

## 稳定硬岩条件下机制骨料生产质量的研究

穆晓东

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司, 陕西 西安 710000

[摘要] QBT 工程为高寒地区首座高拱坝, 大坝混凝土质量控制十分关键, 而成品骨料质量控制是重中之重。本工程砂石系统因料场岩石硬度大的影响, 在第一期系统出现产能不稳定、质量波动大、环保压力大等问题, 同时受到系统升级改造影响需要采用两种细骨料, 一种是天然料, 一种是机制料, 其中天然砂的含泥指标控制对水工建筑质量控制造成较大影响, 同时成品粗骨料粒型及级配、成品砂细度模数及石粉含量等, 都是成品骨料质量难于控制的因素。故通过对砂石系统不断升级改造, 稳定机制骨料质量, 对提高混凝土强度、抗压强度、弹性模量等各方面性能创造良好条件, 对于节约资源, 提高工程质量, 保护环境, 确保 QBT 工程临建设施建设和后续主体工程质量控制具有重要的意义。

[关键词] 机制砂; 混凝土性能; 影响

DOI: 10.33142/ect.v2i10.13682

中图分类号: F42

文献标识码: A

### Research on Production Quality of Mechanized Aggregates under Stable Hard Rock Conditions

MU Xiaodong

Sinohydro Construction Engineering Consulting Northwest Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

**Abstract:** The QBT project is the first high arch dam in a high-altitude region, and the quality control of dam concrete is crucial, with the quality control of finished aggregates being of utmost importance. Due to the high hardness of the rock in the material yard, the sand and gravel system of this project has encountered problems such as unstable production capacity, large quality fluctuations, and high environmental pressure in the first phase of the system. At the same time, it is affected by the system upgrade and transformation, requiring the use of two types of fine aggregates: natural materials and machine-made materials. The control of the mud content index of natural sand has a significant impact on the quality control of hydraulic construction. At the same time, the particle size and grading of finished coarse aggregates, the fineness modulus of finished sand, and the content of stone powder are all factors that make it difficult to control the quality of finished aggregates. Therefore, by continuously upgrading and transforming the sand and gravel system, stabilizing the quality of aggregates, creating favorable conditions for improving the performance of concrete strength, compressive strength, elastic modulus, and other aspects, it is of great significance for saving resources, improving engineering quality, protecting the environment, and ensuring the quality control of QBT engineering temporary construction and subsequent main engineering.

**Keywords:** mechanized sand; concrete performance; influence

#### 1 系统现状调整的必要性

(1) 料场岩石硬度大的影响, 提高设备处理能力

从料场试验检测和补勘情况看, 岩石硬度大, 轧制及生产的各级破碎粒度曲线与常规花岗岩破碎粒度曲线差异较大, 设备降效严重, 需要优化生产设备选型, 以提高设备处理能力, 保证生产质量和数量。

(2) 控制成品骨料质量, 确保工程建设按期进行

本工程为高寒地区首座高拱坝, 大坝混凝土质量控制十分关键, 而成品骨料质量控制是重中之重。原方案成品粗骨料粒型及级配差、成品砂细度模数及石粉含量高, 成品骨料质量难于控制。需要设计改造调整砂石加工系统的工艺和质量控制措施, 提升成品料质量, 确保工程建设质量。

(3) 确保工程建设满足环保要求

本工程位于国家一级水源地、二级水体 CHE 水库附近, 环保政策要求严。由于原岩加工成粉率高, 导致原方案

废水处理能力不足, 不能满足环保要求。需要设计改造调整环保工艺, 增加废水处理措施和备用设备, 在满足环境保护要求的前提下, 确保系统正常运行, 保证骨料的生产。

(4) 增加成品料储备, 提高骨料供应保障能力

受限于前期征地范围, 原方案成品料堆场容积不能满足工程建设需求。需要设计改造调整, 在现有征地范围内, 扩大增加砂石加工系统成品堆场有效总堆存量, 提高骨料供应保障能力。

#### 2 成品骨料质控现状

##### 2.1 系统现状规划

总体工艺方案为: 采用四段破碎, 粗碎采用开路生产, 中细碎采用闭路生产, 生产各型粗骨料, 超细碎闭路生产并辅以棒磨机制砂用以调整砂的级配和细度模数。具体为: 粗碎环节开路生产, 负责处理毛料中的超径石, 半成品料对存于调节堆场, 然后廊道放料输送至一筛车间预筛, 然后超径石 ( $\geq 150\text{mm}$ ) 及富余特大石、大石进入中细碎车

