

QT 砂石系统技改技术的应用与研究

穆晓东

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 QT 监理中心, 陕西 西安 710000

[摘要] 砂石系统在大型水利工程建设中所属重要性不言而喻, 每个工程都有自己的建设特点, 所述 QT 砂石系统其特点为多级破碎+制砂的多重闭路循环工艺及依据地形布置的一期、二期综合砂石加工系统, 使人耳目一新。特别是系统布置采用了地面、地下、空间立体式的布置, 成品骨料输送穿梭于二级保护林之中, 不但解决了在不破坏二级保护林进行施工的场地狭小难题, 而且利用先进的设计思路和环保设备充分体现了工业与自然的完美融合。总结了 QT 砂石系统在完成一期、二期土建及金属结构制安工作后, 在一期系统生产期间暴露出系列工艺问题及料源变化对设备产能、骨料质量造成的影响开展的相关分析及技术改造应用, 并对成果进行了总结, 对类似工程有一定的借鉴意义。

[关键词] 砂石系统; 技术改造; 应用

DOI: 10.33142/ec.v6i9.9416

中图分类号: TU521.1

文献标识码: A

Application and Research of QT Sand and Stone System Technical Transformation Technology

MU Xiaodong

QT Supervision Center of Sinohydro Construction Engineering Consulting Northwest Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: The importance of sand and gravel systems in large-scale water conservancy engineering construction is self-evident, and each project has its own construction characteristics. The QT sand and gravel system is characterized by multiple closed loop processes of multi-stage crushing and sand making, as well as a comprehensive sand and gravel processing system arranged according to the terrain, which is refreshing. In particular, the system layout adopts a three-dimensional layout of ground, underground, and space, and the transportation of finished aggregates shuttles through the secondary protection forest. This not only solves the problem of small construction sites without damaging the secondary protection forest, but also fully embodies the perfect integration of industry and nature using advanced design ideas and environmental protection equipment. The article summarizes the relevant analysis, research, and technical transformation application of the QT sand and gravel system, which exposed a series of process problems and material source changes during the production period of the first phase system after completing the first and second phase civil engineering and metal structure manufacturing and installation work. The results are summarized, which has certain reference significance for similar projects.

Keywords: sandstone system; technical transformation; application

1 工程概述

QT 砂石加工系统所属流域属大陆性北温及寒温带气候。工程所在地地理纬度高, 多年平均气温为 5℃; 极端最高气温 39.4℃; 极端最低气温-41.2℃; 砂石系统所在地每年 11 月至次年 3 月平均气温处于零下, 不利于系统生产, 仅每年 4 月至 10 月平均气温高于零度。而工程地处山区, 经过近两年的实际观察发现, 每年有效施工时长不足 7 个月, 结合近两年施工实践, 受气温、取水、融雪等气候条件限制, 砂石加工系统具备生产条件时段为: 每年 5 月初至 10 月底, 生产期间受雨情雪情的不利气象因素影响时间约 20 天。

QT 砂石加工系统分一期、二期两个阶段运行, 承担工程全部砂石骨料生产任务。砂石加工系统一期工程已投产(一期由其他标段建设), 其中一期系统设计处理能力 400t/h, 成品生产能力 320 t/h; 二期在一期系统基础上扩容后服务于主体工程, 扩容后二期系统设计处理能力 1500t/h, 成品生产能力 1200 t/h。

工程砂石料需求总量:

Q 工程共需混凝土总量约 519.16 万 m³, 总共需人工砂石骨料约 1113.2 万吨, 考虑前期部分工程已施工完成, 修正后的砂石料需求总量为 1083.6 万吨, 其中粗骨料 808.48 万吨、砂 275.12 万吨。

