



龙溪口航电枢纽工程特细天然砂筛分系统设计

王 亮, 宋名先, 洋 强

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要: 岷江龙溪口航电枢纽工程的主体施工具有工期紧、混凝土浇筑量大、施工强度高、温控要求严格等特点。岷江流域天然砂的细度模数偏低, 达到了特细砂的标准。通过对筛分系统进行设计研究, 验算筛分系统的设计生产能力, 设置 3 级破碎工艺, 并采用天然砂和机制砂的精准掺配, 系统整体采用环保封装, 多角度综合体现了系统设计的先进性, 可为同类工程提供参考。

关键词: 筛分系统; 破碎; 特细天然砂; 精准掺配

中图分类号: U614

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0133-04

Design of superfine natural sand screening system for Longxikou Navigation-power Junction project

WANG Liang, SONG Mingxian, YANG Qiang

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu 610066, China)

Abstract: The main construction of the Longxikou Navigation-power Junction in the Minjiang River is characterized by a tight construction period, large concrete consumption, high construction intensity, and strict temperature control requirements. The natural sand in the Minjiang River Basin has a low fineness modulus, which reaches the superfine sand standard. We study the screening system design to check the design production capacity of this system. Meanwhile, we set a three-level crushing process and design the precise blending of natural sand and machine-made sand. The environmental protection packaging is adopted in the overall system, which comprehensively reflects the progressiveness of the system design from multiple angles. Finally, the results can provide a reference for similar projects.

Keywords: screening system; crushing; superfine natural sand; precise blending

1 工程概况

岷江龙溪口航电枢纽工程位于乐山市犍为县新民镇境内, 枢纽开发任务是以航运为主、航电结合, 兼顾防洪、供水、环保等综合利用。工程等别为二等, 工程规模为大(2)型, 船闸级别为Ⅲ级。

龙溪口航电枢纽左岸筛分系统布置在乐宜高速新民出口上游侧, 且临河布置, 对外交通十分便利, 占地面积约 14.3 万 m^2 , 系统布置高程 340~350 m。系统主要为左岸(包含厂房、重力坝、左

岸 13 孔泄洪闸等)提供各强度等级混凝土所用且满足级配要求的砂石料。岷江流域的天然砂砾石储量丰富, 其中卵石性能指标均能满足水工混凝土粗集料的质量要求, 经试验可知龙溪口工程天然砂的平均细度模数为 1.41, 属于特细砂。

2 系统规模论证

2.1 混凝土施工强度

根据龙溪口航电枢纽主体工程的施工进度计划, 经统计分析可知, 混凝土浇筑高峰期发生在

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 王亮 (1986—), 男, 工程师, 从事集料加工系统及混凝土拌和系统研究。

2020 年 2—4 月,持续 3 个月,高峰时段的平均月浇筑强度 $Q_{mc} = 11.796\ 3\ \text{万}\ \text{m}^3$ 。

2.2 系统生产能力计算

系统生产能力的计算公式为:

$$Q_{ch} = (Q_{mc}AK_8K_9 + Q_0)/N \quad (1)$$

式中: Q_{ch} 为加工成品料的生产能力, t/h ; Q_{mc} 为高峰期平均月浇筑强度, $\text{m}^3/\text{月}$; A 为每立方米混凝土的集料用量,取 $2.2\ \text{t/m}^3$; Q_0 为工程其他砂石月用量, t/月 ; K_8 为成品料储存、运输损耗补偿系数,一般在 $1.01 \sim 1.03$,本工程采用带式输送机运输,取较小值 1.01 ; K_9 为混凝土拌和、运输、浇筑损耗补偿系数,取 1.05 ; N 为月工作时间,按两班制计算,月工作时间 $25\ \text{d}$,日工作时间 $14\ \text{h}$,取 $350\ \text{h}$ 。经计算, $Q_{ch} = 786.3\ \text{t/h}$,取 $800\ \text{t/h}$ 。

2.3 系统处理能力计算

系统处理能力的计算公式为:

$$Q_h = [Q_{ch}(1-r)K_3K_4 + Q_{ch}rK_1K_2]K_5K_6K_7 \quad (2)$$

式中: Q_h 为加工成品料的处理能力, t/h ; Q_{ch} 为加工成品料的生产能力,取 $800\ \text{t/h}$; r 为砂率,取 26.3% ; K_1 为石粉及细砂流失补偿系数,天然集料取 $1.10 \sim 1.30$,对含泥量大、偏细的砂料取较大值 1.30 ; K_2 、 K_4 、 K_6 为集料生产中运输和堆储的损耗补偿系数,均取 1.01 ; K_3 为集料加工、筛洗等损耗补偿系数,天然集料取 $1.03 \sim 1.15$,砂料偏细时取 1.10 ; K_5 为粗碎工段或超径处理工段损耗补偿系数,天然集料有超径弃料时,按超径比例取 1.05 ; K_7 为级配平衡系数,人工集料及天然集料设有级配调整设施时取 1.0 。经计算, $Q_h = 987.6\ \text{t/h}$,取 $1\ 000\ \text{t/h}$ 。

