

复合土工膜在西藏水库除险加固中的应用

米玛次仁

(拉萨市水利局, 西藏 拉萨 850000)

摘要 简述复合土工膜的特点及其在高寒地区使用过程中的作用, 介绍复合土工膜防渗结构的设计, 给出复合土工膜抗滑稳定验算的公式, 并提出复合土工膜在西藏高寒地区水库除险加固工程应用过程中应注意土工膜的特性、选型、铺设、周边锚固方法、搭接工艺、施工组织等问题。

关键词 复合土工膜; 高寒地区; 水库防渗; 大坝; 西藏自治区

中图分类号 :TV44

文献标识码 :B

文章编号 :1006-7647(2011)S1-0059-04

西藏地处青藏高原高海拔寒冷地带, 夏季紫外线照射强、空气稀薄, 冬季酷寒, 昼夜温差很大, 极端气候对水利工程施工、水工建材及施工机械设备威胁严重。复合土工膜作为一种新型结构的防渗型土工合成材料, 在渠道防渗、病险水库防渗加固、库盘防渗、施工围堰、堤围等工程及抗洪抢险中获得广泛应用。在西藏由于其特殊的地理位置、气候、交通、经济、科技等各方面因素的制约, 土工膜在大坝除险加固防渗中的应用还处于起步阶段, 复合土工膜的卓越性能在实践中发挥了重要作用。西藏自治区各类水库、塘坝总库容达 17.23 亿 m^3 。其中水库 50 座 (大型水库 3 座、中型水库 4 座、小(Ⅰ)型水库 9 座、小(Ⅱ)型 34 座), 总库容为 11.75 亿 m^3 , 塘坝 5362 座, 总库容为 5.48 亿 m^3 。限于当时投资环境等因素的制约, 许多水库存在防洪标准偏低、达不到有关规范要求以及工程本身质量差、工程老化失修等问题, 形成了大量的病险水库, 水库不能正常运行。土工膜防渗新技术在西藏 32 座病险水库中得到了广泛应用, 并在技术上不断总结和提高。“十一五”期间由国家投资完成了 32 座病险水库的除险加固工程, 其中应用土工膜技术防渗的有 20 座。在此仅就拉萨市几座病险水库除险加固中土工膜技术的应用的情况做一分析。

通过普查发现拉萨市病险水库 11 座, 海拔均在 3000 m 以上, 这些水库大多建于 20 世纪 60—80 年代, 由于当时技术、经济落后以及重视程度不够, 运行至今, 存在坝体单薄、放水设施简单老化、坝体坝基渗漏水、防洪标准低、启闭设备陈旧老化、库内淤

积严重等问题, 水库存在安全隐患, 导致水库库容量减少, 水库存储能力和水资源的利用率降低, 不仅影响了农业灌溉、生活饮用水及工业的生产用水, 而且影响到人民生命财产安全, 所以需要及早除险加固, 解除安全隐患。这些水库中应用土工膜防渗加固技术的水库包括: 林周县龙泉水库 (采用筑混凝土防渗墙和在大坝上游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 2 种设计方案)、尼木县根培水库、达孜县桑竹林水库、曲水县南木水库、城关区洛普水库、曲水县查巴拉水库等。水库大坝是原砂卵石回填均质坝, 渗透系数大, 当地没有黏土制作心墙, 坝体渗漏严重。在缺乏原设计资料的情况下, 经实地勘察对坝体、坝基进行了打孔钻探, 根据坝址的水文地质条件、河床覆盖层情况, 有无相对的不透水层、厚度及其连续性, 砂砾石层平面与空间的分布、级配、渗透系数等等情况, 利用上堵下排的原则决定采用坝面铺设土工膜防渗, 坝后采用棱体排水方案。经过 2 年多的运行观测, 坝后坡脚地面干燥, 无渗流溢出, 坝后坡测压管内浸润线低于河床砂砾石层表面 1 m 左右, 达到了设计预期效果, 复合土工膜防渗效果明显。土工膜防渗技术在西藏高寒地区可以正常使用。

1 复合土工膜主要特点

复合土工膜防渗具有工期短、用工少、施工技术简易、造价低等优点。适用于能放空水库的坝体加固防渗处理, 特别是适用于不宜采用灌浆处理的黏土斜墙堆石坝。复合土工膜防渗加固是坝体防渗较

