

# 毛板桥水库混凝土防渗墙施工技术

王剑峰<sup>1</sup> · 高卡林<sup>2</sup> 郝学军<sup>1</sup> 张爱民<sup>1</sup>

(1. 中国华水水电开发总公司 北京 100054 2. 云南楚雄水电勘察设计研究院 云南楚雄 675000)

**[摘要]** 毛板桥水库防渗墙通过改进造孔工艺和混凝土配合比,取得了墙体混凝土高强、低弹、高抗渗的优异性能,以及墙段间、墙体与基岩间的接缝紧密的良好效果。

**[关键词]** 毛板桥水库 防渗墙 高强 低弹 高抗渗

## 1 工程概况和地质条件

毛板桥水库位于云南省南华县城西龙川江干流上游 15km,总库容 2082.6 万 m<sup>3</sup>,大坝为均质土坝,坝顶高程 1913.5m,坝高 21.3m,坝顶长 106.5m,宽 5.0m,是一座灌溉和防洪综合利用的中型水利枢纽工程。工程等级为三级。

水库建于 1965 年,已运行 47 年。大坝存在的主要问题有:坝基清理不彻底,有厚 1~1.5m 覆盖层未清除,坝基、坝肩存在渗漏和绕坝渗流。上游坝坡曾多次开裂欲滑。高程 1887~1990m 之间存在软土区,外坝坡浸润线较高,外坝坡两侧下部渗水潮湿;外坝坡存在白蚁活动层等。根据毛板桥水库带病运行情况和大坝安全鉴定结论,决定对毛板桥水库大坝进行除险加固处理。坝体防渗采用混凝土防渗墙,截断坝基坝肩渗流采用帷幕灌浆。

大坝防渗墙长 107m,墙厚 0.6m,最大深度 32m,平均深 21m。防渗墙从坝顶穿过坝体嵌入坝基泥岩或砂岩 1m,深入河床断层带 6m。该工程由中国华水水电开发总公司中标,该公司在施工中创出了一些已建混凝土防渗墙难于达到的新指标。

毛板桥水库大坝坝址主要出露的地层是中生界白垩系下统高丰寺组灰色长石石英砂岩。石英砂岩下部含砾砂岩,中、下部夹黄绿色钙质泥、页岩,局部夹红色泥岩。其中右坝肩大部分是黄灰色砂岩夹少部分紫红色泥岩;坝址段河床顺直,河床宽 30~35m,表层为第四系冲洪积砂卵、砾夹粉质壤土、黏土交错分布,层厚 2~5m,下部基岩为长石石英砂岩夹泥岩;左坝肩为砂岩、泥岩互层。

## 2 混凝土防渗墙施工

### 2.1 成槽方法

防渗墙轴线长 107.10m,划分为 18 个槽孔,1~17<sup>#</sup>槽长 6.6m,每槽设 9 个单孔,其中 5 个主孔,长 0.6m;4 个副孔,长 0.9m。18<sup>#</sup>槽孔长 5.1m,设 7 个单孔。单、双号槽孔分两期施工。采用 CZ-22 型冲击钻机造孔,泥浆固壁。主孔座眼钻进,副孔中心座眼,尔后打掉两侧小墙。一二期槽搭接套打一钻。施工中严格控制孔斜。基岩面的确定采用监理旁站,施工单位取样,按岩样岩性、含岩比例确定。

### 2.2 混凝土配合比

根据设计要求,混凝土配合比由云南省水利水电设计研究院实验室(甲级)试验确定,见表 1。

表1 推荐的混凝土配合比

配置强度 (MPa)	黏土掺量 (%)	极限 水胶比	计算水 胶比	采用 水胶比	砂率 (%)	(水泥+黏土):砂:中石:小 石	
12.94	20	0.65	0.52	0.52	34.4	1: 1.101: 0.829: 1.244	
混凝土材料用量 (kg/m <sup>3</sup> )							
水泥	黏土	河砂	中石	小石	水	QX-II	DH <sub>9</sub>
381.5	95.4	525.3	395.5	593.3	248.0	2.8614	0.0477

