

切吉水库大坝土工膜防渗除险加固设计与施工

王 丰 张原川 常 宁 陈发义

(青海省水利水电科学研究所 西宁 810001)

— 1688.43

摘要 通过在高寒地震多发区应用土工膜对病险水库进行防渗处理的研究,提出了该地区应用土工膜的选型、铺设、周边锚固方法和搭接工艺,并对应用松弛峰技术解决抗滑稳定问题进行了研究。工程实践表明,该研究成果为我国北方寒冷地震多发区库、渠应用土工膜防渗提供了可靠的依据。

关键词 病险水库 坝 土工膜 防渗 除险 加固

1 概 况

切吉水库位于青海省海南州共和县的切吉河上,是50年代末修建的工程。大坝由主坝和副坝组成,为折线形壤土斜墙坝。大坝高20.5 m,坝顶高程3290.5 m,主坝长138 m,顶宽5 m,副坝长142 m,上游坡比1:3,下游坡比1:2。水库设计水位3288.0 m,库容410万 m^3 ,可扩灌农田2933.04 hm^2 ,改善灌溉面积666.6 hm^2 。水库放水洞在主坝0+128断面处,左坝肩设侧堰式溢洪道。

切吉水库是在勘测资料不足的情况下进行设计施工的。1959年建成后一直带病运行,曾多次出现险情,危及大坝和下游农田的安全。经查原水库大坝存在下列主要问题。

a. 主、副坝断面设计不合理,坝体分区不明,填筑质量差,前后坝坡仅1:1.7~1:1.8,不能满足抗滑稳定要求;斜墙土料不符合要求,厚度不均;反滤层质量差,不能满足层间关系要求。

b. 坝基基岩面清理不彻底,截水墙底部形成明显漏水通道,致使坝基渗漏严重。

c. 坝岸坡强风化岩层未按设计清理,斜墙厚度与岸坡接合部位减薄,形成漏水通道。

d. 下游坝脚排水棱体未按设计施工,致使渗漏水从坝坡溢出。

此外,放水洞与斜墙结合面的处理和溢洪道的施工也存在一些问题。鉴于以上情况,切吉水库被列入青海省重点维修计划进行加固处理,以保证水库的安全运行,发挥设计效益。

2 设 计

2.1 基本资料

a. 切吉河属共和盆地的大连海水系,年平均流量0.88 m^3/s ,年径流总量2775万 m^3 ,最大洪峰流量34.8 m^3/s 。该区每年平均气温1.0 $^{\circ}\text{C}$,最低气温低于-22 $^{\circ}\text{C}$,最大冻土深1.35 m,最大风速达22 m/s ,具有高原干旱寒冷气候特征。

b. 切吉水库坝基为三迭系片板岩,主坝右坝肩基岩裸露,裂隙发育。右坝肩位于小孤山北侧,基岩构造裂隙发育,岩体破碎,压水试验岩体单位吸水率可达11、12 $\text{L}/\text{min}\cdot\text{mm}$,透水性极强。主坝基岩顶部有4 m厚砾石层,渗透系数248.7 m/d ,渗漏量1035 m^3/d 。副坝座落于小孤山南侧古河道,冲洪积砂砾石厚26 m,结构比较紧密,砂砾石层下为透水性不强的片板岩。

c. 原坝体壤土斜墙平均干密度 $\gamma_d = 1.40 \text{ g}/\text{cm}^3$,主副坝砂砾石堆体平均干密度 $\gamma_d = 1.82 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。这表明切吉水库大坝壤

土斜墙和砂砾石坝体填筑质量较差。

2.2 大坝加固设计

a. 切吉水库为小(一)型四等工程,其设计标准按水利水电工程等级划分及设计标准的有关规定执行。根据切吉大坝存在的主要问题,此次整修的基本原则是维持原大坝不变,重点加固上游坝坡,重新整修防渗体以达到减少渗漏,保证设计效益。

