

不同坝高对复合土工膜防渗斜墙应力变形的影响

尚层¹, 李玉建², 侍克斌²

(1. 新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000;
2. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 根据复合土工膜防渗体应用于土石坝时的防渗特点, 结合工程实例, 采用三维有限元方法对坝体和复合土工膜进行了数值模拟, 分析了不同坝高条件下对土工膜防渗斜墙应力变形的影响。结果表明: 与低土石坝应用复合土工膜防渗的情况相比, 随着坝高的增大, 复合土工膜不仅在坝顶锚固区处的应力应变较大, 而且两岸锚固处的应力应变也随着坝高的增大而增大, 在两岸坡脚锚固端处应力应变达到最大, 对实际工程的设计具有一定的积极意义。

关键词: 土石坝; 复合土工膜; 应力应变; 坝高; 三维有限元

中图分类号: TV314 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2013)05-0176-05

Effect of different heights of dam on stress deformation of anti-seepage inclined wall built by composite geomembrane

SHANG Ceng¹, LI Yujian², SHI Kebin²

(1. Project Construction Authority of Xinjiang Irtysh River Basin, Urumqi 830000, China;
2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: According to the seepage characteristics of anti-seepage body of composite geomembrane used in earth-rockfill dam, in combination with an engineering example, the paper used three-dimensional finite element method to simulate the deformation and stress behaviors of composite geomembrane, and analyzed the effect of different heights of earth-rockfill dam on stress deformation of anti-seepage inclined wall built by composite geomembrane. The results show that comparison with low earth-rockfill dam using composite geomembrane, with the increase of dam height, not only the stress and strain of composite geomembrane is greater in the dam crest and but also that is even greater at the anchorage zone, the stress and strain at the anchor end of foot slope reach the maximum. The result has certain positive significance for the design of actual project.

Key words: earth-rockfill dam; composite geomembrane; stress and strain; dam height; 3D finite element

随着人们对复合土工膜不断认识和复合土工膜自身的不断发展, 采用复合土工膜防渗的水利工程也越来越多, 如渠道的防渗、土石围堰的防渗、大坝的防渗等等, 越来越受工程人员的关注和采用。

复合土工膜作为土石坝的防渗体时, 也逐渐由低坝向中坝甚至是高坝的趋势发展。本文结合三维有限元方法分别对低坝、中坝和高坝的坝体和复合土工膜进行了数值模拟计算, 分析了复合土工膜防渗斜墙随着坝高的变化其应力变形特点和规律, 同时也验证了复合土工膜用于高坝防渗的可行性, 为复合土工膜防渗土石坝的设计提供依据。

1 复合土工膜用于中、高土石坝的防渗概况

复合土工膜防渗体不仅可以应用于低土石坝的情况, 同样也可以应用于中等坝高, 甚至可以应用于高坝的情况。在我国已有多个坝高为 50 m 左右的土石坝采用复合土工膜防渗, 如江西省钟吕水电站的堆石坝坝高 51 m, 采用复合土工膜作为防渗斜墙^[1]; 云南塘房庙水库, 坝高 48.5 m, 采用复合土工膜防渗心墙进行防渗^[2]; 石砭峪沥青混凝土斜墙坝, 坝高 85 m, 采用复合土工膜进行修复^[3]。在国

收稿日期: 2013-03-25; 修回日期: 2013-04-30

基金项目: 新疆水利水电工程重点学科基金资助(XJZDXK-2002-10-05); 新疆农办科技推广项目(XNB-03-01)

作者简介: 尚层(1985-), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 主要从事坝工设计理论及施工技术研究。

外有些国家已将土工膜用于较高土石坝的防渗工程,如阿尔巴尼亚在高 91 m 的 Bovilla 堆石坝的上游面铺设了 Sibelon 单面复合土工膜^[4];西班牙的 Poza de Los Ramos 堆石坝,坝高 97 m,采用土工膜作为防渗斜墙,现已加高至 134 m;葡萄牙的 Paradel-la 堆石坝,坝高 110 m,采用土工膜进行修复,并将膜贴在混凝土面板上作为防渗斜墙等^[5]。

