

# 老挝南欧江三级水电站砂石加工系统的设计优化

龙 波

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610037)

**摘要:**砂石骨料是水电工程建筑的基本原材料,砂石加工系统的运行成本控制是水电工程施工企业实现目标利润的关键。随着建筑市场的发展,工程项目精细化管理的要求越来越高,结合南欧江三级水电站现场情况,阐述了对砂石加工系统的工艺流程和总平面布置进行的设计优化与完善、选择合适的加工工艺及配套设备的过程,既节约了成本,又获取了一定的经济效益。

**关键词:**南欧江三级水电站;精细化管理;成本控制;优化设计;经济效益;砂石加工系统

**中图分类号:**TV7;TV52;TV51;TV22

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2022)05-0074-04

## Design Optimization of Sand and Gravel Processing System for Nam Ou III Hydropower Project in Laos

LONG Bo

(Sinohydro Bureau 10 Co. Ltd., Sichuan Chengdu 610037)

**Abstract:** Sand and gravel aggregate is the basic raw material in the construction of hydropower engineering. The operation cost control of sand and gravel processing system is the key to achieve the aimed profit for construction enterprises of hydropower engineering. With the development of the construction market, the demand for fine management of project is growing. Through the study of the optimization design of sand and gravel processing system, and by considering the field condition, the aggregate processing system and the general layout are optimized and improved. The selection of appropriate processing technology and equipment, can not only save costs, but also obtain certain economic benefits.

**Key words:** Nam Ou III Hydropower Project; fine management; cost control; optimal design; economic benefit; sand and gravel processing system

### 1 概述

南欧江三级水电站位于老挝琅勃拉邦省境内,工程需要的混凝土总量约为 63 万  $m^3$ ,其中常态混凝土为 55.5 万  $m^3$ ,喷混凝土为 1.4 万  $m^3$ ,胶凝砂砾石为 6.1 万  $m^3$ 。砂石系统主要生产常态混凝土和喷混凝土所需的骨料。根据实施阶段的施工总进度计划安排,南欧江三级水电站施工高峰期混凝土浇筑强度为 3.4 万  $m^3$ /月。

该工程砂石加工系统布置在坝址下游左岸石料场附近。由于招标阶段业主指定的砂石系统场地地形陡峭且场地中间有 3 条切割较深的冲沟,施工道路及场地难以满足砂石系统的布置需求。为此,在实施阶段,项目部将砂石加工系统的布置场地根据现场实际地形进行了适当调整。

### 2 系统设计

收稿日期:2022-07-10

鉴于砂石加工系统在工程项目中属于临建项目,但因每个工程生产砂石骨料的石料地质情况和岩性各不相同,而且各工程部位混凝土对骨料的质量要求也有一定的差异,因此,每个砂石加工系统的工艺设计及设备选型均需要结合工程的具体情况设计,以满足合同文件的各项技术要求。其系统设计规模、生产能力需满足该项目施工总进度中混凝土浇筑高峰强度的要求;同时,考虑到混凝土浇筑强度的不均衡性,在系统布置时,需增加砂石系统成品料仓堆料的场地,在混凝土浇筑强度不高的时段,将所生产的骨料作为储备料,用以调节混凝土浇筑高峰时段的骨料用量。

在地域性方面,由于老挝南勃拉邦省粉煤灰购买困难,需从国内货运,从而相应增加了工程成本。项目部结合现场砂石骨料生产的实际情况,增加了一道石粉生产工艺,从而缓解了工程区粉

煤灰供应难的问题。

众所周知,砂石加工系统的设备工作环境一般较恶劣,且工作量大,极易发生故障,一旦发生故障,砂石加工系统将会全线瘫痪,从而影响砂石骨料的正常生产。因此,系统设备的质量尤为重要。故在系统生产能力和产品质量达到合同指标的前提下,应尽可能地使系统的设备成本、建设费用和运行维护费用的总和达到利益最大化。为提高砂石系统长期运行的可靠性,砂石系统用于加工的关键设备必须采用技术领先、质量可靠、单机生产能力大、使用经验成熟的国内外先进设备<sup>[1]</sup>。项目部经过各种方案对比,最终选用了芬兰美卓公司生产的设备,该设备产量较高,后期维修费用较低。

### 3 设备选型

#### 3.1 生产规模

根据合同要求,砂石系统的生产规模原则上要求:处理能力不低于400 t/h,成品生产能力不低于350 t/h。同时,砂石料成品的生产能力必须满足本合同的工程用料需要。投标阶段混凝土浇筑高峰强度为4万 m<sup>3</sup>/月,而实施阶段的混凝土浇筑高峰强度为3.4万 m<sup>3</sup>/月,故砂石系统的成品生产能力应按照实施阶段施工总进度中的混凝土月浇筑高峰强度3.4万 m<sup>3</sup>设计,以满足合同中的工程用料需要。

