

矿山水土污染与防治对策研究

张进德, 田磊, 裴圣良

A discussion of soil and water pollution and control countermeasures in mining area of China

ZHANG Jinde, TIAN Lei, and PEI Shengliang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202003031>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

招远金矿区水体中硫同位素特征及其对污染来源的指示

Characteristics of sulfur isotope in water bodies near the Zhaoyuan gold mine area and its indicative function of pollution sources

贾晓岑, 周建伟, 朱恒华, 余露, 张秋霞, 朱越 水文地质工程地质. 2020, 47(5): 179-188

高盐强酸性地下水中复合苯系污染物原位芬顿氧化实验研究

In-situ Fenton oxidation experiment of compound benzene pollutants in high salt and strong acid groundwater

郭威, 袁放, 张佳, 谢斌, 冯学洋, 陈鸿汉 水文地质工程地质. 2021, 48(2): 182-189

井间分溶示踪估计重非水相污染物残留量的影响因素数值分析

Numerical analysis of the influencing factors for estimating DNAPL residual by the partitioning interwell tracer tests

郭琼泽, 施小清, 王慧婷, 徐红霞, 吴吉春 水文地质工程地质. 2019, 46(6): 165-172

福建长汀县水土流失的地质影响因素及防治对策

Geological influence factors of soil erosion in Changting County, Fujian Province and the countermeasures to prevent and control

陈国光, 刘红樱, 陈进全, 张晓东, 湛龙 水文地质工程地质. 2020, 47(6): 26-35

塔城盆地地下水“三氮”污染特征及成因

Distribution and source of nitrogen pollution in groundwater in the Tacheng Basin

吕晓立, 刘景涛, 周冰, 朱亮 水文地质工程地质. 2019, 46(2): 42-42

大武水源地断裂带关键水动力参数确定及污染防治对策

Determination of the key hydrodynamic parameters of the fault zone using colloidal borescope in the Dawu well field and strategies for contamination prevention and control

包锡麟, 费宇红, 李亚松, 曹胜伟 水文地质工程地质. 2020, 47(5): 56-63



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: [10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202003031](https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202003031)

矿山水土污染与防治对策研究

张进德, 田磊, 裴圣良

(中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 矿山水土环境污染是采矿活动引发的主要环境地质问题之一。我国矿山数量众多, 水土污染比较普遍, 尤以金属矿山最为严重, 矿山水土污染防治是今后开展国土空间生态保护修复的重要内容。基于全国矿山地质环境摸底调查成果资料, 对矿业活动不同阶段的水土污染风险以及不同矿山的水土污染类型、特征和污染物迁移演化规律等进行了研究。分析指出: 矿业活动过程包括勘探、建矿、开采、洗选、冶炼等多个阶段, 而水土污染风险贯穿于矿业活动全过程, 不同阶段的污染风险不同; 矿产资源开发造成的水土污染物类型、特征因开采的矿产类型不同而不同, 呈现出特征污染物与矿体母岩的高度相关性; 矿山及其周边污染物的迁移作用受污染物自身的物理化学性质和外界环境条件的影响, 在矿山长期持续开采条件下矿山水土污染物存在累积效应, 而矿产资源集中开采区的污染物扩散表现出叠加效应。通过对某典型水土环境污染案例的分析研究, 初步证实了上述推断。根据我国矿山水土环境污染多发性和复杂性的特点, 建议今后开展矿山水土污染防治工作应区分不同类型矿山、不同地质环境条件、不同污染物特征、不同污染程度, 采取分类施策、系统修复、标本兼治的对策, 以实现矿山环境明显改善。

关键词: 矿山环境; 水土污染; 矿山污染物; 污染评价

中图分类号: X141

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2021)02-0157-07

A discussion of soil and water pollution and control countermeasures in mining area of China

ZHANG Jinde, TIAN Lei, PEI Shengliang

(China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Mine water and soil pollution is one of the main environmental geological problems caused by mining activities. There are a large number of mines in China, and soil and water pollution is common, especially in metal mines. The prevention and control of soil and water pollution in mines is an important part of land and space ecological protection and restoration in the future. Based on the data and results of national mine geological environment investigation, in this paper, the risk of soil and water pollution at different stages of mining activities, the types and characteristics of soil and water pollution, and the migration and evolution of pollutants in different mines are studied. It is pointed out that the process of mining activities includes exploration, construction, mining, washing and smelting etc, while the risk of soil and water pollution runs through the whole process of mining activities, and the risk of pollution is different in different of mining stages. The types and characteristics of soil and water pollutants caused by the development of mineral resources vary with the types of minerals mined, showing a high correlation between the characteristic pollutants and the ore body parent rock. The migration of pollutants in the mine and its surrounding areas is affected by the physical and chemical properties of the

