

译文集

细菌浸出在采矿工业中的应用

冶金工业部北京矿冶研究院
中国科学院微生物研究所 译
冶金工业部情报标准研究所

—— 冶金工业出版社 ——

2000

2000年11月

2000年11月



2000年11月

細菌浸出在采矿业中的应用

冶金工业部北京矿冶研究院

中国科学院微生物研究所 译

冶金工业部情报标准研究所

冶金工业出版社

細菌浸出在采矿工业中的应用

冶金工业部北京矿冶研究院

中国科学院微生物研究所 譯

冶金工业部情报标准研究所

*

冶金工业出版社出版

新华书店发行

北京印刷七厂印刷

*

开本小32 印张 $5^{15}/_{16}$ 插頁5 字数144千字

1972年11月第一版 1973年2月第一次印刷

印数0,001~7,200册

統一书号: 15062·3020 定价(科四) 0.73元

前 言

细菌浸出在采矿工业中的应用是利用某些微生物的催化作用，使矿石中的金属溶解出来，从而能够较为容易的从溶液中提出所需金属的化学采矿工艺。它和普通的“采矿——选矿——火法冶炼”相比，具有以下几个特点：

1. 设备简单，操作方便，成本低廉，最利于群众办矿。

2. 特别适于处理贫矿、废矿、表外矿、炉渣，变废为宝，以及处理某些难采或者常规冶炼处理不经济的富矿等。为充分利用矿产资源开辟一条新的途径。

3. 可以综合浸出，分别回收多种金属，是发动群众办有色、稀有金属工业的一种有希望的方法。

“细菌采矿”虽有上述优点，但也有不足之处，如：生产周期长；对某些矿物的提取尚无成熟经验；需要消耗一定数量的废铁和硫酸，以及某些操作由于天然条件的限制，材料耗损较大等。

我国早在北宋时期，就有十一处矿场在实际上使用了细菌冶金炼铜（当时叫胆水浸铜）。最高产量每年达一百多万斤，占当时全国铜总产量的百分之十五到二十五。但是，由于封建王朝和以后国民党反动派统治，我国劳动人民这项发明创造，不仅未发扬光大，而且几乎被完全扼杀。全国解放后，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，“细菌采矿”这

项生产工艺，才又重新得到了应用和发展。

遵照毛主席关于“**开发矿业**”和“**古为今用，洋为中用**”的教导，为了多快好省地建设社会主义，赶超世界先进水平，和帝修反争时间，冶金部北京矿冶研究院、中国科学院微生物研究所、冶金部情报标准研究所共同翻译这本《细菌浸出在采矿工业中的应用》，供我国采矿工作者参考。不当之处，请批评指正。

译 者

1972.4

毛主席语录

抓革命，促生产，促工作，促战备。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

一、用细菌从矿物及矿石中浸出有用金属·····	1
二、利用铁氧化细菌的循环浸出方法（专利）·····	18
三、用铁氧化细菌进行循环浸析的方法（专利）·····	33
四、鲁姆琼格尔矿堆浸法的操作概况·····	49
五、铜矿废石堆的浸出·····	60
六、美国西部铜浸出的实践·····	102
七、细菌浸析碱性矿石（专利）·····	147
八、微生物浸出硫化矿物·····	154
九、从锰矿中回收锰的方法（专利）·····	161
十、原地采矿（铀的浸出）·····	176

一、用细菌从矿物及矿石中浸出有用金属

1. 前言——微生物在矿业中的应用

关于微生物在矿业各领域中所起的重要作用，在很早以前就已引起人们的注意。最近，有关微生物在煤炭、石油、天然气等燃料矿床形成和破坏中所起的作用的研究有一定的发展。同时，还有一部分人正在研究利用微生物二次回收石油，从燃料矿物中脱硫以及对石油天然气矿床进行微生物勘探。另一方面，关于地下水的化学组成和微生物的关系的研究成果也即将应用于矿山及工厂的排水处理方面。此外，人们在地质和采矿的领域内逐渐弄清了微生物在硫矿床及硫化矿的矿床形成和破坏过程中所起的作用。下面所要叙述的只是关于用细菌从金属矿物及矿石中浸出有用金属——即所谓细菌浸出——的问题。

