

复合土工膜在新疆严寒地区大坝建设中的应用

魏家安¹ 李立军² 张磊¹ 唐新军¹

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆塔城市水利局, 新疆 塔城 834700)

摘要:介绍了复合土工膜在新疆严寒地区土工膜防渗面板堆石坝和病险水库加固中的应用。在博斯塘水库大坝建设中, 防渗关键是复合土工膜自身质量可靠, 以及其与周边连接可靠。在白土坑水库加固中, 坝坡铺设复合土工膜, 坝基进行垂直铺塑并将两者连为一体。两个应用实例分析表明: 在负温情况下, 应避免土工膜下垫层的沉降变形以及土工膜的扰动, 防止土工膜发生脆断破坏; 复合土工膜在严寒地区完全可以正常使用, 满足其各项物理力学性能的要求。

关键词:复合土工膜; 防渗加固; 新疆严寒地区; 博斯塘水库; 白土坑水库

中图分类号:TV49 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-764X(2006)02-0040-04

Application of composite geomembrane to dam construction in severe cold area of Xinjiang //WEI Jia-an¹, LI Li-jun², ZHANG Lei¹, TANG Xin-jun¹ (1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumuqi 830052, China; 2. Xinjiang Tacheng Water Conservancy Office, Tacheng 834700, China)

Abstract: An introduction was given to the application of composite geomembrane to construction of a concrete faced rockfill dam and to strengthening of a dangerous reservoir in severe cold area of Xinjiang. In construction of Bositang Reservoir, the effect of seepage control is mainly affected by the quality of the geomembrane and its connection with surrounding materials. In strengthening of Baitukeng Reservoir, the dam slope was paved with composite geomembrane, while the dam foundation was paved with plastic film in vertical direction, and the two materials were connected tightly. Practices show that, at the temperature below zero, it is necessary to avoid settlement of underlying surface and disturbances of geomembrane to prevent its brittle failure. Therefore, geomembrane can be used in severe area, and it can meet the requirement for physical-mechanical performances.

Key words: composite geomembrane; seepage control and strengthening; severe cold area of Xinjiang; Bositang Reservoir; Baitukeng Reservoir

复合土工膜是一种新型建筑材料, 由于具有质量轻、施工简便、运输方便、价格低廉、料源丰富等优点, 自问世以来发展非常迅速, 尤其是近二三十年在全世界范围内得到迅速发展和广泛应用, 取得了良好的经济、社会和环境效益。

造成复合土工膜在严寒气候条件下防渗性能降低的主要原因是建筑物冬季施工期膜材被人为扰动及冬季运行期的建筑物自身沉降造成膜材被扰动, 发生脆断, 形成漏水通道。新疆北疆地区最冷月平均气温低于 -10℃, 属于严寒地区, 对复合土工膜有耐低温防脆断要求, 在工程设计及施工中应充分考虑这一特点, 确保建筑物的运行安全。本文介绍了复合土工膜在新疆北疆严寒地区面板堆石坝及病险水库加固中的应用情况, 总结了一些土工合成材料在施工中应注意的问题。

1 复合土工膜在面板堆石坝防渗中的应用

博斯塘水库位于新疆天山北麓木垒县境内, 为山区拦河水库, 小(Ⅰ)型水库。坝型为复合土工膜防渗混凝土面板堆石坝, 坝轴线长 186 m, 最大坝高 37 m, 坝顶宽 5 m, 上游坝坡 1:1.65, 下游坝坡 1:1.45 和 1:1.50 两级。坝址两岸基岩裸露, 岩性为安山岩, 较坚硬, 抗风化能力强。河床砾卵石层厚 12~14 m, 下部为安山岩。溢洪道位于右坝肩山脊垭口处, 为正槽开敞式。筑坝材料大部分采用溢洪道开挖爆破出的安山岩岩渣, 不足部分采用河床砂砾石料, 主要用于填筑下游坝坡浸润线上部的干燥区。坝基防渗采用混凝土防渗墙, 见图 1。

