

MICP 技术在矿业领域研究进展与展望

李 玉 (山西新景矿煤业有限责任公司, 山西 阳泉 045000)

摘 要: 微生物诱导碳酸钙沉淀 (MICP) 是自然界广泛存在的一种生物诱导矿化作用, 也是近年来的研究热点, 涉及诸多领域。为全面了解该技术在矿业领域当中的作用, 本文基于文献调查, 归纳了该技术的现状, 并对该技术在矿业领域做出了展望, 主要得出以下几点结论: MICP 技术主要运用在固体废弃物处理和重金属离子修复; 该技术主要是在实验室尺度下完成目前的研究; 该技术在多个领域得到应用, 但尚未在矿业领域进行大规模实际运用。

关键词: 微生物诱导碳酸钙技术 (MICP); 矿业; 固体废弃物; 重金属离子修复

1 引言

微生物诱导碳酸钙沉积技术 (Microbial induced carbonate precipitation, MICP) 是指微生物通过其自身的生命活动, 与周围环境介质之间不断循环发生着矿化作用, 在碱性环境中, 当有钙盐出现时, 细菌能促使钙的沉淀, 钙的沉淀能促使周围环境发生物理变化。早 1889 年 Murray 和 Irvine 等^[1]就研究了碳酸钙得到沉积的课题。在目前已有的研究中, MICP 技术被广泛应用于土木工程、生态修复、环境保护、文物修复, 固体废弃物利用等方面。

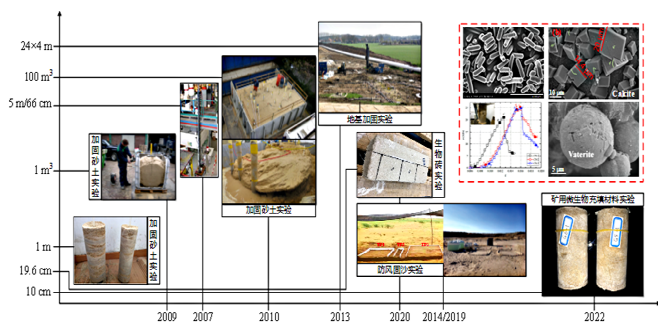


图 1 MICP 技术的应用实例

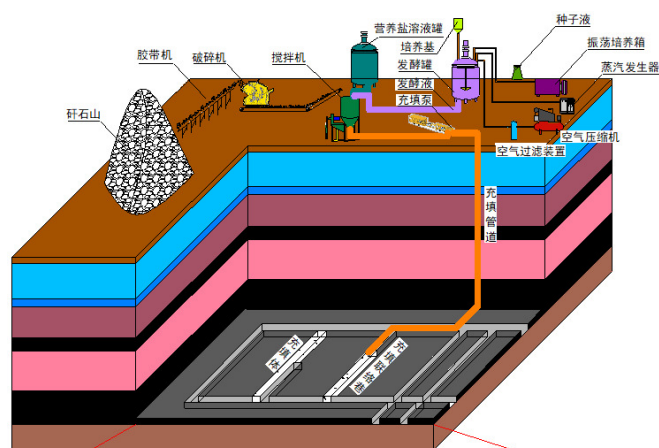
矿业领域在近年来也顺应时代发展, 开始了许多采矿之外的研究, 包括煤矸石等固体废弃物利用, 尾矿等重金属离子修复, 矸石山生态修复, 露天边坡尾矿库坝体加固等。MICP 技术是新思路、新方法、新技术。本文总结并分析 MICP 技术在矿业领域中的研究进展并做出展望。

