

WEI SHENG WU ZAI KU ANG YE SHANG DE
YING YONG



微生物
在矿业上的应用

0
9
山东科学技术出版社

微生物在矿业上的应用

施 安 辉

山东科学技术出版社

一九八三年·济南

微生物在矿业上的应用

施 安 辉

*

山东科学技术出版社出版
山东省新华书店发行
山东新华印刷厂临沂厂印刷

*

787×1092毫米32开本 2印张 36千字
1983年3月第1版 1983年3月第1次印刷
印数：1—2,700

书号13195·94 定价 0.18 元

内 容 提 要

本书以简明的语言介绍了参与冶金微生物的特性、微生物湿法冶金的原理、实验研究方法和大生产技术，以及国内外的研究、应用等。同时，对利用微生物进行石油勘探、二次采油和原油脱硫等，也做了扼要系统地介绍。

本书可供采矿、冶金、石油等部门工程技术人员和干部阅读，也可供工业微生物工作者、高等院校微生物专业的师生参阅。

前 言

在种类繁多的微生物中，有部分自养性和异养性微生物能直接或间接地利用其代谢产物，从矿石中溶浸金属，从而达到采冶金属的目的。

利用微生物溶浸金属，是近二十年来国内外新兴起来的一项化学工艺。目前，已由微生物溶浸铜和铀，进一步发展到对其他有色金属、稀有金属和贵重金属的溶浸。它适于处理贫矿、废矿、表外矿、炉渣，以及处理某些难以开采或者用常规冶炼处理不经济的富矿等，为充分利用矿产资源开辟了一条新的途径。另外，还可利用微生物进行石油勘探、二次采油、原油脱硫、煤炭脱硫、硫和铁矿的生物形成、从海水中回收贵重金属和稀有金属及矿山酸性水的处理等。本书主要介绍了微生物湿法冶金、石油勘探、二次采油和原油脱硫等方面的知识。同时，对国内外的研究情况也做了扼要的介绍。既有基础理论知识，又有实用技术。可供采矿、冶金、石油等有关生产、科研单位的工程技术人员和教学人员阅读。

目 录

一、矿业的基本知识	(1)
(一) 矿石	(1)
(二) 采矿	(2)
(三) 选矿	(2)
(四) 石油和油气藏的形成	(4)
二、微生物的特性及其冶金原理..	(5)
(一) 微生物的特性	(5)
(二) 参与湿法冶金的微生物	(7)
(三) 微生物湿法冶金的原理	(7)
(四) 微生物湿法冶金的特点	(12)
三、微生物湿法冶金的研究和应用技术	(13)
(一) 常用的实验室技术	(13)
(二) 大生产上的应用技术	(16)
(三) 影响微生物湿法冶金的因素	(19)
(四) 我国微生物湿法冶金的实例	(26)
四、微生物湿法冶金的近况	(30)
(一) 回收铜和其他有色金属	(30)
(二) 回收铀和其他稀有金属	(32)
(三) 硫的提取	(36)
(四) 溶浸贵金属	(36)
(五) 溶浸贫锰矿	(38)
五、微生物在其他矿业上的应用.....	(42)
(一) 能利用石油的微生物	(42)

(二) 石油勘探	(43)
(三) 二次采油	(45)
(四) 原油脱硫	(47)
(五) 原油脱蜡	(53)
主要参考资料	(55)

一、矿业的基本知识

(一) 矿 石

我们知道，地球的外壳是由岩石组成的。岩石又是由矿物组成的。矿物就是地壳中有固定的物理性质和化学组成的天然化合物。目前，在地壳中已发现的矿物就有二千多种。能够被人类利用的矿物，就叫做有用矿物，如金、银、铜、铁、锡、钨、锑、锰、锌、汞、硫、铀、煤、石油等。各种矿物在地壳中的分布是极不均匀的，它们往往在漫长的地质变化过程中，有规律地组合在一起，形成各种较大的集合体。如果这些矿物集合体含有用成分量超过一定指标、并能被开采利用，这个矿物集合体就叫做矿石。在地壳内或地表上矿石大量积聚，并具有开采价值的区域，就叫做矿床。

如何来衡量矿石中金属含量的多少呢？

矿石中金属的含量是以品位来衡量的。品位一般用金属重量占矿石重量的百分数来表示。品位1%的铜矿石，就是指矿石中金属铜的重量为矿石重量的百分之一。对于贵重金属和稀有金属（金、银、铂等），由于它们的含量都很低，所以稀有金属的矿石品位常以每吨矿石中含有的克数来表示。根据矿石中有用金属成分含量的差别，又分为富矿石和贫矿石。根据矿石贮量的大小和品位的高低，决定其开采价值。

