面向骨料级配精准调控的碎石加工设备性能优化策略分析

吴予凯

（浙江交工国际工程有限公司，浙江 杭州 311300）

摘 要 骨料级配是决定碎石集料质量、工程施工稳定性与结构耐久性的核心指标，精准的级配控制是碎石加工生产的核心环节。现阶段碎石加工生产中，普遍存在级配分布不均、颗粒级配偏差大、成品合格率偏低等问题，核心诱因在于加工设备性能匹配不足、运行参数管控粗放。本文以骨料级配控制为核心切入点，分析碎石加工设备运行与级配质量的关联机理，梳理设备运行现存短板，从设备结构、运行参数、管控体系多维度提出性能优化策略，旨在为提升碎石骨料级配精度、助力碎石加工行业提质增效提供借鉴。

关键词 骨料级配；碎石加工；设备性能；参数优化；分级筛选生产体系

中图分类号：TD451 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.027

0 引言

碎石骨料广泛应用于道路、基建、水利等各类工程项目，其级配合理性直接影响混凝土密实度、施工质量与工程使用寿命。随着基建工程质量标准不断升级，市场对碎石骨料的级配精度、颗粒形态、规格统一性提出了更高要求。传统碎石加工模式侧重设备产能提升，忽视级配控制与设备性能的协同适配，导致成品骨料级配紊乱、废料率偏高。基于级配控制核心需求，探究碎石加工设备性能优化路径，是实现碎石加工精细化、标准化、高质化生产的关键。

1 骨料级配控制核心要求与碎石加工设备工作原理

1.1 工程应用中骨料级配的核心控制标准

目前，国家及各省市安全生产监督管理部门一直在加强该行业安全监管的力度，也颁布了相关法规，制定了一些标准和措施，然而这并没有明显降低碎石加工系统运行中安全风险的不确定性。针对石灰岩矿山的安全风险分析，国内研究重点表现在重大危险源、安全开采技术、地质环境保护与恢复治理等方面。从统计资料来看，很少有研究者将“破碎、运输、筛分、料仓、排水、供电”整个碎石加工系统作为评价对象，考察整个系统的安全性和可靠性。在现代的土建、道路以及水利工程施工体系中，骨料级配属于评判碎石成品质量方面的核心技术指标，直接对混凝土拌合的密实程度、抗压的强度以及整体结构的稳定情况起到决定作用。不同的工程场景对于骨料级配存在着有差异的、规范的控制标准。在常规的工程建设过程中，碎石骨料需要严格地遵循粒径分级合理、颗粒填充致密、空隙率可控等核心原则。大小颗粒搭配均匀能够有效地减少混凝土内部空隙，让拌合材料的整体性质和耐用性质得到提升。市政道路、桥梁、水工构筑物等重点工程对于骨料级配的精准程度要求更加严格，不仅需要满足常规的粒径配比规范，还需要严格控制针片状颗粒含量、含泥量等辅助指标，避免级配失衡所引发的路面开裂、结构沉降、渗水破损等工程质量方面的隐患，保障工程建设的标准化以及长期的安全性能。

1.2 主流碎石加工设备的结构与运行机理

当前碎石加工生产线的核心设备主要是由颚式破碎机、圆锥破碎机、反击式破碎机，搭配筛分、给料、输送设备集成的一体化加工体系。不同设备的结构设计以及运行机理存在明显的差异，适合不同的原石破碎加工需求。颚式破碎机依靠颚板挤压的作用来实现大块原石的初次破碎，结构稳固、破碎的力度大，大多用于粗加工的环节；圆锥破碎机依靠层压破碎的原理来完成物料的精细化破碎，成品颗粒的规整程度比较高；反击式破碎机借助冲击破碎的方式来重塑物料的形态，能够有效地改善骨料颗粒的形状。

作者简介：吴予凯（1998-），男，本科，助理工程师，研究方向：砂石设备性能。

2 基于骨料级配控制的碎石加工设备性能现存短板

2.1 设备破碎结构适配性弱，颗粒成型精度不足

现阶段，大多数传统碎石加工设备的破碎结构设计普遍采用通用化适配的技术路线，其针对性以及适配性不够，很难去适配精细化级配的生产方面的需求，这是造成骨料成型质量不好的主要原因。部分破碎机的腔体结构比较单一，破碎区间的布局不太合理，物料在破碎过程当中受到的力不均衡，容易出现过度破碎或者破碎不充分等情况，从而导致成品骨料中针片状颗粒所占的比例比较高、粒径大小不一致。在长期的生产过程之中，破碎衬板、颚板等核心的部件容易出现磨损、变形、脱落等方面的问题，改变了原本的破碎腔体尺寸以及破碎轨迹，进一步使得颗粒成型的精确程度降低。

