

# 高效破碎筛分工艺在水电砂石加工中的应用

施利波

中国水利水电第七工程局有限公司第五分局 四川 眉山 620800

**摘要:** 砂石骨料是水电工程混凝土浇筑核心原料,其质量产量影响工程进度与结构安全。传统破碎筛分工艺有效率低、筛分精度差、能耗高等问题,难以满足大型水电工程高标准。本文聚焦高效破碎筛分工艺在水电砂石加工中的应用,先说明水电砂石特性与加工流程,剖析传统工艺弊端;再详解高效破碎与筛分工艺原理及技术特点;最后结合工程实践,从设备选型、流程优化、自动化控制阐述应用路径,其可提升产量质量、降低成本。

**关键词:** 高效破碎筛分工艺;水电砂石加工;砂石质量;应用效果

引言:水电工程建设规模大、周期长,对砂石骨料的需求量极大,且要求骨料具备高强度、高稳定性、级配合理等特性。砂石加工作为水电工程的基础环节,其工艺水平直接影响工程整体质量与建设效率随着水电工程向大型化、智能化方向发展,亟需先进的破碎筛分工艺提升砂石加工水平。基于此,本文系统研究高效破碎筛分工艺的技术原理与应用方法,结合水电砂石加工的特殊需求,明确其核心应用要点,为高效破碎筛分工艺在水电工程中的推广应用提供理论与实践支撑。

## 1 水电砂石加工概述

### 1.1 水电砂石的特点与要求

水电工程所用砂石骨料多取自工程周边的天然岩石或人工采石场,具有显著的工程特性与严格的质量要求。从特点来看,水电砂石需适配大体积混凝土浇筑需求,骨料颗粒形态需规则、针片状含量低,以保障混凝土的密实度与强度;同时,骨料需具备良好的耐磨性与化学稳定性,抵抗水流冲刷与环境侵蚀。质量要求方面,根据水电工程混凝土部位的不同,砂石骨料需满足明确的级配标准,粗骨料通常分为5-20mm、20-40mm、40-80mm等多个粒径等级,细骨料细度模数需控制在2.6-3.0之间;另外,砂石中含泥量、硫化物含量等有害杂质需严格控制,粗骨料含泥量不得超过1%,细骨料含泥量不得超过3%,避免影响混凝土的耐久性与力学性能。部分高标号混凝土用砂石还需进行碱活性检验,防止碱骨料反应破坏结构<sup>[1]</sup>。水电工程砂石骨料更需满足高强度、高稳定性和合理级配的要求。例如,巴沙大坝工程中,混凝土总需求量为1870万m<sup>3</sup>,骨料用量达5084万吨,其粗骨料需符合ASTM-C33标准,细骨料细度模数需控制在2.3~3.1之间,有害物质含量需低于3%。塔贝拉四期工程同样对骨料级配(如大石38~75mm、中石19~38mm)和含泥量(粗骨料≤0.5%)提出了严格限定。

### 1.2 水电砂石加工流程

水电砂石加工流程需根据原料特性与质量要求设计,核心包括原料开采、粗破碎、中细碎、筛分分级、整形、清洗脱水等环节。原料开采阶段,通过爆破或机械开挖方式获取原岩,经装载机或挖掘机转运至原料堆放场;粗破碎环节,采用颚式破碎机等设备将原岩破碎至100-200mm的粒径,去除大块杂质;中细碎环节,利用圆锥破碎机、反击式破碎机等设备进一步破碎,使骨料粒径达到预设范围;筛分分级环节,通过振动筛等设备将破碎后的骨料按粒径分级,不合格粒径骨料返回破碎环节重新加工;针对颗粒形态不佳的骨料,需增设整形环节,采用冲击式破碎机优化颗粒级配;最后通过洗砂机清洗骨料表面的泥粉与杂质,经脱水筛脱水后,按粒径分类堆放,形成合格的砂石产品。整个流程需保障各环节衔接顺畅,确保砂石产量与质量稳定。比如:塔贝拉四期工程则通过“粗碎-中碎-细碎-制砂”组合,配套三级筛分与废水处理系统,实现300t/h的毛料处理能力;巴沙大坝砂石系统采用“三段破碎+立轴制砂+高速整形”工艺,设计产能2600t/h,通过长距离胶带机实现骨料运输。

## 2 传统破碎筛分工艺存在的问题

### 2.1 破碎设备效率低,导致砂石产量不足

传统破碎筛分工艺中,破碎设备选型与配置不合理是导致产量不足的核心原因。多数传统工艺采用“颚式破碎机+圆锥破碎机”的单一破碎组合,设备破碎比小,需多段破碎才能达到目标粒径,流程冗长且效率低下。同时,传统设备自动化程度低,破碎腔型设计不合理,物料在破碎腔内停留时间过长,易出现堵料、卡料现象,进一步降低破碎效率。此外,传统设备耐磨件材质较差,磨损速度快,需频繁停机检修更换,设备有效作业时间短,进一步制约了砂石产量的提升,严重时会导致混凝土浇筑工序停滞。

