 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10307

The Application and Prospect of Intelligent Technologies in Highway Survey and Design

Chunyan Chen

Shanxi Changzhi Highway Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046000, China

Abstract

The rapid development of artificial intelligence, big data, remote sensing mapping, and BIM technologies is profoundly reshaping the entire process of highway survey and design. Intelligent technologies have transformed the traditional manual operation mode into a data-driven and algorithm-assisted precise operation, significantly enhancing the accuracy of surveys and the efficiency of designs. In the survey stage, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial photography, LiDAR, and intelligent geological recognition systems enable efficient collection and automatic processing of topographic and geomorphic information. In the design stage, intelligent route selection algorithms, AI-assisted scheme generation, and the construction of BIM collaborative platforms form an efficient digital design system. In the future, the deep integration of digital twins, machine learning, and full life cycle management will drive highway survey and design towards a higher level of automation and intelligence. Sorting out its application system will facilitate technological upgrades in the industry and provide theoretical references for engineering practice.

Keywords

intelligent technologies; highway survey and design; BIM; artificial intelligence; remote sensing mapping

智能化技术在公路勘察设计中的应用与前景

陈春艳

山西长治公路勘察设计院有限公司，中国 · 山西 长治 046000

摘　要

人工智能，大数据，遥感测绘及BIM等技术快速发展，正深刻重塑公路勘察设计全流程，智能化技术将传统人工作业模式转为数据驱动与算法辅助的精准作业，显著提升勘察精度与设计效率。勘察阶段无人机航测，激光雷达与智能地质识别系统实现地形地貌信息高效采集与自动处理，设计阶段智能选线算法与AI辅助方案生成及BIM协同平台构建高效数字化设计体系，未来数字孪生，机器学习与全生命周期管理深度融合，将推动公路勘察设计迈向更高水平的自动化与智能化，梳理其应用体系有助于行业技术升级并为工程实践提供理论参考。

关键词

智能化技术；公路勘察设计；BIM；人工智能；遥感测绘

1 引言

公路工程是国家基础设施建设的重要部分，勘察设计质量直接影响工程安全，建设周期与全寿命成本，传统勘察设计以人工现场作业和经验判断为主，面对复杂地形与海量数据处理及多专业协同需求时，效率与精度明显不足。人工智能，遥感，大数据及 BIM 等智能化技术的发展，为公路勘察设计提供了新路径。目前相关领域已有研究与实践成果，但全流程系统性集成与协同应用仍需深入探索，在行业数字化转型加速背景下系统研究智能化技术应用体系与发展方向，对提升公路勘察设计科学化水平具有重要理论意义与工程应用价值。

【作者简介】陈春艳（1975–），女，中国河南沁阳人，本科，副高级工程师，从事公路勘察设计研究。

2 智能化技术的理论基础与技术体系

2.1 智能化技术的核心概念与内涵界定

智能化技术是以人工智能、大数据、物联网、云计算为依托，以感知和计算、决策为三层联动机制，对复杂系统进行自动分析、精确控制的技术，在公路工程领域中它包括数据自动采集、算法驱动分析、多专业协同、工程全要素数字化表达这四个方面的内容。感知层实时获取地形、地质和环境信息，计算层依靠机器学习和深度神经网络来完成数据处理和特征识别，决策层把结果转化成设计指令或者优化方案，三层互相支撑形成基本架构，智能化同普通自动化最根本的区别就是具有自学习、自适应的能力，可以动态调节输出，在公路勘察设计当中是科学决策的中心引擎，也是行业数字化转型的重要支撑 [1]。