2 系统技改原因及目的

2.1 技改原因

随着工程全面施工, 相对初设阶段及招投标阶段, 现阶段砂石加工系统工作任务及生产条件发生变化, 其中根据料场补勘, 现场揭露情况综合判断, 无用料层占比 0.12:1, 且有用料和无用料存在混杂, 相比投标阶段地质资料发生变化, 无用料层占比变大, 系统需考虑弃料剔除工艺。同时原设计方案总体设计处理能力按 1500t/h、成品生产能力 1200t/h 设计, 由新建 1100t/h 砂石加工系统和已建 400t/h 砂石加工系统的双砂石加工系统配置, 转化为在 400t/h 砂石加工系统上扩容至 1500t/h 砂石加工系统的单砂石加工系统配置, 在不增设其他砂石加工系统的情况

下,不能满足工程高峰期混凝土浇筑需求,如果原设计方案在满足其设计系统处理能力的条件下,也存在一定缺陷,需要根据实际生产试验成果进行针对性的设备选型替换和工艺结构改造设计完善。

混凝土浇筑最高月强度变化,坝体混凝土浇筑量约400万 m^3 ,按工程实施性进度计划安排,大坝混凝土施工时段总施工工期65个月,其中有效施工工期为40个月,月平均浇筑强度为11.7万 m^3 ,最高月浇筑强度约为15.65万 m^3 。根据调整后的总工期,所有部位月最高强度17.53万 m^3 ,考虑砂石加工系统生产富余度,实施阶段砂石加工系统需满足最高月18万 m^3 混凝土施工强度需求。

2.2 技改目的

由于砂石系统一期工程已完成1500t/h系统土建工程,当前一期工程已建成投产,为工程唯一供料方,在兼顾工程当前供料需求和本着节约工程投资的目的,根据混凝土浇筑高峰时段强度计算的系统处理能力,进行系统扩能及工艺提升,保证系统二期建设投产后,满足高峰期骨料供应。

同时为充分利用现有系统土建设施,新设方案对原设计方案破碎筛分设备配置台数不做过大调整,主要采用优化设备选型、提高单机处理能力的方式进行系统扩能,围绕试生产暴露的砂石加工系统一期工程设计缺陷,利用现有工艺布置,进行适应性工艺、结构改造完善设计和优化补充相关功能区域。

3 一期规模简介及生产过程的问题

3.1 规模简介

砂石加工系统按照永临结合的方式,分一期、二期两个阶段建设运行,年生产时间为5个月。其中,一期系统设计处理能力400t/h,成品生产能力320t/h,装机总容量6600kW。一期系统工艺流程见图1。

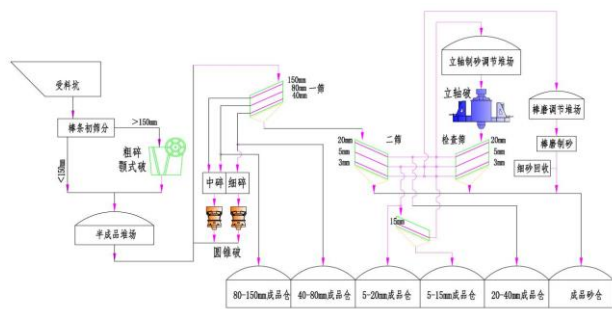


图1 一期砂石加工系统工艺流程图

3.2 生产过程问题

QT一期砂石系统建成投产后由于料场矿源岩性与招投标地勘资料描述的岩性存在一定差异及储量变化、外界环境对系统生产工艺等不良因素影响,在系统生产中逐步暴露出系统生产工艺方面存在的问题及短板,具体主要有以下几方面:

(1)粗破车间三台破碎机共用1条出料胶带机,由于粗破出料胶带机磨损大、易卡料撕毁,当受料胶带机故障检修时将导致粗破车间整体停产,生产保障率低。

(2)系统一筛车间设置洗石机除泥,未设置除泥筛分工艺,存在缺陷。主要原由:料场表层为弱风化岩层(70%以上可用),开采面积大(16万平方米),表层剥离后,进入系统的浅表层毛料不可避免存在草根等杂物,受影响的毛料约有80万方,草根等杂物进入废水系统,对压滤车间滤布损伤大,严重制约车间处理能力。

