

绿色智慧砂石系统在 TB 水电站中的应用

王志彬, 帅悦熹

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:绿色智慧砂石系统较传统的砂石系统最大的特点就是通过智慧化、封闭式设计减少了施工人员的投入,降低了能源消耗,从而达到本质安全化和节能环保的目标。阐述了对水电七局承建的 TB 水电站砂石项目绿色智慧砂石系统方案的设计与应用,旨在为今后其他绿色智慧砂石系统建设提供帮助。

关键词:绿色智慧砂石系统;安全环保;TB 水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV4

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)06-0031-05

Application of Green Smart Sandstone System in TB Hydropower Project

WANG Zhibin, SHUAI Yuexi

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: Compared with the traditional sand system, the most important feature of the green smart sand system is to reduce personnel input and energy consumption through intelligent and closed design, so as to achieve the essential safety and energy conservation and environmental protection goals. Through discussing the design and application of the green smart sand system of the TB Hydropower Project undertaken by the Sinohydro Bureau 7, this paper provides a demonstration for other green smart sand system in the future.

Key words: Green smart sand system; Safe and environmentally friendly; TB Hydropower Project

1 概 述

砂石是我国基础设施建设项目中用量最大、不可或缺、不可替代的原材料,年消耗量约达 200 亿 t。但我国传统的砂石产业为粗放式管理,安全风险高、能耗大、对环境污染严重。目前,砂石行业仍处于产需两旺的阶段,在未来较长的时间内其产量都将处于高位运行。砂石行业作为碳排放的重点行业,实现“碳达峰、碳中和”将推进砂石行业树立生态保护红线意识,践行绿色发展理念,促进其转型升级是对砂石行业高质量发展的必然要求,符合我国安全发展、生态文明建设和构建人类命运共同体的宗旨。

近年来,在“双碳”目标指引下,中央企业紧跟新时代安全及节能环保要求,牢守安全生产底线,坚定不移地走生态优先、绿色低碳发展路线,持续推进“机械化换人、自动化减人、信息化少人、智能化无人”策略,结合系统安全设计,从本质安全化入手优化人员的配置,全面打造绿色智慧砂石系统,从根本上助力企业安全环保发展。绿色智慧

砂石系统旨在通过绿色智慧砂石工厂的成功规划建设,采用先进的检测手段和科学技术来取代人工,在关键环节实现无人化生产,进而全面提升工厂智能化程度和本质安全化水平,改变传统工厂中以现场操作人员为主导的生产局面,真正实现无人化工厂的建设与实施,同时推动砂石行业优化能源资源配置,提高能源利用效率,降低非化石能源消耗比重,提高绿色低碳发展能力,提升整体安全管理成效,助推“碳达峰、碳中和”目标的实现。煤矿、金属矿山智能化建设起步较早,发展较快,水泥、砂石骨料、硅灰石等非金属矿山的智能化建设则是近几年开始起步^[1-3]。笔者以中国水电七局 TB 水电站绿色智慧砂石系统的规划建设为例,对绿色智慧砂石系统中的安全环保应用进行了探讨。

TB 水电站位于云南省迪庆州境内,系澜沧江干流上游河段(云南省境内)的水电站。TB 水电站是国家“十四五”期间的重点工程,其目标定位为“精品、智慧、绿色、廉洁、效益”“创国家优质金奖”的新时代水电标杆工程,其绿色智慧砂石工

厂碳达峰、碳中和示范解决方案的目标是达到行业领先水平,能够在行业内起引领、推广应用作用。为此,中国水电七局采用绿色智能低碳环保方案,以绿色砂石为先导、平安砂石为保障、数字砂石为手段、科技砂石为引领、效益砂石为支撑,构建出国内一流的集自动化、数字化和信息化、节能减排、安全环保为一体的绿色智慧砂石工厂。

TB 水电站绿色智慧砂石系统所具有的毛料处理能力为 1 500 t/h,成品质设计生产能力为 1 250 t/h,总功率为 11 200 kW,系统共生产骨料 643.5 万 t,其中粗骨料 411.84 万 t,细骨料 231.66 万 t。该工程于 2020 年 11 月开工,2021 年 12 月投产,成功地建成了国内水电行业首个绿色智慧型砂石加工系统。

