

通仓大斜层铺筑法在 TB 水电工程中的运用

肖 镍¹, 赵银超¹, 安 辉¹, 吴都督¹, 倪 磊²

(1. 中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙 410004;
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:针对传统的大仓面平层铺筑工艺存在层间间隔时间超时, 需要将大仓面分割成多个小仓面进行施工, 造成备仓资源浪费的问题, 结合 TB 水电工程分仓结构、气候特点及入仓强度等, 采用通仓大斜层铺筑法实现长时间连续浇筑, 使之不受降雨影响, 最大限度地提高了设备利用率, 保证了层间结合质量。

关键词:碾压混凝土; 通仓大斜层浇筑; 循环作业; TB 水电工程

中图分类号: **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2024)S1-0120-05

Application of paving method of large inclined layer through the warehouse in TB Hydropower Project//XIAO Nie¹, ZHAO Yinchao¹, AN Hui¹, WU Dudu¹, NI Lei²(1. Sinohydro Engineering Bureau 8 Co., Ltd., Changsha 410004, China; 2. Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: In view of the fact that the traditional large warehouse surface flat layer paving process has the inter-layer interval time overtime, and the large warehouse surface needs to be divided into multiple small warehouse surfaces for construction, resulting in the waste of warehouse resources, combined with the sub-warehouse structure, climatic characteristics and warehouse intensity of TB Hydropower Project, the large inclined layer paving method is used to achieve long-term continuous pouring, so that it is not affected by rainfall, which maximizes the utilization rate of the equipment and ensures the quality of the interlayer combination.

Key words: roller compacted concrete; paving method of large inclined layer through the warehouse; recurring jobs; TB hydropower Project

在当今的新兴坝型中, 碾压混凝土重力坝具有节省投资、缩短工期、绿色环保、节能减排等显著优势^[1]。大型水电站碾压混凝土施工工程量大、内容多、强度高、难度大、质量难以控制、信息量巨大^[2], 多采用平层浇筑法施工。但是遇到较大仓面时, 受层间间隔时间的限制, 传统的解决方法是人为将较大仓面划分为几个与施工资源相符的小仓面, 这必然造成施工资源(主要是机械设备)不能连续运行, 并增加模板、封仓等工作量。为了解决这一问题, 将碾压混凝土平层铺筑改为斜层铺筑(简称“斜层铺筑法”)^[3], 即类似常态混凝土台阶法, 采用斜层推进来适应大仓面施工, 在不加大施工资源投入的情况下适应大仓面覆盖强度要求。采用通仓大斜层铺筑法浇筑混凝土是目前碾压混凝土浇筑的一个总体趋势, 特别是在天气较为炎热的地方及仓面较大的工程中。

1 工程概况

TB 水电工程是澜沧江干流上游河段规划的第

四个梯级电站。TB 水电工程属于一等大(1)型工程, 挡水建筑物采用碾压混凝土重力坝, 坝顶高程 1740 m、全长 475 m, 最大坝高 158 m, 大坝混凝土总量 217 万 m³。TB 水电工程大坝施工工期紧, 夏季气温高, 太阳辐射强, 雨季多暴雨, 温控难度大。2023 年 4—10 月为碾压混凝土施工高峰期, 且为高温季节和雨季施工, 平层铺筑无法满足覆盖时间和温控的要求。通过采用通仓大斜层铺筑施工方法, 减小了混凝土外界热量的倒灌和温控混凝土温度的损失, 保证了雨季连续施工, 满足层间覆盖时间的要求, 保证了混凝土结合质量。

2 施工技术

2.1 原理

通仓大斜层铺筑法施工, 包括开仓端、连接段、收仓端, 开仓端 4 个坝段施工, 备仓完成便可开仓浇筑, 其余坝段在开仓端浇筑时继续进行模板、钢筋、

止水等备仓工作并进行验仓。结合拌和楼来料情况和其他仓面浇筑混凝土方量,通过改变坡比和起始、末端长度而动态调整碾压混凝土浇筑层面面积。斜层利于仓面排水,中小雨时也可继续施工,不仅实现了高强度、连续施工,缩短了混凝土层间间隔时间,同时提高了碾压混凝土层间结合质量,且温度控制得到保障。

