复杂地质条件下岩土工程勘察要点与方法探讨

肖　吉

达州市水利电力建筑勘察设计院有限公司 四川 达州 635000

【摘　要】：复杂地质环境中岩土体结构差异显著，传统勘察手段难以全面反映地下空间特征，易导致参数偏差与风险识别不足。受地层非均质性、地下水变化及构造影响，勘察数据离散性增强，成果稳定性降低。针对上述问题，构建多源信息融合的勘察方法体系，结合原位测试、物探手段与钻探取样协同应用，并通过分区分层分析与参数修正技术提高数据可靠性。实践表明，该方法可有效降低勘察误差，增强地质结构识别精度，为工程设计提供更具针对性的参数支撑。

【关键词】：复杂地质条件；岩土工程勘察；多源信息融合；原位测试；参数修正

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.041

引言

岩土工程建设逐渐向复杂地质区域延伸，地层结构呈现出明显的不均匀性与不连续性，传统勘察模式在应对断层破碎带、软硬互层及高地下水区域时，难以获取稳定可靠的数据支撑。勘察成果一旦偏离实际地质情况，容易引发设计参数失准，进而影响工程安全与施工组织安排。工程实践中已显现出单一勘察手段对复杂条件适应能力不足的问题，数据离散程度大、空间分布刻画粗略等现象较为突出。围绕复杂地质特征构建更具针对性的勘察技术体系，强化信息获取深度与分析精度，成为提升岩土工程勘察质量的重要方向。

1 复杂地质条件下岩土体结构特征解析

1.1 非均质地层空间分布规律

复杂地质条件下岩土体呈现明显的非均质性特征，土层厚度、结构组成及物理力学性质在空间上具有显著差异，形成多尺度、多层级的分布格局。地层之间界面起伏不规则，局部夹层、透镜体及软弱带交错分布，使工程区内应力传递路径复杂化。纵向上不同沉积环境导致层间性质突变，横向上受构造作用与成岩过程影响产生连续性破坏，进而形成不稳定结构单元。基于精细化勘察理念，需要结合高密度布点与三维信息重构手段，对地层分布进行空间离散化表达，通过多源数据融合提升地层界面识别精度，实现对岩土体结构复杂性的量化描述，为后续工程参数选取提供可靠依据。

1.2 断裂构造对工程稳定性的影响

断裂构造作为控制区域地质稳定性的关键因素，对岩土体完整性与力学响应具有显著影响。断裂带内岩体破碎程度高，结构面发育密集，抗剪强度与变形模量明显降低，易形成潜在滑移通道。构造活动还会引起应力重新分布，使局部区域处于应力集中或松弛状态，增加不均匀沉降与边坡失稳风险[1]。断裂交汇区域常表现出复杂的结构组合关系，导致稳定性评价难度提升。勘察过程中需强化对断裂走向、倾角及延伸范围的精准识别，结合地球物理探测与工程地质分析手段，建立构造控制模型，从而为工程布置与支护设计提供结构约束条件。

1.3 地下水动态变化特征识别

地下水系统在复杂地质环境中呈现出多层次、多通道的动态流动特征，其水位变化、补给路径及渗流方向直接影响岩土体的力学性质与稳定状态。地下水位的周期性波动会改变有效应力分布，导致土体强度参数发生时变效应，同时增强软弱层的变形敏感性。含水层之间的水力联系在断裂或裂隙发育区域更加显著，易形成局部高渗透通道，诱发突涌、渗漏等工程问题。针对这一特征，需要通过长期监测与实时数据采集构建地下水动态数据库，结合数值模拟方法分析渗流场演化规律，实现对地下水影响范围与强度的精细化识别，为工程防渗与排水设计提供定量依据。

