

土工膜用于水库防渗工程的经验

顾淦臣

(河海大学水利水电工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :分析近 10 年土工膜土石坝建设萎缩的主要原因 :一是由于 SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》相关规定的限制 ;二是由于 2005 年错误批判北京圆明园荷花池铺复合土工膜防渗事件。结合工程实例介绍抽水蓄能电站上水库、水库全库盘、平原水库、河川水库等用土工膜防渗的成功经验 ,以及 1 座河川水库因铺膜施工不当而失败的教训。介绍了电力行业 DL/T5395—2007《碾压式土石坝设计规范》(代替 SDJ218—1984《碾压式土石坝设计规范》) ,该规范规定坝高 30 ~ 100 m 的坝可用土工膜防渗 ,这必将推进土工膜土石坝的发展。

关键词 :土工膜 ;防渗 ;水库 ;库盘 ;坝 ;设计规范 ;工程经验

中图分类号 :TV44 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2009)06-0034-05

Experience of applying geomembrane in reservoir seepage control//GU Gan-chen(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :The causes for the reduction in geomembrane earth-rock dam construction over the last ten years are analyzed :1) the SL274—2001 Design Code for Rolled Earth-Rock Fill Dams was published , limiting the construction of geomembrane earth-rock ; and 2) a seepage prevention plan for Yuanmingyuan Garden adopting composite geomembrane was inaccurately criticized by the Environment Bureau and certain citizens. There have been successful experiences of seepage control using geomembrane in the upper reservoirs of pumped storage power stations , total reservoir beds , plain reservoirs and river reservoirs. An analysis is provided of lessons from failure due to incorrect construction in one of the river reservoirs. The DL/T5395—2007 Design Code for Rolled Earth-Rock Fill Dams is also introduced. It can replace the SL274—2001 design code. In the DL/T5395—2007 design code , geomembrane earth-rock dams from 30 m to 100 m in height are allowable. This will promote the development of geomembrane earth-rock dams.

Key words :geomembrane ; seepage control ; reservoir ; reservoir bed ; dam ; design code ; project experience

1 我国土工膜水库工程建设的低潮期

1967 年 ,我国在辽宁省桓仁水电站 79 m 高的混凝土支墩坝用初级的土工膜(聚氯乙烯和沥青热压成的防水卷材 ,俗称无胎油毡)粘贴铆固在上游坝面并用混凝土保护 ,防止混凝土宝石形悬臂头裂缝漏水 ,至今已有 42 a ,防渗效果良好。1980 年以后 ,我国工程技术人员陆续参阅了各届国际土工合成材料学术会议论文 ,对土工膜土工织物产品的性质、规格和应用情况有了进一步的了解。笔者曾在甘肃省水利科学研究所、青海省水利水电设计院、昆明水电勘测设计研究院等 10 多个单位作过学术报告 ,推广应用土工合成材料防渗技术 ,已有 10 余项工程采用了复合土工膜防渗 ,新建坝高达 56 m ,加固险坝高达 85 m ,迄今这些工程的运行情况都很满意。但是 ,后

来发生的 2 件事使土工膜土石坝和土工膜防渗技术的推广跌入了低谷。

1.1 相关设计规范的限制

水利部 2002 年发布了 SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》 ,其中 3.3.3 条规定 ,对Ⅲ级及其以下的低坝 ,经论证可采用土工膜作为防渗体材料。这是引用 1993 年电力工业部和水利部修改 SDJ218—1984《碾压式土石坝设计规范》的通知中 1.0.4 条内容的结果。SL274—2001 规范不顾 8 年来的科技发展重复使用这一旧条款 ,而事实上 ,1998 年水利部发布的 SL/T225—1998《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》5.1.1 条规定 ,对于高水头(大于 50 m)挡水建筑物 ,采用土工膜防渗应经过论证。有了 SL/T225—1998 规范 ,我国土工膜土石坝得到了蓬勃发展 ,建设的坝高已达到了 85 m。而

