

BIM 技术在公路桥涵隧道工程施工全过程中的应用

鲁 维

四川省交通建设集团有限责任公司 四川 成都 610041

【摘 要】：公路桥涵隧道工程具有结构类型多、施工工序复杂、专业交叉密集及现场风险因素多等特征，传统施工管理易出现信息割裂、协调效率偏低和过程控制滞后等问题。BIM 技术依托三维模型、数据集成和信息共享，可应用于施工策划、碰撞检查、进度模拟、质量管控及安全管理等环节，形成贯穿施工全过程的数字化协同机制，提升施工组织精度与工程综合管理质效。

【关键词】：BIM 技术；公路工程；桥涵施工；隧道施工；全过程管理

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.071

引言

公路桥梁、涵洞及隧道工程施工涉及测量、结构、机电、材料、设备与现场组织等多专业协同，施工信息分散、工序衔接复杂及风险识别不及时容易影响建设质量和进度。BIM 技术能够将工程模型与施工数据进行关联，为方案校核、施工模拟、现场协调、质量追踪和安全预控提供数字化支撑。如何发挥 BIM 技术在施工全过程中的协同管理优势，成为公路工程精细化施工需要研究的关键问题。传统模式下各专业图纸、变更单、施工记录分散保存，现场人员获取最新资料需要多次核对，数据不一致的情况时有发生。BIM 技术以构件为基本单元组织工程信息，能够把设计参数、施工状态和质量资料集中在统一模型中，减少信息在多环节传递中的损耗。将三维模型与进度计划、资源安排相结合，还可以对关键工序的先后关系进行可视化表达，使施工组织安排更加直观。

1 公路桥涵隧道施工中 BIM 技术应用基础及管理制约

公路桥梁、涵洞与隧道工程施工对象差异明显，桥梁涉及桩基、承台、墩柱、梁体及附属结构，涵洞受地形、排水和路基施工影响较大，隧道则具有围岩条件复杂、工序循环连续和隐蔽工程比例高等特点。BIM 技术进入施工阶段后，已经由单纯三维建模逐步延伸至场地布置、施工方案模拟、复杂节点深化、工程量复核和可视化技术交底等环节。施工人员可借助模型识别构件空间关系，对支架体系、临建设施、机械作业范围及交叉工序进行预演，降低二维图纸信息表达不充分造成的理解偏差。应用过程中，三维模型能够直观呈现构件之间的空间关系，对管线、预埋件与结构主体的交叉部位进行碰撞检查，提前发现二维图纸中不易察觉的冲突。工程量复核环节可依据模型属性自动汇总混凝土方量、钢筋重量和模板面积，为材料计划与成本核算提供参考。施工模拟和可视化交底则以模型为载体展示工序顺序、作业区域和安全要点，帮助作业人员快速理解施工要求，减少因理解差异而产生的操作偏差。

现阶段 BIM 应用仍存在较明显的管理约束，突出表现为模型与施工业务之间联系不够紧密。部分项目模型建立完成后

主要服务于展示、汇报和技术交底，没有同步接入施工进度、质量验收、材料使用及设备运行数据，模型难以反映现场真实状态^[1]。设计模型向施工模型转换时还可能出现构件编码不统一、参数属性缺失、模型精度与施工需求不匹配等情况，导致后续深化需要重复建模。桥梁、涵洞、隧道分别由不同专业团队负责时，模型版本管理和数据交换标准不一致，也容易形成信息孤岛。信息孤岛一旦形成，各专业之间的数据交换往往依赖人工整理，重复录入既增加工作量，也容易产生错误。模型更新不及时还会使技术交底、质量验收使用的资料与现场实际不符，削弱管理人员对施工状态的判断能力。要解决这些问题，需要在项目初期明确模型用途、构件编码规则和数据交付要求，使建模工作与施工管理需求相匹配，为后续深化应用打好基础。

施工管理机制的不完善同样限制 BIM 价值释放。部分项目缺少统一的 BIM 实施标准，对模型精度、信息颗粒度、更新频率、责任主体和成果交付要求界定不清，造成技术人员建模深度与管理人员实际需求脱节。施工现场网络环境、移动终端配置和数据采集方式不足时，模型信息难以及时传递到作业面，现场问题仍依赖纸质记录和人工沟通处理。BIM 岗位与工程、测量、质量、安全、物资等岗位之间若缺乏稳定的数据协作机制，信息更新容易滞后于施工进度。由此形成的关键制约并非单一软件能力不足，而是模型标准、业务流程、数据更新和岗位协同尚未形成统一体系，影响 BIM 由辅助工具向全过程管理平台转变。岗位协同方面，工程、测量、质量、安全、物资等岗位对模型信息的需求各不相同，模型应能够按照岗位职责提供相应视图和数据口径。现场采集的影像、检测数据和验收记录需要经过分类整理后写入模型，形成可供多岗位调用的信息记录。只有把建模、录入、更新和维护职责落实到具体岗位，模型才能保持与施工进度同步，避免成为脱离现场的形式化成果。

