

水利工程中不良地质体勘察技术的应用

武聚峰

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 水利工程中,不良地质体如岩溶、断裂等对工程安全构成潜在威胁。为有效应对,需应用先进勘察技术,包括地质测绘、钻探取样、地球物理勘探及遥感数字化技术等,以精准识别不良地质体类型、规模及空间分布。通过综合勘察,可全面评估其对水利工程的影响,为工程选址、设计优化及施工处理提供科学依据。此技术的应用,显著提高了水利工程的安全性及稳定性,保障了国家基础设施建设的顺利进行。

关键词: 水利工程;不良地质体勘察技术;应用

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分,其安全与稳定直接关系到社会经济的可持续发展。然而,在水利工程的建设与运行过程中,不良地质体如断裂、岩溶、软弱夹层等,往往对工程安全构成严重威胁。因此,科学、精准地应用不良地质体勘察技术,对于识别地质隐患、评估工程风险、制定有效处理措施具有重要意义。本文旨在探讨水利工程中不良地质体勘察技术的应用,为工程安全提供技术支撑。

1 水利工程常见不良地质体类型及特征

1.1 定义与分类标准

(1) 国际与国内对不良地质体的界定存在一定差异,国际上更侧重从地质体对工程建设的“风险等级”界定,将可能导致工程事故概率超5%的地质体均归为不良范畴,涵盖范围较广;国内则以“工程适应性”为核心,明确界定为无法满足水利工程结构安全、运行稳定基本要求的地质体,界定更具针对性,如仅将对坝体、隧洞等关键部位产生直接危害的地质体纳入。(2) 按成因可分为自然形成类(如岩溶、断裂)和人类活动影响类(如人工开挖引发的松散体);按形态可分为层状(如软弱夹层)、块状(如孤石)、散体状(如风化碎屑);按工程影响可分为渗流危害类(如岩溶)、变形破坏类(如膨胀土)、失稳风险类(如断裂构造),分类体系相互补充,为工程勘察提供清晰指引。

1.2 主要类型及其工程危害

(1) 断裂构造在水利工程中易引发双重危害,一是成为水库渗漏通道,导致水库蓄水效率下降,如某水库因坝基断裂带未有效处理,年渗漏量达百万立方米;二是降低坝基承载能力,引发坝体不均匀沉降甚至失稳,威胁工程整体安全。(2) 岩溶地貌的危害集中在地基与隧洞工程,地基中溶洞易在荷载作用下坍塌,导致建

筑物开裂;隧洞施工中若遭遇岩溶暗河,易引发突水事故,不仅延误工期,还可能造成人员伤亡。(3) 软弱夹层虽厚度较小(多为几厘米至几十厘米),但抗剪强度极低,在边坡工程中易成为滑动面,引发边坡失稳;在地基工程中则会导致不均匀沉降,影响建筑物结构稳定性。(4) 特殊性土中,膨胀土遇水膨胀、失水收缩,易使建筑物墙体开裂、基础变形;黄土具有湿陷性,受水浸泡后结构破坏,会导致地基大幅沉降,破坏水利工程施工^[1]。

1.3 勘察难点与需求分析

(1) 不良地质体具有显著的勘察难点,隐蔽性强,如深部岩溶、地下断裂带难以通过地表观察发现;分布不均,同一区域内地质体规模、形态差异大,增加勘察代表性难度;且受水文、地质作用影响,呈现动态变化特征,如软弱夹层强度会随地下水活动发生改变。(2) 基于上述难点,勘察工作需满足三方面需求,一是提升勘察精度,采用钻探、物探结合的综合勘察手段,精准确定地质体位置、规模;二是保障时效性,需快速提供勘察成果,为工程设计、施工调整争取时间;三是实现多尺度整合,将微观岩性分析与宏观地质构造研究结合,全面评估不良地质体对工程的影响。

2 水利工程中不良地质体勘察技术体系

2.1 传统勘察技术

(1) 地质测绘与调查是勘察工作的基础环节,通过实地踏勘结合地形图,开展地形地貌分析,识别沟谷、斜坡等易发育不良地质体的地貌单元;同时进行地质剖面测绘,沿工程关键线路(如坝轴线、隧洞走向)绘制地质剖面图,直观反映地层岩性、构造分布,为后续勘察提供初步地质框架,例如在水库选址阶段,可通过该技术初步判断区域是否存在大规模断裂带或岩溶发育迹象。(2) 钻探与坑探是验证地质推测、获取原位样本的

