

生物氧化预处理氧化槽内气液混合相的密度机理模型

贾爱迪, 高丙朋*, 徐媛媛
(新疆大学 电气工程学院, 乌鲁木齐 830047)

摘 要: 在新疆高寒高海拔地区生物氧化提金预处理的研究中, 用机理建模法建立了氧化槽内气液混合相的密度机理数学模型。经过对氧化槽内气液两相的混合密度进行数值计算, 拟合出矿区环境温度、矿区大气压强以及矿浆质量浓度对氧化槽内气液两相的混合密度的影响曲线, 提出了一种对氧化槽设备的改进方案。结果表明, 氧化槽内气液两相的混合密度与矿区环境温度以及矿浆质量浓度成正比例关系, 而与矿区大气压强成反比例关系; 改进后的氧化槽设备可提高生物氧化反应的速度和效率。

关键词: 生物氧化; 金矿; 气液混合相; 混合密度; 密度机理模型

中图分类号: TF831 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2016)03-0046-05

Density Mechanism Model on Gas-liquid Mixing Phase in the Oxidation Tank of Biological Oxidation Pretreatment

JIA Aidi, GAO Bingpeng*, XU Yuanyuan
(Electrical Engineer School, Xinjiang University, Urumqi 830047, China)

Abstract: In the research of biological oxidation gold pretreatment to recover gold from the cold and high areas in Xinjiang, a gas-liquid mixing phase density model by the mechanism modeling method was established. By the calculation of the gas-liquid mixing phase density in the oxidation tank, the fitting curve that the influence of environment temperature, atmospheric pressure and mass concentration to mixture density was resulted, and the oxidation tank equipment improvement was developed. The results show that there are direct proportion relationship between mixture density with environment temperature and mass concentration. But there are inverse proportion relationship between mixture density and atmospheric pressure. This modified oxidation tank equipment can improve the reaction speed and efficiency of biological oxidation reaction.

Key words: biological oxidation; gold mine; gas-liquid mixing phase; mixture density; density mechanism model

生物氧化提金工艺受到多种因素的影响和制约, 是涉及热力学、动力学、生物化学以及电化学等多门学科的复杂工艺^[1-2], 生物氧化预处理工艺是有效提高生物氧化提金效率的前期处理工艺技术, 其影响因素^[3-5](如温度、矿浆 pH 值、氧化还原电位(ORP)、空气量、磨矿细度以及矿浆浓度等)的分析

研究在不断的深入, 已经得到了很多最优参数范围, 例如, 生物氧化预处理工艺中矿浆质量浓度的最优范围为 15%~20%^[6]; 最有利于氧化槽内生物氧化反应的背景温度为 42℃等^[7]。目前, 对生物氧化预处理氧化槽内温度场的建模与数值模拟的研究在渐渐深入, 也有学者进行了一些细菌氧化机理、动力学

收稿日期: 2015-11-15

基金项目: 新疆自然科学基金项目(2012211A004)。

第一作者: 贾爱迪, 女, 硕士研究生, 研究方向: 软测量建模及工业控制优化。E-mail: 654615992@qq.com

*通讯作者: 高丙朋, 男, 博士, 副教授, 研究方向: 智能控制与系统开发及 PLC 应用。E-mail: 155258792@qq.com

过程的研究^[8-9],而对于生物氧化预处理氧化槽内密度场的建模与数值模拟仍然有待完善,因此,必须研究生物氧化预处理过程中氧化槽内气液混合相的密度,从而为槽内密度场的建立与分析奠定基础。

本文通过建立氧化槽内气液两相的密度机理模型,从而得到高寒环境、昼夜温差较大的工况^[3, 10]下气液两相的混合密度的影响参数以及变化趋势,为生物氧化预处理氧化槽内密度场的数值模拟奠定了基础;同时,该模型也为研究生物氧化预处理过程中氧化还原电位(ORP)与氧化槽内气液混合相密度之间的影响关系提供了理论支撑,为生物氧化提金预处理工艺控制系统参数的优化提供理论基础。

1 生物氧化提金预处理工艺

生物氧化预处理工艺是利用细菌作催化剂对包裹目的元素的矿石进行氧化,从而使得非目标元素被氧化成离子进入溶液中被处理回收,以便于得到暴露在氧化渣中的目标元素进行下一步处理,大大提高了金的浸出率。

