

用氧化亚铁硫杆菌膜氧化装置加速亚铁的氧化

钟慧芳 蔡文六 李雅琴 陈秀珠

(中国科学院微生物研究所,北京)

在生物湿法冶金中应用活性生物膜的方法,是近年来的新进展^[1-3]。由于氧化亚铁硫杆菌 (*Thiobacillus ferrooxidans*) 的培养周期较长,影响硫酸高铁溶液的再生,使利用该菌浸矿受到一定限制。采用细菌膜氧化装置,即一种富含该菌的多孔黄钾铁矾薄膜 [$\text{MFe}_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_6$]*,使大量细菌始终处于对数期的氧化活性状态,从而可以连续、快速地将大量亚铁氧化成硫酸高铁溶液,用于浸矿,可大大地缩短细菌培养周期,节省药剂和操作费用,经济效益明显。

应用细菌膜氧化法处理一些贫矿或浸染型难选矿石,是一个值得探讨的新问题。为此我们就氧化亚铁硫杆菌菌膜的形成进行了研究。现将结果报告如下。

材料与 方法

1. 菌株: 氧化亚铁硫杆菌 T-M 菌株,从湖南桃江锰矿、棠甘山锰矿区酸性矿水中分离^[4]。

2. 培养基: Leathen 的无机亚铁培养基^[5]。

3. 细菌的培养和菌膜装置: 见图 1, 2。在 内径 6cm, 高 100cm 的圆形玻璃槽内,盛入已接种的新鲜培养基 1.8L, 在 30—32℃ 通气培养。将聚乙烯塑料波纹板组装的蜂窝状圆柱形结构浸没在培养液中,圆柱状构造物总表面积为 0.648 M²。由底部通入 400—450 ml/min 空气曝气培养。新鲜培养基从高位按一定流速经槽底

入口定量加入,硫酸高铁溶液从溢流口流入收集器。

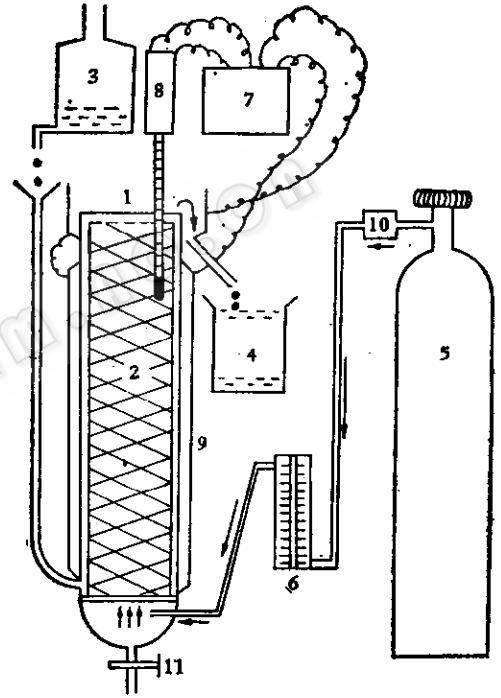


图 1 细菌膜氧化装置

1. 细菌培养槽, 2. 蜂窝状圆柱形结构, 3. 高位瓶, 4. 收集器, 5. 压缩空气瓶, 6. 流量计, 7. 继电器, 8. 温度计, 9. 电热保温套, 10. 检压计, 11. 闭路活塞。