根据施工总进度计划安排,混凝土月浇筑高峰强度为3.4万 m<sup>3</sup>。根据水利水电施工手册<sup>[2]</sup>,成品骨料生产量的计算如下:

$$Q_d = Q_{mc} A [(1 - \gamma) / 1 + \gamma / 2] = 34\,000 \times 2.12 \times [(1 - 0.3) \div 0.85 + 0.3 \div 0.7] = 90\,251 (\text{t})$$

$$\text{成品料小时生产强度 } Q_1 = 90\,251 \div 25 \div 14 = 258 (\text{t/h})$$

经计算得知,该项目各级成品料月高峰强度需用量表1。

表1 各级成品料月高峰强度需用量表

项目	粒 径 /mm				合计
	0~5	5~20	20~40	40~80	
级配用量 /t	27 075	20 758	23 465	18 953	90 251
比 例 /%	30	23	26	21	100

#### 3.2 各车间的生产能力及设备选型

(1)粗碎车间。经计算得知:砂石加工系统的生产能力为258 t/h。考虑到系统生产的不均衡

性,取不均匀系数为1.1,则粗碎车间的处理能力  $Q = 258 \times 1.1 = 284 (\text{t/h})$ ,配置C100颚式破碎机1台。当该设备的紧边排料口尺寸最小设置为12.5 mm时,其处理能力为260~300 t/h,功率为110 kW。设备满足生产能力要求。

(2)预筛分车间。粗碎车间的最大处理能力为284 t/h,预筛分车间的负荷系数取0.8,则预筛分车间的配置产量  $Q = 284 / 0.8 = 355 (\text{t/h})$ 。配置1台2YA2160、具有两层筛的偏心块式圆振动筛,筛孔尺寸为5~100 mm,最大给料粒径为400 mm,生产能力为100~500 t/h,功率为22 kW。半成品料仓配置了2台GZD120×200型振动给料机,最大给料粒径为500 mm,转速为740 r/min,处理能力为80~500 t/h,功率为2×2.2 kW,外形尺寸为2 000 mm×1 200 mm×855 mm,设备生产能力满足需求。

(3)中碎车间。根据粗碎车间所选的C系列颚式破碎机的产品粒度曲线,粒径大于80 mm的产品占45%。粗碎车间的最大处理能力约为355 t/h,则中碎车间的实际处理能力为160 t/h,由于中碎破碎机的负荷系数为0.8,则中碎车间的设备配置产量为200 t/h。配置1台GP100S圆锥破碎机,最大给料粒度为250 mm,排料粒度<40 mm的产品占42%,生产能力为145~230 t/h,功率为90 kW。在中碎平台还配置有调节料斗和1台GZD120×200型振动给料机,最大给料粒度为500 mm,转速为740 r/min,最大处理能力为500 t/h,功率为2×2.2 kW。设备生产能力满足需求。

(4)细碎车间。鉴于中碎车间中粒径为40~80 mm的产品占58%,则中碎车间的实际处理能力约为160 t/h,细碎车间的实际处理能力  $Q = 93 \text{ t/h}$ 。将细碎破碎机的负荷系数取0.8,则细碎车间的设备配置产量  $Q = 93 / 0.8 = 116 (\text{t/h})$ 。配置1台GP100-MF圆锥破碎机,最大给料粒度为100 mm,排料粒度<20 mm的产品占89%,生产能力为80~120 t/h,功率为90 kW。在细碎平台还配置有调节料斗和1台GZD120×200型振动给料机,设备生产能力满足需求。

(5)二筛车间。根据上述计算出的处理能力,配置1台3YA2160、具有三层筛的偏心块式圆振动筛,筛孔尺寸为5~100 mm,最大给料粒度为

400 mm,生产能力为100~500 t/h,功率为30 kW;1台LSX-1120洗砂机,最大进料粒度小于10 mm,处理能力为175 t/h,功率为18.5 kW,设备生产能力满足需求。

(6)制砂车间。根据流程设计,将二筛车间粒径为15~40 mm的砂作为主料源,针对中、细碎产品进行级配调节,中、细碎车间的最大生产能力为253 t/h,制砂设备的负荷率取0.95,则制砂车间的设备配置产量 $Q=256/0.95=266$ (t/h)。配置1台B7150立轴式冲击破,最大进料粒度为40 mm,处理能力为245~280 t/h,功率为220 kW。根据已有工程经验,砂石系统的实际制砂产量与理论处理能力具有较大的差距,因此,在保证砂产量的情况下,系统生产出的砂为中粗砂。为此,最终采取掺和经筛分的天然河沙的方式以保证砂的细度模数满足设计要求。

