

我国矿山地质环境治理工作探讨

闫广柱, 黄河, 唐赐, 顾磊

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年6月15日; 录用日期: 2022年7月15日; 发布日期: 2022年7月22日

摘要

在我国“碳达峰”和“碳中和”目标背景下, 我国对于矿山地质环境治理提出了新的要求。本文在查阅大量文献的基础上, 对于我国矿山地质环境保护与治理工作相关政策进行了梳理, 明确了现阶段矿山地质环境治理的重要性; 对矿山地质环境治理中主要的地质灾害、环境污染、生态破坏等问题进行了总结, 并分析了现阶段主要的环境治理措施与技术及治理工作的发展趋势, 对于指导矿山地质环境治理与保护工作具有一定的参考意义。

关键词

矿山地质环境, 地质灾害, 治理措施, 生态修复

Discussion on Mine Geological Environment Management in China

Guangzhu Yan, He Huang, Ci Tang, Lei Gu

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Jun. 15th, 2022; accepted: Jul. 15th, 2022; published: Jul. 22nd, 2022

Abstract

Under the background of China's "carbon peak" and "carbon neutralization" objectives, China has put forward new requirements for mine geological environment governance. On the basis of consulting a large number of literatures, this paper sorts out the relevant policies of mine geological environment protection and governance in China, and clarifies the importance of mine geological environment governance at this stage. This paper summarizes the main problems of geological disasters, environmental pollution and ecological destruction in mine geological environment governance, and analyzes the development trend of main environmental governance measures and technologies at this stage, which has certain reference significance for guiding mine geological en-

vironment governance and protection.

Keywords

Mine Geological Environment, Geological Disasters, Governance Measures, Ecological Restoration

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

矿业是工业发展的动力，经济发展的基础，在过去的百年中，中国的飞速发展离不开矿业的大力开发。随着“碳达峰”和“碳中和”两大目标的确定，化石能源在国家能源结构中的占比逐年下降，越来越多的矿山即将或已经闭矿，再加上国家对环境问题的愈加重视，地质环境治理逐渐成为学术界关注的热点。

早在二十世纪初，美国、德国等矿业发达国家就开始尝试矿山地质环境治理，至今已经形成了完整的治理体系，并取得了一系列成果。而我国在该方面的研究起步较晚，1982 年才开始重视矿山生态保护，对于矿山地质环境治理的研究则是 21 世纪才开始在全国范围展开。但是经过相关从业人员的不懈努力，在实践中总结经验，在结果中提炼精华，也形成了一套较为完整的体系，取得了诸多非凡的成果，像资金不足、监管不善等问题正在逐步被解决。

矿业的发展对生态环境产生诸多负面的影响，主要体现在环境污染、生态破坏、地质灾害隐患等几个方面。矿山所面临的地质灾害隐患时刻威胁着人民的生命和财产安全，在矿山地质环境治理中，该方面已经刻不容缓，是治理者需要面对的首个问题，之后还需对环境污染和生态破坏等问题各个击破，再因地制宜，综合改造矿山，使其不只是“绿山”，还是“金山银山”。

2. 我国矿山生态修复的关键政策

2.1. 开端及完善

1965 年国务院出台的《矿产资源保护试行条例》，该条例着重强调矿产资源保护，暂时并不涉及矿山环境治理。

1982 年，国务院发布《中华人民共和国对外合作开采海洋石油资源条例》，之后又发布《中华人民共和国矿产资源法》《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国环境保护法》等涉及矿产生态补偿的法律，以法律的形式强调矿产资源开采中减少污染和保护生态的重要性。

1989 年施行的《土地复垦规定》以责任约束的角度对相关负责人提出要求，土地复垦进入法制化阶段，其是矿山地质环境治理政策的开端，之后我国部分省市出台关于矿山地质环境治理的条例，矿山开采后环境治理正式拉开帷幕，但在监督管理机制上仍不完善，相关政策仍未完全落实。

2005 年，时任浙江省省委书记的习近平在浙江省安吉县余村调研时，首次提出“绿水青山就是金山银山” [1] 的理论。自党的十八大之后，习总书记又多次强调该理论，该理论逐渐成为我国环境治理的指导理念。

