

叶巴滩水电站高拱坝冬季施工技术的研究与应用

丁 钇, 欧作飞, 张文博

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:叶巴滩水电站地处青藏高原与川西北高原交接处,其地势高亢,气候寒冷且干燥,多大风且日照时间长,具有长冬无夏、短春秋的特点,属于国内外较为典型的高寒高海拔超长低温期大型水力发电工程。阐述了通过采取全天候连续施工、薄层短间歇施工、气肋膜三种施工技术,实现了大坝混凝土连续、高效、高质量的浇筑施工过程,混凝土外观检查未发现裂缝,温度指标满足设计要求。

关键词:叶巴滩水电站;高寒高海拔;薄层短间歇;气肋膜

中图分类号:TV7;TV52;TV521

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)05-0107-03

Research and Application of Winter Construction Technology of High Arch Dam Yebatan Hydropower Project

DING Yi, OU Zuofei, ZHANG Wenbo

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

Abstract: The Yebatan Hydropower Project is located at the junction of the Qinghai Tibet Plateau and the Northwest Sichuan Plateau, with high terrain, cold and dry climate, frequent winds, and long sunshine. It has the characteristics of long winter, no summer, and short spring and autumn. It is a typical large-scale water conservancy and power generation project at high cold, high altitude, and ultra-long and low temperature periods both domestically and internationally. By adopting three construction methods: continuous construction throughout the day, thin-layer short-interval construction, and air-ribbed membrane construction, the dam concrete has been continuously, efficiently, and has effectively constructed high quality pouring construction, no cracks found during concrete appearance inspection, and temperature indicators meet design requirements.

Key words: Yebatan Hydropower Project; High cold and high altitude; Thin-layer short-interval; Air-ribbed membrane

1 概述

叶巴滩水电站位于四川与西藏的界河——金沙江上游河段,总装机容量为 2 240 MW,大坝为双曲混凝土拱坝^[1],坝顶高程为 2 894.00 m,坝基高程为 2 677.00 m,最大坝高 217.00 m,坝顶厚 11.00 m,坝底厚 46.50 m,混凝土工程量约为 251 万 m³,共设 26 条横缝,将大坝分为 27 个坝段,每条横缝间距约为 21.45 m。该拱坝不设纵缝,坝身布置有 5 个泄洪表孔、4 个泄洪深孔和 2 个导流底孔。

叶巴滩水电站高拱坝混凝土施工过程中面临高海拔、昼夜温差大、气候严寒且干燥、大风影响时间长、工期紧张、超长低温季节连续施工^[2]等难

题;而且大坝混凝土采用的是中热水泥,设计要求其约束区的混凝土最高温度不超过 24℃,自由区混凝土的最高温度不应超过 26℃,温控指标要求严格。针对以上问题,项目部开展了叶巴滩水电站高拱坝冬季施工技术的研究。

2 冬季连续施工技术研究

2.1 全天候连续施工

项目部根据该工程的实际情况,决定在最低气温高于-3℃时采用全天连续浇筑混凝土的方式施工。根据《金沙江叶巴滩水电站拱坝混凝土温控施工技术要求(B版)》,应将河床坝段与陡坡坝段的基础约束区升层高度控制在 3 m 以内,混凝土由左岸高线混凝土拌和系统提供,正温生产常态混凝土,负温生产预热混凝土,采用自卸汽车

收稿日期:2024-06-26

水平运输至卸料平台卸料至 9 m^3 天方地圆吊罐,由 30 t 平移式缆机吊运至仓号内采取条带法浇筑,浇筑坏层的厚度为 50 cm ,并将坏层的覆盖时间控制在 4 h ,仓内大面采用SD13S型平仓机和8棒液压振捣台车进行平仓振捣。对于廊道及模板周边 50 cm 范围无法采用大型平仓振捣设备的区域由人工使用 $\Phi 100$ 或 $\Phi 130$ 手持式振捣器振捣;对于结构狭窄位置,采用 $\Phi 70$ 手持式振捣器振捣,浇筑完成后立即覆盖一层塑料薄膜保湿和 5 cm 厚保温被保温^[3]。

2.2 薄层短间歇施工

当冬季最低气温低于 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,按照一次立模、浇筑升层按 $1.5\text{ m}/2.5\text{ m}$ 的原则从早上9点开始揭保温被、洗仓,10点钟开始入仓,采用 $3\sim 4$ 台缆机在指定位置下料,每台缆机配备1台平仓机和1台振捣台车进行快速平仓振捣作业;对于钢筋 1 m 范围内由人工采用振捣棒进行振捣作业用以提高混凝土的浇筑强度,23点左右收仓。在气温降至 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 前,覆盖一层塑料薄膜保湿和两层 5 cm 厚内装聚乙稀卷材的保温被保温。

