

# Comparative Study on Anti-seepage Design Schemes of Dam Cofferdam Foundation over 100m Deep Riverbed

Jing Ma Bing Jiang

Xinjiang Corps Survey and Design Institute (Group) Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830002, China

## Abstract

The Xinjiang Bingtuan Shimen Reservoir, built on the over 100-meter deep riverbed overlay, has been successfully applied to the dam cofferdam anti-seepage project and has gained many successful experiences. This paper mainly introduces the comparison and analysis of the dam cofferdam foundation design scheme on the overlying 100-meter deep riverbed cover, which can be used as a reference for similar projects.

## Keywords

seepage prevention of cofferdam; scheme analysis; drainage of foundation pit

## 超百米深河床覆盖层大坝围堰基础防渗设计方案比较研究

马敬 蒋兵

新疆兵团勘测设计院(集团)有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830002

## 摘要

在超百米深河床覆盖层上建设的新疆兵团石门水库, 悬挂式防渗墙基础已在大坝围堰防渗工程中获得成功应用, 并取得了许多成功经验。论文主要介绍了在超百米深河床覆盖层上, 大坝围堰基础设计的方案比较与分析论证, 可供同类工程参考。

## 关键词

围堰基础防渗; 方案分析; 基坑排水

## 1 引言

中国坝工建设中, 超百米深河床覆盖层的深基础大坝工程已建有数座。深防渗墙的施工技术日趋成熟, 设计与实施已不是难题。但是, 因主体基础防渗墙具有深度大, 难度高, 施工周期长等特点, 加上上游围堰基础防渗情况又与防渗墙施工、坝体填筑实施等直接相关, 所以, 围堰基础防渗设计也是此类项目设计的关键, 倍受关注。一方面, 围堰防渗基础属临时工程, 如与主体工程做同等深度全防渗, 虽利于主体防渗墙及坝体填筑施工, 但存在工期长、强度大、造价高等弊端。另一方面, 如围堰基础做不完全防渗, 虽节约了投资, 但后序施工排水等带来的问题也是不易解决的难题。在兵团石门水库建设中, 结合具体的地质、水文与施工条件, 设计方案与施工组织紧密结合, 对深覆盖层大坝围堰防渗基础的设计进行了科学严谨的分析论证, 并得出了最优方案。该方案已在石门水库工程中成功应用, 积累了成功经验, 对类似

工程具有很好的借鉴意义。

## 2 工程简介

中国新疆石门水库工程隶属兵团第二师, 位于莫勒切河出山口处, 地处祖国南疆边境, 距乌鲁木齐市 1450km。石门水库为莫勒切河上的一座拦河水库, 枢纽建筑物由拦河大坝、底孔泄洪冲砂洞、表孔溢洪道组成。大坝为沥青混凝土心墙坝, 最大坝高 81.5m, 坝顶宽 10m, 坝顶长 530.6m, 上游坝坡为 1:2.25, 下游坝坡为 1:2。坝体座落在第四系全新统冲洪 ( $Q_4^{al}$ ) 漂卵砾石层及中更新统冰水沉积 ( $Q_2^{el}$ ) 卵砾石层, 最大覆盖层厚度 118.7m, 河床海拔高程 2327m。大坝基础防渗形式采用混凝土防渗墙与基岩帷幕灌浆相结合, 为完全防渗结构。防渗墙最大深度 118m, 伸入基岩 1m, 墙底设 50m 深帷幕灌浆。大坝上游围堰工程为永临结合, 是永久坝体的一部分, 最大堰高 24m。

莫勒切河发源于巴音郭楞蒙古自治州南部昆仑山北麓和

阿尔金山的两条东西相邻河流，多年平均径流量大于 2.71 亿  $m^3$ ，多年平均流量  $9.75m^3/s$ ，主要为暴雨洪水或雨雪混合洪水，主汛期在 6-8 月；最枯月为 3 月，最枯期多年平均流量  $1.33m^3/s$ ；9 月中旬 10 年一遇洪峰流量为  $69.8m^3/s$ 。河流出山口附近年平均气温  $2.3^\circ C$ ，最高月 7 月平均气温  $17.7^\circ C$ ，最低月 1 月平均气温  $-11.5^\circ C$ 。

