

浅谈水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术的应用

涂承阳 姜亚秋

长江河湖建设有限公司 湖北 武汉 430021

【摘要】：塑性砼防渗墙凭借其良好的防渗性能、适应变形能力及经济性，在水利工程中得到广泛应用。本文结合实际案例，阐述了水利工程施工中塑性砼防渗墙的施工技术，包括导墙施工、泥浆配比及制备、成槽、清底换浆、塑性混凝土拌合、浇筑及相邻槽孔砼接头施工等技术要点，分析了其应用效果，并提出了相应的质量控制措施，旨在为类似水利工程提供参考。

【关键词】：水利工程；塑性砼防渗墙；施工技术；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.070

引言

在水利工程建设中，防渗是保障工程安全稳定运行的关键环节。塑性砼防渗墙作为一种有效的防渗结构，具有抗渗性能好、柔韧性强、施工便捷等优点，能够有效阻止地下水渗透，减少坝体渗漏量，保护坝体结构安全。随着水利工程建设的不断发展，对塑性砼防渗墙施工技术的要求也越来越高。因此，深入研究塑性砼防渗墙施工技术在水利工程中的应用，对于提高工程质量、保障工程安全具有重要意义。

1 案例概况

某水利枢纽工程位于长江流域支流，主要功能为防洪、灌溉、发电等。该工程坝体为均质土坝，最大坝高35m，坝长850m。由于坝基为砂砾石层，透水性较强，为防止坝基渗漏，设计采用塑性砼防渗墙进行防渗处理。防渗墙布置在坝轴线处，墙长850m，墙厚0.8m，最大墙深42m，采用钻劈法成槽施工。

该工程地质条件复杂，坝基范围内存在多层砂卵石层，渗透系数较大，达 10^{-2} - 10^{-3} cm/s，给防渗墙施工带来了一定难度。施工过程中，严格按照设计要求和施工规范进行操作，采用先进的施工设备和技术，如GPS定位系统用于导墙施工放线，液压抓斗配合冲击钻机进行成槽作业，确保了塑性砼防渗墙的施工质量。

2 水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术应用方法

2.1 导墙施工技术

导墙是塑性砼防渗墙施工的导向结构，其主要作用是确定防渗墙的位置、保证成槽施工的精度、防止槽口坍塌等。本案例中导墙采用C20钢筋混凝土结构，截面形式为“L”形，顶宽1.2m，底宽0.8m，高度1.5m。施工前，先进行场地平整和基坑开挖，基坑开挖深度根据地质条件和导墙设计高度确定，一般为1.8-2.0m。开挖完成后，对基坑底部进行夯实处理，然后铺设10cm厚的碎石垫层，并浇筑5cm厚的C10混凝土垫层。在垫层上测量放线，绑扎导墙钢筋，钢筋保护层厚度为3cm。钢筋绑扎完成后，安装模板，模板采用钢模板，模板接缝处采用海绵条密封，防止漏浆。模板安装完成后，进行混凝土浇筑，混凝土采用泵送方式浇筑，振捣采用插入式振捣器，振捣密实，

确保混凝土强度和整体性。浇筑完成后，及时进行养护，养护时间不少于7d。

2.2 泥浆配比及制备技术

泥浆在塑性砼防渗墙施工中起着护壁、携渣、冷却钻头、润滑钻具等作用，其性能直接影响成槽施工的质量和效率。根据本工程的地质条件，经过多次试验确定泥浆采用膨润土、纯碱、CMC（羧甲基纤维素）和水混合而成，其配比为8%：0.5%：0.05%：91.45%。泥浆制备采用三级搅拌系统，即第一级为搅拌池，将膨润土、纯碱、CMC和水按比例加入搅拌池，用高速搅拌机搅拌10-15min，使膨润土充分水化；第二级为储存池，将搅拌好的泥浆放入储存池，静置24h以上，使泥浆中的气泡逸出，提高泥浆性能；第三级为循环池，将储存池中的泥浆放入循环池，用低速搅拌机持续搅拌，防止泥浆沉淀。泥浆的性能指标应满足密度1.05-1.15g/cm³，黏度18-25s，含砂量≤3%，胶体率≥98%，pH值8-10。施工过程中，应定期对泥浆性能进行检测，每天至少检测2次，如发现泥浆性能不符合要求，应及时调整，添加膨润土、纯碱或CMC等材料，直至达到设计要求。

