

利用 GIS 方法评价新泰地区矿山地质环境及生态修复效果

刘一粟¹, 李晓晖², 曹运江²

(1. 中石化胜利油田有限公司河采地质所, 山东 东营 257000; 2. 湖南科技大学地球科学与空间信息工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 由于过度开山采矿, 以及缺少完善合适的矿山修复措施, 导致新泰地区部分村庄出现压煤采空区及岩溶塌陷区。通过实地勘察和民意调查, 基于 GIS(地理信息系统)及 Origin 综合 3 大类型 8 种评价因子对矿山地质环境进行评价。以工程岩组地层岩性为底图进行新泰重大采煤压空乡镇地质环境等级评价制图。结果表明, 新泰地区矿山环境一般, 可以根据评价结果对新泰地区依据乡镇为单元进行针对性修复及生态治理。利用 GIS 和 Origin 及协同矩阵计算方法对新泰地区各乡镇矿山环境进行评价, 发现汶南镇的矿山地质环境质量相对而言最差, 评价等级为较差, 其他乡镇等级结果为一般。矿山生态修复和土地生态利用是重要的环境保护措施, 建议通过植被恢复和绿化、土壤改良和保育、合理利用水资源、保护生物多样性、土地再利用和综合开发、结构梯度恢复等手段恢复矿山环境, 整理土地和进行城市规划。研究方法可应用于其他矿山地质环境评价。

关键词: GIS(地理信息系统); 矿山环境; 压煤采矿; 土地规划; 新泰地区

中图分类号: X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)05-0130-05

新泰地区位于泰沂山脉中段, 处于郯城-营口地震带, 且存在众多大小煤矿, 容易造成采煤塌陷, 存在污染水源等问题。由于地形地貌及城市发展而不宜继续进行村庄建设的区域, 主要包括采煤塌陷区^[1]、岩溶塌陷区、地震断裂带、油库及危化品影响区、水源地保护区、基本农田保护区。通过对矿山环境等地质问题进行分析, 针对新泰地区此类问题村庄进行搬迁撤并^[2], 保障人民生命安全, 并且进行矿山环境生态修复及土地复垦, 以期恢复土地的可供利用状态, 促进新泰地区土地的集约利用^[3]。

国外对于采煤塌陷问题采取治理措施起步较早。早在 19 世纪 20 年代, 美国、德国等国家就开始探索如何治理塌陷土地; 19 世纪 50 年代开始, 通过《露天采矿管理与复垦法》和《国家环境政策法》, 据矿区生态恢复设立 SMCRA、CERCLA 等法律法规; 19 世纪 70 年代以来, 通过共享理念, 集地质学、采矿学、林学、农学、数学、经济学等各个学科共同治理, 经过长时间不断试错改正, 国外对于采煤塌陷的治理已经有了一套系统化的管理及治理措施。

国内于 20 世纪 80 年代开始研究治理采煤塌陷区, 目前研究集中在两个方面, 一方面是介绍和借

鉴国外现成经验、法规、政策, 另一方面是因地制宜, 走中国特色道路, 根据国内实际情况, 提出相应建议。中国现如今正在进行一套合时宜又因地制宜、各不相同的修复模式^[4], 听取民意、集思广益, 走中国特色道路。

采煤塌陷造成大量的农用地、居民房屋、工业场地被破坏, 而且水资源污染严重, 严重影响当地居民生活质量^[5]。针对矿山环境问题进行治疗, 可很大程度上恢复水资源, 恢复山体结构及土壤环境, 恢复绿植^[6], 恢复土壤生产力^[7]。为了促进资源的可持续, 有效利用土地, 改善矿山环境, 针对现存问题提出切实可行的适合新泰地区的治理措施。由于评估结果及评估指标之间常为非线性相关关系, 故根据地理信息系统(geographic information system, GIS)及 Oring 综合考虑地质环境质量评价的定性定量相结合^[8]及层次分析^[9]的评价方法, 以便于分乡镇进行针对性治理措施和后续发展。

1 矿山地质背景及环境问题

1.1 矿山地质背景

新泰地区地形地貌、地质构造和地层岩性等地质环境条件比较复杂, 同时由于过度开山采石以及

收稿日期: 2024-09-29

作者简介: 刘一粟(1998—), 男, 山东济南人, 研究方向为石油勘探; 李晓晖(1998—), 女, 山东青岛人, 硕士, 研究方向为资源与环境; 通信作者曹运江(1967—), 男, 湖南湘潭人, 博士, 教授, 研究方向为工程地质。

