

# 岩溶矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合关系研究

蒋 可

(贵州苗岭有色地质工程有限公司, 贵州 凯里 556000)

**摘 要:**贵州苗岭岩溶矿区因独特地质条件与高强度矿业开发,地表塌陷与土地利用变化问题突出,探究二者耦合关系对区域可持续发展具有重要意义。本研究以贵州苗岭岩溶矿区为研究区,运用实地调查、遥感解译、GIS 空间分析及构建耦合度与协调度模型,剖析地表塌陷与土地利用变化的耦合关系。发现地表塌陷具时空分布规律,规模形态多样,由地质与人为因素共同诱发,对土地资源、基础设施等影响深远;土地利用变化受自然与人为因素驱动,矿业开发是关键驱动力;构建高精度模型,可用于不同矿区对比及情景模拟。未来需通过生态修复、智能采矿、土地集约利用等多措施协同治理,改善二者耦合关系,促进矿区可持续发展。

**关键词:**岩溶矿区;地表塌陷;土地利用变化;耦合关系

**中图分类号:**P642.2      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-2736(2025)12-0077-9

## 0 引言

贵州苗岭作为我国重要的有色金属矿产基地,因独特岩溶地质条件与高强度矿业开发,地表塌陷与土地利用变化问题突出,大规模采矿活动引发的地质灾害中,地表塌陷尤为显著;同时,城镇化推进、农业结构调整等持续重塑土地利用格局<sup>[1]</sup>。二者在岩溶发育、地质构造复杂的背景下相互作用,既威胁生态安全,又制约区域可持续发展,而当前针对该区域二者耦合关系的系统性研究仍较匮乏,因此开展本研究具有重要意义<sup>[2]</sup>。

本研究通过实地地质调查掌握塌陷区地质构造与岩溶发育状况,运用遥感解译与 GIS 空间分析获取多期土地利用数据并探究其动态变化,在此基础上构建耦合度与协调度模型量化二者关联程度与协调水平。其创新点在于首次系统研究贵州苗岭特定岩溶矿区二者的耦合关系,综合多学科方法剖析耦合机制,并构建实用性强的量化模型,可为区域土地利用规划与塌陷防治提供支撑。

## 1 贵州苗岭岩溶矿区地质背景与土地利用现状

### 1.1 地质背景

#### 1.1.1 地层岩性

贵州苗岭地区地层分布呈现显著的时代特征,广泛出露寒武系、奥陶系、石炭系地层。其中,可溶性碳酸盐岩占据主导地位,石灰岩、白云岩等岩层厚度大、分布广。在苗岭山区腹地,纯碳酸盐岩地层区域因岩性均一、易溶性强,岩溶发育程度极高,为地下溶洞、暗河的形成提供了物质基础,也为地表塌陷埋下隐患<sup>[3]</sup>。不同岩性组合区域的岩溶发育程度存在差异,如碳酸盐岩与碎屑岩互层地带,因碎屑岩的阻隔作用,岩溶发育相对较弱,塌陷敏感性低于纯碳酸盐岩区域。

苗岭地区地质构造复杂,褶皱、断裂构造相互交织。区域内大型褶皱构造如雷公山复式背斜,控制着地层展布与地下水径流方向,使得岩溶沿褶皱轴部和翼部差异发育<sup>[4]</sup>。断裂构造更为发育,北北东向、北东向断裂贯穿全区,不仅破

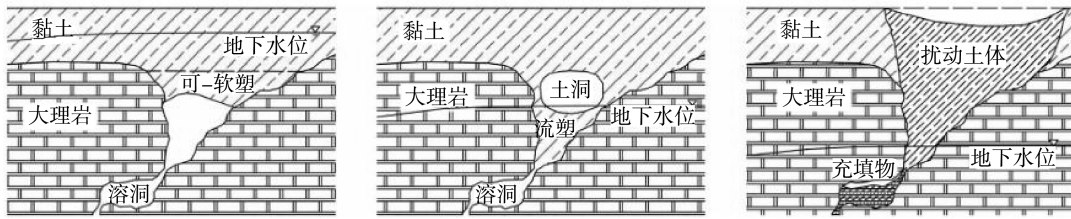


图 1 地下水位下降引发的地表塌陷

坏了岩体完整性,还成为地下水快速运移的通道。当富含碳酸的地下水沿断裂带对碳酸盐岩进行溶蚀,地下空洞不断扩大,在一定条件下便引发地表塌陷<sup>[5]</sup>。例如,在革东断裂附近区域,塌陷点分布密度明显高于周边,充分体现了断裂构造对塌陷发育的控制作用。

