

# 深厚覆盖层上土石坝的渗流控制方案研究

郭江涛<sup>1,2</sup>, 张爱军<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 我国西部地区地质条件复杂, 土石坝建设中经常会遇到深厚覆盖层地基。深厚覆盖层地基的存在, 将导致水库渗漏, 并可能危及大坝安全, 其渗流控制问题显得尤为突出和紧迫。以西藏某水利枢纽工程为例, 采用有限元分析的方法, 对该工程“无防渗”、“上游黏土铺盖”、“下游褥垫排水”、“下游黏土压盖”及“坝基无防渗”、“悬挂混凝土防渗墙”、“混凝土防渗墙下接帷幕灌浆”、“全防渗墙”等8种防渗方案从渗漏量、浸润线和渗透稳定性等几个方面进行了二维及三维比较计算, 得到了最优防渗方案的选取与坝基渗透系数之间的关系, 验证了深厚覆盖层坝基垂直防渗方案的明显效果, 可供同类工程参考。

**关键词:** 深厚覆盖层; 土石坝; 渗流控制; 分析

**中图分类号:** S273.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0181-07

我国西部地区地质条件复杂, 土石坝工程建设中经常遭遇深厚覆盖层地基, 其渗流控制成为这些土石坝建设中需要解决的关键技术难题, 直接关系到工程的安全和投资<sup>[1-2]</sup>。河谷深厚覆盖层一般指堆积于河谷之中, 厚度大于30 m的第四纪松散沉积物<sup>[3-4]</sup>, 主要由漂卵石、块碎石、粉细砂等组成, 颗粒粒径大, 级配分布极不均匀, 具有较强的透水性, 极易造成水库漏水和坝基发生渗透破坏。据国内外大坝失事原因的调查统计, 因渗流问题而失事的比例高达30%~40%<sup>[5-6]</sup>。尽管国内外在深厚覆盖层基础上已建成多座土石坝工程, 但系统介绍这类工程渗流、防渗措施的专业文献并不多。另外, 深厚覆盖层本身地域性差异性极大, 各坝址地质情况千差万别, 可以找寻的共同点不多, 也没有一条较为适用的普遍规律可言<sup>[7]</sup>, 所以对于具体工程, 深厚覆盖层的基础处理、防渗技术是一个较为突出和值得研究的问题<sup>[8-9]</sup>。本文以西藏某水利枢纽工程为例, 采用有限元分析方法, 对不同防渗方案从渗漏量、浸润线和渗透稳定性等几个方面进行了比较计算, 验证和优化了坝基防渗方案, 可供同类工程参考。

## 1 工程概况

该水利枢纽工程是位于西藏拉萨河, 是一座以灌溉、发电为主, 兼有下游防洪、改善生态环境和城市供水的等综合利用的大型水利枢纽, 水库总库容为 $12.26 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 有效库容 $6.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 水库校核洪水位4 098.60 m, 设计洪水位4 096.00 m。大坝选

用土石坝的型式, 采用沥青混凝土心墙防渗。

该坝基覆盖层深厚, 主要由漂石、卵石混合土, 冰水积卵石混合土组成。主要地层岩性为:(1)漂石、卵石混合土, 主要分布于河床、漫滩上部, 厚度一般为5~55 m。卵石含量约占40%, 呈中密~密实状态;(2)卵石混合土, 主要分布在左岸II、III级阶地上, 厚度为2~50 m。卵石含量约占30%~40%, 呈中密~密实状态。河床部位上部冲积漂石、卵石混合土层渗透系数 $3.5 \times 10^{-1} \sim 3.5 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ , 属强透水土层, 渗透破坏形式为管涌型;(3)冰水积卵石混合土, 主要分布于河谷底部, 厚度较大, 平均厚度一般为50~80 m, 在左岸三级阶地处最厚达115 m。卵石含量约占40%, 砾石与砂含量约占40%, 泥含量约占10%~20%, 漂石最大可达1 000 mm。冰水积卵石混合土层渗透系数 $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ , 属弱透土层, 渗透破坏形式为管涌型;(4)坝基岩主要由花岗岩、闪长玢岩、熔结凝灰岩组成, 基岩岩质坚硬, 抗风化能力强, 河床基岩埋深25 m~150 m。河床部位岩体多为弱透水岩体, 局部为中等透水岩体, 右岸坝肩0~10.0 m为中等透水岩体, 10.0 m以下为弱透水岩体。

