

BIM 技术在道路施工中的应用研究

张 龙

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要:随着我国基础设施建设的不断推进和数字化转型的深入发展,建筑信息模型(BIM)技术作为工程建设领域信息化的核心工具,正逐步从房屋建筑向交通基础设施领域延伸。道路工程作为交通基础设施的重要组成部分,具有线性分布、地质条件复杂、参建方众多、协调难度大等特点,传统二维设计与管理模式已难以满足高质量、高效率、低风险的现代工程建设需求。本文旨在深入剖析 BIM 技术在施工组织设计优化、施工进度模拟(4D)、成本管理(5D)、质量安全管理、协同管理以及竣工交付等环节的具体应用场景与效益。特别地,本文聚焦于采用 Bentley 公司旗下 OpenRoads Designer for China 软件,重点解决道路主体结构与地下综合管线之间复杂的碰撞问题^[1]。研究表明,BIM 技术能够显著提升道路施工的可视化、精细化与智能化水平,有效减少设计变更、优化资源配置、降低安全风险、提高管理效率。然而,其全面推广仍面临标准体系不健全、专业人才匮乏、软件本土化不足及初期投入成本高等现实障碍。最后,本文对 BIM 技术在道路施工领域的未来发展趋势进行了展望。

关键词: BIM 技术;道路施工;4D/5D 模拟;协同管理;智能建造

引言

21 世纪,全球工程建设行业迎来深刻数字化变革,以 BIM 技术为代表的数字孪生理念重塑项目全生命周期管理模式。我国国家战略文件明确提出,要加快建筑业和交通运输业数字化等转型,推广新一代信息技术与传统基建深度融合。道路工程是关键基础设施,但传统施工管理模式依赖二维图纸等,存在信息割裂、沟通不畅等诸多弊端,如复杂施工中管线碰撞频发、山区建设土石方计算不精确、多标段施工工序衔接不畅等,制约质量效率提升,带来安全与经济风险。在此背景下,将 BIM 技术引入道路施工,构建集成多维信息的数字模型,实现从“纸上谈兵”到“虚拟建造”转变,既能解决痛点,也是推动道路工程转型升级的必由之路,研究其应用对提升基建水平意义重大。

1 道路工程的特点与 BIM 的契合点

道路工程具有鲜明的线性工程特征,其主要特点包括:(1)空间跨度大:项目沿线路线长,地形地貌变化复杂。(2)多专业集成度高:涉及路线、路基、路面、桥涵、隧道、交安、绿化、管线等多个专业。(3)外部环境干扰多:受既有构筑物、地下管线、交通流、天气等因素影响显著。(4)动态性强:施工过程是随时间推移而动态变化的。这些特点恰恰是 BIM 技术能够发挥巨大优势的领域。BIM 的三维可视化能力可以清晰展现复杂的线性空间关系;其强大的信息集成能力可以有效整合多专业数据,打破信息孤岛;基于时间维度的 4D 模拟

可以精准规划和动态调整庞大的施工组织;而其协同平台则能高效协调沿线众多的参建单位。因此,BIM 技术与道路工程的需求高度契合,为其提供了理想的数字化解决方案^[2]。

2 BIM 技术在道路施工中的核心应用场景

2.1 施工组织设计与方案优化

传统施工组织设计依赖二维 CAD 图纸和文字说明,难以直观全面展示大型临时设施布置、重型机械作业空间及复杂施工逻辑。BIM 技术引入改变了这一局面,项目团队可在三维虚拟环境中精细化规划推演施工现场。如城市高架桥施工,工程师可在 BIM 模型中精确模拟吊车相关参数,选定最优设备型号和站位点,规避潜在冲突;对于深基坑开挖等危险工程,BIM 可构建精细化模型,可视化比选施工工法,提前识别风险区域,优化施工顺序和支护参数,提升技术方案可行性与安全性,为后续施工奠定基础。尤为关键的是,道路工程作为典型的多专业集成项目,其地下空间往往密布着给水、排水、电力、通信、燃气等多种市政管线。在传统模式下,各专业设计分离,极易在施工阶段暴露出严重的空间冲突,即“碰撞”问题,导致返工、延误和成本超支。针对这一核心痛点,本项目采用 Bentley 公司专为中国市场开发的 OpenRoads Designer for China 软件。该软件深度集成了中国本地的设计规范与工作流程,其强大的多专业协同平台能够将道路、桥梁、隧道及所有地下管网模型统一整合至一个中央 BIM 模型中。在此基础上,