### 1.1.2 水文地质条件

苗岭岩溶矿区地下水类型丰富,以岩溶水为主,其在地下岩溶管道中快速流动,对周围岩体进行持续的侵蚀和潜蚀。如图 1 所示,区内年降水量充沛,多集中在夏季,大量降水通过岩溶裂隙、落水洞等快速补给地下水,导致地下水位季节性波动剧烈。在枯水期,地下水位下降,洞顶岩体失去浮力支撑,稳定性降低;丰水期时,快速上升的水位对洞顶产生冲刷作用,同样增加了塌陷风险<sup>[6]</sup>。同时,复杂的水文地质条件还导致部分区域地下水动力场失衡,加速了岩溶洞穴的扩展和塌陷的发生。

## 1.2 土地利用现状

### 1.2.1 土地利用类型及分布

贵州苗岭地区土地利用类型多样,空间分布具有明显的地形地貌特征。总体来看,贵州苗岭地区土地利用以林地为主,占区域总面积的 45% 以上;耕地次之,占比约 25%;草地、建设用地、水域及未利用地分别占比 15%、8%、5% 和 2% 左右,呈现“林地为主、耕地为辅,多类型交错分布”的总体特征。

具体来看,耕地主要集中在山间盆地和河谷地带,以水田和旱地为主,是当地重要的农业生产基地;林地广泛分布于山区,尤其在雷公山等自然保护区,森林覆盖率高,对区域生态环境起着关键的调节作用;草地多分布在低山丘陵缓坡

地带,为畜牧业发展提供了一定的饲草资源;建设用地主要分布在城镇及矿区周边,随着矿业经济的发展,其面积呈逐年扩张趋势;水域沿主要河流和水库分布,是区域水资源的重要组成部分;而在岩溶发育强烈的区域,存在大量裸岩、石砾地等未利用地,生态环境脆弱<sup>[7]</sup>。本研究区位如图 2 所示,分别为苗岭在中国的地理位置(图 2a)、境内行政区域划分(图 2b)及海拔分布情况(图 2c)。

### 1.2.2 矿业活动对土地利用的影响

长期的矿业开发活动深刻改变了苗岭地区的土地利用格局。露天采矿直接损毁大量耕地和林地,形成大面积的采坑和尾矿堆放场,土地原有生态功能丧失。地下采矿引发的地表塌陷,导致大量耕地出现裂缝、沉陷,农作物减产甚至绝收,部分耕地被迫弃耕;塌陷还造成林地树木倾倒、根系破坏,森林生态系统受损<sup>[8-12]</sup>。此外,矿区建设过程中修建的工业广场、运输道路等建设用地,进一步侵占了大量农用地,使得区域土地利用结构失衡,生态环境压力不断增大。

## 2 岩溶矿区地表塌陷特征与土地利用变化分析

### 2.1 地表塌陷特征

#### 2.1.1 塌陷时空分布规律

通过对贵州苗岭岩溶矿区塌陷数据梳理与调研发现,地表塌陷在时空分布上规律呈规律显著。时间上,地表塌陷呈阶段性集中爆发,如福泉市巴香坪组自 2023 年 8 月起一年多出现 32 处塌陷,30 处在农田,2024 年春夏汛期因 5-9 月集中降水入渗致地下水位及水动力变化,塌陷尤为频繁<sup>[13]</sup>。空间上,地表塌陷集中于地质构造

