

破碎清塞机无人化改造在水口山铅锌矿中的应用

李文磊 关润发 李宾

(水口山有色金属有限责任公司 湖南 衡阳 421513)

摘要: 一次爆破后的矿石块度普遍较大, 极易堵塞格筛口, 而破碎清塞机可以实现溜井口大块矿石的破碎, 是矿山井下溜矿井不可或缺的技术装备。但破碎清塞机传统操控模式用工难、使用成本高、易发生安全事故。为了改变该现状, 水口山铅锌矿提出了一种破碎清塞机无人化改造方案。通过改造后的破碎清塞机系统, 具备远程遥控和无人自主运行两种智能作业方式。经实践证明, 该改造方案可以大幅度提高破碎清塞机劳动生产率、生产安全系数, 优化资源配置, 进而提高企业的经济效益。

关键词: 破碎清塞机; 无人化; 改造; 水口山铅锌矿; 应用

0 引言

水口山铅锌矿田位于湖南省常宁县东, 是一座规模较大的多金属矿山。水口山铅锌矿主要开采含铅、锌、银、金等的矿石, 包括开采、破碎、磨矿、选矿、精炼等工艺。其中, 在矿石破碎工艺中, 井下破碎清塞机使用多年, 需要人工不间断地观察矿料进入情况, 对大块矿石进行破碎清理, 人员工作环境差, 工作效率低^[1]。近年来, 随着科学技术的进步, 人工智能、大数据、物联网、5G等技术不断成熟, 给建设智慧矿山提供了技术支持^[2]。为减少操作人员、提升生产效率、降低用工成本、提高生产作业安全性, 水口山铅锌矿通过对井下破碎清塞机现场工作环境、真实运行工况的图像数据等方面进行采集, 开发出一套基于双目视觉的井下破碎清塞机无人值守和自动运行的控制算法, 并结合相应的配套硬件设备, 对现有的破碎清塞机进行升级改造, 改变破碎清塞机传统操控模式, 实现破碎清塞机的无人化操作^[3]。

1 破碎清塞机改造方案

首先, 通过双目视觉技术, 对井下破碎清塞机各种工况环境进行无损自动控制专用图像数据同步采集, 并实时存储。其次, 基于AI人工智能以视觉为主的深度学习等技术, 分析工况信息对三维环境进行感知, 进一步实现智能控制运行判断依据^[4]。

对现有的破碎清塞机进行升级改造后, 破碎清塞机系统能够一键触发, 设备自行智能运转, 无需人员操作; 同时, 破碎清塞机系统具有矿石大块识别、

大块精准破碎、危险识别、矿石堆推散助落、故障诊断及报警等功能。

(1) 矿石大块识别。以图像识别和模式识别为基础, 建立矿石块度分析模型, 精准识别大块矿石, 杜绝隔筛堵塞, 提升资源利用率^[5]。

(2) 大块精准破碎。建立隔筛坐标系及破碎锤坐标系, 通过双坐标系耦合映射, 实现大块矿石的精准定位; 通过位移传感器及角度传感器实现机械臂的精准定位, 并通过驱动系统控制破碎锤实施有效多次破碎。

(3) 危险识别。为保证生产作业安全, 系统实时监测溜井口作业状态, 当发现人员或装备进入作业区域内, 自动锁定破碎锤, 防止意外事故。

(4) 矿石堆推散助落。大块破碎作业完成后, 精准实施矿石堆推散作业, 防止小块矿石堆积, 从而影响溜井正常落矿。

(5) 故障诊断及报警。系统自动进行故障诊断, 当监测到异常作业信息或工况反馈后, 自动进行装置锁定并向控制室推送报警信息, 提升系统安全作业水平^[6]。

2 破碎清塞机改造的关键技术

该改造方案的关键技术包括地面遥控操作台和矿石筛选自动识别两部分。

2.1 地面遥控操作台

地面遥控操作台安装在监控中心, 实现对现场破碎清塞机工况的监视。当放料口堵塞后, 操作人员启动破碎清塞机, 信号输送到控制器。为了提高信

号的传输距离和抗干扰性，使用工业交换机传输信号。井下控制器将信号转换为相应的电流驱动设备上的电液比例阀，从而实现动作的无级调速。设备报警及工作状态信息传输至操作室控制台的可编程监控器，可以实时显示。格筛溜井口附近配备简易操作台，以便在现场对破碎清塞机进行操作控制。

