

非金属矿山破碎设备作业安全隐患治理方案研究

鲁克田

新泰市农高新发展有限公司 山东 泰安 271299

摘要：非金属矿山破碎作业涉及物料多、工况恶劣，设备大型化与连续运转特性使机械伤害、粉尘职业危害、电气故障及高空坠落等多类隐患相互耦合，安全风险显著高于一般固定设备。本文立足非金属矿种多样性和破碎工艺差异性，系统梳理了破碎设备典型隐患类型及其演化规律，深入剖析了设计选型适配性、环境动态扰动、人员行为偏差及监测手段时滞性等深层致因。在此基础上，构建了涵盖风险分级管控、本质安全提升、智能监测预警、标准化作业建设、应急持续改进及职业环境协同治理的全链条方案。研究旨在为非金属矿山破碎作业安全治理提供系统性理论框架，助力企业从被动应对转向主动预防。

关键词：非金属矿山；破碎设备；安全隐患；治理方案；风险管控

引言

非金属矿山作为建材、化工及冶金等行业的基础原材料供应源，其破碎加工作业是生产流程中的核心环节。颚式破碎机、反击式破碎机、圆锥破碎机及锤式破碎机等设备在高负荷、多粉尘、强振动的工况下长期运行，作业风险显著高于一般固定设备。近年来，随着矿山开采规模扩大和自动化水平提升，破碎设备大型化、高速化趋势明显，但相应的安全管理手段相对滞后，导致坍塌、卷入、飞料及电气火灾等事故时有发生。现有研究多聚焦于单一设备故障诊断或粉尘治理技术，缺乏对隐患类型、成因与治理措施的系统性整合，尤其缺少适应非金属矿种多样性和作业条件差异性的整体方案。本文立足非金属矿山破碎作业实际，从隐患辨识出发，构建覆盖设备全生命周期和作业全过程的治理框架，以期为矿山企业安全升级和监管部门精准施策提供理论支撑。

1 非金属矿山破碎设备作业主要安全隐患类型

1.1 机械伤害与运动部件风险

破碎设备的工作机构（颚板、锤头、转子、圆锥壁等）具有高速旋转或往复挤压特性，其巨大的动能和挤压力构成最直接的人员伤害源。皮带传动轮、联轴器、飞轮等外露运动部件若缺乏有效防护罩，在巡检、清理或维修时极易引发衣物卷入、肢体挤压事故。此外，破碎腔内积料突然塌落或衬板断裂飞溅，可造成击伤风险，该类事故往往突发性强、后果严重。

1.2 粉尘与噪声职业危害

矿石破碎过程产生大量微细粉尘，尤其是石灰石、石英岩等非金属矿种，游离二氧化硅含量较高，长期吸入可导致矽肺病。同时，破碎机冲击噪声和振动噪声通常超过90 dB（A），部分工况可达110 dB以上，对操作

人员听力及神经系统造成不可逆损伤。粉尘与噪声不仅恶化作业环境，还会降低人员警觉性，间接增加误操作概率，形成次生安全隐患。

1.3 电气与控制系统风险

破碎设备配套的大功率电机、变频柜、控制线路及PLC系统在潮湿、多尘环境中易发生绝缘老化、接触不良和短路故障。过载、缺相、欠压等电气异常可能引发电缆起火或设备突然停机，导致破碎腔堵塞甚至主轴抱死。同时，控制系统逻辑缺陷或信号干扰可引起设备误启动、紧急停止失灵，尤其在带式输送机与破碎机联锁运行时，电气互锁失效会扩大故障影响范围。

1.4 高处坠落与物体打击

破碎站通常为多层结构，包括给料平台、检修平台、排料口及输送机接口等，作业人员需频繁进行高空巡检、衬板更换和溜槽清理。临边防护缺失、爬梯护栏锈蚀、平台积料湿滑等情况，显著增加高处坠落风险^[1]。此外，上方料仓或给料机中掉落的块状物料，在破碎机入口处弹出，以及在更换锤头时工具或部件滑落，均构成物体打击威胁，且此类风险常与机械伤害叠加。

1.5 设备老化与维护缺失风险

非金属矿山生产强度大，破碎设备长期处于重载冲击状态，关键结构件（如颚板、反击板、锥套、筛条）磨损速率高。若未按周期检测壁厚、裂纹和紧固扭矩，可能出现断裂、脱落甚至整理解体。润滑系统失效导致轴承温升过高，不仅加速疲劳磨损，还可能引发抱轴、火灾等连锁事故。维护记录不完整、备件质量参差不齐等管理薄弱环节，进一步放大了老化隐患的不确定性。