众所周知，从矿床中开采出来的矿石，需选成精矿后再送到冶炼厂去，最后冶炼加工成各种制品。选矿后的尾矿作为残渣堆积在坑外，一部分则送到坑内充填采空区。在这些废渣中存在着极微量的有用金属。另一方面，矿山中往往有一些因种种原因而无法采完的矿石以及无开采价值的低品位矿石，所有这些都作为残矿或低品位矿留在坑内。因此，采用某种方法从这些残渣、坑内残矿及低品位矿中回收有用金属，以开辟应用这些废料的途径，对于资源贫乏的日本，是

值得严肃认真考虑的问题。

正好在这个时期，发现从矿山流出的矿坑水中，含有特殊细菌，这些细菌具有从金属矿物及矿石中浸出有用金属的效用。由此，很快引起了人们的注意。

2. 坑内水中的细菌及其特性

据文献报导，作为地球微生物研究对象的微生物的种类很多。在此，仅举与细菌浸出有关的坑内水中的细菌，并就其种类和特性概述如下。

在坑内水中生存的主要细菌中，已报导的如表1-1所列：

从细菌浸出的观点出发，其中尤以氧化硫杆菌、氧化铁硫杆菌、氧化铁杆菌这三种为主要研究对象。这些菌的共同特征是宽0.5微米左右，长1.0到数微米的杆菌，生长在普通微生物所不能存在的强酸性坑内水中，这三种菌对革兰氏染色呈阴性反应（即革兰氏阴性细菌），能运动^①，利用硫酸铵作为氮源。其中氧化硫杆菌是真正的自养性细菌，能把元素硫氧化生成硫酸，利用这一反应产生的能量作为细菌生活的能源，以二氧化碳和氨为原料合成菌体进行繁殖。此外，氧化铁硫杆菌和氧化铁杆菌都作为独立的营养细菌，以 Fe^{2+} 作为能源在含有矿物盐类的酸性介质中生长。但氧化铁硫杆菌能将硫代硫酸盐氧化作为替换能源，而氧化铁杆菌不能利用任何硫化物，在这一点上二者有着根本区别。从生理学来看，这两种细菌是化能合成自养菌，可以利用 CO_2 ，同时利用还原态的铁或硫的无机化合物作为能源，除此之外，还利用无机氮作为氮源。

① 有的工作者认为氧化铁杆菌未必表现有活跃的运动性能。

坑内水中的细菌

表 1-1

项	种	属	氧化硫杆菌	聚硫杆菌	氧化铁硫杆菌	氧化铁杆菌	氧化硫铁杆菌
项目							
繁殖条件			土壤中，坑内水中	地下水中，坑内水中	酸性坑内水中		
细菌大小（微米）			0.6×1.0	0.5× (1.5~2.0)	0.5×1.0	(0.6~1.0) × (1.0~1.6)	0.5× (1.0~1.5)
最适温度（℃）			28~30	28	30	15~20 ^① 28 ^②	32
最适pH值			2.0~3.5	2.0~4.0	2.5~3.8	3.5	2.85
革兰氏染色			—	—	—	—	—
运动性			+	+	+	+	+
利用硝酸盐作氮源			—	+	(+) ^③		(+) ^③
利用硫酸铵作氮源			+	+	+	+	+
液体培养基	氧化硫酸亚铁		—	—	+	+	+
	氧化硫磺		+	+	—	—	+
	氧化硫代硫酸钠		+	+	+	—	
琼脂培养基	氧化硫酸亚铁		—	—	+	—	+
	氧化硫代硫酸钠		+	+	+	—	+
硅胶培养基							
氧化硫酸亚铁						+	

注：① 根据萊頓氏(Leathen)。
② 根据西尔弗曼 (Silverman)。
③ 多少能利用一些。

如表 1-1 所示， 这些细菌生长的最适 温度约在 30℃ 左右。当然，最适温度也随菌种而异。例如有人研究过13种铁氧化硫杆菌，其中12种最适温度为25℃。该13种在31℃时均生长良好， 4 种的最适温度为 35℃ 及 37℃，在 45℃时只有 3 种生长良好， 在 50℃ 都不生长。在低温下即使细菌不死亡，其活动能力也极低。如前所述，这些细菌对酸不仅都有

适应性，而且还必须要有酸。他们在 pH 值为 2.5~4.0 的范围内生长良好，在 pH 值为 2.0 以下，其生长能力就降低。氧化硫杆菌及氧化铁杆菌在 pH 值近 1.0 时也能有一定程度的生长。但无论哪一种细菌，在 pH 值在 6.5 以上时都不能长期生长。

