

# 浅谈两钻一抓法在勐董水库混凝土防渗墙施工中的应用

包崇国<sup>1</sup> 边盛富<sup>2</sup>

1 云南能阳水利水电勘察设计有限公司, 云南曲靖, 655000;

2 云南中南水利建设投资有限公司, 云南昆明, 650200;

**摘要:** 混凝土防渗墙工程是勐董水库除险加固工程的防渗处理措施之一, 主要针对大坝坝体及坝基的渗漏问题进行防渗加固处理。施工中采用“两钻一抓”法, 冲击钻机配合液压抓斗成槽的施工工艺, 对坝土及软岩坝基具有成槽速度快, 槽壁稳定不易坍塌, 对围岩土体扰动小, 施工时振动小、噪音污染低、泥浆排量少、施工成本低等特点。该施工工艺在同类工程地质条件下可借鉴使用。

**关键词:** 勐董水库; 混凝土防渗墙; 液压抓斗; “两钻一抓”法

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.03.069

## 1 工程概况

勐董水库位于澜沧江水系小黑江支流勐董河上游, 是一座以灌溉为主, 兼有防洪、发电、供水、旅游等综合效益的中型水库, 总库容 1433.20 万 m<sup>3</sup>, 兴利库容 1180 万 m<sup>3</sup>, 防洪库容 133.20 万 m<sup>3</sup>, 死库容 119.80 万 m<sup>3</sup>, 坝顶高程 1305m, 最大坝高 61m, 坝顶长 337m; 灌溉面积 3.72 万亩, 农业灌溉用水 1710.5 万 m<sup>3</sup>, 城镇供水 25 万 m<sup>3</sup>。勐董水库属中型水库, 工程等别为 III 等, 永久建筑物拦河坝、溢洪道、输水隧洞为 3 级建筑物; 次要建筑物等级为 4 级, 临时建筑物为 5 级。地震设防烈度为 VIII 度。

## 2 坝体及坝基地质情况

坝轴线走向 213°, 坝址河谷高程 1256m, 宽 120~150m, 呈宽缓的“V”字型, 左岸山坡坡度 25~35°, 右岸山坡坡度 25~30°。主要地层岩性为: ①奥陶系曼黑组深灰色变质石英砂岩, 变质绿泥石英砂岩和绢云母石英片岩; ②侏罗系中统花开左组下段紫红色砂岩、砂砾岩。坝址区岩层产状较乱, 总体产状走向北西, 倾向北东, 倾角 55~65°。大坝为粘土心墙风化料坝, 其坝壳料为风化硅质岩, 以碎石或碎石土为主, 坝壳料填土总体呈中密状, 局部呈松散状, 钻孔岩芯呈松散状。填土总体呈团状结构, 经过一定碾压, 但各层碾压程度、物质组成(有的粘粒含量较高)、密实性相差较大。局部夹松散层, 可见许多小空洞, 经注水试验反映, 下游坝坡钻孔注水试验渗透系数均在  $1.03 \times 10^{-3} \sim 9.54 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  之间, 平均值  $9.07 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ , 为中等

透水, 透水性较差; 其心墙料为粘土, 呈紫红色、褐红色, 硬塑~硬可塑状, 左坝段碾压密实度稍差, 碎石土略多, 局部为塑状, 存在孔隙性渗漏问题。钻孔注水试验渗透系数均在  $1.56 \times 10^{-3} \sim 1.23 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  之间, 平均值  $2.41 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ , 局部透水性弱, 大部分属中等透水偏弱透水。大坝存在坝体、坝基渗漏和渗透稳定问题, 垂直防渗采用混凝土防渗墙。

## 3 防渗墙设计与施工

### 3.1 主要设计指标

1. 防渗墙布置于坝轴线 0+00.000~0+330.00 位置, 全长 330m, 厚度为 80cm, 深度为 21.0~69.0m 不等, 成墙面积 15018 m<sup>2</sup>。

2. 防渗墙槽孔孔位偏差: 不大于 30mm; 孔深: 不小于设计孔深(垂直基岩面深入强风化基岩); 孔斜率:  $\leq 4.0\%$ ; 孔底淤积厚度  $\leq 10 \text{cm}$ , 泥浆密度  $\leq 1.3 \text{g/cm}^3$ , 粘度  $\leq 30 \text{s}$ , 含砂量  $\leq 10\%$ ; 混凝土坍落度 180~220mm, 扩散度 340~400mm。

3. 防渗墙混凝土抗压强度:  $R_{28} \geq 15 \text{MPa}$ ; 抗渗等级为 W6; 弹性模量:  $E = 20 \sim 30 \text{GPa}$ 。

