

碾压混凝土坝通仓大斜层滚动浇筑技术

倪磊, 张天伟, 何绍波, 朱小敏

(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:为实现大坝快速施工,在 TB 水电工程碾压混凝土大坝施工中创新实施了通仓大斜层滚动浇筑技术。该技术将多个坝段合并为同一浇筑仓,采用端退法快速开仓浇筑,仓面分区管理,浇筑期间可同步备仓,缩短浇筑间歇期,降低砂石及拌和系统供料强度,实现均衡生产,提高月浇筑量。该技术解决了建设工期紧、浇筑强度大、砂石加工及拌和系统产能不足等问题,刷新了碾压混凝土坝的浇筑工期纪录。TB 水电工程大坝混凝土浇筑工期仅 19 个月,浇筑混凝土 225 万 m^3 ,为今后碾压混凝土高坝快速施工提供了成功经验。

关键词:斜层碾压;通仓浇筑;滚动施工;快速上升;TB 水电工程

中图分类号:TV52 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2024)S1-0042-03

Continuous rolling placement technology for large inclined layer of roller compacted concrete dam//NI Lei, ZHANG Tianwei, HE Shaobo, ZHU Xiaomin (Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: To achieve rapid construction of dams, an innovative large inclined layer continuous rolling placement technique was used in the TB Hydropower Project. This technique combines multiple dam sections into a single placement zone and utilizes the end-retreat method for swift opening and placement. The zone is managed in sub-sections, allowing for simultaneous preparation of adjacent zones during placement. This reduces the interval between placements, decreases the intensity of material supply demands on aggregate and mixing systems, ensures balanced production, and increases monthly placement volumes. The technique addresses challenges such as tight construction schedules, high placement intensity, and limited capacity of aggregate processing and mixing systems. It sets a new record for the construction timeline of roller compacted concrete (RCC) dams. The TB Hydropower Project completed its RCC placement in just 19 months, with a total concrete volume of 2.25 million m^3 . This provides valuable experience for the rapid construction of high RCC dams in the future.

Key words: inclined layer compaction; continuous placement; rolling construction; rapid rise; TB Hydropower Project

TB 水电工程为一等大(1)型工程,枢纽建筑物主要由挡水建筑物、泄洪消能建筑物、右岸地下输水发电系统等组成,电站发电装机容量为 1 400 MW,水库库容为 12.15 亿 m^3 。挡水建筑物采用碾压混凝土重力坝,坝顶高程为 1 740 m,坝顶长 475 m,最大坝高为 158 m,混凝土总量为 225 万 m^3 。电站于 2020 年 1 月开工建设,2021 年 10 月截流,2022 年 6 月首仓碾压混凝土开仓浇筑,2023 年 12 月大坝浇筑到顶,2024 年 2 月下闸蓄水,2024 年 6 月首台机组发电,2024 年 12 月全部机组投产发电,总工期 60 个月,其中,大坝混凝土浇筑工期仅 19 个月。

传统斜层碾压施工是将整个仓面钢筋、模板、预埋件等各工序全部施工完,一次性验收通过后,从一端向另一端浇筑,具有降低浇筑强度、减少施工资源

的优点^[1-3]。而 TB 水电工程大坝浇筑工期非常紧张,为实现大坝快速施工,在汲取了光照大坝、黄登大坝、丰满大坝等类型工程的施工经验后,TB 水电工程创新实施了通仓大斜层滚动浇筑技术,将尽可能多的坝段合为一个碾压仓,将整仓分为浇筑区、待浇区、备仓区。浇筑过程中执行全工序动态验收,采用端退法边备仓、边浇筑,实现备仓与浇筑同步进行,以期实现大坝快速施工的目标。

