

基于江苏省某花岗岩矿骨料加工系统工艺设计研究

陈浩然 颜锦凯 卢飞 陈晓宇 吴彬

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 浙江 杭州 311100

摘要:当前,随着机制砂石骨料市场行情的下降,对骨料的生产成本控制要求越来越高,生产加工工艺作为直接影响因素,必然要进行简单化、短流程化的调整。本研究基于江苏省某花岗岩矿骨料生产项目,设计年处理规模950万吨,系统小时处理能力为2500吨,属于大型机制砂石骨料工厂,依据对项目原矿性质及产品用途的分析,对江苏省某花岗岩矿山骨料加工工艺开展综合比选研究。创新提出三段破碎后“砂石分流”生产工艺思路,降低整形流程生产能耗的同时又可保证碎石、机制砂成品质量,探索花岗岩矿石的高效加工路径,为工艺抉择与系统规划提供决策支持。

关键词: 矿石加工; 生产工艺; 砂石分流

引言

在当前砂石行业竞争加剧与环保要求不断提升的背景下,优化生产工艺、降低生产成本成为企业发展的关键。传统骨料加工流程长、能耗高,难以兼顾效率与品质。本文以江苏省某大型花岗岩骨料项目为研究对象,设计年处理能力950万吨。通过系统分析原矿特性与工艺路线,创新提出三段破碎后的“砂石分流”生产工艺。该工艺通过流程优化,提前分离机制砂原料,有效降低了整形能耗与设备磨损,在保证碎石与机制砂质量的同时实现了成本控制,为同类花岗岩矿山加工提供了高效、绿色的工艺设计参考。

1 工程概况

江苏省某花岗岩矿项目设计矿山年开采规模950万吨,工作班制年工作300天、2班制,每班7小时,系统小

作者简介: 陈浩然(1994-),男,汉族,河南安阳人,硕士研究生,工程师,主要从事矿业工程及水利水电工程相关工作。

通信作者: 颜锦凯(1989-),男,汉族,湖北十堰人,硕士研究生,高级工程师,主要从事建材矿山与砂石加工工作。

通信作者: 卢飞(1986-),男,汉族,河南开封人,硕士研究生,高级工程师,主要从事矿业工程及水利水电工程相关工作。

通信作者: 陈晓宇(1989-),男,汉族,江苏盐城人,硕士研究生,高级工程师,主要从事绿色矿山、施工组织设计工作。

通信作者: 吴彬(1980-),男,汉族,江苏苏州人,本科,正高级工程师,主要从事水利水电工程施工组织设计、绿色矿山设计工作。

时处理能力为2500吨,项目主要产品为:0~4.75mm机制砂、4.75mm~10mm、10mm~20mm、20mm~31.5mm粗骨料,产品粒级、级配设计可根据市场需求调节生产。

2 原矿性质

根据项目矿区地质资料,矿区矿石的岩性以石英二长岩为主,少量二长斑岩。矿区所见各类矿石和其他岩性中均未见碱活性矿物,矿石的抗压强度高,硫酸盐和氯化物等有害物质含量、吸水率等均符合规范要求,组合分析的三项指标均达到建筑用石料I类指标要求,围岩的抗压强度和抗剪切强度高、稳定性好。

石英二长岩,呈浅灰色至灰白,浅部半风化和裂隙面呈浅肉红色,二长结构,块状构造。矿物成分主要为斜长石、钾长石、石英,石英含量分布不均,一般为5~20%,斜长石和钾长石含量相近。此外还有少量黑云母和角闪石,是二长岩向花岗岩过渡的类型。局部具有似斑状结构,斑晶主要成分为斜长石和钾长石,斑晶自形程度较高,斑晶大小一般5-10mm,个别可达30mm。

二长斑岩,颜色为灰色-深灰色。斑状结构、块状构造。斑晶分布不均匀,一般20-30%,局部为5-10%。斑晶自形程度较低,多数为半自形品,少量为自形品。斑晶大小一般3-10mm。斑晶成份主要为斜长石和钾长石,钾长石的自形程度相对较高。基质颜色较深,细粒-隐晶质,成分有斜长石、钾长石、角闪石、石英等。

新鲜的石英二长岩、二长斑岩平均抗压强度分别达155.6MPa和168.6MP;坚固性指标1%~2%,远优于《建设用卵石、碎石》(GBT 14685-2022)I类要求的5%;压碎指标均 $\leq 8\%$,满足I类要求;硫化物及硫酸盐含量均 $< 0.1\%$,优于I类要求的0.5%^[1]。

3 加工系统生产工艺流程比选

3.1 干、湿法生产工艺比选

大型砂石骨料生产工艺根据生产过程中用水量的多少分为干法、湿法、干湿结合三种生产工艺。具体采用何种生产工艺需要根据项目所在地的自然条件、水资源情况综合考虑^[2]。生产工艺的确定是影响建筑骨料品质、成本与环保可持续性的核心决策环节。基于本项目具体的场地条件与市场需求，现对工艺进行如下系统比选分析。

