



BIM+AR 融合技术在罗泾集装箱码头 陆域管网设计中的应用

张丽媛¹, 施建正², 张 尘¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 码头堆场陆域的管网布置范围大、管线类型多, 且管线作为隐蔽工程, 后期运行维护和检修难度大。拟采用建筑信息模型(BIM)+增强现实(AR)技术提高设计方案可靠性、增强管网布设精度, 同时积累数据资产为后期数字化运行维护奠定基础。BIM 技术因具有三维立体可视的优点, 在管网设计中可以发挥重要作用。BIM+AR 技术可以进一步对管线设计成果进行现场放样, 拓展 BIM 技术的应用价值。目前 BIM+AR 技术在堆场管网的应用实践有限。提出 BIM+AR 技术在码头堆场管网综合的实施步骤、应用方法等, 并结合上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程进行实践验证。结果表明, BIM+AR 技术可以用于方案优化与交底, 用于施工进度、质量、安全管理, 指导复杂节点的施工, 服务于后期运行维护, 具有复制性和推广性。

关键词: BIM; AR; 管网; 陆域

中图分类号: U653.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0076-06

Application of BIM+AR integration technology in design of land area pipeline network of Luoqing container terminal

ZHANG Liyuan¹, SHI Jianzheng², ZHANG Chen¹

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

Abstract: The pipeline network layout in the terminal land area is extensive, with a wide variety of pipeline types. Moreover, as a hidden project, the pipelines are difficult to maintain and inspect later on. This paper proposes the use of building information modeling (BIM)+augmented reality (AR) technology to enhance the reliability of the design scheme and improve the precision of pipeline layout. At the same time, it aims to accumulate data assets to lay a foundation for later digital operation and maintenance. Due to its three-dimensional visualization advantages, BIM technology can play a significant role in pipeline network design. BIM+AR technology can further conduct on-site layout of pipeline design results, thus expanding the application value of BIM technology. However, the application practice of BIM+AR technology in the pipeline network of the terminal yard is currently limited. This paper presents the implementation steps and application methods of BIM+AR technology in the pipeline network integration of the terminal yard and verifies them through phase I container terminal renovation project in Luoqing port area of Shanghai Port. The results show that BIM+AR technology can be used for scheme optimization and briefing, construction progress, quality and safety management, guiding the construction of complex nodes, and serving later operation and maintenance. The technology is replicable and can be promoted.

Keywords: BIM; AR; pipeline network; land area

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 张丽媛(1988—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事海港码头和内河航运方面的研究。

建筑信息模型 (building information modeling, BIM)、地理信息系统 (geographical information system, GIS)、增强现实 (augmented reality, AR) 等技术的出现和发展,推动了工程建设领域向数字化、智能化、协同化方向转型,对工程建设的高质量发展起到了积极作用。

BIM 技术在水运工程领域的应用起步较晚,但发展迅速^[1-2]。目前,水运工程设计、施工、运行维护阶段均已积累不少 BIM 技术的应用经验。在设计阶段, BIM 技术可用于结构分析、碰撞检查等,以优化设计、提高方案质量为目标。在施工阶段, BIM 技术可用于施工模拟仿真、进度管理、质量管理、成本管理等,以提高施工效率、优化资源配置为目标。在运行维护阶段, BIM 技术可以进一步与 GIS、物联网 (internet of things, IoT) 结合,实现智能监测和数字运行维护。

AR 技术是一种将计算机生成的虚拟信息与现实世界相结合的技术。通过实时获取计算摄影机影像的位置及角度,将相应的图像、视频或 3D 模型叠加到真实场景中,实现虚实融合的交互体验。

BIM+AR 技术通过虚实结合将虚拟信息与现实场景无缝融合,增强用户对现实的感知和理解,同时支持实时交互,用户可借助手势、语音等方式与虚拟元素互动,使应用更加自然直观。BIM+AR 技术已经在建筑领域开展应用,主要应用方向如下。

1) 设计阶段的方案优化与交底。为方案优化和技术交底提供沉浸式体验,项目各参建方可以通过 AR 设备查看 BIM 模型在实际场地中的效果,直观地评估设计方案。

2) 施工阶段隐蔽工程管理^[3-4]。通过 AR 设备将 BIM 模型中的隐蔽工程信息叠加到施工现场,施工人员能够清楚地看到隐蔽工程的位置、管线规格和走向。例如地下管线的埋深、材质、连接点等信息,避免施工过程中对管线造成损坏。在运行维护阶段,可以通过 AR 设备快速定位隐蔽工程的位置,进行维护和检修。

