

基于 BIM 技术的山区高速公路地质勘察设计

张其国 田世瑶

天津市政工程设计研究总院有限公司 天津 300051

摘要: 山区高速公路因地形地质复杂、交通不便,传统勘察设计方法存在信息传递不畅、成果展示不直观等问题。基于BIM技术,可构建含丰富地质信息的三维模型,实现勘察数据融合与动态管理。该技术不仅直观呈现地质结构,还能优化隧道支护、校核桥梁桩基,为山区高速公路设计提供精准、高效的技术支撑,显著提升工程质量和安全性。

关键词: BIM技术; 山区高速公路; 地质勘察设计

引言: 在山区高速公路建设中,复杂多变的地质条件是关键挑战,传统地质勘察设计方式存在信息碎片化、协同效率低、可视化程度弱等弊端,难以满足现代工程高精度、高效能需求。BIM技术作为建筑领域数字化变革的核心工具,凭借其三维可视化、信息集成与协同管理优势,可有效整合地质数据,实现勘察设计全流程数字化,为破解山区高速公路建设难题提供创新解决方案。

1 BIM技术在地质勘察设计中的理论基础

1.1 BIM技术核心特征

(1) 三维参数化建模: 以参数化逻辑构建地质体、地形及构筑物三维模型,实现各要素间的动态关联。通过参数驱动模型更新,当某一地质参数(如地层厚度、岩性)发生变化时,模型可自动联动调整,保障地质信息的一致性与准确性。(2) 数据集成与共享: 构建全生命周期数据平台,整合勘察阶段的钻孔数据、试验数据,设计阶段的结构参数、管线布局,施工阶段的进度数据、质量检测结果及运维阶段的监测数据等,打破各阶段数据壁垒,实现数据的高效流转与共享复用。(3) 协同工作平台: 搭建多专业、多参与方协同交互界面,地质勘察、结构设计、水电设计、施工单位等可实时上传、查看相关数据与模型,通过在线批注、协同评审等功能实现高效沟通,助力跨领域决策的快速推进。

1.2 地质勘察设计关键需求

(1) 地质信息精准表达: 需清晰呈现地层界面的空间分布、断层的走向与规模、地下水位的埋深与变化趋势等核心地质要素,通过三维可视化技术将抽象的地质数据转化为直观模型,为设计方案制定提供精准依据。(2) 灾害风险动态评估: 针对滑坡、塌方、岩溶等潜在地质灾害,需实现灾害发生机理的模拟分析,结合实时监测数据进行风险等级评估,并构建预警机制,提前预判灾害隐患,保障工程安全。(3) 生态敏感区避让: 融合GIS技术的空间分析能力,精准识别生态敏感点(如自

然保护区、水源涵养地),通过模型模拟不同选线方案对敏感区的影响,实现选线的智能优化,降低工程对生态环境的破坏^[1]。

1.3 BIM与传统方法的对比优势

(1) 信息完整性: 突破传统二维图纸的局限性,将地质、结构、管线等多维度信息集成于三维模型中,直观呈现各要素的空间关系,有效减少因信息割裂导致的设计遗漏与偏差。(2) 协同效率: 传统方法中各专业沟通依赖线下会议与图纸传递,效率低下;BIM平台实现了实时协同,各参与方可同步获取最新信息,快速解决设计冲突,大幅提升勘察设计全流程的工作效率。(3) 决策科学性: 借助BIM的模拟分析功能,可对不同勘察方案、设计方案进行可行性模拟,预判施工过程中可能出现的地质问题,通过多方案对比优化,降低工程风险与造价成本,提升决策的科学性与合理性。

2 基于BIM技术的山区高速公路地质勘察设计

2.1 数据采集与预处理

(1) 多源数据融合: 山区高速公路地质条件复杂多变,单一数据难以全面反映真实地质状况,因此需实现多源数据的有效集成。具体而言,通过无人机航测获取大范围的地形地貌数据,精准捕捉山区沟壑、陡坡等宏观地形特征;结合地质钻孔数据获取地层岩性、厚度等深部地质信息,明确地下岩土体的分布规律;整合物探数据(如地震波、电磁法数据)探测隐伏断层、溶洞等不良地质体;关联GIS地图的行政区划、生态保护区、水文水系等基础信息,为后续勘察设计提供全方位的数据支撑,构建完整的地质数据体系^[2]。(2) 数据标准化: 多源数据存在格式不一、编码混乱、属性定义模糊等问题,严重影响数据的共享与复用。为此,需建立统一的数据标准化体系。一方面,制定统一的地层编码规则,对不同地层岩性进行分类编码,确保地层标识的唯一性;另一方面,明确各类数据的属性定义,规范钻孔深度、岩