2 BIM 技术贯穿桥涵隧道施工全过程的应用路径

施工准备阶段应将 BIM 模型与施工组织设计同步建立关联，根据桥梁、涵洞和隧道不同结构特点完成模型深化。桥梁工程可重点完善桩基、承台、墩柱、梁体、支座及附属构造参

数,涵洞施工应纳入基坑、基础、洞身、翼墙和排水系统信息,隧道模型则需反映洞口、初期支护、二次衬砌、仰拱及机电预留空间。借助三维场地模型对便道、材料堆场、加工区、起重设备、临时用电和排水设施进行空间校核,并将施工进度计划与模型构件绑定,形成可视化施工模拟。针对跨线桥、大跨度现浇段、狭窄洞口和交叉作业区域,可提前识别机械回转半径冲突、临时结构干涉和作业面不足等问题,使施工方案在进入现场前完成针对性调整。场地布置校核中,模型还可对材料堆场容量、机械回转半径、运输通道宽度和临建设施位置进行综合验证,使施工平面布置与现场条件相互适应。针对隧道洞口段、桥台台背回填和涵洞接长等易产生质量通病的部位,可在模型中设置专项控制点,将工艺要求、验收标准和责任人信息集中标注。模型应用与施工组织设计的结合越紧密,前期策划对现场实施的指导作用就越明显。

进入实体施工阶段后,BIM应用重点应由模型展示转向过程控制。桥梁桩基成孔、钢筋笼安装、混凝土浇筑及梁板架设等工序,可将测量成果、施工记录和验收信息挂接至对应构件,形成可追溯的质量信息链。涵洞施工可利用模型控制基础标高、轴线位置、流水坡度和洞身尺寸,并结合路基填筑进度协调施工界面^[2]。隧道施工则可将围岩级别、开挖循环、超前支护、初支厚度、监控量测和二衬施工状态纳入模型管理,实现施工状态与空间位置对应。进度管理中,可利用计划模型与实际完成量进行动态比对,识别滞后工序及资源配置偏差,为机械调度、材料供应和作业班组调整提供数据依据。工序衔接控制方面,桥梁上部结构施工与下部结构养护之间、隧道开挖与衬砌之间、涵洞施工与路基填筑之间都存在时间与空间上的先后关系,模型可以将这些关系转换为可视化的工序逻辑,辅助管理人员安排作业顺序。质量检验批、隐蔽工程验收和计量支付等管理环节与模型构件关联后,各类资料的查找和汇总效率明显提高,工程量的确认也更有依据。

全过程应用还需要建立现场信息回流机制,使BIM模型能够随施工状态持续更新。质量巡检发现的尺寸偏差、结构缺陷和隐蔽工程问题,可利用移动终端进行定位、拍照和责任关联,并在模型中生成问题闭环记录;高边坡、深基坑、隧道掌子面及大型起重作业等高风险区域,可将监测数据和风险点位映射至模型,实现异常信息快速识别。设计变更发生后,应同步修正构件参数、工程量和施工计划,避免模型信息滞后于实体工程。统一构件编码、数据接口和审批流程,可使技术、进度、质量、安全、物资等业务共享同一信息载体,逐步形成“模型承载信息、现场产生数据、数据驱动调整”的施工全过程管理路径。现场信息回流还应覆盖材料进场、设备使用和人员作业等日常管理内容,使模型反映的不只是结构状态,也包含资源消耗和施工组织情况。对模型数据的访问可按照岗位设定权限,保证信息在共享的同时兼顾数据安全。定期组织模型评审

