

舟坝水电站碾压混凝土重力坝施工技术

刘儒博¹, 张少卫²

(1. 杨凌职业技术学院教务科 陕西 杨凌 712100; 2. 中国水利水电第十五工程局 陕西 咸阳 712000)

摘要 总结了四川舟坝水电站大坝的施工程序及混凝土浇筑工艺流程, 大坝采用左右两块全断面薄层通仓连续交替上升施工工艺, 采用真空溜槽解决碾压混凝土垂直运输难题, 工程日浇筑碾压混凝土达 3 019 m³。针对各种特殊天气情况, 提出相应的处理措施。使碾压混凝土施工始终处于可控状态, 确保工程施工质量, 实现工程提前竣工发电。

关键词 碾压混凝土; 重力坝; 筑坝技术; 舟坝水电站

中图分类号: TV52; TV642.3

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2008)S1-0111-03

1 工程概况

舟坝水电站位于四川省乐山市沐川县舟坝镇境内, 系马边河干流梯级开发的第 5 级电站。该工程的主要任务是发电, 具有季调节性能, 可以提高下游电站的发电效益。舟坝水电站枢纽由拦河大坝、引水发电系统及地面厂房等建筑物组成。拦河大坝位于舟坝大桥上游约 250 m 处, 坝型为碾压混凝土重力坝。大坝由溢流坝段和左右挡水坝段等 7 个坝段组成。大坝坝顶高程 433.5 m, 最大坝高 72.5 m, 坝底宽度 50.37 m, 坝顶长度 162.5 m, 坝顶宽度 15.0 m; 溢流坝段堰顶高程为 413.00 m, 溢流坝段设有 5 孔闸, 每孔闸孔口净宽 12.0 m。拦河大坝坝后布设消力池。本工程混凝土总量约为 29.1 万 m³, 主要为坝体混凝土和消力池混凝土, 其中坝体混凝土 24.8 万 m³ (碾压混凝土 18.2 万 m³、常态混凝土 6.6 万 m³)、消力池混凝土 4.3 万 m³ (碾压混凝土 0.9 万 m³、常态混凝土 3.4 万 m³)。坝体常态混凝土主要分布在溢流坝段(溢流堰面、跌坎、闸墩等处), 消力池碾压混凝土分布于底板中部高程 365.5 ~ 367.0 m 处。

2 坝体混凝土浇筑

2.1 坝体基本情况及仓面划分

大坝坝体分为 7 个坝段, 坝顶高程为 433.5 m, 其中左岸 I, II, III 坝段和右岸 VII 坝段为挡水坝段, 设计底部高程分别为 407.0 m, 382.5 m, 370.0 m 和

370.0 m; IV, V, VI 坝段为溢流坝段, 设计底部高程为 361.0 m (其中 IV, V 坝段上游齿槽设计底部高程为 356.0 m)。大坝上游面除局部为悬臂外其余均为铅直面, 挡水坝段下游面为台阶状, 台阶高度 3.0 m, 溢流坝段下游面高程 388.81 m 以下为跌坎, 跌坎高度 3.0 m, 高程 388.81 m 以上为溢流曲面。溢流坝段闸墩为宽尾墩, 中墩混凝土厚 4.0 m, 边墩混凝土厚 3.0 m。坝体内设 2 层廊道, 即高程为 363.0 m 的排水廊道和高程为 373.0 m 的灌浆廊道, 2 层廊道相通, 灌浆廊道与左岸高程为 385.5 m 的灌浆洞和右岸高程为 385.5 m 的交通洞相通。

设计坝体中心部位混凝土主要是 C15 碾压混凝土, 上游防渗区为 C20 碾压混凝土或常态混凝土, 溢流面(含跌坎)为 1.0 m 厚抗冲耐磨 C30 常态混凝土, 廊道周围和坝基垫层为 1.0 m 厚 C20 常态混凝土, 闸墩为 C30 常态混凝土。除溢流面(含跌坎)和闸墩部位混凝土采用二期浇筑外, 坝体垫层混凝土以上其他常态混凝土和碾压混凝土采取同层上升的施工方式进行浇筑。碾压混凝土浇筑仓面面积控制在 3 000 m² 以内, 每仓连续升程控制在 12.0 m 以内, 闸墩等常态混凝土浇筑每仓高度控制在 3.0 ~ 6.0 m 以内。高程为 362.0 ~ 372.0 m 的坝体因仅涉及 IV, V, VI 坝段, 面积较小, 故采用通仓浇筑; 高程为 372.0 ~ 380.0 m 的坝体采用分仓浇筑, 其中 III, IV 坝段为一仓, V, VI 坝段为一仓; 高程为 380.0 ~ 396.0 m 的坝体分仓浇筑, 其中 II, III, IV 坝段为一仓, V, VI, VII 坝段为一仓, 高程为 396.0 ~ 409.0 m 的

