

小浪底水利枢纽孔板泄洪洞改建施工简述

李洛生

(中国水利水电第三工程局, 陕西 安康 725011)

摘要:介绍小浪底水利枢纽工程在大坝施工期间的3条导流洞在完成导流任务后,通过以龙抬头的形式抬高进水口高程,回填封堵导流洞在进水塔基础范围内的部分,在龙抬头和中间室之间设置孔板环以及缩小中间室过流断面等施工方法,有效地解决了导流洞重复利用所遇到的高水头、高流速问题。

关键词:孔板洞;孔板环;高铬铸铁;消能段;中间室

中图分类号:TV651.3

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2003)02-0036-03

小浪底水利枢纽工程的泄水建筑物包括3条明流洞、3条排砂洞和3条孔板洞,其进水口集中布置在前缘宽276.4m的进水塔群内,其中3条孔板泄洪洞均由大坝施工期的3条导流洞改建而成。在整个泄洪系统中孔板洞洞身段处在泄洪洞群的最底层,经过改建后,1号孔板洞龙抬头下弯段与洞身段连接点的高程为132m,2号、3号孔板洞龙抬头下弯段与导流洞连接点的高程为141.5m,进水口高程均为175m,根据枢纽的功能要求,水位在220m时枢纽要保证7000m³/s的泄流能力,而枢纽的最大运用水头近140m,这样隧洞在泄洪过程中就不可避免地遭受高速水流的磨损冲刷,为解决高速水流的消能问题,同时考虑到小浪底特殊的地质条件状况,确定将导流洞改建为孔板泄洪洞以达到重复再利用的目的(图1)。

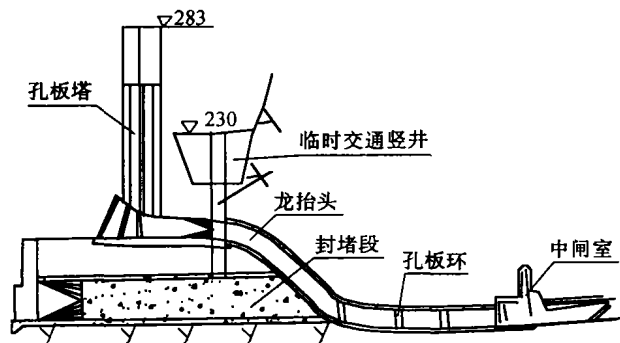


图1 孔板泄洪洞布置

孔板泄洪洞由中间室分为闸前压力段和闸后明流段,压力段包括龙抬头段和孔板消能段,孔板消能段是孔板洞的核心部位,处在龙抬头段和中间室之

间。在孔板洞消能段设有孔板环,所谓孔板环,就是在压力段增设的内径小于洞径的环形板,其工作原理为水流流经孔板时造成突缩和突扩,在孔板后形成紊动强烈的漩涡回流区,致使水流内部产生剪切摩擦与碰撞,消耗大量能量,从而达到降低压力,降低流速,减少磨损的目的。小浪底水利枢纽孔板泄洪洞共设有三级孔板环。

1 施工方案

孔板洞改建是小浪底枢纽泄洪工程难度最大的关键项目,孔板洞结构复杂,设计精度高,工期短(仅8个月),工程量大,施工空间狭窄,地面高空立体交叉作业同时进行,各工序、工种之间干扰大,改建能否按期完工直接关系到小浪底水利枢纽的汛期安全度汛和按期发电。

1.1 交通

由于孔板洞改建施工分布在洞身的4个部位,当时仅有下游原2号施工支洞这唯一通道可以利用,必须增加通道,扩大作业面。有3个增加施工通道的方案可供选择:塔后临时竖井、利用导流塔通风井和塔前临时竖井方案,经过充分比较论证,采用了塔后临时竖井方案,即在孔板塔塔后40.5桩号混凝土中预留临时竖井,高程175m以上平面尺寸11m×6m,高程175m以下平面尺寸6m×4.5m。竖井顶部高程:230m;底部高程:1号孔板塔146.5m,2号孔板塔156m,3号孔板塔156m,即深入导流洞顶部。

