

大倾角下运输送机在 TB 水电工程砂石系统中的应用

陈前仕¹, 黄芳芳¹, 何绍波², 杨熙斌²

(1. 中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213;
2. 华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要:为解决主体砂石系统的骨料运输落差大问题,同时满足粗碎车间与半成品料堆平面及空间布置要求,降低砂石系统运行成本,TB 水电工程采用大倾角下运带式输送机运输骨料。从设计参数、运行原理、结构设计、施工与调试等方面对该输送机进行了介绍,指出该输送机不仅结构简单,而且各主要部件可与通用带式输送机通用,方便了使用和维修,同时可以节省运输设备的投资和运行费用,具有良好的综合效益。

关键词: TB 水电工程;大倾角;下运带式输送机;关键技术

中图分类号: TV42⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2024)S1-0056-04

Application of downward belt conveyor with large inclination in sandstone system of TB Hydropower Project//
CHEN Qianshi¹, HUANG Fangfang¹, HE Shaobo², YANG Xibin² (1. Sinohydro Engineering Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu 610213, China; 2. Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: To solve the problem of large elevation difference in aggregate transportation in the main sand and gravel system, meet the spatial and planar layout requirements of the coarse crushing workshop and the semi-finished material pile, and reduce the operating cost of the sand and gravel system, the TB Hydropower Project uses downward belt conveyor with large inclination to transport aggregates. This paper introduces the conveyor from aspects of design parameters, operating principle, structural design, construction and commissioning, and considers that the conveyor not only has a simple structure, but also its main components can be interchangeable with those of a general belt conveyor, which facilitates use and maintenance and at the same time can save investment and operating costs of transportation equipment, showing good comprehensive benefits.

Key words: TB Hydropower Project; large inclination angle; downward belt conveyor; key technology

带式输送机是通用性系列产品,广泛用于电站、冶金、矿山、煤炭、建材、化工、轻工等各个行业,是最理想的高效连续运输设备,运行可靠,易于实现自动化、集中控制^[1]。大倾角下运带式输送机作为其中较为理想的连续输送设备,由于工作中电机正、负功率交替运行,运行工况复杂,因此对设计、施工及运行具有较高要求,运行中容易出现物料下滑、飞车等不良问题^[2]。在双碳目标背景下,绿色低碳、节能降耗、高效利用资源成为砂石行业发展的必然要求,加之后水电开发工程主要位于金沙江上游、澜沧江上游及雅鲁藏布江下游,地势陡峭、场地狭窄、地域环境恶劣,因此,本文依据 TB 水电工程主体砂石系统大倾角下运带式输送机的成功运行案例,就大倾角下运带式输送机的关键技术(包括设计参数、运行原理、结构设计等)进行研究,以期在保证安全运

行的同时,能节约场地、优化布置、节能减排及提高经济效益。

1 工程概况

TB 水电工程装机容量 1 400 MW,属一等大(1)型工程,枢纽主要建筑物由挡水建筑物、泄洪消能建筑物、右岸地下输水发电系统等组成。水电工程于 2019 年 7 月开工,2021 年 10 月 26 日大江截流,2024 年 2 月导流洞下闸蓄水,2024 年 6 月首台机组投产发电,计划 2024 年 12 月全部机组投产发电。

TB 水电工程主体砂石系统由左岸 TB 沟砂石加工系统、中间跨江贝雷桥及长距离输送机输送系统、右岸筛洗分级及成品料场系统组成,系统毛料处理能力为 1 500 t/h,成品骨料生产能力为 1 250 t/h,采用“三段破碎+立轴和棒磨联合制砂”干法生产工

艺^[3]。除尘采用“顺流组合脉冲布袋收尘+气流密闭运输为主+高压喷雾抑尘为辅”工艺^[4]。废水处理系统采用“两级机械回收+DH 高效净化器+板框压滤及清水回收”的废水零排放工艺^[5]。合同要求系统共生产成品骨料 643.5 万 t,其中粗骨料约 411.84 万 t,细骨料约 231.66 万 t。母岩为国内水电站首次使用的辉长岩^[6]。毛料堆存于 TB 沟利用料堆存场、尾水出口利用料堆存场及中路沟利用料堆存场。

