

微生物选矿药剂的应用研究现状及发展方向

杨慧芬,张强,王化军

(北京科技大学资源工程学院,北京 100083)

摘要:本文综述了微生物作为选矿药剂应用的基础,概括了微生物选矿药剂的国内外研究现状,提出了微生物选矿药剂的研究方向。

关键词:微生物;选矿药剂

中图分类号:TD925.5 文献标识码:A 文章编号:1000-6532(2001)01-0032-05

1 微生物作为选矿药剂应用的基础

微生物是指一切肉眼看不见或看不清的所有微小生物,在自然界分布极广,土壤、空气、水、物体表面、生物体表面及内部均有微生物的分布。

微生物生命活动的基本特征就是吸附生长^[1,2],如土壤中的微生物绝大部分吸附生长在矿物质或有机质表面;人体皮肤、粘膜及一切与外界环境接触的腔道如口腔等经常吸附生长着大量微生物,仅人体肠道中就经常居住着 100~400 种不同的微生物^[3]。微生物在物体表面的吸附生长,必然会以其本身或代谢产物性质影响和改变被吸附物体的表面性质如表面元素的氧化还原性、溶解沉降性、电性及润湿性等。微生物吸附改变物体表面性质的特点使人们自然联想到利用微生物在矿物表面的吸附影响和改变矿物表面性质的可能性。

一般,微生物表面都是带电的,但不同的微生物表面带电量及电性不同,通常革兰氏阳性菌的等电点为 pH2~3,革兰氏阴性菌的等电点为 pH4~5^[4]。微生物表面不但带电,还具有不同程度的润湿性。微生物表面的润

湿性主要取决于微生物表面脂肪酸基等疏水基团所占面积与表面亲水区面积之比。比值大,则微生物表面的疏水性强,比值小,则微生物表面的亲水性强。表 1 示出某些微生物的电性和润湿性数值^[5]。

表 1 某些微生物的电性和润湿性数值

微生物	电泳迁移率 ($\mu\text{m}/(\text{S} \cdot \text{V} \cdot \text{cm})^{-1}$)	接触角/ $^{\circ}$
大肠杆菌 NCTC9002	-0.42	15.7±1.2
假单孢菌属特种菌株 52	-2.67	19.0±1.0
荧光假单孢菌	-2.36	21.2±1.5
硫杆菌类 Versutus	-2.97	26.8±0.8
土壤细菌类单体	-1.08	37.0±0.9
恶臭假单孢菌	-1.60	38.5±1.0
土壤杆菌放射细菌	-1.48	44.1±0.5
藤黄色微球菌	-1.62	44.7±0.9
棒状杆菌特种菌株 125	-3.07	70.0±3.0
草分支杆菌	-3.09	70.0±5.0

从表 1 可知:不同的微生物,其表面的电性和润湿性都是不同的,有的甚至相差很大,如草分支杆菌和棒状杆菌特种菌株 125 表面不但具有较高的负电性,也具有较高的疏水性;假单孢菌属特种菌株 52、硫杆菌类 Versutus 及荧光假单孢菌则负电性较高,疏水性较差;而大肠杆菌 NCTC9002 则是一种亲水

性较强,负电性较低的微生物。按照电性原则,如果无特性吸附存在,只要微生物表面的电性和矿物表面的电性有助于微生物在矿物表面吸附,微生物必定能吸附于矿物表面,并以它本身的性质调整和改变矿物表面的润湿性。如果微生物能在矿物表面吸附,不但可减少矿物表面净电荷,还可通过矿物表面净电荷的减少,调节矿物的抑制、活化、分散和絮凝等状态,这种微生物就可充当矿物调整剂使用。如果吸附于矿物表面的微生物,本身具有疏水性,则在中和或改变矿物表面电性的同时,还可改变矿物表面疏水性,这种微生物就可作为矿物捕收剂使用。疏水微生物在微细粒矿物表面吸附还可导致微细粒矿物形成疏水聚团而浮选。因此可以推断,草分支杆菌和棒状杆菌特种菌株 125 可作为捕收剂或微细粒矿物疏水絮凝剂使用;假单孢菌属特种菌株 52、硫杆菌类 *Versutus* 及荧光假单孢菌则可作为矿物调整剂或絮凝剂使用;大肠杆菌 NCTC9002 则可作为分散剂使用。

