

李成, 孙魁, 彭捷, 等. 矿山地质环境开发式治理模式研究[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 77-84. [LI Cheng, SUN Kui, PENG Jie, et al. Study on Development Governance Model of Mine Geological Environment [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 77-84. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.016.]

矿山地质环境开发式治理模式研究^{*}

李成^{1,2}, 孙魁^{1,2}, 彭捷¹, 陈建平¹, 高帅¹, 郑苗苗¹

(1. 矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室/陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054;
2. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 该文梳理了矿山地质环境开发式治理提出的政策背景, 总结了开发式治理的概念内涵、治理模式与研究思路, 并提出了开发式治理的可行性评价方法。结果表明: 矿山地质环境开发式治理是在政府引领、政策支持下, 吸纳多元资金, 进行经济发展和生态环境治理并重的治理方式; 开发式治理可以总结为残留资源再利用模式、废弃土地再利用模式、固体废弃物再利用模式、水资源循环再利用模式等4种模式; 开发式治理可行性评价指标主要包括适宜性因素(自然地理条件、矿业开发条件)和限制性因素(经济效益、环境效益和社会效益), 通过综合指数法评价认为, 韩城西山石灰岩开采区最优开发式治理方案为“残留资源再利用模式”。通过矿山地质环境开发式治理模式的研究, 以期对矿区环境保护和生态修复提供支持。

关键词: 矿山地质环境; 开发式治理; 可行性评价

中图分类号: X43; X915.5; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)04-0077-08
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.016

人类采矿活动会引起一系列的矿山环境问题, 如土地资源破坏、水环境破坏、地质灾害、景观与生态破坏等, 且矿山地质环境的影响范围与时间将远远超过矿区开采活动范围及开采年限^[1-2]。尤其是2000年以前, 矿产资源的高强度无序开发, 引起矿山地质环境问题日益突出, 特别是由于历史原因遗留的废弃无主矿山治理责任主体灭失, 矿山地质环境问题一直未得到较好的治理^[3]。2000年以来, 原国土资源部针对我国矿山地质环境破坏现状, 实施专项矿山地质环境恢复治理项目, 解决了一部分亟待解决的历史遗留矿山地质环境问题, 矿山地质灾害频发的态势得到有效扭转, 矿山地质环境继续恶化的趋势得到有效控制^[4]。针对矿山环境问题, 一些学者通过理论与工程实践, 提出了矿山环境修复治理模式理论^[5], 研究了矿产资源高强度开采区地质灾害的成灾机理与防治技术^[6-7], 分析了矿山地形地貌景观损毁的修复技术^[8], 这些研究成果在一定程度上推动了矿山地质环境问题的综合治理修复, 但矿业开发造成的水土污染、土地损毁、植被退化等生态环境恶化现象以及地形地貌、生态景观破坏问题依然严峻, 同矿区及周边人民群众对美好生活的向往依旧相差甚远。

我们通过多年的矿山地质环境恢复治理政策及理论研究, 认为限制矿山地质环境问题解决

因素一是政府资金短缺, 即历史遗留矿山环境问题单纯依靠政府资金很难完成治理; 二是治理技术瓶颈, 目前矿山地质环境治理已经从单纯的地质环境恢复治理向地质环境、生态环境综合修复转变, 从单一治理对象向“山水林田湖草”综合治理转变, 传统治理技术已逐渐不能满足需求。为进一步加强矿山地质环境恢复和综合治理, 2016年7月1日, 原国土资源部等5部委联合下发文件, 要求大力探索构建“政府主导、政策扶持、社会参与、开发式治理、市场化运作”的矿山地质环境恢复和综合治理新模式, 首次提出开发式治理概念。

目前, 开发式治理还处于探索阶段, 有关矿山地质环境开发式治理模式的研究鲜见报道。为此, 本文通过梳理总结矿山地质环境开发式治理的基本思路和基本模式, 提出了开发式治理可行性的评价体系及评价方法并进行了案例实践, 以期对矿区环境保护和生态建设提供支持。

1 开发式治理的概念

“矿山地质环境开发式治理”, 是指政府采用财政资金引领, 吸纳社会资金对残余资源进行开发利用, 对废弃矿山进行改造, 或矿山企业利用

* 收稿日期: 2020-05-01 修回日期: 2020-07-10

基金项目: 陕西省公益性地质调查项目资助项目(公益[2015]02-05)