4. 检查孔注水试验渗透系数:  $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。

### 3.2 防渗墙施工前准备

#### 3.2.1 施工平台

自坝顶路面开挖 1.5m 深至 1303.50m 高程作为施工平台。根据工地现场实际情况及施工设备布置需要, 防渗墙上游侧施工平台宽度为 6.2m, 钻机轨道、冲击钻机、液压拔管机及供电线路等均布置在上游侧; 下游侧

施工平台宽度为9.0m,液压抓斗、倒浆平台、排浆沟、回浆管道及混凝土运输、浇筑施工道路等布置在下游侧;施工平台高程与防渗墙顶高程1303.5m相同。

### 3.2.2 导向槽

导向槽施工是防渗墙施工的关键环节,其主要作用为槽段定位、成槽导向、控制标高、防止槽口坍塌及承重的作用,根据设计,导向槽截面形式采用钢筋混凝土倒“T”型断面,导向槽应具有必要的强度、刚度和精度,要满足挖槽机械设备的施工荷载要求。

### 3.2.3 混凝土配合比

防渗墙的墙体材料采用C15/W6混凝土,经施工单位自检试验室试验,业主委托的检测单位复核,根据设计要求确定了混凝土配合比,并出具了报告。

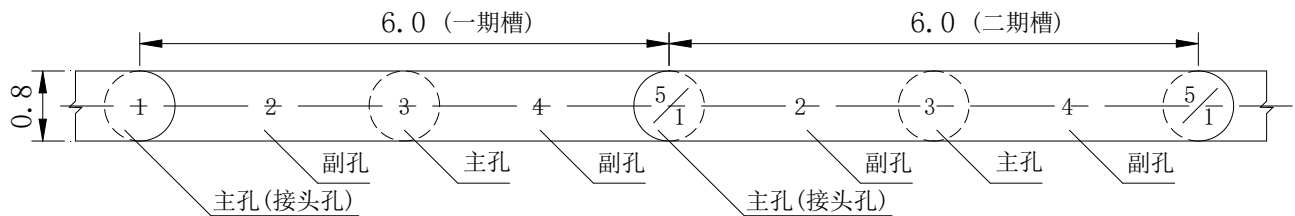


图1 混凝土防渗墙成槽主孔和副孔布置图

Fig.1 Layout of main and auxiliary holes in the groove of concrete anti-seepage wall

防渗墙施工时槽段划分为一、二期槽,间隔布置。

### 3.3.2 施工工序

施工场地平整→导向槽浇筑→混凝土防渗墙试验→防渗墙造槽→防渗墙清孔换浆→防渗墙混凝土浇筑→防渗墙实体检测(钻孔取芯、注水试验、声波透射法完整性检测)。

### 3.3.3 成槽过程控制

在成槽过程中,严格控制抓斗的垂直度及平面位置,保证孔斜。仔细观察抓斗监测系统,X,Y轴任一方向偏差超过允许值时,立即进行纠偏。机械操作要平稳,并及时补充泥浆,保证导墙中泥浆液面稳定。

根据槽段长度与成槽机的开口宽度,确定出首开幅和闭合幅,保证成槽机切土时两侧邻界条件的均衡性,以确保槽壁垂直。

整个成槽过程中,纠偏工作随时进行,使显示精度始终保持在标准范围内。

施工过程中注意泥浆性能的变化,定期进行检测,及时补充符合标准的优质泥浆入槽,保证正常施工。

### 3.3.4 抓斗、冲击钻成孔垂直度控制

在连续墙主孔和端孔施工时,保证钻机对位准确,调整钻机至水平并固定牢靠,防止钻机发生倾斜或移动

## 3.3 防渗墙施工工艺

### 3.3.1 槽段划分与成槽方法

防渗墙布置于坝轴线0+00.000~0+330.00位置,全长330m,以6m作为一个槽段,共分55个槽段。每个槽段由3个主孔和2个副孔组成,主孔孔径80cm,副孔孔径220cm,主孔间距3.0m,两个主孔间为副孔。

采用XH-6A冲击钻与SG-46A型液压抓斗相结合的“两钻一抓”成槽方式,分两序进行施工,首先采用冲击钻钻取主孔,完成主孔后再通过液压抓斗抓取副孔,液压抓斗只钻(抓)取坝体填土和基岩全风化层,基岩部分利用冲击钻进行成槽施工。主孔和副孔的布置如图1所示。

而影响槽孔的垂直度,保证槽孔中心偏差不大于3cm;常规控制孔斜率不大于0.4%,遇有含孤石、漂石的地层等特殊情况下,其孔斜率控制在0.6%以内;

