

铜矿细菌法堆浸试验

湖北省大悟县芳畈铜矿
湖北省微生物研究所细菌冶金组

矿石的堆积浸出是细菌浸矿的一个重要方法，目前有些国家已广泛应用，主要用来处理露天采矿剥离的低品位矿石和废石，也可处理尾矿和品位较高的矿石，处理规模很大，因此，一般不进行人工培养细菌。近年来，用堆浸法回收铜已成为铜的一个日益重要的来源。在我国，湖南某矿进行过低品位矿石细菌堆浸生产试验，其它各地均采用池式浸出或地下浸出。

1971年9月，我们在大悟县芳畈铜矿组织了有工人、领导干部和技术人员参加的“三结合”细菌冶金实验小组，发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，开展了堆积浸出研究工作。经过八个月的努力，在一系列的试验工作基础上，从1972年5月开始进行了堆积浸出的生产实验，已经获得初步成效。现将工作情况总结如下。

一、小型试验

为了解矿石是否适于采用细菌浸出处理,先用不同酸度的细菌浸矿液(菌生硫酸高铁)和硫酸浸矿剂,作浸出铜的摸索实验。即将硫酸高铁浓度调到4克/升

左右,并使各溶液的基础pH值相同,再分别加不同量硫酸。将100克、100网目矿粉放入500毫升三角瓶中,再按矿液比1:1和1:2的量分别加入上述浸矿剂,在28℃恒温室的摇床上连续震荡48小时后取下,静置2小时,取上部清液用碘量法测定铜的浸出量,用重铬酸钾法测定亚铁及总铁的变化量,实验结果见表1。

表1 不同浸矿剂经48小时浸出Cu的浸出效果及pH值的变化

矿液比	试验结果	H ₂ SO ₄ 浸矿剂及其酸度(%)						菌生 Fe ⁺⁺⁺ +H ₂ SO ₄ 浸矿剂及其酸度(%)					
		1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1:1	Cu 浸出率(%)			68.00	81.57	86.64	91.47			82.37	86.47	91.98	94.04
1:2	Cu 浸出率(%)	72.56	88.21	92.33	94.36	94.87	95.51	83.46	93.72	93.59	94.36	95.00	95.13
1:1	pH			4.0	3.5	3.2	3.0			3.0	2.5	2.5	2.0
1:2	pH	4.5	3.3	1.7	2.0	1.4	1.0	3.3	1.8	1.8	1.5	1.4	1.0

由表1可见,铜的浸出率随浸矿剂酸度递增而提高,但当到一定酸度后,多加硫酸也无必要,如矿液比1:2实验组,单以硫酸作浸矿剂,当其酸度超过3.0%,或以菌生Fe⁺⁺⁺加硫酸作浸矿剂,当其酸度超过2.5%就没有意义。由该表还说明浸出过程浸出液中的酸度随浸矿剂酸度加大而下降,同时,矿液比1:2看来比

1:1浸出效果好,但水量增大在工艺上带来麻烦。

用上述方法作不同浸出时间对浸出率的影响试验,分硫酸和菌生硫酸高铁加酸两组进行,同时作若干瓶置于摇床,根据酸的不同浓度,在不同时间各取两瓶测定铜的浸出率,直到浸出的铜不再显著增加为止。结果见表2。

表2 不同浸出时间对浸出率的影响(矿液比1:1)

组别	浸出率(%)	8	16	24	32	48	72	96
1% H ₂ SO ₄				23.9		24.6	24.6	23.8
2% H ₂ SO ₄				49.7		56.8	56.8	
3% H ₂ SO ₄		53.9	62.5	69.0	72.7			
菌液+1% H ₂ SO ₄				43.6		51.6	52.4	53.9
菌液+2% H ₂ SO ₄				59.7		68.9	69.8	
菌液+3% H ₂ SO ₄		62.0	69.5	70.7	75.7			

表2说明1%和2%的硫酸浸出48小时后,铜浸出量不再增加,而菌加1%的酸和菌加2%的酸两组,48小时后尚有少量增加。3%的硫酸和菌加3%的酸两组只进行32小时,铜的浸出率就比其它组高。