根据切吉水库实际情况,对坝体采用壤土斜墙和土工膜作为防渗体分别从技术可靠性、工程量、工期进行方案对比,在做好坝基防渗处理,加固放水管的条件下,选定了坝体采用土工膜防渗的方案。

b. 坝体标准断面的设计,大坝轴线维持原设计,坝顶设计高程 3 291.0 m,宽 5.0 m。上游坝坡 1:2.5,下游坝坡 1:2.0,上游坡土工膜与过渡层土界面抗滑稳定安全系数按下式计算

$$K = \frac{\gamma_w A \cos \alpha \cdot f}{\gamma_m A \sin \alpha} = \frac{\gamma_w}{\gamma_m} \cdot \frac{f}{\tan \alpha} \quad (1)$$

式中 K 为安全系数; A 为护坡和过渡层面积, m^2 ; γ_w 为湿容重, t/m^3 ; γ_m 为饱和容重, t/m^3 ; α 为上游坡脚(度); f 为土与土工膜界面摩擦系数。

取 $\gamma_w = 2.0 \text{ t}/\text{m}^3$, $\gamma_m = 2.2 \text{ t}/\text{m}^3$, $\alpha = 21.8^\circ$, $\sin \alpha = 0.37$,土与土工膜界面摩擦特性试验(包括土与土工膜松弛峰试验)采用大型直剪仪进行,剪切盒面积 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$,试验成果见图 1。根据计算,安全系数 $K > 1.20$,是安全的。考虑渗透水压力,其抗滑稳定安全系数亦大于 1.15。

2.3 副坝铺盖设计

为减小副坝基古河床渗漏,按经验取地基允许水利坡降为 0.1,于副坝前设土工膜

铺盖。经计算铺盖最长处 90 m,最短处 50 m。铺盖缓坡段为砂砾石护坡,3 286.0 m 高程以上陡坡区在土护坡上增设干砌石。

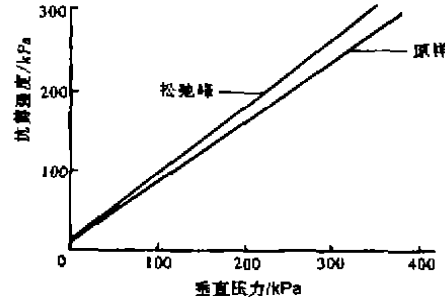


图 1 HDPE 土工膜与土界面抗剪强度
试验处理为:①松弛峰:上盒饱和,下盒非饱和,上盒干密度 $2.0 \text{ g}/\text{cm}^3$, $C = 14 \text{ kPa}$, $\varphi = 40^\circ$;②原样:上盒饱和,下盒非饱和,下盒干密度为 $2.1 \text{ g}/\text{cm}^3$, $C = 10 \text{ kPa}$, $\varphi = 37.25^\circ$

2.4 土工膜选择

切吉水库地处高寒地震多发区,地震烈度 8 度,所选防渗土工膜材料必须适应抗震和耐高寒的特殊要求。为此,我们选择了济南塑料三厂复合土工膜,无锡县橡塑厂二布一膜土工膜和北京塑料十四厂的高密度聚乙烯防渗片材(HDPE)进行对比试验,根据试验分析知,HDPE 防渗片材延伸率达 250% ~ 800%,且 -70°C 时材料力学性能不发生变化,在室内进行浸水、浸酸、浸碱试验 770 天后,材料的性能均未发生变化。故切吉水库选用 1 mm 厚的 HDPE 防渗片材作为主、副坝和铺盖的防渗材料,其性能试验结果见附表。

2.5 坝体防渗细部结构

主、副坝坝体土工膜防渗系统为土工膜防渗层—砂—砾石过渡层—混凝土板保护层,其细部结构见图 2。

为给防渗层创造良好的基础面,砂砾石坝面采用斜坡振动碾碾压,压实标准按相对

附表 HDPE 片材浸水、浸酸、浸碱试验成果表

试验项目	原样	浸水时间/d			浸酸时间/d			浸碱时间/d		
		10	160	770	10	160	770	10	160	770
纵向拉伸强度/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	33.2	25.56	27.1	23.62	30.80	27.80	25.8	28.3	25.55	23.67
横向拉伸强度/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$	22.4	17.2	22.6	23.0	18.80	18.60	> 250	20.2	20.5	19.4
纵向延伸率(%)	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250
横向延伸率(%)	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250
平接强度/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$		15.29	20.15	25.2	15.16	20.15		18.29	19.64	24.9
松弛峰强度/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$		13.33	18.54	23.0	12.27	18.54		13.84	17.68	16.48