3) 施工阶段进度管理^[5]。BIM 模型中包含每

个施工阶段的详细信息。通过 AR 技术,这些信息可以实时叠加到施工现场的实景中,施工人员通过将计划进度与实际进度进行对比,能够直观地看到当前进度是否符合计划,及时发现延误风险并采取措施。

4) 施工阶段质量管理^[6]。质检人员通过 AR 设备查看施工现场时, BIM 模型中的质量标准和检查要点会实时叠加到实际场景中,并与实际施工情况进行对比,及时发现质量问题。同时, AR 设备还可以记录检查过程中的问题和整改情况,形成质量检查报告,便于后续追溯和分析,确保施工质量符合设计要求。

5) 施工阶段安全管理^[7-8]。通过在 BIM 模型中嵌入安全信息,如危险区域标识、安全防护措施,作业人员在进入施工现场时, AR 设备会自动提示这些安全信息。例如在有限空间作业时,提醒施工人员注意通风和气体检测。此外, AR 设备还可以实时监测施工现场的安全状况,如人员位置、设备运行状态等,一旦发现异常情况,及时发出警报,保障施工人员的安全。

6) 施工阶段复杂节点的施工指导。施工人员通过 AR 设备查看 BIM 模型,可以提前了解复杂节点的详细构造和施工顺序。施工过程中, AR 设备将虚拟的施工步骤和操作要点叠加到实际施工场景中,指导施工人员进行精确操作,帮助施工人员避免管线碰撞和安装错误,提高施工质量和效率。

7) 运行维护阶段的设备巡检与维护^[9]。运行维护人员通过 AR 设备可以快速获取 BIM 模型中与该设备相关的信息 (如设备名称、型号、维护记录、操作手册等),及时发现设备的潜在故障,快速修复故障,减少停机时间,提高设备的运行效率和可靠性。

虽然 BIM+AR 技术已经在建筑领域有所应用,但在水运工程码头堆场管网布设的应用极为有限^[10]。水运工程码头堆场管网与建筑领域差异较大,本文旨在分析两者差异的基础上,研究 BIM+AR 融合技术在码头堆场工程应用技术流程,并结合典

型工程检验应用技术路线。相关成果可指导相似工程进行管网综合实施。

1 码头堆场管网的特点

码头后方道路堆场的管网系统不同于建筑单体内管网，具体差异表现为以下 4 个方面。

1) 码头堆场管网布置范围大。建筑单体面积一般为数千平方米，码头后方堆场一般为数万至数十万平方米，管线布置范围大，单个管线长度长。

2) 管网、设备功能需求、技术指标差异。码头堆场的管网主要满足堆场作业的生产需求，如暴雨排水、排涝、大型冷藏集装箱供电等，管网和设备的型号和技术指标与建筑工程有所差异。此外，由于堆场管网多为露天环境的地下设施，需要配置检修井等结构设施。

3) 管网设计要求不同。码头堆场的管网为单层多排平面铺设，管网综合以高程综合为主，且由于堆场区域露天，受气候影响较大，对各类管线的埋深、管线间距有双重要求。

4) 运行维护和检修难度差异。码头堆场的管网多为隐蔽工程，发生时不易定位和检修。

综上，码头堆场的管网综合不能复制但可以参考建筑单体的管网综合应用经验，并且需要结合自身特点进行本地化探索应用。

2 BIM+AR 管网综合应用步骤

2.1 数据准备

BIM+AR 在管网综合中的应用可以划分为 5 个步骤：数据准备、BIM 模型创建、碰撞检测与设计优化、AR 适配、技术应用。

在设计阶段，需要通过专业图纸资料整理提取 BIM 模型的几何信息和属性信息，支撑后续碰撞检测、施工管理。几何信息包括各处设施(主要是节点井)特征点平面坐标、高程，各类管线起止点和转折点的平面坐标及高程。属性信息包括设施编号、规格、材质、平面尺寸、高度、计划施

