

岩土工程勘察边坡监测方案设计及稳定性分析研究

朱汉新

珠海市建筑设计院 广东 珠海 519000

摘要: 边坡失稳是岩土工程施工中常见的安全灾害,为有效防控边坡风险、保障工程施工质量与安全,本文依托岩土工程勘察技术,系统探究边坡地层、水文地质条件及失稳破坏机理。结合工程实际设计全方位边坡监测方案,确定变形、水文、应力等核心监测内容与预警机制,采用多种分析方法开展多工况稳定性计算。精准识别边坡风险等级与薄弱区域,提出支护优化、施工管控和应急防护等综合防控措施,为边坡工程安全运维提供可靠技术支持。

关键词: 岩土工程勘察; 边坡监测; 方案设计; 稳定性

引言: 在岩土工程建设过程中,边坡受地质结构、地下水、降雨及施工扰动等多重因素影响,极易发生变形、滑移甚至崩塌等病害,不仅阻碍施工进度,还会造成严重的安全事故与经济损失。为有效解决边坡稳定性管控难题,本文基于精细化工程勘察成果,深入研究边坡失稳演化机理,科学设计标准化监测方案,多角度开展稳定性分析,以期实现边坡风险的精准预判与有效防控,保障工程施工全过程安全稳定。

1 岩土工程边坡勘察基础与失稳机理分析

1.1 边坡工程勘察核心内容与技术方法

(1) 边坡现场工程地质勘察: 依托钻探、坑探、原位测试等成熟工程技术手段,系统查明边坡区域地层分布、岩土体类别、岩体风化等级及软弱夹层的空间分布特征,精准掌握边坡基础地质条件。通过现场实地勘测,清晰界定岩土体的结构特征与完整度,为后续稳定性研判、工程设计提供真实可靠的现场地质依据。(2) 边坡水文地质勘察: 重点排查边坡区域地下水的赋存类型、埋藏深度及径流、排泄规律,动态分析降雨入渗、地下水渗流作用对岩土体结构的破坏影响。地下水会软化岩土体、降低结构面强度,是边坡失稳的重要诱因,该项勘察可为边坡监测、稳定性计算提供核心水文参数^[1]。(3) 勘察数据整理与参数确定: 整合现场勘察原始数据,结合室内土工试验成果,校准确定岩土体黏聚力、内摩擦角、天然重度等关键力学指标。依托精准参数构建标准化边坡工程地质基础模型,为边坡稳定性分析、支护方案设计奠定数据与模型基础。

1.2 岩土边坡常见失稳破坏类型

(1) 滑移型破坏: 为工程最常见的失稳形式,多发于土质边坡与软弱岩质边坡。边坡岩土体沿内部软弱

夹层、节理裂隙等薄弱结构面,发生整体或局部剪切滑移,破坏轨迹较为规律,多呈现渐进式失稳特征。(2) 崩塌型破坏: 主要发生在高陡岩质边坡,受岩体长期风化、裂隙贯通、施工开挖扰动影响,破碎岩体脱离母体发生脱落、坍塌。该破坏形式突发性极强、冲击破坏力大,难以提前预判,对工程安全威胁显著。(3) 蠕动变形破坏: 边坡岩土体在长期自重应力与地下水作用下,产生缓慢、持续性的微量变形。变形随时间不断累积,达到临界阈值后突发失稳,整体隐蔽性强、前期征兆微弱,预判与防控难度较高。

1.3 边坡失稳核心影响因素分析

(1) 内部因素: 属于边坡失稳的根本性诱因,主要包含岩土体自身力学性质、地层结构完整性、边坡坡度、高度、岩体风化程度及软弱结构面发育情况,直接决定边坡自身的稳定承载能力。(2) 外部因素: 是诱发边坡失稳的主要外因,涵盖降雨入渗、地下水渗流、地震荷载、工程开挖扰动、边坡堆载、温度干湿循环等外界干扰,会持续弱化边坡结构强度,触发失稳破坏。(3) 人为因素: 多为工程建设中的可控风险,勘察设计参数偏差、无序开挖施工、支护措施滞后、监测预警体系缺失等不当操作,会大幅降低边坡稳定性,显著提升失稳风险。

2 岩土工程勘察边坡监测方案设计

2.1 监测设计原则与监测目标

(1) 监测设计原则: 边坡监测方案设计需严格遵循多项核心原则。针对性原则要求方案贴合边坡实际地质条件、岩土特性及施工工况,杜绝通用化设计,精准匹配边坡潜在失稳风险点。全面性原则需覆盖边坡变形、内部应力、水文条件等关键监测维度,全方位把控边坡

