

DOI: 10.11779/CJGE2016S1019

三维复合排水网在抽水蓄能电站库底防渗中的研究与应用

石含鑫, 李翔, 胡育林, 王小平

(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014)

摘要:溧阳抽水蓄能电站上水库库底采用土工膜防渗,遵循“上截下排、防排结合”原则,土工膜下通过设置三维复合排水网,以汇集透过土工膜后的渗漏水并及时排走,三维复合排水网在类似水电工程中大面积使用尚属首次,其实际排水效果及能力有待工程蓄水投运后进行检验。

关键词:土工膜;防渗;三维复合排水网;溧阳抽水蓄能电站

中图分类号: TV233.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2016)S1-0104-05

作者简介:石含鑫(1979-),男,高级工程师,主要从事水电水利工程设计与研究工作。E-mail: 80993736@qq.com。

Application of three-dimensional composite drainage net in reservoir bottom seepage prevention system of Liyang Pumped Storage Power Plant

SHI Han-xin, LI Xiang, HU Yu-lin, WANG Xiao-ping

(Powerchina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China)

Abstract: The geomembrane is adopted for seepage-prevention in the upper reservoir bottom of Liyang Pumped Storage Power Plant. According to the principle of “upper closure and lower drainage and combination of water resistance and drainage”, the three-dimensional composite drainage net is set up below the geomembrane to collect and drain leaked water through the geomembrane in time. It is the first time to adopt so large area of three-dimensional composite drainage net in the hydropower project in China. The actual drainage effect and capacity should be tested after the impoundment and operation of the project.

Key words: geomembrane; seepage-prevention; three-dimensional composite drainage net; Liyang Pumped Storage Power Plant

1 依托工程概况

溧阳抽水蓄能电站工程处江苏省苏南地区溧阳市境内,主要任务是为江苏电力系统提供调峰、填谷和紧急事故备用,同时可承担系统的调频、调相等任务。电站总装机容量1500 MW (6×250 MW),发电最大水头290.00 m,最小水头227.30 m,额定水头259.00 m,洞长水头比为7.9。电站供电范围为江苏省电力系统,通过2回500 kV线路接入500 kV溧阳变电站。电站初期蓄水和运行期补水水源为下水库临近侧的沙河水库。

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。水库正常蓄水位291.00 m,设计洪水位291.44 m,校核洪水位291.64 m,死水位254.00 m,水库总库容1422万m³。大坝为高165 m,总填筑料达1500万m³的钢筋混凝土面板堆石坝。

上水库工程地质条件较为复杂,岩层产状变化大,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(均远低于水库正常蓄水位),加上水库集雨面积小、天然来水量少,水库防渗问题突出,需进行全库盆防渗。经防渗多方案比选论证,最终选定采用“大坝及库岸钢筋混凝土面板、库底土工膜”的全库盆组合防渗方案。

上水库库底采用“高挖低填”,防渗面积达25万m²,其中开挖区约占1/3,回填区约占2/3。因石渣回填区厚度变化大(厚3~75 m)引起不均匀沉降变形较大,故要求防渗材料应具有较强的适应不均匀变形能力。设计从解决本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,减少施工难度,加快施工进度和节约工程投资等多方面考虑,对库底防渗材料进行多方案研究比选,选定库底防渗材料采用土工膜。为解决膜下排水问题,本工程对近年新兴起的土工排

水材料进行选型, 并与传统的碎石排水层进行比选, 大胆尝试采用新材料、新工艺, 为节省工程投资、加快施工进度、累积土工排水网设计及施工经验提供了有益探索。

2 土工膜下部支持层要求

土工膜会产生渗漏, 土工膜防渗层的渗漏量由两部分组成: 土工膜本身渗透产生的渗漏量和施工中产生的土工膜缺陷引起的渗漏量。经计算, 本工程库底土工膜本身渗漏量约为 $63 \text{ m}^3/\text{d}$, 土工膜缺陷渗漏量为 $695 \text{ m}^3/\text{d}$, 土工膜总渗漏量为 $758 \text{ m}^3/\text{d}$ 。库岸面板也会产生渗水, 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。为此, SL/T 225—98《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》5.1.3 条中提出“为防止土工膜受水, 气顶托破坏, 应该采取排水、排气措施”^[2]。