工时间等，还包括管线编号、类型、材质、管径、壁厚、长度、计划施工时间等。

在施工阶段，需要收集跟施工过程相关的信息，如实际施工时间、人材机安排情况、施工现场质量照片等。

2.2 模型创建

码头堆场项目中管网模型范围，应涵盖结构基础、电气、通信、给水、排水、消防等专业，需要创建井族模型、专业模型、总装模型。

井族模型是规格型号、平面尺寸基本固定，但井筒个别参数(如井筒高度)灵活可变的一类具有复用性的模型，见图 1。

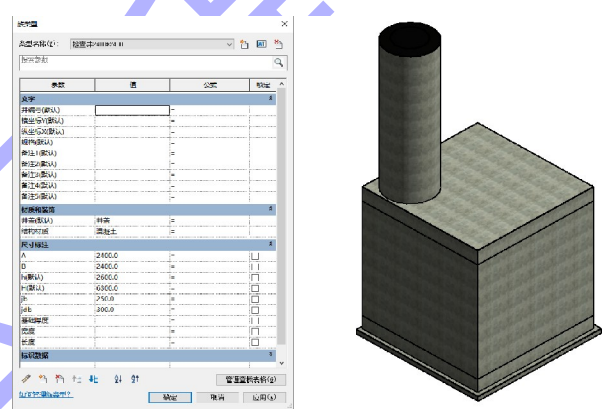


图 1 节点井族模型界面
Fig. 1 Interface of node well family model

井族模型通过参数化提高井筒模型创建效率、增强模型的复用性、减少专业模型文件大小，还可以统一井筒属性，方便后期工程量统计等应用。

专业模型、总装模型的创建应根据 JTS/T 198-3—2019《水运工程施工信息模型应用标准》^[11] 进行组织并达到相应的深度。专业模型应采用统一的坐标系和高程基准，以便与总装模型协调一致。

2.3 碰撞检测与设计优化

碰撞检测是一种利用数字建模技术提前发现设计冲突、优化施工方案的关键手段。进行碰撞检测的数据基础是专业模型和总装模型，常见的提供算法的相关软件平台包括 Navisworks、ITwin 等。

碰撞检测需要基于几何计算与规则进行约束分析，包括硬碰撞和软碰撞两方面。典型的碰撞检测报告见表 1。

表 1 碰撞检测报告
Tab. 1 Clash detection report

碰撞名称	状态 距离/m	碰撞点坐标/m			交叉点 1 的 ID	交叉点 1 的 管网类型	交叉点 2 的 ID	交叉点 2 的 管网类型
		x	y	z				
碰撞 1	-0.066	7 615.198	26 691.698	3.897	376 667	污水管网	426 209	雨水管网
碰撞 2	-0.066	7 615.198	26 691.698	3.897	376 667	污水管网	439 858	雨水管网
碰撞 3	-0.055	7 524.263	26 630.766	4.225	376 688	污水管网	472 703	通信管网
碰撞 4	-0.053	8 595.861	27 275.923	4.065	376 835	污水管网	376 579	消防管网
碰撞 5	-0.044	8 594.597	27 275.057	3.888	376 835	污水管网	377 028	生活给水管网
...	...	...	...	...	...	...	...	...

硬碰撞检测是检测管线系统几何上穿插碰撞, 这些碰撞将导致无法施工。通过布尔运算分析不同模型之间的物理交叉情况进行检测, 判断是否存在结构冲突。

软碰撞检测是检测管线间距、埋深、安装净高是否满足规范或施工作业要求。通过在检测对象上设置安全距离, 判断待检测对象是否侵入。

此外, 还可通过施工顺序模拟(4D BIM)分析施工过程中的时间冲突, 例如钢结构安装与机电管线施工的时间安排, 确保不同工种的施工顺序合理。

2.4 BIM 模型与 AR 技术适配

BIM 与 AR 的技术适配过程主要包括模型优化与轻量化、格式转换、空间定位、交互体验与数据集成等步骤, 以确保 BIM 数据在 AR 设备上的高效呈现和流畅交互。

1) 模型优化与轻量化。由于 BIM 模型通常包含大量几何信息和属性数据, 直接加载到 AR 设备可能引起加载不流畅, 需要对 BIM 模型进行多细节层次(levels of detail, LOD)调整, 去除不必要的细节, 并优化面数、材质、贴图, 以适应 AR 终端的计算能力。

2) 格式转换。BIM 通常以 IFC、RVT、DGN 等格式存储, 而 AR 应用普遍支持 FBX、OBJ、GLTF 等轻量化格式。因此, 需要使用 Navisworks、Revit、BentleyiTwin 等软件进行模型转换, 并确保数据结构的完整性。

