

和长期运行的可持续性，方案若依赖临时措施或过度依靠政策窗口期，大多时候在后评估阶段遭遇数据支撑不足的状况，影响项目环评结论的实施效力。合理的总量平衡方案不只是数字上的对等，是在管理路径、技术条件、运行规范下动态可执行的解决办法，它决定了评价文件能否顺利借助审批、落地实施直至最终验收。具体大气环境影响评价工作等级划分判据详见图2所示

4.4 污染物削减措施有效性评估

环评工作要可“算明白”“看清楚”，也要切实“做得到”“管得住”。在整个评价过程里，污染物削减措施的有效性评估得做到客观、具体且有落地可操作性，不能只停留在描述层面或者只是列举治理设施名称，而要从设施运行机

制、治理效率、排放监控、维护频率以及历史达标数据等方面去展开评估论证。比如采用低氮燃烧器、SCR脱硝系统、袋式除尘器等控制手段时，要组卷整理其设计参数与运行能力，结合同类企业实测数据、运行负荷变化、监管记录等形成有效支撑材料。当污染源削减提出多项并行措施时，还得从技术相容性、工程工期、经济投入与排放贡献率角度进行综合评估排序，明确哪一项是主体责任、哪一部分属于外部协同，并且提供中长期运维计划说明以及监测保障措施^[5]。借助技术手段证明每一个“削”都是真实、可控、可持续的，这样能让环评文件更有说服力，还为主管部门后续信访处理、污染监管、联合督导提供可核查、可复核的管理依据，形成“方案有标准、过程可监督、结果有实效”的闭环控制机制。

	二氧化硫 (万吨)	烟尘 (万吨)	工业粉尘 (万吨)	氮氧化物 (万吨)
2005年	2549.3	1182.5	911.2	-
2006年	2588.8	1088.8	864.5	-
2007年	2468.1	986.6	771.1	-
2008年	2321.2	901.6	670.7	-
2009年	2214.4	847.7	604.4	-
2010年	2185.1	829.1	448.7	-
2011年	2217.9	1278.8	1100.9	2404.3
2012年	2117.6	1234.3	1029.3	2337.8
2013年	2043.9	1278.1	1094.6	2227.4
2014年	1974.4	1740.8	1456.1	2078.0

图1 2005—2014年我国大气总量控制指标排放量

评价工作等级	评价工作分级判据
一级评价	$P_{max} \geq 10\%$
二级评价	$1\% \leq P_{max} < 10\%$
三级评价	$P_{max} < 1\%$

图2 大气环境影响评价工作等级划分判据

5 结语

综上所述，基于总量控制开展的大气环境影响评价，并非单纯局限于技术层面的参数核算以及程序性审批，而是一种深度融合了环境目标导向与区域承载能力的治理理念的体现。

在未来，实际环评工作里怎样细化总量要素、优化核算方法以及完善管理机制，这会直接对大气质量改善的成效产生影响，同时也关乎生态文明战略落实的深度和广度。基于总量控制的环评模式，不只是技术革新，是治理理念的升级，是达成绿色转型必不可少的关键工具和路径。

参考文献

- [1] 白志鹏. 制造业大气环境影响评价技术分析[J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2025(1):035-038.
- [2] 王迪. 大气污染环境影响评价及污染治理对策研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2025(7):193-196.
- [3] 刘冉. 基于总量控制的大气环境影响评价与技术支持[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(10):112-113.
- [4] 丁峰, 李时蓓, 赵晓宏. 大气环境影响预测与评价编写及技术复核要点分析[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(6):65-68.
- [5] 宋鹭. 总量控制下的大气环境影响评价与技术支持系统[J]. 江苏环境科技, 1997, 10(2):12-15.

The Impact of Meteorological Factors on Geological Disasters and Countermeasures

Jilong Li

Sichuan Institute of Comprehensive Geological Survey, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

Meteorological factors serve as critical triggers for geological disasters, with complex mechanisms and significant spatiotemporal variations. Weather phenomena such as heavy rainfall, extreme temperature fluctuations, and ice-melt processes directly induce disaster events like landslides, debris flows, and rockfalls by altering geotechnical mechanical properties and hydrological conditions. In-depth analysis of meteorological elements' interactions with geological structures is crucial for disaster early warning and risk prevention. This study systematically explores the disaster formation mechanisms of meteorological factors, evaluates their specific impact pathways, and proposes targeted prevention strategies based on monitoring technologies and risk management approaches to enhance disaster mitigation capabilities.