间的圆锥破碎机进一步破碎,然后与一筛车间形成闭路循环,同时产出大石、特大石。二筛车间与超细碎车间形成闭路循环,利用超细碎调节堆场中转,负责中石、小石及制砂。

系统采用湿法生产,在一筛、二筛均设置冲洗环节。配备 1500t/h 处理能力的废水处理系统。

系统按生产四级配混凝土骨料设计,生产的混凝土骨料为: 80~150mm、40~80mm、20~40mm、5~20mm、5~15mm 五种粗骨料及<5mm 细骨料。

### 2.2 砂石系统各破碎环节破碎粒度特性

原岩破碎粒度特性是砂石加工系统工艺流程计算及设备选型的基础条件之一,料场料源实测破碎粒度特性不同于典型花岗岩,粗中细破碎粒度曲线明显大于典型花岗岩,中间产品片状多,小石及砂产出率偏小,分节叙述如下:

(1) 粗破颚式破碎机。粗破颚式破碎机破碎级配数据见下图表:



图1 C150 颚式破碎机表

表1 C150 颚式破碎机破碎级配表

部位	单位	合计	级配 (%)					砂
			>150 mm	150~ 80mm	80~ 40mm	40~ 20mm	20~ 5mm	
粗破(开口 170mm)	t/h	360	166	70	43	31	28	22
	%	100	46.1	19.5	11.9	8.5	7.7	6.3

物料经颚式破碎机破碎后, >150mm 物料占比大,导致中碎破碎环节流程负荷较高。

(2) 中细碎圆锥式破碎机。中细碎圆锥式破碎机破碎级配数据见下图表:



图2 GP300S 单缸圆锥破碎机



图3 HP300 多缸圆锥破碎机

表2 中细碎圆锥式破碎级配表

部位	单位	合计	级配 (%)					砂
			>150 mm	150~ 80mm	80~ 40mm	40~ 20mm	20~ 5mm	
中碎(开口 40mm)	t/h	257	0.0	67.1	120.5	22.873	28.27	18.247
	%	100	0	26.1	46.9	8.9	11	7.1
细碎(开口 32mm)	t/h	395	0.0	0.0	35.6	217.25	97.96	44.24
	%	100	0	0	9	55	24.8	11.2

中碎环节大石产生率高,导致大石循环进入细碎环节物料较多;细碎环节中石产生率占比高,导致立轴破需要承担部分小石生产负荷。在设备选型时应充分考虑设备的适应性,减少中细碎循环料数量。

(3) 超细碎立轴式破碎机。超细碎立轴式破碎机破碎级配数据见下图表:



图4 B9100SE 立轴冲击式破碎机

表3 超细碎立轴式破碎机破碎级配表(线速度 70m/s)

部位	单位	合计	级配 (%)			
			80~40mm	40~20mm	20~5mm	砂
超细碎 车间	t/h	366	0	134	109	123
	%	100	0	36.6	29.9	33.5

立轴破制砂比例相对正常，但小石的产出量较小，加之细碎环节小石产出量也偏小，导致立轴破循环破碎次数多，设备流程负荷变大，需要在下步设计考虑立轴破不同线速度、腔型选择优化等，优化产出物比例。如表 4。在立轴破线速度降低的工况下，原状砂石粉含量相应下降。

(4) 棒磨机。棒磨机级配数据见下图表：



图 5 MBZ2136 棒磨机

表 5 棒磨机破碎级配表（成品砂细度模数 2.1）

部位	单位	合计	级配 (%)	
			3~0.16mm	≤0.16mm
制砂车间	t/h	46	27.6	18.4
	%	100	60	40

棒磨车间产砂中石粉含量高，经洗砂机及脱水筛处理后，石粉含量仍高达 25%，细度模数 2.1，不利于成品砂质量控制，棒磨机制砂工艺基本不适用于 P6 料场原岩制砂调节。

表 4 超细碎立轴式破碎机破碎级配试验数据表

时间	线速度 (m/s)	电流 (A)	级配 (%)					原状砂石粉含量	
			>40	40~30	30~20	20~10	10~5		<5
21 年	70	210		39.4		30.2		30.4	43.9
22 年	63	210		8.9	27.6	22.6	13.3	27.6	36.04
				36.5		35.9			
22 年	55	250		7.97	27.41	21.91	11.67	31.04	37.09
				35.38		33.58			
22 年	55	350		4.71	22.47	24.67	14.80	33.36	36.8
				27.17		39.47			
22 年	55	300		6.72	22.08	23.61	13.98	33.61	39.3
				28.80		37.59			
22 年	55	400		4.53	19.62	22.99	14.73	38.12	41.9
				24.16		37.72			
22 年	49	230	0.2	7.51	19.84	23.86	13.44	35.15	36.85
				27.35		37.3			

