ICS 77.020

CCS H 05

团体标准

T/CNIA **×××**-202**×**

铜矿石生物堆浸循环过程控制

技术规范

Technical specification for cycle process control of copper ore biological heap leaching

（送审稿）

**20××-××-××发布**

**20××-××-××实施**

|  |  |
| --- | --- |
| 中 国 有 色 金 属 工 业 协 会 | 发布 |
| 有色金属标准化技术委员会 |

## 前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC243)提出并归口。

本文件起草单位：有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、有研科技集团有限公司、紫金矿业集团股份有限公司、北方矿业有限责任公司、中南大学、中国科学院过程工程研究所。

本文件主要起草人：杨鑫龙、刘学、孙建之、温建康、尚鹤、莫晓兰、王军、张雁生、谢建平、伍赠玲、贾炎、梁新星、王大文。

铜矿石生物堆浸循环过程控制技术规范

## 1 范围

本文件规定了铜矿石生物堆浸循环过程控制的技术要求、设备要求及取样和检测要求。

本文件适用于可溶性钙镁总含量（质量分数）不大于15%的氧硫混合铜矿及硫化铜矿生物堆浸生产。

## 2 规范性引用文件

下列文件的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别

GB 51411 金属矿山土地复垦工程设计标准

GB/T 6920 水质 pH值的测定 玻璃电极法

GB/T 30989 高通量基因测序技术规程

GB/T 33705 土壤水分观测 频域反射法

GB/T 41184.1 土壤水分蒸发测量仪器 第1部分：水力式蒸发器

GB/T 51404 有色金属堆浸场浸出液收集系统技术标准

DZ/T 0227 地质岩心钻探规程

HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范

HJ/T 298 危险废物鉴别技术规范

HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法

HJ 494 水质 采样技术指导

SL 21 降水量观测规范

## 3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生物堆浸 heap bioleaching

在不透水的基底上，将矿石或含矿废渣直接或经破碎、造粒后筑成矿堆，使含浸矿微生物的浸出剂溶液在矿堆中渗透，溶解目标组分，收集浸出液并回收目标组分的工艺过程。

3.2

浸矿微生物 bioleaching microbial

 可以直接或间接地参与金属硫化物或氧化物的氧化和溶解过程的微生物。

3.3

接种 inoculation

将浸矿微生物接种入矿堆的过程。

3.4

布液 solution distributing

将溶液在矿堆表面均匀分布并使其与矿石充分接触的过程。

3.5

浸出液 leaching solution

含浸出剂且在矿堆内流动并能与矿石目标组分发生化学反应的溶液。

3.6

溶液池 leaching solution pond

位于生物堆浸场外收集、贮存喷（滴）淋矿石浸出液或经工艺流程返回溶液的水池，包括但不限于贵液池、中间液池、萃余液池（贫液池）和防洪池等。

## 4 循环控制技术要求

4.1 入堆矿石的预处理控制

4.1.1 入堆矿石粒度控制

矿石在入堆之前，应经旋回式破碎机、颚式破碎机或圆锥破碎机等进行破碎，通过配矿使入堆矿石的粒度和平均品位达到预设值。宜通过破碎及配矿自动化或智能化控制，稳定入堆矿石粒径及品位，避免过粉碎。颗粒宜不大于50 mm，最大应不超过1000 mm。

4.1.2 堆场坡度控制

 根据自然地势，应选择远离地表径流的开阔地面，平整地面，建设堆场，平整后地面向中间液池倾斜，倾角为2°~5°，便于浸出液充分收集。

4.1.3 浸出液pH值调整与矿堆布液控制

4.1.3.1 浸出液在接种浸矿微生物之前应加入pH值调整剂，宜在矿石破碎后、入堆之前根据矿石酸耗实际情况部分添加。

4.1.3.2 浸出液循环淋浸或滴浸矿堆，循环过程中逐步添加pH值调整剂，使浸出液最终pH值维持在1.0-2.0范围内。

4.1.3.3 布液方式包含喷淋/滴淋两种，其选择应按现场的自然环境情况和矿堆自身的渗透性而定。应合理采用布液休闲制度，减少人力成本及能源消耗。

4.1.3.4 建议采用pH值调整智能控制及调节系统。

4.1.4  矿堆渗透性及边坡稳定性控制

已筑好的矿堆，初始渗透系数K应不小于1×10-2 cm/s。矿堆边坡角应比自然安息角小5°~10°，单层堆高不宜超过10 m，并做防滑落处理。

生物堆浸过程中渗透性变差，导致矿堆表面形成积液时，宜适当降低布液强度，消除积液。若积液较严重时，应在矿堆积液区域进行翻堆作业。

4.2 接种控制

4.2.1 接种时机控制

接种时机应选择浸出液pH值达到要求并稳定1周后进行接种，在接种不同温度段的含浸矿微生物溶液时，宜在当前矿堆内部温度在浸矿微生物最佳适应温度范围下限之下5℃~10℃时接入该溶液，以减少可能产生的溶液加热能耗。