(二) 采 矿

采矿的方法很多，大体上可分成露天开采和地下开采两大类。

露天开采是除掉覆盖在矿体上的岩石，使矿体完全暴露出来，然后进行开采。这是最理想的开采方法。它的优点是成本低、产量高、省劳力、运输方便、作业安全。缺点是易受自然条件的限制。

但是，大多数的矿床埋藏得比较深，要用地下开采法。

地下开采法是从地表上向下开凿井筒，掘进巷道，直通矿床。通过井筒和巷道，用一定的开采设备把矿石开采出来，最后运出地面。所以，地下开采与露天开采相比，造价高，费用大。

(三) 选 矿

开采出来的矿石并非全是理想的矿石，它们当中有的品位高，合乎要求，有的品位低，不符合要求。所以，在冶炼以前还必须进行选矿。

选矿就是去掉矿石里无用的脉石和对冶炼不利的杂质，使矿石中的有用成分富集起来，得到高品位的精矿。

选矿的方法是多种多样的。归纳起来不外乎有物理选矿和化学选矿两大类。目前应用比较普遍的是物理选矿法。

物理选矿包括重力、磁力和电力选矿法，也就是根据矿石中各种不同成分的比重、电性、磁性的不同，一一加以区

分。

化学选矿法目前应用比较普遍的是浮选法，其优点是方法简便，选矿的效果好。

但是，矿石中含有的金属成分往往是多种的，在这种情况下，就要把几种选矿方法联合起来使用。为了提高矿石的品位，往往在矿石一次选完后，要进行重复选矿。有时还要将选矿和冶炼过程联合起来进行。

矿石经过精选后品位可以提高到几十倍、甚至于几百倍。把富集的矿石送到冶炼厂去冶炼，既可以降低生产成本，又能保证冶炼工作的顺利进行。

在进行选矿时，还有一些伴生的、含量极少的金属未被选上，被作为尾矿抛弃了。特别是稀有金属，由于它们往往与其他金属伴生在一起，如钼、铀多与铜矿在一起，钨往往藏在锡矿里，镓、铟、铊、锗等多含在铅锌矿中。所以，在惯用的“采矿——选矿——火法冶炼”的工艺中，稀有金属多被当成“废物”和渣子抛弃。

另外，在矿山中，还有一些因种种原因无法采完的矿石，或无开采价值的低品位矿石，都作为残矿或低品位矿留在坑内，失去开采价值。

几千年来，特别是近五十年内，随着富矿不断地开采，贫矿愈来愈多。人们能否找到一种既简便又经济的办法，把尾矿、火冶炉渣、废矿和贫矿中的有用金属提炼出来，以达到防止矿产资源流失，最大限度地利用矿藏贮量和综合利用的目的，已成为急需解决的问题。

目前，已经找到既简便又有前途的冶金方法，就是在常温常压下，利用某些微生物的生命活动或代谢产物，氧化、

溶浸出矿石中的有用金属，这种冶金的新工艺就叫做微生物冶金。因为微生物冶金必须在有水的情况下才能进行，所以又叫做微生物湿法冶金。

（四）石油和油气藏的形成

石油是非常宝贵的矿产之一，它分为天然石油和人造石油两种。天然石油是从油气田里开采出来的，例如：大庆油田、胜利油田等开采的石油。人造石油是从煤或油页岩干馏出来的。

大量勘探和开发油气田的生产实践证明，石油是来自几亿年前的动植物躯体。它们有陆生的，也有水生的，既包括动物，也包括植物，主要是以繁殖量大的低等生物为主。上述的有机物质从陆地转移到水中，或从水体中沉积下来，形成有机淤泥。这种有机淤泥被新的沉积物覆盖，造成了氧气不能自由进入的还原环境。随着低洼地区的不断沉降，沉积物的不断加厚，有机淤泥所承受的压力和温度不断地增大。同时，在细菌、压力、温度和其他因素的作用下，经过数百万年，处在还原状态中的有机物质就慢慢地形成了石油和天然气。这是一个非常漫长、复杂的变化过程，一直持续到有机淤泥经过压实和固结作用变成沉积岩石，形成生油岩层。

石油和天然气在地下形成以后，还必须形成油气矿藏才能具有工业开采的价值。因为油气矿藏与其他矿藏不同，象铜矿和煤矿都是固体矿藏，它们生成后在原地不动，等待人们去开采，而石油和天然气却不是这样，刚生成的油气是呈分散状的混杂在泥砂等沉积物中，没有开采价值。必须经过

一种天然的程序（如油气运移、储油等过程），把这些分散的点滴油气集中起来。这个天然的程序，是由于含油气的地层发生褶皱和封闭性的断裂运动，使分散状态的油气聚集起来，形成可供人们开采的油气矿藏。