地下水等问题,导致了崩塌和岩溶塌陷等地质灾害^[10]。新泰地区矿产资源丰富,随着科技时代迅速发展以及人类大量生产生存需求,矿产资源在开发利用过程中诱发了种种矿山地质环境问题。现如今矿山地质灾害频发,地形地貌景观受到影响^[11],导致部分地区已不适宜居住。某些地区闭坑矿山已经采取相应的治理措施,但是收效甚微。根据自然资源部 2019 年发布的《矿山地质环境保护规定》,将矿山环境保护及土地复垦作为重点。依据规划分析确定发现 175 个煤炭压覆采空区及影响区的村庄、10 个岩溶塌陷等地质灾害易发生的村庄,为解决该问题,提出一套行之有效的解决方案。

土地综合整治成为用地整理领域新的发展趋势,生态环境的修复也急需解决。在全球变暖,多地区出现气候恶劣的现象,保护生态环境日益成为重要任务^[12]。在这个物质发展十分迅速的科技时代,土地资源仍然是一个不可再生资源,而且中国地广人多,据第七次人口普查结果显示,新泰市属泰安市常住人口最多、超过 100 万人的县级市。中国人口近 10 年来保持着低速增长的趋势,但土地资源十分有限,中国虽然面积很大,可供利用的并不算很多。近几年人均用地越来越少,合理地使用规划土地资源显得十分重要。随着人口增加,建设用地面积需求会进一步扩大。将许多不合理利用、闲置废弃建设用地整理出来,一部分可以用来作为耕地,另一部分可以作为城市发展所需要的建设用地的后备资源,实现可持续发展。

1.2 矿山环境问题

1.2.1 压煤区和采空塌陷区

废弃石灰岩矿山由于常年采矿,形成了大面积的废弃采坑及废渣堆,形成了破损山体。目前,新泰压煤区村庄涉及乡镇(街道)共计 11 个,受影响村庄高达 170 余个,已完成 13 个村庄搬迁,未搬迁的 162 个压煤村已出现塌陷的村庄达 128 个(图 1)。新泰地区采空塌陷总面积为 10.50 km²,塌陷深度 1.1~4.4 m。上万余房屋出现不同程度的开裂及极个别倒塌等情形,造成严重的经济损失及居民安全。塌陷造成了耕地失耕,严重影响土地的集约利用,对于城市和社会的可持续发展有极大的不利影响,所以急需进行土地规划。对这些不适宜居住和耕作的村庄进行搬迁撤并及融合发展之后,再对矿山环境采取一系列生态修复措施^[13]。

新泰市已出现压煤采空区的村庄集中在铁路沿线,大多靠近河流,这些村庄已经不适合村民居

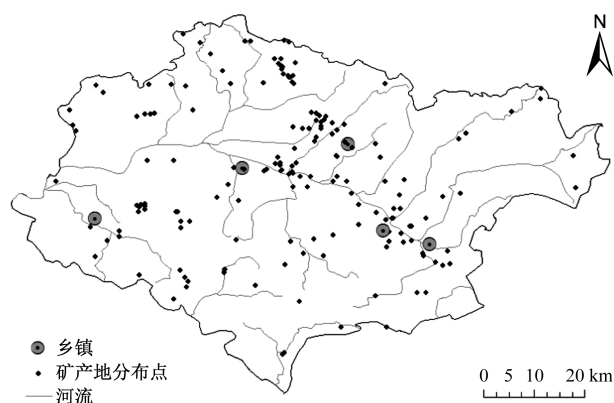


图 1 新泰市压煤采空乡镇及矿山分布

住。根据民意调查,征求村民意见,结合常住人口数量分城镇和农村社区两种模式进行搬迁撤并,并且采用填充法治理塌陷区,最后进行土地复垦。

1.2.2 岩溶塌陷等地质灾害易发区

新泰地区岩溶塌陷主要分布于果都镇(1处)、宫里镇(2处)和禹村镇(1处),塌陷坑最大直径达 9 m,深 6 m。岩溶塌陷使部分农田被破坏,部分房屋开裂、下沉,局部伴有地裂缝,造成经济损失约 80 万元。