和更新检查,能够及时纠正录入错误和滞后信息,维持模型与实体工程的一致性,为全过程管理提供可靠的数据支撑。

3 BIM 全过程应用的工程成效及数字化管理深化

BIM技术贯穿桥涵隧道施工全过程后,工程管理效果主要体现在方案执行精度、工序协调效率和现场信息响应速度的改善。桥梁施工中,构件定位、支架搭设、梁体架设及交叉作业关系能够提前完成空间校核,减少因施工条件判断偏差产生的返工。涵洞工程可借助模型核对结构尺寸、基础高程和排水方向,降低测量放样及结构接口误差。隧道施工中,开挖、支护、仰拱、二次衬砌等循环工序与模型状态对应后,管理人员能够更加清晰地掌握掌子面推进、工序间距和施工资源占用情况。施工计划与实际完成量持续比对,也有利于及时发现节点偏差,使设备调配、材料供应和人员组织更加贴合现场施工节奏。管理成效还体现在决策效率的提升上,各层级管理人员通过模型能够快速了解关键部位的施工状态和风险信息,减少信息逐级汇报带来的时间损耗。多专业交叉作业的界面管理更加清晰,接口部位的工序安排和验收责任能够提前落实,减少施工中的相互干扰。随着模型数据的持续积累,项目在工序组织、资源调配和进度控制方面的经验也可以形成标准化的数据资产,为同类工程施工提供参考。

质量与安全管理成效则更多表现为管理对象由分散记录转向可定位、可查询和可追溯。桥梁钢筋安装、预应力施工、混凝土浇筑等关键质量信息与构件建立对应关系后,验收记录能够按照结构部位快速调用,减少纸质资料与实体工程脱节的问题^[3]。隧道围岩变化、监控量测、初期支护质量以及隐蔽工程记录进入模型数据库后,可形成连续的施工履历,对异常沉降、收敛变形和支护状态进行综合判断。高空作业、临边防护、起重吊装、洞内通风等危险源也可在模型中进行空间标识,使安全交底和巡检对象更加明确。问题处理结果同步关联责任单位、整改时限和复查状态后,质量安全管理由事后统计逐步转向过程闭环控制。对常见质量问题的统计分析也变得更加便捷,按构件类型、结构部位和施工班组对问题进行归集后,可以识别薄弱环节并有针对性地加强控制。安全管理的重心由被动应对转向主动预防,风险点的辨识、评估和管控措施在模型中留有记录,检查整改过程完整可查。人员培训和技术交底结合模型开展后,作业人员对安全要求的理解更加具体,现场执行效果也相应提升。

数字化管理深化应进一步强化BIM模型与现场感知数据、施工管理平台及智能分析工具之间的联动。物联网设备可采集结构位移、环境参数、机械运行和人员定位信息,并按照构件编码或空间坐标写入模型,提升施工状态识别的实时性。结合数字孪生技术,可建立实体工程与虚拟模型之间持续映射关系,为施工阶段的状态预测、风险研判和方案调整提供更完整的数据基础。后续管理还应加强模型轻量化、数据标准化和跨

平台接口建设,避免不同系统之间形成新的信息壁垒。BIM由单一建模工具向施工数据中枢延伸后,可进一步支撑竣工模型移交、资产信息整理和运营维护数据继承,使公路桥涵隧道数字化管理链条更加完整。数据标准化是数字化管理持续深化的基础,构件分类、属性字段、单位系统和编码规则的一致性能保证不同来源的数据顺利汇入模型。移动端应用可帮助现场人员随时查看模型信息和上报施工数据,缩短数据采集与模型更新之间的时间间隔。随着工程进入收尾阶段,竣工模型还可以与验收资料、设备清单和运维要求一并移交,为后续养护管理提供完整的信息基础。

4 结语

BIM技术应用于公路桥涵隧道施工全过程,能够增强复杂

结构信息表达、施工组织协调、进度控制及质量安全管理协同性。针对模型与现场业务融合不足、数据更新滞后等问题,应完善模型标准、信息反馈和多专业协同机制,并加强物联网、数字孪生等技术融合。由模型应用向数据驱动管理深化,可进一步提升施工决策精度、风险控制能力和工程数字化管理水平。实际应用中应根据工程特点和现场条件分阶段推进,先以可视化交底、碰撞检查和进度模拟等见效快的环节为切入点,再逐步扩展至质量、安全、物资和成本等管理领域。建立起稳定的实施组织和反馈机制,重视人员培训和标准执行,才能使BIM技术真正融入日常施工管理,持续发挥其在复杂公路工程建设中的支撑作用。

参考文献:

- [1] 郭世杰,张丽焕,李绪花.基于BIM技术的公路工程监理质量管控体系构建与应用[J].建设监理,2025,(7):89-91+128.
- [2] 朱广森.试验检测在桥涵等结构检测中的应用[J].运输经理世界,2023,(33):92-94.
- [3] 赵弘正,邓杨.路桥过渡段路基路面设计要点及控制沉降对策探讨[J].交通科技与管理,2023,4(10):150-152.