

复杂地质条件下岩土工程勘察的应用与实践

徐彦泽

宁夏水利水电勘测设计研究院有限公司 宁夏 银川 750000

摘要：复杂地质条件对水利水电工程建设构成严峻挑战，涉及断层褶皱、岩性差异、水文条件等多方面问题。研究聚焦该背景下岩土工程勘察的应用与实践，阐述遥感、物探、钻探等技术的具体应用，分析岩溶区、滑坡区、断层破碎带等典型场景的勘察实践，指出当前技术应用、数据处理、人员素质等方面的问题，并提出优化策略，为提升复杂地质条件下勘察质量、保障工程安全提供参考。

关键词：复杂地质；岩土工程勘察；应用实践

引言

水利水电工程建设中，复杂地质条件是影响工程安全与进度的关键因素，断层破碎带、岩性多变、高地下水位等问题频发。准确把握地质状况依赖高效的岩土工程勘察。本文从复杂地质条件概述入手，介绍遥感、物探、钻探等核心技术，结合典型区域勘察实践，剖析现存问题并提出优化策略，旨在为相关工程勘察提供专业指导，推动勘察技术创新与应用。

1 复杂地质条件概述

在水利水电工程的建设征程中，复杂地质条件宛如潜藏于地下的巨兽，成为工程推进道路上的严峻阻碍。从地层构造层面审视，断层与褶皱的频繁交错构建出极为复杂的地质架构。断层破碎带处，岩体完整性遭受严重破坏，呈现出破碎、松散的状态，致使其承载能力大幅降低。当工程基础坐落于此，极易引发不均匀沉降，对工程稳定性构成巨大威胁。褶皱构造则导致地层产状变化多端，倾斜的岩层可能在特定条件下诱发山体滑坡、崩塌等地质灾害，严重危及工程安全。像在某大型水利枢纽建设时，就因坝址区存在一条规模较大的断层破碎带，使得基础处理工作变得极为复杂，耗费了大量人力、物力与时间。岩石特性的复杂多变同样给工程带来诸多棘手难题。不同类型岩石在硬度、强度、抗风化能力等方面存在显著差异。在同一工程区域内，可能会同时遭遇坚硬的花岗岩与软弱的页岩。花岗岩虽强度高，但节理裂隙发育时，会削弱其整体稳定性；页岩则在遇水后易软化、膨胀，进而降低自身承载能力。例如在某隧洞工程中，洞身穿越多种岩石地层，软硬岩石交替出现，给隧洞的开挖与支护工作带来极大挑战，施工过程中频繁出现洞壁坍塌现象。水文地质条件亦是复杂地质的关键组成部分。高地下水位区域，地基土的有效应力会因水的浮力作用而减小，导致地基承载力降低，

引发地基沉降。丰富的地下水还会加速岩石的风化与侵蚀进程，对工程材料产生腐蚀作用。若工程涉及地下洞室开挖，大量涌水可能瞬间淹没洞室，中断施工，甚至造成人员伤亡与设备损毁。在某过江隧道建设中，由于地下水位高且含水层渗透性强，施工过程中多次出现涌水突泥事故，严重影响了工程进度。

2 复杂地质条件下岩土工程勘察技术

2.1 遥感技术

遥感技术借助卫星、飞机等搭载的传感器，远距离探测地面物体反射或发射的电磁波，从而获取大面积地质信息。在复杂地质条件下，其优势显著。通过高分辨率卫星影像，能清晰识别地层的岩性差异，不同岩石的波谱特征在影像上呈现出独特色调与纹理，帮助快速圈定岩性分布范围。对于区域内的断层、褶皱等大型地质构造，遥感影像可直观展现其线性特征与形态，利用多时相影像对比，还能监测构造活动引发的地表变化。热红外遥感能探测地表温度异常，据此推断地下热水分布、地下水渗漏等情况，为水文地质勘察提供关键线索。无人机遥感则能灵活获取局部高精度影像，生成厘米级分辨率的数字正射影像图与三维模型，详细呈现复杂地形地貌与小型地质构造细节，极大提升地质信息采集的效率与精度。

2.2 物探技术

物探技术基于地下介质物理性质差异开展地质探测。在复杂地质条件下，地震勘探利用人工激发的地震波在不同地层中的传播特性，精确确定地层结构、岩性界面以及断层位置。比如浅层地震反射法，通过分析反射波走时和波形，清晰揭示地下较浅深度内的地层分布情况；深部地震勘探可探测千米深度范围内的地质构造，为大型水利工程选址提供深部地质依据。电法勘探利用岩石和土壤的导电性差异，像高密度电法，能对地