2.2 施工方法

2.2.1 施工准备工作

施工前对开仓端模板、钢筋、预埋件等按照设计图纸进行安装,在仓面划线控制斜层升层高度,见图1。斜层坡度控制包含水平方向控制和竖直方向控制,竖直方向在模板上每隔30 cm画出分层高度线。根据斜层坡度1:12计算,水平方向上每3.6 m在水平混凝土面上用红油漆标注对应层数界限。

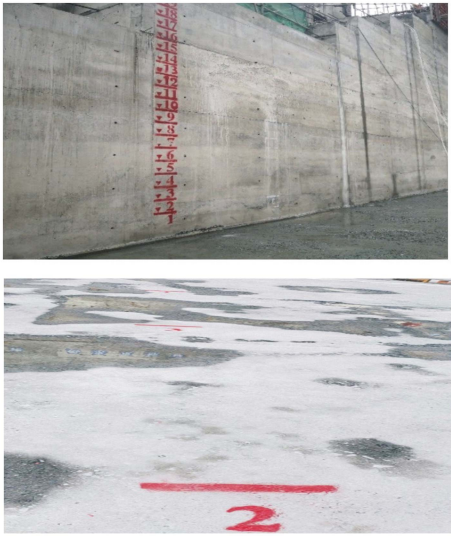


图1 仓面划线控制坡度

2.2.2 斜层碾压施工

碾压混凝土采用斜层平推铺筑法施工,斜层施工包含平层段和连接段,连接段的斜面坡度为

1:12,平层段指斜面起始端头、末尾收仓部位,二者均需8~15 m的施工平台。斜层碾压按照6 m/9 m连续升层,采用9 m升层时需要编制专项方案。与3 m斜层相比,6 m/9 m斜层上升减少了层间间歇次数,进一步加快了施工进度。模板施工期为备仓阶段的关键工期,采用3 m×3 m悬臂翻升模板,3 m斜层升层为一块模板高度,且备仓工作量小,可一次立模完成,收仓端完成后,整仓进行备仓,无法完成循环流水作业施工。6 m/9 m斜层上升施工过程中每收仓一个坝段便可开始该坝段冲毛、模板翻升、钢筋加高、止水施工等备仓工作,待本仓收仓端浇筑完成时,下一仓面的开仓端备仓工作已完成,便可对下一仓进行开仓浇筑,同时对上一仓连接段及收仓端进行备仓并在过程中申请验仓,如此往复,形成流水作业,逐层连续上升。备仓高程中为防止备仓区冲仓、冲毛用水流入浇筑区,上层备仓区与下层浇筑区之间埋设钢管或型钢作挡坎。

以10~20号坝段高程1663.9~1672.9 m典型碾压混凝土通仓大斜层为例来介绍斜层施工过程和工艺。升层高度9 m,最大仓面面积12 751 m²,采用斜层铺筑法施工,斜层最大仓面面积为7 098 m²,浇筑总历时324 h,开仓端备仓完成4个坝段可开仓浇筑,其余坝段同步备仓,开仓端历时110 h靠右岸3个坝段到顶,12~18 h可冲毛后进入扎筋、立模施工;第六天混凝土强度达标后便可开始开仓端(10、11号坝段)坝段备仓工作,将入仓道路布置于左岸,在已收仓坝段设置警戒线及通道,施工人员不得随意行走。可于正在浇筑仓面或浇筑完成仓面设置人员和设备通行通道,对已浇筑混凝土进行防扰动处理。