对于冲击式钻机,每施工2m必须检查钢丝绳是否偏离孔中心位置,发现偏离及时进行校正。

### 3.3.5 槽孔清孔换浆

槽孔的清孔换浆采用抽筒法置换泥浆清孔,在清除孔内废渣的同时向孔内补充新鲜泥浆。对二期槽,在清孔换浆前或清孔过程中采用带钢丝刷子的钻头刷洗一期槽段接头混凝土壁的泥皮,至刷子钻头不带泥屑、孔底淤积不再增加为止。采用冲击钻机造孔,经净化后的泥浆可以重复使用,混凝土浇注时将未被污染的泥浆抽出送至其它槽段或泥浆池重复利用,被污染的泥浆排放到下游废浆池。清孔后孔底淤积不大于10cm,清孔换浆合格后,方进行下道混凝土浇筑工序施工。

### 3.3.6 泥浆制作

本工程优先采用粘土做为泥浆制备材料,造孔用的泥浆材料经过现场检测合格后方可使用。主要质量控制指标为:泥浆密度不大于 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ ,泥浆黏度不大于30s,泥浆含砂量不大于8%,必要时,加适量的添加剂。

拌制泥浆按批准的配合比配制,计量误差值不大于

5%。泥浆搅制系统布置在拦河坝坝脚，泥浆搅拌站布置 1m<sup>3</sup> 泥浆搅拌机 2 台。

泥浆经过制浆池、沉淀池及储存池三级处理，泥浆制作场地以利于施工方便为原则，泥浆循环利用。废弃的泥浆澄清后，清水直接排放到原河道，沉渣由反铲挖机清挖、自卸汽车运至指定的弃渣场填埋。

### 3.3.7 混凝土灌浆盖板（坝体与坝基结合部）的鉴定

勐董水库坝基岩层为含砾砂岩、绢云母石英片岩等较软岩体，强风化后呈土状，与填筑坝土区分困难，但原大坝粘土心墙部位坝基之上浇筑有混凝土灌浆盖板，灌浆盖板乃坝体与坝基的结合部位，识别混凝土灌浆盖板的埋深，成为鉴定防渗墙嵌入基岩深度的主要依据，在施工过程中必须测量准确。

### 3.3.8 嵌入基岩深度与槽孔深度

嵌入基岩深度是主要设计指标和确保防渗效果的关键因素，施工过程中应严格控制槽孔深度不小于设计孔深，当冲、抓至设计标高时，施工方现场技术负责人汇同监理、设计及业主代表采用重锤法现场共同测量槽孔深度，并签字确认。

### 3.3.9 防渗墙混凝土浇筑

防渗墙 C15/W6 混凝土采用商品混凝土，按施工方提供的混凝土配合比拌合，其混凝土质量由混凝土供应商保证。

清孔合格后，必须在 4h 内浇筑混凝土。防渗墙泥浆下浇筑混凝土采用直升导管法。当槽底高差大于 25cm 时，导管布置在其控制范围的最低处，导管的连接和密封可靠。

混凝土墙体材料，入槽扩散度应为 34~40cm，坍落度应为 18~22cm，坍落度保持 15cm 以上的时间不小于 1h；初凝时间不小于 6h，终凝时间不大于 24h；混凝土的密度不小于 2100kg/m<sup>3</sup>。

混凝土开浇前，导管内置入可浮起的隔离塞球，开浇时，先注入同等标号的水泥砂浆，随即浇入足够的混凝土，挤出塞球并埋住导管底端。浇筑时在槽孔口设置盖板，避免混凝土散落槽孔内，严禁不符合质量要求的混凝土浇入槽孔内。

## 3.4 混凝土防渗墙验槽、验仓时检验、检查要点

勐董水库混凝土防渗墙施工过程中，在验槽、验仓时各施工工序检验、检查要点如下表。

### 3.4.1 造孔工序

表 1 造孔工序 Table 1 Drilling process

序号	检验项目	质量标准	检验方法
1	槽孔深度	不小于设计深度	现场测量，注意检查是否有小墙
2	孔斜率	不大于 0.4%，特殊地层不大于 0.6%	重锤法
3	槽孔中心偏差	≤3cm	现场测量，十字法
4	槽孔宽度	满足设计要求（包括接头厚度）	测量钻头直径，槽内拖动
5	套接孔	一、二期槽孔接头套接孔的两次孔位中心在任意深度的偏差值不大于设计墙厚的 1/3	重锤法
6	施工记录	齐全、准备、清晰	综合检查

### 3.4.2 清孔工序

表 2 清孔工序 Table 2 Hole cleaning process

序号	检验项目	质量标准	检验方法
1	接头刷洗	刷子钻头上基本不带泥屑，孔底淤积不再增加	现场测量
2	孔底淤积	≤10cm	现场测量
3	孔内泥浆密度	不大于 1.3g/cm <sup>3</sup>	比重计
4	孔内泥浆黏度	不大于 30s	500/700mL 马氏漏斗计
5	孔内泥浆含砂量	≤8%	洗砂瓶
6	施工记录	齐全、准备、清晰	综合检查