4.2.2 浸矿微生物的生物代谢特性控制

所接种的浸矿微生物群落应具有可通过氧化铁（+2价）和低价硫（含-2价至+4价）放热，并进行生命代谢的基础表观生物特性。

4.2.3 接种所需浸矿微生物浓度控制

含浸矿微生物溶液中微生物浓度应达到1×108个/mL以上。

4.2.4 接种比例控制

接入时含浸矿微生物的溶液体积与入堆溶液体积的比例应不低于1:10（体积比）。

宜在接种后60天内在距矿堆中部区域表面不小于1m处取湿矿样，若微生物浓度低于108个/g(矿)，进行菌种补接，之后宜定期检测矿堆内微生物浓度。

4.3 浸出液循环控制

4.3.1 铜离子浓度控制

4.3.1.1 浸出液循环过程中，当铜离子浓度达到设计要求时，应将部分浸出液进行萃取——电积或置换处理，以产出金属铜。

4.3.1.2 生物堆浸过程铜浸出率通过测定得到的铜离子浓度计算，如公式（1）所示：

$$ε=(\frac{C\_{0}×V\_{0}}{α×M\_{0}}+\frac{M\_{1}}{γ})×100\%$$

…………………………………………………（1）

式中：

ε——浸出率，单位为百分比（%）；

C0——浸出液中铜离子浓度，单位为克/升（g/L）；

V0——浸出液总体积，单位为立方米（m3）；

α——入堆铜品位，单位为百分比（%）；

M0——入堆矿石量，单位为吨（t）；

M1——阴极铜总产量，单位为吨（t）；

γ——萃取——电积段铜回收率，单位为百分比（%）。

4.3.2 浸出液中三价铁离子及其它杂质离子浓度控制

4.3.2.1 三价铁离子浓度控制

当浸出液中的三价铁离子浓度大于30g/L，应及时除铁，采用的除铁方法包括中和水解法、针铁矿法、赤铁矿法、黄钾铁矾法等，应根据现场实际情况决定。

4.3.2.2 其它杂质离子浓度控制

根据后续溶液处理的杂质离子浓度范围要求，应选择中和沉淀法、萃取法、离子交换法、电渗析法等合理的处理方法将杂质离子浓度限定在可控的范围内。杂质离子应至少包含Fe2+、Fe3+、Ca2+、Mg2+、Al3+、SiO32-。Mn2+、F-、Cl-。

生物堆浸循环控制过程中，应监测浸出液中汞、镉、铅、铬、砷、锌、钴、镍等有害元素离子的浓度，达到设计限值时需对其进行去除。

4.3.2.3 其它

应对杂质离子及有害离子产生量、产生位点、处理量等进行数字化管理。根据堆浸场的特点对监测点有害离子的产生进行实时在线监测和预警。

4.3.3 浸出液pH值控制

浸出液循环过程中，其pH值应维持在1.0~2.0范围内，pH值高于2.0或低于1.0时，应按照少量多次的原则，适当添加pH值调整剂。

4.3.4 浸出液循环过程中水平衡控制

4.3.4.1 工艺水平衡控制

工艺水平衡控制按照公式（2）计算：

$$V\_{进}=V\_{出}+∆V\_{含}$$

…………………………………………………（2）

其中，

V进——工艺循环进入堆场的水体积，单位为立方米（m3）；

V出——工艺循环流出堆场的水体积，单位为立方米（m3）。

ΔV含——两次取样所测矿堆含水量体积差值，单位为立方米（m3）。

矿堆含水量测定周期为2周，测定方法参照GB/T 33705中土壤水分测定方法执行。

4.3.4.2 外部环境的水平衡控制

当一个统计周期内进入浸出液循环系统的降水量（单位为立方米）与浸出液循环系统自然蒸发的水量（单位为立方米）相同时，浸出液循环过程无需补充水或排水；当降水量大于蒸发量时，浸出液循环过程应及时排水，并将其导入贫液池或防洪池，用作工艺补水；当降水量小于蒸发量时，浸出液循环过程应及时补充新水或工艺补水。补水时应按照少量多次的原则，避免浸出液pH值大幅波动。

