



岷江犍为航电枢纽三期围堰方案比选及实施

符业晓, 陈浩

(中交四航局第四工程有限公司, 四川 成都 610213)

摘要: 针对钢板桩和土石围堰在特定环境和条件下的适用性问题, 结合工程边界条件, 进行围堰方案适用性、材料来源的便利性、工程质量风险、施工工期及施工成本的研究, 采用对比的方法, 得出在工期紧、质量要求高、上游水头差大的工况下, 土石围堰具有防渗效果更佳、成本更低的特点, 更适合岷江犍为航电枢纽三期围堰工程的结论, 并在研究和实践的基础上提出土石围堰施工的重点、难点及可采取的技术措施和成效, 对类似工程具有借鉴意义。

关键词: 土石围堰方案; 比选; 实施; 犍为航电枢纽

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)12-0054-06

Scheme comparison and implementation of Minjiang Qianwei navigation-power junction phase III cofferdam

FU Ye-xiao, CHEN Hao

(The Fourth Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: Aiming at the applicability of steel sheet pile cofferdam and earth rock cofferdam in specific environment and conditions, combined with the engineering boundary conditions, we study the applicability of cofferdam scheme, convenience of material source, engineering quality risk, construction period and construction cost. Based on comparison, we come to the conclusion that under the working conditions of tight construction period, high quality requirements and large upstream water head difference, the earth rock cofferdam has the advantages of better anti-seepage effect and lower cost, and is more suitable for the phase III cofferdam project of Qianwei navigation-power junction in Minjiang River. Based on the research and engineering practice, the key and difficult points of earth rock cofferdam construction and the technical measures and results are put forward, which may serve as reference for similar projects.

Keywords: earth rock cofferdam scheme; comparison and selection; implementation; Qianwei navigation-power junction

1 工程概况

岷江犍为航电枢纽工程三期围堰是该工程的挡水建筑物(枯水期施工导流, 2019 年 11 月—2020 年 5 月), 为左岸 10 孔泄洪闸提供干地施工条件, 是航电枢纽实现蓄水、通航和发电 3 大目标的基础。

三期围堰位于临时航道左、右导墙之间, 分为上游挡水围堰与下游挡水围堰, 利用上、下游围堰及左、右侧混凝土纵向导墙挡水, 其中上游

围堰设计洪水标准为 20 a 一遇, 设计洪峰流量 $8\,130\text{ m}^3/\text{s}$, 挡水高程 330.00 m(考虑已安装机组稳定运行发电水位 330.00 m); 下游围堰设计洪水标准为 10 a 一遇, 设计洪峰流量 $7\,310\text{ m}^3/\text{s}$, 挡水高程为 323.74 m。

2 三期围堰方案比选

三期围堰虽然是枯水期围堰, 但枢纽需要利

用三期上游围堰进行挡水发电和通航,工期紧、质量要求高,上、下游水头差达 16.5 m。根据现场施工工况和作业条件,确定以钢板桩围堰和土石围堰两种形式为研究方向,在方案的适用性、围堰取材优势、工程质量风险、施工工期和成本方面进行比较,最终择优而定。

前期调查得知,距三期围堰施工现场约4.5 km的中坝料场备有充足砾卵石,距现场约3 km的仁沐新高速路施工现场有黏土弃渣可利用,且交通道路顺畅。若选用土石围堰方案,填料较

易取得^[1]；若选用钢板桩围堰方案，须在乐山及成都周边购买成型钢板桩或半成品加工，通过陆上运输至施工现场。

2.1 围堰结构设计

2.1.1 围堰平面布置

三期围堰采用上、下游围堰及左、右侧混凝土纵向导墙共同围护左岸 10 孔泄水闸进行干地施工。上游围堰布置在坝前 74 m 处, 轴线长 199 m, 下游围堰布置在距格宾网格海漫下游约 33 m 处, 轴线长 194 m(图 1)。

