

岩溶矿山地下水污染途径与防治技术研究

张亮

水利部长江勘测技术研究所

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1850

[摘要] 岩溶矿山地下水污染问题由于其特殊的地质和水文特征,在环境保护领域中具有高度的复杂性和挑战性。本研究旨在系统分析岩溶矿山地下水污染的主要途径,并探讨有效的防治技术。通过对岩溶地貌的渗透特征、污染物的迁移机制、以及矿山开发过程中各类污染源的深入研究,本文揭示了岩溶矿山地下水污染的核心问题。研究表明,地表污染物的下渗与渗透、矿山废水的排放与渗漏、采矿过程中污染源的释放、以及地下工程引发的水力变化,是导致地下水污染的主要途径。

[关键词] 岩溶矿山; 地下水污染; 污染途径; 防治技术

中图分类号: P642.254 文献标识码: A

Research on Groundwater Pollution Pathways and Prevention Technologies in Karst Mines

Liang Zhang

Yangtze River Survey and Technology Research Institute of the Ministry of Water Resources

[Abstract] The problem of groundwater pollution in karst mines is highly complex and challenging in the field of environmental protection due to its special geological and hydrological characteristics. The aim of this study is to systematically analyse the main pathways of groundwater pollution in karst mines and to explore effective prevention and control technologies. Through an in-depth study of the permeability characteristics of karst landscapes, the migration mechanism of pollutants, and various types of pollution sources during mine development, this paper reveals the core problems of groundwater pollution in karst mines. The study shows that the seepage and infiltration of surface pollutants, the discharge and leakage of mine wastewater, the release of pollutants during the mining process, and the hydraulic changes triggered by underground engineering are the main pathways leading to groundwater pollution.

[Key words] karst mines; groundwater pollution; pollution pathways; prevention and control technology

岩溶矿山作为一种重要的矿产资源类型,在全球范围内广泛分布。由于其独特的地质特征和水文条件,岩溶矿山在开发过程中面临着严重的地下水污染风险。岩溶地区的地下水系统高度复杂,渗透性强,污染物一旦进入地下水系统,往往难以控制,且污染范围广、治理难度大。这些特点使得岩溶矿山地下水污染问题成为环境保护领域有待解决的难题。

1 岩溶矿山地下水污染途径分析

1.1 岩溶矿山水文地质特征

岩溶地貌是由于可溶性岩石(如石灰岩、白云岩)在地下水的长期溶蚀作用下形成的特殊地质结构,包括溶洞、溶沟、洼地、地下河等。这些地貌的形成使得地下水在岩溶地区具有独特的分布模式。首先,由于溶蚀作用,岩石中形成了大量的溶洞和裂隙,使得岩溶地区的地下水具有高度的渗透性。水流通过这些裂隙和管道流动速度较快,水位变化迅速。其次,岩溶地区的地下水系统往往是多层次且复杂的,浅层水、深层水以及地

下河流系统相互交错,形成复杂的水循环网络。由于溶蚀作用的随机性,地下水在岩溶地貌中的分布极为不均,一些区域可能具有丰富的地下水资源,而另一些区域则可能相对干旱。岩溶水文系统的主要特征之一是显著的渗透性,使得污染物能够快速进入并传播于地下水系统中。在岩溶地区,酸性雨水或其他含有酸性物质的水体与可溶性岩石接触,导致岩石逐渐溶解,不仅改变了岩石的结构,还增加了地下水的渗透路径,使得地下水系统更加复杂。溶蚀形成的大量裂隙和孔洞使得地表水可以迅速渗透到地下,并通过复杂的裂隙和溶洞网络传播,导致污染物一旦进入地下水系统,就能够迅速扩散,造成大范围的污染。