性描述、物探异常值等核心属性的表述方式；同时，确定统一的数据存储格式，实现无人机航测影像、钻孔数据、物探成果等不同类型数据的兼容存储，为BIM模型的构建奠定规范的数据基础。

2.2 三维地质建模关键技术

(1) 地层建模方法：针对山区地层变化剧烈、存在地层尖灭、透镜体等复杂地质现象的特点，采用基于钻孔数据的TIN（三角网格）插值算法构建三维地层模型。该算法通过对离散的钻孔数据进行插值计算，生成连续的三角网格面来模拟地层界面，能够精准刻画地层的起伏形态和空间分布特征。对于地层尖灭区域，通过优化插值权重，确保模型能够准确反映地层逐渐变薄至消失的地质现象；对于透镜体等孤立地质体，通过补充钻孔数据或结合物探异常区范围，实现对其边界的精准勾勒，提升模型对复杂地质条件的适配性。(2) 地质体拓扑关系构建：三维地质模型的准确性不仅取决于单个地质体的形态刻画，更依赖于地质体间拓扑关系的合理性。在建模过程中，需严格遵循地质演化规律，确保地层界面、断层、地下水位之间的空间逻辑一致性。通过定义地质体的拓扑规则，明确地层的上下叠置关系、断层对地层的切割错动关系以及地下水位与地层的赋存关系，避免出现地层交叉、断层悬空、地下水位穿透地层等逻辑错误，保障模型能够真实反映地质体的空间关联特征。(3) 模型验证与修正：为提升三维地质模型的准确性和可靠性，需建立“建模-验证-修正”的动态优化机制。结合现场补充勘察数据（如新增钻孔、地质露头观测数据）对模型进行验证，对比分析模型预测的地层分布、不良地质体位置与现场实际情况的差异；针对验证发现的偏差，及时调整模型参数，修正地层界面形态、地质体边界范围等关键要素。同时，结合施工过程中揭露的地质信息持续更新模型，实现模型与实际地质条件的动态匹配，为后续设计提供精准的地质依据^[3]。

2.3 BIM模型在勘察设计中的应用

(1) 生态选线优化：依托三维BIM地质模型，整合地形坡度、地质稳定性、生态敏感区等多维度信息，开展选线方案的综合比选与优化。通过模型可视化分析，精准识别地形陡峭、地质不稳定区域以及生态敏感区（如自然保护区、水源涵养地），优先选择地形平缓、地质条件优越、避让生态敏感区的线路方案。例如，国道109新线高速通过BIM模型优化选线，成功减少2.27公里隧道建设，降低33万方挖土量，不仅降低了工程投资，还最大限度减少了对周边生态环境的破坏。(2) 灾害防治设计：山区高速公路易受滑坡、塌方、泥石流等地质灾害威胁，

利用BIM模型开展灾害场景模拟与防治设计优化。通过输入地形、地质、降水等参数，模拟滑坡体滑动路径、塌方范围等灾害演化过程，精准识别灾害风险点；基于模拟结果，优化边坡支护结构类型（如锚杆支护、格构支护）、支护参数以及排水系统布局，提升灾害防治效果。同时，可通过模型开展支护结构的受力分析，确保设计方案的安全性及经济性^[4]。(3) 土石方量精准计算：传统土石方量计算依赖二维图纸，易受人为估算误差影响，精度较低。基于BIM三维模型，可实现土石方量的自动化、精准化计算。通过模型提取线路范围内的地形高程数据与设计高程数据，自动计算填挖方量，生成详细的土石方量统计表。该方法有效规避了人工计算的主观误差，提升了计算精度。例如，陕西西镇高速采用BIM技术进行土石方量计算，精度提升90%，为土石方调配、工程造价控制提供了精准的数据支撑。

