

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.06.021

土工膜黏土组合防渗在溧阳抽水蓄能电站中的应用

宁永升,冯树荣,胡育林,石含鑫

(中国水电顾问集团中南勘测设计研究院,湖南 长沙 410014)

摘要 针对溧阳抽水蓄能电站上水库地质条件复杂、地下水位埋藏深、断层节理裂隙发育、库底填渣厚度变化大(0~70 m)以及不均匀沉降较大等问题,要求防渗材料适应不均匀变形能力强,建议库底防渗采用柔性体形式以适应较大的不均匀变形。经设计比选,确定选用库底土工膜黏土组合防渗方案,以减少渗漏损失,减少土料弃渣,降低工程造价。

关键词 土工膜 黏土 组合防渗 溧阳抽水蓄能电站

中图分类号 TV441 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2009)06-0083-03

Application of composite seepage prevention of geomembrane and clay in Liyang Pumped Storage Power Station//NING Yong-sheng, FENG Shu-rong, HU Yu-lin, SHI Han-xin(HydroChina Zhongnan Engineering Corporation, Changsha 410014, China)

Abstract :According to the complex geological conditions of the upper reservoir, the deep water table, the developed faults and fissures, the large thickness variation of the filling waste in reservoir bottom which ranges from 0 to 70 m and the large uneven settlement, it is required that the impervious material should have a high capacity to suit the differential deformation. The flexible body seepage prevention type is used to meet the arge uneven settlement. Through design and comparison, the combined seepage control scheme of geomembrane and clay was selected so as to reduce the leakage loss and waste slag, as well as the project's cost.

Key words :geomembrane ;clay ;composite seepage prevention ;Liyang Pumped Storage Power Station

溧阳抽水蓄能电站装机容量 150 万 kW,年发电量 14.46 亿 kW·h,年抽水用电量 19.28 亿 kW·h。上水库利用龙潭林场伍员山工区 2 条较平缓的冲沟在东侧筑坝,库盆经修挖后形成,大坝为高 165 m 的面板堆石坝。

上水库地形零乱,沟谷纵横,成库条件较差。地质构造较为复杂,岩层产状变化较大,节理裂隙发育,岩体完整性较差,水库四周山体相对较单薄,地下水及相对不透水层顶板埋藏较深,水库防渗问题突出;库盆防渗体系由于填渣厚度变化大(0~70 m),不均匀沉降较大,要求防渗材料适应不均匀变形能力强。水库集雨面积小,天然来水量少,水库库盆防渗要求高,其防渗方案和施工质量是影响工程有效运行和工程投资的关键技术问题。

设计从解决该工程上水库大量弃渣的堆存、减少上水库死库容、缩短水库初期蓄水时间、降低工程运行维护费用及检修难度和节约工程投资等多方面考虑,对库底防渗方案进行比较研究。

由于库底回填体厚薄不一(0~70 m),根据大坝平面和三维有限元计算成果,库盆竣工期最大沉降

为 86.4 cm,满蓄时最大沉降为 129.7 cm,库底不均匀沉降较大,库底防渗应采用柔性体形式以适应较大的不均匀变形。经设计研究表明,土工膜黏土组合防渗效果好,抗老化性能好,且经济环保,库底土工膜黏土组合防渗方案是可行的。

1 库底土工膜黏土组合防渗设计

上水库库底防渗体需要具有适应不均匀沉降量大、与面板堆石坝连接板变形协调、防渗性能高等性能要求。该工程库底防渗面积达 25 万 m²,库底开挖区与回填区均采用土工膜黏土组合防渗方案,防渗体顶部高程为 248.00 m,土工膜厚 1.0 mm,黏土层厚 4.5 m。

1.1 库底防渗结构形式

库底土工膜黏土组合防渗结构形式在大型水电工程中尚无应用先例,设计对其结构形式进行了比选研究。

由于受黏土储量的制约,单一黏土不能满足库底防渗要求,因此在土工膜和黏土复合防渗结构中,应以土工膜防渗为主,黏土防渗为辅。设计根据土

工膜布置位置拟定 3 种防渗结构形式进行比选,推荐采用以下方案:土工膜布置在黏土下层,防渗体顶部高程为 248.00 m,从上至下依次为 0.3 m 碎石护面层、4.5 m 黏土防渗层、1.0 mm HDPE 土工膜、0.5 m 土工膜下部级配砂垫层、0.5 m 第 1 层反滤层、0.5 m 第 2 层反滤层以及 1.0 m 过渡层。土工膜黏土组合防渗体结构如图 1 所示。