Keywords

Geological disasters; Meteorological triggering mechanisms; Risk management; Prevention strategies

气象因素对地质灾害发生的影响及应对策略

李冀龙

四川省综合地质调查研究所, 中国·四川成都 610000

摘要

气象因素是地质灾害发生的重要触发条件, 其影响机制复杂且具有显著时空差异性。强降雨、极端温度变化及冰雪融化等气象过程通过改变岩土体力学性质和水文条件, 直接诱发滑坡、泥石流、崩塌等灾害事件。深入分析气象要素与地质体响应关系, 对灾害预警与风险防控具有关键意义。本文系统探讨气象因素对地质灾害的成灾机制, 评估其具体影响路径, 并基于监测技术与风险管理提出针对性防控策略, 以提升防灾减灾能力。

关键词

地质灾害; 气象触发机制; 风险管理; 防治对策

1 引言

在全球气候变化加剧的背景下, 极端气象事件频发对地质灾害防治工作提出新的挑战。近年来我国相继出台《地质灾害防治条例》和《全国地质灾害防治“十四五”规划》, 明确提出要加强气象风险预警体系建设, 提升地质灾害综合防治能力。气象因素是地质灾害主要触发条件, 通过改变岩土体水文学特性, 影响滑坡、泥石流等灾害发生频率与规模。探究气象要素与地质环境相互作用机制, 对完善灾害预警模型、优化防治工程布局有重要科学价值。当前需构建多学科交叉研究框架, 系统分析气象致灾过程, 为防灾减灾提供理论与技术支持。

2 气象因素触发地质灾害的主要危害表现

气象因素是诱发地质灾害的关键外部营力, 其触发的灾害事件以其突发性、连锁反应性和广泛影响范围为显著特征, 对人类社会结构与自然生态环境均构成多维度、深层次的危害。在暴雨、持续性强降雨以及季节性冰雪融化等气象过程的作用下, 岩土体迅速饱和, 孔隙水压力急剧升高, 有效应力显著降低, 从而引发大规模滑坡、高速泥石流、岩体崩塌和地面塌陷等地质灾害^[1]。这些灾害以极其猛烈的方式直接冲击了交通网络、水利设施、房屋建筑以及能源管线等至关重要的基础设施。它们不仅造成了巨大的经济损失, 还严重威胁到了人民的生命安全^[2]。在灾害的冲击下, 许多地区的交通陷入瘫痪, 水利设施遭到破坏, 房屋建筑倒塌, 能源管线破裂, 导致供水、供电等基本生活需求无法得到保障。这些灾害的破坏力之大, 不仅给受灾地区带来了难以估量的经济损失, 还引发了社会秩序的混乱和公共危机。

【作者简介】李冀龙(1988-), 男, 中国四川成都人, 本科, 工程师, 从事地质灾害防治研究。

3 气象因素对地质灾害发生的关键影响

3.1 强降雨与持续降水对边坡稳定性的影响

强降雨和持续性降水是诱发边坡失稳最为显著的气象因素之一。其作用机制主要表现为水分入渗引起岩土体物理力学性质的显著变化。当降雨强度超过地表入渗能力时，表层土壤迅速饱和，形成暂态饱和区，导致基质吸力急剧降低。根据非饱和土力学理论，基质吸力的减小直接导致土体抗剪强度的下降，遵循扩展的摩尔-库伦破坏准则^[3]。同时，水分下渗抬升地下水位，形成暂态水压力和指向临空面的渗透压力，降低边坡有效应力。在裂隙发育的岩质边坡或松散堆积层区域，降水入渗沿结构面快速下渗，软化软弱夹层，降低结构面摩擦系数，产生静水与动水压力，破坏岩体结构(如图1)。这种水力耦合作用使变形累积，最终导致边坡整体滑动或局部崩塌。值得注意的是，降雨入渗时空分布与边坡失稳模式密切相关，前期降雨量、降雨强度和持续时间共同决定边坡稳定性恶化程度与速度。