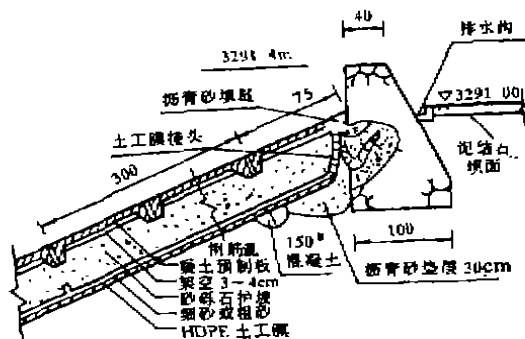


图2 坝顶土工膜埋设示意图

密度 $D_s = 0.85$, 干容重 $\gamma_d = 2.11 \text{ t/m}^3$ 控制。由于高密度聚乙烯片材表面比较光滑, 为改善与坝体和过渡层界面的接合性能, 提高抗滑能力, 土工膜铺设沿坝面每 3 m 设一松弛峰, 向下埋入砂砾石坝体, 用砂浆固定, 向上插入过渡层内, 松弛峰试验结果见图 1, 其构造见图 3。

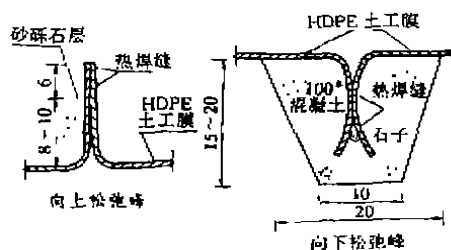


图3 土工膜与齿墙连接示意图

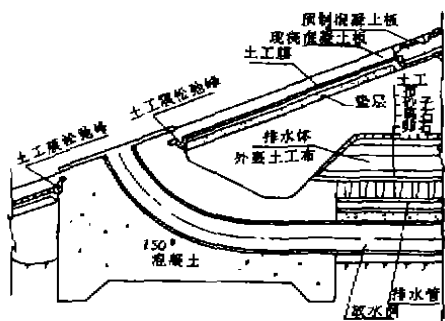


图4 放水管进口与土工膜交叉结构图

坝顶埋设土工膜、放水管进口与土工膜交叉结构, 见图 2 和图 4。考虑到当库水位骤降时, 土工膜后可能产生一定的反向渗透压力, 为此, 在土工膜后 3273.6 m 高程铺设一层用土工织物包裹的砂石纵向排水体, 用以保证渗透水汇集于排水层, 通过放水管顶

的专用排水管排向下游。

3 施工

3.1 基础处理及趾板施工

坝基渗漏是切吉水库渗漏主要通道之一, 也是此次整修的重点。按设计清除上游坝脚复盖至新鲜基岩, 浇筑混凝土齿墙, 将土工膜埋设在齿墙内, 以备与坝体防渗土工膜连接。齿墙结构及土工膜埋设见图 5。坝肩和铺盖周边均用混凝土齿板。坝坡整修填筑符合要求后铺设土工膜。

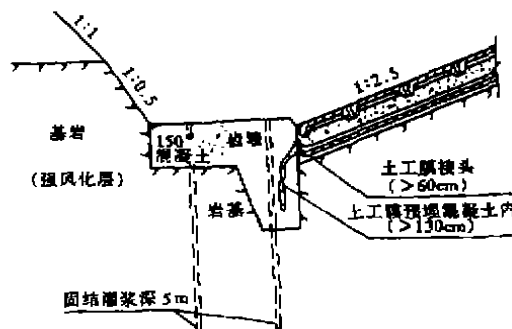


图5 土工膜与齿墙连接示意图

3.2 土工膜的铺设

上游坝坡加固按设计要求填筑碾压, 主坝从 3280.0 m 高程开始至坝顶, 副坝从 3287.0 m 高程开始至坝顶。填筑干密度达 2.1 g/cm^3 以上, 其填筑方量 1.4 万 m^3 , 整修填筑符合要求后, 铺设土工膜。因投资原因, 经批准后坝坡未能全部按设计进行削坡整修, 前坝坡仍按设计的断面完成了施工。