好的措施之一,具有设备简单、操作方便、处理彻底,便于检查等特点。①复合土工膜用土工织物代替颗粒材料作为土工膜保护层,以保护土工膜防渗层不受损坏,降低垫层粒径的级配要求,并能起到排水等作用。比较以往反滤层使用三级配碎石颗粒返滤,土工膜在使用过程中降低了颗粒级配要求,减少了施工用料、缩短了施工期、降低了费用。②复合土工膜摩擦系数大,能防止保护层的滑移,稳定、限制长时间使用过程中发生位移,并能使作用在土壤的局部应力传递或分配到更大的面积上,增加土体和土工布之间的摩擦阻力。③复合土工膜中的无纺布有较大的摩擦系数,可使大坝坡比减少,减少工程量,少占土地面积。④复合土工膜的抗拉、撕裂、顶破、穿刺等力学强度较高。但在水头较大时,常被膜下尖砾、树根顶破。大坝在防渗施工中,开挖清除原坝表层干砌石及砾石垫层至黏土层,并按设计尺寸削坡挖平和陡坡回填夯实,找平并洒水夯实,使夯填土干密度大于或等于 1.65 t/m^3 。人工开挖防滑槽,剔除其表面的石子、树根等坚硬尖状物,并喷洒除草剂等药水,整理后的坡面应平整、密实,以防复合土工膜被刺破。⑤复合土工膜有一定的变形量,对底垫层的凹凸缺陷产生的应力传递分散较快,应变能力较强。⑥复合土工膜与土体接触面上的孔隙压力及浮托力易于消散。⑦复合土工膜有一定的保温作用,减少了土体冻胀对土工膜的破坏,从而减少土体变形。复合土工膜采用埋入式铺设,有优异的抗老化性能,减少了工程的维护、保养。西藏大多数地区最冷月平均气温小于 -10°C ,属于严寒地区,对复合土工膜具有耐低温要求及防脆断要求,在工程设计及施工中应充分考虑这一特点,确保建筑物安全运行。造成复合土工膜在严寒气候下发生脆断破坏、防渗性能降低的主要原因是冬季施工期及建筑物运行期的自身沉降造成膜材被扰动,膜材发生脆断,形成漏水通道。高寒地区的冻土期较长,在施工过程中应该采用深埋式施工,铺盖层应考虑根据冻土层的厚度确定,土工膜应该埋入冻土层以下 30 cm 左右。⑧复合土工膜铺设施工简便,减少运输量,降低工程造价,缩短了工期。西藏由于交通、经济不发达以及地理条件的限制,水库施工过程中都存在施工设备运送困难的问题,造成工程不能按时完工。复合土工膜重量轻,便于运输,缩短了施工期。⑨土工合成材料可将不同的土质结构进行分离,形成稳定的分界面,使各层结构分离,按照要求发挥各自的特性和整体作用,主要用于铁路道碴与路基之间的隔离、路基与软弱地基之间的隔离以及公路、铁路、机场、停车场等面基和地基之间的隔离层。在土石混

合坝中,可作为隔离不同的筑坝材料。在裂隙发育的岩基或卵石地基修筑土石坝,可用作坝体与地基之间的隔离。⑩土工合成材料可以在土体中形成排水通道,把土中水分汇集起来,沿着材料的平面排出体外。主要用于土坝内部垂直或水平排水,土坝或土堤中的防渗土工膜后面或混凝土护面下部的排水,挡土墙后面的排水,各建筑物周围的排水。也可用来排除隧洞周边渗水,减轻衬砌所承受的外水压力。

2 复合土工膜防渗体结构设计

复合土工膜规格的选择与下垫层平整度、材料允许拉应力、材料弹性模量、铺设范围内的最大水头及覆盖层最大粒径等有关,土工膜厚度设计除应考虑主要由水压力要求的强度外,还应考虑暴露、埋压、气候、使用寿命等应用条件,并按国家现行有关标准的规定确定设计厚度及实际厚度。复合土工膜防渗结构自上而下依次为防护层、上垫层、防渗层、下垫层、支持层,下垫层的铺设应该根据库底及坝体材料确定,拉萨地区坝体和库底土层多为砂卵石,需整平夯实后设下垫层。库底复合土工膜上覆盖层的厚度根据试实践经验,高原冻土地区的铺盖层应大于当地最大冻土层厚度(80 cm 以上),也可以通过防冻措施降低覆盖层厚度,垫层采用 30 cm 中细砂垫层,粒径为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$,上设 15 cm 厚的砂砾石垫层,粒径为 $4 \sim 10 \text{ cm}$,碎石垫层厚 15 cm ,粒径为 $1.3 \sim 4.0 \text{ cm}$ 。坝面采用复合土工膜斜墙,上垫层采用平均厚度为 20 cm 的砂砾石,满足反滤要求,防护层采用干砌石护面或混凝土预制板,防护层的厚度根据规范计算确定。在计算中应考虑冰推力的影响因子。