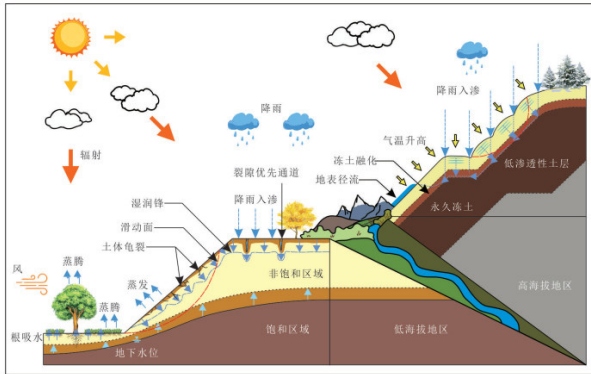


图1 强降雨与持续降水对边坡稳定性实际影响示意图

3.2 温度变化与冻融作用对岩体结构的影响

温度变化特别是冻融循环对岩体结构的破坏作用是一个复杂的物理力学过程。昼夜与季节性温度波动引起岩石矿物的热胀冷缩，由于不同矿物热膨胀系数的差异，在晶界处产生热应力，导致岩石疲劳损伤与微裂隙的萌生与扩展。在寒冷地区，冻融作用的影响更为显著^[4]。当温度降至冰点以下，岩体裂隙中的水分发生相变，体积膨胀约9%，产生巨大的冰劈压力，这种压力可超过岩石的抗拉强度，促使原有裂隙进一步扩展并形成新的裂隙网络。随着温度回升，冰体融化形成润滑剂，降低结构面摩擦系数，同时融水渗入新生裂隙，为下一次冻融循环创造条件。这种周期性作用降低岩体整体性与力学强度，尤其在节理发育的岩坡中，冻融作用促使危岩体形成，最终因重力发生崩落或浅层滑坡。冻融深度受地温梯度、雪盖厚度和岩性特征影响，其破坏程度与冻融循环次数正相关。

3.3 极端干旱与湿涝交替引发地表开裂与沉降

极端干旱与强降雨交替的气象条件对特定岩土体具有显著的破坏效应。长期干旱导致土壤水分大量蒸发，在膨胀

土、黄土等对水分敏感的特殊土体中，由于孔隙水压力消散和毛细作用，土体发生收缩，形成纵横交错的干缩裂隙网络。这些裂隙不仅破坏土体的完整性，更为后续降雨的快速入渗提供了优势通道。当强降雨发生时，雨水优先沿裂隙下渗，迅速软化深层土体，一方面使土体发生湿化变形，另一方面在渗流作用下产生潜蚀效应，细颗粒物被带走，形成地下空洞^[5]。反复干湿循环使土体结构不可逆损伤，抗剪强度降低，致地面沉降、地裂缝扩展甚至塌陷，此过程在胀缩性黏土质边坡更明显，其破坏机制涉及水分运移、力学特性劣化与渗流潜蚀耦合(如图2)。



图2 湿涝交替引发的地表开裂图片

4 地质灾害气象触发机制的应对策略及防控措施

4.1 强化监测预警体系，提升灾害识别能力

现代地质灾害防控体系需要建立多尺度、多参数的综合监测网络。通过集成卫星遥感、无人机航测、地面传感器和气象雷达等观测手段，形成立体化的监测架构。卫星遥感技术中，合成孔径雷达干涉测量(InSAR)可实现毫米级的地表形变监测，特别是新一代卫星星座显著提高了重访频率和空间分辨率。全球导航卫星系统(GNSS)连续运行基准站网提供精确到毫米级的三维位移场数据，能够捕捉滑坡体的缓慢蠕变过程。

在地面监测层面，分布式光纤传感技术(DTS)布设在滑坡体内，可实时监测应变分布和温度场变化，而微震监测网络则能捕捉岩体内部破裂信号。气象监测要素包括降雨强度、累积雨量、降雨时空分布特征等关键参数，结合土壤湿度传感器、孔隙水压力监测仪和张力计，全面掌握边坡水文动态。数据融合平台采用时空大数据分析技术，运用深度学习算法挖掘多参数间的非线性关系，建立基于临界降雨强度-持续时间关系的预警模型。预警系统需要考虑区域地质条件的空间异质性，针对不同岩土类型和斜坡结构设定动态阈值，实现从区域预警到单体灾害预警的多级响应机制。系统输出应包括风险等级划分、危险区时空演变预测和预警时效概率评估，为应急决策提供量化支持。

4.2 研发风险区划技术，优化防灾规划布局

地质灾害风险区划需要构建综合考虑致灾因子危险性、