第一作者简介: 李成(1979-), 男, 汉族, 宁夏固原人, 博士生, 高级工程师, 长期从事矿山地质环境保护方面研究。

E-mail: 158013192@qq.com

本矿山“矿山地质环境保护与土地复垦基金”，对本矿山已遭受破坏的土地资源进行二次开发利用或对固体废弃物进行再利用，寻求矿业开发之外的可持续发展产业的过程。

开发式治理不同于以往的传统治理，在政府引领、政策支持下，吸纳多元资金，多种治理方式并举。治理过程与当地的经济发展、产业结构相结合，强调产业发展和生态环境治理并重，不仅可以实现以矿山残留资源、废弃土地及废弃物的利用价值换取治理资金的目的，而且能够有效解决生产矿山“基金”积压的问题，同时可有效改善矿山地质环境、生态环境面貌，进而提高当地居民收入，促进经济可持续发展。

2 开发式治理的基本思路

(1) 矿山地质环境问题梳理

在进行开发式治理之前，首先要对目标区域进行详细的矿山地质环境问题调查，按照其破坏对象和环境效应，系统梳理不同类型的矿山地质环境问题，确定治理对象，这是开发式治理开展的关键环节。按照破坏对象的不同，一般可以将矿山地质环境问题划分为残留资源环境问题、地面塌陷损毁问题、土地空间损毁问题、固体废弃物问题、含水层破坏问题、水土环境问题等。

(2) 地质环境背景与社会经济背景分析

分析目标区自然环境背景与社会经济背景，是能否制定出合理且具有针对性的开发式治理措施的关键。进行目标区自然环境背景条件分析，能够准确把控各类地质环境问题成因规律和分布规律，合理研判地质环境问题的发生和发展趋势，为治理方案的确定提供基础支撑。

进行目标区社会经济背景分析，是为了使治理成效与目标区产业结构、人文经济发展相契合，为矿区居民带来环境与经济的双重效益，这也是开发式治理的精髓所在。通过社会经济背景分析，了解当地的经济层次，产业结构层次，历史人文底蕴，让治理成果最大程度的与当地经济社会发展相吻合。

(3) 开发式治理模式

通过矿山地质环境问题的梳理以及自然环境背景、社会经济背景分析，三者综合考量，系统分析，社会开发式治理模式。根据矿山地质环境问题的不同，笔者总结了四种开发式治理模式，即残留资源再利用模式、废弃土地再利用模式、固体废弃物再利用模式、水资源循环再利用模式。

(4) 开发式治理可行性评价

开发式治理方案的确定，要建立在开发式治理可行性分析的基础上，综合考虑自然地理条件因素、地质环境条件因素、矿业开发条件因素以及预期效益等因素，采用一定数学评价模型，论证矿区内实施开发式治理的可行性。预期效益从经济效益、环境效益和社会效益三个方面进行分析，环境效益主要指标包括恢复的土地面积、减少的固体废弃物量等；经济效益指标主要包括获得残留资源的价值、恢复的土地价值及种植预期收益；社会效益主要指标包括政策是否支持、群众支持度。通过效益分析，反推开发式治理模式

的合理性和有效性。

(5) 开发式治理方案制定

根据开发式治理可行性评价分析结果，结合矿山实际以及公众意愿，制定开发式治理实施方案。

3 开发式治理模式及应用

3.1 残留资源再利用模式及应用

目前矿业开发能够产生大量残留资源并具备可利用条件的情况，多出现在煤矿区和露天建材开采区，这是由资源赋存条件和历史开采方式所决定。

(1) 残煤资源利用开发式治理

历史上曾遭受长期无序开发和村民盗采，一般对上层煤采用房柱式炮采，遗留下大面积采空区和火烧隐患区，一方面造成采空塌陷隐患，另一方面采空区残煤自燃释放有毒气体，严重污染矿区及周边环境。传统的注浆式填充治理采空区一是投资巨大，二是治理效果不能保证，三是残留的井工开采煤柱等残留资源浪费。这类矿山地质环境问题在陕西省榆神府矿区尤为突出。

解决这类环境问题的开发式治理思路，首先是开挖覆盖层，把井工采空区及火烧隐患区上部的覆盖层全部挖出，形成露天开采条件，清理出残留煤和边角煤，然后重新回填、压实，再进行充填后的土地整理，“以采促治，采治结合”。其技术方法可概括为图1、图2。采用这种方式既可以彻底消除井工式开采地面塌陷隐患和火烧隐患，又可以通过削高填平，全面改善生态环境质量，同时为矿区营造大面积耕地，也可为矿区开采后建立可持续发展产业提供场地条件，残留资源开发获取的资金可作为综合治理开展的资金。该类开发式治理模式在神府矿区阴湾煤矿得到了成功应用(图3)。研究表明，神府矿区残余煤层剥采比1:10或埋深在100 m，其残煤利用获取的资金和综合治理投资基本达到平衡，剥采比小于1:10或埋深小于100 m则残煤利用获取的资金将大于综合治理投资，剥采比大于1:10或埋深大于100 m则需额外投入资金。