核心手段。钻探通过钻机钻孔,采集岩芯或土样,确定地层岩性分层、不良地质体埋深及规模;坑探则通过开挖探槽、探井,直接观察地层结构,尤其适用于地表浅部不良地质体(如表层软弱夹层)的验证,二者结合可有效验证地质测绘成果,为工程设计提供可靠的地层参数。(3)室内试验基于钻探与坑探获取的样本开展,包括岩石力学参数测试(如抗压强度、抗剪强度试验)和土工试验(如含水率、压缩系数、渗透系数测试),通过专业仪器分析样本物理力学性质,量化不良地质体(如膨胀土、软弱夹层)的工程特性,为评估其对工程的危害程度及制定处理方案提供数据支撑。

2.2 地球物理勘探技术

(1)电法勘探在不良地质体勘察中应用广泛。高密度电阻率法通过布设多电极阵列,测量地下介质电阻率差异,适用于探测岩溶、断裂带等低阻异常体,如在某水库坝基勘察中,该方法成功识别出3处隐伏溶洞;激发极化法则通过测量介质极化特性,可区分含水地质体与干地质体,常用于寻找地下暗河、评估含水层富水性。(2)地震勘探凭借波速差异探测地下结构,浅层地震折射法利用地震波折射传播规律,精准确定地层界面埋深,尤其在断层探测中优势显著,能清晰反映断层破碎带的位置与规模;面波勘探则通过分析瑞利波传播速度,评估浅层土体密度及软弱夹层分布,为边坡工程稳定性分析提供依据^[2]。(3)电磁法适用于高精度探测。地质雷达利用高频电磁波探测地下介质,分辨率高,可有效探测隧洞超前地质预报中的溶洞、管线等小型不良地质体;瞬变电磁法通过观测电磁感应瞬变场,对深部低阻地质体(如深部岩溶、地下水富集区)探测能力强,弥补了钻探深度有限的不足。(4)综合物探技术通过整合多种物探方法(如电法+地震法、地质雷达+瞬变电磁法),开展联合反演与数据融合,减少单一方法的多解性,例如在复杂岩溶区勘察中,通过综合物探可更精准地圈定溶洞分布范围、判断其连通性。

2.3 遥感与数字化技术

(1)卫星遥感借助高分辨率卫星影像(如高分系列、SPOT卫星),开展区域地质构造解译,通过分析影像上的线性构造、环形地貌等特征,识别活动断层、大型岩溶盆地等,例如在流域尺度水利工程规划中,可快速圈定活动断层分布区域,规避高风险选址。(2)无人机低空摄影通过搭载高清相机、激光雷达,获取工程区高精度影像与点云数据,构建三维地形模型,不仅能实现地形地貌的精细呈现,还可用于滑坡、危岩体等灾害体的动态监测,例如在水库边坡勘察中,通过无人机定

期航拍,可捕捉边坡微小位移,预警失稳风险。(3)三维地质建模融合BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)技术,将勘察获取的地层数据、物探成果转化为可视化三维模型,清晰展示复杂地质体(如多层软弱夹层、网状岩溶)的空间分布的关系,为工程设计(如坝基处理方案优化、隧洞开挖路径规划)提供直观的决策支持,例如在大型隧洞工程中,通过三维地质模型可提前预判开挖面遇到的不良地质体,制定应对预案^[3]。

2.4 原位测试与监测技术

(1)原位测试无需取样,直接在现场获取地层力学参数,静力触探通过探头贯入地层,测量锥尖阻力、侧壁摩阻力,快速评估土层承载力、划分土层界面,适用于软土、膨胀土等特殊土土的勘察;标准贯入试验通过重锤自由下落击打探头,根据贯入击数判断土层密度、液化可能性,为地基处理方案选择提供依据。(2)长期监测聚焦不良地质体动态变化,分布式光纤传感利用光纤的光传输特性,实现对坝基、边坡的温度、应变、渗流的实时监测,可精准捕捉局部渗漏、结构变形;GNSS(全球导航卫星系统)位移监测通过布设监测点,实时获取地表三维坐标,监测断层活动、边坡位移等,例如在水库运行期,通过GNSS持续监测坝体及周边边坡,可及时预警因不良地质体活动引发的工程风险。

3 水利工程中不良地质体勘察技术应用中的问题与优化策略

3.1 现有技术局限性分析

(1)多解性问题是勘察技术应用的核心瓶颈,尤其体现在地球物理勘探反演过程中。由于地下地质条件复杂,不同地质体可能呈现相似的物理特性(如溶洞与充水断层均表现为低阻异常),导致物探反演结果存在不确定性。例如,在某水电站隧洞勘察中,高密度电阻率法探测到低阻区域,初期误判为岩溶发育区,经钻探验证为富水断层破碎带,多解性问题不仅增加勘察成本,还可能延误工程设计进度。(2)复杂地质条件下,现有技术适应性明显不足。对于深埋隧洞(埋深超1000米),受高地温、高水压影响,传统钻探设备易出现故障,物探信号衰减严重,难以精准探测深部不良地质体;而面对交叉地质体(如断裂带与岩溶交织区域),单一勘察技术难以区分不同地质体的边界与相互作用关系,例如在西南某水利工程中,因未能准确识别交叉发育的溶洞与断层,隧洞开挖时发生大规模突水突泥事故^[4]。(3)数据整合与共享机制缺失问题突出。勘察过程中,地质测绘、物探、钻探等环节产生的数据格式不统一(如CAD图纸、物探原始数据、试验报告分属

