

智能传感技术在金矿选矿机械设备状态监测中的应用

Application of Intelligent Sensing Technology in Condition Monitoring of Gold Ore Dressing Machinery and Equipment

★ 包头市昶泰矿业有限责任公司 张涛

摘要：文章旨在探讨智能传感技术在金矿选矿机械设备状态监测中的应用。首先，分析金矿选矿过程中机械设备的运行工艺流程；然后，基于智能传感技术，设计并搭建金矿选矿机械设备状态监测系统，实现对设备运行状态的实时监测和数据采集；随后，通过对监测数据的分析和处理，提出针对设备故障预测和维修的方法和策略，有效提高设备的运行稳定性和可靠性；最后，结合实际案例，验证该方法的有效性和准确性。结果表明，该系统能够准确、实时地监测设备的工作状态和性能参数，能够及时发现设备的故障和异常，为设备维护和保养提供了有力的支持。

关键词：智能传感技术；金矿选矿；机械设备；状态监测；系统架构

Abstract: This paper aims to explore the application of intelligent sensing technology in the condition monitoring of gold ore dressing machinery and equipment. Firstly, the operation processes of mechanical equipment in gold ore dressing are analyzed. Then, based on intelligent sensing technology, a condition monitoring system of gold mining machinery and equipment is designed and implemented to realize real-time monitoring and data collection of equipment operating status. Subsequently, through the analysis and processing of monitoring data, the methods and strategies for equipment fault prediction and maintenance are proposed to effectively improve the operational stability and reliability of equipment. Finally, the effectiveness and accuracy of the method are verified through a practical case. The results show that the system can monitor the working state and performance parameters of the equipment accurately and in real time, and can find the faults and anomalies of the equipment in time, and for equipment maintenance and servicing.

Keywords: Intelligent sensing technology; Gold ore processing; Mechanical equipment; Condition monitoring; System architecture

金矿作为一种重要的资源，在现代工业中起着至关重要的作用。金矿选矿是对金矿石进行物理或化学处理，以提取金属金的工艺过程^[1]。金矿选矿机械设备作为金矿选矿过程中不可或缺的设备，其运行状态的良好与否直接关系到金矿提取效率和生产成本。传统的机械设备状态监测主要依靠人工巡检和定期维护，效率低下且容易忽略潜在的故障隐患，而且维护成本高^[2]。针对这一问题，智能传感技术能够实时采集设备运行数据，并通过数据分析和处理，实现对设备状态的及时监测、故障预警以及预防性维护。因此，对金矿选矿机械设备状态进行实时监测和分析具有重要的实际意义。

1 金矿选矿工艺流程

金矿是石英脉型金矿，矿石经过开采和井下运输，将采下的矿石提升到料仓进行选矿。一般来说，金矿选矿的主要生产流程包括磨矿、分级、精选以及扫选。提升到料仓的原矿石经过洗矿、筛分、脱泥、细碎、磨矿、浓缩、浮选等工艺流程，将矿石中有用矿物和脉石矿物相互分开，金矿选矿车间将分级后的矿石通过一次精选把有用矿物富集为金精矿，通过两次扫选把含有用矿物很低的剩余产品作为尾矿排到尾矿库。选矿流程图如图1所示。

