

# 蓄水调节池工程复合土工膜施工技术探讨

王 鑫

塔城水利设计研究院有限公司 新疆 塔城 834300

**【摘要】**：随着水利工程建设的不断发展，复合土工膜作为一种高效、可靠的防渗材料，在蓄水调节池等工程中得到了广泛应用。复合土工膜的施工质量直接关系到蓄水池的防渗效果及工程的安全稳定。本文结合塔城地区裕民县哈拉布拉灌区蓄水调节池工程的实际情况，对复合土工膜的施工技术进行了深入探讨。文章从工程概况入手，详细阐述了复合土工膜的施工准备、基础处理、铺设工艺、焊接技术以及质量检测等关键环节。特别强调了在常规检测方法之外，引入第三方专业检测机构进行电火花检测和双电极检测的必要性和实施方案，以此构建全方位的防渗质量保障体系。通过对重点部位（如坝顶、建筑物结合部、圆弧段等）施工难点的剖析及应对措施的总结，本文旨在为类似平原蓄水工程的防渗施工提供具有参考价值的技术经验和规范化管理思路，从而提升工程的整体质量与使用寿命。

**【关键词】**：蓄水调节池；复合土工膜；防渗施工；焊接技术

DOI:10.12417/3083-5526.25.07.022

## 1 引言

在现代水利工程尤其是平原蓄水池工程当中，防渗处理属于决定工程成败的关键因素之一。塔城地区裕民县哈拉布拉灌区蓄水调节池工程，总库容 300 万  $m^3$ ，蓄存汛期多余泄水来补充农业灌溉，年供水量为 365 万  $m^3$ ，工程规模为小（1）型。该调节池围坝和池底全部用 400g/0.75mm/400g 复合土工膜做全断面防渗。复合土工膜由于具有较好的抗拉强度、耐老化性以及低渗透系数，因此被用作该类工程防渗体材料的首选<sup>[1]</sup>。但是复合土工膜的防渗效果不是由材料本身物理力学性能决定的，在很大程度上是由施工过程中精细化的操作和严格的质量控制来保证的。特别是对大面积铺设、复杂的节点处理和大风等恶劣气候条件下，怎样保证焊缝严密性、膜面完整，就成为施工技术的重大难题<sup>[2]</sup>。因此，本文将围绕哈拉布拉灌区蓄水调节池工程展开论述，就复合土工膜施工全过程中的关键技术及质量控制体系进行详细的阐述，主要研究多重防漏检测手段的应用，希望可以给其他类似工程提供科学严谨的技术指导。

## 2 工程概况与复合土工膜材料特性

### 2.1 调节池工程基本情况

哈拉布拉灌区蓄水调节池工程位于裕民县县城东南侧，为平原蓄水工程。调节池平面基本为南北向的长方形布置，池顶轴线全长 2540m，最大围坝高 14.55m，设计蓄水位 823.5m。调节池的防渗系统是工程的重中之重，围坝和池底都用复合土工膜做为主要防渗层，总面积达到约 35.03 万  $m^2$ <sup>[3]</sup>。围坝护坡结构由上到下依次为 15cm 厚 C25 混凝土板和复合土工膜；池底防渗结构为 50cm 厚开挖料覆盖在复合土工膜上。巨大的铺设面积、分层覆盖的结构设计，给复合土工膜施工进度安排、成品保护提出了很高的要求<sup>[4]</sup>。

### 2.2 复合土工膜的技术指标及选型

本工程防渗要求高，根据土工合成材料应用技术规范，选用的复合土工膜厚度不应小于 0.5mm。工程实际采用的是规格为 400g/ $m^2$ /0.75mm/400g/ $m^2$  的两布一膜复合土工膜，中间层为 0.75mm 厚的 HDPE（高密度聚乙烯）防渗膜，两侧复合 400g/ $m^2$  的长纤无纺土工布。该种材料组合不但有良好的防渗性能，而且可以防止下部基础颗粒对膜的刺破破坏，还可以增加膜和上下层结构之间的摩擦系数，有利于边坡的稳定。其技术性指标为标称断裂强力  $\geq 14KN/m$ 、耐静水压  $\geq 1.4Mpa$ 、剥离强度  $\geq 6N/cm$ ，保证材料在承受大水压力和不均匀沉降的时候物理结构不被破坏<sup>[5]</sup>。

## 3 复合土工膜施工前期的准备与基础处理

### 3.1 施工材料的驻厂监造与进场控制

由于复合土工膜在工程中起着重要的作用，所以材料质量控制要从生产环节开始。项目部成立以监理工程师、工程质量部负责人为主的驻厂监造组，对复合土工膜的生产进行全过程的监督。监造内容包括生产准备检查、过程工艺监督和产品交付验收等几个方面，保证出厂材料的各项性能指标满足《合成材料聚乙烯复合土工膜》等国家标准的要求。材料运到现场后需要使用专业吊装设备装卸，底部铺设黑心棉毡，顶部设置彩条布防晒，防止由于运输或者保管不当造成的机械损坏、老化变质。进场材料要按照规范做抽样复检，不得使用任何有严重缺陷或者不符合要求的材料。