二、中型生产试验

在一系列小型试验和扩大的缸渗滤浸出试验的基础上,进行了堆积浸出的生产性实验。

(一)细菌培养及浸矿剂的制备

制备含细菌、硫酸高铁和硫酸浸矿剂,是细菌浸矿

首先进行的一环。氧化铁硫杆菌(*Th. ferrooxidans*)是一类化能自养型细菌,通常在无机环境中生长繁殖。它在适宜的温度、酸度、通气、营养成分等条件下生长繁殖,能氧化硫酸亚铁为硫酸高铁,氧化元素硫为硫酸。由于这类细菌的生物化学作用,产生了有利于氧化铜矿物和次生硫化矿物中铜被溶浸出来的浸出反应。

培养细菌的池子是砖砌的圆形池子,直径2.5米,深2米,池内外涂一层水泥,下部靠近浸矿池的一边装有内径25毫米的陶瓷阀门,便于向浸矿池输送培养液,并可控制流速。

初次培养菌的培养液是用硫酸浸矿所得硫酸铜经废铁置换铜后的废液(即硫酸亚铁废液),加适量的清

水，将硫酸亚铁含量调至 10—15 克/升。如果亚铁和其他盐类浓度过高，将会影响细菌生长。培养液只加 0.015% 硫酸铵作氮源，细菌所需的其他无机盐类，靠浸矿过程中从矿石里提供。用硫酸调节溶液的酸度使达 pH 2。接种时最好将菌液中的沉淀物一起接种，因为此菌较多的粘附在固体物上。采用鼓风机通气培养（鼓风机规格：静压 2 米水柱，风量 25.2 立方米/分，配电动机 20 瓩）。通气管用内径 46 毫米硬质橡皮管，钻有直径 2 毫米的小孔若干，绕池底周围一圈，以代替耐酸金属管道。细菌培养的最适温度在 25—35℃ 之间。在冬季低温期间进行实验时，曾用北方的烧炕方法，将两根内径 170 毫米的铁管从细菌培养池底部穿过，管外壁用水泥涂一薄层，在整个池子内壁涂上一层沥青以防止腐蚀，在池外一端修烟筒，另一端修一炉灶，利用热空气通过管道加温，这样能达到良好的效果。

在上述培养条件下，2—4 天内能将全部 Fe^{++} 转变成 Fe^{+++} 。有时通气不连续或接种量少时，培养时间就要相对的延长。

为了在浸矿过程中使细菌继续生长，菌液中应留有少量 Fe^{++} （作能源）。

(二)浸矿

根据本矿的实际情况，以及各矿区的矿石性质、品位、氧化程度，采用堆积浸出方法进行实验。浸出用的矿石是本矿金马坑矿区矿石，矿石中的铜矿物主要是孔雀石、蓝铜矿，其次是硅孔雀石、铜蓝、辉铜矿、斑铜矿和少量黄铜矿。岩石为含铜花岗岩。脉石矿物主要是石英、长石及少量角闪石、绿泥石、磷灰石、锆英石。矿石构造属于细脉浸染状，矿石中以氧化铜为主，硫化铜次之。铜物相分析结果见表 3。

由于试验场地限制，堆积浸矿场总面积仅有 47 平

表 3 金马坑矿区矿石铜物相分析结果

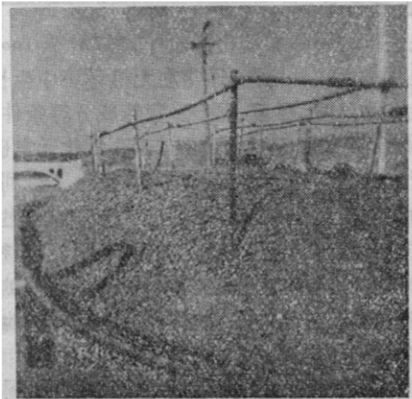
氧化铜 (%)		硫化铜 (%)		合 计 (%)	氧化率 (%)
1.17		0.186		1.36	84
单体氧化铜 0.85	结合氧化铜 0.32	次生硫化铜 0.15	原生硫化铜 0.036		