坝体分仓浇筑,其中Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ坝段为一仓,Ⅵ,Ⅶ坝段为一仓;高程409.0 m以上的坝体受闸墩分割,Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ坝段为一仓浇筑,Ⅶ坝段为一仓独立浇筑;各闸墩独立分仓浇筑。

2.2 混凝土拌制、运输

混凝土由拌和站统一拌制,拌和站安装有2套拌和系统,型号分别为HZS180-IQ4000和HZS90-IQ2250,铭牌生产能力分别为 $180\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $90\text{ m}^3/\text{h}$ 。拌和站配备1台装载机供料。

水平运输:碾压混凝土仓外采用20t自卸汽车运输,仓内采用装载机;常态混凝土采用 $6\sim 8\text{ m}^3$ 混凝土罐车运至施工现场。

垂直运输:高程409.0 m以下常态混凝土(主要是溢流面、跌坎、闸墩等处常态混凝土)采用溜槽运输,高程409.0 m以上碾压混凝土采用真空溜槽、溜管,常态混凝土主要采用泵送、塔吊。

2.3 混凝土入仓、摊铺、平仓

由于施工区域降雨频繁,道路泥泞,浇筑碾压混凝土时汽车运输直接进入仓面会污染混凝土,影响混凝土浇筑质量。如采用冲洗车辆的办法解决此问题,不仅费工费时,而且会严重制约混凝土的浇筑强度。本工程碾压混凝土浇筑采取二次倒运方案入仓,即自卸汽车将碾压混凝土运至入仓口或负压溜槽料斗处,直接将碾压混凝土卸入仓面或通过负压溜槽卸入仓面,在仓面再用装载机将混凝土转运到浇筑区域。常态混凝土主要采用皮带机、溜槽或泵送入仓。

碾压混凝土卸料采用退铺法叠压式卸料,按梅花形依次堆料。为了减少骨料分离,将混凝土料卸于铺筑层摊铺前沿的台阶上,再由平仓机将混凝土从台阶上推至台阶下进行移位式平仓。铺料从上游向下游分条带平行坝轴线依次摊铺,由远及近采用后退法卸料,进占法摊铺。卸料堆由CAT平仓机摊铺,机械松铺厚度 $32\sim 36\text{ cm}$,平仓后的仓面应平整。平仓采用一堆三推法,从料堆两侧先斜向推向料堆前面,摊铺厚度 $20\sim 25\text{ cm}$,最后推中间盖在已摊铺的 $20\sim 25\text{ cm}$ 料以上,厚度达 $32\sim 36\text{ cm}$ 。推时一定要从料堆底部搭刀,将料堆全部推移,不允许从料堆半腰搭刀,先推顶,再推下部;也不允许在仓面不平时用平仓机从表面向后拖、拉。对大骨料集中的部位,采用人工将其均匀地摊铺到未碾压的混凝土面上。常态混凝土采用机械辅助人工或人工平仓。

2.4 混凝土碾压

采用2台双钢轮宝马(BW202AD-2)振动碾和1台手扶(BW75S-2)振动碾碾压。对于碾压混凝土,先静碾2遍,再振动碾压8遍(先采用高振幅低振频碾压4遍,后采用低振幅高振频碾压4遍)。在距上

游迎水面 $3\sim 5\text{ m}$ 范围内沿平行坝轴线方向碾压。条带间侧向搭接长度不小于 20 cm ,振动碾前后搭接长度 $1.0\sim 1.5\text{ m}$ 。碾压层内铺筑条带边缘,碾压时预留 $20\sim 30\text{ cm}$ 宽度与下一条带同时碾压,对条带的开始和结束部位进行补压。对边角部位和与边坡接合部位采用手扶式振动碾进行补碾。从拌和站加水到最终完成碾压的时间控制在2h以内。振动碾行走速度控制在 $0.3\sim 0.4\text{ m/s}$ 。每层碾压结束后,质检站及时布点用核子密度计检测混凝土密度,若所测密度低于规定值,应立即进行补碾直至合格。