收稿日期: 2020-03-13; 修订日期: 2020-05-18

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160333)

第一作者: 张进德(1966-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事矿山地质环境调查评价与综合治理、地质环境监测、遥感与地理信息系统应用等方面研究工作。E-mail: zhangjd@cigem.cn

pollutants themselves and the external environmental conditions. Under the condition of long-term continuous mining, there is a cumulative effect of water and soil pollutants in the mine area, while the diffusion of pollutants in the concentrated mining area shows an additive effect. Through a case study of a typical soil and water environment pollution analysis and evaluation, the above inference is preliminarily confirmed. According to the multiple and complex characteristics of mine soil and water environment pollution in China, it is suggested that the prevention and control of water and soil pollution in mines in the future should be based on different types of mines, different geological environment conditions, different pollutant characteristics, different pollution levels, etc., adopting classified measures, systematic restoration, and treating both symptoms and symptoms simultaneously, so as to realize the obvious improvement of mine environment.

Keywords: mine environment; soil and water pollution; pollutants in mining area; pollution assessment

我国是世界上的矿业大国,矿产资源开发利用具有悠久的历史。自 2012 年党的十八大将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局以来,矿山环境治理与生态修复工作不断得到加强。矿山环境问题直接涉及当今社会人口、资源、环境三大主题,是关系到能否实现矿业开发与生态环境协调发展的重要方面^[1]。然而,我国大多数矿山环境问题是由于长期大规模的矿产资源开发而累积形成的,面对沉重的矿山环境历史欠账和日趋严峻的生态环境态势,深入开展矿山水土环境研究和水土污染治理尤为重要^[2]。

据全国矿山地质环境摸底调查资料,目前全国共有非油气矿山 11 万余个,矿山总面积约 $1.04 \times 10^5 \text{ km}^2$,开采矿种 187 种,估算年采出矿石总量超过 $1.36 \times 10^{10} \text{ t}$ 。按开采矿类,煤炭等能源矿山 16 500 多个,金属矿山 10 900 多个,建材和化工原料等非金属矿山 83 700 多个^[3]。长期大规模的矿产资源开发造成严重的水土环境污染问题,目前的矿山污染防治工作困难重重,大多停留在头痛医头脚痛医脚的水平,缺乏系统性^[4]。本文根据已完成的全国矿山地质环境摸底调查成果资料,对我国矿山水土环境污染进行深入的分析和总结,系统阐述了不同类型矿山、矿山不同开发阶段的水土环境污染特征及污染物扩散规律,提出了矿山水土环境综合防治对策建议,为加快推进我国矿山水土环境污染防治工作提供借鉴。

1 不同矿业活动阶段的水土污染风险

矿山水土环境污染从形态上可分为固体污染物、液体污染物和大气颗粒物三种类型^[5]。矿山内固体废弃物经长期风化、降雨淋滤等作用产生有毒堆浸废水,渗入土壤及浅层地下水;不达标废水废液排放到周边河流、沟谷、池塘中,经地表水渗漏、补给污染地下水和土壤,或通过引污水灌溉方式污染土壤;矿

山内各类场地在风力作用下易产生扬尘,细粒有毒物质随扬尘飘落到矿山周边,造成土壤污染,此外,矿车道路运输遗撒产生的扬尘也会对周边土壤造成污染^[6]。矿业活动从勘探阶段就存在水土环境污染风险,不同矿业活动阶段污染风险因素不同^[7]。矿业活动主要包括勘探、建矿、采矿、洗选和冶炼五个阶段。

勘探阶段,主要工程活动包括山地工程、钻探、物探和化探等,构成水土污染的风险因素是机械设备的燃油、机油渗漏,化学药品的遗撒,钻探泥浆废弃,钻井水的排出,作业人员生活废水、垃圾的排放等。

建矿阶段,构成水土污染的风险因素是大规模表土剥离、开挖、搬运形成的扬尘,废石土的不合理堆放,矿坑或井硐积水排出,工业废料场的油污,作业人员排放的生活废水、垃圾等。