(3)生产中发现料源易片状解离特性,半成品料中转易堵塞,系统设计的半成品料进入一筛车间及中细碎车间输送胶带机转料环节过多,影响系统生产连续性。

(4)一筛-中细碎循环、二筛-超细碎循环两个大功能区之间使用胶带机直接串联,无中转缓存,两个工艺环节不具备独立生产条件,制约系统生产连续性;同时一筛车间、二筛车间设备筛网设置未考虑粗骨料中径控制工艺。

(5)中细碎进料级配:中碎进料为 $\geq 150mm$ 的超径石,细碎进料为40-150mm混合料。中碎料源级配短,在破碎腔内无法形成物料间的挤压,降低破碎功效。而细碎破碎比大,负荷大,长级配进料更易成粉。

(6)在制砂成粉率过高情形下,全湿法生产工艺导致成品砂细度模数和石粉含量难以兼顾,有待优化。

(7)污水处理工艺设计:一筛车间废水由一筛车间通过水沟直接进入浓缩池,一筛车间和浓缩池水平距离270米,高差5米,废水输送坡度不足,废水沟严重淤积,需要增设预沉淀池。

4 技改方案设计

4.1 总体方案

二期改扩建方案基于前述设计原则,对现有砂石加工系统一期工程进行改造扩能设计,详细一期系统工艺流程见附图1。系统设计处理能力1750t/h,系统成品料生产能力1400t/h,成品砂率35%。由于砂石系统一期工程已完成1500t/h系统土建工程,当前一期工程已建成投产,为工程唯一供料系统,在兼顾工程当前供料需求,和本着节约工程投资的目的,总体方案简介如下:

(1)根据混凝土高峰浇筑强度计算的系统处理能力,进行系统扩能。为充分利用现有系统土建设施,新设方案对一期设计方案破碎筛分设备配置台数不做过大调整,主要采用优化设备选型、提高单机处理能力的方式进行系统扩能。

(2)围绕一期生产暴露的砂石加工系统一期工程设计缺陷,利用现有工艺布置,进行适应性工艺、结构改造完善设计和优化补充相关功能区域。

4.2 关键工艺分析和研究

结合一期系统在生产中发现的问题,重点对砂石料加工有如下关键工艺需进行重点分析和研究。

4.2.2 成品粗骨料针片状控制工艺

系统成品特大石和大石主要从粗碎、中细碎工艺环节获取，中小石从中细碎及超细碎工艺环节获取。通过生产检测可见，中碎、细碎的生产是造成骨料针片状含量偏高的主要原因。

4.2.2.1 特大石和大石粒型控制

粗破及中破环节，产生的特大石比率约为 1:1，物料循环破碎次数越多，粒型越好。特大石的粒型控制，基于上述原理，在一筛环节考虑将粗碎特大石、中碎特大石部分分流至中碎，通过再次进出中碎整形。

4.2.2.2 中小石针片状控制

通过生产检测可见，细碎出产的中小石针片状含量高，考虑中小石采用全整形工艺。

中小石针片状控制有两种手段：(1) 通过细碎设备整形；(2) 通过超细破整形；

本工程由于细碎设备安装机位只有 2 台，产能上限受制，基于节约投资目的，本工程中小石整形选用超细破整形，通过生产检测也表明经立轴破整形后粒形显著改善，该方式不仅能控制中小石针片状含量，还能增加砂产量。

4.2.3 成品粗骨料中径含量控制

通过生产检测可见，成品粗骨料中石中径偏低，小石中径偏高，特大石和大石暂无实验数据。中径筛余量是衡量骨料颗粒级配是否连续的指标，各种级配骨料颗粒的不均匀性是影响混凝土用水量、胶凝材料量、砂率与拌和物质量稳定性的重要因素。因此，基于保证工程质量的目的，设计方案考虑全级配粗骨料中径控制措施。