切吉水库防渗用高密度聚乙烯土工膜幅宽 1.1 m, 每卷长 30 ~ 35 m, 共用 910 卷。选用北京市水科所研制的热契自动爬行式焊机焊接, 缝宽 6 cm。因铺设面积大, 工期紧迫, 为保证接缝质量和施工进度, 先在平地将 3 ~ 4 幅土工膜拼焊, 漏焊或破损处用热吹风及压滚加压补后备用。

整修工程从 1991 年 6 月开始, 1992 年 10 月竣工, 共铺设高密度聚乙烯土工膜 35 000 m^2 。其中库区铺盖 14 360 m^2 , 主坝面 16 030 m^2 , 副坝 4 610 m^2 。坝面铺设采用纵向平行坝轴线铺设。为解决抗滑稳定, 在主副坝面每

铺设 3.0 m 做一条松弛峰,向下埋入坝坡砂浆防滑槽中;向上插入砂砾石过渡层中,周边及坝顶分别将土工膜插入混凝土齿墙和防浪墙中。

在土工膜铺设中,设计和施工单位分别对铺膜进行了检查、检测。铺设中注意坝面整平,避免刺破土工膜,对不合格的焊缝和刺破点及时进行了补焊,铺设质量符合设计要求,施工质量优良。

4 观测试验

4.1 坝体观测设备埋设

4.1.1 渗压计埋设

为观测土工膜的防渗效果,沿最大水深的主、副坝脚 3268.0~3285.0 m 高程的土工膜后埋设 BSY 电感调频式孔隙水压力传感器 13 台,其中副坝埋设 6 台,主副坝交线处埋设 2 台主坝埋设 5 台,用 RVP 型三芯话筒屏闭线引入坝顶观测房,用频率计进行观测并换算为孔压值,其计算公式为

$$P = k(f_{\text{初}} - f_{\text{观}})$$

式中 P 为孔隙水压值,MPa; $f_{\text{初}}$ 为频率计初始观测值,Hz; $f_{\text{观}}$ 为频率计观测值,Hz; k 为参变量,MPa/Hz)。

4.1.2 温度观测

为观测土工膜温度场的变化,在 0+080

断面的上游坝坡埋设 3 组 BWT 型温度计,其高程为 3275.0 m(1,2,3 号),3280.0 m(4,5,6 号)3288.0 m((7,8,9 号),各组三只温度计分别埋于土工膜上、下和坝体 1.0 m 处。BWT 型调频温度传感器精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,测温范围 30~50 $^\circ\text{C}$,计算公式为

$$T_1 = [A_2(F_0 - F) + A_3 F_0(1 - F_0/F)] + A_1 \quad (3)$$

式中 T_1 为观测所得温度, $^\circ\text{C}$; F_0 为温度传感器初始值,Hz; A_1, A_2, A_3 分别为标定参数; F 为温度传感器观测值,Hz。

4.1.3 位移沉降桩的埋设

为观测坝面土工膜的抗滑稳定及坝体位移沉降,在上游坝坡 3280.0 m 和 3288.0 m 高程埋设两排位移沉降桩(桩号 $W_{11} \sim W_{21}$),在坝顶埋设了一排位移沉降桩(桩号 $W_1 \sim W_{10}$)。