相关部门在监督治理矿山环境的同时，也在不断的完善相关法律法规，2005 年国务院发布的《关于

全面整顿和规范矿产资源勘查开发秩序的通知》，要求关闭不合法规、对环境和生态破坏大的矿山，并要求当地政府完善监督管理机制，明确责任制度。

2006年，国土资源部等相关部门联合发布的《关于逐步建立矿山环境治理和生态恢复责任机制的指导意见》，要求各地政府从该年起逐步落实矿山环境治理的责任机制。伴随该意见的发布，全国各省相继出台了关于矿产资源生态补偿的政策法规，矿山地质环境治理法规框架基本建立。

2013年，我国环境保护部发布的《矿山生态环境保护与恢复治理技术规范(试行)》中，便给出了矿山地质环境治理的底线和大致标准，该《规范》对排土场、露天采场、尾矿库等场地以及开采造成的大气污染、沉陷区等问题的修复治理给出了大致的标准。

2.2. 新时代

2014年全国人大修改后发布的《环境保护法》明确指出“保护环境是国家的基本国策”，自此之后，矿山环境治理进入新时代。

2015年，国务院发布的《关于加快推进生态文明建设的意见》强调“要发展绿色矿业，建设绿色矿山”。其后国务院及相关部门大量出台关于矿山环境保护和修复的法规条例，例如《关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见》《关于规定并严守生态保护红线的若干意见》等文件，确定了矿山环境治理政策的落实，并鼓励社会资金的参与，构建出“政府主导、资金扶持、社会参与、开发式治理、市场化运作”[2]的矿山环境治理新模式。

2017年出台的《关于加快建设绿色矿山的实施意见》明确提出三大目标[3]：一是基本形成绿色矿山建设新格局，要将所有矿山都建设成符合要求的绿色矿山；二是探索矿业发展新途径；三是改革传统治理模式，建设绿色矿山发展工作新机制。

随着国家相关部门对该问题的日益重视，以及对相关流程的日益熟悉，在2021年国务院发布了《关于鼓励和支持社会资本参与生态修复的意见》中，明确给出了更为全面的修复原则，针对环境治理应“遵循自然规律，统筹自然生态各要素，以自然恢复为主，辅以必要的人工措施，增强各项举措的关联性和耦合性。”[4]。

在《关于鼓励和支持社会资本参与生态修复的意见》中，也明确了国家对矿山环境治理的政策支持，在“市、县级政府应将生态保护修复和相关产业发展的空间需求纳入国土空间规划”[4]的基础上，给予生态保护修复主体产权激励，允许其将修复过程中合理产出的自然资源无偿用于该工程，还给予一定的金融扶持和财政支持。这使得过往矿山修复所面临缺少资金的问题得到了一定的缓解。

之后，我国各省再次相继颁布关于矿山环境治理方面的通知。例如安徽省自然资源厅印发的《安徽省废弃矿山生态修复管理办法(暂行)》中明确了在安徽省内矿山修复的具体流程、相关部门的验收标准以及在该方面的监督管理办法，基本上解决了过往在矿山环境治理缺乏有效管理机制的问题。

新的管理制度和支持政策的发布，既解决了过往矿山环境治理所面临的资金不足、管理制度缺乏和公众参与力度小等问题，也为矿山环境治理注入了新的活力。

3. 矿山地质环境治理面临的问题

3.1. 矿山地质灾害

地质灾害治理是矿山地质环境治理中必不可少的一环，在矿山开采中通常会堆积大量的废石土渣，其长期堆放在矿区之内，如果缺乏合理的管理措施，在自然因素和人为因素的影响下，在降雨量较大的季节，就非常容易诱发地质灾害。不同于传统地质灾害，矿山地质灾害具有污染性和高频次性两大特点，传统金属矿山开采堆积的碎石尾矿中，通常也含有一定的重金属元素，在雨水的冲刷下势必会造成地下