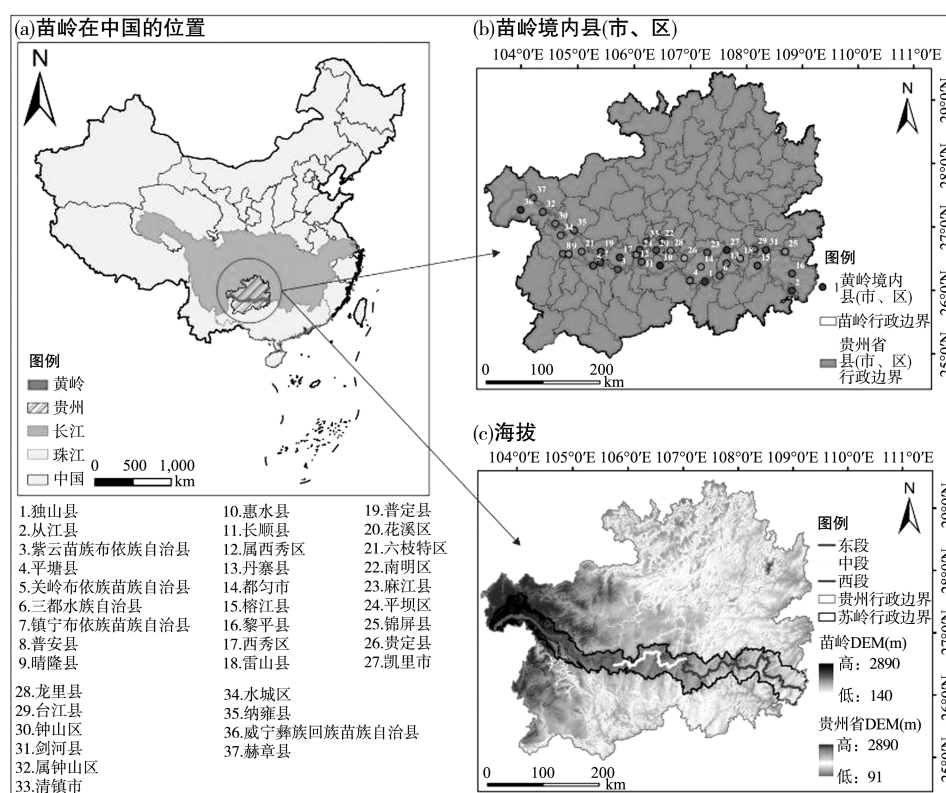


图 2 苗岭区域图

注:图 2 基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2019)1822 号标准地图制作,底图边界无修改。

复杂、岩溶发育强的雷公山复式背斜轴部及革东断裂附近,褶皱、断裂等构造控陷明显;且矿区中有色金属矿因开采强度大、地质环境扰动剧烈,塌陷数量多于其他矿种区。

### 2.1.2 塌陷规模与形态

苗岭岩溶矿区塌陷规模差异显著且形态多样。小型塌陷直径 2-5m、深 2-3m,多因局部岩溶管道坍塌形成,如山区点状塌陷;大型塌陷面积可达数万平方米、深数十米,由大规模地下采空区或大型岩溶洞穴顶板垮塌所致,像煤矿集中区的连片塌陷<sup>[14]</sup>。形态上,圆形因垂直岩溶管道坍塌,直径规则;椭圆形受地下空洞形状或构造方向影响;不规则形则为复杂地质条件下多因素作用结果。不同塌陷对土地利用破坏不同,大型塌陷致地表设施损毁、土地永久丧失功能,小型塌陷虽单次影响有限,但长期累积会破坏土壤结构、降低土地生产能力。

### 2.1.3 塌陷成因机制

地质与人为因素共同诱发苗岭岩溶矿区塌

陷。地质方面,可溶性碳酸盐岩广布为岩溶发育提供物质基础,复杂构造破坏岩体完整性、形成地下水运移通道,地下水溶蚀潜蚀作用形成地下空洞,洞顶岩体难承上部荷载时塌陷。人为方面,矿业开采是主因,如福泉香坪村煤矿长期疏排地下水,致水位骤降、破坏水动力平衡,使岩溶空洞上部岩体应力增加、稳定性下降,采矿形成的采空区更削弱岩体支撑力,自然与人为因素叠加引发塌陷。此外,岩溶区不合理工程建设(如大规模填挖方)破坏地表岩土结构,也会诱发塌陷。岩溶塌陷的形成过程如图 3 所示。

