

地质雷达与高密度电法融合技术在选矿监测模型构建中的方法研究

李建东, 赵留峙*

(河南省第四地质大队有限公司)

摘要:针对选矿过程中运行指标决策面临的挑战,提出了地质雷达与高密度电法融合技术在选矿监测模型构建中的应用,并对融合技术与传统监测方法的有效性和预测精度进行了对比分析。研究结果显示,地质雷达与高密度电法融合技术的平均样本偏差较低,测定精度较高,选矿监测效果优于传统监测方法。这一技术融合不仅提升了选矿监测模型的准确性,还为优化生产指标提供了重要支持。

关键词:地质雷达;高密度电法;选矿监测;精度评估;技术融合;模型构建

中图分类号:TD92

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)02-0040-03

doi:10.11792/hj20250207

引言

随着矿产资源的逐渐枯竭及开采难度的提升,如何提升选矿效率已成为矿产资源开发领域的核心课题^[1]。选矿流程包含多个工艺环节,其复杂性与多变性使得运行指标的决策面临诸多挑战。传统选矿监测模型多依赖于经验性的生产工艺知识,难以实现模块化,从而限制了自动化与智能化的进一步发展^[2]。此外,选矿过程机理的不明确性使得建立精确的数学模型变得困难,难以准确反映实际运行指标与综合生产指标之间的关系^[3]。加之选矿过程受外部市场需求变化和内部因素如原矿性质波动、设备检修等影响,使其处于动态且多变的环境之中^[4]。基于此,本研究提出了地质雷达与高密度电法融合技术,以构建选矿监测模型。本研究的创新之处在于通过技术融合提升了选矿监测模型的准确性和效率。该技术融合了地质雷达的高分辨率与高密度电法对水反应的灵敏性,旨在在复杂环境中实现更精确的选矿指标监测^[5-7],以为选矿监测模型的构建提供新的技术路径和理论支持。

1 选矿监测模型

1.1 选矿监测模型构建

选矿工艺流程的复杂性导致了其运行指标决策面临多维挑战。首先,构建精确的数学模型以准确反映实际运行指标与综合生产指标之间的关系存在困

难;其次,选矿过程受到外部和内部因素如原矿性质的不稳定性、设备维护等的共同影响,使其处于一个动态且多变的环境之中^[8-9];此外,经验性生产工艺知识难以实现模块化,这在一定程度上阻碍了选矿自动化和智能化的进程;同时,在选矿生产中,综合生产指标之间存在相互冲突,需要在这些指标冲突中找到一个平衡点。研究必须关注选矿过程中的关键参数控制,以确保选矿效率和产品质量,同时避免设备过载或资源的不必要浪费^[10]。因此,选矿过程中的各个运行指标都需要在一定的约束条件下进行,如式(1)所示。

$$\begin{cases} \varepsilon_L \leq \varepsilon \leq \varepsilon_H \\ \beta_{iL} \leq \beta_i \leq \beta_{iH} \\ P_{iL} \leq P_i \leq P_{iH} \\ \theta_{iL} \leq \theta_i \leq \theta_{iH} \end{cases} \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

式中: $\varepsilon_L \leq \varepsilon \leq \varepsilon_H$ 为确保持一次溢流回收率 ε 保持在最低值 ε_L 和最高值 ε_H 之间; $\beta_{iL} \leq \beta_i \leq \beta_{iH}$ 为确保持第 i 个阶段的精矿品位 β_i 保持在最低值 β_{iL} 和最高值 β_{iH} 之间; $P_{iL} \leq P_i \leq P_{iH}$ 为确保持第 i 个阶段的磨矿粒度保持在最低值 P_{iL} 和最高值 P_{iH} 之间; $\theta_{iL} \leq \theta_i \leq \theta_{iH}$ 为确保持第 i 个阶段的尾矿品位 θ_i 保持在最低值 θ_{iL} 和最高值 θ_{iH} 之间。

选矿过程中弱磁球磨机和强磁球磨机运行能力限制的数学表达如式(2)所示。

$$\begin{cases} Q_{iL} \leq Q_i \leq Q_{iH} \\ R_{iL} \leq R_i \leq R_{iH} \end{cases} \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