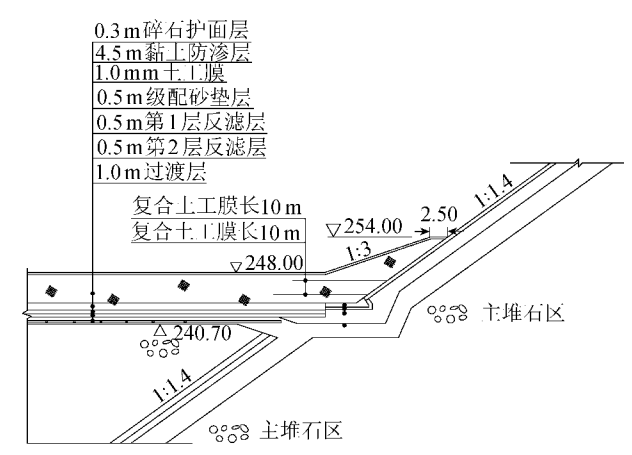


图 1 土工膜黏土组合防渗结构示意图(单位:m)

该方案具有以下特点:①土工膜施工复杂、黏土碾压时土工膜易破损,但通过施工措施可以减少土工膜破损;②土工膜有较厚黏土层保护,不易老化、起鼓;③通过土工膜的渗漏,水能较顺畅地排走,真正起到上堵下排的作用,排水条件好;④土工膜和黏土两道防渗体系,即使土工膜发生破损,但其上部黏土具有自愈能力,防渗可靠性高;⑤由于黏土具有自愈能力,土工膜不需要检修。

1.2 土工膜防渗设计

1.2.1 土工膜选材及其基本性能

根据国内外部分厂家提供的产品技术性能,选用 1.0 mm 厚的 HDPE 土工膜,其物理力学性能指标如下:密度为 0.952 5 g/cm³;吸水率为 0.02%;炭黑质量分数为 2.4%;熔体流动速率为 0.013 g/min;拉伸屈服强度横向为 19.1 MPa,纵向为 19.2 MPa;拉伸屈服伸长率横向为 16%,纵向为 16%;拉伸断裂强度横向为 31.5 MPa,纵向为 32.1 MPa;拉伸断裂伸长率横向为 772%,纵向为 764%;直角撕裂强度横向为 146 N/mm,纵向为 145 N/mm;尺寸稳定性(100℃, 15 min) 横向为 -0.45%,纵向为 -0.33%;抗戳穿力为 648 N;200℃时氧化诱导时间大于 135 min;通过 -70℃低温脆化冲击性能测试,水蒸气渗透系数为 4.86 × 10⁻¹³ g/(m·s·Pa),耐环境应力开裂能力为 2000 h 无破损。

1.2.2 土工膜厚度选择

土工膜厚度直接影响工程质量,确定土工膜厚度时不考虑与黏土的组合作用,仅考虑土工膜单独

作用,并考虑其抗拉破和耐水压能力。

PE 土工膜厚度设计可按理论公式计算,此外还应考虑暴露、埋压、气候、使用寿命等应用条件。铺在颗粒地层或缝隙上的土工膜受水压力荷载时的厚度有 3 种计算方法^[1] 顾淦臣的薄膜理论公式、前苏联全苏水工科学研究院的经验公式、J·P·Gi-roud 的铺在窄缝上的膜近似公式。