## 2.2 土地利用变化分析

### 2.2.1 土地利用变化幅度与速度

对比近 30 年苗岭地区土地利用数据发现,耕地面积呈明显减少趋势,如普定县因矿业开发占用及塌陷弃耕,过去 20 年耕地减少约 5%。林地面积在生态保护政策推动下总体增加,但局部矿区周边因塌陷和开采活动出现减少。建设用

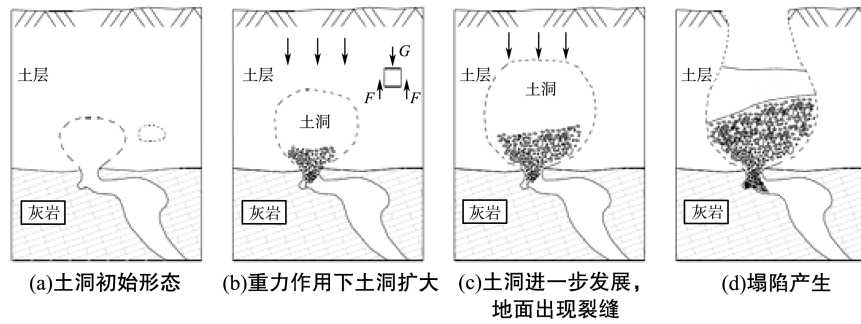


图 3 岩溶塌陷过程图

地因矿业城镇扩张、矿区基础设施建设显著增长,如独山县上司镇近 10 年因矿山开采及配套基础设施建设,建设用地增长约 15%。数据显示,矿业开发活跃时段和区域土地利用类型变化剧烈,2000-2010 年矿业快速发展期,建设用地增长与耕地减少速度达峰值。

### 2.2.2 土地利用转移矩阵分析

构建土地利用转移矩阵显示,苗岭地区耕地主要转向建设用地与未利用地:矿区周边耕地被开发为工业广场、尾矿库等,部分因塌陷损毁成未利用地。林地与草地双向转化,生态政策推动下部分草地造林成林地,部分地区因过度放牧或开发致林地退化为草地。建设用地扩张多占用耕地、林地,如黔东南州某矿业城镇过去 15 年约 30% 新增建设用地源于周边耕地和林地征用,凸显城镇化与工业化对土地资源的需求。

### 2.2.3 土地利用变化驱动因素

自然与人为因素共同影响苗岭地区土地利用。自然方面,岩溶地质条件限制明显,岩溶强烈发育区地表崎岖、土层浅薄、水源漏失,多为林地、草地或未利用地,地表塌陷等灾害更直接使土地废弃或需修复。人为方面,矿业经济是土地利用变化主因,开采直接占地并因塌陷间接影响;生态保护政策让林地增加,土地利用规划引导建设用地布局;社会经济发展带来的人口增长和生活方式改变,也推动土地利用结构调整。

## 2.3 地表塌陷对土地利用的影响

地表塌陷对土地利用的影响具有多维度、多层次的特点,表 1 从资源、设施、生态、经济四个

关键维度,系统梳理了贵州苗岭岩溶矿区地表塌陷对土地利用的主要作用路径及典型实例,全面揭示了地表塌陷对土地利用的具体影响,为深入分析二者的耦合关系奠定了实证基础。

表 1 贵州苗岭岩溶矿区地表塌陷对土地利用的影响类型及实例

影响类型	具体表现
土地资源损毁	大型塌陷直接导致土地无法利用,小型塌陷长期累积降低土地质量,如某铅锌矿开采区,因塌陷致使周边数千亩耕地废弃,无法耕种。
基础设施破坏	破坏农田水利设施、道路等,增加修复成本,如福泉市巴香坪组,多处灌溉水渠因塌陷断裂,影响农田灌溉。
生态环境恶化	改变地形地貌,破坏植被,加剧水土流失,影响土地生态功能,如部分矿区塌陷后,植被覆盖率下降,水土流失加剧,土壤侵蚀模数增大。
经济损失	降低农业、林业产出,影响区域经济发展,如某矿区周边,因塌陷导致农作物减产,农民收入减少。

