

# 我国砂石骨料工艺现状研究

Research on Sand-Gravel Aggregate Status in China

孙明俊, 李兆峰(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**摘要:**砂石骨料是基础设施建设行业不可或缺、用料最大的原料,与国家的建设与发展息息相关。针对目前砂石骨料需求日益增加的情况,本文对国内常见的砂石骨料典型工艺和主要工艺设备进行总结,为砂石骨料的工艺设计提供了参考。

**关键词:**砂石骨料; 工艺设计; 现状研究

**中图分类号:** TD952      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-609X(2022)02-0084-04

**Abstract:** Sand-gravel aggregate is an indispensable material for infrastructure construction sector with the largest consumption, which is closely related to the construction and development of the country. Aiming at the situation that the present demand for the sand-gravel aggregate is ever increasing, in this article, summary is conducted for the typical processes and main process equipment of sand-gravel aggregate commonly seen in China, which can provide a reference for the process design of sand-gravel aggregate.

**Key words:** sand-gravel aggregate; process design; status research

## 1 前言

砂石骨料是建筑、道路、桥梁、水利、水电、铁路、交通等基础设施建设行业不可或缺、用料最大的原料,与国家的建设与发展息息相关。目前我国正处于国民经济发展较快阶段,以2020年为例,全国砂石产量同比增长1.39%,达到178亿t。随着基础设施建设与新型工业化的持续发展,我国砂石骨料的消费需求将继续保持增长趋势<sup>[1]</sup>。本文将从砂石骨料典型工艺流程和主要工艺设备两个方面对我国砂石骨料的工艺现状进行总结分析,并分析砂石骨料未来的可能发展方向。

## 2 工艺流程

砂石骨料的生产系统主要包括物料输送系统、破碎系统、筛分系统和制砂系统等组成。在安全、环保、节能和经济的要求下,生产高质量的砂石骨料必须依据矿石性质与所在地的水资源状况特点,选择适宜的砂石骨料高效加工工艺流程和工艺设备,保证生产加工系统的性能可靠及优异。砂石骨料的生产工艺根据项目所在地的自然条件和水资源状况一般分为干法、湿法、干湿结合3种生产工艺<sup>[2]</sup>。我国北方地区的砂石骨料项目多采用干法生产工艺,而

在南方等水资源丰富地区多采用湿法生产工艺。

### 2.1 干法生产工艺

典型的干法工艺如图1所示,原料经破碎作业后进入筛分作业,通过筛分作业将物料分为3个部分,不满足粒度要求的物料返回破碎作业,形成闭路循环;中等粒度物料直接作为成品大骨料;满足制砂粒度要求的物料进入整形制砂作业。制砂后的物料通过检查筛分作业分为3个部分,不满足产品粒度要求的物料返回制砂作业,形成闭路循环;中等粒度物料直接作为成品中小骨料;小于一定粒度的物料进入下一步选粉作业,最终形成成品砂产品。筛分、制砂、选粉作业中产生的粉尘经除尘设备收集起来进入石粉仓。

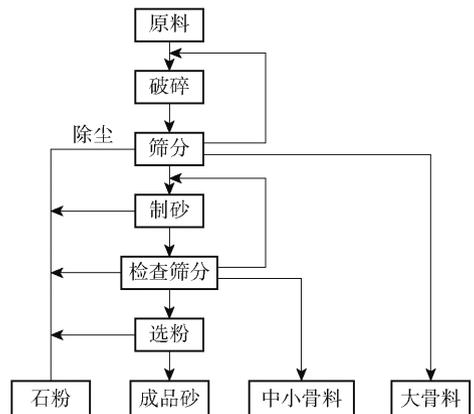


图1 干法工艺流程

干法工艺有着工艺流程简单、温度影响小、投资成本低等优点,干法工艺生产线不需要用水进行清

[作者简介] 孙明俊(1985-),男,吉林珲春人,高级工程师,硕士,从事选矿工程咨询设计和项目管理工作。

[引用格式] 孙明俊,李兆峰.我国砂石骨料工艺现状研究[J].中国矿山工程,2022,51(2):84-87.