2 TB 绿色智慧砂石系统的实施方案

TB 水电站通过绿色智慧砂石系统的技术应用、资料收集、理论研究和工程应用验证,提出了水电工程智能建造理论体系、标准体系、技术体系和管理体系等,从理论、标准、方法、技术、管理等方面解决了高海拔地区水电工程建设与管理存在的难题。“在国家生态文明建设方针指引下,砂石产业转型升级,创新发展,绿色发展,科学发展,融合发展和工业化进程加快,使得砂石骨料行业迎来新的发展里程。数字化、信息化、智能化管控的绿色智慧矿山将引领示范砂石骨料产业高质量发展”^[4]。TB 水电站绿色智慧砂石系统采用“三段破碎+立轴和棒磨联合制砂”工艺,依托数字优势,主要采用三维可视化智能控制系统、巡检机器人系统、骨料粒型在线检测系统、废水处理在线检测系统、智能除尘系统、设备智能监控系统等先进技术,实现了资源利用最大化、本质安全化、工艺环保化、环境花园化、运行管理智慧化。

2.1 资源利用最大化

砂石是一种不可再生资源,TB 水电站项目部将电站内硐室及明挖的有用料源作为主体工程料源,从而避免开挖料源,提高矿产资源的利用效益。根据母岩岩性特征,优化了砂石加工工艺,降低了石粉泥饼等骨料加工生产副产物的产量;开展了加工生产副产物的消纳与技术研发,并将其应用于大坝迎水面覆盖物回填、混凝土掺合料、钻孔灌注桩护壁等。

同时,智慧砂石系统极大地节约了能源消耗。

据测算,智慧砂石系统每 t 砂石加工消耗电力 4.12 kW·h/t,折合标准煤 0.506 kg/t,而传统砂石系统平均每吨砂石消耗的电力 4.7 kW·h/t,按 TB 项目 643.5 万 t 生产总量计算,共减少碳排放约 1 015.19 t。

2.2 本质安全化

通过三维可视化智慧控制系统、巡检机器人、智能除尘系统等机械化换人、自动化减人、信息化少人、智能化无人措施在砂石系统中的应用,减少了人工使用量,从根本上降低了安全事故发生的概率,提升了本质安全化水平。

2.3 工艺环保化

(1)TB 水电站绿色智慧砂石系统是水电行业特大型人工砂石系统,其占地面积仅 2.2 万 m²,场地十分狭窄,相比同类规模砂石系统(占地面积约 4 万 m²)减少约 1.8 万 m²。在该砂石系统平面布置设计过程中,充分利用地形地势和落差等产生的重力势能转化为胶带机的动能,进行原料、成品的输送,在满足其使用功能的同时,节地、节材、节能效果突出。

(2)根据该加工系统占地面积、处理规模、岩石岩性、混凝土级配、成品骨料质量要求、水资源条件等采取干法生产工艺,减少了喷淋工艺和干燥环节,其节能降耗、高效生产效果明显。

(3)推广了长距离带式输送机在砂石行业中的应用,提高了骨料运输效率,代替了传统车辆运输作业,既能保障安全生产,又能降低运输能耗和二氧化碳排放量。

2.4 环境花园化

(1)突出自然的环境建设思想,深入研究了厂区绿化的特殊性。根据环境保护要求、系统生产特点、厂区规划、厂容美化等方面,选择了合适的绿植,采取点、线、面结合的方式进行厂区绿化布置,打破了人们对以往砂石系统的认知,创造出新时代、现代化花园式工厂,营造出环境友好型的工作氛围,满足了绿色健康发展需要。TB 水电站砂石系统厂区绿化情况见图 1。