下一定深度的地质体进行二维或三维成像,有效识别地下空洞、岩溶发育区以及不同岩性的分布界限。地质雷达则通过发射高频电磁波,依据反射波时间和强度,精细探测浅部地层结构、地下管线以及小型地质缺陷,在隧洞勘察中,能快速发现洞身周边的破碎带和潜在涌水区域,助力工程安全施工^[1]。

2.3 钻探技术

钻探技术是获取地下岩土实物样本的直接手段。在复杂地质条件下,采用先进的金刚石钻进工艺,可在坚硬岩石地层中高效采取岩芯,确保岩芯的完整性与代表性,通过对岩芯的详细观察与实验室分析,精准测定岩石的物理力学性质,如抗压强度、弹性模量等,为工程设计提供关键参数。对于深部地质勘察,绳索取芯钻探技术无需频繁提钻,就能连续获取深部岩芯,大大提高钻探效率,降低施工成本。在钻孔过程中,结合孔内电视、孔内成像等技术,可直观观察钻孔壁的地质特征,详细记录地层岩性变化、节理裂隙发育情况,准确判断地下是否存在空洞、软弱夹层等不良地质现象,为后续工程方案制定提供详实可靠的地下地质信息。

3 复杂地质条件下岩土工程勘察的应用实践

3.1 岩溶地区高速公路勘察

岩溶地区因碳酸盐岩的溶蚀作用形成溶洞、暗河、溶沟等复杂地质体,给高速公路选线与基础设计带来极大挑战。先整合高分辨率遥感影像与无人机航测数据,识别地表岩溶地貌分布规律,结合地形坡度、植被覆盖差异反演地下溶洞潜在发育区域,再利用三维激光扫描技术,对裸露岩面精细建模,捕捉溶蚀裂隙走向与密度特征。物探工作多方法联合,高密度电法与地震面波法组合,可区分溶洞充填物电性与弹性差异;地质雷达能对浅部小型溶腔厘米级定位,配合钻孔全景成像技术,验证洞体形态及与周围岩体接触关系。针对深部岩溶发育区,创新应用孔间CT技术构建三维岩溶管道网络模型,精确计算溶洞顶板最小厚度与承载能力,为路基跨越方案提供量化参数。监测地下水位动态与岩体应力场分布,预判施工突水突泥风险,确保勘察成果直接指导工程结构优化设计。

3.2 滑坡地区房屋建筑勘察

滑坡地区的岩土体因地质构造与水动力作用处于不稳定状态,房屋建筑地基需精准掌握滑体边界、滑动面形态及岩土体力学特性。借助无人机倾斜摄影技术生成滑坡体高精度三维模型,细致分析地形等高线突变特征与地表裂缝空间展布,精准圈定滑坡影响范围。结合时序InSAR监测数据,捕捉不同时段位移速率差异,有效识

别潜在次级滑动带。钻探工作着重于滑带土物理力学性质测试,用特制取土器获取原状样,通过室内三轴剪切试验模拟不同含水率下抗剪强度变化。在钻孔中布设光纤传感器,实时监测滑体内部应力应变响应。物探创新运用面波频散曲线反演技术,清晰区分滑体与滑床波速差异,结合电阻率层析成像结果构建滑动面三维形态,准确计算滑坡推力分布规律。在此基础上,提出地基基础与抗滑结构协同设计参数,确保房屋建筑荷载作用下滑坡稳定性系数满足安全要求,避免因勘察疏漏导致建筑变形或破坏。

3.3 断层破碎带地区隧道勘察

断层破碎带的岩体破碎、富水性强,隧道穿越时易发生塌方、涌水等灾害,勘察需揭示破碎带的规模、物质组成及渗透性特征。勘察中,先运用深部地震反射勘探技术,优化震源能量与接收排列,提升对千米级断层破碎带的分辨率,结合大地电磁测深数据反演其电性结构,判断含水性差异。接着采用定向取芯钻探技术,获取不同部位岩芯样本,经颗粒分析确定碎屑物级配,用室内渗透试验模拟不同水头压力下渗透系数变化,并在钻孔中做压水试验,绘制压力-流量曲线评估导水性能。创新应用隧道超前地质预报系统,融合掌子面前方地质雷达数据与钻孔声波测试结果,构建三维可视化模型,预测破碎带空间展布与软弱夹层位置,计算围岩稳定性系数,为初期支护参数调整提供依据,再通过数值模拟提出止水加固方案,保障隧道施工安全^[2]。

