

# 基于GIS和USLE/RUSLE模型的矿区水土流失 风险模拟与修复优先级划分

赵良洪 尹 莉

昆明煤炭设计研究院有限公司 云南 昆明 650051

**摘要：**本文聚焦基于GIS和RUSLE模型的矿区水土流失风险模拟与修复优先级划分。研究先收集并预处理降雨、土壤、地形等数据，集成至GIS平台。接着模拟矿区水土流失量，划分风险等级。随后，综合考虑多方面因素，采用科学方法划分生态修复优先级区块，并提出不同优先级区块的修复对策。最后，通过实地监测、历史数据对比、专家评估等方式验证模拟结果与修复优先级，建立基于矿区动态变化的修复优先级调整机制，为矿区生态修复提供科学依据。

**关键词：**GIS；RUSLE模型；矿区；水土流失风险模拟；修复优先级划分

## 1 基于GIS与RUSLE模型的矿区水土流失治理策略研究

### 1.1 数据来源

本研究所需的数据主要包括降雨数据、土壤数据、地形数据、植被覆盖数据和管理措施数据。降雨数据可以从当地气象部门获取，包括多年的日降雨量数据和降雨过程资料。土壤数据可通过土壤普查资料、实地采样分析等方式获得，了解土壤的质地、有机质含量、可蚀性等信息。地形数据一般采用数字高程模型（DEM），可以从地理信息部门或相关数据平台下载获取。植被覆盖数据可以利用遥感影像进行解译，通过监督分类或非监督分类等方法提取植被信息。管理措施数据则需要通过实地调查和查阅相关资料获取，了解矿区的耕作方式、水土保持措施等情况。

### 1.2 数据预处理方法

在将数据应用于RUSLE模型之前，需要对收集到的数据进行预处理。对于降雨数据，需要进行数据整理和统计分析，计算降雨侵蚀力因子（R）。可以采用多年日降雨量数据，运用适合当地气候条件的简易算法来计算R值。土壤数据预处理包括对土壤可蚀性因子（K）的计算，根据土壤的理化性质，查阅相关土壤可蚀性因子表或通过实验测定来确定K值。地形数据预处理主要是对DEM数据进行处理，包括填洼、投影转换、重采样等操作，以获取准确的坡长（L）和坡度（S）因子。植被覆盖数据预处理需要先对遥感影像进行预处理，如辐射校正、大气校正等，然后进行影像分类，提取植被覆盖度信息，计算植被覆盖与管理因子（C）。管理措施数据预处理则是根据实地调查结果，确定水土保持措施因子

（P）的值<sup>[1]</sup>。

### 1.3 GIS平台中的数据集成

将预处理后的各因子数据集成到GIS平台中是进行水土流失模拟的关键步骤。在GIS软件中，可以将降雨、土壤、地形、植被覆盖和管理措施等因子数据以栅格图层的形式进行叠加和分析。首先，需要将各因子数据转换为相同的坐标系统和空间分辨率，确保数据的一致性和可比性。然后，利用GIS的空间分析功能，如栅格计算器等工具，将各因子数据进行乘积运算，得到矿区的水土流失量图层。通过GIS平台的数据集成和分析，可以直观地展示矿区水土流失的空间分布情况，为后续的风险等级划分和生态修复优先级划定提供基础数据。

## 2 矿区水土流失风险模拟

### 2.1 RUSLE模型因子计算

在GIS平台中，依据预处理后的各类数据，精准计算RUSLE模型的各个因子至关重要。降雨侵蚀力因子（R）是衡量降雨引发土壤侵蚀潜在能力的关键指标，其计算需综合多年降雨资料，充分考虑不同年份、季节的降雨强度、频率等因素，才能准确反映降雨对土壤侵蚀的长期影响。土壤可蚀性因子（K）体现了土壤对侵蚀的敏感程度，与土壤质地、有机质含量等密切相关，不同质地的土壤（如砂土、黏土）和有机质含量差异，会导致K值显著不同。坡长（L）和坡度（S）因子反映了地形对土壤侵蚀的作用，可借助DEM数据提取坡长和坡度信息，再运用特定公式计算。植被覆盖与管理因子（C）反映了植被对土壤侵蚀的抑制效果，会因植被覆盖度和管理措施的不同而变化。水土保持措施因子（P）则考量了采取水土保持措施后对土壤侵蚀的减少成效。

## 2.2 水土流失量模拟

在GIS平台中,将计算得到的各因子值进行乘积运算,可得出矿区每个栅格单元的水土流失量。借助GIS强大的空间分析功能,能够生成直观的矿区水土流失量分布图。从模拟结果清晰可见,矿区的开采区域,由于频繁的挖掘作业,破坏了原有土壤结构,导致水土流失量通常较大;堆料场因大量物料堆积,缺乏有效防护,也易出现严重水土流失;运输道路在车辆反复碾压下,土壤紧实度改变,同样水土流失问题突出。相反,植被覆盖较好且采取了水土保持措施的区域,如种植了固土植物的边坡、设置了排水设施的区域,水土流失量相对较小。这种分布图为后续分析水土流失规律、制定针对性治理措施提供了直观且重要的依据。