## 2 坝体分区和计算系数

计算中假定各种材料均为各向同性材料, 各区的渗透系数数值见表1。计算中上游水位取为正常蓄水位4 095.00 m, 下游水位取为4 028.48 m。

收稿日期: 2011-07-05

作者简介: 郭江涛(1981—), 男, 陕西韩城人, 讲师, 主要从事岩土工程、工程力学方面的教学及研究。

通讯作者: 张爱军(1964—), 男, 山西阳高人, 工学博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事非饱和和特殊土理论、岩土工程数值模拟和土石坝渗流控制技术方面的研究。

表 1 防渗体、坝体及坝基材料的渗透系数

Table 1 Seepage coefficient of impervious body, dam body and dam foundation materials

材料 Material	渗透系数 Seepage coefficient	
	(cm/s)	(m/d)
1. 基岩及混凝土防渗墙 Bedrock and concrete anti-seepage wall	$1.00 \times 10^{-7}$	$8.64 \times 10^{-5}$
2. 砂砾石坝壳料 Shell material of gravel rock dam	$1.00 \times 10^{-2}$	8.64
3. 漂石卵石混合土层 Mixed earth layer with boulder and gravel	$5.30 \times 10^{-1}$	$4.58 \times 10^2$
4. 冰水积卵石混合土 Mixed earth layer with ice-water and gravel	$2.10 \times 10^{-2}$	$1.81 \times 10$
5. 粘土防渗 Impervious clay	$1.00 \times 10^{-6}$	$8.64 \times 10^{-4}$
6. 水平垫层 Horizontal mattress	1.00	$8.64 \times 10^2$
7. 反压盖土 Clay-covering with reverse pressure	$1.00 \times 10^{-6}$	$8.64 \times 10^{-4}$
8. 基础灌浆帷幕 Foundational filled curtain	$1.00 \times 10^{-4}$	$8.64 \times 10^{-2}$

### 3 计算方案

计算比较了“无防渗”、“上游坡粘土贴坡”、“下游褥垫排水”、“下游压盖粘土”四种方案的防渗效果。“无防渗”为该坝仅设置混凝土防渗墙，坝基不防渗；“上游坡粘土贴坡”为在设置混凝土防渗墙的基础上，再在坝的上游坡面加铺 10 m 厚的粘土铺盖；“下游褥垫排水”在设置混凝土防渗墙的基础上，再在坝下游坡底部坡角处向坝内水平向加铺褥垫排水，褥垫从坡角向坝内延伸 90 m 长；“下游压盖粘土”亦是在设置混凝土防渗墙的基础上，再在坝下游坡面上增加粘土压盖，粘土压盖厚度为 60 m，高度为 45 m。四种方案下进行二维渗流分析，用以和几种垂直防渗的效果进行比对。方案编号以及方案名称见表 2。

基础上，再在坝的上游坡面加铺 10 m 厚的粘土铺盖；“下游褥垫排水”在设置混凝土防渗墙的基础上，再在坝下游坡底部坡角处向坝内水平向加铺褥垫排水，褥垫从坡角向坝内延伸 90 m 长；“下游压盖粘土”亦是在设置混凝土防渗墙的基础上，再在坝下游坡面上增加粘土压盖，粘土压盖厚度为 60 m，高度为 45 m。四种方案下进行二维渗流分析，用以和几种垂直防渗的效果进行比对。方案编号以及方案名称见表 2。

### 4 计算模型和边界条件

二维渗流计算采用加拿大 GEO-SLOPE 公司开发的 GEOSTUDIO 系列软件，三维渗流计算采用由美国 ADINA&D 公司开发的 ANDIA 软件。

综合考虑计算区水文地质资料、地形条件、坝体水平布置等，边界条件的确定是：横河向宽度取正常蓄水位与两侧以及地下水位相交处并分别向外延伸 40 m，宽度 1350 m；顺河向坝轴线上游侧长度取为 600 m，下游侧长度取为 600 m，铅直向取坝基 3 850.00 m 高程为基准平面。根据建立的地质模型和坝体结构防渗措施的设计，对坝体和坝基部分进行了网格剖分。二维计算区域共剖分单元 2 350 个，网格单元划分见图 1；三维计算区域共剖分单元 286 320 个，网格单元划分见图 2。