考虑到实际施工中接缝的抗拉强度低于母材,需要适当增加土工膜的厚度。经计算和综合考虑,选择厚度为 1.0 mm 的 HDPE 膜。

1.2.3 土工膜防渗层结构设计

土工膜防渗结构由下部支持层、土工膜防渗层和上部保护层组成。土工膜防渗层结构设计任务是研究土工膜防渗层及其下支持层的结构形式和布置,确定每层结构的技术参数指标,包括材质、级配、厚度、渗透性能、压实参数等,提出详细的施工工艺和施工技术要求。

a. 下部支持层。土工膜防渗体下部支持层应满足以下功能:①具有一定的承载能力,以满足施工期及运行期传递荷载的要求;②有合适的粒径、形状和级配,限制其最大粒径,避免在高水压下土工膜被顶破;③保证土工膜下排水通畅;④库底碾压石渣和土工膜之间的填筑料粒径应逐渐过渡,满足层间反滤关系,以保证渗透稳定。根据 SL/T 231—1998《聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范》^[2] 要求,土工膜应铺设在密实的基础上,层面应平整。与膜接触的层面宜为碾压密实的细土层、细砂层或混凝土层,层面应平整。根据可行性研究阶段现场碾压试验成果,土工膜下部支持层为级配砂垫层时,上部黏土碾压对土工膜的损伤相对较小,因此下部支持层推荐采用级配砂垫层,厚度为 0.5 m,在铺设土工膜之前应该对级配砂垫层过筛,不能有粒径超过 3 mm 的碎石。级配砂垫层下部为 1.0 m 厚的反滤层和 1.0 m 厚的过渡层。级配砂垫层既可防止土工膜被碎石刺破,防止铺设时被人为和机械压坏,又可起到排水层的作用,排出膜后的渗透水或孔隙水。

b. 土工膜防渗层。该工程防渗要求较高,采用的土工膜较厚,若选用复合土工膜,在膜布热复合后,两侧未复合的预留连接部位会有严重的折皱现象,从而影响土工膜的接缝焊接质量。另一方面复合土工膜的质量不如光膜,表面缺陷也多于光膜。因此,土工膜防渗层选用厚度 1.0 mm 的 HDPE 膜。应尽可能选用较大幅宽的土工膜,减少接缝,参照泰安抽水蓄能电站经验^[3],选用宽度为 5.1 m 的土工膜。

c. 上部保护层。为避免土工膜表面遭受紫外线照射、高温及低温破坏、生物破坏和机械损伤等,

土工膜上部应设置保护层。本工程采用组合防渗形式,土工膜上部填筑 4.5 m 厚的黏土,既可起到保护层的作用又可以起到压重的作用,上部黏土需碾压填筑,经土工膜和黏土现场碾压试验可知,土工膜上部黏土中如果存在粒径超过 5 mm 的碎石,经碾压后此类碎石易对土工膜产生破坏,经研究首先在土工膜上部铺设 1.0 m 厚的黏土,在土料最优含水量偏湿情况下进行填筑碾压,采用激振力较小的振动碾轻碾,再正常上升填筑。

d. 土工膜防渗层渗漏量。土工膜防渗层的渗漏量由 2 部分组成,即土工膜渗透性产生的渗漏量和施工中产生的土工膜缺陷渗漏量。因该防渗方案库底采用了黏土和土工膜组合防渗形式,库底防渗层渗漏量根据渗流分析黏土和土工膜分别承受的上下水头差进行计算,而土工膜缺陷渗漏量按土工膜与下部 0.5 m 厚级配砂垫层组成的组合防渗层进行计算,总渗漏量为 $665 \text{ m}^3/\text{d}^{[4]}$,渗漏量较小。

1.3 黏土防渗层设计

1.3.1 黏土质量要求

渗透系数小于或等于 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$; 水溶盐质量分数(指易溶盐和中溶盐)小于或等于 3%; 有机质质量分数小于或等于 2%; 浸水与失水时体积变化小。

防渗黏土压实度为 99%,黏土最大干密度为 1.63 g/cm^3 ,最优含水率为 17.6%。施工填筑含水率根据土料性质、填筑部位气候条件和机械等情况控制在最优含水率的 $-2\% \sim +3\%$ 偏差范围内。

1.3.2 黏土层厚度

该工程黏土平均临界渗透坡降为 12.8,考虑黏土作为辅助防渗体,安全系数取低值 1.5,黏土允许渗透坡降为 8.5,该工程作用水头为 43 m,黏土厚度需大于 5 m 才能满足渗透变形要求。但下水库黏土开挖量不能满足填筑 5 m 厚度的要求,为不增加工程投资,采用厚度 4.5 m,基本满足规范要求。