有人估计,目前人类所了解的微生物种类,至多不超过生活在自然界中微生物总数的 10%,在已发现的微生物总数中,人类至多只开发利用了 1%^[3],可见微生物资源是极其丰富的,可用作选矿药剂使用的微生物也远不止表 1 所列那些,自然界还有许许多多可作为选矿药剂使用的微生物等待着人类去发现和进行应用研究。

微生物要作为选矿药剂使用,它在矿物表面的吸附必须达到一定的数量,如果不能达到一定的数量要求,它作为选矿药剂的应用就无从谈起。微生物单位体积的表面积很大,如每 cm^3 体积的葡萄球菌表面积为 6 万 cm^2 ,巨大的表面积有利于它吸收营养,排泄代谢产物,接受环境信息,因而微生物繁殖速度很快,代谢异常活跃,适应环境能力特强。在适宜的人工培育条件下,多数微生物每 15~20min 分裂一次,它在生命活动过程中还会产生大量代谢产物,这使得获得一定数量

的微生物及其代谢产物,并使微生物大规模工业利用成为可能。微生物适应环境能力强的特点为人类驯化培养高效、特效微生物提供了可能。

综上所述,微生物在物体表面吸附生长并以本身特有的性质影响和改变被吸附物体表面性质的作用类似于选矿药剂在矿物表面吸附调整和改变矿物表面性质的作用。另外,微生物分布的广泛性、微生物的可培养性和可驯化性等特点使得人类获得所需品种、所需数量的微生物选矿药剂成为可能,因此,微生物可作为选矿药剂使用。在这方面开展一些研究,必定会影响和改变我国目前的选矿现状,获得巨大的经济和环境效益。

2 微生物作为选矿药剂应用的研究现状

目前,微生物就地浸出低品位金属硫化矿的应用已经工业化,利用微生物去除化工和矿业废水中重金属离子的应用也已接近工业化。而微生物作为选矿药剂的应用研究相对较少,国外近 10 年才开始进行广泛而创造性的研究工作,正在进行研究的项目包括微生物絮凝剂、浮选捕收剂和浮选调整剂等,已取得不少令人鼓舞的实验室研究成果,工业应用则较少见报道。国内在微生物浮选调整剂方面进行了较多的实验室研究,但作为捕收剂的应用研究尚未见报道。

2.1 微生物絮凝剂的研究现状

人们发现,许多带电量较高的微生物,如浮游藻类等,都有可能选择性地吸附到矿物表面,改变矿物表面电性而使矿粒互相絮凝沉降。带电量较高、疏水性也较强的微生物如草分枝杆菌等,吸附于矿物表面不但使矿物絮凝沉降速度加快,得到的絮团也更紧密。据报道^[6],用微生物絮凝矿物的研究工作最早开始于 1960 年,Gary 等人 1963 年报道了他们用细菌和菌纲絮凝佛罗里达磷灰石粘土矿的研究工作。Bernstein 在 1972 年报道了用

赖氨酸细胞作为有机和无机废料絮凝剂的研究工作。在 80 年代中期又有许多研究者报道了用细菌、菌纲、蓝藻等微生物从悬浮液中絮凝矿物的研究工作。Schneider 等人 1994 年报道了用酵母念珠菌及其衍生物絮凝细粒赤铁矿、方解石和高岭土悬浮液的研究工作。

美国雷诺大学的 M. Misra 等人^[7]1991 年报道了草分枝杆菌絮凝赤铁矿、煤、磷灰石细泥的情况。研究表明,草分枝杆菌对所试验的三种矿物都具有良好的絮凝作用。在絮凝磷灰石细泥时,加入草分枝杆菌后 4min,其中的磷灰石细泥就得到大量沉降,而不加时,磷灰石细泥沉降 46min 仍未获得同样的沉降量。草分枝杆菌加入量越多,磷灰石细泥的絮凝沉降速度越快;絮凝赤铁矿时,加入草分枝杆菌 4min,其中的赤铁矿也得到大量沉降,未加时,沉降 30min 仍未获得同样效果,并发现,当沉降体系 pH 为 3 左右时,获得的赤铁矿絮团含水最少,絮凝效果最好,在 pH 中性左右,草分枝杆菌只对体系中的赤铁矿有絮凝作用,而对其中的石英却无絮凝作用;在絮凝煤时,发现草分枝杆菌能选择性地从灰分和黄铁矿中絮凝煤,85% 以上的黄铁矿型硫可通过草分枝杆菌的选择性絮凝去除。