2.2 公路勘察设计的技术需求与适配分析

公路勘察设计包括地形测量、地质勘探、水文分析、线路优化等专业工作，各个专业对数据精度、处理速度、协同性要求不同，传统技术处理大范围、复杂的地形时效率低，智能化技术可以弥补短板，地形测量需要厘米级三维空间数据精度，遥感和激光雷达具有精度高、覆盖范围广的优势，地质勘探要融合分析多源异构数据，机器学习算法适合模式识别需求，线路优化要在多目标约束条件下选择最优方案，智能算法的并行计算能力可以实现大规模方案对比。各个环节的技术需求和智能化技术相匹配，构建智能化技术体系要以工程需求为出发点，根据不同的环节约束条件选择不同的技术方案，实现技术投入和工程效益的最佳匹配（见表 1）。

表 1 公路勘察设计各环节技术需求与智能化适配

勘察设计环节	核心技术需求	适配智能化技术
地形测量	厘米级三维空间精度	无人机航测，激光雷达
地质勘探	多源数据融合与异常识别	机器学习，深度学习
水文分析	流域模型与洪水频率推算	大数据分析，数值模拟
线路优化	多目标约束下的方案决策	启发式智能优化算法
协同设计	多专业数据共享与版本管理	BIM 协同平台

2.3 智能化技术与公路勘察设计的融合机制

智能化技术同公路勘察设计的融合不是简单的工具叠加，而是以数据流为驱动力对工程流程进行重塑，融合的核心是创建统一的数据标准和接口规范，使感知层的原始数据直接进入计算层的分析模型，再输出到决策层的设计平台，依靠数据、模型、决策三级链条来实现贯通。地形地貌数据经过传感器采集和算法预处理之后，进入地质识别或者三维建模模型，结构化成果导入 BIM 环境供工程师使用，这个链路要数据格式标准化、算法模型工程化封装以及平台接口开放，三者共同决定融合深度和效率，同时要坚守工程师决策权威，系统给出方案和依据最后由工程师来做出决策，人机协同是目前融合的基本模式，也是保证工程安全和技术合规的必要条件 [2]。

3 智能化技术在公路勘察阶段的应用

3.1 遥感与无人机航测的智能化数据采集

遥感技术和无人机航测相结合，为公路勘察提供高效的、低成本的地理信息获取方案，无人机航测单日作业面积可达几十平方公里，远远大于传统全站仪测量的效率，武两高速 37.18 公里的山区路段，用自适应航测策略，根据坡度和地物复杂程度来调节飞行参数，山区重叠率为 75% 以上，勘察周期比以前缩短了约 40%。航测影像经过智能算法可以自动识别出植被、水系和地质界线等要素，为三维建模和线路规划提供数据支持，无人机低空航测还可以克服卫星遥感在云雾天气下精度不足的问题，减少对气象条件的依赖，提高全天候作业能力。

3.2 激光雷达与地质感知的智能化处理

激光雷达（LiDAR）通过发射激光脉冲并接收回波信号，实现对地表三维点云数据的高密度采集，点云密度通常可达每平方米数十至数百个点。点云密度是评价激光雷达数据质量的核心指标，其计算公式为：

$$D=\frac{N}{A}$$

其中，D 为点云密度（点 /m²），N 为有效回波点总数，A 为扫描覆盖面积（m²），点云密度不足会造成微地形失真与降低地质判读精度，项目策划阶段需要根据地形复杂度来确定最低密度阈值，点云去噪、滤波、分类处理后可以准确还原地形，植被和地表形态给地质分析提供精细的空间基础。机器学习算法可以将点云和多光谱遥感影像结合起来，自动识别断层、滑坡边界和岩性等地质要素，武两高速利用无人机航测和激光点云创建数字孪生底座，采用智能算法提前发现边坡滑塌风险，把地质分析由经验定性变为数据驱动定量评价 [3]。

3.3 多源数据融合下的三维地形精准建模

多源数据融合是将无人机航测影像，激光点云与地面控制点数据及既有地质资料等异构数据整合至统一坐标系，通过空间配准与融合算法生成高精度三维地形模型的技术过程。空中三角测量（空三）是影像转化为三维模型的关键步骤，其核心数学原理基于共线方程：

$$x-x_0=-f\cdot\frac{a_1(X-X_S)+b_1(Y-Y_S)+c_1(Z-Z_S)}{a_3(X-X_S)+b_3(Y-Y_S)+c_3(Z-Z_S)}$$