斜层碾压分层见图2,连接段碾压施工见图3。

a. 铺设砂浆。开浇前先在开仓端老混凝土层面(冷升层)按18 m分区依次铺设一层比混凝土高一等级的砂浆,并人工摊铺均匀,砂浆厚度一般为

10~20号坝段斜层碾压混凝土松铺线断面图

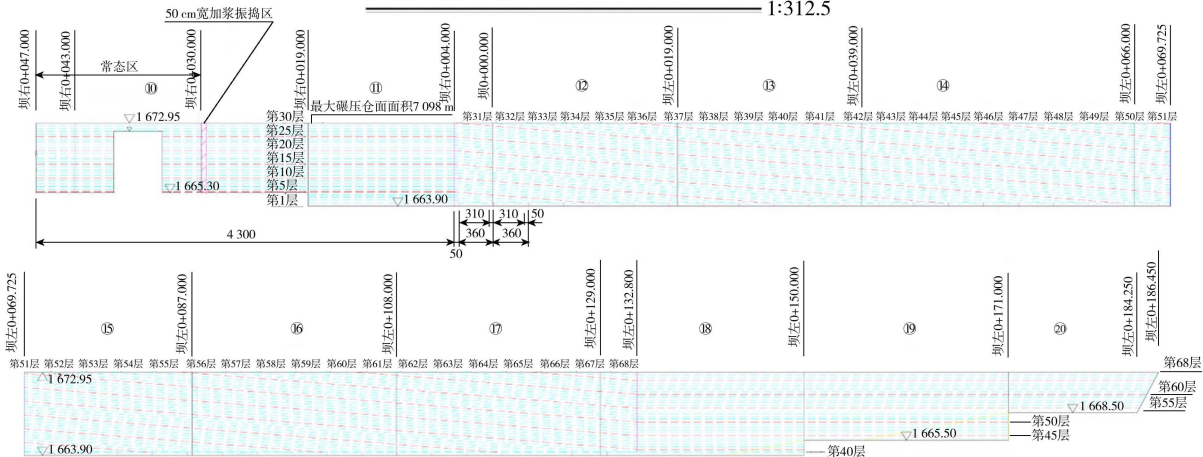


图2 斜层碾压分层图(单位:m)



图3 斜层碾压端头处理

1.5~2.0 cm, 砂浆铺设时控制铺设宽度, 结合仓面大小和入仓强度铺设砂浆, 砂浆铺设完成后在15 min 内覆盖碾压混凝土。斜层向前推进时, 在老混凝土面上也需铺设一层砂浆, 用白色土工布作为分界线, 防止浆液渗漏而污染下一仓面, 每上升一层依次向前推进3.6 m。

b. 卸料。上下游方向按18 m 一个大条带分区, 先进行每层开仓端上游的卸料, 依次往斜坡面卸料摊铺, 水平开仓端卸料由上游向下游推进, 斜坡段卸料从高处向低处推进, 卸料时分多点卸料, 以降低堆料高度, 堆料高度不超过1 m, 减少骨料分离。在斜层坡脚上设置一道白色土工布和条带标识杆, 每上升一层水平方向依次移动3.6 m, 仓面设置一个缺口供车辆进出卸料。

c. 平仓。斜层碾压仓面面积适中, 可在高温时段快速平仓覆盖。平仓机根据卸料区域, 从每层上游开仓端依次往斜层端平仓, 平仓时分条带进行, 首先从上游往下游方向进行平仓, 各条带平仓方向平行于坝轴线。斜层碾压每层铺料厚度35 cm, 平仓机在料层上连续作业, 做到“正推三、反刮一、尽量一刀平”, 平仓的平整度决定碾压的平整度, 摊铺时局部不平的部位用人工辅助铺平, 平仓过程出现在两侧集中的骨料由人工均匀地分散于条带砂浆较密集处。

d. 碾压。分区域平仓完成后快速碾压封闭, 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。斜层碾压压实厚度为30 cm, 碾压遍数为“2+8”遍, 碾压速度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。每台碾压机所负责的6 m 区域碾压完毕并确认无漏碾部位后, 转至下一区域进行碾压作业。

e. 坡脚处理及水平垫层施工。采用斜层碾压时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。对入仓道路前端压碎骨料混凝土采用小挖机铲除, 需铲除水平长度1.2 m。在不作为入仓路口