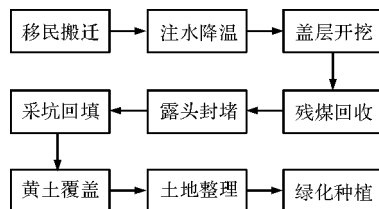


图1 残煤资源开发式治理技术流程图

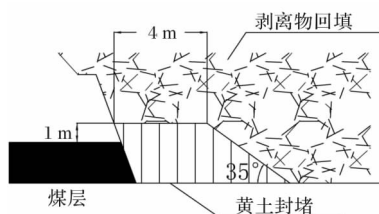


图2 残煤资源开发式治理工程示意图



图3 阴湾煤矿残煤开发式治理效果

(2) 露天非金属及建材矿等残留资源利用开发式治理

一般大型国有露天非金属矿开采过程中,能够按照开发利用方案制定的台阶式自上而下开采方式进行开采,基本不会遗留高陡边坡和残留资源,但小型民营企业或非法盗采,常常形成一坡到底的高陡露天采矿岩面,同时开挖面裸露,“牛皮癣”式景观破坏严重,治理难度极大。这类环境问题在陕西渭河以北关中盆地北缘石灰岩富存区—“渭北灰腰带”尤为突出^[9]。

随着近年来建筑材料价格不断提高,以往形成的高陡露天岩面非矿石部分也可以认为是残留资源。如果在规范管理、保障正确程序的前提下,采用残留资源换取治理资金的方式进行开发式治理,一举多得。露天非金属残留资源利用开发式治理可在露天采矿岩面坡度大于 60° ,且具有连片损坏面的区域进行。一般程序见图4、图5。需要重点指出的是,该类开发式治理,由于降低高陡边坡坡度的同时一般需要扩大现有裸露面的面积,若管理不到位,容易让非法盗采死灰复燃。因此,残留资源开发式治理的前提是政策允许,监管到位。

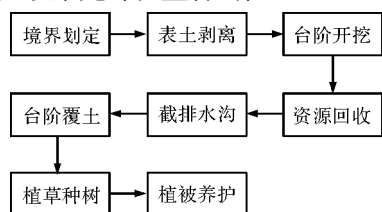


图4 残留资源开发式治理技术流程图

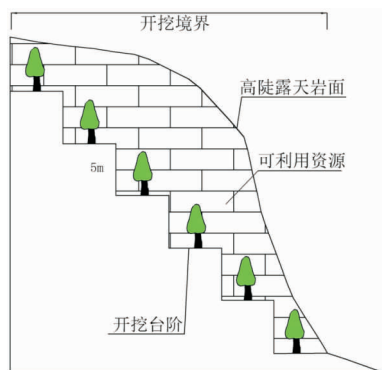


图5 残留资源开发式治理工程示意图

3.2 矿山废弃土地再利用模式及应用

矿山废弃土地是指在矿业开发过程中,遭受损毁失去原有利用价值但可经过修复实现再利用价值的土地资源。矿山土地损毁方式一般包括地表损毁,即地面塌陷损毁土地、地面工程占用、地面工程建设挖损、露天开挖挖损。地下空间损毁,即闭坑矿山的废弃井巷。该类矿山地质环境

问题在废弃矿山或生产矿山均较为突出,其再利用方向包括土地复垦和开发式治理。土地复垦方向主要为耕地、林地、草地、建筑用地、水域等。地表开发式治理主要包括生态农业型、生态渔业型、生态牧业型、生态湿地型、生态景观型、矿山公园型等,地下废弃空间开发式治理主要包括建设参观、教学、科研性质的矿产采掘实习基地、地下温室等地下废弃空间再利用模式。