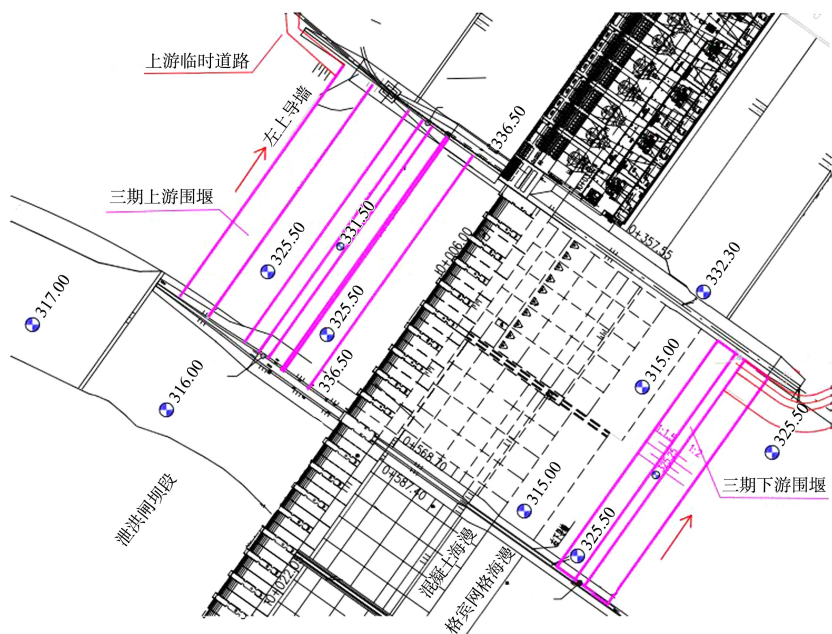


图 1 三期围堰平面布置 (单位: m)

2.1.2 钢板桩围堰结构

钢板桩围堰选用热轧 U750 型钢板桩支护,上游钢板桩围堰平面布置见图 2。

施工工序如下：1)原材料进场、施工准备工作；2)导向架安装；3)钢板桩倒运至水中施工处；

4) 75 t 履带吊将钢板桩吊到钢板桩施工轴线处(测量基线、定位); 5) 机械手施工钢板桩; 6) 安装围檩、钢拉杆; 7) 土方回填; 8) 水闸内结构施工; 9) 钢板桩拆除。

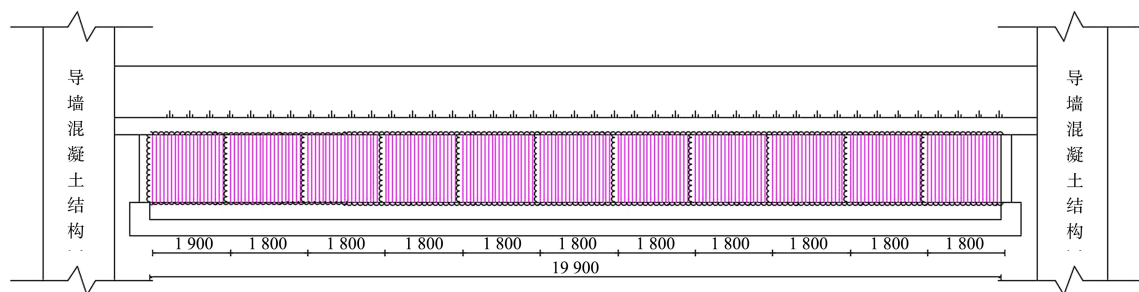


图 2 上游钢板桩围堰施工平面布置 (单位: mm)

