

智能化勘察技术在深厚软土地区岩土工程中的应用与效能提升

施炳军¹, 廖绍忠², 刘湘³

1. 云南奕辉建筑设计有限公司, 云南 昆明 650000

2. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000

3. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2026020028

摘 要 : 深厚软土地区因其工程地质特性差、空间变异性大, 对岩土工程勘察提出了严峻挑战。传统勘察方法在取样质量、数据覆盖、分析效率和风险预警等方面存在显著局限性。为应对这些挑战, 智能化勘察技术应运而生。本文系统阐述了智能化勘察技术在深厚软土地区岩土工程中的应用实践, 涵盖了从场地踏勘、详细勘察到施工运营的全生命周期。通过构建涵盖技术、经济与安全效能的评估体系进行对比分析, 结果表明智能化勘察在数据精度 (偏差率降至5%~10%)、处理效率 (工期缩短50%~60%) 和风险预警准确率 (提升至85%以上) 等方面均显著优于传统方法。其效能提升的核心机理在于多源数据融合、自动化处理、全生命周期动态监测及可视化协同, 是提升深厚软土地区岩土工程勘察质量、效率与安全性的有效途径, 对推动行业数字化转型具有重要意义。

关 键 词 : 智能化勘察; 深厚软土; 岩土工程; 效能评估

Application and Efficiency Enhancement of Intelligent Investigation Techniques in Geotechnical Engineering within Deep Soft Soil Regions

Shi Bingjun¹, Liao Shaozhong², Liu Xiang³

1. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

2. Kunming Survey and Design Institute Co., Ltd. of China Nonferrous Metals Industry, Kunming, Yunnan 650000

3. Kunming Engineering Corporation Limited of Power Construction Corporation of China, Kunming, Yunnan 650000

Abstract : Due to their poor engineering geological properties and significant spatial variability, thick soft soil areas pose severe challenges to geotechnical engineering investigations. Traditional investigation methods exhibit notable limitations in terms of sampling quality, data coverage, analysis efficiency, and risk early warning. To address these challenges, intelligent investigation technologies have emerged. This paper systematically elaborates on the application practices of intelligent investigation technologies in geotechnical engineering within thick soft soil areas, covering the entire lifecycle from site reconnaissance and detailed investigation to construction and operation. Through comparative analysis using an evaluation system encompassing technical, economic, and safety efficiencies, the results indicate that intelligent investigation significantly outperforms traditional methods in terms of data accuracy (with deviation rates reduced to 5%–10%), processing efficiency (with project durations shortened by 50%–60%), and risk early warning accuracy (increased to over 85%). The core mechanisms underlying these efficiency improvements lie in multisource data fusion, automated processing, full-lifecycle dynamic monitoring, and visual collaboration. Intelligent investigation represents an effective approach to enhancing the quality, efficiency, and safety of geotechnical engineering investigations in thick soft soil areas and holds significant importance for promoting digital transformation within the industry.

Keywords : intelligent investigation; thick soft soil; geotechnical engineering; efficiency evaluation

引言

随着我国城市化进程的加速和基础设施建设的不断推进, 工程建设活动日益向地质条件复杂的区域延伸, 其中, 深厚软土地区是工程建设中常遇的典型难题。以人工钻探和取样为主的传统手段, 不仅易扰动土体原状结构, 导致试验数据失真, 而且勘察点布置稀疏, 难以准确捕捉软土的空间变异性, 易形成勘察盲区。随着大数据、人工智能、物联网、无人机等新一代信息技术的飞速发展, 岩土工程

勘察正经历着从数字化、信息化向智能化的深刻变革。智能化勘察技术通过融合先进的感知设备、自动化控制系统与智能分析算法，旨在实现数据获取的低扰动、高覆盖、多维度，数据处理的高效化、自动化与智能化，以及工程监测的实时化、连续化和预警的精准化。这为从根本上解决传统勘察方法的痛点，提升深厚软土地区勘察工作的效能提供了全新的技术路径。