表 2 计算方案

Table 2 Calculation Schemes

方案编号 Scheme No.	二维渗流计算方案名称 2D calculation of seepage	方案编号 Scheme No.	三维渗流计算方案名称 3D calculation of seepage
方案 1 Scheme 1	无防渗 No impervious	方案 5 Scheme 5	坝基无防渗 Non-impervious dam foundation
方案 2 Scheme 2	上游 10 m 厚粘土铺盖 10 m upstream clay blanket	方案 6 Scheme 6	90 m 悬挂混凝土防渗墙 90 m hanged concrete anti-seepage wall
方案 3 Scheme 3	下游褥垫排水(褥垫长 90 m) Downstream mattress drainage (90 m in length)	方案 7 Scheme 7	90 m 混凝土防渗墙下接灌浆帷幕 90 m down with curtain grouting anti-seepage concrete wall
方案 4 Scheme 4	下游粘土压盖(60 m 厚, 45 m 高) Downstream clay gland (60 m in thickness and 45 m in height)	方案 8 Scheme 8	全防渗墙防渗 Impervious wall

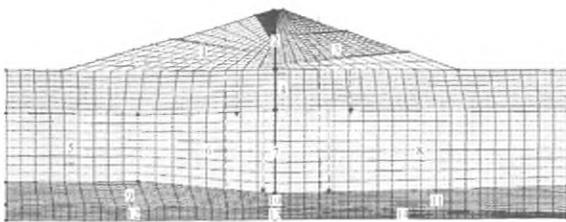


图 1 二维计算区域网格剖分图

Fig.1 Map of regional grid subdivision for calculation(2D)

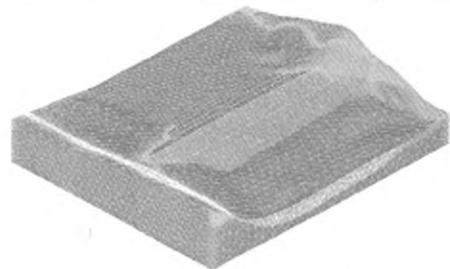


图 2 三维计算区域网格剖分图

Fig.2 Map of regional grid subdivision for calculation (3D)

### 5 计算结果及分析

#### 5.1 计算结果

三维与二维计算得到坝体各个不同方案的最高坝高横剖面的渗流场见图 3 到图 10。

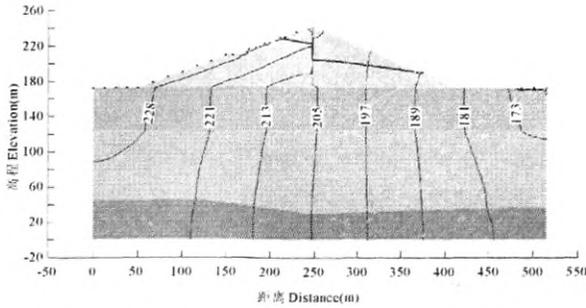


图 3 方案 1(无防渗)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.3 Equipotential line diagram of dam's maximum cross-section in Scheme 1 (No seepage)

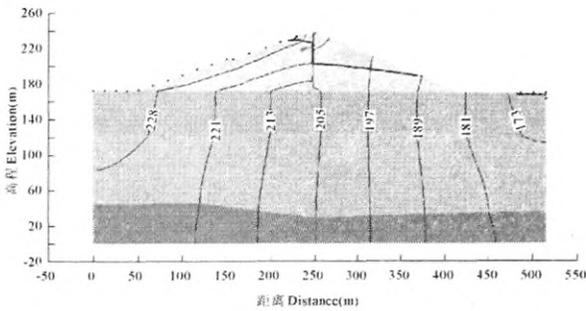


图 4 方案 2(上游坡 10 m 厚粘土贴坡)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.4 Equipotential line diagram of dam's maximum cross-section in Scheme 2 (10 m clay blanket)