2.1.3 土石围堰结构

上游围堰截流后利用抛填防渗土料闭气，上

部土料心墙防渗，下部土料斜墙防渗，下游围堰直接利用斜墙土料防渗(图 3)。

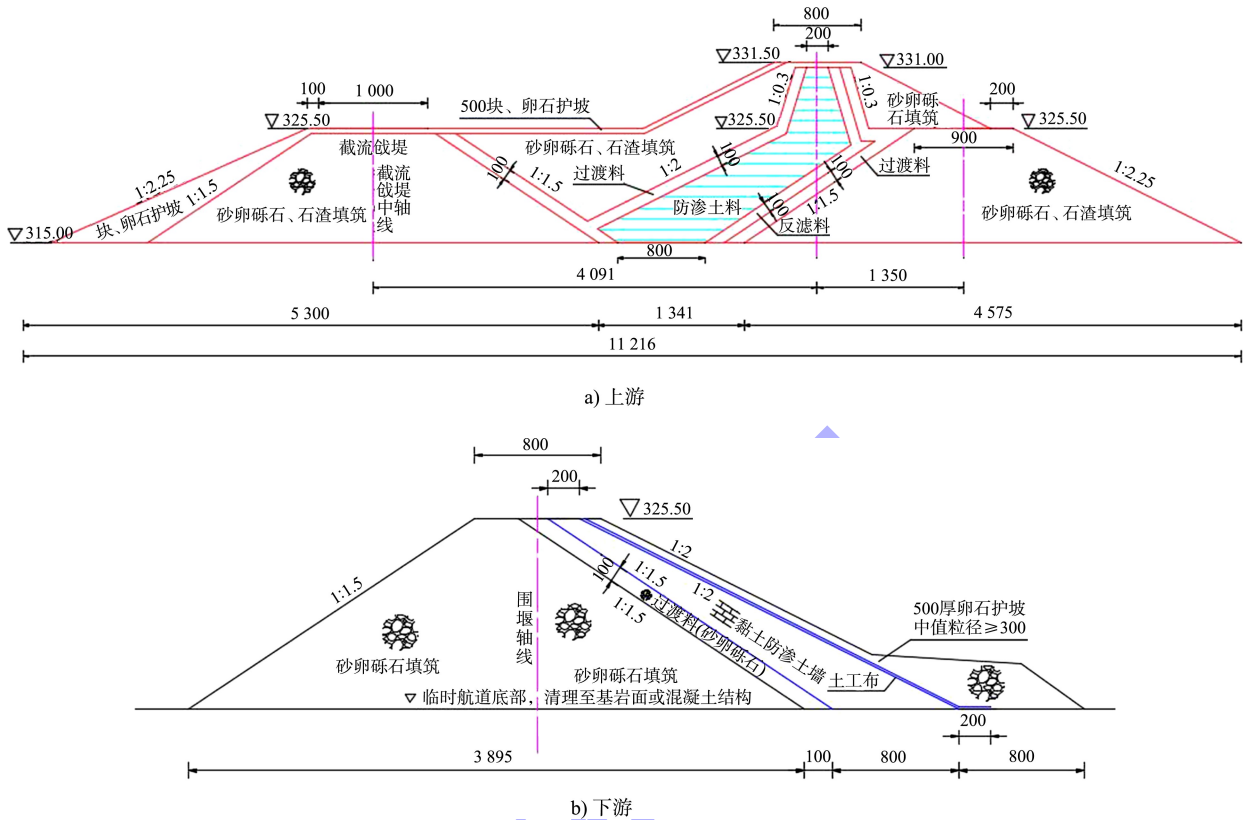


图 3 土石围堰断面 (高程: m; 尺寸: mm)

上游围堰顶高程 331.50 m，底高程 315.00 m，高 16.50 m，下游围堰顶高程 325.25 m，底高程 315.00 m，高 9.25 m；考虑施工交通及填筑施工要求，堰顶宽取 8 m，围堰结构包括截流戗堤、堰体填筑料、防渗结构、防冲结构等。

上游围堰主要分为戗堤平台高程以下和以上结构：戗堤平台高程以下截流戗堤沿堰体的迎水侧布置，采用硬质岩石的石渣或块卵砾石填筑；戗堤平台高程以上堰体采用心墙土料防渗，防渗土料采用强风化泥岩或黏土填筑。

下游围堰堰体采用硬质石渣或砂卵砾石料填筑，斜墙土料迎水侧与护坡结构之间铺设 1 层无纺土工布反滤层；斜墙土料下部与围堰填筑料之间布置 1 层过渡料层，厚 1 m。

2.2 围堰方案比选

2.2.1 围堰方案适用性

三期围堰基底地质为泥岩夹砂岩，经过 2 个

汛期的过流后，表面有 1~2 m 厚的砂卵石覆盖层，不具备干地施工条件。

土石围堰特点及适用条件：结构简单，可就地取材，充分利用开挖弃料；既便于快速施工，又易于拆除；可在任何地基上修建，是用得最广泛的一种围堰形式。缺点是断面尺寸较大，抗冲能力差，水下施工的防渗黏土质量难以控制。

钢板桩围堰特点及适用条件：断面尺寸小，抗冲能力强，可以修建在岩基或非岩基上，考虑到堰体稳定和防渗要求，必须有一定的入土深度或打到岩层内，对于含有大量漂砾的覆盖层，打桩极为困难，会导致锁口劈裂或桩端卷曲。

