

酸性矿山排水及基于微生物的治理方法

程科^{1,2,3}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团榆林分公司, 陕西 榆林

³自然资源部退化及未利用土地整治重点实验室, 陕西 西安

Email: WangJian_soil@163.com

收稿日期: 2020年9月19日; 录用日期: 2020年10月13日; 发布日期: 2020年10月20日

摘要

采矿污染在全球范围内对生态环境构成了严峻挑战。酸性矿山排水由于其高浓度的硫酸盐含量和较低的pH值使其成为了采矿污染的主要污染之一。本文对矿产开采过程中形成的酸性矿山排水原因进行总结分析, 并阐述了酸性矿山排水的危害, 同时论述了针对酸性矿山排水基于微生物的一些治理方法, 为改善矿产开采环境, 解决矿山开采生态污染问题提供理论参考和科学依据。

关键词

酸性矿山排水, 微生物, 治理方法

Acid Mine Drainage and Microbial-Based Treatment Methods

Ke Cheng^{1,2,3}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Northwest Branch of Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Yulin Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Nature and Resources, Xi'an Shaanxi

Email: WangJian_soil@163.com

Received: Sep. 19th, 2020; accepted: Oct. 13th, 2020; published: Oct. 20th, 2020

Abstract

Mining pollution poses a severe challenge to the ecological environment on a global scale. Acidic mine drainage has become one of the main pollutions of mining pollution due to its high concen-

文章引用: 程科. 酸性矿山排水及基于微生物的治理方法[J]. 矿山工程, 2020, 8(4): 498-501.

DOI: 10.12677/me.2020.84064

tration of sulfate and low pH value. This article summarizes and analyzes the causes of acid mine drainage formed in the process of mining, and explains the harm of acid mine drainage. At the same time, it summarizes some domestic and foreign treatment methods for acid mine drainage based on microorganisms, which provides theoretical reference and scientific basis to improve the mining environment and solve the ecological pollution.

Keywords

Acid Mine Drainage, Microorganisms, Treatment Methods

Copyright © 2020 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

矿山开采会产生大量的固体和液体废弃物，矿山废弃物是一类不经济材料，包括岩石、沉积物、尾矿、焙烧的矿石或加工化学品等。估计每年的废物产生量约数十亿吨，而且由于需求量的日益增加和低品质的矿床开采，废物产量呈现指数增长趋势[1]。在对矿山开采缺乏严格管理的情况下，这些废弃物是造成环境污染的关键因素，尤其是由于存在剧毒污染物，例如铅，汞，砷和铀等放射性元素。许多重金属具有致癌性、细胞毒性和致基因突变性，对人体健康和环境保护构成了严重威胁[2]。

2. 酸性矿山排水的形成及危害

采矿业面临的一个主要环境问题就是酸性矿山排水(Acid Mine Drainage, AMD)。自然条件下许多金属会以硫化物形式存在，当硫化物与氧气和水接触时，会产生 AMD。尽管 AMD 是自然发生的，但采矿作业增加了硫化物与水、氧气和微生物的接触面积，加速了该过程[3]。

AMD 的主要特征是含有高浓度的硫酸盐和低 pH 值(一般低于 4)，由硫化物中的废料与氧气和水接触形成。AMD 如此低的 pH 值促进了金属离子的移动，增加了其在水中的扩散程度[4]。在矿山关闭后的数百年内，AMD 仍然可能产生，使地下水、溪流、湖泊或河口受到影响。尾矿除了是 AMD 的主要来源外，还含有大量颗粒性有毒金属，这些细小颗粒受到风力和水力的侵蚀，无法形成植被覆盖[5]。

3. 基于微生物的酸性矿山排水的治理

AMD 的治理在全球范围内对此进行了广泛研究。由于金属不可降解，在土壤中转化为毒性较小或溶解性较低的形式，或者可以通过沉淀从溶液中去掉。当前，考虑到废物量和长期处理的需求，通常采用化学或物理方法处理尾矿中的 AMD，成本高且效率较低[6]。

AMD 形成受多种因素控制，包括气候条件、尾矿的特征和微生物类型。因此，AMD 的处理方法较多样化。目前，大多数 AMD 都采用氢氧化物或石灰石沉淀法处理。但是，沉淀剂的成本可能会增加，且通常只会去除部分硫酸盐。利用微生物反应过程的生物处理，是替代物理化学方法的一种更经济、更环保的处理技术。

微生物对于地球上各类生命活动十分重要，具有较强的代谢活性，在生物圈中起着核心作用。微生物为养分、有机物和金属矿物质的生物地球化学循环做出了重要贡献[7]，其在金属氧化还原转化，甲基化或脱甲基化，有机金属络合物的形成等方面起关键作用，这可能会影响金属元素的迁移性和毒性[8]。