1 工程难点

1.1 工期紧

可行性研究阶段总工期 82 个月,其中施工准备期 28 个月、主体工程工期 42 个月,首台机组发电工期 70 个月。控制工期的关键性施工项目为大坝工

程,次关键性施工项目为地下厂房。

招标阶段总工期 69 个月,其中施工准备期 22 个月,主体工程工期 38 个月,完建期 9 个月,首台机组发电工期 60 个月。2020 年 1 月导流洞开工,2021 年 11 月初截流,2024 年 12 月底第 1 台机组投产发电,2025 年 9 月底最后 1 台机组投产发电。

实施阶段总工期 60 个月。其中施工准备期 22 个月,主体工程工期 32 个月,完建期 6 个月,首台机组发电工期 54 个月。2020 年 1 月导流洞开工,2021 年 10 月底截流,2024 年 6 月底第 1 台机组投产发电,2024 年 12 月底最后 1 台机组投产发电。

相较于可行性研究阶段,总工期优化 22 个月,其中主体工程工期优化 10 个月。相较于招标阶段,总工期优化 9 个月,其中主体工程工期优化 6 个月。工期尤其紧迫,任务异常艰巨。

1.2 坝体结构复杂

坝体设置三层廊道、5 个竖井、4 个溢流表孔、1 个泄洪中孔、1 个生态孔。其中,中孔与 1 号表孔结合布置,且中孔设有 3 扇闸门;生态孔与 4 号表孔结合布置,结构复杂,施工难度大。

1.3 砂石系统产能与工期调整后的需求量不匹配

砂石加工系统设计产能 1 250 t/h,合同月高峰产量仅 37.44 万 t。电站建设工期调整后月高峰强度需求 60 万 t,且砂石系统布置场地狭小,不具备加装设备的条件。

1.4 拌和系统与工期调整后的需求量不匹配

大坝混凝土拌和系统设计产能月高峰产量仅 14.67 万 m³。电站建设工期调整后大坝混凝土月高峰强度达 23 万 m³。

2 大斜层碾压关键工序控制

碾压混凝土坝通仓大斜层滚动浇筑,是将尽量多的具备合并条件的坝段合并为同一个大浇筑仓,采用端退法,将整仓分为浇筑开仓上平段、斜坡段、下平段、备仓段,开仓端备仓完成即可开仓浇筑,其余坝段在开仓端浇筑过程中同步备仓,浇筑的同时继续实施剩余的备仓工作,通过全过程工序验收,实现左右方向边备仓、边浇筑的目的,且高程方向也可边浇筑边翻模、边安装钢筋,实现 9 m 甚至更高升层。整仓收仓后,起浇端下一循环的备仓基本完成,可重新开启新的一个升层浇筑,如此循环施工,形成流水作业,逐层连续上升,从而实现连续滚动浇筑,浇筑时间连续、混凝土入仓强度低、各辅助系统生产均衡、月浇筑量更大,综合效率高,浇筑间歇期仅

2 d,缩短施工工期。

2.1 仓面设计

TB 水电工程大坝以中孔坝段为界分为左、右岸两个碾压仓,最大仓面 12 751 m²,发生在 10~21 号坝段 1 663.9~1 672.9 m 碾压仓。采用通仓大斜层滚动浇筑施工工艺,6 m 或 9 m 升层,仓面分为开仓端平段、斜层碾压区、收仓端平段,平段一般不少于 15 m,斜面坡度不陡于 1 : 12,碾压 2+8 遍(静碾 2 遍、振碾 8 遍),VC 值为 3~5 s,在模板上画好分层线、起坡线及坡脚线。

碾压混凝土收面后未达到强度前采用警示带拦挡,对仓面进行封闭管理,当施工设备需通过仓面时,采用钢板垫路保护,防止对新浇筑混凝土产生扰动。为防止备仓区冲毛用水流入浇筑区,上层备仓区与下层浇筑区之间设挡水坎,并在仓内下游面埋设排污管。

