

水电站勘察中不良地质体识别与处理建议

贾 航

浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司 浙江 杭州 310030

摘要: 水电站勘察中,不良地质体的精准识别与科学处理关乎工程安全与长期稳定运行。本文围绕坝址区岩体结构缺陷、松散堆积体、水文扰动带及风化变质层等典型不良地质体,梳理空间发育规律与赋存特性。从地面精细化勘察到深部物探探测,从多源数据综合判别到边界形态精准判定,构建了较完整的识别技术体系。进而剖析不良地质体对坝基、厂房、边坡隧洞及场区整体稳定的影响机理,并针对不同缺陷类型提出软弱岩土改良、破碎带加固、空洞充填及不稳定体支护隔离等处理建议。

关键词: 水电站勘察;不良地质体;识别技术;工程处理;地质稳定性

引言: 水电站工程多修建于地质条件复杂的河谷地带,场区广泛发育断层破碎带、软弱夹层、松散堆积层及岩溶洞穴等不良地质体,给勘察识别与工程处理带来较大挑战。勘察阶段能否准确查明不良地质体的类型、规模及空间分布,直接决定后续设计方案与施工措施的合理性。当前,单一勘察手段往往难以全面揭示地下隐蔽地质缺陷,多技术协同与多源信息融合已成为提升识别精度的主要途径。围绕不良地质体的系统分类、精准识别、影响分析与处置建议展开讨论,对保障水电站工程安全具有重要工程价值。

1 水电站工程勘察不良地质体基本类型与发育特征

1.1 水电站场区典型不良地质体分类

水电站场区地质构造运动与外动力地质作用叠加,催生各类稳定性偏弱的不良地质体。岩体结构缺陷类地质体普遍赋存于各类岩层内部,构造运动改造岩体原生结构,改变岩体完整度与整体力学性能^[1]。松散堆积类地质体发育于地表与浅层岩土区域,岩土颗粒胶结疏松,承载性能与抗冲刷性能处于较低水平。水文扰动类地质体由地下水渗流、河道水系侵蚀作用形成,打破岩土体原有渗透平衡,引发渗透变形与结构失稳问题。风化变质类地质体历经长期物理风化与化学风化作用,岩层原生结构破损,岩体强度持续降低,整体地质稳定性不断下降。

1.2 各类不良地质体空间发育规律

各类不良地质体在水电站场区的空间分布呈现鲜明的区域差异与层级差异。浅表地层集中分布松散堆积类与强风化类地质体,分布范围跟随地表地形走势延展,整体埋藏深度较小。中深部岩体空间以构造缺陷类地质体为主体,发育走向贴合区域地质构造脉络,延展范围由构造应力作用强度决定。河谷岸坡区域水系切割作用

与岩体卸荷作用显著,大幅提升不良地质体发育密度,加速地质体成型与扩张。地层岩性突变接触面、构造交汇位置集中孕育多种不良地质体,具备明显的空间叠加分布特点。地层竖向空间内,不良地质体的发育规模、破损程度随埋深变化产生梯度差异,浅层地质体类型丰富,深部地质体类型相对单一。

1.3 不良地质体场区赋存环境特性

地形地貌格局划定不良地质体的孕育范围,地势起伏差异调整岩土体受力格局,改变外力侵蚀作用强度,为地质体发育提供动力支撑。地层岩性决定岩土体基础物理力学性质,软弱岩层与软硬互层岩层结构稳定性差,极易诱发各类不良地质问题。区域地质构造重塑场区应力分布状态,构造活动活跃区域岩体破碎程度高,为不良地质体发育提供充足条件。地下水动态循环持续改造岩土体内部结构,水体浸润与渗流作用弱化岩体强度,推动不良地质体持续发育扩张。区域气候条件与外力侵蚀作用不断改造浅表地质结构,持续维持不良地质体的发育环境。

2 水电站勘察不良地质体精准识别技术体系

2.1 地面精细化勘察识别技术

地面精细化勘察识别技术依托地表全域勘察手段,完成水电站场区浅表不良地质体的细致探查与甄别。地表地形测绘技术依托高精度探测设备捕捉场区微地形变化特征,精准捕捉浅表岩体破损、岩土松散等异常地质迹象。地表岩土取样检测针对不同区段岩土介质开展物性参数检测,依托介质物理力学参数差异区分正常岩土体与不良地质体^[2]。地表遥感探测技术依托远距离成像捕捉场区地表地质纹理与光影变化,高效筛查大范围区域内风化带、松散堆积层等不良地质单元。浅表地质扫描技术可细化地表岩土结构分布状态,精准锁定浅表地质