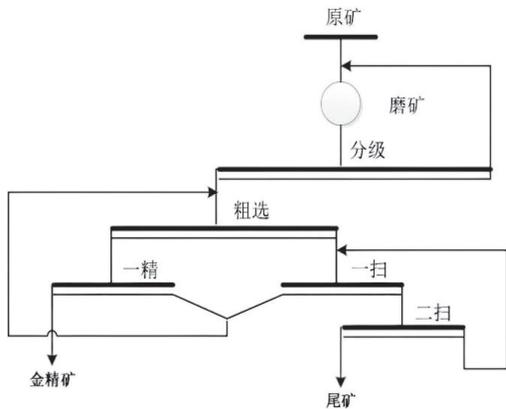


图1 金矿选矿流程工艺图

(1) 原矿。金矿开采出的未经选矿浮选的含金矿石。原矿石含有大量的杂质、杂物以及泥浆，是浮选过程的原材料。(2) 磨矿。通过球磨机设备对开采出的块状原矿石进行研磨，使矿石粒度变小，直至研磨成粉末状，是浮选过程的第一道工序。金矿磨矿矿粒输出要求在 $10\sim 300\mu\text{m}$ 之间。(3) 分级。原矿石经过研磨后，依据粒度要求对矿石粉进行分级，若不合格，则返回磨矿机继续进行磨矿作业。金矿分级矿粒输出要求在 $0\sim 150\mu\text{m}$ 之间。(4) 粗选。第一次金属成分富集。磨矿分级后的矿浆通过加药处理后所做的首次浮选作业。在粗选作业后，矿浆中的金含量品位要多于原金矿石，同时小于金精矿石。粗选后工序为精选和扫选。(5) 扫选。对于粗选后得到的金属矿浆，部分矿浆有较少的含金量但是未达到尾矿含金量，需要对其再次浮选回收，称之为扫选。金矿共有两轮扫选，最终部分金富集矿进入精选，其余做尾矿排出。(6) 精选。粗选过程得到的含金量较高的矿浆进行再一次或多次的浮选作业称为精选作业。最后一次精选作业得到的产品叫精矿。(7) 金精矿。原金矿石经过粗选、精选扫选等浮选工艺后去除大部分杂质得到的含金量较高的富集金矿石。金精矿是选矿车间的最终成品，是冶炼的原料。金精矿品位越高，说明浮选质量越好。依据金矿金精矿标准，要求金精矿品位达到56%以上为合格。(8) 尾矿。原金矿石经过粗选、精选扫选等浮选工艺后除金精矿之外的剩余部分。尾矿品位率越低，说明浮选质量越好^[3]。

2 设备状态监测系统总体方案

设备健康状态评估技术是故障预测与健康管理 (PHM) 的关键。PHM利用设备监测到的数据，通过故障模型和智能算法，实现对设备的状态监测、健康管理、故障预测和诊断。健康状态评估技术通过获取设备的运行参数数据，从数据中提取设备的健康特征，利用智能算法将多个参数进行融合处理，最终得到设备的健康等级和评价^[4]。

2.1 系统功能分析

针对选矿机械设备特点与选矿机械设备存在的问题，如图2所示，选矿机械设备状态监测与重要零部件故障诊断系统功能如下：

- (1) 实时数据采集：对选矿机械设备状态、加工信息进行实时数据采集，能够使工作人员掌握更具时效性的信息，提高对生产过程的管理能力。
- (2) 数据采集适应性强：设备种类繁多，生产厂商不同，其兼容的接口、通信协议也非常多样化，使得数据融合以及传输过程复杂。
- (3) 故障诊断：为了按时完成订单，加工设备需要保持长时间的运转，设备不断损耗就会出现故障影响加工精度。
- (4) 用户管理：用户管理是对注册信息进行管理并分配不同权限给用户，实现用户注册、用户登录等功能。

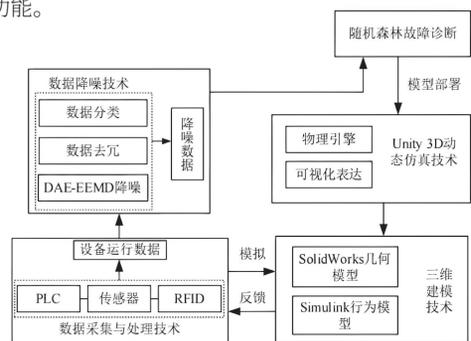


图2 设备运行监测流程图

2.2 设备状态监测系统架构

该系统体系主要由物理设备层、数据采集层、核心功能层、交互应用层和基础支持层构成，各层功能如下：(1) 物理设备层：该层主要由选矿机械设备上的多种设备组成，是选矿机械设备监测的基础。(2) 数据采集层：该层主要由传感器等设备以及计算机通信等技术组成，利用传感器、数控系统