表 6 各破碎环节破碎粒度特性

级配	开口 (mm)	>150 (%)	150~80 (%)	80~40 (%)	40~20 (%)	20~5 (%)	<5 (%)	合计 (%)
粗碎 (C150)	170	46.1	19.5	11.9	8.5	7.7	6.3	100
中碎 (GP300S)	40	0	26.1	46.9	8.9	11	7.1	100
细碎 (HP300)	32	0	0	9	55	24.8	11.2	100
超细碎 (B9100SE)	/	0	0	0	39.4	30.2	30.4	100

(5) 各破碎环节破碎粒度特性。实测破碎粒度特性不同于典型花岗岩，粗中细破碎粒度曲线明显大于典型花岗岩，中间产品片状多。如表 6。

### 2.4 加工成粉率与弃料率

(1) 冲洗细砂损失及石粉组份。下表为试生产废水中石粉级配成分表 7：

表 7 废水石粉成分表

序号	级配 (mm)	比例 (%)	备注
1	<0.08	33.9	微粒含量
2	0.08-0.16	57.8	
3	>0.16	8.3	

通过上表可见，系统冲洗时细砂流失率约 8.3%，石粉中<0.08mm 微粒含量约占 37%。

(2) 各破碎环节原状砂检测数据。各破碎环节原状砂检测数据见下表 8：

表 8 各环节原状砂检测情况表

部位	粗碎	中碎 (圆锥破)	细碎 (圆锥破)	超细碎 (立轴破)	备注
成砂率 (%)	6.39	7.13	11.04	30.39	
细度模数	2.11	2.28	2.16	1.63	
砂中石粉含量 (%)	36	36.8	36~38	42~51	≤0.16mm
砂中微粒含量 0.075mm (%)	17.8	18.7	17.3	16-18	

**表 9 中石主要指标过程检测情况表**

部位	超径率 (%)	逊径率 (%)	中径筛余率 (%)	针片状含量 (%)	压碎指标 (%)	含泥量 (%)	备注
控制指标	≤5	≤10	40~70	≤15	≤13	≤1	
细碎中石	/	/	56.7	/	/	/	
成品中石	0	9	26.7	4	/	0.6	初次
	0	4	27	3	/	0.3	
	0	2	25	4	/	0.5	
	0	8	31	6	/	0.6	
	0	4	32.7	6	/	0.7	添加 42mm 筛网
	1	5	36	4.6	/	0.5	添加 45mm 筛网
	0	0	48	2.6	/	0.6	添加 48mm 筛网
	3	2	55	4.3	/	0.6	2022 年改造后

粗碎、中细碎环节原状砂石粉含量平均 36%；超细碎环节原状砂石粉含量平均 46%。破碎环节破碎加工整体产粉率高，多余石粉需剔除，理论计算综合加工弃粉率超过 20%，2021—2023 年统计实际综合加工弃粉率超过 30%。需要在设备选型和制砂工艺上进一步优化，降低破碎环节成粉率，同时选用高效的石粉剔除工艺。

## 2.5 成品料质量试验检测

### 2.5.1 粗骨料试验成果

(1) 中石。中石过程检测情况见表 9。经过试生产过程检测发现，成品中石存在中径筛余率指标偏低，粒型差等问题。现阶段采取的措施：将一筛车间中石筛网扩大，依次使用 42mm、45mm、48mm 等孔径筛网进行试验，最终确定最大使用 48mm 筛网时，中石中径率达到合格线，但因一筛车间振动筛角度高、破碎机产生量低等设备自身情况限制，中石中径率偏下限且不稳定。2022 年再次对二筛车间进行改造，增加 30mm 控制筛网，同时增加全整形工艺，当前中石中径筛余率稳定在 50%~60%，针片状含量稳定在 5%以下。

(2) 小石。小石过程检测情况见表 10。

**表 10 小石过程检测情况表**

部位	超径率 (%)	逊径率 (%)	中径筛余率 (%)	针片状含量 (%)	压碎指标 (%)	含泥量 (%)	备注
控制指标	≤5	≤10	40~70	≤15	≤13	≤1	
成品小石	0	2	78	14	14.4	0.6	初次
	0	6	75	5	/	0.7	
	0	8	72	3	7.3	0.8	
	0	0	82	4	7.4	0.2	
	0	0	75	2	/	0.3	
	0	0	68	7	/	0.6	
	2	5	62	5.3	/	0.8	
	2	3	58	6.5	/	0.9	
	0	1	60	6.4	/	0.8	
	3	4	58	2	11	0.6	2022 年改造后