## 2.3 水土流失风险等级划分

依据模拟得出的水土流失量,结合国家相关标准以及矿区的实际状况,将矿区水土流失风险划分为不同等级,如轻度、中度、重度和极重度。轻度水土流失区域,土壤侵蚀量较小,对生态环境的影响相对轻微,一般只需进行常规监测和简单维护。中度水土流失区域,土壤侵蚀量适中,若不加以控制,可能逐渐恶化,需要采取一定的防治措施,如种植草皮、设置简易护坡等。重度水土流失区域,土壤侵蚀量较大,已对生态环境造成较为严重的破坏,如导致植被退化、土地沙化等,需优先进行治理,可采用工程措施与生物措施相结合的方式<sup>[2]</sup>。极重度水土流失区域,土壤侵蚀量极大,生态环境极其脆弱,必须立即采取有效的生态修复措施,如大规模植树造林、修建挡土墙等,以恢复生态功能。通过这种风险等级划分,能明确矿区不同区域的水土流失严重程度,为生态修复工作指明重点和方向。

## 3 生态修复优先级划分与对策建议

### 3.1 生态修复优先级划分方法

在划定生态修复优先级时,仅依据水土流失风险等级远远不够,还需全面考量矿区的生态环境现状、地质条件以及社会经济因素等多方面内容。生态环境现状涵盖植被覆盖情况、生物多样性等;地质条件涉及土壤稳定性、岩层结构等;社会经济因素则包括对周边居民生活的影响、修复成本与效益等。为科学合理划分优先级,可采用层次分析法(AHP)或多准则决策分析(MCDA)等方法。这些方法能将多个复杂的影响因素进行量化分析,通过专家打分、数据统计等方式确定各因素的权重。随后,依据综合得分精准划定生态修复的优先级区块。例如,将矿区细致划分为一级优先修复区、二级优先修复区和三级优先修复区。一级优先修复

区通常水土流失风险极高,生态环境破坏极为严重,且对周边环境产生较大负面影响,如导致河流污染、土地沙化范围扩大等;二级优先修复区水土流失风险较高,生态环境有一定破坏,但恢复潜力较大;三级优先修复区水土流失风险相对较低,生态环境破坏程度较轻,具备一定的自我恢复能力。

### 3.2 不同优先级区块的修复对策

针对不同优先级区块,需采取与之适配的修复对策。对于一级优先修复区,鉴于其问题的严重性和紧迫性,必须采取紧急且综合的生态修复措施。在开采区域,要开展地形整理工作,通过削坡减载消除地质安全隐患,防止滑坡、泥石流等灾害发生。同时,修建挡土墙、截排水沟等工程措施,有效拦截和疏导水流,减少水土流失<sup>[3]</sup>。此外,进行大规模的植被恢复,采用乔灌藤草相结合的方式,构建多层次的植被体系,提高植被覆盖度,增强生态系统的稳定性;对于二级优先修复区,可根据具体情况采取适当的工程措施和生物措施相结合的修复方法。进行局部的地形改造,改善土壤条件,为植被生长创造良好环境。种植适合当地生长的植被,如耐旱、耐瘠薄的草本植物和灌木,加强水土保持。对于三级优先修复区,主要以自然恢复为主,适当进行人工辅助。例如补植一些乡土树种,利用乡土树种对当地环境的适应性,促进生态系统的自然演替,实现生态环境的逐步改善。

## 4 矿区水土流失风险模拟与修复优先级的验证及动态调整

### 4.1 风险模拟结果与修复优先级的验证方法

为确保基于GIS和RUSLE模型的水土流失风险模拟结果及修复优先级划分的科学性与可靠性,需通过多维度验证方法检验成果准确性,避免理论模拟与实际情况脱节。验证工作主要从实地监测验证、历史数据对比验证、专家评估验证三方面开展。实地监测验证需在研究区选取典型验证样地,样地需覆盖不同水土流失风险等级区域(轻度、中度、重度、极重度)及不同修复优先级区块(一级、二级、三级),每个风险等级与优先级类别至少设置3个10m×10m的标准监测小区。在监测小区内,采用标准径流小区观测法,安装径流桶、雨量计等设备,连续监测1-2个完整水文年的实际水土流失量(包括径流量与土壤侵蚀量),同时记录监测期间的降雨、植被覆盖变化、水土保持措施实施情况等数据。将实地监测获取的实际水土流失量与RUSLE模型模拟的水土流失量进行对比,计算相对误差与决定系数( $R^2$ ),若相对误差控制在15%以内且 $R^2 \geq 0.75$ ,表明模型模拟结果