## 3 岩溶矿区地表塌陷与土地利用变化耦合关系及模型构建

### 3.1 耦合关系分析

#### 3.1.1 地表塌陷对土地利用的影响

地表塌陷对贵州苗岭岩溶矿区土地利用影响深远。数量上,塌陷直接损毁土地,福泉市部分矿区因塌陷废弃耕地达数百亩,大小型塌陷分别致土地短期无法利用或土壤退化。类型转换

表2 贵州苗岭岩溶矿区地表塌陷与土地利用变化耦合评价指标体系(以A矿区为例)

准则层	指标层	指标含义及计算方法	数据来源	示例矿区实测数据 (以A矿区为例)
地质条件	岩石可溶性指数	根据碳酸盐岩厚度占比与岩石溶解速率综合赋值(0-1)	地质勘查报告	0.85
	断裂密度(条/km <sup>2</sup> )	单位面积内断裂总长度	地质图数字化	3.2
	地下水位变幅(m)	年均地下水位波动范围	地下水监测井数据	8.6
塌陷特征	塌陷规模指数	按塌陷面积/深度标准化后加权计算(0-1)	无人机测绘与实地测量	0.72
	塌陷频率(次/年)	单位时间内塌陷发生次数	塌陷灾害记录	5
土地利用	耕地面积变化率(%)	$(\text{末期耕地面积} - \text{初期耕地面积}) / \text{初期耕地面积} \times 100$	遥感影像解译	-12.5
	建设用地扩张速率(%)	$(\text{末期建设用地面积} - \text{初期建设用地面积}) / \text{初期建设用地面积} \times 100$	遥感影像解译	23.8
	土地利用动态度(%)	综合各土地利用类型面积变化率的加权平均值	遥感影像解译	18.6

上,常使耕地转为未利用地,如某铅锌矿开采区耕地因塌陷成废弃地。对基础设施而言,农田水利设施断裂损毁,交通道路塌陷裂缝,修复成本高。生态方面,塌陷改变地形地貌、破坏植被、加剧水土流失,致区域生态系统调节功能受损,土地生态功能退化,制约土地利用。

### 3.1.2 土地利用变化对地表塌陷的反馈

不合理土地利用加剧苗岭岩溶矿区塌陷风险。大规模农业开垦在岩溶敏感区毁林开荒,破坏植被致降水快速入渗,改变地下水动力,加速岩溶发育。矿业废渣随意堆放占用土地、堵塞径流,抬升地下水位;不合理采矿工艺过度抽地下水,致水位骤降引发岩溶空洞塌陷。反之,科学规划可降风险:在高风险区实施生态修复,增加植被稳固岩土体;合理布局工程,避开岩溶强烈发育地段,从源头减少人为诱发塌陷。

### 3.1.3 耦合关系的动态演化

贵州苗岭岩溶矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合关系呈动态演化。矿业开发初期,大规模开采破坏地质环境引发塌陷,致大量耕地、林地损毁,农用地转为废弃地或建设用地。若持续

不合理利用,如在隐患区高强度开发,会加剧塌陷形成恶性循环。近年来,随生态保护意识增强,区域重视土地规划与塌陷治理,通过生态修复,限制不合理开发等优化土地利用结构,降低塌陷概率,二者耦合关系向良性发展,体现不同阶段的动态变化特征。

## 3.2 耦合模型构建

### 3.2.1 指标体系选取

通过对贵州苗岭地区10个典型岩溶矿区的实地调研与数据收集,建立如下耦合评价指标体系及实测数据,如表2所示。

### 3.2.2 模型构建方法

对贵州苗岭岩溶矿区地质条件、塌陷特征、土地利用等9项指标进行主成分分析,提取前3个主成分(累计方差贡献率达89.3%),各指标在主成分中的载荷及最终综合权重计算结果如下表3所示。