式中: Q_i 为球磨机单位时间内处理量; R_i 为球磨机运

收稿日期:2024-08-05;修回日期:2024-10-08

基金项目:国家自然科学基金面上项目(61871199)

作者简介:李建东(1989—),男,工程师,研究方向为地球物理勘查;E-mail:ljd191919@163.com

*通信作者:赵留峙(1984—),男,高级工程师,研究方向为工程测量、地质测量;E-mail:Zhaolz2022@163.com

行时间; Q_{iL} 和 Q_{iH} 为球磨机单位时间内最低处理量和最高处理量; R_{iL} 和 R_{iH} 为球磨机运行最短时间和最长时间。

约束条件确保了选矿设备的运行在安全和效率的最佳范围内,防止因超负荷运行而导致的设备损坏或效率降低。

确保矿石品位保持在一定的范围内,需要添加选矿过程中弱磁和强磁阶段入磨矿石品位的约束条件,如式(3)所示。

$$\alpha_{iL} \leq \alpha_i \leq \alpha_{iH} \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

式中: α_i 为入磨矿石品位; α_{iL} 和 α_{iH} 为入磨矿石最低品位和最高品位。

为确保废石的品位保持在一定的安全和有效范围内,需要添加废石品位的约束条件,如式(4)所示。

$$\beta_{wL} \leq \beta_w \leq \beta_{wH} \quad (4)$$

式中: β_w 为废石的品位; β_{wL} 和 β_{wH} 为废石最低品位和最高品位。

为最大化精矿品位 β 和处理量 Q ,对主要目标函数进行优化,如式(5)所示。

$$\begin{cases} \max \beta = f_{\beta}(\varepsilon, P_i, \beta_i, \theta_i, \alpha_i, Q_i, R_i, \beta_w, t) & i = 1, 2 \\ \max Q = f_Q(\varepsilon, P_i, \beta_i, \theta_i, \alpha_i, Q_i, R_i, \beta_w, t) & i = 1, 2 \end{cases} \quad (5)$$

式中: f_{β} 、 f_Q 分别为精矿品位、处理量的函数,依赖于多个变量; t 为时间。

式(5)中,2个方程共同构成了1个多目标优化问题。该问题旨在满足所有运行指标和工况约束的条件下,寻找最优的运行参数,以实现精矿品位和处理量的最大化。矿石在开采后,必须经过一系列物理和化学处理步骤,以富集其中的有用矿物。选矿监测模型针对矿石的物理化学处理过程进行优化,旨在提升精矿品位的同时,减少资源浪费和能耗。该模型特别适用于处理低品位、弱磁性和组成复杂的矿石,如赤铁矿。通过监测关键选矿步骤,如磨矿、浮选等,模型能够实现参数调整和过程优化^[11]。选矿监测模型如图1所示。