2.2 矿石筛选自动识别

2.2.1 工业深度相机

工业深度相机负责采集作业现场的带有深度信息的实时图像，再通过图像处理算法进行分析格筛、矿块、破碎清塞机的位置与高度，为破碎清塞机自主破碎提供数据支撑^[7]。

2.2.2 免爆机破碎场景坐标模型

相机采用工业相机，场景中免爆机、溜井格筛、相机位置固定，建立三者的位置对应关系。(1)以溜井格筛中心为原点建立视频图像坐标系，标定溜井格筛位置并编号；(2)在相机视频图像坐标系中，标定免爆机控制坐标系；(3)映射免爆机控制坐标系和相机坐标系中溜井格筛位置。

2.2.3 溜井图像识别

溜井视频采用工业相机实时抓取，并处理溜井图像，识别是否有大块矿石，以及被堵溜井的筛格编号^[8]。识别方式利用图像处理的方法，分三步：(1)视频图像中识别溜井筛格；(2)识别移动的固定式破碎清塞机机械臂；(3)识别大块矿石并定位。

3 破碎清塞机系统组成

该破碎清塞机系统由井上、井下两部分组成，并通过光纤连接。破碎清塞机系统自带三种模式，即“智能”模式、“远程”模式、“手动”模式，通过操作台切换不同模式，可以适用不同的使用场景。(1)“智能”模式：不需要人员参与，自动进行破碎作业的无人化操作；(2)“远程”模式：在井上通过操作台手柄远程遥控操作；(3)“手动”模式：原有的现场井下手动操作。

破碎清塞机系统自带视频显示存储功能，通过井上LED屏幕显示器，不用下井也可实时了解井下情况，也可回放有效时间内指定日期的设备作业运行情况。

另外，破碎清塞机系统还具备作业现场拾音功能，可以实时将井下作业现场的声音反馈到井上操作台，实现井上沉浸式破碎作业。

3.1 井上部分

井上部分主要是地面操作台，包括喇叭、27寸显示器、地面控制板、工控机、POE交换机、万兆光纤、手柄、功能按键等，其框架组成结构如图1所示。显示器连接地面控制板和地面工控机，以方便实时查看井下运行情况及系统运行情况。喇叭主要用于回放井下作业现场的声音。

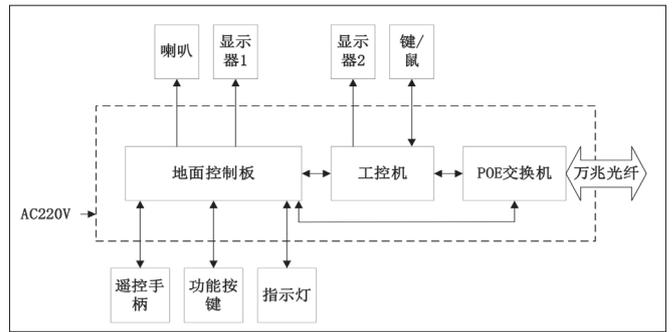


图1 地面操作台框架图

3.2 井下部分

井下部分主要是井下机柜，包括辅助光源、人体红外传感器、红绿状态指示灯、监控相机、定位相机、POE交换机、拾音器、井下控制板、井下工控机、UPS电源等，其框架组成结构如图2所示。人体红外传感器用于人体感应，方便系统感应现场的人员活动，发现人员闯入作业现场自动停机，保障人员安全。拾音器用于获取井下作业现场的声音，经过系统传输到井上操作台，让操作人员在井上操作时可以实时感受到井下作业现场的声音，如临现场。