矿山开采导致的环境恶劣条件，矿山垃圾场中的植物生长通常非常有限。微生物具有促进植物在尾矿和污染的土壤上生长或将污染物固定在土壤中的能力。因此，对微生物群落的研究能够提供高效、可持续和生态友好的环保技术[9]。测序技术的飞速发展极大地加速了微生物学的研究进程，宏基因组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学等方法的使用无疑也提高了采矿环境中微生物研究工作的精密程度。

3.1. 依赖铁氧化的生物处理工艺

有氧湿地可以最大程度地促进铁的氧化物和氢氧化物沉淀所涉及的氧化反应。铁的氧化会导致酸度增加，此过程需要与另一个系统结合以提高 pH 值，例如缺氧石灰石排水。大多数有氧湿地都种植了大型植物，这些植物可作为微生物群落的栖息地，使水流减缓以增加停留时间。例如，芦苇具有将氧气从大气中转移到根际的能力，增强铁的氧化作用。氧气扩散是影响铁氧化重要因素。因此，梯田和瀑布也具有促进 AMD 自然衰减的作用。进一步研究微生物群落结构和其对处理效率的影响，可以改善需氧湿地的功效[10]。

3.2. 依靠硫酸盐还原的生物处理工艺

减少硫酸盐细菌的使用是处理 AMD 的一种行之有效的技术，并且如不同研究中所述，已经对该过程进行了许多研究[11]，该工艺能够去除金属元素，例如铜、铅、锌、镉、镍、铁和硫酸盐。因为微生物催化的反应产生碱度，这些系统可用于修复酸性 AMD。生物地球化学过程的基础是硫酸盐还原活动，该活动由有机碳为燃料的异养微生物群落介导或加速。湿地或生物反应器中充满了有机物，以促进硫酸盐还原细菌的生长和活性[12]。

4. 结论

历年来，采矿业及其加工行业产生了大量的固、液废弃物，引起了社会各界的广泛关注。针对 AMD 的排放及后处理问题，利用微生物反应过程的生物处理，是替代物理化学方法的一种更经济、更环保的处理技术，是矿产绿色开采，实现绿色可持续发展是一项重要突破。

参考文献

- [1] 何味. 矿山的固体废弃物资源化利用探讨[J]. 丝路视野, 2018(13): 171.
- [2] Nordberg, G.F., Fowler, B.A. and Nordberg, M. (Eds.) (2014) Handbook on the Toxicology of Metals. 4th Edition, Academic Press, Cambridge, p. 1381. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00001-9>
- [3] Simate, G.S. and Ndlovu, S. (2014) Acid Mine Drainage: Challenges and Opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1785-1803. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.07.021>
- [4] Humphries, M.S., McCarthy, T.S. and Pillay, L. (2017) Attenuation of Pollution Arising from Acid Mine Drainage by a Natural Wetland on the Witwatersrand. *South African Journal of Science*, 113, 1-9. <https://doi.org/10.17159/sajs.2017/20160237>
- [5] 林克明, 奉均衡, 朱南文. 污水土地处理存在的主要缺点及其解决方法[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(11): 76-80.
- [6] 姜薇. 重金属污染物在红壤中迁移规律及修复技术研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [7] Madsen, E.L. (2011) Microorganisms and Their Roles in Fundamental Biogeochemical Cycles. *Current Opinion in Biotechnology*, 22, 456-464. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.008>
- [8] 张怀静. 汞及部分重金属在长江口邻近海域中的迁移转化及其环境效应[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2016.
- [9] Ma, Y., Rajkumar, M., Zhang, C. and Freitas, H. (2016) Beneficial Role of Bacterial Endophytes in Heavy Metal Phytoremediation. *Journal of Environmental Management*, 174, 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.047>
- [10] Weber, K.P., Werker, A., Gehder, M., Senger, T. and Legge, R.L. (2010) Influence of the Microbial Community in the Treatment of Acidic Iron-Rich Water in Aerobic Wetland Mesocosms. *Bioremediation Journal*, 14, 28-37. <https://doi.org/10.1080/10889860903490219>
- [11] Li, X., Lan, S.M., Zhu, Z.P., Zhang, C., Zeng, G.M., Liu, Y.G., Cao, W.C., Song, B., Yang, H., Wang, S.F. and Wu,

S.H. (2018) The Bioenergetics Mechanisms and Applications of Sulfate-Reducing Bacteria in Remediation of Pollutants in Drainage: A Review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **158**, 162-170.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.025>

- [12] 王原. 珠江沉积物中 SRB 的群落结构、分离筛选和生理生化特性鉴定[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2013.