

# 铜 铀 矿 石 的 细 菌 浸 出

袁 荣 庆

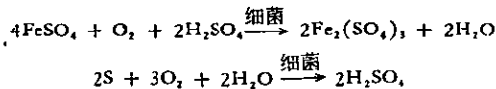
(中国科学院微生物研究所,北京)

矿石的细菌浸出法,是利用某些微生物及其氧化产物溶浸矿石中金属的一种新工艺。由于这种方法适于贫矿石、表外矿石及采空区矿石中的铜和铀的浸出,在矿冶工业生产中,得到越来越广泛的应用。

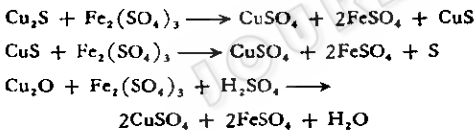
本文仅根据我们的试验结果,对由铜铀共生矿细菌浸出铜、铀的主要问题如细菌培养条件、影响浸出的重要因素等作一概述。

## 细菌浸出的基本原理

我们用于浸出的菌种是氧化铁硫杆菌,这种菌具有氧化低价铁和元素硫生成高价铁和硫酸的能力,其反应如下:



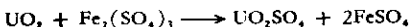
利用氧化铁硫杆菌浸取矿石中的铜,主要是利用它氧化矿石中的硫化物和硫酸亚铁所生成的硫酸铁和硫酸作为浸矿溶剂,把铜的简单硫化物(如辉铜矿、铜蓝矿等)和氧化物(如赤铜矿等)溶解,其溶解反应如下:



据报道,这种细菌还可直接利用硫化铜矿中的低价铁和硫作为其生长的能源,使矿物晶格结构破坏,易于被氧化溶解。

由上可知,细菌在浸铜的过程中起着两方面的作用:一是细菌氧化产物硫酸铁和硫酸的氧化溶解作用叫间接作用;二是细菌本身对矿物的直接氧化作用。

氧化铁硫杆菌浸取铀矿石,亦是利用上述细菌所生成的氧化产物硫酸高铁和硫酸对沥青铀矿等主要铀矿物进行溶解和氧化,溶解铀矿(以通式  $\text{UO}_2$  表示)的反应如下:



## 细菌的培养条件

细菌浸出铜、铀,因主要借助于细菌的氧化产物

$[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, \text{H}_2\text{SO}_4]$  作为浸矿剂,所以,在浸矿过程中,应把重点放到如何快速而经济地培养细菌上。

氧化铁硫杆菌广泛生存于酸性矿水中。该菌通过对无机硫化物及元素硫和硫酸亚铁的氧化获取能源,用以同化空气中的二氧化碳合成菌体内有机物。嗜酸、好氧也是这种细菌的重要特性。

## 一、营养物

氧化铁硫杆菌可以硫酸亚铁和元素硫为主要能源,对硫代硫酸盐的利用次之,二价锰、钴、镍等几乎不能利用。在无机亚铁培养基( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} < 130$  克,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0.15 克,  $\text{MgSO}_4$  0.05 克,  $\text{KCl}$  0.05 克,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.01 克,水 1000 毫升,  $\text{pH}$  2.0 左右)上,经过多次移植,氧化亚铁的能力保持恒定。但当培养在以元素硫为能源的培养基上时,氧化元素硫的能力有随移植代数增多而增强的趋势,而氧化亚铁的能力则下降。

我们在试验中所用浸出对象因硫化物含量不高,铀品位又低,所以浸出过程中加入的硫酸高铁被还原较少,加之铜铀混合浸出液必须先用离子交换法回收铀,由于高铁对铀的吸附影响较大,一般要求高铁浓度小于 5 克/升,所以细菌培养中亚铁浓度应控制在 5—7 克/升。但是,对原矿(辉铜矿为主)浸出时,高铁浓度需大于 10 克/升才能达到有效浸出铜、铀的目的,因此,我们在实际培养细菌中将亚铁浓度提高到 10 克/升以上。