其中，f 为相机焦距，(x_0,y_0) 为像主点坐标，(X_S,Y_S,Z_S) 为摄站空间坐标，a_i,b_i,c_i 为旋转矩阵元素，通过多像片联合平差求解外方位元素可重建地物三维坐标，武两高速公路以此技术将二维航测影像转为厘米级精度三维实景模型，为施工便道规划提供可靠地形底座 [4]。

4 智能化技术在公路设计阶段的集成应用

4.1 基于智能算法的选线优化与方案生成

公路选线是在满足技术标准、环境保护、工程经济性等多约束条件下，确定最优路线走向的过程，传统的选线依靠工程师的经验积累和手工比较，对于复杂的地形，方案搜索的空间很小，很难保证全局最优。智能算法的应用使得大规模方案并行搜索成为可能，遗传算法、蚁群算法、粒子群优化等启发式方法已经被用来求解选线目标函数最优化问题，各个算法在全局搜索能力、收敛速度、地形适应性等方面都有所不同（见表 2）。

某高速公路项目用内置算法对多个便道方案进行并行计算和量化比对，快速得到土石方量、占地面积、造价等重要参数，节约综合成本 10% 以上，证明智能选线算法在工程中具有明显的优势。工程实践证明，选择合适的算法类型要根据地形复杂程度和方案规模来决定，在保证计算效率的

同时也能保证质量。

表 2 选线优化典型智能算法性能对比

算法类型	全局搜索能力	收敛速度	适用地形
遗传算法	强	中等	复杂山地
蚁群算法	较强	较慢	网状路网
粒子群算法	中等	快	平原丘陵
模拟退火算法	强	慢	全地形

4.2 AI 辅助驱动的设计方案评估与验证

设计方案评估与验证属于公路设计的重要部分，传统的手工审图和专家评审方式存在周期长、主观性大的问题，而 AI 辅助评估系统依靠历史工程数据的深度学习，创建起设计参数和工程绩效之间的映射模型，可以迅速对新的方案进行评价，路基设计时 AI 模型可以考虑地质参数、填挖高度、荷载情况等要素，从而预估路基沉降的风险程度。随着数据量的增多，精度也会随之提高，桥梁方案评估则是将有限元仿真和机器学习结合起来，大大提高了结构安全校核的速度，减少了人工计算的依赖[5]。武两高速公路项目用“BIM+航测”技术做数据驱动的风险预控，在规划阶段就避开边坡滑塌和生态破坏的危险，削减土地占用和植被破坏，证明了 AI 助力评估的风险前置效果，把评价环节提前到方案形成之前，极大加快了设计更新速度，保证了工程决定更为科学。

4.3 BIM 协同平台支撑下的数字化设计体系

BIM 是公路数字化设计的主要载体，可将几何、材料、施工和运维等各方面信息整合到同一个三维模型里，支持多专业同时协作设计，传统设计依靠二维图纸来传递数据，容易造成信息失真、版本冲突，设计变更率较高，BIM 协同平台依靠统一的数据标准以及权限管理，使得各个专业成果可以及时更新并进行碰撞检测，从而大大减少设计变更的发生。武两高速项目将无人机航测、激光点云和 BIM 模型结合起来创建数字孪生底座，各个专业以统一可信的数据源为基础来设计消除信息孤岛，BIM 模型可以实现工程量统计、造价估算以及施工模拟等功能，把设计成果从图纸交付延伸到施工指导，构建起从勘察到设计的完整数字化闭环，为数字孪生全生命周期应用奠定了数据基础（见图 1）。