M. Misra 等人^[8]1991 年还报道了草分枝杆菌絮凝油母页岩的研究。油母页岩是一种含油的细粒岩石,其中的有用成分有机碳嵌布粒度很细,必须细磨至 $10\mu\text{m}$ 以下才能用浮选柱有效分离。浮选柱得到的精矿,浓度很低,粒度很细,难以过滤。加入草分枝杆菌后,能使浮选柱精矿在 pH3~4 范围内得到迅速絮凝和沉降,5min 内 87% 的精矿得到沉降;不加草分枝杆菌时,5min 只能沉降得到 40% 的精矿。经草分支杆菌絮凝得到的精矿,过滤脱水效果明显改善,10min 可脱水 77%,而未经草分枝杆菌絮凝的精矿,10min 只能脱除 60% 的水分。

国内未见微生物作为矿物絮凝剂的应用研究报道,只见邓述波等人^[9]报道了一篇有

关微生物絮凝剂的综述性文章。

2.2 微生物浮选捕收剂的研究现状

J. Dubel 等人^[10]报道了草分枝杆菌作为赤铁矿捕收剂的研究工作。他们用草分枝杆菌分别对 $-52+20\mu\text{m}$ 和 $-20\mu\text{m}$ 两种粒级的赤铁矿进行了浮选试验研究。研究表明, $-52+20\mu\text{m}$ 粒级赤铁矿,浮选回收率随草分枝杆菌浓度增大而增大,而 $-20\mu\text{m}$ 粒级赤铁矿,草分枝杆菌浓度过大会导致形成过大的赤铁矿疏水絮团而降低浮选回收率。研究还发现,经草分枝杆菌浮选得到的赤铁矿精矿,沉降速度和过滤速度得到了极大的提高。

G. A. Bala 等人^[11]报道了地衣芽孢杆菌产生的代谢产物浮选原油的研究工作。地衣芽孢杆菌在适当培养液中会产生石油磺酸钠类型的表面活性剂,这种表面活性剂会降低油和盐类物质之间的界面张力,使油充分分散并溶解在水相中,借此可提高原油的回收率。Solozhenkin 等人^[12]报道了利用酵母菌产生的表面活性剂浮选磷灰石、白钨矿及方解石,利用显微菌产生的类脂化合物浮选萤石、天青石、铬铁矿及铁钨锰矿的研究,结果表明,微生物代谢产物的浮选效果较常规捕收剂好,如用显微菌代谢产物捕收磷灰石—辉石体系的磷灰石,不仅选择性好,还可使磷灰石回收率较常规高 12%。

国内有关微生物捕收剂的研究及应用尚未见报道。

2.3 微生物调整剂的研究现状

研究应用较多的微生物调整剂是氧化亚铁硫杆菌,如在煤的浮选中,常用它氧化抑制其中的黄铁矿,砷、铋矿浮选时也常用它氧化抑制其中的硫化矿,目前这一研究已引起国内外有关学者的广泛关注,有关报道相对较多。Atkin 等人^[13]报道了利用氧化亚铁硫杆菌氧化抑制煤中黄铁矿的研究,结果表明,若煤充分解理,其中的黄铁矿可得到较好的抑制。Attia 等人^[14]报道了氧化亚铁硫杆菌氧化抑制美国细磨高硫煤(-200 目)的研究,

结果表明,预先用黄铁矿驯化培养的氧化亚铁硫杆菌可提高对黄铁矿的抑制率,预处理 10min,黄铁矿的脱除率可达 80%~90%。Capes 等人^[15]报道了在 pH>5 时,氧化亚铁硫杆菌抑制煤中黄铁矿的研究,黄铁矿的脱除率达到 90%以上。S. K. Kawatra 等人^[16]发现,酵母菌在酸性条件下可抑制黄铁矿的可浮性,但在中性条件下对煤和黄铁矿的抑制无选择性。

国内王军等人^[17]报道了经不同驯化培养的氧化亚铁硫杆菌在不同条件下对黄铁矿的氧化抑制效果及氧化抑制规律。张明旭等人^[17]报道了用氧化亚铁硫杆菌等抑制煤中黄铁矿的试验研究。

微生物解析矿物表面捕收剂的研究工作国外也有报道。Z. Sadowski 等人报道了利用黑曲霉代谢产物解析重晶石、方解石和菱镁矿物表面油酸钠的研究,研究表明,黑曲霉代谢产物对这三种矿物表面油酸钠有选择性的解析作用,它能引起重晶石和方解石表面油酸钠的解析,对菱镁矿表面油酸钠则几乎无解析作用。