### 2.3 混凝土浇筑时发生混凝土流失的处理

混凝土浇筑采用泥浆下直升导管法。一般情况正常,但浇筑过程中 9#槽发生了混凝土流失的现象,流失混凝土 85m<sup>3</sup>。在以往的防渗墙施工中也曾发生过类似现象,如江西柘林水库大坝加固中一个槽孔曾发生流失混凝土 209m<sup>3</sup>。分析原因是在流动混凝土的压力下使大坝的松散部位发生了裂缝,或打开某条通道,使混凝土沿着裂缝或通道流失。

混凝土流失的判断和处理:

(1) 混凝土浇筑量和槽内混凝土面上升高度曲线不正常。混凝土浇筑速度正常,但混凝土面不上升或上升很慢,有时还会下降;

(2) 排除坍塌槽和混凝土絮凝因素。如坍塌出现会使混凝土面突然上升;混凝土絮凝同样会出现槽内混凝土面突然上升,而不是不升或下降;

(3) 查看造孔记录,了解此处孔形情况,观测坝体有无裂缝出现。

发生混凝土流失的处理措施:

(1) 放慢浇筑速度,必要时间歇浇筑,但要活动混凝土导管,避免铸管;

(2) 降低入仓混凝土坍落度和扩散度;

(3) 保证混凝土导管在混凝土内的一定的埋入深度,避免混凝土面突然下降时将导管底口悬挂在泥浆中;

(4) 如浇筑中坝体发生裂缝,混凝土一般会自动充填,混凝土浇筑结束后会因混凝土及泥浆压力的消失,裂缝会自行逐渐密合,无须另加处理。

## 3 混凝土防渗墙质量检测

防渗墙混凝土设计技术指标为:抗压强度  $R_{28} \geq 10\text{MPa}$ ,弹性模量  $E=10 \sim 14.5\text{GPa}$ ,抗渗等级  $\geq W_6$ 。施工时进行孔口取样测试,共有 13 组试件(抗压 39 块、抗渗 78 块、弹模 39 块),测得抗压强度  $R_{28}=17 \sim 30\text{MPa}$ ,  $E=9.5 \sim 14.5\text{GPa}$ ,抗渗  $\geq W_6$ 。

防渗墙竣工以后,在墙体进行了钻孔检查,共布 8 个检查孔,每孔入岩 3m,其中 2 个孔布置在一二期槽混凝土接头处。检查结果:钻孔取芯率 93%,60%岩芯长 1.5m 以上,30%岩芯长 2.5~3.0m(岩芯管长 3m);一二期槽混凝土结合紧密,无夹泥;墙体同下部基岩结合紧密,无有夹泥和淤积物。墙体孔内分段做注(压)水试验 25 段,透水率均为 0。

取检查孔芯样 16 组,在试验室内进行抗压强度和弹模试验,试验结果表明,抗压强度  $R=16.5 \sim 30.3\text{MPa}$ ,平均 25.0MPa;弹性模量  $E=11.3 \sim 20.4\text{GPa}$ ,平均 14.2GPa。

## 4 本工程取得的主要技术成果

### 4.1 主要技术成果

本工程虽然规模不大,但与其他工程比较具有如下特点:

(1) 本工程墙体材料为常规的黏土混凝土,但其具有高强度、低弹模、高抗渗的性能,在已建黏土混凝土防渗墙不多见。常规的黏土混凝土防渗墙, $R_{28} \geq 10\text{MPa}$ 时,一般弹性模量 $E$ 均在 $17\text{GPa}$ 以上。如碧口水电站大坝混凝土防渗墙, $R_{28} \geq 10\text{MPa}$ ,抗渗等级 $W_8$ ,弹性模量 $E=18 \sim 23\text{GPa}$ ;柘林水库大坝混凝土防渗墙, $R_{28} \geq 10\text{MPa}$ ,抗渗等级 $W_8$ ,弹性模量 $E=17 \sim 20\text{GPa}$ 。