SL274—2001 规范相关条款的限制,使土工膜土石坝的发展陷于停顿。笔者曾针对这一条款写了修改意见信,寄给了 SL274—2001 规范编写组,并由中国土工合成材料工程协会寄给规范管理单位——水利部规划设计总院及中国水利学会。规范编写组的答复是“来信所述这些土工膜土石坝都是特殊情况,所述 SL/T 225—1998 技术规范不是设计规范,对设计没有约束力”。规范管理单位的答复是“待下次规范编制予以修改”。笔者认为,应该肯定笔者建议信中所述这些土工膜土石坝是因地制宜的工程实践,虽有的是特殊情况,但仍有其普遍意义和工程价值。

众所周知,规范对设计人员关系重大,如果遵守了规范,一旦工程发生事故,设计人员的责任不会太大。但如果设计超过规范而使工程发生事故,则设计人员将受到不遵守规范的加重处罚,故设计人员即使有不同意见,也不敢不遵守规范。所以 SL274—2001 规范发布以后,就没有 30 m 以上土工膜土石坝出现了。黄河水利委员会设计院设计的西霞院反调节水库是 II 等工程,如果按 SL274—2001 规范,II 等工程是不能采用土工膜防渗的,但业主单位小浪底水利枢纽建设管理局希望采用土工膜防渗,以免开采黏土时与西霞院当地民众发生冲突。所以在 SL274—2001 规范发布后,业主单位与黄河水利委员会设计院邀请了 8 位专家开会讨论,一致同意采用复合土工膜防渗方案。这与 SL274—2001 规范是矛盾的,所以经专家讨论后还要报请规划设计总院批准。由此可见,作为规范编写组所在的单位——黄河水利委员会设计院,自己首先不能遵守 SL274—2001 规范,还要请专家讨论并报上级批准,这难道不是作茧自缚?其他设计单位不愿意为了突破规范而增加麻烦、增加经费,去邀请专家讨论并报批。所以 2002 年以后就没有 III 级以上的高于 30 m 的土工膜土石坝出现了。

2008 年,电力系统编制 DL/T 5395—2007《碾压式土石坝设计规范》(代替 SDJ218—1984),国家发展和改革委员会批准实施。其中关于土工膜防渗的条文为 I、II 级低坝及 III 级中坝可采用土工膜防渗。该规范规定的中坝坝高在 100 m 以下。由于这一规范规定合理,一些较高土石坝已开始采用土工膜防渗。如四川省仁宗海水电站的土石坝高 56 m,采用复合土工膜铺设在上游坝面防渗,砂卵石地基用混凝土防渗墙防渗,已于 2009 年蓄水运行。

1.2 北京圆明园荷花池铺土工膜防渗被错误批判

2005 年 4~6 月,北京圆明园荷花池铺土工膜防渗被错误批判。当时圆明园管理处为了节水,请北京市水利科学研究所研究节水方案,决定铺设复合

土工膜防渗。在铺膜施工时,被一位游览圆明园的 $\times \times$ 大学客座教授看到,就误认为复合土工膜有毒,于是向国家环保总局反映了此事。国家环保总局信以为真,就邀请市民开会讨论,说是公众参与。但没有按照公众参与讨论工程项目的程序进行,既未请设计施工方报告工程的意义、措施、效益,也未请专业部门和专家参加,连业主和中国土工合成材料工程协会也未被邀请参加。会议主题就是未提交环评报告,毒害名胜园林。这样的“公众参与”,难道不是避开科学、愚弄公众?如果说那位客座教授因不熟悉土工合成材料就误认为圆明园荷花池铺土工膜防渗会污染环境,那国家环保总局只要咨询一下中国土工合成材料工程协会不就清楚了吗?在此期间,中国土工合成材料工程协会秘书长曾邀请笔者写一篇土工膜性质的文章。笔者随即写了《论圆明园荷花池用聚乙烯膜防渗的科学性》,发表在中国科协主办的《科技导报》2005 年第 6 期上。文章描述了各种聚合物的性质以及各种土工膜的性质,还介绍了美国城市供水池顶部安装氯磺化聚乙烯膜浮罩以防灰尘污染和强日光照射使水质变质,说明土工膜是无毒的。

北京圆明园荷花池铺土工膜防渗被错误批判事件,给土工膜防渗技术的推广带来了很大的冲击。有些不明真相的部门和工程人员不敢再采用土工膜防渗,如某市大学城人工湖用土工膜防渗,有领导问“圆明园铺膜不是被否定了吗?怎么还用它防渗呢!至今,土工膜的社会名声仍然没有完全恢复。