从适用性方面分析比较，土石围堰和钢板桩围堰均可选用，但钢板桩的施工难度更大。

2.2.2 围堰材料来源优势

土石围堰的材料主要有砂卵石、防渗黏土、水泥和防冲块石，总量约为 41.25 万 m³，中坝料

场的开挖弃料储量可满足要求；水泥可从距现场约 2 km 的宝马水泥厂采购。

钢板桩围堰的材料主要有钢板桩和砾卵石填料，砂卵石填料可直接从中坝料场取得，但所需的 2 188 t 钢板桩需要从成都采购或租用，并通过陆上运输至施工现场，需要一定的备货时间。

从围堰材料来源方面分析，土石围堰优于钢板桩围堰。

2.2.3 围堰施工重难点及质量风险

土石围堰在本工程实施的重难点及主要质量风险有：1)三期围堰施工时段的水深约 5 m，不具备干地施工条件，截流部与混凝土导墙相接，防渗施工难度大；2)围堰采用的是黏土防渗方式，水下填筑部分无法分层填筑压实，影响防渗效果，且底部覆盖层难以清除干净，基岩面与黏土防渗墙之间存在夹层；3)围堰与导墙相接部位是防渗的难点，土石围堰具有一定的沉降量，尤其是水下抛填施工形成的土石围堰。

钢板桩围堰的重难点及主要质量风险有：1)岩基覆盖层较薄并且含有粒径较大的漂石，钢板桩的施打难度大，不可预见因素多并且难以保证质量；2)左、右两侧的纵向式导墙为重力式斜墙，垂直施打的钢板桩难以与混凝土导墙连接形成整体，接头部位需要采用其它措施处理，结构复杂。

两种围堰形式在质量风险方面都具有难点和不足，但土石围堰可选用的防渗处理措施较为成熟，施工难度小。

2.2.4 围堰施工工期

三期围堰施工主要包括围堰填筑和拆除、基坑抽排水，10 孔泄洪闸的 2.5 m 厚闸底板混凝土和高 25.8 m 闸墩混凝土浇筑、220 樨预制梁的安装、闸门及其埋件安装等工作。

根据项目总体安排和节点要求，4 月完成泄洪闸底和闸墩施工，5 月初完成预制梁安装，5 月 31 日前完成围堰拆除。根据岷江枯期施工经验，三期围堰施工于 2019 年 9 月底开始，基坑内施工的总工期约为 8.5 个月，工期紧、任务重。三期围堰施工是岷江犍为航电枢纽的收官之战，是实

现“通航、蓄水、发电”3 大目标的基础，也是 2020 年航电枢纽安全度汛的保证，所以，节点工期是各方关注的焦点。为了缩短工期，采取加大设备投入以及三期上、下游横向围堰同时施工的方法，见表 1。

表 1 围堰施工工期对比			
围堰形式	施工方式	工期/d	总工期/d
钢板桩围堰	钢板桩材料进场	30	86
	第 1 施工点导向安装、钢板桩打插		
	第 2 施工点导向安装、钢板桩打插	30	
	围檩钢拉杆制作、安装		
	填筑土方	16	
土石围堰	上、下游围堰靠导墙处防渗施工	10	56
	围堰防渗基础覆盖层开挖	10	
	上游围堰戗堤		
	上游堰体加高、防渗黏土填筑	35	
	下游围堰堰体填筑、黏土防渗及卵石护坡		
	上下游围堰靠导墙处防渗施工	10	

钢板桩围堰施工工期约为 86 d，土石围堰施工工期约为 56 d，两者相差 30 d，显然，土石围堰具有明显的优势。

2.2.5 围堰施工成本

钢板桩围堰施工主要涉及船舶、水上桩基设备，按三期围堰施工进度及工程量计算，需用到驳船、机械手打桩机、发电机组、起重设备、发电机和砂卵石回填料，其中涉及到成本较大的为施工船舶和钢板桩工程量(钢材 2 188 t)，初步测算，三期围堰施工成本约为 1 350 万元。

土石围堰主要涉及到砂卵石和防渗黏土回填，围堰与侧墙混凝土接触面和防渗处理堰端施工道路压占部分防渗处理，其中砂卵石回填约为 41.25 万 m³(填、拆 1 次)，侧墙和道路防渗约 300 m，干水泥约为 137 t，三期围堰施工成本约为 1 050 万元。