表1 泥浆性能指标对比表

性能指标	设计要求	实际检测值	偏差情况
密度 (g/cm ³)	1.05-1.15	1.08-1.12	符合要求
黏度 (s)	18-25	20-23	符合要求
含砂量 (%)	≤3	1.5-2.5	符合要求
胶体率 (%)	≥98	98.5-99.5	符合要求
pH值	8-10	8.5-9.5	符合要求

制备好的泥浆应存入泥浆池内，并用泥浆泵输送到成槽施工区域。泥浆池采用砖砌或混凝土浇筑而成，池体应具有足够的强度和刚度，防止渗漏。同时，在泥浆池内设置循环搅拌装置，防止泥浆沉淀。

2.3 成槽施工技术

施工前，根据防渗墙的设计轴线和槽段划分，确定主孔和

副孔的位置, 并进行测量放线。槽段划分长度为 6-8m, 主孔间距为 2.5-3m, 副孔位于主孔之间。成槽施工时, 先施工主孔, 主孔施工采用冲击钻机, 钻头直径为 800mm, 冲击频率为 40-50 次/min, 冲程为 1.5-2.0m。在钻进过程中, 应根据地质条件控制钻进速度, 对于砂卵石层, 钻进速度控制在 0.5-1m/h, 对于黏土层, 钻进速度控制在 1-2m/h, 避免出现塌孔、埋钻等事故。

主孔施工完成后, 再施工副孔, 副孔施工采用冲击钻机劈打主孔之间的土体, 使主孔和副孔连接形成完整的槽段。劈打过程中, 应控制冲击力度和频率, 避免对主孔孔壁造成破坏。成槽过程中, 应及时向槽内补充泥浆, 保持泥浆液面高于地下水位 1.0m 以上, 且不低于导墙顶面 0.3m。同时, 应定期检查槽孔的垂直度和孔斜率, 采用测斜仪每钻进 5m 测量一次, 确保槽孔垂直度偏差不大于 0.3%, 孔斜率偏差不大于 0.5%。如发现槽孔偏差超过允许范围, 应及时采取措施进行纠正, 如回填黏土重新钻进等。

2.4 清底换浆技术

清底换浆时, 将气举管下入槽底, 气举管采用直径为 150mm 的钢管, 每节长度为 3m, 采用法兰连接。通过空压机向气举管内注入压缩空气, 空气压力为 0.6-0.8MPa, 使气举管内的泥浆形成气液混合物, 密度降低, 在重力作用下向上流动, 将槽底的沉渣带出槽外。清底换浆过程中, 应控制气举管的下入深度, 一般距离槽底 0.3-0.5m。同时, 应不断向槽内补充新鲜泥浆, 保持槽内泥浆液面稳定。清底换浆应分阶段进行, 第一阶段采用大流量冲洗, 将大部分沉渣带出槽外; 第二阶段采用小流量冲洗, 进一步清除槽底细小沉渣。清底换浆完成后, 应进行质量检查, 槽底沉渣厚度应不大于 10cm, 泥浆密度应不大于 1.10g/cm³, 黏度应不大于 25s, 含砂量应不大于 5%。如检查不合格, 应继续进行清底换浆, 直至达到设计要求。

2.5 塑性混凝土拌合技术

塑性混凝土的拌合质量直接影响其力学性能和防渗性能。本案例采用强制式搅拌机进行拌合, 搅拌机容量为 1m³, 拌合时间为 90-120s。塑性混凝土的配合比根据设计要求和试验确定, 其配合比为水泥: 膨润土: 砂: 碎石: 水=180: 60: 720: 1080: 220, 具体性能指标见表 2。

表 2 塑性混凝土配合比及性能表

材料	用量 (kg/m ³)	性能指标	设计要求	实际检测值
水泥	180	抗压强度 (28d)	≥2.5MPa	3.2MPa
膨润土	60	渗透系数	≤1×10 ⁻⁷ cm/s	8.5×10 ⁻⁸ cm/s
砂	720	弹性模量	≤1000MPa	850MPa
碎石	1080	坍落度	18-22cm	20cm