4 复杂地质条件下岩土工程勘察存在的问题与优化策略

4.1 存在的问题

4.1.1 勘察技术应用不合理

在复杂地质场景中,技术选型常陷入单一化困境,过度依赖传统钻探手段而忽视多技术协同潜力,导致深部地质信息获取不完整。部分区域盲目套用标准化勘察流程,未能结合具体地质特征动态调整技术参数,如在高陡边坡勘察中沿用常规物探频率,造成浅部破碎带与深部完整岩体的信号混淆。技术应用存在精度与效率失衡问题,如在富水地层中单纯依赖高密度电法而未辅以声波测试,难以准确区分含水层与隔水层的边界,影响对地质异常体的识别精度。

4.1.2 勘察数据处理与分析能力不足

海量勘察数据的整合存在壁垒,不同技术手段获取的地质信息处于孤立状态,缺乏统一的数据融合框架,导致物探异常与钻探结果的匹配度偏低。数据解析多停留在定性描述层面,定量分析模型的适用性不足,如对

断层破碎带渗透性的评估仅依靠经验公式,未结合现场实时监测数据建立动态预测模型。三维可视化技术应用深度不够,未能将离散的钻孔数据、物探剖面转化为可交互的地质体模型,难以直观呈现复杂构造的空间展布规律,制约了对工程风险的精准研判^[3]。

4.1.3 勘察人员专业素质参差不齐

技术人员对新型勘察设备的掌握存在短板,在无人机遥感数据解译中,常因对岩性波谱特征的理解偏差,误判地层接触关系;深部地震勘探时,对震源参数的设置缺乏针对性,影响反射波信号的信噪比。复杂地质条件下的综合研判能力不足,面对多解性的物探结果,未能结合区域地质背景进行多维度验证,导致对岩溶发育区的判断出现疏漏。现场处置经验欠缺,在高风险勘察作业中,对突发涌水、边坡失稳等情况的应急响应不够及时,影响数据采集的连续性与安全性。

4.2 优化策略

4.2.1 合理选择与综合应用勘察技术

构建“空-地-井”立体勘察体系,高空层面利用高分辨率卫星遥感圈定区域地质构造框架,地面采用无人机航测与三维激光扫描获取精细化地形地貌数据,井下结合定向钻探与孔内成像技术揭示深部岩体特征。针对特殊地质单元实施技术组合优化,如岩溶区采用地质雷达与孔间CT联合探测,通过电磁波反射与射线层析成像的互补,提高溶洞空间定位精度;断层破碎带勘察中,将地震反射法与声波测井结合,通过波速差异反演破碎带的物质组成与延伸范围,实现技术优势的叠加效应。

4.2.2 提高勘察数据处理与分析水平

建立标准化数据共享平台,统一遥感影像、物探曲线、钻探数据的格式与坐标系统,通过数据接口实现多源信息的无缝对接,为综合分析提供基础支撑。引入人工智能算法提升解析效率,利用机器学习模型识别遥感影像中的岩性纹理特征,通过神经网络反演物探数据中的地质异常体,结合数值模拟技术构建岩土体参数与工

程响应的关联模型,实现从数据到决策的快速转化。开发动态可视化系统,将勘察成果转化为三维地质模型,支持实时剖切、参数查询与场景模拟,直观展示复杂构造的空间关系,辅助工程方案的优化设计。

4.2.3 加强勘察人员专业培训与队伍建设

实施分层培养计划,针对技术骨干开展深部勘察技术专项培训,重点提升地震数据处理、三维建模等高端技能;对一线人员强化现场操作规范,通过模拟演练掌握特殊地层中的钻探工艺与设备调试方法。建立案例共享机制,收集国内外复杂地质勘察的典型案例,组织技术研讨分析成功经验与失败教训,培养人员对多解性问题的研判能力。开展跨学科交流合作,与科研机构联合攻关岩土体力学特性、水文地质演化等前沿课题,通过项目实践提升团队对复杂地质现象的认知深度,打造兼具理论素养与实操能力的专业队伍^[4]。

结语

综上所述,复杂地质条件下的岩土工程勘察需统筹技术应用与实践创新。通过多技术协同构建立体勘察体系,能突破传统手段局限,精准获取地质信息。针对不同复杂区域的勘察实践,验证了技术适配性的重要性。面对现存问题,需从技术优化、数据处理升级、人员能力提升多维度改进。未来,应持续推动勘察技术与智能算法融合,强化动态监测与预警,为水利水电工程安全高效建设提供更坚实的地质保障。

参考文献

- [1]孙龙,金海华.复杂地质条件下岩土工程勘察的应用与实践[J].城镇建设,2020(6):69.
- [2]刘祯,罗威.复杂地质条件下岩土工程勘察的应用与实践[J].建筑工程技术与设计,2020(12):4833.
- [3]钱鹏飞.复杂地质条件下岩土工程勘察的应用与实践[J].城市周刊,2021(2):79.
- [4]张达.复杂地质条件下岩土工程勘察的应用与实践重点分析[J].装饰装修天地,2020(9):163.