本工程上水库库底防渗土工膜主要为水平向铺设, 下部排水层亦主要为水平向排水为主, 坚向排水为辅。根据此特点, 为及时将透过土工膜后的渗漏水排走, 需选用排水性能良好的下部支持层, 其应满足以下基本功能要求: 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保证土工膜下的排水通畅; 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。

3 土工膜下部支持层选择

3.1 问题提出

本工程土工膜主要为水平或 $1:10$ 坡比缓坡面上平面铺设, 设计起初选定的防渗体结构层如图 1 所示。

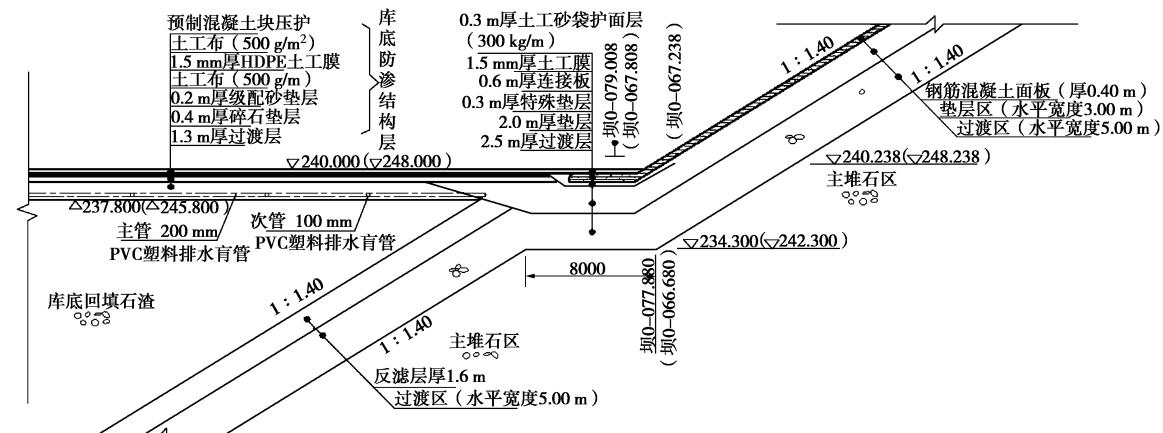


图 1 库底防渗体结构层典型剖面图

Fig. 1 Typical section of impermeable structure of reservoir bottom

土工膜下部支持层的作用是均化受力荷载和排出防渗土工膜层膜下渗水。仅采用级配砂垫层和排水盲管排水存在以下问题: ①级配砂为下水库开挖的微—新凝灰岩轧制而成, 纯砂料厚度约需 0.5 m。由于微—新凝灰岩强度高, 韧性大, 制砂率较低, 砂料加工成本高; ②级配砂垫层填筑施工压实较困难, 且在土工膜施工时, 可能会造成局部破坏, 局部不平整; ③级配砂垫层为散粒体结构, 对减少库底不均匀沉降对土工膜的拉伸影响作用不大; ④排水盲管的埋设需挖槽并回填粗砂(或砂砾石, 见下图 2), 这些纵横交错的沟槽很难回填密实, 在库水压力下变形下沉量难以控制, 将对其上部土工膜产生极为不利影响。

因此, 需对下部支持层进行深入比选研究, 确定最优方案。

3.2 各方案拟定

通过调研相关工程及材料厂家, 经收集整理分析, 土工膜下部一般采用以下几种材料进行排水及反向保护: 土工席垫、三维复合排水网、级配砂垫层及碎石排水层。

(1) 土工席垫

土工席垫是一种以乱丝熔融铺网而成的新型土工合成材料, 它耐压高、开孔密度大, 具有全方位集水、水平排水功能。其宽度一般 100~200 cm, 厚度 6~20 cm, 抗压强度 80~500 kPa。并可根据工程要求订做其它规格和性能的产品。