关于这些细菌的纯培养也进行过种种研究。一般，这些细菌在琼脂上生长得不太好。据说，从含有莱顿氏培养基的硅胶平板培养基上生长出来的菌落中进行纯培养的方法，成功率最高。有人用这种方法从宾厄姆肯尼恩 (Bingham Canyon) 矿山的废石堆积场中采取水样培养出氧化铁杆菌及氧化硫杆菌的菌落；又有人采用小坂、土烟、上北等矿山的矿内水为试料，在含有莱顿培养基的硅胶固体培养基上进行培养，成功地得到了氧化铁杆菌的纯培养。此外，我们认为这些细菌在世界各国的矿山坑内水中都有生长。到现在，已在文献上报导这类细菌的国家有美国、墨西哥、加拿大等十个国家。

3. 各国对细菌浸出的研究概况

虽然，有关生活在坑内水中的细菌及其生理方面的研究报告，在很早以前就有人发表过，但应用这些细菌浸出和回收有用金属只有十几年的历史。而且，以往发表的许多研究结果，几乎都是实验室中得到的。有关细菌浸出的实际作业情况和成果，至今连一个详细报告也没有看到，只有片断的报导。所以，本文只能以试验成果为主，并限于篇幅，不能介绍各研究者的工作全貌，而只能就各国的研究机关和研究重点等问题作一概要叙述。

1) 美 国

美国肯尼考特 (Kennecott) 铜矿公司, 在盐湖城犹他大学内设有自己的研究所。有关细菌浸出作用的研究, 由研究所的冶金部分进行。最显著的成果是 1958 年获得的一个专利。该专利是铜、钼、锌、铬、钛等矿石浸出时的浸出液细菌再生和返回使用的循环流程 (图 1-1)。据说, 该专利的方法曾被用于浸出宾厄姆-肯

尼恩及俄亥俄 (Ohio) 铜矿的废石堆中的铜。至于实际操作的问题, 没有详细报导。但从另一篇论文中可以看出, 在进行细菌浸出时, 调节 pH, 防止日光直射和控制浸出反应温度很重要。并且, 槽式浸出法比容池浸出法更为理想。宾厄姆-肯尼恩矿