2.2 平仓

平仓机根据卸料区域,从每层上游开仓端依次往斜层推进端平仓,平仓时分条带进行,各条带平仓方向平行于坝轴线,根据坝面宽度,按 15 m 左右一个大条带,垂直水流方向摊铺,碾压紧随其后进行碾压作业,摊铺完一个大条带再重新开始摊铺另一个大条带,这样可实现摊铺与碾压有序、同步作业。斜层碾压每层铺料厚度为 35 cm,在上下游模板上画分层线、在条带边上摆放钢马凳、条带旗,控制条带平顺、层高精准,平仓机按“三刀五平”控制,即推三刀粗平,累计推五刀精平。平仓的平整度决定着碾压仓面的平整度,平仓的精度、结构物边角的到位程度,决定着仓面浇筑的顺畅度、速度、大面平整度。斜层碾压斜坡面上往坡脚方向顺坡平仓,较平层更轻便、省时省力,每上升一层向前推进 3.6 m。平仓过程中局部出现骨料集中的情况由人工均匀分散开。

2.3 碾压

通仓大斜层碾压施工包括开仓端、连接段、收仓端及坡脚碾压施工,碾压方向应平行于坝轴线方向,局部无法平行于坝轴线碾压的地方,采用顺水流方向碾压,但需经现场监理批准后进行作业,斜层碾压压实厚度为 30 cm,碾压 2+8 遍,碾压速度为 1.5~2.0 km/h,碾压条带间的搭接宽度应不小于 20 cm,端头部位的搭接宽度应不小于 100 cm。碾压混凝土的层间允许间隔时间控制在高温季节 5 h,低温季节 6 h 以内。碾压机按照平仓条带宽度配置,TB 大坝工程采用“三推四碾”作业,每台碾压机的负责 2 个 2 m 宽条带碾压,机与机之间隔开一个碾压条带,平

仓结束后配 4 台碾压机同时作业,逐条带碾压,碾压完毕后转至下一个大条带,依此循环。

2.4 坡度控制

斜层碾压坡度不宜陡于 1 : 10, 否则压实度会受影响。TB 大坝工程根据碾压工艺试验,确定了斜层碾压坡度按 1 : 12 控制,碾压遍数与平仓碾压一致,压实度不受影响。

坡度控制包含水平方向控制和竖直方向控制, 竖直方向在模板面上每隔 30 cm 画出分层高度线, 根据斜层坡度 1 : 2 计算可知,水平方向每 3.6 m 在老混凝土面上用红漆标注对应层数界限,通过与已浇筑混凝土高程线及水平面上层数界限相连接,两点成一线来控制斜层坡度。在平仓机上安装激光找平仪,作为辅助控制手段,施工过程采用测角仪检测,经计算,角度为 4.76°时坡度为 1 : 12。

2.5 坡脚处理

斜层碾压会在斜层底部前端形成三角形尖角,碾压机行驶到坡脚位置时,会将尖角前端骨料压碎而影响碾压质量,该部位是质量控制重点,控制不当易形成渗水通道。平仓结束后,采用土工布包裹坡脚保湿,防止坡脚混凝土失水干硬。碾压时,坡脚 50 cm 范围不碾,待下一胚层往前延伸时,先将坡脚 50 cm 用装载机铲除,然后用高压水枪清洗老混凝土基础面,在混凝土基础面上摊铺砂浆后,铺筑 35 cm 厚碾压混凝土,通过碾压使新延伸的混凝土与已碾压完成的混凝土充分融合、密实。

2.6 成品保护

通仓大斜层滚动浇筑间歇期仅 2 d,TB 大坝工程入仓通道布置在坝体左岸,当从右岸往左岸浇筑时,最新的收仓面在左岸端,车辆、人员需从新收仓的混凝土面行驶至右端,会对新浇筑混凝土产生扰动破坏,影响混凝土的质量。为此,已收面完成未达到强度区域采用警戒线进行围挡封闭,运输车辆及施工人员不得随意穿行。为解决必要的交通需求,在新收仓面上铺设不小于 10 mm 厚的钢板对收仓区进行覆盖保护,人员通道也设置钢跳板通行,避免仓面被踩踏。