坝体前坝坡铺设的复合土工膜与坝基混凝土防渗墙及两坝肩混凝土趾板锚固在一起, 共同形成坝体的防渗系统。坝体采用透水性很强的爆破料填

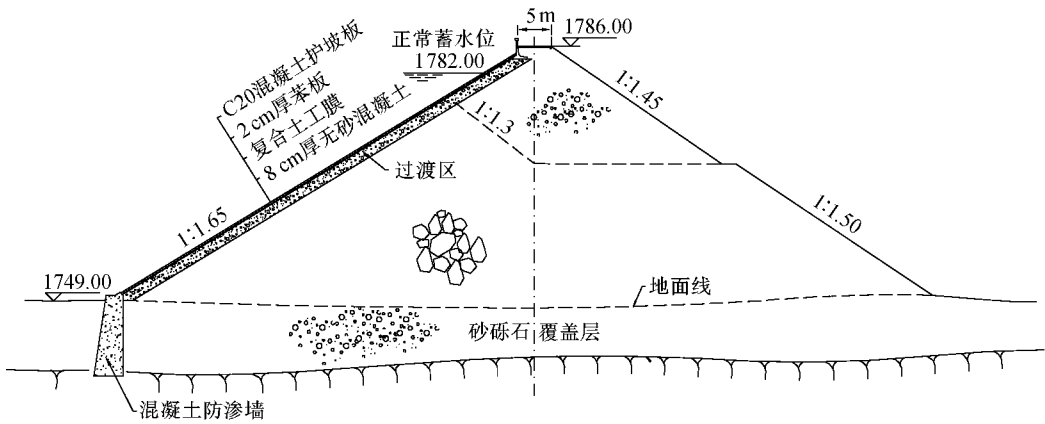


图1 博斯塘水库坝体横断面

筑,可以迅速排除膜后渗水,降低坝体内浸润线,有利于坝体的抗滑稳定安全。

该坝上游坝面的构造特点是上游坝坡自下而上由过渡层、无砂混凝土(下垫层)、复合土工膜、苯板(上垫层)、混凝土护坡板构成(见图1)。下垫层采用透水性较强的无砂混凝土以便于排除膜后渗水,最小厚度8cm;上垫层采用保温性能及平整度较好的高密度苯板,起到保护复合土工膜的作用,厚度2cm,苯板上部为边长0.60m、厚10cm的六边形钢筋混凝土框,框内现浇C20素混凝土,模框之间干靠,有利于坝面排水。

该坝体防渗效果的关键是复合土工膜自身的防渗效果及其与周边连接的可靠性:一是复合土工膜自身质量可靠;二是复合土工膜之间的接缝及与周边混凝土趾板的连接可靠。

土工膜的自身质量主要体现在选择符合要求的膜厚。根据复合土工膜承受的水压力和下垫层,采用薄膜理论公式以选择合适的膜材^[12]。经计算,复合土工膜采用两布一膜(300g/m²/PE0.5/250g/m²),其物理力学指标如下:抗拉强度19kN/m,延伸率53.6%,CBR顶破强度3.41kN,垂直渗透系数 4.76×10^{-13} cm/s,幅宽4.0m。

施工中,复合土工膜需进行拼接或与周边混凝土趾板连接,其质量好坏直接影响土工膜的防渗性能。土工膜铺设前先进行下垫层无砂混凝土的施工,然后将卷成捆的土工膜沿坝坡由下而上纵向铺放,铺设应平顺,松紧适度,预留大约1.5%的余幅,以免受拉破坏^[34]。土工膜展开平整后采用自走式热熔双缝焊机进行拼接,根据膜材种类、厚度和室外气温选择合适的焊接温度及行走速度,先在现场采用小块土工膜进行试拼接,待焊接质量稳定后再进行实际焊接操作。热熔焊法焊缝形式为直缝双道,每道宽度1cm,间隔1cm,焊缝处土工膜搭接宽度约10cm。土工膜焊接完成后进行接缝检测,一般先进

