

# 岩土勘察中边坡稳定性分析与评价

秦宇

山西省地质勘查局二一四地质队有限公司 山西 运城 044000

**摘要:** 在公路铁路、水利工程等岩土工程中, 边坡稳定性关乎工程安全与周边环境, 岩土勘察是其分析与评价精准性的核心前提。本文聚焦岩土勘察中边坡稳定性研究, 先界定岩土勘察、边坡及稳定性评价等核心概念以明确基础; 接着梳理基础数据获取全流程, 含前期准备、原位与室内试验及数据整理; 随后构建定性、定量及特殊工况分析的方法体系, 设计评价指标、划分等级并说明工程应用路径, 为技术人员提供标准化框架, 降低失稳事故率。

**关键词:** 岩土勘察; 边坡稳定性; 评价体系构建

引言: 在公路铁路、水利工程等岩土工程领域, 边坡稳定性至关重要, 关乎工程安全与周边环境稳定。岩土勘察作为边坡稳定性分析评价的基础前提, 为后续工作提供关键数据支撑。然而, 边坡稳定性受地质条件、荷载环境等多因素影响, 分析评价难度较大。本文聚焦岩土勘察中的边坡稳定性研究, 旨在构建科学合理的分析评价体系, 为工程实践提供有力指导, 降低边坡失稳事故发生率。

## 1 岩土勘察中边坡稳定性的核心概念界定

### 1.1 岩土勘察

岩土勘察是边坡工程建设前期关键技术工作, 借助地质调查、钻探、原位测试、室内试验等多元手段, 系统查明边坡区域地质构造、地层分布、岩土性质、水文地质条件等核心信息, 为后续分析评价提供基础数据。从阶段看, 分初步与详细勘察。初步勘察聚焦边坡稳定性总体评价, 通过宏观调查与有限测试, 判断整体稳定趋势, 为工程初步设计提供依据; 详细勘察注重细节数据获取, 针对关键区域加密钻探孔位与测试点, 精准测定岩土物理力学参数, 为精细化分析与加固方案设计提供详细数据。在边坡工程中, 岩土勘察关注地形地貌等多方面内容, 数据准确完整与否直接影响后续分析结果, 是保障边坡工程安全的首要环节。

### 1.2 边坡与边坡稳定性

边坡是自然形成或人工开挖、填筑形成的具倾斜角度的岩土体界面, 是常见工程结构。按成因分自然与人工边坡, 前者由地质作用形成, 稳定性受长期地质演化影响; 后者为工程建设形成, 受设计参数与施工质量影响。按组成物质分岩质、土质与混合边坡, 力学特性与失稳模式各异。边坡稳定性指边坡岩土体在自身重力、外部荷载及环境因素综合影响下, 保持原有形态不发生坍塌等失稳破坏的能力。失稳类型有滑坡、崩塌、

溜塌、蠕变等, 准确识别不同类型是开展稳定性分析的基础<sup>[1]</sup>。

### 1.3 边坡稳定性评价

边坡稳定性评价是基于岩土勘察数据, 采用科学方法分析边坡在不同工况下的稳定状态, 判定等级并提出防控与加固建议的系统过程。核心目标是明确边坡稳定状况及潜在风险, 为工程决策提供依据。评价重点关注三要素: 一是稳定系数, 作为量化指标, 通过计算滑动面上抗滑力与滑动力的比值确定, 大于1稳定, 小于1有失稳风险; 二是失稳风险等级, 结合稳定系数、失稳概率及危害程度划分; 三是影响稳定性的关键因素, 分析各因素影响权重, 识别主导风险因素。边坡稳定性评价贯穿工程全周期, 形成闭环管理, 确保边坡工程全生命周期安全。

## 2 岩土勘察中边坡稳定性分析的基础数据获取

### 2.1 勘察前期准备与地质调查

勘察前期准备是保障数据获取效率与质量的前提, 核心工作有勘察方案制定与现场踏勘。制定勘察方案时, 要结合工程类型(如公路、基坑、水利边坡)明确目标, 确定稳定性分析所需核心数据, 如岩土层分布、物理力学参数、水文地质条件等。依据边坡规模与复杂程度, 合理布置工作量, 确定钻探孔位等数量与位置, 覆盖关键区域, 避免数据盲区。现场踏勘通过实地走访, 初步了解边坡地形地貌, 如高度、坡度、坡向, 观察坡体表面有无冲沟等现象; 识别地层露头, 判断岩土层分布规律; 排查断层等地质构造及其影响; 调查周边环境, 如建筑物、地下管线等, 为后续勘察规避风险。前期准备可明确重点、优化流程, 为精准获取数据奠定基础。

### 2.2 原位测试与室内试验

原位测试与室内试验是获取岩土物理力学参数的核

心手段，二者相互补充。原位测试在岩土体原位进行，减少扰动，获取贴近实际工程的参数。常用方法有标准贯入试验，适用于多种土质边坡，可确定密实度等参数；重型动力触探试验，用于粗颗粒土边坡，评估均匀性与强度；现场直剪试验，在潜在滑动面开展，测得抗剪强度参数；压水试验，多用于岩质边坡，测定渗透系数<sup>[2]</sup>。室内试验将现场采集的试样带回实验室，包括物理、力学、水理性质试验，测定密度等物理指标、抗剪强度等力学参数、渗透系数等水理性质指标。二者结合可全面获取关键参数。