2.7 防雨防晒

TB 水电工程坝址区干热河谷明显,实测年平均降水量为 792.1 mm,年蒸发量为 955.7 mm(E601 型蒸发皿),年最大风速为 10 m/s,太阳辐射强。高温时段施工需对已碾压完成的区域(特别是上游防渗区)进行遮阳、保水覆盖,摊铺及碾压过程中采用固定式大功率喷雾机、移动式雾炮车进行喷雾,营造仓

面小气候。遇下雨时,对已摊铺的部分进行快速碾压封闭后,迅速实施防雨布覆盖。斜层碾压因浇筑面积较平层碾压更小,覆盖易操作,高效便捷、遮阳及防雨效果更好;且斜层碾压坡面覆盖防雨布后,雨水可快速排尽,减少对混凝土的浸泡及冲刷,优势明显。

2.8 智能碾压

TB 水电工程全过程应用了智能碾压,通过全球导航卫星系统和北斗卫星导航系统等先进技术,对平仓机和碾压机的作业状况进行实时监控,层间覆盖时间控制精度达到分钟级,碾压遍数、轨迹、厚度等定位达到厘米级。实现了大坝碾压混凝土热升层、轨迹、遍数、速度、层厚、压实度、振动力等全过程数据采集、传输、反馈、分析及决策等流程的在线智能管控。全坝施工完成后统计,层间覆盖时间合格率为 99.1%,摊铺厚度合格率为 98.5%,碾压遍数合格率为 99.2%,压实度合格率为 100%。

3 应用成效

在 15 号坝段利用 1 693.8~1 699 m 备仓间隙期取出直径为 250 mm、长度为 26.5 m 的混凝土芯样,芯样骨料分布均匀,层间结合紧密,结构完整。2023 年全坝整体上升 126 m,年初浇筑至 1 614 m 高程,年底浇筑至 1 740 m 坝顶高程。大坝全线单月上升 15 m,单仓最大升层 18 m,7~10 号坝段 1 645~1 663 m 持续翻升浇筑。连续 5 个月平均每月升层高度达 14 m。大坝碾压混凝土浇筑总用时 19 个月,总浇筑量 223 万 m³。2021 年底大江截流,2022 年 6 月底开始浇筑碾压混凝土,2023 年 12 月底浇筑至坝顶。

通过在 TB 水电工程大坝施工中创新实施通仓大斜层滚动浇筑碾压混凝土大坝施工技术,成功实施了 9 m 升层、单仓 18 m 升层碾压混凝土浇筑;实现了“仓外预组装+仓内拼装”19 d 快速跨廊道层施工;编制了斜层碾压混凝土施工工法;开创了“双仓总”制管理制度,即备仓仓面总指挥、浇筑仓面总指挥负责制;总结印发了《碾压混凝土工艺提升 35 条(应知应会)》《混凝土备仓及浇筑质量控制简明指导书》口袋书,并在监理单位、施工单位项目部及作业班组间全覆盖宣贯、交底;施工过程中监督、落实了“三刀五平”平仓工艺、“三推四碾”条带作业工艺;加强了“固化工艺、固化流程、固化班组、固化工器具”管理,提升了管理水平。

(下转第 96 页)

提交的资料报审文件 3 646 份,完工分部工程的质量验评表单及相关资料 4 208 份,以及 12 种原材料的试验检测报告 4 270 份,基本实现了此三类业务资料的单套制管理。该系统运用技术手段解决了水电站建设施工过程中电子档案单套制管理面临的文件法律效应问题、业务资料重复采集等问题,彻底解决了工程档案管理中长期存在的双套制/双轨制问题,真正意义上实现了单套单轨电子档案管理模式,显著地提升了工程档案管理的效率,降低了管理成本,并在一定程度上推动了水电站工程建设档案管理方式的变革。