在《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T 225-98)^[6]中规定,对于高水头(大于 50 m)挡水建筑物,采用土工织物防渗应经过论证。在《碾压式土石坝设计规范》(SL274-2001)中也规定,对于 3 级低坝应经过论证才能采用土工膜防渗。本文分别对低、中、高坝进行了坝体三维有限元模型的建立与计算,旨在分析随着坝高的变化复合土工膜的变形规律,并验证复合土工膜应用于高坝防渗的可行性。

2 影响复合土工膜变形的因素分析

复合土工膜应用于土石坝防渗时的受力情况比较复杂,影响复合土工膜变形的因素也较多,诸如复合土工膜与坝顶及周边锚固型式不同,会影响复合土工膜的变形^[7];水位或水压力的不同会直接影响复合土工膜的应力变形;温度的骤升骤降会影响复合土工膜的老化变形;复合土工膜上下垫层的材料不同,其界面摩擦特性不同,也会影响复合土工膜的变形;复合土工膜随土石坝的变形而变形,土石坝的变形不同,也是影响复合土工膜变形的因素;大坝坝高的不同、大坝上游坝坡的坡比不同等同样都是影响复合土工膜变形的因素。本文所模拟的情况中,只考虑了在同一界面摩擦特性,同一坝坡坡比等条件下,不同的坝高对复合土工膜应力变形的影响。

3 低坝条件下数值计算及成果分析

3.1 低坝工程概述

某山区水库的土石坝采用复合土工膜防渗,坝顶长 198 m,坝顶宽为 5 m,最大坝高为 18 m,上游为 1:3 的坝坡,下游为 1:2 的坝坡。复合土工膜铺设于土石坝上游面作为防渗斜墙,防渗膜为 0.5 mm 厚的 PE 膜,上下土工织物的规格为 200 g/m²,在复合土工膜下铺 300 mm 厚的中细砂下垫层,复合土工膜上铺 300 mm 厚的中细砂上垫层,依次向上铺设 200 mm 厚的砂砾石和 300 mm 厚的干砌卵石作为上游护坡。

3.2 低坝有限元计算模型和材料计算参数

图 1 为低坝有限元网格计算图,表 1 为低坝材料计算参数表。



图 1 低坝有限元网格计算图

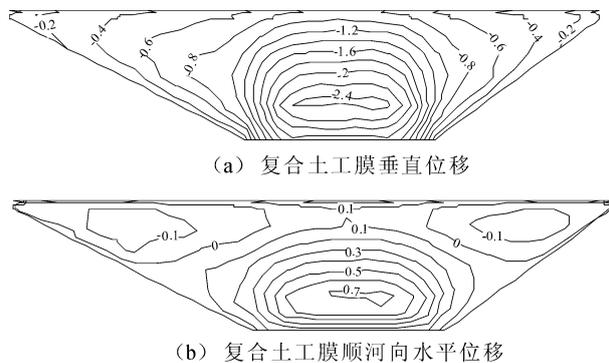
表 1 材料计算参数表 $\text{kg/m}^3, \text{MPa}, (^{\circ})$

材料名称	密度	弹性模量	泊松比 ν	摩擦角 φ	粘聚力
坝体	2250	28	0.30	39.5	21.5
坝基	2200	32.5	0.30	37.5	20.5
垫层	2250	12	0.30	38.0	22.5
山体	2400	200	0.28	41.0	22.0
复合土工膜	1000	10	0.32		

3.3 有限元数值计算结果与分析

通过模拟计算,大坝在满蓄期时的垂直位移最大值为 6.03 cm,顺河向向下游水平位移最大值为 1.17 cm,大主应力的最大值为 0.43 MPa,大主应变的最大值为 0.46%,复合土工膜在此变形条件下,随大坝的变形而变形。

(1) 复合土工膜垂直与水平位移。图 2 为低坝条件下复合土工膜的位移等值线图,从图中可以看出,复合土工膜的位移主要分为竖向的垂直位移和顺河向的水平位移。竖向位移最大值为 2.49 cm,发生在复合土工膜中央轴线的中下部;顺河向水平位移以向下游为正,向上游为负,最大值为 0.75 cm,发生在复合土工膜中央轴线的中下部。