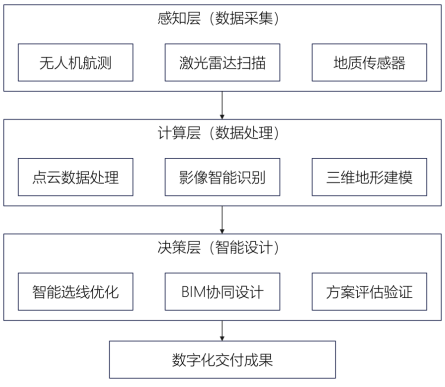


图 1 公路勘察设计智能化技术体系架构

5 智能化技术在公路勘察设计中的前景展望

5.1 数字孪生技术向全生命周期设计的延伸

数字孪生是以物理实体为原型、实时数据同步构建的高保真虚拟映射模型，核心是实现物理和数字世界的双向交互，在公路工程中，从勘察设计阶段向运营养护阶段延伸，形成了全生命周期数字化管理体系。勘察设计阶段的三维实景和 BIM 模型，在竣工之后会和监测以及流量数据进行对接，进而形成一个动态的孪生模型，工程知识可以持续地为养护服务提供支持，改扩建和经验复用使得边缘计算、5G 技术能够提高实时响应速度，从而达到预测性养护、灾害快速应对以及交通优化的目的，拓宽了智能化技术在公路全生命周期中的应用范围[6]。

5.2 大数据与深度学习的持续融合演进

大数据和深度学习相结合是公路勘察设计智能化发展的主要动力，历史工程数据的积累使深度学习模型在地质识别、路基沉降预测、桥梁结构评价等任务上越来越精确，多源数据的汇集使得工程分析更加全面，模型的泛化能力得到提高。迁移学习可以减少新工程对于本地数据的依赖，利用已经训练好的模型参数进行高效的预测，图神经网络提高了路网适配性评估的能力，未来自监督学习和多模态融合技术成熟以后，系统处理复杂地质和场景数据的能力会得到极大的提高，促进行业技术水平向更高的层次迈进。

5.3 智能化技术标准体系的构建与规范化

智能化技术在公路勘察设计上规模化使用要依靠健全的技术标准体系来支撑，目前的应用存在碎片化现象，数据格式不同，接口不兼容，交付规范缺失等问题，导致跨项目协同和规模化复制受到限制，标准体系应该涵盖数据采集、模型精度、算法可解释性、成果交付等各个方面，数据层面创建点云、遥感影像、BIM 模型统一编码，算法层面确定选型条件和精度门槛，成果层面规范审查和签认制度保证合规可追溯。依靠行业主管引导，高校和科研机构共同参与可以推动标准的实施，使技术规范化、规模化地应用到交通基础设施建设中，为交通基础设施高质量发展提供制度保障。

6 结语

智能化技术系统性地应用正在从根本上改变公路勘察设计的技术范式，遥感测绘、激光雷达完成高精度地理信息采集，智能算法协助选线优化、方案评价，BIM 平台支撑多专业协同设计，在各个阶段都表现出明显的效能优势，技术融合明显提高了勘察精度和设计效率，为工程决策提供了科学客观的数据支撑。未来数字孪生会促使公路勘察设计由“信息化辅助”变成“智能化主导”，推动着行业标准体系的协同推进技术研发、工程实践与规范建设，从而达成公路勘察设计全面智能化升级，给交通强国创建赋予有力的技术支撑。

参考文献

[1] 刘丽静.测绘技术在公路工程勘察设计中的应用[J].江西建材,2025(3):170-172.

[2] 阙君萍.AI技术在档案管理智能化设计中的应用[J].信息记录材料,2025,26(11):132-134.

[3] 徐敏.BIM技术在公路勘察设计中的应用分析[J].中国高新科技,2025(19):102-104.

[4] 张杨,宋平.智能化技术在建筑工程管理中的应用与前景[J].陕西建筑,2025(1):148-151.

[5] 张晓瑛.智能化技术在建筑电气设计中的应用分析[J].大众标准化,2024(10):142-144.

[6] 段光浩.公路施工中智能化监测技术的应用研究[J].智能建筑与工程机械,2025,7(10):93-95.