行目测,观察有无漏接,接缝是否有烫损、褶皱,是否拼接均匀等,目测合格后采用真空法或充气法进行最终质量检测及评定。同时,还应进行土工膜的抽样测试,进行拉伸强度试验,要求焊缝强度不低于母材的80%,且试样断裂不得在接缝处,否则认为接缝质量不合格^[5]。对于质量不合格的焊缝可采用塑料焊枪或电烙铁重新补焊。土工膜表面的无纺布采用手提缝纫机缝合,以保护土工膜。复合土工膜与坝基混凝土防渗墙、坝肩混凝土趾板及防浪墙的连接必须可靠。先进行混凝土防渗墙底部及两坝肩趾板与基岩面结合面的接触灌浆,要防止防渗墙底部或趾板与基岩面结合面处渗水,灌浆完毕后,进行压水试验,合格后进行下一道工序。复合土工膜与防渗墙、趾板及防浪墙之间采用扁铁、橡皮垫片和膨胀螺栓连接,为了保证复合土工膜具有一定的伸缩能力,周边均设伸缩节。

低温下土工膜表现为脆性,为了防止由于复合土工膜被扰动、膜材发生脆断,造成漏水,应避免冬季铺设复合土工膜和进行有可能造成膜材扰动、发生脆断的坝面施工。其次,应避免水库冬季运行期由于坝体沉降量较大造成上游坝坡发生垂直沉降位移,膜材被扰动而脆断。因此,应按设计标准进行坝体分层碾压,每层碾压完后应灌水浸泡,确保坝体填筑密实。

该坝体上游坝坡的抗滑稳定安全主要应考虑混凝土板及复合土工膜的抗滑稳定安全性。复合土工膜直接铺设在无砂混凝土板上,两者之间的摩擦系数为0.40~0.42,摩擦角为21.8°~22.78°^[6],前坝坡倾角31.2°,大于摩擦角,因此,两种材料间可能发生层面滑动。为解决这一问题,在无砂混凝土表面每隔2m刷热沥青2道,面积约0.5m²,将复合土工膜黏结在上面,既不妨碍膜后无纺布的透水性又增大了膜的抗滑能力,取得了很好的效果。现浇混凝土板底部为苯板,两者间的黏结力很大,层面间很难剥

离,不会发生层面滑动。

该工程自 1998 年竣工后开始蓄水,经过近 6 年的运行,坝顶最大沉降变形 6 cm,坝后坡脚地面干燥,无渗流溢出,坝后坡测压管内浸润线高度低于河床砂砾石层表面 2 m 左右,达到了预期设计效果,复合土工膜防渗效果明显。

2 复合土工膜在病险水库加固中的应用

白土坑水库位于新疆玛纳斯县境内,属严寒地区,水库为中型平原水库,始建于 1962 年。坝轴线长 7.0 km,老坝体为均质土坝,最大坝高 7 m,上游坝坡 1:2,采用小型混凝土板护坡,下游坝坡 1:1.5~1:2.0 不等,坝顶宽度 2~4 m,坝后无滤水坝脚。坝体填筑质量较差,干密度平均值为 1.43 g/cm^3 ,渗透系数 $6.4\times 10^{-4}\text{ cm/s}$,长期处于软塑状态,坝体内浸润线高,坝体渗水严重,坝后形成大片沼泽湿地,下游坝坡脚有发生管涌或流土的渗透破坏危险,大坝上下游坝坡抗滑稳定计算均不满足规范要求。大坝坝基建坝时未做任何处理,坝基 2~4 m 以上为粉砂与粉土层,渗透系数较大,为 $0.79\times 10^{-4}\text{ cm/s}$,下部岩土结构性较好,渗透系数在 $1.27\times 10^{-5}\sim 6.48\times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 范围内,为较好的隔水层。该水库多年以来一直低水位运行,达不到原设计标准,属病险库,需进行除险加固。

鉴于原坝型为均质土坝,工程为老坝体加固,因此在上游坝坡上铺设复合土工膜进行坝体防渗简单易行、施工速度快,可以有效降低坝体内的浸润线,增大坝体内的干燥区,提高土体内摩擦角,从而提高坝体的抗滑稳定性和减少坝体蓄水后的沉降量。坝基进行垂直铺塑,塑膜与坝面复合土工膜连为整体。下游坝坡按 1:2.25 培厚,新老坝体间设褥垫式坝体内排水体。

复合土工膜采用两布一膜($200\text{ g/m}^2/\text{PE}0.5/200\text{ g/m}^2$),其物理力学指标为:抗拉强度 18 kN/m ,延伸率 56.4%,CBR 顶破强度 2.8 kN,垂直渗透系数 $1.0\times 10^{-12}\text{ cm/s}$,幅宽 6.0 m。先将已损坏或风化的原混凝土护坡板用细石混凝土填补平整,再铺