土工席垫与无纺土工布复合后, 能在掩埋的封闭覆盖层之下, 将汇集渗透透过土壤覆盖层的雨水或堆场本身排放的污水, 利用其独特的排水功能, 按照工程要求从土工席垫夹层中有序排放, 而不会形成淤堵。因此可以避免因土壤覆盖层吸水饱和而产生可能的滑动问题。土工席垫与 HDPE 土工膜结合应用时, 同时能起到很好地保护 HDPE 膜不被穿刺的作用, 应用的典型项目有泰安抽水蓄能电站。土工席垫主要技术指标见表 1。

表 1 土工席垫技术指标

Table 1 Technical indices of soil mat

检测项目	CDK-05	CDK-06	CDK-08	CDK-10	CDK-15	CDK-20
厚度(不包含滤膜厚度)/mm	5	6	8	10	15	20
抗压强度			压缩量 10%, 250		压缩量 10%, 280	
拉伸强度		≥6.0 kN/m (包含滤膜, 200 g/m ² 长丝土工布)			≥6.0 kN/m (包含滤膜, 200 g/m ² 长丝土工布)	
伸长率			≥40%			
垂直渗透系数/(cm·s ⁻¹)		≥5×10 ⁻¹			≥1.0	
孔隙率			80~90%			
水平导水率(i=1)		200 kPa 条件下, 大于 5×10 ⁻³ m ² /s				
材质		高密度聚乙烯 (HDPE)				
卷宽度		1 m				
卷长度		30 m (可根据需要生产)				
滤膜		200 g/m ²				

说明: ①产品最大幅宽 4~6 m, 卷长根据用户需求任意确定; ②如有特殊要求, 产品指标可根据工艺进行调整以满足工程需要。

盲沟挖槽埋放示意 1: 20

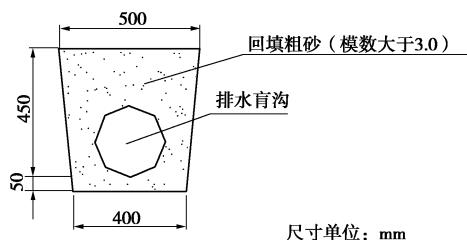


图 2 库底防渗体下排水结构层典型剖面图

Fig. 2 Typical profile of bottom water drainage structure of reservoir bottom

其主要优点是透水率较大, 排水性能好, 防顶刺能力强。缺点是小幅宽土工席垫的拼接接缝多、缝间易产生较大的缝隙而成为承载的薄弱环节; 大幅宽土工席垫因受限运输原因不能做卷长过长的卷筒运输, 即长度受限, 不利快速铺设施工。此外, 由于土工席

垫材料本身原因及厚度较厚等, 打开铺设时易出现局部弯曲变形致使铺设后表面平整度较差, 对土工膜焊接施工较为不利。

(2) 三维复合土工排水网

三维复合土工排水网为近年兴起的新材料, 主要由立体结构的土工网(高密度聚乙烯)双面复合土工布组成, 可替代传统的沙粒和砾石层, 目前在市政工程及垃圾填埋场工程中逐步得到广泛应用。

三维复合排水网以高密度聚乙烯为原材料, 通过特殊的机头挤出肋条, 3 根肋条按一定间距和角度排列形成有排水导槽的三维空间结构。中间肋条具有较大的刚性, 形成矩形的排水通道。组成排水网的 3 层肋条具有较高的纵横向抗拉强度和抗压强度, 三层肋条间形成的排水导槽在较高荷载下不易变形, 能够防止土工织物嵌入土工网芯, 确保排水畅通。三维复合排水网主要技术指标见表 2, 实物照片见图 3。