缺陷的分布位置与发育范围,为浅层不良地质体判定提供基础数据支撑。

2.2 地下深部地质探测识别技术

地下深部地质探测识别技术聚焦场区地下隐伏不良地质体,突破地表勘察的深度局限。深部物探探测利用岩土体电性、波速、密度等物理属性差异,采集地下地层结构响应数据,甄别深部破碎带、空洞、软弱夹层等隐蔽不良地质体。钻探勘察通过深部钻孔取芯作业,直观获取地下岩层完整结构与岩土性状,逐层梳理深部不良地质体的发育层位。孔内专项探测设备深入钻孔内部采集原位地质数据,细化深部岩体结构特征,精准捕捉深部地层隐蔽的地质缺陷,弥补常规物探手段分辨率不足的问题,实现地下深层地质异常区域的有效识别。

2.3 多维度地质信息综合判别方法

多维度地质信息综合判别方法整合多渠道勘察数据,提升不良地质体识别的精准程度。场地基础地质数据涵盖区域地层、构造、水文等基础地质资料,搭建判别工作的基础数据框架。各类勘察设备采集的量化数据实现地质特征数字化呈现,直观反映岩土体结构与性能差异。场地动态地质监测数据记录场区岩土体环境变化状态,辅助区分原生不良地质体与后期外力作用形成的地质缺陷。多类数据的交叉比对与深度分析,弱化单一勘察手段存在的识别偏差,依托多源信息互补特性完成不良地质体的科学判别。

2.4 不良地质体边界与形态精准判定方式

不良地质体边界与形态精准判定方式依托精细化数据推演,明确各类不良地质体的空间形态与边界范围。高密度测点布设模式加密重点区域勘察点位,缩小数据采集间隔,清晰刻画地质体边缘过渡区域的岩土性状变化。数字化地质建模依托实测勘察数据重构地下地质结构模型,直观呈现不良地质体的空间延展形态、厚度与分布规模。数据梯度分析梳理岩土体物性参数突变位置,精准界定不良地质体与完整岩土体的分界区域,实现各类不良地质体空间形态与边界范围的精细化判定。

3 不良地质体对水电站工程建设的影响机制

3.1 不良地质体对坝体基础的影响机制

坝体基础承载水电站主体结构的全部竖向荷载与水平水压力,不良地质体的存在会持续扰动基础承载体系的稳定状态。软弱岩土介质会降低坝基整体承载能力,岩土压缩变形特性会引发基础不均匀沉降问题。破碎岩体结构会破坏坝基岩体的整体性与连续性,降低结构抗剪强度,弱化坝体与地基的结合性能。渗流特性异常的地质体会提升坝基渗流量,逐步冲刷内部岩土颗粒,形成内部渗漏通

道,改变坝基原有应力分布状态^[3]。各类地质缺陷会持续弱化坝基抗滑稳定与防渗稳定性能,干扰坝体结构受力平衡,对坝体静置运行状态形成持续扰动。

3.2 不良地质体对引水及厂房工程的影响机制

引水结构与厂房工程对基底岩土条件与周边围岩环境具备较高适配要求。软弱松散地质体分布于厂房基底时,会增大结构沉降变形概率,影响厂房设备安装精度与运行平稳性。围岩风化破损区域会降低引水结构周边岩体的约束能力,结构受力过程中易出现局部形变偏移。地下水活跃的不良地质区域会持续侵蚀结构基底与侧壁混凝土结构,弱化结构耐久性能。岩土体渗透变形问题会改变引水工程周边水力环境,引发局部渗流异常,干扰引水系统水流输送的稳定性,影响厂房机组运行工况的平稳维持。

3.3 不良地质体对边坡及隧洞工程的影响机制

边坡与隧洞工程多依托山体岩体构建,地质体结构特性直接决定工程施工与运行安全。边坡区域松散堆积与风化岩体结构稳定性偏弱,外力扰动或水体入渗后易出现岩土滑移与塌落现象。隧洞围岩破碎区域会降低围岩自稳能力,施工开挖扰动会加剧岩体松动脱落,提升隧洞坍塌风险。软弱夹层与地质破碎带会改变隧洞周边应力传导路径,引发局部应力集中,造成衬砌结构形变开裂。地下水富集的不良地质区域会持续软化边坡与隧洞岩土介质,持续弱化岩体抗剪强度,加剧结构失稳风险。

3.4 不良地质体对场区整体地质稳定性的影响机制

水电站场区整体地质稳定依托岩体结构、水文环境与应力状态的协同平衡。各类不良地质体广泛分布会破坏场区原有地质结构完整性,降低整体岩体稳定储备。地质缺陷区域会成为应力集中与外力侵蚀的薄弱区域,逐步拓展破损范围,带动周边完整岩体性能劣化。地下水在不良地质区域的持续运移会不断改造场区岩土结构,诱发持续性地质形变。多类型不良地质缺陷叠加分布时,会放大地质风险效应,弱化场区整体抗扰动能力,无法长期维持工程建设与运行所需的稳定地质环境。

4 水电站勘察不良地质体针对性处理技术建议

4.1 软弱岩土体改良处理技术建议

软弱岩土体孔隙占比高、结构密实度不足,力学强度与抗变形能力难以适配水电站工程承载标准。可采用压实改性技术对浅层软弱岩土实施碾压夯实,压缩内部孔隙空间,提升岩土整体密实程度与承载性能。注浆改良技术适用于中深层软弱岩土分布区域,通过压力输送改良浆液填充岩土孔隙,粘结松散岩土颗粒,重塑岩土内部结构。固化材料拌合改良可针对大面积软弱土层开