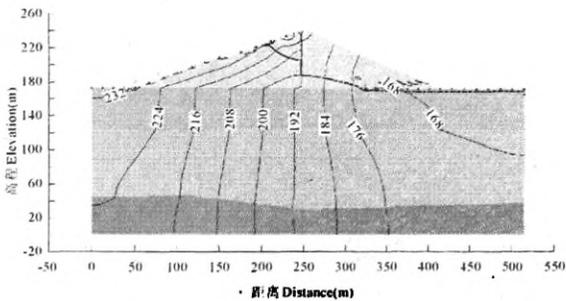


图 5 方案 3(下游褥垫排水)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.5 Equipotential line diagram of dam's maximum cross-section in Scheme 3 (Horizontal mattress drainage)

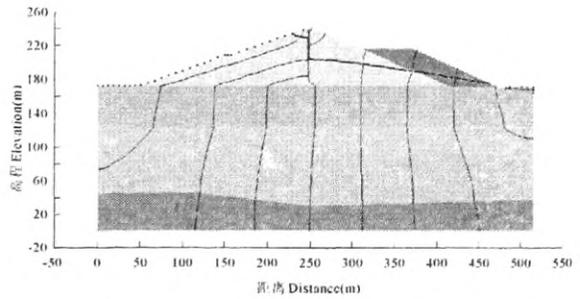


图 6 方案 4(下游压盖粘土)最大横剖面等水头线图  
Fig.6 Equipotential line diagram of dam's maximum cross-section in Scheme 4 (Downstream clay gland)

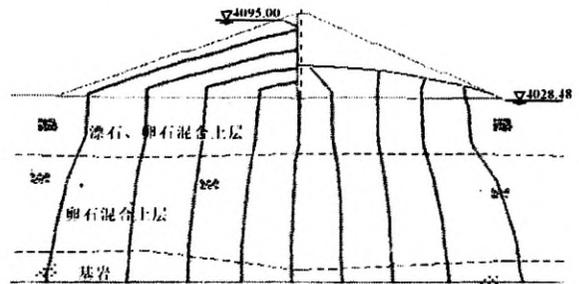


图 7 方案 5(坝基无防渗)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.7 Equipotential lines diagram of dam's maximum cross-section in Scheme 5 (No seepage)

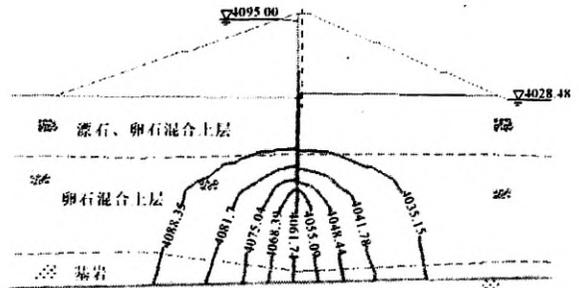


图 8 方案 6(90 m 悬挂混凝土防渗墙)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.8 Equipotential lines diagram of dam's maximum cross-section in Scheme 6 (90 m hanged concrete anti-seepage wall)

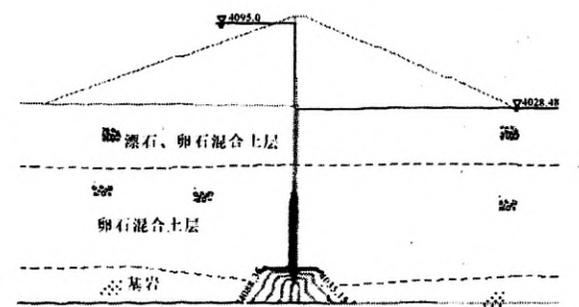


图 9 方案 7(90 m 混凝土防渗墙下接灌浆帷幕)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.9 Diagram of equipotential lines of dam's maximum cross-section in Scheme 7 (Impervious wall & curtain grouting)

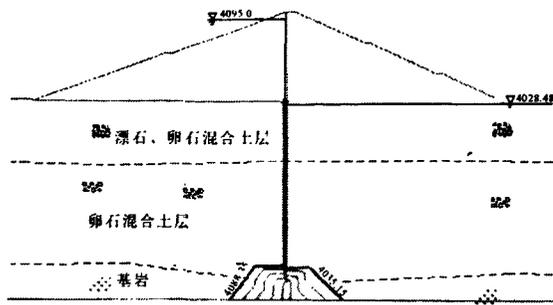


图 10 方案 8(全防渗墙防渗)大坝最大横剖面等水头线图  
Fig.10 Diagram of equipotential lines of dam's maximum cross-section in Scheme 8 (Impervious wall)