以及可编程逻辑控制器 (PLC) 对设备信息进行采集和传输。(3) 核心功能层: 该层主要通过算法实现设备监测、故障诊断等核心功能。将数据采集层从物理设备层采集的数据传输到服务器以及数据库中, 通过调用算法实现信号的预处理、特征提取、故障诊断等功能, 为用户进行选矿机械设备维护决策提供支持。(4) 交互应用层: 该层主要通过搭建可视化平台完成选矿机械设备状态监测与重要零部件故障诊断系统与使用者的交互。(5) 基础支持层: 该层主要提供选矿机械设备状态监测与重要零部件故障诊断系统运行环境, 由标准化接口、服务器、防火墙等组成。

2.3 数据采集与传输技术

数据采集与传输技术是构建现代信息系统不可或缺的部分。该技术分为两个核心部分: 首先是硬件层面的数据采集, 这包括使用各种传感器、PLC、射频识别 (RFID) 等设备来捕捉来自物理环境的真实世界数据, 如位置、速度等参数。其次是软件层面的数据收集, 涉及运用软件应用程序、云计算服务等技术手段, 对存在于数字世界中的数据进行搜集、整理和分析。物理世界与数字世界之间的数据无缝传输可以通过OPCUA的统一通信架构实现, 服务器中的地址空间信息可以被有效地采集并安全地存储至数据库中, 确保数据的完整性与安全性。该技术主要采用的传感器是倾角传感器和压力传感器。

2.3.1 压力传感器选型

本文选用3200系列紧凑型高压OEM压力变送器。该传感器为溅射薄膜压力传感器, 具有强固的薄膜结构, 其溅射薄膜的内核保证传感器具有出色的温度特性, 同时配备阻尼器使产品能够在各种压力波动的应用场景中表现出卓越的可靠性和稳定性。

2.3.2 倾角传感器选型

本文使用动态倾角仪AKS-180-F-C901-VK2-PV, 当有加速时传感器测量倾角会产生误差。该倾角仪可以安装到快速移动、振荡或冲击的物体上。倾角仪为双轴测量设备, 不仅可以对物体的横滚角和俯仰角进行测量, 还能够测量物体运动时的角加速度与角速度, 而且角度测量精度高, 静态精度可以达到 0.3° , 动态精度可以达到 0.5° , 并且能够在极短的时间内反映起重机各部位的角度变化, 可以满足起重机在称重过程中角度测量与极短时间对角度变化做出快速响应的要求。

3 基于机器学习算法的选矿机械设备运行监测算法

3.1 数据预处理

本文分别对压力传感器、倾角传感器、手柄信号等实时数据进行采集, 并对采集到的原始数据进行目标数据筛选、数据解析、预处理等操作。运行过程中状态监测采集的主要数据为: 两个液压传感器、四个倾角传感器、手柄信号。两个液压传感器主要测量动臂的压力, 四个倾角传感器主要对设备的变化进行测量, 手柄信号反应起重机的动作, 主要用于后期样本库构建过程中动臂抬升过程推力平稳阶段倾角传感器的角度与角加速度的提取^[5]。根据公司提供的数据通讯协议, 配置传感器的报文标识符用于区分各个传感器的数据, 通过CAN接口将各个传感器测得实时的数据传输到CAN总线上, 博世力士乐的控制器的RC10-10Series31分别读取压力数据、倾角数据、手柄信号数据进行存储, 并以报文的形式统一发送至CAN总线, 通过PCAN-USB线连接控制器与笔记本电脑, 在PCAN-View数据采集软件上, 将实时采集到的数据进行保存, 并按照所给定的CAN通信协议进行解析。

3.2 选矿机械设备状态监测流程

在选矿机械设备作业时, 需要对选矿机械设备的关键部件进行故障诊断。在故障诊断的过程中, 首先要对该部件某个时刻的振动信号与历史数据进行一个初步判断, 判断是否需要故障分析, 如果是正常的振动信号, 选矿机械设备可以继续工作。如图3所示, 当选矿机械设备需要故障诊断时, 此刻的振动数据就会传入核心功能层的故障诊断算法中。本文采用的故障诊断算法是随机森林算法, 针对随机森林算法中决策树参数选取困难的情况, 利用改进的鲸鱼优化算法对其进行优化, 对传入的故障数据进行分类, 实现工业选矿机械设备关键零部件的故障预测。当发生机械故障时, 电脑屏幕上会对发生的故障进行一个可视化的展示, 发出报警提示, 提醒工作人员对该选矿机械设备进行停机维修。整个故障诊断流程可以实现数据的实时分析、仿真模拟以及人机交互, 能够快速实现对选矿机械设备的故障诊断。