### 3 坝址区工程地质条件

水库坝址区位于莫勒切河出山口处，为低中山河谷地貌，山顶高 2500m，两坝肩基岩山体较为雄厚。该段河谷呈 U 型，走向近南北向，河道纵坡 11‰。现代河床宽 200 ~ 380m，高程 2325m 左右，河床为第四系全新统冲洪 ( $Q_4^{al}$ ) 漂卵砾石层及中更新统冰水沉积 ( $Q_2^{gl}$ ) 卵砾石层，最大厚度 118.7m。工程区地震动峰值加速度 0.2g，地震动反应谱特征周期 0.40s，相应地震基本烈度 VIII 度。

地质勘察期采用现场原位测试及室内试验等方法，查明坝址区覆盖层物理力学性质，各项试验物理成果如表 1 所示。

### 4 大坝围堰基础防渗设计方案的分析论证

本工程大坝基础防渗墙为完全截渗结构，轴线长度 335m，最大墙深 118m，伸入泥岩 1m，总成墙面积为  $39500m^2$ 。参照中国高原地区已有的超百米深 (1m 厚) 基础防渗墙施工平均能力水平  $140m^2/d$ ，石门水库大坝基础防渗墙施工用时需 13 个月，需跨越一个主汛期。结合河道截流时段，设计安排防渗墙施工均在枯水期进行，即河道两侧滩地处共

255m 长的防渗墙施工在开工后第一年的枯水期 9 月开始，至第二年 5 月完成，第二年 6、7、8 三个月主汛期不施工，待 9 月中旬河道截流后，围堰已进行填筑的 10 月初开始施工主河槽剩余段 90m 长的防渗墙，防渗墙施工完成后即进入地上工程沥青混凝土心墙坝的填筑施工。

结合以上总体工期安排，并分析莫勒切河的河道特点，由水文勘察可知，莫勒切河为全年无干枯河流，多年平均流量  $9.75m^3/s$ ，枯水期多年平均流量  $1.33m^3/s$ ，枯水期主河槽水面宽 40 ~ 70m，两侧滩地均无明水。充分分析水文、气候、施工条件等基础资料，研究大坝围堰基础的防渗设计型式事关主河槽段防渗体及大坝填筑施工，因此，在确保安全、可靠的前提下做到节约工期、节省投资，设计分别考虑了如下两种围堰基础防渗设计方案进行比较，并最终推荐了较优方案，指导了该项目的顺利实施。

#### 4.1 方案一：上游围堰基础设 0.5m 厚完全防渗墙<sup>[1]</sup>

该方案为在上游围堰前坡脚处设 116.1m 深 50cm 厚的混凝土防渗墙，防渗墙深入底部岩石，上部与围堰土工膜斜墙防渗体相接，此方案围堰为完全防渗结构。围堰防渗轴线的长 360m，成墙面积  $44000m^2$ ，围堰防渗墙施工开始时段与主体防渗墙施工同步进行，但围堰截渗墙可以利用枯水期全部施工完成，即开工后第一年 10 月开始，至第二年 5 月完成，施工强度  $190 m^2/d$ ，9 月份河道截流后可以进行围堰填筑、主河槽段的主体防渗墙及后序的坝体填筑施工。方案一围堰基础完全防渗墙设计横断面图及主要工程量投资情况见图 1、表 2。

表 1 覆盖层主要物理力学性质参数表

岩性	比重	干密度 $\rho_d$	孔隙率	变形模量		抗剪强度		渗透系数 K	允许渗透比降 $J_r$	允许承载力 $f_k$	
				饱和	C	$\phi$	干			饱和	
				MPa	饱和	饱和					kPa
		$g/cm^3$	%		kPa	$^\circ$	cm/s				
中更新统冰水沉积 ( $Q_2^{gl}$ ) 卵砾石层	2.7	2.10-2.26	14-16	129	0	35	$7.6 \times 10^{-2}$	0.11	800	600	
上更新统冲积 ( $Q_3^{al}$ ) 漂卵砾石层	2.7	2.24-2.28	15-17	40	0	32	$3.0 \times 10^{-1}$ - $8.0 \times 10^{-2}$	0.1	500	400	
全新统冲积 ( $Q_4^{al}$ ) 漂卵砾石层	2.7	2.18-2.24	17-19	35	0	30	$4 \times 10^{-1}$ - $8 \times 10^{-1}$	0.1	350	300	