图1所示为生物氧化预处理氧化槽,槽体直径10 m,高10 m,一般液位控制在9 m(溢浆口高度)。生物氧化预处理过程中空压机不断的向氧化槽内的液相矿浆通入空气,由电动调节阀调节进气量,空气从氧化槽底部进入,经搅拌电机搅拌后均匀分布于矿浆中,如此,在氧化槽内部呈现复杂的气液两相混合反应状态^[11-12]。

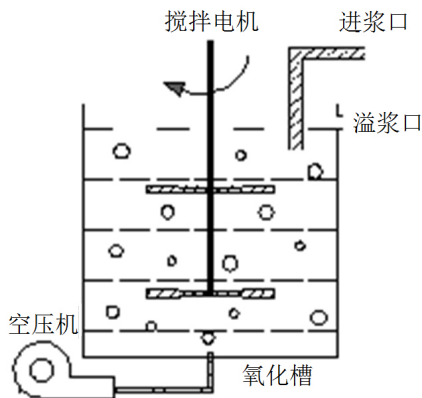


图1 生物氧化预处理过程氧化槽工艺

Fig.1 Oxidation tank artwork of bio-oxidation pretreatment

2 氧化槽内气液混合相密度机理数学模型

生物氧化预处理氧化槽内是矿浆溶液与所通入

空气同时存在的气液两相流,由于槽内有搅拌电机在进行搅拌,可以视槽内气液两相混合液是均匀的,因此,其气液混合相的密度为:

$$\rho = \alpha \rho_g + (1 - \alpha) \rho_l \quad (1)$$

其矩阵形式为:

$$\rho = \begin{bmatrix} \alpha & 1 - \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \rho_g \\ \rho_l \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(2)中, ρ 为氧化槽内气液混合相的混合密度; ρ_g 为氧化槽内气相密度; ρ_l 为氧化槽内矿浆溶液密度; α 为氧化槽内气相含率。

2.1 解析气相密度 ρ_g

气相密度定义为氧化槽内气相质量与氧化槽内气液两相体积之比。在生物氧化预处理过程中,向氧化槽内通入一定质量空气的同时,槽内生物化学反应消耗了一定质量的氧气,由此,可以得到理论气相密度:

$$\rho_g = (Q - Q_g) \cdot H / (v \cdot V) \quad (3)$$

式(3)中, Q 为槽内单位时间通入空气的质量; Q_g 为槽内生物化学反应单位时间所消耗的氧气质量; H 为槽内液面高度; v 为槽内气相的气升速度; V 为槽内气液两相体积。

2.2 解析液相密度 ρ_l

生物氧化预处理过程中氧化槽内的液相为调配好的一定质量浓度的矿浆,所占体积仍然是气液两相体积,因此,氧化槽内液相矿浆的密度为:

$$\rho_l = m_s / (C_l \cdot V) \quad (4)$$

式(4)中, m_s 为氧化槽内含砷难处理金矿石的质量; C_l 为经配矿调浆后的矿浆的质量浓度。

2.3 解析气相含率 α

氧化槽内气液两相在搅拌电机作用下均匀混合,同时存在,理论上气液混合相中气相含率:

$$\alpha = V_g / (V_g + P \cdot V \cdot T_b / T \cdot P_b) \quad (5)$$

式(5)中, V_g 为氧化槽内所含气相体积; P 为当地大气压力; P_b 为生物化学反应背景压力; T 为当地环境温度(开氏温度); T_b 为生物化学反应背景温度(开氏温度)。

将解析公式(3)、(4)、(5)均代入式(1)进行合并整理,从而得到了生物氧化预处理氧化槽内气液混合两相的密度机理模型:

$$\rho = \frac{1}{C_l \cdot V} \cdot \left\{ \frac{\left[C_l \cdot (Q - Q_g) \cdot \frac{H}{v} - m_s \right] \cdot V_g}{V_g + \frac{P \cdot V \cdot T_b}{T \cdot P_b}} + m_s \right\} \quad (6)$$

通过分析生物氧化预处理过程中的氧化槽内气液两相的混合密度机理模型,从式(6)可以看出该混合密度存在多方面影响因素,基于新疆高寒高海拔地区金矿的工程实际特性,选取矿区环境温度 T 、矿区大气压强 P 以及矿浆质量浓度 C_1 作为目标影响因素进行分析研究,从而得到矿区海拔较高,压强较低以及昼夜温差大等特性对氧化槽内气液混合相密度的影响。