7.5 cm 厚的细砂垫层,然后铺复合土工膜,膜上铺 75 cm 厚的砂砾石防冻层,再浇筑 20 cm 的混凝土护坡板。复合土工膜下部为细砂垫层,两者之间的摩擦系数为 0.55,摩擦角为 28.8° ^[6,7],上游坝坡倾角 26.56° ,小于摩擦角,两种材料间不会发生层面滑动。复合土工膜上部埋设在坝顶附近,下部与垂直铺塑膜双缝焊接(见图 2)。铺设复合土工膜时,应预留 1.5% 的余幅,并严禁冬季施工,以免土工膜被扰动后发生脆性断裂,降低土工膜的防渗性能。

坝基采用垂直铺塑解决坝基渗漏问题,铺塑塑膜采用 0.3 mm 厚的 PE 膜^[8],设计深度深入到坝基下黏土层内 1.0 m,先用铺塑机将基土破开,槽壁采用泥浆固壁,然后将卷绕在钢管上的塑膜垂直放入槽内,由铺塑机牵引向前移动,铺完塑膜的沟槽采用黏土浆落淤充填。钢管上的塑膜用尽前应预留 1.5 倍的槽深长度,将塑膜拿出沟槽,洗净擦干后用自走式热熔双缝焊机焊接。局部破损的塑膜补漏,采用不溶于水的胶合剂黏结,春秋季固化时间不少于 12 h,要求粘贴牢固、均匀、可靠。塑膜槽口外露段要敷土加以保护,避免阳光直接照射。坝基铺塑塑膜上部要与上游坝坡的防渗复合土工膜焊接,形成完整的防渗体。接头处需折叠填埋,预留一定的伸缩量,防止被拉断^[9,10]。

该水库原下游坝坡未设滤水坝脚,由于下游坝坡需要培厚,且培后的坝坡土体干密度较原坝体高,渗透系数较原坝体小,因此,在新老坝体间设坝体内褥垫式排水体。采用质量轻、铺设方便、造价低的无纺布代替传统反滤料,无纺布上部覆盖天然级配的砂砾石料(含泥量小于 6%)。无纺布的选择对反滤效果有很大影响,按照保土性、透水性、防堵性 3 个原则进行设计选型^[5],采用 400 g/m^2 的短纤针刺无纺布。无纺布的接缝采用搭接形式,搭接宽度不小于 30 cm。

白土坑水库按照“前防后排”的原则进行防渗设计,老坝体虽然干密度较低,但采用复合土工膜防渗后,坝体内基本处于干燥状态,坝体高度不大,水库蓄水后,未发现坝坡和坝顶沉降变形,同时复合土工

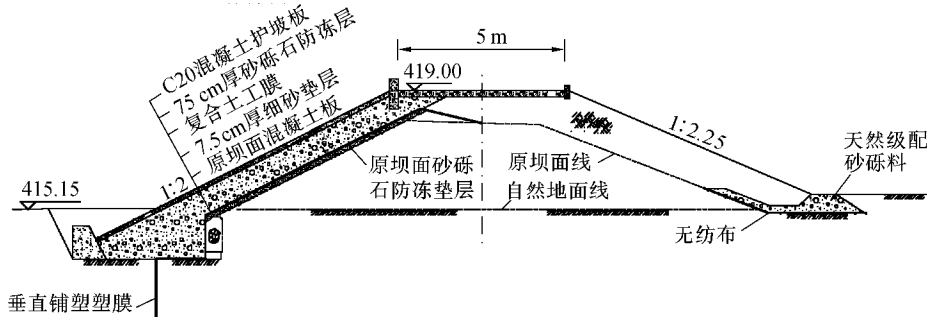


图 2 白土坑水库坝体横断面

膜上部采用砂砾石防冻垫层,冬季复合土工膜温度在零摄氏度以上,仍然具有塑性特征,塑膜不会发生冬季坝体沉降造成的脆断破坏。2001年底除险加固竣工,经过两年的运行观察,防渗效果较明显,坝后积水或沼泽消失,地下水位降低至坝后坡脚地面以下1.5m,水库达到了设计要求。