采矿阶段,构成水土污染的风险因素是矿石运输、废石土清运产生的扬尘,矿坑排水,排土场或废石堆扬尘和堆浸废水渗出,工业广场和废料场的落地油污,作业人员排放的生活废水、垃圾等^[8]。

洗选矿阶段,构成水土污染的风险因素是洗矿场或选矿厂的扬尘,洗矿或选矿产生的大量废水、废渣排放,尾矿库或尾矿坝的渗漏、溃决、漫流等。

冶炼阶段,构成水土污染的风险因素是冶炼产生的烟尘排放与飘落,冶炼废水排放,冶炼废渣储运等^[9-10]。

2 不同矿山类型的水土污染物特征

2.1 能源类矿山主要污染物

目前我国开发的主要能源矿产为煤炭和石油。煤炭矿山的水土污染物主要来源于煤矸石、煤矿废水和煤本身,因此煤和煤矸石的化学组分决定了矿山污染特征^[11]。煤主要由 C、H、O、N、S 等元素组成,还有少量 P、As、F、Cl 等元素^[12],而煤矸石的主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO ,还包括 Cd、Cr、Pb、Zn、

Cu、Mn 等重金属元素以及 FeS、PbS 等硫化物^[13]。矿井水是煤矿排放最多的废水, 受开采、运输过程中散落的煤粉、岩粉等影响, 在水质上通常表现为高悬浮物、高矿化度、偏酸性, 且 Fe、Mn、F 等元素含量偏高^[14]。洗选煤废水中含有大量悬浮物、硫酸盐、各种药剂和 Fe³⁺、Mn²⁺、Zn²⁺、Ni²⁺、Al³⁺等金属离子^[15]。因此, 煤炭矿山水土环境污染物大致包括: Fe、Mn、F、As、Pb、Zn、Hg、Cd、Cr、硫化物及氮化物等^[16-17](表 1)。

油田开采区水土环境污染主要来自于漏出的原油、含油污水、钻井废水、洗井作业污水等, 主要污染物为石油类、挥发酚、COD、硫化物、悬浮物、可溶性矿物质、有机质、可溶性重金属、高分子处理剂等^[18](表 1)。

2.2 金属类矿山主要污染物

在金属矿山开采过程中, 矿体中的重金属元素容易产生流失, 进入矿山地表水、地下水和土壤中, 构成水土环境污染元素。据统计, 我国大部分金属矿山为金属硫化物矿床, 采矿、选矿产生的大量废石、矿渣

仍含有一定量的硫化物, 暴露于大气中经氧化、风化、淋滤作用极易产生酸性矿山废水, 并会释放出大量重金属离子和硫酸根离子。矿山酸性废水的形成还会加快金属离子的释放和富集。因此, 造成金属矿山水土环境污染的主要污染物为 SO₄²⁻、Fe³⁺、Mn²⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺, 重金属元素 Pb、Cu、Cd、Hg、Zn、Cr、Ni、Co^[7], 以及类金属元素 As、悬浮物和氰化物^[19](表 1)。

2.3 非金属类矿山主要污染物

我国非金属矿山中绝大多数是建材非金属矿, 建材矿山开采过程中会产生大量的粉尘, 粉尘降落到土壤表层造成土壤板结和酸碱度变化, 此外建材矿开发产生的废水含大量的悬浮物。化工原料非金属矿中的盐矿类开采, 其矿山主要水土环境污染项目是 Cl⁻、SO₄²⁻、总硬度、溶解性总固体, 而硫铁矿、明矾矿、芒硝矿等开采会排出含 SO₄²⁻的酸性废水, 因此化工原料非金属矿的水土环境污染物为 SO₄²⁻及 Na、K、Fe、Mn 等金属元素(表 1)。

表 1 不同类型矿山主要污染物
Table 1 Pollutants in different types of mines

矿山类型		主要污染物
能源矿山	煤炭矿山	Fe、Mn、F、As、Pb、Zn、Hg、Cd、Cr、硫化物、氮化物等
	油气	石油类、挥发酚、COD、硫化物、悬浮物、可溶性矿物质、有机质、可溶性重金属、高分子处理剂等
	金属矿山	SO ₄ ²⁻ 、Fe ³⁺ 、Mn ²⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、Al ³⁺ 、Pb、Cu、Cd、Hg、Zn、As、Cr、Ni、Co、悬浮物和氰化物等
非金属矿山		SO ₄ ²⁻ 和 Na、K、Fe、Mn 等元素