2.3 气肋膜施工

在最低气温低于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且低温时段跨度较长时采用气肋膜浇筑。该工程上坝采用的气肋膜暖棚属连续气肋式充气膜结构,气肋膜暖棚包括气肋膜、外封闭保温膜、供风系统、通风、加热、加湿系统及钢结构支撑结构等。

采用在仓内预埋H型钢和桁架梁的形式形成气肋膜的固定基础,其中H型钢柱间距为 $5\sim 6\text{ m}$ 、沿四周大坝模板设置,其高度按照高于单仓混凝土顶面 3 m 控制,H型钢柱随着大坝坝身混凝土浇筑永久埋入混凝土内,桁架梁通过螺栓连接的方式与H型钢柱顶有效固定,开设3个长 \times 宽为 $9\text{ m}\times 6\text{ m}$ 的天窗(顶部下料口)以保证平仓机、振捣台车、反铲及吊罐等设备吊运空间的需求。在气肋膜内的四个角和长边的中点各布置一台暖风机和一台喷雾机,用于动态补充膜内的温度和湿度,保证仓面小气候环境温度不低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、湿度有利于混凝土的养护条件。气肋膜基础与大坝混凝土大模板之间的空隙通过外封闭保温膜封闭覆盖以确保膜内空间相对封闭。浇筑过程中应及时在已完成的坏层混凝土面覆盖一层塑料薄膜进行封闭保湿,防止因棚内暖风机带走大量水分

而导致混凝土出现开裂。

3 冬季连续施工辅助保温技术研究

3.1 高线混凝土拌和系统的保温措施

(1)料堆封闭保温。对于二次筛分、一次风冷料仓、胶带机、拌和楼等部位,为骨料设置了防雨棚以减少雨雪恶劣天气的影响,并起到了一定的保温作用。在廊道口设置保温帘,廊道内设置暖气片,暖气片运行时及时采用保温布帘封闭廊道口形成密闭的空间以提高保温的效果。

(2)加热拌和用水。根据热蒸汽原理,将水汽转换器直接伸入水箱进行加热,在水箱内均匀布置了2个水汽转换器,在水箱中心悬挂温度计用于测量适时水温,通过开启蒸汽阀门和进水阀门的大小调整水的温度以满足设计要求,不间断的加热供水以满足热水的均衡供应。

对于供水管道及水箱、热水及蒸汽管道设置了玻璃岩棉管套隔热设施。

(3)外加剂的加热。采用液态外加剂,其溶液随用随配制。外加剂水池的进水为 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水,将锅炉房内加热水箱的水温设置为 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、自动温控装置,水温自动加热,在外加剂池内设置盘管,使 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水循环在盘管内,以保证外加剂溶液的温度稳定。

(4)骨料保温。在骨料竖井上、下廊道的两端设置保温帘进行覆盖;在一次风冷料仓和二次筛分处设置保温棉被或草帘子进行覆盖;在一次风冷料仓设置蒸汽管道加蒸汽进行骨料的解冻并将其升温至 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 混凝土运输及大模板的保温

混凝土的水平运输主要采用 25 t 自卸汽车运输至卸料平台,垂直运输主要采用 9 m^3 天方地圆吊罐。对自卸汽车的箱板四周包裹 5 cm 厚的橡塑海绵进行保温,车厢顶部设置自动化帆布遮盖以减少运输途中混凝土温度的回落,保温被采用 14 号铅丝与箱板固定,对于局部保温被不够宽幅的应予以搭接,其搭接宽度不小于 10 cm ,亦采用 14 号铅丝固定,以确保混凝土入仓温度不低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。卸料完成后,将帆布拉盖封闭。在运输过程中,应尽量缩短运输时间,提前规划运输道路,不得随意停车,施工现场无压车现象,以减少混凝土在运输过程中的热量损失^[4]。