二、微生物的特性及其冶金原理

（一）微生物的特性

在自然界里，尽管微生物的种类繁多，但是，它们的特性和生命活动的规律却有许多共同之点，可概括如下：

1. 分布广，种类多

微生物广泛分布于土壤、空气和水等自然环境中，尤其是土壤，是微生物生长繁殖的“温床”和“大本营”。据计算，在一亩肥沃的农田，在150厘米深的表土内就含有300多公斤的真菌和细菌，相当于一年的粮食亩产量。微生物不仅能利用营养丰富的有机物质，还能利用石油、硫化物、塑料、有机磷和酚等有毒物质作为营养，因此，对环境的适应能力特别强。从离地面2万公尺的高空到几千公尺的深海，从平原到高山，从地表到矿井，到处都有微生物的足迹。甚至在人和动物的体内，以及各种植物的根、茎、叶上，微生物也能“安家落户”。

微生物在自然界中，不仅分布广泛，而且种类繁多。目前，已发现的细菌有1,500多种，放线菌约500多种，真菌将近有8万种。这些已发现的微生物仅占自然界微生物总数的10%左右，因此，微生物资源的潜力还是很大的。尤其是我

国地大物博，具备各种天然条件，为寻找更优良的生产菌种和其他微生物资源，提供了有利的条件。

2. 繁殖快，作用大

微生物的繁殖速度是非常快的。在条件适宜的情况下，几十分钟就可以繁殖一代。细菌20分钟就能繁殖一代，1小时后一个细菌可形成8个，2小时后可形成64个，24小时内可以繁殖72代，即40多万亿个细菌。如果按一个细菌重 1×10^{-13} 克计算，那么，24小时内一个细菌所形成菌体的总重量将是4,000多吨。当然，由于外界条件的限制，它们不可能顺利地繁殖下去。在工业生产中，人们就是利用它们繁殖快的特点，生产有益的微生物。

3. 易变异，有利于生产

微生物个体微小，构造简单，与外界环境直接接触，并且接触面积大，因此，当外界环境条件发生剧烈变化时，大多数微生物因抵抗力差而死亡。个别存活的微生物能发生变异来适应变化了的环境条件，并且能把变异的特性遗传给后代。在生产实践中，人们就是利用微生物这一特性，采用物理或化学的方法来处理它，使之向有利于生产的方向发展。经过处理后的微生物，其性能变得更加适合生产上的要求。

同时，微生物还具有灵活的适应能力。当外界的营养物质一旦发生变化，它就能在千分之一秒内做出相应的反应。

利用微生物的这些易变异、适应性强的特性，不仅能提高微生物的产量，还能扩大品种，化害为利。

因此，只有当人们掌握了微生物的生活规律，才能够选育出优良的菌种，充分地利用微生物资源，为人类造福。

(二) 参与湿法冶金的微生物

目前，应用于湿法冶金的微生物主要是化能自养性细菌，其次是异养性细菌和霉菌中的某些类群。

化能自养性细菌有的能量来源于氧化元素硫或硫化物（如硫代硫酸钠），能产生硫酸，而不氧化亚铁的细菌。例如，氧化硫硫杆菌（*T. thiooxidans*）、蚀固硫杆菌（*T. concretivorus*）、那不勒斯硫杆菌（*T. neapolitanus*）和排硫硫杆菌（*T. thioparus*）等。还有的能量来源是靠氧化硫酸亚铁为硫酸高铁。氮素的主要来源是铵盐或硝酸盐，也不能利用亚硝酸盐。其性能见下表。

此外，脱氮硫杆菌（*T. denitrificans*）、脱硫弧菌（*Desulfovibrio*）和一些异养细菌（如芽胞杆菌属、土壤杆菌属）以及霉菌（如曲霉）等，在浸出金属中也都有一定的作用。

化能自养性细菌，一般不能利用有机物质，以空气中的二氧化碳为碳源。喜欢酸性的环境，能在pH为1.5~4.5的矿水中生存，个别的种（如氧化硫硫杆菌）竟能在pH<1.0的硫酸中生存，是目前最抗酸的细菌。菌体为短杆状，长1.0~2.0微米，宽0.4~0.55微米。单生，有时成对，不形成芽胞，单极鞭毛，格兰氏染色阴性。

