ICS 77.020

CCS H 05

团体标准

T/CNIA **×××**-202**×**

铜矿石生物堆浸绿色循环过程控制

技术规范

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

（讨论稿）

**20××-××-××发布**

**20××-××-××实施**

中国有色金属工业协会发布

目 次

[前 言 II](#_Toc71182013)

[1 范围 1](#_Toc71182014)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc71182015)

[3 术语及定义 1](#_Toc71182016)

[4 技术要求 2](#_Toc71182017)

[5 生物堆浸过程取样要求 5](#_Toc71182038)

[6 生物堆浸过程铜及其它金属平衡计算方法 6](#_Toc71182048)

## 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、中南大学。

本文件主要起草人：

铜矿石生物堆浸绿色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绿色循环过程控制的技术要求、取样要求及堆浸过程金属平衡计算方法。

本文件适用于入堆粒度不大于1000mm，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/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 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

## 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

将矿石或含矿废渣直接或经破碎、造粒之后，在准备好的不透水的基底之上筑成矿堆，使含浸矿微生物的浸取剂溶液在矿堆中渗透，溶解目标组分，收集浸取液并回收目标组分的工艺过程。

3.2 绿色循环过程 Green circulating process

以最小资源消耗以及尽可能地减少环境污染并在适当的情况下变废为宝的一种物质闭环过程。

3.3 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。

3.4 接种 Inoculation

将浸矿微生物植入矿堆的过程。

3.5 布液 Solution distributing

将溶液均匀分布并使其与矿堆表面充分接触。

3.6 浸取液 Leaching solution

含浸取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。

3.7 溶液池 Leaching solution pond

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

## 4 技术要求

4.1 入堆矿石的预处理控制

4.1.1 入堆矿石破碎控制

矿石在入堆之前，应经颚式破碎机或圆锥破碎机进行破碎，通过配矿使入堆矿石的粒度和平均品位达到预设的粒度和平均品位要求。有条件时，应通过破碎及配矿自动化与智能化控制，稳定入堆矿石粒径及品位。

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，平整后地面的倾角为2°~5°，建设堆场，便于浸取液收集。

4.1.3 浸取液pH值调整与矿堆布液控制

4.1.3.1 浸取液在接种浸矿微生物之前应加入pH值调整剂。此处pH值调整剂通常为硫酸，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 浸取液循环淋浸矿堆，循环过程中逐步添加pH值调整剂，使浸取液最终pH值维持在1.3-2.0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。

4.1.3.4 建议采用pH值检测仪表、自动添加系统等实现pH值调整的智能控制及调节。

4.1.4  矿堆渗透性及边坡稳定性控制

已筑好的矿堆应具有良好的渗透性能。矿堆边坡角应比自然安息角小5°~10°，单层堆高不宜超过10m，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，减少积液。若积液较长时间无法消除，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

接种时机应选择浸取液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低于浸矿微生物最佳适应温度范围下限5℃~10℃时接入该溶液。

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利用二氧化碳为碳源，能够通过促进低价硫氧化实现产热，并进行生命代谢的基础表观生物特性。生物堆浸过程应基本不产生碳排放。

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要求，对该矿的浸矿能力具有相对良好的适应性及浸出特性。

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值应不低于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 浸取液绿色循环控制

4.3.1 铜离子浓度控制

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

4.3.2 浸取液pH值控制

浸取液循环过程中，其pH值应维持在1.3-2.0范围内，pH值高于2.0或低于1.3时，应遵循少量多次的原则，适当添加pH值调整剂。

4.3.3 浸取液循环过程中水平衡控制

4.3.3.1 工艺内部的水平衡控制

V进=V出，溶液应循环不外排；

V进——工艺循环进入堆场的水，单位为立方米（m3）；

V出——工艺循环流出堆场的水，单位为立方米（m3）。

4.3.3.2 外部环境的水平衡控制

V降水量=V蒸发量时，浸取液循环过程无需补充水或排水；

V降水量>V蒸发量时，浸取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。

V降水量<V蒸发量时，浸取液循环过程应及时补充新水或工艺补水，防止堆面出现结晶。补水时应遵循少量多次的原则，避免浸取液pH值大幅波动。

V降水量——一个统计周期内进入浸取液循环系统的降水量，单位为立方米（m3）；

V蒸发量——一个统计周期内浸取液循环系统自然蒸发的水量，单位为立方米（m3）。

4.3.3.3 浸取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。

4.3.3.4 有条件时，浸取液应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，实现自动平衡控制及智能调节。