2 我国土工膜水库工程的近期发展

2008 年,DL/T 5395—2007《碾压式土石坝设计规范》发布后,我国土工膜防渗土石坝的建设逐渐多了起来,连老挝、柬埔寨请中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院、中国水电顾问集团中南勘测设计研究院设计的两个工程项目,也采用了土工膜防渗,且其坝高都在 70 m 以上。

2.1 泰安抽水蓄能电站上水库的土工膜防渗

我国有几座百万 kW 级抽水蓄能电站上水库是用钢筋混凝土面板或沥青混凝土面板衬砌防渗的,但都出现了裂缝漏水现象,曾多次修补过。而采用土工膜防渗的泰安抽水蓄能电站,工程于 1996 年由中国水利水电建设工程咨询公司开始进行可行性研究,建设方案于 1999 年经中国国际工程咨询公司评估通过,并由中国水电顾问集团华东勘测设计研究院设计,中国水利水电第十二工程局施工。泰安抽水蓄能电站工程建成后曾获得国家电力公司科技进步奖。

泰安抽水蓄能电站上水库位于泰山西南的樱桃沟。建一座高 100 m 长 540 m 的混凝土面板堆石坝,库容尚不足,需向上游及两边开挖山体增加库容,开挖的块碎石分层填筑于坝前死水位以下区域,块碎石填筑区的上部 120 cm 为过渡层,填筑风化岩和断层软岩,压实干密度为 $2\ 110\text{ kg/m}^3$,孔隙率小于 20%。过渡层上部 60 cm 为垫层,填筑砂、砾、碎石,小于 5 mm 粒径约占 55%,小于 0.1 mm 粒径约占 8%,最大粒径小于 2 cm。在其上面铺 HDPE 0.6 cm 厚的三维席垫,再铺 500 g/m^2 土工织物,其上铺 1.5 mm HDPE 土工膜,幅宽 5 m。其拉伸强度大于或等于 17 MPa,断裂伸长率大于或等于 450%。土工膜上面铺 500 g/m^2 土工织物保护,再用土工织物沙袋压覆,以免施工时被风吹动,并防止水库水位下降时被膜下水顶托。膜下还设排水管网与库底周边廊道内的排水管连通。

土工膜的拼焊采用 Leister Comet 电热楔式自动焊机焊成双焊缝,用真空法和充气法检测所有焊缝。与混凝土趾板、连接板、廊道等的连接,采用不锈钢锚固螺栓、不锈钢角钢、不锈钢螺母将土工膜锚固,并用复合防渗胶带黏结。这种连接技术已获国家专利^[1-2]。

2004 年 11 月~2005 年 4 月,完成了土工膜的铺焊施工(气温低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时停工),共铺设土工膜 $160\ 800\text{ m}^2$,焊缝长 $34\ 300\text{ m}$ 。2005 年 5 月 31 日开始蓄水,12 月 12 日蓄水深 12.8 m(正常水位时水深 35.8 m),由坝后量水堰测得渗流量为 2.19 L/s ,土工膜周边渗压计测值绝大部分为负值,表明设计正确、施工质量优良。此方案与沥青混凝土防渗相比,节约投资 1.035 亿元。这是非常优秀的方案,可在其他抽水蓄能电站上水库和下水库应用,并可推广至水库周边及大坝上游面防渗。在水库周边及大坝上游面应用时,可采用复合土工膜,因为土工膜和土工织物分层铺设在斜坡上时,膜和织物间的摩擦系数不能满足膜和织物之间的抗滑稳定要求。

2.2 全库盘土工膜防渗

2.2.1 夹山子水库

夹山子水库位于酒泉市东 40 km 处,引马营河水至夹山子台地,在夹山子建 40 m 高的土坝,凹状台地形成灌注式水库。该处为戈壁砂砾卵石地层,渗透系数在 $1 \times 10^{-2}\text{ cm/s}$ 左右,必须进行全库盘防渗处理后才能蓄水。1986 年,甘肃省酒泉市水利局拟用沥青玻璃丝布进行全库盘防渗,并委托甘肃省水利科学研究所做试验。研究所的同志曾咨询笔者,沥青玻璃丝布在高水头下沥青会脱落,是否可用?笔者建议,现在已有聚乙烯膜、聚氯乙烯膜等材料,不要用沥青玻璃丝布防渗。根据笔者的建议,酒