### 3.4.3 混凝土浇筑工序

表3 混凝土浇筑工序 Table 3 Concrete pouring process

序号	检验项目	质量标准	检验方法
1	导管埋深	埋深 2~6m	现场测量
2	导管布置	导管间距≤4.0m; 距离孔端: 一期 1.0~1.5m, 二期 1.0m	现场测量
3	混凝土上升速度	≥2m/h	现场测量、计算
4	混凝土面高差	≤0.5m	现场测量
5	混凝土坍落度	18~22cm	现场测试, 每车检测 1 次
6	混凝土扩散度	34~40cm	现场测试, 每车检测 1 次
7	混凝土配合比	符合批准的配合比要求	到拌合站检查核实
8	混凝土抗压强度、抗渗等级、弹性模量等	符合抗压、抗渗、弹模等设计指标	室内试验
9	特殊情况处理	处理后符合设计要求	现场检查核实
10	混凝土最终高度	最终高度平导向槽顶面	开挖检查
11	施工记录、图表	齐全、准备、清晰	综合检查

该混凝土防渗墙于 2022 年 4 月 16 日开工, 2022 年 11 月 24 日完工。该混凝土防渗墙共有 55 个槽段, 划分为 55 个单元工程, 全部 55 个单元工程的施工质量验收评定为合格。

#### 4 混凝土防渗墙实体质量检测

本工程采用钻机钻检查孔取芯检测、孔内注水试验及声波透射法完整性检测等方法对防渗墙实体质量进行检测。

1.检查孔岩芯观察与编录: 观察岩芯表面光滑密实, 骨料分布均匀, 无空洞、夹泥、裂缝等现象, 取芯率达 80%以上, 槽段芯样满足设计指标要求; 对岩芯进行了编录、拍照, 资料归档保存。

2.芯样抗压强度检测: 从 J4、J6 检查孔中取 10 组芯样做抗压强度检测,  $R_{max}=21.6MPa$ ,  $R_{min}=19.2MPa$ ,  $R_n=20.4MPa$ , 芯样抗压强度合格。

3.注水试验检查: 防渗墙共布置检查孔 8 个, 注水试验 72 试段, 渗透系数  $1.01 \times 10^{-8}cm/s \sim 9.97 \times 10^{-8}cm/s$ , 全部符合设计要求。

4.防渗墙完整性检测: 利用防渗墙的 6 个检查孔组成 6 个剖面, 采用声波透射法进行了完整性检测, 完整性为 I 类的有 2 个剖面, 占检测数量的 33.3%; 完整性为 II 类的有 4 个剖面, 占检测数量的 66.7%; 无 III、IV 类。检测结论: 防渗墙整体是连续和完整的。

#### 5 混凝土防渗墙变形观测

为观测拦河坝混凝土防渗墙变形, 选择坝体最高典型断面, 也就是混凝土防渗墙预期变形最大处的墙体安装固定式测斜仪进行水平位移观测。

拦河坝防渗墙内 8 套测斜仪安装结束后, 于 2025 年 5 月 26 日~2025 年 6 月 21 日共自动采集内部位移(变形) 26 次, 防渗墙最大内部位移(变形)为 0.705mm, 符合设计及相关规范要求。

#### 6 结语

混凝土防渗墙是土坝防渗加固的一种有效方法, 施工工艺成熟, 具有成墙整体性好, 对围岩土体的适应强, 质量可靠, 防渗效果和耐久性都较好等优点。勐董水库防渗墙施工采用“两钻一抓”法, 冲击钻机配合液压抓斗成槽的施工工艺, 对坝土及软岩坝基具有成槽速度快, 槽壁稳定不易坍塌, 对围岩土体扰动小, 施工时振动小、噪音污染低、泥浆排量少、施工成本低等特点。该施工工艺在同类工程地质条件下可借鉴使用。

#### 参考文献

[1] 刘晓亚, 王强. 混凝土防渗墙施工技术在水利工程施工中的应用研究[J]. 水上安全, 2025, (22): 166-168.  
 [2] 王树君, 张卫华. 水利工程中塑性混凝土防渗墙施工技术应用研究[J]. 工程机械与维修, 2025, (11): 81-83.  
 [3] 张志光. 水利堤坝塑性混凝土防渗墙加固施工技术研究[J]. 工程机械与维修, 2025, (11): 84-86.

作者简介: 包崇国, 男, 1966 年 12 月, 云南宣威, 汉, 本科, 高级工程师(副高) 研究方向: 水利水电工程地质。