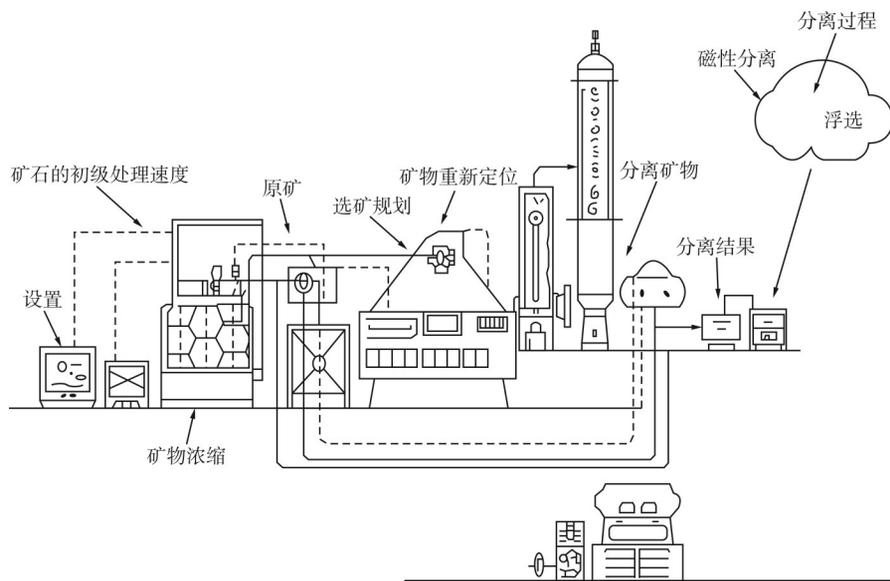


图1 选矿监测模型

Fig. 1 Monitoring model for beneficiation

由图1可知:该选矿监测模型揭示了从原矿输入至最终产品输出的完整流程,涵盖了关键步骤与监测点,旨在优化选矿效率和产品质量。该模型首先将原矿的初级处理速度作为衡量效率的关键指标纳入考量,随后通过选矿规划确定各处理阶段的布局。矿物分离通过筛分、破碎和磨矿技术实现,而矿物浓缩通过重选或浮选技术提升矿物品位。磁性分离技术利用矿物磁性差异,通过磁选机实现磁性与非磁性矿物的分离。矿物重新定位涉及将分离后的矿物输送至不同区域,而浮选技术则基于矿物表面性质差异,通过化学药剂和空气搅拌实现有用矿物的分离。

1.2 地质雷达与高密度电法融合技术

在采矿活动中,地质雷达和高密度电法技术的应用是为了提供地下结构的详细信息,能够帮助评估矿区稳定性、优化采矿设计和预防地质灾害。地质雷达利用高频电磁波探测地下介质,而高密度电法则通过测量电位差来获取地下电阻率分布。这两种技术结合,可以更准确地确定矿体的位置和品位,指导采矿活动。地质雷达系统由主机、天线、辅助采集装置和数据处理软件组成,利用高频脉冲电磁波在地下介质中的传播特性进行探测。发射天线向地下发射电磁波,当遇到介质层变化时,部分电磁波被反射,反射系数主要由介质的介电常数决定。雷达主机接收反射波并进行

处理,实现对地下目标介质的探测和识别^[12]。

在构建选矿监测模型过程中,地质雷达能够探测到顶层反射界面及其他反射信号,通过对这些反射信号的分析,可以精确定入选矿石的形态,进而指导选矿作业,提升资源利用效率。高密度电法系统的基本构成要素包括多路电极转换器、高密度电法主机及电源,这些组件共同构成了高密度电法系统硬件架构的核心,如图2所示。

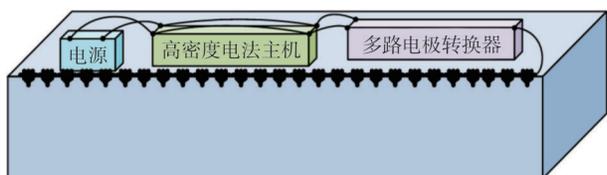
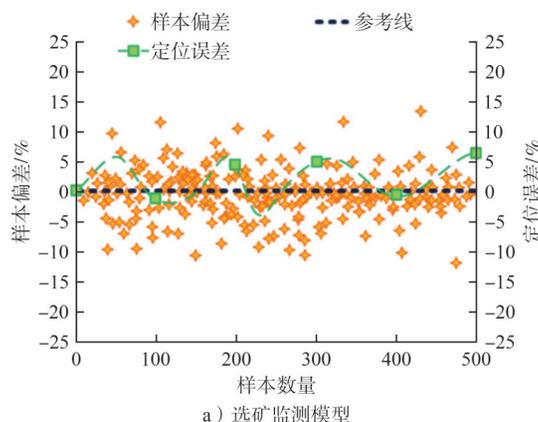