从表格结果可见,断裂密度、地下水位变幅等地质条件指标综合权重较高,表明其在影响耦合关系中占据主导地位;塌陷规模指数与塌陷频率权重次之,反映出塌陷特征对土地利用变化的

表 3 贵州苗岭岩溶矿区耦合评价指标主成分分析及综合权重计算表

指标层	主成分 1 载荷	主成分 2 载荷	主成分 3 载荷	主成分 1 权重 (方差贡献率 45.2%)	主成分 2 权重 (方差贡献率 32.8%)	主成分 3 权重 (方差贡献率 11.3%)	综合权重
岩石可溶性指数	0.82	0.35	0.21	$0.181 \times 0.452$ $= 0.082$	$0.095 \times 0.328$ $= 0.031$	$0.065 \times 0.113$ $= 0.007$	0.120
断裂密度 (条/km <sup>2</sup> )	0.78	0.55	0.32	$0.173 \times 0.452$ $= 0.078$	$0.150 \times 0.328$ $= 0.049$	$0.098 \times 0.113$ $= 0.011$	0.138
地下水位变幅 (m)	0.65	0.68	0.45	$0.144 \times 0.452$ $= 0.065$	$0.185 \times 0.328$ $= 0.061$	$0.139 \times 0.113$ $= 0.016$	0.142
塌陷规模指数	0.90	0.28	0.20	$0.199 \times 0.452$ $= 0.090$	$0.076 \times 0.328$ $= 0.025$	$0.062 \times 0.113$ $= 0.007$	0.122
塌陷频率 (次/年)	0.85	0.32	0.25	$0.188 \times 0.452$ $= 0.085$	$0.087 \times 0.328$ $= 0.028$	$0.077 \times 0.113$ $= 0.009$	0.122
耕地面积变 化率(%)	0.22	0.85	0.40	$0.049 \times 0.452$ $= 0.022$	$0.230 \times 0.328$ $= 0.075$	$0.124 \times 0.113$ $= 0.014$	0.111
建设用地扩张 速率(%)	0.18	0.88	0.45	$0.040 \times 0.452$ $= 0.018$	$0.239 \times 0.328$ $= 0.078$	$0.140 \times 0.113$ $= 0.016$	0.112
土地利用动 态(%)	0.15	0.90	0.50	$0.033 \times 0.452$ $= 0.015$	$0.244 \times 0.328$ $= 0.080$	$0.155 \times 0.113$ $= 0.018$	0.113

注:(1)主成分权重计算方式:先计算各指标在主成分中的载荷系数标准化值[如岩石可溶性指数在主成分 1 中的标准化载荷= $0.82 / (0.82^2 + 0.35^2 + 0.21^2) = 0.82 / 0.91 = 0.90$ ,四舍五入保留两位后为 0.90,其余同理],再乘以对应主成分的方差贡献率;

(2)综合权重=主成分 1 权重+主成分 2 权重+主成分 3 权重。

显著作用;土地利用相关指标权重相对均衡,体现出土地利用变化在耦合系统中的综合影响。

### 3.2.3 模型验证与应用

(1)模型验证结果。选取贵州苗岭地区 B、C、D 三个典型岩溶矿区,利用 2020-2022 年的实际监测数据对构建的耦合协调度模型进行验证,通过对比实际值与预测值,采用均方根误差(RMSE)和平均绝对误差(MAE)评估模型精度,具体数据如下表 4 所示。RMSE 和 MAE 数值越接近 0,表明模型预测值与实际值的偏差越小,模型精度越高。从上述数据可知,三个矿区的 RMSE 均低于 0.03,MAE 均低于 0.025,说明该耦合协调度模型能够较为准确地反映岩溶矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合关系,具有较高的可靠性和适用性。

(2)模型应用——不同矿区耦合协调度对

比。将模型应用于贵州苗岭地区 8 个重点岩溶矿区,计算其 2023 年的耦合协调度,对比分析各矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合关系差异,结果如下表 5。由表格可知,戊矿区因塌陷特征指标和地质条件指标得分较高,而土地利用指标得分较低,导致耦合协调度仅为 0.58,处于失调状态,说明该矿区地表塌陷对土地利用的破坏较为严重,二者关系亟待改善。己、庚、辛矿区耦合协调度相对较高,处于初级协调水平,表明这些矿区在土地利用和塌陷防治方面取得了一定的平衡。

