

Digital Survey and Engineering Design Parameters Precision Application

Jiefei Wang Yunqing Yu Songwei Zhao Hengzeng Pang

Shandong Jianyuan Engineering Testing and Appraisal Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266400, China

Abstract

The precision of engineering design parameters directly determines the safety, cost-effectiveness, and sustainability of construction projects. Traditional surveying techniques, constrained by low data collection efficiency, single-dimensional analysis, and challenging error control, struggle to meet modern engineering's demand for refined design parameters. This paper systematically investigates the application logic of core technologies—including BIM (Building Information Modeling), GIS (Geographic Information System), drone aerial survey, and 3D laser scanning—in survey data collection, processing, and analysis, based on the current development of digital surveying technologies. It establishes a precision mapping system of “data-model-parameter”. Verified through practical engineering cases, this system reduces error rates in critical design parameters such as topography, geological structures, and hydrological conditions by over 30%, providing reliable data support for engineering design and driving the transformation of construction projects toward intelligent and precise approaches.

Keywords

Digital survey; Engineering design parameters; Precision; BIM technology; Data modeling

数字化勘察与工程设计参数精准化应用

王洁菲 于云庆 赵松伟 逢恒增

山东建元工程检测鉴定有限公司, 中国·山东 青岛 266400

摘要

工程设计参数的精准度直接决定工程建设的安全性、经济性与可持续性。传统勘察技术受限于数据采集效率低、分析维度单一、误差控制难度大等问题,难以满足现代工程对设计参数精细化的需求。本文基于数字化勘察技术的发展现状,系统研究 BIM (建筑信息模型)、GIS (地理信息系统)、无人机航测、三维激光扫描等核心技术在勘察数据采集、处理、分析中的应用逻辑,构建“数据—模型—参数”的精准化映射体系。通过实际工程案例验证,该体系可实现地形地貌、地质构造、水文条件等关键设计参数的误差率降低30%以上,为工程设计提供可靠的数据支撑,推动工程建设向智能化、精准化转型。

关键词

数字化勘察; 工程设计参数; 精准化; BIM 技术; 数据建模

1 引言

工程设计是连接勘察与施工的核心环节,设计参数的精准度直接关系到工程结构安全、建设成本控制与运营效益提升。传统勘察模式以人工实测、抽样检测为主,存在数据覆盖不全面、时空分辨率低、数据共享性差等弊端,导致设计参数往往依赖经验估算,易出现与实际工程条件脱节的问题,引发返工、成本超支甚至安全隐患。例如,山区公路建设中传统勘察对地质断裂带的识别误差可达数十米,可能导致路基设计参数不合理,引发后期沉降或边坡失稳;高层建筑地基设计中,抽样钻孔数据难以反映场地地质异质性,易

造成地基承载力估算偏差,增加安全风险。

随着数字技术与工程建设领域的深度融合,数字化勘察技术凭借数据采集自动化、处理智能化、表达可视化等优势,成为破解传统勘察痛点的关键。《“十四五”数字经济发展规划》明确提出推动数字技术与实体经济深度融合,工程建设领域数字化转型已成为必然趋势。数字化勘察技术通过整合空间定位、传感器、人工智能等技术,实现勘察数据的精准采集、智能分析与可视化表达,为工程设计参数精准提取提供技术支撑。本文聚焦数字化勘察技术在工程设计参数精准化中的应用,通过分析核心技术原理、构建参数精准化流程、结合实际案例验证,为工程设计的科学化、精准化提供理论与实践参考。

【作者简介】王洁菲(1984—),女,中国山东日照人,在读本科,工程师,从事勘察设计研究。

2 数字化勘察核心技术原理

数字化勘察技术是集空间定位、数据采集、智能分析、三维建模于一体的综合技术体系，其核心技术包括以下四类，共同支撑工程设计参数的精准提取：

2.1 BIM 与 GIS 融合技术

BIM 技术以三维数字模型为载体，实现工程全生命周期数据集成与共享；GIS 技术专注于地理空间数据的采集、管理与分析，具备强大的空间关系表达能力。二者融合后，可将地形地貌、地质层位、地下管线等勘察数据与地理空间信息关联，构建“地上-地下-空中”一体化三维勘察模型，为设计参数提供空间化、可视化支撑。李明等（2022）指出，BIM 与 GIS 深度融合可打破数据孤岛，实现多源勘察数据统一管理协同应用，显著提升设计参数提取效率与精准度。例如，通过 GIS 空间分析功能可精准计算地形坡度、坡向，为路基设计、场地平整提供依据；借助 BIM 模型参数化特性，可直接提取地质层厚度、承载力等核心指标，并实现动态更新与追溯。

