

复杂地质条件下岩土工程勘察方法的优化分析

苏东钰

(广东省岩土勘测设计研究有限公司, 广东 广州 510665)

摘 要 随着我国基础设施建设向山区、岩溶区、滨海区等复杂地质区域延伸, 岩土工程勘察作为工程设计与施工的核心前提, 其精度与效率直接决定工程安全、造价及工期。在复杂地质条件下, 传统勘察方法存在针对性不足、数据精度低、效率低下等问题, 难以满足工程建设的高标准需求。本文结合复杂地质条件的核心特征, 分析当前岩土工程勘察方法的应用现状与现存问题, 提出针对性的优化策略, 以期同类复杂地质条件下的岩土工程勘察工作提供理论参考。

关键词 复杂地质条件; 岩土工程勘察; 勘察精度; 钻探; 物探勘察

中图分类号: P642

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.003

0 引言

岩土工程勘察是工程建设的基础性工作, 核心任务是通过科学的勘察手段, 查明场地的岩土体性质、地质构造、水文地质条件及不良地质现象, 为工程设计、施工方案制定及安全防护提供精准的地质数据支撑。近年来, 我国工程建设规模不断扩大, 勘察区域逐渐延伸至地形复杂、地质构造多样的区域, 此类复杂地质条件具有岩土体非均质性强、隐伏地质体多、不良地质作用突出、水文地质条件复杂等特点, 给岩土工程勘察工作带来了极大的挑战。因此, 优化岩土工程勘察方法, 提升勘察精度与效率, 实现勘察资源的合理配置, 成为当前岩土工程领域亟待解决的重要课题。

1 复杂地质条件下岩土工程勘察难点

1.1 隐伏地质体识别难度大

复杂地质区域内的溶洞、断层破碎带、地下暗河等隐伏地质体, 无法通过地表观察直接识别, 常规勘察方法难以精准捕捉其分布范围、规模及形态, 易形成勘察盲区, 导致勘察成果存在偏差。例如: 岩溶区域的隐伏溶洞若未被探明, 可能导致桩基施工时出现卡钻、塌孔, 甚至引发工程事故。

1.2 岩土体参数测试精度低

在复杂地质环境中, 岩土体本身有着明显的非均质性与各向异性, 同一区域、同一深度的岩土体参数差异较大, 而且取样过程易受到外界影响。常规原位测试方法在测试软土、硬岩等特殊地层时, 存在着精度不足的问题, 无法准确体现岩土体的真实力学性

质。此外, 部分勘察方法存在局限, 如标准贯入试验 (SPT) 取得的土样受影响程度高, 不适用进阶试验^[1]; 而静力触探试验 (CPT) 虽然可以得到连续的监测数据, 但是在坚硬岩层中的使用效果并不理想。

1.3 勘察方法针对性不足

传统勘察大多采用“一刀切”的方式, 未结合复杂地质条件的具体类型、特征制定针对性的勘察方案, 导致使用的勘察方法和实际地质需求难以匹配。例如: 在岩溶区域还只运用单一钻探方式, 未能结合物探法实施全面探测; 在软土区域未调整取样及测试方法, 最终造成采集的数据出现偏差。

1.4 勘察效率与成本矛盾突出

复杂地质条件下的勘察工作量较大, 难度较大, 如果采用常规的勘察方法需要增加钻孔数量, 延长工期, 从而大大提高工程造价; 如果为了提高效率而减少测量工作量, 就会导致测量的准确性下降, 造成工程安全隐患。另外, 在城市人口密集区和陡峭山区等复杂施工场地, 由于施工场地的限制和恶劣的施工环境, 施工效率和成本之间的矛盾更加突出。

2 复杂地质条件下岩土工程常用勘察方法

目前, 在进行岩土工程勘察时, 一般采用钻探、地球物理勘察、现场测试和实验室测试等 4 种勘察手段, 在复杂的地质情况下, 各种勘察手段都有各自的优势和不足。

钻探是岩土工程勘察中最基本、最普遍的一种方法, 主要利用钻机对岩土体进行钻孔取样, 以直观的

作者简介: 苏东钰 (1987-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 岩土工程勘察方法。

方式了解地层的分布、岩土体的性质和地质构造。但在地质条件复杂地区,常规钻井技术存在明显的不足之处,如在喀斯特地区,钻进过程中容易遇到溶洞和突水,造成塌孔和卡钻;在软土区钻孔容易出现缩孔现象,严重影响采样质量;在超深方块岩区,普通钻井很难形成有效的钻孔,取芯效率低,甚至根本无法取芯。

物探勘察是利用岩土体的物理性质,通过专业设备探测地下地质信息,具有效率高、成本低、覆盖范围广等优势,常用方法包括地震勘察、电法勘察、地质雷达等^[2]。在复杂地质条件下,物探勘察可用于识别隐伏地质体,但存在成果多解性强的问题,若缺乏钻探验证,易导致解释偏差。

