

# 强降雨诱发浅层滑坡的临界雨量阈值现场判识方法

吴问丹

中化地质矿山总局浙江地质勘查院 浙江 杭州 310002

**【摘要】**：强降雨诱发的浅层滑坡临界雨量阈值现场判识，是提升滑坡灾害预警精准度的核心环节。明确临界雨量阈值的现场判识标准与路径，可有效衔接灾害监测与应急响应，降低滑坡灾害造成的损失。通过整合现场勘察与降雨过程的关联特征，梳理判识所需的核心要素，构建贴合实际工况的判识流程，形成一套可落地的现场判识方案。该方案聚焦现场环境的复杂性与特殊性，实现临界雨量阈值的精准界定，为浅层滑坡灾害的早期防控提供关键技术支撑。

**【关键词】**：强降雨；浅层滑坡；临界雨量阈值；现场判识

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.020

## 引言

强降雨是浅层滑坡发生的主要诱发因素，临界雨量阈值作为判断滑坡发生可能性的关键指标，其现场判识的科学性与准确性直接关系到灾害防控的成效。在山区及丘陵地带，浅层滑坡具有突发性强、影响范围广、致灾风险高的特点，而现有判识方式常受现场复杂环境制约，难以精准匹配实际灾害孕育条件。精准的现场判识能够及时捕捉滑坡发生前的雨量临界状态，为灾害预警提供实时、可靠的依据，搭建起从降雨监测到灾害防控的关键桥梁，衔接起阈值界定与实际防控需求，为后续判识方法的研究与应用奠定基础。

## 1 强降雨诱发浅层滑坡临界雨量阈值现场判识的核心问题梳理

### 1.1 现场判识与区域环境的适配性难题

强降雨诱发浅层滑坡的临界雨量阈值现场判识，需充分契合特定区域的环境特征，而不同区域的地形地貌、地质构造、土壤类型及植被覆盖状况存在显著差异，这些差异直接影响降雨入渗过程与坡体稳定性变化规律。部分判识思路未能充分考量区域环境的独特性，简单套用通用判识标准，导致判识结果与实际滑坡孕育条件脱节<sup>[1]</sup>。在山地丘陵区域，地形起伏较大导致降雨径流分布不均，坡体局部汇水效应明显，若忽视这一特征，仅依据平均雨量进行判识，极易出现阈值界定偏差。区域气候差异带来的降雨强度、历时及时空分布差异，也会对临界雨量阈值产生影响，如何实现判识方法与区域环境的精准适配，成为现场判识面临的首要难题。

### 1.2 判识过程中降雨与坡体响应的关联表征缺失

临界雨量阈值的本质是降雨与坡体失稳之间的临界关联节点，现场判识需精准捕捉降雨过程与坡体响应的关联表征。但在实际现场环境中，坡体响应应具有隐蔽性和滞后性，降雨入渗引发的坡体内部含水量变化、孔隙水压力升高过程难以直接观测，缺乏直观且精准的关联表征指标。降雨强度、降雨历时等降雨要素与坡体位移、裂缝发育等响应特征之间的耦合关系复杂，不同阶段的关联模式存在差异，难以通过简单观测实现

两者关联的精准刻画。这种关联表征的缺失，导致判识过程中难以准确把握雨量累积与坡体失稳的临界平衡点，影响判识结果的可靠性。

### 1.3 复杂地形条件下判识指标的筛选困境

复杂地形条件下，影响浅层滑坡临界雨量阈值的因素众多，需从中筛选出核心判识指标。地形坡度、坡向、坡高以及坡体岩土体性质、结构面特征等均会对临界雨量产生影响，不同因素的作用机制与影响程度存在差异，且各因素之间存在相互作用，进一步增加了指标筛选的难度。若筛选的指标过于单一，难以全面反映现场复杂工况；若指标过多，又会导致判识过程繁琐，降低现场判识的效率与可操作性。如何在保证判识准确性的前提下，筛选出具有代表性、易获取的核心判识指标，成为复杂地形条件下现场判识亟待解决的问题。

## 2 强降雨诱发浅层滑坡临界雨量阈值现场判识的基础要素构建

### 2.1 现场降雨特征的动态捕捉要素

现场降雨特征的动态捕捉是临界雨量阈值判识的基础，需构建涵盖降雨强度、降雨历时、降雨累积量以及降雨时空分布的完整捕捉体系。通过在滑坡潜在区域及周边布设分布式降雨监测设备，实现对降雨过程的实时动态监测，精准获取不同时间段的降雨数据。重点关注短时强降雨、持续降雨等不同降雨类型的特征差异，捕捉降雨过程中的峰值强度、降雨间歇期等关键节点信息<sup>[2]</sup>。结合区域地形特征，分析降雨在不同坡位、坡向的分布差异，明确局部汇水区域的降雨汇聚特征，为后续临界雨量阈值的界定提供精准的降雨数据支撑，确保捕捉到的降雨特征能够真实反映现场降雨对坡体的作用过程。

