

基于BIM+GIS技术的复杂地形道路工程勘察设计一体化研究

温少雄¹, 陈秀青²

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010;
2. 中国雅江集团有限公司, 西藏 林芝 860100)

摘要 为提升道路工程在复杂地形环境中的设计科学性与勘察精度, 研究融合基于BIM(建筑信息模型)技术的构件信息模型与GIS(地理信息系统)技术的空间分析能力的BIM+GIS技术的协同应用方法, 构建一体化的地形建模与设计优化流程, 以应对复杂地形条件下道路工程面临的地形起伏大及空间环境复杂等挑战, 弥补传统勘察设计手段在数据协同与设计效率方面存在的局限, 旨在为复杂地形道路工程提供更高效的勘察设计参考, 进而促进数字化基础设施建设。

关键词 复杂地形; 道路工程; BIM; GIS

中图分类号: TU19; TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.006

0 引言

在复杂地形区域道路建设工程的选线设计、结构布局及施工组织等方面存在较高难度且常受地貌特征、生态环境及空间约束等多重因素影响, 传统以二维图形表达为主的勘察设计流程难以全面反映三维地形环境与构造要素之间的关系, 进一步限制设计精度和工程决策效率。基于精细化构件建模且具备较强信息集成与可视化能力的BIM技术, 与擅长多源空间数据管理与分析的GIS技术深度融合, 为复杂地形道路工程提供新的技术路径。围绕BIM+GIS融合应用的理论基础与关键方法开展研究并探索面向全生命周期的一体化勘察设计流程, 对推动道路工程数字化转型和智能化发展具有重要意义。

1 BIM+GIS技术基础

1.1 BIM数据特征

BIM技术是一种以数字化方式表达建筑设施物理和功能特征的技术体系, 其核心是通过参数化构件构建三维模型, 在统一的信息环境中集成结构构件、材料属性、施工工艺和维护信息等多维数据。BIM模型的数据具有高精度和强关联性。例如: 在道路工程中, 不同路段的结构参数、坡度设计与构造节点都被嵌入在模型构件中, 与几何形态实现一体化表达。BIM技术以IFC为主的开放数据格式支持跨平台交换, 便于设计、施工与运维阶段的信息传递。相比传统二维图纸表达,

BIM模型的数据更新机制更灵活, 构件之间的逻辑依赖关系可以实现自动联动与动态反馈, 例如当桥梁基础标高发生调整时, 上部结构的受力计算结果可同步变化, 有效支持方案比选与工程决策。BIM技术在道路工程中的应用还体现在施工阶段的资源调度与进度管理, 其数据结构适合与施工管理系统集成, 实现工期模拟与工程量统计的联动控制。

1.2 GIS空间特征

GIS技术可对多源空间信息进行采集、存储、管理、分析与可视化表达, 并广泛应用于地形分析、土地利用规划与空间决策支持等领域, 在道路工程场景中能集成遥感影像、数字高程模型、地质调查结果与环境监测数据为工程选址与路线分析提供空间基础; 通常采用矢量与栅格两种基本形式, 矢量数据用于描述点、线、面等几何实体与其属性, 栅格数据用于表示如高程、坡度与植被覆盖这类连续空间变化特征的数据。在实际应用中, 凭借分辨率为5米或10米等级的DEM数据模型较准确地还原山地道路沿线高差变化趋势以进行地形坡度分析。在一项西南山区道路可行性研究中, 凭借其空间数据处理能力对比分析5条不同走向的路线方案显著提升选线效率。另外, GIS技术还具有将来自无人机航测、激光扫描和地质勘查的异构数据统一至地理空间框架下, 为后续BIM建模提供精准的空间参考的坐标系统转换与多源数据融合能力。

1.3 融合关键技术

BIM 技术与 GIS 技术融合需实现模型级信息无缝对接及空间级表达协同共享，两种技术虽在数据模型、坐标体系与表达粒度等方面存在本质差异，但可通过多种关键技术实现融合协同。以数据格式转换为基础环节，目前常以 CityGML 与 IFC 互转接口为桥梁，将 GIS 中具空间定位能力的建筑物模型转化为 BIM 中支持构件属性管理的格式，反向转换则要保留坐标与语义信息。在坐标系统对齐上，GIS 技术采用大地坐标系如 WGS-84 或 CGCS2000，而 BIM 技术通常基于相对坐标或局部工程坐标体系，需建立空间参考基准并引入坐标转换模型，以实现模型在同一空间范围的正确定位，如在道路与隧道一体化工程构建融合模型时，要对隧道起点桩号进行地理定位，并将 BIM 构件沿路线方向投影匹配，把误差控制在厘米级别以内。语义映射与属性继承作为融合重点，需建立 BIM 构件属性与 GIS 图层属性对应关系，并设计规则引擎实现属性同步与逻辑判断。可视化技术在融合中也起重要作用，如基于 WebGL 的浏览器可视化平台可加载三维 BIM 模型与 GIS 底图，支持多尺度与多角度数据展示和交互分析。当前在城市基础设施与线性工程中，已有多个平台集成 BIM 技术与 GIS 技术双引擎，如某交通管理系统集成路网 GIS 数据与交通设施 BIM 模型，支持路径分析、设施巡检与维养调度一体化运行，显著提升工程信息化水平^[1]。