## 2.2 筛分精度不高,影响砂石级配的合理性

筛分环节是保障砂石级配合理的关键,但传统筛分工艺普遍存在筛分精度不足的问题。传统筛分设备多采用普通直线振动筛,筛网孔径设计不合理,且振动频率与振幅固定,难以适配不同粒径骨料的筛分需求。物料在筛面上分布不均、移动速度过快,部分细骨料未充分筛分就随粗骨料排出,或粗骨料夹杂在细骨料中,导致筛分后骨料级配偏差大,不合格率较高<sup>[2]</sup>。同时,传统筛分设备缺乏有效的防堵措施,筛网易被细料堵塞,尤其在处理含水率较高的物料时,堵塞问题更为严重,不仅降低筛分效率,还会进一步影响筛分精度。不合格的砂石级配会导致混凝土和易性差、密实度不足,需额外调整配比,增加施工成本,甚至影响工程结构安全。

## 2.3 能耗大,增加生产成本

传统破碎筛分工艺能耗高的问题突出,直接增加了砂石加工的生产成本。一方面,传统破碎设备动力系统落后,能效比低,单位砂石破碎能耗可达8-10kWh/t,远超行业先进水平;筛分设备同样存在能耗冗余问题,电机功率与实际作业需求不匹配,空转能耗占比高。另一方面,传统工艺流程设计不合理,物料重复破碎、多次转运现象普遍,不仅增加了设备运行负荷,还提升了输送环节的能耗。此外,传统设备散热效果差,长期高负荷运行易出现过热现象,进一步增加能耗的同时,还会缩短设备使用寿命,提升设备维修与更换成本。据统计,采用传统工艺的水电砂石加工项目,能耗成本占砂石生产成本的30%-40%,显著降低了工程的经济效益。

# 3 高效破碎筛分工艺原理与特点

## 3.1 高效破碎工艺原理

高效破碎工艺核心基于“多破碎腔协同、层压破碎+冲击破碎结合”的原理,实现物料的高效破碎。其采用新型腔型设计的破碎设备,通过优化破碎腔的偏心距、啮角等参数,使物料在破碎腔内形成层压破碎状态,利用物料间的相互挤压、撞击实现破碎,相较于传统单一破碎方式,破碎效率提升30%以上。对于粗破碎环节,采用大破碎比颚式破碎机,可将原岩直接破碎至80-120mm,减少破碎段数;中细碎环节,选用高效圆锥破碎机或冲击式破碎机,通过调整破碎参数适配不同物料特性,实现精准破碎。部分高效破碎设备还采用液压调整与保护系统,可实时调整破碎腔间隙,避免堵料现象,同时在设备过载时自动保护,保障破碎过程连续稳定,进一步提升破碎效率。

## 3.2 高效筛分工艺原理

高效筛分工艺以“精准分级、防堵增效”为核心原

理,通过优化筛分设备结构与运行参数,提升筛分精度与效率。其采用高频振动筛或概率筛作为核心筛分设备,高频振动筛通过提升振动频率(可达1500-2500r/min)、优化振幅,使物料在筛面上快速分层,细料迅速透过筛网,粗料沿筛面快速排出,实现高效分级;概率筛则基于概率筛分理论,采用多层不同孔径的筛网,利用物料在筛面上的概率穿透特性,提升筛分效率与处理量。同时,高效筛分设备配备自动清堵装置,通过超声波、击打等方式实时清理筛网,有效解决筛网堵塞问题<sup>[3]</sup>。此外,通过精准控制物料进料速度与布料均匀性,确保每段筛网充分利用,进一步提升筛分精度,使砂石级配合格率提升至95%以上。

## 3.3 高效破碎筛分工艺的特点

高效破碎筛分工艺具备四大核心特点,适配水电砂石加工的高标准需求。一是效率高,通过优化设备结构与工艺流程,破碎比大幅提升,单台设备处理量较传统设备提升40%-60%,整套工艺日均砂石产量可轻松突破2000吨,满足大型水电工程的供应需求。二是筛分精度高,依托先进的筛分设备与防堵技术,砂石级配偏差控制在5%以内,颗粒形态更规则,针片状含量可降低至8%以下,完全符合水电工程混凝土用砂石质量标准。三是能耗低,高效设备能效比显著提升,单位砂石加工能耗降至4-6kWh/t,较传统工艺能耗降低30%-50%,大幅降低生产成本。四是自动化程度高,可配套完善的自动化控制系统,实现设备运行参数调整、故障预警、物料流量控制等功能,减少人工干预,提升作业稳定性,同时降低人工成本。