3 矿山污染物迁移规律及其对水土环境的影响

3.1 污染物迁移规律

通常情况下, 矿山污染物在区域环境中的迁移方式有机械迁移、物理化学迁移和生物迁移三种。污染物的迁移作用又受污染物自身的物理化学性质和外界环境的物理化学条件影响。

原子的电负性、离子半径、电价、离子电位和化合物的键性和溶解度等是影响污染物迁移的最主要的物理化学参数^[20]。外界环境条件是指区域气象、水文、地形地貌、地层岩性和生物分布等自然地理、地质条件, 其中外界环境条件中的化学条件对污染物的迁移有重大影响。如环境的酸度和碱度影响着重金属元素的形态, 大多数重金属在酸性环境中形成易溶性化合物, 有较高的迁移能力, 而在碱性环境中则形成难溶化合物, 难以迁移^[21]。

前人研究表明: 酸性环境有利于 Ca、Sr、B、Ra、Cu、

Zn、Cd、Fe²⁺、Mn²⁺和 Ni²⁺的迁移; 碱性环境有利于 Se、Mo 和 V⁵⁺的迁移; 某些重金属如 Hg、Cd 等在迁移过程中易在底泥中富集, 形成长期潜在的具有积累性的危害^[22-24]。

3.2 污染物扩散对矿山周边水土环境的影响分析

矿山水土环境影响分析不能局限于某一个矿的矿界范围内, 特别是一个区域内分布着多家开采矿山, 周边的水土环境显然不仅仅受某一个矿山的影响, 而是受多家矿山的共同影响, 污染物的扩散表现出叠加效应。因此分析矿山周边水土环境的影响应综合考虑多家矿山的污染物扩散影响。

3.2.1 水土环境污染源与污染途径

通常矿山周边的区域水土环境受多个污染源影响, 影响范围和程度取决于区域地理位置和周边矿山开采程度。矿山地表水体主要包括沟渠、河流、池塘、湖泊等, 其主要污染源就是矿山的井口、坑口等排出的矿坑废水; 除此之外, 矿山排土场、尾矿库、废料场等堆浸废水渗出或遗漏成为地表水体的另一种

污染源,上述污染源也可能成为地下含水层的污染源。浅表层土壤的污染源比水体的污染源复杂得多,一般包括五种类型:一是矿山废水流经地表土壤直接造成土壤污染,二是利用已污染的地表水进行灌溉造成土壤污染,三是大气降水冲刷汇集矿山废液、废渣等造成土壤表面污染,四是矿山有毒细粒物质随大风扬尘飘落到土壤表层滞留造成污染,五是矿山搬运车辆交通道路遗撒矿渣造成道路两侧土壤污染。因此,矿山土壤污染源属非点状污染源,其污染程度和污染范围具有一定的随机性。

3.2.2 矿山周边水土环境污染范围

虽然矿山污染物的扩散有多种途径,但其污染范围总会有一个限度。任何一个矿山其污染物向环境中迁移,大都会形成一个以矿山为中心的污染物扩散带,带外范围可以认为其水土环境不受影响或影响轻微。因此科学确定矿山水土环境污染范围对于合理控制矿山污染物,促进已污染的水土环境修复具有重要意义。污染范围的确定方法:一是根据矿山所处的地形、地貌、地质、水文气象条件,进出矿山的交通运输条件等初步确定水土污染大致范围;二是分别根据不同的污染源位置和污染物迁移途径取水土样品进行分析测试,将污染物含量与该区域的背景值进行对比,绘制污染物含量等值线图,进而准确判定矿山周边污染扩散范围。

3.2.3 矿山周边水土污染评价方法

(1)单因子指数法

单因子指数法是国内外普遍采用的方法之一,可以对土壤中某一项污染物的污染程度进行评价^[25-27]。污染程度用超标倍数或累积污染倍数来衡量。

当单项污染物含量与国家评价标准相比较时,得出污染超标倍数;当单项污染物含量与区域背景值相比较时,得出累积污染倍数。通用计算公式为:

$$P_i = (C_i - S_i) / S_i$$

式中: P_i ——土壤中污染物 i 的超标或者累积倍数;

C_i ——污染物 i 的含量;

S_i ——污染物 i 的评价标准。

单项污染指数分级标准共分 4 个等级,具体分级标准见表 2。

表 2 土壤单项污染程度分级标准
Table 2 Single factor index method

P_i	$0 < P_i \leq 1$	$1 < P_i \leq 2$	$2 < P_i \leq 3$	$3 < P_i$
污染水平	未污染	轻度污染	中度污染	重度污染