### 2.2 浅层滑坡孕灾坡体的现场勘察要素

浅层滑坡孕灾坡体的现场勘察需聚焦坡体的稳定性相关特征，构建包含岩土体性质、坡体结构、水文地质条件及植被覆盖状况的勘察要素体系。通过现场钻探、坑探等手段，查明坡体岩土体的类型、颗粒组成、密实度及抗剪强度等核心性质，明确岩土体对降雨入渗的阻隔或渗透作用。详细勘察坡体内部

的节理、裂隙等结构面分布特征，分析结构面对降雨入渗通道的影响以及对坡体稳定性的削弱作用。开展水文地质勘察，查明坡体地下水的赋存状态、补给方式及径流路径，掌握降雨入渗引发的地下水动态变化规律。调查坡体植被覆盖类型、覆盖度，分析植被根系对坡体的加固作用及植被蒸腾作用对坡体含水量的调节影响。

### 2.3 判识指标与现场工况的匹配要素

判识指标与现场工况的匹配需基于现场降雨特征与坡体勘察结果，构建贴合实际工况的指标匹配体系。根据不同区域的地形、地质及气候工况，明确各判识指标的适用范围与权重分配。针对岩土体渗透性强的坡体，重点匹配降雨入渗速率、累积入渗量等相关指标；针对地下水丰富的区域，强化孔隙水压力变化与降雨累积量的匹配关联。结合现场监测条件，优先选择易获取、量化的指标进行匹配，确保匹配后的判识指标既能够全面反映降雨与坡体失稳的关联机制，又具备较强的现场可操作性，避免因指标与工况不匹配导致判识结果失真。

## 3 强降雨诱发浅层滑坡临界雨量阈值现场判识的实施路径搭建

### 3.1 现场勘察与降雨监测的协同开展

现场勘察与降雨监测的协同开展需制定系统的实施流程，确保两者数据能够有效衔接与互补。在开展现场勘察前，结合区域滑坡历史灾害分布情况，划定重点勘察区域与监测范围，合理布设勘察点位与监测设备。勘察过程中，同步记录监测设备的布设位置、监测参数及初始数据，确保勘察数据与监测数据的空间对应性。降雨监测过程中，根据勘察查明的坡体特征，动态调整监测频率与监测重点，针对坡体薄弱区域强化降雨监测力度。通过建立数据共享与联动分析机制，实现勘察数据与监测数据的实时整合，为后续判识指标的筛选与阈值界定提供全方位的数据支撑。

### 3.2 判识指标的现场校验与优化调整

判识指标的现场校验需依托现场获取的勘察与监测数据，通过实际工况验证指标的有效性与合理性。选取典型坡体区域，基于初步筛选的判识指标进行阈值初步界定，结合坡体实际变形情况对指标进行校验<sup>[3]</sup>。若初步判识结果与坡体实际响应存在偏差，深入分析偏差原因，针对性调整指标类型或指标参数。当发现单一降雨累积量指标难以准确判识时，引入降雨强度-历时组合指标进行优化。通过多轮现场校验，逐步完善判识指标体系，提升指标与现场实际工况的契合度。

### 3.3 阈值界定的现场验证与可行性评估

阈值界定的现场验证需选取不同类型的浅层滑坡潜在区域开展实地验证，将界定的临界雨量阈值与现场实际降雨引发的坡体响应情况进行对比分析。在验证过程中，重点关注不同降雨场景下，坡体是否在界定的阈值范围内出现失稳迹象，记

录阈值触发的准确性与时效性。针对验证过程中出现的阈值偏高或偏低问题，结合现场地形、地质条件进行原因剖析，对阈值进行修正完善。可行性评估则从现场操作难度、设备要求、时间成本等方面展开，分析界定的阈值及对应的判识方法在不同现场工况下的适用可行性，确保判识方法能够在实际现场工作中高效推广应用。

## 4 强降雨诱发浅层滑坡临界雨量阈值现场判识的优化策略探索

### 4.1 复杂气象条件下的判识方法适配优化

复杂气象条件下的判识方法适配优化需针对不同极端气象场景制定差异化的判识适配方案。面对暴雨、暴雨叠加大风等复杂气象情况，强化降雨监测的精准度与时效性，引入气象预警信息与现场判识的联动机制，提前预判降雨发展趋势，为判识工作预留充足时间。针对降雨时空分布不均的情况，优化监测设备的布设方式，采用加密监测点位、增设移动监测设备等方式，提升对局部强降雨区域的监测覆盖。结合不同复杂气象条件下的降雨特征，调整判识指标的组模式，确保判识方法能够适应多变的气象环境，维持判识结果的准确性。