洗,节约生产系统内水资源的消耗,同时干法工艺的成品骨料多呈立方体状,片状产品含量低,产品粒度均匀。

干法工艺对原料要求高,含泥量较大容易造成生产系统的堵塞,需严格控制原料中含泥量,经干法工艺产出的成品骨料表面会有部分石粉残留,表面不如湿法工艺清洁,同时干法工艺会在生产过程中产生大量的粉尘污染,较大的收尘负荷造成骨料生产运营成本增加。通过近些年设计水平、工艺水平与设备水平的提高,干法工艺石粉含量高、粉尘污染问题已经有所改善,但仍是制约干法生产工艺的关键因素。

天瑞2000 t/h砂石骨料项目<sup>[3]</sup>位于郑州市,处理矿石为灰岩矿的伴生矿物,属石灰岩类软质岩石砂石骨料生产线,流程采用除泥、除尘、多级破碎和筛分、骨料整形的干法生产工艺,石灰岩类软质岩石机制骨料生产实践表明锤破方案破碎比大、粉料多、成品率差,该项目经多方案对比后选择颚式破碎机+反击式破碎机方案,其中机制砂立轴破碎系统可以通过更换传动系统、调节破碎机转速的手段实现制砂和骨料生产比例灵活调整的目标,结合当地水资源特点,采用干法工艺降低水耗,辅以粉料回收储存利用技术,进一步提高经济效益。

牛背脊300万t/a骨料项目<sup>[4]</sup>位于重庆市,处理石灰岩矿区的石灰石资源,采用破碎、筛分、制砂及整形的干法生产工艺,生产流程为预筛分—鄂破—反击破—筛分—立轴破碎—筛分—砂石成品,该流程保证了成品砂石骨料的质量,颚式破碎机+反击式破碎机+立轴破碎机系统整体运行平稳可靠,由于原矿含泥量大,存在砂石骨料裹粉与振动给料机篦缝结板成块的问题。

## 2.2 湿法生产工艺

典型的湿法工艺如图2所示,原料经破碎作业后进入筛分作业,通过筛分作业将物料分为3个部分,不满足粒度要求的物料返回破碎作业,形成闭路循环;中等粒度物料直接作为成品大骨料;满足整形制砂作业粒度要求的物料进入整形制砂作业。制砂后的物料通过湿式筛分作业分为3个部分,不满足产品粒度要求的物料返回制砂作业,形成闭路循环;中等粒度物料通过洗砂作业后直接作为成品中小骨料;小于一定粒度的物料进入细粒级洗砂作业,最终形成成品砂产品。洗砂作业产生的废水经脱水作业后返回流程中循环利用。

湿法工艺在生产过程中水会作为工作介质和抑

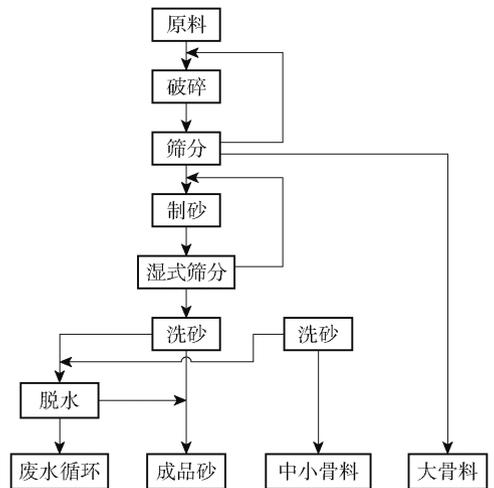


图2 湿法工艺流程

尘介质全程参与砂石骨料生产工艺。湿法工艺有着成品外形好、整洁度高,生产过程中产生粉尘少,收尘设施投入较干法工艺大大降低,避免对生态环境的影响。

湿法工艺在洗砂作业时会带走部分75 μm以下颗粒,降低了整个生产线的制砂效率,为了保证产品的细度模数和骨料级配,湿法工艺中一般会增加回收洗砂作业污水中细砂的工艺,湿法工艺流程长,对水资源依赖大,需要增加给排水与水处理的投资,产品中成品砂产率低且几乎不含石粉,直接使用会提高混凝土水泥掺量。