水污染，而碎石堆的反复堆积则会造成地质灾害高频次复发，时刻威胁着相关工作者的生命安全，该问题已迫在眉睫。

采空区塌陷及地面沉降：煤炭等固体矿产被开采之后，原有矿产固体周围的原始地应力平衡遭到破坏，在地应力重分布的过程中，如果超过周围岩体的最大承载力，周围岩体就会发生变形甚至破坏垮落，形成“上三带”，当采空区的面积扩大到一定的程度，表现在地面上就是采空区塌陷[5]。“气相矿产资源开采过程中，由于液相或气相压力不断降低，根据力学平衡原理，赋存液相或气相矿产资源的多孔介质有效应力将必然增大，使地层固结压缩，导致低应力重新分布，从而造成地面沉降。”[6]

二者作为外生地质灾害，所带来的损失包括但不限于破坏耕地、损坏地表建筑物、使地下水更易被污染，严重的甚至会引发山体滑坡和崩塌，其所造成的危害不仅表现为短期的经济损失，其对地形地貌的破坏以长远来看势必会损害该地区的生产建设，威胁到工业与农业的发展。

崩塌、滑坡及泥石流：矿山地势多陡峭，在开采过程中势必会堆积大量结构松散的堆积物，在强降雨天气下，受到水动力的影响势必会造成边坡失稳，进而诱发崩塌、滑坡、泥石流。其相较于采空区塌陷和地面沉降，发生的频次更高，对于生产人员的生命和财产造成的损失更显而易见。

滑坡和崩塌常常相伴而生，一般经常发生崩塌的地区也是滑坡的易发区，“二者在一定条件下可以相互诱发、相互转化，有着相同的次生灾害以及相似的发生前兆。”[7]易发生滑坡和崩塌的区域也易发生泥石流，相较于前二者，泥石流需要一项必不可少的水源条件，在矿区一般只有瞬时的暴雨或者强降雨才会诱发泥石流的发生。

3.2. 矿山环境污染

矿山在开采过程中，除了矿藏之外，还会产出大量的污染废弃物，例如煤矸石、废石渣、废气等。可以系统地将之分为三类[6][8]：固相废弃物、液相废弃物和气相废弃物。

固相废弃物主要包括煤矸石、粉煤灰、废土石渣以及具有放射性质的矿体废料等固体物质，主要造成的污染有风化扬尘污染，以及雨水冲刷进而污染土壤和地下水。而液相废弃物则是指矿山开采前后所产生的废水，以及矿山开采过程中排出的酸性水、重金属污染性水和放射性水等有害水，对地下水和土壤的危害极大。气相废弃物则是指固相废弃物风化扬尘，煤层气等气体外泄以及天然气自燃产生的二氧化碳等，对大气污染性强，加速温室效应。

3.3. 矿山生态破坏

矿山开采过程中除了直接破坏地层结构之外，其引发的各种地质灾害也会直接破坏地表的动植物生态系统，排出的三相废弃物对于环境的污染使周边的生态系统更脆弱，对于地下水的污染和破坏会造成水土流失，使矿区面临荒漠化问题。大多数矿山与开采前相比，其周边的生态系统已经被完全破坏了[9]，矿山地质环境治理所面临的三大难题：地质灾害隐患、矿山环境污染和矿山生态破坏，前两个只是为最后的生态破坏修复服务，生态破坏修复才是我们的最终目的。

4. 防治方法

4.1. 地质灾害防治

对于采空区塌陷及地面沉降的治理，应在探明基础条件之后，再选择合适的方法进行治理。采空区塌陷应在矿层开采时就采取预防措施，例如开采浅部缓倾斜的厚矿层时采取分层开采方法，当顶板的岩体硬度较高不易冒落时可以采取人工放顶等方法来防止其造成地面塌陷。在地面塌陷发生之后应对塌陷坑及时填平，以避免其对建筑物的稳定性造成影响，同时避免地下水的注入，一般情况下的应急处理方

案是“在底部投入片石，上铺砂卵石，再上铺砂，表面用粘土夯实，使其下沉压密之后再用粘土夯实补平” [7]。

地面沉降的治理比较通用的方法有控制开采和人工回灌。控制开采即在不影响使用和发展的前提下合理控制开采量和开采速度，避免过度开采。人工回灌则是根据开采的矿藏及其周边条件，合理的选择地下水或化学试剂进行回灌。地面沉降除了会引起地表建筑物不规则沉降外，还会诱发诸多次生灾害，例如海水入侵和积洪滞涝等，面对这些次生灾害，主要的防护措施是修建防洪堤、防洪闸等建筑物增强其防护能力，以及疏导河道和地下管道增强其排水能力。