2.5 坝体构造施工

新老混凝土接合面在冲毛干净浇筑铺料前先铺1层 $1.5\sim 2.0\text{ cm}$ 厚高强度砂浆,大坝上游防渗区碾压混凝土连续施工时层间接合面均采用铺砂浆处理。大坝横缝采用“先碾后切”的方式。切缝时由测量队放线控制位置,每层切缝深度控制在 $25\sim 27\text{ cm}$,每切刀之间的间距小于 10 cm 。切缝后,即用编织袋填塞。坝体排水孔采用拔管成孔法施工,溢流坝段孔顶高程为 406.0 m ,挡水坝段孔顶高程为 429.0 m ,最大孔深为 56.0 m ,共计完成47孔,总长为 1554 m ,成孔率达到了95%。坝体廊道采用预制吊安法施工,预制件混凝土厚 0.2 m ,单块长 1.0 m 。廊道安装时采用15t载重汽车水平拉运至施工现场,人工配合25t吊车定位安装。

本工程大坝止水采用铜止水(上游面设2道,下游面设1道),消力池止水主要采用橡胶止水。橡胶止水搭接采用胶接,接头长度为 50 cm ,胶接部位切削成斜坡。铜止水连接采用焊接,搭接长度不小于 2 cm 。橡胶止水与铜止水的搭接采用高强度乳胶黏合。止水设支撑架固定,混凝土浇筑时采用小型振捣器加强止水周边的振捣,防止止水在浇筑过程中发生偏移、扭曲和接合面漏浆。

2.6 坝体变态混凝土施工

坝体变态混凝土主要位于靠山体岩石部位和靠模板周围以及坝内结构物周边,宽度 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ 。变态混凝土随着碾压混凝土的浇筑逐层同步施工,层厚与碾压混凝土的相同,在碾压混凝土摊铺过程中,由机械配合人工将碾压混凝土摊铺至变态混凝土施工部位,人工平仓。采用先进行变态混凝土施工再进行碾压混凝土施工的顺序。根据试验,本工程变态混凝土的加浆采用表面沟槽加浆的方式,加浆量为5%。

变态混凝土的振捣示意图见图1。加浆后停歇 15 min 开始振捣,振捣棒插入混凝土的纵向间距为 $30\sim 35\text{ cm}$,垂直快速插入,深入下层混凝土 5 cm ,振动约 20 s (以充分返浆、无气泡逸出为准)后缓慢拔

出。插入式振捣器振捣完毕后再用平板振捣器在表面振捣 1 遍,从加浆到振捣完毕时间控制在 40 min 以内。为保证变态区域和碾压区域的混凝土接合良好,在变态混凝土振捣完成后,与碾压混凝土接合部位搭接 15~20 cm 再用手扶式振动碾进行骑缝碾压。

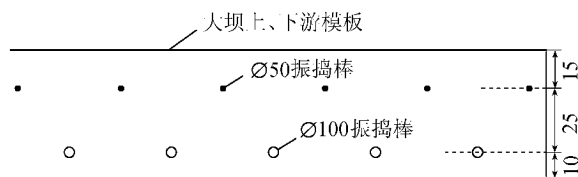


图 1 变态混凝土振捣示意图(单位:cm)

2.7 坝体常态混凝土浇筑

坝体常态混凝土主要为坝基基层混凝土、溢流坝段溢流面、闸墩及坝顶 429.5~433.5 m 处混凝土。垫层混凝土采用自卸汽车运至现场卸入集料斗,反铲甩料入仓,高程 403.6 m 以下闸墩及溢流堰面常态混凝土主要采用混凝土罐车水平运输配合简易溜槽入仓,高程 403.6 m 以上闸墩及溢流堰面主要采用泵送混凝土入仓或皮带机运输混凝土入仓及塔吊吊运入仓等。

2.8 碾压混凝土施工仓面主要机械配置

本工程投入的主要设备有 2 台双钢轮 16 t 宝马振动碾、1 台卡特平仓机、1 台山推平仓机、1 台柳工 50 G 装载机、1 台手扶振动碾、1 台 25 t 汽车吊、1 台 8 t 汽车吊等。其中,宝马振动碾、卡特平仓机是目前国内最先进的碾压混凝土坝面施工设备。