2 设计参数

砂石系统两侧边坡陡峭,右侧边坡主要由覆盖层组成,左侧边坡反向软岩质岩体风化较深,自然状态下,边坡稳定性较差,地质条件差。粗碎车间破碎后的骨料经 J1、J2、J3、J4 带式输送机输送到半成品料堆暂存。粗碎车间倒车平台位于 1750 m 高程,粗碎廊道输送机位于 1740 m 高程,半成品平台位于 1678 m 高程,半成品料堆堆料高度 21 m。运输落差为 41 m,平距为 159 m,由于运输落差大、平距短、边坡陡峭,若采用普通的带式输送机,下运倾角、防滑措施、电气控制、制动等都不能满足使用要求。为了解决大倾角向下输送的问题,需安装大倾角下运带式输送机及与之配套的设备。根据现场实际地形、地质条件,在保证系统运行可靠的同时,还需要考虑砂石系统建设期间土建施工、金属结构制作安装及设备安装施工难度问题,以及系统运行期间支架、托辊的检修、更换方便及通用问题。图 1 中,J1 为粗碎车间普通带式输送机,J2、J3 为-13°大倾角下运带式输送机,J4 为进入半成品料堆常规带式输送机,选用 45°通用槽型托辊。因 J3 输送机长度、下倾角度、功率最大,本文以 J3 为典型案例介绍,J3 输送机技术参数:运输能力 1800 t/h、带宽 1400 mm、带速 2.5 m/s、运距 84 m、高差 19.5 m、倾角-13°、功率 132 kW,其主要设备配置见表 1。

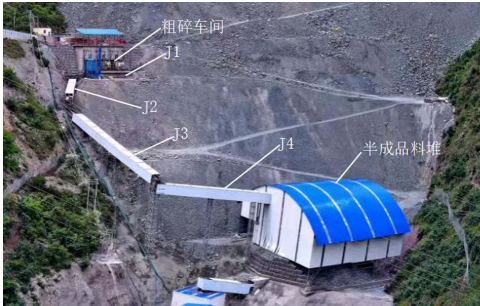


图 1 J3 大倾角下运带式输送机实景图

3 运行原理及结构设计

3.1 运行工况

大倾角下运带式输送机布置如图 2 所示,其运

行工况有 4 种:①空载/轻载运行时,电机处于电动状态。②当下滑力与带式输送机输送带摩擦力相等时,电机处于电动和发电的临界状态。③下滑力大于摩擦力,电机由临界状态转入发电状态。④随着每米长胶带上骨料质量的增大,电机已达到最大

表 1 J3 大倾角下运带式输送机主要设备配置

名称	规格	数量	单个质量/kg
变频电机	132 kW 380 V IP55	1	1000
减速器(带风扇)		1	1020
减速机		1	20
电机	MT9 b	1	21
ZL 联轴器	L=562 mm	1	169
梅花联轴器护罩		1	12
ZL 联轴器护罩	L=662 mm H=320 mm	1	23
驱动装置架		1	845
低速盘式制动器		1	1100
传动滚筒	D=800 mm(菱形胶面)	1	1674
改向滚筒	D=630 mm(菱形胶面)	2	1197
改向滚筒	D=500 mm(菱形胶面)	2	1009
改向滚筒	D=400 mm	1	698
槽形托辊		65	65
平形下托辊		26	34
摩擦上调心托辊组	D=133 mm	8	139
摩擦下调心托辊组	D=133 mm	4	128
缓冲托辊		3	96
头部清扫器		1	83
空段清扫器		1	31
垂拉导杆	H=10000 mm	1	660
重锤拉紧装置		1	813

