

土工膜在淤地坝蓄水改造中的应用研究

聂兴山

山西省水土保持科学研究所, 山西 太原

Email: 13453424978@163.com

收稿日期: 2020年11月13日; 录用日期: 2020年11月30日; 发布日期: 2020年12月7日

摘要

土工膜是一种不透水材料, 已广泛应用于各种防渗工程中。本文以平陆县贺家庄骨干坝为例, 在分析土石坝和淤地坝设计原则的基础上, 对淤地坝应用土工膜防渗及蓄水改造进行研究, 提出3个改造方案。应用ABAQUS软件, 研究流固耦合的边坡稳定性计算方法, 在校核洪水水位工况下对原坝体进行了验证, 并对改造方案进行了计算和比选。结果表明: (1) 在改造方案中, 水平铺盖长度的增加对浸润线的降低和安全系数的增大影响较小; (2) 选定的改造方案为复合土工膜斜墙加10 m长的水平铺盖, 经计算其安全系数为1.438, 比不加土工膜时, 安全系数增加0.28, 浸润线整体明显下降。

关键词

土工膜, 淤地坝, 防渗加固, 边坡稳定

Application Study of Geomembrane in Silt Storage Dam and Water Storage Reconstruction of Silt Storage Dam

Xingshan Nie

Institute of Shanxi Soil and Water Conservation, Taiyuan Shanxi

Email: 13453424978@163.com

Received: Nov. 13th, 2020; accepted: Nov. 30th, 2020; published: Dec. 7th, 2020

Abstract

Geomembrane is a kind of impermeable material, which has been widely used in various seepage prevention projects. Taking Hejiazhuang key dam in Pinglu county as an example, based on the

analysis of the design principles of earth-rock dam and silt storage dam, this paper studies the silt storage dam's reconstruction by using geomembrane to prevent seepage and store water, and puts forward three reconstruction schemes. Using ABAQUS software, the slope stability calculation method of fluid-solid coupling is studied, the original dam body is verified under the condition of checking flood level, and the reconstruction scheme is calculated and compared. The results show that: (1) in the reconstruction scheme, the increase of horizontal blanket length has little impact on the decrease of saturation line and the increase of safety factor. (2) the selected reconstruction scheme is composite geomembrane inclined wall with 10 m long horizontal blanket. The safety factor is calculated to be 1.438, which is 0.28 higher than that without geomembrane, and the overall saturation line decreases significantly.

Keywords

Geomembrane, Silt Storage Dam, Anti-Seepage Reinforcement, Slope Stability

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

淤地坝一般不进行长期蓄水, 而将淤地坝进行蓄水改造, 可以解决部分山区的用水紧张问题。本文以平陆县贺家庄淤地坝为例, 选择复合土工膜作为淤地坝的蓄水防渗材料, 进行土工膜防渗方案设计[1]。关键技术问题就是坝体的渗透性分析和稳定性分析, 本文对这两项工作进行了研究。

2. 平陆县贺家庄淤地坝工程概况

贺家庄淤地坝位于部官乡皂坡村, 项目区属典型的大陆性季风气候。坝型为均质碾压土坝, 坝高 23.0 m, 坝顶宽 4 m, 上游边坡 1:2.5, 下游边坡 1:2、1:1.5, 马道在坝高 12 m 处宽 1.5 m, 原坝体设有棱体式反滤排水, 现淤泥层厚 11.3 m。上游校核洪水位为 451.5 m, 下游校核洪水位为 430 m, 坝基高程 430 m, 上游校核水深 21.5 m, 下游校核水深 0 m。

3. 淤地坝土工膜防渗改造初步方案设计

复合土工膜是以塑料薄膜的不透水性阻断坝体的渗水通道, 拥有较大的抗拉强度和延伸率, 在垫层料设置合理且平整的情况下, 能承受巨大的水压及跟随坝体的变形而变形, 目前广泛应用于土石坝的防渗中。参考长堰水库[2]、大牛沟水库[3]、呼延调蓄工程[4]的防渗体系, 选取的复合土工膜规格为 250 g/0.5 mm/250 g。防渗改造初步方案如下:

方案 A1: 仅考虑复合土工膜斜墙, 首先清理坝坡, 然后依次在坝面上铺设 20 cm 砂垫层、复合土工膜、20 cm 砂垫层、30 cm 碎石过渡层及 30 cm 干砌石护坡, 库区淤泥层下挖 1.5 m。方案 A2: 在方案 A1 的基础上, 增加 10 m 长的复合土工膜水平铺盖。方案 A3: 在方案 A1 的基础上, 增加 60 m 长的复合土工膜水平铺盖。