结合现场施工需求,左岸筛分系统的生产设计处理能力 $1\ 000\ \text{t/h}$,且能够生产粒径小于 $5\ \text{mm}$ 的砂和 $5 \sim 80\ \text{mm}$ 的 3 级配粗集料。

3 工艺设计

3.1 工艺流程

筛分系统加工工艺分为 3 级破碎、3 级筛分。其中破碎流程为:粗碎→中细碎→超细碎。筛分

流程为:第 1 筛分→第 2 筛分→第 3 筛分^[1]。

筛分系统由粗碎车间、中细碎车间、半成品料堆、第 1 筛分车间等多个车间及料堆组成^[2],流程如下。

1) 加工毛料通过自卸汽车运输至粗碎车间,粒径不大于 $150\ \text{mm}$ 的料经 2 台 VF561-2V 型棒条给料机直接进入胶带机送入半成品料堆;粒径大于 $150\ \text{mm}$ 的石料经 2 台 VF561-2V 型棒条给料机进入 2 台 PE-500×750 型鄂式破碎机,破碎后粒径不大于 $150\ \text{mm}$ 的料由胶带机送入半成品料堆,再经廊道送入第 1 筛分车间。

2) 第 1 筛分车间的主要设备包括 4 台 2YKR2060H 重型圆振动筛及 4 台 2YKR2060 型圆振动筛,筛分楼上下各布置 4 台,筛网孔径分别为 80 、 40 、 20 、 $5\ \text{mm}$,分离出的粒径大于 $80\ \text{mm}$ 超径石进入中细碎车间调节料仓等待破碎。粒径 $40 \sim 80\ \text{mm}$ 的大石一部分进入成品料堆,一部分进入中细碎调节料仓等待破碎。 $5 \sim <20\ \text{mm}$ 、 $20 \sim <40\ \text{mm}$ 的料进入成品料场^[3]。粒径小于 $5\ \text{mm}$ 的成品料脱水处理后进入成品天然砂堆。

3) 中细碎车间的主要设备为 2 台 HP400 型圆锥式破碎机,经第 1 筛分车间分级处理以后的料(粒径大于 $80\ \text{mm}$ 及 $40 \sim 80\ \text{mm}$)进入中细碎车间调节料仓,经振动给料机供料至 2 台圆锥式破碎机进行破碎,待破碎完毕,物料进入第 2 筛分车间。

4) 第 2 筛分车间布置 2 台 3YKR2460 型圆振动筛^[4],粒径 $40\ \text{mm}$ 及以上的料回中细碎车间破碎,粒径小于 $5\ \text{mm}$ 的成品料通过洗砂机和直线振动筛脱水处理后进入成品人工砂堆。粒径 $5 \sim <40\ \text{mm}$ 的混合料进入超细碎车间调节料仓,经振动给料机供料至 4 台 B9100SE 型立轴式冲击破碎机进行破碎,中石($20 \sim <40\ \text{mm}$)和小石($5 \sim <20\ \text{mm}$)进入立轴破碎机进行制砂,破碎料进入第 3 筛分车间。

5) 第 3 筛分车间的主要设备为 4 台 2YKR3060 型圆振动筛,筛分后粒径 $5 \sim <40\ \text{mm}$ 物料进入成品料堆,部分中石和小石返回超细碎进行循环破

碎, 粒径小于 5 mm 的成品料通过洗砂机和直线振动筛脱水处理后进入成品人工砂堆。

3.2 工艺特点

3.2.1 细度模数控制

根据左岸闸址区料源勘探资料, 天然砂的细度模数在 0.88~1.65, 属特细砂, 通过配合比试验研究调整, 确定特细砂和机制砂掺配比例, 当加入细度模数 3.0 左右的机制砂后 (60% 机制砂+40% 特细砂), 能够有效地改善天然砂的细度模数。当混合后的砂细度模数为 2.6~2.7 时, 混凝土的工作性能和力学性能达到最佳值^[5]。同时使用低热水泥和提高粉煤灰掺量等手段, 降低特细混合砂混凝土的水化热, 据此完成特细砂防裂混凝土配合比设计。