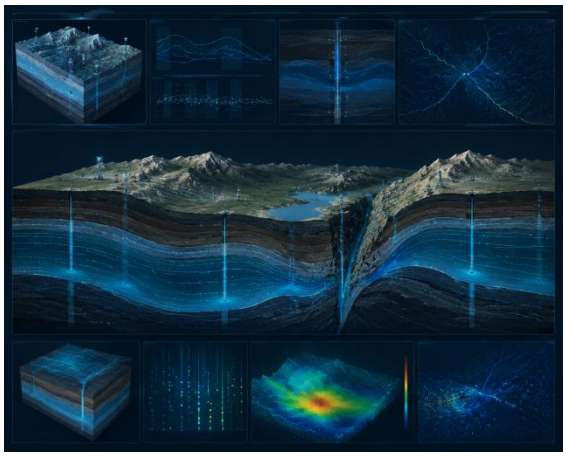


图 1 地下水多层渗流动态系统示意图

2 勘察数据获取过程中的关键制约因素分析

2.1 单一探测手段适应性不足

复杂地质条件下，岩土体结构差异显著，单一探测手段难以覆盖多类型地质信息获取需求。钻探方法虽具备直观取样优势，但对结构连续性识别能力有限；地球物理方法在大范围扫描方面具备效率优势，却易受介质差异与信号衰减影响，解析结果存在不确定性。单一手段获取的数据维度较为单一，难以反映岩土体的空间非均质特征及力学性质变化。面对复杂地层组合与多场耦合作用，探测结果往往缺乏系统性与完整性，导

致地质模型构建精度不足。基于多维信息融合的发展理念，需强化多手段协同应用能力，提高数据获取的适配性与覆盖范围。

2.2 取样扰动对参数准确性的干扰

岩土取样过程中受钻进方式、取样设备及地层性质影响，原状结构易发生扰动，导致物理力学参数偏离真实状态。软土及饱和土体在取样过程中结构破坏明显，孔隙水压力释放引起应力重分布，使试样强度与变形指标出现系统性误差。硬质岩层取样则可能因机械破碎产生微裂隙，改变原有结构完整性[2]。扰动效应还会在运输与保存过程中进一步累积，降低实验结果的代表性。针对高精度勘察需求，需要优化取样工艺与封存技术，降低外界扰动对试样结构的影响，提升参数获取的真实性与稳定性。

2.3 测试数据离散性扩大问题

复杂地质环境中测试数据常呈现显著离散特征，受地层非均质性、测试方法差异及环境条件变化影响，数据波动范围扩大。不同测试点之间参数差异较大，使统计分析结果难以形成稳定区间，增加工程参数选取的不确定性。原位测试与室内试验之间存在尺度效应差异，数据之间缺乏统一性，进一步加剧离散程度。数据处理过程中若缺乏系统筛选与校核机制，异常值易对整体评价产生干扰。基于精细化勘察与数字化分析要求，需要构建标准化数据处理流程，通过多源数据对比与统计修正方法，提高数据一致性与可靠性。

3 多源协同勘察方法构建与技术路径

3.1 钻探与原位测试联合应用方式

钻探技术在复杂地质条件下承担基础地层揭示与取样功能，通过布设高密度钻孔可获取岩土体分层结构及物性指标，但单一钻探难以反映原位应力状态与变形特征。原位测试手段可直接获取地层强度参数与变形模量，能够在天然应力条件下反映岩土体真实响应特性。将钻探与标准贯入试验、静力触探、旁压试验等方法协同应用，可在空间尺度上实现点状与连续信息的互补，提高参数获取的完整性。针对复杂地层界面变化频繁区域，需优化钻孔布设间距与测试深度控制策略，确保关键层位数据采集连续稳定。结合数字化勘察理念，将钻探记录与原位测试结果进行统一编码与实时集成处理，构建动态更新的数据体系，实现地层结构与力学参数的同步解析，提升复杂地质条件下勘察数据的适配能力与工程支撑水平。