### 2.3 勘察数据整理

勘察数据整理是将原始数据转化为系统成果的关键环节，影响后续分析准确性。首先，收集与核对原始数据，包括钻探记录、原位测试数据、室内试验数据等，确保完整，有疑问及时核实。其次，进行数据标准化处理，因不同方法、仪器精度致数据离散，采用统计方法筛选修正：对异常数据，分析原因后处理；对多组测试结果，计算统计指标评估可靠性。最后，编制勘察成果文件，包括成果表与地质图件：成果表按规范整理数据形成数据库；地质图件有工程地质剖面图等，直观呈现地质条件，如岩土层分布、地质构造位置等，为后续分析提供地质依据。

## 3 边坡稳定性分析方法体系

### 3.1 定性分析法

定性分析法基于地质调查与工程经验，对边坡稳定性做初步判断，适用于勘察初期或地质条件简单的边坡。它通过综合分析影响边坡稳定的因素，判断稳定趋势，为定量分析指明方向。常用方法有工程地质类比法与地质构造分析法。工程地质类比法对比已建类似边坡（地质条件、边坡参数相同）的稳定性状况与经验，推断待评价边坡状态。先收集类比边坡详细资料，确定与待评价边坡相似度，量化对比关键指标，再结合独特性推断稳定性等级。地质构造分析法聚焦地质构造对边坡稳定的影响，通过调查断层等构造的位置等，分析其对岩土体完整性的破坏程度，结合地形地貌判断失稳可能性与破坏模式。此方法操作简便、效率高，能快速初步筛选，但主观性强、精度有限，需与定量分析法结合。

### 3.2 定量分析法

定量分析法通过建立数学模型计算边坡稳定系数，对稳定性量化评价，是边坡稳定性分析的核心手段，适用于详细勘察阶段与复杂边坡工程。常用方法有极限平衡法与数值模拟法。极限平衡法假设边坡岩土体沿滑动面破坏，计算滑动面上抗滑力与滑动力求解稳定系数，

简化岩土体力学行为实现实用化计算。根据滑动面形态假设不同，有瑞典条分法、毕肖普法、杨布条分法等。数值模拟法通过建立力学模型，模拟不同工况下边坡应力分布与位移变化，实现精细化分析，常用有限元法、离散元法与有限差分法。定量分析法能通过量化计算提升评价精度，但对参数准确性与模型合理性要求高，需结合勘察数据精准输入。

### 3.3 特殊工况分析

特殊工况分析针对边坡在极端环境或特殊荷载作用下的稳定性，此类工况易致边坡失稳，需重点关注。核心是识别特殊工况对边坡稳定的影响机制，用针对性方法评估风险。常见特殊工况有降雨、地震与荷载变化工况。降雨时，雨水入渗改变岩土体物理力学性质，增加孔隙水压力、降低有效应力与抗剪强度，增加失稳风险。分析需结合水文地质数据，用渗流分析模型模拟雨水入渗，再结合其他方法计算稳定系数。地震时，地震力加剧岩土体振动，可能触发滑动面失稳。分析要考虑地震动参数，用动力分析方法模拟动力响应，评估稳定系数与位移变化。荷载变化工况包括顶部附加荷载增加、坡脚开挖卸载等，会改变边坡应力分布<sup>[3]</sup>。分析要根据荷载情况建立力学模型，评估失稳风险。通过分析可为制定防控措施提供依据。

## 4 岩土勘察中边坡稳定性评价体系构建

### 4.1 评价指标体系设计

评价指标体系设计需全面覆盖影响边坡稳定性的关键因素，采用定性定量指标相结合的方式，确保评价的科学性与系统性。指标体系可分为地质条件指标、荷载与环境指标、工程措施指标三大类。地质条件指标是基础，直接决定边坡固有稳定特性，包括岩土层性质、地质构造、水文地质三个子指标：岩土层性质指标采用岩性类型（赋值：黏性土1-3分、砂土2-4分、岩石3-5分，分数越高稳定性越好）、风化程度（微风化5分、中风化3分、强风化1分）、抗剪强度（黏聚力按  $> 50\text{kPa}$  5分、 $20\text{-}50\text{kPa}$  3分、 $< 20\text{kPa}$  1分，内摩擦角按  $> 30^\circ$  5分、 $15\text{-}30^\circ$  3分、 $< 15^\circ$  1分）量化；地质构造指标包括断层发育情况（无断层5分、小规模断层3分、大规模断层1分）、节理密度（ $< 1$ 条/m 5分、 $1\text{-}3$ 条/m 3分、 $> 3$ 条/m 1分）；水文地质指标包括地下水埋深（ $> 5\text{m}$  5分、 $2\text{-}5\text{m}$  3分、 $< 2\text{m}$  1分）、渗透系数（ $< 10^{-6}\text{cm/s}$  5分、 $10^{-6}\text{-}10^{-4}\text{cm/s}$  3分、 $> 10^{-4}\text{cm/s}$  1分）。荷载与环境指标反映外部因素对边坡稳定性的影响，包括外部荷载（无附加荷载5分、小规模堆载3分、大规模堆载1分）、地震烈度（ $< \text{VI}$ 度 5分、 $\text{VI}\text{-}\text{VII}$ 度 3分、 $> \text{VII}$ 度 1分）、降雨强度（年均降雨量  $< 500\text{mm}$  5