段铺料时缩短坡脚铺料长度, 坡脚处形成5 cm 高差, 在有高差部位碾压时会造成前端骨料往前挤压, 处于松散或压碎状态, 清除时需将水平方向0.5 m 长碾压混凝土清除。因此, 采取在斜层底部预铺水平过渡层的办法, 即碾压混凝土斜层坡脚铺设时, 首先对上层斜层碾压的坡脚高4~5 cm、长50 cm 左右的混凝土采用人工配合小挖机进行挖除, 然后用高压水枪清洗老混凝土面, 将原坡脚处白色土工布迁移至下一层坡脚3.6 m 位置, 在老混凝土面上人工摊铺砂浆, 砂浆上摊铺35 cm 厚碾压混凝土形成水平垫层, 水平垫层的宽度超出坡脚前缘30~50 cm, 先平行水流方向将水平垫层碾压混凝土碾压完毕, 上层斜层碾压料铺料至水平垫层末端, 水平垫层再垂直水流方向并同上层斜面一起碾压(图3)。碾压完毕后将端头白色土工布翻起将端头覆盖, 高温季节加强裹头部位喷雾保湿, 避免裹头失水发白。

f. 冷却水管铺设。斜层循环作业过程中冷却水管铺设是制约混凝土摊铺、碾压的关键工序, 碾压施工存在干扰。为避免斜层冷却水管安装时间过长、工作量大等问题, 采用分坝段错层铺设, 相邻坝段上下高程间隔30 cm 在不同坯层布置冷却水管, 见图4。为避免冷却水管铺设影响碾压混凝土卸料, 同一坝段分上下游条带铺设冷却水管, 上游铺设冷却水管时, 该区域的碾压混凝土从旁边未铺冷却水管层但已卸料平仓的混凝土面上进料, 冷却水管铺设与入仓道路相错开, 保证有序施工。

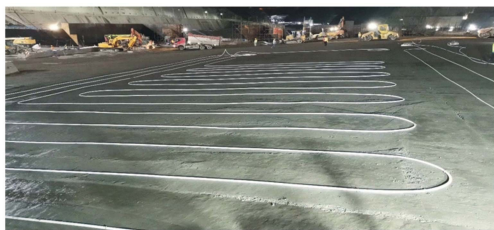


图4 冷却水管铺设

g. 质量检查。水平开仓端与连接段搭接处的碾压混凝土碾压遍数及施工质量难以控制, 水平开仓端与连接段搭接处混凝土碾压应顺水流多碾压两遍, 采用智能碾压遍数和核子密度仪双重手段进行质量监控, 根据智能碾压遍数实时报告, 若出现漏碾部位及时反馈并进行补碾。碾压达到规定的遍数后, 及时用率定过的核子密度仪(MC-S-24)对压实后的混凝土进行容重测定, 相对密实度外部不应小于98.5%, 内部不应小于98%, 对未达到规定容重指标的混凝土进行补振碾压, 直至合格。每层混凝土斜层碾压完成后, 采用2 m 靠尺配合量角器来抽查坡比及角度, 保证斜层坡度达到设计要求。碾压后质量检查方法见图5。

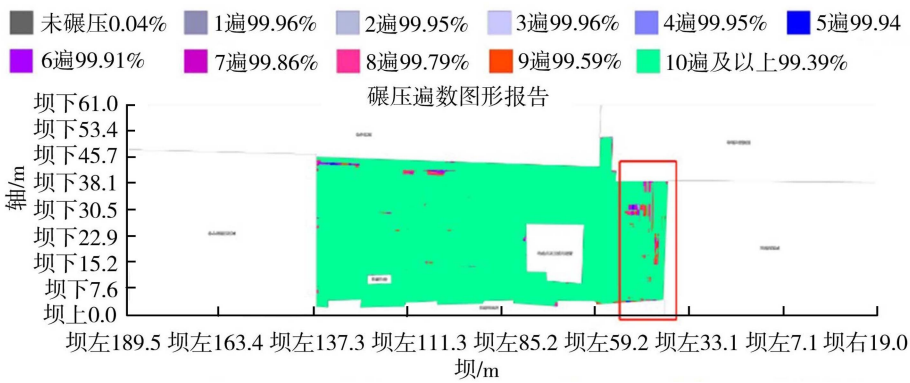


图 5 质量检查控制

h. 结构成缝。结构缝处采用麻绳通仓牵线定位,之后用碾压机沿麻绳碾压成结构缝痕迹,切缝前将麻绳提起拉出,有利于精准切缝,再采用切缝机沿麻绳切缝,见图 6。横缝采用切缝机切制,切缝深度 30 cm,切缝完成后采用双层彩条布嵌缝(即单块彩条布宽 80 cm),便于施工,减少扰动。