混凝土的垂直运输主要采用平移式缆机吊

运天方地圆吊罐入仓,吊罐外侧喷 5 cm 厚聚氨酯保温。

为了减小外界气温对混凝土质量的影响,在大模板外壁喷涂 5 cm 厚的聚氨酯保温材料对刚浇筑、未拆模的混凝土进行保温。

3.3 仓面动态保温

混凝土运至浇筑仓号后,采取快铺料、快振捣、及时覆盖的快速施工方法以缩短混凝土在低温环境下的暴露时间。混凝土从出料到振捣完毕的时间应控制在 1 h 之内,混凝土振捣完毕应及时覆盖 5 cm 厚的保温被以减少混凝土温度回落。当最低气温 $\geq -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,覆盖 5 cm 厚的保温被保温^[5],保温被的搭接宽度应不小于 10 cm。最低温度低于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,覆盖 2 层 5 cm 厚的保温被保温。保温被覆盖在混凝土表面至进行下一层混凝土施工前。

3.4 收仓后的保温

(1)收仓表面的保温。每仓混凝土浇筑完毕、收仓后立即覆盖一层塑料薄膜进行保湿,其上再覆盖 2 层 5 cm 厚的保温被保温。混凝土强度满足设计要求后,在白天的 12 点以后、下午 18 点以前日照较好时段揭开保温被采用冲毛枪进行冲毛施工,冲毛完成后恢复塑料薄膜+保温被直到下一仓混凝土施工前。当浇筑层面(仓面)在冬季可能出现长间歇或遭遇气温骤降时,层面上的保温被应加厚到 15 cm。

(2)横缝面的保温措施。拱坝横缝面拆模后应立即覆盖 2 层 5 cm 厚的聚乙烯卷材进行保温,保温材料应紧贴被保护面,采用木板、肋条、保温钉等措施压紧压实,聚乙烯卷材与坝体横缝间不得出现空隙、鼓包现象。横缝面的保温在拆模后立即实施,并保温至横缝面另一侧坝段混凝土浇筑前方能逐步拆除。

(3)对孔洞口实施封闭遮挡保温。冬季施工期间,对于孔洞口(排水廊道、基础廊道、集水井、电梯井)采取保温被进行封闭遮挡保护的方式,以防止对穿风影响混凝土的浇筑质量。

(4)拱坝上下游面等永久暴露面的保温。对于拱坝上、下游坝面高程 2 677.00~2 730.00 m 范围区域的永久保温材料主要使用聚氨酯材料,其喷涂厚度为 5 cm。拆模后对混凝土表面缺陷(气泡、定位锥孔封堵、错台、漏浆、挂帘等)处理完成并经监理工程师验收合格后再按照设计技术要

求进行保温作业。

3.5 电暖风机和油暖风机的作用范围试验

为了验证暖风机制热作用范围,现场采用电暖风机和油暖风机进行了两种试验。

(1)使用电暖风机取得的效果。现场对电暖风机的作业范围进行了试验检测,垂直方向每隔 0.5 m 对距离混凝土面 0.5、1.0、1.5、2.0 m 高度的点进行测温。试验得出电暖风机的作用范围在水平正前方 6 m 范围内和垂直方向距离混凝土面 2 m 范围内有效。相比较而言,正前方 0.5~3 m 范围和距混凝土面 0.5~1 m 范围的升温效果最佳,其较环境温度平均高出 14.5 $^{\circ}\text{C}$;正前方 3~5 m 范围内升温效果一般,其较环境温度平均高出 8.0 $^{\circ}\text{C}$;正前方 5~6 m 范围内局部升温效果较差,较环境温度平均高出 1.7 $^{\circ}\text{C}$;正前方 6.5 m 以外所测温度基本与环境温度一致。电暖风机正上方和侧前方升温效果差,所测温度基本与环境温度一致。

(2)使用油暖风机取得的效果。现场对油暖风机的作业范围进行了试验检测,采用每隔 0.5 m 对距混凝土面 0.5、1.0、1.5、2.0 m 高度的点进行测温。油暖风机的作用范围在水平正前方 4 m 范围内和垂直方向距离混凝土面 2 m 范围内有效。相比较而言,正前方 0.5~3 m 范围和距离混凝土面 0.5~1.5 m 范围的升温效果最佳,其较环境温度平均高出 15.9 $^{\circ}\text{C}$;正前方 3~4 m 范围内升温效果较差,其较环境温度平均高出 1.8 $^{\circ}\text{C}$;正前方 4.5 m 以外所测温度基本与环境温度一致。油暖风机侧前方(20 $^{\circ}$)范围有一定的升温效果,侧前方 0.5~2 m 范围较环境温度平均高出 2.78 $^{\circ}\text{C}$,2 m 以外的温度基本与环境温度一致。

(3)使用暖风机取得的效果评价。电暖风机的作用范围在水平正前 6 m 和垂直方向距离混凝土面 2 m 范围内;油暖风机的作用范围在水平正前 4 m 和垂直方向距离混凝土面 2 m 范围内。故电暖风机比油暖风机的供热覆盖范围更广,增热效果更好,供风更稳定。