精度符合要求；若误差超出范围，则需回溯检查模型因子计算（如R因子经验公式选择、LS因子修正参数）或数据预处理（如DEM填洼精度、土壤采样代表性）环节，调整模型参数以提升模拟准确性。

历史数据对比验证需收集研究区已有的水土流失调查数据（如过去5-10年的土壤侵蚀普查报告、矿区生态环境监测年报）及历史修复工程效果数据（如某一级修复区实施植被恢复后，5年内的水土流失量变化记录）。将历史调查的水土流失空间分布特征与模型模拟的风险等级分布图进行叠加分析，检验高风险区（如采矿排土场、矸石山）的空间吻合度；同时对比历史修复工程中“优先修复区域”的实际治理效果与本研究划分的修复优先级，若历史上治理效果显著的区域与本研究一级、二级修复区的重合率  $\geq 80\%$ ，则说明修复优先级划分具有合理性；专家评估验证需邀请水土保持、GIS应用、矿区生态修复领域的5-7名专家，构建评估指标体系（包括模拟结果与实际地形的契合度、修复优先级与矿区生态敏感区的匹配度、修复对策的可行性），采用德尔菲法对风险模拟结果与修复优先级划分进行打分（满分100分）。若专家评估平均分  $\geq 80$ 分，且各专家打分的变异系数  $\leq 0.15$ ，表明研究成果得到专业领域认可；若平均分低于80分，则需根据专家意见（如调整某类土地利用的C因子值、优化修复对策的工程措施组合）完善研究内容<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 基于矿区动态变化的修复优先级调整机制

矿区开采活动持续推进，生态环境也随之不断演变。为有效避免修复规划滞后于实际变化，造成资源的不合理配置与浪费，建立一套基于矿区动态变化的修复优先级调整机制显得尤为迫切。该机制主要由动态监测指标体系、调整触发条件以及调整流程三部分构成。

##### 4.2.1 动态监测指标体系

此体系包含三类核心指标。采矿活动动态指标方面，涵盖采矿权范围变更、矸石山与排土场新增面积及堆积量、采矿扰动区域扩展速度。通过每季度收集采矿审批文件，并结合实地航拍获取精准数据。生态环境变化指标包括植被覆盖度年变化率，借助年度遥感影像解译得出；土壤有机质含量变化，每年在典型区域采样分析；地表塌陷面积变化，运用InSAR技术或实地勘察进行监测。水土流失风险变化指标为年度水土流失量变化，基于长期监测小区数据；高风险区（重度及以上）面积

变化率，通过对比年度模型模拟结果确定。

##### 4.2.2 调整触发条件

依据指标变化幅度设定阈值，当达到阈值时即触发调整流程。例如，采矿权范围向原二级修复区扩展超过5km<sup>2</sup>，或者新增排土场面积超过2km<sup>2</sup>；一级修复区植被覆盖度年降幅超过10%，或者三级修复区年增幅超过20%；重度及以上水土流失风险区面积年增加超过3km<sup>2</sup>，或者某修复区块实际水土流失量较上年变化超过30%。另外，若遇到极端气候，如单次降雨超过100mm的暴雨，导致局部水土流失加剧，或者出台新的矿区生态修复政策时，也将触发紧急调整。

##### 4.2.3 调整流程

采用“监测-评估-调整-公示”的闭环模式。每年度（或在紧急调整情况下），矿区生态监测部门负责汇总各类数据，并提交给联合评估小组。评估小组结合这些数据重新运行RUSLE模型，深入分析偏差情况。依据偏差结果，对修复优先级进行调整，并优化相应的对策。调整方案需在矿区官网以及周边社区进行公示，公示期不少于15天，广泛征求各方意见后，再报自然资源部门审批实施。

##### 结束语

基于GIS和RUSLE模型的矿区水土流失风险模拟与修复优先级划分，为矿区生态修复提供了科学、系统的方案。通过数据收集与预处理、模型因子计算、风险等级划分及优先级确定，能精准定位问题区域。验证方法确保了结果的科学性，动态调整机制适应矿区变化。未来，需持续优化模型与监测手段，结合更多先进技术，提高治理效率，推动矿区生态环境持续改善，实现经济发展与生态保护的平衡。

##### 参考文献

- [1]郭峰.水利建设项目生态修复边坡水土保持措施及效果评价[J].内蒙古水利,2021(4):53-54.
- [2]张海峰.水土流失治理技术与实践[J].水土保持学报,2023(5):118-120.
- [3]刘志军.生态修复与水土保持的协同机制研究[J].生态学报,2022(8):1542-1545.
- [4]王自清,卢志勇.水土流失综合治理的社会参与模式研究[J].中国水土保持,2023(2):17-20.