

基于GIS的滑坡地质灾害易发性综合评价模型构建与防治技术研究

冯晓鹏

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: 本文围绕基于GIS的滑坡地质灾害易发性综合评价模型构建与防治技术展开研究。分析地形地貌、地质条件等影响因素,筛选代表性评价因子并量化,运用层次分析法和加权综合评价法构建模型,经验证优化提升准确性。同时提出工程、生物防治,监测预警及应急处置等技术。研究成果为滑坡灾害科学评估与有效防治提供了重要依据与方法。

关键词: GIS; 滑坡地质灾害; 易发性综合评价模型; 防治技术

1 滑坡地质灾害概述

滑坡地质灾害,是指斜坡上的土体或岩体在自然与人为因素共同作用下,沿软弱面或软弱带顺坡下滑的地质现象。这种灾害在全球范围内广泛分布,尤其集中于山区、丘陵地带以及地壳运动活跃区域。我国西南山区、西北黄土高原等地,因复杂地形地貌、地质条件和强降雨等条件成为高发区域。滑坡的危害极大,不仅会瞬间摧毁房屋、道路、农田等基础设施,造成巨大经济损失,还可能导致大量人员伤亡,严重威胁人类生命安全^[1]。滑坡还会改变地形地貌,破坏植被,引发水土流失,甚至堵塞河道形成堰塞湖,带来次生灾害。其形成机制复杂,内在因素涉及岩土体性质与地质构造,外在因素包含降雨、地震、河流冲刷和人类工程活动等。内外因素相互作用,打破斜坡原有平衡,最终诱发滑坡地质灾害发生。

2 基于GIS的滑坡地质灾害影响因素分析

2.1 地形地貌因素

地形地貌是滑坡地质灾害发生的基础条件。坡度是决定斜坡稳定性的关键,坡度越大,岩土体沿斜坡方向的重力分力越大,斜坡越易失稳。研究表明,25°-60°的区域是滑坡高发区,此范围内岩土体既有下滑动力,又存在薄弱结构面,易形成滑动带。坡向通过影响光照、降水和风化作用影响滑坡,南坡日照长、岩土干裂抗剪强度低,北坡湿度大、降雨后易饱和失稳,迎风坡降水多也增加滑坡风险。地形起伏度大的区域,岩土体重力势能大,遇外界干扰易滑动;沟谷发育地区,流水侵蚀坡脚,致使斜坡稳定性下降,成为滑坡高发地带。

2.2 地质条件因素

地质条件是滑坡发生的内在控制因素。岩土类型直

接影响斜坡稳定性,松散的砂土、粉质土、页岩等抗剪强度低,遇水软化后易滑动;坚硬岩石虽稳定,但含软弱夹层(如泥岩夹层)时,会显著降低斜坡整体稳定性。地质构造方面,断层、节理等地质构造破坏了岩土体的完整性,增加了岩土体的透水性和风化程度,为滑坡的发生创造了条件。断层附近的岩土体由于受到构造应力的作用,岩石破碎,节理裂隙发育,抗滑强度显著降低。当受到外界因素如降雨、地震等影响时,容易沿着断层带或节理面发生滑动。褶皱构造也会影响斜坡的稳定性。在褶皱的轴部,岩石受力复杂,节理裂隙发育,且地形往往起伏较大,容易形成滑坡。例如,在一些背斜轴部,由于顶部岩石受张力作用,破碎严重,常成为滑坡的高发区域。节理的密度、方向和连通性也会影响滑坡的发生。密集且相互连通的节理为地下水的运移提供了通道,加速了岩土体的软化和侵蚀,同时也降低了岩土体的整体性,增加了滑坡的风险。

2.3 气象水文因素

气象水文因素是诱发滑坡的重要外部条件,降雨和地下水为关键影响因子。降雨通过地表入渗,增加了岩土体的重量,同时降低了岩土体的抗剪强度。特别是粘性土在雨水浸泡后,粘聚力和内摩擦角减小,斜坡稳定性下降。降雨还可能引发坡面径流,对坡面岩土体产生冲刷和侵蚀作用,破坏土体结构,进一步降低其稳定性。强降雨还会抬升地下水位,产生静水和动水压力,进一步削弱斜坡稳定性,约70%-80%的滑坡与降雨相关,暴雨后滑坡发生率激增。地下水流动产生浮托力,减小岩土体有效应力和抗滑力;内部渗流产生的动水压力推动岩土体下滑;地下水的化学侵蚀作用改变岩土体性质,破坏结构。

2.4 人类活动因素

人类活动对滑坡的发生产生了重要影响。在山区道路修建、房屋建设时不合理的切坡、填方，会改变斜坡地形地貌与应力状态。切坡使坡脚失稳，斜坡上部临空；填方的重量可能会增加下伏岩土体的压力，当超过岩土体的承载能力时，打破原有平衡就会导致土体变形和滑动。采矿活动同样影响显著，地下采矿形成的采空区导致地面塌陷、山体变形，岩土体失稳滑动；露天采矿的大规模开挖破坏山体稳定，改变应力分布。陡坡开荒、过度开垦等不合理农业活动，破坏植被，降低土壤固持能力，使土壤更易受雨水冲刷，进而增加滑坡发生概率。