不同系统), 缺乏统一的数据管理平台, 导致数据难以高效整合; 同时, 不同参建单位(勘察院、设计院、施工单位)之间数据共享不畅, 易出现“信息孤岛”, 例如某水库工程中, 勘察单位发现的隐伏断层数据未及时同步至施工单位, 导致坝基开挖时重复处理, 增加工程成本。

3.2 技术优化方向

(1) 智能化是突破技术局限的关键方向。通过引入AI技术(如深度学习、机器学习), 可辅助地质解译与风险预测: 利用AI算法对卫星遥感影像、物探数据进行自动分析, 快速识别断层、岩溶等不良地质体, 减少人工解译误差; 基于历史勘察数据与工程事故案例构建风险预测模型, 可提前预判不良地质体可能引发的工程危害, 例如某流域水利工程通过AI模型, 成功预测出3处高风险滑坡区域, 为防护措施制定提供依据。(2) 精细化技术可提升勘察精度与深度。微震监测技术通过捕捉地下微小震动信号, 能实时监测深埋隧洞开挖过程中岩体内裂纹的产生与扩展, 提前预警岩爆、塌方风险; 纳米级土工试验技术借助原子力显微镜等设备, 从微观尺度分析特殊性土(如膨胀土)的颗粒结构与力学特性, 为精准评估其变形规律提供数据支撑, 解决传统试验难以量化微观结构影响的问题。(3) 绿色化技术符合生态水利建设需求。低扰动原位测试技术(如无线传感原位测试、微创钻探)可减少了对工程区周边土壤、植被的破坏, 例如在生态敏感区水库勘察中, 采用微创钻探技术, 钻孔直径缩小至传统钻探的1/3, 大幅降低对地表生态的扰动; 生态勘察技术则将地质勘察与生态评估结合, 在勘察不良地质体的同时, 评估其对周边动植物栖息地、水文生态的影响, 实现工程建设与生态保护协同推进^[5]。

3.3 标准化与协同化建议

(1) 推进勘察流程规范化, 关键在于引入国际先进标准(如ISO地质勘察系列标准), 结合国内水利工程实际需求, 制定统一的勘察技术规范与成果验收标准。规范应明确不同类型不良地质体(如岩溶、断裂)的勘察

方法选择、数据采集精度要求、成果报告格式等内容, 避免因勘察流程不统一导致成果质量参差不齐。同时, 建立勘察质量追溯体系, 通过信息化手段记录勘察全过程数据, 确保勘察成果的真实性与可追溯性, 为工程设计与施工提供可靠保障。(2) 构建多学科交叉团队是提升勘察综合能力的重要途径。团队应整合地质、水利、计算机、生态等多领域专业人才, 形成“地质勘察+工程设计+技术研发+生态保护”的协同工作模式。在勘察过程中, 地质专业人员负责识别不良地质体特征, 水利专业人员结合工程需求明确勘察重点, 计算机专业人员研发数据处理与分析技术, 生态专业人员评估生态影响, 通过多学科协作, 实现勘察成果与工程设计、生态保护的深度融合。例如, 在大型水库工程勘察中, 交叉团队可同步完成不良地质体探测、坝体结构稳定性分析与库区生态保护方案制定, 提升工程建设的综合效益。

结束语

在水利工程建设征途中, 不良地质体勘察技术犹如精准的“地质探针”, 发挥着不可或缺的作用。它助力我们穿透复杂地质表象, 精准锁定断裂、溶洞等隐患, 为工程安全筑牢根基。随着科技迭代, 该技术不断融合新方法、新设备, 勘察精度与效率大幅提升。展望未来, 我们应持续深耕技术创新, 强化多技术协同, 让不良地质体勘察技术更加智能、高效, 为水利事业蓬勃发展提供更为坚实的地质保障。

参考文献

- [1]刘松良.浅谈水利工程中地质勘察与岩土治理问题探究[J].水上安全,2023,(03):44-46.
- [2]公瑾.水利工程坝址选择工程地质勘察要点分析[J].黑龙江水利科技,2022,50(11):219-221.
- [3]冯祯辉,曹凤旭,郭万鹏.水利工程中的岩土地质勘察存在的问题[J].中国高新科技,2022,(11):147-148.
- [4]王立玲.水利工程勘察中水文地质问题的研究[J].四川水泥,2022,(03):64-65.
- [5]杨文.工程地质勘察中的水文地质问题分析[J].住宅与房地产,2021,(34):192-193.