水	220	初凝时间	≥6h	7.5h
---	-----	------	-----	------

在拌合过程中, 应严格按照配合比进行配料, 采用电子计量设备进行计量, 各种材料的计量误差应控制在以下范围内: 水泥、膨润土±2%, 砂、碎石±3%, 水±1%。水泥、膨润土、砂、碎石等材料应分批加入搅拌机内, 先加入砂和碎石, 搅拌 30s, 使砂和碎石混合均匀; 然后加入水泥和膨润土, 继续搅拌 30s, 使水泥和膨润土充分包裹在砂和碎石表面; 最后加入水, 搅拌 60-90s, 使混凝土拌合均匀。拌合好的塑性混凝土应具有良好的和易性和流动性, 其坍落度应控制在 18-22cm。施工过程中, 应每拌合 50m³ 混凝土检测一次坍落度, 如发现坍落度不符合要求, 应及时调整用水量。同时, 应制作混凝土试块, 每槽段制作 3 组, 每组 3 块, 在标准养护条件下养护 28d, 进行抗压强度和渗透系数试验。

2.6 混凝土浇筑施工技术

采用导管法进行混凝土浇筑, 导管采用直径为 250mm 的钢管, 每节导管长度为 2-3m, 导管之间采用法兰连接, 连接处设置橡胶密封圈, 防止漏浆。浇筑前应检查导管的密封性和垂直度, 进行水密性试验, 试验压力为 0.6MPa, 保持 15min 无渗漏。确保导管下入槽内后居中, 且导管底部距离槽底 0.3-0.5m。同时, 应检查塑性混凝土的坍落度和和易性, 如不符合要求, 不得进行浇筑。

混凝土浇筑采用连续浇筑方式, 严禁中途停顿。采用混凝土罐车运输混凝土, 运输时间不超过 1h。浇筑过程中, 应控制混凝土的浇筑速度, 一般为 2-3m/h, 确保混凝土在初凝前完成浇筑。同时应不断提升导管, 导管埋入混凝土内的深度应控制在 2-6m, 避免导管埋入过深或过浅。埋入过深会导致混凝土浇筑困难, 甚至出现堵管现象; 埋入过浅会导致泥浆混入混凝土内, 影响混凝土质量。在浇筑过程中, 应定期测量混凝土面高度, 采用测绳每 30min 测量一次, 每次测量不少于 3 个点, 取平均值作为混凝土面高度, 及时调整导管埋深。当混凝土浇筑至设计高程时, 应超浇 0.5-1.0m, 以保证防渗墙顶部的混凝土质量。浇筑完成后, 应及时清理导管和现场, 对混凝土面进行抹平处理。

2.7 相邻槽孔砼接头施工技术

在浇筑前一槽孔的混凝土时, 在槽孔两端放入接头管, 接头管采用直径为 800mm 的钢管, 长度根据槽孔深度确定, 比槽孔深度长 2m。接头管应垂直下入槽内, 偏差不大于 1%, 且与槽壁紧密贴合。接头管底部应插入槽底 50cm 以上, 顶部高出导墙 50cm 以上。混凝土浇筑完成后, 待混凝土初凝后, 开始缓慢提拔接头管, 提拔速度应根据混凝土的凝固情况确定, 一般为 1-2m/h。提拔过程中, 应保持接头管垂直, 避免倾斜。每次提拔高度为 10-20cm, 提拔后应立即将接头管固定, 防止回落。

接头管提拔完成后,在相邻槽孔施工时,将接头部位的混凝土表面凿毛,清除浮渣和松动混凝土,露出新鲜混凝土面。然后进行清孔换浆,使接头部位的泥浆性能符合要求。最后进行混凝土浇筑,使相邻槽孔的混凝土紧密结合,形成整体防渗结构。

3 水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术应用效果

3.1 防渗墙质量检测效果

本工程在塑性砼防渗墙施工完成后,采用多种检测方法对其质量进行了全面检测,结果表明防渗墙质量优良,各项性能指标均满足设计要求。共选取30个检测点进行钻孔取芯,芯样长度在2.5-4.2m之间,芯样连续完整,表面光滑,无明显蜂窝、麻面等缺陷,胶结状况良好。对芯样进行室内试验,测得防渗墙的抗压强度平均值为3.2MPa,最小值为2.8MPa,均大于设计要求的2.5MPa;渗透系数平均值为 1.2×10^{-7} cm/s,最大值为 1.5×10^{-7} cm/s,满足设计要求的 1×10^{-7} cm/s以下。声波检测覆盖了整个防渗墙区域,检测结果显示墙体内部无明显空洞、裂缝、夹层等缺陷,声波传播速度均匀,平均值为3800m/s,表明防渗墙的整体性和密实性良好。