试生产阶段发现，成品小石存在中径筛余率偏高，针片状含量高，粒型差等问题。

现阶段采取的措施：通过调整第二筛分车间小石筛网孔径，增加小石全整形工艺进行解决，当前小石中径筛余率稳定在 50%~60%，针片状含量稳定在 5%以下，压碎值稳定在 11%左右。

### 2.5.2 细骨料试验成果

成品砂全部由第二筛分车间及棒磨车间产出，第二筛分车间砂由一筛砂及立轴砂组成。通过检测发现，粗碎、中细碎环节成粉率约 36%，超细碎环节成粉率平均 46%，需要通过冲洗掉多余石粉或减少石粉产生两方面措施来调整砂的石粉含量。

现阶段采取的措施：①调整立轴破碎机分料盘进料比例；②调整立轴破转速；③调整二筛车间洗砂机转速；④调整洗砂机尾部溢流口高度；⑤加大筛分车间冲洗水量。

### 2.5.3 成品料试验成果评述

(1) 成品粗骨料：成品骨料中石中径率低（平均值 27%），小石中径率高（平均值 78%）。含粉量偏高（平均值 0.8）。外观粒型差，未整形中小石针片状含量较高（14%）。

(2) 成品砂：细度模数高（2.7~2.9），石粉含量高（17%~18.6%）。

## 3 成品骨料质量控制问题

### 3.1 粗骨料质量

特大石大石由一筛车间获取，物料来源半成品堆场及中细破车间混合料；中小石由二筛车间获取，物料来源一筛车间和超细破车间混合料。粗骨料生产工艺中无全整形工艺、中径率控制工艺、二次冲洗工艺。生产成果显示，必然导致成品小石针片状超标、粗骨料特别是中石中径率（低于要求 13%）小石中径率（高于要求 8%）不合格、粗骨料含粉率波动大等质量问题。

### 3.2 细骨料质量

棒磨机制砂和立轴破制砂均存在过破碎问题，原状砂石粉含量过高，需要反复冲洗，成品砂存在整体细度模数

偏高(2.8)、石粉含量(17.5%)偏高的双高问题。在一期工程试运行过程中,由于成品料整体需求强度低,在低负荷生产状态下,成品砂基本合格,但细度模数及石粉含量均偏上限,但在二期高强度生产工况下,因水洗砂工艺中石粉和细度模数控制互为干扰(控制石粉需加大冲洗,从而导致细砂流失,提高细度模数),同时骨料加工量增大导致骨料筛分是否透彻、骨料冲淋是否充分、石粉回收车间处理能力等因素无法精确控制,使成品砂细度模数、石粉含量两项指标难于同时满足规范要求。成品粗骨料粒型及级配差、成品砂细度模数及石粉含量高,成品骨料质量难于控制。

### 3.3 对工程环水保的影响

废水处理系统按处理 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 废水设计,主要设备及工艺结构物包括:4000 $\text{m}^3$ 浓缩池1座、浓浆池1座、回水池1座,板框式压滤机5台、加药机1台、各类渣浆泵清水泵等。

原岩加工成粉率高,系统采用全湿法生产工艺,多余石粉全部进入废水处理系统,造成废水处理系统整体负荷增加。

## 5 结语

基于现场原岩指标有所提高,且破碎加工性能不同于典型花岗岩,砂石加工系统部分工艺设计、设备选型与原

岩特性不适应,成品料骨料质量波动大,控制难度大,原岩成粉率高,废水处理系统设计规模偏小,骨料供应保障能力偏低,同时现场气候多变,极端天气频发,影响砂石骨料系统的正常运行等现实情况,根据复勘成果和一期试生产成果,从工程进度、质量、环保、保障性分析,对原设计方案进行优化调整是必要的。

设计改造技术研究报告所述调整方案采取了针对性措施,在充分兼顾现场已实施设施基础上,从工艺流程、设备选择、系统布置等方面改造调整设计,提高成品骨料品质和产能,能够确保主体工程混凝土施工高峰时段砂石骨料供应及质量稳定。

### [参考文献]

- [1]韩继先,肖旭雨.我国骨料的现状与发展趋势[J].混凝土世界,2013(9):36-42.
  - [2]陈家珑.我国机制砂石行业的现状与展望[J].混凝土世界,2011(20):62-63.
  - [3]孙江涛,马洪坤,麦伟雄,等.机制砂生产工艺及设备选型研究[J].建材世界,2013,33(3):61-64.
- 作者简介:穆晓东(1988.2—),毕业院校:河南科技大学,所学专业:建筑环境与设备工程,当前就职单位:中国水利水电建设工程咨询西北有限公司,职务:总监理工程师,职称级别:中级。