3.2.4 内梅罗综合污染指数法

$$P_n = \sqrt{(P_{\max}^2 + P_{\text{ave}}^2) / 2}$$

式中: P_n ——样点综合污染指数;

$P_{\max}$ ——样点中所有评价污染物单项指数的最大值;

P_{ave} ——样点中所有评价污染物单项指数的平均值。

内梅罗指数法评价标准可分为 5 个等级,具体分级见表 3。

表 3 内梅罗综合污染指数评价标准
Table 3 Evaluation criteria of integrated pollution index method

P_n	$0 < P_n \leq 0.7$	$0.7 < P_n \leq 1$	$1 < P_n \leq 2$	$2 < P_n \leq 3$	$3 < P_n$
污染水平	清洁	警戒	轻度污染	中度污染	重度污染

单因子指数法是一种通过计算超标指数来确定评价等级的方法,计算方法简单,能够直观地反映水土环境中某一项污染物的超标程度;但它夸大了单项污染因子的作用,弱化了其他因子的作用,无法反映多种污染物对水土污染的综合贡献。内梅罗综合污染指数法物理概念清晰、数学过程简洁,它兼顾了单因子污染指数的平均值和最大值,又突出了某些污染因子的作用;在加权过程中避免了主观因素的影响,更能直观地反映水土环境污染的总体水平,是目前应用较多的一种水土污染评价方法。

4 典型矿山水土环境污染剖析

2010 年投入生产的某大型露天开采铜钼矿矿山,面积约 1.1 km²,年生产能力 7.5×10⁵ t。矿山内设有露天采矿场、排土场、选矿厂、堆浸场地、生活区、炸药库等。矿山污染源为矿坑水、选矿尾水、堆浸液、生活污水、废石淋滤水溶液及农药残留等,主要特征污染物是 Ni、Zn、Cu、Cd、SO₄²⁻等。

通过对矿石中的元素含量进行分析可知,高品位矿石中主要元素含量从大到小的顺序为: S、Cu、Mn、Cr、Zn、Ni、Pb、Co、Hg、Cd、As,低品位矿石中主要元素含量从大到小的顺序为: S、Cu、Mn、Zn、Cr、Ni、Co、Pb、Hg、Cd、As。高品位矿石经过选矿流程后形成的尾矿中各元素含量顺序未发生变化,但 Cu、Hg、S 的含量大幅降低。低品位矿石经过酸液堆浸后,各元素的含量发生了较大变化,从大到小顺序为: S、Cu、Mn、Cr、Zn、Ni、As、Pb、Co、Hg、Cd,堆浸后 Cu、Hg、S、Cd 的含量存在较大程度降低,但 Cr、As、Co、Mn 的含量却大幅度增加。

根据矿山土壤样品中重金属含量之间的相关性分析,可以推断土壤污染物与矿石的相关性。分析表明,工作区内的 Cu、Hg、Mo、Ni、Cd、Pb、Zn 等元素都来自矿石,而 As 则可能来自于堆浸液或农药残留。

通过对矿山土壤中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Mo、Ni、Pb 和 Zn 等 9 种元素超标和累积评价可知, Cr、Hg 和 Pb 的含量低于国家土壤环境质量 II 级标准限值; As、Cd、Cu、Ni 和 Zn 的含量则高于国标限值。与毗邻区未开矿地区土壤重金属含量背景值相比较,除 Hg 外的 8 种元素均有不同程度的累积污染,表明工作区土壤已经受到矿业活动的影响,重金属开始在土壤中累积,但由于矿山开发年限较短,累积污染并不严重。

5 矿山水土环境污染防治对策

5.1 矿山水土环境污染宜分类防治

(1) 按矿山开采矿种进行分类防治

由于不同类型矿产资源的开发,其开发方式、开采规模、开采过程中引发的矿山地质环境问题不同,造成矿山水土环境污染的污染源、污染方式、特征污染物种类及其含量也不相同,因此,需要按照不同类型矿山进行分类防治,增强防治措施的针对性。

(2) 按矿山地质环境条件分类防治

我国地域宽广,各类矿山所在区域的气象、水文、地形、地貌、水文地质、工程地质等条件差别较大,即使同一个类型的矿山开发,因其所处的地质环境条件不同,造成水土环境污染的污染物种类、浓度和扩散方式也千差万别。因此在开展矿山水土环境污染防治时,应充分考虑矿山的地质环境条件。