(7)三筛车间。三筛车间即为该系统的主筛分楼,也是该系统的制砂筛分车间。其主要料源为制砂车间生产出的所有物料,根据厂家提供的相关参数,选用了项目现有的1台具有三层筛的偏心块式圆振动筛3YA2460,该设备的筛孔尺寸为5~100 mm,最大给料粒度为400 mm,生产能力为100~500 t/h,功率为37 kW;1台LSX-1120洗砂机,最大进料粒度小于10 mm,处理能力为175 t/h,功率为18.5 kW。设备生产能力满足需求。

(8)皮带输送机。该砂石加工系统的皮带输送机选用带宽 $B=800$  mm和 $B=650$  mm两种规格。

(9)其他车间的设备选型。根据流程设计,该系统在沉淀池设置了一套细砂回收装置,用于将沉淀池内的细砂进行回收利用,同时有利于环保。根据厂家提供的相关参数,选用了1套QC-2.0型设备,其最大处理能力可以达到10 t/h,砂水浓度最大可以达到20~80 kg/m<sup>3</sup>,泥砂粒径小于5 mm。

#### 4 生产工艺

该系统采用的生产工艺应成熟、适用、可靠,并能保证所生产的各级成品料满足工程进度及质量要求。该砂石系统全程采用干法生产工艺<sup>[3]</sup>。

根据施工需要和工艺流程设计,该砂石加工系统分为粗碎车间、半成品廊道、预筛分车间、中、

细碎车间、二筛分车间、制砂调节廊道、制砂车间和三筛车间。

具体流程为:

对由采石场开挖的毛料采用20 t自卸汽车运输至粗碎车间的毛料受料仓,喂料到ZSW-490×130棒条给料机,将开采石料中粒径小于150 mm的石料筛下后直接进入受料皮带机,将粒径大于150 mm的石料喂入C100STD型颚式破碎机进行粗碎,破碎后的骨料由皮带机输送至半成品料堆。半成品料堆的设计存料为2 000 m<sup>3</sup>。

在半成品料堆设置2台GZD-200×120给料机,将半成品骨料由皮带机输送至预筛分车间。预筛分车间配置一台2YA2160偏心块式圆振动筛,该设备将粒径大于80 mm的骨料由皮带机输送至中碎调节料斗;将粒径为80~40 mm的骨料由皮带机输送一部分至大石成品骨料仓,一部分送至细碎调节料斗进行生产;将粒径为0~40 mm的骨料由皮带机输送至二筛车间。

在中碎车间配置1台GP100S圆锥式破碎机,负责处理预筛分车间产出的、粒径大于80 mm的半成品料,设置一个8 m<sup>3</sup>的调节料斗,将骨料送至中碎破碎机,破碎后的骨料由皮带机输送至二筛分车间。细碎车间配置1台GP100MF圆锥式破碎机,负责处理预筛分车间产出的粒径为40~80 mm的半成品料,设置一个8 m<sup>3</sup>的调节料斗,将骨料送至细碎破碎机。破碎后的骨料由皮带机输送至二筛车间。

在二筛车间布置了一台3YA2160三层偏心块式圆振动筛,一台LSX-1120洗砂机,将预筛分粒径为0~40 mm及中、细碎送来的料进行筛分,粒径为0~5 mm的料经LSX-1120洗砂机后直接送至三筛成品砂主皮带上;将粒径为5~15 mm料的一部分送至成品料场,一部分返回至制砂调节料堆;将粒径为15~40 mm的料送至制砂调节料堆,将粒径大于40 mm的料返回细碎车间进行再生产。

在制砂调节料仓设置了二台GZD200×120给料机,将料源由皮带机输送至制砂车间。在制砂车间配置了一台B7150立轴式破碎机,破碎后的骨料由胶带机送至主筛分车间。

在主筛分车间配置了一台3YKR2460型偏

心块式圆振动筛,将粒径为0~3 mm的料送进LSX-1120洗砂机,清洗后由皮带机输送至砂成品料仓,可以将粒径为3~5 mm的料直接进成品料场。为满足粒径要求,亦可将粒径3~5 mm的料返回至调节料堆进行再生产,5~20 mm粒径的骨料由皮带机输送至成品骨料场。在成品料充足的情况下,也可将粒径为5~20 mm的料返回一部分到制砂调节料堆。将粒径为20~40 mm的料经皮带机直接送至成品料场。