3 结 语

相较于传统的纸质档案,电子档案具有高密度、易传递、易查找以及多媒体等显著优势,这些优势是纸质档案难以企及的。电子档案能够更为丰富且精准地反映社会生活的真实面貌,从而更好地发挥档案的价值与作用,成为连接过去、现在与未来的纽带。该系统在水利水电行业建设项目中,以质量验评、试验检测、工程收发文三个业务方向为切入点,开展了电子档案单套制管理的探索与应用,在档案管理信息化和改革中取得了显著的进步,也为同行业内其他建设工程提供了宝贵的示范,推动了整个行业档案管理水平的提升。

参考文献:

[1] 国家档案局. 电子档案单套管理一般要求: DA/T 92—2022[S].
[2] 国家档案局. 文书类电子档案检测一般要求: DA/T 70—2018[S].

(收稿日期: 2024 - 09 - 20 编辑: 雷燕)

(上接第 44 页)

4 结 语

TB 水电工程大坝采取通仓大斜层滚动浇筑技术,使碾压混凝土浇筑形成流水作业,浇筑间歇期仅 2 d,可持续、均衡浇筑;大大节省了施工时间,提高了施工效率;减小混凝土入仓强度,优化资源配置;有效缩小仓面面积,缩短层间覆盖时间,有利于提升层间结合质量;雨季施工有利于排水。大坝建设质量优良、快速高效。无论是从建设工期,还是从施工质量来说都是可行的。该技术经济和社会效益显

著,节能、环保效益明显,推广应用价值广阔。

参考文献:

[1] 马洪琪,钟登华,张宗亮,等. 重大水利水电工程施工实时控制关键技术及其工程应用[J]. 中国工程科学, 2011, 13 (12): 20-27. (MA Hongqi, ZHONG Denghua, ZHANG Zongliang, et al. Key technologies of real-time construction control for major hydraulic and hydroelectric projects[J]. Strategic Study of CAE, 2011, 13 (12): 20-27. (in Chinese))
[2] 樊启祥,洪文浩,汪志林,等. 溪洛渡特高拱坝建设项目管理模式创新与实践[J]. 水力发电学报, 2012, 31 (6): 288-293. (FAN Qixiang, HONG Wenhao, WANG Zhilin, et al. Innovation and application of construction management strategy for Xiluodu superhigh arch dam[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31 (6): 288-293. (in Chinese))
[3] 郝文旭,雷绍华,王彦宏. 金安桥 RCC 大坝斜层碾压混凝土施工工艺研究[J]. 四川水力发电, 2009 (4): 91-92. (HAO Wenxu, LEI Shaohua, WANG Yanhong. Research on construction technology of inclined layer roller compacted concrete dam at Jin' anqiao[J]. Sichuan Water Power, 2009 (4): 91-92. (in Chinese))

(收稿日期: 2024 - 09 - 24 编辑: 俞云利)

(上接第 93 页)

[5] 刘旭刚,杨晓辉. 洪屏抽水蓄能电站引水竖井开挖施工技术[J]. 水力发电, 2016, 42 (8): 48-51. (LIU Xugang, YANG Xiaohui. Construction technology of water diversion shaft excavation in Hongping Pumped-storage Power Station[J]. Water Power, 2016, 42 (8): 48-51. (in Chinese))
[6] 朱俊杰,李晓阳,王军,等. 白莲河抽水蓄能电站竖井开挖施工[J]. 水利水电技术, 2008, 39 (12): 64-66. (ZHU Junjie, LI Xiaoyang, WANG Jun, et al. Excavation of shaft for Bailianhe Pumped Storage Hydropower Station [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2008, 39 (12): 64-66. (in Chinese))
[7] 董少正,齐界夷. 乌东德水电站大型竖井快速安全开挖技术研究与应[J]. 施工技术, 2017, 46 (14): 100-103. (DONG Shaozheng, QI Jieyi. Research and application of fast and safe excavation technology for Wudongde Hydropower Station Large-scale Shaft [J]. Construction Technology, 2017, 46 (14): 100-103. (in Chinese))

(收稿日期: 2024 - 09 - 20 编辑: 雷燕)