废弃土地再利用一般要经过三个主要步骤:首先应消除废弃土地地质灾害隐患,对场地存在的边坡进行危岩清理、拦挡支护消除滑坡崩塌隐患;其次通过土地整理,清理场地废弃建筑和垃圾,削高填平,达到可利用的基本地形条件。耕地、建筑用地、水域复垦坡度不宜超过 15° ,林地、草地复垦坡度不宜超过 30° ,渔业型开发式治理一般要求土地坡度在 5° 以下,农业型、养殖型开发式治理一般要求土地坡度在 15° 以下,林业型开发式治理坡度不超过 30° ,超过 30° 的一般只能采用景观型开发式治理建设矿山休闲公园或矿山遗迹公园;最后是规划土地利用方向,或进行一般性土地复垦,或进行开发式治理,或采用一般性土地复垦和开发式治理相结合的混合模式。

废弃土地再利用的开发式治理模式,在陕西神东矿区哈拉沟煤矿得到了成功运用。神东公司根据哈拉沟塌陷区矿山地质环境问题特征,按照“人与自然和谐、采矿与环境和谐、地企和谐、绿色修复、综合治理”的理念,将矿区环境问题、自然环境条件、社会经济背景有机结合,在哈拉沟煤矿塌陷区上,建设了“神东生态示范基地”(图6、图7)。通过塌陷区复垦土地功能再利用,实现水土保持、地质环境保护、土地复垦、林业建设、园林景观建设、节能低碳、生态保护、绿色产业发展、科研科普、休闲娱乐共十大目标。

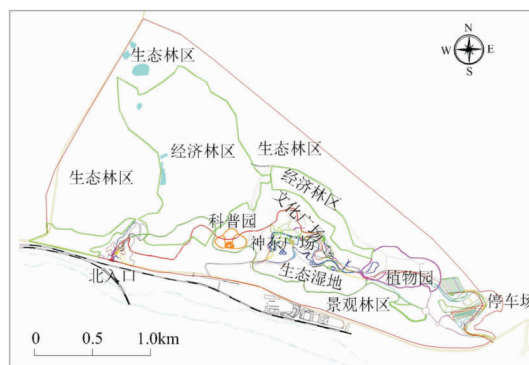


图6 哈拉沟煤矿开发式治理区域分布图



图7 哈拉沟煤矿开发式治理效果图

3.3 矿山固体废弃物再利用模式及应用

矿山固体废弃物主要包括矿山尾矿砂、废石、煤矸石等，传统治理方法一是通过拦挡等措施消除废渣引发的滑坡、泥石流等地质灾害，二是表土覆盖复绿。而这种传统治理方法不能充分挖掘废弃物的综合利用价值，且固体废弃物淋滤水会造成水资源污染，矸石自燃造成大气污染。对于矿山废弃物，其开发式治理的主要方式是废弃物中有用物质再提取、再利用。再利用方式可分为直接利用和间接利用，直接利用是通过物理方式进行粉碎、凝结等，不改变固体废弃物的化学性质，达到利用目的，如矸石废石作为铁路路基，尾矿砂作为混凝土骨料等；间接利用是通过化学方式，提取固体废弃物中的热量、有用组分或作为生产过程中的化学配料，进而达到综合利用目的，如矸石发电、尾矿制玻璃等(表1)。

黄陵矿业煤矸石发电公司以煤矸石、煤泥、低热值中煤为燃料，以井下排水为水源，实施循环经济战略，成为黄陵矿业集团公司首个资源综合利用企业，目前总装机容量为130 MW，每年消耗煤矸石、中煤、煤泥约 80×10^4 t，发电量约 6×10^9 kW·h，销售收入近2亿元，实现了煤、电、化、路、建材多元发展的成功尝试。

宝鸡市凤翔县正在建设年产亿块汽化渣环保砖生产线项目，由凤翔博方新型节能环保建材有限公司投建，其制砖主要原料为废弃汽化渣、煤矸石及少量黏土，生产过程中将汽化渣、煤矸石中的余热转化为动力生产热能，达到产品自燃自烧，每年可消化各种工业废渣煤矸石等近 3.2×10^4 m³，节约原煤约 3×10^4 t。项目预计可带动当地劳动力40余人，特别是带动贫困户10户12人，企业年贡献税收预计240余万元，实现了煤矸石开发式治理的成功尝试。

3.4 水资源循环再利用模式及应用

陕北生态环境脆弱的榆神府矿区，经过多年的高强度开采，已经造成了严重的水环境问题。据统计，1990-2001年、2001-2001年榆神府矿区水体面积减少率分别为17.73%和35.96%；1995-2014年，整个榆神府矿区地下水位变幅大于8 m的区域面积达658 km²^[11]。高强度采煤活动，使矿区地下水位下降，地表水(体)干涸，湿地面积锐减，生态植被枯死，矿区生态环境、工