表3 防渗墙质量检测结果表

检测项目	抗压强度(28d)	渗透系数	墙体完整性
检测方法	钻孔取芯+室内试验	钻孔取芯+室内试验	超声波检测
检测数量	30组	30组	全墙段
设计要求	≥ 2.5 MPa	$\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s	无明显缺陷
检测结果	2.8-3.2MPa, 平均 3.2MPa	1.0×10^{-7} - 1.5×10^{-7} cm/s, 平均 1.2×10^{-7} cm/s	无空洞、裂缝、夹层,声波传播均匀
达标情况	全部达标	全部达标	良好

3.2 工程运行效果

在防渗墙施工前,通过坝体浸润线观测和渗流量监测,测得坝体渗流量为 $500\text{m}^3/\text{d}$ 。施工完成后,经过一个水文年的监测,坝体渗流量逐渐减少并稳定在 $50\text{m}^3/\text{d}$ 以下,渗流量减少了90%,远低于设计允许的渗流量 $100\text{m}^3/\text{d}$ 。施工前,坝基扬压力系数较大,平均值为0.8,对坝体稳定性构成威胁。施工后,扬压力系数降至0.3以下,最大值为0.28,最小值为0.22,满足设计要求的0.4以下,有效提高了坝体的抗滑稳定性。

参考文献:

- [1] 黄玉婷.水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术的应用[J].水上安全,2023,(12):190-192.
- [2] 宋春.水库除险加固工程坝基塑性砼防渗墙施工技术分析[J].中国设备工程,2021,(05):192-193.
- [3] 宋玉田.水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术的应用[J].居业,2017,(07):85-86.
- [4] 付成荣.水利工程塑性砼防渗墙施工技术探讨[J].现代物业(中旬刊),2018,(05):191.
- [5] 陈亚光.水利工程施工中塑性砼防渗墙施工技术的应用[J].中国高新区,2018,(13):215.

表4 工程运行效果对比表

监测项目	施工前	施工后	改善幅度	设计允许值
坝体渗流量(m^3/d)	500	≤ 50	$\geq 90\%$	≤ 100
坝基扬压力系数	0.8	0.22-0.28, 平均 0.25	68.75%	≤ 0.4

4 塑性砼防渗墙施工质量控制

4.1 加强对方案设计的关注

在方案设计阶段,应组织专业的设计人员进行深入研究,结合工程的地质条件、水文条件、结构形式等因素,制定合理的施工方案。同时,应邀请专家对施工方案进行评审,对方案的可行性、安全性和经济性进行论证,确保施工方案科学合理。

4.2 对槽孔形质量加以控制

在成槽施工过程中,应加强对槽孔的垂直度、孔斜率和槽宽的控制。采用全站仪和测斜仪对槽孔的垂直度和孔斜率进行监测,确保槽孔垂直度偏差不大于0.3%,孔斜率偏差不大于0.5%。同时,应定期测量槽宽,确保槽宽符合设计要求。对于出现的槽孔偏差,应及时采取措施进行纠正,避免影响后续施工。

4.3 塑性砼防渗墙成墙的质量管理

在混凝土浇筑过程中,应严格控制混凝土的配合比、坍落度和浇筑速度,确保混凝土质量符合设计要求。同时,应加强对混凝土浇筑过程的监测,及时发现和处理浇筑过程中出现的问题。在混凝土浇筑完成后,应及时进行养护,养护时间不少于28d,确保混凝土强度能够正常增长。此外,还应对防渗墙进行质量检测,采用超声波检测、钻孔取芯等方法,对防渗墙的完整性、强度和防渗性能进行检测,确保防渗墙质量合格。

5 结语

塑性砼防渗墙施工技术在水利工程中具有重要的应用价值,能够有效提高工程的防渗性能和安全稳定性。在施工过程中,应严格按照施工技术要求进行操作,加强施工质量控制,确保防渗墙施工质量。通过本工程的实践表明,塑性砼防渗墙施工技术具有良好的应用效果,值得在类似水利工程中推广应用。在今后的工作中,还应不断研究和改进塑性砼防渗墙施工技术,提高其施工效率和质量,为水利工程建设事业做出更大的贡献。