整体状态。经济性与可靠性原则优先选用成熟、适配的监测设备与技术,在保障监测数据精准、设备运行稳定的前提下,合理控制工程监测成本。动态性原则可根据边坡施工进度、变形波动状态、环境变化情况,灵活调整监测点位、监测频次及监测重点,适配边坡不同阶段的监测需求^[2]。(2)核心监测目标:通过系统化监测,精准捕捉边坡表层与深层的变形动态、应力波动及水文变化规律,实时研判边坡整体稳定状态。及时捕捉边坡微小异常变形与参数突变信号,提前预判滑坡、崩塌等失稳风险,为现场施工调整、边坡支护优化、应急处置提供可靠的数据支撑。同时系统积累不同工况、地质条件下的边坡监测数据,完善岩土边坡监测数据库,为同类边坡工程的风险防控、方案设计提供参考依据。

2.2 监测指标与监测技术选型

(1)变形监测指标与技术:变形是边坡稳定性最直观的体现,核心监测指标包含边坡水平位移、竖向沉降、深层土体位移及坡面裂缝变形。技术上采用多元化监测组合,依托GPS自动化监测设备实现全天候表层位移监测,搭配全站仪完成人工复核监测;通过测斜仪捕捉边坡深层土体位移变化,利用裂缝计实时监测坡面裂缝开合、延伸变化,全方位、多层次精准捕捉边坡变形发展特征。(2)水文监测指标与技术:水文条件是诱发边坡失稳的关键外因,主要监测指标为地下水水位、土体孔隙水压力、降雨时长及累计降雨量。工程中采用高精度水位计实时监测地下水位升降变化,通过孔隙水压力计捕捉土体渗水压力波动,搭配自动雨量设备统计降雨数据,系统分析雨水入渗、地下水渗流对边坡岩土体强度及稳定性的弱化影响。(3)应力监测指标与技术:针对高陡边坡、含软弱夹层的高风险边坡,布设专项应力监测点位。采用岩土应力计实时监测边坡内部岩土体的应力分布与变化情况,精准捕捉土体应力集中、传递及释放规律,通过应力异常变化预判边坡内部结构的损伤趋势,提前识别潜在失稳隐患^[3]。

2.3 监测点位布设与监测频次规划

(1)监测点位布设:点位布设遵循全面覆盖、突出重点的原则,结合边坡地形起伏、地质结构、潜在滑动面分布及施工影响范围,在边坡坡顶、中部坡面、坡脚等关键区域设置多条监测断面。同时在软弱夹层、裂隙发育、土体松散的高风险区域加密点位,确保监测范围覆盖边坡核心变形区域与风险区域,保障监测数据的代表性与完整性。(2)监测频次设定:监测频次实行分阶段动态管控,边坡处于常规稳定状态时,采用每日一次的常态化监测,持续掌握边坡基础状态。在雨季、爆破

开挖、土方堆载等施工扰动阶段,或监测数据出现异常波动时,将监测频次加密至每日2至3次,实时跟踪风险变化。待边坡变形收敛、状态趋于稳定后,逐步降低监测频次,平衡监测工作的有效性与工程经济性。

2.4 监测数据采集、处理与预警机制

(1)数据采集与传输:采用自动化与人工监测相结合的方式开展数据采集,自动化监测设备全天候不间断采集各项监测数据,依托无线传输模块实现数据实时上传、云端存储。人工复核监测数据同步完成记录、整理与归档,杜绝数据缺失、遗漏,保障所有监测数据的连续性与完整性。(2)数据整理与校验:定期对采集的原始数据进行筛选校验,剔除设备误差、环境干扰导致的异常数据。通过数据降噪、拟合分析等专业手段处理原始数据,绘制变形、水文、应力变化时序曲线,直观呈现边坡各项参数的变化规律与发展趋势,为稳定性研判提供精准的数据支撑。(3)风险预警机制:结合行业规范标准与工程现场经验,科学设定各监测指标的预警阈值,划分正常、预警、危险三级风险状态。针对不同预警等级制定标准化处置流程,预警状态及时加强监测、排查隐患,危险状态立即停工并启动应急防护措施,实现边坡风险动态化、精细化防控。

3 岩土工程勘察边坡稳定性分析与防控对策

3.1 边坡稳定性分析方法选取

(1)极限平衡分析法:该方法是边坡稳定性评价的经典手段,主要包含瑞典条分法、毕肖普法、简布法等常用计算方式。通过对边坡岩土体进行条块划分,结合岩土力学参数计算边坡稳定安全系数,以此评判边坡的静态稳定状态。该分析方式计算逻辑成熟、操作简便,能够满足常规土质、岩质边坡的初步稳定性研判需求,是工程前期边坡评价的基础方法。(2)数值模拟分析法:依托FLAC3D、MIDASGTS等专业岩土数值模拟软件,结合现场地质勘察数据构建精细化三维边坡地质模型,真实还原边坡地层结构与岩土特性。可精准模拟边坡在自重应力、持续降雨、施工开挖扰动等多种复杂工况下的应力分布、位移变形及塑性区发展规律,动态还原边坡失稳演化全过程,适用于复杂高风险边坡的深度稳定性分析^[4]。(3)监测数据动态分析法:以现场实测的变形、水文、应力监测数据为核心依据,对比分析不同时段边坡的变形速率、累积变形量及应力波动变化特征,实时研判边坡动态稳定状态。该方法可有效弥补传统理论分析理想化、参数偏差的弊端,消除理论计算与工程实际的差异,保障稳定性分析结果的真实性与准确性。