3 复合土工膜的稳定复核

由于复合土工膜的摩擦系数与土质间的摩擦系数影响防渗体的稳定,在设计过程中必须对复合土工膜与坝坡、复合土工膜与保护层的抗滑稳定性进行复核。

复合土工膜的抗滑稳定验算可根据式(1)计算:

$$F_s = \frac{\tan \delta}{\tan \alpha} \quad (1)$$

式中: F_s 为安全系数; δ 为上层土料与土工膜之间的摩擦系数; α 为土工膜铺设角度。

根据计算值确定土工膜的抗滑稳定性是否满足规范要求。

4 复合土工膜的施工技术

4.1 复合土工膜主要指标及选型

a. 主要指标。防渗的关键在于复合土工膜的

质量及其性能,复合土工膜是用聚乙烯或聚氯乙烯的增强改性压延成膜与涤纶针刺土工布热合而成,具有抗拉、抗顶破、抗撕强度高、延伸性能好、变形模量大、耐老化、防渗性能好、使用寿命长(地下可达30年以上)等特点。经计算采用200 g/0.50 mm/200 g规格的土工膜,其性能指标如下:极限抗拉强度大于或等于18 kN/m,极限延伸率大于或等于60%,撕裂强度大于或等于0.62 kN/m, CBR顶破大于或等于3 kN,渗透系数小于或等于 $1 \times 10^{10} - 1 \times 10^{-11}$ cm/s。

b. 材料的选型。土工膜在提货前,一定要进行抽样检查,对照出厂标准和试验要求指标,保证工程质量。应根据工程地质情况、建筑结构、运行水头压力、施工条件等综合情况,并按照国家现行有关标准的规定设计厚度,确定复合土工膜的型号、膜厚和无纺织的厚度。对于坝体防渗等防渗要求较高的工程,膜厚度最好在0.5 mm以上。就一般的防渗工程选择PE膜最好也要厚些,一方面厚膜具有承受更高的水头压力,另一方面复合土工膜强度高,可以避免其上保护层施工中机械、人等各种施工因素对材料的破坏。施工前土工膜应该防止长时间在室外暴晒,施工后土工膜埋深1 m左右不受西藏强烈的紫外线影响。西藏绝大部分地区最冷月平均气温低于-10℃,对复合土工膜有耐低温要求及防脆断要求,在工程设计及施工中应充分考虑这一特点,确保建筑物安全运行。造成复合土工膜在严寒气候下发生脆断破坏、防渗性能降低的主要原因是冬季施工期及建筑物运行期的自身沉降造成膜材被扰动,膜材发生脆断,形成漏水通道。进场的复合土工膜原材料必须有厂家提供的合格证书。保证原材料无折痕、破洞、麻点、孔眼等,施工过程中若发现土工膜有孔眼等缺陷或损伤,一定要及时用3倍于破损面积的新鲜土工膜胶粘贴补好。

4.2 施工工序

西藏的冬季较为漫长,昼夜温差大,复合土工膜适应坝体变形的能力在各种防渗材料中是最强的,但是土工膜在-5℃以下,塑性消失,脆性增加,材料性质表现出被扰动后易断裂的特性。为了防止土工膜的脆断,应该尽量抢在入冬前及白天施工。低温下土工膜表现为脆性,为了防止冬季由于复合土工膜被扰动,膜材发生脆断造成漏水,应避免冬季敷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。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。

土工膜施工工序为:铺设→对正→搭齐→压膜定型→擦拭尘土→焊接试验→焊接→检测→修补→

复检→验收→覆盖。

a. 复合土工膜的铺设。复合土工膜的铺设分库底铺设、坡面铺设2个部分。铺设方法:复合土工膜的铺设要求在平地先将4 m窄幅拼接焊成20 m宽幅,然后在坡面自上而下垂直于坝轴线方向通幅铺设。坡面铺设在坡面验收合格后,从堤顶向堤脚沿垂直于堤轴线方向缓慢展铺到坡脚齿槽外顶处与库底土工膜丁字形相接,库底铺设在库底开挖验收合格后,从齿槽外顶向库内沿垂直于堤脚轴线方向缓慢铺展。复合土工膜铺设时应采取边挖、边铺、边夯、边护的区段循环作业。回填时,不得破坏复合土工膜,不得使用重型机械或震动压实,不能用钢钎等尖锐的工具撬动。施工人员均应穿平底布鞋或软胶底鞋进行铺设,严禁穿钉鞋以防踩坏土工膜,做到随铺随压。复合土工膜可以采用横向或纵向铺设,铺设土工膜不宜过紧,要预留5%伸缩长度置成波纹状褶皱,以适应基本变形。