2.2 设备运行参数固化，级配调节灵活度较低

传统的碎石生产线设备运行参数大多采用固定化的设置模式，缺少动态调节的机制，参数的适配性差，很难应对原石材质、粒径、硬度的动态变化，严重影响到骨料级配控制的效果。大多数生产班组为了追求产能稳定，长时间使用固定转速、固定进料量、固定破碎间隙等参数，没有根据原石原料的特性差异进行有针对性的调整。当原石硬度比较高、粒径比较大的时候，固定参数会导致破碎不彻底，大颗粒骨料残留得过多；当原石质地比较软的时候，又容易产生大量石粉以及细碎骨料，造成级配比例失去平衡。

3 基于级配精准控制的碎石破碎设备结构优化

3.1 优化破碎腔体结构，改善物料挤压破碎效果

为有效提升骨料破碎的规整程度以及级配的均匀状况，需要有针对性地对破碎机的破碎腔体结构做优化处理，摒弃传统单一化的腔体设计，采用分层式、曲线式的新型腔体结构。经过优化之后的腔体能够使物料破碎的轨迹发生改变，让物料在破碎腔内进行挤压、研磨的时长得到延长，实现层压式的均匀破碎，有效地减少针片状颗粒的产生，使骨料颗粒成型的质量得到提升[1]。依据不同级配的生产需求，对腔体破碎区间的布局进行优化，把粗碎、中碎、细碎的作业区域区分开来，让物料按照粒径梯度完成分级破碎，避免出现物料过度破碎或者破碎不足等问题。

3.2 升级耐磨配件材质，保障长期生产级配稳定性

破碎设备的衬板、颚板、反击板等核心耐磨配件的磨损程度，是影响长期生产级配稳定状况的重要因素，需要通过对配件材质进行升级来提升设备运行的稳定状况。传统的普通钢材配件耐磨性能差、损耗的速度快，设备长期连续作业之后容易出现结构变形的情况，导致破碎的精准程度持续下降，级配质量的波动比较明显。可以采用高铬合金、高锰钢复合耐磨材质来替代传统的配件，大幅度提升配件的抗冲击、耐磨损、抗变形的能力，有效地延缓配件损耗的速度，长期保持破碎腔体的结构尺寸以及破碎的精准程度稳定。

3.3 改造进料出料结构，均衡物料破碎受力状态

进料与出料系统的运行稳定状况直接影响物料进入破碎腔的均匀程度，对于骨料级配的管控来说是非常重要的，需要有针对性地完成结构的优化改造。传统的进料结构容易出现物料集中进料、偏载进料等问题，导致破碎腔内物料堆积不均匀，局部物料受力过大或者受力不足，造成破碎效果有差异。通过改造分布式的均匀进料结构，搭配可调式的进料导流装置，可以实现物料匀速、分散地进入破碎腔体，保障每一批次的物料受力均匀。

4 依托参数动态调控提升设备级配生产性能

4.1 优化设备转速参数，适配不同粒径物料破碎需求

设备的主轴转速属于调控物料破碎程度最核心的动态参数，需要依据原石粒径、硬度以及材质所具有的差异化特征来开展精细化的优化调整工作，从而提升级配控制的精准程度。对于大块的、高硬度的原石而言，可以适当地把设备的转速降低一些，将物料挤压破碎的时长延长，以此保障硬质原石能够得到充分的破碎，减少大颗粒残留等问题；对于小块的、低硬度的原石来说，可以适度地把转速提升上去，提高破碎的效率，同时避免物料出现过度粉碎的情况而产生大量的石粉。摒弃传统碎石加工系统中固定转速的粗放式生产运行模式，建立差异化的转速参数标准，让其与粗碎、中碎、细碎各个环节的作业需求相匹配，使得设备的破碎节奏能够和物料的特性高度适配，从参数调控的层面来对成品骨料的粒径分布进行优化，提升级配的均匀程度。

4.2 调控进料流量参数，规避物料堆积导致的级配偏差

进料流量的稳定性以及合理性会直接对破碎腔内物料的堆积密度产生影响，是引发级配偏差的重要的动态因素，需要实现流量参数的精准调控。当进料流量过大的时候，破碎腔内的物料会出现堆积拥堵的情况，设备的破碎负荷会急剧增加，部分物料无法充分地和破碎结构相接触，容易出现破碎不彻底的问题；进料流量过小的话则会造成设备空转、破碎效率低下

的情况，物料过度破碎的问题会频繁发生[2]。通过对给料机的运行参数进行优化，建立匀速的、定量的、可调节的进料模式，依据设备的破碎负荷实时动态地对进料量进行微调，让破碎腔内物料的堆积密度保持均衡，保障所有的物料都能够均匀受力、充分破碎，有效地避免因为物料堆积、进料不均所引发的骨料级配紊乱问题。