### 3.2 基础开挖、夯实与平整度控制

复合土工膜铺设的基础要坚实、平整，这是防止膜体被刺破的前提。碾压完成后用人工配合挖掘机对坡面进行处理，消除错台、凹坑，突出块石及局部松散处需要再夯实。池底部分开挖、精平时要将大粒径块石、树根等尖锐杂物全部清除，基础面上阴阳角处应做圆滑过渡，半径不小于 2m。为了保证基

础的承载能力和抗变形能力，池底基础应采用 26t 振动压路机静压 2 遍、振动碾压 8 遍的方式进行处理，使基面压实相对密度大于 0.80，满足设计要求的承载力大于 300Kpa。只有经过参建各方联合验收合格的基础面，才能进行下一步的土工膜铺设。

#### 4 复合土工膜的铺设与焊接工艺

##### 4.1 分区分块的流水化铺设作业

对于 35 万平方米的工程量来说，复合土工膜的铺设要依照科学的流水化作业原则。施工布置时把坝坡分成 4 个区段，池底分成 2 个区段，采用自西向东流水、自东向西施工的顺序。铺设时必须坚持设备不上膜的原则，用人工滚铺的方式展开，膜的展开要一次完成，不能二次拖拽造成损伤。铺设时，相邻幅土工膜的搭接宽度应控制在 20cm±2cm 之内，留出材料热胀冷缩所需要的伸缩余量。坝坡铺设时应按自上而下顺序进行，距坝顶边线 50cm 处设锚固沟，当日铺设完成后应立即压土锚固，膜面四周每隔 2m 左右设沙袋防风沙破坏。

##### 4.2 重点及特殊部位的精细化处理

调节池有诸多结构复杂的部位，防渗处理是整个系统最薄弱的环节。

(1) 坝顶和坡脚处用深 50cm、宽 50cm 的锚固沟将土工膜埋入并夯实，待膜调整完毕并完成周边焊接后，再浇筑素混凝土做永久锚固。

(2) 与放水涵洞及消力池的联结：土工膜需锚固于混凝土底板及洞身周围。采用钻孔固定镀锌膨胀螺栓，涂刷聚硫密封胶，用氯丁橡胶垫片和钢板压紧密封，形成嵌入式封闭防渗体。

(3) 圆弧段铺设，在边坡角点交汇处的圆弧段由于转弯半径的影响，土工膜如果未经裁剪很容易造成“悬空”或者“起鼓”。操作人员应准确计算，将膜片裁剪成“倒梯形”，必要时采用一布一膜结构过渡铺设，保证膜面紧贴基底。

##### 4.3 双缝热熔与单缝挤压焊接技术

复合土工膜的拼接质量决定防渗效果的好坏。本工程主体拼接用双缝热熔焊机，修补和特殊节点用单缝挤压焊机。热熔焊接前必须彻底清除搭接面(约 200mm)的灰尘和水分，保持干燥清洁。每次正式焊接前或者环境温度发生较大变化时，必须做不小于 300×600mm 的小样试焊，在拉伸机上做剪切、剥离试验。试焊成功标准为，测试时只能撕破母材，焊缝不能破坏。只有试验合格后才能锁定设备参数(温度、速度)进行大面积施工。焊接时操作人员要仔细观察指示仪表，保证焊缝平整整齐，中心厚度应为防渗膜厚度的 2.5 倍以上且不小于 3mm。对 T 字形交叉缝或者局部破损处必须用挤压焊加盖不小于 300×300mm 的补丁来修补，保证整体严密性。

#### 5 构建多维度的土工膜防渗质量检测体系

防渗质量检测不但是对施工过程的监督，也是防止后期工程隐患的最后一道防线。本工程严格按照规范规定的常规检测项目，在此基础上又引入了第三方专业检测机构，采用电火花检测、双电极检测技术对复合土工膜裸膜状态到覆盖层回填后全过程的渗漏情况进行检测。

##### 5.1 常规目测与充气打压检测

焊接施工过程中接缝质量检测与进度同步进行，逢缝必检。先通过目视观察焊缝是否均匀，有无漏焊、焊跑边、气孔、夹渣等缺陷。另外对所有的双道热熔焊缝都做 100%的充气正压检测。将焊缝两端封闭，插入充气针头，向焊缝空腔内充入 0.10MPa~0.25MPa 的压缩空气。保压观察 3 到 5 分钟，压力下降值小于 10KPa 的段焊缝为合格段。充气测试完毕后立即用挤压焊密封测试针孔。对不合格区域要分段排查漏气点并做修补复测。