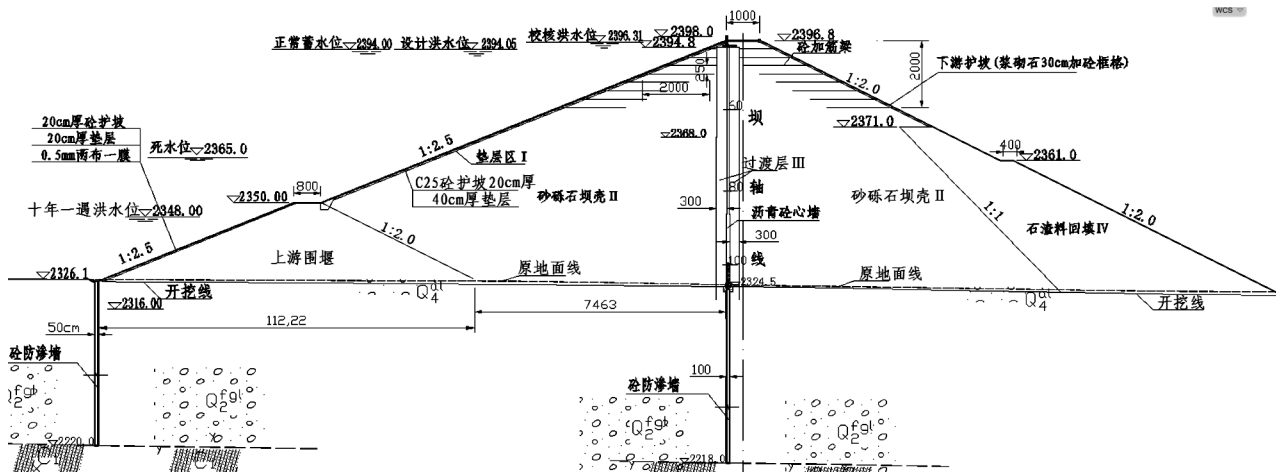


图1 方案一：大坝围堰基础完全防渗设计横断面图

表4 方案一：大坝围堰基础完全防渗方案主要工程量及投资情况表

序号	部位	项目名称	单位	数量	投资 (万元)	小计 (万元)
1	上游围堰	基础清废开挖 (运 500m)	m <sup>3</sup>	38022.00	70.38	3566.12
2		围堰填筑 (直接利用)	m <sup>3</sup>	170710.00	71.02	
3		围堰填筑 (运 2.5km)	m <sup>3</sup>	370451.00	1278.06	
4		砼护坡 (C30)	m <sup>3</sup>	4134.00	244.43	
5		护坡垫层料	m <sup>3</sup>	4134.00	42.04	
6		两布一膜 (150g/0.5mm/150g)	m <sup>2</sup>	20673.00	54.58	
7		砼防渗墙浇筑 (C20,0.5m)	m <sup>2</sup>	44001.90	1805.62	
8	施工排水	初期积水抽排水	台时	720.00	4.32	8.57
9		后期少量渗水抽排水	台时	500.00	4.25	
合计			万元			3574.69

#### 4.2 方案二：上游围堰基础设 (0.5m 厚) 悬挂式防渗墙<sup>[1]</sup>+ 截流后主体工程工期 (堰顶高程以下部位) 的经常性排水<sup>[2]</sup>

经分析, 该工程基础防渗墙主河床段施工在截流后 10 ~ 1 月进行, 若围堰基础做非完全截渗结构, 存在该时段枯水期排水问题; 沥青混凝土心墙坝体填筑在第三年的 3 月中旬开始进行, 3 月中旬至 5 月底, 主汛期来临之前, 按照新疆地区沥青心墙坝施工平均水平, 土方填筑强度 35 万 m<sup>3</sup>/月, 每月有效施工期 25 天, 沥青心墙上升速度不低于 9m/月, 经计算, 主汛期之前, 坝体填筑高度不低于 18m, 即达到