(3) 按矿山不同污染物特征分类防治

在矿产资源开发利用过程中,矿体及矿体周围围岩的矿物成分及其化学组分决定着矿山污染物的类型,不同矿山会形成不同特征的污染物。根据矿山的特征污染物类型采取针对性的防治措施,有利于从源头上控制污染物的扩散。

(4) 按矿山水土环境污染程度分类防治

矿山及周边不同的场地遭受水土环境污染的程度不同,在对矿山水土环境污染调查分析基础上,对污染区域进行划分,得出不同污染程度级别的区域。在此基础上,按照轻重缓急、分步实施的原则,逐个区域部署防治措施,突出防治重点。

5.2 探索矿山水土环境污染的治本之策

(1) 详细调查,摸清矿山水土环境污染的途径

查明矿山污染物的形成及其化学形态:追踪矿山

污染物产生的源头,分析污染物产生的物理化学过程 and 在水土环境中的存在形态(离子形式或分子形式)。

分析矿山污染物的扩散方式:根据矿山不同污染场地的污染物类型、特征与含量,分析出污染物通过机械迁移、物理化学迁移和生物迁移的哪一种或哪几种方式进入到矿山水土环境中。

跟踪研究矿山污染物在水土环境中的富集特征:通过污染物的动态跟踪调查,研究其在水土环境中的富集规律和循环特征。

(2) 合理识别矿山水土环境污染范围

在我国很多集中开采的区域内分布着许多矿山,确定矿山水土环境污染范围时应综合考虑多家矿山的共同影响效应,详细分析各类污染物与每个矿山的关联程度,为今后的综合防治提供技术依据。

(3) 联合预防

打破单个矿山的矿界限制,从整个区域(集中开采区)的角度上控制所有污染源,形成多矿山步调一致的防控体系。通过矿山的绿色生产,废弃物的减排、回收利用和无害化处理等手段,从源头上控制矿山污染物向环境中的排放,从而减少污染物的总量,降低区域污染物负荷。

(4) 系统治理

根据已查明的水土环境污染区域、污染物特征和污染程度,采取物理的或化学的方法进行水土环境修复,实现矿山集中开采区域的连片治理,突出治理区域的整体性,提高治理成效。

6 结论及建议

(1) 矿产资源开发作为人类最重要的工程活动,对地质环境的影响是剧烈的,矿山水土环境污染是采矿活动引发的主要地质环境问题之一。

(2) 矿业活动造成的水土污染自矿产勘查阶段就出现,它贯穿于勘探、建矿、开采、洗选、冶炼等整个矿业活动全过程,不同阶段污染过程和污染程度不同,摸清污染源头有利于矿山水土环境污染防控。

(3) 不同矿山类型水土环境的特征污染物不同,特征污染物与矿体母岩呈现高度相关性;矿山污染物的迁移作用受自身的物理化学性质和外界环境条件的影响,存在累积效应,而矿产资源集中开采区的污染物扩散表现出叠加效应。

(4) 采用单因子指数法和内梅罗综合污染指数法对某矿山水土污染进行了评价对比,结果显示梅罗综合污染指数法更能全面反映水土环境中各污染物的

平均污染水平,也突出了不同污染物给环境造成的危害程度。

(5) 矿山水土环境污染防治应标本兼治, 应首先应详细调查摸清底数, 其次要根据开采矿种、地质环境条件、开发阶段、特征污染物类型和污染程度, 注重源头预防、过程控制, 联合预防、系统治理。

参考文献 (References):