##### 5.2 裸膜状态下的电火花渗漏检测

为彻底排查土工膜在生产、运输和铺设过程中可能出现的微小针眼、孔洞，项目部请第三方检测机构对两布一膜铺设完成但是还没有进行盖重回填之前进行 100%全覆盖的电火花检测。

检测原理为电火花检测，是利用防渗膜上下介质的绝缘性能不同。检测时将供电负极接到库区边缘膜下基底，正极接金属导电刷，在膜上表面移动。金属刷经过破损孔洞时，电流击穿空气形成闭合回路，产生电火花并发出仪器的声光报警。实施要点：探测前需确保膜面干燥、无泥土杂物。用预先在膜上刺破一个小孔进行现场校准，保证仪器灵敏度合格后才能进行大面积扫探。该方法可以有效地、准确地找到直径为毫米级的缺陷，一旦报警，立即标记出来并用挤压焊修补，把隐患消除在覆盖之前。

##### 5.3 覆土状态下的双电极渗漏检测

池底土工膜在铺设完成后回填 50cm 厚的砂砾石盖重料之后，施工机械(挖掘机、压路机等)的作业很容易对土工膜造成二次隐蔽性的破坏。为了克服覆土后无法直接查看的弊端，采用第三方检测公司对盖回填后进行了双电极渗漏检测。

检测原理是在主防渗膜上、下介质中分别放上供电电极，形成电场。膜完好时回路无电流通过；有孔洞漏洞时回路导通，在膜上、下介质中形成稳定的电流场。检测人员在地上移动测量电极，观测电势差的变化，用等势分布图来准确找出漏点的位置。实施要点为检测前必须对检测区域进行充分的洒水湿润，使 50cm 厚的砂砾石覆盖层完全浸透，含水率不低于 20%，保证良好的导电性。(2) 网格化探测，把庞大的池底分成面积不超过 3000 m<sup>2</sup> 的网格单元逐区排查。检测人员用蛇形循环扫探，注意观察仪表信号，当正负电极电势差有明显变化的时候，

就判断为可疑点。(3)开挖及复测,确定漏洞坐标后,人工小心地开挖周围50cm范围的覆盖层,露出受损土工膜进行修补(一般采用打补丁法),修补完成后对该区域进行二次复测,保证万无一失。该种检测手段给覆土后的土工膜完整性赋予了非常有力的科学评定。

表1 蓄水调节池土工膜防渗检测体系及方法对比

检测阶段	检测方法	检测对象及范围	基本原理及判定标准	实施主体
施工作业中	目测法	全场所有焊缝及接点, 100%	观察外观平顺度, 无褶皱、夹渣、虚焊即合格	施工方/ 监理方
施工作业中	充气压力法	所有双轨热熔空腔焊缝, 100%	充气 0.15-0.25MPa, 保压 3-5 分钟, 压降 ≤ 10KPa 为合格	施工方/ 监理方
裸膜铺设后	电火花检测	护坡及池底全区域裸膜, 100%	膜面金属刷扫探, 遇破损孔洞产生电火花声光报警	第三方检测机构
盖重回填后	双电极检测	池底覆土 50cm 区域, 100%	在湿润覆土上捕捉闭合回路漏电场, 绘制电势图定位漏点	第三方检测机构

## 6 结论

塔城地区裕民县哈拉布拉灌区蓄水调节池工程施工中复合土工膜防渗施工是系统性的、精细化的工程。为了保证大面积防渗结构的安全、长期使用,必须建立从材料源头到施工结束的全过程质量控制体系。施工过程中要重视基础压实、合理分区流水铺设、严格的环境适应性焊接工艺,还要在关键节点(坝顶锚固、建筑物连接)采取因地制宜的特殊处理措施。

更重要的是,本工程冲破了只依靠常规充气打压检测的局限,积极引进第三方独立检测机构,全面使用电火花检测和双电极检测技术。双重保险体系即“自检加第三方专检”,土工膜施工中微小针眼难查、覆土后二次破坏难查的技术盲区被完全消除,防渗质量的可靠性得到大幅度提高。科学严密的施工组织和先进的检测技术相结合,本工程给类似平原水库和蓄水调节池的复合土工膜防渗施工提供了一个很好的范例,有很高的行业推广和借鉴价值。

## 参考文献:

- [1] 宋立冬.塔城裕民县哈拉布拉灌区蓄水调节池工程设计初探[J].陕西水利,2025(7).
- [2] 王艳,王韧,杨金凤,等.基于水质水动力模型的人工调蓄池高质量供水研究[J].人民长江,2025,56(2):9-16.
- [3] 李枫.基于复合土工膜防渗技术的调蓄水池施工技术研究[J].工程与建设,2025,39(5):1157-1160.
- [4] 赵素刚,盛银涛.某新建蓄水池施工质量控制策略的探讨[J].四川水泥,2025(1):151-152.
- [5] 李敏.水利工程中调蓄水池施工工艺及质量要求分析[J].水上安全,2024(24):100-102.