

浅析矿山水土污染与防治对策

丁 莉

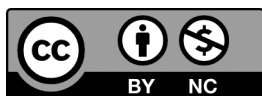
长江大学，荆州

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。文章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；矿山及其周边的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；通过某典型水土环境污染分析评价案例研究，初步证实了上述推断。根据我国矿山水土环境污染的多发性和复杂性特点，建议今后加强矿山水土污染防治应区分不同类型矿山、不同地质环境条件、不同污染物特征、不同污染程度等，采取分类施策、系统修复、标本兼治，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

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



作者简介：丁莉（1996-），女，硕士研究生。研究方向：自然资源审计研究。

文章引用：丁莉. 浅析矿山水土污染与防治对策 [J]. 环境与资源, 2021, 3 (1): 38-47.

<https://doi.org/10.35534/er.0301004c>

1 矿业活动不同阶段水土污染风险

矿山水土环境污染物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。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。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。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，作业人员生活废水、垃圾的排放等。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，作业人员生活废水、垃圾的排放等。

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。

2 不同矿山类型水土污染物特征

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份决定了矿山污

染特征。煤的化学元素主要由 C、H、O、N、S 组成，还有少量 P、As、F、Cl 等其他元素，而煤矸石主要化学成分为 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。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，以及 Fe、Mn、f 等元素含量偏高。洗选煤废水中含有大量悬浮物、硫酸盐、各种药剂和 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Al^{3+} 等金属离子。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、硫化物以及氮化物等。

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。

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属金属硫化物矿床，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的主要污染物为 SO_4^{2-} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} ，重金属元素 Pb、Cu、Cd、Hg、Zn、As、Cr、Ni、Co，以及悬浮物和氰化物。

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属建材非金属矿，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物是 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、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 SO_4^{2-} 的酸性废水，因此化工原料非金属矿的水土环境污

染物为 SO_4^{2-} 及 Na、K、Fe、Mn 等金属元素。

3 矿山污染物迁移规律及其对水土环境影响分析

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。外界环境条件是指区域的气象、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。

前人研究表明：酸性环境有利于 Ca、Sr、B、Ra、Cu、Zn、Cd、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 和 Ni^{2+} 的迁移；碱性环境有利于 Se、Mo 和 V^{5+} 的迁移；某些重金属如 Hg、Cd 等在迁移过程中易于在底泥中富集，成为具有长期潜在的和积累性的危害。

3.2 污染物扩散对矿山周边水土环境影响分析方法

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情况，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。

(1) 区域水土环境污染源与污染途径分析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的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、堤坝、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、废渣等汇聚土壤表面造成污染，四是矿山有毒细颗粒物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。

(2) 矿山周边水土环境污染范围判定

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、地质条件，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) 矿山周边水土污染评价

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，是对土壤中的某一项污染物的污染程度进行评价。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。

内梅罗综合污染指数法：该方法为近年来较为常用的土壤污染评价方法，可全面反映水土环境中各污染物的平均污染水平，并突出污染最严重的污染物给环境造成的危害。通用计算公式为：

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

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。

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，它夸大了单项污染因子的作用，弱化其他因子的作用，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。内梅罗综合污染指数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的铜钼矿，矿山面积约 1.1 km^2 ，年生产能力 $7.5 \times 10^5\text{ t}$ 。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、废石淋滤水溶及农药施用等，主要特征污染物是Ni、Zn、Cu、Cd、 SO_4^{2-} 等。

通过对矿石中的元素含量进行分析得知，高品位矿石中主要元素含量按照从大到小排列顺序为：S、Cu、Mn、Cr、Zn、Ni、Pb、Co、Hg、Cd、As，低品位矿石中主要元素含量按照从大到小排列顺序为：S、Cu、Mn、Zn、Cr、Ni、Co、Pb、Hg、Cd、As。高品位矿石经过选矿流程之后，在尾矿中各元素含量顺序未发生变化，但是尾矿中Cu、Hg、S的含量有大幅降低。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，从大到小排列顺序为：S、Cu、Mn、Cr、Zn、Ni、As、Pb、Co、Hg、Cd，堆浸后Cu、Hg、S、Cd的含量也有较大程度降低，但Cr、As、Co、Mn的含量却有大幅度增加。

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种重金属超标和累积评价得知，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 种重金属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产生累积，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采取分类防治

(1) 按矿山开采的矿种分类防治

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尽相同，因此，按照不同类型矿山进行分类防治大大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、工程地质条件等差别较大，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，矿体及矿体周边围岩的矿物成分及其化学组分决定着矿山污染物的类型，不同的矿山都会形成不同特征的污染物。根据矿山的特种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。

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和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。

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,呈现特征污染物与矿体母岩的高度相关性;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,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

- [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.

- [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): 3.
- [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.

Analysis of Water and Soil pollution in Mines and Countermeasures

Ding Li

Chang Jiang University, Jingzhou

Abstract: Water and soil pollution in mines is one of the main environmental geological problems caused by mining activities. There are a large number of mines in China, and water and soil pollution is common, especially in metal mines. The prevention and control of water and soil pollution in mines is an important content of ecological protection and restoration of land and space in the future. Based on the survey data of national mine geological environment, this paper studies the risk of water and soil pollution in different stages of mining activities, as well as the types and characteristics of water and soil pollution and the migration and evolution of pollutants in different mines. It is pointed out that the process of mining activities includes exploration, construction, mining, washing, smelting and other stages, and the risk of water and soil pollution runs through the whole process of mining activities, and the pollution risk in different stages is different; the types and characteristics of water and soil pollutants caused by the development of mineral resources

are different. The results show that the characteristics of pollutants are highly correlated with 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 pollutants themselves and the external environmental conditions, and the water and soil pollutants in the mine are accumulated under the condition of long-term continuous mining. Through a case study of a typical water and soil environmental pollution analysis and evaluation, the above inference is preliminarily confirmed. According to the frequent and complex characteristics of mine water and soil pollution in China, it is suggested that the prevention and control of mine water and soil pollution should be strengthened in the future. Different types of mines, different geological environment conditions, different pollutant characteristics and different pollution degrees should be distinguished, and classified measures should be taken, systematic restoration and standard and cost control should be taken to achieve obvious improvement of mine environment.

Key words: Mine environment; Water and soil pollution; Mine pollutants; Pollution assessment