## 4 高效破碎筛分工艺在水电砂石加工中的具体应用

### 4.1 破碎设备选型与配置

高效破碎工艺在水电砂石加工中的应用,首要任务是进行设备的科学选型与合理配置。这需要紧密结合水电工程中砂石原料的特性、产量需求以及质量标准来精心制定方案。当原料为硬度较高的紫苏辉长岩、辉绿岩时,粗破碎环节选用高效颚式破碎机是理想之选,若处理能力要求高,可选择旋回破碎机。它具备破碎比大的显著优势,能够高效地对原岩进行粗碎处理,而且其耐磨件寿命长,可大大减少设备更换的频率和成本,降低因设备维修导致的停机时间。中细碎阶段,HP多缸液压圆锥破碎机则是关键设备,它通过层压破碎原理,有效提升了破碎效率,同时保证了骨料的质量。对于需要整形的骨料,增设VSI冲击式破碎机可进一步优化颗粒形态。设备配置采用“粗碎+中细碎+整形”的三段式组合,通过合理匹配各环节设备的处理量,能够有效避免出现

产能瓶颈<sup>[4]</sup>。例如巴沙大坝项目中,配置2台4265 MKIII 旋回破碎机、5台HP-500圆锥破碎机、4台CH660MF圆锥破碎机、11台VS1500R高速立轴冲击式破碎机、4台GSP65整形高速立轴破碎机,砂石产量可达2600吨/h,破碎合格率提升至98%,充分展现了合理配置的成效。

#### 4.2 筛分设备选型与配置

筛分设备的选型与配置不仅要与破碎设备的产能相匹配,更要保障筛分的精度。在核心筛分环节,选用高频振动筛是常见且有效的做法。根据砂石级配要求,为其配置不同孔径的筛网至关重要。粗筛分时选用150mm、80mm孔径筛网,中筛分选用40mm、20mm孔径筛网,细筛分选用5mm孔径筛网,如此可实现多粒径分级,满足不同工程对砂石粒径的需求。为提升处理量,采用多台筛分设备并联运行的方式十分可行。例如巴沙大坝水电项目中,第三筛分车间配置11台2618VM高频振动筛,在满足3400吨/h处理能力的同时,系统运行期间,砂石筛分合格率提升明显,级配稳定性显著增强。

#### 4.3 工艺流程优化

工艺流程优化是高效破碎筛分工艺充分发挥效能的关键所在,其核心在于简化流程、减少冗余环节、实现物料闭环处理。采用“多段破碎+多级筛分+整形+清洗”的一体化流程,通过精准计算各环节的处理量,对设备布局进行优化,能够缩短物料转运距离,从而降低转运能耗,提高整体生产效率。增设预筛分环节十分必要,在粗破碎后设置筛分设备,可将合格粒径的骨料直接送入下一级筛分,避免重复破碎,节省能源和时间。对于筛分后不合格的粗骨料,返回中细碎设备重新破碎;若细骨料不足,通过调整破碎参数或增设制砂设备进行补充,形成闭环生产模式。同时,优化清洗脱水环节也至关重要,采用高效洗砂机与脱水筛联动,既能提升清洗效果,又能缩短脱水时间。在水电项目中,通过流程优化,破碎筛分总流程时长从传统工艺的8小时缩短至5小时,物料损耗率从10%降低至3%,大幅提升了生产效率与资源利用率。

#### 4.4 自动化控制系统的应用

自动化控制系统是高效破碎筛分工艺的核心支撑,能够实现生产过程的精准控制与智能运维。该系统采用PLC控制器作为核心,配套传感器、变频器等设备,可实时采集设备运行参数,如电机电流、轴承温度、破碎腔压力,还能采集物料参数,如进料量、粒径分布,以及环境参数等。这些参数通过工业以太网传输至控制中心,为生产调控提供全面准确的数据依据。控制中心根据预设的生产标准,自动调整设备运行参数,例如根据进料量调整破碎机转速、根据筛分结果调整筛分设备振动频率,确保生产过程始终处于最佳状态。当设备出现异常时,系统自动发出预警并停机保护,减少故障损失,保障设备和人员的安全。另外,系统具备数据统计与分析功能,可实时生成产量、质量、能耗等报表,为生产管理提供有力的数据支撑,帮助企业实现科学决策和精细化管理。

#### 结束语

高效破碎筛分工艺凭借效率高、精度高、能耗低等优势,已成为水电砂石加工行业的核心发展方向。本文通过分析水电砂石加工的特性与传统工艺弊端,详解高效破碎筛分工艺的原理、特点及具体应用路径,明确了设备选型配置、流程优化、自动化控制等核心要点。未来,随着智能化、绿色化技术的发展,需进一步优化高效破碎筛分工艺,结合数字孪生、物联网等技术构建智能生产平台,同时研发低能耗、低污染的新型设备,推动水电砂石加工行业向高效、绿色、智能方向转型,为水电工程高质量建设提供更坚实的保障。

#### 参考文献

- [1]叶朋鑫.砂石加工系统运行管理及成本控制分析[J].财会学习,2021,(29):102-104.
- [2]程欢欢.新花水库工程砂石料来源比选[J].陕西水利,2022,(11):145-146+150.
- [3]张博.大石峡水利枢纽砂石料加工系统设计[J].中国科技信息,2022,(10):52-54.
- [4]陈修华.西藏果多水电站砂石加工系统废水处理系统设计[J].中国高新科技,2023(20):15-16.