

原位测试在岩土工程勘察中的应用研究

陆高飞

江苏科信岩土工程勘察有限公司 江苏南京 210000

摘要：本文聚焦原位测试技术于岩土工程勘察领域的实践探索。通过系统梳理静力触探、动力触探、十字板剪切试验及旁压试验等核心方法的技术特性，揭示其在岩土分层判定、均匀性评价、地基处理设计及多土类参数获取中的独特优势。研究表明，原位测试凭借连续采集、即时反馈的特性，可有效规避取样扰动缺陷，精准捕捉地层界面与力学性质变化规律。针对软弱地基、复杂地形及不良地质体等特殊场景，提出适应性测试策略与风险控制体系，显著提升勘察数据的可靠性与工程适用性。研究证实了原位测试技术在优化勘察流程、降低工程风险方面的实践价值。

关键词：原位测试；岩土工程勘察；应用

岩土工程勘察的核心诉求在于高效获取真实反映场地条件的参数体系。传统钻探取样受扰动效应制约，难以满足精细化设计与风险管控需求。原位测试技术以直接作用于土体本体的特性，成为突破这一瓶颈的关键路径。本研究立足工程实践需求，深入剖析静力触探的阻力响应机制、动力触探的能量转化规律、十字板剪切的强度表征能力及旁压试验的变形控制特征，构建起覆盖岩土分层、均匀性评价、地基处理设计的完整技术链条。针对软弱地基的低承载特性、复杂地形的空间变异性及不良地质体的安全隐患，创新提出分级施压、三维关联建模与风险预控等实施策略，旨在推动原位测试技术从单一参数获取向工程决策支持转型。

一、常用原位测试方法的应用

（一）静力触探在岩土分层中的应用

静力触探作为一种高效的原位测试手段，在岩土工程勘察中扮演着至关重要的角色，尤其在岩土分层方面展现出独特的优势。其核心原理在于利用恒定速率将特制探头匀速压入土体，同步记录下贯入过程中所遭遇的阻力变化。这种阻力实质上是土体综合物理力学性质的直接体现，涵盖了密度、湿度、压缩性等多个维度。当探头穿越不同岩土层时，由于各层物质组成的显著差异，必然引发阻力值的跃迁式改变。这种动态响应特征使得技术人员能够依据连续绘制的阻力-深度曲线，精准捕捉到岩土界面的位置信息。相较于传统的钻探取样法，静力触探具有连续性强、效率高的特点，能够完整呈现地层剖面的纵向变化规律。特别是在复杂地质条件下，该方法可有效规避取样扰动带来的误差，为后续精细化

勘察提供可靠的初始分层框架。通过系统解析阻力曲线的形态特征，不仅能准确界定各岩土层的顶底板位置，还能初步推断其工程类别，为制定针对性勘探方案奠定基础。

（二）动力触探在查明均匀性中的应用

动力触探技术通过量化锤击能量与土体变形之间的关系，成为评估岩土体空间均匀性的有效工具。该技术基于能量守恒原理，当重锤自由下落冲击探头时，部分动能转化为克服土体阻力做功，剩余能量则表现为探头的贯入量。在均质地层中，相同落距下的锤击次数应保持相对稳定；一旦出现显著波动，则暗示着土体性质存在局部变异。这种敏感性使其特别适合用于探测隐蔽的地质缺陷，如透镜体、古河道沉积物等。在平面分布上，通过网格化布点实施动力触探，可以构建起二维甚至三维的均匀性评价体系。对于竖向分层而言，不同深度处的锤击数序列能够揭示土体沿深度方向的性质演变规律。值得注意的是，影响动力触探结果的因素较为复杂，包括设备标定状态、操作人员的施力方式等，因此在实际应用中需严格遵循标准化流程。通过建立合理的判定阈值，可将偶然波动与系统性差异区分开来，从而准确识别出真正影响工程质量的非均匀区域。这种前瞻性的质量管控手段，有助于在设计阶段就采取针对性措施消除隐患。