(a) 复合土工膜垂直位移

(b) 复合土工膜顺河向水平位移

图 2 复合土工膜位移等值线图(单位: cm)

(2) 复合土工膜应力变形情况。图 3 为低坝条件下复合土工膜大主应力等值线图,图 4 为低坝条件下复合土工膜大主应变等值线图,复合土工膜受

自身材料的影响,不具备抗弯、抗压等特点,当开始蓄水后复合土工膜的应力主要呈受拉分布,在水压力和周边锚固等条件作用下,复合土工膜锚固区附近的应力变形较大。通过计算,可以看出锚固区附近复合土工膜的应力最大值为0.019 MPa,应变最大值为0.173%;本工程所采用的复合土工膜的抗拉强度为14 MPa,断裂伸长率为50%~70%,由此可知,复合土工膜满足工程使用要求。

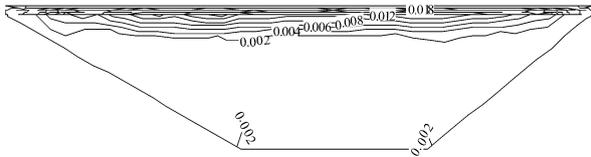


图3 复合土工膜大主应力等值线图(单位:MPa)

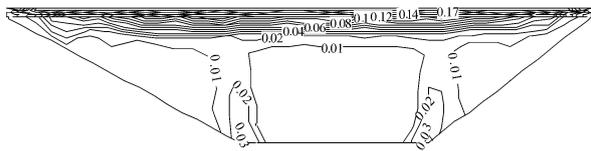


图4 复合土工膜大主应变等值线图(单位:%)

4 中坝条件下数值计算及成果分析

4.1 中坝有限元计算模型和材料计算参数

中坝复合土工膜防渗结构型式和低坝情况基本一致,坝高增加至50 m,图5为中坝有限元网格计算图,表2为中坝材料计算参数表。

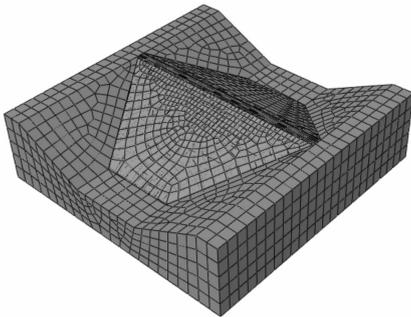


图5 中坝有限元网格计算图

表2 材料计算参数表 kg/m^3 , MPa, ($^\circ$)

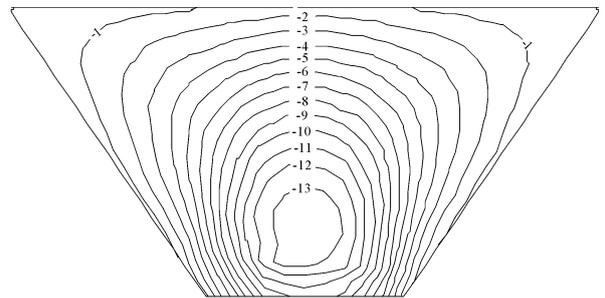
材料名称	密度	弹性模量	泊松比 ν	摩擦角 φ	粘聚力
坝体	2250	95	0.30	39.5	21.5
坝基	2200	110	0.30	37.5	20.5
垫层	2250	84	0.30	38.0	22.5
山体	2400	2000	0.28	41.0	22.0
复合土工膜	1000	80	0.32		

4.2 有限元数值计算结果与分析

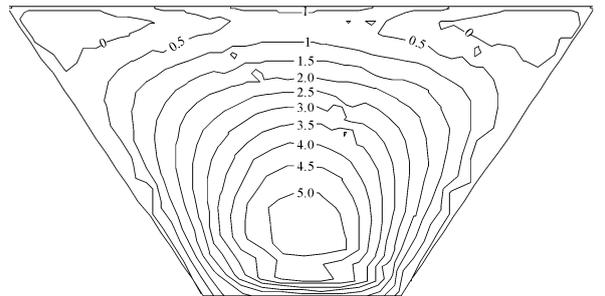
通过模拟计算,大坝在满蓄期时的垂直位移最大

值为33 cm,顺河向向下游水平位移最大值为6.98 cm,大主应力的最大值为2.51 MPa,大主应变的最大值为1.25%,此变形条件下满足工程安全要求,复合土工膜在此变形条件下,随大坝的变形而变形。