4. 坝体稳定性计算原理

在 ABAQUS 软件中, 强度折减法用于边坡稳定性分析, 其定义为: 在外荷载保持不变的情况下, 边坡内土体所能提供的最大抗剪强度与外荷载在边坡内所产生的实际剪应力之比。极限状态下, 外荷载所

产生的实际剪应力与抵御外荷载所发挥的最低抗剪强度即按照实际强度指标折减后所确定的、实际中得以发挥的抗剪强度相等[5] [6]。折减后的抗剪强度参数为：

$$c_m = c/F_r \tag{1}$$

$$\varphi_m = \arctan(\tan \varphi/F_r) \tag{2}$$

式中： c 、 φ 是土体能提供的抗剪强度； c_m 、 φ_m 是土体实际发挥的抗剪强度； F_r 是折减系数。

判断土坡达到临界破坏的评价标准有：(1) 数值计算收敛与否；(2) 特征部位的位移拐点；(3) 是否形成连续的贯通区。塑性区的贯通是边坡失去稳定的必要不充分条件，还要看是否具有边坡破坏的特征。边坡失稳时，有限元程序无法从有限元方程组中找到一个既能满足静力平衡，又能满足应力 - 应变关系和强度准则的解，因此，本文以数值计算是否收敛作为边坡失稳的判据，统一采用坡顶的水平位移大小来判断边坡是否失稳[7]。

5. 流固耦合原理及验证

5.1. 流固耦合原理

在实际的渗流过程当中，由于孔隙流体压力的变化会引起土骨架有效应力的变化，直接导致土体的渗透率和孔隙度的变化。土体的渗透率和孔隙度的变化会反过来影响孔隙流体的流动和压力的分布，这就是流固耦合的本质[8]。本文采用 CPE4P 单元划分网格，结合坝体各区域的材料特性进行边界和初始条件的给定，进行直接流固耦合分析，同时计算渗流场和应力场，最终获得坝体的稳定安全系数。

5.2. 坝体各区域计算参数

该坝各区域土体参数如表 1 所示，土层一为坝体内部非饱和区域的土体，土层二为坝体内部饱和区域的土体，土层三为坝基土体，土层四为排水棱体，土层五为淤泥层。

Table 1. Soil characteristics of the dam at different regions

表 1. 坝体各区域土体材料特性参数表

土层	干容重 (KN/m ³)	天然容重 (KN/m ³)	饱和容重 (KN/m ³)	粘聚力 (kpa)	摩擦角 (度)	弹性模量 (kpa)	泊松比	渗透系数 (m/s)
一	15.5	18	19.6	25	24	12000	0.28	0.0000001
二	15.5	18	19.6	23	18.5	10000	0.23	0.0000001
三			19.8	30	23	20000	0.25	0.0000001
四	20		24			50000	0.35	0.0001
五			19.8			20000	0.25	0.00001

5.3. 流固耦合验证

原坝体进行流固耦合计算获得的浸润线如图 1 所示，与理论公式计算结果(见图 2)对比可知浸润线整体吻合良好，但是采用理论公式在浸润线进口段需手动修正，产生人为误差，而用流固耦合的方法所得浸润线更加精确。

图 3 为原坝体计算所得水平位移随着折减系数的变化规律，其中边坡失稳时对应的折减系数即是安全系数，为 1.158，原坝体利用瑞典圆弧法计算的安全系数为 1.112，相差 0.046，安全系数吻合良好。大坝级别为 5 级，以校核洪水位为计算工况，按《碾压式土石坝设计规范》规定，坝坡抗滑稳定的最小安

全系数为 1.15，若用瑞典圆弧法的计算结果，则该坝需要除险加固。若用流固耦合的计算结果，稍大于允许的安全系数。但是流固耦合的结果，存在比实际值偏大的可能，且从工程的安全性分析，还需进行除险加固。

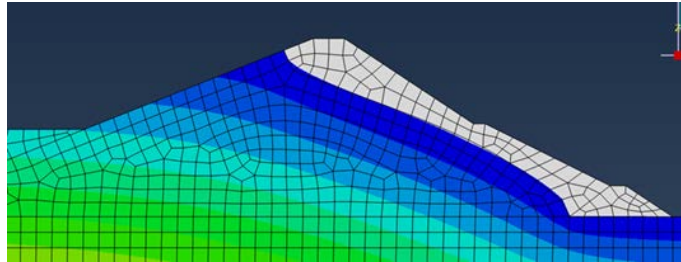


Figure 1. Saturation line of the original dam based on fluid-structure interaction theory

