

# 反调节水库土工膜防渗工程稳定性分析

易 鹏

(新疆伊犁州喀什河流域管理处,新疆 伊宁 835000)

**【摘要】** 反调节水库能够弥补水库排沙期不能供水的弊端,对当地工业及居民生活、经济发展起着至关重要的作用。通过对反调节水库土工膜防渗大坝的渗流与稳定计算分析,在土石坝上游铺设土工膜能防止坝坡渗漏失稳,保证反调节水库安全运行,增加功能效益。利用数值仿真软件计算出的渗流比降均小于允许最大比降,最小稳定安全系数在不同工况条件下均大于最小允许值,表明大坝上游铺设土工膜防渗后处于安全稳定状态,渗透危险低。

**【关键词】** 反调节水库;土工膜;防渗;渗流稳定分析

中图分类号: TV554

文献标识码: B

文章编号: 1005-4774(2017)09-0037-05

## Analysis on stability of geomembrane impermeable engineering in re-regulating reservoir

YI Peng

(Xinjiang Yili Kashi River Basin Management Office, Yining 835000, China)

**Abstract:** The re-regulating reservoir can make up for the shortage of incapable water supply of the reservoir during sand drainage period. It plays an important role for local industry, resident life and economic development. Geomembrane is paved on the upstream area of the earth dam through seepage and stability calculation analysis of geomembrane membrane impermeable engineering in re-regulating reservoir, thereby preventing dam slope leakage instability. Safe operation of the re-regulating reservoir is guaranteed, and functional benefits can be increased. The seepage gradient calculated according to numerical simulation software is smaller than the allowable maximum gradient. The minimum safety coefficient is larger than the minimum allowable value under different working conditions. It is obvious that the dam is in the safe and stable state after the geomembrane is paved on the upstream area of the dam for anti-seepage. The permeability risk is low.

**Keywords:** anti-regulating reservoir; geomembrane; seepage control; seepage stability analysis

土石坝是全世界使用最普遍的一种坝型,具有经济效益好、施工机械化、抗震性能强等优点<sup>[1]</sup>。中国水库大部分为土石坝结构,在防洪、蓄水方面发挥重大作用,但是土石坝也存在着许多安全问题,其中渗透是最大的危险来源之一<sup>[2]</sup>。有数据表明,241座水库发生的事故中,大约32%是由于渗透变形引起的<sup>[3]</sup>。土工膜具有良好的不透水性,防渗效果强,是理想防渗体。

在坝体上游铺设土工膜可以防渗,增加稳定系数<sup>[4]</sup>。近年来,水利工程防渗技术科技含量升高,土石坝防渗工程逐渐增多,同时对渗流与稳定的分析越来越重视,在工程设计、施工及安全使用过程中对防渗后坝体的渗流与稳定分析已经成为评价效益的关键内容<sup>[5]</sup>。本文在反调节水库铺设土工膜后,对大坝渗流与稳定系数进行分析,为此类工程提供数据参考。

## 1 水库土工膜防渗体处理

### 1.1 反调节蓄水工程概况

试验工程为煤窑沟水库,位于伊宁市,其为煤窑沟河及伊犁流域的重要控制性水利工程。水库反调节需水工程主要功能是弥补排沙期供水不足,对水库供水过程进行反调节,满足工业、生活用水。水库总库容量为 980 万 m<sup>3</sup>,供水设计流量为 2.2m<sup>3</sup>/s,拦河坝坝高 44.8m,大坝前后边坡均为 1:1.6,承担工业园区 1460 万 m<sup>3</sup> 的供水任务。

### 1.2 土工膜防渗体

土工膜是近年来发展起来的一种高分子材料,常用于建筑工程中,例如,坝体上游面斜墙、坝体中心心墙等,具有不透水、重量轻、造价低等优点<sup>[6]</sup>。目前,复合土工膜在工程上应用越来越多,但其薄膜渗透的理论及方法还没有被准确模拟。本文利用等效渗透系数法对工程进行分析,将土工膜两侧水头差及单位面积流速设定为恒定值,即可将土工膜等效成一定厚度的土体,通过达西定律计算等效渗透系数<sup>[7]</sup>。

$$v = k_s i = k_s \frac{\Delta H}{\delta} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{v}{i} = \frac{v}{\Delta H} \delta \quad (2)$$