(1) 复合土工膜垂直与水平位移。图6为中坝条件下复合土工膜的位移等值线图,从图中可以看出,复合土工膜的位移主要分为竖向的垂直位移和顺河向的水平位移。垂直位移的分布沿着复合土工膜顶部向其底部逐渐增大,从两侧向中间逐渐增大,最大值为13.9 cm,发生在复合土工膜中央轴线的中下部;顺河向水平位移分布也是从复合土工膜的顶部向其底部逐渐增大,从两侧向中间逐渐增大,向下游的水平位移最大值为5.49 cm,发生在复合土工膜中央轴线的中下部。



(a) 复合土工膜垂直位移



(b) 复合土工膜顺河向水平位移

图6 复合土工膜位移等值线图(单位:cm)

(2) 复合土工膜应力变形情况。图7为中坝条件下复合土工膜大主应力等值线图,图8为中坝条件下复合土工膜大主应变等值线图,当开始蓄水后复合土工膜的应力主要呈受拉分布,复合土工膜不仅在坝顶锚固区附近应力变形较大,随着坝高和水压力的增大及锚固作用的影响,两岸锚固处复合土工膜的应力应变也随之增大,在两岸坡脚锚固端达到最大,最大值略低于坝顶锚固端处的最大值。复合土工膜以受拉为正,复合土工膜的应力最大值为0.25 MPa,应变最大值为0.24%;复合土工膜的抗拉强度为14 MPa,断裂伸长率为50%~70%,由此

可见,复合土工膜满足工程使用要求。

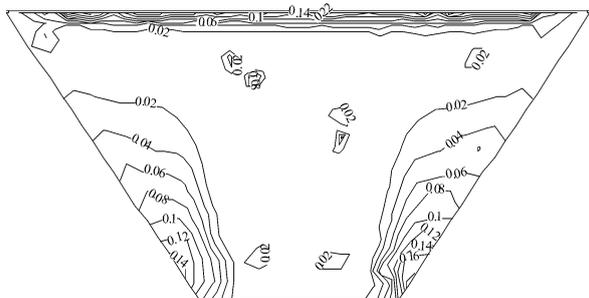


图 7 复合土工膜大主应力等值线图(单位: MPa)

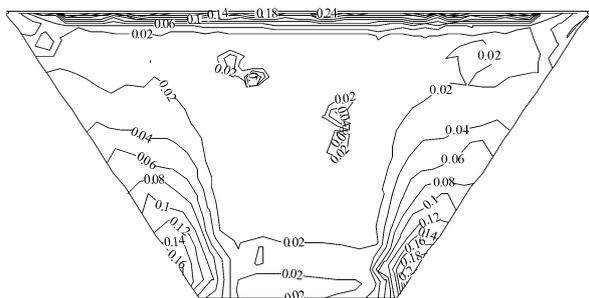


图 8 复合土工膜大主应变等值线图(单位: %)

5 高坝条件下数值计算及成果分析

5.1 高坝有限元计算模型和材料计算参数

高坝复合土工膜防渗结构型式和低坝情况基本一致,坝高增加至 100 m,图 9 为高坝有限元网格计算图,表 3 为高坝材料计算参数表。

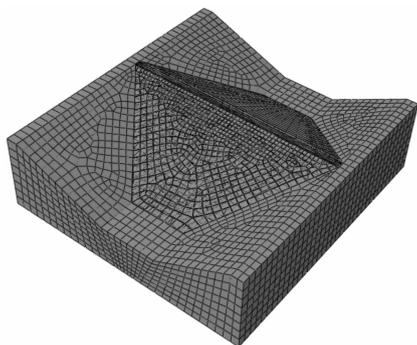


图 9 高坝有限元网格计算图

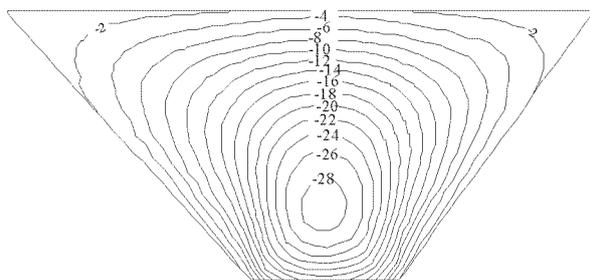
表 3 材料计算参数表 $\text{kg/m}^3, \text{MPa}, (^\circ)$

