

高压辊磨与立轴冲击破在超细碎工艺中的应用分析

王 勇

新疆有色冶金设计研究院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 高压辊磨与立轴冲击破在超细碎工艺中各有优势。高压辊磨机基于层压粉碎理论,通过高压挤压物料形成密实料饼,提升后续磨矿效率,降低能耗与钢耗,适用于金属矿山预处理及大规模连续作业。立轴冲击破则利用冲击破碎原理,实现物料高效细碎与整形,成品粒型优异,适应性强,尤其适合建材、非金属矿领域及中小规模生产线。两者在工艺适配性、能耗控制及产品粒度控制方面各有侧重。

关键词: 高压辊磨;立轴冲击破;超细碎工艺;应用

引言: 在矿业与建材加工领域,超细碎工艺对提升资源利用率与产品质量至关重要。高压辊磨机与立轴冲击破作为两种主流超细碎设备,分别依托层压粉碎与冲击破碎原理,展现出独特的技术优势。高压辊磨机以高效节能、提升矿物解离度见长,广泛应用于金属矿山预处理;立轴冲击破则凭借出色的粒型控制能力,在建材制砂及非金属矿加工中占据主导。本文将从工作原理、应用场景及性能对比等方面,系统分析二者在超细碎工艺中的差异化应用。

1 高压辊磨机在超细碎工艺中的应用分析

1.1 工作原理与结构特点

(1) 层压粉碎理论: 高压辊磨机以层压粉碎理论为核心,通过两相对旋转的高压辊对进入辊间的物料施加强力挤压,使物料形成密实料饼。在此过程中,物料内部产生大量微裂纹,如武汉科技大学针对大冶钢铁共生矿的研究显示,高压辊磨产品存在明显晶界裂纹与晶内裂纹,这些微裂纹可显著提升后续磨矿的可磨度,降低Bond球磨功指数。例如齐大山铁矿石经高压辊磨预处理后,邦德球磨功指数从原矿的 $12.56\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 降至 $11.57\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,为后续分选创造有利条件。(2) 关键部件: 核心部件包括高压辊、液压系统、给料装置与排料装置。高压辊采用碳化钨柱钉等耐磨材质,确保处理高硬度矿石时的稳定性;液压系统可精准调节辊面比压力,如大冶铁矿试验中采用 4 MPa 比压力实现最优破碎效果;给料装置需保证物料均匀布料,避免偏载导致的破碎不均,酒钢七角井矿试验中通过稳定给料使高压辊磨产品粒度偏差控制在 5% 以内^[1]。(3) 技术优势: 相比传统颚式破碎机,高压辊磨产品细粒级含量更高、粒度更均匀。如大冶铁矿高压辊磨产品 -0.074 mm 粒级负累计产率达 14.73% ,较颚破产品提高 3.43 个百分点;同时能提升矿物单体解离度,其浮选粗精矿铜品位较颚破产品提高

0.21 个百分点,回收率提高 1.84 个百分点,符合“多碎少磨”节能趋势。

1.2 典型应用案例

(1) 金属矿山领域: 酒钢集团七角井贫铁矿采用“高压辊磨+湿式磁选抛尾”工艺,将二段磁选粗精矿(铁品位 26.73%)经高压辊磨破碎至 $3-5\text{ mm}$ 后, 3 mm 湿式磁选抛尾精矿铁品位达 28.62% ,回收率 94.83% ,尾矿磁性铁品位仅 0.71% ,较传统流程入磨矿品位提升 1.89 个百分点,选矿成本降低 12% 。某铜矿山二选厂引入高压辊磨后,在原有设备基础上处理能力从 5000 t/d 提升至 7000 t/d ,磨矿系统处理量提高 35% ,且Bond球磨功指数降低 15.77% 。(2) 铁矿预处理领域: 鞍钢集团齐大山铁矿采用HPGR3516型高压辊磨机,配合筛分闭路系统制备不同粒度产品, -6 mm 试样邦德球磨功指数较原矿降低 7.88% ,且随着产品粒度减小,易磨性持续提升。该工艺使后续球磨机单位功耗降低 $2.43\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,年节省能耗成本超 300 万元。

1.3 应用效果评估

(1) 能耗对比: 工业数据显示,高压辊磨机单位电耗较颚式破碎机、圆锥破碎机低 $30\%-50\%$ 。某铁矿超细碎流程中,高压辊磨系统单位电耗为 $8.5\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,较传统三段破碎流程的 $14.2\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 降低 40.2% ,年减少电费支出约 500 万元。(2) 粒度控制: 高压辊磨产品粒度均匀性显著优于传统设备,通过R-R方程拟合分析,其均匀性系数 n 为 0.8416 ,低于颚破产品的 0.8696 ;且P80可稳定控制在 $0.8-3\text{ mm}$,如大冶铁矿辊压产品P80为 0.807 mm ,满足后续磨矿-浮选对细粒级物料的需求,使磨矿产品 -0.074 mm 粒级占比快速达到 85% 。(3) 耐磨性: 碳化钨柱钉辊面在处理硬度 $f = 12-16$ 的铁矿石时,使用寿命可达 $6000-20000$ 小时。某矿山高压辊磨机连续运行 18 个月未更换辊面,仅进行常规维护,较传统高锰钢辊面维护成