式中  $\Delta H$ ——土工膜两侧水头差;

$\delta$ ——土工膜厚度;

$k_s$ ——渗透系数;

$v$ ——单位面积流速;

$i$ ——渗透比降。

又因为土工膜两侧水头差及单位面积流速不变,则土工膜两侧水头差、流速之比均为 1,可知:

$$k_{s1}/k_{s2} = \delta_1/\delta_2 \quad (3)$$

由式(3)可知,该试验建模可用渗透系数为  $1 \times 10^{-11}$  cm/s,厚度为 0.6mm 的复合土工膜等效实际应用的土工膜。土工膜在工程中仅起到防渗作用,缩短坝体内部浸润线,提高坝体安全性,对大坝强度无影响。在不考虑土工膜的情况下,仅将渗流分析的结果引入稳定分析。

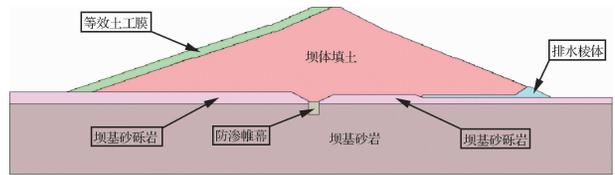


图 1 土工膜等效大坝断面计算示意图

### 1.3 水库上游坝坡的处理方法

根据原始坝坡渗透稳定不足的情况,对坝坡进行改进,在原始坝型的均质坝上铺设土工膜防渗体,将其改为非土质材料的防渗体坝。具体操作为保持原设计体型不变,在大坝上游坡面铺设土工膜,按照两布一膜的结构形式查取渗透系数,并对紫外线等外部环境侵蚀设置保护层(在土工膜上铺 30cm 厚反滤砂以及 20cm 厚预制混凝土面板),渗流稳定分析按此结构进行计算。

### 1.4 计算断面

根据水库管理部门提供的土工膜使用规格标准及上游坝坡的处理要求(见图 2),土工膜规格为 0.6mm,土工布上下两层规格均为 300g/m<sup>2</sup>,渗透系数规格为  $1 \times 10^{-11}$  cm/s。

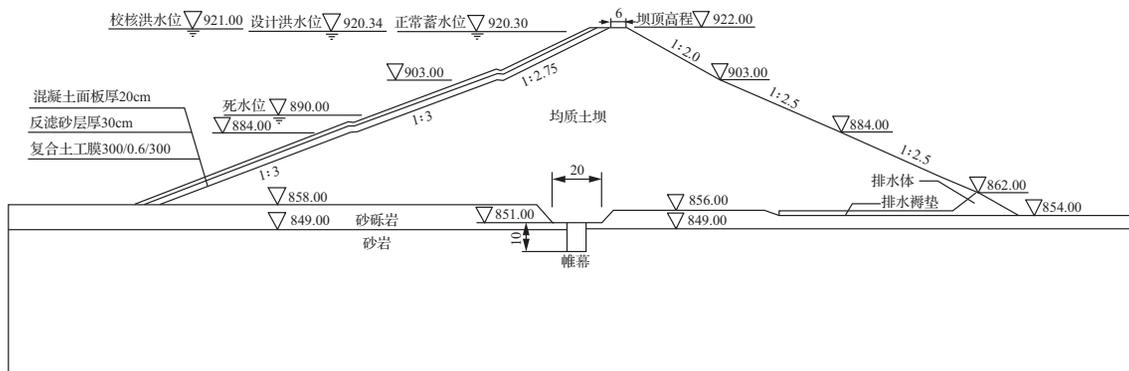


图 2 大坝标准断面示意图

## 2 模型建立及结果分析

### 2.1 模型计算

按照大坝标准断面,等效复合土工膜后,利用 Multiphysics 有限元软件进行二维建模<sup>[8]</sup>,建立起几何模型,如图 3 所示。根据几何模型的特点,利用 Multiphysics 有限元软件对该试验大坝进行网格划分,控制网格并采用映射方法划分规则区域,坝体不规则区域采用三角形网格自由划分,划分尺度预定义为标准。