磨矿分级工序的介质储存及添加应采用自动添加系统，对介质添加量及添加种类进行自动统计，宜实现介质添加智能调节。循环药剂或介质应实现循环平衡在线监控和分析，并实现自动平衡控制。

4.3.4 设备要求

4.3.4.1 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。有条件时，关键设备应实现在线智能化监测，实现异常预警和故障类型识别。

4.3.4.2 生物堆浸绿色循环工艺流程中，应合理选择设备和管道结构及材料，防止物料外泄造成危害。

4.3.4.3 具有化学灼伤或剧毒危害的作业应尽量采用机械化、管道化和自动化，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。

4.3.4.4 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。

4.4 浸取液中三价铁及其它杂质离子浓度控制

4.4.1 三价铁离子浓度控制

当浸取液中的三价铁离子浓度大于20g/L，应及时除铁，采用的除铁方法应根据现场实际情况和设计方案综合决定。

4.4.2 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Ca2+、Mg2+、Al3+、SiO32-。

4.4.3 有害离子浓度控制

生物堆浸绿色循环控制过程中，应监测浸取液中汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(cr)、砷(As)、锌(Zn)、钴(Co)、镍(Ni)等有害元素离子的浓度，达到设计限值时需对其进行去除。

4.4.4 其它

有条件时，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。

4.5 堆场的关闭作业

4.5.1 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不小于5%时，应从运营成本、浸渣铜品位和矿堆安全方面进行综合评估，以判定浸出终点。

4.5.2 洗堆

堆场在停止运行之前，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判断浸出毒性及固废属性，确定是否需要继续洗堆。

## 5 生物堆浸过程取样要求

5.1 样品种类、取样地点和时机

5.1.1 取样种类

取样应至少包含矿石、浸取液样品。样品用于检测其中铜及其它金属含量、铜离子及其它金属离子浓度、浸矿微生物浓度。

5.1.2 取样地点

浸取液取样地点应设置在堆浸汇合管道出口处及各溶液池内。浸渣取样应遵循均匀布点原则，在矿堆表面按一定的间距钻孔采取。

5.1.3 取样时机

应按照预设取样周期定期取样。

5.2 取样方法

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

5.3 浸取液和浸渣样品内微生物的分离及计数

5.3.1 浸取液样品内微生物的计数

浸取液样品直接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。

5.3.2 浸渣样品内微生物的计数

应使用钻孔取样所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技术。矿石干燥后称重。

矿石中微生物数量按照公式（1）计算：

*C矿*=*C*×*V*/*M*

…………………………………………………（1）

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/mL；

*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）。

5.4 样品检测和分析

样品的检测分析方法按表1或国家认定的替代方法、等效方法执行。

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 | 菌种基因测序 | 高通量基因测序 | GB/T 30989 |

## 6 生物堆浸过程铜及其它金属平衡计算方法

6.1　原矿品位

原矿品位按公式（2）计算：

*α*=*Σpiαi*

…………………………………………………（2）

式中：

*α*——原矿加权平均品位，单位为百分比（%）；

*pi*——每批筑堆原矿量所占权重，%；

*αi*——每批筑堆原矿含铜品位，单位为百分比（%）。

6.2　浸渣品位

浸渣品位按公式（3）计算：

*β*=*Σqiβi*

…………………………………………………（3）

式中：

*β*——浸渣加权平均品位，单位为百分比（%）；

*qi*——每批筑堆原矿量所占权重，%；

*βi*——每批筑堆原矿含铜品位，单位为百分比（%）。

6.3　浸出率

浸出率按公式（4）计算：

*ε*=*(α-β)*/*α*×100%

…………………………………………………（4）

式中：

*ε*——浸出率，单位为百分比（%）。