b. 复合土工膜的固定与周边接界处理。为确保反滤、排水系统始终保持正常工作,对复合土工膜的固定及与周边接界处理采取一定措施。对大坝进行复合土工膜防渗处理,即大坝迎水面坝底开挖齿槽,将复合土工膜嵌主齿槽,坝顶开槽后将复合土工膜嵌入原坝体中,坝体与溢洪道、输水洞连接处将复合土工膜与建筑物混凝土连接,形成半封闭的不透水防渗结构体。复合土工膜防渗斜墙与水库库底、山体两侧的连接。在上游坝坡脚处和大坝靠山体两侧开挖防渗齿槽,槽身高1.5 m,开挖边坡1:1,口宽3 m,开挖岩石为中、微风化岩层,将复合土工膜紧贴在沟内侧嵌入槽内,用保护土夯实。复合土工膜防渗斜墙与水库输水洞(涵管、隧洞等)和溢洪道刚性建筑物的连接,要求连接严密、牢靠,留有伸缩余量,防止因建筑物沉陷而使复合土工膜破坏。输水洞和溢洪道导流墙浇筑为直立墙,复合土工膜与混凝土连接时,首先在混凝土面上间隔20 cm打孔,安装膨胀螺栓,沿连接长度通常安装1条厚5 mm、宽10 cm的橡皮,再将复合土工膜打眼穿入螺栓,然后再用1层橡皮、钢压条通过膨胀螺栓将复合土工膜固定。为防止螺栓、压条锈蚀,在螺栓和钢板压条上刷3层防锈漆。上游坡面设抗滑齿槽,齿槽间距为5~10 m,齿槽为梯形,底宽40 cm,坡比1:0.5,深40 cm,铺设土工膜后,用混凝土压梁压住土工膜,在槽内夯实土。复合土工膜在齿槽上端应留30 cm折叠拉开以作伸缩,在坝顶钢筋混凝土防浪墙基础或路缘石基础内嵌固足够长度复合土工膜。复合土工膜周边连接的可靠性主要是指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。混凝土

土防渗墙底部及两坝肩趾板与基岩面接合面均需进行水泥灌浆,防止防渗墙底部或趾板与基岩面接合面处渗水,灌浆完毕后,进行压水试验,合格后才能进行下一道工序。复合土工膜与防渗墙、趾板及防浪墙联结采用扁铁和膨胀螺栓锚固连接,为了保证复合土工膜具有一定伸缩能力,周边均设伸缩节(图1、图2)。