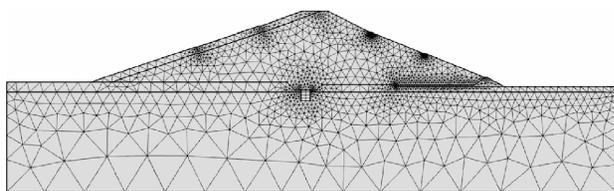


图 3 有限元模型

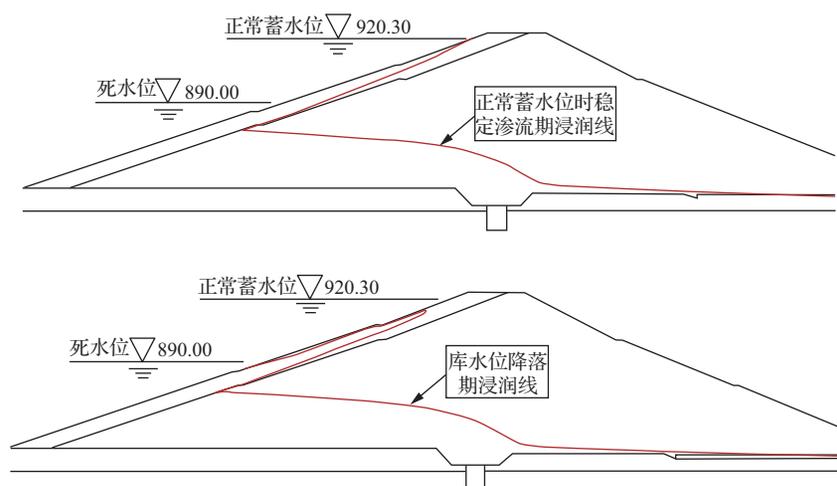


图 4 大坝稳定期与非稳定期渗流计算浸润线示意图(单位:m)

停止计算,从而得到最小安全系数和失稳滑弧位置。强度折减法<sup>[9]</sup>是根据计算最危险滑弧确定对应的安全系数,上、下游不论谁先失稳,失稳端的安全系数一定小于稳定端,若失稳端满足规范允许的最小安全系数,则另一端自动满足。根据此原理可得出最终稳定计算成果见表 1。

### 2.2 渗流分析

从图 4 中可以看出,在铺设土工膜后,根据模型计算出的正常蓄水稳定渗流期和库水位降落期的浸润线均较低。正常稳定蓄水渗流期的渗透比降最大值为 2.23,发生位置为结合槽底部,坝体内渗透比降最大值为 0.22,下游溢出点渗透比降最大值为 0.024,显著低于允许比降值 0.53,说明正常蓄水位稳定渗流期无渗漏破坏危险。库水位降落期的各时段上游坡向坝壳外指向的渗透比降最大值均为 0,显著低于允许比降,说明库水位降落期也不会发生渗漏破坏危险。

### 2.3 稳定分析

利用强度折减法对正常蓄水位稳定渗流期、库水位降落期和竣工期进行安全系数计算分析, Multiphysics 有限元软件在计算时一旦遇到最小安全系数即会

表 1 COMSOL Multiphysics 有限元软件稳定计算结果

工况	最小安全系数		允许值
	上游坡	下游坡	4
稳定蓄水位渗流期 (下游坝坡稳定)	2.208	1.55	1.25
库水位降落期 (上游坝坡稳定)	总应力法	1.534	1.39
	有效应力法	1.567	1.57
	小值组合法	1.298	1.33
竣工期(下游坝坡稳定)	2.333	1.88	1.15

经渗流分析可知,在坝坡上游铺设土工膜能够使正常蓄水位坝内部浸润最高点降至死水位以下,并且库水降落期坝体内部浸润线相对于正常蓄水位变化并不明显,说明水位骤降对坝坡上游稳定性影响不明显。初始坝体的最危险滑弧出现在下游,而铺设土工膜后下坡的抗滑稳定性更加稳固,表明铺设土工膜后的大坝在正常蓄水位和竣工期的最危险滑弧均在下游,满足坝体抗滑稳定需求。对于库水位降落期,通过用总应力法、有效应力法、小值组合法分别进行分析,结果表明三种方法计算出的最小稳定安全系数均高于最小允许值。以上可以说明,坝坡上游在铺设土工膜后在三种工况均处于安全稳定状态。