1.3.3 反滤层和过渡层设计

为满足黏土防渗层渗透变形及适应库底回填石渣不均匀沉降的要求,库底防渗体底部必须设置反滤层与过渡层。

a. 反滤层。根据被保护黏土的颗粒级配和反滤层的部位确定反滤层的类型,计算反滤层的级配、层数和厚度。第 1 层反滤层厚 0.5 m, $D_{15} = 0.7 \text{ mm}$, $D_{90} = 20 \text{ mm}$ 第 2 层反滤层厚 0.5 m, $D_{15} = 30 \text{ mm}$, $D_{10} = 20 \text{ mm}$, $D_{90} = 60 \text{ mm}$

b. 过渡层。因库底回填石渣最大控制粒径为 800 mm,而黏土防渗体底部 2 层反滤层总厚度也仅为 1.0 m。为加强反滤层与库底回填石渣反滤过渡

作用,设置厚 1.0 m 的过渡层,采用连续级配设计控制最大粒径 300 mm,粒径小于 5 mm 的石渣质量分数控制在 20% 左右,粒径小于 0.1 mm 的石渣质量分数小于或等于 5%。

1.4 土工膜连接设计

土工膜的接缝设计应以接缝数量最少为佳,接缝应避免弯角设在平面处;焊接搭接宽度宜为 12 cm。HDPE 膜接缝采用焊接工艺连接,焊接接缝的抗拉强度应不低于母材的抗拉强度,在订货时要对厂家提出留边和长度要求,以利于焊接。

为适应土工膜防渗体下库底堆渣及与面板、岸坡连接部位的变形,平面上应留有一定松弛度,且在转折处预留褶皱裕度。土工膜应松弛铺设,以免存在长期应力,因为在长期应力或反复应力作用下,聚合物会因蠕动或疲劳而失去强度,以至于变薄或破裂。

土工膜与面板连接板、库底观测廊道及上水库进(出)水口连接均采用连接锁扣连接。水平连接锁扣大样见图 2。

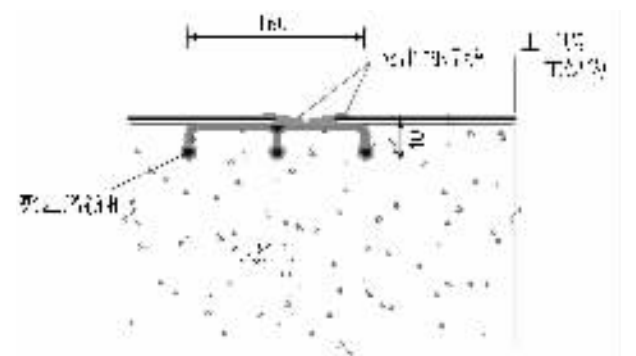


图 2 土工膜水平连接锁扣大样(单位:mm)

1.5 库底土工膜黏土组合防渗体下排水设计

土工膜会产生渗漏,库岸也会产生渗水,土层中的植物腐烂后也可能产生大量的气体,如果土工膜下垫层排水、排气不畅,在运行过程中,土工膜铺盖可能会因下卧层中的反向水压力和气体的作用而受损。因此为防止土工膜受水、气顶托破坏,应该采取排水、排气措施。

排水设计遵循‘上截下排’的原则。为将防渗面板后及库底防渗体底部的渗漏水顺利排走,避免面板和土工膜出现反向压力引起破坏,便于检测渗水情况及维护,设置了完备的排水系统。

库底土工膜黏土组合防渗体设置 2 层厚 0.5 m 的反滤层,在反滤层下部设置厚 1.0 m 的排水过渡层。库底采取开挖区与回填区排水分开的原则进行布置,在开挖区与回填区的边界基岩面上槽挖混凝土塞,设竖向 HDPE 土工膜进行分隔,土工膜一端接在混凝土塞上,另一端伸至黏土层底部。

(下转第 89 页)