4.2.4 制砂工艺及辅助制砂设备应用

制砂工艺确定以立轴破+检查筛分的主要制砂工艺不变，工艺分析关键是辅助制砂设备的选择，以及成品砂细度模数、含粉率的控制。

4.2.4.1 辅助制砂设备

主要功能有两点：(1) 处理多余 3-5mm 粗砂，适当利用 5-10mm 料补充制砂量；(2) 改善成品砂级配；

4.2.4.2 细度模数控制

成品砂细度模数控制手段主要是采用制砂检查筛网控制成品砂 3-5mm 含量和辅助制砂设备调节中间级配，通过生产检测可见，3mm 检查筛网控制砂细度模数效果较好。辅助制砂设备棒磨机或高压对辊机制砂细度模数均较小，能增加成品砂 0.16-2.5mm 成品砂含量。

4.2.4.3 石粉含量控制

本工程母材制砂成粉率高，石粉含量控制核心是制砂工艺多余石粉剔除手段的选择，石粉剔除最有效手段有两种：(1) 水洗；(2) 风选，适用条件一般以原状砂含粉量 30% 为界，原状砂含粉大于 30% 使用风选效果更好，目前石粉风选技术发展迅速，智能化程度高，能够自动智能控制原状砂中石粉含量，石粉收集也较水洗更为便利，综合

加工实验成果，制砂石粉控制首选风选工艺。

4.2.5 污水处理工艺

污水处理工艺采用“细砂回收+辐流沉淀+机械脱水”的成熟工艺，下面主要是根据生产实验结果进行工艺优化完善。

(1) 废水中 $>0.075\text{mm}$ 颗粒不溶解于水，易沉淀，而 $<0.075\text{mm}$ 微粒易溶于水，形成悬浮物。当废水中 $>0.075\text{mm}$ 颗粒含量占比较高，易快速沉淀堵塞废水沟，宜在废水产出点设置预沉淀池，沉淀废水中中粗颗粒，提高污水处理效率和减轻废水管沟清理频率。工艺实验显示：生产废水中 $>0.075\text{mm}$ 颗粒含量占比 66%， $<0.075\text{mm}$ 微粒含量占比 34%， $>0.075\text{mm}$ 颗粒含量比率大，宜设置一级沉淀池。(2) 原状砂含粉高，无须回收添加石粉。基于上述分析，调整后的污水处理工艺流程为：

① 在一筛车间和二筛车间之间增设预沉淀池，沉淀废水中中粗颗粒；将原配置的石粉回收机调整至预沉淀池附近，清理沉淀池中粗颗粒废料；

② 石粉回收机处理后的废水通过废水管沟输送至浓缩池沉淀处理；浓缩池底部泥浆通过泥渣泵输送至浓浆池；浓缩池溢流清水进入清水池回用；

③ 浓浆池加药处理后的浓浆通过泥渣泵输送至压滤机干化除泥，分离出的水自流至新增中转池再泵送至浓缩池进行处理，避免因压滤机故障影响回水池水质；详细工艺流程见附图 2；

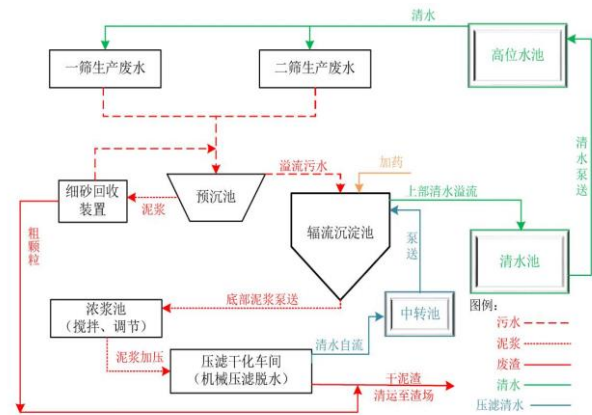


图 2 砂石加工系统供水及污水处理工艺流程图

4.3 工艺流程优化设计

总体流程：

通过对关键工艺的研究，确定总体工艺仍为粗碎开路，中碎、细碎和超细碎闭路四段破碎，采取立轴破与棒磨机或高压辊压机联合制砂工艺。

工艺流程设计以合理、可靠、可调、保证产品质量为原则，根据系统生产强度较高，生产的骨料品种多，不同时段所需产品强度有所变化的特点，本加工系统工艺流程设计粗碎开路，中细碎、一筛形成闭路，超细碎、二筛形