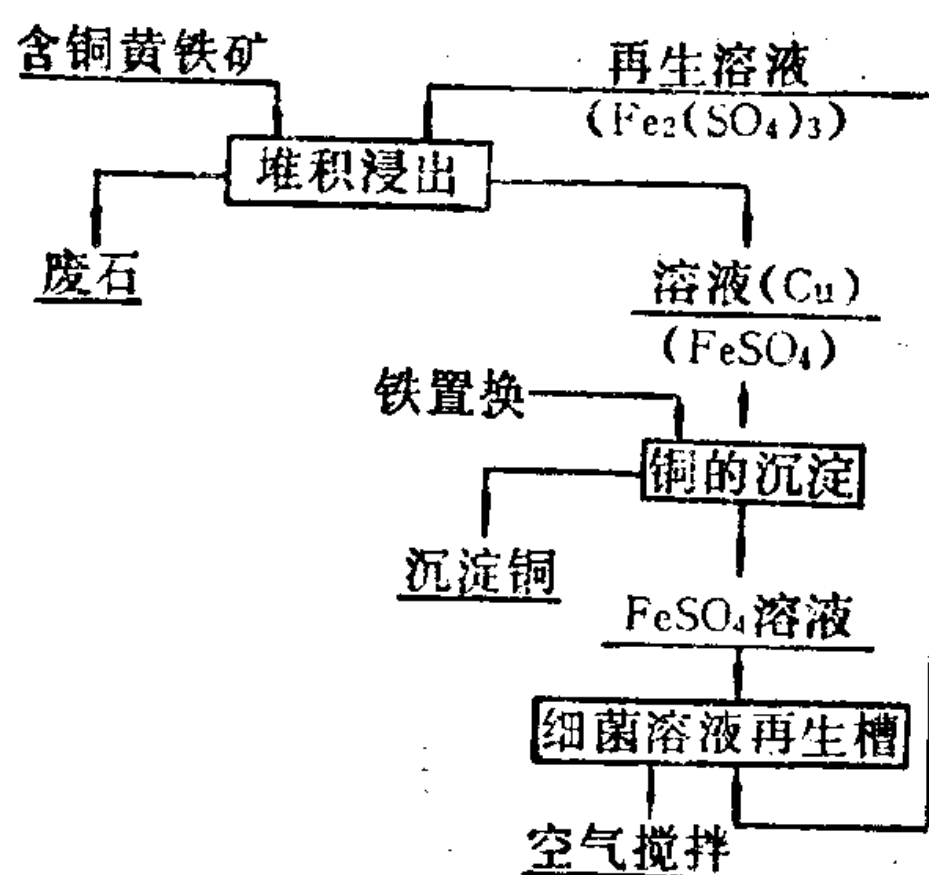


图 1-1 用细菌再生 FeSO_4 循环浸出铜

山1961年用浸出法回收铜 9438 吨, 1962 年回收 16678 吨, 目前正准备扩建以便每年回收 72000 吨沉淀铜。

盐湖城近郊的布里格姆-杨大学与肯尼考特研究所密切配合, 主要以实用为主, 并就一些最基本的问题进行实验室规模的研究。他们首先考虑采用氧化铁硫杆菌及氧化硫杆菌来进行黄铁矿及种种硫化铜矿的浸出研究, 并发表了时间和浸出量的关系, pH 值对浸出量的影响, 养分氮的最适用量等研究成果。继之, 在低品位钼矿的浸出和在硅胶固体培养

基上的细菌的鉴定等又作了大量的研究工作。此外，他们还研究了黄铜矿的浸出以及温度和其它条件在黄铁矿、黄铜矿、硫化铜的浸出过程中的影响。

美国矿务局用氧化硫杆菌对各种铜矿物、铜矿石、铜铅锌矿、铜钴矿、锰矿等进行浸出试验。他们认为氧化硫杆菌在浸出矿物中的铜和钴时最有效；在铜矿物中，硅酸盐、碳酸盐、氧化铜型的矿物比硫化铜矿物更易为细菌浸出；氧化硫杆菌浸出的机理是，细菌能生成硫酸来浸出矿物。另外，他们还研究了氧化铁杆菌、氧化硫杆菌等数种细菌对含铜硫化矿物的浸出。

美国某大学还专门研究了大量培养氧化铁杆菌的方法，并提出了 9K 培养基。此外，还用瓦柏格检压计来研究细菌的生理，并提出从煤中脱硫的研究成果。

2) 加拿大

加拿大的细菌浸出研究比美国要晚一些。现在，不列颠哥伦比亚大学的不列颠哥伦比亚研究委员会正在加紧这方面的研究，并相继发表了一些研究成果。其中最有独创见解的是关于添加表面活性剂的影响。在该研究中，用氧化铁硫杆菌进行高纯度黄铜矿的浸出试验，并加入阴离子型、阳离子型和中性的表面活性剂以研究其效果。试验结果：中性表面活性剂如吐温 20、40、60、80；特里顿 X-100；阳离子型活性剂如海阿敏 2389、奎克 TT5386 对铜的浸出有效果。其机理为：活性剂本身对铜没有浸出能力，活性剂之所以能对浸出起作用是由于加入活性剂后使黄铜矿表面呈湿润状态，从而促进了细菌对矿物表面的接触。他们认为当吐温 20 的添加量为黄铜矿重量的 0.003~0.004% 时，浸出效果最好。此

外，添加0.003%吐温20的接种试料和不加吐温20的接种试料相比，前者的浸出量几乎为后者的3倍。

3) 苏 联

在苏联，细菌浸出是在莫斯科苏联科学院微生物所内进行的。该所采用氧化铁硫杆菌对含有黄铁矿、黄铜矿的乌拉尔捷格佳耳矿床的矿石进行基础试验。他们指出，接种细菌的溶铜量为不接种的8倍。

另外，有人试图在该矿床的北卡帕琴斯克矿和其他矿床中应用矿床内就地细菌浸出法。他们发现，用清水作浸出液和用回收沉淀铜的尾水作浸出液相比，后者得到了较好的结果。虽然尾水中含有多量的硫酸铁及硫酸，但不可否认其中含有的许多细菌亦起着重要作用。这可从红色近卫军矿床的沉淀铜回收装置里，每一毫升溶液含有10000个氧化铁硫杆菌菌体，以及在捷格佳耳矿的每一克铜精矿内约含1000000个菌体的事实中得知。此外，他们指出：如能用含有硝酸盐的酸性溶液来给细菌创造良好的生长条件的话，就能进一步促进浸出过程。在苏联，还研究了细菌对煤的脱硫作用。据报导，用氧化铁硫杆菌作试验，可除去苏联煤中所含黄铁矿的27%。

4) 日 本

在日本，细菌浸出的研究虽然远比美国、苏联落后，但也正在进行基础研究。冈山大学农学院以氧化硫杆菌为对象，对其分离、鉴定、细菌的生长条件、能量利用率、生理学的特征等问题进行了详细的研究，弄清了此菌的硫的氧化机理和能量转换机理。又研究用此菌浸出低品位锰矿中的锰，也