2 矿山环境评价

2.1 评价方案

在遵循科学性、可比性、可操作性、针对性、相对独立性原则的前提下选取 3 种类型(矿山开发背景、矿业活动、矿山地质灾害)8 个因子进行矿山环境评价^[14]。矿山开发背景因素包括地表坡度、森林覆盖率、岩土体类型、地质构造、降水量^[15]和人类工程活动等;矿业活动因素包括采场、中转场、固体废弃物和矿山建筑等;矿山地质灾害因素包括崩塌、滑坡、泥石流和地面塌陷等。分乡镇^[16]分级^[17]对 3 类影响因素中的 8 大影响因子分别确定评价指标权重^[18]。

通过定性定量结合分析组建风险矩阵,将影响露天矿洪水模型结果的因素所构成的集合称为评价因素集 W ,各个评价因素的评价结果为评判集 F ;矩阵 $R=WF$ 。

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (1)$$

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \quad (2)$$

式中: W 为因素集; w_1, w_2, \dots, w_n 为第 1,第 2, ..., 第 n 个因素; F 为评判集; f_1, f_2, \dots, f_m 为第 1,第 2, ..., 第 m 个评价结果。根据因素 w_i 对事物做出的评价称作单因素评判:

$$r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) \quad (3)$$

式中: r_i 为第 i 个因素的单因素评判向量; $r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}$ 为第 i 个因素的单因素评判的第 1、第 2、

…、第 m 个评价结果。将 n 个因素的单因素评判向量组成矩阵,即为评价模型的单因素评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: R 为单因素评判矩阵; r_{ij} 第 i 个因素的单因素评判的第 j 个结果。

再将矩阵进行量化分析,对矩阵归一化^[19]累加计算最终评价分值 Q 。

$$Q = \sum_{i=1}^8 (W_i F_i) \quad (5)$$

式中: W_i 为评价因子的权重值; F_i 为评价因子的评分。将所得分值根据《区域环境地质调查总则(试行)》(DD 2004-02)中对地质环境质量分级的规定,将评定矿山地质环境的评价因子及矿山地质环境质量划分为“好”“较好”“一般”“较差”4 个等级^[20]。以国家和行业标准为基础,征求业内专家的意见,采用以下评价等级标准和权值作为研究区矿山地质环境评价的依据。具体内容见表 1、表 2。

2.2 评价结果

新泰地区矿山环境地质评价结果见表 3。新泰市地层岩组及乡镇地质环境等级如图 2 所示。各镇

评分等级如图 3 所示。新泰市矿山环境质量等级密度分布如图 4 所示。

根据评价方案得出上述乡镇矿山环境质量一般,汶南镇矿山环境质量较差需引起重视,而且据图 3 和图 4 所示,新泰市整个区域的矿山环境质量比较均匀连续。由于存在较为严重的矿山环境问题,影响土地生态利用,新泰市需采取措施恢复生态治理,保护矿山环境,合理有节地使用资源。

3 矿山环境生态修复及综合治理

3.1 治理原则

在加强保护人民的生命安全及个人财产安全的前提下对矿山环境问题进行生态修复,促进矿产资源的合理开发和正确利用,并且促进资源环境与社会经济的协调发展,遵守《中华人民共和国矿产资源法》,坚持预防为主、防治结合的理念,由地方自然资源主管部门负责本行政区的矿山地质环境保护工作。开展矿山地质环境保护科学技术研究,普及相关的科学知识,推广先进的技术和方法,制定严格的技术标准,提高保护土地生态水平。

3.2 治理思路

(1)治理边界明确原则。治理地区土地权属要明确,要符合国家土地利用规划政策,尊重民意,因地制宜。

表 1 各评价因子等级标准及评分原则

人口密度	地质灾害	矿山占地	地表坡度/ (°)	工程岩组	地质构造	降雨状况	森林覆盖率/%	评分 F_i	等级
非密集区	无地质灾害影响	无矿业活动区	≤ 15	硬质岩区	断裂构造、节理极不发育	干旱地区	≥ 80	4	好
一般密集区	受地质灾害影响	中专场地	[15,30)	软质岩区	断裂构造、节理不发育	半干旱地区	[40,80)	3	较好
较密集区	一般级地质灾害	矿山恢复治理区	[30,45)	软硬相间岩区	断裂构造、节理较发育	半湿润地区	[5,40)	2	一般
密集区	较大级地质灾害	除上述之外的地区	≥ 45	松散堆积区	断裂构造发育强烈、节理发育	湿润地区	≤ 5	1	较差