降水量、蒸发量数据采用当地气象部门数据，无法获取时，降水量参照SL 21执行，蒸发量采用GB/T 41184.1仪器实测。

4.3.4.3 浸出液循环过程不应出现漏液情况。如出现，则应尽快停止溶液循环，查找漏点，修复好再开启溶液循环。

4.3.4.4 浸出液宜实现循环平衡在线监控和分析，应采用新水或工艺补水自动添加系统，对水添加量进行自动统计，实现自动或智能平衡控制及调节。

4.4 堆场的关闭作业

4.4.1 浸出终点的判定

应按设计单位推荐的浸出周期提前对矿堆铜浸出率进行预测，判断浸出终点。当浸出周期内实际铜浸出率偏离设计铜浸出率大于5%时，应从运营成本、铜浸出率和矿堆安全方面进行综合评估，以判定浸出终点。铜浸出率应按照4.3.1中公式（1）计算。

4.4.2 洗堆

堆场在闭堆之前，应采用弱酸性的水洗涤矿堆，使矿堆内残留的金属离子进入洗水。洗水排入萃余液池（贫液池），用于其它矿堆布液。洗堆后对堆内矿石进行取样，参照HJ/T 298及HJ/T 299的相关规定判断浸出毒性及固废属性，确定是否需要继续洗堆。

4.4.3 闭堆

堆场闭堆时，矿堆表面应采用粒径为1 mm-20 mm的石灰石等碱性矿石或矿渣颗粒覆盖，覆盖厚度应在5 cm-30 cm。闭堆后的矿堆可根据实际需要再次覆盖粘土及土工薄膜进行堆场铺底，或按照GB 51411规定设计复垦工程。

## 5 设备要求

5.1 生物堆浸所用破碎机、清水泵、耐腐蚀泵等设备，应在兼顾生产能力的基础上尽量选择低功耗的型号。关键设备宜实现在线自动或智能化监测，设置异常预警和故障类型识别。

5.2 浸出液循环过程中，应合理选择设备、管道结构及材料，防止物料外泄造成危害。输送、布液管路及其附属装置的结构、抗腐蚀性和强度，应与所输送物质的特性和工作条件相符，防止破损而泄漏输送液。

5.3 具有危险性或毒害性的作业应实现自动化或智能化，安装必要的信号报警和保险装置，并在危险作业点装设防护设施。

## 6 生物堆浸过程取样和检测要求

6.1 取样种类

取样应包含溶液样品、固体样品。样品用于检测其中铜及其它金属含量、铜离子及其它离子浓度、pH值、浸矿微生物浓度、微生物基因组序列等。

6.2 取样方法

6.2.1 浸出液取样地点应设置在堆浸汇合管道出口处及各溶液池内。浸渣取样应按照均匀布点原则，在矿堆表面按一定的间距取样。

6.2.2 液体取样方法按GB/T 51404和HJ 494的规定执行。浸渣取样方法按DZ/T 0227和HJ/T 20的规定执行。

6.2.3 应按照工艺设计的取样周期取样。

6.3 溶液和浸渣样品内微生物的分离及计数

6.3.1 溶液样品内微生物的计数

溶液样品采用血细胞计数法进行计数。取一定体积的样品细胞悬浮液置于血细胞计数器的计数室内，用显微镜观察计数。并计算样品中的含菌数。

6.3.2 浸渣样品内微生物的计数

应使用取得的湿浸渣样品进行浸矿微生物的分离。用一定量pH值为1.0的酸性水浸泡浸渣样品30分钟以上，使矿石表面的微生物脱附至溶液中，形成细胞悬浮液，采用血细胞计数法进行微生物计数。矿石干燥后称重。

矿石中微生物数量按照公式（3）计算：

$$C\_{矿}=C×\frac{V}{M}$$

…………………………………………………（3）

式中：

*C*矿——单位质量浸渣中微生物的数量，单位为个/g(矿)；

*C*——单位体积细胞悬浮液中微生物的数量，单位为个/毫升；

*V*——细胞悬浮液的体积，单位为毫升（mL）。

*M*——浸渣样品干重，单位为克（g）。

6.4 样品检测和分析

样品的检测分析方法见表1。

表1 生物堆浸工艺过程样品测定方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 测定方法 | 方法标准编号 |
| 1 | pH值 | 玻璃电极法 | GB/T 6920 |
| 2 | 元素测定 | 电感耦合等离子体发射光谱法 | GB 5085.3 |
| 3 | 微生物基因组序列 | 高通量基因测序 | GB/T 30989 |