

TCC 型分级破碎设备在重晶石矿山的应用研究

赵国亮¹, 刘振², 黄身水¹, 吴彪¹, 龙福强¹, 周南²

1. 镇宁县红蝶实业有限责任公司, 贵州 安顺 561000

2. 泰伯克(天津)机械设备有限公司, 天津 301712

DOI:10.61369/ETQM.2025120025

摘 要 : 重晶石作为重要的非金属矿产资源, 其破碎加工环节对产品粒度均匀性、品位及资源利用率要求严苛。传统破碎设备在处理重晶石时普遍存在过粉碎严重、粒度分级精度低、能耗偏高及杂质分离不彻底等问题。TCC 型分级破碎设备凭借“破碎——分级”一体化设计, 可精准控制出料粒度并减少过粉碎, 适配重晶石的物料特性与加工需求。本文结合重晶石矿山生产实际, 系统分析 TCC 型设备的结构原理与技术优势, 详细阐述其在重晶石破碎流程中的工艺配置、参数优化及配套系统设计, 通过某重晶石矿山的应用案例, 对比分析设备运行效率、产品质量及经济效益等关键指标, 剖析应用中存在的齿辊磨损不均、细粒级分离效率不足等问题, 提出针对性优化方案, 为 TCC 型设备在重晶石及同类非金属矿山的规模化应用提供技术参考。

关 键 词 : 型分级破碎设备; 重晶石矿山; 粒度控制; 一体化破碎; 节能降耗

Research on the Application of TCC-Type Grading Crushing Equipment in Barite Mines

Zhao Guoliang¹, Liu Zhen², Huang Shenshui¹, Wu Biao¹, Long Fuqiang¹, Zhou Nan²

1. Zhenning County Hongdie Industrial Co., Ltd., Anshun, Guizhou 561000

2. Taiboke (Tianjin) Mechanical Equipment Co., Ltd., Tianjin 301712

Abstract : Barite, as an important non-metallic mineral resource, places stringent demands on the uniformity of product particle size, grade, and resource utilization during its crushing and processing. Traditional crushing equipment commonly faces issues such as excessive crushing, low precision in particle size grading, high energy consumption, and incomplete separation of impurities when processing barite. The TCC-type grading crushing equipment, with its integrated "crushing-grading" design, can precisely control the discharge particle size and reduce over-crushing, making it well-suited to the material characteristics and processing requirements of barite. This paper systematically analyzes the structural principles and technological advantages of TCC-type equipment based on the actual production conditions of barite mines. It elaborates in detail on the process configuration, parameter optimization, and supporting system design of TCC-type equipment in the barite crushing process. Through a case study of its application in a barite mine, the paper compares and analyzes key indicators such as equipment operational efficiency, product quality, and economic benefits. It also examines issues encountered during application, such as uneven wear of the toothed rollers and insufficient separation efficiency for fine particle sizes, and proposes targeted optimization solutions. This study provides technical references for the large-scale application of TCC-type equipment in barite and similar non-metallic mines.

Keywords : grading crushing equipment; barite mine; particle size control; integrated crushing; energy conservation and consumption reduction

引言

重晶石因具有高密度、化学稳定性强等特性, 广泛应用于石油钻井液加重剂、化工钡盐制备及放射防护材料等领域, 其产品价值直接取决于粒度分布与品位^[1-3]。在重晶石矿山破碎环节, 物料常夹杂围岩杂质(如石英、方解石), 且自身性脆易碎裂, 传统破碎工艺多采用“颚式破碎机+圆锥破碎机+振动筛”的组合模式^[4-5], 存在显著局限: 一是破碎与分级环节脱节, 过粉碎率高达25%以上, 导致细粒级资源浪费; 二是分级精度低, 出料粒度偏差常超过 $\pm 15\text{mm}$, 难以满足下游行业对粒径的精准要求; 三是设备联动性差, 杂质