表 2 评价因子权重值

评价因素	人口密度	地质灾害	矿山占地	地表坡度	工程岩组	地质构造	降雨状况	森林覆盖率
权重值 W_i	0.12	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.20	0.25

表 3 新泰地区矿山环境地质评价结果

乡镇名称	人口密度	地质灾害	矿山占地	地表坡度	工程岩组	地质构造	降雨状况	森林覆盖率	Q	等级
东都镇	2	1	4	4	3	1	1	4	2.38	一般
汶南镇	1	1	1	4	3	1	1	4	1.66	较差
翟镇	2	1	4	4	3	1	1	4	2.38	一般
禹村镇	3	1	2	4	3	1	1	4	2.10	一般
谷里镇	3	1	4	4	2	1	1	1	2.25	一般

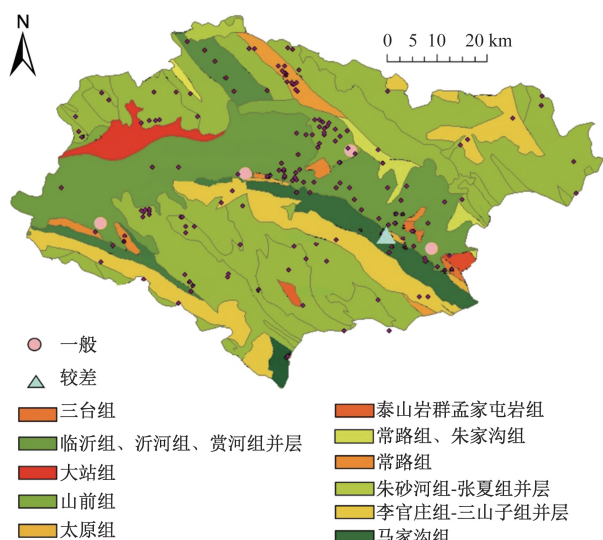


图 2 新泰市地层岩组及乡镇地质环境等级

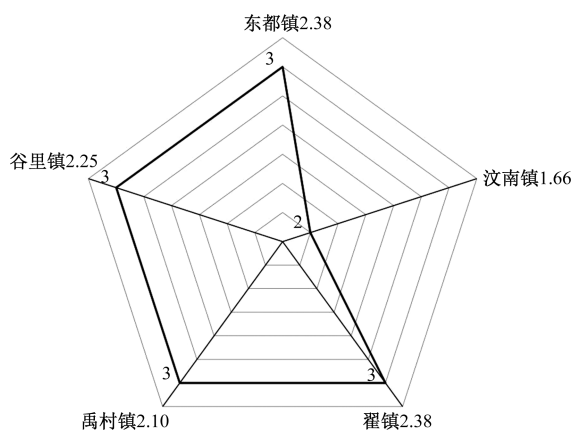


图 3 各镇评分等级

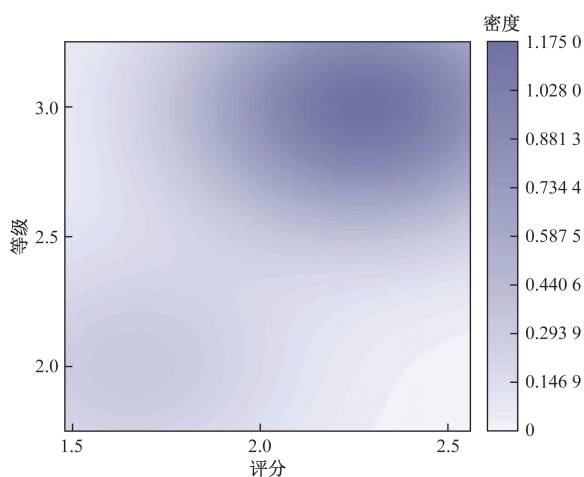


图 4 新泰市矿山环境质量等级密度分布

(2)制定相应的可行性计划并落实。依据不同地区地质灾害具体问题及遵守相关出台政策情况下,制定可实施的计划。重点对于压煤压矿区及岩溶塌陷区的治理提出相关措施,以保证居民的生命财产安全,并促进土地复垦,以便提高土地集约利