软件内置的自动化碰撞检测（Clash Detection）引擎，可在设计深化阶段就对模型进行全面扫描，精准识别并高亮显示所有硬碰撞（实体几何相交）和软碰撞（间距不符合安全或检修规范）。通过这种“虚拟建造”手段，项目团队能够在施工前发现并解决 90% 以上的潜在冲突，从根本上杜绝了因管线碰撞导致的现场停工和设计变更，极大地保障了工程的顺利推进与成本控制。

2.2 D 施工进度模拟与动态管控

4D BIM 技术是 BIM 在施工阶段极具革命性的应用之一，它关联三维几何模型与详细施工进度计划，构建“空间 + 时间”的四维动态模型。实施时，先合理拆分 BIM 模型，按施工流水段或工作分解结构（WBS）将其划分为可独立施工的单元；再将利用斑马进度等专业进度管理软件制定的施工计划，逐项绑定到对应模型单元上。完成关联后，借助 4D 模拟引擎，施工过程能以动画直观展现。管理者拖动时间轴，可清晰看到任一时间节点的工程形象进度、工序搭接关系及资源投入情况，打破传统甘特图的抽象性，促进各方对计划的理解与共识。此外，4D 模拟的价值不止于可视化展示，在项目执行过程中，通过录入实际进度数据并与计划模型进行对比，系统可自动高亮显示进度滞后的区域，并分析其对后续关键路径的影响，帮助项目经理前瞻性地识别工期风险、追溯偏差原因并及时调整策略，从而实现对施工进度精细化管理。

2.3 D 成本管理与资源优化

在 4D 模型基础上集成成本信息，便形成 5D BIM 模型，它实现工程量、进度与成本实时联动，为项目成本控制提供高精度。其核心是建立与 BIM 模型构件精确关联的工程量清单数据库，含各项工作综合单价或定额信息。4D 模拟推进时，系统自动实时统计已完成模型单元工程量，计算动态成本，生成可视化成本曲线，改变传统成本管理事后核算、粗放控制的模式。项目前期，管理者可利用 5D 模型快速估算比选不同施工方案成本，选性价比最优路径；施工中，月度计量支付高效，系统依实际完成工程量自动生成准确计量报表，减少人工计算错误与合同争议。此外，系统持续对比实际与预算成本，即时揭示偏差并精确定位，为成本纠偏提供靶向。同时，5D 模型能驱动资源优化配置，依进度计划自动生成未来人力、材料和机械设备需求计划，助管理者均衡投入资源，避免窝工浪费与工期延误。

2.4 质量与安全管理

BIM 技术为提升道路施工的质量与安全管理水平开

辟了全新的路径。在质量管理方面，项目团队可以将国家及行业的质量验收规范、检验批的划分原则、关键工序的质量控制点等信息，直接嵌入到 BIM 模型的相应构件属性中。现场质检员只需通过移动终端扫描构件上的二维码，即可即时调取该构件的所有质量要求、施工工艺说明以及历史检验记录，确保检验工作有据可依、过程可追溯。对于混凝土强度、路基压实度等需要长期监测的关键指标，BIM 模型还可以与物联网（IoT）传感器进行集成，实现数据的自动采集、上传与预警，一旦指标偏离预设阈值，系统便会自动报警，提醒相关人员介入处理。在安全管理领域，BIM 的应用同样卓有成效。利用三维模型，安全工程师可以在施工前对整个工地进行全面的危险源辨识，并在模型中直观地标记出临边洞口、高处作业区、大型设备操作半径等高风险区域，进而制定并可视化展示相应的安全防护方案^[3]。更进一步，结合虚拟现实（VR）或增强现实（AR）技术，可以为一线工人提供沉浸式的安全教育培训，让他们在虚拟环境中亲身体验违章操作可能导致的严重后果，这种体验式教育的效果远胜于传统的口头宣讲。此外，针对火灾、坍塌等重大突发事件，还可以利用 BIM 模型进行应急预案的模拟演练，检验疏散路线的合理性与救援方案的有效性，从而全面提升项目的应急响应能力。

2.5 多方协同管理与信息共享

道路施工项目参与方众多，包括业主、设计、施工、监理等，信息传递链条长、效率低，易因信息不对称引发误解、延误和纠纷。BIM 协同平台（如 Autodesk BIM 360、广联达协筑等）为解决这一问题提供了有力工具。该平台为所有参与方打造统一、透明的信息门户，各方能上传、查看、评论和更新相关模型、图纸、文档及沟通记录。中央模型的修改会实时同步给所有授权方，并自动记录操作日志，保证项目信息的唯一、时效和可追溯。这种基于单一数据源的协同模式，压缩了信息传递层级和时间，大幅降低沟通成本。比如，施工单位现场发现设计图纸与实际不符，可直接在模型上标注问题并发起协同会审流程，设计方收到通知能立即在线查看、修改并反馈，过程高效闭环。这种无缝协同机制提升了决策效率，改善了各方合作关系，为项目顺利推进营造了良好组织环境。