成闭路的破碎方案；特大石大石半整形，中小石全整形，一筛及二筛车间设置中径控制筛；立式冲击破与棒磨机或高压辊压机联合制砂，配置选粉机选粉；系统设置除泥筛分，半干法生产；补充设置金属探测器和电磁除铁器作为设备保护装置。二期技改总体工艺流程图见图3；

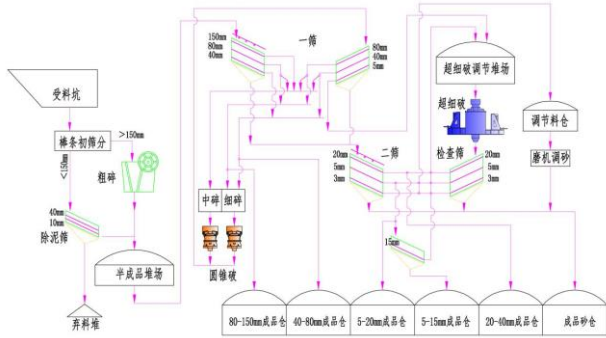


图3 砂石加工系统二期技改工艺流程图

4.4 各生产车间存在问题及工艺优化

一期系统各车间存在一定的缺陷或问题，二期改扩建工艺布置对相关问题制定了解决方案。

4.4.1 粗碎车间

目前粗碎车间三台破碎机共用1条1200mm带宽出料胶带机，首先胶带机运输能力不能满足本方案论证的1750t/h毛料处理能力需求；同时由于粗碎出料胶带机磨损大、易卡料撕毁，当受料胶带机故障检修时将导致粗碎车间整体停产，生产保障率低；同时系统一筛车间设置洗石机除泥，未设置除泥筛分工艺。

二期方案计划整体调整粗碎车间工艺，调整原三台破碎机对一台胶带机的突出问题，调整为破碎机与胶带机一对一关系，胶带机带宽设置为1000mm，带速2m/s，增加了粗碎车间设备运行保障率的同时，增加了胶带机运输能力，降低半成品料运输因带速问题带来的过度磨损问题。同时，增设除泥筛分工艺，利用棒条给料机篦条的初筛作用，增设除泥筛分机及弃料胶带机，在粗碎环节剔除毛料中的细颗粒物，提升后端产品质量并降低污水处理系统负荷。

4.4.2 半成品物料输送与中细碎的工艺调整

针对半成品料进入一筛车间输送胶带机转料环节过多、易堵料、半成品料与中细碎循环料混合等问题，二期工艺优化半成品料输送胶带机，减少胶带机数量，同时调整胶带机漏斗结构，在一筛车间进料环节增设胶带机1条，保证半成品料胶带机与振动筛一对一，提高筛分效率。

4.4.3 二筛进料工艺调整

原工艺，一筛-中细碎循环、二筛-超细碎循环两个大功能区之间使用胶带机直接串联，无中转缓存，两个工艺环节不具备独立生产条件，制约系统生产连续性；同时，超细碎车间3台立轴破和二筛车间2台振动筛使用单条胶带机直接串联，无中转缓存环节或1对1配置，存在产能

匹配度问题，制约各自产能提效。

二期工艺计划在二筛车间前端增设缓存料仓，用于缓存超细碎车间破碎料，确保二筛车间与超细碎车间隔离，同时增设胶带机，使二筛车间进料胶带机与筛分机一对一，提高筛分效率，降低设备检修时的停产风险。

4.4.4 料流分料方式调整

原工艺一筛车间、二筛车间各出料分料使用胶带机机头漏斗分料方式，不利于分料比例控制，易堵料，未整形料和整形料在出料胶带机上混合，不能有效控制粗骨料成品料针片状。

二期方案在所有筛分机出料溜槽端增设分料盒，使循环破碎料、混合料、成品料分别进入各自胶带机，便于通过料流比例控制成品骨料的级配，提高中径筛余和针片状的质量，同时便于胶带机的选型及针对性检修维护。