2 复杂地形道路勘察应用

2.1 地形数据采集

在复杂地形区域的道路勘察中，因对地形数据精度与覆盖范围有较高要求，所以需结合无人机航测、激光雷达扫描、GNSS 定位测量和遥感影像解译等多种数据源进行综合采集，以支撑高质量建模与分析。其中，激光雷达因具备穿透植被的能力，适合在密林或高差起伏显著的区域获取高密度点云数据。例如：在一个典型山区道路项目中，使用固定翼无人机搭载激光扫描仪获取的原始点云数据量超 2 亿个点，平均点密度约为 12 点每平方米。GNSS 测量用于关键控制点的精化定位，将采集误差控制在 2 厘米以内，可作为地形模型的空间参考。遥感数据补充提供宏观地貌信息与地表覆盖情况，结合影像分辨率在 0.5 米等级的卫星数据，可辅助判断滑坡体分布与地质构造走向。在数据预处理阶段，需对采集的原始点云进行噪声剔除、分类分层与表面重构操作，以生成适合 BIM 建模与 GIS 分析的数字地形模型。

2.2 勘察模型构建

在地形数据采集完成后，综合地形表面、地质信息与水文条件构建道路工程勘察模型，形成具有空间精度与信息深度的三维表达体系；基于 BIM 平台构建的勘察模型，除包含地形表面轮廓外，还集成岩土分层、地下水位线与钻孔勘察记录等属性信息；模型中每一段路线具备桩号、高程、结构布置与周边环境约束等参数，以实现信息贯通与分析支撑。在地质体构建方面，常采用三维插值方法对钻孔数据进行空间还原，例如基于反距离权重法的地层面插值表达如下：

$$Z(x, y) + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (1)$$

其中 $Z(x, y)$ 为插值点的高程值， z_i 为第 i 个已知点高程， d_i 为插值点与第 i 个点的平面距离， p 为幂次因子。适用于构造变化平缓区域地层面构建、在高差剧烈地段需结合地质剖面图人工校核调整的该方法，对应的一个典型勘察模型通常包含 20 余层结构属性图层且总数据量超过 800 MB，构建完成后的模型需与路线方案同步调整以反映地形、地质与设计的互动关系，从而为工程决策与设计优化提供真实可靠的空间支撑。

2.3 信息集成分析

在复杂地形道路勘察过程中，实现 BIM 技术与 GIS 技术协同应用的核心环节——信息集成分析，需对多源数据进行统一管理与关联计算；GIS 平台提供的多层次空间分析功能，可对道路拟合线与地质断裂带、水系分布、土地利用红线等关键要素进行叠加分析，以识别潜在冲突区域与高风险段落；BIM 模型中的构件信息与 GIS 图层的语义关联，如桥墩基础位置信息与地下水位数据的空间匹配，可评估浸水风险与施工可行性。在一个典型山区干线道路项目中，通过集成分析识别出超 30 处滑坡隐患点，其中 8 处位于初步路线缓坡段，为路线走向调整提供关键依据。信息集成包含的高程差分析、剖面生成与断面稳定性评估等功能，在复杂边坡区域可自动生成典型断面并预测坡面失稳角^[2]。

3 道路设计一体化应用

3.1 线形优化设计

在复杂地形条件下，将满足通行安全与行驶舒适性要求，兼顾地形适应性、用地控制与工程造价多重要素融入道路线形设计，而 BIM 技术与 GIS 技术集成环境为线形方案的快速生成与智能优化提供技术基础。