(2)废水循环再利用,实现了废水零排放,充分实现了水资源的回收与利用。

(3)传统的“砂石骨料的开采、破碎、筛分、制砂等过程均在露天完成,产生粉尘污染大气”^[5]。而智慧砂石生产加工系统能够充分控制和降低骨



图 1 TB 水电站砂石系统厂区绿化情况

料生产过程中产生的粉尘,其采用封闭式生产并根据粉尘产源点和粉尘特征配置除尘器和喷雾机进行收尘和抑尘,进而控制了粉尘散逸。

2.5 运行管理智慧化

利用 ICT 技术(信息和通信技术)与工业互联网技术、大数据技术的深度融合,构建了一个可以根据需求计划从毛料回采、破碎生产加工、运输与堆存调节直至成品砂石骨料供应等全过程进行高度智能化的管理系统,通过硬件、软件的布置及工艺的调整,利用现有的物联网技术 PLC 及 DCS 尽可能地减少了人的干预,实现了系统的高效运行,同时能够自动管控系统生产运行过程中产生的废水、废渣、噪音、扬尘等,达到了绿色智慧砂石系统的初衷。

3 取得的成果

TB 水电站绿色智慧砂石系统取得了一系列科技创新及研究成果,申报了发明专利 4 项、实用新型专利 10 项、软件著作权 2 项、QC 成果 2 项、出版论文 12 篇。截止 2023 年 5 月 13 日,该系统共生产成品骨料约 435 万 t,最高月产量达 59 万 t,成品骨料的质量及生产能力能够满足设计及相关规范要求,安全环保效益、经济效益、社会效益、节能减排效果显著,未发生一起一般质量、安全、环水保事故,系统稳定、可靠、先进,得到业主、监理及同行的高度认可。

3.1 系统采用分开布置的方式

鉴于该项目场地十分狭窄,为确保系统满足布置及功能要求,从生产工艺、空间上采取了分开布置的方式,即毛料回采区、左岸 TB 沟破碎加工区、砂石料中转跨江贝雷桥及长距离曲线胶带机

运输线、右岸筛洗堆存及对外供骨料出料胶带机区等四个功能区,解决了场地狭窄条件下的系统布置难题,相比同类规模砂石系统减少占地面积约 1.8 万 m^2 ,节约混凝土 1 825 m^3 ,节约钢结构 367 t,节地、节材效果显著,减少了高风险建安时间,进一步保障了安全生产。

3.2 系统生产工艺流程

TB 水电站项目的母岩为国内水电站首次使用的辉长岩,根据其岩性特性、成品骨料供应强度、骨料粒径、各级配比例、成品骨料质量标准等,项目部因地制宜地采用了“三段破碎+立轴及棒磨制砂”工艺,实施干法生产。

采用干法生产的成品骨料砂含水率低,其一般不高于 2%,可以直接运输或使用,在冬季气温低于 0 $^{\circ}\text{C}$ 时不会冻结,全年均可连续生产。生产过程中基本不用水。而传统湿法工艺生产 1 t 砂石料一般需耗水 1.5 m^3 。按照本合同需供应砂石骨料 643.5 万 t 估算可节约用水 965.25 万 m^3 。

3.3 绿色智慧技术的应用

(1)三维可视智能控制系统。指挥大屏作为三维可视化及数字孪生系统的数字底座,将生产线运行数据、设备状态信息、库存量数据、环境参数等通过人工智能算法处理后的识别结果进行三维化展示。该系统以虚拟现实技术为基础,创新地把静态三维模型和动态实时视频相融合,通过多相机高低视角切换实现了生产数据查询、产线设备状态监测、生产线全貌巡游等应用,最终实现智慧化集中处理。

(2)长距离曲线胶带机及巡检机器人。长距离曲线胶带机跨越澜沧江用于连接左右岸的加工系统,其带宽 1.2 m,带速为 3.55 m/s,运输能力为 1 700 t/h,全长约 1.29 km,消耗能源为 0.095 $\text{kW} \cdot \text{h/t} \cdot \text{km}$,折合标准煤 0.012 $\text{kg/t} \cdot \text{km}$;若采用公路运输则需消耗柴油 0.072 $\text{kg/t} \cdot \text{km}$,折合标准煤 0.105 $\text{kg/t} \cdot \text{km}$ 。长距离胶带机运输与公路运输相比减少了运输人员和车辆配置,杜绝了运输的安全风险,降低能源消耗 88.6%。按 TB 项目 643.5 万 t 生产总量计算,共可减少碳排放约 228.62 t,节能降耗效果显著。