4.1.4 观测井的布设

为了解主、副坝铺膜后渗漏,在下游坝脚布设了两口观测井,井底高程 3267.0 m,渗流量用三角形堰量测。上述观测仪器的布设见图 6。

4.2 观测成果及分析

从渗压计观测数据分析,当水库水位升降时,主、副坝孔压值无明显变化,表明主、副坝土工膜防渗效果是好的。1981~1994 年坝体整修前后的下游观测井水位变化绘于图



图 6 观测仪器埋设位置示意图

7,从图中可看出,铺设土工膜前井水位明显高于铺设后,表明整体渗漏量减小。由放水洞顶设置的排渗管观测,未发现有渗漏水流,表明坝体防渗效果良好。另外,通过三角量水堰对水库整修前后进行了多年观测,取得了大量的实测资料,经整理绘于图8。从图8中可看出坝体整修后渗漏甚微。经对坝顶埋设的10个位移沉陷桩观测,均无明显变化。经坝坡的两排位移桩观测,因护坡预制板施工质量好,与坝角混凝土趾板整体连接,表面光滑,且松弛峰与砂砾料过渡层摩擦系数大,对过渡层的稳定亦起到好的效果,观测结果无明显变化。

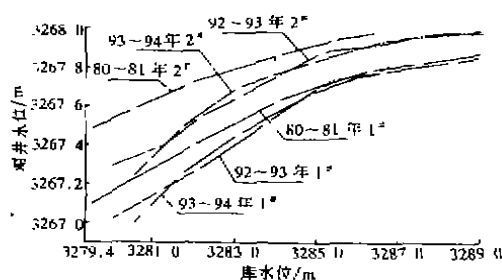


图7 切吉水库水位与观测井水位关系曲线

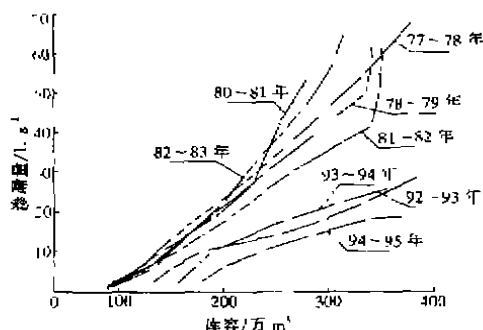


图8 切吉水库库容与渗漏量关系曲线

温度计观测资料显示,膜上极端负温为 -3°C ,膜下为 1.8°C 。由此可见,地处高寒地震多发区的切吉水库采用HDPE防渗片材作为防渗材料是合理的,技术上是可靠的。

5 防渗效果和结论

切吉水库自1959年竣工以来,因渗漏严重,未能发挥设计效益,虽几经处理,先后用过红粘土、塑料薄膜、玻璃丝油毡,均未达到

目的。此次对坝基进行了处理,采用防渗性能好的高密度聚乙烯土工膜片材,对主、副坝进行防渗,增设副坝前土工膜铺盖,经几年的研究和水库的实际运行,防渗效果显著,达到了防渗整修的目的,主要表现在:

a. 切吉水库地处青海塘河地震多发区,1994年初又经两次6级地震考验,水库大坝安然无恙,防渗设施无异常现象,选材和防渗设计合理,工程质量优良。

b. 1992年竣工后,水库蓄水位均达3289m,为历年来最高蓄水位,原设计灌溉面积 3600hm^2 ,采用土工膜防渗后,由于水源有保证,灌区扩大灌溉面积 667hm^2 ,年增产粮食3375t,油料375t经济效益显著。

c. 切吉水库采用土工膜面板防渗与传统粘土斜墙方案相比要省工、省时,且铺设施工方便节约投资近100万元。

参考文献

- 1 土工合成材料应用手册编委会.土工合成材料应用手册.北京:中国建筑工业出版社,1994

(收稿日期:1995-12-28)

新书介绍

《Proceedings of the XXVth Congress of the International Association for Hydraulic Research》——Proceedings of the XXVth Congress of the International Association for Hydraulic Research = 国际水力研究协会第26届大会论文集/P. Ackers 主编.——英国:Thomas Telford,1995

本书是国际水力研究协会(IAHR)与土木工程师协会于1995年9月11~15日在伦敦召开的国际水力研究协会第26届大会的论文集。会议的主题是下世纪水力学研究及其应用——HYDRA2000。与会代表就共同关心的四个课题进行了学术性讨论,并就各课题分别编成一套四卷(附加交流论文;学生竞赛第五卷)论文集。前四卷的主题是:①综合研究方法与应用;②工业水力学与多相流;③海洋水力学未来之路;④水资源水力学及其发展。全书共收录论文350篇。

(元国江 洪稿)