5.2 结果分析

5.2.1 渗流量分析 该水利枢纽工程坝址多年平均流量为 193 m<sup>3</sup>/s,设计采用坝基渗漏量的控制标准为多年平均流量的 1%,即 1.93 m<sup>3</sup>/s。为了清楚地表述各计算方案渗流量的变化情况,并与设计标准比较,将其计算结果列表,见表 3。

由表 3 可以看出,采取不同的坝基防渗方案,通

过坝基的渗流量差别很大。坝基无防渗方案,在渗流过程中,由于坝基深厚覆盖层渗透系数较大,比沥青混凝土心墙渗透系数大 5~6 个数量级,所以从上游到下游渗透水流主要集中在坝基部位,而且数值很大,方案 5 计算渗流流量最大为 37.69 m<sup>3</sup>/s,远远超出设计标准。采取方案 2~方案 4 的防渗方案,通过坝基的渗流量差别不大,接近坝基无防渗方案,在渗流过程中,由于坝基深厚覆盖层渗透系数较大,该方案计算渗流流量为大在 20.30~25.05 m<sup>3</sup>/s,也远远超出设计标准;而方案 6~方案 8 的 3 种垂直防渗方案,与坝基无防渗方案相比,该类方案防渗效果比较明显,通过坝基的渗流量大大降低,渗透流量在 0.129~1.291 m<sup>3</sup>/s。但是与设计标准相比,在方案 6(90 m 悬挂防渗墙),砂砾石渗透系数取 1.0 × 10<sup>-3</sup> cm/s 方案就满足要求。坝基混凝土防渗墙下接灌浆帷幕方案,在渗流过程中,由于帷幕的渗透系数比沥青心墙和混凝土防渗墙大 3 个数量级,所以渗流量主要集中在帷幕部分。

表 3 各方案渗流量计算结果

Table 3 Seepage discharge results of different options

序号 No.	方案编号 Scheme No.	方案名称 Name of scheme	计算渗流量(m <sup>3</sup> /s) Seepage discharge
1	方案 1 Scheme 1	无防渗 No impervious	25.05
2	方案 2 Scheme 2	上游 10 m 厚粘土铺盖 10 m upstream clay blanket	20.30
3	方案 3 Scheme 3	下游褥垫排水(褥垫长 90 m) Downstream mattress drainage (90 m in length)	31.08
4	方案 4 Scheme 4	下游粘土压盖(60 m 厚,45 m 高) Downstream clay gland (60 m in thickness and 45 m in height)	20.60
5	方案 5 Scheme 5	坝基无防渗 Non-impervious dam foundation	37.69
6	方案 6 Scheme 6	90 m 悬挂混凝土防渗墙 90 m hanged concrete anti-seepage wall	1.29
7	方案 7 Scheme 7	90 m 混凝土防渗墙下接灌浆帷幕 90 m down with curtain grouting anti-seepage concrete wall	0.44
8	方案 8 Scheme 8	全防渗墙防渗 Impervious wall	0.13

也由此可见,这几种方案对于具有深厚覆盖层的大坝,方案 2~方案 4 的防渗效果均不如方案 6~方案 8 垂直防渗效果显著。

5.2.2 浸润线分析 各方案下浸润线在心墙上下游面和坝坡出逸点的高程见表 4。

1) 从各计算方案的最大横剖面流网图和等水头线图看,各防渗方案主要有以下特点:

方案 1“无防渗”为该坝仅设置混凝土防渗墙,坝体浸润线在混凝土防渗墙中有一个比较大的降落,随后缓慢的在坝下游坡面逸出,见图 3;方案 2

“上游 10 m 厚粘土铺盖”与方案 1 坝基无防渗方案比较,坝体浸润线降低不明显,浸润线在坝体出逸位置仍然较高,防渗效果不显著;见图 4。采取方案 3“下游褥垫排水”防渗措施后,坝体浸润线降低明显,见图 5;方案 4 下游粘土压盖(60 m 厚,45 m 高)与方案 1 坝基无防渗方案比较,原坝体内浸润线降低亦不明显,该方案的特点是粘土压盖成为坝体的一部分,浸润线可在粘土压盖体中继续下降,最终在比较低的粘土压盖体中出逸,见图 6。

