

抽水蓄能电站大坝面板混凝土施工技术

范祥飞

中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310030

摘 要 : 近年来, 面板堆石坝已成为坝工界较为主流的坝体, 为提高混凝土面板施工技术水平, 保证混凝土面板施工质量, 本文综合面板堆石坝大量实践经验, 以某抽水蓄能电站上下库大坝为例, 重点针对滑模系统、混凝土浇筑及养护、止水施工等关键技术环节, 介绍了堆石坝面板混凝土的先进施工经验, 为类似工程提供了有益的参考。

关 键 词 : 抽水蓄能; 面板堆石坝; 面板混凝土; 滑模系统; 止水施工

Construction Technology of Dam Panel Concrete for Pumped Storage Power Station

Fan Xiangfei

China Water Resources and Hydropower 12th Engineering Bureau Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310030

Abstract : In recent years, faced rockfill dam has become a more mainstream dam in the dam industry. In order to improve the technical level of concrete panel construction and ensure the construction quality of concrete panel, this paper combines a lot of practical experience of faced rockfill dam and takes the upper and lower reservoir dam of a pumped storage power station as an example, focusing on key technical links such as sliding form system, concrete pouring and maintenance, and water sealing construction. This paper introduces the advanced construction experience of rockfill dam faceplate concrete, which provides useful reference for similar projects.

Keywords : pumped storage; face rockfill dam; panel concrete; sliding mode system; water sealing construction

一、工程概况

某抽水蓄能电站上下库大坝坝型为钢筋混凝土面板堆石坝, 面板混凝土采用滑模施工工艺。上库大坝面板混凝土共分29块, 其中除左右两端三角块外, 其余块宽度均为12.0m。单块最长面板斜长约152.46m, 平均斜长为102.28m。下水库大坝面板混凝土共分28块, 其中除左右两端三角块外, 其余块宽度均为12.0m。单块最长面板斜长约129.38m, 平均斜长为87.53m。

二、施工布置

(一) 施工设施布置

上下库大坝混凝土面板施工各安排2套滑模用于施工, 其中1套用于轮流备仓。面板混凝土施工时, 在大坝坝顶设置施工平台, 作为混凝土卸料、供料及卷扬机提升系统布置平台。每台滑模均由2台10t卷扬机牵引, 同时布置4台5t卷扬机用于牵引2台钢筋运输台车和2台木工运输台车。同时配置1台25t汽车吊移动滑模、施工台车和卷扬机等, 卷扬机牵引系统随面板混凝土施工需要进行移动。

(二) 施工供水布置

施工用水主要为混凝土浇筑部位的缝面冲洗和混凝土养护用水。采用DN100主水管从水池接引至坝顶, 并沿坝顶上游侧通长布置, 布置位置以不影响卷扬机布置和面板上口模板架立为准。

面板顶部及中部布置PVC花管, 并布置引水管与坝顶的主水管连通, 水管在坝顶作业平台上按面板分块留置控制阀门, 每块可单独控制, 形成面板洒水养护系统。

(三) 施工供电布置

施工用电主要为提升卷扬机、混凝土振捣、钢筋焊接、照明和其他辅助作业。就近从变压器接入, 并在各工作面配置独立配电箱, 同时备用一台150KW柴油发电机作为应急备用电源。

(四) 施工道路布置

面板混凝土施工道路的任务为施工机械的进场、材料和混凝土的运输等, 主要利用坝顶平台、进场公路和至业主营地公路。

(五) 混凝土拌和系统

本工程面板混凝土量大、工期紧, 为保证面板混凝土的施工进度和质量, 在上库坝顶布置一套面板混凝土生产系统用于上水库面板混凝土施工。下水库面板利用下水库混凝土生产系统。

三、施工程序

上下库大坝面板混凝土在大坝整体填筑完成并满足坝体沉降期、沉降速率要求后进行。面板采用无轨滑模施工工艺, 从中间块向两侧推进, 分两序跳仓浇筑。每块面板均采用无轨滑模连续浇筑完成, 单块面板混凝土施工完成后跳仓进行下一块面板施工。面板混凝土施工过程如图1所示。