表 2 三维复合排水网主要技术指标表

Table 2 Main technical indices of three-dimensional composite drainage net

检测项目	检测值			
	1200 g	1400 g	1600 g	1800 g
复合体单位面积质量/(g·m ⁻²)	≥1200 g	≥1400 g	≥1600 g	≥1800 g
复合体厚度/mm	≥6.0	≥7.0	≥8.0	≥9.0
复合体纵向抗拉强度/(kN·m ⁻¹)	≥16.0	≥16.0	≥16.0	≥16.0
复合体导水率/(m ² ·s ⁻¹)	≥1.2×10 ⁻⁴	≥1.2×10 ⁻⁴	≥1.2×10 ⁻⁴	≥1.2×10 ⁻⁴
网芯与无纺布的剥离强度/(kN·m ⁻¹)	≥0.3	≥0.3	≥0.3	≥0.3
网芯厚度/mm	≥5.0	≥5.0	≥6.0	≥7.0
网芯的抗拉强度/(kN·m ⁻¹)	≥13.0	≥15.0	≥15.0	≥15.0
无纺布单位面积质量/(g·m ⁻²)	≥200	≥200	≥200	≥200
无纺布法向渗透/(cm·s ⁻¹)	≥0.3	≥0.3	≥0.3	≥0.3
幅宽/m	≥2.1	≥2.1	≥2.1	≥2.1
卷长/m	≥30	≥30	≥30	≥30

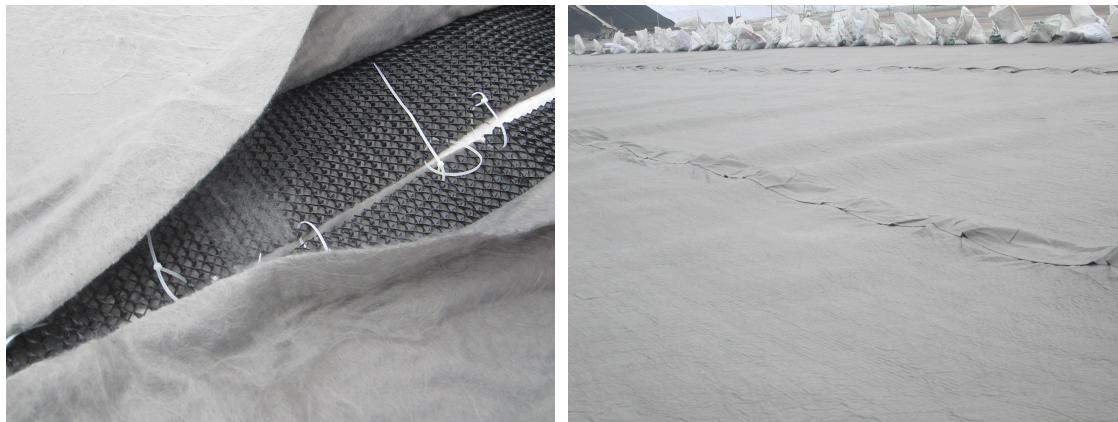


图 3 三维复合土工排水网铺设

Fig. 3 Layout of three-dimensional composite earthwork drainage net

表 3 各方案综合比较表

Table 3 Comprehensive comparison of various programs

比较项目	土工席垫	三维复合排水网	级配砂垫层
排水性能	优	良好	一般
施工难易程度	施工便利, 工期较短	施工便利, 工期短	级配砂压实需采用水密法, 压实度难以保障; 土工膜施工对砂垫层影响较大。
改善土工膜受力	较好	好	一般
工程应用实例	泰安蓄能	主要垃圾填埋项目	水库、渠道工程
原料来源	由专门厂家生产	由专门厂家生产	质量较好的天然砂难以获得, 需要外购, 且运距较远。
可比工程造价/万元	1176.70	831.67	1135.84

三维复合排水网的主要作用特性:

a) 铺设在地基和底基之间, 用于排出地基与底基之间积水, 阻断毛细水并有效地结合到边缘排水系统中。这种结构自动缩短了地基的排水途径, 排水时间大大减短, 而且可以使精选地基材料的使用数量减少(即可使用带有更多细料, 渗透率较低的材料)。

b) 在底基层铺设三维复合排水网能够防止底基细料进入地基层(也就是起到隔离作用)。骨料基层会在有限程度内进入土工网的上层部分。这样, 复合土工排水网还有一种潜在的限制骨料基层横向移动的作用, 在这个方式上, 它的作用类似于土工格栅的加固作用。一般来说, 复合土工排水网的抗拉强度和刚性优于许多用于地基加固的土工格栅, 这种限制作用将提高地基的支撑能力。