塔后设置竖井的主要优点是:①进口龙抬头段的混凝土拆除,开挖、支护、混凝土衬砌及导流洞封

堵段堵头混凝土浇筑可由该竖井通道来承担,2号施工支洞只承担孔板环及中闸室的改建工程,避免了相互干扰;②不受库水位的影响;③结构简单,施工简便,费用较低。

1.2 服务设施

进水塔后高程 230 m 平台集中布设了下列服务设施:供水、供电、压缩空气。风、水、电线路沿竖井到达孔板洞底部,再从那里分往不同的工作面,另从下游区布设了供水、供电、压缩空气,通过 2 号交通洞,用于中闸室、孔板环的改建施工。

1.3 施工步骤

首先完成进口交通竖井和开通下游 2 号施工支洞工作,然后利用交通竖井即可进行导流洞封堵段和龙抬头段的施工,同时可利用 2 号施工支洞进行孔板环和中闸室部位的改建施工。

开挖完成后,即可进行导流洞封堵段的混凝土回填,同时在龙抬头下弯段浇混凝土台阶,混凝土台阶形成后,可用来沿底拱下侧支撑底拱模板。在孔板环部位,1 号孔板环首先施工,依次是 2 号、3 号孔板环。孔板环施工分为三部分:底拱施工(120°)、边拱施工(每侧 60°)、顶拱施工(120°)。

中闸室改建施工因考虑到混凝土浇筑与金属结构的安装相互协调配合,原则上以金属结构的安装顺序考虑混凝土施工的安排,要求周密地制定出所有作业的详细进度计划和资源配置,在实施过程中,根据现场实际情况及时调整、完善。

2 施工过程

2.1 封堵段施工

封堵段围堰内安装一台潜水泵用于排除封堵闸门的渗水,封堵段的混凝土表面凿毛用气镐和小型液压锤实施,凿毛深度不小于 5 mm,凿毛检验方法为 1 m 靠尺不少于 20 个点,凿毛完成后安装架立钢筋,然后布置后冷却水管和接缝灌浆管。后冷却水管选用 $\varnothing 22$ mm 钢管,水平间距 1.0 m,垂直间距 1.5 m,接缝灌浆管选用 $\varnothing 20$ mm,间距 2 m 的 PVC 管,出浆孔为 $\varnothing 7 @ 2000$,每条导流洞封堵段分成 6 个灌浆区域,区域之间有土工织物止浆片。

3 条导流洞封堵段共计回填 C15 混凝土 48 714 m^3 ,每条封堵段按上下游方向分成 3 段,长度分别为 32 m,31.75 m,29.25 m;垂直方向分成 4 层,第一层高度 4 m,其他 3 层 3.5 m,每一块从上游到下游通仓水平浇筑。为了检验浇筑及接缝灌浆质量,每条封堵段中都预埋有 12 支温度计,9 支测缝计。

2.2 龙抬头段施工

2.2.1 开挖、支护

龙抬头由上弯段、中闸连接段(1 号孔板洞)和下弯段组成,开挖采用钻爆方法,全断面分成 6 个区域,炮孔孔径 50 mm,单耗 10 kg/m^3 ,一次循环 2 m。出渣采用 EX200 反铲装车,5 t 东风自卸车拉渣,EL175 以下由 5 t 卷扬机、1 m^3 矿车和农用三轮车配合出渣。下弯段开挖首先从上弯段底部在导流洞衬砌顶拱打出一个开口,然后对此开口从中心进行扩宽,直到整个顶拱被打掉,见图 2。龙抬头段地质条件复杂,在开挖过程中按照新奥法及时进行支护,支护采用挂钢筋网、喷混凝土和系统锚杆联合进行,喷混凝土厚度 15 cm。

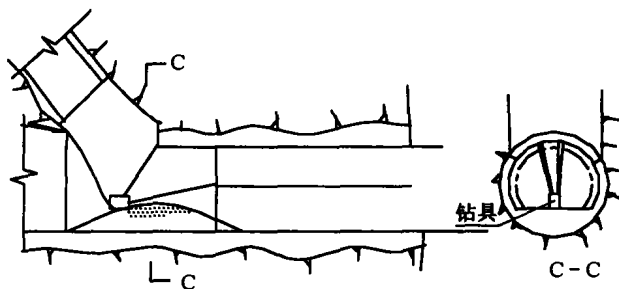


图 2 下弯段开挖示意图

2.2.2 混凝土衬砌

混凝土衬砌施工分为两步,第一步完成底拱(60°)施工,第二步完成顶拱(300°)施工,下弯段为双曲面形。直径从顶部 12.5 m 渐变到底部 14.5 m,每个断面半径都不相同,使施工具有相当的难度,特别是钢筋、模板的加工安装精度要求高,比较繁琐。为了保证施工的精度,要求每道工序自始至终测量都要在工作面配合。