3 微生物选矿药剂的应用研究方向

微生物选矿药剂的应用研究,已取得了一些令人鼓舞的实验室研究成果,为它今后在工业上的实际应用展示了美好的前景,但它离大规模工业应用还有相当长的一段距离,目前仍然有大量的基础研究和应用研究必须进行,主要如下:

(1)微生物表面化学性质研究,尤其是微生物表面电性和疏水性的研究。筛选微生物选矿药剂的依据之一就是微生物表面的化学性质。目前,这方面的研究比较薄弱,筛选所需微生物的难度较大。加强这方面的研究,定能促进微生物选矿药剂的应用研究。

(2)微生物与矿物表面作用机理研究。阐明微生物与矿物表面之间的主要作用力。

(3)微生物培养方法研究。利用驯化培养

等技术培养高效、特性微生物选矿药剂。

(4)降低微生物培养成本。利用制药、食品等工业有机废料作为微生物培养基成分是降低微生物培养成本的切实可行的措施。

(5)加强微生物选矿药剂的工业应用研究,尤其要加强价廉、高效、适应性强、利于包装、便于使用的无害微生物选矿药剂的工业应用研究。这方面的研究,可能是促进微生物选矿药剂工业应用的重要前提。

〔主要参考文献〕

- 1 Daniels, S. L., The Adsorption of Microorganisms onto Solid Surfaces: A Review, Dev. in Indust. Microbiol., 13, 211~253, 1972
- 2 Daniels, S. L., Mechanisms Involved in Sorption of Solid Surfaces, Adsorption of Microorganisms to Surfaces, eds. Britton, G. and Marshall K C, John Wiley and Sons, 7~58, 1980
- 3 周德庆编著. 微生物学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996. 4
- 4 杨履渭主编. 微生物学及检验技术[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1992. 4
- 5 R. W. Smith et al, Mineral Bioprocessing, An Overview, Mineral Bioprocessing, pp. 3~17, 1991
- 6 R. W. Smith et al, Microorganisms in Mineral Processing, 《Proceedings of the XIX IMPC》Chapter 16, 87~90, 1995
- 7 M. Misra et al, Bioflocculation of finely divided minerals Bioprocessing, pp. 90~103, 1991
- 8 M. Misra et al, Kerogen Aggregation using a Hydrophobic Bacterium, Minerals Bioprocessing, pp. 133~140, 1991
- 9 邓述波, 等. 微生物絮凝剂的研究和应用[J]. 国外金属矿选矿, 1998(1)
- 10 J. Dubel et al, Microorganisms as chemical reagents: the hematite system, Minerals Engineering, vol. 5, pp. 547~556, 1992
- 11 G. A. Bala et al, Surfactant Based Microbial Enhanced Oil Recovery, Mineral Bioprocessing, pp. 121~131, 1991
- 12 Solozhenkin et al, Microorganisms and flotation, TSVETNYE METALLY 7, 20~23, July

- 1998
- 13 A. S. Atkin et al, A study of the suppression of pyrite sulphur in coal froth flotation by T. ferrooxidans. Coal Preparation, 1987, 5: 1~13
- 14 Y. A. Attia et al, Coal slurries desulphurization by froth flotation using T. f bacteria for pyrite depression. Coal Preparation. 1987, 5: 15~37
- 15 C. E. Capes et al, Hydrometallurgy, 1986, 15: 325~334
- 16 S. K. Kawatra et al, Depression of pyrite

flotation by Microorganism as a function of pH, Proc of Processing and Utilization High-sulfur Coals. Elsevier Scientific Publishers, 1993: 139~147

- 17 王军,等. 细菌对硫化矿可浮性的影响[J]. 国外金属矿选矿, 1996(5)
- 18 张明旭. 利用微生物调整表面强化煤炭中细粒黄铁矿的脱硫技术[J]. 国外金属矿选矿, 1997(8)

The Present Situation of Applied Research on Microbe Mineral Processing Reagents and Development Direction

YANG Hui-fen, ZHANG Qiang, WANG Hua-jun

(Beijing University of Science and Technology, Beijing, China)

Abstract: The base of using microbe as the mineral processing reagents was summarized in this paper. The Present situation of applied research on microbe mineral processing reagents in domestic and abroad was briefly evaluated. And the research direction of the microbe mineral processing reagents is proposed.

Key words: Present situation; Research direction; Microbe mineral processing reagent

收稿日期: 2000-01-08

作者简况: 杨慧芬(1954—), 女, 南方冶金学院资源系副教授, 硕士生导师。主要从事矿物加工工程的教学与科研工作