3.2.2 精准掺配

系统设置 3 级破碎工艺, 隔离天然砂料仓与人工砂石料仓。采用立轴式制砂机生产机制砂, 天然砂和机制砂通过过料仓底下廊道内的称量系统, 精确控制每种料的输送质量, 分别计量、精准掺配后用于混凝土拌和生产, 可大幅提升成品砂质量。

3.2.3 含泥量和含粉量控制

采用湿法生产工艺, 第 1 筛分车间采用楼式布置, 从而增加料源的冲洗和脱水时间, 有效控制成品粗集料含泥量, 同时湿法生产也有效控制了破碎集料中的石粉含量。根据以往工程经验, 水洗后的砂石含粉量均在 8%~12%。

3.2.4 含水率控制

为保证成品砂细度模数和有效脱水, 满足成品砂含水率不大于 6% 的要求, 除了设置 4 个成品砂仓分区取料以外, 在成品砂出料之前均进入直线振动筛进行脱水。通过成品料仓分层堆存、底板铺垫碎石、设置排水盲沟、集水沟及防雨棚等多种措施, 实现成品料含水率的稳定可控。

3.2.5 粗集料针片状颗粒控制

根据料源情况分析试验可知, 砂砾石粒形较好。通过设计布置 3 级破碎, 针片状颗粒含量控制主要考虑粒径 40 mm 以上进入中细碎破碎后的

集料, 而那些破碎后粒径 5~40 mm 的集料进入超细碎整形以控制针片状颗粒含量。超细碎车间布置 4 台立轴冲击式破碎机, 粒径小于 40 mm 的集料经超细碎整形后, 中石针片状颗粒含量为 7.2% 左右, 小石针片状颗粒含量为 8.0% 左右, 满足水工规范不大于 15% 的要求。

3.2.6 系统封装

采用彩钢瓦、檩条等多种材料, 将各级破碎、筛分车间及传送皮带进行外包封装, 一方面防止扬尘扩散, 另一方面有效降低了噪声污染。筛分系统场内传送皮带设置喷淋系统, 对场内车辆经过部位设置花洒喷头。此外, 采用废水处理、散水、雨水收集设施, 做到零排放, 从而实现全方位、多角度的环境保护。

4 平面布置

筛分系统的毛料主要取自左岸闸址天然砂砾石开挖料, 系统主要包括粗碎车间、半成品料堆、第 1 筛分车间等多个车间、料堆及辅助设施, 从粗碎车间直至成品料仓之间用皮带机连接。

4.1 粗碎车间

粗碎车间靠近毛料堆场进行布置, 位于高程 340.0 m 平台上, 卸料回车平台布置于高程 352.0 m 平台上, 粗碎车间布置 2 台 VF561-2V 型棒条给料机和 2 台 PE-500×750 型颚式破碎机。

4.2 半成品料堆

半成品料堆布置在高程 346.0 m 平台上, 料堆设置 2 条地下廊道, 廊道内设置 10 台 GZG1003 型振动给料机。

4.3 第 1 筛分车间

第 1 筛分车间布置在高程 340.0 m 平台上, 车间采用钢结构框架形式, 同时布置 4 台 2YKR2060H 重型圆振动筛、4 台 2YKR2060 圆振动筛、4 台 FC-15 型螺旋分级机和 4 台 ZDS1230 型直线脱水筛, 圆振动筛设孔径为 80、40、20、5 mm 的筛网。

4.4 中细碎车间及调节料仓

中细碎车间布置在高程 346.0 m 平台上, 车

间采用混凝土框架结构, 布置 2 台 HP 系列圆锥式破碎机。调节料仓紧靠车间布置, 采用混凝土框架结构, 设置 2 台 GZG1003 型振动给料机。

4.5 第 2 筛分车间

第 2 筛分车间布置在高程 340.0 m 平台上, 车间采用钢结构框架形式, 布置 2 台 3YKR2460 型圆振动筛、2 台 FC-15 型螺旋分级机和 2 台 ZDS1230 型直线脱水筛, 圆振动筛设孔径为 40、20、5 mm 筛网。

4.6 超细碎车间

超细碎车间布置在高程 346.0 m 平台上, 车间采用钢结构框架形式。调节料堆布置在高程 350.0 m 平台上, 料堆设置 2 条地下廊道, 布置 4 台 B9100SE 型立轴式破碎机和 6 台 GZG1003 型振动给料机。