为了便于下弯段底拱的施工,首先要完成 1 号孔板环底拱的施工,这样 1 号孔板环底拱可用于安装下弯段底拱的钢筋和模板、底拱分两个仓号两次浇筑完成。底拱施工完成后,边墙和顶拱的施工一并进行,(图 3),首先搭设 5 m 间距脚手架塔,用于安装外层钢筋,在它们之间安装支撑工作平台,内层钢筋将从脚手架平台进行安装,所用钢筋、模板及构件用卷扬机和安装在顶拱的 5 t 单梁倒链用绳子和滑轮手工进行提升和布置,边顶拱模板共 5 层,每层模板安装、测量、调整固定后,再继续上一层模板安装。混

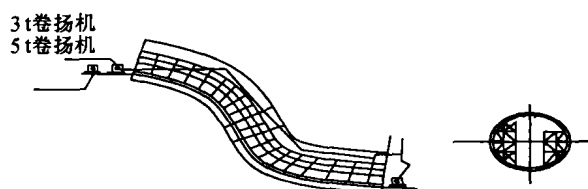


图 3 龙抬头段混凝土模板施工

凝土浇筑以 20 m³/h 的速度进行,由设置在高程 230 m 竖井的混凝土泵进入高程 175 m 的混凝土泵然后送到仓号内。

2.3 孔板环施工

2.3.1 开挖

因考虑到孔板洞改建的方便,在导流洞施工期间,孔板环的预留部位没有浇筑混凝土,而是采用钢板和低标号回填料联合代替混凝土衬砌,过流面钢板厚度 10 mm,钢板后面采用 I 字钢(IZZB)和钢筋(∅36@250)支撑,并且回填砂子、水泥和粘土的混合料,最后固结灌浆。开挖方法为首先搭设、焊接一个交通平台在顶拱的下面,距离顶部约 2 m,从交通平台用割枪切开一个 1 m 宽的水平槽,然后用风镐敲除钢衬后的回填料,施工人员由此开口可进入钢衬后,开挖钢衬后的回填料,然后从里面将钢衬的暴露部分切割成 1.5 m 宽的板,用滑轮和移动吊车将其放置在底板上。这些操作每 1.5 m 重复一次直至到达底拱高程。

2.3.2 钢筋、模板

孔板环主要施工程序为,首先完成底拱施工 120°,然后是两侧边墙(每侧 60°),之后是顶拱 120°,最后进行接缝灌浆。

孔板环是二维曲面,形状复杂,钢筋和模板加工、架立难度大,钢筋主筋为 ∅36@200,分布钢筋为 ∅25@400,由于设计对安装有严格的要求,需在测量员的协助下对主筋的定位进行检查和调整。模板采用 DOKA 木模板,每块重量不超过 4t,每个孔板环共需拼装 24 块这样的木模板,模板安装采用起重机(日本 KATO K354)吊装,拉杆焊接固定;边顶拱模板采用 DOKA 脚手架支撑。

2.3.3 高铬铸铁安装

通过理论计算和水工模型试验得出孔板环孔口边缘所受冲刷磨蚀最为严重,经过比较论证,决定采用高铬铸铁对孔板环孔口边缘进行衬护,以保证孔板洞在运行期间孔板环孔口尺寸长期稳定。高铬铸铁具有较强的抵抗高流速、高含沙量水流磨蚀及在水中和潮湿环境条件下的抗腐蚀性能,高铬铸铁含铬量为 12%~15%,硬度为 50~58。

由于同一孔板洞的三级孔板环的受力情况不同,高铬铸铁的形状尺寸也不一样,分别为 A、B、C 型。为了制造和施工安装的方便以及在运行期的检修和更换,高铬铸铁采用单片制造,整体拼装,单片重量不超过 15 kg。设计对铸铁的安装精度有明确规定,由于铸铁是一次铸造成型,收缩变形不容易控制,加工出来的部件精度已超过设计文件中的安装精度,经过相关各方的磋商,在安装过程中放宽要