4. 测定方法: 用重铬酸钾容量法测定铁, 用国产 ZD-2 型酸度计和精密 pH 试纸测定 pH

* 式中 M 为 NH_4^+ 或 K^+ 。

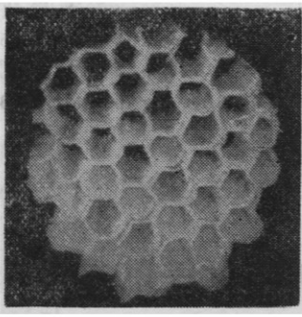


图2 聚乙烯塑料波纹板组装的蜂窝状圆柱形结构的横切面。每边2.5mm,孔径5mm。

值,用血球计数板测定细胞数目。

结果和讨论

一、细菌生长与氧化速率的关系

为了连续提供总铁浓度约25g/L的硫酸高铁溶液作为处理用溶剂,将氧化亚铁硫杆菌 T-M 菌株挂附在蜂窝状结构物上形成菌膜的过程,在总铁浓度为25g/L的连续培养过程中进行。为此,需要先确定合适的连续培养起始时间和亚铁氧化程度。当在细菌培养槽中活化培养后,测定了细菌生长和氧化速率的关系。方法是多次接种,使菌种培养液活化,每次接种量5%,生长潜伏期约24—25小时,完全氧化25g/L亚铁需72小时,细胞数量稳定在 4.5×10^8 个/ml左右。然后以50%的接种量培养。结果表明(图2),生长潜伏期缩短至5—8小时即进入对数期,亚铁氧化成高铁的速率呈直线上升;细菌生长曲线与氧化亚铁速率曲线几乎平行,表明二者关系密切。氧化速率为0.6—1.0g/L/h,将25g/L亚铁完全氧化仅需20小时,此时细胞量达 2.5×10^9 个/ml,而细菌生长尚未完全进入静止期。

连续培养的开始时间应确定在细菌生长对数期和氧化速率最高时。在我们的试验中,细胞数为 10^9 个/ml,亚铁氧化率为95—100%。此时无疑可连续地提供25g/L的硫酸高铁溶液。

二、连续培养过程中细菌膜的形成

按上述试验结果,将聚乙烯蜂窝状结构浸

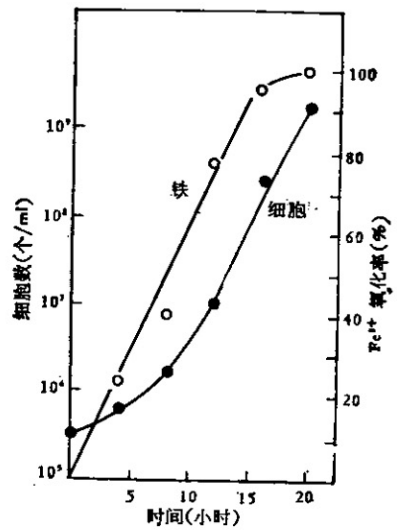


图3 氧化亚铁硫杆菌 T-M 菌株生长与氧化速率的关系

入连续培养液中。按图1所示,由高位瓶经槽底添加新鲜培养基,不断搅拌混合,控制流速,使到达槽顶部的溶液中有95%以上的亚铁被氧化。形成的硫酸高铁溶液从溢流口流至收集器供浸矿用。连续进行,即可形成菌膜。培养10天后,在蜂窝状结构上出现一薄层淡黄色覆盖物,厚度0.1—0.2cm,从膜的外观及镜检观察看,类似Goldbatt^[1]所观察到的黄钾铁矾菌膜。

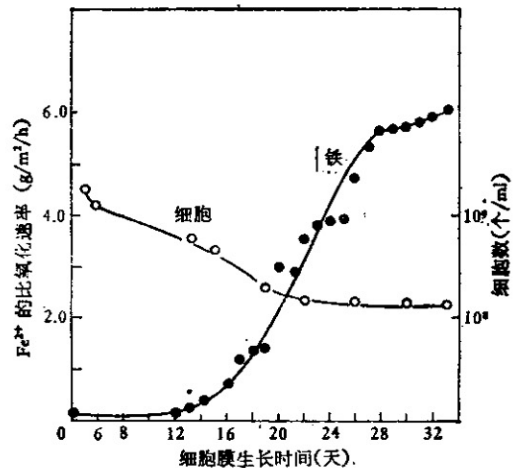


图4 氧化亚铁硫杆菌 T-M 菌株菌膜的生长与Fe²⁺比氧化速率的关系

但在12天前,没有形成细菌膜,亚铁的氧化是培养液里细菌氧化作用的结果,比氧化速率只

有 0.1—0.2g/m²/h。在细菌培养液里,细胞浓度由 2.5×10⁹ 个/ml 下降至 2×10⁸ 个/ml 后,基本达到稳定。12 天以后,比氧化速率直线上升,28 天后比氧化速率趋于稳定,28—30 天时为 5.64—5.71 g/m²/h,第 33 天达到 6.07 g/m²/h (见图 4,表 3)。在未形成菌膜前,培养液的流速为 2.5 ml/min,形成菌膜后则仅为 0.04—0.08

ml/min。由此可见,在培养槽中,由于放置了柱状结构,其蜂窝状结构增加了有效表面积,从而增加了细菌的有效浓度,提高了亚铁氧化过程中的比氧化速率约 30—60 倍。