1.2 污染途径分类

岩溶矿山地下水污染的途径主要包括地表污染物的下渗与渗透、矿山废水的排放与渗漏、采矿过程中污染源的释放以及地下工程引发的水力变化对污染扩散的影响。在岩溶地区,地表

和地下水系统高度互通,地表污染物(如农业废弃物、工业废水、生活垃圾等)极易通过降雨渗入地下水系统。地表水中含有的污染物(如重金属、有机污染物、养分等)在岩溶地区能够快速渗透到地下,特别是在降雨期间,大量的污染物随着雨水迅速渗透至地下水中,导致地下水污染。由于岩溶地区的特殊地质结构,地表上的污染物很少能被地层有效过滤,尤其是挥发性有机物(VOCs)和重金属离子,这些污染物通过裂隙直接进入地下水,渗透过程更加显著。此外,矿山开发过程中产生的大量废水,如含有重金属和酸性物质的矿山废水,通常储存在尾矿库或废水池中,若因设施老化或维护不当导致废水通过裂隙或不完整的防渗层渗漏到地下,则会污染地下水。



图一 岩溶矿

表一 不同污染途径及其影响

污染途径	主要污染物	渗透方式	污染扩散速度	影响范围	典型数据
地表污染物的下渗与渗透	重金属、有机污染物、养分	降雨下渗	快速	大范围	某岩溶区降雨后地下水污染物浓度增加50%
矿山废水的排放与渗漏	重金属、酸性物质	废水渗漏	快速	大范围	尾矿库渗漏导致地下水中铅含量超标10倍
采矿过程中的污染源释放	粉尘、矿物碎屑、化学药剂	空气沉降、地表径流	中等	中等	某矿区化学药剂渗透导致地下水中氰化物浓度超标5倍
地下工程引发的水力变化	不同污染物	水力梯度变化	变化不定	不定	隧道开挖引发地下水流速增加3倍,污染物扩散范围扩大2倍

2 岩溶矿山地下水污染防治技术

2.1 预防性技术措施

2.1.1 矿山开发规划中的环境保护措施

在矿山开发的初期规划阶段,实施有效的环境保护措施至关重要。这包括合理的矿山布局设计、开采范围的科学规划以及环境影响评估的严格执行。通过对矿山开发区的环境敏感区域进行识别和保护,避免矿山活动对地下水系统造成不必要的

破坏。此外,必须制定和实施严格的采矿活动规程和环境管理体系,以确保开发过程中的各项操作不会对地下水环境产生不可逆转的影响。

2.1.2 防渗与封堵技术的应用

防渗与封堵技术是防止污染物进入地下水系统的重要手段。在矿山开发过程中,应通过建立防渗墙、防渗膜和其他防渗屏障来有效隔离污染源和地下水。例如,在尾矿库和废水池周围设置防渗膜,能够有效防止有害物质渗透到地下。此外,在地下工程施工过程中,对发现的裂隙或渗漏点进行及时的封堵处理,确保地下水系统不被污染物侵入。

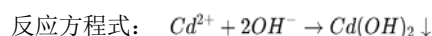
2.1.3 污染源头控制技术

污染源头控制是防治地下水污染的关键。对于矿山废水、尾矿渣等污染物的处理,必须采取源头减排、循环利用等措施,减少污染物的产生和排放。例如,通过对矿山废水进行净化处理,去除其中的有害物质,确保排放水质达标。此外,应当在矿山内部建立完善的废物处理设施,对产生的污染物进行集中处理和安全处置,避免其进入地下水系统。

2.2 治理技术

2.2.1 沉淀法

沉淀法是一种通过向地下水中添加沉淀剂,使溶解态的污染物(如重金属)转化为不溶性的固态颗粒,从而减少水中污染物浓度的方法。这些固态颗粒随后沉降到地下水体的底部,便于进一步处理或隔离。在某岩溶矿区地下水中,重金属镉(Cd)的初始浓度为0.8 mg/L,超过了国家标准(0.005 mg/L)。通过向地下水中添加氢氧化钙(Ca(OH)₂)作为沉淀剂,镉离子与氢氧化物生成不溶性的镉氢氧化物沉淀,沉淀反应的效率达到95%。经过处理,地下水中镉的浓度降低到0.04 mg/L。



