

CHE 水电站导墙修复工程围堰防渗及应急处理施工技术

张涛锋 何无产

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450007

[摘要]文中通过对 CHE 导墙修复工程中围堰防渗失效后、针对出现的问题对症下药, 采用了应急处理技术, 对防渗漏补强、双浆液控制性灌浆、钢筋笼装砂砾石做为水下模板、泵送法浇筑水下混凝土、冬季暖棚法浇筑混凝土, 以及砂砾石基础后灌浆法加固等相关技术进行了阐述, 并对该项目的施工存在的问题及造成的后果, 进行了深刻地分析, 得到了相应的经验教训。

[关键词]高喷防渗; 失效; 双液控制性灌浆; 应急处理措施; 经验与教训

DOI: 10.33142/hst.v3i3.1956

中图分类号: TV543.8

文献标识码: A

Cofferdam Seepage Prevention and Emergency Treatment Construction Technology for Repairing Guide Wall of CHE Hydropower Station

ZHANG Taofeng, HE Wuchan

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450007, China

Abstract: In this paper, after the cofferdam seepage control failure in the CHE guide wall repair project is rectified, the emergency treatment technology is adopted to deal with the emerging problems. In this paper, anti-seepage and reinforcement, double grout controlled grouting, reinforcement cage filled with sand gravel as underwater formwork, pumping method for underwater concrete, winter warm shed method for concrete, and post grouting method for sand gravel foundation reinforcement and other related technologies are described, and the construction problems and consequences of the project are analyzed deeply, and the corresponding experience and lessons are obtained.

Keywords: high pressure jet grouting for seepage control; failure; double liquid control grouting; emergency treatment measures; experience and lessons

概述

CHE 水电站位于北疆某河上, 该电站以发电为主, 装机容量 110MW。挡水建筑物为碾压混凝土重力坝, 采用坝后式厂房, 厂房尾水出口导墙为混凝土重力式导墙, 长度 150m, 最大高度 14m, 尾水的导墙坐落在砂砾石基础上。该处河床宽 90~180m, 高程 700~703.5m。河床覆盖层后 9~13m, 岩性为第四系全新统冲积砂卵砾石层, 基岩层高程 688m~692m。据钻孔及物探资料基岩没有深槽, 无淤泥及连续砂层分部, 下伏基岩为中~厚层云母石英片岩。

工程所在地工程位于准噶尔盆地西北缘, 阿尔泰山南麓, 处于欧亚大陆腹地, 属大陆性北温及寒温带气候。工程所在地, 地理纬度高, 太阳辐射量小。其特征是: 气候干燥, 春秋季节短, 冬夏季长。夏季较凉爽, 冬季多严寒, 气温年较差悬殊, 日较差明显。

表 1 程所在地气象条件

项目	单位	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
多年月平均气温	℃	-17.3	-16.6	-6.4	5.8	12.8	17.9	20.0
极端最高气温	℃	4.9	5.0	22.0	27.3	32.0	34.0	36.3
极端最低气温	℃	-45.0	-44.0	-36.0	-16.0	-2.0	4.0	5.0
项目	/	8月	9月	10月	11月	12月	全年	
多年月平均气温	℃	18.3	12.4	4.2	-5.6	-12.3	2.6	
极端最高气温	℃	36.6	30.2	26.0	11.5	4.0	36.6	
极端最低气温	℃	2.5	-2.5	-20.0	-42.0	-45.0	-45.0	

2013年6月份,工程所在地突发60年一遇的洪水,下游河道淤积和堵塞造成大量洪水不能顺利排泄而在电站尾水区域形成强烈回流,回流的强烈淘刷导致下游尾水渠右岸挡墙冲毁、厂区右侧防护面板坍塌,影响电站的运行安全;尾水渠右岸挡墙冲毁后、建筑物堆积于尾水河道中,使电站尾水位抬高,严重影响了电站的正常发电。