细砂回收装置选用了一台QC-2.0刮砂机,在二筛与三筛之间设置了一个沉淀池,安装了一台QC-2.0刮砂机,沉淀池内的砂经刮砂机刮起后由皮带机送至砂成品料场。

细砂脱水车间由料浆池、细砂脱水装置等组成,料浆池中的细砂(粒径为0.15~1.2 mm)经脱水装置处理后,由胶带机输送至成品细砂仓堆存,废水自流进入废水池,由污泥处理车间进行处理。

## 5 砂石加工系统的土建与结构设计

### 5.1 土建设计

根据现场实际地形、结合砂石系统进行土建设计。根据砂石系统设备的布置需要,该砂石系统开挖共分为7个平台。在高程417.5 m平台布置高位水池,提供砂石系统用水;高程401 m平台为毛料堆放平台;高程392.5 m平台为鄂破安装平台;高程384 m平台为半成品料场堆料平台;高程380 m平台为中细碎设备安装平台;高程376 m平台为制砂设备安装和成品料堆平台;高程373 m平台为成品料堆平台。对各平台的边坡均进行了防护并设置了浆砌石或砖砌排水沟以保证场内不积水和边坡坡脚不受水流冲刷,同时亦可保证料堆不受边坡水流的污染。

### 5.2 结构设计

砂石加工系统采用钢筋混凝土结构的项目主要有以下几部分<sup>[4]</sup>:

- (1)粗碎车间及地弄。
- (2)半成品料堆地弄、中细碎车间料仓及破碎机基础、筛分车间调节料仓。
- (3)制砂车间调节料仓及制砂车间破碎机与棒磨机基础。
- (4)水处理车间结构。
- (5)胶带输送机基础混凝土。

该项目采用的钢筋混凝土地弄的特点为:侧墙和底板横断面均较薄,综合造价低;结构型式刚度大,受力条件好,适应地基变形的能力强。

钢筋混凝土地弄在立面布置方面需要设沉降缝和止水<sup>[5]</sup>。沉降缝的间距取15~20 m,沉降缝宽20 mm,止水材料采用沥青木板或其他具有弹性的不透水材料。在地弄纵向设1%的坡度以利于地弄排水。

地弄的净空尺寸以满足操作方便、生产安全及经济为原则。净高与所选用的卸料装置及胶带输送机支架的高度有关,并使卸料装置的出口与胶带机带面保持有不小于20 cm的净距。地弄的净宽与胶带机的带面宽度、人行道布置有关。地弄设单侧人行道,宽度为70 cm。地弄顶板卸料口采用角铁保护,以防孔口磨损。在卸料口周围设混凝土止水埂,以防止堆场地表水流入地弄。在地弄底板上埋设胶带机中间支架、机尾改向滚筒支架、拉紧小车架及重锤吊架等地脚螺栓。

在砂石料加工系统中,料仓被广泛用作卸料、受料、配料和储料的设施。考虑到该系统运行周期长,因此,在系统设计中,对容积较小的中转调节料仓采用钢筋混凝土方形结构。

由于物料由具有一定速度的设备运送及本身以自由落体加速度进入料仓,当储存大骨料或毛料时,将产生巨大的冲击力冲击着料仓的底板及料仓壁的某一部位,对其若不采取积极的防护措施,势必破坏料仓的底板和料仓壁,为此,最终采用了平底料仓,以及利用料仓堆积料作为料仓壁的防护里衬。在成品料仓中的特大石、大石和中石仓中设置了缓降器以减小其对料仓的冲击力并可防止骨料二次破碎。

## 6 结 语

老挝南欧江三级水电站砂石加工系统采用的工艺科学合理、技术先进可靠、设备先进高效,保证率高,同时适合石料场灰岩的特性,所选设备满足生产需求。通过建设期对该系统的工艺流程和总平面布置进行的优化,使系统工艺流程更加简洁合理,平面布置更加紧凑集中,不仅直接减少了系统建设费用,而且降低了系统能耗。经过几年时间的生产运行管理,成本控制较好,为运行期整个项目的成本控制打下了良好的基础。

(下转第122页)

析1、2号拦砂坝后淤积数据,同样对坝后的平均堆积厚度和堆积物方量进行统计,100 a一遇降雨频率下拦砂坝堆积特征见表9。在100 a一遇降雨条件下,泥石流在1号坝与2号坝后的堆积总量基本达到拟设计库容总量,共计拦蓄 $5.78 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,在淤满2道拦砂坝之后,漫坝后的泥石流堆积深度及流动速度都明显降低,最终堆积在下游沟道中,并未流至沟口。因此,拟设的拦挡措施对100 a一遇的泥石流也具有良好的防治效果。