崩塌的防治要注意“削、挡、排、截、补、防” [7]相结合，即削坡以降低坡体倾斜程度，建设支挡墙或使用锚杆来加固孤石，建立排水通道以减小强降雨对矿山堆积物整体结构的影响，建设挡土墙等建筑物来拦截落石，使用混凝土来修补或直接灌入空洞加强整体的稳定性，在易崩塌面布置防护网来阻止崩塌的发生。滑坡的治理与崩塌大同小异，在崩塌的治理方案之上，可在边坡表面喷浆来防止掉层岩石风化和减少降雨的渗入，也可以往坡体内灌入化学试剂来提高堆积坡整体的抗滑能力。矿山泥石流大多情况下只发生在强降雨或瞬时暴雨天气内，在做好排水和拦挡工程之后，应建设应对泥石流发生后的排导工程，即建设排导沟、急流槽、顺水坝等工程以调整泥石流的流动方向，减少其损害。

4.2. 矿山环境污染治理

“三废”的处理方式[10] [11] [12]是矿山地质环境治理必须要考虑的，在处理原则上应秉持资源化综合利用的理念。其固相废弃物中的矸石可用作建筑材料，或用于道路修建；尾矿一般会造成重金属污染，现在常见的处理方法是流态化浆体充填技术，即将尾矿与粉煤灰等固相废弃物破碎、研磨制成流浆，通过管道注浆方式运送到采空区；开采中产生的岩土堆可用于土地平整，回填到场地的低洼处或者直接回填到塌陷坑。

气相废弃物主要是煤矸石等固相废弃物的风化扬尘和开采中排出的瓦斯等气体。其中瓦斯和煤层气等气体应在开采前就进行抽采利用，此处不做详述。风化扬尘可通过修建喷雾设备对固物堆积物表面进行洒水处理来减少扬尘的产生，可用防雨布等材料对堆积物进行遮盖处理来减缓其风化和扬尘的传播，可种植合适的绿植来减小扬尘的扩散范围。

液相废弃物主要是指排出的酸性水和重金属污染性水等，可先通过中和池调节其 pH 值，之后利用物理吸附法，即用高岭土、粉煤灰等物质作为吸附材料，将污染性水进行吸附、絮凝沉淀、蒸发和膜分离等流程将污染性水初步净化。之后再利用化学沉淀法进一步处理，直至满足工业污染物排放标准，处理后的水可用于消防用水和防尘洒水。

4.3. 生态破坏治理

生态破坏治理面临两大难题：一是被污染土壤的恢复；二是因采矿活动及其引发的灾害所造成的水土流失。

采矿活动及其产生的污染会造成土壤颗粒组成、内部养分、pH 值等发生变化，还会造成重金属超标，可以通过物理、化学和生物三个方面对其进行改良[12] [13] [14] [15]。物理方法是在已经被污染的土壤上部使用水泥或粘土等隔水材料进行隔绝处理，再直接客土改良土壤基质；化学方法则是在土中添加营养素、锯末、花生壳、有机肥等物质来改善土壤内部营养；在二者基础上可播撒合适的土壤动物和微生物来进行生物改善。

面对矿山水土流失可从两个方面进行处理[16] [17] [18]：一是工程措施；二是植被。工程措施包括排水措施和拦截措施，排水措施即完善修复区内排水工程，修建排水沟等小型工程来减少雨水对地面土壤

的直接冲刷，阻挡雨水在土壤内部的渗透；拦截措施则是通过修建截流沟、挡土墙、拦渣坝等工程避免土壤被水直接带走。植被措施则是在初步治理的基础上，选择适宜的植物进行种植，加固土体结构。

无论是地质灾害，还是环境污染和生态破坏，治理后建立一套完整的监测体系[19]都是必不可少的。一套完整的监测体系能在灾害发生之前对治理者进行提醒，也能在治理之后对其复发性进行监测，保护治理成果，降低灾害发生后的损失。一套完整的监测系统应具有自动化监测、实时回传、在线分析、即时预警、综合展示等功能，根据监测内容的不同，合理的布置监测点，采用不同仪器分别对岩土体位移、地下水动态、降雨等因素进行监测，汇总成完整的信息体系，综合分析灾害和水土再污染发生的可能性，并对正在发生的地质灾害进行预警。