表4 各方案浸润线计算结果(m)  
Table 4 Height of dam seepage lines in different schemes

方案编号 Scheme No.	计算方案 Scheme for calculation	浸润线 Seepage line				
		上游水位 Head water level	心墙上游面 Upstream face of core wall	心墙下游面 Down-stream face of core wall	坝坡出溢点 Spilling point in dam slope	下游水位 Down-stream water level
方案1 Scheme 1	无防渗 No impervious	4095	4082.00	4064.00	4050.00	4028.48
方案2 Scheme 2	上游10 m厚粘土铺盖 10 m upstream clay blanket	4095	4078.00	4055.00	4043.00	4028.48
方案3 Scheme 3	下游褥垫排水(褥垫长90 m) Downstream mattress drainage (90 m in length)	4095	4065.00	4046.00	4028.48	4028.48
方案4 Scheme 4	下游粘土压盖(60 m厚,45 m高) Downstream clay gland (60 m in thickness and 45 m in height)	4095	4090.00	4066.00	4052.00	4028.48
方案5 Scheme 5	坝基无防渗 Non-impervious dam foundation	4095	4089.00	4058.00	4034.50	4028.48
方案6 Scheme 6	90 m悬挂混凝土防渗墙 90 m hanged concrete anti-seepage wall	4095	4094.00	4034.00	4032.00	4028.48
方案7 Scheme 7	90 m混凝土防渗墙下接灌浆帷幕 90 m down with curtain grouting anti-seepage concrete wall	4095	4095.00	4028.60	4028.48	4028.48
方案8 Scheme 8	全防渗墙防渗 Impervious wall	4095	4095.00	4028.48	4028.48	4028.48

三维计算方案5与二维计算方案1比较相近,坝体浸润线在混凝土防渗墙中有一个比较大的降落,随后缓慢的在坝下游坡面逸出,见图3和图7;三维计算方案6、7、8所计算的浸润线在下游坝坡无渗透逸出现象,见图8、9、10。由图8~图10计算的等势线可以看出,水头损失基本集中在防渗墙和帷幕中,说明在防渗墙质量有保证的情况下,防渗帷幕对于降低坝体渗透水头作用很大,是防渗的关键所在。

2) 对比前几种方案的坝体浸润线,见图3~10,方案2上游坡压盖10 m厚铺盖方案和方案4下游压盖粘土对浸润线的降低无明显的作用,而方案3下游褥垫排水方案对浸润线的降低作用明显;方案6、方案7、方案8三种垂直防渗方案计算浸润线在下游坝坡无渗透逸出现象。

5.2.3 渗透稳定性分析 在浸润面以下的坝体处于流场内,受到指向下游坝坡渗透力的作用,渗透力影响到坝体的稳定状态<sup>[10]</sup>,控制渗透比降成为关键。

不同防渗方案的渗透比降计算结果见表5和表6。几种渗流控制方案计算的最大渗透比降结果以及危险的部位与无防渗(仅有混凝土心墙)结果相近,渗透破坏的关键部位是上游渗透入口、心墙内部、心墙与坝基交汇处、下游出逸点等。二维方案仅

列出了出逸部位比降。

由表5和表6可见:坝基无防渗方案渗透破坏的关键部位是上游渗透入口、心墙内部、心墙与坝基交汇处、下游出逸点等;上游渗透入口主要在坝踵前的漂石、卵石混合土层中,计算最大渗透比降为0.93,而允许比降为0.15,说明该处存在发生渗透破坏的可能性,实际上是否发生管涌或流土决定于其下游出口处的反滤保护情况;心墙内部最大渗透比降为43,无发生渗透破坏的可能性;下游坝面出逸部位最大渗透比降为0.48,超过了允许比降。从渗透比降看,坝基采用防渗加固处理是必须的。

悬挂防渗墙方案渗透破坏的关键部位是上游渗透入口、心墙内部、冰水积卵石混合土层、下游出逸点等。上游渗透入口主要在坝踵前漂石、卵石混合土层中,计算的最大渗透比降小于允许值0.15,说明该处没有发生渗透破坏的可能性;防渗墙内部最大渗透比降在49~58之间,也没有发生渗透破坏的可能性;下游出逸部位最大渗透比降均在0.004~0.07,满足要求。在冰水积卵石混合土层内防渗墙附近局部计算渗透比降不同方案其最大值在0.57~0.78之间,超出该类土允许比降 $[J]=0.4$ 要求,但是由于最大值发生在地层深处,而且在坝中间,随着向坝上游和下游不同位置渗透比降逐渐减小,在上层有保护的情况下,总体渗透稳定可以得到保证。