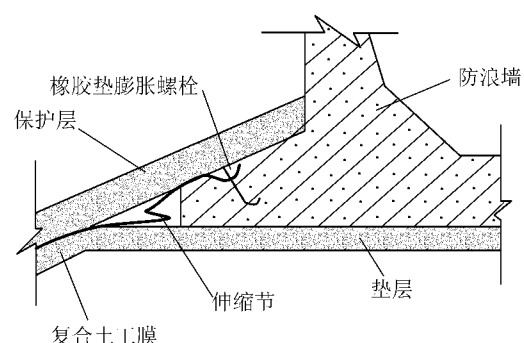


图1 复合土工膜与防浪墙连接示意图

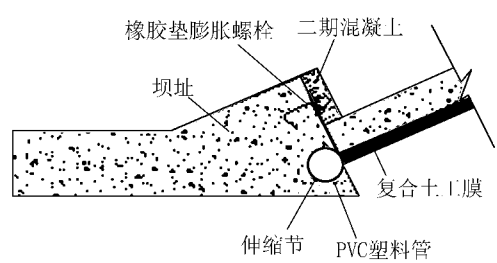


图2 土工膜与趾板连接示意图

c. 复合土工膜的搭接、压模定型、清洁、焊接试验、检测、修补。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。复合土工膜的搭接分2个程序进行,即下、上层无纺布的缝接,中层PE膜的连接。无纺布的缝接用手提缝纫机、尼龙线进行双道缝接,搭接宽度为10cm;PE膜的连接一般采用热焊接法,即表面用专用焊接机加热处理,使之表面熔化,烟焊接缝宽度为10cm,内焊2道焊缝,焊接工具用自动调温(调速)电热模式双道塑料热合机。相邻复合土工膜块拼接可用热黏、胶黏、搭接、缝接等方法。焊接:第1幅土工膜铺好后,将需焊接的边翻叠(约60cm宽),第2幅反向铺在第1幅膜上,调整2幅膜焊接边缘走向,使之搭接10cm。拼接焊缝2条,每条宽10mm,2条焊缝间留有10mm的空腔,用此空腔检查其焊缝质量。每条焊缝正式施焊前,先用长100cm,宽20cm的复合土工膜进行试焊,目测缝合格后方可正式施焊,并把目测合格的试焊样品进行拉伸强度检测。搭接:复合土工膜长度方向的接缝须为T字形搭接,严禁十字形搭接。复合土工膜搭接面不得有污垢、砂土、积水等影响胶结质量的杂质存在。如采用搭接,平地搭接宽度可

取30cm,不平地面搭接宽度应不小于50cm。

d. 复合土工膜铺设的检验。复合土工膜焊缝质量是整个复合土工膜防渗方案施工的关键,施工中尤其要加强接缝检测。检测方法有:①目测法。复合土工膜焊接好后,观察有无漏接,接缝是否烫损,有无褶皱,是否拼接均匀等。②现场检漏。现场检漏有两种:充气法:焊缝为双条,2条之间留有约10mm的空腔,将待测段2端插入气针,充气至0.05~0.20MPa,观察真空表,如气压无下降,表明不漏,焊缝合格,否则要查找原因及时修补;充水法:焊缝为双条,2条之间留有约10mm的空腔,将待测段一端封死,另一端插入水针,充水至0.05~0.20MPa,如无水从孔腔漏出,表明焊缝合格,否则要查找原因及时修补。

e. 验收、覆盖。复合土工膜焊接完成并经验收合格后及时覆盖,采取边焊接边验收边覆盖的方法,防止强紫外线、施工人员机械损伤造成土工膜的破裂。

5 结 语

西藏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及防脆断要求,在工程设计及施工中应充分考虑这一特点,确保建筑物安全运行。一般土工合成材料耐低温可达-45℃±2℃而无裂纹,能耐170℃高温而性能指标不会下降。西藏最冷气温一般在-32℃左右,土工膜在不受扰动情况下完全可以满足要求。据实验室测定,土工膜在-5℃以下,塑性消失,脆性增加,材料性质表现出被扰动后易断裂的特性。从工程应用上分析,为了避免冬季土工膜断裂,在低温环境下或保证土工膜基础不发生沉降,土工膜不扰动,或保证土工膜材料温度不低于-5℃,使材料保持塑性特征,允许变形移位。设计中可采用膜前设防冻垫层,保证塑膜处于正温,材料呈现塑性,可以很好适应变形,保证塑膜完整性。其次,应避免可能造成土工膜扰动破坏的冬季施工,如前坝面坝坡碾压等。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。

西藏病险水库加固3年计划以告完成,经过比较,复合土工膜比常规的混凝土防渗和黏土斜墙防渗方案节省工程投资30%,比常规防渗方案缩短工期2个月。该项技术的应用对西藏的水利工程建设起到了良好的推动作用,具有较好的应用价值。水库建设改善了西藏水利资源的开发利用条件,在灌溉、防洪、抗御水旱灾害、夺取农业丰收、(下转第65页)

推移质计算时,闭边界条件采用法向零通量边界条件。

3.2 来沙情况

由于资料有限,在 2008 年地形条件下计算 1 个水文年,与 2009 年三县洲至解放大桥段河床地形进行比较,结果吻合较好,表明冲淤计算模型相似,可以进行冲淤计算。

3.3 100 年一遇洪水冲刷坑深度的计算

采用 2009 年 10 月最新实测北港解放大桥河段地形图(图 5),其中冲刷坑高程为 -23.10 m,过江地铁 1 号线河床高程为 -15.31 m,在此河势条件下计算 100 年一遇大洪水时冲刷坑的最大深度^[3]。