图2 高密度电法工作示意图

Fig. 2 Schematic diagram of high-density electrical operation



a) 选矿监测模型

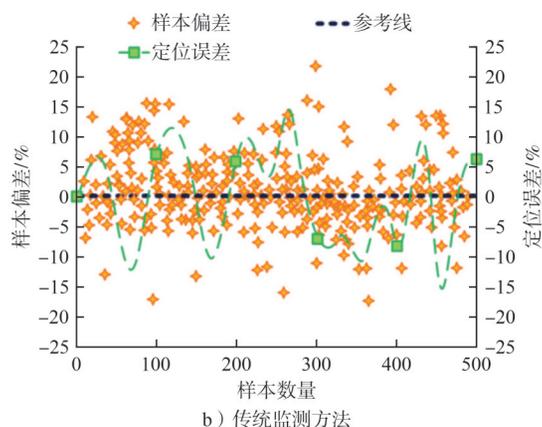
2 地质雷达与高密度电法融合技术在选矿监测模型中的性能评估

选矿监测模型与传统监测方法的误差分析对比结果如图3所示。

由图3-a)可知:选矿监测模型在样本数量0~500时,样本偏差与定位误差均基本维持在10%以内,表现出良好的稳定性。由图3-b)可知:传统监测方法存在显著的样本偏差及定位误差波动,部分数据点的误差甚至超过了20%。

研究对6个不同取样区域的矿石进行了选矿监测,结果如表1所示。

由表1可知:研究所构建模型的平均样本偏差较低,测定精度较高,表明地质雷达与高密度电法融合技术在提高选矿监测模型的准确性和可靠性方面具有显



b) 传统监测方法

图3 误差分析对比结果

Fig. 3 Comparison of error analysis

表1 选矿监测模型准确性分析

Table 1 Accuracy analysis of the monitoring model for beneficiation

参数	区域A	区域B	区域C	区域D	区域E	区域F
样本数量	103	87	94	112	76	51
平均样本偏差/%	0.267	0.232	0.298	0.274	0.341	0.314
误差/%	0.487	0.459	0.523	0.482	0.547	0.491
测定精度/%	95.627	96.186	95.934	96.513	94.781	95.328

著优势。未来的研究可以针对不同区域的特定条件,进一步优化模型参数,以实现更精确的监测^[13-15]。

3 结语

研究创新性地将地质雷达与高密度电法相融合,为复杂环境中的选矿指标监测提供了新的技术路径。研究结果表明,该融合技术在选矿监测中具有显著优势,具有广阔的应用前景。未来,可针对不同区域的特定条件,进一步优化模型参数,以实现更精确的监测,为矿产资源的可持续开发利用提供有力保障。

[参考文献]

- [1] 吴卫煌.金矿石处理方法研究现状及进展[J].黄金,2023,44(1):42-48.
- [2] 陈旭波,刘万峰,于志超.非洲某次生硫化铜矿选矿试验研究[J].中国矿业,2024,33(增刊2):399-404.
- [3] 严文泽,刘思为,杨柳毅,等.锰资源现状及开发利用技术进展[J].中国锰业,2024,42(2):16-21,26.
- [4] 罗林山,黄超,杨相,等.矿业项目投资评估模型构建与决策研究[J].中国矿业,2024,33(增刊2):29-39.
- [5] 张亮,宋永辉,张辛未,等.碳质金精矿与氰化尾渣协同焙烧—磁选富集分离金铁研究[J].黄金,2024,45(4):32-39,56.
- [6] 胡健,盖俊鹏,齐立峰,等.激光诱导击穿光谱矿浆品位分析仪在铁矿选矿过程中的应用[J].冶金分析,2024,44(10):104-111.
- [7] 景涛,赵强,张鹏羽,等.某低品位锰矿石选矿工艺研究[J].中国锰业,2023,41(6):31-35.
- [8] 吴志国,王红星,于鸿宾.某金矿提金工艺改造及生产实践[J].黄金,2024,45(6):41-44.
- [9] 牛艳萍,张亚萌,程森,等.某岩浆同化混染型鳞片石墨矿石选矿试验研究[J].金属矿山,2024(9):105-111.
- [10] 夏文杰,金永丽,张梧祯,等.粉煤灰制备硅铁合金并富集氧化铝的试验研究[J].钢铁钒钛,2024,45(5):108-115.

(下转第54页)