2.2 无人机航测与三维激光扫描技术

无人机航测技术搭载高清相机、激光雷达等设备，实现大范围、高效率地形数据采集，分辨率达厘米级，相比传统全站仪测量效率提升 5-10 倍，且能覆盖复杂区域。三维激光扫描技术（LiDAR）通过发射激光束快速获取目标物体三维坐标，可精准还原建筑物、地质体形态，误差控制在毫米级。王强等（2023）研究表明，二者结合可实现地形数据采集效率与精度的双重提升，尤其适用于复杂地形勘察。例如，山区水利工程勘察中，无人机航测获取大范围地形数据，三维激光扫描精准捕捉坝址区地质体形态，为坝体结构尺寸、抗滑稳定性等设计参数确定提供可靠依据。

2.3 智能化数据处理技术

数字化勘察产生的海量数据（点云、影像、地质钻孔数据等）需通过智能化技术处理分析。核心技术包括：点云数据去噪、配准与分割技术，可提取有效地形、地质信息；机器学习算法（随机森林、神经网络），可基于历史与实测数据建立地质参数预测模型，精准估算未钻孔区域地基承载力、渗透系数等参数；大数据挖掘技术，可整合多源数据（气象、水文、地质灾害历史数据），分析参数相关性，为设计参数优化提供依据。张敏等（2021）提出的随机森林算法地质参数预测模型，通过训练历史勘察数据，实现未勘察区域地基承载力精准估算，误差率控制在 8% 以内，精度显著优于传统经验公式法，解决了传统数据处理效率低、主观性强等问题。

2.4 实时动态监测技术

通过在勘察区域部署沉降、位移、地下水监测等传感器，结合物联网（IoT）技术，可实现地质环境、周边构筑物变形等数据实时监测。监测数据经无线传输至云端平台，实时分析后反馈给设计人员，便于及时调整设计参数，应对地质

条件动态变化。赵伟等（2022）在城市轨道交通勘察中，通过物联网监测系统实现地下水位、地层沉降等数据实时采集分析，为轨道线路设计参数动态调整提供及时支撑，有效规避地质条件变化引发的设计风险，打破了传统勘察“一次性数据采集”局限。

3 工程设计参数精准化实现流程

基于数字化勘察技术的工程设计参数精准化，遵循“数据采集-数据处理-模型构建-参数提取-优化验证”的闭环流程，具体如下：

3.1 精准数据采集阶段

根据工程类型（道路、建筑、水利工程等）与勘察需求，制定个性化采集方案：大范围场地勘察采用无人机航测获取地形影像与激光点云数据；局部重点区域（地质断裂带、地下管线密集区）结合三维激光扫描与地质钻孔采样补充高精度数据；通过物联网传感器布设实现动态监测数据持续采集。采集过程中采用 GPS / 北斗定位技术确保空间坐标精准性，同步记录元数据保障溯源性。例如，建筑工程勘察中针对地下管线密集特点，可采用“无人机航测+地下管线探测雷达+钻孔采样”组合方案，全面获取地形、地下管线、地质层位等数据。

3.2 智能化数据处理阶段

对多源数据进行标准化处理：通过数据清洗剔除异常值与噪声，确保数据质量；采用数据融合技术将各类数据整合为统一坐标系下的数据集；通过点云分割、影像解译、地质分层等处理，提取地形高程、地质层厚度、岩土体物理力学性质等基础数据。处理过程中借助 CloudCompare、ArcGIS、Civil 3D 等专业软件实现自动化处理，减少人工误差。例如，对点云数据通过 CloudCompare 软件去噪、配准，再利用分割算法提取地形表面点云，生成高精度数字高程模型（DEM）。

3.3 三维勘察模型构建阶段

基于处理后的数据，利用 BIM-GIS 融合平台构建三维勘察模型：地形模块还原场地地貌，地质模块展现地质层分布、断层位置、岩土体性质，设施模块整合地下管线、周边建筑物等数据。模型具备参数化查询功能，设计人员可点击任意位置获取地形标高、地质承载力、地下水埋深等参数。例如，道路工程勘察模型中，设计人员可查询任意路段地形坡度、地质层厚度等参数，直接应用于路基高度、路面结构设计，同时直观展示地下管线与设计线路空间关系，为管线避让参数确定提供依据。

3.4 设计参数提取与优化阶段

依托三维勘察模型与智能化分析工具，精准提取核心参数：结构设计提取岩土体抗压强度、抗剪强度、地基承载力等；场地规划提取地形坡度、汇水面积、地震动参数等；水利工程提取渗透系数、径流系数、水位变化幅度等。结合