农业生产和居民生活用水面临威胁。此外，矿井水、煤矸石淋滤废水也会对地下水资源造成污染。而矿山企业的工业净水系统出水水质往往未达到环保政策要求，且水体性质仍属工业废水范畴，水体排放无法突破政策限制，因此造成工业净化后的矿井废水无处可排的现实窘境^[12]。

针对煤炭资源开采引起的水资源渗漏、矿井废水污染及其引起的生态环境变化问题，急需一种既能满足地区对水资源的需求，又能缓解水环境及生态环境问题的水资源循环利用开发式治理途径。目前效果较好的治理模式主要有水资源异地储存技术(地下水库技术)^[13]和矿井废水的生态处理与综合利用技术^[14]。

(1)水资源异地储存

水资源异地储存较为成熟的技术为地下水库，将煤矿采空区进行改造，把同一煤矿同一水平或不同水平，甚至多个煤矿采空区积水通过人为通道相互连通，根据采掘接续规划，将地下水分时地储存，在地表建设相应的抽采回灌等配套工程，从而实现矿井生产过程中地下水抽采利用与回灌储存。目前，该项技术在神东矿区大柳塔煤矿得到了成功应用^[15](图8)。

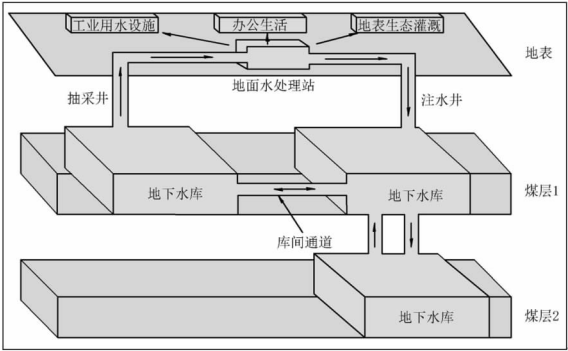


图8 煤矿地下水库示意图^[15]

(2)矿井废水的湿地处理与综合利用

矿井废水是一个综合性问题，生态环境保护新形势下，单纯依靠工业净化已经无法满足当今矿山企业生态转型的要求。突破传统工业处理矿井废水的桎梏，结合矿区地质环境条件和社会经济背景，因地制宜的探索湿地公园废水处理的生态技术，成为开发式治理的有效途径。

表1 矿山废弃固体利用方向及应用范例^[10]

矿山固体废弃物	利用方向	应用范例
尾矿	生产矿物聚合物、水泥、水泥混合物、校正原料、混凝土细骨料、涂料、用作微量化学肥料、磁性肥料、钙镁磷肥、钾肥、土壤改良剂、石油压裂砂、铸造砂、釉料砂、石膏尾矿砖、广场砖、陶粒、微晶玻璃饰材、彩色琉璃型复合瓦、新型墙体材料、碳化硅、陶瓷、有机无机复合材料	福建尤溪(校正原料)、马鞍山矿山研究院(磁性肥料)、四川南联环资科技股份有限公司、福建龙岩(陶粒)、中材(宜昌)节能新材料有限公司(新型墙体材料)、昆明工学院(有机无机复合材料)
矿山废石	生产碳酸钙、重质碳酸钙原料、铁路道渣、水泥、砂石骨料、硅砖、矿物棉、铸石原料、人造4A沸石、耐火粘土、冶炼熔剂、镁橄榄石型砂	新疆天业(碳酸钙)、广西贺州(重质碳酸钙原料)
煤矸石	矸石发电、矸石制砖、水泥、陶瓷、陶粒、铸造型砂、铝盐、聚合铝、黄铁矿、瓷砖	山西、陕西、内蒙等地

煤矿废水含可溶性与不可溶性有机物、重金属、高溶解盐,硬度和矿化度较大,掺杂无机煤粉和岩粉等悬浮颗粒,容易对环境造成严重污染。而人工湿地则能通过物理,化学,生物三重机制的协作,实现对污染水体的沉降、过滤、曝日、换气,对污染物降解、吸收、去除,最终达到净化水质的目标。处理后的矿井废水可用于当地现代农业建设,发展蔬菜大棚、沙地玻璃西瓜种植、欧李种植、沙地衬膜水稻种植等经济产业,造福当地居民。



图9 杭来湾煤矿蔬菜大棚建设



图10 杭来湾煤矿沙地衬膜水稻种植

该类开发治理模式在榆神矿区杭来湾煤矿得到了成功运用,建设蔬菜大棚 50 个,占地 6.7 hm^2 ,实施沙地衬膜水稻种植 26.66 hm^2 ,沙地玻璃西瓜温室大棚 3.19 hm^2 ,种植欧李 12.26 hm^2 ,预计开发式治理年收益将达到 650 万元(图 9、图 10)。