取得了一定的效果。三菱金属矿业公司的中央研究所也作了大量的工作。他们在铁氧化细菌和硫氧化细菌的鉴定及其特性的研究方面取得较好的成果。工业技术院发酵研究所从去年开始进行细菌浸出研究，并成功地检定了氧化铁硫杆菌。业已查明，在小坂、土畑、吉野、别子等铜矿的坑内水中，也生长着铁氧化细菌及硫氧化细菌。目前，正在研究用这类细菌从铜矿物及铜矿石中浸出铜以及从锰矿石中浸出锰。同和矿业和田中矿业两个公司，在所属的小坂矿山及土畑矿山，进行细菌浸出的工业试验。

5) 其它国家

除上述国家外，在葡萄牙乌拉杰里加铀矿山中应用细菌浸出，可提取60~80%的铀。英国、澳大利亚、南非等国也在进行研究。

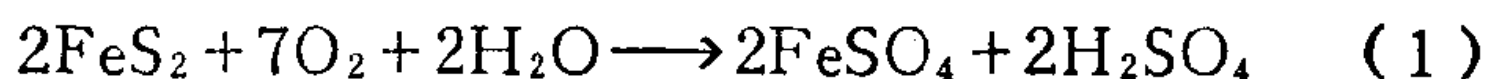
4. 细菌浸出机理

已弄清楚从金属矿物及矿石中浸出有用金属可借助特殊的细菌的作用而加速，浸出时添加细菌为什么这样有效，又在浸出过程中细菌究竟起着什么作用，亦即所谓浸出的机理还不很清楚。迄今为止，可分下面两种说法。其一，是细菌不是对矿物及矿石中的有用金属直接起浸出作用的，有用金属的浸出是通过纯化学反应进行的，但在调整浸出所必要的溶液条件时，细菌起着类似触媒一样的极其有效的作用。与此相反的另一说法是，细菌本身对矿物及矿石中的有用金属起着直接作用，而使其浸出的，以下简单说明之。

1) 纯化学反应浸出学说

氧化硫杆菌，聚生硫杆菌（即所谓硫氧化细菌）等具有

使元素硫氧化的能力,在溶液中生成硫酸。氧化铁杆菌,氧化铁硫杆菌等铁氧化细菌都有把 FeSO_4 氧化为 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 的能力,使溶液中的 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 含量大大增加。众所周知, H_2SO_4 溶液及 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液是一般硫化矿物及其他矿物化学浸出法中普遍使用的有效溶剂。因此,根据上述学说,在细菌浸出中,如此生成的 H_2SO_4 及 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 作为溶剂进行化学反应,将有用金属浸出。通常,靠自然氧化来生成 H_2SO_4 及 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$,其速度是极其缓慢的,但有各种细菌参与时,其速度像用触媒似的加快进行。这是提高浸出效果的根本原因。例如,用铁氧化细菌从硫化矿物及矿石中浸出铁与铜的过程。在由多种金属硫化矿构成的矿石中,一般都含有黄铁矿,黄铁矿在有氧及水存在的情况下慢慢地被氧化,生成 FeSO_4 及 H_2SO_4 。



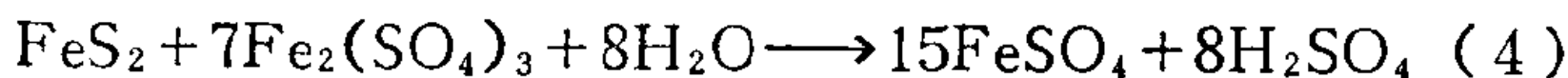
铁氧化细菌在氧及硫酸存在时,把硫酸亚铁氧化,其速度像有催化剂一样很快地生成 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 。



生成的 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 对金属硫化矿物起作用,把有用金属以硫酸盐的形式溶出来。例如,对辉铜矿作用时进行(3)式所示的反应,生成 CuSO_4 , FeSO_4 及S。



黄铁矿和 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 发生反应生成 FeSO_4 及 H_2SO_4 。



再由铁氧化菌使(3)、(4)式反应生成的 FeSO_4 氧化生成 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 。因此,反应在溶液中反复产生,浸出作用不断进行。如若在溶液中有硫氧化细菌存在的话,按(3)式反应生成的元素硫可以被这种细菌氧化,如式(5)