菌膜在培养过程中会局部剥落,但随之又会再形成。说明菌膜能够繁殖更替,基本上不影响菌膜效果,这样,就可以较长期地使用。

表 1 氧化亚铁硫杆菌 T-M 菌株菌膜的形和 Fe²⁺ 的比氧化速率

累计培养时间 (d)	流 速 (ml/min)*	细胞数 (个/ml)	pH	铁含量 (g/L)			Fe ²⁺ 氧化率 (%)	比氧化速率 (g/m ² /h)
				Fe ²⁺	Fe ³⁺	总量		
0		2.5×10 ⁹	1.6	0	24.4	24.4		
2	0.04	2.3×10 ⁸	1.6	0	25.2	25.2	100.00	0.10
12	0.08	7.5×10 ⁸	1.6	0.2	25.0	25.2	99.20	0.20
14	0.16	—	1.6	0.6	24.6	25.2	97.61	0.39
16	0.32	6.5×10 ⁸	1.6	0.2	23.5	23.7	99.15	0.75
17	0.42	4.2×10 ⁸	1.6	0.4	23.6	24.0	98.30	1.13
18	0.60	—	1.7	0.2	23.6	23.8	99.15	1.42
21	1.30	2.7×10 ⁸	1.7	0.6	22.6	23.2	97.41	2.90
25	1.60	2.3×10 ⁸	1.7	0.8	24.4	25.2	96.82	3.90
26	2.00	2.2×10 ⁸	1.7	0.5	23.9	25.4	94.10	4.70
28	2.40	2.2×10 ⁸	1.7	1.7	23.5	25.2	93.28	5.64
30	2.40	2.1×10 ⁸	1.7	1.2	23.9	25.1	95.20	5.71
33	2.50	—	1.7	1.2	23.9	25.1	95.22	6.07

* 培养液总体积 1800 ml。

三、菌膜对不同浓度亚铁的氧化效果

比较了菌膜对不同浓度亚铁的氧化效果,结果见表 2。由表 2 可见,亚铁浓度低时,可大幅度提高流量以缩短氧化时间。

此项装置运转 3 个多月后,细菌的氧化活性和比氧化速率未见减退,蜂窝状圆柱形结构也未发现堵塞。我们认为本文所报道的,是一种加速细菌对亚铁氧化的较好的新方法。

表 2 氧化亚铁硫杆菌 T-M 菌株对不同浓度亚铁氧化作用的比较

试 验 批 次	铁含量 (g/L)			流速* (ml/min)	累计运转时间 (d)	细胞数 (个/ml)	pH	Fe ²⁺ 氧化率 (%)	比氧化速率 (g/m ² /h)
	Fe ²⁺	Fe ³⁺	总量						
1	1.6	23.5	25.1	2.5	31	2×10 ⁸	1.7	93.6	5.88
2	0.5	14.5	15.0	4.0	18	1.3×10 ⁸	1.6	96.6	5.79
3	0.5	4.7	5.2	10.8	32	1×10 ⁸	1.8	90.7	5.08

* 培养液总体积 1800 ml。

参 考 文 献

- [1] Goldbatt, E. L.: GB Patent, No. 1542600, 1977.
 [2] Goldbatt, E. L.: *Metals and Mineral Processing*, 1: 6—15, 1977.
 [3] Goldbatt, E. L.: *GBF Conference Bacterial Le-*

aching, Weinheim, Verlag Chemie, N. Y. 1977, pp. 175—190.

- [4] 毛钰凡等: 微生物学报, 19(2): 166—174, 1979.
 [5] Leathen, W. W. et al.: *J. Bacteriol.*, 72: 700, 1956.