3 变量参数对气液两相混合密度的影响

利用工程实际中的参数,可以拟合出生物氧化预处理工艺的矿区环境温度、矿区大气压强以及矿浆质量浓度等影响参数变化对氧化槽内气液两相的混合密度的影响曲线。以新疆某高寒地区的含砷难处理金矿为工程背景,该矿区纬度较高,地形属于干旱半干旱北温带戈壁缓丘,地势平坦,海拔高度约 1300 m;该矿区属于典型的大陆性气候,昼夜温差较大,年平均气温在 8.5~10.5℃,最高温度为 42℃,而最低温度为-35℃,其生物氧化预处理工艺参数如表 1 所示。

表 1 生物氧化预处理参数

Tab.1 Biological oxidation pretreatment parameters

参数	C_1	$Q/(kg/s)$	$Q_g/(kg/s)$	m_s/kg
取值	18%	0.581	0.143	155164.025
参数	V/m^3	V_g/m^3	H/m	$v/(m/s)$
取值	706.858	50	9	0.1
参数	P/Pa	P_b/Pa	T/K	T_b/K
取值	84854	88200	283~315	315

生物氧化预处理工艺氧化槽内安装有冷水盘管与热水盘管,用来调节氧化槽内背景温度,温度低于理想值时开启热水盘管加热,而当温度高于理想值时开启冷水盘管降温,从而使得反应在最适宜温度下进行,得到较高的生物氧化效率。虽然氧化槽内背景温度可以基本维持恒定,但是由于氧化槽体积较大,均在室外放置,因此环境温度对氧化槽内气液两相的密度有较大的影响,而该矿区昼夜温差较大,使得氧化槽内气液混合相的气相含率受进气温度影响,同时也影响了气液两相的混合密度。根据已知参数以及密度机理模型(式(2)~(5))拟合出氧化槽内矿浆浓度分别为 15%、18%及 20%时对应气液两相的混合密度随矿区环境温度 T 变化的曲线,

如图 2 所示。

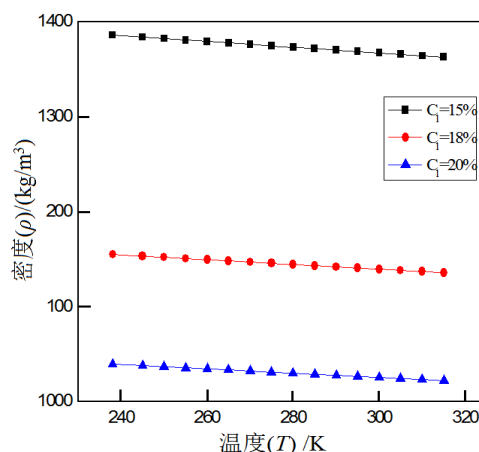


图 2 密度随矿区环境温度的变化曲线

Fig.2 The curve between density and environment temperature

由图 2 可知,生物氧化预处理过程中,氧化槽内矿浆质量浓度为 15%时对应的密度大,而 20%时对应的密度却小;且气液两相的密度随温度的升高而减小。

中国是拥有生物氧化提金矿厂最多的国家,各厂所在地理位置对应的海拔高度不同,对应的各矿区大气压强也不同(海拔越高,压强越低)。因此,生物氧化预处理氧化槽内气液两相的混合密度也会发生改变。假设厂址位置分布于海平面(0 m)到海拔高度(1300 m)之间,其对应的大气压强则从 101325 Pa 减小到 84854 Pa,根据已知参数以及密度机理模型(式(2)~(5)),可得到密度随不同海拔高度的矿区大气压强的变化曲线,如图 3 所示。

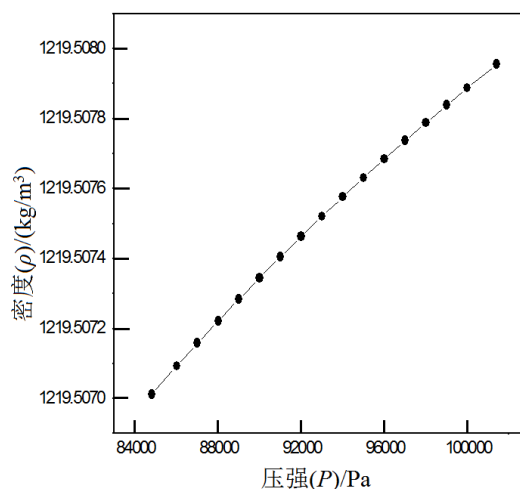


图 3 密度随矿区大气压强的变化曲线

Fig.3 The curve between density and atmospheric pressure

由图3可知,氧化槽内气液两相的密度随气压的增大而增大;当气压变化18 kPa,即海拔变化1300 m,对应的密度变化了仅仅0.001 kg/m³,可见,矿区大气压强对氧化槽内气液混合相的密度影响非常小,因此,矿区所在位置的海拔因素影响变得很小,在分析时考虑权重也可以变小。