多目标优化算法,综合安全性、经济性、环保性对参数迭代优化,形成最优方案。例如,路基设计中以地基承载力、边坡稳定性为约束条件,以工程成本最低为目标,通过遗传算法优化边坡坡度、路基填料类型等参数。

3.5 动态验证与调整阶段

将优化后的设计参数应用于实际工程设计,通过施工现场实时监测数据对比验证。若发现地质条件与勘察结果存在偏差,及时利用数字化勘察技术补充采集数据,调整三维模型与设计参数,形成“勘察-设计-监测-调整”动态闭环。例如,高层建筑施工中若沉降监测数据显示沉降速率超出预期,可利用三维激光扫描补充采集地基变形数据,结合BIM模型分析原因,调整地基处理参数(增加CFG桩数量、调整桩长)。

4 工程应用案例分析

以某山区高速公路路基工程为例验证应用效果,该工程全长15km,途经河谷、陡坡、断层破碎带等复杂区域,传统勘察难以精准获取参数,易导致路基沉降、边坡失稳问题。

4.1 数字化勘察实施过程

数据采集:采用大疆M300 RTK无人机搭载激光雷达航测,获取厘米级地形影像与点云数据,效率达2km²/小时;在3处断层破碎带、2处软弱土分布区布设20个地质钻孔(深度10-30m),采集样本进行室内试验;在边坡区域、路基关键断面布设30个沉降与位移传感器,结合物联网平台实现施工期间动态监测,采样频率1次/小时。

数据处理:通过CloudCompare软件对点云数据去噪、配准,提取地形表面点云生成DEM,地形标高误差控制在±2cm;利用SPSS软件建立随机森林模型,基于15个钻孔实测数据与点云地形特征参数,预测剩余5个钻孔区域地基承载力,误差均小于5%;整合各类数据至2000国家大地坐标系,形成标准化数据集。

模型构建:基于Autodesk Civil 3D与ArcGIS融合平台构建三维模型,包含地形、地质、监测三大模块,地形精度达1:500,地质模块分层展示5类地质层位并标注关键参数,监测模块实时显示传感器数据与预警信息。

参数提取与优化:提取地基承载力、边坡坡度、填料压实度等核心参数,结合多目标优化算法,以边坡稳定性安全系数≥1.3、工程成本最低为目标,将边坡坡度从1:1.5优化为1:1.75,地基处理方案调整为换填+CFG桩复合地基(桩

径500mm、间距1.5m、桩长15m),承载力提升至220kPa以上。

4.2 应用效果验证

参数精准度提升:地基承载力估算误差从传统±15%降至±5%以内,地形标高测量误差从±10cm缩减至±2cm,地质层厚度测量误差从±30cm降至±5cm,参数与实际条件匹配度显著提升。

工程成本降低:通过参数优化减少地基加固工程量1.2万m³、边坡开挖量2.5万m³,全线成本降低8%,节约投资680万元,同时避免返工节约工期15天。

工程安全性提高:施工期间通过动态监测及时发现2处边坡位移异常,调整防护方案后未发生失稳、沉降超标问题,安全隐患发生率为零,竣工后路基沉降量均控制在≤30mm的设计允许范围。

5 结语

数字化勘察技术通过整合BIM、GIS、无人机航测、智能化数据分析等核心技术,构建了“数据采集-处理-建模-参数提取-优化验证”全流程精准化体系,有效解决了传统勘察数据不精准、分析不深入、参数与实际脱节等问题。实际案例表明,该技术可显著提升设计参数精准度,降低工程成本,增强安全性,应用前景广泛。

未来,随着数字孪生、人工智能、5G等技术发展,数字化勘察技术将向“实时化、智能化、一体化”演进:通过数字孪生构建工程全生命周期虚拟映射,实现设计参数动态更新预测;借助人工智能深度挖掘数据关联,实现参数自主优化;依托5G技术实现数据实时传输与远程协同。同时需加强标准化建设,完善技术规范,推动技术在各类工程中普及应用,助力工程建设领域向更高质量、更高效益、更安全可靠方向发展。

参考文献

- [1] 李明,王海燕,张伟. BIM与GIS融合技术在工程勘察设计中的应用研究[J]. 工程勘察, 2022, 50(3): 32-37.
- [2] 王强,刘敏,陈峰. 无人机航测与三维激光扫描在复杂地形勘察中的应用[J]. 测绘通报, 2023, (2): 89-93.
- [3] 张敏,李强,赵刚. 基于随机森林算法的地质参数精准预测模型[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(S1): 112-116.
- [4] 赵伟,孙亮,吴涛. 物联网动态监测技术在城市轨道交通勘察中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(7): 187-191.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 数字化勘察设计技术标准(GB/T 51366-2019)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.