(2) 据有关资料记载,防渗墙墙体钻孔取芯芯样强度通常为地面制作的试件强度的70%左右,而毛板桥混凝土防渗墙墙体检查孔钻孔芯样抗压强度和弹性模量不低于孔口混凝土成型试件的强度。180天龄期芯样强度比孔口试件28天龄期强度提高了5%,弹模提高了9%。

(3) 毛板桥大坝混凝土防渗墙一二期墙段接头和墙体同基岩结合紧密无夹泥。

### 4.2 主要技术措施

本工程取得这些成果的相关措施如下:

(1) 改善混凝土性能的措施。①合理选用粗骨料。粗骨料粒径大小会影响混凝土弹模的高低,粒径大,弹模高;反之粒径小,弹模会降低。毛板桥混凝土防渗墙施工中严格控制了超径骨料的数量。同时还注意合理地选用了当地既便宜又能降低弹模的粗骨料。这种骨料在云南白龙河大坝混凝土防渗墙施工中也收到了同样的效果。②合理掺入外加剂。

(2) 提高墙段接缝质量的措施。防渗墙墙段接头不论采用何种形式,如套打一钻、双反弧接头、拔管接头等,一二期槽段间都会留下一道接缝。接缝是否紧密,对防渗墙的抗渗性和耐久性至关重要。《墙规》中未对墙段间接缝宽度做出具体规定,笔者认为接缝宽度 $\leq 5\text{mm}$ ,且不连续,即应为合格。实际工程中有的墙段接缝已紧密到肉眼难于分辨的程度,接缝两侧混凝土已粘结在一起(如本工程防渗墙),但也有不少工程墙段接缝过宽,夹泥厚可达 $5\text{cm}$ 以上。一般是墙体中心夹泥较薄,两侧较厚;墙下部较薄,上部较厚。

接缝中的夹泥等残留物主要有三种:即造孔过程中泥浆附着在一期槽段端面混凝土上的泥皮;二期槽孔底部淤积和泥浆内的絮凝物。本工程采取的减少夹泥、提高接缝质量的措施是:

①避免一期槽端头混凝土面贴皮。贴在混凝土面上的黏泥称为贴皮,贴皮停等时间长了很难刷洗。毛板桥防渗墙接头孔打出后,加快二期槽施工速度,并尽快浇筑二期槽混凝土(不小于20天)。二期槽孔施工时要严格控制端孔孔斜,经常检查接头孔孔斜变化(如有贴皮时,孔斜增大)。发现孔斜出现变化,马上刮除(钻头上加焊刮刀,沿混凝土面提拉或冲击)。

②加强混凝土接头的刷洗。造孔中形成的泥皮,经长时间的受压、脱水作用,一般都很致密,且厚度不大,经多次刷洗后所剩无几。《墙规》要求,孔深大于 $30\text{m}$ 时应分段刷洗,刷洗标准为刷子上不带泥屑,孔底淤积不再增加即为合格。这里,刷洗操作人员的素质、责任心至关重要,如果提拉刷子钻头的钻机位置摆放不合理,刷子钻头没有贴近一期槽段混凝土面或尚未贴紧,刷子钻头同样会出现不带泥屑、孔底淤积不再增加的情况。本工程防渗墙施工中对刷子钻头的刷毛刚性、长度、刷毛有效高度、直径、刷毛的最低位置等都严格具体的规定,吊系刷子钻头的钻机(或其他设备)摆放位置要能使刷子钻头贴紧混凝土面(上下提拉有吃力感),上下刷洗除满足《墙规》要求的次数外,特别增加为不得少于50个回次。