方米。为了避免地面渗水，用混凝土浇灌地面，地面有一定坡度，周围用砖砌起 0.4 米高，以防浸出液流失及雨水冲入。地面及内壁涂沥青，在堆积场最低的一端装内径 50 毫米陶瓷阀门一个，浸矿液通过渗滤经阀门流入收集池。

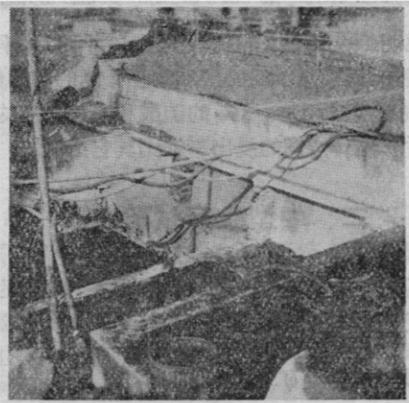
实验用矿石破碎后，经 20 毫米筛孔过筛，大规模投产，可酌情处理。堆积高度，1 米左右，随着堆积场的大小和矿石处理量的多少，其堆积高度可以增减。堆矿石时，防止压实而影响渗透。本试验每次处理矿石 70 多吨。

细菌浸矿液用喷淋方法从矿石堆上面均匀喷淋。

本试验采用直径 25 毫米的塑料管，管上每隔 100 毫米钻一组孔径 2 毫米的小孔 7 个。矿石堆顶是平面的，设四排互相连通的布液管，并与耐酸水泵相接。淋速 5 米³/小时，但每当浸矿液在矿石堆上形成水流时，就暂停喷淋。浸矿液经矿石堆渗滤，从矿石堆底通过阀门流到收集池，不断地间歇喷淋。我们采用白天布液，夜间停，或夜间布液白天晒。布液停止后 1—2 小时就能沥干，这样的浸湿和沥干过程对矿石中铜的缓慢扩散和毛细管作用有利，并有利于矿石堆内的通气，使细菌在浸矿过程继续作用。这种布液方法比较均匀，只有局部边缘上不能淋到。细菌浸矿液进入矿石堆前用



矿石堆的布液



浸出液置换情况

清水或部分尾水调节硫酸 高铁量为 3—5 克/升, pH 2.0。浸矿液循环喷淋, 浸出过程定期测定铜的浸出量, 当浸出液含铜量达 4—5 克/升时, 不再循环, 进行置换。再加新液, 继续喷淋, 直到浸矿液中铜不再增加为止。浸出初期, 铜的浸出很快, 约 5—6 小时后可进行置换, 浸出后期就逐渐变慢。

本矿的矿石以含硅岩石为主, 耗酸的矿物少。由于矿石硬度大, 在浸出过程中不易分解, 渗滤时透水性很好, 流出液没有泥沙, 适合渗滤浸出。

每次浸出的矿石堆, 在开始用细菌浸矿液喷淋之前, 先用酸性水喷淋, 以中和矿石中的部分碱性脉石, 然后用细菌浸矿液喷淋, 避免浸矿液 pH 升高, 使硫酸高铁水解。在浸矿液喷淋过程中, 应避免溶液沿矿石堆坡面直泻而下, 或形成沟流现象。