本降低65%，设备作业率保持在92%以上^[2]。

2 立轴冲击破在超细碎工艺中的应用分析

2.1 工作原理与结构特点

(1) 破碎方式：立轴冲击破通过“石打石”与“石打铁”两种模式实现超细碎。“石打石”模式下，高速旋转叶轮（转速1500-3000r/min）将物料加速至50-80m/s，与涡动腔内物料衬层碰撞破碎，适用于河卵石、花岗岩等磨蚀性物料；“石打铁”模式中，物料直接撞击金属反击板，破碎效率提升20%，适合中低硬度石灰石、石膏等物料^[3]。(2) 关键部件：叶轮采用ZG35CrMnSi高强度合金铸造，叶片经表面淬火处理，硬度达HRC55-60；分料器采用对称式结构，物料分配均匀度误差 ≤ 3%；涡动腔采用双曲面设计，延长物料停留时间，破碎效率提升15%-20%；耐磨衬板选用高铬合金（Cr26）材质，抗磨性能较普通高锰钢提升3倍。(3) 技术优势：冲击破碎效率高，时处理量可达100-500t/h，较传统锤式破碎机提升40%；成品粒型优异，立方体含量 ≥ 85%，针片状含量 ≤ 5%，符合GB/T14684-2022建筑用砂标准；设备结构紧凑，占地面积仅为同等处理能力圆锥破碎机的60%，安装调试周期缩短30%。

2.2 典型应用案例

(1) 制砂行业：某大型建材企业采用立轴冲击破处理河卵石，“石打石”模式下成品砂级配连续，0-3mm粒级占比65%，3-5mm粒级占比30%，细度模数稳定在2.6-2.8，合格率从传统设备的85%提升至98%，月产量增加1.2万吨，吨砂生产成本降低8元。(2) 非金属矿领域：某石英砂矿采用立轴冲击破进行超细碎，将20-50mm石英石破碎至0-3mm，成品石英砂SiO₂含量 ≥ 99.5%，杂质含量 ≤ 0.3%，满足光伏玻璃原料要求，较传统棒磨机流程能耗降低35%，生产效率提升50%。

2.3 应用效果评估

(1) 能耗对比：立轴冲击破单位电耗较锤式破碎机低20%-30%，时产200吨的花岗岩制砂生产线中，立轴冲击破单位电耗为6.2kW·h/t，较锤式破碎机的8.8kW·h/t降低29.5%，每条生产线年节省电费约18万元。(2) 粒度控制：通过调节叶轮转速与进料量，成品粒度可精准控制在0-5mm，如处理石灰石时，0-3mm粒级占比可达70%，且粒度偏差 ≤ 2%，无需额外筛分即可直接用于混凝土搅拌站，减少生产环节30%^[4]。(3) 耐磨性：“石打石”模式下，物料自衬层可保护设备金属部件，使耐磨衬板更换周期延长至6个月，较“石打铁”模式减少50%维护次数；高铬合金衬板使用寿命可达800-1200小时，较普通高锰钢衬板提升2倍，维护成本降低40%。

3 高压辊磨与立轴冲击破在超细碎工艺中的对比分析

3.1 技术原理对比

(1) 高压辊磨机：核心基于层压粉碎原理，工作时两辊相对旋转并施加高压，将物料挤压成密实料饼。在挤压过程中，物料内部因受到巨大压力而产生大量微裂纹，破碎作用主要发生在物料内部，属于“内应力破坏”。这种破碎方式对脆性物料（如金属矿石、水泥熟料）的破碎效果尤为显著，能充分利用物料自身的脆性特质实现高效破碎，避免过度依赖设备部件的机械冲击，能量利用率达80%以上，较冲击破碎高30%。以大冶铜铁共生矿为例，经高压辊磨后，矿物晶界分离明显，黄铜矿与磁铁矿的单体解离度提升10%-15%，为后续分选作业奠定了良好基础。(2) 立轴冲击破：依靠冲击破碎原理，通过高速旋转的叶轮将物料加速至50-80m/s，随后物料与涡动腔内的物料衬层（“石打石”）或金属反击板（“石打铁”）发生剧烈碰撞、摩擦，从而实现破碎，破碎作用以外部冲击为主，属于“表面冲击破坏”。该方式更适合处理中等硬度物料（如花岗岩、河卵石、石灰石），但在处理硬度过高的物料（ $f > 16$ ）时，冲击能量易被物料的弹性形变吸收，导致破碎效率下降20%-30%，且易产生过粉碎现象；而对软质物料进行破碎时，也容易因冲击力度过大造成过粉碎，影响产品质量。