### 3 渗流稳定分析

#### 3.1 渗流分析

经软件计算出正常蓄水位稳定渗流期、库水位降落期非稳定渗流浸润线如图5所示。从图5中可知,在坝坡上游铺设复合土工膜后,正常蓄水位稳定渗流期和库水位降落期非稳定渗流的浸润线均较低。正常蓄水位稳定渗流期的最大渗透比降出现在坝体下游,值为0.07,明显小于建议允许比降0.53,表明坝体下游不会发生渗透破坏。库水位降落期的不同时间段坝坡上游指向坝壳的最大渗透比降均为0,明显低于允许渗透比降,说明降落期不会发生渗透破坏。

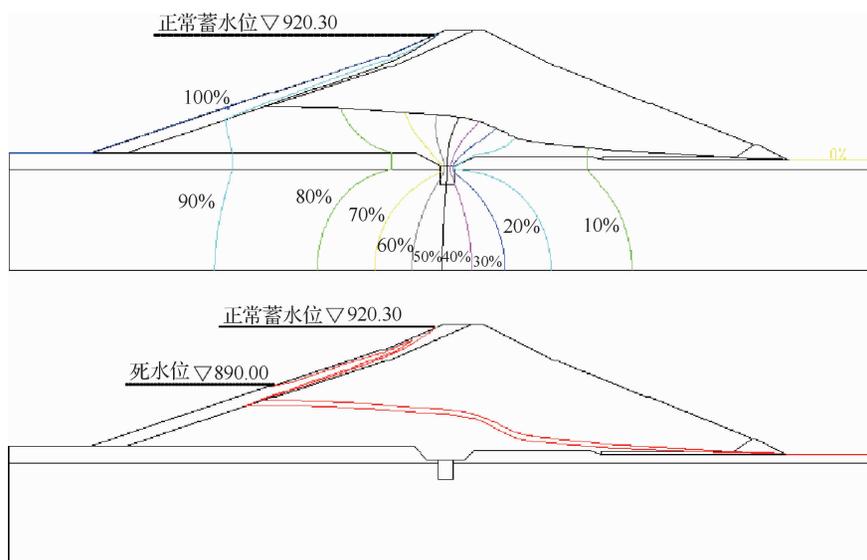


图5 正常蓄水位稳定渗流期与库水位降落期非稳定渗流期浸润线示意图(单位:m)

#### 3.2 稳定分析

根据网格划分法对坝体断面进行自动网格剖分,运用理正软件计算出渗流场及自由面,通过 AutoBank 软件建立正常蓄水位渗流期和库水位降落期的稳定计算模型如图6所示。

在不同工况条件下,计算坝坡稳定性结果见表2。从表中可知,坝坡上游在铺设土工膜后,坝坡下游在正常蓄水位稳定渗流期和竣工期的最小安全系数均低于上游,并高于规范要求的最小允许安全系数,且库水位降落期的最小安全系数通过总应力法、有效应力法、小值组合法计算的结果均高于允许最小安全系数,以上

分析说明,在三种工况下,大坝安全稳定。

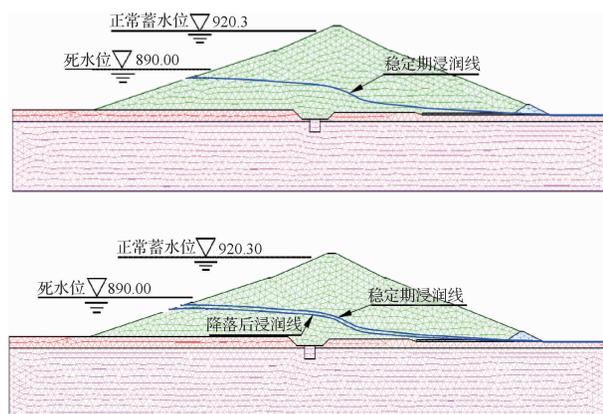


图6 正常蓄水位与库水位降落期稳定计算模型(单位:m)