2 矿业领域中的应用现状

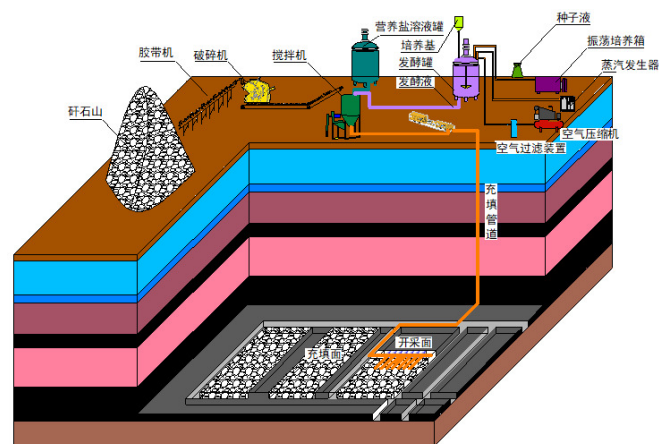
2.1 固体废弃物处理

MICP 技术在固体废弃物研究较多。Oliveira 等^[2]通过对铜矿尾砂的微生物处理, 发现 MICP 技术并不适合尾矿这种细小的颗粒。Liu 等^[3]采用 MICP 技术

对成熟细粒尾矿进行压缩性和渗透性研究, 研究结果表明 MICP 技术可以加速尾矿的脱水过程。



(a) 巷式拌和型微生物胶结充填开采

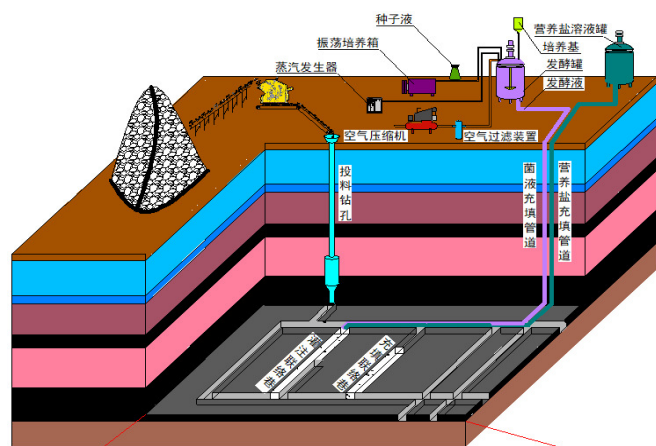


(b) 壁式拌和型微生物胶结充填开采

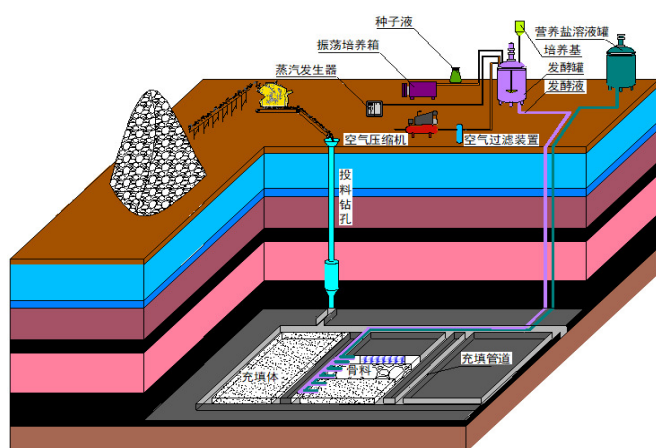
图 2 拌和型微生物胶结充填开采思路

中国矿业大学 (北京) 邓雪杰团队等^[4-5]提出了采用 MICP 技术制备煤矿用微生物胶结充填材料, 有

拌和型、灌注型和浸泡型微生物胶结充填材料。针对这三种微生物胶结充填材料的力学特性进行研究,最高强度分别可达 1.2MPa、25.12MPa 和 12.88MPa。同时提出了拌和型微生物胶结充填开采方法和灌注型微生物胶结充填开采方法。



(a) 巷式拌和型微生物胶结充填开采



(b) 壁式拌和型微生物胶结充填开采

图 3 灌注型微生物胶结充填开采思路

张强等^[6]提出了微生物改性充填采煤方法。李猛等^[7]提出使用微生物矿化后的新型充填材料支撑采矿区,实现固废大宗处理。

严希海^[8]等提出了用钙基壳聚糖溶液和尿素-钙基壳聚糖溶液制备煤矿用微生物胶结充填材料。西安交通大学王剑云^[9]通过将煤矸石在芽孢杆菌菌液和矿化处理液中浸泡得到改性材料,有效固定重金属离子和实现煤矸石的大宗利用。