本工程坝体混凝土主要浇筑时段是“一枯”(2005 年 3 月 1 日~5 月 31 日)和“二枯”(2005 年 10 月 15 日~2006 年 5 月 31 日),月浇筑最大强度达到 4.65 万 m^3 ,日最大强度为 3019 m^3 ,单仓最大升程高度达 10.8 m,单仓最大浇筑量达 2.2 万 m^3 。

3 特殊天气处理措施

a. 高温及强日照应对措施。采用高效缓凝减水剂,延长混凝土初凝时间,运输机具上加设顶棚,尽量减少混凝土的温度回升;碾压混凝土从拌和到平仓、碾压完毕不超过 2 h,仓面 VC 值控制在 5 s 以内,摊铺平仓后立即进行无振碾压 2 遍,防止混凝土水分损失过快,采取喷雾、覆盖等防高温、防日晒、保湿等措施。

b. 大风干燥天气应对措施。仓面 VC 值按 1~5 s 控制,摊铺仓面后立即进行无振碾压 2 遍,防止混凝土水分损失过快,仓面采取喷雾等保湿措施,振动碾滚筒适量洒水。

c. 降雨天气应对措施。当降雨强度小于 1 mm/h 时,密切关注降雨是否有增大趋势,保持与总值班室的联系,及时掌握天气情况。当降雨强度为 1~3 mm/h 时,拌和楼出机口 VC 值按 5~7 s 控

制,控制来料强度,卸料后立即覆盖雨布,平仓时再揭开,要求平仓、碾压及时进行;运输机具搭设防雨棚,碾压后的混凝土立即覆盖起来,及时排除雨水,堵截外来水流入。当降雨强度大于 3 mm/h 时,应立即停止拌和混凝土,迅速完成已摊铺部位的碾压作业,未摊铺的混凝土和碾压后的混凝土层面应立即覆盖,并及时排除雨水,堵截外来水流入。当降雨为特大降雨或暴雨时,应立即停止拌和混凝土,对卸入仓内的混凝土料堆、未碾压的条带和整个仓面全部覆盖,及时排除雨水,堵截外来水流入,重新施工时对超过允许时间(2 h)的未摊铺料按弃料处理,检查未碾压条带是否有雨水侵入以及未碾压时间是否超过 2 h,视情况及时碾压或挖除。对已碾压层面视情况直接铺料或按 I、II 型冷缝处理。

d. 低温天气应对措施。加强对混凝土的温度控制,气温低于 $-1^{\circ}C$ 时碾压后层面应及时覆盖;上层摊铺前,对碾压层面出现冻皮的表面采取无振补碾处理,摊铺平仓后立即进行无振碾压 2 遍,防止混凝土温度降低过快,巡视检查拆模后混凝土外露保温情况。

e. 寒冷天气(日均气温低于 $3^{\circ}C$ 或最低气温低于 $-3^{\circ}C$)应对措施。仓面 VC 值按 1~5 s 控制,摊铺仓面后立即进行无振碾压 2 遍,防止混凝土水分损失过快,仓面采取喷雾等保湿措施,振动碾滚筒适量洒水。

4 结 语

舟坝水电站碾压混凝土重力坝施工成功解决了在降雨频繁、场地狭小、施工平面布置困难、天气情况特殊、工期紧张等不利条件下,碾压混凝土、常态混凝土、变态混凝土的施工技术问题。采用真空溜槽有效解决了碾压混凝土垂直运输的施工技术难题,日浇筑碾压混凝土达 3019 m^3 ,施工中严格按照规范要求,使本工程碾压混凝土施工始终处于可控状态,确保了工程施工质量,优质高效地实现了 2 年建成 10 万 kW 装机水电站及上网发电的目标。

参考文献:

- [1] 王三一.高碾压混凝土重力坝[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 顾辉.水利水电工程技术[M].北京:气象出版社,2003.
- [3] DL/T5112—2000 水工碾压混凝土施工规范[S].
- [4] 杨康宁.碾压混凝土坝施工[M].北京:中国水利水电出版社,1996.

(收稿日期:2007-04-05 编辑:骆超)