材料名称	密度	弹性模量	泊松比 ν	摩擦角 φ	粘聚力
坝体	2250	120	0.30	39.5	21.5
坝基	2200	230	0.30	37.5	20.5
垫层	2250	84	0.30	38.0	22.5
山体	2400	2000	0.28	41.0	22.0
复合土工膜	1000	80	0.32		

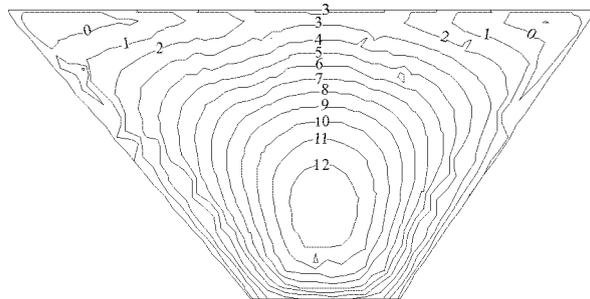
5.2 有限元数值计算结果与分析

通过模拟计算,大坝在满蓄期时的垂直位移最大值为 64.1 cm,顺河向向下游水平位移最大值为 15.1 cm,大主应力的最大值为 4.93 MPa,大主应变的最大值为 1.67%,此变形条件下满足工程安全要求,复合土工膜在此变形条件下,随大坝的变形而变形。

(1) 复合土工膜垂直与水平位移。图 10 为高坝条件下复合土工膜的位移等值线图,从图中可以看出,复合土工膜的位移主要分为竖向的垂直位移和顺河向的水平位移。垂直位移的分布沿着复合土工膜顶部向其底部逐渐增大,从两侧向中间逐渐增大,最大值为 28.8 cm,发生在复合土工膜中央轴线的中下部。顺河向水平位移分布从复合土工膜的顶部向其底部逐渐增大,从两侧向中间逐渐增大,向下游的水平位移最大值为 12.8 cm,发生在复合土工膜中央轴线的中下部。



(a) 复合土工膜垂直位移



(b) 复合土工膜顺河向水平位移

图 10 复合土工膜位移等值线图(单位: cm)

(2) 复合土工膜应力变形情况。图 11 为高坝条件下复合土工膜大主应力等值线图,图 12 为高坝条件下复合土工膜大主应变等值线图,当开始蓄水后复合土工膜的应力主要呈受拉分布,复合土工膜不仅在坝顶锚固区附近应力变形较大,随着坝高和水压力的增大及锚固作用的影响,两岸锚固处复合土工膜的应力应变也随之增大,在两岸坡脚锚固端达到最大,最大值略低于坝顶锚固端处的最大值。复合土工膜以受拉为正,复合土工膜的应力最大值为 0.4 MPa,应变最大值为 0.45%;复合土工膜的抗

拉强度为 14 MPa, 断裂伸长率为 50% ~ 70%, 由此可见, 复合土工膜满足工程使用要求。

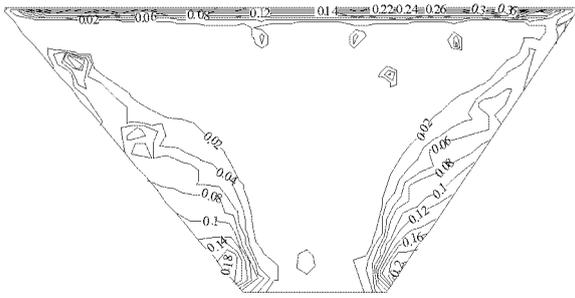


图 11 复合土工膜大主应力等值线图(单位: MPa)