求,按照表 1 进行控制。

表 1 高铬铸铁安装精度控制要求 mm

类型	迎水面	半径	中心线	径向长度
A	±4	±4	±5	±7
B,C	±6	±6	±6	±12

注:相邻高铬铸铁之间的错台不允许超过 2mm。

为了保证安装精度,对于每个孔板环的高铬铸铁片都在洞外露天平台进行水平装配试验,并且及时调整装配误差,所有的高铬铸铁片都进行了编号以便在洞内安装施工中使用。同时为了保证洞内施工安装的顺利,在洞外露天场地按照 1:1 的比例浇筑了一块孔板环模型混凝土(中心角 30°)进行预拼装以便提前发现问题,研究解决办法。

2.3.4 混凝土浇筑

为了抵抗高水头、高流速、高含沙量水流对孔板环的冲刷磨蚀,孔板环采用 70 MPa 高标号混凝土,配合比为:水泥 380 kg/m³,水 114 kg/m³,硅粉 20 kg/m³,粉煤灰 90 kg/m³,0~5 mm 砂子 615 kg/m³,5~20 mm 小石 631 kg/m³,20~40 mm 中石 270 kg/m³,40~63 mm 大石 269 kg/m³。

混凝土采用二级泵进行输送,一台布置在中闸室的下游渐变段,另一台布置在孔板环附近,并用一悬臂的橡胶软管来布置仓号中的混凝土。

原来的施工方案中,高铬铸铁的固定钢板和螺母作为预埋件提前安装,混凝土浇筑后再用螺栓固定高铬铸铁,然后用环氧砂浆进行接缝灌浆和充填高铬铁板之间的缝隙;但通过孔板环模型的施工,发现该施工方法很难保证施工质量,经过和有关方面的研究磋商,现场施工方案更改为预先安装、固定好高铬铸铁后再浇筑混凝土,为了保证高铬铸铁与混凝土结合密实,在高铬铸铁背面预埋有接缝灌浆管,在混凝土达到 28 d 强度后进行接缝灌浆,灌注的浆液是 Sika752 环氧树脂。

2.4 中闸室改建

孔板洞中闸室设在大坝帷幕灌浆附近并和排水帷幕结合,目的是将孔板泄洪洞分成闸前孔板消能压力段和闸后明流段,使压力段处在高压水位区,明流段处在低压水位区。

中闸室改建主要是将原导流洞中墩渐变段的过流面积缩小,在其顶、底板上及左、右侧边墙各镶贴一定厚度的钢筋混凝土包括弧门门轨基础、底坎、门楣及支铰大梁混凝土等。

同时安装 2 扇偏心铰弧形工作门。1 号孔板洞每孔过流断面缩小到 4.8 m×5.4 m;2 号、3 号孔板洞每孔过流断面缩小到 4.8 m×4.8 m,另在弧门下

游两侧边墙设置压浪板,以防止水翅冲击弧门支铰。

(下转第 50 页)

vice, 1973.

- [3] Gupta V K, Waymire E, Wang C T. A representation of IUH from geomorphology[J]. Water Resources Research, 1980, 16(5): 855 ~ 862.
- [4] McCarthy G T. The unit hydrograph and flood routing[R]. Presented at Conf North Atl Div U S Crops Eng, 1938.
- [5] Cunge J A. On the subject of a flood propagation method(Mask-ingum Method)[J]. J of Hydraul Res, 1967, 7(2): 205 ~ 230.
- [6] 芮孝芳. Muskingum 法及其分段连续演算的若干理论探讨[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 682 ~ 688.
- [7] Horton R E. Surface runoff phenomena, part I: analysis of the hydrograph[M]. Voorheesville: Publication 101 Horton Hydro-logical Laboratory, 1935.
- [8] Ross C N. The calculation of flood discharges by a time contour plan[J]. Transactions of the Institution of Engineer(Australia), 1921(2): 85.
- [9] Rodriguez-Iturbe I, Valdes J B. The geomorphological structure of hydrologic response[J]. Water Resources Research, 1979, 15(5): 1409 ~ 1420.
- [10] Rinaldo A, Marani A, Rigon R. Geomorphological dispersion [J]. Water Resources Research, 1991, 27(4): 513 ~ 525.
- [11] Kirkby M J. Millslope hydrology[M]. New York: John Wiley &

Sons, 1978.