三维复合排水网主要优点简要可归纳为: ①排水性强(相当于一米厚砾石排水); ②抗拉强度高、平整度较好; ③减少土工织物嵌入网芯的机率, 保持长期稳定的排水; ④长期承受高压载荷(能承受大约3000 kPa的压缩载荷); ⑤耐腐蚀、耐酸碱、使用寿命长; ⑥施工方便、缩短工期、降低成本。主要不足是因厚度较薄, 防顶刺能力较差, 需确保基面无过大尖锐物, 以防顶刺到上覆防渗土工膜。

(3) 级配砂垫层

级配砂垫层为级配较为均一的细砂, 需过筛筛选, 不得有粒径超过4 mm的细石, 厚度20~30 cm。

其主要优点是稳定性好; 缺点是受降雨影响施工难度较大, 不易碾压密实, 且土工膜施工时人为踩踏宜形成凹坑。此外, 本工程近处无天然河沙, 细砂均需要外购, 运距远、成本高。

3.3 方案比选及结论

各方案综合比较见表3。

经综合比较, 三维复合排水网具有施工便利、改善土工膜受力条件、造价偏低等优势, 确定本工程采用三维复合排水网。

4 三维复合排水网在本工程中实际应用情况

在本工程现场进行了生产性试验, 将不同规格、两家不同厂家提供的三维复合排水网进行试铺, 结果表明: 单位面积质量越大的三维复合排水网, 试铺后沿长边方向普遍存在波纹状隆起、起伏不平(最大达13 cm), 平整度较差, 且聚乙烯网芯亦较硬, 引起在周边处棱角尖锐, 易对上覆土工膜施工及运行造成顶刺等不利影响。而单位面积质量偏小的, 其厚度相对偏薄, 网芯较柔但排水能力降低较多; 经充分论证在三维复合排水网复合体单位面积质量 $\geq 1300 \text{ g/m}^2$, 复合体纵向抗拉强度 ≥ 16.0 三维复合排水网网芯相对柔软, 波浪起伏的现象得以大幅度改善。为确保上水库库底防渗体结构的可靠性, 经与生产厂家联合研究, 在保证平整度(表面平整度(纵横向)用1 m直尺检

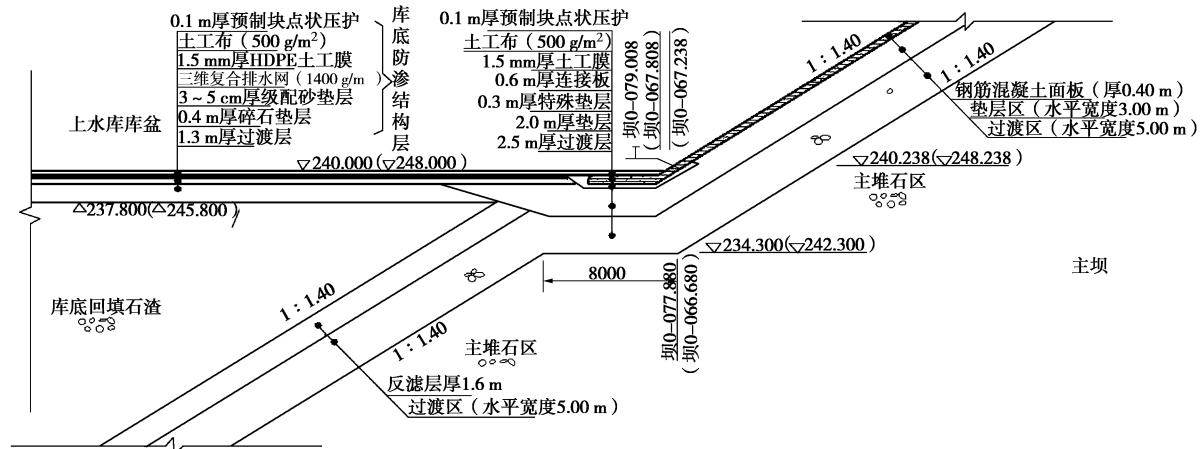


图 4 选定库底防渗及排水结构层典型剖面图

Fig. 4 Typical profile of seepage and drainage structure at bottom of selected reservoir