2342.5m 以上。依据水文成果, 该河枯水期多年平均流量 1.33m<sup>3</sup>/s, 截流时段 9 月上旬, 10 年一遇的旬平均流量为 21.1m<sup>3</sup>/s, 最枯月为三月 10 年一遇平均流量为 2.16m<sup>3</sup>/s, 按 10 年一遇各月平均流量计算堰前水位 - 流量关系可知, 主河槽段防渗墙施工期 10 月至 1 月, 堰前最高水位在 9 月底, 水位高 3.5m, 大坝开始填筑期 3 月中旬, 堰前最高水位为 0.9m, 至 5 月底, 堰前最高水位为 8.7m, 取枯水时段堰前最高水头为 10m, 堰后未进行坝体填筑施工的最不利工况进行围堰基础防渗墙悬挂深度设计, 设计分别初拟了 6m、8m、10m、12m、15m 等 5 种深度进行渗流稳定分析及渗漏量计算。围堰堰体的防渗型式与方案一相同, 即上游坡设土工膜斜墙防渗结构与基础防渗墙

表 3 围堰悬挂式防渗墙基础不同工况的渗透稳定计算表

计算工况 (枯水期)	围堰防渗墙 深度 (m)	堰体填筑料	围堰防渗体	河床覆盖层	防渗墙	堰后 最大 渗透比降	堰后 渗漏量  Q(m <sup>3</sup> /天/m)
		渗透系数 (cm/s)	渗透系数 (cm/s)	渗透系数 (cm/s)	渗透系数 (cm/s)		
		1.6*10 <sup>-1</sup>	2*10 <sup>-8</sup>	9.4*10 <sup>-2</sup>	1*10 <sup>-7</sup>		
9 月底 堰前 水位 2329.6m	6	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.09	62.18
	8	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.08	60.77
	10	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.07	59.20
	12	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.07	57.53
	15	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.07	57.20
3 月中旬堰前 水位 2327.0m	6	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.04	31.09
	8	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.035	30.38
	10	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.03	29.60
	12	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.03	28.77
	15	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.02	28.60
5 月底 堰前 水位 2337.0m	6	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.24	186.55
	8	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.23	182.30
	10	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.22	177.60
	12	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.22	172.60
	15	砂砾石	土工膜	卵砾石	C20 混凝土	0.21	171.60

相连。不同工况下围堰悬挂式防渗墙的渗透稳定计算<sup>[1]</sup>见表 3。

经对几种不同堰前水位分别对应不同防渗墙深度的渗透稳定分析计算可知,堰后最大出逸出降值均发生在堰后坡脚最低处,通过以上计算表可见,当防渗墙深度大于 10m 后,堰后最大渗透比降值趋于稳定,即随着防渗墙深度的加深,渗透比降减小不明显或没有减小,其中枯水期 9 ~ 3 月,堰后比降值最大 0.07,最小 0.02,均远远小于地质勘察给出的围堰填筑砂砾料允许出逸比降 0.25; 5 月底堰前最高水头为 10m、防渗墙深度大于 10m 工况,堰后最大出逸比降为 0.21,发生在堰后坡脚,虽接近允许出逸比降值,但该种工况在实际施工中不存在,可作为围堰设计的安全复核工况。根据最低施工进度,该时期堰后坝体上升高度已大于 18m,不存在堰后渗透不稳定问题。因此,综合渗流计算、安全、经济等因素,该方案围堰基础防渗墙深度取 12m。

结合枯水施工期堰体渗流计算,该时段最大渗漏量为 57.53m<sup>3</sup>/天/米,即 2.4m<sup>3</sup>/h/米,则围堰总渗漏为 910m<sup>3</sup>/h,

施工排水可由集水明排解决,即在围堰下游侧设一条排水明渠,排水渠内每隔 50m 设一集水井,排水渠深 1.5m,集水井较排水沟深 1m,排水渠底宽 3m,开挖渠边坡为 1: 2,集水井个数为 8 个,沿排水渠均匀布设,每个集水井布置一台离心泵,单台离心泵技术参数为:流量 150m<sup>3</sup>/h,扬程 50m,电机功率 30KW,可满足整个枯水施工期的抽排水要求。方案二围堰基础悬挂式防渗墙设计<sup>[1]</sup>与施工布置横断面图及主要工程量投资情况见图 2、表 4。