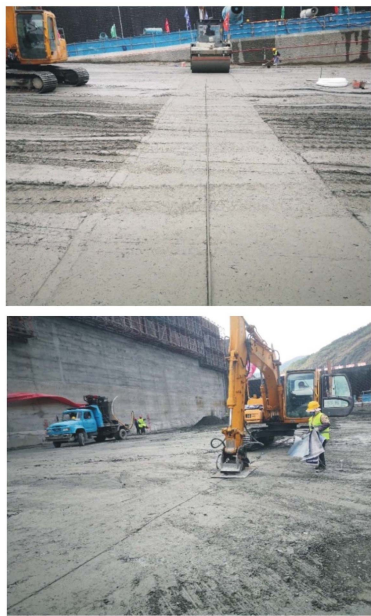


图 6 结构成缝施工

i. 防扰动处理。入仓通道布置在坝体左岸,当采用从右岸往左岸斜层碾压施工时,运输车辆将在收仓的混凝土面行走,这将对已碾压好的混凝土产生扰动,影响混凝土的初凝,降低混凝土的强度。为解决这一问题,每层的斜层碾压完后,在斜坡上缘采用钢板对收仓区进行覆盖保护,人员设置钢跳板通行,运输车辆及施工人员不得在未铺设部位随意走动,已收面完成未达到强度区域采用彩条布进行封闭,见图 7。

j. 冲毛、养护。采用高压水或风砂枪冲毛处理,清除混凝土表面的浮浆及松动骨料。碾压混凝土施工结束 12~18 h 内开始进行洒水养护,在干燥、



图 7 对已收仓区保护

炎热气候条件下应提前养护,对于永久暴露面进行流水养护至设计龄期。

3 施工优点

a. 采用斜层碾压工艺施工工序之间可形成流水作业,在进行碾压的同时可进行已收仓面允许冲毛部位的冲毛处理,同时还可以进行下一层立模、止水焊接及固结灌浆等施工。因此,采取斜层碾压工艺比采取平层碾压工艺大大节省了施工时间,提高了施工效率。

b. 通仓大斜层碾压施工技术简化了入仓手段和备仓强度,只需一侧布置有入仓方式便可实现多坝段或大坝通仓浇筑,降低入仓难度。

c. 采用斜层铺筑法,便于雨季条件下施工,碾压混凝土施工面的雨水将沿坡面快速排出,不会产生积水,保证了施工质量。

d. 相比于平层铺筑法,10 000 m² 及以上仓面平层需投入 8~10 台碾压机、6 台平仓机,而斜层铺筑法

施工减小了最大仓面面积,仅投入 6 台碾压机和 4 台平仓机即可满足施工要求。根据拌和楼运行统计数据,单台楼最大强度 162.3 m³/h,平均每台楼强度 91 m³/h,若采用平仓铺筑法无法在设计要求覆盖时间内摊铺完成,而斜层减小了混凝土入仓强度,单层覆盖时间短,减少了资源配置,保证了层间结合质量。

e. 斜层碾压利于高温季节快速覆盖。根据智能系统监控数据,层间平均覆盖时间为 4.2 h,满足 5 h 内覆盖的设计要求,混凝土最高内部温度也满足设计要求。

4 结 语

通仓大斜层碾压施工方法是在现有拌和系统的生产能力下,能够实现高温季节大仓面连续浇筑,并保证碾压混凝土层间覆盖时间及温控满足设计要求。TB 水电工程大坝浇筑 17 仓斜层仓面,共 629 层,根据智能监控结果和现场检测数据,压实度合格率 100%,碾压遍数覆盖率 99% 以上,实现超过 10 000 m² 的 6 m 斜层仓面 10 d 一循环施工等的技术突破,充分发挥了碾压混凝土筑坝技术快速施工的优势。同时,该技术简化入仓手段、降低立模系数、动态调整仓面面积,利于高温多雨、寒冷等极端条件下施工管理,坏层覆盖时间缩短有利于温控及施工质量,仓面空间的加大及时间的延长有利于流水作