- [1] 陈善荣, 胡金朝, 吴宇欣. 以生态环境监测推动新时代生态文明建设[J]. 环境保护, 2018, 46(17): 7-9. [CHEN Shanrong, HU Jinchao, WU Yuxin. Promoting ecological civilization construction in the new era with ecological environmental monitoring[J]. Environmental Protection, 2018, 46(17): 7-9. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 张进德. 我国“十三五”矿山地质环境调查工作的思考[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(4): 1. [ZHANG Jinde. Reflections on mine geological environment survey in China's 13th five-year plan[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015, 42(4): 1. (in Chinese)]
- [3] 李建中, 张进德. 我国矿山地质环境调查工作探讨[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(4): 169-172. [LI Jianzhong, ZHANG Jinde. Discussion on the work of mine geo-environmental investigation of China [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(4): 169-172. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 王琪, 郑军, 张立烨. 矿区水污染防治探讨[J]. 世界有色金属, 2017, 32(17): 292. [WANG Qi, ZHENG Jun, ZHANG Liye. Water pollution actuality discuss [J]. World Nonferrous Metals, 2017, 32(17): 292. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 夏云娇, 杨欢. 我国矿区污染地修复标准现状及发展趋势[C]//2014年《环境保护法》的实施问题研究——2015年全国环境资源法学研讨会(年会)论文集. 上海, 2015. [XIA Yunjiao, YANG Huan. Status quo and development trend of remediation standards for contaminated sites in mining areas in China [C]//Research on the implementation of the environmental protection law in 2014: Proceedings of the 2015 National Symposium on Environmental and Resources Law (Annual Meeting). Shanghai, 2015. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 夏云娇, 汪颖颖, 杨欢. 我国矿区污染地修复标准存在的问题与对策[J]. 安全与环境工程, 2016, 23(4): 39-43. [XIA Yunjiao, WANG Yingying, YANG Huan. Problems and countermeasures of remediation standards for mining-contaminated areas in China [J]. Safety and Environmental Engineering, 2016, 23(4): 39-43. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 陈奇. 矿山环境治理技术与治理模式研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2009. [CHEN Qi. Research on mine environmental control technology and control mode[D]. Beijing: China University of Mining & Technology(Beijing), 2009. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 袁小琴, 彭斌, 梁木金. 广西采矿区水污染现状及防治对策[J]. 广西水利水电, 2007, 36(2): 32-34. [YUAN Xiaoqin, PENG Bin, LIANG Mujin. Water pollution in mining areas of Guangxi and prevention countermeasure[J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2007, 36(2): 32-34. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 初征. 我国铜冶炼行业污染防治技术政策研究[J]. 矿冶, 2019, 28(4): 135-137. [CHU Zheng. Pollution control technology policy of copper smelting industry in China[J]. Mining and Metallurgy, 2019, 28(4): 135-137. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 周勇. 全都为了你: 山青水绿天蓝蓝——贵溪冶炼厂防治污染纪实[J]. 有色金属工业, 1999, 17(5): 30-31. [ZHOU Yong. All for You: mountain green, water green, sky blue-documentary report on pollution prevention in Guixi Smelter [J]. China Nonferrous Metals Industry, 1999, 17(5): 30-31. (in Chinese)]
- [11] 赵玉凤. 煤矿废水污染现状研究及其治理方案思考分析[J]. 居业, 2019, 11(11): 168. [ZHAO Yufeng. Research on the present situation of coal mine wastewater pollution and analysis of its treatment plan [J]. Create Living, 2019, 11(11): 168. (in Chinese)]
- [12] 冯新斌, 洪业汤, 倪建宇, 等. 煤中潜在毒害元素分布的多元分析及其地球化学意义[J]. 矿物学报, 1999, 19(1): 34-40. [FENG Xinbin, HONG Yetang, NI Jianyu, et al. Multivariable analysis on the distribution of potentially hazardous elements in coal and its geochemical significance[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1999, 19(1): 34-40. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 陈永春, 李守勤, 周春财. 淮南矿区煤矸石的物质组成特征及资源化评价[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(11): 20-23. [CHEN Yongchun, LI Shouqin, ZHOU Chuncai. Material composition features and reclaim evaluation of coal gangue in Huainan mining area[J]. Coal Geology of China, 2011, 23(11): 20-23. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 杨建, 王强民, 刘基, 等. 煤矿井下不同区域矿井水中有机污染特征[J]. 煤炭学报, 2018, 43(增刊 2): 546-552. [YANG Jian, WANG Qiangmin, LIU Ji, et al.