(1) 工作原理

湿法是生产过程中水作为工作介质和抑尘措施，全程参与砂石骨料的生产^[2]，应用借助水力冲洗的方式除粉、除泥，通过水洗大量去除骨料中泥粉含量，湿法工艺优点在于需选择在水资源丰富的地方，用水清洗，环保没有粉尘污染，生产的砂石骨料，洁净，观感和质感较好。

干法工艺通过风力进行砂粉分离。具体采用除尘箱负压除粉、选粉机正压除粉或两者联用的方式，借助气流分选出高品质建筑用砂，同时收集的粉尘可作为副产品回收利用。

(2) 适用场景

湿法工艺需消耗大量水资源，因而更适用于水源充沛的地区。该工艺可通过建设沉淀池并配合压滤设备来实现污水净化，最终达成水资源循环利用与零排放目标。相比之下，干法工艺则适用于缺水或气候干燥地区。它无需大量用水，主要依靠设备自身的风力分选功能去除粉、泥。

(3) 工艺特点

①干法生产：干法工艺以除尘器与高效选粉机为核心设备，其生产的骨料具有含水量低、石粉级配可灵活调控的优点。

干法生产对原料中泥土、有机物等杂质含量比较敏感，应严格控制泥土等杂质含量，否则极易造成堵塞和收尘系统超负荷^[2]，若不进行除尘处理会造成比较严重的粉尘污染，其次，产品骨料表面有一定的石粉残留，洁净度不高，观感差^[2]。

②湿法生产：该工艺需配套废水处理系统，从源头杜绝粉尘污染，契合绿色矿山发展理念。其生产的骨料含泥量低、洁净度突出，因而具备较强的市场竞争力。同时，由于对骨料含水率无特殊要求，生产工艺适应性强，易于保证稳定的生产强度。

本项目位于江苏暖温带季风气候区，雨量充沛、夏季多雨，骨料表面易附着泥粉与云母。单纯干法工艺难以彻底清除，影响成品质量。为确保骨料洁净、提升产品竞争力，并同时控制耗水与运行成本、满足环保要

求，经综合研判，拟采用干湿结合的生产模式。

3.2 破碎工艺流程比选

本项目矿石岩性为花岗岩，岩石硬度较大、磨蚀性高，综合考虑岩性及破碎比情况。破碎工艺采用“粗碎+中碎+细碎”的三段破碎工艺，用于粗碎环节的破碎机主要有颚式破碎机、旋回破碎机、锤式破碎机^[3]。初拟两种粗骨料加工工艺。

方案一：粗碎旋回+中碎圆锥破+细碎圆锥破。粗、中碎均开路生产，细碎设置闭路生产。

方案二：粗碎颚破+中碎圆锥破+细碎圆锥破。粗、中碎均开路生产，细碎设置闭路生产。

综合考虑多方面因素（物料粒径、产品种类、运营成本、建安成本等），拟选择方案二：“颚破+圆锥+圆锥”工艺有如下优势：

(1) 旋回破碎机的内部结构复杂，检修和更换部件需要专业的技术人员和设备，而颚式破碎机的易损件，如颚板等，结构简单，更换方便，且维护成本相对较低。

(2) 前期设备投资少，颚式破碎机相较旋回破碎机节约设备投资成本约26%。

(3) 前期土建投资少，颚式破碎机相较旋回破碎机节约土建投资成本约45%。

根据项目的特点，经综合比较，拟选用方案二“颚式破碎机+圆锥破碎机+圆锥破碎机”破碎方案。

3.3 筛分工艺流程比选

在骨料行业，振动筛是筛分分级的关键设备，需满足处理量大、筛分效果好且运行简单的要求。常用类型包括圆振筛、香蕉筛、高频筛、直线筛和弛张筛等，各适用于不同工序的筛分需求。

圆振筛的特点是筛分效率高、处理量大，适合大粒径筛分、较大规模生产使用，国产设备技术成熟、可靠，设备价格较低，且构造简单，拆换筛网方便，筛子具有较高的筛分效率和生产率，被广泛应用于骨料行业^[4]；香蕉筛处理量大、筛分效率高、运行稳定，近年来在大型骨料项目中应用日益广泛；高频筛筛分效率优于圆振筛，适合中等规模、细粒占比较高的物料，多用于干法成品筛分；直线筛采用双电机驱动，物料做直线跳跃运动，筛分精度高、脱水效果好，适用于成品分级及脱水环节；弛张筛通过筛面弛张运动抛射物料，加速度大，能有效解决细粒堵孔问题，适合难筛物料。