业,加快了施工进度,保障碾压混凝土层间胶结质量良好。

参考文献:

[1] 晏国顺,匡贞霖,杨光文. 智能碾压系统在 DG 水电站工程中的应用[J]. 水电与新能源, 2020,34(1):1-11. (YANG Guoshun, KUANG Zhenlin, YANG Guangwen. Application of intelligent rolling system in DG Hydropower Station Project[J]. Hydropower and New Energy, 2020, 34(1): 1-11. (in Chinese))

[2] 郑爱武,肖海斌,迟福东,等. 高碾压混凝土坝建设管理数字化及质量智能监控系统的研发与实践[C]//中国大坝工程学会 2017 学术年会论文集. 北京: 中国大坝工程学会, 2017.

[3] 曾树全. 碾压混凝土斜层铺筑法施工技术浅谈[J]. 四川水利, 2018, 39(1): 45-48. (ZENG Shuquan. A brief discussion on the construction technology of roller-compacted concrete inclined layer paving method [J]. Sichuan Water Conservancy, 2018, 39(1): 45-48. (in Chinese))

[4] 王侃. 简述碾压混凝土筑坝施工新技术及应用实例[J]. 水利科技, 2018(4): 51-53. (WANG Kan. Brief description of new technology and application examples of RCC dam construction [J]. Water Science and Technology, 2018(4): 51-53. (in Chinese))

(收稿日期: 2024 - 09 - 23 编辑: 彭桃英)

+++++

(上接第 105 页)

[8] 张玲宁,胡馨升. 甘特图:项目流程管控的技术革命[J]. 中国工业和信息化, 2021(9): 82-87. (ZHANG Lingning, HU Xinsheng. Gantt chart: a technological revolution in project process control [J]. China Industry and Information Technology, 2021(9): 82-87. (in Chinese))

[9] 刘婧. 项目进度管理方法研究:关键路径法[J]. 营销界, 2020(16): 152-154. (LIU Jing. Research on project schedule management methods: critical path method [J]. Marketing World, 2020(16): 152-154. (in Chinese))

[10] 何平,刘光明,吴强. P3 软件在抽水蓄能电站施工进度管理中的应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2017, 3(6): 123-128. (HE Ping, LIU Guangming, WU Qiang. Application of P3 software in construction progress management of pumped storage power station [J]. Hydropower and pumped storage, 2017, 3(6): 123-128. (in Chinese))

[11] 周桂珠. 发展抽水蓄能电站的必要性及其建设工期分析[J]. 水利水电技术, 1994(8): 22-26. (ZHOU Guizhu. The necessity of developing pumped storage power station and its construction period analysis [J]. Water Conservancy and Hydropower Technology, 1994(8): 22-26. (in Chinese))

[12] 龙方. 某抽水蓄能电站项目进度管理方法研究及应用[D]. 广州:华南理工大学. 2015.

[13] 许小婷,朱建君,惠胜. 建设工程施工进度延误影响因素分析及对策研究[J]. 建设科技, 2019(20): 88-92. (XU Xiaoting, ZHU Jianjun, HUI Sheng. Analysis of factors affecting construction progress delay and countermeasure research in construction project [J]. Construction Science and Technology, 2019(20): 88-92. (in Chinese))

[14] ANONDHO B, LATIEF Y, MOCHTAR K, et al. Simplified activities model for earned duration calculation [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 508(1): 012014.

[15] 叶复萌,于庆增,贺飞,等. 抽水蓄能电站地下洞室集群修建 TBM 关键技术研究与应用[J]. 现代隧道技术, 2023, 60(2): 14-21. (YE Fumeng, YU Qingzeng, HE Fei, et al. Research and application of key technology of TBM in underground cavern cluster construction of pumped storage power station [J]. Modern Tunneling Technology, 2023, 60(2): 14-21. (in Chinese))

(收稿日期: 2024 - 09 - 25 编辑: 刘晓艳)