- Fluorescence characteristics of dissolved organic matter in underground different position of coal mine [J]. *Journal of China Coal Society*, 2018, 43(Sup2): 546–552. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 穆环玲. 洗选煤建设项目环境影响研究——以新疆伯斯图贸易有限公司 120 万 t/a 洗选煤建设项目为例[D]. 长春: 吉林大学, 2016. [MU Huanling. Study on environmental impact of coal washing construction project —— taking Xinjiang Botu Trading Co., Ltd. 1.2 million t/a coal washing construction project as an example [D]. Changchun: Jilin University, 2016. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 陈长兴, 田德林. 露天煤矿污染物排放分析[J]. *环境保护科学*, 1986, 12(1): 66–71. [CHEN Changxing, TIAN Delin. Analysis of pollutant emission from open-pit coal mines [J]. *Environmental Protection Science*, 1986, 12(1): 66–71. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 郁钟铭, 姜学鸣. 煤矿主要污染物的治理及综合利用[J]. *矿业研究与开发*, 2000, 20(3): 47–48. [YU Zhongming, JIANG Xueming. The control and comprehensive utilization of major pollutants in coal mines[J]. *Mining Research and Development*, 2000, 20(3): 47–48. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 王建, 祁迎春, 伍东东. 陕北油田钻井废弃物中污染物分析[J]. *延安大学学报(自然科学版)*, 2017, 36(3): 41–44. [WANG Jian, QI Yingchun, WU Dongdong. Analysis of pollutants in northern Shaanxi oilfield drilling waste [J]. *Journal of Yanan University(Natural Science Edition)*, 2017, 36(3): 41–44. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 宋伟, 李蒙蒙, 郭芳茹. 金属矿区地表环境中重金属物质污染的生态风险评价[J]. *世界有色金属*, 2019, 34(17): 230–231. [SONG Wei, LI Mengmeng, GUO Fangru. Ecological risk assessment of heavy metal pollution in surface environment of metal mining areas[J]. *World Nonferrous Metals*, 2019, 34(17): 230–231. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 於方, 张强, 过孝民. 我国金属矿采选业废水污染特征分析[J]. *金属矿山*, 2003, 38(9): 40–44. [YU Fang, ZHANG Qiang, GUO Xiaomin. Analysis of waste water pollution characteristics of mining and mineral processing of China's metal mines[J]. *Metal Mine*, 2003, 38(9): 40–44. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 赵波, 张德会. 离子电位对金属元素迁移和成矿的影响[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2013, 32(2): 262–268. [ZHAO Bo, ZHANG Dehui. Ionic potential impact on migration and metallization of metal elements[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2013, 32(2): 262–268. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 佩列尔曼. 后生地球化学[M]. 龚子同, 译. 北京: 科学出版社, 1975. [Periel Mann. Epigenetic geochemistry[M]. GONG Zitong, trans. Beijing: Science Press, 1975. (in Chinese with English abstract)]
- [23] 关天霞, 何红波, 张旭东, 等. 土壤中重金属元素形态分析方法及形态分布的影响因素[J]. *土壤通报*, 2011, 42(2): 503–512. [GUAN Tianxia, HE Hongbo, ZHANG Xudong, et al. The methodology of fractionation analysis and the factors affecting the species of heavy metals in soil [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(2): 503–512. (in Chinese with English abstract)]
- [24] 王茜, 张光辉, 田言亮, 等. 农田表层土壤中重金属潜在生态风险效应研究[J]. *水文地质工程地质*, 2017, 44(4): 165–172. [WANG Qian, ZHANG Guanghui, TIAN Yanliang, et al. Research on the potential ecological risk of farmland top-soil of heavy metals[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2017, 44(4): 165–172. (in Chinese with English abstract)]
- [25] 张永江, 邓茂, 邵曾, 等. 典型生态旅游地土壤重金属空间分布及潜在生态风险评价[J]. *环境影响评价*, 2015, 37(5): 75–79. [ZHANG Yongjiang, DENG Mao, SHAO Zeng, et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metal in typical ecotourism area soil [J]. *Environmental Impact Assessment*, 2015, 37(5): 75–79. (in Chinese with English abstract)]
- [26] 何绪文, 房增强, 王宇翔, 等. 北京某污水处理厂污泥重金属污染特征、潜在生态风险及健康风险评价[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(3): 1092–1098. [HE Xuwen, FANG Zengqiang, WANG Yuxiang, et al. Pollution characteristics, potential ecological risk and health risk assessment of heavy metal in a sewage treatment plant in Beijing [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(3): 1092–1098. (in Chinese with English abstract)]
- [27] 毛香菊, 邹安华, 马亚梦, 等. 南京某铁尾矿库复垦土壤重金属污染评价[J]. *矿产保护与利用*, 2015, 35(1): 54–58. [MAO Xiangju, ZOU Anhua, MA Yameng, et al. Evaluation on reclaim soil heavy-metal pollution of the closed tailings reservoir [J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2015, 35(1): 54–58. (in Chinese with English abstract)]

编辑: 汪美华