原位测试是在现场直接对岩土体进行测试,获取岩土体的力学性质、渗透性等参数,常用方法包括标准贯入试验(SPT)、静力触探试验(CPT)、载荷试验等。SPT作为国际通用的原位测试方法,具有标准化程度高、成本低、操作简便的优势,可获取锤击数(n值)及扰动土样,用于估算岩土体承载力、密实度等参数,但在软土、极硬岩地层中精度较低,且土样扰动大,不适用于高级试验。CPT为静态贯入试验,可实时获取探头贯入阻力、侧壁摩擦力等连续数据,精度高、效率高,适用于软土、粒状土层,但在坚硬岩层中难以贯入,适用性受限。

室内测试是通过对钻孔采集的岩石和土壤试样的物理、力学性能等的测试和分析,为地质调查结果的分析提供依据。然而,在地质条件复杂的地区,由于岩土体取样时的扰动和室内测试不能完全模拟现场的地质环境等原因,使得测试结果与实际情况存在一定的偏差,不能有效反映岩土体的特性。

3 当前复杂条件下岩土工程勘察中存在的问题

3.1 勘察方法单一,缺乏综合应用

目前,我国大部分勘察工程还处于单井勘察阶段,未与物探、现场测试等手段相结合,使勘察数据不够全面,精度不高。例如:在喀斯特地区,单靠钻井很难对喀斯特地区的溶洞分布情况进行全面的勘察;断层破碎带地区,在不进行地震探测的情况下,不能精确确定断层走向和破碎程度。由于单一勘察方法的限制,对复杂地质体的勘察结果很难充分反映其实际情况。

3.2 勘察方案缺乏针对性,个性化不足

在勘察前没有充分调查和分析现场地质情况,盲目地采用常规的勘察方法,没有针对复杂地质体的特点,优化勘察方法和布置测点。例如:在软土区采样方式不合理,造成土壤样品受到较大的扰动;由于没

有采取有针对性的钻孔技术,造成了超深方块状地层的成孔难度大,效率低。

3.3 数据处理与分析水平落后

在复杂的地质条件下,勘察工作所获得的钻探、地球物理、现场测试等各种数据量大且分散,而目前大部分勘察工程的数据处理还停留在传统的数据处理阶段,缺少多源数据集成和数据分析的能力,很难从数据中发掘出地质特征,从而影响了勘察成果的科学性和准确性^[3]。同时,由于缺乏对数字勘察技术的充分利用,没有实现勘测数据的采集、处理和分析等全过程的智能化,使得勘察效率和数据质量都受到了一定的影响。

3.4 勘察人员专业素养不足

复杂地质勘察对勘察人员的专业素质和实践经验都有较高要求,要求其能够正确识别地质特征,科学选择勘察方法,精准分析勘察资料等。然而,目前一些勘察人员缺少在复杂地质环境下的勘察经验,不能很好地运用新技术和新设备,在遇到各种突发情况时,很难及时处理,从而影响了勘察的顺利进行和勘察成果的质量。

4 复杂地质条件下岩土工程勘察方法的优化策略

4.1 优化勘察方案,提升针对性与科学性

勘察方案作为指导工作的核心,应遵循“调查、设计、施工”的思路,根据现场的复杂地质条件,针对不同的工程特点,设计出不同的勘察方案。首先,在工程勘察之前,对工程进行充分的地质调查,通过对区域地质数据、遥感影像数据、无人机图像数据的采集,并结合实地考察,对工程的地质结构、岩土体的分布、地质不良现象、水文地质状况等进行了解,对工程地质单元进行划分,确定工程勘察的重点和难点。其次,依据地质条件复杂程度,优化勘察点的布局 and 勘察深度。对岩溶和断层破碎带的重点地段,要加大测点密度,增加探测深度,保证对隐伏地质体的全面覆盖;在岩土性质不均匀地区,可适当减少勘察点数量,并对勘察深度进行合理控制,以达到勘察效率与勘察成本之间的平衡;同时,以“面控线、线控点”相结合的勘察体系为基础,结合地质灾害危险程度进行划分,对高风险地区进行加密,对低危险地区进行简化。最后,对各种勘察方法的适用范围和技术要求进行分析,并根据勘察目的对勘察方法进行合理的组合。例如:在岩溶地区,采用“地球物理+钻井”相结合的方法,利用高密度电法和地质雷达法等地球物理方法对岩溶和溶蚀裂隙进行圈定,然后利用钻井法对圈定的岩溶和溶蚀裂隙进行验证,得到精确的地质

资料;在软土地区,采用“钻孔+现场试验+室内测试”相结合的方法,既可优化取样过程,又可降低取样过程中的扰动程度,同时现场试验和室内试验可以互相印证,提高参数测试的准确性^[4]。