3 基于 GIS 的滑坡地质灾害易发性综合评价模型构建

3.1 致灾因子分析

滑坡致灾因子包括多方面：地形地貌（坡度、坡向等）决定斜坡形态与稳定性；地质条件（岩土类型、构造等）是内在基础；气象水文（降雨、地下水等）为常见诱因；人类活动（工程建设、采矿等）起促进作用。这些因子相互作用，共同决定滑坡发生的可能性和严重程度，例如地形陡、岩土抗剪弱、降雨多且人类活动强的区域，滑坡概率显著增加^[2]。

3.2 评价因子选择与量化

在众多致灾因子中，筛选出具有代表性、敏感性和可获取性的评价因子是构建评价模型的关键环节。结合研究实际情况和数据资料，综合考虑地形地貌、地质条件、气象水文和人类活动等方面，选择坡度、坡向、岩土类型、地质构造、降雨强度、地下水位、工程建设密度等作为评价因子。为了将这些不同性质的评价因子统一纳入评价模型，需要对其进行量化处理。对于定量因子，如坡度、降雨强度等，可根据其数值范围进行分级赋值。定量因子分级赋值，定性因子用专家打分或层次分析法量化（如淤泥质土5分、花岗岩1分），使各因子可比可算。

3.3 评价模型构建

基于GIS强大的空间分析和数据处理功能，采用层次分析法（AHP）和加权综合评价法构建滑坡地质灾害易发性综合评价模型。首先，运用层次分析法确定各评价因子的权重。建立层次结构模型，将滑坡地质灾害易发性评价作为目标层；将地形地貌、地质条件、气象水文、人类活动等因素作为准则层；将具体的评价因子如坡度、坡向、岩土类型等作为指标层。通过专家咨询和两两比较，确定各因子之间的相对重要性，构建判断矩阵，计算出各评价因子的权重。在确定权重后，采用加

权综合评价法对研究区域进行滑坡易发性评价。将研究区域划分为若干个评价单元，根据各评价单元中评价因子的量化值和权重，计算出每个评价单元的综合得分。根据综合得分将研究区域划分为不同的易发性等级，如低易发区、中等易发区、高易发区和极高易发区，从而直观地展示研究区域滑坡地质灾害的易发性分布情况。

3.4 模型验证与优化

构建好的滑坡地质灾害易发性综合评价模型需要进行验证和优化，以确保其准确性和可靠性。选择研究区域内已知的滑坡点和未发生滑坡的区域作为验证样本，将模型预测的易发性等级与实际情况进行对比分析。通过计算预测准确率、召回率、F1值等指标，对模型的性能进行评估。如果模型的预测结果与实际情况存在较大偏差，需要对模型进行优化^[3]。优化的方法包括重新调整评价因子的权重、筛选或增加评价因子、改进量化方法等。若发现某一评价因子在实际情况中对滑坡易发性的影响比模型中体现的更为重要，可以适当提高其权重；若某些评价因子之间存在较强的相关性，导致信息重复，可以考虑去除部分因子或采用主成分分析等方法进行降维处理。通过不断地验证和优化，使评价模型能够更准确地反映研究区域滑坡地质灾害的易发性。

4 基于 GIS 的滑坡地质灾害防治技术研究

4.1 工程防治措施

工程防治是治理滑坡的重要手段，见效快且效果显著，主要措施如下：在滑坡体坡脚等合适位置修建挡土墙，借助自身抗滑力和对岩土体的支撑力阻止滑坡。设计时需综合考虑滑坡体规模、岩土体性质、下滑力及地下水情况，以确定类型（如重力式、悬臂式、扶壁式等）、尺寸和基础形式，并根据实际情况选用。抗滑桩多为钢筋混凝土桩，嵌入稳定岩土体后，依靠桩身抗剪强度和锚固力抵抗滑坡体下滑力。可单独使用，也可与挡土墙、锚索等联合使用以增强效果。设计时要准确计算滑坡推力，合理确定桩的间距、直径、长度和配筋等参数。排水工程十分关键。通过截水沟、排水沟等地面设施排除滑坡体及周边地表水，防止雨水渗入；利用地下排水廊道、排水孔等降低地下水位，消除地下水的不利影响。合理的排水系统能有效降低岩土体含水量，减小下滑力，提高斜坡稳定性。

4.2 生物防治措施

生物防治措施以其成本低、生态效益好、可持续性等优点，在滑坡地质灾害防治中发挥着重要作用。植树造林是最主要的生物防治措施之一，树木的根系能够深入土壤，固持土壤颗粒，增加土壤的抗剪强度，减