图 1. 原坝体流固耦合的浸润线图

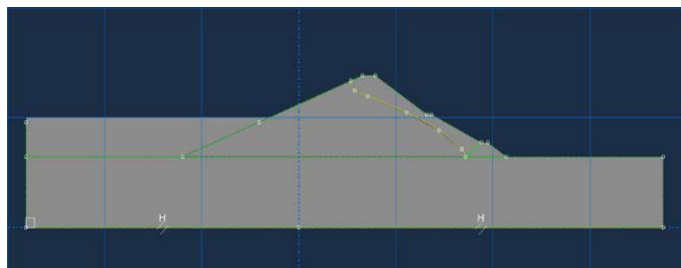


Figure 2. Saturation line of the original dam based on theoretical formula

图 2. 原坝体理论公式的浸润线图

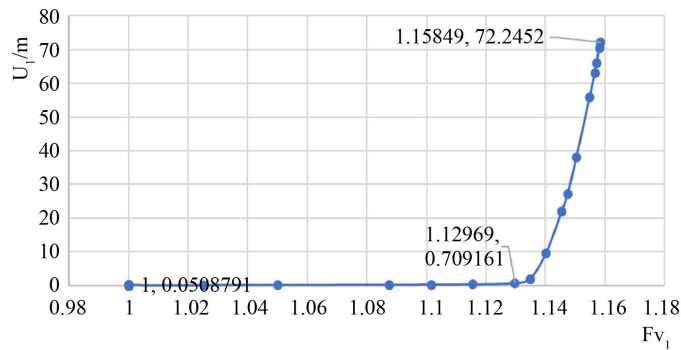


Figure 3. The curve of reduction coefficient F_{v1} and horizontal displacement U_1 of the original dam

图 3. 原坝体折减系数 F_{v1} 和水平位移 U_1 关系曲线图

6. 平陆县贺家庄淤地坝改造方案的比选

各个改造方案坝体浸润线和水平位移随着折减系数的变化曲线的计算结果见图 4~9 所示。各方案计算所得上游坝面的浸润线距坝基高度和安全系数见表 2 所示。

由图和表可见，水平铺盖长度的增加对浸润线的降低和安全系数的增大影响较小。考虑施工的难易程度和避免在未铺设水平铺盖的坡脚处发生局部的渗透破坏，最终确定防渗改造方案为 A2：复合土工膜

斜墙加 10 m 长的水平铺盖。

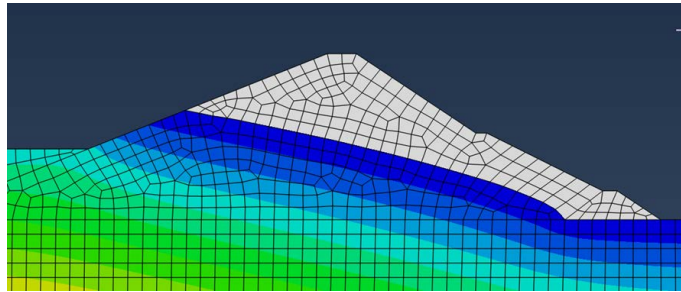


Figure 4. Saturation line of the dam (A1)
图 4. 方案 A1 的坝体浸润线图

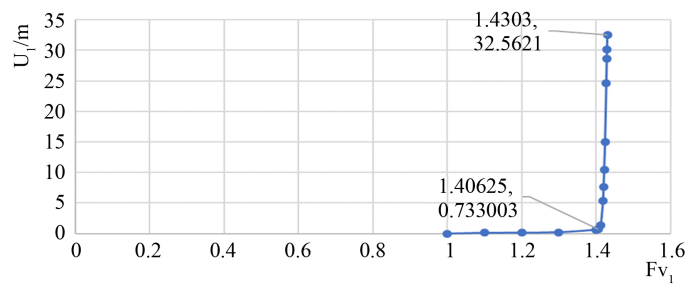


Figure 5. The relationship between reduction coefficient Fv_1 and horizontal displacement U_1 (A1)
图 5. 方案 A1 折减系数 Fv_1 和水平位移 U_1 关系

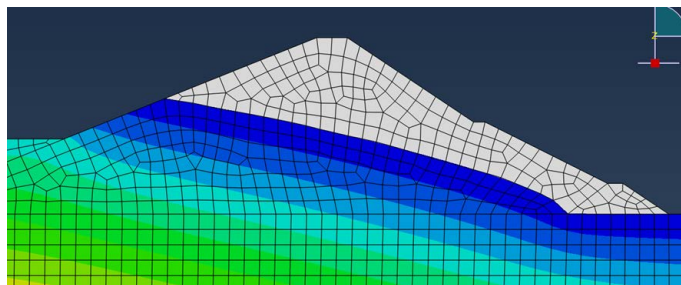


Figure 6. Saturation line of the dam (A2)
图 6. 方案 A2 的坝体浸润线图

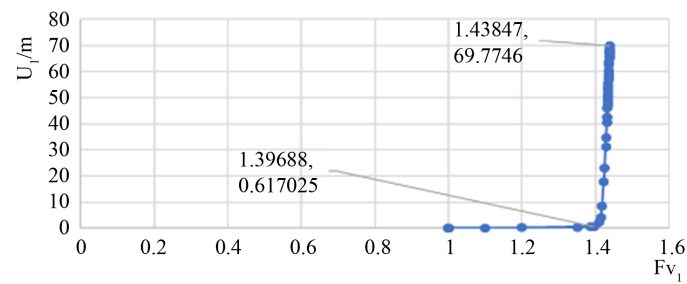


Figure 7. The relationship between reduction coefficient Fv_1 and horizontal displacement U_1 (A2)
图 7. 方案 A2 折减系数 Fv_1 和水平位移 U_1 关系