4.2 优化勘察手段,提升精度与效率

1. 优化钻探勘察方法。针对复杂地质条件,如岩溶、软土、超深填方等,对钻进技术及设备选型进行优化:在岩溶地区,应用金刚石钻进技术,降低钻进过程中的塌孔和卡钻,提高取芯效率;软土区采用泥浆保护钻进法,避免缩径现象的发生;薄壁取样器取样,减小对土样的扰动;在超深填方区,可应用“水泥浆预固壁+全套管后送”法,并与接力钻井相结合,提高钻井效率和取芯率。

2. 优化地球物理勘察方法。针对地球物理勘察结果的多解性,可将多种地球物理勘察方法融合应用和钻井验证相结合,以提高地球物理勘察结果的精度。例如:在断层破碎带,地震与电法相结合,利用地震波层析成像技术确定岩石破裂、破碎带的范围,利用高密度电法确定地下水的活动性,二者互为补充、相互印证;利用地质雷达和电法相结合的方法,对浅部隐伏矿体进行探测,提高探测精度;同时,为了降低人工辨识的误差,采用人工智能的方法,实现地球物理资料的自动辨识和反演的优化。

3. 优化现场实验和实验室实验。在软黏土地区,通过将 CPT 和十字板剪切试验相结合,获得软黏土的抗剪强度和压缩模量等力学参数;硬岩区为提高参数测试的精度,可采用重动力触探方法。同时,优化室内试验方案,采用低扰动条件下的先进试验方法,模拟现场地质环境,降低试验误差;将原位测试和室内试验数据相融合,展开对比分析,相互验证,提升参数的可靠性^[5]。例如:将 SPT 测得的锤击数与室内试验数据相结合,可以准确估算出岩石与土壤的承载能力,从而提高岩土工程勘察的实际应用价值。

4.3 优化数据处理,提升成果科学性

针对复杂地质条件下勘察数据量大且离散的特点,通过对数据处理方法进行优化,能有效提高勘察结果的科学性。首先,要建立数据采集和整理的标准化程序,对各种勘察数据的采集方法和记录要求进行规范,保证勘察数据的准确性和完整性;利用数字化勘察系统,实现外业定位、勘察记录、岩芯摄影、数据上传的全过程无纸作业,降低人工记录的误差,提高勘察效率^[6]。其次,采用多源数据融合的方法,将钻井、地球物理、原位测试和室内试验等多种数据相结合,建立起能反映地下岩体分布、形态和岩土体参数变化规律的三维

地质模型,从而实现对隐伏矿体的快速、准确识别,并对地层界面进行精细划分,为地下工程的设计提供直观、精确的地质基础。最后,智能化数据处理软件对勘察资料进行统计、回归等分析,从资料中挖掘出地质规律,剔除不合理数据,提高数据的可信度。同时,根据实际工程经验对勘察数据进行合理的修正,保证勘察结果的准确性。

4.4 提升人员素养,强化专业能力

定期组织勘察从业人员进行复杂地质条件识别、勘察新技术、新设备操作、数据处理等方面的知识培训,并邀请业内专家授课,交流勘察复杂地质情况的实际操作经验,提高从业人员的理论和业务水平。重点开展 SPT、CPT、多源数据融合和三维地质模型等新技术的应用培训。同时,通过组织勘察人员参加地质条件复杂的工程勘察,使其具备一定的实际工作经验和处理突发事件的能力;鼓励勘察工作者深入现场,根据现场地质条件对勘察方法和方案进行优化,提高实际问题解决能力。建立工程勘察质量评价体系,明确工程勘察人员的岗位职责,加强工程勘察的全过程监控和管理,保证工程勘察工作的规范有序进行。严格审核勘察数据的真实性和准确性,消除数据造假现象,保证勘察质量。

5 结束语

复杂地质条件下的岩土工程勘察,存在着难以识别隐伏体、测量精度低、测量方法针对性差、效率和成本之间的矛盾等一系列难题,直接影响着勘察的质量和施工安全性。通过优化岩土工程勘察方法,可以有效解决岩土工程勘察中遇到的复杂问题,提高岩土工程勘察的精度和效率,从而为安全高效绿色施工提供强有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 薛荣,李建丽,吴昊.复杂地质条件岩土工程勘察工作及关键技术介绍[J].石材,2023(10):100-102.
- [2] 武宜.岩土工程勘察技术在复杂地形地质条件下的应用实践[J].中华建设,2023(09):160-162.
- [3] 夏岩.岩土工程勘察技术在复杂地形地质条件下的应用分析[J].中国金属通报,2023(08):201-203.
- [4] 杨疆东.复杂地质条件下岩土工程勘察方法与实践应用研究[J].建筑工程与管理,2024,06(12):160-162.
- [5] 冯克佳.复杂地质条件下岩土勘察工程常用技术及注意事项[J].四川建材,2025,51(06):66-68,98.
- [6] 陈秀江.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的应用[J].中国金属报,2024(22):167-169.