

岩土勘察中边坡稳定性分析与评价

牛利辉

中国能源建设集团山西省电力勘测设计院有限公司 山西 太原 030000

摘要: 本文聚焦岩土勘察中的边坡稳定性分析与评价。先阐述岩土勘察关键技术,涵盖勘察内容、方法及数据整理。研究了稳定性分析方法,对比定性、定量方法并给出选型建议。随后构建评价体系,包括指标设计、模型方法与评价标准。最后提出边坡失稳防治技术分类与动态管理策略。旨在为岩土勘察中边坡稳定性分析提供全面参考,保障工程安全。

关键词: 岩土勘察; 边坡稳定性; 评价分析

引言: 在岩土工程领域,边坡稳定性至关重要,关乎工程安全与周边环境稳定。岩土勘察作为了解边坡状况的基础工作,其精准度直接影响稳定性分析与评价结果。然而,边坡地质条件复杂,受多种因素影响,给勘察与分析带来挑战。本文深入探讨岩土勘察中边坡稳定性分析与评价,研究关键技术、分析方法及评价体系,提出防治对策,为相关工程提供科学依据。

1 岩土勘察关键技术及数据获取

1.1 勘察内容与要求

岩土勘察内容需全面覆盖场地岩土体分布、物理力学性质及工程地质条件等核心要素。首先要查明场地地形地貌特征,包括坡度、坡向、高程变化及地表覆盖层分布情况,明确岩土体分层界限、厚度及空间变化规律。其次需测定岩土体物理指标,如天然密度、含水量、孔隙比等,以及抗剪强度、压缩模量等力学指标。同时要调查场地水文地质条件,确定地下水类型、水位埋深、渗透系数及动态变化规律,分析地下水对岩土体稳定性的影响^[1]。勘察过程中需严格遵循相关规范要求,确保勘察点布置密度满足场地规模及复杂程度需求,勘探深度穿透主要受力层及软弱夹层。

1.2 勘察方法与设备

岩土勘察方法需结合场地条件选择综合勘察手段,常用方法包括工程地质测绘、勘探钻探、原位测试及室内试验等。工程地质测绘采用全站仪结合无人机航测技术,精准绘制地形地质图,标注岩土体分布及不良地质现象。勘探钻探选用液压式工程钻机,配备金刚石钻头进行岩芯钻探,确保岩芯采取率满足规范要求,对砂土、粉土等松散地层采用套管护壁工艺防止塌孔。原位测试重点采用标准贯入试验、静力触探试验及剪切波速测试,标准贯入试验使用自动落锤装置保证锤击能量稳定,静力触探试验通过全自动记录仪实时获取锥尖阻力及侧壁摩阻力数据。室内试验采用全自动三轴仪、固结仪等设

备,严格控制试验环境温度湿度,对采集的岩土试样进行物理力学性质测试,确保勘察数据的准确性和代表性。

1.3 数据整理与预处理

岩土勘察数据整理与预处理需遵循系统性、准确性原则,首先对原始数据进行分类汇总,将工程地质测绘、钻探、原位测试及室内试验数据按勘察点编号、地层深度建立数据库。对钻探数据核实岩芯描述与地层划分的一致性,修正因钻探误差导致的分层偏差,对原位测试数据绘制随深度变化曲线,识别异常数据点。室内试验数据需进行有效性检验,剔除因试样扰动、仪器误差导致的异常值,采用数理统计方法计算各岩土指标的平均值、标准差及变异系数。针对不同勘察方法获取的同一指标数据进行一致性分析,如静力触探试验与室内试验测得的承载力数据对比校准。最后将预处理后的数据与工程地质图件关联,建立包含地层分布、岩土参数、水文地质条件的数字化勘察成果,为后续边坡稳定性分析提供标准化数据支撑。

2 岩土勘察中边坡稳定性分析方法研究

2.1 定性分析方法

边坡稳定性定性分析方法以工程地质分析为核心,通过综合研判边坡地质条件及变形特征判断稳定性状态。该方法重点分析边坡地形地貌特征,包括坡高、坡角、坡体结构及坡面形态,识别坡体卸荷裂隙、风化夹层等潜在滑动面。结合岩土体岩性特征,判断岩体节理裂隙发育程度、充填物性质及软弱夹层分布,分析土体颗粒组成、含水量变化对边坡稳定性的影响。通过调查边坡周边地质环境,包括区域构造运动历史、地震活动频率及强度,评估构造应力对坡体稳定性的作用。同时参考边坡变形监测数据,如坡面位移、裂缝发育速率等,结合类似工程案例经验,判断边坡当前稳定状态及潜在失稳模式。定性分析方法操作简便、适用性强,适用于勘察初期的稳定性初步判断,能快速识别高风险边坡区域,