图1 面板混凝土施工示意图

四、施工方法

（一）坡面修整

面板混凝土施工前需先进行平整度检查，其偏差不得大于面板设计线50mm，用缓坡衔接超欠填位置。

对坡面超填的部位，进行人工修整，将吊线以上的垫层料进行剔除；对坡面欠填的部位，由自卸车运料至坝顶，在坝顶布置下料斗，连接溜槽，通过溜槽下料进行欠填部位的修补施工。修整后的坡面要平整，不合格的部位要进行细修。

（二）砂浆垫层施工

面板张性缝、压性缝底部布置有水泥砂浆垫层。水泥砂浆垫层施工分挖槽法、贴层法两种方法。对砂浆垫层面高于设计线的采用挖槽法施工，对砂浆垫层面低于设计线的采用贴层法施工。送料小车运输水泥砂浆至施工作业面，人工入仓并摊铺回填，砂浆铺设时，斜坡段自下而上铺设，确保砂浆密实。回填后用橡皮锤或木锤人工夯实，夯实后人工采用抹子抹平，砂浆垫层表面平整度符合设计和规范相关要求。

对高于设计面的砂浆面进行表面凿平处理，并用砂浆表面抹平；如低于设计面的部位，则采用砂浆补平。

（三）测量放样

坡面验收合格及砂浆垫层施工完成后，根据设计图纸使用全站仪在垫层坡面上放出面板垂直缝的中心线，在坡面上放出面板浇筑的顶面高程线，并使用喷漆、钢筋头进行标示。

（四）钢筋制安

钢筋加工及安装之前，要对钢筋表面进行检查清理，确保表面洁净。钢筋连接均采用焊接，钢筋间排距和位置按照设计图纸执行。

单块面板钢筋绑扎前，先在坡面上打设架立筋，架立筋规格及间排距按设计图纸要求执行。架立筋架设一段后，在架立筋处绑扎底部横向主筋（作为横向架立筋），再绑扎底层纵向钢筋、底部横向钢筋，然后在横向主筋底部安装板凳筋，再进行支撑筋的绑扎，最后进行面层横向钢筋、纵向钢筋绑扎。

（五）止水铜片制作和安装

止水铜片采用的卷材经专用止水加工成型机现场加工成型，加工成型机的出料口正对面板垂直缝方向，出料的方向和面板坡度保持一致，并根据止水片需要的长度连续整体加工。

止水铜片之间的衔接按照设计要求进行搭接焊接，并保证搭接长度 $\geq 20\text{mm}$ 。焊接完成后逐个进行外观和渗透质量检查，确保焊接接头表面光滑，不渗水，无孔洞、裂隙等缺陷。



图2 止水铜片加工图



在安装止水铜片前，先塞入氯丁橡胶棒，并在鼻腔内填塞泡

沫塑料，防止水泥浆液进入腔内。并注意在混凝土施工过程中，始终保持止水铜片的中间鼻槽不变形、不移位。加工成型机具及现场情况见图2。

（六）模板设计与安装

面板侧模采用组合钢模板，模板高度根据渐变厚度确定不同组合，施工时根据面板厚度进行拼装。在侧模底部放置方木，用来调整侧模的高度和坡度，并在方木的下缘内侧预留槽口，作为侧模与面板垂直缝止水铜片之间的安装槽口。

侧模之间采用螺栓进行连接，螺栓需配带垫片。侧模拼装完成后，内侧采用面板钢筋接钢筋头作为侧模的支撑，间距1.0m，排距按照面板厚度确定。外侧采用蝴蝶扣进行拉紧固定，拉筋间距1.5m，排距按照面板厚度确定。

面板垂直缝“V”型槽采用木模板，每节长度控制在2~3m间，依照设计尺寸做成倒角。先浇块施工时按设计位置固定于侧模板上，后浇块施工时按设计位置固定于先浇块混凝土上。

（七）滑模装置安装就位

面板采用无轨滑模工艺施工，滑模安装在侧模或先浇块的混凝土表面上，并设有工作平台、抹面平台、防雨遮阳棚，以及表面修整平台，作为行走和支承结构，在坝顶作业平台布置2台双筒的卷扬机进行牵引，使用配重块配合锚固钢筋进行固定。

卷扬机系统就位后，将面板滑模、抹面平台等用人工配合25T汽车吊吊装到侧模或先浇块上，再由布置在坝顶作业平台前沿的卷扬机溜放到面板下方。面板滑模系统及卷扬机平面、立面布置分别见图3及图4。