3.2 地球物理探测辅助识别技术

地球物理探测在复杂地质环境中具备快速扫描与大范围覆盖优势，可通过不同物理场响应反映地下结构差异。电阻率法、地震波法及地质雷达等技术可识别地层界面变化、空洞分布及断裂发育情况，为钻探布设提供先验信息[3]。针对多介质交错分布区域，应根据岩土体电性、弹性及介电特征差异选择匹配的探测方法，并通过多种物探手段联合布设，提高异常体识别的准确性。复杂环境中信号衰减与噪声干扰较为突出，需要通过滤波处理与反演算法优化，提高数据解析精度。基于智能化处理技术，将物探数据与已有地质资料进行对比分析，建立地层响应特征与工程属性之间的关联模型，实现对隐伏构造与不良地质体的精细识别，为后续精细勘察提供方向性支撑。

3.3 信息融合与数据综合判读机制

多源勘察数据在复杂地质条件下呈现多维度、多尺度特征，单一数据难以支撑精确地质模型构建，需要建立系统化的信息融合机制。通过统一数据标准与空间坐标体系，将钻探记录、原位测试结果及物探信息进行集成处理，形成多层次数据结构。数据融合过程中需引入统计分析与不确定性评估方法，对不同来源数据进行权重分配与误差修正，减少异常值对整体判断的干扰。利用三维地质建模技术，将离散数据转化为连续空间表达，实现岩土体结构、参数分布及地下水条件的综合展示。结合数字化与智能化发展路径，构建动态更新的数据管理平台，对勘察信息进行实时校核与迭代优化，使综合判读结果具备更高的可靠性与工程适应性，为复杂地质条件下的设计决策提供精准依据。

4 复杂地质条件下参数修正与分区评价方法

4.1 分层分区参数修正策略

复杂地质条件下岩土体物理力学参数具有显著空间变异特征，统一参数取值难以反映实际工程环境。分层分区修正策略通过细化地层划分，将不同成因、结构及状态的岩土单元进行独立识别，并在此基础上建立差异化参数体系。纵向上依据沉积环境与结构完整性划分工程地质单元，横向上结合构造分布与水文条件确定分区边界，使参数修正具备空间针对性。参数修正过程中需引入原位测试结果与室内试验数据的对比分析，通过统计方法识别离散区间与异常值，形成分区参数区间范围。针对软弱层及结构复杂区域，应提高修正系数敏感性，强化参数取值的安全储备。依托精细化勘察理念，结合三维地质模型对各分区参数进行动态更新，使参数体系能够反映地层结构演变特征与工程响应差异，提高整体评价的科学性与适配性。

4.2 经验模型与实测数据耦合方法

岩土工程参数获取过程中，经验模型在参数推定与趋势判断方面具有重要作用，但单独应用易受区域差异与模型假设条件限制。实测数据能够反映局部地层真实特征，却存在离散性与样本有限性问题[4]。将经验模型与实测数据进行耦合，可在宏观规律与局部特征之间建立关联机制。耦合过程中需对模型参数进行区域修正，使其与现场实测结果保持一致，通过反演分析不断校准模型精度。针对复杂地层条件，应构建多模型组合体系，对不同地质单元采用适配性更高的模型进行计算，并

通过数据融合技术实现结果集成。结合数字化处理手段，对实测数据进行标准化与归一化处理，降低不同测试方法带来的偏差影响，从而提高参数推定的稳定性与一致性，使计算结果更符合工程实际需求。