除了在培养液中添加硫酸亚铁外,一般还要加入硫酸铵和磷酸氢二钾,若细菌生长正常或浸矿剂供应有余,也可不加或少加。其它营养成分因矿石浸出液中基本具备,可不加或间断加入少量。

## 二、pH 值

氧化铁杆菌是一种嗜酸菌,最适酸度为  $\text{pH}$  2—2.5,但在生产过程中则控制在  $\text{pH}$  1.8—2.0,这是由于在这样酸度下经细菌氧化生成的  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  基本上不水解,也就能充分提供浸矿溶剂。当  $\text{pH} < 1.5$  和  $> 3.5$  时,细菌的氧化活力急剧减弱,甚至使细菌致死。

## 三、温度

以 25—28℃ 为最合适,15℃ 以下和 35℃ 以上,

细菌氧化活性降低, 40℃ 是细菌的临界温度, 低温抑制其生长, 故冬天生产需要保温。

#### 四、通气量

氧化铁硫杆菌是一种好气菌, 通气是否充分是决定它成活的最重要因素。通入空气的目的, 除了供给氧外, 也是为了提供碳源。在工业生产条件下, 培养细菌所需通气量为每小时每米<sup>3</sup>溶液通入空气 2—3 米<sup>3</sup>。

#### 五、重金属离子

在细菌浸矿过程中, 由于循环渗滤, 浸出液中金属离子(如 Cu<sup>++</sup>、U<sup>++</sup>、Fe<sup>++</sup>等)逐渐增多, 它们要影响细菌的生长甚至使细菌死亡。为使浸出正常, 必须把细菌驯化使之耐高浓度金属离子。我们对该菌初步做了驯化试验, 其耐性如下:

U 1000 毫克/升; Ni<sup>++</sup> >10 克/升;  
Cu<sup>++</sup> 28 克/升; Mo 200 毫克/升;  
Co<sup>++</sup> >10 克/升。

#### 六、接种量

菌种移入的多少对细菌氧化亚铁的速率影响很大, 如 Fe<sup>++</sup> 浓度为 4.4 克/升, 接种量为 20% 时, 经 30 多小时 Fe<sup>++</sup> 就全被氧化; 接种量小于 0.1% 时, 则需数天才氧化完。因此, 为了快速培养出大量细菌培养液和节省压缩空气时的动力消耗, 应扩大接种量(1—10%)或连续培养。

此外, 培养液中有有机物质的存在, 太阳光紫外线的直接照射, 以及移入菌种的活性如何, 均影响细菌的生长, 应予以合理控制。

### 影响浸出的主要因素

细菌浸出的目的, 是要充分地矿石中的有用金属转化成可溶性物质, 这一过程受以下几种因素的影响。

#### 一、矿石性质与成分的影响

采用细菌浸出时, 必须先查清矿石的酸碱性和矿石的物相组成。应用氧化铁硫杆菌提取金属, 目前仅适用于酸性矿石, 一般情况下, 需事先试验矿石的耗酸量, 以单酸浸出与细菌浸出相比较, 看其消耗酸量及浸出效果, 如以菌浸出能够减少酸的用量或同时可以提高金属的浸出率, 便可采用细菌浸出方法。

从矿物相考虑, 细菌浸出法目前主要用于硫化矿, 对氧化矿虽也能浸出, 但其原理与酸浸相同, 只是可以节省酸的用量。根据我们的试验, 把细菌浸出铜矿石时的铜的浸出效果与物相组成的关系示如表 1。

表 1 细菌浸铜效果与物相组成的关系

物 相 组 成		各物相中大致浸出率 (%)
硫化铜	原生硫化铜	少量浸出
	次生硫化铜	80—90
氧化铜	自由氧化铜	90—95
	结合氧化铜	40—50

注: 表中所列结果系用细菌再生 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 渗滤浸取—2mm 粒度铜矿石约经三、四周试验之大致浸出率

#### 二、矿石粒度的影响

矿粒越细, 其表面积越大, 溶解速度越快, 浸出效果越好。渗滤浸出时, 矿石粒度 6—18 毫米为宜, 粒度过细则难以渗滤。如浸出对象为选矿粉碎后的尾砂, 粒度已合要求, 无需再行加工。