分离不及时，影响重晶石精矿品位。

TCC 型分级破碎设备作为新一代高效破碎装备^[6]，集成了双齿辊破碎、内置分级筛及弹性缓冲保护等功能，可在破碎过程中同步完成粒度分级与杂质预分离，契合重晶石“低过粉碎、高精度、强适配”的加工需求。某重晶石矿山数据显示，采用 TCC 型设备替代传统工艺后，过粉碎率可降至 8% 以下，生产效率提升 30%。本文通过研究 TCC 型设备在重晶石矿山的应用技术，为解决传统破碎难题、提升矿山经济效益提供实践路径。

一、TCC 型分级破碎设备的结构原理与技术优势

（一）核心结构组成

TCC 型分级破碎设备采用模块化设计，主要由进料预处理装置、双齿辊破碎机构、内置高频分级筛、弹性缓冲系统及智能控制系统五部分构成。进料预处理装置配备可调式格栅，可预先拦截直径超过 300mm 的大块围岩杂质；双齿辊采用非对称齿形设计，齿距根据重晶石破碎需求设为 20–50mm，辊面采用 WC–Co 硬质合金耐磨层；内置分级筛位于破碎腔下方，筛孔尺寸可在 5–50mm 范围内调节，通过高频振动实现破碎产物的即时分级；弹性缓冲系统采用液压推杆与碟形弹簧组合结构，可吸收物料冲击载荷；智能控制系统集成电流、振动、温度传感器，实时监测设备运行状态。

（二）工作原理

重晶石原矿经进料口进入设备后，先通过预处理格栅拦截大块杂质，合格物料落入双齿辊破碎腔。在齿辊的相对转动作用下，物料受挤压、剪切力发生破碎，破碎产物直接落入下方内置分级筛。分级筛通过高频振动将物料分为三级：大于设定粒径的粗料通过返料通道回流至破碎腔再次破碎；符合粒径要求的成品料通过出料口进入后续提纯工序；小于 5mm 的细粉料通过底筛排出，避免过粉碎。当设备遭遇过载或异物卡阻时，弹性缓冲系统推动齿辊瞬时张开，异物排出后自动复位，同时智能控制系统触发预警，保障设备安全运行。

（三）适配重晶石加工的技术优势

精准控制过粉碎：相较于传统设备“无差别破碎”模式，TCC 型设备通过“破碎–分级”一体化设计，使合格粒径物料及时分离，避免重复破碎，重晶石过粉碎率可控制在 10% 以内，资源利用率提升 15%–20%。

高分级精度：内置高频分级筛的振动频率可达 3000r/min，结合可调式筛孔设计，出料粒度偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 范围内，满足石油钻井用重晶石粉（粒径 20–40mm）的严苛要求。

杂质预分离能力：进料格栅与分级筛协同作用，可提前去除 30% 以上的围岩杂质，降低后续提纯工序的处理负荷，重晶石精矿品位提升 5%–8%。

低能耗与高稳定性：双齿辊破碎采用“静压破碎”原理，较圆锥破碎机能耗降低 25%–35%；弹性缓冲系统与智能监测装置配合，设备故障停机时间减少 60% 以上。

二、TCC 型分级破碎设备在重晶石矿山的应用方案

（一）矿山工况适配分析

以贵州某大型重晶石矿山为例，该矿山原矿平均粒径为 200–500mm，重晶石含量 65%–75%，夹杂石英、黏土等杂质，要求破碎后成品粒径为 20–40mm，过粉碎率 $\leq 10\%$ ，小时处理量 $\geq 150\text{t}$ 。传统工艺采用“颚破+圆锥破+振动筛”，存在过粉碎率 32%、成品合格率仅 68%、能耗 12kWh/t 等问题，亟需升级设备。

结合矿山工况，选用 TCC–1200 型分级破碎设备，其设计处理量 150–200t/h，最大进料粒径 500mm，适配原矿特性；齿辊齿距设定为 35mm，内置分级筛筛孔尺寸调整为 20mm 与 40mm 的双层结构，分别控制成品下限与上限；进料格栅孔径设为 300mm，拦截大块杂质。