表 5 二维方案最大渗透比降计算结果

Table 5 Maximum seepage gradient results about 2D options

方案编号 Scheme No.	方案名称 Name of scheme	允许比降 Permissible seepage gradient	最大渗透比降 Maximum seepage gradient	
			出逸部位比降 Gradient of seepage point	最大比降发生部位 Point of maximum seepage gradient
方案 1 Scheme 1	无防渗 No impervious	0.15	0.41	漂石卵石混合土层出逸处 Mixed earth layer with erratic boulder and gravel
方案 2 Scheme 2	上游 10 m 厚粘土铺盖 10 m upstream clay blanket	0.15	0.40	漂石卵石混合土层出逸处 Mixed earth layer with erratic boulder and gravel
方案 3 Scheme 3	下游褥垫排水(褥垫长 90 m) Downstream mattress drainage (90 m in length)	0.4	1.00	漂石卵石混合土层与水平褥垫结合处 Binding part of mixed earth layer with boulder and gravel and horizontal mattress
方案 4 Scheme 4	下游粘土压盖(60 m 厚, 45 m 高) Downstream pressed clay covering (60 m in thickness and 45 m in height)	0.4	0.38	漂石卵石混合土层出逸处 Mixed earth layer with erratic boulder and gravel

表 6 三维方案最大渗透比降计算结果

Table 6 Maximum seepage gradient results about 3D options

方案编号 Scheme No.	最大渗透比降 Maximum seepage gradient			
	心墙、防渗墙 Core wall and impervious wall	灌浆帷幕 Filled curtain	防渗体下砂卵石层 Gravel layer beneath impervious body	出逸部位 Seepage point
方案 5 Scheme 5	43.00	—	—	0.480
方案 6 Scheme 6	49.00	—	0.71	0.065
方案 7 Scheme 7	52.60	7.4	—	0.004
方案 8 Scheme 8	53.80	—	—	0.001

坝基混凝土防渗墙下接灌浆帷幕方案,渗透破坏的关键部位是上游入口、防渗墙内部、防渗帷幕内部、下游出逸部位等。上游渗透入口主要在坝踵前的漂石、卵石混合土层中,计算的最大渗透比降小于允许值 0.15,防渗墙内部最大渗透比降在 52.6 ~ 53.6 之间,满足要求;下游出逸部位渗透比降在 0.002 ~ 0.005 之间,也满足要求。为保证帷幕体本身不发生机械管涌,并在抵抗渗透水的侵蚀方面有足够的能力和寿命,同时,还应保证在设置帷幕后,坝基覆盖层不会发生管涌破坏,这就要求帷幕的允许渗透比降要控制在一定的范围内。本工程防渗帷幕内部计算的最大渗透比降在 7.0 ~ 7.5 之间,超出规范允许值,但参照国内外实际工程和室内水泥灌浆试验,如我国的密云水库采用 6.0,法国的克鲁斯登坝采用 8.3,印度的吉尔纳坝采用 10.0;在室内试验中,只要水泥浆液配比合适,其 28 d 的破坏比降可达 50 以上,取安全系数为 5,则允许水力比降可在 10.0 以上。一般随着深度的增加,帷幕体允许水力比降可适当提高。因此,本工程若采用该类方案时,应进行灌浆试验论证其安全性。

### 5.3 推荐的防渗方案

在深厚覆盖层上建坝,相对于坝体渗流控制措施而言,基础的防渗处理更为复杂,技术难度也更大。从工程设计角度,坝基渗流控制的主要目的是确保坝基稳定性和控制坝基的渗透流量。对于覆盖层地基而言,坝基的渗透稳定性对于大坝的安全更为重要。通过对几种坝基防渗方案的计算分析认为,当坝基的渗透系数  $> 1.0 \times 10^{-2}$  cm/s 量级时,可采用坝基混凝土防渗墙下接灌浆帷幕方案,可选用防渗墙为 90 m 左右下接帷幕方案;当坝基渗透系数在  $< 1.0 \times 10^{-3}$  cm/s 量级时,可采用悬挂防渗墙方案,可选用 90 m 悬挂防渗墙,砂砾石渗透系数取  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/s 方案。