5. 矿山地质环境治理综合方案

5.1. 矿山地质环境治理流程

自 1982 年颁布第一条关于环境治理的法案起，至今已有 40 年左右，秉持着边开采边治理的理念，我国在矿山地质环境治理方面已经形成一条比较完善的流程，具体流程如图 1。

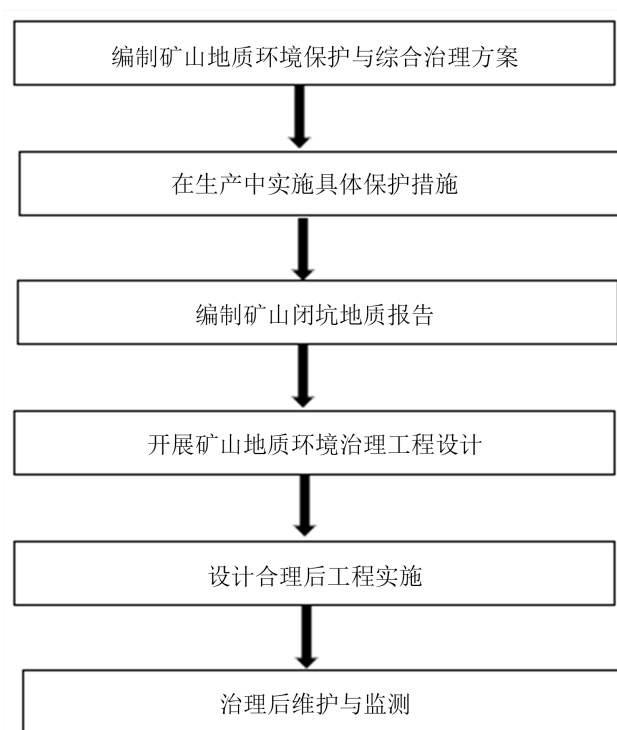


Figure 1. Flow chart of mine geological environment management
图 1. 矿山地质环境治理流程图

在编制矿山地质环境保护与综合治理方案时，要做到防范于未然，在开采中便需注意防范地质灾害以及减少污染废弃物的产生，为闭矿之后的环境治理减少成本和负担；闭矿后应编制矿山闭坑地质报告，交由相关部门审核，通过之后可开展环境治理工程设计，设计时应注意矿山所在区域的气候环境以及矿山所属城市的发展路线，因地制宜，设计出合理的矿山地质环境治理方案；设计方案通过之后便可进行初步治理，主要是地质灾害的防治与矿山土地的平整，在此基础上按照设计方案进行综合治理；为了保护治理后成果，应对治理后的矿山环境进行一定的维护，并且布置相关的监测系统，对其进行实时监测。

5.2. 初步治理

初步治理是在解除地质灾害隐患的基础上, 结合环境污染和生态破坏治理方案, 对治理区进行初步处理[20] [21] [22], 主要包括以下几步:

1) 地形地貌重塑: 结合矿山与周围环境的实际情况, 满足植被的生长发育需求, 将采矿产出的废土石渣在低洼处进行回填, 使其地形地貌与周边环境相连贯。对于无法回填的废土石堆积体要进行合理的削坡, 加固其结构。

2) 重新覆土: 在地形地貌重塑之后, 对矿区内平整后的场地及削坡后的堆积坡进行重新覆土。

3) 水利工程: 修建小型的水利工程, 例如在松散边坡处修建排水沟来保证其稳定性, 修建截水沟来避免水土流失。

4) 绿化工程: 人工进行生态重现, 结合土质及周边气候环境, 选择合适的绿化植被, 植被的品种应具有病虫害少、适应能力强、经济实惠等特点, 以乡土树种为主, 并适量播撒合适的草种。