3) 在空间定位。BIM 模型需要与现实环境精准对齐, 以便 AR 设备正确叠加虚拟信息。主要技术包括即时定位与地图构建(simultaneous localization and mapping, SLAM)、二维码标定、全球定位系统(global positioning system, GPS)/实时动态定位(real-time kinematic, RTK)高精度定位等。

4) 交互体验。需要定义 BIM 与 AR 的交互方式, 如手势、语音、触控等, 以提升用户体验。例如, 用户可通过 AR 眼镜或平板查看建筑内部结构、缩放模型、查询设备信息, 实现智能化应用。

5) 数据集成: 根据需要, 结合 IoT、云计算和实时数据流, 实现 AR 场景中的动态信息显示。例如, 在施工现场, 工人可通过 AR 设备查看 BIM 数据, 同时获取管线压力、设备运行状态等实时信息, 提高决策效率。

2.5 技术应用

进行施工进度、质量、安全管理, 指导复杂节点的施工, 服务后期运行维护等应用。

3 应用实例

3.1 工程概况

上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程(简称罗泾改造一期工程), 位于上海市宝山区罗泾地区。工程共建设 1 个 10 万吨级和 4 个 1 万吨级集装箱泊位, 泊位总长度 1 432.1 m, 设计年通过能力 262 万 TEU, 陆域面积 82.8 万 m², 工程总投资约 47.1 亿元。工程平面布置见图 2。



图 2 罗泾码头工程平面布置
Fig. 2 Planar layout of Luoqing wharf project

本文工程的建设能够助推上海港打造世界一流港口、绿色港口，贯彻国家“公转水”“散改集”的发展战略，更好地服务交通强国战略落实和长江经济带发展。

3.2 实施标准

3.2.1 BIM 模型实施标准

本文工程对码头后方 82.7 万 m² 陆域范围地下管网相关设施进行 BIM 应用，模型包括雨水系统、初期雨水系统、污水系统、给水系统、消防系统、供电照明系统、信息通信系统等，模型深度等级为 LOD300，模型的信息细度参考规范制定。模型组织架构见图 3，模型内容见表 2。

表 2 BIM 范围及主要内容
Tab. 2 Scope and main content of BIM

专业系统	内容说明	单位	数量
雨水系统	雨水管	km	21. 86
	雨水检查井、透水篦子	个	412
污水系统	污水管线	km	4. 10
	污水井	个	78
初期雨水系统	初期雨水管线	km	2. 94
	集水井、检查井	个	12
消防系统	消防管线	km	6. 34
	消防井	个	41
生活给水系统	给水管	km	4. 51
	给水泵	个	29
供电系统	电缆沟、混凝土包封	km	15. 96
	电缆井	个	181
通信系统	电缆沟、混凝土包封	km	17. 12
	电缆井	个	203

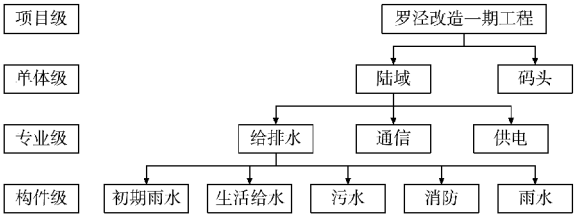


图 3 罗泾改造一期工程陆域堆场管网 BIM 组织架构
Fig. 3 BIM organization structure of yard pipeline network in land area of phase I renovation project in Luoqing

3.2.2 软件平台

依托的软件平台为 Autodesk 平台，具体软件见表 3，数据交换格式为 fbx。

表 3 应用软件
Tab. 3 List of application software

软件名称	项目应用实现	数据格式
Revit2018	基础构件三维建模及综合	rvt
Navisworks	管线建模及碰撞分析	nwd
BIM360Glue	模型浏览、检查批注、施工工序模拟	-
一见 AR 施工助手	AR 技术平台	-

3.3 BIM+AR 成果

3.3.1 BIM 成果

实例工程管网系统的各专业总装模型成果、专业模型成果(以雨水系统为例)、节点构件模型成果(以检查井为例)见图 4~6。

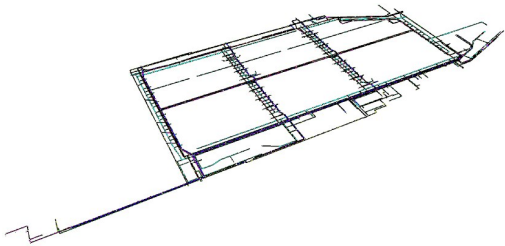


图 4 罗泾改造一期工程陆域堆场管网 BIM 整体效果
Fig. 4 Overall effect of BIM for yard pipeline network in land area of phase I renovation project in Luoqing