（二）工艺流程集成设计

优化后的重晶石破碎工艺流程为：原矿开采→振动给料机→TCC 型分级破碎设备→磁选除铁→螺旋分级机提纯→成品仓储。其中，TCC 型设备作为核心环节，承担破碎、分级与杂质预分离三重功能：原矿经振动给料机均匀送入 TCC 分级破碎设备，预处理格栅拦截大块围岩；破碎后物料经内置分级筛分离出 20–40mm 成品料、> 40mm 返料及 < 20mm 细粉料；成品料直接进入磁选工序去除铁杂质，返料回流至 TCC 设备复破，细粉料收集后用于低端钡盐生产，实现全粒级利用。

（三）关键运行参数优化

通过正交试验法对 TCC 型设备的运行参数进行优化，以过粉碎率、成品合格率及能耗为评价指标，确定最优参数组合：

齿辊转速：根据物料破碎特性，将齿辊转速设定为 180r/min，既保证破碎效率，又避免因转速过高导致物料过度冲击破碎。

齿辊间隙：针对 20–40mm 成品要求，将固定辊与活动辊的间隙调整为 30mm，配合齿形咬合深度，实现物料的精准破碎。

分级筛振动频率：采用 2800r/min 的振动频率，兼顾分级效率与设备稳定性，成品粒径合格率提升至 92%。

缓冲系统压力：液压推杆工作压力设定为 12MPa，可有效吸收重晶石与杂质混合物料的冲击载荷，减少齿辊磨损。

（四）配套保护与辅助系统

为适配重晶石矿山多杂质、高负荷的运行环境，配套以下系统：

异物智能检测系统：在进料口安装毫米波雷达与机器视觉融合检测装置，识别金属杂质与大块围岩，识别准确率达 98%，联动格栅挡板自动排出异物。

磨损监测系统：在齿辊与分级筛网嵌入电阻式磨损传感器，当磨损量达设计厚度的 70% 时发出预警，避免过度磨损影响破碎精度。

除尘系统：采用脉冲袋式除尘器，在进料口与出料口设置吸尘罩，粉尘浓度控制在 10mg/m³ 以下，符合矿山环保要求。

三、应用效果与案例分析

（一）核心性能指标对比

贵州某重晶石矿山采用上述应用方案后，连续运行 3 个月进行数据监测，TCC 型设备与传统工艺的性能指标对比见表 1。

指标	传统工艺	TCC 型设备	提升 / 降低幅度
小时处理量（t/h）	120	180	+50%
成品合格率（20-40mm）	68%	93%	+25%
过粉碎率（< 5mm）	32%	8%	-24%
单位能耗（kWh/t）	12	8.2	-31.7%
杂质去除率	15%	32%	+17%
设备故障停机时间（h/月）	18	5	-72.2%

（二）经济效益分析

按矿山年运行 300 天、每天运行 16 小时计算，采用 TCC 型设备后：

1. 产量提升：年新增成品量 $(180-120) \times 16 \times 300 \times 93\% = 26.78$ 万吨，按重晶石成品价 800 元 / 吨计算，年新增产值 2.14 亿元。

2. 成本降低：单位能耗降低 3.8kWh/t，年节约电费 $3.8 \times 180 \times 16 \times 300 \times 0.65 \approx 213$ 万元；故障维护成本从年 280 万元降至 90 万元，年节约 190 万元；细粉料回收利用年增收 800 万元，合计年节约成本 1203 万元。

3. 投资回报：TCC 型设备及配套系统总投资 1800 万元，按年新增效益计算，投资回收期约 10 个月，经济效益显著。

（三）运行稳定性分析

设备运行期间，弹性缓冲系统成功处理异物卡阻事件 12 起，未发生齿辊断裂、电机烧毁等严重故障；齿辊耐磨层经 3 个月运行后磨损量仅 0.8mm，预计使用寿命可达 12 个月，较传统颚破颚板（使用寿命 3 个月）提升 3 倍；智能监测系统提前预警轴承温度异常 3 次，经及时维护避免了设备损坏，运行稳定性满足矿山连续生产需求。