工程实际中对难处理金精矿的生物氧化预处理,需要将矿浆质量浓度 C_1 调配在理论最优范围内(即15%~20%)^[9],可见,当矿浆质量浓度不同时对应氧化槽内气液两相的混合密度也会有所不同。根据已知参数以及密度机理模型(式(2)~(5))拟合出矿区环境温度分别为最低温238 K和最高温315 K时氧化槽内气液两相的混合密度受矿浆质量浓度变化的影响曲线,如图4所示。

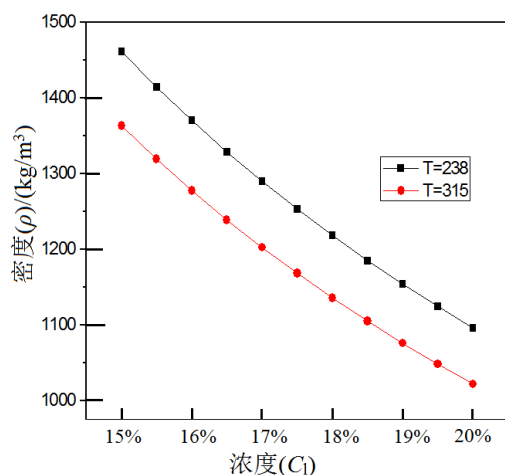


图4 密度 ρ 随矿浆质量浓度 C_1 的变化曲线

Fig.4 The curve between density and mass concentration

由图4可知,矿区环境温度较低时混合相密度较温度较高时的大,且氧化槽内气液两相的密度随矿浆浓度的增大而减小;当矿浆浓度变化5%,对应的密度变化400 kg/m³,由变化幅值可见,矿浆质量浓度对氧化槽槽内气液混合相的密度影响较大,必须要作为其影响因素在工程实际中加以考虑。

4 对氧化槽设备的改进

基于氧化槽内气液混合相的密度影响因素的分析,为减小昼夜温差极大的矿区环境温度对槽内气液混合相密度的影响,可以在空气进入氧化槽之前对其进行预热保温处理,使其保持工艺要求的最适宜温度(一般为42℃)。在进气管外嵌套一个恒温水

管,并加上保温层进行保温,可达到预热进气温度的目的;为使得氧化槽内进入的矿浆质量浓度尽量保持在工艺参数最优值(一般为18%)参加反应,可以将氧化槽设备原本的顶部进浆改为底部进浆。如此,最优浓度的矿浆进入氧化槽后便可及时在富氧区活跃细菌的催化作用下开始反应,在搅拌作用下反应更加充分快速,则同时提高了细菌生物氧化反应的速度和效率,也缩短了反应时间,可提高工艺经济性。改进后的氧化槽设备如图5所示(注:只更改氧化槽设备,并不改变生物氧化预处理工艺流程)。与图1进行比较,改进部分为给进气管外加了恒温热水管,将进浆管由氧化槽顶部更改为底部。

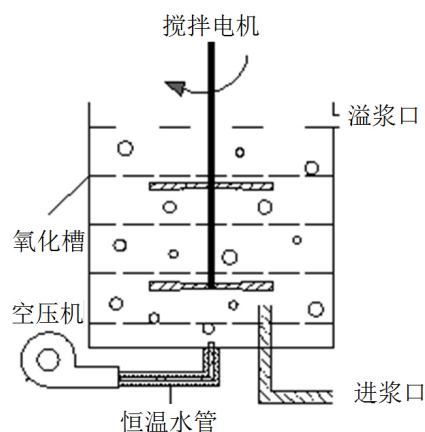


图5 改进后的氧化槽设备

Fig.5 The improved oxidation tank equipment

对氧化槽设备进行改进后,可降低矿区环境温度以及矿浆质量浓度变化对槽内气液混合相密度的影响,进而使该混合密度尽量作为一个稳定的物性参数在生物氧化反应中体现,故混合密度的变化对细菌生物氧化反应的干扰系数会越小,对反应速度与效率的影响也就越小。