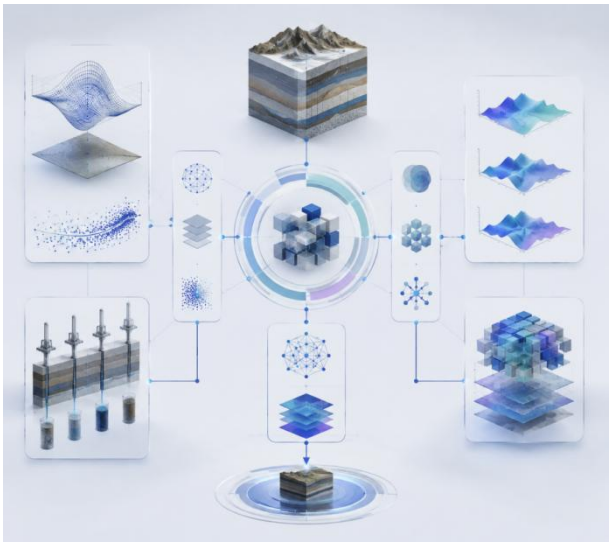


图 2 经验模型与实测数据耦合示意图

4.3 风险敏感区精细化识别路径

复杂地质环境中不良地质体分布具有隐蔽性与突发性特征，传统评价方法难以准确定位高风险区域。精细化识别路径需以多源数据为基础，通过构建风险评价指标体系，对地层结构、地下水条件及构造发育情况进行综合分析。识别过程中应强化对软弱夹层、断裂带及高渗透通道等关键因素的空间表达，通过权重分析确定各影响因子的贡献程度。利用空间分析与数值模拟方法，对潜在失稳区域进行分级划分，使风险区范围具备清晰边界与定量特征。结合动态监测数据，对识别结果进行持续修正，实现风险区演化趋势的实时跟踪。基于精细化管理理念，将识别成果与工程设计参数相衔接，为支护措施布置与施工控制提供可靠依据，提高复杂地质条件下工程安全控制水平。

5 勘察方法优化后的工程适配效果评估

5.1 地质结构识别精度提升情况

多源协同勘察方法应用后，地质结构识别由以往的点状判断向空间连续表达转变，层界面定位精度显著提高。钻探数据、原位测试结果与物探信息在统一坐标体系下进行综合分析，使不同尺度信息能够相互校核，有效降低单一数据误判风险。复杂地层中软弱夹层、隐伏构造及不连续界面的识别更加清晰，空间展布规律得到细化表达。三维建模技术的引入使地质结构由二维剖面拓展为立体形态，增强对复杂地质体几何特征的刻画能力。识别精度的提升使地质模型更贴近实际情况，为后续工程分析提供更加可靠的基础数据支撑。

5.2 设计参数可靠性改善程度

勘察方法优化后，参数获取过程由单源数据推定转向多源数据校核，提高参数选取的科学性[5]。原位测试结果与室内试验数据通过统一标准进行比对分析，参数离散区间得到有效收敛，异常值对整体结果的影响明显减弱。分区修正方法使不同地质单元参数具有针对性，避免统一取值带来的偏差问题。结合统计分析与模型校正手段，关键力学参数的稳定性与代表性得到增强。参数可靠性的提升使工程设计计算结果更加接近实际受力状态，为结构安全控制与施工组织提供更具支撑力的数据基础。

5.3 勘察成果对工程决策支撑能力强化

勘察成果在信息完整性与表达方式上实现系统优化，能够为工程决策提供多维度支撑。地质结构、参数分布及风险区划在统一平台上进行集成展示，使决策依据更加直观清晰。复杂地质条件下关键控制因素得到突出表达，有助于优化工程布置与施工方案选择。动态数据更新机制使勘察成果具备持续修正能力，能够及时反映现场条件变化。通过数据分析与模型推演相结合，勘察成果由单纯信息提供转变为决策支持工具，增强对工程安全性与经济性的综合指导能力。

6 结语

复杂地质条件下岩土工程勘察需强化多源信息协同获取与精细化分析能力，提升地质结构识别精度与参数取值可靠性。通过方法优化与数据融合，增强勘察成果对工程设计与施工决策的支撑深度，推动勘察技术向高精度、数字化方向发展，形成更加稳定的工程适配体系。

参考文献：

[1] 江迪,曾辉,晏世杰.岩土工程勘察在复杂地质条件下的技术应用分析[J].中华建设,2025,(12):153-155.

[2] 何雨辰.探究复杂地质条件中岩土工程勘察技术的应用[J].科技与创新,2025,(21):206-209.

[3] 温子豪,李云鹏.复杂地质条件下岩土工程勘察的应用与实践[J].西部探矿工程,2025,37(8):16-18.

[4] 刘玲全,赵洪顺.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的运用分析[J].石材,2025,(8):45-47.

[5] 王佳.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的应用研究[J].城市建设,2025,(15):64-66.