2 安全隐患多维度成因分析

2.1 设备选型与工艺参数适配性偏差

部分矿山在设备选型时过分追求处理能力,忽视物料硬度、含水率、含泥量等工艺特性,导致设备实际工况偏离设计范围。例如,用颚破处理强磨蚀性石英岩时,颚板寿命骤减,频繁更换带来额外高处作业风险;反击破用于湿粘物料易造成堵塞,需人工频繁清理,增大接触危险区的概率。选型不当引发的非正常停机、带病运行,从根本上埋下了安全隐患。

2.2 空间环境约束与动态变化扰动

非金属矿山破碎站常布置于采场附近或半山谷地带,受气候变化影响显著:暴雨导致矿石含水率骤增,堵塞概率上升;严寒低温使润滑油黏度增大,启动负荷增加;高温季节则易引发电气柜散热不良。同时,随着开采推进,入料岩性发生变化,硬度或粒度分布波动,却未及时调整破碎机排料口宽度或转子转速,导致电流波动剧烈,频繁触发保护停机^[2]。环境监测手段缺乏连贯性,多数矿山仅在定期职业卫生检测中获取粉尘和噪声数据,无法捕捉生产高峰期或特殊气象条件下的极端值,也未能建立环境参数与设备运行参数的关联分析,风险预控缺少数据支撑。

2.3 操作行为偏差与培训体系薄弱

破碎设备操作人员流动性大,部分一线工人未经过系统专业培训,仅凭经验操作,对设备运行参数(电流、温度、振动值)的异常含义理解不深。维修作业中,未严格执行“停电、挂牌、上锁”程序,甚至带电清理破碎腔,是导致机械伤害的直接原因之一。此外,外包检修队伍能力参差不齐,安全交底流于形式,增加了交叉作业时的管理盲区。

2.4 监测诊断技术手段滞后与数据孤岛

当前大量中小型非金属矿山仍以人工“望闻问切”作为主要巡检方式,依赖听音棒判断轴承状态、手背感温估算温升,主观性强且无法量化。即便部分企业安装了振动传感器或热电阻,也多为单机离线采集,未形成连续在线监测网络,更缺乏与历史数据对比的趋势分析能力。当轴承磨损、齿轮点蚀或转子不平衡发展到可听可感的严重阶段,往往仅剩极短的剩余寿命,应急维修窗口极度压缩,被迫带病运行或紧急停机,带来二次风险。此外,安全管理系统、设备管理系统与生产调度系统彼此孤立,隐患上报依赖纸质单据,信息流转慢,导致同类问题反复出现而未能纳入系统性治理范畴。

3 安全隐患全链条治理方案

3.1 双重预防机制下的风险分级管控

基于LEC法(作业条件危险性评价)对破碎作业全流程开展危险源辨识与风险评估,从人员暴露频次、事故

后果严重性和事件发生概率三个维度量化得分,将所有作业工序划分为红(重大风险)、橙(较大风险)、黄(一般风险)、蓝(低风险)四个等级。红色区域(如破碎腔开口侧、排料口正前方、高压配电柜操作区)必须悬挂醒目警示标识,配备视频监控并限制非授权人员进入。建立设备全生命周期风险档案,从技术协议签订阶段的本质安全要求,到安装调试的验收标准,再到运行维护和报废拆除,每个阶段均设置风险审查节点。风险分级清单实行动态管理,随生产条件、设备改造和人员变动每半年重新评估一次,确保管控力度与实际风险水平匹配。

3.2 工程防护与本质安全化改造

从设备结构和作业环境两方面削减风险源:一是为所有外露旋转部件配置符合GB/T8196标准要求的固定式或连锁防护罩,防护罩网孔尺寸需确保人体手指无法触及运动件,且具备足够的抗冲击刚度;二是在给料斗、检修门、观察窗等开口部位安装机械限位开关与电气连锁回路,一旦开启,设备驱动电源立即切断并启动制动器,转子在数秒内停止运转。采用高铬耐磨复合衬板、聚氨酯减震垫等新型材料,减少物料飞溅距离和振动传递^[3]。优化溜槽倾角至60°以上,并设置阶梯式缓冲结构,避免湿黏物料堆积,从根本上降低人工疏通需求。同时,建设独立隔声操作室,采用双层中空玻璃和吸声内壁,将室内噪声控制在85dB(A)以内;配置布袋除尘器或湿式除尘系统,使作业场所呼吸性粉尘浓度稳定低于8mg/m³,实现职业危害的工程主动控制。