“建设智能运营系统将极大地提高设备的使用效率,减少人为误操作以及倒班时间,降低劳动成本,是提高矿山现场生产调度指挥效率的关键”

[6]。巡检机器人以自主方式在无人值守的长距离曲线胶带机行进,完成对胶带机及环境的监测和巡检任务,可及时发现胶带机跑偏等异常现象,进而提高了工作效率和质量,起到了减员增效的作用。而未设巡检机器人时需投入操作人员 5 人;通过增设巡检机器人方式可替代人工在长距离胶带机巡查值守,仅需 1 人在控制室进行集中操作即可。

(3)骨料粒型在线检测系统。该系统基于机器视觉、深度学习、AI 算法等技术,可在线对骨料的粒度、长径比、级配等参数进行采样和分析,进而实现了对砂石骨料质量的在线检测。该技术已在 TB 水电站绿色智慧砂石系统中成功应用,且与试验室检测数据比对验证后得出其结果正确率达到 95% 以上,从而有效地提高了砂石骨料质量智能检测水平。

通过骨料在线检测系统实时纠偏优化了生产工艺、减小了产品质量波动和损耗、节省了骨料因粒型不好需要调整的时间和成本,大幅度降低了取样代表性不足带来的粒径检测不准造成的经济损失风险,同时节省了传统测试的人工和人为误差,能够带来超出预期的价值。

粒型在线检测系统的成功使用,将大石超径、逊径及中径由原来的 9%、4%、65% 降低至 6%、2%、53%;将中石超径、逊径及中径由原来的 8%、4%、60% 降低至 5%、3%、49%;将小石超径、逊径及中径由原来的 7%、4%、62% 降低至 6%、3%、50%。同时,常态砂细度模数由原来的 2.71 降低至 2.58,石粉含量由原来的 16.9% 降低至 13.1%。碾压砂细度模数由原来的 2.78 降低至 2.69,石粉含量由原来的 24.0% 降低至 21.8%,骨料质量控制得到了显著提升,有效提高了骨料一次性合格率,减少了因重复加工产生的能源消耗,整个生产周期可节约用水 51.48 t,节约用电 283.1 万 kW·h;同时大幅度降低了人工使用率和废料产生率,有效降低了人员运行安全风险,减少了能源与资源的浪费,极大程度地缩短了骨料检测时间,有效降低了骨料试验检测误差。在该系统合同运行期内(4 a)的试验人工费节约显著,直接节约试验检测人工费用 115.2 万元(按 4 人 48 个月,每人每月 6 000 元计算)。

(4)废水处理在线检测系统。采用“两级机械预处理+DH 高效净化器+压滤脱水+清水回

用”先进工艺实现了废水处理系统的智能化控制。加药车间可实时采集和监测废水浊度、药液浓度、水位等参数,闭环控制加药量和沉降时间;DH 高效净化器可自动排放污泥及清水;压滤车间可自动排放泥饼。经系统处理的泥饼堆存后集中进行回收利用,将所回收的清水和人工砂进行循环利用,进而实现了“零排放”的目标。根据类似经验,冲洗 1 t 粗骨料需要约 1 m³ 的水,而采取智慧废水处理技术后,冲洗 1 t 粗骨料仅需 0.35 m³ 的水,冲洗每吨骨料可节约 0.65 m³ 的水,整个生产周期可节约用水 418.28 万 m³。

未设置自动控制系统时需投入操作人员 9 人,通过增设自动化控制系统后,废水系统仅需投入 3 人,节约人工 6 人,但其操作更为便捷,安全效益明显。

(5)智慧除尘系统。该系统采取“顺流组合脉冲布袋收尘为主+高压喷雾抑尘为辅”工艺,系统根据传感器监测到的各车间部位的环境参数以及生产设备负荷率,按需自动变频调节除尘设备的风机频率、风压等工况,从而有效控制了粉尘浓度,确保了空气质量稳定达标。该成果在 TB 水电站砂石加工系统中的应用效果良好,有效地改善了作业环境,有利于职业健康。通过加装粉尘处理系统,目前施工现场已收集石粉约 1.75 万 t,极大地减少了粉尘排放,且对粉尘进行了综合回收利用,实现了绿色环保。