泉市水利局请河海大学对投标的 4 家塑料厂的土工膜进行了物理力学试验,并根据河海大学的试验结果和各厂的报价,决定选用北京塑料厂的聚乙烯膜。施工时邀请了中国水利水电科学研究院结构材料所用热熔挤压焊接法焊接,焊缝力学指标高于母材。该工程共铺设聚乙烯膜 65 万 m^2 ,在近坝深水区(水深 38.5~25 m)膜厚 0.5 mm,在远坝浅水区膜厚 0.3 mm。

在夹山子水库库区及其外围地面有零星的厚薄不均的砂壤土可供利用,施工时在库区戈壁砂砾上面铺 50 cm 厚的砂壤土,碾压密实后作为土工膜的垫层。土工膜焊接好后,在其上再铺 1.0 m 厚的砂壤土,经轻碾压后作为保护层。该处地下水位在地面以下 30~50 m,水库降低水位或放空水库时,地下水不会顶托土工膜,故不必安装逆止阀或其他排水设施。

夹山子水库主要供下游农田灌溉和居民生活用水,工程于 1991 年竣工蓄水,迄今运行性态良好,未见渗漏。该水库借祁连雪山形成湖光山色,不失为一个旅游胜地。

2.2.2 金殿水库

昆明市金殿水库于 1958 年建成,土坝高 26 m,库容 236 万 m^3 。由于库区为白云岩灰岩地层,断层发育,溶孔溶槽较多,蓄水后渗漏严重,致使 40 年来未能蓄水。为了满足“99 昆明世博会”供水和景观需要,决定全库盘铺设复合土工膜。采用 $150\text{ g}-0.3\text{ mm}-150\text{ g}$ 聚乙烯复合土工膜,共铺设 23 万 m^2 。土工膜下的排水系统采用土工织物包裹碎石的排水盲沟,形成纵横排水网并通到库岸大气中。库盘地基整平后铺 15 cm 厚的砂垫层,然后铺复合土工膜。在复合土工膜上面,先铺 15 cm 厚的黏土,再铺 35 cm 厚的风化砂石料作为保护层。在死水位以上的库岸复合土工膜上,先铺土料再铺预制混凝土块加以保护^[3]。金殿水库铺膜工程完成后,已如期向“99 昆明世博会”供水。此后年年蓄满,充分发挥了水库的供水和旅游功能。

2.2.3 胜利水库

胜利水库位于新疆和田地区策勒县城南 45 km 处,是灌注式水库,总库容 980 万 m^3 。坝长 1850 m,坝高 14 m。上游坝坡 1:3,库盘最陡处坡度 1:4。库区和坝区地层为戈壁砂砾卵石层,渗透系数 $1 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-3}\text{ cm/s}$ 。地质条件与酒泉市夹山子水库基本相同。上游坝坡用 $50\text{ g}-0.5\text{ mm}-50\text{ g}$ 聚乙烯复合土工膜防渗。库盘用 0.5 mm 聚乙烯膜防渗。共铺设复合土工膜和土工膜 260 万 m^2 。坝的上游坡铺膜施工时,先铺 20 cm 厚的中细砂,然后铺复合土工

膜,在复合土工膜上面铺 20 cm 厚中细砂,再铺 30 cm 厚砂砾石,再以上为高 25 cm 浆砌石网格内填干砌卵石护坡^[4]。库盘铺膜施工时,先铺含砾砂、中细砂,然后铺土工膜,膜上铺中细砂含砾砂保护。胜利水库的地下水位在地面以下 15 m,故不需设膜下排水管网或逆止阀。