3 复合土工膜在施工中应注意的问题

a. 运输、储存中不得沾污、雨淋、破损,应远离火源,周围不得有酸、碱等腐蚀性介质,不得长期曝晒和直立。

b. 材料进场时应进行抽检。施工时应有专人随时检查清基、材料铺放方向、材料的接缝或搭接、材料与结构物的连接,每完成一道工序应按设计要求及时验收,合格后方可进行下一道工序。

c. 施工场地应平整干净,防止土工膜受损,铺设应平顺,松紧适度。不平地、软土和水下铺设土工膜搭接宽度应适当增大。

d. 铺设人员不得穿硬底鞋操作。

e. 尽量采用宽幅(幅宽大于4.5m的膜材),使得接缝最少;每卷材料的质量不宜超过1t;采用同种规格土工膜,便于膜材连接。高坝应垂直于坝轴线铺膜,低坝应平行于坝轴线铺膜,以减少拼接量,接缝应尽量与最大拉力方向平行。

f. 土工膜应用在严寒地区时,应注意避免土工膜冬季发生扰动脆断破坏。筑坝材料应采用沉降量小的堆石料,避免冬季施工。

4 结 语

在严寒地区,工程中使用复合土工膜应充分考虑其低温下易脆断的特点,确保建筑物安全运行。一般土工合成材料耐低温可达 $(-45 \pm 2)^\circ\text{C}$,新疆北疆地区最冷气温一般在 -32°C 左右,土工膜在不受扰动的情况下可以满足耐低温及防脆断要求。据实验室测定,土工膜在 -5°C 以下塑性消失,脆性增加,材料表现出被扰动后易断裂的特性^{[1][2]}。从工程应用上分析,为了避免冬季土工膜断裂,或者保证土工膜基础不发生沉降,土工膜不受扰动,或者保证土工膜材料温度不低于 -5°C ,使材料处于塑性状态,允许变形移位。博斯塘水库大坝坝体材料为堆石料,坝体沉降变形较小,坝面土工膜温度虽然低于 -5°C ,材料呈现脆性,但土工膜低温下未扰动,因此,防渗性能仍然较好。白土坑水库大坝为均质土坝,沉降变形的可能性较大,设计中在膜前设防冻垫层,保证塑膜处于正温,材料呈现塑性,可以很好地适应变形,保证塑膜的完整性。其次,应避免可能造成土工膜扰动破坏的冬季

施工,如上游坝面坝坡碾压等。无纺布属于化学纤维状编织物,纤维较细,本身为透水性材料,其抗低温性能较土工膜优,低温扰动可能造成少量纤维断裂,但对材料的使用性能没有很大危害。

复合土工膜防渗堆石坝在新疆北疆严寒地区尚属首例,它的成功应用,为堆石坝防渗设计提供了新思路。其次,复合土工膜及无纺布在严寒地区病险库加固中所取得的应用研究成果,也为今后病险库加固设计积累了丰富的经验。但关于土工合成材料在严寒地区的应用,目前理论研究甚少,还有许多问题值得进一步研究,如土工合成材料的抗冻性、在低温情况下所允许的扰动量以及在严寒地区的使用寿命等等,都有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 包承纲,王正宏.堤防工程土工合成材料应用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [2] 董哲仁.堤防除险加固实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [3] 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会.土工合成材料应用手册[M].北京:中国标准出版社,1998.
- [4] 刘宗耀.土工合成材料工程应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [5] SL/T225—98,水利水电工程土工合成材料应用技术规范.
- [6] GB50290—98,土工合成材料应用技术规范.
- [7] GB/T17635.1—1998,土工布及其相关产品摩擦特性的测定.
- [8] SL/T231—98,聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范.
- [9] 牛运光.土坝安全与加固[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [10] 林昭.碾压土石坝设计[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [11] 朱亚英,李艳华,陆士强.土工膜防渗性能试验研究[C]/中国土工合成材料工程协会.全国第四届土工合成材料学术会议论文集.天津:天津市出版管理局,1996.
- [12] 毛佑仪.土工合成材料在土石坝防渗工程中应用技术的调查研究[C]/中国土工合成材料工程协会.全国第五届土工合成材料学术会议论文集.香港:现代知识出版社,2000.

(收稿日期:2005-12-18 编辑:骆超)