4 矿山环境开发式治理可行性评价

4.1 评价因子

影响开发式治理的主要因素包括适宜性因素和限制性因素两类。

(1) 适宜性因素

影响开发式治理的因素首先是自然地理条件,主要包括降雨条件、植被条件、交通条件、地形条件等,其中,降雨条件和植被条件影响开发式治理中植被的成活率,而交通条件和地形条件主要影响开发式治理实施难度;矿业开发条件主要包括资源埋深、固体废弃物年产出比(固体废弃物年产出量/生产能力)、废水废液年产出比(废水废液年产出量/生产能力)等,这些条件决定了开发式治理实施的必要性。矿山地质环境开发式治理适宜性评价因子及取值标准见表 2。

(2) 限制性因素

限制性因素主要为环境效益、社会效益和经济效益。环境效益主要包括耕、林、草地恢复面积;社会效益主要包括政策是否鼓励许可及公众参与意见;经济效益主要包括企业产品价格和成本之比,开发式治理产出投入比,即开发式治理能够取得的最终经济收益。矿山地质环境开发式治理限制性评价因子及取值标准见表 3。

表 2 适宜性评价因子取值标准

影响因素	影响因子	因素特征分数标准	对应分值	备注
自然地理条件 F_1	降雨条件 F_{11}/mm	> 800	100	影响开发式治理植被成活率
		$500 \sim 800$	60	
		< 500	20	
	植被覆盖度 $F_{12}/\%$	> 80	100	
		$50 \sim 80$	60	
		< 50	20	
	交通条件 F_{13}	好	100	
		较好	60	
		差	20	
	地形条件 F_{14}	平原、河谷阶地区	100	
低山丘陵区		60		
中、高山区		20		
矿业开发条件 F_2	资源埋深 F_{21}/m	0	100	露天开采
		$0 \sim 100$	60	
		> 100	20	
	固体废弃物年产出率 F_{22}	> 0.1	100	生产 1 t 矿石能够产生废石量的比率
		$0.05 \sim 0.1$	60	
		< 0.05	20	
	废水废液年产出率 F_{23}	> 1	100	生产 1 t 矿石能够产生废水液的比率
		$0.5 \sim 1$	60	
< 0.5		20		

表 3 限制性评价因子取值标准

影响因素	影响因子	因素特征分数标准	对应分值	备注
经济效益 F_3	资源价格成本比 F_{31}	>3	00	开采资源价格和开采成本之比
		$2 \sim 3$	60	
		<2	20	
	开发式治理产出投入比 F_{32}	>2	100	开发式治理产品价值和开发式治理费用之比
		$1 \sim 2$	60	
		$0 \sim 1$	20	
环境效益 F_4	植被恢复和土地损毁面积比 $F_{41}/\%$	>80	100	恢复的耕林草地面积之和和遭受破坏土地面积比
		$50 \sim 80$	60	
		$0 \sim 50$	20	
社会效益 F_5	政策是否支持 F_{51}	鼓励	00	一票否决
		支持	60	
		不允许	0	
		>80	100	
	群众支持度 $F_{52}/\%$	$50 \sim 80$	60	一票否决
		<50	0	

表 4 因子权重取值原则和适宜性指数计算方法

治理模式	主要影响因素	权重排序原则	适宜性指数
残留资源再利用	限制条件、资源埋深、地形条件、交通条件	$W_{51} = W_{52} = W_{21} > W_{41} > W_{31} = W_{32} > W_{14}$ $= W_{13}$	$R = \sum^n F \cdot W$ 其中, n 为该模式的影响因子数量, F 为影响因子分值, W 为影响因子经归一化处理后的权重值。
土地资源再利用	限制条件、地形条件、降雨条件、植被覆盖度	$W_{51} = W_{52} = W_{14} > W_{41} > W_{31} = W_{32} > W_{11}$ $= W_{12}$	
固体废弃物利用	限制条件、固体废弃物年产出比、交通条件	$W_{51} = W_{52} = W_{22} > W_{41} > W_{31} = W_{32} = W_{13}$	
水资源循环利用	限制条件、废水废液年产出比	$W_{51} = W_{52} = W_{23} > W_{41} > W_{31} = W_{32}$	

