

数字化技术在市政基础设施更新项目设计中的应用与探索

马迪, 赵国锐, 武庆喜, 王平

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 以镇原城市基础设施更新项目为例, 深入探讨了数字化技术在市政基础设施更新项目设计中的应用与探索。项目面临多专业交叉、复杂程度高、需系统性思维及强调可持续性等挑战, 传统设计方式难以应对。数字化技术的应用, 通过无人机、RTK、管线机器人等设备收集基础设施现状数据, 并结合 BIM 技术实现三维设计, 创新了城市基础设施更新项目的设计方法^[1]。具体应用包括无人机倾斜摄影建模、道路更新及附属工程建模、基于管道机器人与 BIM 技术的管线更新设计方法, 以及新建桥梁工程的数字化应用。同时, 项目借助设计协同平台实现云端管理与多终端应用, 提高了设计效率和质量。研究表明, 数字化技术显著提升了多专业协同效率, 模型精度达厘米级, 设计周期缩短 30%, 施工返工率降低 15%。然而, 软件整合度不足、数据异构性、企业投资回报平衡及复杂几何建模效率等问题仍需突破。总结了数字化技术应用的经验与成果, 提出了现阶段数字化技术在基础设施更新项目设计中遇到的问题及未来发展方向, 为城市基础设施更新领域提供了新的思路和方法。

关键词: 基础设施更新; 数字化; BIM 技术; 道路改造; 无人机倾斜摄影; 管线机器人; 设计协同平台

中图分类号: TU201.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0437-05

Application and Exploration of Digital Technology in Design of Municipal Infrastructure Renewal Project

MA Di, ZHAO Guorui, WU Qingxi, WANG Ping

(Northwest Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: Taking the Zhenyuan Urban Infrastructure Renewal Project as a case study, the application and exploration of digital technologies in the design of municipal infrastructure renewal projects are deeply discussed. The traditional design approach is hard to cope with because of the project being confronted with challenges such as multidisciplinary intersections, high complexity, demands for systematic thinking, and an emphasis on sustainability. The implementation of digital technologies is to collect the current data of infrastructures by utilizing the equipment such as unmanned aerial vehicles (UAV), real-time kinematic (RTK), and pipeline robots, and combined with building information modeling (BIM), the three-dimensional design is realized to innovate the design method of urban infrastructure renewal projects. The specific applications encompass UAV oblique photogrammetry modeling, road renewal and ancillary engineering modeling, pipeline renewal design methods based on pipeline robots and BIM technology, as well as digital applications in new bridge construction. At the same time, the project has achieved cloud-based management and multi-terminal applications through a design collaboration platform, which enhances the design efficiency and quality. The study demonstrates that digital technologies significantly enhance multidisciplinary collaboration efficiency, achieving centimeter-level model accuracy while reducing design cycles by 30% and decreasing construction rework rates by 15%. Nevertheless, the challenges persist regarding the insufficient software integration, data heterogeneity, balancing corporate investment returns, and inefficient complex geometric modeling. The experience and achievements in the application of digital technology are summarized. The problems encountered by digital technology in the design of infrastructure renewal projects at the present stage and its future development direction are proposed, which provides the new thinking and methods for the field of urban infrastructure renewal.

Keywords: infrastructure renewal; digitalization; BIM technology; road reconstruction; UAV oblique photography; pipeline robots; design collaboration platform

1 项目概况及背景

近年来,城市基础设施更新工作成为市政行业兴起的一种新兴基建方式。随着国家在前些年大规模发展基础设施建设,城市市政基础设施建设逐渐完善。然而,在社会经济发展的今天,居民高品质生活的需求日益凸显,老城区的市政基础设施服务能力却显得力不从心,因此城市基础设施更新行动刻不容缓。与新建市政道路不同,城市基础设施更新涉及的道路往往是已经破损的沥青路面、错综复杂的地下管网以及混乱不堪的空中电线。城市基础设施更新项目所面临的难点主要可以归结为以下四个方面:

首先,多专业交叉。城市基础设施更新项目设计通常涉及多个专业领域,如土木工程、城市规划、交通规划和环境保护等。不同专业之间需要紧密合作,确保项目设计的综合性和协调性。

其次,项目复杂程度高。城市基础设施更新涉及多个专业领域,设计任务繁重,需要不同专业之间的密切协作,确保设计方案的综合性和协调性。

第三,设计需具备系统性思维。城市基础设施更新项目设计不仅关注单个基础设施的更新,更需考虑整个城市的发展规划和整体布局。因此,设计时应该从系统层面出发,确保各项设施和功能之间的协调性和一体化。

最后,强调可持续性。随着城市人口增加和发展压力增大,城市基础设施更新项目设计越来越注重可持续性。设计时应兼顾环境、社会 and 经济效益,推动城市的可持续发展。

面对老城区现状,传统设计方式面临着巨大挑战。设计人员不得不在项目现场进行现场设计,解决现有城市基础设施更新难题。信息化、数字化技术的应用在很大程度上解决了这一难题,提高项目前期信息设计效率,从而更好地应对城市基础设施更新的挑战。

本次数字化技术在城市基础设施更新项目设计中的应用以镇原城市基础设施更新项目为例,主要包括对7条道路给排水老旧市政管线改造,市政管道改造范围内破坏的道路、人行道、标线等设施进行恢复还建。新建主干路两条,其中纬一路道路全长3 589.154 m,红线宽度48 m,设计车速40 km/h。东新街二期道路工程道路全长982.667 m,设计速度40 km/h,工程总投资6.5亿元。

2 数字化技术应用策略

本项目将数字化技术运用于城市基础设施更新设计,具体体现在利用无人飞行器、RTK、管线机器人等信息设备,对待更新道路路面、路基、现状管线等基础设施现状情况进行分类收集。这些数据帮助设计团队辅助决策更新改造项目范围和评估可行性。通过收集现状数据并结合BIM技术,实现城市基础设施更新项目的三维设计,并梳理总结基于管道机器人与BIM技术的联合排水管线更新设计方法。本项目旨在探索创新数字化技术在城市基础设施更新项目中的应用,为城市基础设施更新领域注入新的活力与可能性。

2.1 前期准备

项目设计团队分别在管理标准、基础模型库、硬件及软件四个方面为本项目做好准备。

管理标准方面完成城市基础设施更新项目BIM标准化管理制度及镇原城市基础设施更新项目BIM技术总体实施计划。

基础模型库方面,完成道路、管线、交通、照明、绿化等专业基础模型库的构建。

硬件方面准备工作站7台、大疆M300无人机2台、锐铂D2M五镜头相机一台、RTK1台、管道机器人1台。

软件方面主要使用大疆无人机软件系统、瞰景Smart3D、Bentley系列软件及跨界云空间平台。

2.2 无人机倾斜摄影建模

本次设计应用无人机倾斜摄影技术对项目影响区域进行实景建模,全面分析区域现状,优化工程设计^[2]。

无人机倾斜摄影及建模流程:

(1)航线规划,根据区域范围大小划分航飞分块,针对项目区域地形特点,采用仿地航线,航线高度180 m,地面分辨率小于3 cm。

(2)像控点布置,利用RTK布设56个像控点,以确保飞行测量精度,控制点间距300 m左右。

(3)航拍数据采集,历时5 d,对镇原县15 km²区域进行航拍,共收集64 465张实景照片。航拍选择光线充足的时段进行,相邻分区相接的地方,在同一时间段飞行,避免阳光投影偏差太大,造成数据处理时空三结算出错。

(4)航拍数据处理,利用国产实景三维建模软件瞰景Smart3D对航拍数据进行处理,生成三维实景模型,具有高精度的地理信息,见图1。

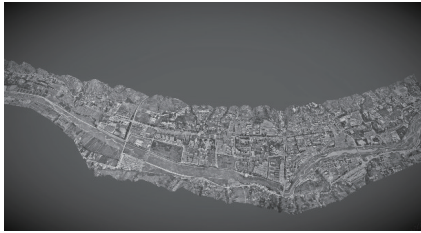


图1 镇原县实景模型

(5)对实景模型进行剪切、转换格式、生成正视图等处理,可以导入BIM软件或者CAD软件。

将处理好的实景三维模型与道路模型、管网模型、桥梁模型等融合,形成三维、可视的项目整体BIM模型,可以完成以下应用:

协助决策,确定城市基础设施更新基础设施范围、评估项目可行性与影响;

协助检查道路损坏情况,确定道路更新区域;

与BIM模型结合进行设计前后设计对比,展示道路生长模型,见图2;

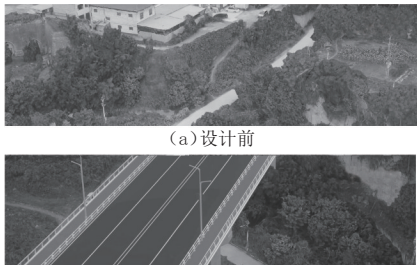


图2 设计前与设计后对比

进行立交等交通节点空间分析;

通过模型与实景结合协助发现设计中易忽略的环境影响问题;

在整个项目设计及项目建设过程中,用于设计各专业间以及各参建方之间的协调对接,具有高效、直观、节省时间成本的特点。

2.3 道路更新及附属工程

2.3.1 道路建模流程

针对本项目范围大,路网密的特点,在建模之初制定数字化实施方案时,就加以考虑;本次将需建模区域分三部分同时进行建模,每部分连接处选道路直线段,方便后续合并模型。

(1)道路平面线创建

结合镇原规划路网,在软件中运用积木法创建道路平面线型。

(2)道路纵断面创建

依据道路规划高程,给每条平面线创建纵断线型。

(3)道路横断面创建

创建路网内涉及不同宽度的横断面。

(4)廊道创建

赋予平面线廊道特性,以横断面为标准创建三维立体模型,见图3。



图3 道路廊道

(5)附属设施放置

确定道路的标线、路灯及树木位置,通过单元属性,以道路中线为基准线放置上述道路附属设施,见图4。

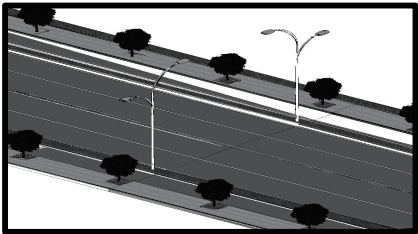


图4 道路附属设施放置

2.3.2 道路模型应用点

本次道路工程主要对改造7条道路及新建2条道路及1座立交及附属设施进行BIM建模^[1],本专业应用点如下:

(1)新建道路及立交方案可视化比选,见图5;



图5 立交方案比选

(2)道路改造前后可视化成果展示;

(3)道路细部建模设计展示及计量,如本次道路涉及的多级边坡设计(见图6)与纵向填挖交界设计;

(4)道路专业出图。

2.4 管线工程

本次城市基础设施更新项目在管线专业总结了

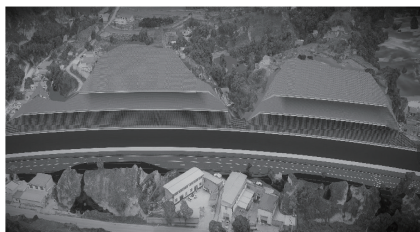


图6 高大边坡设计

基于管道机器与BIM技术的联合排水管线更新设计方法^[3],见图7。

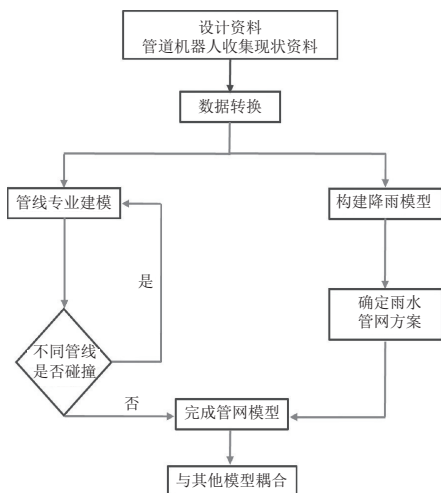


图7 总结管线更新设计步骤

步骤及应用点如下:

步骤1:在项目内容确定前,项目组成员操作管线机器人(包括管道机器人电视检测和管道QV潜望镜)检测收集管线现状资料。记录管线长度,管径标高,记录管道破损、阻塞位置,分析破损程度,也为该区域排水管网改造提供理论依据,确定哪些道路需要进行管线改造。

步骤2:根据阶段1收集现状管线相关数据,将数据格式修改转换导入BIM建模软件及水动力分析软件中。

步骤3:根据步骤2的已导入数据,建立待更新市政管线模型,并对管线模型根据更新要求,修改管径、管井及回路,形成改造后的管线模型,并检查管线碰撞。

同时在三维水动力分析软件中,完成待改造管网的水力模型,模拟重现期下管线的排水能力和溢流点位,运用水力坡降法对管道的排水能力进行评估,确定待改造管网管径及坡度的正确性,根据模拟结果修改管线设计,并依据设计结果修改管线模型(见图8)。形成最终管网模型,完成管网系统优化设计。

步骤4:将最终管网模型与道路模型耦合。完成井盖地面标高及井盖在路面的位置复核。提取管线工程量及管线出图,完成管线设计。

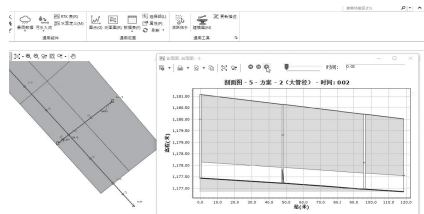


图8 管线水力模型分析

2.5 新建桥梁工程

本次城市基础设施更新工程涉及桥梁一座,数字化应用点如下:

(1)创建参数化构建、形成参数化构件库,模型调整仅需将相关参数调整即可而无需重复建模,可快速生成桥梁模型。

(2)结合实景、优化桥梁空间位置,避免因二维地形图不能准确表示复杂空间关系而引起的设计方案返工。

(3)结构、钢筋碰撞检查,在设计阶段对钢筋布置进行调整。

(4)本次桥梁设计通过三维模型完成三维出图,大幅减轻设计工作量,三维视角呈现结构,表达更准确、详细。

2.6 设计协同平台应用

本项目使用跨界云平台实现项目云端平台集中管理及多个终端应用,跨界云平台为面向设计方的模型发布平台,平台为北京跨世纪公司自研平台。设计人员通过平台建立了统一的设计标准,对项目模型的标准化管理起到重要作用,更有效的减少了与建设方沟通不畅不及时的问题。

主要应用点如下:

(1)实现三维轻量化交底和属性查询,建设方无需登录,通过网页链接或手机扫码即可查看本项目各专业模型及其属性信息,模型可实现实时更新,节约时间与成本。

(2)实现线上三维模型内部流程管理,从建模上传、流程设置、模型线上校审到交付存档,完成在平台实现。降低了三维设计工作难度,简化了校审核流程,提升效率,也实现了自动校审存档,形成了管理数据留底。

(3)在平台中实现资源管理、标准统一及构件统一管理,将各类设计数据集成在统一的平台中,实现数据的一体化管理,提高了信息的可靠性和完整性。规范标准库的共享,统一标准,使不同专业建模统一化,规范化。将已建好的构件库上传至平台,进一步

加强建模规范。

(4)三维模型线上交底,建设方在线浏览模型,在线登录平台对模型提出优化建议。

(5)完成设计阶段模型施工及工艺模拟。在施工交底阶段为各参建方进行桥梁建造模拟展示,提前发现问题。

3 数字化技术应用探索总结

(1)城市基础设施更新项目通常规模庞大,涉及多个专业领域和复杂的系统集成。数字化技术的应用帮助设计人员更好地实现不同专业不同要素之间的集成和协调理解。使用数字化平台,不同专业领域的设计人员可以共享和协同工作,从而更好地整合各个要素。