沂蒙水电站300 t/h砂石骨料项目<sup>[5]</sup>位于临沂市鲁峪沟右岸,靠近水库,水资源丰富,处理料石为水库石料场石料,采用二次破碎、二次筛分、骨料水洗、立式冲击制砂的湿法生产工艺,通过中细碎的闭路调节设置与骨料水洗工艺保证了产品骨料配级的平衡和产品骨料的整洁度。

燕子崖砂石加工系统<sup>[6]</sup>位于龙开口水电站坝址下游,水资源丰富,处理料石以白云岩为主,设计处理能力2100 t/h,采用干法生产流程,但在实际生产过程中由于半成品含泥量大、成品骨料级配不平衡、长距离运输及粉尘问题严重等问题,为保证成品砂石骨料的质量,必须加大水量对骨料在不同筛分工段进行有效冲洗。改为湿法生产工艺后,成品砂的细度模数控制在2.8,石粉含量控制在14%,骨料含泥和裹粉问题与骨料配级失衡问题得到解决,满足了混凝土生产需要。湿法生产工艺较好的解决了白云岩作为原料生产骨料存在的问题,但在骨料进行有效冲洗时,带走了大量的细砂,造成成品砂质量下降,石粉含量偏低现象。

### 2.3 干湿结合生产工艺

干湿结合法生产工艺所用水量介于湿法生产工艺与干法生产工艺之间,在检查筛分阶段加水冲洗除去石料上的泥土、石粉等杂质,成品砂也只有部分进行冲洗作业。干湿结合生产工艺兼具干法与湿法工艺的优缺点,干湿结合工艺即降低了破碎筛分系统产生的大量粉尘,同时保证了产品中的细粒回收和制砂效率,在工艺流程与设备的选择上更加灵活<sup>[7]</sup>。

凉水井1000 t/h砂石骨料项目<sup>[8]</sup>位于贵州遵义市,采用除泥、除粉、除尘、多级破碎的干法工艺与筛分、骨料整形、制砂、细骨料级配调整、骨料水洗与加湿的湿法工艺相结合的干湿结合生产工艺,为达到高质量产品和绿色生态发展,成品粗骨料在进入产品仓前进行表面冲洗,确保粗骨料表面清洁,为保证成品细骨料石粉含量稳定、粉尘不外扬,将细骨料经过加湿机进行加水均匀拌湿处理,降低粗细骨料生产过程中产生的粉尘。该项目配合自主创新的除泥除粉、配级调整与粉料回收技术,取得了良好的经济效益、环保效益及社会效益。

深溪沟550 t/h砂石骨料项目<sup>[9]</sup>加工系统采用粗碎、中碎、三次筛分、洗石、立轴整形破碎、棒磨机开路湿法制砂的干湿结合生产工艺。整形制砂设备采用立轴破碎机联合棒磨机。生产废水中带走的部分细砂和石粉通过石粉回收沉淀池收集,再经脱水后送往成品仓,保证了砂石粉含量,同时实现了废水的综合回收利用。

## 3 主要工艺设备

砂石骨料产品细度模数、骨料级配等取决于工艺流程中的破碎系统及筛分系统,其核心技术是“破碎和筛分”,在项目环境确定的条件下,工艺流程对应多种设计工艺,不同的工艺对应的破碎和筛分设备选型直接影响最终产品的品质。破碎设备与筛分设备种类的选择与生产规模、投资资金量与产品占比等多方面因素有着很大的关系,这里仅做主要工艺设备的特点总结。

### 3.1 破碎设备

破碎设备按照工作原理一般可分为挤压类和冲击类,挤压类破碎设备产出产品中石粉含量低,且片状颗粒比例较大,常见的设备类型主要包括颚式破碎机、旋回破碎机、圆锥破碎机等;冲击类破碎设备结构形式相对简单,作业破碎比大,且产品粒形较好,常见的设备类型主要包括反击式破碎机、锤式破碎机、立轴破碎机等<sup>[10]</sup>。