4.2 评价方法

矿山地质环境开发式治理的评价方法,可选择综合指数法。笔者根据不同开发式治理模式的特点,给出了主要影响因素,并推荐了权重排序的一般原则(表 4)。在此原则下,对每一种开发式治理模式进行专家打分确定参评因子的权重,然后对每一种开发式治理的权重进行归一化处理,得到标准权重。然后将各开发式治理模式所得到的各参评因子的对应分值(表 2、表 3),分别乘以各自的权重值,然后进行累加分别得到该开发式治理模式的总分,最后根据总分的高低确定开发式治理的模式,一般可选择适宜性指数最大的模式作为本矿山开发式治理模式,具体实施时还可根据适宜性指数排序,优选不同类型模式的组合进行开发式治理。

5 开发式治理实践

(1) 矿区现状

陕西省韩城市西山灰岩采区位于黄河西岸、韩城市东北部。区内灰岩成带状分布且厚度稳定。石灰岩的长期开发利用为当地经济建设做出了巨大的贡献,但也造成韩城市西山灰岩采区片段式山体裸露,废渣占地破坏土地资源,与自然景观不协调,严重影响了城市面貌,制约地方经济

发展。

(2) 开发式治理可行性评价

根据不同模式开发式治理因子权重取值原则和适宜性指数计算方法对开发式治理可行性进行评价计算,计算结果见表 5、表 6。

(3) 开发式治理方案推荐

计算结果显示,韩城西山石灰岩开采区最优开发式治理方案为“残留资源再利用模式”,可采用台阶式削坡,在降低坡角形成植被恢复台阶的同时,将卸载的石灰岩作为建筑石料出售,在当前建筑石料市场行情下,拥有可观的经济效益。另外,因削坡减荷、消除地质灾害隐患等修复工程新产生的土石料及原地遗留的土石料,可以无偿用于本修复工程;确有剩余的,可对外进行销售^[16]。同时台阶式削坡有利于植被保活,最大限度的恢复林草地,彻底改善当地地质环境面貌(图 11)。



图 11 韩城西山露天开采岩面开发式治理复绿效果

表 5 评价因子取值

类型	影响因素	取值因子	分数标准	分值
适宜性评价因子	自然地理条件 F_1	降雨条件 F_{11}	<500	20
		植被覆盖度 F_{12}	50~80%	60
		交通条件 F_{13}	较好	60
		地形条件 F_{14}	低山丘陵区	60
	矿业开发条件 F_2	资源埋深 F_{21}	0	100
		固体废弃物年产出率 F_{22}	<0.05	20
		废水废液年产出比 F_{23}	<0.5	20
限制性评价因子	经济效益 F_3	资源价格成本比 F_{31}	>3	100
		开发式治理产出投入比 F_{32}	1~2	60
	环境效益 F_4	植被恢复和土地损毁面积比 F_{41}	>80	100
		政策是否支持 F_{51}	支持	60
	社会效益 F_5	群众支持度 F_{52}	>80	100

表 6 适宜性指数计算

开发式治理模式	权重赋值	适宜性指数
残留资源再利用	(0.2, 0.2, 0.2, 0.12, 0.1, 0.1, 0.04, 0.04), sum = 1	$R = 84.8$
土地资源再利用	(0.2, 0.2, 0.2, 0.12, 0.1, 0.1, 0.04, 0.04), sum = 1	$R = 75.2$
固体废弃物利用	(0.2, 0.2, 0.2, 0.15, 0.1, 0.1, 0.05), sum = 1	$R = 70$
水资源循环利用	(0.2, 0.2, 0.2, 0.15, 0.125, 0.125), sum = 1	$R = 66$

6 结论与展望

(1) 开发式治理目前可分为残留资源再利用模式, 土地资源再利用模式, 固体废弃物利用模式和水资源循环利用模式等。

(2) 开发式治理影响因素可分为适宜性因素和限制性因素, 选择开发式治理模式时可采用一定数学模型优选适宜的开发式治理模式。

(3) 开发式治理在陕西省目前还处于探索阶段, 随着科技的发展和政策的变化, 未来可能会出现更多的开发式治理模式。

参考文献:

- [1] 武强, 刘宏磊, 赵海卿, 等. 解决矿山环境问题的“九节鞭”[J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 10-22.
- [2] 武强. 我国矿山环境地质问题类型划分研究[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 107-112.
- [3] 杨金中, 聂洪峰, 荆青青. 初论全国矿山地质环境现状与存在问题[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(2): 1-7.
- [4] 王世虎. 生态文明建设背景下历史遗留矿山环境问题与对策[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(6): 88-91.
- [5] 武强, 刘宏磊, 陈奇, 等. 矿山环境修复治理模式理论与实践[J]. 煤炭学报, 2017, 42(5): 1085-1092.
- [6] 范立民, 李成, 陈建平, 等. 矿产资源高强度开采区地质灾害与防治技术[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [7] 范立民, 马雄德, 李永红, 等. 西部高强度采煤区矿山地质灾害现状与防控技术[J]. 煤炭学报, 2017, 42(2): 276-285.
- [8] 李成, 彭捷, 陈建平, 等. 陕西省矿山地形地貌景观损毁现状及修复技术[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 143-147, 152.
- [9] 李成, 陈建平, 杜江丽, 等. 石灰岩开采区硬岩边坡复绿技术及其适用性[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(2): 149-153, 161.
- [10] 竹涛, 舒新前, 贾建丽. 矿山固体废物综合利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [11] 范立民, 孙魁, 李成, 等. 西北大型煤炭基地地下水监测背景、思路及方法[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1): 317-329.
- [12] 陈培强. 湿地公园废水处理模式在陕北煤矿中的应用——以杭来湾湿地公园设计为例[C]//中国风景园林学会 2016 年会议论文集, 2016: 341-345.
- [13] 顾大钊. 煤矿地下水库理论框架和技术体系[J]. 煤炭学报, 2015, 40(2): 239-246.
- [14] 贾锐鱼, 李楠, 所芳, 等. 我国煤矿区污水处理技术研究现状与发展[J]. 水处理技术, 2014, 40(9): 8-12.
- [15] 陈苏社. 神东矿区井下采空区水库水资源循环利用关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2016.
- [16] 自然资源部关于探索利用市场化方式推进矿山生态修复的意见(自然资规[2019]6号)[Z]. 西安: 陕西省地质环境监测总站, 2019.

Study on Development Governance Model of Mine Geological Environment

LI Cheng^{1,2}, SUN Kui^{1,2}, PENG Jie¹, CHEN Jianping¹, GAO Shuai¹, ZHENG Miaomiao¹

(1. Key Laboratory of Mine Geological Hazard Mechanism and Control/Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710054, China; 2. School of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: We sort out the policy background of mine geological environment development-type treatment, summarize the concept connotation, governance mode and research thought of developmental governance, and put

forward the feasibility evaluation method of development governance. The results show that development governance model of mine geological environment is a kind of governance pattern which under the guidance and policy support of the government, we will absorb diversified funds and place equal emphasis on economic development and ecological and environmental governance. Development governance model can be summarized as four modes: the reuse model of residual resources, the reuse model of abandoned land, the reuse model of solid waste and the recycling model of water resources. Feasibility evaluation index of development governance model main includes Suitability factors (physical geographical conditions, mining development conditions) and constraints (economic benefits, environmental benefits and social benefits). According to the comprehensive index method, the optimal development governance scheme of the limestone mining area in Xishan mountain of Hancheng is the “the reuse model of residual resources”. Provide support for environmental protection and ecological restoration in mining areas through the development governance model of mine geological environment.

Key words: mine geological environment; development governance; feasibility evaluation

(上接第 53 页)

Research and Application Model of Disaster Risk Optimization based on Lightning data

LIU Fengjiao¹, XUE Ming², XUE Defeng³, XIAO Yun³ AND HE Qiuyan¹

(1. *Hunan Lightning Protection Center, Changsha 410007, China*; 2. *Jingzhou Meteorological Bureau, Huaihua 418000, China*; 3. *Huaihua Meteorological Bureau, Huaihua 418400, China*)

Abstract: Based on the application of lightning data, we conduct multifaceted researches to provide more reference ideas for selection of lightning risk assessment, early warning and division factor. Based on principles of weather science and mathematical statistics, this paper presents selection of lightning data factors, factor optimization, variable combination and risk classification method and makes a comparative analysis of lightning data factors and relative standards. The results show that the data processing and optimization of lightning factor has a significant indication of the lightning risk and combination factor of lightning factor is better than single factor and combination of four factors is the best and most stable. According to method in this paper, it is verified that the strong thunder factor which 25kA lightning current parameters choose according to GB50057 standard has better indication function to high risk level of lightning and distribution of lightning variable risk level and superposition diagram of lightning disaster of Huaihua are drawn to conclude that most areas where number of thunder disaster is concentrated are the areas which have higher risk level of lightning variables.

Key words: lightning data; variable combination; factor optimization; risk level; hierarchy Chinese; risk grade; grade division