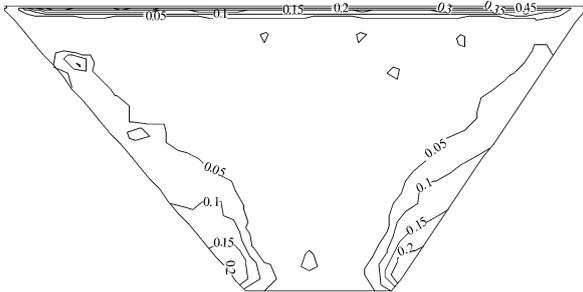


图 12 复合土工膜大主应变等值线图(单位: %)

6 结 语

本文对低坝、50 m 的中坝和 100 m 的高坝分别建立了三维有限元计算模型, 主要讨论了复合土工膜应用在低、中、高坝作为防渗斜墙使用时其应力变形的特点和规律, 结果表明:

(1) 与低土石坝中应用复合土工膜防渗的情况相比, 随着坝高和水压力的增大, 复合土工膜不仅在坝顶锚固区的应力应变较大, 而且两岸锚固处的应力应变也随着坝高和水压力的增大而增大, 在两岸

坡脚锚固端处应力应变值达到最大, 最大值低于坝顶锚固端处的最大值。这些部位均是土石坝防渗的关键部位和薄弱环节, 在设计和施工时尤为重要地要处理好这些部位与其它建筑物的连接。

(2) 在本文所模拟的情况中, 可知复合土工膜不仅在中等坝高的土石坝中可以作为防渗斜墙使用, 而且对于百米级的高坝而言同样也是适用的, 从而也验证了复合土工膜应用于百米级高坝中的可行性。同时, 对今后的设计及使用复合土工膜防渗工程也具有一定的积极意义。

参考文献:

- [1] 顾淦臣. 土工膜用于水库防渗工程的经验[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(6): 34-38+48.
- [2] 顾淦臣, 沈长松, 朱 晟, 等. 塘房庙复合土工膜心墙堆石坝的设计、施工和应力应变有限元分析[J]. 水力发电学报, 2004, 23(1): 21-26.
- [3] 顾淦臣, 沈长松, 吴江斌. 应用复合土工膜加固石砭峪沥青混凝土斜墙坝[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(1): 10-14.
- [4] Sembenelli P. Geosynthetic system for the facing of bovilla dam[C] // Proceedings of the 6th International Conference on Geosynthetic, 1998.
- [5] 顾淦臣. 国内外土工膜防渗土石坝的现状与发展[J]. 东北水利水电, 1994(10): 41-46.
- [6] 华北水利水电学院北京研究生部. 水利水电工程土工合成材料应用技术规范(SL/T225-98)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [7] 尚 层, 李玉建, 徐千军, 等. 复合土工膜不同锚固型式对膜应力变形的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2012(10): 72-75.

(上接第 175 页)

- [3] Ahjeong Son. Microbial reduction of perchlorate with elemental iron[D]. Delaware: University of Delaware, 2006.
- [4] Mary Tiemann. Perchlorate contamination of drinking water: Regulatory issue and legislative actions[M]. Washington, DC: CRS Report for Congress, 2005.
- [5] Chiarle Stto, Ratto M, Movatti M. Mercury removal from water by ion exchange resins adsorption[J]. Water Research, 2000, 34(11): 2971-2978.
- [6] Gulay B, Begum A, Arica M Y. Adsorption kinetics and thermodynamic parameters of cationic dyes from aqueous solutions by using a new strong cation-exchange resin[J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 152(2-3):

339-346.

- [7] 崔 鹏, 唐轩宇, 李双涛. 弱碱性离子交换树脂 D301 分离低浓度甲酸的研究[J]. 离子交换与吸附, 2011, 27(6): 502-510.
- [8] Richardi J, Pileni M P. Towards efficient methods for the study of pattern formation in Ferro fluid films[J]. The European Physical Journal. E: Soft Matter, 2004, 13(1): 99-106.
- [9] Lenhoff A M. Multiscale modeling of protein uptake patterns in chromatographic particles[J]. Langmuir, 2008, 24(12): 5991-5995.