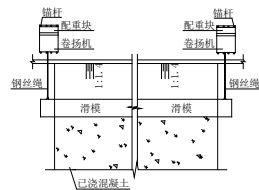


图3 面板滑模及卷扬机平面布置示意图

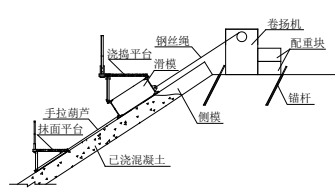


图4 面板滑模及卷扬机立面布置示意图

（八）溜槽安装

面板混凝土的入仓方式采用溜槽进行输送，在每块面板上设置2套溜槽。溜槽使用轻型、耐磨、光洁、高强度的材料进行制作，保证连接严密，不发生漏浆，采用柔性材料对溜槽顶部进行遮蔽。顶部上接坝面集料斗，下至仓内，另外要注意溜槽出口与仓面的距离 $\leq 1.5\text{m}$ 。

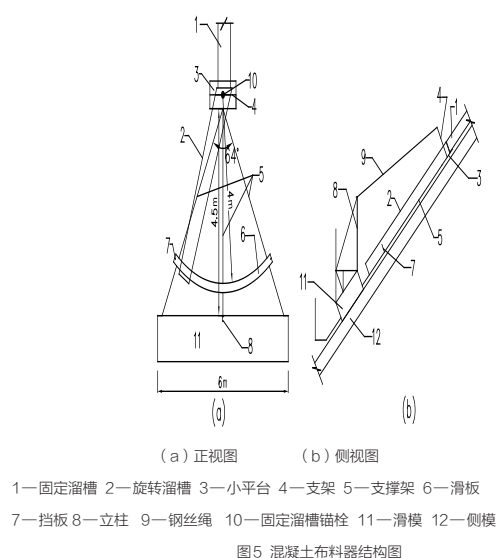
溜槽放置在待浇块的面板钢筋网上，在每节溜槽的上口左右两侧各设一个挂钩，下口左右两侧各设置一个吊环，溜槽安装时上、下两节溜槽进行套接。为防止溜槽扣脱开，溜槽两侧采用钢丝绳联系在一起，并将钢丝绳间隔两段固定在钢筋网上。

溜槽末端部设一套布料机构，布料机构见图5。

（九）面板混凝土浇筑

面板混凝土通过设置在坝顶的集料斗进入坡面溜槽，经溜槽输送入仓，由上库面板混凝土系统和下库混凝土拌和站进行集中拌制，并由自卸车运至坝顶施工平台。

混凝土在由溜槽入仓之前，先倒入适量同标号的砂浆对溜槽进行润滑。卸料时安排专人沿溜槽对溜槽里的混凝土进行疏通及



处理,防止混凝土离析。

在止水片周围用人工布料做好混凝土离析的防范工作,控制混凝土铺面宽度在2米以内。入仓的坍落度严控在3 ~ 7cm之间。面板混凝土必须保证分层浇筑,且层厚控制在25cm ~ 30cm区间。保证仓内铺料均匀,不出现混凝土堆积的情况。

混凝土采用插入式振捣器振捣密实,保证全仓面摊平后才能振捣,严禁将振捣器插入模板下振捣。垂直缝、周边缝部位加强振捣,避免漏振、欠振,使止水周围的混凝土充填、振捣密实。

(十) 滑模运行

滑模由布置在坝顶前沿的两台10t卷扬式牵引,在运行过程中必须确保面板的两侧侧模顶面平整、光洁,运行区间无障碍物阻挡。滑模向上滑升过程中,采用安全绳将滑模架与上部钢筋网临时固定,避免滑模架运行中发生故障下滑。

滑模的按20cm左右的上滑距离进行控制,每次滑升间隔不宜超过30分钟,且在滑升前要保证模体前30cm范围内有混凝土,滑模的平均滑升速度为1.5 ~ 2.5m/h,根据混凝土出模情况,适当控制滑模提升速度。滑模施工时,安排专人对滑模系统及模板进行运行检查和变形检测,发现问题、及时整改,确保现场施工安全。