浸出结果: 耗酸量为 2.5% 左右, 浸出周期随着季节变化而有所不同, 一般夏季为 20—25 昼夜, 浸出率为 75% 左右。

三、铜 的 回 收

浸矿液中铜的回收是细菌浸出工艺的重要环节之

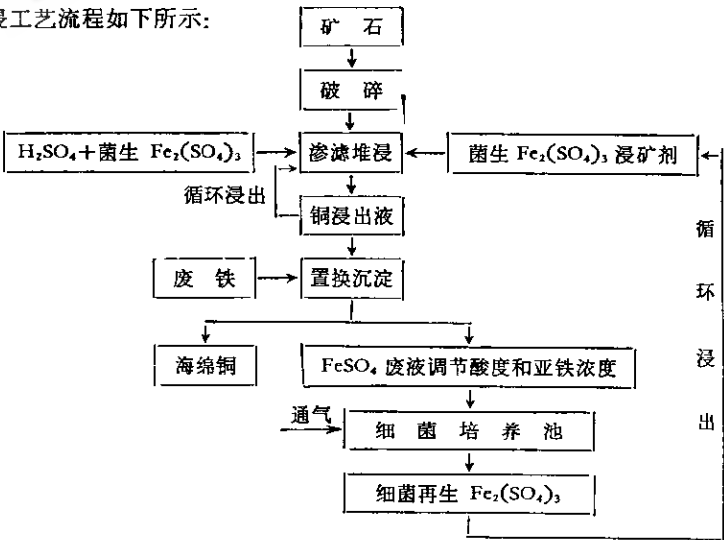
一, 它直接影响到铜的产量, 本矿采用铁置换回收溶液中的铜。浸矿液中铜的品位达 4—5 克/升时, 放入置换池。先加硫酸调节酸度 pH 1.5—2.0, 因为游离酸能加速铜的置换反应, 防止铁盐沉淀, 但游离酸过多会使废铁的消耗量增加, 所以加酸应适度。加入废铁量相当于池中铜量的两倍左右。置换时曾用竹蔑制成的大竹筛, 吊于置换池中, 离池底 15—20 厘米, 废铁屑放在竹筛上, 能够加速置换效果。置换过程中定时搅动, 使废铁表面的铜脱落, 保持足够的接触面, 对铜的回收是有利的。置换过程中适时取样测定铜的含量, 当尾水中铜的含量降低到 0.05—0.1 克/升时可以结束。一般需 5—6 小时。结束之后将尾水排掉, 再用水泵将剩余在竹筛上的铁屑所粘附的铜冲洗干净。提出竹筛, 排水后用铁锹将海绵铜收集于竹筐中沥干水, 加适量的石灰制成直径 10 厘米左右的铜球, 晒干后在炉子中进行冶炼。海绵铜的品位 70—80%, 冶炼的粗铜含铜量为 93—95%。

溶液中铜的含量、游离酸的量、 Fe^{+++} 量、置换温度、置换时间、置换装置和铁的种类等都影响置换的效果。生产过程中曾对不同的置换时间对置换率的影响进行过实验, 结果见表 4。

表 4 不同置换时间铜的置换率

置换时间(小时)	Cu (克/升)	置换率(%)	Fe^{+++} (克/升)	Fe^{++} (克/升)	pH	溶液温度(°C)
0 (开始时)	6.18		4.38	8.83	1.5	9
1	3.46	44	2.14	11.48	1.5	11
2	1.44	77	0.98	13.30	1.5	12
3	0.51	92	0.00	15.60	1.5	13
4.30	0.19	97	0.08	16.30	1.5	13.5
20	0.08	99	0.11	18.10	3.0	12

本矿细菌堆浸工艺流程如下所示:



细菌堆浸工艺流程示意图

(下转第 24 页)

(上接第 17 页)

表 4 说明,当溶液温度在 9—14℃ 之间,酸度为 pH 1.5 时,4 小时半置换率达到 97%,20 小时达到 99%,而溶液的酸度由 pH 1.5 升到 pH 3.0。因此认为,从提高设备利用率和减少用酸量(使尾水作为新的浸矿液)考虑,置换时间只要 5—6 小时就可以结束。

四、小 结

试验证明,芳畹铜矿的氧化矿用细菌堆积浸出能够达到较好结果。利用此法浸矿,矿石只需要一般破

碎,不需球磨。矿石粒度在 10 毫米左右为宜。由于条件限制,采用 20 毫米粒度的矿石,体积偏大,影响浸出效果。

根据试验,本矿石用细菌堆浸耗酸量宜在 2.5% 左右,浸出率达 75%。

利用堆积浸出的优点是:工艺简单,投资少,矿石处理量可大可小,便于利用当地自然地形就地处理,很有发展前途。

利用细菌堆浸与本矿的硫酸浸出比较,也具有工艺流程简单、操作方便、省酸、浸出率高等优点,收到较好的效果。