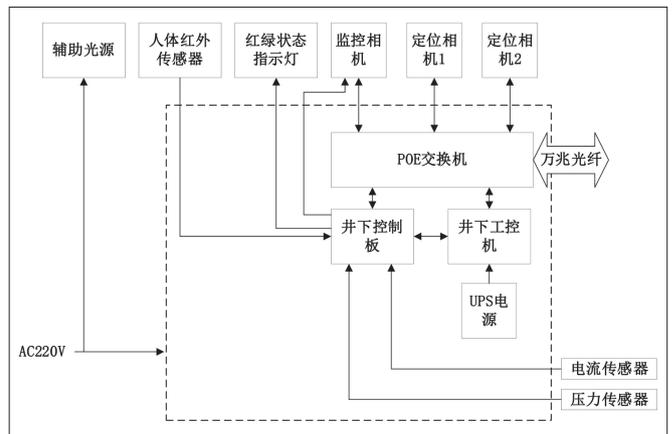


图2 井下机柜框架图

4 破碎清塞机系统的使用要点

在正式操作之前，需要先进行地面操作台、

井下机柜、软件的安装工作，并进行调试与试运转。

4.1 井上操作面板使用要点

井上操作面板具备紧急停止和故障警示功能，同时配置停止、遥控启动、智能启动、电源、工控机等操作按钮及对应指示灯。

(1) 紧急停止：适用于远程遥控时，破碎清塞机需要紧急制停的场景。按钮为带锁按钮，当按下按钮后，操作面板的其他所有按键被锁定，无法操作；当按钮弹起后，解除操作面板的锁定。

(2) 故障警示：如果破碎清塞机或者操作台出现故障，该喇叭将会发出警报，以提醒操作人员。

(3) 停止：停止破碎清塞机工作时使用，开启后，对应指示灯亮。

(4) 遥控启动：当系统由“智能”模式切换到“远程”遥控模式时，若需要启动破碎清塞机远程遥控，按下该按钮，对应指示灯亮。

(5) 智能启动：破碎清塞机由“远程”遥控模式切换到“智能”模式时，按下该按钮，对应指示灯亮。

(6) 电源：用于井上操作台的电源控制，开启后，对应指示灯亮。

(7) 工控机：用于井上工控机电脑的开关机。按下该按钮，对应的指示灯亮起，表示工控机开机；工控机开机状态下，长按该按钮，对应的指示灯灭，表示工控机关机。

4.2 井下操作面板使用要点

井下操作面板具备紧急停止功能，配置有电源、工控机等操作按钮及对应指示灯。

(1) 紧急停止：用于井下需要紧急停止的情况。按钮为带锁按钮，当按下按钮后，将井下破碎清塞机的供电电源切断，破碎清塞机无法使用；当按钮弹起后，恢复对破碎清塞机的供电。

(2) 电源：用于井下控制机柜的电源控制，开启后，对应的指示灯亮。

(3) 工控机：用于井下工控机电脑的开关机。按下该按钮，对应的指示灯亮起，表示工控机开机；工控机开机状态下长按该按钮，对应的指示灯灭，表示工控机关机。

4.3 软件使用要点

软件使用包括登录、用户管理、系统配置、三种模式使用及切换、停止液压泵、数据管理、视频回放等功能，具体使用要点如下。

4.3.1 登录

软件可以设置管理员身份和其他身份，设置账号密码即可。如果忘记密码，点击密码提示前面的对话框，会有密码提示，软件登录界面如图3所示。登录成功后，即可根据需要操作界面。



图3 软件登录界面

4.3.2 用户管理

登录以后，可以在主界面添加/删除账户，新添加的账户可以在添加账户列表的一侧，设置用户权限。

4.3.3 系统配置

在系统配置界面中，可以更改存储配置、网络配置、数据库配置、监控视频配置、日志配置等软件配置数据。例如，监控视频配置功能，可以调整视频存储格式，目前默认 mp4 格式，可以根据需要调整为 avi、mpeg 等格式；“每个文件时长 (s)” 代表视频存储每个文件的时长，单位是 s (秒)，目前设置的 3600s 为一个文件夹，也就是每隔 1h 自动存储一个文件夹，监控视频配置界面如图4所示。