4.4.5 豆石生产工艺

原工艺豆石生产采用单台振动筛独立生产的工艺，加之豆石筛分车间设备安装钢平台设计高度2.4米，底部接料斗溜料角度过缓，容易堵料。

二期工艺设计考虑到豆石生产强度小，总需求量小的实际情况，对豆石工艺进行了优化：取消原豆石筛，在二筛车间选取一条振动筛安装豆石筛网进行豆石生产，同时调整豆石堆场位置与堆高，扩大堆场容积。此外，二筛车间增设豆石筛网后，不仅不会影响小石生产，还可以通过该筛网控制小石中径上下的比例，提高小石中径质量。

4.4.6 超细碎车间及调节堆场

超细碎车间原工艺配置3台立轴冲击破碎剂并辅以相应数量的供料廊道，改扩建工艺砂产能大幅提高，并且将立轴破作为主要制砂设备，因此设备数量增加至5台，需要对车间工艺布置进行重新调整。新增2条廊道，但廊道之间间距缩小，5台立轴被分成两组，第一组3台，另一组2台，底部分别设置胶带机向二筛车间调节料仓供料，其中2台一组的出料胶带机尾部延长，承接辊磨车间破碎料。

超细碎堆场来料由两部分组成，分别为一筛底部中细碎循环料的小于40mm料，及二筛车间中小石富余循环料，两部分骨料机头分区堆存，为提高堆场活容积，使两侧廊道均能受料。

4.4.7 选粉车间

选粉车间选用2台成品选粉机，在二筛车间的三台干筛筛分机底部漏斗增设一条给料胶带机，对干筛后的砂进行选粉，剔除砂中多余的石粉含量。剔除的石粉通过两条胶带机输送至设置于EL782平台的石粉堆堆存，石粉堆紧邻主干道，便于外运，石粉堆容积2000m³，满足系统两班以上（18小时）石粉堆存需求。

4.5 技术改造后产能及主要经济技术指标

根据前文论述，二期技改料源不做改变，在一期设计基础上，进行改造扩能及工艺改造。改造后的系统设计处

理能力为 1750t/h，系统成品料生产能力 1400t/h，能够满足大坝浇筑高峰期 18 万 m³/月混凝土浇筑强度，同时供水、运行人员等进行了统计计算，主要经济技术指标如表 1。

表 1 主要经济技术指标表

序号	项目	单位	数量	备注
1	总规模	系统处理能力	t/h	1750
2		成品生产能力	t/h	1400
3	各级砂石骨料生产能力	特大石	t/h	154
4		大石	t/h	210
5		中石	t/h	238
6		小石	t/h	308
7		砂	t/h	490
8	工作班制	小时/日/月	12h/25d/7mon	
9	定员	人/班	75	
10	用水规模	m ³ /h	600	
11	装机容量	kW	12000	
12	建筑面积	m ²	2800	
13	占地面积	万 m ²	8.5	

5 结语

QT 砂石系统在一期生产中暴露的问题，我们在二期

系统的优化技改方案中，很好地总结了经验和教训，有效解决了因矿源岩性变化及产能需求变化方面的问题。同时此技改成果还主要体现了系统设计主要是基于工程自用而非市场化需求，在设计上还没有完全意义上做到“因地制宜，量身定制”的情况下，我们及时采取“灵活可变”的纠偏原则，降低成本，扩大经济效益。近几年我国水利项目开发已进入大发展的新时期。因此，面对新形势、新挑战，水利工程的砂石加工技术也有必要建立先进的技术研发和应用体系，发扬传统的同时，也要大胆开拓，保障水利工程的高质量建设。

[参考文献]

- [1]游成珍,程莎莎.浅谈砂石加工系统创新技改、优化工艺稳定生产质量[J].人民黄河,2022,44(1):210-211.
- [2]刘剑,冯小明.浅谈宝泉上水库砂石加工系统的技改措施[J].人民长江,2007(5):67-69.
- [3]路文典,魏书荣,朱其法.我国水电工程人工砂石料机械加工技术展望[J].水电能源科学,2006,24(1):46-47.
- 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:中级工程师。