展原位处理,均匀混合固化药剂与原状岩土,提升岩土整体抗渗能力与结构稳定性^[4]。排水固结技术能够疏导岩土内部富余水体,降低水体对岩土结构的软化作用,逐步提升岩土体固结程度与长期力学性能,适配坝基、厂房基底等核心工程区域的地基处理需求。

4.2 破碎带与裂隙地层加固处理技术建议

破碎带与裂隙地层岩体连续性差,内部发育大量贯通及隐蔽裂隙,对外力扰动与水体侵蚀敏感度较高。高压固结注浆技术可深入填充岩体内部裂隙与破碎空隙,粘结离散岩块,恢复岩体结构整体性,阻断地下水渗流通道。锚杆锚固加固技术通过深部锚固构件串联松散破碎岩体,强化岩体内部约束作用,提升岩体整体抗剪与抗倾覆能力。喷射混凝土支护可封闭破碎地层表层结构,隔绝外界水体与空气侵蚀,抑制表层岩体风化松散进程。裂隙发育密集区域可搭配格栅支护体系,细化岩体受力分布状态,降低局部应力集中带来的结构破损风险,适配隧洞围岩与边坡深部破碎地层的加固治理。

4.3 空洞及岩溶地质充填处置技术建议

空洞与岩溶地质会造成地层结构虚空,破坏基底受力均匀性,极易引发工程沉降与结构失稳问题。小型浅层空洞可采用密实填料开展分层充填碾压,压实填充结构内部空隙,恢复地层承载基础。大型岩溶腔体与深部空洞适配泵送充填技术,采用高强度充填材料持续浇筑填充腔体空间,保障充填体与周边岩体紧密结合。岩溶裂隙发育的空洞区域可配合帷幕注浆工艺,封堵腔体周边隐蔽渗流通道,规避水体渗流冲刷导致的充填结构破损。针对形态不规则的岩溶空洞,可采用分级充填处置模式,细化不同空间区段的充填材料配比与施工工艺,提升空洞处置后的地层整体均匀性与稳定性。

4.4 不稳定地质体支护与隔离处理技术建议

场区不稳定地质体具备动态形变与滑移趋势,常规加固手段无法彻底规避地质风险。刚性支护体系可约束浅表不稳定岩土体的形变位移,抵御岩土体自重应力与外力荷载带来的结构变动。柔性防护技术适配边坡浅表松散地质体,通过柔性防护结构承接岩土剥落与小型滑移岩体,降低地质灾害对工程结构的冲击影响。地质隔

离处理技术可布设防渗隔离层与结构隔断体系,将不稳定地质体与主体工程区域完全分隔,阻断不良地质问题的扩散路径。排水疏导配套工艺可降低不稳定地质体内部水体富集程度,弱化水体对岩土结构的软化作用,持续维持支护与隔离体系的防护效果。

4.5 复杂不良地质体综合处置优化建议

多类型地质缺陷叠加形成的复杂不良地质区域,单一处置技术难以实现全面治理。可依托场地地质勘察数据划分不良地质单元,依据不同区域地质缺陷类型与发育程度搭配组合处置工艺。优化施工工序排布模式,优先完成水体疏导与表层封闭作业,再开展深部加固与充填施工,规避施工扰动引发的次生地质问题。结合工程运行长期安全需求调整处置参数,细化不同地层的注浆压力、充填厚度、支护密度等核心指标。同步完善处置后的场地地质监测体系,动态掌握岩土结构形变与渗流状态,持续优化复杂地质区域的治理效果,保障水电站工程建设与长期运行的地质安全条件。

结束语

不良地质体的识别与处理贯穿水电站勘察、设计及施工全过程,是确保工程安全的关键环节。软弱岩土改良、破碎带注浆加固、空洞充填及不稳定体隔离支护等技术手段,需依据场区地质条件差异灵活组合应用。施工过程中应持续开展地质信息反馈与动态调整,运行阶段则需保留关键监测点位,跟踪岩土体长期变形与渗流状态。只有将勘察识别与工程处置紧密衔接,才能有效控制地质风险,为水电站长期安全运行奠定坚实基础。

参考文献

- [1]肖亚子,白治军.水电站库区不良地质体InSAR数据可视化处理方法研究[J].吉林水利,2023(3):54-59.
- [2]王周萼,蔡耀军.高山峡谷区不良地质体堵江风险分析——以旭龙水电站为例[J].人民长江,2022,53(4):125-129,148.
- [3]贾东.黄河上游某水电站近坝库岸不良地质体发育特征及影响因素研究[J].建筑工程技术与设计,2021(3):1841.
- [4]梁大中.不良地质条件下尾水渠快速开挖施工技术研究[J].四川水利,2024,45(z2):27-30,82.