(三) 微生物湿法冶金的原理

二十多年来，全世界许多的国家利用细菌溶浸金属，都

几种用于冶金化能自养菌的主要生理特性

细菌名称	能源的氧化				氮源的利用		
	FeSO ₄	S	Na ₂ S ₂ O ₃	H ₂ S	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
氧化硫硫杆菌 (<i>Thiobacillus thiooxidans</i>)	-	+	+	-	+	-	-
蚀固硫杆菌 (<i>Thiobacillus concretivorus</i>)	-	+	+	+	+	+	-
排硫硫杆菌 (<i>Thiobacillus thioparus</i>)	-	±	+	-	+	+	-
氧化亚铁亚铁硫杆菌 (<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>)	+	-	+	-	+	-	-
氧化亚铁亚铁杆菌 (<i>Ferrobacillus ferrooxidans</i>)	+	-	-	-	+	±	-
氧化硫亚铁杆菌 (<i>Ferrobacillus sulfooxidans</i>)	+	+	-	-	+	±	-

注：+表示能利用，-表示不能利用，±表示少量利用。

取得了可喜的成果。但是，细菌浸出液为什么能溶浸金属，在溶浸的过程中微生物又起着什么作用，迄今为止说法不一。归纳起来有以下两种学说。

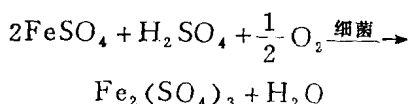
1. 细菌的间接作用

细菌的间接作用，也称为纯化学反应浸出学说。此学说认为，在金属的浸出过程中，细菌仅起着类似化学上触媒剂

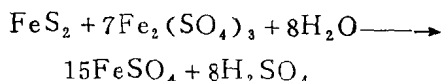
的作用，有用金属的浸出是通过纯化学反应进行的。

氧化硫杆菌、蚀固硫杆菌等，具有氧化元素硫的能力，并在溶液中生成硫酸。氧化亚铁亚铁杆菌，具有氧化硫酸亚铁（ FeSO_4 ）为硫酸高铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ 的能力，使溶液中的三价铁离子含量大大增加。在硫化矿物及其他矿物的化学浸出中，普遍使用硫酸和硫酸高铁的浸出液。根据间接作用学说，在浸出过程中细菌能形成硫酸和硫酸高铁，将有用金属浸出。

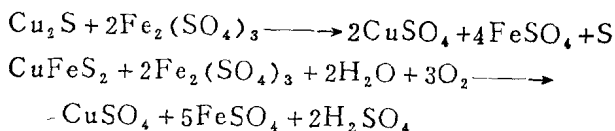
氧化亚铁亚铁杆菌能把硫酸亚铁迅速氧化生成硫酸高铁：



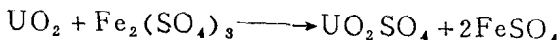
所形成的硫酸高铁又能与黄铁矿迅速反应，生成更多的硫酸亚铁和硫酸：



硫酸高铁是一种氧化剂，它与铜矿石作用，把矿石中的铜以硫酸盐的形式溶解出来：

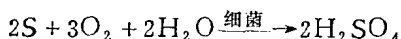


在含铀的矿石中，硫酸高铁与含有低价放射性元素铀（ U^{4+} ）的矿石作用时，氧化生成高价铀（ U^{6+} ），高价铀能溶于稀酸，再从稀酸中提取铀：



在以上的化学反应中，所生成的硫酸亚铁，可以由微生物再氧化为硫酸高铁。化学反应在溶液中反复进行，因此矿石的溶浸液可以循环使用。

化学反应生成的硫，在硫氧化细菌（如氧化硫硫杆菌、蚀固硫杆菌）存在时，又能把硫氧化为硫酸：



这样，又增加了溶剂中硫酸的量，所以更有利于金属的浸出。硫酸和硫酸高铁是湿法冶金中常用的浸出液。利用此浸出液就能把矿石中的某些金属，如铜、铀、镍、锰、钴、锌等溶浸出来。

2. 细菌的直接作用

还有部分科学家认为，细菌本身对矿石中金属的浸出具有直接作用，正象有人所形容的那样，细菌能“吞铜嚼铁”，其依据如下：

人们早已知道，有些铜矿如铜蓝、辉铜矿、黝铜矿、辉钼矿、雌黄矿等是不含铁的，用氧化亚铁硫杆菌对这些矿石分别进行铜的浸出试验，在浸出过程中严格控制不加铁。最后的试验结果发现，氧化亚铁硫杆菌可以明显地将铜浸出。这充分说明没有氧化剂硫酸高铁的作用，金属铜照样能溶浸出来。

有人用黄铜矿做试验，在细菌的参与下，用高浓度的硫酸高铁和低浓度的硫酸高铁做对比试验发现，低浓度的硫酸高铁溶浸矿石时，铜及硫酸盐更容易被溶浸出来。其原因是：硫酸高铁浓度过高，三价的铁离子容易形成复杂的胶体物质，覆盖在矿石的表面。这样就妨碍了细菌与矿石表