分、500-1000mm3分、>1000mm1分)。工程措施指标体现人为干预对边坡稳定性的改善作用,包括边坡坡度(<30°5分、30°-45°3分、>45°1分)、支护措施(完善支护5分、简易支护3分、无支护1分)。通过层次分析法确定各指标权重,计算综合评分,为稳定性等级划分提供依据。

#### 4.2 评价等级划分

评价等级划分需基于评价指标体系的综合评分结果,结合工程实际风险承受能力,将边坡稳定性划分为不同等级,明确各等级对应的风险程度与处置要求。根据综合评分(满分100分),可将边坡稳定性划分为四个等级:稳定(80-100分)、基本稳定(60-79分)、欠稳定(40-59分)、不稳定(<40分)。

**稳定等级边坡:**综合评分高,地质条件优越(岩性坚硬、无不良地质构造、地下水埋深大),外部荷载与环境影响小,工程措施完善,稳定系数>1.2,失稳风险极低,工程中仅需定期监测,无需特殊加固措施。

**基本稳定等级边坡:**综合评分较高,地质条件较好,存在轻微不利因素(如局部节理发育、地下水埋深中等),稳定系数1.05-1.2,失稳风险较低,工程中需加强日常监测,对局部不利区域采取简易支护措施(如喷锚支护),防止环境因素加剧导致稳定性下降。

**欠稳定等级边坡:**综合评分中等,存在明显不利因素(如断层小规模发育、地下水埋深浅、边坡坡度较大),稳定系数1.0-1.05,失稳风险中等,工程中需立即采取针对性加固措施(如抗滑桩、挡土墙),并加密监测频次(如每周1-2次),实时跟踪稳定性变化。

**不稳定等级边坡:**综合评分低,存在严重不利因素(如大规模断层、地下水丰富、无支护措施),稳定系数<1.0,已存在失稳迹象(如裂缝、位移),失稳风险极高,工程中需立即停止边坡相关作业,疏散周边人员与设备,划定警戒区域,防止事故扩大<sup>[4]</sup>。同时,组织专家制定紧急加固方案(如临时抗滑挡墙、锚索支护),并24小时不间断监测边坡位移与裂缝变化,待边坡稳定后,再结合长期加固方案进行系统性处置。各等级划分需结合工程实际动态调整,如重要交通线路旁的边坡,可适当提高稳定等级判定标准,降低失稳风险对公共安全的影响。

#### 4.3 评价结果的工程应用

评价结果是工程决策的核心依据,需贯穿边坡设计、施工管控与运营维护全流程。设计阶段,稳定等级按常规设计,优化坡度与排水以降本;基本稳定等级补充局部支护,如节理发育区增设锚杆;欠稳定与不稳定等级则需调整方案,如放缓坡度、增设抗滑结构,必要时变更线路避高风险区。施工阶段,评价结果指导施工顺序与风险管控:稳定与基本稳定边坡按正常工序施工,定期常规监测;欠稳定边坡优先加固,待加固结构达设计强度后再开挖,加密监测;不稳定边坡先紧急处置,稳定后按“分层开挖、分层支护”施工,严禁超挖乱挖。运营阶段,依据评价结果制定长期监测与维护计划:稳定边坡每年监测1次;基本稳定与欠稳定边坡每季度监测1次,雨季或地震后加测;不稳定边坡加固后1-2年高频监测(每月1次),稳定后调为常规频率。此外,评价结果归档留存,为同类工程提供参考,助力行业提升边坡稳定性管控水平。

#### 结束语

岩土勘察中的边坡稳定性分析与评价是保障岩土工程安全的关键环节,本文从核心概念界定出发,系统梳理了基础数据获取流程,构建了定性、定量及特殊工况分析的方法体系,并设计了涵盖多类指标的评价体系,明确评价等级与工程应用路径。研究成果为技术人员提供标准化的分析框架,有助于提前识别安全风险、制定针对性防控措施。未来,随着勘察技术与分析方法的不断进步,边坡稳定性研究将更加精细化,为工程建设与运营安全提供更为坚实的支撑。

#### 参考文献

- [1]赵锋.抗滑桩在库岸边坡加固的稳定性研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(06):21-23.
- [2]丁涛.新汴河堤防工程边坡稳定性分析[J].水利科技与经济,2024,30(06):40-43.
- [3]桑月鹏.边坡的岩土工程勘察技术及稳定性分析[J].石材,2024,(06):108-110.
- [4]王宇江.基于岩土工程勘察结果的边坡稳定性分析[J].石材,2024,(06):147-149.