根据本项目的筛分特点，共设置两级主筛分环节及部分辅助筛分环节（除泥、脱水、闭路）。

一级筛分作为主筛分环节的前端，用于干法分级中细碎车间圆锥破碎机破碎后的物料，以供后续工序分别

加工处理,此处对筛分精度要求稍低,但对筛分效率及处理量要求较高,故一级筛分环节选用圆振筛。

二级筛分作为本项目的成品筛分,是项目关键环节,成品筛分环节处理量大,筛分精度要求高且采用湿法生产保证产品质量,故二级筛分(成品筛分)环节选用圆振筛。

预筛环节主要用于处理原料来料中掺杂的表层剥离层(强风化石料),小粒径物料占比高,且为干法筛分,对筛分精度要求稍低,但需要防止物料堵塞筛孔,故预筛环节选用圆振筛。

隔粗闭路筛用于对辊机制砂后超径颗粒的处理,此环节需要高筛分效率及筛分精度,故选用直线筛。

3.4 制砂工艺流程比选

在当前的机制砂生产中,湿法制砂与干法制砂是两类主流工艺,通过科学合理的工艺控制,均可产出符合国家标准的优质机制砂。为契合绿色矿山建设导向,二者各具特点,适用场景不同,应结合实际条件进行选择。具体工艺分析如下:

(1)立轴冲击破碎机制砂属于干法工艺,具有处理能力大、土建投资较低的特点。但其产品级配易呈现“两头多、中间少”的分布,石粉含量偏高,常需配合高速立轴破进行整形,并增设选粉机调控石粉。目前该设备在国内工程中应用广泛,是机制砂生产的常用方案。

(2)棒磨机制砂为湿法工艺,能精准控制细度模数与石粉含量,产品品质高、石粉含量低,且现场粉尘少、对原料含水率适应性强。不足之处在于土建投资较大、钢棒损耗较高,并需配套细砂回收与废水处理系统。当前大产量棒磨机已在市场推广,产能与可靠性均有提升。

(3)对辊破碎机制砂可兼顾干法与湿法生产,具有粒度控制精准、资源利用率高、结构简单易维护、细度模数调节灵活、物料适应性强等优势,但处理能力相对有限,更适用于中小规模制砂项目。

基于本项目特点、区域市场需求及产品质量要求,拟选用对辊破碎机制砂并辅以整形工艺的方案。该配置有利于提升产砂率、稳定控制细度模数,从而保障机制砂产品的高质量与市场竞争力。

4 系统工艺流程设计

本次设计采用半干法生产工艺,结合“粗碎颚破+中碎圆锥破+细碎圆锥破”三段破碎与两级筛分系统,并运

用立轴冲击破碎石整形、对辊机制砂及砂整形工艺,综合开路与闭路流程:粗碎开路,中碎与一筛开路,细碎与一筛闭路,整形与二筛开路,可灵活调节碎石整形比例以控制成本;制砂车间通过闭路筛调控成品砂细度模数,二筛车间设置喷淋系统清洗骨料与机制砂,有效去除云母与多余石粉;全线采用封闭式布局,配备除尘与废水处理系统,从工艺源头实现粉尘与污水近零排放,满足绿色环保要求。

本项目三段破碎后的物料主要通过第一筛分车间进行筛分分级,第一筛分车间设置三层筛,除常规31.5mm、20mm筛层,底部新增一层5mm筛,通过新增5mm筛层,将三段破碎后产生的流程砂尽可能提前出料进入制砂车间进行砂整形,一方面保证流程砂不随碎石进入整形设备,影响整形效果,另外也可减少第二筛分车间底层5mm筛的筛分压力,同时流程砂通过制砂车间进行砂整形,也能保证最终成品砂的细度模数及品质。

5 结语

随着砂石行业市场行情下行,有效控制和降低生产成本已成为国内砂石企业的首要课题。生产成本与工艺流程设计密切相关。目前,国内花岗岩骨料加工多沿用“连续破碎、连续筛分”的粗放模式,缺乏对破碎后物料的精细化处理,制约了成本的进一步优化。同时随着环境保护力度的加大,绿色低碳化已成为砂石行业的主要发展方向,以“绿色矿山、绿色工厂、绿色基地”为特色的中国砂石行业绿色低碳管理体系正在构建^[5],本项目结合国内行业规范与江苏省地域特点,针对当前市场形势,提出“砂石分流”的花岗岩加工工艺,旨在提升生产效益,为同类项目提供参考。

参考文献

- [1]中国标准化委员会.建设用卵石、碎石:GBT14685-2022[S].北京:中国标准出版社,2022
- [2]杜自彬、高源、刘俊.大型砂石骨料加工工艺和设备探讨[J].矿山机械,2019:20-21
- [3]王志更.湖南某白云岩机制砂石骨料生产工艺及设备探讨[J].工程机械与维修,2023:16-17.
- [4]刘岭楠,邓磊,吴彬,胡顺利.海南省某花岗岩矿骨料加工工艺设计[J].低碳世界,2024,14(12):190-192.
- [5]陈燕珠,姜俊雄,乐声滨.广东省某花岗岩工艺流程方案设计[C].武汉:第九届全国砂石骨料行业科技大会论文集,2022:25-30