少雨水对土壤的冲刷。同时,植被的蒸腾作用可以降低土壤含水量,提高斜坡的稳定性。在选择树种时,应优先选择根系发达、生长迅速、适应性强的树种,如马尾松、刺槐、香根草等,并根据不同的地形地貌和土壤条件进行合理搭配。种草护坡也是有效的生物防治手段,草本植物生长迅速,能够在短时间内覆盖斜坡表面,形成植被保护层,减少雨水对土壤的侵蚀。通过在斜坡上种植合适的草种,并结合铺设草皮、喷播植草等技术,可以快速恢复植被,起到防治滑坡的作用。还可以通过发展经济林、果园等方式,在防治滑坡的同时,增加当地居民的收入,实现生态效益和经济效益的双赢。生物防治措施不仅可以直接防治滑坡,还可以改善生态环境,减少水土流失,促进生态系统的良性循环。与工程防治措施相比,生物防治措施更注重长期效果和生态保护,是一种可持续的防治方法。

4.3 监测预警技术

基于GIS的监测预警技术是实现滑坡地质灾害科学防治的关键环节。利用GNSS接收机、全站仪、裂缝计、激光位移计、雨量计、倾角仪等监测设备,对滑坡体的位移、变形、裂缝发展等进行实时监测。通过将监测数据传输到GIS系统中,结合地形地貌、地质条件等基础数据,进行空间分析和可视化展示,能够直观地反映滑坡体的变化情况,及时发现滑坡的征兆。遥感技术(RS)和合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术的结合,为滑坡监测预警提供了宏观视角。遥感技术能够获取大范围的地表信息,通过对不同时期遥感影像的对比分析,可以发现滑坡区域的地形地貌变化、植被破坏等情况,及时发现潜在的滑坡隐患。InSAR技术通过分析不同时间获取的同一区域合成孔径雷达(SAR)影像,计算地表微小位移(厘米级至毫米级)。GIS技术则可以对遥感数据和其他监测数据进行整合、分析和管理,建立滑坡监测预警模型,预测滑坡的发展趋势,提前发出预警信息。当监测数据达到预设的预警阈值时,通过短信、广播、手机APP、微信公众号等多种渠道,及时向受威胁区域的居民、相关部门和应急救援队伍发布预警信息,以便采取相应的应急措施,减少人员伤亡和财产损失。同时利用GIS技术可以对预警区域进行快速定位和分析,制定合理的人员疏散路线和应急救援方案。

4.4 应急处置技术

滑坡灾害发生后,及时有效的应急处置是减少损失的关键。需迅速组织地质、测绘、岩土等领域专家和技术人员,勘察评估滑坡规模、类型、滑动方向、稳定性及发展趋势,为后续处置提供科学依据。根据评估结果制定应急方案:对威胁人员安全的区域,立即启动应急响应,组织群众紧急疏散,规划疏散路线、设明显标志、安排专人引导,避免混乱和踩踏;及时救治受伤人员,协调医疗资源保障治疗。对危险的道路、桥梁、房屋等基础设施,采取临时加固、封闭等措施防二次灾害。在确保安全的前提下,组织专业队伍搜救被掩埋区域,用生命探测仪等设备寻找被困人员;加强现场监测,实时掌握动态变化,及时调整方案,保障处置有效安全^[4]。灾害基本稳定后,开展灾情评估,为恢复重建提供数据支持。

结束语

本文基于GIS技术系统构建了滑坡地质灾害易发性综合评价模型。通过对滑坡形成机制与影响因素的分析,确定了科学合理的评价指标体系,并采用主客观赋权法确定指标权重,结合综合评价模型实现了滑坡易发性的定量评价。利用GIS强大的空间分析与可视化功能,直观展示了易发性分区结果。基于评价结果提出的工程防治、生物防治和监测预警技术,形成了一套完整的滑坡地质灾害防治方案。研究成果可为区域滑坡灾害风险评估、防治规划与工程建设提供科学依据和技术支撑,对降低灾害风险、保障生命财产安全意义重大。但研究仍存在部分区域数据不足、模型普适性待提升等问题。未来需进一步融合多源数据,优化模型算法,加强新技术应用,推动滑坡灾害防治工作向更精准、高效方向发展,实现人与自然和谐共生。

参考文献

- [1]杜岩,张洪达,谢谟文,等.大型危岩体崩塌灾害早期监测预警技术研究综述[J].工程科学与技术,2024,56(05):10-23.
- [2]李涛涛,柳俊乾,丁禹达,等.地质灾害风险评估与管理——以滑坡为例[J].中国减灾,2025,(06):50-51.
- [3]宋进范,朱杰勇,顾鹏,等.云南绿春崩塌滑坡地质灾害风险评价[J].世界地质,2025,44(01):152-163.
- [4]吴飞.遥感和GIS技术在滑坡地质灾害风险评估中的应用[J].自动化应用,2023,64(18):131-133.