用率。矿山地质环境问题涉及多个部门,为了高效合理地完成矿山环境生态修复,需要相关的行政人员及技术人员严格落实并执行相关治理措施。

(3)实行监测监管制度。为了科学高效地恢复矿山地质环境生态问题,应实行动态监测实时更新系统,以便及时反馈治理过程中遇到的问题。

3.3 治理措施

(1)搬迁撤并。因地制宜,合理规划,首先将严重受灾区村庄进行搬迁撤并,根据人口数量分两类进行撤并,研究社区选址,科学制定建设模式,创新探索编制方法,既可以处理地质灾害也可以进行土地集约利用。

(2)压煤采空治理。可以将无人机倾斜摄影测量技术应用到矿山生态环境修复的测绘和施工阶段。结合新泰地区的塌陷情况及地质环境特点,将塌陷区分成不同程度的先后紧急情况。塌陷程度较低的情况可以平沟填壑进行土地复垦,复垦为耕地,进行生态修复,力求达到被破坏前的土地资源潜力;对于塌陷程度较重的情况,可进行水产渔业发展,围湖造田或者进行湿地生态建设,进行矸石回填,表层覆盖一定厚度的耕地进行农田建设,增加植被率,恢复生态建设。

(3)岩溶塌陷治理。中国对于地质灾害的处理措施较为成熟,一般来说首选控水措施,主要是防止地表水进入塌陷区,其次是实行动态监测技术,合理开采地下水。对于危险地段进行局部注浆或帷幕灌浆措施;第 2 种是对相关工程进行加固,对于新泰地区的零散型岩溶塌陷灾害情况来说,主要措施有强夯式、清除填堵式以及灌注填充式等。采用先进科学技术措施,不断改良,以便保护水资源。

(4)结构梯度恢复。通过建立不同结构和功能的生态系统,降低不良开发矿山对周边环境的影响,促进生态系统的自然修复。

4 结语

在新时代背景下,新泰地区开始进一步加快城乡融合。新泰地区政府坚持“自求平衡、一村(居)一策”和尽量节约建设用地的原则,根据各村(居)实际的矿山地质环境情况,采取多样化模式改造。积极引导和鼓励有条件的村(居)合村并点,对分布零散、规模较小的村(居)实行集中联片建设,稳步推进改造工程实施。新泰地区存在个别受多个煤矿影响的村庄,比如高佐、韩庄,这些情况都是必须要搬迁的,搬迁撤并有利于提高居民生活质量,有利于节约建设用地,提高土地利用产出率等,还可以提供耕地后备资源。针对采煤塌陷地区尽可

能恢复绿植,恢复植被能力,对不可修复的可发展矿山旅游公园,可以落实好相关工作,优化城乡建设用地布局,将部分农村建设用地以及工矿废弃地等建设用地规模调整到城镇使用。优先进行矿山地质环境生态修复,积极推进城市有机更新,促进新泰地区可持续发展。

