布局等详细信息。这些信息不仅为后续阶段提供了基础,还确保了从设计到运维的信息一致性。施工阶段通过物联网设备实时采集进度、质量和安全数据,并将其与BIM模型关联,形成动态施工档案。这不仅提高了施工过程的透明度,还能及时发现并解决问题,减少返工率^[3]。进入运维阶段后,将设备运行数据和维护记录集成至数字孪生体中,实现了信息闭环管理。例如,设备的型号、安装位置等设计信息可以直接用于施工采购与运维管理,减少了重复录入错误,提升了数据利用效率。为了实现各阶段数据的无缝对接,必须建立统一的数据编码规则与存储标准。这样可以避免信息孤岛现象,确保所有参与方都能访问最新的项目信息,从而提高整体项目的协同效率。

3.2 BIM与物联网协同应用

物联网技术与BIM的融合为水厂智慧化提供了新的路径。在施工阶段,通过在建筑材料和设备构件上部署RFID标签或传感器,可以实现物料进场和安装过程的实时追踪。例如,将传感器嵌入混凝土结构以监测其强度变化,这些数据会自动同步至BIM模型,辅助施工质量控制。这种方法不仅可以提高施工质量,还可以减少因人工检查带来的误差。在运维阶段,物联网设备持续采集设备振动、压力、温度等数据,并与BIM模型结合形成动态数字孪生。当某台水泵出现振动异常时,系统能够自动调取BIM模型中的设备位置、安装图纸及历史维护

记录,为故障诊断提供多维度信息支持,缩短问题定位时间,提高运维响应速度。这种结合不仅提升了运维效率,还降低了因设备故障导致的停机风险,保障了供水系统的连续性和稳定性。

3.3 可视化决策支持系统构建

基于BIM模型开发的可视化决策支持系统,可以显著提升水厂改扩建项目的管理效能。在设计方案比选环节,系统将不同方案的空间利用率、能耗预测、施工难度等关键指标以可视化图表形式呈现,帮助决策者直观评估优劣。例如,在比较两个不同的工艺流程布置方案时,系统可以通过三维模型展示每个方案的具体布局和潜在影响,使决策更加科学合理。施工阶段,通过GIS(地理信息系统)与BIM集成,可以展示厂区周边环境、交通状况与施工进度空间关系,优化场地布置与材料运输路线^[4]。这不仅提高了施工效率,还减少了对周边环境的影响。运维阶段,系统以三维界面展示水厂的整体运行状态,关键设备参数以颜色、动画等形式实时呈现。当某些参数超出设定阈值时,系统会自动触发预警机制,管理者可以通过模型快速定位异常区域,并下达相应的维护指令。这种可视化的管理方式,使得整个管理流程更加智能化和高效化。



3.4 应用实践中的挑战与应对

尽管BIM技术在水厂改扩建中具有巨大的潜力,但在实际应用过程中仍面临诸多挑战。技术层面的问题主要包括多源数据融合的兼容性问题,如地质数据与BIM模型的精度匹配以及不同格式文件之间的转换损耗。这些问题可能导致数据丢失或精度下降,影响最终的应用效果。管理层面则存在项目参与方对BIM应用认知差异的问题,部分人员仍然依赖传统工作模式,导致协同效率低下。针对上述技术挑战,研发数据转换接口和轻量化处理工具是有效解决方案之一。通过开发专门的数据转换接口,可以降低不同格式文件之间的转换损耗,确保数据的一致性和完整性。采用轻量化处理工具,可以在不影响数据质量的前提下减少文件大小,便于传输和使用。对于管理层面的挑战,建立BIM应用培训体系至关重要。通过定期组织培训课程,提升团队成员的数字化能力,增强他们对新技术的理解和应用水平。推行BIM应用考核机制,将模型质量、数据更新频率等纳入合同条款,有助于保障各阶段的应用深度和广度。

结束语

BIM技术在水厂改扩建中的应用具有显著优势,贯穿设计、施工、运维全流程,优化了各阶段工作,提升了项目整体效能。通过全生命周期数据管理、BIM与物联网协同、构建可视化决策支持系统等创新实践,进一步挖掘了BIM技术的潜力。尽管面临技术与管理层面的挑战,但通过研发工具、建立培训体系与考核机制等措施可有效应对。未来,应持续深化BIM技术在水厂改扩建中的应用,助力水务行业高质量发展。

参考文献

- [1]钟亚丽.BIM技术在水厂改扩建工程中的研究与应用[J].水利技术监督,2022(2):46-49,107.
- [2]袁健.BIM技术在水厂工程建设管理中的应用[J].土木建筑工程信息技术,2020,12(06):82-86.
- [3]康进军.BIM技术在水利工程建设与管理中的应用探讨[J].农业开发与装备,2023(1):146-148.
- [4]雷蕾,李兵兵.BIM技术在水厂水厂建设管理中的应用[J].商品与质量,2020(47):171.