注:L、H、D 分别为长度、高度、直径。

制动状态时,处在飞车临界状态,这时输送机以一定的加速度快速运行,若任其发展,将会产生严重的飞车事故^[7]。

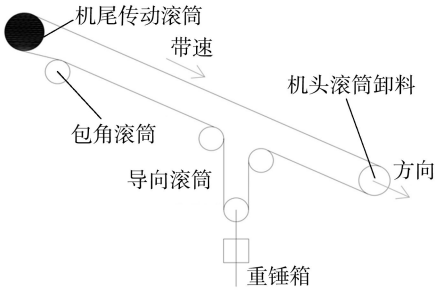


图 2 大倾角下运带式输送机布置示意图

因下运输送机 4 种运行工况交替出现,为适应各种工况,电机选用可逆变频电机,输送机启动柜采用四象限变频器进行控制,确保电机按发电及用电两种工况运行。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,设备的转动惯量较大,属反复短时连续工作制,从高速到低速的减速降幅较大,制动时间较短,减少制动过程的能量损耗,将减速能量回收反馈到电网,可以达到节能减排功效。

3.2 制动器

目前,比较理想的制动设备一般采用自冷盘式

制动器^[8],其工作原理是通过制动器对工作盘施加的摩擦制动力产生制动力矩。通过液压站调整制动器中油压的大小可以调整正压力,从而调整制动力矩的大小。液压站采用了电液比例控制技术,因此制动系统的制动力矩可以根据工作需要自动进行调整,实现良好的可控制动。

3.3 驱动装置组合

大倾角下输送机驱动装置组合由可逆变频电机、带风扇减速器、梅花联轴器(一边接减速机,一边接电机)、ZL 联轴器(一边接传液器,一边接减速机)、驱动装置架、头架、传动滚筒、改向滚筒等组成。电机与减速机为刚性连接,取消常规的液力耦合器装置,确保在紧急情况下跟盘式制动器制动匹配。

3.4 软启动装置

对于启动性能要求较高的带式输送机,必须采用可靠的软启动装置以保证输送机各种工况下的平稳启动^[9],并减小动张力,避免重载起车时闷车和启动时冲击过大造成安全事故,所选用的软启动装置必须具有很好的功率平衡功能。

3.5 拉紧装置

拉紧装置是带式输送机的重要组成部分,它的性能好坏直接影响带式输送机的整机运行状况。结合 J3 的实际情况选择重锤车式拉紧装置,它是利用重锤的重量产生拉紧力,以保证输送带在各种工况下有恒定的拉紧力^[10],并可以自动补偿由于温度改变和磨损引起的输送带伸长变化。该装置结构简单、工作可靠、维护量小,是种理想经济的拉紧装置。

3.6 除铁器及封闭

毛料中含有反铲斗牙、各种钻机钻头、废弃的锚杆等金属物品,毛料经粗碎颚式破碎机破碎后由下输送机输送到半成品料堆暂存。半成品料还需经中细碎圆锥破碎机进一步破碎后形成成品骨料。由于毛料中含有各种金属物品,在半成品料进入中细破碎机破碎前必须去除夹在其中的金属物品,否则将对中细碎设备造成重大损伤。为尽量去除毛料中的金属物品,毛料在粗碎破碎后进入半成品料堆前、进入中细碎圆锥破碎机前在相应输送机上方各设置强力除铁器去除毛料中的金属物品,确保中细碎圆锥破碎机运行安全。

砂石系统采用干法生产工艺,粗碎车间、粗碎车间至半成品下输送机、半成品料堆设置轻钢结构防雨措施,满足系统稳定运行及环保达标要求,同时可避免下输送机在雨天打滑。

3.7 基础及桁架排架设计

由于边坡陡峭,材料转运困难,施工难度大,结合现场实际地质地形,输送机基础采取独立的 C20

条形混凝土基础,每个基础设置 4 根直径为 25 mm 的锚杆,入岩 4 m,伸入混凝土基础 0.5 m,在保证基础稳定的同时,方便施工。整个下运输送机基础施工完成后,沿下运输送机 5 m 范围喷 0.15 m 厚 C20 挂网混凝土,挂网钢筋直径为 0.01 m、间排距为 0.2 m,确保下运输送机边坡稳定不塌方。