在 GIS 环境中分析不同地貌类型空间分布并确定路线走廊合理范围后,于 BIM 平台完成路线中心线、高程线与纵横断面建模;通过三维地形模型与地质信息的可视化展示让设计过程更直观,使设计人员在设计过程中实时获取某一桩号位置的高程值、边坡坡度与周边地质构造信息以避免路线穿越不良地段。例如:在某山区道路项目,把初始方案最大纵坡从 7.2 度优化调整为 5.4 度,累计减少桥梁段长度约 310 米,降低填方量 12 000 立方米以及工程总投资约 960 万元。线形优化依靠路径分析与多目标评价模型,让设计人员在可行性、安全性、环境影响与经济指标间建立权重体系,形成综合评价结果,作为决策依据^[3]。

3.2 三维协同设计

将不同专业设计数据整合至统一模型并在可视化平台进行动态调整与信息反馈,此为实现 BIM 技术与 GIS 技术融合应用的核心阶段之一——三维协同设计的关键;道路工程涉及路线、桥梁、隧道、排水、防护等多专业,传统二维图形设计模式在信息传递与变更响应上存在滞后,而三维协同模型能实现多专业构件在空间位置的精确协调。BIM 平台对设计构件设定分类编码与空间属性,结合 GIS 系统空间索引能力,可实现对某一结构单元周边水文、地质与交通影响的快速分析。设计过程中任一构件调整会引起关联构件属性与空间位置自动更新,在协同平台可对比历史版本、评估变更影响范围与工程量变化情况。例如:在某市政干道工程中,三维协同设计模型集成路线中心线、20 座中小桥梁、6 座隧道及沿线附属设施,模型总数据量达 1.6 GB;项目团队通过统一的 BIM-GIS 协同平台在线评审设计成果,减少纸质图纸交流环节,使设计审查周期缩短 5 天、反馈修正次数减少至 3 轮以内,有效提高设计效率与成果一致性^[4]。

3.3 工程量分析

在复杂地形条件下,道路工程的工程量具有高度不确定性,构造物布设位置、边坡长度与地基处理方案的调整都将直接影响工程投入与施工计划。BIM 模型中构件具备属性数据与空间几何信息,可直接从模型中提取土方量、构件数量与材料用量。结合 GIS 的地形分析能力可进一步识别填挖交界线与边坡变化趋势,为工程量统计提供更具空间精度的支撑。例如:在某山区快速通道项目中,应用 BIM 与 GIS 融合技术对初步设计方案进行工程量分析,结果如表 1 所示。

表 1 工程量统计与对比

项目类别	初步方案	优化方案	差值
	工程量	工程量	
路基挖方(土方)(m ³)	184 200	161 700	-22 500
路基填方(土方)(m ³)	136 800	124 100	-12 700
桥梁结构段(延米)	1 290	980	-310
挡土墙(延米)	450	580	130
路基占地面积(m ²)	93 200	86 100	-7 100

从表 1 中可以看出,在优化方案中,路基挖方量减少 22 500 立方米,填方量减少 12 700 立方米,桥梁总长度缩短 310 米,相应地挡土墙长度有所增加,用于适应路线坡脚变化并减少桥梁工程投入。占地面积减少 7 100 平方米,有助于节约用地与降低征地成本。这种基于模型的工程量分析方式不仅能提供静态数量数据,还能根据设计调整动态更新结果,为设计优化与投资控制提供数据支撑。工程量分析结果还可导入成本估算系统,形成多版本造价对比报告,为决策提供更精细的依据^[5]。

4 结束语

本研究围绕复杂地形条件下道路工程勘察与设计一体化问题,探讨 BIM 与 GIS 融合关键技术路径并构建面向三维协同建模与分析体系,实现地形数据采集、勘察模型构建、路线优化与工程量分析等环节流程贯通与数据协同。研究成果表明,BIM 技术与 GIS 技术深度集成可提升地形适应性分析精度、增强设计阶段动态响应能力并推动道路工程向数字化、精细化与智能化方向发展。相关方法对提升复杂地形道路项目技术决策水平和工程实施效率具有积极的意义。

参考文献:

- [1] 郭仲明,陈东桥.BIM 技术在复杂山地场地规划与设计中的应用[J].山西建筑,2025,51(20):54-57.
- [2] 陈钰,黄海闻.BIM 技术在复杂地形污水处理厂中的应用与实践[J].工程建设与设计,2025(16):120-122.
- [3] 张翼.智慧施工技术在复杂地形公路工程中的应用探索[J].现代工程科技,2025,04(04):101-104.
- [4] 刘日煌,周泽勋.基于三维 GIS 的输电线路特高压张力架设仿真系统[J].自动化应用,2024,65(24):24-26,41.
- [5] 全强,张伟杰,尹航.基于 GIS 的废弃矿坑修复工程量计算方法研究[J].内蒙古水利,2023(01):12-14.