但现阶段软件及数字化平台整合度不够,需要更好的设计软件或数字化平台实现数字化技术在大规模城市基础设施更新项目中的建模和管理,包括道路、桥梁、隧道、管线工程等各种要素的准确建模和集成,并提供更好的信息管理和监控。通过数字化技术的应用,城市基础设施更新项目可以更高效地进行,从而实现更可持续和宜居的城市发展。

(2)无人机倾斜摄影技术、管道机器人探测技术的应用可协助建设方为城市基础设施更新项目的整体包装寻找理论依据,如项目包装阶段确认道路及管线损坏情况。管线更新是现阶段城市基础设施更新项目中的重点,管线机器人可帮助设计人员完成现状管线数据收集,完成现状管线建模,在与三维水动力分析软件分析结果的配合下,可完成整体管线更新系统设计。

而现状城市管线数据获取和整合难度大,道路管线更新设计涉及多种数据源,如地理信息系统(GIS)、管线机器人、现场测量、设备数据等。需要一个更易操作的整合平台将这些不同来源的数据整合到一致的模型中以克服数据格式不一致、质量参差不齐等问题。

(3)当引入数字化技术时,企业需要权衡投资和预期收益之间的关系。引入数字化技术需要考虑到设备购买、人员培训、系统集成、数据管理等方面的投入成本。因此,企业在决策时需要认真评估数字化技术的成本和投资回报问题。

数字化技术可以带来诸多实际的收益。例如,减少人力成本,减少错误率,并且提高设计产品质量。随着数字化技术的应用,企业可以更好地理解

客户需求,提供个性化的产品和服务,从而提升客户满意度和市场竞争力。另外,数字化技术还可以为企业带来新的商业模式、增值服务和创新产品,进一步扩大收入来源。

尽管引入数字化技术需要一定的投资,但它可以为企业带来实实在在的收益和价值。在现今市场环境中,企业需要认真权衡数字化技术应用的投资与预期收益之间的关系,以确保投资能够最大化地实现商业目标并创建持续的竞争优势。

(4)在没有二次开发插件的支持下,处理复杂几何形状和结构建模的效率可能会受到限制。这些几何形状可能涉及到多个层次的建模和参数化,需要进行精确的表示和处理。然而,缺乏适当的工具和功能支持,可能会导致建模过程低效且容易出现错误^[2]。

此外,处理复杂几何形状和结构可能会对软件系统的性能造成挑战。当模型变得过于复杂时,软件可能会出现性能问题,例如响应速度变慢或者崩溃。这不仅会影响工程师的工作效率,还可能导致项目延期或者额外的修复成本。

因此,在面对复杂几何形状和结构建模时,缺乏二次开发插件的支持可能会限制建模效率和质量,增加设计人员的工作负担,并且可能引发性能问题和数据一致性的挑战。因此,寻找或开发适合的二次开发插件或工具对于提高建模效率和质量至关重要。

4 结 语

本文详细总结了数字化技术在以镇原基础设计更新项目为例的城市基础设施更新项目设计中的应用与探索经验,其中包括无人机、管线机器人、BIM建模技术与设计协同平台的联合应用。也在总结中提出了现阶段数字化技术在基础设施更新项目设计中遇到的问题及未来发展方向。本项目数字化应用获得甘肃省第六届BIM技术应用大赛一等奖、中国公路学会“天工杯”数设计应用大赛银奖、中国建设劳动学会“图乘杯”BIM专项赛二等奖、中国市政工程协会第五届“市政杯”三类成果奖。获得了较好的社会影响。

参考文献:

- [1] 方俊杰.BIM技术在市政道路给排水设计中的应用研究[J].住宅产业,2021(4):80-82.
- [2] 范婧婧.BIM技术在市政道路设计中的应用[J].黑龙江交通科技,2020,313(3):60-63.
- [3] 杨倩.市政工程中BIM设计技术的应用[Z].2018.
- [4] 向卫国.新城区集群市政工程BIM技术应用研究[Z].2020.