2.4 协同工作平台构建

(1) 多专业模型集成：构建统一的BIM协同工作平台，实现地质、路基、桥梁、隧道等多专业模型的整合。通过平台将各专业模型导入同一坐标系，建立专业间的关联关系，打破传统设计中各专业孤立工作的壁垒。例如，将地质模型与桥梁基础模型关联，可直观查看桥梁基础与地层岩性、不良地质体的空间位置关系，为桥梁基础设计优化提供依据；通过多专业模型的碰撞检查，提前发现设计冲突（如隧道洞口与边坡支护的干涉问题），避免后期施工返工。(2) 实时协作与审核：依托云端BIM协同平台，实现设计成果的在线评审、实时修改与版本管理。设计人员可通过平台上传设计模型与图纸，各专业工程师、审核专家可在线查看、批注设计成果，提出修改意见；设计人员根据意见实时修改模型，修改痕迹可追溯，确保设计沟通的高效性与准确性。例如，北京国道通设计院构建的BIM协同平台，实现了各专业设计人员的远程协作与设计成果的在线审核，大幅提升了设计效率^[5]。(3) 可视化交底：利用AR（增强现实）技术，将BIM三维模型投射至施工现场，实现设计意图的可视化交底。通过AR设备，施工人员可直观看到地下管线、地质构造、设计结构等虚拟信息与施工现场实际场景的叠加效果，清晰理解设计要求；对于复杂节点构造，可通过模型拆解、动态演示等方式，提升施工人员对设计方案的理解程度，减少因设计理解偏差导致的施工质量问题，保障施工顺利推进。

3 BIM技术在山区高速公路地质勘察设计领域的应用挑战与应对策略

3.1 技术挑战

(1) 复杂地质建模精度不足：山区高速公路沿线地形破碎、地质条件多变，岩性分布不均、断层褶皱发育等情况增加了建模难度，现有技术难以精准还原地质体空间形态。应对策略：针对性研发适用于山区复杂地质的高效插值算法，优化数据滤波与降噪处理工具，整合钻孔、物探等多源勘察数据，提升地质模型的真实性与精度，为设计决策提供可靠数据支撑。(2) 多软件数据兼容性问题：当前勘察设计流程中，不同阶段所用BIM软件（如建模软件、分析软件）数据格式不统一，存在数据丢失、交互不畅等问题，尤其国产化软件与国际平台（如广联达数维设计软件与Bentley平台）的数据互通存在壁垒。应对策略：加快BIM软件国产化研发进程，推动行业内数据格式与接口标准统一，建立跨软件数据交互规范，实现不同平台间的数据无缝对接与高效流转。

3.2 管理挑战

(1) 人员技能短板：现有勘察设计人员多熟悉传统技术手段，对BIM技术的操作应用、协同管理能力不足，缺乏兼具地质专业知识与BIM技术的复合型人才。应对策略：构建分层分类培训体系，开展BIM技术实操、协同设计等专项培训，鼓励员工参与行业交流与技能竞赛，同时完善人才引进机制，打造复合型人才队伍。(2) 数据安全风险：山区高速公路勘察设计数据包含地形地貌、地质构造等敏感地理信息，BIM协同设计过程中数据共享与传输存在泄露、篡改风险。应对策略：建立分级权限管理体系，明确不同岗位数据访问与操作权限，搭建安全可靠的数据存储与传输平台，采用加密技术与安全审计机制，全方位防范敏感信息泄露。

3.3 政策与标准完善

(1) 推动专项标准制定：当前BIM技术在地质勘察

设计领域的应用缺乏针对性标准，导致应用流程不规范、成果质量参差不齐。需加快推进专项标准制定，明确BIM模型构建、数据采集、成果交付等各环节的技术要求与验收规范，引导行业规范化发展。(2) 鼓励政企合作共建共享平台：行业级BIM数据共享机制缺失，导致数据资源难以有效复用。应鼓励政府与企业深度合作，搭建行业级BIM数据共享平台，整合区域内地质勘察数据资源，建立数据更新与共享机制，提升数据资源利用率，推动行业协同发展。

结束语

基于BIM技术的山区高速公路地质勘察设计，为工程建设带来了革新性改变。其三维建模与信息集成能力，使复杂地质状况一目了然，设计精准度大幅提高，多专业协同也更为高效顺畅。这不仅有效规避了诸多潜在风险，还显著提升了工程质量与建设效率。随着技术不断进步，BIM必将在山区高速公路勘察设计中发挥更大作用，推动行业迈向新高度。

参考文献

- [1] 吴琳琳. 基于BIM技术的山区高速公路地质勘察设计[J]. 交通世界, 2022, (35): 79-81.
- [2] 刘琦. 山区公路勘察设计中的问题及对策[J]. 四川建材, 2021, 43(02): 121-122.
- [3] 周先银. 山区高速公路勘察设计中的关键技术[J]. 建筑技术开发, 2020, 43(12): 126-127.
- [4] 邱野. BIM技术在地质勘察中的应用研究[J]. 科技创新, 2020, (24): 57-58.
- [5] 王朋伟. BIM技术在公路地质勘察中的应用[J]. 岩土工程技术, 2022, 36(06): 456-459.