表2 工程软件稳定计算结果

工 况		最小安全系数		允许值
		上游坡	下游坡	4
稳定蓄水位渗流期 (下游坝坡稳定)		2.225	1.523	1.25
库水位降落期 (上游坝坡稳定)	总应力法	1.525	1.519	1.25
	有效应力法	1.554	1.528	
	小值组合法	1.254	1.281	
竣工期 (下游坝坡稳定)		2.378	1.978	1.15

## 4 结 语

水库坝体的渗透问题关系到大坝的安全运行和经济效益,对坝坡的渗流与稳定分析是工程安全使用的关键。在反调节水库坝坡上游铺设土工膜大坝防渗体后,分析渗流与稳定数值变化,结果表明:在坝坡上游铺设土工膜防渗体,其渗流与稳定数值均在规范要求范围内。正常蓄水位稳定渗流期及库水位降落期的最大渗透比降均低于建议允许比降,表明大坝不会发生渗漏;在正常蓄水位稳定渗流期及库水位降落期、竣工

(上接第23页)

经五年观察,下游未见泥沙淤积。

c. 为解决工程的泄洪、冲沙和排污等问题,整个坝体已被各类孔洞占满,大坝隔孔布置的结构稳定计算满足规范要求,控制大坝稳定的是溢流坝段和冲沙孔坝段。

d. 为减少泥沙进入电站进水口,改善进水口水流条件,电站进水口布置在冲沙漏斗以外,利用隔孔布置的岸边冲沙孔紧靠电站进水口实现“门前清”,经五年的运行观察,泥沙的推移质并未进入水轮机。

庙林电站工程于2006年6月开工建设,2009年9月30日大坝下闸蓄水,2012年3月完成竣工验收,2009年12月第一台机组发电。到目前为止大坝已安全运行五年。经过五年的运行观测,拦河坝排沙效果较好,拦河坝上下游及库尾均未出现泥沙淤积,该工程

期得出的最小稳定安全系数均高于规范要求,表明大坝安全稳定。◇

## 参考文献

- [1] 孙秀玲. 基于朱隈水库大坝的除险加固措施研究[J]. 中国水能及电气化,2016(8):25-28.
- [2] 蔡小麟. 水库黏土斜墙坝渗流分析及解决方案[J]. 中国水能及电气化,2016(8):67-70+42.
- [3] 崔世忠,薛小曼. 复合土工膜在李家梁水库防渗中的应用[J]. 水利建设与管理,2010(7):9-10.
- [4] 何川,马晓亮. 新疆奎屯市东郊水库坝型比选方案[J]. 水利建设与管理,2015(10):34-36.
- [5] 李锦玉. 浅谈复合土工膜在人工湖防渗工程中的应用及施工[J]. 水利规划与设计,2011(4):73-75.
- [6] 束一鸣,吴海民,姜晓楨. 中国水库大坝土工膜防渗技术进展[J]. 岩土工程学报,2016,38(s1):1-9.
- [7] 许玲玲. 大区域渗流场地下水结构物的简化分析方法[D]. 广州:华南理工大学,2012.
- [8] 张文华. 全库盆土工膜防渗水库的基础处理设计与探讨[J]. 水利规划与设计,2016(9):98-101.
- [9] 刘学明. 土工膜防渗施工中应注意的几个问题[J]. 水利技术监督,2014,22(6):64-65.

针对冲沙的大坝结构布置是成功的,可为其他类似工程提供借鉴。◇

## 参考文献

- [1] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力计算手册[M]. 北京:水利出版社,1983.
- [2] 张宏科,安小敏,唐仁辉. 新疆克孜尔水库泥沙淤积成因分析及水库调沙运用方式的探究[J]. 水利建设与管理,2010,30(4):55-57.
- [3] 李晓东. 伊逊河城区段河道水环境建设泥沙治理探讨[J]. 水利建设与管理,2015,35(4):51-52.
- [4] 苏秀颖. 闹德海水库泥沙淤积问题及对策探析[J]. 水利建设与管理,2015(6):67-69.
- [5] 孟佳佳,赵伟,陶娟. 淮安市古黄河水利枢纽工程初设方案泥沙冲淤计算研究[J]. 水利建设与管理,2015,35(7):19-24.