5 结语

本文通过对新疆高寒高海拔地区生物氧化提金预处理工艺过程的研究,得到了生物氧化预处理过程中氧化槽内气液混合相的密度机理数学模型。结合气液两相流的混合密度公式分析获得了矿区环境温度 T 、矿区大气压强 P 以及矿浆质量浓度 C_1 对氧化槽内气液两相的混合密度 ρ 变化的影响关系,并据此对氧化槽设备进行了改进。这些工作为氧化槽内密度场的建立以及数值模拟研究提供了理论支

持, 在后续的研究中将以该密度模型为基础, 分析生物氧化预处理过程中氧化还原电位(ORP)与氧化槽内气液混合相的密度之间的关系, 从而进一步揭示高寒高海拔地区生物氧化还原反应的内在规律和特点, 促进生物氧化提金技术的发展和完善。

参考文献:

- [1] 朱长亮, 杨洪英, 汤兴光, 等. 含砷难处理金矿的细菌氧化预处理研究现状[J]. 贵金属, 2010, 31(1): 48-52.
ZHU C L, YANG H Y, TANG X G, et al. Current status of studies on bacterial pre-oxidation and leaching of refractory gold ores with As[J]. Precious metals, 2010, 31(1): 48-52.
- [2] 马红周, 燕超, 王耀宁, 等. 氢氧化钠浸出含砷金矿中砷[J]. 贵金属, 2015, 36(1): 14-16.
MA H Z, YAN C, WANG Y N. Leaching the arsenic in the gold ore by sodium hydroxide[J]. Precious metals, 2015, 36(1): 14-16.
- [3] 南新元, 陈飞, 孔军. 高寒地区某金矿生物氧化预处理过程温度控制研究[J]. 贵金属, 2014, 35(2): 38-42.
NAN X Y, CHEN F, KONG J. The research on temperature control in biological oxidation pretreatment process of a gold mine in alpine region[J]. Precious metals, 2014, 35(2): 38-42.
- [4] ARRASCUE M E L. Biooxidation of arsenopyrite concentrate using BIOX process: Industrial experience in the Tamboraque, Peru[J]. Hydrometallurgy, 2006, 83(1): 90-96.
- [5] 伍喜庆, 程征, 杨平伟. 矿浆 pH 对表面磁化和菱铁矿-赤铁矿协同磁化的效应[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2014, 45(3): 678-683.
WU X Q, CHEN Z, YANG P W. Effects of pulp pH on surface magnetization and siderite hematite synergic magnetization[J]. Journal of Central South University: Science and technology, 2014, 45(3): 678-683.
- [6] 杨松荣. 含砷难处理金矿石生物氧化提金基础与工程化研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
YANG S R. Fundamental and industrialization investigation on biooxidation of arsenic-bearing refractory gold ore[D]. Changsha: Central South University, 2004.
- [7] 高丙朋, 南新元. 生物氧化预处理工艺控制系统研究与应用[J]. 黄金, 2011, 32(1): 50-52.
GAO B P, NAN X Y. Research and application of control system in biological oxidation pretreatment artwork process[J]. Gold, 2011, 32(1): 50-52.
- [8] LI Q, LI D, QIAN F. Pre-oxidation of high-sulfur and high-arsenic refractory gold concentrate by ozone and ferric ions in acidic media[J]. Hydrometallurgy, 2009, 97(1): 61-66.
- [9] 高丙朋, 南新元, 魏霞. 基于迭代 LS-SVM 生物氧化提金预处理工艺参数优化算法的研究[J]. 贵金属, 2012, 33(2): 40-43.
GAO B P, NAN X Y, WEI X. Study on optimization algorithm of process parameters for gold extraction pretreatment based on iterative LS-SVM[J]. Precious metals, 2012, 33(2): 40-43.
- [10] 郑晔. 高寒环境下生物氧化提金工艺研究与应用[J]. 中国矿业, 2013, 22(6): 70-74.
ZHENG Y. Research and application of biological oxidation technology on gold extraction in gold area[J]. China mining magazine, 2013, 22(6): 70-74.
- [11] MISHIMA K. Visualization and measurement of gas-liquid metal two-phase flow with large density difference using thermal neutrons as microscopic probes[J]. Nuclear instruments and methods in physics research, 2011, 424: 229-234.
- [12] DORAO C A. Effect of inlet pressure and temperature on density wave oscillations in a horizontal channel[J]. Chemical engineering science, 2015, 134: 767-773.