输送机排架根据高度采取单排架、井字架轻型钢结构;横梁根据跨度采取纵梁、桁架等轻型钢结构,同时考虑吊车起吊参数,桁架长度为 9 m,确保吊车作业安全。

4 下运输送机施工及调试

下输送机边坡坡度约 45°,紧靠 TB 沟有用料布置。设备及钢结构桁架、排架质量大,J3 下输送机机头井字架高度为 24.842 m,质量约 6.1 t,是最重的起吊物件。为确保吊车顺利作业,利用 TB 沟有用料堆前表面修建“之”道路,路面宽度 5 m,最大坡度为 12%,转弯半径 9 m,平距 518 m,起始高程为 1750.0 m,终点高程为 1688.0 m。利用“之”道路,前期下输送机建设期间用 75 t 汽车吊顺利进行安装作业,后期用 25 t 汽车吊进行设备的保养、检修作业。

下输送机安装完成后进入调试环节,在前期试运行中存在输送机偶尔自动停机现象,联合输送机厂家检查发现,四象变频器程序有瑕疵、制动器液压站加油量过满、重锤拉紧装置拉紧力不够等。经过 7 天调试,下输送机能按设计参数满负荷连续 12 h 运行,满足设计及高峰运输骨料要求。

5 结 语

TB 水电工程主体砂石系统于 2021 年 12 月底投产以来,截至 2024 年 6 月底,已累计完成 753 万 t 精品砂石骨料生产,占合同总量 643.5 万 t 的 117%,连续 10 个月平均月生产砂石骨料超 50 万 t,其中 2 个月连续超 60 万 t,超过设计产能的 50%,创造了国内同规模砂石系统的生产纪录。J3 大倾角下运带式输送机输送半成品料约 828 万 t,运行稳定、可靠,节约用电 121 万 kW·h,减少碳排放约 332 t。大倾角下运带式输送机的输送倾角大,节省了运输设备投资和运行费用,能取得良好的综合效益;设备具有结构简单,各主要部件均可与通用带式输送机通用,给使用、维修带来方便,整机运行可靠。由于大倾角下运带式输送机运行工况复杂,设计前要反复计算,选择合理的技术参数,坡度大时不宜采用较高带速,以不大于 2.5 m/s 为宜,在设计大倾角输送机时要谨慎,常规条件下下运光面胶带 45°槽

型托辊带式输送机最大倾角不超过 16°。

参考文献：

[1] 侯友夫. 带式输送机动态特性及控制策略研究[D]. 北京:中国矿业大学,2001.

[2] 郭敏. 大倾角胶带输送机延深改造设计与应用[J]. 当代化工研究,2019(5):190-191. (GUO Min. Design and application of extension transformation for large inclination belt conveyor [J]. Contemporary Chemical Research, 2019(5): 190-191. (in Chinese))

[3] 蔡肃川,任荣. 浅析立轴冲击式破碎机与棒磨机联合制砂工艺[J]. 水力发电,2007(1):48-50. (CAI Suchuan, REN Rong. Analysis of the joint sand-making process of vertical shaft impact crusher and rod mill [J]. Hydropower Generation, 2007(1): 48-50. (in Chinese))

[4] 王海舰. 布袋除尘器脉冲清灰工艺的优化研究[J]. 科技视界,2020(2):32-33. (WANG Haijian. Optimization study on pulse cleaning process of baghouse dust collector [J]. Science and Technology Horizons, 2020(2): 32-33. (in Chinese))

[5] 汪琳琪,梁柱俊,何艳珠. 板框式压滤机固液分离环境污染治理[J]. 铜业工程,2021(2):73-75. (WANG Linqi, LIANG Zhujun, HE Yanzhu. Environmental pollution control in solid-liquid separation by plate and frame press[J]. Copper Industry Engineering, 2021(2):

73-75. (in Chinese))

[6] 刘忠富,袁木林. 辉长岩骨料在托巴水电站工程中应用研究[C]//中国水利学会. 2022 中国水利学术大会论文集第六分册. 郑州:黄河水利出版社,2022:577-580.