国内的砂石骨料项目在破碎系统一般采用粗碎、中碎及细碎制砂三段破碎作业,粗碎一般采用颚式破碎机、旋回破碎机、锤式破碎机;中碎一般采用圆锥破碎机、反击式破碎机;细碎制砂一般采用立轴破碎机或圆锥破碎机与棒磨机联合制砂。

#### 1) 颚式破碎机

颚式破碎机具有构造简单、连续作业可靠性高、价格低的优点,其排矿口可调,且设备布置所需厂房高差小,缺点是衬板易磨损,产品粒度分布不均。颚式破碎机在破碎潮湿矿石及黏土含量较高的矿石时不易堵塞,较适合处理砂石骨料原料,其在国内砂石骨料项目中常用于粗碎阶段。

#### 2) 旋回破碎机

旋回破碎机的显著特点是处理量大,在旋回破碎机和颚式破碎机的给矿口与排矿口尺寸相同情况下,旋回破碎机产品粒度均匀,处理量为颚式破碎机的2.5~3倍。由于旋回破碎机的整体投资较高,土建工程量大,因此旋回破碎机更加适用于大型砂石骨料项目<sup>[11]</sup>。

#### 3) 圆锥破碎机

圆锥破碎机破碎力大,破碎比大,且处理量大,对大部分物料及硬度高和难破碎的物料具有较好的适应性,作为中细碎作业时设备时产量高,工作可靠。但圆锥破碎机液压系统及动锥支撑结构制造维护较复杂,作为细碎作业设备时产品粒形差、粉量偏低,在国内的砂石骨料项目中,圆锥破碎机广泛应用于二段破碎阶段。

#### 4) 反击式/锤式破碎机

反击式和锤式破碎机结构类似,具有破碎比大、能耗低的特点,缺点是板锤和反击板易磨损,均较适合处理易碎性物料。反击式破碎机的产品粒度更均匀,反击式破碎机在国内砂石骨料项目中常用于二段破碎阶段。

#### 5) 立轴破碎机

立轴破碎机具有体积小,基础简单,破碎效率高,产量大,维修量低等优点,立轴破碎机不同工况的多种腔型适应于大部分物料的细碎和超细碎,兼顾破碎和整形的双重功能。但立轴破碎机产品砂中的细度模数偏大,颗粒较粗且颗粒级配不理想,因此国内的砂石骨料现场一般联合易调节、产品质量稳定的棒磨机来调节产品砂石骨料的颗粒级配和细度模数。

从国内砂石骨料制砂准备作业的粗碎、中碎系统运行现状来看,颚式破碎机+反击式破碎机系统

可大型化、使用范围广、砂石骨料产品品种比例易调节,适用于中等磨蚀指数物料,但该系统产品粒形中等,设备磨损消耗较圆锥破碎机高;颚式破碎机+圆锥破碎机系统产品粒形好、砂石骨料产品品种比例易调节,适用于高磨蚀指数物料,但圆锥破碎机产品粉量偏低、规格较小,当物料处理能力较大时,需要配置多系列来满足生产需求。

### 3.2 筛分设备

国家对建筑工程、公路桥梁、铁路道砟等不同领域的砂石骨料的颗粒级配、含泥量和泥块含量等技术要求做出了严格的规定。筛分设备的运行效果直接影响着砂石骨料的产品质量要求和价格,确保筛分工艺指标对企业效益起到至关重要的作用。砂石骨料筛分系统中,依据物料粒级分布特性,结合不同砂石骨料工艺流程,筛分设备的选择主要考虑筛分设备的工作特性、通过能力和筛面面积。

筛分设备的主要类型有:振动筛、固定筛、滚轴筛、圆筒筛和细筛等,在砂石骨料项目中常用的筛分设备主要是振动筛。常用的振动筛类型包括圆振筛、直线振动筛、香蕉筛、自定中心振动筛等。