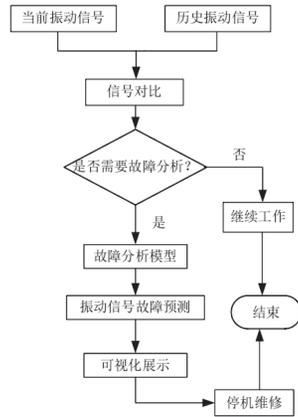


图3 选矿机械设备运行监测算法方案流程

随机森林的构建过程如下:

原始数据集 $M = \{X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{ik}, Y_j\}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, t$, $j = 1, 2, \dots, n$, K 为样本数量, Y_j 为 $\{X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{ik}\}$ 下的对应输出类别标签, n 为类别标签数量。

(1) 从输入的原始数据集 M 中, 由放回的随机采样选出 T 个样本子集。

(2) 假设样本子集有 D 个特征, 从每个样本子集中随机选取 d 个特征 ($D > d$), 并自上到下按照信息增益最大的原则进行分裂, 据此利用 d 个特征建立决策树。

(3) 重复上述步骤, 生成多个决策树。

(4) 将所有决策树测试得到的结果, 按照投票的方式进行集成, 选出票数最多的分类结果作为最终的分类结果。

4 实验结果分析

在故障预测样本中随机选取70%作为训练集, 30%作为测试集。随机森林算法通过MATLAB语言进行编程。随机森林算法进行故障预测时, 其中每

棵决策树都会从根节点按照信息最大增益的原则进行分裂, 直到分裂到最终的类别, 完成整棵决策树的生长。本文从随机森林算法中随机选取一棵决策树来详细展示其生长过程。

随机森林算法对五种情况下的电机故障数据判断的正确率如表1所示。从表中可以看出该方法可以精确地检测电机是否发生故障, 对不同故障的分类也较为准确。通过对比表的数据可以看出, GA算法、SVM算法以及RF算法和随机森林算法在对故障特征信号的测试样本进行诊断时表现出不同的准确率: 这四种算法对正常、轴承内圈故障、轴承外圈故障这三种情况预测正确率为100%, 对轴不对中故障和转子不平衡故障的预测正确率下降。但是整体看来本文提出的故障诊断算法的故障识别率是高于其它三种算法的。

表1 不同类型故障识别正确率

算法名称	正常	轴承内圈故障	轴承外圈故障	轴不对中故障	转子不平衡故障
GA	100%	100%	100%	84.44%	86.67%
SVM	100%	100%	100%	88.89%	84.44%
RF	100%	100%	100%	91.11%	93.33%
本算法	100%	100%	100%	97.78%	88.89%

5 结论

本研究为金矿选矿机械设备状态监测领域的研究和实际应用提供了新的思路和方法, 具有一定的理论和实践意义。希望本研究能为相关领域的研究者和从业人员提供借鉴, 促进金矿选矿行业的可持续发展。AP

作者简介:

张涛 (1994-), 男, 山东济南人, 助理工程师, 学士, 现就职于包头市昶泰矿业有限责任公司, 研究方向为选矿机械。

参考文献:

- [1] 李建国. 选煤机械设备的维护管理策略[J]. 当代化工研究, 2022, (6): 159 - 161.
- [2] 武丽君. 选煤机械设备维修管理问题分析及措施探讨[J]. 机械管理开发, 2021, 36 (10): 323 - 324.
- [3] 王文武. 选煤机械安全运行与事故预防探讨[J]. 矿业装备, 2021, (6): 224 - 225.
- [4] 曹学磊. 选煤机械设备常见液压故障分析及处理[J]. 能源与节能, 2021, (11): 208 - 209.
- [5] 王文斌. 浅析选煤机械设备日常维护与管理[J]. 能源与节能, 2021, (12): 49 - 50 + 86.