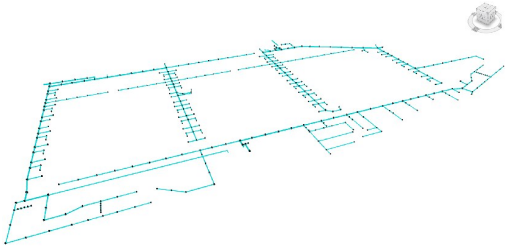


图 5 管网 BIM (以雨水系统为例)
Fig. 5 BIM of pipeline network
(taking storm water system as an example)

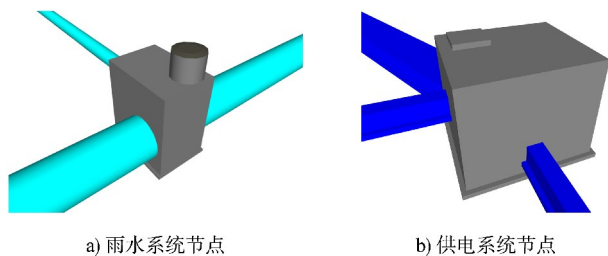


图 6 节点构件模型 (以检查井为例)

Fig. 6 Node component model
(taking manhole as an example)

3.3.2 BIM+AR 融合应用成果

1) 碰撞检测及设计优化。本文工程详细设计初稿于 2023 年 1 月完成, 2023 年 1—5 月, 根据项目建设条件变化修改完善, 按月对项目方案进行碰撞检测。根据碰撞报告可以复核设计方案, 发现二维图纸中不易察觉的碰撞位置, 并根据报告不断优化调整管网方案, 最大限度地避免施工阶段调整和返工, 提高设计合理性、施工效率, 降低施工成本, 缩短工期。

2) 现场设计交底。施工过程中, 使用移动设备对 BIM+AR 的技术成果进行现场交底。参建各方可在现场查看整体模型、专业模型和专业构件的布置情况, 查询管道及设备的相关信息, 了解施工方案。模型会跟随应用者位置实时刷新, 保证展示内容和现场环境结合。

3) 施工管理。在施工过程中, 进行施工质量管理 and 进度管理, 包括并不限于对设施管线设计位置和施工位置比对, 及时记录位置偏移; 还可进一步通过与管理平台结合, 拍摄照片, 通知和分享给相关负责人。

4 结语

1) BIM+AR 技术通过信息集成与共享、提高施工精度与效率、辅助决策与优化等方式, 为工程项目的全生命周期提供更高效、直观和精准的管理手段, 具有可观的应用价值。

2) 码头堆场管网具有布置范围大、管线长、技术指标高、后期检修维护难度大、高程综合难度大的特点, 有别于建筑管网。

3) 采用 BIM+AR 技术进行设计阶段管网综合、现场交底、施工管理对提升方案质量, 保障工作效率实现精细化管理具有较大的价值。

4) 为使 BIM+AR 在其他工程中得到推广、复制, 本文建议: ①完善相关技术标准和规范。建议对数据交换格式、交互方式、AR 设备技术参数等进行明确的规定, 解决数据兼容性、准确度问题, 进一步提高行业适用性。②推动 BIM+AR 的试点示范项目, 积累工程经验, 降低实施成本, 提升技术普及率。③加强 BIM+AR 与 GIS、IoT 等技术的融合、与建管平台、运行维护平台衔接, 拓展技术应用的深度和广度。

参考文献:

- [1] 邵光华. BIM 技术在建筑设计中的应用研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2014.
SHAO G H. The applied research of BIM technology in the architectural design[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2014.
- [2] 李勇. 建设工程施工进度 BIM 预测方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
LI Y. Study on predictive methods of BIM based on construction project schedule [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014.
- [3] 甘露. BIM 技术在施工项目进度管理中的应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
GAN L. Research on application of BIM in the schedule management of the construction project[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014.
- [4] 崔宗举. 基于 BIM 的工程项目管理研究[D]. 郑州: 中原工学院, 2017.
CUI Z J. Research on project management based on BIM[D]. Zhengzhou: Zhongyuan University of Technology, 2017.
- [5] 徐云凤. 基于 BIM 和 AR 技术的施工进度管理系统及其应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2020.
XU Y F. Research on construction progress management system based on BIM and AR technology and its application[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2020.