准内。一期基坑经常性抽水量为 $2000 \sim 3000 \text{ m}^3/\text{h}$,属正常经常性抽水量。二期土石围堰于 2009 年 6 月建成挡水,为了解复合土工膜斜心墙(心墙)结构的变形情况及防渗效果,在二期上、下游围堰心墙土工膜上共安装 12 支柔性位移计和 7 支渗压计,近期监测成果表明:目前土工膜累计变形在 $-35.20 \sim 24.07 \text{ mm}$ 之间(负值为收缩状态、正值为拉伸状态),上、下游围堰心墙土工膜变形相对稳定、无异常;二期围堰除上游围堰的 1 个监测断面显示很小的渗透压力外(16.78 kPa),其余断面渗压计埋设部位均处于无水状态。目前正进行二期坝基开挖,二期基坑经常性抽水

(上接第 85 页)

在库底开挖区垂直于库底排水观测廊道的方向按合适宽度设置与库底开挖区和回填区边界相同的分隔措施,将开挖区的排水再次分成 8 个区,在每一排水区的过渡层底部垂直排水观测廊道方向的中线上铺设排水主管($\varnothing 200 \text{ mm}$),在垂直于主管方向铺设排水次管($\varnothing 100 \text{ mm}$),间距为 15 m 。排水主管与排水观测廊道相通,汇集开挖区的渗漏水。

库底回填区由于不均匀沉降较大,渗漏水垂直下渗比水平渗流大,分区难以达到有针对检修的目的,故回填区为一个大区,不再分小区。排水管设置位置、管径等同库底开挖区。渗漏水下渗后经过大坝底部排水层汇集到坝脚外量水堰。

2 结 语

a. 土工膜黏土组合防渗作为抽水蓄能电站回填库底的新型防渗尝试,防渗效果有待工程运行检验。

量为 $1500 \sim 2000 \text{ m}^3/\text{h}$,小于设计抽水量。

复合土工膜防渗结构简单,适应性强,施工方便,有利于加快施工进度。只要正确设计,精心施工,严格控制施工过程的每一个环节,就可保证安全可靠地运行。

参考文献:

[1] SL/T 231—98,聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范[S].
[2] GB 50290—98,土工合成材料应用技术规范[S].

(收稿日期 2009-07-06 编辑 高建群)

b. 土工膜黏土组合防渗的关键是如何控制库底不均匀沉降,减少防渗材料的张拉剪切变形。

c. 土工膜黏土组合防渗的难点是土工膜上黏土的碾压施工,如何采取措施保护好下层土工膜是库底防渗施工的关键。

参考文献:

[1] 土工合成材料工程应用手册编写委员会. 土工合成材料工程应用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
[2] SL/T 231—98,聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范[S].
[3] 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): 67-69.
[4] 宁永升,石含鑫. 江苏溧阳抽水蓄能电站上水库防渗设计专题报告[R]. 长沙:中国水电顾问集团中南勘测设计研究院,2009.

(收稿日期 2009-08-22 编辑 方宇彤)

· 简讯 ·

“水文模型国际研讨会”在北京召开

2009 年 10 月 24 ~ 25 日,“水文模型国际研讨会”在北京召开。来自美国、德国、荷兰、澳大利亚、瑞士等国家的专家学者以及国内清华大学、武汉大学、河海大学、四川大学、北京师范大学等著名高校的专家学者和研究生近 200 人参加了会议。本次会议的宗旨在于促进水文模型的研究、应用及交流,推动解决目前水文模型发展中遇到的各类难题和瓶颈。会议安排了 16 个特邀报告和近 20 个专题报告,内容涵盖了与水文模型有关的各个领域,从水文模型的应用发展历程到水文模型当今面临的挑战,从洪水预警预报、水质水量模拟到水资源评价管理、模型不确定性研究,以及当今水文领域研究的热点即气候变化、人类活动对水文过程的影响。

水文模型是水文科学中研究的热点和重要分支之一,是研究水文自然规律和解决水文实际问题的主要工具。随着社会的发展和进步,对水文模型的功能要求越来越多、越来越高,模型结构也越来越复杂。目前新一代的分布式水文模型具有更多的模拟功能,能够把单一水量变化的模拟推向更加广泛的水文水资源生态环境问题的模拟,大大拓宽了模拟领域。但随着理论上的深化以及应用的拓展,水文模型的发展也遇到了各类难题和瓶颈。另一方面,随着计算机技术、空间技术、遥感遥测技术、地理信息系统技术等飞速发展,必将促进和推动水文模型的研究和应用。

(本刊编辑部供稿)