胜利水库于 2003 年 7 月建成蓄水,已经多次蓄泄,运用性态良好。

2.3 平原水库

在我国黄河下游、海河下游的平原地区,以及胜利油田(黄河滨海地区)等处已建成许多平原水库,在黄河、海河及支流丰水时向平原水库充水,以备常年为城市、矿区供水和农田灌溉之用。这些水库大多数坝高在 13 m 以下,围坝长 6 ~ 10 km,蓄水 1000 万 ~ 3000 万 m^3 。早期建成的天津大港水库、尔王庄水库、德州丁庄水库等,都是壤土均质坝,外围都开挖排渗沟以减少周围耕地的沼泽化。这些水库蓄水运行后,有的堤段仍渗水较多,导致周围耕地沼泽化,后不得不采用高压喷射灌浆等措施补救,以减少渗流。后期(1990 年以后)建设的平原水库,大多用挖排渗沟的土就地上坝。有的是砂土,有的是砂壤土,有的是淤土,坝的各段土质不一,于是在上游坝面用复合土工膜防渗,在上游趾部直立开槽铺设复合土工膜防渗。施工方法是链条开沟机开槽铺膜或双轮切削机开槽,然后直立铺膜。膜的顶部与坝面复合土工膜底部焊接。济南玉清湖水库、济南鹊山水库、滨州东郊水库都采用这种方式防渗。德州丁东水库自坝脚向库内铺设土工膜 60 m,竖直开槽铺设土工膜 8 m,效果较好。

目前的链条开沟机只能开挖到 15 m 深,其他开槽机的开挖深度也未超过此值。所以当地基透水层超过 15 m 时,水库仍然会漏水,影响周围农田。例如玉清湖水库因透水层超过铺膜深度,故漏水仍很严重,浸没周围的农田,每年不仅要赔偿数额巨大的农田损失,还流失大量的水,耗费十分可观。因此可以认为,如果透水地层深度超过开槽机能力可达到的深度,则应采用库盘全铺膜防渗方案。当然,为了探明透水地层的分布和埋藏深度,地质勘查工作必须做细做透。

为了节省耕地并减少库面蒸发损失,应尽可能提高围坝的高度,以缩小水库面积、增加水库水深、提高水质。平原水库的安全性比河川水库更加重要,因为平原水库周围都是村镇,水库一旦失事损失将更加惨重。提高平原水库围坝的高度并采用全库盘土工膜防渗及围坝上游面土工膜防渗方案,可防止管涌引起的围坝失事。当然,必须确保坝坝基

的稳定。

2.4 河川水库

河川水库中采用复合土工膜防渗的坝较多。国外最高的土工膜防渗堆石坝高达 134 m。在此笔者把我国几座有代表性的复合土工膜土石坝概述于下。

2.4.1 石砭峪水库

石砭峪水库位于西安市郊区,采用定向爆破堆石坝,坝高 85 m。1971 年定向爆破,1980 年完成沥青混凝土斜墙。1990 年蓄水深至 53 m 时,出现沥青混凝土斜墙裂缝漏水($0.43 \text{ m}^3/\text{s}$);经修补后蓄水深至 55 m 时,又出现裂缝漏水($1.18 \text{ m}^3/\text{s}$),只能再行修补;当蓄水深达 51 m 时,又出现漏水($1.72 \text{ m}^3/\text{s}$),堆石塌陷,坝基管涌。再经修补以后蓄水深度不敢超过 35 m。为此曾多次开会讨论修补方案,但没有形成结论性方案。

1998 年,西安市水利局邀请笔者和白永年、彭国强到现场查勘研究,我们提出先填补堆石塌坑,在砂砾坝基管涌处灌砂,对沥青混凝土斜墙裂缝塌坑进行修补。然后在斜墙面上铺复合土工膜。坝上部坡度 1:1.8 部位用沥青粘贴复合土工膜,坡度 1:2.25 部位不需粘贴。根据河海大学对几种复合土工膜进行的物理力学试验结果和对坝体进行的非线性应力应变计算结果,决定选用 $500 \text{ g}/\text{m}^2$ -1.0 mm PVC-500 g/m^2 复合土工膜。复合土工膜底部与原有混凝土防渗墙顶部及周边齿墙的连接,都采用扁钢及膨胀螺栓铆固^[5]。在复合土工膜的表面现浇 15 cm 厚的混凝土保护层,顺坡方向留 3.0 cm 宽的膨胀缝,缝距 10 m,作为排水和温度胀缩之用。因混凝土的水泥浆渗入土工织物,黏结牢固,现浇混凝土不会滑落。此修复工程于 2001 年完工,至今已运行 8 a,渗漏量仅为 $0.026 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.4.2 塘房庙复合土工膜心墙堆石坝