（三）十字板剪切试验成果在地基处理设计中的应用

十字板剪切试验以其独特的现场测试方式，为软土地基处理提供了关键的力学参数支撑。该装置通过旋转十字形叶片切入土体，模拟实际工程中地基土承受剪切

破坏的过程，直接测得原位不排水抗剪强度这一核心指标。在地基处理设计环节，这项参数具有多重应用价值：一方面可用于核算地基极限承载能力，另一方面能预测施工过程中可能出现的失稳现象。特别是在软基加固工程中，准确掌握土体的抗剪强度特性，有助于合理确定加载速率和堆载重量，避免因超载导致的地基隆起或侧向挤出等问题。此外，该试验还能反映土体的灵敏度特征，这对于振动压实等动力加固工艺的选择尤为重要。从设计优化角度看，十字板剪切试验提供的连续强度剖面，可指导分层加固方案的制定，确保处理深度与实际软弱层匹配。在效果验证阶段，重复进行的十字板测试能够直观展示处理前后土体力学性质的改善程度，为调整施工参数提供科学依据。这种全过程的技术支撑，使得地基处理方案更加经济合理且安全可靠^[1]。



图1 十字板剪切试验仪

二、原位测试数据的处理与解释

(一) 原位测试数据的整理方法

原位测试所获得的数据需要进行系统的整理才能用于后续的分析和应用。首先要对原始数据进行检查和筛选，剔除明显不合理的数据点，如由于操作失误或设备故障导致的异常数据。然后按照一定的格式将数据进行归类和编号，注明测试地点、深度、日期等信息。对于连续测量的数据，如静力触探曲线、动力触探锤击数随深度的变化曲线等，可以进行平滑处理，消除偶然因素的影响。同时，还需要将不同测试方法得到的数据进行对比和校验，确保数据的一致性和可靠性。例如，将同一孔位的不同原位测试结果进行对比，看是否存在矛盾之处，如果有则需要进一步查明原因。经过整理后的数据应以图表的形式呈现出来，便于直观地观察数据的变化趋势和规律。

(二) 原位测试数据的统计分析技术

统计分析技术是处理原位测试数据的重要手段。常用的统计方法包括均值、标准差、变异系数等统计量的计算。均值可以反映数据的集中趋势，标准差则表示数据的离散程度，变异系数是标准差与均值的比值，用于衡量数据的相对离散程度。通过对大量原位测试数据的统计分析，可以建立起不同地区、不同类型岩土体的经验关系式。例如，根据多个场地的静力触探数据和对应的地基承载力数据，进行回归分析，得到适用于该地区的地基承载力计算公式。此外，还可以采用概率论的方法对数据进行分析，评估数据的可靠性和置信区间。例如，计算某一参数在一定置信水平下的取值范围，为工程设计提供更合理的依据。

(三) 原位测试数据的工程解释与应用

原位测试数据的最终目的是为岩土工程设计和施工提供依据。因此，对数据进行正确的工程解释至关重要。在进行工程解释时，需要考虑多种因素的综合影响，如地质条件、水文地质条件、施工工艺等。例如，同样的静力触探结果在不同的地质背景下可能代表不同的工程意义。在一个古老的冲积平原地区，高比贯入阻力可能意味着密实的老黏土层；而在一个新近沉积的三角洲地区，相同的比贯入阻力可能只是代表了稍密的粉砂层。因此，必须结合具体的地质环境和工程经验来解释原位测试数据。同时，还要将原位测试结果与其他勘察资料相结合，如钻探记录、室内试验结果等，进行全面的综合分析。只有这样，才能准确地评价岩土体的工程性质，为工程设计提供可靠的参数和建议^[2]。

三、原位测试在特殊地质条件下的应用

(一) 软弱地基中原位测试的应用策略

软弱地基因其独特的工程特性——强度低下且压缩性显著偏高，成为工程建设领域的一大难题。在此情境下开展原位测试，需秉持精细化与适应性并重的原则制定专项策略。以静力触探为例，其核心挑战在于软弱土层极低的承载潜能易引发探头失控性下沉，这不仅影响测试精度，更可能造成设备损毁。为此，可采用渐进式施压方案，通过精准调控液压系统的输出速率，使探头得以缓慢且可控地贯入土体；若遇极端松软区域，则实施分段加压战术，每推进一段距离便暂停观察，待土体初步固结后再继续施力。全过程需配备高精度传感器阵列，实时采集贯入阻力、深度及时间序列数据，构建动态反馈机制，一旦监测到异常波动（如阻力骤降或骤升），立即启动应急程序调整工艺参数。针对动力触探