#### 1) 圆振筛

圆振筛有着强度高、筛分效率高、耐疲劳、便于维修及价格低的优点,可根据不同的工艺要求布置多层筛面,主要缺点是润滑系统维护较频繁,激振器更换频繁。圆振筛的筛网结构多种多样,目前圆振筛在砂石骨料项目应用相对较多。

#### 2) 直线振动筛

直线振动筛的结构紧凑,有强度高、维修方便及振动平稳的优点。缺点是构造复杂,振幅不易调整。直线振动筛筛面各点运动轨迹一致,有利于物料的筛分,一般应用于砂石骨料项目中、细碎的筛分、脱水环节。

#### 3) 香蕉筛

香蕉筛采用等厚筛分原理,筛面采用连续多角度设计,具有稳定性高、处理量大、使用寿命长等优点。香蕉筛有单层和双层两种类型,其单位面积处理量是传统振动筛的1.5~2倍,可适用于8~300 mm 物料的筛分分级。在砂石骨料行业,香蕉筛可以取代圆振筛,用于砂石粗筛、中筛和细筛等分级作业。

#### 4) 自定中心振动筛

自定中心振动筛的优点是结构简单,操作调整方便,筛面振动强烈,物料不易堵塞筛孔,缺点是筛子的振幅会随着给矿量的波动有明显变化,导致筛

分效率不稳定,筛子在启停时产生的较大振幅对建筑物有一定损害。自定中心振动筛一般用于中细颗粒骨料的筛分环节。

## 4 结论

(1)随着优质原料逐渐减少,砂石骨料的原料性质将更加多变,砂石骨料的工艺设计和设备选型过程中,应充分结合原料性质、成品砂石骨料级配,合理设计破碎、筛分和制砂系统。因地制宜、灵活多变将是砂石骨料工艺流程的重要特点与未来出路。

(2)随着砂石骨料行业环保要求不断提高,发展砂石骨料工业必须优先考虑环保。在新建和改扩建项目中应充分优化工艺流程与工艺设备,降低粉尘、回收污泥,提高废水综合回收利用率,从工艺方面提升环保技术措施。

(3)我国砂石骨料的发展规模和消费需求均不断提升,随着砂石骨料资源大规模的开发利用,设备大型化和智能化能够大大降低基建投资和运营维护成本,采用大型化、智能设备提升企业经济效益和竞争力至关重要。

### 【参考文献】

- [1] 金星. 建筑砂石骨料应用现状与矿砂废渣利用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(9): 96-97.
- [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, 47(5): 20-24.
- [3] 韩勇, 孙余进, 朱强. 天瑞2000 t/h 机制砂石骨料生产线工艺设计[J]. 水泥工程, 2018(3): 21-23.
- [4] 廖正彪, 宋忠元, 李海英, 等. 牛背脊人工砂石骨料干法生产系统的设计和运用[J]. 水泥技术, 2013(5): 95-98.
- [5] 房杰, 王玲. 沂蒙水电站砂石骨料加工系统施工设计[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(20): 1725.
- [6] 何跃, 王新国, 常玉坤. 燕子崖砂石加工系统技术创新及运行管理[J]. 水力发电, 2013, 39(2): 61-63.
- [7] 汶宏超. 浅谈半干法砂石骨料生产线工艺设计[J]. 建材发展导向(上), 2016, 14(1): 270-271.
- [8] 王德芳. 浅析凉水井精品砂石骨料生产工艺及环保技术[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(26): 2289-2290.
- [9] 邱凤娥. 深溪沟砂石骨料加工系统工艺流程设计与设备选型[J]. 水利电力机械, 2007, 29(8): 13-17.
- [10] 孙彦峰, 李晓朋, 李占森, 等. 浅谈砂石骨料线破碎设备及组合形式的选择[J]. 河南建材, 2013(5): 158-159.
- [11] 孙健, 王利召. 砂石骨料行业旋回破碎机工艺布置设计[J]. 科技创新与应用, 2020(14): 106-108.