3.2 应用场景对比

应用场景	高压辊磨机适用情况	立轴冲击破适用情况
金属矿山	铁矿石、铜矿等需预解离的超细碎，如七角井贫铁矿抛尾工艺	辅助破碎环节，如铂金矿粗粒调整粒型
建材行业	水泥熟料预粉磨，降低球磨负荷	河卵石、花岗岩制砂，建筑骨料整形
非金属矿	高硬度石墨、萤石的深度破碎	石英砂、石膏的超细碎，控制成品粒型
生产规模	大规模连续作业（≥5000t/d）	中小型生产线（1000-3000t/d），灵活调整

3.3 性能指标对比

性能指标	高压辊磨机	立轴冲击破
单位电耗	8-12kW·h/t（金属矿），节能30%-50%	10-15kW·h/t（制砂），节能20%-30%
成品粒度	P80 = 0.8-3mm，均匀性系数 $n < 0.85$	0-5mm，立方体含量 ≥ 85%
设备寿命	辊面寿命6000-20000小时，年维护次数2-3次	衬板寿命800-1200小时，年维护次数6-8次
投资成本	设备投资高30%-50%，运行成本低20%-30%	设备投资低20%-30%，运行成本高15%-25%
环保性	噪音 ≤ 85dB，粉尘排放 ≤ 10mg/m ³	噪音90-95dB，需加装隔音设施，粉尘排放 ≤ 15mg/m ³

(1) 经济性：从经济性角度来看，高压辊磨机与立

轴冲击破各有优劣。高压辊磨机的初期设备投资较高,较立轴冲击破高30%-50%,但由于其能耗低、设备寿命长、维护成本低,长期运行下来,运行成本较立轴冲击破低20%-30%,适合长期大规模生产的企业。以某100万吨/年铁矿项目为例,采用高压辊磨方案的全生命周期成本(设备投资+运行成本+维护成本)较立轴冲击破方案低18%。而立轴冲击破初期投资低,更适合短期项目或生产规模较小、资金有限的企业,但长期运行中,频繁的维护与较高的能耗会增加企业的成本负担。(2)工艺适配性:在工艺适配性方面,高压辊磨机对进料条件要求较高,需配套闭路筛分系统,且进料量波动需控制在5%以内,若进料不稳定,易导致设备负荷波动,影响破碎效果;而立轴冲击破的适应能力更强,可单机作业,进料量波动允许范围达10%-15%,即使原料成分复杂、粒度波动较大,也能保持相对稳定的破碎效果,更适合原料特性不稳定的生产场景^[5]。(3)分选协同性:高压辊磨机与立轴冲击破对后续分选作业的协同作用差异明显。高压辊磨机的层压破碎方式使产品内部产生大量微裂纹,不仅提升了矿物解离度,还能改善物料的分选性能,后续浮选回收率可提升2%-3%,如大冶铜矿采用高压辊磨后,铜回收率提高2.11%,磁选精矿品位提高0.4-1.11个百分点。而立轴冲击破的优势在于改善产品粒型,更适合对物料物理形态要求高的建材领域,对后续分选

指标的提升作用有限,在金属矿山的分选流程中,难以替代高压辊磨机的作用。

结束语

高压辊磨与立轴冲击破作为超细碎工艺的核心设备,在技术原理、应用场景及性能指标上呈现显著差异化特征。前者通过层压粉碎实现高效节能与矿物解离,适用于大规模金属矿山预处理;后者凭借冲击破碎达成优异粒型控制,在建材与非金属矿领域优势突出。实际生产中需结合原料特性、工艺需求及成本考量综合选型,未来随着设备智能化与耐磨材料技术的升级,二者将在资源高效利用与绿色制造领域发挥更大协同价值。

参考文献

- [1]张文雷.高压辊磨在矿物加工工程的应用[J].中国金属通报,2022(06):159-161.
- [2]邵泽富,曹品安,李亚娥.试析高压辊磨在矿物加工工程中的应用[J].世界有色金属,2021(09):215-216.
- [3]刘国强,王志峰,李伟.立轴冲击式破碎机转子参数对破碎性能影响的研究[J].矿山机械,2021,49(08):59-61.
- [4]张华,陈晓明.变频调速技术在矿山破碎设备中的节能应用与分析[J].有色金属(选矿部分),2020,(04):112-114.
- [5]李鹏.高压辊磨在矿物加工工程中的应用分析[J].山西化工,2020,40(02):107-109.