塘房庙水库是云南楚雄自治州空龙河 5 级梯级电站的龙头水库,堆石坝高 48.5 m,由中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院设计。坝址河道主槽为新鲜基岩,滩地及岸坡为砂状全风化岩。在全风化岩上先浇筑混凝土底板,然后高压旋喷,桩径达 0.9 ~ 1.0 m。复合土工膜锚固于底板,随着堆石填筑,“之”字形上升,每折高 0.5 m。在复合土工膜与堆石之间填风化砂过渡层。河海大学为此工程进行了二、三维有限元计算,根据计算结果,选用了 $300 \text{ g}/\text{m}^2$ -0.8 mm PVC-300 g/m^2 复合土工膜。该坝于 2001 年建成,运行至今已有 8 a,防渗效果很好,渗流极微。

2.4.3 钟吕水电站堆石坝

钟吕水电站位于江西乐安河支流小港水。坝址

为千枚岩地层。堆石材料为变质砂岩(含千枚岩 15% 以下)。坝高 51 m,上游坡 1:1.5,下游坡分 1:1.4 和 1:1.5 二级。堆石坝体填筑完成后,在上游面浇 6 cm 厚无砂混凝土,然后铺复合土工膜,在膜上现浇 10 cm 厚的混凝土保护层,其水泥浆渗入土工织物,黏结牢固。

根据复合土工膜的试验结果和坝体三维有限元计算结果,坝下半部坝面选铺 350 g/m²-0.6 mm PE-350 g/m² 复合土工膜,上半部坝面选铺 350 g/m²-0.4 mm PE-350 g/m² 复合土工膜^[6]。铺膜焊接由筑坝工程队自己完成。铺膜后因溢洪道开挖放炮,飞石击破复合土工膜多处,后虽经补焊,但仍可能有遗漏。1999 年,坝填筑并铺膜完成,水库初蓄达到发电水位,漏水达 180 L/s。凿开混凝土保护层,检查焊缝,发现有 1000 多处脱焊(如果全部凿开检查,发现的脱焊处将更多)。对脱焊处进行局部修补后,到 2006 年漏水量仍达 160 L/s,防渗效果不好。笔者曾建议在该坝坝面再铺一层复合土工膜(估计工程费约 100 多万元),可有效防渗,但这一建议未被采纳。

此工程的教训是深刻的,铺膜焊接施工时如果能聘请专业焊接队伍进行,并聘请专业监理人员把关,就可以避免上述事故的发生。

2.4.4 西霞院反调节水库

西霞院水利枢纽位于黄河干流、小浪底水利枢纽下游 17 km 处,水库总库容 1.62 亿 m³,蓄水位 134 m,电站装机 14 万 kW,是一座具有日调节性能的反调节水库,兼顾发电、灌溉、供水等综合利用。该工程为大(2)型 II 等工程,主要建筑物有大坝、水电站、泄洪闸、排沙建筑物、王庄引水闸及灌溉引水闸。防洪按 100 年一遇洪水标准设计,按 5000 年一遇洪水标准校核。土石坝坝长约 2600 m,采用砂砾石坝壳复合土工膜防渗斜墙。坝顶高程 139.0 m,最大坝高 21.0 m。坝顶宽 8 m,坝上游坡脚处设 25 m 深混凝土防渗墙,复合土工膜锚固于防渗墙顶部,复合土工膜上面铺沙砾石,再铺预制混凝土板护坡。左岸坝轴线呈“S”形布置。此工程是我国在大江大河上建造的第一座复合土工膜土石坝。河海大学为该工程进行了左岸转弯段连同左岸部分山体的三维有限元分析,进行了复合土工膜与中细砂、砂砾石之间的摩擦系数试验,以及不同垫层不同水头作用下的复合土工膜缺陷渗漏量试验,为西霞院大坝设计施工提供了科学依据。西霞院反调节水库于 2006 年开始运行,防渗效果良好。