(十一) 抹面

采用人工拉动手拉葫芦的方式,使抹面平台上下移动,以进行抹面作业,并在混凝土初凝前,及时进行二次压平抹光。等到混凝土出模后,应及时做好混凝土的保湿、保温和防风工作,及时覆盖塑料薄膜,以减少不同日照变幅和昼夜温差引起的温度应力。

(十二) 拆模

混凝土强度达到设计要求强度时,在拆模不破坏混凝土边角的情况下,才能进行侧模拆除工作。拆模要使用专用工具,避免模板和混凝土的棱角被破坏。拆模后对露出的止水片要及时保护。

拆除的模板由木工运输台车提升至坝顶施工平台,集中存放。及时清理模板污物、进行脱模剂涂刷,并将模板放置整齐,避免出现挤压变形的情况。

(十三) 混凝土养护

混凝土出模后,在滑模后部覆盖塑料薄膜,以减少因日照变幅不同、昼夜温差大而产生的温度应力,防止干缩性裂缝的发生。

在混凝土终凝后要及时进行养护。当整块面板混凝土未全部浇筑完成时,可采用人工洒水养护,待面板整块浇筑完成后及时铺设养护毯、并进行洒水保湿。混凝土养护设专人负责,养护期内始终保持养护毯处于湿润状态,并依据温度、湿度条件调整水流参数。当水库蓄水至设计水位时,完成养护。

(十四) 表面止水施工

1. 缝面清理

对待粘贴止水材料的混凝土表面使用钢丝刷进行清理,对油渍、灰浆皮及杂物进行清理,另外针对浮土和浮水,可使用棉纱或毛刷进行清除,必须保证接缝混凝土表面平整且密实,确保不出现错台及凹凸体的情况,且要避免产生绕渗问题,不能出现露筋、蜂窝麻面、起皮等缺陷,如有缺陷应先凿除再处理。

2. 垂直缝机械施工

填塞柔性填料的V型槽预留在接缝顶部,其外形尺寸要符合设计要求,同时保证混凝土表面密实平整。“V”型槽和缝面两侧SR填筑范围以内的面板不平整部位,使用角向磨光机进行打平,缝面存在掉块及缺角情况时,对其进行凿毛后补平。

基础面清理干净后,按不同的分缝填料区域测量放点,并弹线标识设计的表面止水边线,验收合格后立即施工下一道工序。

台车下行:首先将牵引台车就位于工作面,然后依次将施工台车和送料车吊放在坝面上。施工台车跨缝下行,下行过程中,台车上工人完成以下工序操作。

(1) 基础面处理

先用钢丝刷、扁铲和砂轮除去盖板边缘两侧10cm范围内的混凝土表面浮渣及污渍,再用台车上的风枪将其清洗干净。

(2) 铺设橡胶棒

橡胶棒卷盘就位于施工台车的卷轴上,台车下行时同步释放卷轴上的橡胶棒;在V型槽底部安装橡胶棒并拉直,使得棒壁与接缝壁嵌紧,且棒轴心与缝中心线保持一致。台车料斗中存放多卷橡胶棒备用。