图4 监控视频配置界面

4.3.4 三种模式使用及切换

该破碎清塞机系统共有智能、远程、手动三种操作模式。

(1) “智能”模式。点击“智能”模式，破碎清塞机切换到无人化自动运行的“智能”模式，系统自动录像、破碎清塞机自动运行，无需人员在旁边操作，如果系统“智能”模式中出现异常，破碎清塞机会自动停止。如果出现异常情况，系统界面会

出现对应的报警。

(2)“远程”模式。点击“远程”模式，破碎清塞机切换到“远程”遥控模式，操作人员可以在切换模式后，去操作台远程遥控破碎清塞机工作。

(3)“手动”模式。点击“手动”模式，操作人员可以去原有的现场井下手动操作。

4.3.5 停止液压泵

点击停止液压泵，破碎清塞机液压泵停止运行，破碎清塞机停止工作。

4.3.6 数据管理

数据管理包括报表查看、日志查看、异常查看三种功能。

(1)报表查看。查看破碎清塞机的工作情况，可以导出一定时间内的工作数据，也可以设置/修改存储路径。

(2)日志查看。查看破碎清塞机的工作情况，可以导出一定时间内的工作数据，也可以设置/修改存储路径。

(3)异常查看。查看破碎清塞机工作的异常情况，方便故障排查等工作需要。

4.3.7 视频回放

视频回放用于查看监控相机拍摄的破碎清塞机工作视频，可以选择对应的时间，具体到每天每个小时段。

5 应用效果

通过该改造项目的实施，建立了一套破碎清塞机智能控制系统。目前，水口山铅锌矿已经实现破碎清塞机无人值守，自动运行作业。不仅减少了操作人员，提升了生产效率，提高了生产作业的安全性，还降低了用工成本和设备故障率，设备故障率减少超过28%以上。同时，降低了设备的维修成本，设备维修成本和故障停产时间减少超过15%。

6 结语

破碎清塞机无人化改造的应用，提高了水口山

铅锌矿破碎清塞机自动化、智能化水平。改造后的破碎清塞机系统具备远程遥控和无人自主运行两种智能作业方式。远程遥控技术在国内处于领先地位，改造中采用专用监控相机，在图像采集和显示端进行了整体优化，系统延时可以达到0.05s以内，完全满足破碎清塞机系统的远程遥控操作实时性要求。并通过目标识别、定位，运动控制领域的研究和突破，再加上系统集成创新和工程化方面的综合能力，实现了破碎清塞机完全无人化运行的基本功能。为了不断提高破碎清塞机系统的功能，后期将对系统运行流畅性、目标石块的种类适应性进行完善。

参考文献:

- [1] 甫尔卡特, 徐涛. 地下金属矿山溜井堵塞原因分析及优化措施[J]. 新疆钢铁, 2023(01):56-60.
- [2] 高峰旭, 王晓辉. 某铅锌矿主溜井堵塞原因分析及处理方法[J]. 现代矿业, 2018, 34(08):126-127.
- [3] 金枫. 地下金属矿溜井固定式破碎锤无人作业技术研究[D]. 北京:北京科技大学, 2023.
- [4] 章秀华, 洪汉玉, 徐洋洋, 等. 复杂光照条件下矿石三维视觉实时筛选方法[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(11):394-404.
- [5] 何文轩, 胡健, 柳小波, 等. 矿石块度视觉识别判断方法[J]. 中国矿业, 2021, 30(06):100-105.
- [6] 王鹤强, 白应攀, 王海青, 等. 提高西藏某大型矿山破碎效率的研究[J]. 山西冶金, 2023, 46(04):32-33+41.
- [7] 宁玉门. 计算机图形图像处理技术在铜矿石识别中的运用[J]. 电子技术与软件工程, 2021(11):136-137.
- [8] 肖继伟. 基于机器视觉的黑钨矿石智能分选系统研究与设计[D]. 长沙:湖南大学, 2020.

作者简介:李文磊(1986.01-),男,汉族,河南周口人,本科,工程师,研究方向:机械制造自动化。