- [12] 赵人俊, 庄一鹂. 降雨径流关系的区域规律[J]. 华东水利学院学报(现为《河海大学学报(自然科学版)》), 1963(1): 52 ~ 58.
- [13] 华东水利学院. 中国湿润地区洪水预报方法[M]. 北京: 水利出版社, 1978.
- [14] 芮孝芳. 产汇流理论[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [15] 赵人俊. 流域水文模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [16] Snyder F F. Synthetic unit-graphs[J]. Transactions, American Geophysical Union, 1938(19): 447 ~ 454.
- [17] Horton R E. The role of infiltration in the hydrologic cycle[J]. Transactions of the American Geophysical Union, 1933(14): 446 ~ 460.
- [18] 希勒尔 D. 土壤和水[M]. 华孟等译. 北京: 农业出版社, 1981.
- [19] Hewlett J D, Hibbert A R. Moisture and energy conditions within a sloping soil mass during drainage[J]. J of Geophysical Research, 1963, 68(4): 1081 ~ 1087.
- [20] Zaslavsky D, Sinai G. Surface hydrology[J]. J of the Hy-draulics Division, 1981, 107(HY1): 1 ~ 93.

(收稿日期: 2002-10-09 编辑: 熊水斌)

(上接第 38 页)

为了保证导流洞一期混凝土与孔板洞改建二期混凝土之间的结合, 在导流洞施工期间在一期混凝土中预埋了钢筋连接螺栓套, 这样改建部分的钢筋安装可以通过螺栓套与导流洞钢筋连接, 不需要焊接, 减小了混凝土凿除的深度, 缩短了工期。

施工中首先用气镐和小型液压锤凿除需要改建部位的混凝土, 凿除深度一般为 20 ~ 90 cm, 由于导流洞混凝土为 70 MPa 高标号混凝土, 因此凿除工作非常困难, 特别是顶板部位液压锤无法作业, 全部用人工凿除, 凿除工作大约占中闸室改建时间的 1/3。

钢筋、模板的安装、调整主要依靠中闸室启闭机房提前安装的桥机和 50 t 吊车配合完成, 一个用 DOKA 支柱标准制造的工作平台锚固安装在边墙上, 以便进行顶拱的钢筋、模板安装并支撑顶拱浇筑过程中的混凝土。除了在浇筑顶拱混凝土的过程中, 该平台下面的通道应该是可以使用的, 二期改建混凝土为 70 MPa 高标号混凝土, 一、二期混凝土的接缝均预埋有接缝灌浆管。

中闸室改建中土建、金结安装相互交叉, 且精度要求高, 所以施工中要求有精确的测量控制点, 先进的观测仪器, 测量人员必须随时辅助施工。

2.5 缺陷处理

由于采用的 70 MPa 高标号混凝土, 水泥用量大, 水化热高, 为了防止混凝土出现温度裂缝, 虽然

采取了一些相应的措施, 如加粉煤灰(9 kg/m^3), 骨料冷却 5 度 ~ 9 度, 加冰($40 \sim 50 \text{ kg/m}^3$)拌和、混凝土浇筑后洒水养护等, 但还是不可避免地出现了少量的混凝土裂缝。处理这些混凝土裂缝的方法是首先用 Sika731 环氧砂浆封闭裂缝表面, 然后沿裂缝两边相距 30 cm 钻灌浆孔, 孔径 $\varnothing 20 \text{ mm}$, 间距 1 ~ 1.2 m, 孔深 65 ~ 75 cm, 倾角 60° , 灌注 Sika752 环氧树脂。对于个别渗水裂缝灌注超细水泥或聚氨酯, 超细水泥 28 d 抗压强度 60 MPa, 聚氨酯粘结强度 2.4 MPa, Sika752 环氧树脂 14 d 抗压强度 60 ~ 70 MPa, 灌浆压力 4 MPa。

3 结 语

小浪底水利枢纽孔板泄洪洞改建工程于 2000 年 6 月完工, 为了检验孔板洞的实际效果和运行工况, 在汛期进行了两次过流试验, 过流后根据观测成果表明, 孔板环没有异常的变形, 压力段内时均压强和脉动压力值均在设计指标范围内, 说明孔板洞的改建达到了预期的效果。孔板洞改建的实施, 不仅解决了枢纽泄洪所遇到的高水头、高流速问题, 而且对于今后在高土石坝施工中如何合理地重复利用施工导流洞提供了值得借鉴的经验。

本文承蒙黄委设计院教授级高级工程师潘家铨先生的大力指导, 在此表示衷心的感谢。

(收稿日期: 2002-05-20 编辑: 张志琴)