## 6 结 论

1) 从渗流量计算结果来看,由于坝基深厚覆盖层渗透系数较大,比沥青混凝土心墙渗透系数大 5 ~ 6 个数量级,所以从上游到下游渗透水流主要集中在坝基部位,而且数值很大。故比较得出“悬挂防渗墙方案”和“防渗墙下接帷幕方案”都是处理深厚

覆盖层坝基的有效措施,哪一种方案较优要根据坝基的渗透系数而定。

2) 从浸润线计算结果来看,采取下游褥垫排水防渗措施后,坝体浸润线降低明显;上游 10 m 厚粘土铺盖对坝体浸润线降低不显著,浸润线在坝体出溢位置仍然较高,对坝体安全威胁较大,因此该方案的防渗效果较差;下游粘土压盖(60 m 厚,45 m 高)方案对原坝体内浸润线降低亦不明显,该粘土压盖成为坝体的一部分,浸润线可在粘土压盖体中继续下降,最终在比较低的粘土压盖体中出逸。上者与垂直防渗方案比较,垂直防渗方案较优,故应以垂直防渗方案为主。

3) 从渗透比降计算结果来看,二维渗流计算方案的最大渗透比降结果与三维计算的无防渗(仅有混凝土心墙)结果相近,渗透破坏的关键部位依旧是上游渗透入口、心墙内部、心墙与坝基交汇处、下游出逸点等,采用防渗加固处理是必须的,方案 6、7、8 计算结果表明下游坡面无出逸,渗透比降控制明显。

4) 坝基防渗墙和帷幕的防渗性能是保证整个坝体渗透安全及控制总渗流量在设计允许范围的关键,为防止大坝渗透破坏,在设计满足的前提下,应

该严格控制两者的施工质量,确保大坝安全。

#### 参考文献:

- [1] 罗守成.对深厚覆盖层地质问题的认识[J].水力发电,1995,(4):21-24.
- [2] 闫晓兵.土石坝渗流控制及其在不均匀沉降裂缝处理中的应用[J].山西水利,2006,(2):23-26.
- [3] 白勇.深厚覆盖层地基渗流场数值分析[J].岩土力学,2008,(S1):33-37.
- [4] 许强.对我国西南地区河谷深厚覆盖层成因机理的新认识[J].地球科学进展,2008,(5):39-42.
- [5] 汝乃华,牛运光.大坝事故与安全[M].北京:中国水利水电出版社,2001:15-18.
- [6] 卢建华,程井.土坝坝体滞水体探析[J].湖北水力发电,2009,(4):33-37.
- [7] 杨海林.深厚覆盖层基础上堆石坝防渗系统优化研究[D].南京:河海大学,2007.
- [8] 陈海军,任光明.河谷深厚覆盖层工程地质特性及评价方法[J].地质灾害与环境,1996,7(4):53-58.
- [9] 谢兴华,王国庆.深厚覆盖层坝基防渗墙深度研究[J].岩土力学,2009,(9):39-44.
- [10] 马池香,秦华礼.基于渗透稳定性分析的尾矿库坝体稳定性研究[J].工业安全与环保,2008,(9):16-20.

## Research on seepage control schemes of earth-rock dam with deep overburden layer

GUO Jiang-tao<sup>1,2</sup>, ZHANG Ai-jun<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** As the geological conditions in west China are are complicated, deep overburden foundation often exists in the construction of earth-rock dams. Deep overburden foundation results in the leakage of reservoir and possibly endangers the safety of the dam, so the seepage control problem is particularly prominent and urgent. A water conservancy project in Tibet was taken as an example and finite element analysis method was used to conduct two-dimensional and three-dimensional calculation of infiltration line and seepage quantity and stability of 8 kinds of seepage control schemes of this project, such as “no impervious”, “upstream clay blanket”, “downstream mattress drainage”, “downstream clay gland”, “non-impervious dam foundation”, “hanging concrete anti-seepage wall”, “down with curtain grouting anti-seepage concrete wall” and “impervious wall”. The relationship between optimum anti-seepage scheme selection and seepage coefficient was found out, and the effect of the scheme of deep overburden layer of vertical seepage control was verified, which may be used as a reference for similar engineering.

**Keywords:** deep overburden layer; earth-rock dam; seepage control; analysis