5) 封山育林: 通过对矿山进行封锁, 避免不利因素的干预, 增强生态系统的稳定性, 使植物快速发育, 恢复最初的生态环境。

6) 监测系统: 在矿山布置若干个检测点, 对生态恢复情况进行实时检测, 定点汇报, 也方便修复者查看修复进展和制定后续计划。

5.3. 进一步治理

在初步治理完成之后, 应结合实际情况, 因地制宜, 进行综合治理, 各治理区的环境和气候不同, 治理区周围城市发展途径不同, 导致进一步治理方案也必然不相同, 治理者应根据城市发展方向、矿区实际情况及周围环境合理设计治理方案, 进一步治理的理念如下[23] [24] [25] [26]:

1) 分区治理: 根据各大矿山所处位置的地理和气候情况, 将之分区, “全国范围大致可以划分为湿润-半湿润矿区生态重建类、半干旱矿区生态修复类以及寒旱矿区生态保护类” [24]。治理者因地制宜, 对于各区根据其实际情况制定治理方案和治理后再利用方案。

2) 分级治理: 根据国家重要生态功能区划分与生态屏障两大因素综合考虑, 将之划分为三个等级 [24], 如果二者仅有其一则定为重要治理区, 二者兼有之则定为极重要治理区, 其余皆为一般治理区。其重要治理区以保护和避免退化为优先, 重要治理区以减少退化为核心, 一般治理区则以消除地质灾害隐患保障生态为主。

3) 再利用化治理: 进一步治理的目的是矿山治理后再利用化, 回收治理成本。例如已经形成湿地的可以治理成旅游景点; 地下结构稳定, 安全性强的可以作为资源储存点[27]。各大矿山因地制宜, 结合实际, 发展出自己的道路, 而不是照搬照抄。

4) 与人类社会和谐统一: 矿山地质环境治理的目的是使被破坏的生态得以恢复, 是为了人类社会的可持续发展, 是故矿山地质环境治理不必拘泥于恢复至“深山老林”的状态, 应将修复后的矿山环境与人类社会和谐统一, 其既是自然的一部分, 也是人类文明的一部分。

5) 谁治理, 谁受益: 国家及各地政府发布相关文件, 给出了矿山地质环境治理的支持政策, 治理者即受益者。

矿山地质环境治理的最终目的是实现人类社会的可持续发展, 是故矿山再利用化更加符合当今时代环境保护的需求。这几年来, 许多矿山治理摒弃了“简单治理之后, 便放任自流”的老方案。比如安徽淮北绿金湖高潜水位采煤沉陷区治理工程[28], 该沉陷区位于淮北市中南部, 距离市中心仅八千米。其高潜水位的特征使得沉陷区内出现大量积水区, 形成局部湿地环境。治理者在考虑了沉陷区整体的稳定性

之后,充分利用开发了湿地环境,以积水区为核心,合理规划了住宅生活区、商业服务区以及湿地公园休闲区,治理后的沉陷区集居住、旅游、商业、休闲于一体,充分实现了资源再利用以及人与自然的和谐统一,对于淮北市的经济与生态发展做出了不可磨灭的贡献。

6. 结论

“双碳目标”下,越来越多的化石能源矿山将面临闭矿,而国家和人民对生态问题的日益重视,矿山地质环境治理的热度必将再次拔高。在该方面,政府给出了高支持、高要求的态度,“大量兴植,封山育林”模式的传统治理逐渐跟不上要求,治理者开始发展新的治理理念,提出资源再利用化,将治理后的矿山与人类社会相融合,既治理了环境,又促进了经济发展。

大量化石能源矿山的闭矿,势必会对依赖于能源矿业发展的城市造成经济冲击,所以新型矿山地质环境治理方案应该对城市发展路线的转型提供相应的助力。值得注意的是,当地政府应根据当地环境与日后发展的实际需求,来决定矿山的治理方案,而治理者应注意不同矿山的治理方案不可生搬硬套,要根据其重要程度、所处环境、所面临的问题、当地发展的需求等各大要素来决定。

自1982年我国首次提出矿山生态保护起,至今已有40余年,在此期间国家与各地政府发布了诸多相关政策,政策由简陋到完善,扶持力度由小到大,无一不证明国家对于矿山环境治理工作的重视。我们在梳理了相关政策的基础上,对矿山地质环境治理面临的三大问题——地质灾害隐患、环境污染及生态破坏进行了分析,先是阐述了相关问题的发生机理及其所造成的危害,之后在总结前人经验的基础上,提出了相关问题的治理与预防方案。同时,我们也梳理了现今通用的矿山地质环境治理流程,对新型矿山地质环境治理理念进行了总结归纳,即在“分区治理、分级治理”的基础上,秉持“再利用化治理”原则,使治理后矿山做到“与人类社会和谐统一”。

