

12-14

微生物地质技术及其应用前景

p 618.5/10.8

关广岳

(东北大学资源微生物技术研究中心·沈阳市)



图 1 微生物地质技术

作为生物技术的一个重要分枝的微生物技术是人类通过实践所掌握的最古老的技术,迄今已有 4000~5000 年的历史,诸如酿酒、发酵、制造醋酱、沤制家肥等均属之。目前微生物技术在食品、医药、化工、能源等工业部门以及农业上的应用极其广泛,具有很大的影响,创造了可观的经济和社会效益。在矿物资源开发和利用领域内微生物技术的应用却屈指可数。在国外,铜、金矿床的细菌堆浸,坑内保安矿柱的回采,尾矿处理等均有微生物技术的参与。美国细菌堆浸生产的铜约占有全国产量的 10% 左右,高砷金矿石的细菌堆浸在南非已投入生产。此外,在降低原油稠度、改善矿物材料纯度等方面都取得了较好效果和成功的经验。在我国资源微生物技术的研究和应用起步较晚,仍停留在实验室阶段,从事这方面工作的人员数量很少。东北大学这个研究中心建立于 1992 年,经过近两年的努力已建成初具规模的微生物实验室,基本能承担有关资源微生物处理方面的实验研究工作,现在国家自然科学基金、国家教委博士点基金、冶金部和省、市科委等资助的 7~8 个项目正在中心进行,涉及到金、铜、锰、石油等矿产的加工和清除杂质等课题。

微生物地质技术是指微生物系统或微生物过程在矿物资源(包括金属、非金属、能源、放射性、水等)的生成、开采和加工领域的应用,是横跨生物、地学、采矿、选矿、冶金材料

等学科的综合技术。东北大学早在 60 年代初期就曾从事过铜矿石的细菌浸出试验,并进行了半工业性试验。80 年代后期在对长江中下游“铁帽型”金矿床地球化学研究过程,对微生物在含金硫化物矿床次生氧化机制的研究中,多次进行了微生物的氧化试验,以后陆续在金牙、高隆微细粒金矿床的氧化带的研究中进行了相似的试验,取得了较好的效果,对氧化过程中微生物的催化作用有了明确的认识,同时意识到这种技术将会在资源工业中发挥越来越大的效益。

微生物的演化与动物界和植物界不同之处在于经历了近 30 亿年的漫长时间,仍是保持着微小的体型和简单的构造,多数球菌直径为 $1\mu\text{m}$,杆菌则长 $2\sim 5\mu\text{m}$,宽 $0.3\sim 1\mu\text{m}$ 。从古老岩层(如 Gunflint 含铁建造等)中发现了与现代原核生物完全一样的微化石表明微生物的进化是一种加成过程(additional process),而非置换过程(replacement process)。这是因为微生物的生命机能在于通过细胞膜的渗透作用,以吸收的方式将营养物质纳入体内。它们的摄取营养的形式主要可分为:光能自养型、光能异养型、化能自养型和化能异养型 4 种。依靠吸收和分解环境物质来维持生活必然要求机体构造与周围环境的接触面积要大,所以微生物只能保持微小的体型以增大表面积,不但对吸收营养有利,而且可以扩大寄生和获食的范围,造成繁殖力强和流动性大的特点,做到“无孔不入”,真是无所不在。

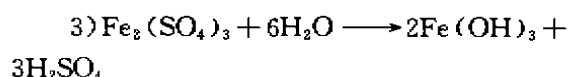
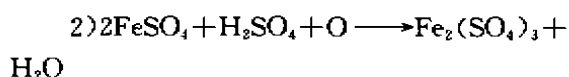
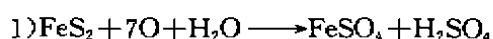
生物氧化作用与非生物氧化(化学氧化)

本文 1994 年 9 月收到,侯庆有编辑。

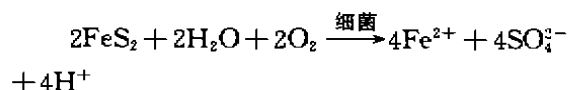
和燃烧作用的本质是相同的,都是脱氢、失去电子或与氧直接化合的过程。氧化过程总是伴随着能量的释放,生物氧化是在一系列酶、辅酶和中间传递体的作用下分步进行的,因此能量的释放也是分步的,这样不会由于能量的骤然释放而损害肌体。同时,能量可以得到充分地利用,这是生物化学反应与化学反应的本质区别。生物氧化过程中能量是贮存在具高能磷酸键原的 ATP(三磷酸腺苷)中,根据反应的需要随存随取,所以生物氧化又称为氧化磷酸化作用。生物氧化实质上是酶的催化作用,其催化效率极高,反应效率比一般催化剂要高出 $10^6 \sim 10^{13}$ 倍。酶的一个重要特点就是高度专一性,酶对底物有严格的选择性,一种酶只能作用一种化合物(底物)和一定的反应。

微生物地质技术所选取的细菌主要是化能自养型菌种,目前研究得最多,对金属矿物应用得最广的细菌当属: *Thiobacillus Leptospirillum* 属, *Sulfobacillus* 属等,其中 *Thiobacillus ferrooxidans* 是以铁、硫为营养品,从而积累能量,固定 CO_2 并将之转化为葡萄糖,来维持自身的生命活动。

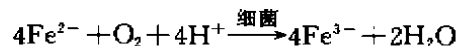
通过微生物对硫化物的氧化作用试验及机制研究,我们发现教科书中对氧化带的传统观点有不妥之处,仅以 FeS_2 的氧化反应为例,传统反应步骤(据矿床教科书):