可见，土石围堰的实施成本低于钢板桩围堰。基于围堰材料来源、质量风险、施工工期和施工成本等方面的对比分析，结合岷江犍为航电枢纽的施工条件，最终采用土石围堰结构形式，其中上游围堰截流后利用抛填防渗土料闭气、下部土料斜墙防渗，上部土料心墙防渗，下游围堰

直接利用斜墙土料防渗。

3 三期土石围堰实施效果及施工过程重难点处理

3.1 三期土石围堰实施效果

三期土石围堰于 2019 年 9 月底下河填筑,10 月 10 日完成戗堤截流,11 月 15 日完成防渗施工,12 月初开始基坑内主体结构施工,5 月底完成围堰拆除,按时完成节点工期目标。在围堰使用过程中,整体稳定性较好,围堰渗水量经过相

应处理后在可控范围,未发生质量、安全事故。

3.2 围堰监测结果

上、下游围堰各设置 2 个监测断面,共布置 6 个监测点,其中上游 4 个,下游 2 个,每个监测点造孔在堰顶与基岩面之间按照等间距安装 3 个固定式测斜传感器进行实时自动斜测。上游围堰 4 个测斜孔深均为 17.5 m(入基岩 1.0 m),下游围堰 2 个测斜孔深均为 10.25 m(入基岩 1.0 m)。使用期间深部位移自动化监测结果见表 2。

表 2 三期围堰深部位移监测结果

监测部位	监测点号	传感器编号	监测高程/m	左、右岸偏移/mm	左、右岸日均偏移/mm	上、下游偏移/mm	上、下游日均偏移/mm
上游围堰坝顶	1 [#]	1	314.592	0.68	0.01	1.36	0.02
		2	320.392	10.12	0.13	6.06	0.08
		3	326.192	28.33	0.35	-19.22	-0.24
上游围堰坝顶	2 [#]	4	313.741	0.26	0.00	1.05	0.01
		5	319.941	-4.08	-0.05	-2.75	-0.03
		6	326.141	17.11	1.34	20.53	0.26
上游围堰马道	3 [#]	7	314.476	1.05	0.01	0.79	0.01
		8	318.176	1.29	0.02	1.29	0.02
		9	321.876	7.10	0.09	-1.94	-0.02
上游围堰马道	4 [#]	10	313.573	1.78	0.02	0.59	0.01
		11	317.673	4.28	0.05	0.71	0.01
		12	321.773	4.29	0.05	0.72	0.01
下游围堰坝顶	5 [#]	13	312.344	-3.35	-0.04	1.12	0.01
		14	316.644	0.75	0.01	-0.75	-0.01
		15	320.944	3.00	0.04	3.00	0.04
	6 [#]	16	315.977	1.72	0.02	0.96	0.01
		17	319.477	1.22	0.02	1.83	0.02
		18	322.977	1.83	0.02	1.83	0.02

通过分析从围堰填筑完成到拆除期间的观测数据和位移曲线,上、下游最大偏移值为 20.53 mm,满足工程技术要求。因此可得出以下结论:上、下游围堰监测自围堰填筑到拆除过程数据稳定,围堰未发生明显变化趋势,堰体处于稳定状态。

3.3 土石围堰施工重难点及采取的技术措施和成效

1)受施工期限限制戗堤截流难度大。9 月底至 10 月初,属于岷江汛期末枯期初的交界阶段,根据多年水文资料,施工区域水流流速在 2.5~3.5 m/s,围堰合拢截流难度较大。

采取的技术措施及成效:为应对流速及流量较枯水期大的实际困难,在枯水期常规用料的基础

上,提前准备了粒径 1.0 m 以上块石约 5 000 m³,另外还加工了 200 个 2 m×1 m×1 m(长×宽×高)钢筋石笼作为合拢截流块体,使三期围堰于 2019 年 10 月 10 日如期完成截流合拢。虽然截流成功,但从后期的防渗施工情况看,由于汛末水流量在 3 000~4 000 m³/s,在填筑过程中水流带走大量较小粒径的填料,使填料级配失衡,增大了围堰防渗难度。所以,在工期条件允许的情况下,岷江流域的围堰施工时间宜在 10 月初开始,10 月底截流可取得更好的效果。