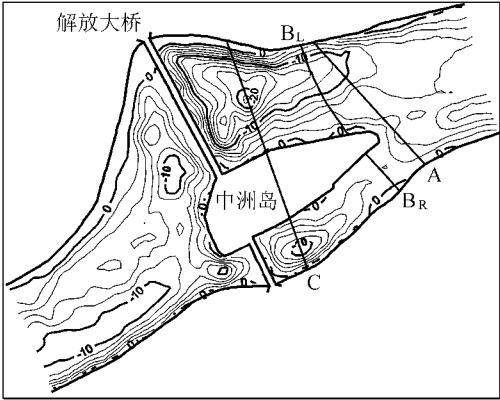


图 5 2009 年北港解放大桥河段河床高程等高线(单位:m)

从 100 年一遇洪水条件下的北港解放大桥河段河床高程等高线可以看出,河床冲刷的平面形态稳定,冲刷坑的位置不变,1 号线位于冲刷坑边坡上,河床逐渐抬高,多年历史情况和这次二维冲淤计算表明,最深坑位置稳定,不会下移至轨道线位置,1 号轨道线处于边坡上,深度较浅,有利于隧道埋设。计算冲刷坑高程为 -24.80 m(C 断面),1 号轨道线河底高程为 -17.50 m(B_L 断面)。根据此结果决定埋置隧道的高程。

采用相同方法计算 200 年一遇洪水条件下的冲刷坑深度。结果显示 200 年一遇洪峰时刻北港冲刷坑处流速达 1.89 m/s,1 号轨道线处流速达 2.50 m/s,冲刷坑高程为 -25.03 m(C 断面),1 号轨道线河床高程为 -18.06 m(B_L 断面),冲刷历时有所延长。

参考以往物模试验结果,将各工况下的计算结果列于表 1,由表中数据所反映的该河段冲刷变化幅度及规律表明,数模预报的数据是合理的。

4 结 语

根据洪峰流场,计算出 100 年一遇洪水条件下冲刷坑最深为 -24.80 m,1 号线过江河底高程为 -17.50 m;200 年一遇洪水条件下冲刷坑最深为

表 1 不同方法计算结果比较 m

工 况	解放桥下最大冲刷坑高程	1 号线河底高程
河床演变分析	-23.30	-15.31
动床试验(50 年一遇)	-24.29	-16.00
冲刷推算(100 年一遇)	-27.30	-18.70
冲淤二维数模计算(100 年一遇)	-24.80	-17.50
冲淤二维数模计算(200 年一遇)	-25.03	-18.06

-25.03 m,1 号线过江河底高程为 -18.06 m。

过江 1 号线的防护工程需慎重对待,主要是控制洪水分流比的变化。今后闽江福州河段治河总体规划应稳定南北港分流比。所有在闽江福州河段进行的工程措施必须确保不增加北港洪水的分流比。在保持目前河势的条件下,过江隧道适当加以保护可保持安全稳定。

参考文献:

[1] 张涤明,计算流体力学[M].广州:中山大学出版社,1991.
[2] 李安中,丁坚.福州市城市轨道交通一号线过江河段冲淤演变分析研究[R].南京:河海大学,2009.
[3] 马福喜,李文新.河口水流、波浪、潮流、泥沙、河床变形二维数学模型[J].水利学报,1999(5):39-43.

(收稿日期 2010-11-04 编辑 骆超)

(上接第 62 页)

保障人民生命财产安全、提供城乡用水以及建设农村小水电站等方面都发挥了重要作用,取得了极其显著的经济效益和社会效益。

参考文献:

[1] 顾淦臣,束一鸣,沈长松.土石坝工程:经验与创新[M].北京:中国电力出版社,2004.
[2] 瑞格尔.土工合成材料应用手册[M].北京:中国标准出版社,1999.
[3] GB 50290—98 复合土工膜应用技术规范[S].
[4] 拉萨市水利勘察规划设计研究院.龙泉水库设计说明书[R].拉萨:拉萨市水利勘察规划设计研究院,2008.
[5] 拉萨市水利勘察规划设计研究院.根培水库设计说明书[R].拉萨:拉萨市水利勘察规划设计研究院,2007.
[6] 拉萨市水利勘察规划设计研究院.达孜县桑竹林水库设计说明书[R].拉萨:拉萨市水利勘察规划设计研究院,2009.
[7] 闫玉山,吴玉杰.复合土工膜在严寒地区水库建设中的应用[R].佳木斯:黑龙江省水利第三工程处,2008.

(收稿日期 2010-04-21 编辑 方宇彤)