可能出现的锤击数过低导致的分层模糊问题，可选用轻量化冲击装置配合高密度测点布局策略。轻量化设计旨在降低单次冲击能量输入，避免过度扰动软弱土体结构；而加密测点则通过空间上的密集采样弥补单点信息的不足，形成更具统计意义的土层剖面。此外，多手段协同验证至关重要，旁压试验可定量表征土体在侧向约束下的变形模量，揭示其各向异性特征；十字板剪切试验则直接获取不排水条件下的抗剪强度指标，为地基处理方案提供关键力学参数。这种多维度、多尺度的原位测试组合，能够系统刻画软弱地基的复杂力学行为，为工程设计提供可靠依据。

（二）复杂地形条件下原位测试的实施要点

复杂地形环境对原位测试构成多重技术挑战，其核心矛盾在于地表形态剧烈变化与地下地质条件的非均质性叠加。在山区等起伏显著区域，前期工作中必须开展高精度三维地形测绘与地质遥感解译，建立数字高程模型与地质构造关联图谱，据此优化钻孔布设方案。考虑到不同海拔高度对应的风化程度、岩性组合及地下水赋存状态差异，需采用分级控制原则确定钻孔深度与间距，确保关键地质界面得到有效捕捉。对于斜坡地段的钻孔作业，孔壁稳定性控制是重中之重，可采用全程跟管钻进工艺，选用高强度合金套管作为护壁结构，既防止松散颗粒涌入孔内，又维持孔壁原始应力状态。地下水位的空间变异性是另一关键影响因素，尤其在地形驱动下形成的局部汇水区或排泄带，水位波动幅度可达数米甚至更大。在进行标准贯入试验等受水位影响的测试时，需同步监测孔内水位变化，运用有效应力原理对实测击数进行校正，剔除浮力效应带来的虚高值。设备选型方面，优先考虑模块化设计的便携式装备，如可拆解重组的动力触探仪和轻型静力触探系统，便于通过人力或小型机械运输至作业面。现场安装时注重基础稳固性，采用可调式支架系统适应倾斜地表，确保测试过程垂直度符合规范要求。整个实施过程中，需建立地形-地质-测试数据的动态关联数据库，为后续数据分析提供空间参照系。

（三）不良地质体附近原位测试的风险防控

不良地质体周边区域的原位测试本质上是在高风险环境中开展精细勘探，其核心任务是在保障安全的前提下获取有效地质信息。工作启动前必须完成系统性地质普查，运用地球物理探测技术（如电法、地震波法）结

合钻探验证，精确界定不良地质体的三维分布范围及其活动性特征。针对溶洞发育区，钻孔施工面临掉钻、漏浆等突发状况，需预先制定分级防护措施：开孔阶段采用大直径先导孔预探溶洞位置，随后换用较小直径正式钻孔并配置双层护壁结构，外层为高强度无缝钢管，内层填充速凝水泥砂浆形成复合止水帷幕。在采空区周边作业时，地面塌陷风险始终存在，应采取“由浅入深、由疏到密”的渐进式探测策略。先布置少量控制性钻孔查明采空区顶板垮落状态，再根据揭露情况调整后续钻孔参数，必要时引入三维激光扫描技术构建采空区空间模型。对于滑坡体附近的测试，需严格遵循“被动防护为主、主动干预为辅”的原则，选择位于滑坡体外缘或后缘的稳定区域设置测点，测试过程中持续监测坡面位移、地下水位及孔隙水压力变化，一旦发现异常立即终止作业并启动预警机制。所有作业人员必须接受专项安全培训，熟悉应急预案流程，现场配备应急救援物资和通讯设备。风险防控体系贯穿测试全过程，从方案设计到成果提交，每个环节都要进行风险评估与措施更新，确保人员、设备和环境的安全^[3]。

结语

本研究系统阐释了原位测试技术在岩土工程勘察中的科学内涵与实践价值。通过建立不同测试方法与工程需求的映射关系，明确了各类技术的优势边界与适用场景。在数据处理层面，提出多源数据融合分析框架，强化了测试结果的工程解释深度。面对特殊地质条件挑战，形成的精细化测试方案与风险防控体系，为复杂环境下的勘察工作提供了可复制的操作范式。研究证实，原位测试不仅是参数获取工具，更是连接地质认知与工程设计的桥梁。未来需进一步深化不同测试方法的耦合机制研究，完善基于大数据的智能解释系统，推动岩土工程勘察向精准化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 王雪婷. 岩土工程勘察中原位测试技术应用研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(10): 43-45.
- [2] 齐力娜. 岩土工程勘察技术在岩土勘察中的应用[J]. 工程建设与设计, 2025, (02): 25-27.
- [3] 张萌哲. 原位测试技术在岩土工程地质勘察中的应用分析[J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 223-225.