图1 被冲毁的尾水导墙

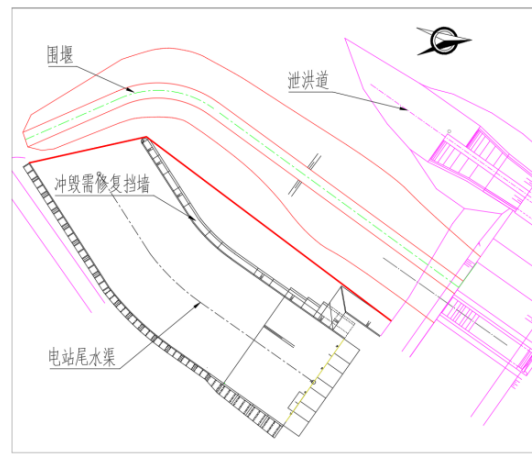


图2 施工导流平面布置图

业主要求恢复导墙功能,设计要求:(1)首先拆除、移除原有的导墙,重新修复导墙,原导墙高度不变,但将0+0~0+73桩号的原导墙底部与岩石之间的砂砾石挖除,以4.5m宽,9m深的C20混凝土进行基础置换;剩余的导墙采用对挡墙底板采用对砂砾石基础进行高压旋喷灌浆处理,深度至基岩高程,旋喷孔间距0.8米,成型后的旋喷桩直径1.0m,旋喷防渗墙最小厚度0.4m。(2)要完成以上工作,要求机组停止发电、通过大坝导流底孔泄水;在原有导墙外围修建一道砂砾石围堰,采用高喷防渗墙做防渗,防渗要求同导墙底部高喷灌浆要求相同,将尾水渠与导流底孔泄水隔开,保证尾水渠尾水导墙能干地施工。

要求工期在2016年9月1日~11月30日完成。即要求在寒冷的冬季到来之际完成导墙及其他损坏处施工,恢复厂房发电。

1 施工过程

9月初现场开始砂砾石围堰填筑,9月15日围堰基本合拢(留下游一缺口流水)。

此时高喷防渗墙施工的边界条件是厂房发电未停,尾水来水冲刷着砂砾石围堰体,并从砂砾石空隙中流入底孔泄流后边的河滩。尾水流速大约是2~3m/s。为了急于赶工,尽快在寒冬来临之前完工,高喷防渗墙同步开始施工。在高喷防渗墙施工完成1/3的工程量时。引水发电系统闸门关闭,停止发电,开始通过泄流底孔泄空库水。库水下泄速度达到5~6m/s。

10月5日除围堰缺口处外,高喷灌浆完成。但是围堰缺口的流水未见减小。同时采用一台1200m³/h的低扬程大流量的离心水泵抽排尾水区内的水,12h内尾水渠的水未见有丝毫下降的痕迹。围堰缺口处的水流量,眼观没有任何变化。同时还发现围堰几处靠尾水侧的边坡底部有明显的渗水。(围堰外侧(泄流底孔侧)水比尾水渠水面的水高1.2m)。

此时施工人员才察觉到高喷防渗墙出了问题,但感到问题不大,其实事实远比想象的要糟糕。

2 先前采取的一般措施

2.1 对围堰渗水点灌砂浆

在围堰背坡渗水处的围堰顶面处,利用钻机造孔至基岩处,预埋空口管,间距80cm~2.0m采用混凝土泵往孔内灌注砂浆,已达到堵塞渗水通道的目的。砂浆结束标准为混凝土泵打不进砂浆为止。在实施的过程中有几处砂浆能泵入5~6m³,但有些部位,不吃浆,直接将孔口管打崩,地面呈裂缝性隆起。围堰后地面以上渗水减少,并未消失,经水泵抽排,观察水面没有下降,说明灌浆效果不明显。

后经分析,因砂砾石之间的空隙小,砂砾石回填后空隙率在15%~20%左右,而采用混凝土泵,理论上每小时60m³,

压力在 35MPa 以上，砂浆由于砂砾石阻挡，在短暂时间内无法瞬间填满空隙，而导致混凝土泵将孔口管打崩，地面呈裂缝性隆起。至于吃浆量较大的部位，应该是大部分砂浆通过大孔隙流入水中，而不是堵塞空隙。

2.2 围堰防渗加固

此时关键是如何解决好围堰的渗漏问题，否则强抽根本解决不了问题。后采用挖机对围堰的高喷情况挖开检查，发现砂砾石虽有凝结，但不连续，根本不防渗，全线渗水，高喷防渗失败。针对还存在的围堰渗漏点，决定用挖机将防渗墙后部的砂砾石尽可能深的挖除，回填黏土拌和，加强防渗处理。