4 结 语

叶巴滩水电站冬季施工通过采用全天候连续施工、薄层短间歇施工及气肋膜施工三种方法实

(下转第 112 页)

至闸顶固定,同时做好安全绳的保护,防止安全绳与混凝土之间摩擦造成安全绳损坏。

(3)拆架时在影响范围外设置安全警示牌并拉设警戒线,非作业人员禁止入内;避免上下交叉作业,防止高空坠物砸伤下部施工的作业人员。

(4)当有六级或六级以上大风和雾、雨雪天气时,应停止支架的拆除作业。

4 结 语

面对闸室高达 80 m、机械无法直接吊装的情况,通过设置挂钩,安全地完成了牛腿支承体系的拆除任务,其费用低廉,简单、易操作,所取得的经验可供类似工程借鉴。

(上接第 61 页)

工程建设的质量和效率,降低了安全风险。该坝料超长距离运输管理模式具有管理方便、投资合理等诸多优点,可在类似山区超长距离运输中推广运用。

参考文献:

[1] 程文磊,杨庆,昌子多.燕尾型挑坎在李家岩水库溢洪道中的应用[J].水利水电技术,2018,49(4):63-69.

[2] 沈印,高绪,李光林,等.基于物联网的病死猪无害化处理山区运输监控系统设计[J].农业工程学报,2019,35(9):165-174.

[3] 杨曼,党倩,万剑.道路运输重点车辆监管系统设计[J].时代汽车,2022,19(6):184-185.

(上接第 109 页)

现了大坝冬季混凝土连续不间断浇筑,对混凝土实施外观检查未发现裂缝。所实施的混凝土自卸车、料罐保温措施有效地减少了运输过程中的温度回升与回落;仓内动态保温及收仓后的保温措施保证了浇筑温度满足设计要求。大坝混凝土的最高温度基本符合设计要求(不超过 24 ℃)。冬季连续施工是保障叶巴滩水电站 2025 年首批机组发电目标的重要措施,亦为国内外同类工程冬季混凝土连续施工积累了宝贵经验。

参考文献:

[1] 吴俊丽,米元桃.叶巴滩水电站边坡开挖快速施工技术研究[J].四川水力发电,2021,40(1):48-52.

[2] 王哲.高寒地区碾压混凝土大坝冬季保温措施[J].西部探

参考文献:

[1] 钢结构设计标准:GB 50017-2017[S].

[2] 张强,刘军,汪宇雄.防甩击悬挑混凝土牛腿施工技术[J].施工技术,2022,51(14):51-55.

[3] 建筑结构荷载规范:GB 50009-2012[S].

[4] 姬宏.水电水利工程土建施工安全技术规程:DL/T 5371-2007[S].

[5] 郑霞忠.水电水利工程施工作业人员安全技术操作规程:DL/T 5373-2007[S].

作者简介:

何 潇(1999-),男,四川广元人,助理工程师,硕士,从事建设工程项目施工技术与管理工
黄艳梅(1979-),女,四川仁寿人,副高级工程师,从事市政、水电、建筑工程施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)

[4] 刘兴科,张之孔.“北斗一号”车辆监控管理系统的设计[J].测绘与空间地理信息,2012,35(6):15-18.

[5] 曾拓程,王佳俊,王晓玲,等.大场景视频监控下大坝运输车改进多目标多视觉卸料识别模型研究[J].水利学报,2023,54(5):519-529,540.

作者简介:

张珍贵(1975-),男,四川峨边人,项目安全总监,工程师,从事水利水电、市政与铁路工程建设施工技术与安全管理工作;
涂世鹏(2000-),男,四川宜宾人,技术员,从事水利水电工程建设施工技术与管理工作;
金南楠(1997-),男,云南临沧人,助理工程师,学士,从事水利工程建设施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)

矿工程,2011,23(4):178,181.

[3] 吉盛,杨杰.高寒地区冬季混凝土施工保温措施的实施和优化[J].科技信息,2012,29(9):337-338,496.

[4] 程建业.高寒地区混凝土冬季施工技术[J].居业,2015,23(8):54-55.

[5] 柴茂林.高原高寒地区混凝土冬季施工技术分析与研究[J].科技创新与应用,2020,10(7):154-155,157.

作者简介:

丁 钊(1996-),男,陕西商洛人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
欧作飞(1996-),男,云南昭通人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
张文博(1998-),男,陕西延安人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)