为后续定量分析明确重点研究对象。

2.2 定量分析方法

边坡稳定性定量分析方法通过建立数学模型计算稳定性参数,精准评估边坡稳定状态。常用方法包括极限平衡法、数值分析法及可靠性分析法等^[2]。极限平衡法通过假定滑动面形态,基于力或力矩平衡原理计算安全系数,其中瑞典条分法适用于粘性土边坡,毕肖普条分法考虑条间作用力更贴合实际工程场景。数值分析法采用有限元、离散元等数值模拟技术,建立边坡三维地质模型,模拟坡体应力应变分布,识别潜在滑动区域及塑性区发展规律,FLAC3D、GeoStudio等软件广泛应用于该领域。可靠性分析法基于概率统计理论,考虑岩土参数变异性,计算边坡失稳概率,突破传统确定性分析的局限性。定量分析需以精准勘察数据为基础,通过多方法对比验证计算结果,确保分析精度,为边坡稳定性评价及防治设计提供量化依据。

2.3 分析方法对比与选型建议

在边坡稳定性分析领域,不同分析方法各有其独特的适用场景,因此需要通过全面且深入的对比分析,来科学合理地选型,以确保分析结果既精准又高效。定性分析方法具有显著优势,其操作简便易行,所需时间短,成本也相对较低。在边坡稳定性分析的初步阶段,它能够快速完成对边坡稳定性的初步筛查,为后续工作提供基础方向。然而,定性分析方法也存在明显不足,它无法提供具体的量化指标,分析结果的精度在很大程度上受分析人员经验的影响,不同经验水平的人员可能会得出略有差异的结论。它主要适用于勘察初期,此时对边坡的了解尚不深入,通过定性分析可以快速掌握大致情况;也适用于区域边坡普查,能够在较短时间内对大面积边坡进行初步评估;对于复杂边坡的初步研判,定性分析也能发挥快速筛选的作用。定量分析方法中,极限平衡法计算原理清晰易懂,结果直观明了,对于简单边坡且滑动面明确的情况,能够准确计算其稳定性。但它对复杂地质条件的适应性较差,难以处理复杂多变的坡体情况。数值分析法能够模拟复杂坡体的应力应变特征,对于非均质、含有复杂结构面的边坡分析具有独特优势,但建模过程难度较大,计算耗时长久。可靠性分析法考虑了参数的不确定性,使得分析结果更贴合实际情况,不过它对数据量的要求较高。在实际选型时,需综合考虑勘察阶段、边坡复杂程度以及工程需求。

3 岩土勘察中边坡稳定性评价体系构建

3.1 评价指标体系设计

边坡稳定性评价指标体系设计是一项严谨且关键的

工作,需全面覆盖地质、力学、环境等关键影响因素。为清晰呈现各因素间的逻辑关系,采用层次化结构划分指标层级。一级指标包含地质条件、岩土体性质、环境因素及工程影响四类,犹如搭建起评价体系的框架。各一级指标下进一步细分二级指标。地质条件指标涵盖边坡坡高、坡角、坡体结构类型、节理裂隙发育密度及软弱夹层厚度,这些指标能直观反映边坡的基本地质形态与潜在薄弱部位。岩土体性质指标包括岩土体天然密度、含水量、抗剪强度参数、压缩模量及弹性模量,它们决定了岩土体的力学性能。环境因素指标包含降雨量、地下水水位埋深、地震烈度及植被覆盖度,外界环境的变化会通过这些指标影响边坡稳定性。工程影响指标涵盖坡顶荷载、开挖扰动范围及支护结构完整性,体现工程建设对边坡的干扰。指标选取遵循科学性、代表性及可操作性原则,通过专家打分法结合层次分析法确定各指标权重。对于难以直接量化的指标,如植被覆盖度,采用分级量化处理,确保指标体系能全面、精准反映边坡稳定性影响因素,为后续评价提供可靠依据。

3.2 评价模型与方法

边坡稳定性评价模型与方法的选择需紧密结合指标体系特征,挑选适配技术。常用模型有层次分析评价模型、模糊综合评价模型及神经网络评价模型。层次分析评价模型通过建立指标层次结构,先计算各指标权重,再结合指标评分计算综合评价得分。该方法逻辑清晰,能清晰体现各指标重要性差异,但主观性较强,受分析人员经验影响较大^[3]。模糊综合评价模型针对指标模糊性特征,建立模糊评判矩阵,结合权重向量计算模糊综合评价结果。它适用于含定性指标的综合评价,有效解决指标量化不确定性问题,让评价结果更符合实际情况。神经网络评价模型基于深度学习理论,以勘察数据为训练样本,构建BP神经网络模型,通过样本训练优化模型参数,实现对边坡稳定性的智能评价。该方法适应性强、预测精度高,但对训练样本数量及质量要求严格,若样本不足或质量不佳,会影响评价效果。实际应用中,可采用多模型耦合方式,如层次分析-模糊综合耦合模型,兼顾权重客观性与指标模糊性,提升评价精度,为边坡稳定性评价提供更科学的方法。