(3) 涂刷底胶

待粘贴部位在完成表面处理过后,再进行底胶的涂刷。涂刷时应保证均匀,不得涂刷过厚。

(4) 台车上行

当施工台车跨缝下行至底部后,用送料车将盖板和塑性填料送至台车料斗中,将盖板卷盘就位于台车的卷轴上,台车上行完成塑性填料的嵌填施工。

(5) 铺设盖板及嵌填塑性填料

用填料成型控制器卡压在盖板上部,使盖板与混凝土表面间形成空腔,启动塑性填料挤出机将填料注入空腔内。台车沿板间缝由上至下连续行进,同时释放盖板就位。

(6) 坝顶垂直缝施工

当施工台车行进至接近坝顶时,利用随车吊搭建凌空轨道,

使施工台车沿轨道上行,将垂直缝止水连续施工到防浪墙根部,整条缝一次完成。止水机械化施工见图6,填料挤出成型见图7。



图6 止水机械化施工



图7 填料挤出成型

(7) 安装扁钢和膨胀螺栓

保护盖片和塑性填料就位后,人工安装扁钢和膨胀螺栓。当台车施工强度不高时,可利用送料车沿坝面运送扁钢和螺栓,工人站在施工台车上安装扁钢和螺栓,以提高安装效率。

(8) 转移工作面

当完成一条垂直缝的表止水施工后,利用牵引台车上的吊机将施工台车和送料车吊放在车厢内,并将剩余施工材料装上车厢。牵引台车行驶至下一垂直缝工作面继续施工。

3. 周边缝施工方法

(1) 缝面清理

周边缝缝面清理方法与垂直缝缝面处理方法相同。

(2) SR 填料施工

当有霜、露、雪或雨天时,不进行嵌缝填料施工。

SR 填料按工艺要求由下向上进行,按照先缝里后缝外的顺序分层填塞填料,并捶击密实,并尽量减少接头数量。

将 SR 材料搓成小条并揪捏成薄饼状,SR 材料找平层控制在 5 ~ 10mm 厚,从缝中间向两边掀贴到螺栓处,保持与接触面粘结紧密,并挤压密实,再在“V”型槽底部安装橡胶棒,并用木棍小心挤压,保证棒壁与接缝壁嵌紧,使之与 SR 填料黏结在一起,

橡胶棒若断开,可在端部削成一定的斜度胶接。随后在缝槽内堆填 SR 材料,要保证表面光滑并符合设计规定形状,在刮填过程中要适当加压,以驱赶气泡,避免出现空洞和通缝,同时使嵌缝材料充分地挤进到混凝土预留槽缝中。

分层嵌填时,每层的接头均匀错开并互相搭接,接头部位采用坡形接头连接,并注意嵌填过程中的排气。

(3) 钻孔及固定螺栓

面层安装完成后,采用不锈钢扁钢和不锈钢固定螺栓将面层固定紧密。铺好盖片后,将符合设计要求间距打孔后的扁钢安放在面层上定位,用电锤直接在不锈钢扁钢上的孔位向面板混凝土内钻孔,钻孔完成后用水和湿毛巾将表面钻屑清理干净,接缝处清理干净晾干之后放入膨胀螺栓拧紧紧固。

(4) 封边剂封边

对于要涂封边剂的面层表面和混凝土面,用钢丝刷、棉纱等清除干净后,将封边剂按使用比例搅拌均匀,注意一次配料重量不能超过。

将拌制好的封边剂用油灰刀涂在防渗面层的边缝位置,涂刷过程中要保证倒角平滑、无棱角、无漏涂,封边密实均匀。涂刷完成后不得踩踏和碰触,让封边剂自然表干。

五、结语

面板堆石坝是水利工程中重要的防渗和支撑结构,因此面板混凝土的施工质量对工程整体质量的重要性不言而喻。结合本工程实践表明,合理的工序衔接、先进的施工工艺、高效的技术保障措施以及严格的质量控制体系是确保面板混凝土施工质量的关键。

参考文献

- [1] 刘海友. 巴贡水电站混凝土面板表面止水的设计与施工 [J]. 四川水力发电, 2008 年 6 期.
- [2] 王飞. 混凝土面板堆石坝施工质量控制 [J]. 科技信息, 2011 年 5 期.
- [3] 李亚军. 堆石坝面板接缝止水机械化施工技术研究 [J]. 中国标准化, 2019 年 12 期.
- [4] 李栖鹏. 面板混凝土止水系统施工工艺 [J]. 价值工程, 2022 年 19 期.
- [5] 石四存. 公伯峡面板堆石坝止水设计与机械化施工 [J]. 水力发电, 2004 年 8 期.
- [6] 胡永平. 三板溪堆石高坝面板局部受损成因初析及修复施工简介 [J]. 大坝与安全, 2009 年 3 期.
- [7] 张运花. 混凝土面板裂缝成因分析及处理 [J]. 四川水力发电, 2017 年 6 期.
- [8] 李宏伟. 混凝土面板堆石坝面板张性缝、压性缝表层止水施工工艺研究 [J]. 科技信息, 2008 年 26 期.
- [9] 吴政连. 酒南水电站混凝土面板堆石坝接缝止水设计与施工 [J]. 云南水力发电, 2009 年 S1 期.
- [10] 刘丽娟. 浅谈大坝面板混凝土滑模系统的设计、制作与使用 [J]. 四川水力发电, 2017 年 4 期.