四、应用中存在的问题与优化方向

（一）主要问题

1. 细粒级分离效率不足：对于含水量超过 15% 的重晶石原矿，< 20mm 细粉料易黏结在分级筛网表面，导致筛孔堵塞，细粒级分离效率从 93% 降至 75%，影响分级精度。

2. 齿辊磨损不均：原矿中夹杂的石英等硬质杂质易造成齿辊局部过度磨损，形成“凹坑”，导致破碎间隙不均匀，成品粒径偏差增大。

3. 低温环境适应性差：在冬季低于 0℃ 的矿山环境中，液压缓冲系统的液压油黏度上升，响应速度从 0.1s 延迟至 0.3s，影响过载保护效果。

（二）优化方向

1. 升级分级筛防堵结构：将内置分级筛改为“高频振动 + 超声波清堵”复合结构，超声波发生器频率设定为 40kHz，可有效清除黏结细料，在高含水量工况下分离效率保持在 90% 以上。

2. 采用梯度耐磨齿辊：开发合金基体 + 耐磨强化的复合齿辊，工作层硬度从表面的 HV1200 梯度降至次表层 HV800，提升局部抗磨损能力，延长使用寿命至 15 个月。

3. 优化液压系统配置：选用低温抗磨液压油（适用温度 -20℃ 至 +80℃），在液压油箱加装电加热装置，确保低温环境下液压油黏度稳定，缓冲系统响应时间恢复至 0.1s 以内。

五、结论

TCC 型分级破碎设备凭借“破碎——分级”一体化设计、精准粒度控制及低能耗优势，能有效解决重晶石矿山传统破碎工艺中过粉碎严重、分级精度低、能耗偏高的核心难题。通过针对重晶石物料特性进行设备选型、参数优化与配套系统设计，可实现成品合格率提升至 90% 以上、过粉碎率降至 10% 以下、单位能耗降低 25% 以上的应用效果。

贵州某重晶石矿山的应用案例证实，TCC 型设备可显著提升生产效率与资源利用率，降低生产成本，投资回报周期短，具备极强的工程实用性。针对应用中存在的细粒级分离、齿辊磨损及低温适配问题，通过升级分级筛结构、采用梯度耐磨材料及优化液压系统等措施可进一步提升设备性能。

未来，结合数字孪生技术构建 TCC 分级破碎设备运行虚拟模型，实现工艺参数的自适应调节；开发物联网运维平台，实现多设备协同管控，将推动 TCC 型分级破碎设备在重晶石及同类性脆非金属矿山的智能化、规模化应用，为矿产资源高效利用提供有力装备支撑。

参考文献

- [1] 李源洪, 杜红毅, 陈军, 等. 贵州余庆地区层间破碎带热液型重晶石矿床地球化学特征与成因分析 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(03): 122-133. DOI: 10.19509/j.cnki.dzkg.tb20240350.
- [2] 蒲利国, 杨昌华, 姜永果, 等. 广西龙殿铜铅锌重晶石矿地质特征及成矿规律 [J]. 云南地质, 2024, 43(S1): 302-308. DOI: CNKI: SUN: YNZD.0.2024-S1-043.
- [3] 李晓亚, 刘星旺, 王凡, 等. 新疆乌恰县沙热拉重晶石矿地质特征及矿床成因浅析 [J]. 中国非金属矿工业导刊, 2024, (01): 62-65. DOI: CNKI: SUN: LGFK.0.2024-01-012.
- [4] 付发伦. 重晶石选矿工艺的研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66(S1): 281-283+286. DOI: 10.19769/j.dzhy.2025.S1.093.
- [5] 李育彪, 杨旭. 我国萤石资源及选矿技术进展 [J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(02): 49-58. DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.02.006.
- [6] 刘振, 张学斌, 张伏平, 等. TCC 分级破碎机结构优化及应用实践 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2024, (08): 28-30. DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2024.08.007.