2.3 加大水泵抽水量

粘土处理后，增加了一台 1200m³/h 的大流量水泵开始抽水，但是仅能下降 10cm，就维持水面不再下降了。防渗处理无效。况且尾水渠最大深度 15m，越往下去，水越不好降。

这时才感到问题的严重性，此时已到 10 月底，工程所在地已开始结冰，白天气温降至 -5 度，严寒加剧了施工难度。

3 应急技术措施

业主心急如焚，如不按期完成，发电损失 40 万元/d。

经协商决定，在围堰内侧填筑一道 2m 高、5m 宽的砂砾石围堰，将原来的砂砾石围堰保留，新围堰上游与坝体混凝土相接，下游与 0+73 以后的导墙相接，此时该段导墙高喷已完成，混凝土挡墙已施工 2m 高，高于围堰外侧水位，然后在这道新围堰上重新高喷灌浆，长度约 100m。

同时增加抽水设备。购买了 10 台 IS200-150-400 型 400m³/h 的离心泵。原有的水泵虽然流量大，但扬程太低，满足不了抽水需要了。

3.1 重新开始高喷灌浆施工

3.1.1 首次高喷灌浆失败原因的分析

新围堰还是按照原实际的高喷灌浆标准施工的。在二次高喷灌浆施工前，项目部组织技术人员召开了专题会议，对首次砂砾石高喷灌浆失败的原因进行了分析。

a. 高喷灌浆前未做试验，单纯地认为只要是砂砾石即可进行高喷灌浆的错误理念

通过对《水电水利工程高压喷射灌浆技术规程》(DL/T5200-2004) 学习，本标准适用于淤泥质土、粉质粘土、砾石、卵石等松散透水地层。对于含较多漂石、块石的应进行现场高压喷射试验，以确定其实用性。当漂石等较多时，高压喷射可能受到阻挡或削弱，其冲击破碎力和影响范围急剧下降，故此处理效果达不到设计的防渗效果。本工程工期比较紧张，未做高喷灌浆试验。

b. 对高喷灌浆规范理解不透彻，灌浆边界条件没有弄清楚

本工程高喷灌浆施工的前期，受到尾水高速水流动水冲刷；高喷灌浆的后期在灌浆期间，虽尾水侧处于静水状态，但大坝底孔泄水的高速水流反向冲刷围堰。《水电水利工程高压喷射灌浆技术规程》(DL/T5200-2004) 9.02 规定，“当地层中水流速度过大，应先进行堵水处理，然后再进行高喷灌浆”。虽没有规定地层中流速多大为过大，但是我个人理解，地下水的速度以不带走砂砾石中的砂子、水泥浆为准，以不大于 1m/s 为好，具体到每个工程上，应做实验。但该工程在填筑围堰时，为防止高速水流的冲刷，在围堰内外侧局填筑料一些块石，后经挖机开挖围堰，发现高喷灌浆体距临水侧基本在 2.5m 左右，加上块石及下料时骨料集中的影响，最小距离约为 1m。而两侧均为高速水流，即使有块石等阻挡，当高压灌浆时，与浆液接触的水流速度也不会小于 1m。高速水流导致水泥砂砾石体难以在预定范围内凝结，形不成连续的防渗体系也就很好理解了。

3.1.2 高喷灌浆受阻

吸取教训后，为保证在静水状态下高喷灌浆，与业主沟通，关闭底孔泄流，能支撑 10d，10d 后再放水。采取双班施工，随着施工的进展，天气越来越冷，11 月中旬白天气温也在 -10 度以下，夜间在 -18 度以下，低温机械受冻，尤其是高喷灌浆的高达 20m 的爬杆，浆液受冻，导致高喷不能施工。

3.1.3 实行双浆液控制性灌浆的施工工艺

采用水泥浆与水玻璃两种浆液加压灌浆，孔距 1.2m，单排，扩散范围 2~3m。采用双泵，浆液分开制作，分两序施工。

表 2 控制性双液灌浆主要参数表

序	间距 (m)	水泥量(kg/m)	水玻璃量 (kg/m)	水泥浆压力 (MPa)	水玻璃浆压力 (MPa)	水泥与水玻璃灌浆质量比
I	1.2	700~900	420~540	1.0~1.2	0.5	1:0.6
II		600~800	360~480	1.5~2.0	1.0	