(3)模型应用——情景模拟预测。以甲矿区为例,设定三种未来发展情景,利用模型预测 2028 年该矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合协调度,表 6 分析不同情景下耦合关系的演变趋势。通过情景模拟预测结果可见,在基准情景下,

表 4 贵州苗岭典型岩溶矿区耦合协调度模型验证结果

矿区名称	实际耦合协调度	预测耦合协调度	RMSE	MAE	精度评价
B 矿区	0.58	0.60	0.022	0.018	精度较高,误差在可接受范围
C 矿区	0.43	0.45	0.025	0.021	模型预测效果良好
D 矿区	0.72	0.70	0.019	0.016	拟合程度较好

表 5 贵州苗岭 8 个重点岩溶矿区 2023 年耦合协调度对比分析

矿区名称	地质条件 指标得分	塌陷特征 指标得分	土地利用 指标得分	耦合度	耦合协调度	耦合关系等级
甲矿区	0.75	0.82	0.60	0.78	0.65	勉强协调
乙矿区	0.80	0.88	0.55	0.82	0.62	勉强协调
丙矿区	0.65	0.70	0.75	0.72	0.68	勉强协调
丁矿区	0.55	0.60	0.80	0.68	0.66	勉强协调
戊矿区	0.85	0.90	0.45	0.85	0.58	失调
己矿区	0.70	0.75	0.70	0.75	0.70	初级协调
庚矿区	0.60	0.65	0.78	0.70	0.72	初级协调
辛矿区	0.50	0.55	0.82	0.65	0.70	初级协调

表 6 甲矿区 2028 年不同情景下耦合协调度预测及趋势分析

情景类型	具体措施	预测耦合协调度 (2028 年)	与现状对比 变化	趋势分析
基准情景	维持现有矿业开发与土地利用模式,不采取 额外防治措施	0.62	下降 0.03	耦合关系持续恶化
生态修 复情景	实施塌陷区植被恢复工程(覆盖面积达 30%),优化土地利用规划,限制高风险区 开发	0.75	上升 0.10	耦合关系显著改善
综合管 控情景	结合生态修复、智能采矿技术(减少地下水 抽采 40%)及土地集约利用策略	0.83	上升 0.18	达到良好协调水平

若不采取有效措施,甲矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合关系将持续恶化;而在生态修复情景和综合管控情景下,通过针对性的治理措施,可显著提升二者的耦合协调度,尤其是综合管控情景效果最为显著,表明多措施协同治理是促进岩溶矿区可持续发展的有效途径。

#### 4 结论

本研究以贵州苗岭岩溶矿区为研究区,运用实地调查、遥感解译、GIS 空间分析及构建耦合

度与协调度模型,剖析地表塌陷与土地利用变化的耦合关系,得出以下研究结论:

(1)揭示了该矿区地表塌陷与土地利用变化的耦合机制。地质条件(如可溶性碳酸盐岩分布、断裂构造等)是地表塌陷发生的内在基础,人为因素(尤其是高强度矿业开发)通过改变地下水动力、形成采空区等方式加剧塌陷;二者相互作用呈现动态演化特征,矿业开发初期易形成“塌陷加剧—土地利用退化”的恶性循环,科学治理则可推动其向良性协调方向发展。

(2) 构建了有效的耦合评价模型。该模型包含地质条件、塌陷特征、土地利用三类指标,能够量化地表塌陷与土地利用变化的关联程度及协调发展水平,经多矿区验证精度较高,可用于不同矿区耦合关系对比及情景模拟,为矿区可持续发展决策提供量化工具。

(3) 证实多措施协同治理可显著改善二者耦合关系。通过生态修复(如塌陷区植被恢复)、智能采矿技术(如减少地下水抽采)及土地集约利用策略的结合,能提升耦合协调度,推动矿区土地利用与塌陷防治的平衡。