参考文献

- [1] WANG T, ZHANG J. Remote sensing image characteristics and typical area analysis of Taiyuan Xishan ecological restoration area[J]. *Sensors*, 2023, 23(4): 2108-2108.
- [2] 赵倩, 欧玲. 村庄分类视角下乡村振兴发展困境及实践路径研究[J]. *内蒙古科技与经济*, 2023(7): 29-32, 37.
- [3] 张国满. 强化土地资源管理实现节约集约用地的措施建议[J]. *智慧农业导刊*, 2023(14): 60-63.
- [4] 孙培周, 梁军, 张晓, 等. 蓟州区历史遗留矿山遥感调查与生态修复治理模式研究[J]. *新疆有色金属*, 2023(5): 49-50.
- [5] 胡龙, 沈立, 李慢慢, 等. 山东济宁任城区采煤塌陷地治理和生态修复研究[J]. *山东国土资源*, 2022(12): 61-65.
- [6] 妙超, 王焘, 郑海军, 等. 宁陕县废弃矿山生态环境问题分析及修复治理对策[J]. *四川地质学报*, 2023(2): 313-317.
- [7] 刘学峰. 废弃露天开采矿山生态修复工程勘察探析[J]. *有色金属(矿山部分)*, 2023(4): 150-154, 171.
- [8] 李辉, 翟星, 李琛曦, 等. 河北省泥石流灾害易发性云模型评价方法:以邢台赵沟村泥石流为例[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(25): 10884-10891.
- [9] 李自坤, 张新燕, 王晓晶. 基于变权理论的综合能源系统低碳综合评估[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(21): 8973-8979.
- [10] 赵新卓, 赵新初, 魏凯, 等. 泰安市角峪地区废弃矿山地质环境问题及治理措施[J]. *中国井矿盐*, 2023(2): 35-37.
- [11] 侯新星. 废弃露天矿山地质灾害类型及治理方案标准研究:以泰安地区废弃露天矿山为例[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2020(21): 12-14.
- [12] 裴炳和. 泉州市全域土地综合整治试点实践探究:以泉州市永春县五里街镇为例[J]. *农业科技与信息*, 2023(7): 71-75.
- [13] 周爱萍, 曹明. 新时代背景下全域土地综合整治思路与对策探析[J]. *城市建设理论研究(电子版)*, 2023(21): 13-15.
- [14] 薛庆, 董双发, 牛海威, 等. 基于 AHP-EWM 综合权重的矿山地质环境评价:以清镇铝土矿区为例[J]. *矿产勘查*, 2023(4): 639-647.
- [15] LI X Y, QIN Z P, TIAN Y. Study on stability and ecological restoration of soil-covered rocky slope of an abandoned mine on an island in rainy regions[J]. *Sustainability*, 2022, 14(20): 12959-12959.
- [16] 李康琪, 陈春, 李夏瑜. 基于 FLUS-ACO 模型的农村居民点布局模拟与优化:以张家界市为例[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(23): 9779-9792.
- [17] 陈志敏, 赵维飞, 袁乾龙. 高原生态保护区内公路施工期地表水评价模型[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(23): 10125-10133.
- [18] 孙俊, 戚向阳, 张丽君, 等. 矿山地质环境质量评价体系构建研究:以胶东莱州-莱西一带矿产集中区为例[J]. *山东国土资源*, 2022(12): 66-69.
- [19] 沈子伦, 谷伟康, 尹忠东, 等. 基于灰色关联分析的复合电能质量环境变压器损耗测试及分析方法[J]. *科学技术与工程*, 2024, 24(23): 9899-9904.
- [29] 王海庆. 基于 GIS 和 RS 的矿山地质环境评价方法比选[J]. *国土资源遥感*, 2010(3): 92-96.

GIS Method Was Used to Evaluate the Geological Environment and Ecological Restoration Effect of Mines in Xintai Area

LIU Yisu¹, LI Xiaohui², CAO Yunjiang²

(1. Sinopec Shengli Oilfield Co., Ltd., River Mining Geology Institute, Dongying 257000, Shandong, China;

2. School of Earth Science and Spatial Information Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China)

Abstract: Due to the excessive mining and the lack of perfect and suitable mine restoration measures, some villages in Xintai area have coal goaf and karst collapse area. Through field investigation and public opinion survey, GIS(geographic information system) technology and Origin comprehensive three types of eight evaluation factors were used to evaluate the mine geological environment. With the engineering rock group stratigraphic lithology as the base map for the evaluation of the geological environment of Xintai major coal mining and hollowing township geological environment grade mapping, the results show that the mine environment in Xintai area is average. According to the evaluation results, targeted restoration and ecological management can be carried out in Xintai area according to the township as a unit. After using GIS and Origin and synergy matrix calculation methods to evaluate the mine environment of each township in Xintai area, it is found that the mine geological environment quality of Wennan Town is relatively the worst, and the evaluation grade is poor, while the results of other township grades are average. Mine ecological restoration and land ecological utilization are important environmental protection measures, and it is recommended to restore the mine environment, organize land and carry out urban planning through vegetation restoration and greening, soil improvement and conservation, rational use of water resources, protection of biodiversity, land reuse and comprehensive development, and structural gradient restoration. The research method can be applied to the geological environment assessment of other mines.

Keywords: GIS(geographic information system); mining environment; coal pressure mining; land planning; Xintai Region