2.2.2 吸附法

吸附法利用活性炭、树脂等材料,通过物理或化学吸附作用,将地下水中的有害物质固定在吸附材料的表面,降低水中的污染物浓度。定期更换或再生吸附材料能够维持治理效果。在某矿山区域,地下水中苯并芘的浓度为3.5 μg/L,超过标准限值(0.7 μg/L)。使用活性炭作为吸附材料,吸附效率为90%。经过处理,苯并芘的浓度降低到0.35 μg/L。吸附容量为活性炭对苯并芘的吸附容量为300 mg/g。

2.2.3 氧化还原反应

氧化还原反应通过向地下水中添加氧化剂或还原剂,使有毒有害的化学物质发生氧化或还原反应,转化为无毒或低毒性物质。常用的氧化剂包括过氧化氢、臭氧和高锰酸钾,常用的还原剂包括硫酸亚铁和硫化钠。在某工业区地下水中,三氯乙烯(TCE)的浓度为120 μg/L,高于安全限值(5 μg/L)。通过向地下水中添加高锰酸钾(KMnO₄),三氯乙烯被氧化为无毒的二氧化碳和水,处理效率达到85%。处理后,地下水中TCE的浓度降低到18 μg/L。

反应方程式：



表二 相关反应

修复技术	主要污染物	初始浓度	治理方法	处理后浓度	处理效率	备注
沉淀法	镉 (Cd)	0.8 mg/L	Ca(OH) ₂ 沉淀	0.04 mg/L	95%	镉浓度符合标准
吸附法	苯并芘	3.5 μg/L	活性炭吸附	0.35 μg/L	90%	吸附材料定期更换
氧化还原反应	三氯乙烯 (TCE)	120 μg/L	KMnO ₄ 氧化	18 μg/L	85%	TCE浓度接近安全限值

3 结束语

岩溶矿山水下污染因其复杂的地质和水文特征而具挑战性。本文分析了主要污染途径，包括地表污染物下渗、矿山废水排放与渗漏、采矿过程中的污染源释放及地下工程引发的水力变化，并提出了防渗与封堵、污染源头控制、化学修复和生物修复等防治技术。研究表明，通过科学规划和多技术综合应用，可有效减少污染风险，并促进生态修复。然而，随着矿山开采的深化，未来仍需探索新型防治技术，以实现环境保护与资源开发的协调发展。

[参考文献]

[1]李贵仁.地下水风险管控在闭坑矿山防治水中的应用[J].采矿技术,2024,24(04):172-177.

[2]王玮,邓治国,姚荣胜.废弃煤矿矿井水污染调查技术方案[J].西部探矿工程,2024,36(06):117-119.

[3]贺桂成,朱小裕,李咏梅.微生物矿化去除地浸采铀地下水中污染物的试验研究[J].核技术,2024,47(06):37-46.

[4]毛格,周君蕊.某金属矿区尾矿库水环境治理方案[J].能源研究与管理,2024,16(02):86-91+102.

[5]周正涛,刘明龙,夏源.广西思的河流域重金属污染物溶质运移模拟[J].科学技术与工程,2024,24(13):5662-5673.

[6]刘海林,吕政凡,李育林,等.赤泥掺量对赤泥基地聚物胶凝材料强度及环境特性的影响研究[J].西部交通科技,2024,(04):26-28+36.

[7]张娇,谢腾蛟,王晓龙,等.废弃矿井酸性废水治理和风险管控研究[J].四川环境,2024,43(02):65-71.

[8]刘安,于聪灵,王立平.河北省典型铅锌矿区重金属来源解析及生态风险评估[J].地质科技通报,2024,43(02):307-317.

作者简介：

张亮(1989-),男,汉族,湖北武汉人,博士,中级,工程师,研究方向：工程勘察,岩溶及矿山水文地质,堰塞湖灾害处置。