4.7 第 3 筛分车间

第 3 筛分车间布置在高程 340.0 m 平台上, 车间采用钢结构框架形式, 布置 4 台 2YKR3060 型圆振动筛、4 台 2FC-12 型螺旋分级机和 4 台 ZDS1230 型直线脱水筛, 圆振动筛设孔径为 20、5 mm 筛网。

4.8 成品料仓

成品料仓由大石仓、中石仓、小石仓和砂仓组成, 各料仓呈“一”字布置。成品料仓布置在高程 340.0 m 平台上, 成品料仓地面形成 2.5% 的排水坡度, 各仓之间设置隔墙, 隔墙最低超高 0.8 m。成品料仓总容量约 4.8 万 m^3 , 设置 2 条廊道, 配置 18 台 GZG1003 型振动给料机和 24 台 DHM8080B 型电动弧门。龙溪口航电枢纽左岸筛分系统工艺流程见图 1。

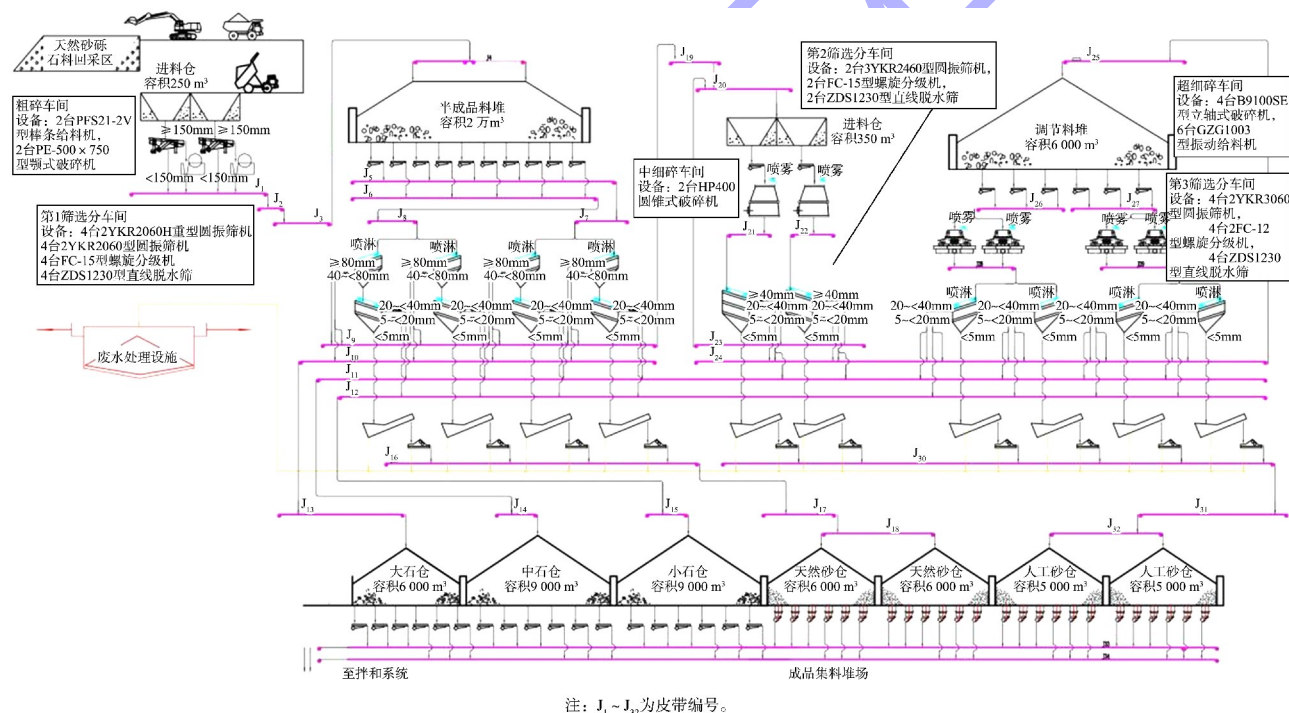


图 1 建成后的龙溪口航电枢纽左岸筛分系统

5 结语

1) 龙溪口航电枢纽闸址特细天然砂已在厂房、重力坝、左岸 13 孔泄洪闸等多个主体结构施工中充分应用, 现场应用效果显著, 混凝土抗裂性能优良, 充分保障了混凝土外观质量及实体质量。

2) 筛分系统设计先进, 克服了特细天然砂自身属性影响, 实现砂石料精准筛分掺配, 显著提高特细砂混凝土性能, 一方面提高混凝土实体质量, 另一方面节约施工成本, 为龙溪口航电枢纽带来显著的经济社会效益, 具有广泛的推广应用价值。

(下转第 150 页)