钻孔时，PVC 花管套管跟进，孔径 75mm，内设置塞子，自下而上灌浆，采用压力与浆液双控即可提升，提升高度 1m/次，采用 25t 汽车吊提升。

造孔与灌浆时，采用移动式暖棚内生炉火升温，暖棚内温度在 15 度左右。水泥浆采用热水拌和，水玻璃加热至 20~25 度。

表 3 控制性双液灌浆主要参数表

序	间距 (m)	水泥量(kg/m)	水玻璃量 (kg/m)	水泥浆压力 (MPa)	水玻璃浆压力 (MPa)	水泥与水玻璃灌浆质量比
I	1.2	700~900	420~540	1.0~1.2	0.5	1:0.6
II		600~800	360~480	1.5~2.0	1.0	



图 3 灌浆暖棚



图 4 水玻璃加热

不放水期间灌浆，放水期间停止灌浆，开始造孔。该项工作在 1 个月内完成，12 月初完成了第二道防渗施工。

3.2 基坑排水

采用了 10 台 IS200-150-400 型离心水泵，其中 7 台运行，3 台备用，排水渠采用明渠外铺塑料薄膜防渗。



图 5 离心泵抽水状况



图 6 抽水排水明渠

尾水基坑水位开始下降，每天下降速度约 0.8m。从基坑水位下降的过程中发现，仍有一些渗水点，渗出坡面后，由于天气严寒，结成“冰山”。

但当水位降至距离设计岩石面还有剩余 5m 时，尾水位不再下降，越往下水压力越大，渗水量也越大，再加水泵已无可能，因为现有位置布置不了那么多的水泵。渗水量与抽排量处于平衡状态。

3.3 浇筑水下混凝土

当时已处于 12 月 28 日，白天气温已降至-18 度。经与参建各方协商，决定采用以下措施，基本思路是：保持目前的抽水状态，关闭弧形闸门 10d，采用反铲，采用进占法尽可能深地将基坑内的砂砾石料挖除，在采用后退法将砂石料导出基坑外，采取措施将水泵坑与基坑内将要浇筑的混凝土区域隔开，再搭设暖棚，浇筑水下混凝土，使得混凝土露出水面，形成干地施工。水下混凝土浇筑完毕后，泄流底孔泄水，水泵继续抽水至导墙施工结束。同时打暖棚施工破坏的护坦等部位，验收后尽可能早地发电。然后在三月底之前（汛前）回填围堰与导墙之间的砂砾石，修筑便道，将钻机开到导墙背部进行造孔，对导墙底部与岩石之间的砂砾石进行固结灌浆，完成导墙修复施工

3.3.1 基坑砂砾石尽可能地挖深、水泵坑与基础混凝土的隔离措施

采用进占法填筑道路到达基坑内，尽可能深地将基坑内的砂砾石料挖除，在采用后退法将砂石料导出基坑外，达到清理基坑尽可能多的多浇筑混凝土。同时采用 1*2*2 的钢筋笼纵横错茬，用挖机摆放，人工配合将钢筋笼堆出水面以上 30cm，钢筋笼外采用彩条布围护，内装砂砾石，钢筋笼之间连接牢靠，形成水泵坑与待浇筑混凝土的隔墙，即模板，钢筋笼靠混凝土基础侧的边线远离设计边线 50cm，即结构基础混凝土多浇筑 50cm 宽，以确保混凝土的质量。如图 7、图 8 所示。



图 7 钢筋砂砾石笼形成的“模板”



图 8 基坑上部搭设的暖棚

3.3.2 浇筑水下混凝土

搭设大型暖棚，内生炉火，保证暖棚内不低于 10 度，并有专人看护防火。同时搭设暖棚廊道与拌合系统连接，与外部隔断，内部采用暖气片取暖，将混凝土泵管引至待浇筑混凝土仓号。采用泵压法浇筑水下混凝土，从仓号一端向另一端推进，最终完成水下混凝土施工，形成干地施工的条件。

3.3.3 已浇尾水导墙底部砂砾石基础处理及其他

混凝土达到强度经验收后，大坝开始蓄水，机组开始发电的同时，开始处理尾水导墙底部砂砾石基础。通过围堰首先回填了尾水挡墙背后的砂砾石，然后采用钻机造孔，预埋套管（待灌浆段预埋钢花管），进行了固结灌浆，经取样地基承载力达到 10MPa，满足设计院提出的地基承载力不小于 500KPa 的要求，说明处理方案是成功的。