3.3 评价标准与分级

边坡稳定性评价标准与分级需紧密结合工程安全要求及行业规范制定,采用五级分级体系,分别为稳定、较稳定、基本稳定、不稳定及极不稳定,为边坡安全状况划分清晰界限。分级标准以综合评价得分为核心依据,同时结合定性分析结果及变形监测数据综合判定。稳定

等级要求综合得分 ≥ 85 分,此时坡体无变形迹象,岩土体完整性好,无潜在滑动面,地下水对坡体无不良影响,表明边坡处于安全稳定状态。较稳定等级得分70-84分,坡体存在轻微卸荷裂隙,但无明显变形,潜在滑动面不发育,仍具有一定稳定性。基本稳定等级得分55-69分,坡体存在局部变形,潜在滑动面初步发育,遇不利环境因素可能加剧变形,需密切关注。不稳定等级得分40-54分,坡体出现明显裂缝及位移,滑动面已形成,需立即采取支护措施。极不稳定等级得分 < 40 分,坡体出现大幅位移及坍塌迹象,滑动面贯通,需紧急处置。分级结果还需结合工程类型确定安全阈值,交通边坡、建筑边坡等对安全要求高,需提高安全等级,确保评价分级贴合工程实际需求。

4 边坡失稳防治对策与建议

4.1 防治技术分类

边坡失稳防治技术按作用机理分为支挡加固、排水防渗、坡体改良及减载卸荷四类。支挡加固技术通过设置支挡结构抵抗坡体下滑力,常用结构包括抗滑桩、挡土墙、锚索框架及格构梁等,抗滑桩适用于深层滑动边坡,采用钻孔灌注桩施工,嵌入稳定岩层一定深度;挡土墙用于中小型边坡,重力式挡土墙依靠自身重量维持稳定,衡重式挡土墙通过调整重心提升抗滑性能。排水防渗技术通过降低地下水水位及拦截地表水下渗实现防治,地表排水采用截水沟、排水沟疏导坡面雨水,地下排水采用盲沟、排水孔幕排出坡体内部积水,防渗采用土工膜铺设坡面阻隔雨水入渗。坡体改良技术通过改善岩土体性质提升稳定性,对软弱土层采用注浆加固,注入水泥浆或化学浆液填充孔隙,对松散岩体采用喷锚支护增强整体性。减载卸荷技术通过减少坡体自重实现稳定,采用坡顶削方减载,按台阶式开挖降低坡角,确保卸荷后坡体应力重新分布趋于稳定。

4.2 动态管理策略

边坡失稳动态管理策略以“监测-评估-调控”为核心流程,构建全生命周期管理体系。监测系统采用自动化监测与人工巡查结合方式,布设位移监测点、应力监测点及地下水监测点,通过GPS定位、光纤传感等技术实时采集坡体位移、应力及地下水位数据,数据传输至监控中心进行实时分析^[4]。建立分级预警机制,根据监测数据偏离度划分蓝、黄、橙、红四级预警,蓝色预警启动日常巡查,黄色预警加密监测频率,橙色预警启动应急预案,红色预警组织人员撤离。定期开展稳定性复核评估,结合监测数据、环境变化及工程扰动情况,采用定量分析方法更新稳定性评价结果,调整防治措施。建立档案管理制度,记录勘察数据、防治工程施工记录、监测数据及预警处置情况,实现全流程可追溯。针对极端天气如暴雨、地震等,提前制定专项应对方案,确保动态管理的及时性和有效性。

结束语

综上所述,岩土勘察中的边坡稳定性分析与评价是一项复杂且系统的工作。通过精准的勘察技术获取数据,运用合适的分析方法评估稳定性,构建科学的评价体系,能为工程决策提供有力支撑。同时,针对边坡失稳采取有效的防治对策与动态管理策略,可保障边坡长期稳定。未来,随着技术发展,需不断完善相关方法与体系,以更好地应对复杂多变的工程实际。

参考文献

- [1] 姜崇构.岩土勘察中边坡稳定性分析与评价[J].居业,2025(7):154-156.
- [2] 陈桂红.岩土勘察中边坡稳定性分析与评价[J].技术与市场,2024,31(7):114-117.
- [3] 陈太尊.工程地质勘察中岩体稳定性分析与评价方法[J].中国金属通报,2024(7):128-130.
- [4] 黄泽磊.岩土工程勘察中高边坡稳定性分析及治理方案比选[J].建筑工程技术与设计,2024,12(25):73-76.