4.3 细化间隙调节参数，实现成品粒径精准管控

破碎机的排料间隙是决定成品骨料最大粒径的核心参数。间隙数值的精准调控是实现骨料级配标准化管控的关键举措。传统生产模式中，间隙调节比较粗放，调节精度不够，无法精准地和不同工程的级配标准相匹配，导致成品粒径偏差超出标准。需要建立精细化的间隙调节标准，根据成品骨料预设的粒径区间，精准地对破碎设备动静衬板的间隙大小进行调控，严格地把控成品骨料的最大粒径。结合生产过程中的物料反馈数据，动态地对间隙参数进行微调，补偿配件磨损所带来的粒径偏差，始终让成品粒径处于标准区间之内，有效地提升骨料级配的精准度以及合格率，满足各类工程的标准化用料需求。

5 完善配套管控体系，巩固设备级配优化效果

5.1 优化筛分设备配套，构建分级筛选生产体系

为巩固设备优化以后的级配控制效果，需要将筛分配套设备进行升级，搭建一个多层级的、精细化的分级筛选生产体系，从而实现破碎作业和筛分作业的协同适配。根据成品骨料的粒径分级标准，更换高精度标准筛网，对老化的、变形的、堵塞的筛面设备进行修复或者替换，以此保障筛分的基础精度能够得到保障。对筛分设备的运行参数进行优化，合理地调控振动频率、振幅以及筛分倾角，让物料筛分的流畅度和彻底度得到提升[3]。搭建多级筛分模式，按照顺序依次完成粗筛、中筛、细筛分级作业，对不同粒径的骨料进行精准的分类筛选，把不合格的物料回流到破碎设备进行二次加工，解决粗细骨料混杂、级配混乱的问题，构建一个闭环式的精细化生产体系。

5.2 建立设备常态化运维机制，稳定设备运行性能

设备长期稳定的运行性能是保障骨料级配持续合规的基础，需要建立一个系统化的、常态化的设备运维管理机制，避免设备故障引发的级配波动情况。制定标准化的日常巡检、定期保养、周期检修制度，重点检查破碎腔体、耐磨配件、进料出料系统、筛分设备等核心部件的运行状态，及时将磨损的配件进行更换，对设备隐患进行排查。规范设备启停、清洁、润滑、校准等运维流程，杜绝带故障、带缺陷的设备进行作业[4]。建立设备运维台账，记录设备损耗情况、参数校准数据、检修保养内容，实现设备运行状态能够可追溯、可管控，持续稳定设备破碎精度和筛分性能，保障长期生产中级配质量稳定达标。

5.3 搭建智能化管控模式，实现级配与设备联动调控

依靠智能化、数字化技术升级生产管控模式，能够实现设备运行和级配质量的联动调控，大幅度提升级配控制的精准性和智能化水平。在生产线加装智能监测传感器，实时采集设备转速、进料流量、破碎间隙、振动参数等核心运行数据，同时实时监测成品骨料粒径、级配分布等质量数据[5]。通过智能管控平台对数据进行整合分析，自动研判设备运行状态和级配质量的匹配度，针对级配偏差问题自动微调设备运行参数，实现设备自适应优化调控。改变传统人工调试、事后整改的管控模式，形成实时监测、智能分析、自动调控、全程溯源的现代化管控体系[6]。

6 结束语

骨料级配控制是碎石加工质量管控的核心内容，而设备性能是决定骨料级配精度的核心因素。本文围绕骨料级配控制需求，剖析了碎石加工设备在结构、参数、配套设施上的性能短板之处，针对性地提出设备结构改造、运行参数调控、配套体系完善的全方位优化策略。通过设备性能的精准优化，能够有效解决成品骨料级配不均、精度不足等问题，提升碎石成品质量和生产效率，为基建工程优质骨料供应、碎石加工产业精细化升级提供技术参考。

参考文献：

[1] 武晓军.长大隧道项目自建碎石加工厂的效益探索:以MH铁路大中山隧道项目碎石加工厂为例[J].国际商务财会,2024(S2):135-139.

[2] 陈会波.公路沥青路面用碎石加工技术[J].交通世界,2023(11):50-52.

[3] 荣梅,赵振国,梁爽.大型设备规模化加工燃渣碎石研究[J].山西建筑,2023,49(08):118-120.

[4] 周博.山区铁路隧道弃渣加工碎石设计探讨[J].铁路工程技术与经济,2021,36(06):29-33.

[5] 洪军,刘启军,夏云龙.混凝土加工用碎石筛分设备:CN202221086277.7[P].安徽津达建材股份有限公司,2022-09-27.

[6] 万江兴.公路工程水泥稳定碎石基层裂缝检测方法与处治措施[J].工程技术研究,2025,10(24):147-149.