表 4 三维复合排水网主要性能指标表

Table 4 Main performance indices of three-dimensional composite drainage net

参数		技术指标
复合体部分	单位面积质量/(g·m⁻²)	≥1300
	厚度/mm	≥8.0
	纵向抗拉强度/(kN·m⁻¹)	≥16.0
	纵向导水率/(m²·s⁻¹)	≥3.0×10⁻⁴
	网芯与无纺布的剥离强度/(kN·m⁻¹)	≥0.17
	幅宽/m	≥4.0
	卷长/m	≥30
网芯	厚度/mm	≥6.0
	密度/(g·m⁻³)	≥0.939
	炭黑含量/%	2~3
	纵向抗拉强度/(kN·m⁻¹)	≥9.0
	纵向导水率/(m²·s⁻¹)	≥3.0×10⁻³
长丝无纺布	单位面积质量/(g·m⁻²)	≥200
	厚度/mm	≥1.6
	法向渗透系数/(cm·s⁻¹)	≥0.3
	注: 长丝土工布其他技术指标应符合 GB/T17639 的规定	
幅与幅间连接并缝合好后, 表面平整度(纵横向)		用 1 m 直尺检查, ≤5 cm。

查, $\leq 5 \text{ cm}$) 较优、排水能力有保障前提下, 尽量调整聚乙烯网芯材料配比, 降低其硬度在合适范围内, 并保证排水网厚度足够。经研究并按要求重新生产后试铺, 最终采用的三维复合排水网主要性能指标见表 4。

为防止碎石垫层表面粗粒径的小石穿过三维复合排水网顶刺防渗土工膜, 在碎石垫层施工完成后的表面, 再薄层铺筑碾压一层级配砂层(厚 3~5 cm), 以全面彻底覆盖碎石垫层表面, 并要求级配砂层不得有粒径超过 4 mm 的碎石, 详见图 4。

三维复合排水网的接缝和搭接: ①调整土工合成材料的方向, 使材料卷的长度方向平行于土工膜长度

方向; ②复合土工排水网必须端接, 相邻土工网芯上的土工布沿着材料卷搭接; ③把相邻的土工材料卷的土工网芯用白色塑料扣或聚合物带子连接起来, 从而连接材料卷, 并沿着材料卷的长度方向, 每隔 20 cm 用带子连接一次; ④搭接的土工织物的方向要与填料堆放的方向一致, 若土工材料铺设在地基/基层和底基层之间, 要进行连续楔形焊接、平头焊接或缝合, 使搭接的土工织物上层得到固定, 如果缝合, 宜使用平头缝法或一般缝法, 以达到针脚长度的最低要求。

5 结语

本文结合溧阳抽水蓄能电站上库库底防渗工程特点, 对三维复合排水网作为膜下排水材料进行了研究与比选论证, 并创新性地以三维复合排水网取代可研阶段推荐的“级配砂垫层+排水盲管”排水方案, 提出了适合本工程特点的排水结构层及三维复合排水网性能指标和施工工艺, 简化了施工程序, 加快了施工速度, 现已在溧阳工程中得到顺利实施, 取得了较好的经济效益并缩短了 3 个月工期。

参考文献:

- [1] 土工合成材料工程应用手册编委员会. 土工合成材料工程应用手册[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. (Editorial board of Geosynthetics Engineering Application Handbook. Geosynthetics engineering application handbook[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2000. (in Chinese))
- [2] SL/T 225—98 水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S]. 1998. (SL/T 225—98 Standard of applications of geosynthetics in hydraulic and hydro power engineering[S]. 1998. (in Chinese))