采用暖棚法施工了尾水护坦、护坡等损坏部位。

4 启示与经验教训

4.1 施工前的技术准备工作不足，导致高喷防渗体系失效

首先没有认真研读《水电水利工程高压喷射灌浆技术规程》(DL/T5200-2004)的技术文件，设计给的地质资料比较欠缺，没有给其要更详细的资料，认为就是简单的一个砂砾石围堰高喷灌浆，没考虑地下水高流速对灌浆的影响。

没有提前做试验论证。在施工期间在施工部位挖坑取样，得到如下颗粒级配均线，如图9所示。

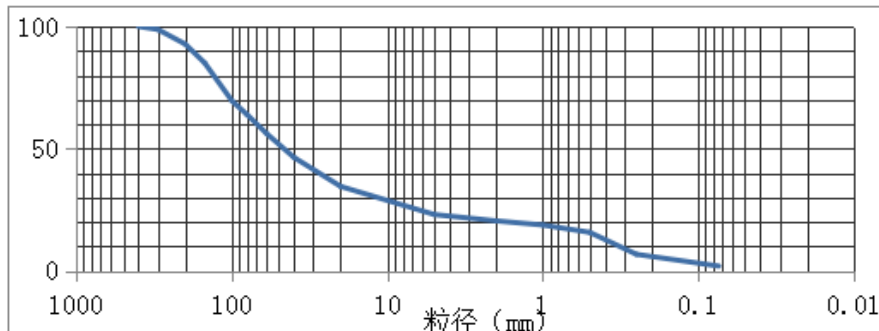


图9 现场试坑取样筛分后获得的级配曲线

从图9来看该试样级配曲线较好，200mm以上粒径的漂石约占8%，5mm以下的粒径约占24%。漂石含量不是很多，但是5mm以下颗粒占24%，在尾水渠泄水与大坝泄流底孔水流先后作用下（地下水流速大于1m/s流速），细颗粒冲走，很难与水泥浆结合凝结，形不成连续的防渗体，导致高喷灌浆防渗失效。

4.2 由于围堰防渗体系失效，使得本来简单的施工变得复杂化

虽然采用各种措施使得工程得以实施，但是将初冬施工的季节推向严寒的隆冬季节施工，二次填筑围堰、二次防渗处理、增设水泵数量、搭设暖棚、按照冬季施工标准施工，施工工序增加。为了保证施工质量与安全，施工成本增加、且功效严重降低。

4.3 经济损失严重

工期的延长、工序的繁琐、严寒冬季施工成本的增加，使得本来盈利的项目转化为亏损项目，真是值得深思。

4.4 经验

虽然该工程防渗失效，给各方面造成一定的损失，是不应该的，但它也有值得总结的经验。在该项目施工中技术人员，针对现场突发出现的问题，项目先后采用了防渗补强、二次围堰采用的双液控制性灌浆、钢筋笼装砂砾石做为水下模板、泵送法浇筑水下混凝土、冬季暖棚法浇筑混凝土，以及砂砾石基础后灌浆法等技术，是值得肯定的。

5 结束语

砂砾石高喷围堰防渗，是一种比较成熟的施工工艺，但是项目施工忽视了其中的细节，如动水影响、未做试验等，导致围堰防渗出现问题，其中的教训是深刻的。但是项目针对出现的问题对症下药，采用了应急处理技术，对防渗补强、双浆液控制性灌浆、钢筋笼装砂砾石做为水下模板、泵压法浇筑水下混凝土、冬季暖棚法浇筑混凝土，以及砂砾石基础后灌浆法加固等应急相关技术，并取得了最终的成功，这是值得肯定的。

[参考文献]

- [1]水电水利工程高压喷射灌浆技术规程:DL/T5200-2004[S].北京:中国电力出版社,2003:4-5.
 - [2]王芮瑾.浅析水利水电工程施工中施工导流及围堰技术的应用[J].科技与企业,2015(6):160.
 - [3]李潇.施工导流及围堰技术在水利水电工程施工中的应用[J].技术与市场,2015(1):60.
- 作者简介:张涛锋(1981-),男,本科学历,工程师,长期从事水利水电工程施工工作。