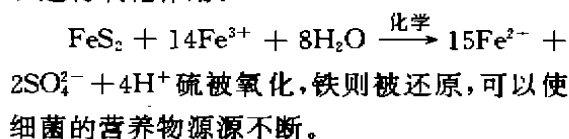
事实上,这几种生成物都是不同 pH 和 Eh 条件下的产物,铁的硫酸盐是酸性环境中稳定物质,铁的氧化物则为中—弱碱性环境,因此,在酸性条件下 Fe^{2+} 是很稳定的,当 $\text{pH} = 2.5$ 时,即使有氧存在也不会沉淀下来,微生物参与下将发生生物化学与化学的综合反应,仍以黄铁矿为例:



显示出 Fe、S 的氧化不是同步的,而是 $\text{S}^{2-} \rightarrow \text{S}^{6+}$ 先发生, Fe^{2+} 仍保持不变,成离子状态溶于水中,这时水溶液为酸性, Fe^{2+} 是稳定的。



铁开始氧化由 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e$, 以上两种反应均为细菌生命活动(以 S、Fe 为食物)的必然结果。在酸性溶液中 Fe^{3+} 稳定并对黄铁矿进行氧化作用:



因此, Fe^{3+} 是强氧化剂,并且在总的氧化进程中有还原反应出现,这种相得益彰地生物化学与化学反应的配合,一方面使细菌有足够的营养品,一方面加速了氧化反应速率,它们之间的配合何等巧妙、和谐,真是天衣无缝。

通过微生物成矿试验,我们认为除去极大地加快氧化速率外,还将极大地增大氧化强度,使得原生矿石改造得更加彻底。对含金硫化物矿石来说,经过氧化作用出现以下几点重大变化:①矿石的品位提高了,可以形成具开采价值的独立矿床;②矿石的质量提高了,由于清除了有害杂质(如 As、S 等),有效地减轻矿石加工过程中对环境造成的污染和将“呆矿”变为可采矿;③金矿物的颗粒加大,显微金变成细粒甚至中粒金,有利于分选工作;④金矿物的成色提高了,原生银金矿会变为次生自然金,甚至纯金。对铁、锰矿床也有类似的变化,原生 BIF 变成次生风化淋滤型富矿石,不能利用的高磷碳酸锰矿石变成次生优质氧化锰矿石的例子是普遍性的,有目共睹的。但是对这些氧化带或风化壳的研究中几乎都忽视了微生物的作用,显然这是不公平的。维尔纳茨基说得好:“在地球表面

不存在比整个活的有机体更经常地起作用,因而就其最终结果来说是更强大的化学力。我们越研究生物圈的化学现象就越坚信,在地球上不存在不依赖于生命的事件。”目前我们正在研究的碳酸锰矿床氧化机制和微生物脱磷的课题,已取得初步成果,最重要的就是在国内首先在广西湖润锰矿石中分离出对锰氧化最有效的菌种。据我们了解中国科学院微生物研究所和生态研究所都没有接触过这个菌种,现在正在培养和进行相应的试验。

微生物地质技术具有很大的潜在实际意义,除理论上某些突破外,还将获得较大的经济效益。这种集认识世界与改造世界于一体,在模拟自然界氧化成矿过程的基础上,对某些难选矿石进行微生物氧化处理,变缓慢的开放成矿系统为快速的人工选冶系统,都是矿物的分离和聚集过程,或者叫“群分”或“类聚”。这种将基础研究与开发应用结合、机理与工艺并举、自然系统与人工系统互补的跨

学科的综合,虽然被认为有些不伦不类,甚至视为畏途,我们的试验表明这似乎是一种学科发展的必然趋向。有鉴于此,东北大学资源微生物技术研究中心就吸收了微生物、地质、选矿等方面的青年学者从事这方面的研究和开发工作,还与中国科学院微生物研究所、生态研究所等一些专家有密切交往,这里不分主次,有关课题均可以在实验室里工作。目前正在集中力量解决原生碳酸锰矿的氧化机制和微生物脱磷这个重要课题,以及石油、煤炭、化工等领域的一些项目,培养了一批博士生和硕士生。起步是很困难的,也走了不少弯路,取得了不少经验,“千里之行,始于足下,”这一步我们自己认为是迈对了,这个方向正在引起越来越多的同行的注意。我们也愿意承担各种各样的课题,例如,下一步我们将考虑南方难选的宁乡式高磷赤铁矿石的微生物氧化处理问题等,希望能得到领导和同行们的支持与帮助。

请订阅 1995 年《中国锰业》(双月刊)

《中国锰业》杂志于 1983 年创刊,是冶金工业部全国锰矿技术委员会主办公开发行的刊物。

《中国锰业》是综合性技术刊物,它主要刊登与报道国内外金属矿业有关的地质、采矿、选矿、造块、冶炼、分析、检测和轻化工产品等方面的生产、科研、设计、管理的经验总结、技术成果、新工艺、新设备等方面的论文、评述、专题报道、技术简讯、国内外动态和企业人物介绍等。《中国锰业》已被评选为矿业工程类学科的全国中文核心期刊。受到锰业生产工程技术人员和管理人员的重视,在国内矿业工程界具有一定的影响。

《中国锰业》由邮局公开发行,每期 64 页,近 10 万字,每期定价 2.80 元,全年 16.80 元,国内统一刊号:CN43-1128,邮局代号:42-115,凡欲订阅,可到当地邮局办理,如您在当地邮局难以订阅,可直接向我编辑部办理邮购,注明订阅份数、订阅单位或个人姓名、详细地址和邮政编码。欢迎订阅,欢迎投稿。

订费请汇寄:湖南省长沙市麓山路 148 号。

《中国锰业》编辑部杨丽小姐收(另加邮资费 6 元/年)

邮政编码:410006

电话:8854217