2)受地质状况影响围堰整体防渗要求较高。三期围堰底与基岩之间有一层 1~2 m 厚的砂卵石

覆盖层,在防渗黏土墙与基岩之间形成一层强透水层,影响围堰整体防渗效果。

采取的技术措施及成效:①使用挖机对黏土防渗墙基底覆盖层进行清理,减小砂卵石强透水层厚度。戗堤截流完成后,对防渗墙地基覆盖层进行清理,但水下开挖难以清理干净。通过探摸得知,岩面尚余 30~50 cm 砂卵石覆盖层。②在防渗心墙内侧增设一道防水土工膜,增强防渗能力^[2]。但由于水下部分的接头质量难以保证,基坑抽排水完成后,上游围堰底有明显的渗水。为确保围堰的安全,及时开展专业监测,堰体未发现明显的沉降位移,不影响围堰安全,集水坑水泵可满足抽排要求。由于三期为枯期围堰,使用时间从 2019 年 12 月—2020 年 5 月仅 5 个半月,综合考虑该区域近 10 年水流速度、水流量、围堰渗水状况等因素后,决定不再对渗水处进行处理。对于汛期围堰或者使用时间较长的全年围堰,底部渗水须采用高压旋喷桩进行处理^[3]。

3)受围堰沉降影响引发渗漏。三期上、下游土石围堰两端均与纵向混凝土导墙相接,由于混凝土墙体为表面光滑的刚性结构,且前期未设齿槽或刺墙等与围堰防渗体连接的结构,土石围堰发生沉降后引起渗漏。

采用双排高压旋喷桩或咬合灌注桩进行防渗处理。旋喷桩沿围堰轴线至侧墙接触面往墙体内部 50 cm,但由于围堰填筑完成后形成了水头差,渗

漏部位的水流流速较大,高压旋喷桩堵漏未取得预期效果。虽然接触面还存在渗漏,但流水稳定、清澈,堰体未发生形变,处于稳定状态,故未采取进一步技术措施。后期经验表明,形成水头差、流速较快的渗漏点使用咬合灌注桩的方式处理可取得较好的效果。

4 结语

1)土石围堰具有填筑材料易得、材料及施工成本低、施工快、效率高等优点。在干地施工条件下,该围堰形式可以取得更好的效果。

2)施工过程中关键部位(堰与侧墙混凝土接触面和施工道路暂压部位)的防渗处理直接关系整个围堰工程的安全使用。为了确保堰体安全及防渗效果,可以采用防渗黏土+高压旋喷桩的方式防渗,尤其是水下抛填形成的土石围堰。

3)土石围堰适用于大多数航电工程建设,具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 和军.水利水电工程中土石坝施工技术分析[J].工程建设与设计,2019(2):134-135.
[2] 王艳秋.水利施工中土石坝施工技术的应用[J].科学技术创新,2018(18):111-112.
[3] 王志光,赵晓萍.水利工程中土石坝渗透变形的成因及处理措施[J].吉林农业,2015(15):83-83.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 49 页)

3)土工膜做防渗材料也有较为明显的缺陷,主要体现在施工过程中容易破裂、暴露在不良环境中容易老化、容易受到化学腐蚀等。因此采用土工膜进行防渗应做好施工过程中的防护,土工膜铺设及连接施工结束验收合格后应及时进行上保护层施工,最大程度地发挥其效用。

参考文献:

[1] 中国能源建设集团广西电力设计研究院有限公司.岷江犍为航电枢纽工程初步设计报告[R].南宁:中国能

源建设集团广西电力设计研究院有限公司,2015.
[2] 农静.长洲水利枢纽工程鱼道设计[J].红水河,2008,27(5):50-54.
[3] 卢达聪,张燕,朱卫国.鱼梁航运枢纽鱼道及鱼类增殖站保护设计浅述[J].西部交通科技,2009(5):78-82,96.
[4] 张峰,王海正.土工膜在水利工程的应用综述[J].中国水运(下半月),2010,10(12):187,189.
[5] 孙秋华,陈宇.复合土工膜在水利工程中的应用[J].水利科技与经济,2009,15(8):749.

(本文编辑 郭雪珍)