一、深厚软土地区岩土工程特点与智能化勘察需求分析

（一）深厚软土的工程地质特性

深厚软土是厚度大于10m的软弱土层，其工程地质特性极差。由于含水量与孔隙比极高，导致土体强度低、压缩性强、天然承载力难以满足工程需求。同时，它具有显著的流变与触变性，在长期荷载下易蠕变，且受扰动后强度会大幅降低。加之其空间分布不均、力学参数差异大，且对扰动高度敏感，这些因素共同构成了工程建设中的严峻挑战。

（二）传统勘察方法在深厚软土地区的局限性

传统岩土工程勘察方法在深厚软土地区的应用中，存在诸多局限性。人工钻探取样易破坏软土原生结构，取样质量差；勘察点稀疏，难捕捉软土空间分布不均性，易出现勘察盲区。室内试验周期长、效率低，数据易因人为操作差异离散；常规原位测试数据解读依赖个人经验，主观性强，难以精准评估力学参数。以纸质报告呈现，格式不统一，多源数据难融合共享；缺乏智能分析工具，难以挖掘工程地质规律，勘察成果深度广度不足。人工定期观测频率低、数据滞后，难实时捕捉软土施工运营中的变形与力学响应，无法为工程风险预警提供及时可靠数据支撑。

（三）智能化勘察的核心需求

自动智能化原位测试技术是将勘察原位测试仪器与机械自动化、计算机信息化技术结合，从而形成具有自动试验、信息采集、智能处理的原位测试技术^[1]。深厚软土地区智能化勘察技术的核心需求聚焦多方面，要研发低扰动智能取样技术以精准捕捉软土原生力学特性，融合多源感知技术扩大数据覆盖、消除勘察盲区来掌握其空间分布规律^[2]。构建智能数据处理分析平台，实现勘察数据的自动化整理、筛选与分析，减少人工干预和主观误差以提升解读精准性与效率。需建立实时连续的自动化监测系统，动态追踪工程全流程中软土变形、孔隙水压力等关键指标，结合智能算法实现工程风险早期预警^[3]。同时要通过三维建模、虚拟现实等技术将勘察数据转化为直观的三维地质模型，实现场地工程地质条件的可视化表达以提供清晰决策依据，更需实现勘察、设计、施工、运营全流程的数据共享与协同，构建全生命周期智能化勘察与管理体系，提升工程建设整体效益。

二、智能化勘察技术在深厚软土地区的应用实践

（一）场地踏勘与初步勘察阶段的智能化应用

场地踏勘与初步勘察的核心目标是快速掌握场地地形地貌、区域地质背景及深厚软土大致分布，为后续详细勘察奠定基础^[4]。智能化技术的应用主要包括三方面，无人机航测与遥感影像分析技术通过搭载高清摄像头、激光雷达的无人机获取高精度地形数据并生成三维模型，结合高分辨率遥感影像与GIS技术，

初步分析区域地质构造、地层分布及不良地质现象，快速圈定深厚软土范围，提升踏勘效率与覆盖度；GIS与地质数据库的融合，整合区域地质勘察报告、水文地质资料及既往工程案例，借助GIS空间分析功能初步评估场地工程地质条件，识别潜在风险点，为详细勘察方案制定提供依据；便携式智能检测设备的运用，通过便携式静力触探仪、含水量测定仪等，快速检测表层软土基本力学参数与物理性质，为后续勘察重点区域划定提供支撑。

（二）详细勘察阶段的智能化应用

详细勘察是岩土工程勘察的核心，需精准获取深厚软土的物理力学参数、空间分布及水文地质条件，智能化技术在此阶段应用广泛^[5]。智能钻探系统可精准控制参数减少软土扰动，实时采集传输钻探数据实现全程监控，自动化取样设备还能减少样品在取样运输中的扰动，保障室内试验样品可靠性；多源物探技术通过智能算法融合分析，可弥补单一技术局限，提升软土分层、空间分布及隐伏不良地质体的探测精度；自动化土工试验系统能实现软土多项指标的自动化测试，减少人工误差、提高效率，结合智能算法还可分析试验数据、剔除异常值以精准评估力学参数；而集成多源勘察数据的智能融合分析平台，借助大数据与AI深度挖掘分析，能识别软土力学参数的空间变异性，生成三维地质模型与参数分布图，为工程设计提供精准成果。