## 5 方案的比较与确定

方案一:优点是基础完全防渗结构保证了主河槽段施工可在较干燥的作业面进行,基本无施工排水问题。缺点是围堰完全防渗墙施工投入的机械设备较多,加之与大坝防渗墙同期施工,总体防渗墙施工的强度较高;且工程投资较高,堰体填筑、基础处理及少量排水工程投资约 3574.69 万元。

方案二:优点是悬挂式防渗墙,墙体深度较浅,施工容易,

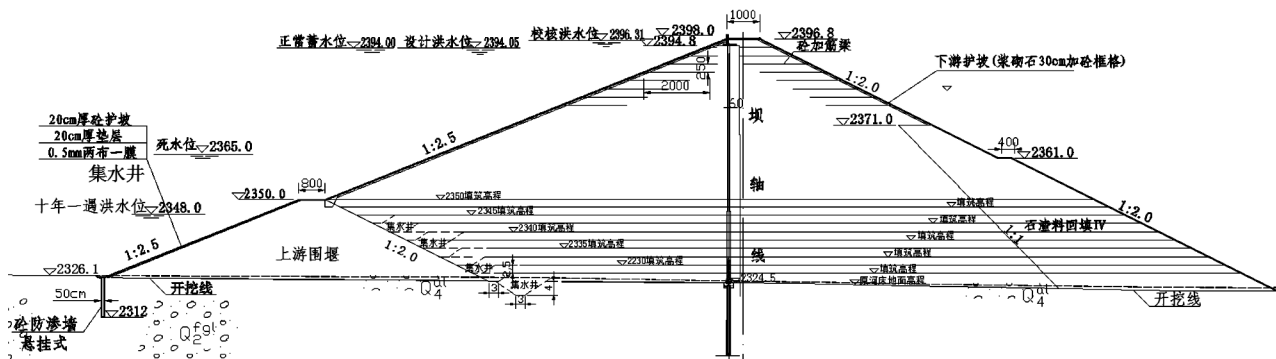


图2 方案二：围堰基础悬挂式防渗墙设计及施工布置横断面图

表4 方案二：大坝围堰基础悬挂式防渗方案主要工程量及投资情况表

序号	部位	项目名称	单位	数量	投资 (万元)	小计 (万元)
1	上游围堰	基础清废开挖 (运 500m)	m <sup>3</sup>	38022	70.38	1947.13
2		围堰填筑 (直接利用)	m <sup>3</sup>	170710	71.02	
3		围堰填筑 (运 2.5km)	m <sup>3</sup>	370451	1278.06	
4		砼护坡 (C30 2 级配 W4 F300)	m <sup>3</sup>	4134	244.43	
5		护坡垫层料	m <sup>3</sup>	4134	42.04	
6		两布一膜 (150g/0.5mm/150g)	m <sup>2</sup>	20673	54.58	
7		砼防渗墙浇注 (C20,0.5m)	m <sup>2</sup>	4548	186.63	
8	施工排水	初期积水抽排水	台时	720	4.32	781.92
9		后期渗水抽排水	台时	51840	777.6	
合计			万元			2729.05

且与施工排水相接合的总体工程投资较低，约为 2729.05 万元，较方案一投资节约 850 万元。缺点是该方案主体工程施工需有连续几月的基坑排水相配合，对现场施工组织要求高，特别科学排水要求严格，并应严格把握施工进度，确保工程如期进行。

为保证石门水库工程的质量与进度，大坝基础防渗墙工程在正式开工前进行了试验段施工。经试验，防渗墙的施工进度略高于设计平均进度，约为 230m<sup>2</sup>/天，因此在试验段成果的基础上，围堰基础防渗设计推荐方案二，即悬挂式防渗墙方案。

## 6 结语

石门水库工程于 2013 年 7 月正式开工，2016 年 9 月下

闸蓄水，2017 年 6 月工程全部完工，水库建设顺利，至今该水库已正常蓄水运行，经各种监测数据显示，水库运行情况完好，坝体稳定、安全。超百米深河床覆盖层的大坝围堰悬挂式基础防渗的设计已在新疆兵团石门水库中得到成功应用，并为国家节约了工程投资，愿该经验能给类似工程以参考和借鉴。

## 参考文献

- [1] 水利水电工程施工组织设计手册第一卷：地基与基础处理。
- [2] 水利水电工程施工组织设计手册第五卷：施工导（截）流与度汛工程，中国电力出版社，2002。