#### 三、浸矿剂浓度和细菌数量的影响

增大溶剂的浓度和增多细菌的数量, 金属的溶解速度和溶解程度均随之加大。铜、铀共生矿的细菌浸出比单独处理铜矿浸矿剂浓度更应合理控制, 应使浸出液 Fe<sup>+++</sup> 浓度大于 5 克/升, 否则会严重影响树脂吸附铀的能力。

#### 四、渗滤速度的影响

渗滤速度的快慢直接影响浸出周期的长短。矿石粒度过小时, 渗滤速度减缓。我们在处理矿石尾砂时, 因其粒度细、泥质多, 给渗滤造成困难。为改变这种状况, 采用了渗滤层假底(即在渗滤池中增设若干条沟, 内盛卵石粗砂), 并减薄装料厚度为 2—3 米及控制浸矿过程的酸度为 pH 1.8—2, 加快了流速, 提高了生产效能。

#### 五、温度的影响

提高温度, 溶剂与矿物的化学反应速度即随之加快。如用 1% 硫酸高铁溶液浸出 -100+200 目的辉铜矿, 当温度为 25℃ 时, 经 20 昼夜铜的浸出率还只 80% 左右; 35℃ 时, 在第 14 昼夜铜的浸出率可达 98% 左右; 而当温度为 50℃ 时, 经 2 昼夜铜已浸出 93% 左右。

此外, 因液化、浸出方式、时间及浸出作业的控制是否合理都对浸出效果有直接影响, 应因地制宜的确定浸出条件。我们试验和生产中尽量采用了合理的浸出条件, 收到了良好效果。如表 2 所示。铀浸出率可达 80% 以上, 铜浸出率在扩大试验中达 90% 左右。而目前生产上浸出率偏低的原因在于渣洗不净, 酸度控制不当, 致使底部尾砂被氢氧化铁胶结而未被浸出。

表2 细菌渗沥法浸取尾砂中铜、铀的部分结果

矿料		投料量 (吨)	耗SO <sub>2</sub> 量 (公斤/吨)	温度 (°C)	溶浸 周期 (昼夜)	Cu			U			
						原矿 (%)	浸渣 (%)	浸出率 (%)	原矿 (%)	浸渣 (%)	浸出率 (%)	
扩大 试验	浮选尾砂	2	40	25—35	21	0.202	0.02	90.10	0.0154	0.00109	92.92	
	重选尾砂与砂泥混样	2.15	32	25—35	50	1.00	0.10	90.00	0.0245	0.0042	82.86	
工业 生产	重选 尾砂	1* 浸矿池	100	34	25—35	27	0.81	0.17	79.02	0.025	0.0034	86.40
		3*-1 浸矿池	100	32	25—35	18	1.25	0.48	61.60	0.027	0.013	51.85
		3*-2 浸矿池	100	30	25—35	23	1.51	0.44	70.86	0.027	0.0053	80.37

## 铜、铀的分离

以细菌浸出法自铜铀伴生矿提取铜、铀时,其浸出液中同时含铜和铀,且有铁( $Fe^{+++}$ 及 $Fe^{++}$ )等杂质。我们反复试验了分离铜、铀的方法,确定必须先用离子交换法富集铀,然后以废铁置换法进行铜的回收。虽曾作过先回收铜后以树脂提铀的试验,但是没有成功。主要是在进行铜的置换过程中常有部分铀和铜共沉

淀,造成铀的损失,和给铜的精炼造成困难。

目前,细菌浸出铜、铀的工艺已在矿业生产中得到应用,但此工艺还有待进一步完善。生产周期如何缩短,浸出率怎样进一步提高和稳定,以及铜、铀分离中的一些问题,都需要作进一步的研究。相信,在毛主席革命路线指引下,通过科学试验和对生产实践经验认真总结,细菌浸出工艺必将在社会主义建设中发挥它应有的作用。