（三）施工与运营阶段的智能化应用

施工与运营阶段的勘察核心是动态监测深厚软土的变形与力学响应，及时预警工程风险^[6]。智能化技术的应用主要包括三方面，建立自动化监测系统，通过布设沉降计、位移计等智能传感器，结合物联网与无线传输技术，实现对软土地基沉降、孔隙水压力等关键指标的实时连续采集与存储；应用智能数据分析与预警系统，借助大数据分析、机器学习等算法处理海量监测数据，构建软土响应预测模型，实现风险早期预判，数据超阈值时自动发出声光预警并推送至管理人员；搭建远程监控与协同管理平台，支持监测数据远程访问与共享，助力设计、施工、监理等多方协同管控，提升风险处置效率。此外，无人机巡检技术可定期排查工程场地及周边环境，弥补地面监测不足，及时发现潜在隐患。

三、效能评估与对比分析

（一）效能评估指标体系构建

为科学、全面地评估智能化勘察技术在深厚软土地区岩土工程中的应用效能，结合深厚软土地区工程地质特性及勘察工作的核心目标，构建涵盖技术效能、经济效能、安全效能三大维度的评估指标体系^[7]。技术效能指标主要反映智能化勘察技术在数据获取、分析及成果呈现等方面的性能，包括勘察数据精度，指勘察获取的软土力学参数与实际值的偏差程度，可通过对比智能化勘察与传统勘察获取的参数值与现场实测值的差异进行评估；数

据覆盖完整性，指勘察数据对场地工程地质条件的覆盖程度，可通过勘察点密度、物探探测范围等指标进行量化；数据处理效率，指从数据采集到成果输出的全过程耗时，可通过对比智能化勘察与传统勘察的工作周期进行评估；成果可视化程度，指勘察成果的直观性与易懂性，可通过三维地质模型的精度、数据可视化表达方式等进行评估。经济效能指标主要反映智能化勘察技术的经济效益，包括勘察成本，指勘察工作的总投入，包括设备购置、人员费用、数据处理费用等；工期缩短比例，指采用智能化勘察技术相比传统勘察技术缩短的工作时间占传统勘察工期的比例；后续工程成本节约率，指由于勘察成果精准性提升，减少工程设计变更、施工返工及工程病害处置所节约的成本占工程总造价的比例。安全效能指标主要反映智能化勘察技术在工程风险管控方面的作用，包括风险预警准确率，指智能预警系统发出的风险预警信息与实际发生的工程风险的吻合程度；工程事故发生率，指采用智能化勘察技术的工程在建设及运营阶段发生工程地质相关事故的频率；监测响应及时性，指监测系统对软土变形与力学响应变化的捕捉速度及预警信息的推送时间。

（二）传统勘察与智能化勘察的对比分析

传统勘察与智能化勘察在深厚软土地区岩土工程应用效能对比显示，技术效能上，传统勘察受人工与取样扰动影响，数据精度较低（偏差率 15%~25%）、覆盖完整性差（覆盖率 60%~70%），人工处理数据效率低（需 30~45 天完成详细勘察成果）且成果可视化程度弱，以纸质报告和二维剖面图为主，而智能化勘察通过智能设备与多源数据融合提升精度（偏差率 5%~10%），借助多源感知技术实现全方位覆盖（覆盖率 90% 以上），自动化系统处理数据效率大幅提升（仅需 10~15 天完成成果），还能生成三维地质模型支持可视化查询^[9]。经济效能方面，传统勘察设备与人员成本处于中低水平，但后续可能因成果不准产生额外成本，工期无缩短且后续工程成本节约率仅 3%~5%，智能化勘察虽前期设备投入大导致成本处于中高水平，但可大幅缩短工期（缩短比例 50%~60%），后续工程成本节约率达 10%~15%。安全效能层面，传统勘察依赖人工经验判断，风险预警准确率仅 50%~60%，工程事故发生率较高且人工定期监测响应滞后（24~48 小时），智能化勘察通过智能算法预测风险，预警准确率达 85% 以上，借助精准勘察与实时监测降低事故风险，监