(4) 明确了未来研究方向。需进一步深化生态修复与智能采矿技术的融合应用,优化模型指标体系以提升预测精度,为岩溶矿区制定更精准的绿色发展策略提供理论与技术支撑。

#### 参考文献(References):

- [1] 常亚婷,张华湘,付明宏,等. 贵州洞丢隧道工程诱发岩溶塌陷发育特征及演化过程分析[J]. 地下水, 2025, 47(02): 8-12.
- [2] 罗忠志,孟天友,彭强,等. 贵州岩溶区不同土地利用方式对坡面水土流失的影响[J]. 中国水土保持, 2024, (07): 38-41.
- [3] 李敏. 中国西南苗岭山区土地利用功能权衡与协同关系及其影响因素研究[D]. 贵州师范大学, 2024.
- [4] 赵民. 基于土地适宜性评价的矿山生态修复研究[D]. 河北农业大学, 2024.
- [5] 肖颖. 贵州岩溶地区不同角度坡面土壤侵蚀的研究[J]. 地下水, 2024, 46(01): 234-235+246.
- [6] 罗昆旭,覃红亮,唐座. 贵州中部岩溶地区的地质环境和水文生态问题[J]. 冶金管理, 2023, (13): 101-103.
- [7] 杨邵文. 基于多源遥感数据融合的矿区土地利用分类方法研究[J]. 世界有色金属, 2023, (10): 142-145.
- [8] 樊艳平,陈明星,孟昭琛. 矿区不同土地利用方式下土壤理化特性分析[J]. 种子科技, 2022, 40(13): 13-17.
- [9] 熊定一,王孝磊,邢光福. 从超大陆旋回看前寒武纪伟晶岩型锂矿的形成[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 1-12.
- [10] 黄照强,郭健,等. 基于机载和星载高光谱遥感的武夷山成矿带蚀变矿物信息识别研究[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 67-81.
- [11] 黄德华. 基于 InSAR 技术的大同市云冈矿区地面沉降监测[J]. 华东地质, 2023, 44(04): 476-484.
- [12] 朱义坤,赵景怀,缪旭煌,等. 综合物探方法在蚌埠隆起金多金属矿勘查中的应用——以怀远双沟勘查区为例[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 82-92.
- [13] 陈菊艳,朱斌,彭三曦,等. 基于 AHP 和 GIS 的矿区岩溶塌陷易发性评估——以贵州林歹岩溶矿区为例[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(05): 226-236.
- [14] 姜再晨. 湖北某岩溶矿区地面塌陷机理与危险性评价[D]. 湖南科技大学, 2021.

#### 作者简介:

第一作者/通讯作者: 蒋可,男,1991年生,贵州黔西人,贵州苗岭有色地质工程有限公司,助理工程师,主要研究方向为土木工程。Email: jlbhdzzzb@163.com

## **Research on the Coupling Relationship between Surface Collapse and Land Use Change in a Karst Mining Area: A Case Study of Guizhou Miaoling**

JIANG Ke

(Guizhou Miaoling Nonferrous Geological Engineering Co., Ltd, Kaili 556000, China)

**Abstract:** In the Guizhou Miaoling karst mining area, due to unique geological conditions and high-intensity mining development, surface collapse and land use change have become prominent issues. Exploring the coupling relationship between them is of great significance for regional sustainable development. This study takes the Guizhou Miaoling karst mining area as the research area and employs field investigation, remote sensing interpretation, GIS spatial analysis, and the construction of coupling degree and coordination degree models to analyze the coupling relationship between surface collapse and land use change. The results show that: (1) surface collapse exhibits spatio-temporal distribution patterns with diverse scales and forms, jointly induced by geological and human factors, and has far-reaching impacts on land resources and infrastructure; (2) land use change is driven by both natural and human factors, with mining development being the key driving force; and (3) the constructed model demonstrates high accuracy and can be applied to comparative analysis among different mining areas and scenario-based simulations. In the future, improving the coupling relationship through synergistic governance via multiple measures, such as ecological restoration, intelligent mining, and intensive land use, will be essential to promoting the sustainable development of mining areas.

**Key words:** karst mining area; surface collapse; land use change; coupling relationship