2.6 竣工交付与数字资产移交

传统的竣工资料交付方式以纸质文件或分散的电子文档为主，不仅查阅困难、易损毁，而且信息碎片化，难以支撑后期的高效运维。基于 BIM 的竣工交付模式则彻底颠覆了这一传统。它要求将一个包含完整、准确、

结构化信息的“数字孪生体”移交给项目业主。这个竣工 BIM 模型不仅仅是最终建成形态的三维几何表达,更是一个集成了海量非几何信息的数据库,其中包括所有设备的技术参数、材料的质保书与检测报告、隐蔽工程的施工影像、综合管线的空间坐标及属性、以及各类系统的操作维护手册等^[4]。这份宝贵的数字资产,为道路工程后续的养护维修、改扩建决策、资产管理乃至智慧交通系统的接入提供了坚实的数据基础。例如,当未来需要对某段地下管线进行改造时,运维人员无需再进行大规模的开挖探查,只需调取竣工 BIM 模型,即可精准定位管线的位置、材质、埋深及与其他设施的相对关系,从而制定出最安全、最经济的施工方案。这种“建为管用”的理念,真正实现了工程项目全生命周期的价值最大化。

3 面临的挑战与对策

尽管 BIM 技术优势明显,但在道路施工领域的全面推广仍面临诸多挑战:(1)标准体系不健全:国家和行业层面的道路工程 BIM 标准仍在完善中,导致各项目模型深度、数据格式不一,难以实现数据的有效传递和复用。对策:应加快制定统一的分类编码、建模深度(LOD)、交付标准等,建立行业通用的数据字典。(2)专业人才严重匮乏:既懂 BIM 技术又精通道路施工的复合型人才稀缺。许多施工单位的 BIM 团队仅限于建模,未能深入业务。对策:加强校企合作,改革土木工程专业课程体系;同时,对现有工程技术人员进行系统性 BIM 培训,培养“BIM+业务”的骨干力量。(3)软件本土化与集成度不足:国外主流 BIM 软件在处理中国特有的道路设计规范、工程量清单、定额等方面存在水土不服。各软件之间数据互通性差,形成新的信息孤岛。值得肯定的是,像 OpenRoads Designer for China 这样的本土化专业软件,正逐步弥补这一短板,其针对中国市场的深度定制为解决特定工程难题(如碰撞检测)提供了有力工具。对策:鼓励国产

BIM 软件研发,特别是针对交通行业的专业插件和平台;推动基于 IFC 等开放标准的数据交换。(4)初期投入成本高:硬件、软件、人员培训等前期投入较大,对于中小型项目或企业而言,投资回报周期较长,积极性不高。对策:政府可通过补贴、评优加分等方式引导;企业应从战略高度看待 BIM 投入,将其视为提升核心竞争力的长期投资。

4 结语

本文系统研究 BIM 技术在道路施工中的应用得出结论:BIM 技术凭借可视化等核心优势,能有效应对道路施工的复杂性等挑战,在施工组织优化等关键环节展现出显著应用价值与经济效益。通过采用 OpenRoads Designer for China 等专业化、本土化的 BIM 工具,尤其在解决地下管网与道路结构的碰撞问题上取得了突破性进展。其成功应用依赖健全标准体系、专业人才、适配软件及管理层面重视投入。当前,BIM 在道路施工领域处于从“可用”向“好用”“必用”过渡的关键阶段,机遇与挑战并存。展望未来,BIM 技术在道路施工中将深度融合新兴技术,如与物联网等结合实现施工进度全自动识别与偏差分析、利用 AI 预测质量缺陷和安全风险;价值边界向全生命周期延伸,成为智慧城市运行管理数据底座;基于云端的协同平台更便捷,打通应用“最后一公里”。BIM 技术是推动基建行业高质量发展的引擎,需正视挑战、积极创新以助力宏伟目标实现。

参考文献

- [1] 崔刚. 基于 BIM 技术的道路施工质量控制 [J]. 中国品牌与防伪,2025,(06):87-89.
- [2] 万子源.BIM 技术在道路桥梁施工进度可视化管理中的应用 [J]. 居业,2025,(12):202-204.
- [3] 唐为. 基于 BIM 技术的道路桥梁施工全过程精细化管理模式研究 [J]. 智能建筑与智慧城市,2025,(08):87-89.
- [4] 刘江南,喻志均.BIM 技术在城市道路施工中的应用 [J]. 科技创新与应用,2025,15(11):177-180.