③改善混凝土浇筑工艺。包括浇筑前采用优质泥浆进行清孔换浆；清孔合格后及时开盘浇筑混凝土；严格控制入槽混凝土的工作性能，同时加快浇筑速度，使槽内混凝土有良好的流动扩散能力；合理布置导管，特别是槽内两端的导管，二期槽内两侧导管中心距一期槽混凝土面不大于1m，使一二期槽混凝土紧密结合；避免混凝土从导管外洒入槽孔内，污染泥浆形成絮凝物；终浇阶段向槽内适当加水稀释泥浆。

(3) 保证墙体与基岩紧密结合的措施。墙体底部与基岩结合是否紧密，同孔底淤积物有关。如何减少孔底淤积厚度是保证墙体同基岩结合的关键。

①作好清孔换浆。清孔换浆可采用抽筒法或泵吸法。无论用何种方法，均需间歇进行，要有足够时间，使泥浆内杂质充分沉淀，最后予以清除。本工程采用抽筒清孔换浆，6.8m长的槽孔使用两台钻机同时清孔。槽底平缓时，采用“赶羊法”往返清理，即两台钻机同时从一端向另一端清理，往返数次；在槽底较陡时，一机从高端往低端清，另一机在最底处清，一直到孔底淤积和槽内泥浆指标满足要求为止。清孔换浆时要不断向槽内补充新制泥浆，数量不少于槽孔容积的1/3。本工程孔底淤积在满足设计要求的前提下，尽量减少淤积厚度，多数槽孔孔底淤积在1~5cm。

②作好混凝土的开浇工作。本工程采用“压球法”开浇混凝土。“压球法”可利用混凝土流的惯性冲击力将孔底淤积冲起、散开，被冲起淤积一部分浮在混凝土面上被托到孔口，另一部分与最先浇入的砂浆混合，形成低标号的混凝土。

槽底较陡时，要准确掌握各个导管的开浇时间，先深后浅，控制方法除加强测绘、准确计算和控制混凝土入仓量外，要凭经验观察各导管内泥浆的变化。当槽底平缓（高差不大于50cm）时各导管要同时开浇，避免将淤积压在槽底影响墙体与基岩结合。

## 5 结 语

(1) 防渗墙混凝土的抗压强度同弹性模量成正比，为了改善墙体应力状态，需要降低弹模，但同时又降低了混凝土的抗压强度。因此混凝土防渗墙多选用28天抗压强度为5~8MPa的混凝土和塑性混凝土（ $R_{28} \leq 5\text{MPa}$ ）作为大坝防渗墙的墙体材料。高坝坝基混凝土防渗墙承受的水压力、上部土压力和因地层或坝体沉降产生压应力更大，为避免将墙体“压碎”，这类防渗墙多使用高强度混凝土，如已建成的小浪底大坝坝基防渗墙 $R_{90}=35\text{MPa}$ ， $E=30\text{GPa}$ ；拟建的新疆下板地坝基防渗墙 $R_{28}=25\text{MPa}$ ， $E=28\text{GPa}$ 。

但塑性混凝土的使用年限有争议，而高强混凝土的弹模太高，对周边介质不协调。本工程的墙体混凝土能实现高强、低弹，这不能不说是一个可喜的成绩。

(2) 混凝土防渗墙发展至今，墙段间接缝和墙体同基岩接触带是薄弱环节，影响防渗墙的整体防渗效果。本工程检查结果证明只要加强施工过程的全面控制，增强施工队伍的责任心，针对具体情况采取有效的技术措施，防渗墙的薄弱环节是可以避免的。

(3) 毛板桥混凝土防渗墙墙体钻孔芯样检查抗压强度和弹性模量不低于或略高于地面成型试件的试验结果，这一方面说明了本工程施工质量上乘，但也有可能是钻孔芯样龄期（180天）长于孔口试件龄期（28天）的缘故。