(6)智慧监控系统。该系统对施工现场的主要破碎设备进行了实时、全方位的运行状态监控,包括电机的轴承温度、振动和电流,设备开口、油温、油压等,不仅可以观察到设备实时的运行状态,还可以帮助现场操作人员和维修人员对设备进行故障诊断、分析及调节处理。该自动化控制系统根据分析得到的结果进行相应的连锁保护,从而达到保护现场设备,实现本质安全化管控的目的。中控室设备监控系统见图 2。

(7)下行胶带机。鉴于粗碎平台与半成品料场存在较大的落差,故将出料胶带机设计为下行胶带机,胶带机启动柜采用四象限变频器进行控制。四象限变频器特别适用于起重提升设备等大惯量位能负载,该设备的转动惯量 GD 较大,属于反复短时连续工作制,其从高速到低速的减速降幅较大,制动时间较短,进而减少了制动过程的能量消耗,



图 2 中控室设备监控系统照片

减速能量形成发电反馈到电网取得了节能、环保的功效。下行胶带机的发电功率为 200 kW,已累计为系统提供了 103 万 kW·h 的电能,减少碳排放约 280.16 t。

TB 水电站砂石系统属于水电行业特大型砂石系统,其建设、运行是一项复杂的系统工程。该项目通过绿色智慧应用技术实现了全产业链成套绿色智慧技术管理实施模式,改善了传统砂石行业安全风险高、能耗大、环境污染严重的情况。对于大型砂石系统在本质安全化要求和碳达峰、碳中和背景下的开发管理实施模式的研究具有借鉴意义及推广应用前景。

4 结 语

智慧矿山是采矿业转变发展方式、提升行业发展质量的核心驱动力,是矿山企业发展的必然需求,实现矿产采掘、运输、洗选、生产管理、安全保障、生态保护等全过程智能化运行是未来必定的发展路径^[7]。在现阶段国内外智慧化人工砂石加工系统可参照的案例较少,缺少相关的规划、设计、施工经验与规范,系统建设途径、技术尚不成熟,其整体水平与世界先进水平相比还具有一定的差距,实现骨料加工全过程绿色智能化控制和管理的设计能力和现场实践仍显不足。而我国未开发的水能资源大多位于西部青藏高原,且因高海拔地区具有的气压低、空气含氧量低、紫外线强、低温时间长、昼夜温

差大、生态环境脆弱等自然特点以及高地震烈度、高地应力等特征对水电资源的开发提出了新的课题。在上述背景下,TB 水电站绿色智慧砂石系统对智慧技术的应用、资料收集与理论研究的成功应用,从理论、标准、方法、技术、管理等方面解决了高海拔地区水电工程建设与管理存在的难题,必将为在相关领域的进一步建设提供宝贵的经验。

参考文献:

[1] 王国法,刘峰,庞义辉,等.煤炭工业高质量发展的核心技术支撑[J].煤炭学报,2019,44(2):349-357.
[2] 葛世荣,郝尚清,张世洪,等.我国智能化采煤技术现状及待突破关键技术[J].煤炭科学技术,2020,48(7):28-46.
[3] 李国清,王浩,侯杰,等.地下金属矿山智能化技术进展[J].金属矿山,2021,50(11):1-12.
[4] 王轩,王春民,董春雷.砂石骨料智慧矿山总体方案研究[J].砖瓦世界,2021,38(20):281-282.
[5] 胡幼奕.创新 绿色 合作 共享 构建砂石骨料工业新体系[J].混凝土世界,2017, 38(5):16-24.
[6] 倪学杰,武向阳,张杰.面向智慧矿山的智能运营系统方案研究[J].重型汽车,2021,33(4):13-14.
[7] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018,43(2): 295-305.

作者简介:

王志彬(1988-),男,河南濮阳人,工程师,从事水利水电工程施工安全环保管理工作;
帅悦熹(1991-),男,四川乐山人,工程师,从事市场营销及建设工程施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)