表8 20 a与50 a一遇降雨频率下2号拦砂坝堆积特征

拦砂坝	设计库容 /m <sup>3</sup>	降雨频率 /%	平均厚度 /m	堆积总量 /m <sup>3</sup>
2号坝	4.63×10 <sup>4</sup>	5	5.1	2.26×10 <sup>4</sup>
		2	5.5	3.23×10 <sup>4</sup>

表9 100 a一遇降雨频率下拦砂坝堆积特征

拦砂坝	设计库容 /m <sup>3</sup>	降雨频率 /%	平均厚度 /m	堆积总量 /m <sup>3</sup>
1号坝	1.30×10 <sup>4</sup>	1	4.6	1.39×10 <sup>4</sup>
2号坝	4.63×10 <sup>4</sup>		5.6	4.39×10 <sup>4</sup>

## 5 结语

范家沟泥石流属于发展期泥石流,流域内物源丰富,降雨充足,通过数值模拟发现在自然工况下泥石流会冲至沟口工业园区内;在治理工况下拦砂坝对于不同降雨频率下的范家沟泥石流能够起到有效的防治效果。

自然工况下,在20 a一遇降雨条件下模拟,沟口堆积区未至工业园区内;在50 a一遇降雨条件下模拟,沟口堆积区范围扩大至工业园区内;在100 a一遇降雨条件下模拟,堆积范围明显扩大,泥石流最远冲至白岩河岸。

治理工况下,在20 a及50 a一遇降雨条件下模拟,泥石流均在2号拦砂坝后被拦截;在100 a一遇降雨条件下模拟,泥石流淤满1号及

2号拦砂坝,之后由于拦砂坝的拦挡作用,漫坝后泥石流流速降低,最终堆积下游沟道中,未流动至沟口。

## 参考文献:

- [1] 蒋爵光. 铁路工程地质学[M]. 1版. 北京: 中国铁道出版社, 1991:68-69.
- [2] 周必凡. 泥石流防治指南[M]. 科学出版社, 1991.
- [3] 刘丁毅, 胡卸文, 杨相斌, 等. 康定市桃花沟泥石流发育特征及防治对策[J]. 四川水力发电, 2021, 40(2): 130-136.
- [4] 刘波, 胡卸文, 何坤, 等. 西藏洛隆县巴曲冰湖溃决型泥石流演进过程模拟研究[J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(5): 150-160.
- [5] 杜雪剑, 孙书勤, 赵峥, 等. 基于FLO-2D模型的红椿沟泥石流工程治理效果研究[J]. 地球与环境, 2016, 44(3): 376-381.
- [6] 丛凯, 李瑞冬, 毕远宏, 等. 基于FLO-2D模型的泥石流治理工程效益评价[J]. 西北地质, 2019, 52(3): 209-216.
- [7] 陈安强. 北川县杨家沟泥石流发育特征及危险性评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2019.
- [8] O'Brien J S, Julien P J, Fullerton W T. Two-dimensional water flood and mudflow simulation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1993, 119(2): 244-261.
- [9] 吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合治理[M]. 科学出版社, 1993.
- [10] O'Brien J S. FLO-2D Reference Manual[Z]. 2009.
- [11] 沈跃明, 陈天良, 肖公建, 等. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[M]. 1版. 成都: 四川省水利电力厅, 1984: 8-27.
- [12] 杨春阳. 武都区典型泥石流活动机理与启动判据研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.

## 作者简介:

- 翟兆斌(1997-), 男, 甘肃白银人, 硕士研究生, 从事地质灾害研究工作;
- 胡卸文(1963-), 男, 浙江金华人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事工程地质、环境地质方面的教学研究工作;
- 刘波(1994-), 男, 四川广元人, 博士研究生, 从事地质灾害研究工作;
- 席传杰(1995-), 男, 河北邢台人, 博士研究生, 从事地质灾害研究工作.

(责任编辑: 吴永红)

上接第77页)

## 参考文献:

- [1] 水电工程砂石加工系统设计规范, DL/T5098-2010[S].
- [2] 水利电力部水利水电建设总局组织. 水利水电施工组织设计手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1990.
- [3] 水利水电工程施工组织设计规范, SL303-2017[S].

[4] 水工混凝土施工规范, SL677-2014[S].

[5] 混凝土结构工程施工质量验收规范, GB 50204-2015[S].

## 作者简介:

- 龙波(1970-), 男, 重庆秀山人, 高级工程师, 从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(责任编辑: 李燕辉)