参考文献

- [1] 哲欣. 绿水青山也是金山银山[N]. 浙江日报, 2005-8-24(1).
- [2] 国土资源部. 关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见[Z]. 2016-07-21.
- [3] 国土资源部. 关于加快建设绿色矿山的实施意见[Z]. 2017-05-29.
- [4] 国务院办公厅. 关于鼓励和支持社会资本参与生态修复的意见[Z]. 2021-11-15.
- [5] 朱颖怀, 黄群. 矿山环境地质问题及成因探讨[J]. 世界有色金属, 2021(17): 186-187.
- [6] 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): 107-111.
- [7] 简文杉, 吴振祥. 地质灾害及其防治[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015: 107-153.
- [8] 燕云波. 基于构建绿色矿山的煤矿环保工作研究[J]. 能源与节能, 2021(1): 101-102, 165.
- [9] 段丽军, 于金贵, 曹金亮, 等. 汾河流域矿山生态环境问题现状及治理修复对策[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(2): 169-170.
- [10] 李永超. 煤矿污染防治措施及综合利用研究[J]. 能源与环保, 2020, 42(3): 111-114+124.
- [11] 古文哲, 朱磊, 刘治成, 等. 煤矿固体废弃物浆体充填技术[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(3): 83-91.
- [12] 李剑韬, 叶汉逵. 矿山污染生态修复技术[J]. 湖南林业科技, 2018, 45(2): 66-70.
- [13] 牛百强, 张玉有. 废弃矿山生态修复技术研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(2): 18-23.
- [14] 蒋文翠, 杨继清, 彭尔瑞, 等. 矿山生态修复研究进展[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(4): 127-132.
- [15] 陈敏, 张大超, 朱清江, 等. 离子型稀土矿山废弃地生态修复研究进展[J]. 中国稀土学报, 2017, 35(4): 461-468.
- [16] 姜培曦, 孟广涛, 王晓南, 等. 矿山水土流失现状分析及防治措施[J]. 矿业快报, 2008, 24(10): 80-83.
- [17] 邱珊莲, 翁伯琦, 郑开斌. 水土流失防控技术及其土壤质量效应[J]. 福建农业学报, 2015, 30(1): 98-105.
- [18] 关军洪, 郝培尧, 董丽, 等. 矿山废弃地生态修复研究进展[J]. 生态科学, 2017, 36(2): 193-200.

- [19] 何超红, 黎张. 威远县地质灾害自动化监测系统的应用研究[J]. 四川地质学报, 2021, 41(3): 500-503.
- [20] 颜德宏. 矿山环境恢复治理分析[J]. 节能与环保, 2019(2): 50-51.
- [21] 常俊杰, 刘乐. 基于自然解决方案的矿山生态修复[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(3): 107-109.
- [22] 袁振文, 樊彬. 贵州省某露天矿山环境恢复治理方法研究[J]. 现代矿业, 2022, 38(3): 216-218.
- [23] 宋阳, 潘国林. 安徽省废弃矿山生态修复对策研究[J]. 安徽地质, 2021, 31(4): 358-360.
- [24] 卞正富, 于昊辰, 韩晓彤. 碳中和目标背景下矿山生态修复的路径选择[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 449-459.
- [25] 张进德, 郝富瑞. 我国废弃矿山生态修复研究[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7921-7930.
- [26] 袁亮, 姜耀东, 王凯, 等. 我国关闭/废弃矿井资源精准开发利用的科学思考[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 14-20.
- [27] 彭振华, 李俊彦, 杨森, 等. 利用废弃石膏矿储存原油可行性分析[J]. 工程地质学报, 2013, 21(3): 470-475.
- [28] 刘辉, 朱晓峻, 程桦, 等. 高潜水位采煤沉陷区人居环境与生态重构关键技术: 以安徽淮北绿金湖为例[J]. 煤炭学报, 2021, 46(12): 4021-4032.