2.4.5 仁宗海水库

仁宗海水库位于四川省康定县境内的大渡河支流田湾河上游,是田湾河流域梯级开发的龙头水库。

工程的主要目标是发电(水电站装机 24 万 kW),并提高下游各梯级年发电量 2.13 亿 kW·h。复合土工膜防渗堆石坝坝顶高程为 2934.00 m,坝顶总长度 830.85 m,最大坝高约 56 m。在上游坝坡 2890.00 m 高程处设一 10 m 宽的马道,便于堆石体检修。马道以上堆石体采用表面复合土工膜防渗,坝坡为 1:1.8,马道以下堆石体采用混凝土防渗墙防渗,坝坡为 1:2。大坝下游坝坡为 1:2,在 2904.00 m 高程处设一宽度为 4 m 的马道,采用干砌大块石护坡。

复合土工膜下垫层厚 3 m,以下为堆石。坝基左岸表层淤泥质壤土采用振冲碎石桩加固处理。复合土工膜与岸坡通过趾板连接,趾板下设灌浆帷幕。根据复合土工膜材料试验和坝体坝基三维有限元计算结果,选用 400 g/m²-1.2 mm PE-400 g/m² 规格复合土工膜。该水库已于 2008 年 11 月蓄水,水电站同时投入运行。

2.4.6 田村水电站

广西柳州地区金秀瑶族自治县田村水电站大坝,原设计为黏土心墙堆石坝,坝高 48 m,上下游坝坡都是 1:1.5。黏土心墙填筑至 10 m 高时,连续降雨,无法开采和填筑黏土心墙。汛期将至,如半月内不能把心墙再填高 15 m,则洪水将漫过顶部导致溃坝。在这样的情况下,柳州水利水电设计院总工曾向笔者咨询,经笔者实地查勘,建议将溢洪道开挖的粉砂岩风化料填筑在心墙部位,这样雨天也能开采、运输、填筑、碾压,碾压成粉砂后再在粉砂心墙的上游面铺设土工膜,土工膜底边压在已填筑的黏土心墙内,土工膜上游面铺土工织物,堆石和土工织物间铺卵石过渡,以免堆石刺破土工织物。设计和施工单位采纳了笔者的建议,因当时汛期将至,来不及调查比选土工膜,就采用了初级的维纶织物涂聚氯乙烯膜。经试验计算,与土工膜接触的风化料 $d_{15} = 5 \text{ mm}$,平均孔隙直径为 1 mm,水压力为 430 kPa,不致被压破。但如果风化料心墙发生 10 mm 宽的裂缝,这种土工膜可能被拉裂。该坝于 1990 年投入运行,渗漏很小,至今已运行 19 a,情况正常。

3 结 语

上述工程,除金殿水库和胜利水库外,笔者都参与了工程建设中的咨询、计算等工作^[7]。还有两项较特殊的工程:一是辽宁省彰武县小青沟二库工程,是在科尔沁沙漠地下水切成的小河上筑坝,河底中细沙 40 m 以下才有岩盘,河两岸全是无边的中细沙,没有土、没有岩盘。笔者和蒋坤铎高级工程师接受咨询,建议该工程先将砂坝的上游两岸削坡,用土工织物土工格栅加筋稳定边坡,然后(下转第 48 页)

涌或管涌数目虽多但比较集中的情况。②土工合成材料反滤。当堤坝背水侧出现大面积管涌或管涌群时,首先对管涌口附近进行清理平整,清除尖锐杂物,然后用粗料充填管涌口,以消减涌水压力,消除浑水现象。铺土工合成材料前,先铺一层 20~50 cm 厚的粗砂,然后选择合适的土工合成材料铺上,最后在土工合成材料上面铺设强透水材料压盖。③蓄水反压。通过抬高管涌区内的水位来减小堤坝内外的水头差,以降低渗透压力,减小逸出水力坡降,从而达到制止管涌破坏和稳定管涌险情目的^[5]。