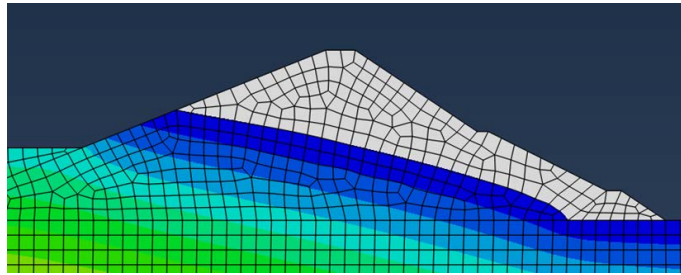


Figure 8. Saturation line of the dam (A3)
图 8. 方案 A3 的坝体浸润线图

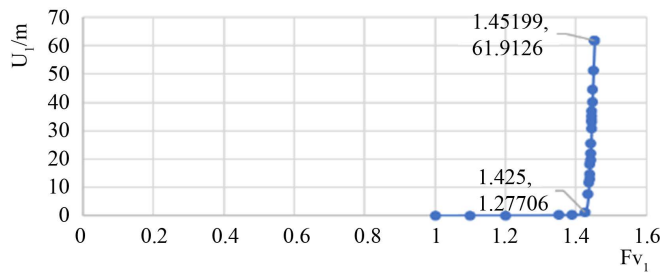


Figure 9. The relationship between reduction coefficient Fv_1 and horizontal displacement U_1 (A3)
图 9. 方案 A3 折减系数 Fv_1 和水平位移 U_1 关系

Table 2. Comparison of the reconstruction schemes
表 2. 改造方案对比表

方案	上游坝面的浸润线距坝基高度(米)	流固耦合的安全系数
A1	15.154	1.430
A2	15.047	1.438
A3	14.913	1.452

7. 结论

运用流固耦合的方法,对贺家庄淤地坝在校核洪水水位下原坝体的边坡稳定性进行了验算,结果显示:
 (1) 流固耦合的浸润线、安全系数与传统方法的计算结果吻合良好;将验证可行的流固耦合模型应用于淤地坝防渗改造的方案比选中,比选结果表明:
 (2) 水平铺盖长度的增加对浸润线的降低和安全系数的增大影响较小。
 (3) 对比改造前后的方案可知,安全系数加固前为 1.158,加固后提高到 1.438,增加了 0.28,稳定性提升显著。
 (4) 对比加固前后的浸润线,可知,浸润线整体下降,更为平缓,有效降低渗透破坏发生的可能性,增强大坝的蓄水能力,加固方案可行。
 (5) 模型的特点:流固耦合的浸润线处理过程更加简单,不用通过理论公式的计算,而是进行渗流分析,就可快速得出在各种复杂的坝体边坡或地基各部位渗透系数复杂条件下的浸润线,计算结果更加精确。

参考文献

- [1] Muller, W.W. (2010) HDPE Geomembranes in Geotechnics. Springer, Berlin.
- [2] 吴华其, 刘追亮. 复合土工膜在长堰水库除险加固工程中的应用[J]. 浙江水利科技, 2001(s1): 27-28.
- [3] 谷云香, 汪伟. 土工膜防渗在大牛沟水库土石坝中的应用[J]. 东北水利水电, 2008(1): 8-9.

- [4] 王瑞波. 呼延调蓄工程土工膜防渗体土坝设计[J]. 水科学与工程, 2016(2): 71-73.
- [5] Chai, J.P., Zhu, L.Q. and Zhang, D.W. (2008) The Analysis on the Stability of Slope in Heishan Iron Mine. *Express Information of Mining Industry*, **8**, 74-76.
- [6] 夏园园. 基于 ABAQUS 有限元强度折减法的边坡稳定性分析[J]. 价值工程, 2018, 37(31): 198-202.
- [7] 赵尚毅, 郑颖人, 张玉芳. 极限分析有限元法讲座——II 有限元强度折减法中边坡失稳的判据探讨[J]. 岩土力学, 2005(2): 332-336.
- [8] 林子杨. 流固耦合下的边坡稳定分析[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2012.