[7] 钟毅,程国林. 大倾角下运胶带输送机的研究与应用[J]. 企业技术开发,2014(24):35-36. (ZHONG Yi, CHENG Guolin. Research and application of large angle inclined belt conveyor [J]. Enterprise Technology Development, 2014(24): 35-36. (in Chinese))

[8] 张建荣. 大倾角下运带式输送机防飞车治理实践[J]. 山东煤炭科技,2023(1):129-131. (ZHANG Jianrong. Practice of preventing flywheel in downward belt conveyor at large inclination [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2023(1): 129-131. (in Chinese))

[9] 王军,葛令芝. 矿用下运大倾角光面胶带输送机的应用研究[J]. 煤矿现代化,2011(6):63-66. (WANG Jun, GE Lingzhi. Application research on mine downward large inclination smooth surface conveyor belt [J]. Modernization of Mines, 2011(6): 63-66. (in Chinese))

[10] 王军. 下运带式输送机制动装置的选用分析[J]. 煤矿现代化,2006(5):71-72. (WANG Jun. Analysis on the selection of braking devices for downward belt conveyors [J]. Modernization of Coal Mines, 2006(5): 71-72. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 09 - 23 编辑:刘晓艳)

(上接第 55 页)

- c. 智能建造网络建设不完善。在项目建设初期,系统依赖于互联网运行,然而在国家重要会议及护网期间,系统需暂时停运,这导致系统的连续运行受到了中断,呈现间歇性运作状态,同时存在网络覆盖不全的问题,导致智能建造系统间歇性运行。
- d. 管理人员认知不足,管理不到位。大部分管理人员受传统的管理模式和手段影响,对新兴的智能建造的重要意义认识不到位、不深刻,由于目前智能建造系统应用过程中还需大量的人员配合运行、维护,减人效果不明显。
- e. 费用处理比较困难。智能建造项目的建设需要投入大量经费,但存在费用处理比较困难的情况,影响了相关方的积极性,建议以后在招标中进一步明确智能建造费用的出处,在实施过程中提高费用处理的力度和及时性。

参考文献：

[1] 樊启祥,陆佑楣,周绍武,等. 金沙江水电工程智能建造技术体系研究与实践[J]. 水利学报,2019,50(3):294-304. (FAN Qixiang, LU Youmei, ZHOU Shaowu, et al. Research and practice on intelligent construction technology system of Jinsha River hydropower projects

[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 50(3): 294-304. (in Chinese))

[2] 谭尧升,樊启祥,汪志林,等. 白鹤滩特高拱坝智能建造技术与应用实践[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2021, 61(7):694-704. (TAN Yaosheng, FAN Qixiang, WANG Zhilin, et al. Intelligent construction methods for the Baihetan super high arch dam [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2021, 61(7): 694-704. (in Chinese))

[3] 刘耀儒,侯少康,程立,等. 水利工程智能建造进展及关键技术[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(10):1-20. (LIU Yaoru, HOU Shaokang, CHENG Li, et al. Advances and key technologies of intelligent construction of hydraulic engineering [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022, 53(10): 1-20. (in Chinese))

[4] 孔兰,蔡一坚,王东阳,等. GIS+BIM 的水利工程两层级架构智能建造系统研究[J]. 水利信息化, 2021(6): 73-76. (KONG Lan, CAI Yijian, WANG Dongyang, et al. Research on GIS + BIM based two-level framework intelligent construction system of water conservancy engineering[J]. Water Resources Informatization, 2021(6): 73-76. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 09 - 23 编辑:王培)