以上几种抢护措施的不足也十分明显:①反滤围井的构筑较为复杂,在突发险情时抢护工作显得有些乏力。②现行土工合成材料反滤层铺设时,往往必须在其上铺设粗砂、碎石等透水性强且可充当负重的材料。这样,成本与传统的砂砾反滤层基本一样。③现行土工合成材料反滤法与蓄水反压法存在的问题是,采取负重或者抬高管涌区内水位的措施来降低渗透压力,会加大对管涌通道侧壁的压力,可能导致管涌孔径扩大或者产生新管涌口的危险。

侯英杰等^[6]设计了一种由单元板、固定件、排水系统和止水系统等构成的装配式围井。这种装配式围井的优势相比传统围井十分明显:围井大小可根据险情和实际情况现场组装;井内水深可根据实际需要调节;安装简捷,能提高抢险效率;可重复使用的模板大大节省抢险成本。但这种装配式围井与传统围井一样,也存在严重的缺点:抢险方式未能根本性变革,即便后来所进行的土工合成材料反滤试验较为成功,实际应用中仍需应用砂石等负重的问题依然制约着这种装配式围井的实际功效。其根本问

题在于土工合成材料的应用必须在其上加以负重。通过分析便可发现,广泛应用于房建中现浇混凝土楼板滑升模板的方法有极大的借鉴价值。也就是说,将土工合成材料固定在装配式围井内杆类支撑上,以液压千斤顶等工具作为动力,一方面可以取代传统的砂石负重来稳定土工合成材料,保障排水抑砂的稳定有序,另一方面可以更主动地利用动力系统来调整土工合成材料的位置。

这一设想模型是与本试验模型想吻合的:①U形管出口为刚性材料,与装配式围井的井壁相符。②试验中土工合成材料上并无负重作用,贴近设想模型。③试验用土工合成材料固定在U形管口,并可根据试验需要进行调整。

遗憾的是,由于试验条件、场地等诸多因素的限制,未能专门设计中间试验对此设想进行验证。

参考文献:

[1] 刘宗耀.关于抢护管涌险情问题的商榷[C]//全国第六届土工合成材料学术会议论文集.西安[s.n.],2004:505-508.
[2] 陶同康,鄢俊.堤防管涌的破坏机理和新型滤层结构设计[J].水利水运工程学报,2003(4):7-13.
[3] 周蓉.土工合成材料反滤机理研究[J].青岛大学学报,2000,15(4):41-43.
[4] 乔英卉.拜耳法赤泥坝中无黏性土反滤层设计方法[J].轻金属,2006(6):61-64.
[5] 杨昌军.堤坝管涌险情的判别和抢修[J].中国西部科技,2006(1):15.
[6] 侯英杰,鄢俊,陶同康.堤坝管涌破坏抢护新技术[J].中国水利,2006(8):83.

(收稿日期 2009-08-31 编辑 陈吉平)

(上接第 38 页)

铺土工膜防渗,坝上游河底用土工膜铺盖,形成一个不透水簸箕,使渗透比降小于 0.09;另一是青海省温泉水库,该水库位于海拔 4 000 m 以上高寒地区,是小干沟等一系列水电站的龙头水库,该水库坝高 40 m,如果采用黏土心墙防渗,由于其施工期极短导致困难较大。为此笔者建议在坝的上游坡用复合土工膜防渗,底部透水地层用高压喷射灌浆防渗。目前这两项工程都已运用 10 余年,防渗效果尚好。但这两个工程都有加强防渗的余地:前者可向上游加长簸箕状防渗工程;后者可加深高压喷射灌浆达到黏土地层。

参考文献:

[1] 苏虹,李岳军,万文功.泰安抽水蓄能电站上水库土工膜防渗设计[J].水力发电,2001,27(4):19-22.

[2] 李岳军,周建平,何世海,等.抽水蓄能电站水库土工膜防渗技术的研究和应用[J].水力发电,2006,32(3):67-80.
[3] 王云祥.复合土工膜在金殿水库防渗处理工程中的应用[C]//王钊,陆士强.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,2000:330-333.
[4] 侍克斌,李玉建,马英杰,等.土工膜全库盘防渗技术在胜利水库的应用及有关问题探讨[J].水利水电技术,2005(11):143-147.
[5] 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.
[6] 沈长松,顾淦臣.复合土工膜厚度计算方法研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(4):395-398.
[7] 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(1):21-26.

(收稿日期 2009-08-31 编辑 马敏峰)