3.3 多参量智能监测与分级预警网络

部署面向设备状态和作业环境的综合传感系统:在破碎机驱动端和非驱动端轴承座安装防爆型加速度传感器(量程±50g,频响0.5~10kHz)和PT100铂热电阻,实时采集振动速度有效值、加速度包络值和轴承温度;在电机三相绕组预埋热敏电阻,结合电流互感器监测负荷电流及功率因数;在破碎腔上方安装非接触式雷达料位计,连续检测料位高度。所有信号经屏蔽电缆传送至现场边缘计算网关,网关内置自适应阈值算法和滑动窗口均值滤波,排除瞬时冲击干扰,对缓慢变化的退化趋势(如轴承游隙增大、转子不平衡量累积)进行线性回归预测,当指标逼近警告线时自动推送蓝色预警,逼近报警线时推送橙色预警并联动降低给料量。同时,将粉尘浓度传感器和噪声传感器接入同一网络,超标时自动触发现场声光报警、除尘风机增速和个体防护用品佩戴语音提示,形成设备—环境一体化预警体系。

3.4 标准化作业体系建设与安全能力锻造

制定《破碎作业安全操作标准化手册》，将开机前确认（润滑油脂位、冷却水流量、防护罩完好性）、运行中巡检（轴承温度、电机电流、排料粒度、溜槽通畅度）、正常停机（空载运转2分钟清理残留）、紧急停机（触发条件与复位流程）等环节逐一细化，形成图文并茂的作业指导卡。关键操作节点（如启动给料机、调整排料口尺寸）强制实行“监护制”和“手指口述”安全确认，杜绝凭记忆操作。构建分层级培训认证体系：操作岗侧重设备运行参数识别、异常状态诊断及紧急停机关闭训练；维修岗重点强化能量隔离验证、吊装作业规程及有限空间作业审批；管理岗主修变更管理、事故调查分析和安全心理学^[4]。全员每年接受不少于24学时的安全再教育，每半年开展一次机械伤害和火灾专项实战演练，演练后即行复盘评估，及时修订预案缺陷。

3.5 应急快速响应与隐患闭环改进机制

编制破碎作业专项应急处置方案，覆盖转子卡死、轴承着火、人员肢体卷入、溜槽严重堵塞、电气爆燃等典型场景，明确报警流程、现场指挥权限、隔离疏散路线及医疗救护衔接。在作业区每层平台配置应急器材箱（含干粉灭火器、消防沙、急救包、通讯手台、救援三脚架），每月由专人检查有效期和功能完好性。建立“发现—上报—研判—处置—验收—归档”的隐患闭环管理流程，鼓励一线员工通过企业安全信息化平台随手拍摄上报隐患，安全员接报后2小时内完成风险初判，制定临时防护措施，随后纳入整改计划，明确责任人和完成期限。每季度召开安全形势分析会，将隐患数据、故障停机记录、未遂事件和报警记录进行统计分析，运用PDCA循环评估治理措施的有效性，针对重复性隐患深入挖掘管理根源，动态调整治理策略。

3.6 职业环境与作业秩序协同治理

在粉尘和噪声治理方面，推行“源头减量—过程控制—个体防护”三级协同策略：源头通过增加喷雾洒水或采用湿式破碎降低产尘强度；过程依托除尘器和隔声罩进行有效捕集和隔离；个体则根据实时监测数据动态

指导防尘口罩和耳塞的佩戴更换周期。同时，加强作业现场5S管理（整理、整顿、清扫、清洁、素养），及时清理平台积尘和地面油污，保持通道畅通和标识清晰。将作业环境质量纳入班组交接班内容，规定交班前必须对除尘设备运行状态、照明完好性和消防通道畅通性进行确认，使环境维护成为日常习惯，减少因环境恶化引发的次生隐患。

4 结语

非金属矿山破碎设备作业安全隐患具有类型多样、成因复杂和演化迅速的特点，单一技术手段或管理规定难以彻底消除风险。本文提出的治理方案以风险分级为基础，以本质安全改进和智能监测为双轮驱动，结合标准化作业与持续改进机制，形成“辨识—分析—治理—保障”的闭环体系。该方案兼顾了工程防护、信息预警和人文素养提升，能够有效降低机械伤害、职业危害和系统故障概率，为同类矿山企业提供可复制的治理路径。未来，随着数字孪生、人工智能故障诊断等技术的成熟，破碎作业安全治理将向预测性、自适应方向演进，本方案所构建的框架具备良好的扩展接口，有望与新一代智能化矿山管理系统深度融合，持续赋能非金属矿山安全生产。

参考文献

- [1]张明华, 李志刚.非金属矿山破碎设备机械伤害风险分析及防护对策[J].矿业安全与环保, 2025, 52(2): 108-113.
- [2]王海峰, 陈丽君, 赵鹏.基于物联网的矿山破碎机振动监测与预警系统研究[J].工矿自动化, 2024, 50(7): 82-88.
- [3]刘建平, 周晓光.粉尘职业危害防控技术在非金属矿破碎工序中的应用进展[J].安全与环境工程, 2025, 32(1): 101-107.
- [4]吴胜强, 黄志刚.矿山破碎设备全生命周期安全管理体系构建[J].现代矿业, 2024, 40(4): 215-220.