### 4.2 不同坡体类型的判识指标差异化调整

不同坡体类型的判识指标差异化调整需基于坡体的岩土体组成、结构特征及稳定性状况，构建分类差异化的指标体系。对于松散堆积层坡体，因其渗透性强、稳定性差，重点选取降雨累积量、入渗速率等反映降雨入渗效应的指标；对于基岩风化层坡体，侧重关注结构面发育情况与降雨强度的关联指标，分析降雨对结构面强度的削弱作用<sup>[4]</sup>。针对土质坡体与岩质坡体的差异，调整指标的权重分配，土质坡体强化含水量相关指标的权重，岩质坡体提升结构面相关指标的影响占比。通过这种差异化调整，使判识指标更贴合不同坡体类型的失稳机制，提升判识的针对性与精准度。

### 4.3 现场判识与应急响应的衔接优化

现场判识与应急响应的衔接优化需构建高效的联动机制，确保判识结果能够及时转化为应急处置行动。建立判识结果的快速传递通道，当判识达到临界雨量阈值时，立即将预警信息传递至相关防控部门。结合不同区域的滑坡风险等级，制定差异化的应急响应预案，明确判识阈值对应的应急处置措施，如坡体巡查加密、危险区域人员转移等。将现场判识工作融入日常灾害防控体系，定期开展判识方法与应急响应的协同演练，提升相关人员对判识结果的快速响应能力，确保衔接流程顺畅高效，最大限度缩短从判识预警到应急处置的时间间隔。

## 5 强降雨诱发浅层滑坡临界雨量阈值现场判识的实践应用深化

### 5.1 典型区域判识方法的实践应用

典型区域判识方法的实践应用需选取滑坡灾害高发、地形地质条件具有代表性的区域开展应用实践。在山区丘陵典型区域，结合该区域的降雨特征与坡体类型，应用构建的判识方法开展临界雨量阈值界定，部署对应的监测与勘察工作。在实践过程中，详细记录判识方法的实施步骤、操作难点及应用效果，收集不同降雨事件下的判识数据与坡体实际响应情况。针对实践中发现的问题，及时调整判识方法的细节，确保方法能够适配典型区域的实际工况。通过典型区域的实践应用，为判识方法的推广积累实战经验，形成可复制的应用模式。

### 5.2 实践过程中判识精度的提升路径

实践过程中判识精度的提升路径需围绕数据质量提升、方法优化完善及经验积累总结三个核心维度展开。提升数据质量方面，通过迭代升级监测设备、校准设备传感精度，同时制定标准化勘察操作流程并严格执行，确保获取的降雨强度、历时及坡体结构、含水量等数据真实可靠，从源头减少数据误差对判识精度的干扰。方法优化完善方面，深度挖掘实践应用中的案例反馈信息，不断细化判识指标的参数阈值与权重分配，优化阈值界定的逻辑链条与判定规则，切实提升方法的科学性与适配性<sup>[5]</sup>。经验积累总结方面，系统梳理不同地形、气候工况

下的判识经验，提炼各场景下的判识要点与注意事项，形成系统化的经验知识库，为后续判识工作提供精准参考，持续推动判识精度稳步提升。

### 5.3 判识成果的推广应用与完善方向

判识成果的推广应用需制定分层推广策略，先在典型区域全面推广，再逐步拓展至其他滑坡易发区域。通过开展技术培训、编制应用手册等方式，提升相关从业人员对判识成果的理解与应用能力。建立成果推广反馈机制，收集不同区域推广应用中的问题与建议，为成果的完善提供依据。完善方向则聚焦判识方法的普适性提升，针对不同地形、地质、气候条件，进一步优化判识体系，扩大成果的适用范围。探索判识成果与信息化监测技术的深度融合，提升成果的应用效率与智能化水平，更好地服务于浅层滑坡灾害的防控工作。

## 6 结语

本文围绕强降雨诱发浅层滑坡的临界雨量阈值现场判识方法展开系统研究，明确了判识的核心问题与基础要素，搭建了科学的实施路径，探索了针对性的优化策略，并深化了实践应用相关研究。研究形成的判识方法与技术路径，可有效提升现场判识的精准性与可操作性，为浅层滑坡灾害的早期预警与防控提供关键支撑。后续需结合更多实际应用场景，持续完善判识体系，推动判识技术的迭代升级，进一步发挥其在滑坡灾害防控中的核心作用。

## 参考文献：

- [1] 汤思芬,向喜琼.强降雨条件下采动滑坡变形破坏机理研究[J].水利规划与设计,2026,(02):125-130.
- [2] 李正总,赵龙金,梁成裕,等.强降雨下弱膨胀土路堤滑坡成因分析[J].西部交通科技,2025,(10):47-49+107.
- [3] 欧阳昊明.降雨型浅层土质滑坡变形监测及预警研究[D].东华理工大学,2024.
- [4] 刘印明.区域降雨型浅层滑坡失稳机理研究[J].科技创新与生产力,2023,44(07):30-33.
- [5] 李慧娥,陈宗全,姜艳.强降雨下土质边坡浅层滑坡模拟及稳定性分析[J].能源技术与管理,2023,48(03):142-144.