测响应时间可控制在 1~2 小时内^[9]。整体来看，智能化勘察在技术、经济及安全效能方面均显著优于传统勘察技术，尤其在勘察数据精度、数据处理效率、工期缩短比例及风险预警准确率等关键指标上优势明显。

（三）效能提升的机理分析

智能化勘察技术之所以能显著提升深厚软土地区岩土工程勘察效能，核心机理在于多方面的协同作用^[10]。通过融合无人机航测、智能钻探等多种技术实现勘察数据的多维度获取，再经智能算法融合分析弥补单一技术局限，提升数据解读的精准性与全面性；依托自动化数据采集处理系统大幅减少人工操作与主观误差，结合人工智能与大数据算法快速挖掘工程地质规律，提升数据处理效率与深度；构建勘察至运营的全生命周期动态监测体系，实时捕捉软土变形与力学响应变化并实现风险早期预警，打破传统“一次性”勘察模式，为设计调整与施工优化提供及时数据支撑；借助三维地质建模等可视化技术将复杂地质数据转化为直观成果，通过协同管理平台实现多方数据共享与协同工作，提升工程各环节衔接效率，减少因信息不对称导致的设计变更与施工返工。

四、结束语

深厚软土地区岩土工程的复杂性与高风险性，对勘察技术提出了前所未有的高要求。本文通过对智能化勘察技术在深厚软土地区应用实践的系统性梳理与效能评估，清晰地揭示了其相较于传统方法的显著优势。智能化勘察不仅能够将数据偏差率大幅降低，将勘察工期缩短过半，更能通过实时监测与智能预警，将工程风险管控从事后处置转变为事前预防，其技术、经济与安全效能的提升是全方位的。其核心价值在于构建了一个贯穿勘察、设计、施工、运营全生命周期的动态、闭环数据管理体系，打破了传统“一次性”勘察的局限，为工程决策提供了更为精准、及时、直观的依据。随着传感器技术、人工智能算法和 5G 通信技术的持续突破，智能化勘察将向更深层次的自主化、智慧化与集成化方向发展。

参考文献

- [1] 谢飞, 梁振宁. 岩土工程勘察自动智能化技术研究现状 [J]. 工程建设与设计, 2023(17): 160-163. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.09.047.
- [2] 张波. 数字化技术在岩土工程勘察中的应用分析 [C]//2024 人工智能与工程管理学术交流会论文集. 2024: 1-4.
- [3] 朱举, 祁平利, 党峰荣, 等. 岩土工程勘察数字化体系及关键技术研究 [J]. 铁道建筑技术, 2024(1): 33-37. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4539.2024.01.009.
- [4] 谢增辉. 综合勘察技术在岩土工程勘察中的应用 [C]//2024 智慧施工与规划设计学术交流会论文集. 2024: 1-4.
- [5] 苏定立, 胡贺松, 谢小荣. 岩土工程勘察智能信息化技术研究现状 [J]. 广州建筑, 2019, 47(6): 10-18. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2439.2019.06.002.
- [6] 陈红磊, 严博俊. 矿山工程项目施工中岩土工程勘察技术优化研究 [J]. 世界有色金属, 2022(19): 223-225. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5065.2022.19.075.
- [7] 李玉兴, 郭东存. 谈岩土工程勘察数字化技术与实现 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2016(15): 4112-4112. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2104.2016.15.112.
- [8] 姜伟坤. 岩土工程中数字化勘察技术的应用 [J]. 科学与信息化, 2023(18): 50-52.
- [9] 商晓娟. 综合勘察技术在岩土工程勘察中的应用 [J]. 城市建设与发展, 2024, 5(18). DOI: 10.37155/2717-557X-0518-38.
- [10] 宗娜. 综合勘察技术在岩土工程勘察中的应用研究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(35): 424. DOI: 10.12159/j.issn.2095-6630.2020.35.0411.