3.2 不同工况下边坡稳定性计算与结果分析

(1) 天然静止工况稳定性分析: 针对无降雨、无施工扰动的原始自然状态, 开展边坡稳定性计算, 求解天然工况下的安全系数。通过计算结果研判边坡初始稳定状态, 排查边坡因地层缺陷、软弱夹层、岩体风化等固有问题存在的原生失稳风险, 为后续工况对比分析提供基础参照。(2) 降雨入渗工况稳定性分析: 模拟不同强度降雨条件下雨水入渗全过程, 分析地下水渗流对岩土体的软化作用, 明确孔隙水压力上升、岩土抗剪强度衰减的变化规律。通过计算降雨工况下边坡安全系数的衰减幅度, 精准剖析降雨诱发边坡滑坡、崩塌的内在机理, 科学界定降雨期边坡失稳风险等级。(3) 施工扰动工况稳定性分析: 结合现场土方开挖、边坡修整、堆载堆积等施工工序, 模拟施工扰动对边坡原有应力场、位移场的破坏与重塑过程。计算施工各阶段边坡稳定安全系数, 研判施工扰动下边坡的整体稳定性, 精准识别应力集中、变形突增的施工高风险阶段。

3.3 边坡失稳风险综合评价

(1) 风险等级划分: 综合多维度评价指标开展风险分级, 结合各工况稳定性计算安全系数、现场监测数据波动幅度、边坡地质条件复杂程度及周边环境风险, 将边坡失稳风险统一划分为低、中、高三个等级, 为差异化防控提供分级依据。(2) 风险诱因总结: 通过多工况对比分析, 梳理边坡失稳的核心诱因。内部诱因以软弱结构面发育、岩土体风化破碎为主, 外部诱因中降雨入渗弱化岩土强度、施工扰动破坏原有应力平衡是最主要的触发因素, 也是边坡风险防控的重点管控对象。(3) 风险薄弱区域识别: 结合数值模拟云图与长期监测数据, 对比边坡不同区域的变形、应力分布差异, 精准定位坡面变形集中、内部应力叠加、渗流作用强烈的薄弱区域, 实现边坡风险精准识别, 为针对性加固防控提供数据支撑^[5]。

3.4 边坡稳定性防控与优化措施

(1) 工程支护优化措施: 依据边坡风险等级和薄弱区域分布情况, 采用多元化组合支护体系。针对普通边坡采用喷锚支护、锚杆支护, 针对高陡、高风险边坡增

设锚索加固、挡土墙支护结构, 同时配套完善截排水工程, 阻断雨水渗流通道, 从根本上提升边坡整体承载能力与稳定性。(2) 施工管控优化措施: 严格规范现场施工工艺, 坚持分层、分级、对称开挖的原则, 杜绝超挖、乱挖等违规操作。严控边坡周边临时堆载、机械碾压、爆破作业等高危施工行为, 最大程度降低施工扰动对边坡结构的破坏, 保障施工期边坡稳定。(3) 动态监测优化措施: 针对中高风险边坡优化监测布局, 在薄弱区域加密监测点位, 雨季及施工关键阶段大幅提升监测频次。完善数据处理与预警流程, 实现边坡异常变形、应力突变的实时捕捉, 保障风险早发现、早处置。(4) 应急防控措施: 编制专项边坡失稳应急处置预案, 明确险情排查、上报流程、人员疏散、临时加固等标准化处置流程。配齐应急物资与设备, 定期开展应急演练, 全面提升边坡突发险情的应急处置与灾害防控能力。

结束语

本文围绕岩土边坡勘察、监测设计、稳定性分析及风险防控开展系统性研究, 梳理了边坡失稳的主要机理与影响因素, 搭建了适配工程实际的动态监测与预警体系。通过多工况稳定性计算明确边坡风险分布特征, 针对性提出多元化支护、精细化施工管控及应急保障等优化对策。研究成果可有效提升边坡工程安全防控能力, 为各类岩土边坡工程的设计、施工及安全管理提供重要参考与借鉴。

参考文献

- [1] 付凯. 岩土工程边坡勘察技术难题及优化措施 [J]. 黑龙江水利科技, 2025, 14(02): 135-138.
- [2] 袁心安, 温树杰. 岩土工程勘察边坡稳定性分析 [J]. 土木工程与管理, 2023, 11(03): 60-65.
- [3] 倪端. 岩土工程勘察在边坡治理中的应用研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(05): 72-74.
- [4] 邹宜贤. 岩土工程边坡勘察技术难题及优化方案分析 [J]. 江西建材, 2023, 26(07): 172-174.
- [5] 李旺. 岩土工程勘察设计与施工中地质问题探究 [J]. 中国金属通报, 2025, 34(04): 208-210.