2.2 尾矿重金属离子修复

尾矿是矿山进行矿石选别后排出固体废弃物,其

中含有对环境有害的重金属离子。MICP 作为一种新型的有毒金属生物修复技术,正逐渐成为研究热点。黄小松等^[10]采用拌和法去除高浓度重金属离子;王继勇等^[11]用从土壤中分离出的产脲酶菌去除污染水中的 Cd^{2+} ;张道勇^[12]利用纺锤形赖氨酸芽孢杆菌和生石灰矿化固定尾矿重金属离子(铅、铜、锌和镍)。

东南大学钱春香团队是国内最早提出生物原位矿化技术固结重金属形成矿化物,其团队成员王明明等^[13]通过选取一种菌株分解 PO_4^{4-} 产生可以成功固结 Zn^{2+} 使其成为结晶态的磷酸盐;其团队成员王瑞兴等^[14]通过选取一种土壤菌分解 CO_3^{2-} 产生可以成功固结 Cd、Cu、Pb 等,去除率达 50%~70%。

2.3 其他应用

在抑制煤尘方面,利用 MICP 可以制备煤尘抑尘剂从而降低煤尘污染,减少煤尘对健康、安全、环境有负面影响。王和堂等^[15]利用枯草芽孢杆菌、宋文娟^[16]利用琥珀葡萄球菌以及山东科技大学赵艳云^[17]等利用产脲酶细菌研究了生物抑尘剂用来抑制煤尘。时国庆等^[18]采用细菌溶液与 CaCl_2 -尿素溶液体积比为 1:1,体积比为 0.6mol/L 时,煤尘抑尘效果最佳。

张嘉睿等^[19]基于 MICP 方式使用巨大芽孢杆菌对采煤下行裂隙试样进行修复加固,研究表明低浓度菌液对土体裂隙的修复能力弱于高浓度菌液。

糜棱煤由于其粒径小,强度低,易发生煤与瓦斯突出。沈昊洋^[20]研究了 MICP 技术固化糜棱煤,研究表明固化后的试件强度明显提升。

温州大学於孝牛^[21]采用脲酶溶液与尿素、钙盐混合后注入煤柱中,可以实现加固煤柱,提高支撑能力,增大开采面积的目的。

李珠^[22]采用煤矸石和垃圾焚烧飞灰等制备获得多种微生物煤矸石煤泥建材制品,包括煤矸石煤泥混凝土、煤矸石煤泥砌块和煤矸石煤泥透水砖,制备方法绿色无污染,固废利用率高,具有良好的环境效益。

3 结论与展望

MICP 技术作为新兴技术与交叉学科领域中的热门焦点,对矿业领域有很好的应用前景。

利用 MICP 技术可以胜任矿业领域中的多项任务,如图 4 所示,例如胶结充填材料、尾矿库防渗、矸石山/污染土壤修复、露天矿边坡加固、大型固废处理、新型建筑材料等。

建议在以下方向开展 MICP 矿业领域后续研究:

①新材料的耐久性、耐腐蚀性、是否影响原有生

态环境等;

②大型试验的设计与实践,从实验室尺度到工业尺度;

③深入研究 MICP 固结机理与均匀性、尺寸效应。由于采矿学和微生物学是两门难度都很大、距离却很远的科学, MICP 改良土体科研开展难度大,组建学科组成合理的多学科团队至关重要。

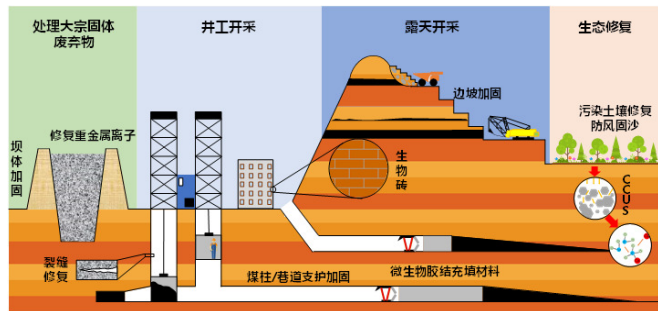


图4 利用 MICP 技术可以胜任矿业领域中的多项任务

参考文献:

- [1] Murray J, Irvine R. On Coral Reefs and other Carbonate of Lime Formations in Modern Seas[J]. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 2014(17):79-109.
- [2] De Oliveira D, Horn E J, Randall D G. Copper mine tailings valorization using microbial induced calcium carbonate precipitation[J]. J Environ Manage, 2021, 29(8):113.
- [3] Liu Q, Montoya B M, M. Asce. Experimental Study of Consolidation Behavior of Mature Fine Tailings Treated with Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation[J]. Geo-Congress, 2020, 3(20):196-204.
- [4] Deng X, Zongxuan Y, Yu L, Hao L, Jianye F, Benjamin D W. Experimental study on the mechanical properties of microbial mixed backfill[J]. Construction and Building Materials, 2020, 26(5):120.
- [5] 邓雪杰, 程晓辉, 郭红仙. 一种煤矿用微生物胶结充填材料及其制备方法: 中国, CN108975787B[P]. 2020-09-01.
- [6] 张强, 张吉雄, 齐文跃, 李猛, 孙凯. 一种微生物改性充填采煤方法: 中国, CN108035769.B[P]. 2019-04-02.
- [7] 李猛, 张吉雄, 郭仕婕, 王赵君, 万子豪, 戚盛名. 一种矿山微生物矿化充填材料制备系统: 中国, CN111912684.A[P]. 2020-11-10.
- [8] 严希海, 严谨. 一种煤矿用微生物胶结充填材料及其制备方法: 中国, CN111635178.A[P]. 2020-09-08.
- [9] 王剑云, 张芮, 高瑞晓, 马金虎. 一种基于微生物诱导技术改性煤矸石骨料的方法: 中国, CN113185170.A[P]. 2021-07-30.
- [10] 黄小松, 章荣军, 崔明娟, 等. 巴氏芽孢杆菌生物修复重金属污染溶液试验研究[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2021, 44(03):160-167.
- [11] 王继勇, 陈加立, 杨子陆, 等. 一株产脲酶菌株的分离及其对 Dd^{2+} 的去除研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(8):2911-2917.
- [12] 张道勇, 王文艺, 王潇男, 潘响亮. 一种利用纺锤形赖氨酸芽孢杆菌和生石灰矿化固定尾矿重金属的方法: 中国, CN111534689.A[P]. 2020-08-14.
- [13] 王明明, 钱春香. 磷酸盐矿化菌矿化重金属离子 Zn^{2+} 的研究[J]. 功能材料, 2013, 3(44):393-395.
- [14] 王瑞兴, 钱春香, 吴森, 等. 微生物矿化固结土壤中重金属研究[J]. 功能材料, 2007, 9(38):1523-1526.
- [15] 王和堂, 贺胜, 章琦, 等. 微生物发酵法合成生物抑尘剂的试验研究[J]. 煤炭学报, 2021, 46(2):477-488.
- [16] Song W, Yang Y, Qi R, Li J, Pan X. Suppression of coal dust by microbially induced carbonate precipitation using *Staphylococcus succinus*[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2019, 26(35):35968-35977.
- [17] Fan Y, Hu X, Zhao Y, Wu M, Wang S, Wang P, Xue Y, Zhu S. Urease producing microorganisms for coal dust suppression isolated from coal: Characterization and comparative study[J]. Advanced Powder Technology, 2020, 31(9):4095-4106.
- [18] Shi G, Qi J, Wang Y, Liu S. Experimental study on the prevention of coal mine dust with biological dust suppressant[J]. Powder Technology, 2021, 39(1):162-172.
- [19] 张嘉睿, 李涛, 夏玉成, 等. 基于 MICP 方法固化采煤下行裂隙土体力学特性试验研究[J]. 煤矿安全, 2021, 52(9):64-70.
- [20] 沈昊洋. 基于微生物诱导碳酸钙沉淀技术的破碎煤体固化试验研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2021.
- [21] 於孝牛. 一种脲酶微生物矿化加固煤柱的方法: 中国, CN111396052.A[P]. 2020-07-10.
- [22] 李珠, 贾冠华, 姜鲁. 微生物煤矸石煤泥建材及其制造方法: 中国, CN110963773.A[P]. 2020-04-07.