

水利枢纽工程中塑性混凝土防渗墙施工技术应用研究

仇鹏鹏

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

【摘要】：水利枢纽工程中坝体和坝基渗漏问题是影响结构安全、服役寿命的重要因素。塑性混凝土防渗墙是主要的防渗技术之一，在复杂的地质条件下，对于高风险的渗透现象有着很好的适应性。它优良的柔性、良好的变形适应性、优秀的抗渗性可以很好地解决各种极端工况的各种问题。本文根据实际工程需要从理论角度出发，对这项技术的本质特征和适用情况做进一步的阐述，同时以典型案例分析的质量控制方式及其成果效果评价为出发点，给类似工程项目的质量监控提供技术支持并给出相应的决策依据，促进相关领域技术革新发展。

【关键词】：水利枢纽工程；塑性混凝土；防渗墙；施工技术；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.069

水利枢纽工程是水资源调度、防洪体系创建、农业生产保证、电力供应等重要方面的主要工程设施，其质量好坏直接影响到一个地区水安全可靠程度和经济社会发展的长久发展情况。传统刚性混凝土防渗墙由于自身的刚性特点，在地基不均匀沉降或者岩层微变形等情况时，很容易产生开裂和破坏，从而影响到其防渗性能和耐久性。此种结构不但造价高，而且有明显的应用局限性。相比之下，掺入膨润土、黏土等改性材料制成的塑性混凝土，明显改善了柔韧性与抗渗性，并且提高了其与地质条件相适应的能力，很好地解决了墙体出现的裂缝和渗漏问题，具有良好的环境适应性，在水利水电领域的水库枢纽、水闸修建以及堤防加固工程等中得到广泛应用。因此技术创新具有十分重要的意义，并且也拥有明显的优势，因此本研究选取具体实际工程项目作为依托，对塑性混凝土防渗墙主要施工技术及实施方案进行深入探究，希望可以给相关领域工程施工给予理论上的支撑和技术上的帮助。

1 塑性混凝土防渗墙技术概述

1.1 技术核心特性

塑性混凝土属于新型的柔性防渗材料，主要采用水泥、砂石作为主要组成，再辅以膨润土、黏土和多种功能性外加剂进行科学配比后得到。相比于传统的刚性混凝土来说，它有特别的弹塑性特性以及良好的抗渗性能。它的突出优点表现在如下几个方面，低弹性模量、高极限延伸率使其在复杂的环境下对地基不均匀沉降、微小形变有很强的适应能力，大大减小了开裂的风险，增强了结构的稳定程度，另外由于高致密性微观结构的设计具有较好的抗渗性能，可以有效地阻止水分渗透、封闭裂缝通道，保证长时间的防水效果，在施工工艺方面具有较高的便利性，现场浇筑成型质量好，容易形成连续无缝的防渗层，从经济角度看，其原材料成本比常规技术降低了约15%到25%，非常适合用于大型水利工程等高需求场景。按照上

文综合特性，塑性混凝土既满足现代建筑领域耐久性、可靠性要求，又给城市地下空间开发、生态环境治理提供技术支持^[1]。

1.2 工程适用范围

塑性混凝土防渗墙技术由于有明显的优点，因此在水利枢纽工程各种防渗场景中得到了广泛的使用。新建枢纽项目时，可以用于砂砾石坝基和土石坝体防渗体系的建立，在既有枢纽设施升级时，也可以用来解决坝体、基础渗漏问题，进而逐步取代老化的破损传统防渗结构。同时，可以用来对围堰工程、河道整治和护岸加固这些辅助性工程建设给予技术支持。尤其是在地形复杂、地质条件较差或者透水层厚度大的地方，由于塑性混凝土防渗墙具有更好的适应性及施工便捷性，所以已经被发展成为目前水利枢纽工程建设中的重要技术手段之一^[2]。

2 塑性混凝土防渗墙施工工艺流程及要点

2.1 施工前期准备

项目启动之初必须先做三项主要工作，即现场勘察、材料配合比检验和设备调试。依靠枢纽工程地质勘察数据，系统剖析施工区土层构造特性，含水层分布情况，地下水动态变动规律，岩体物理力学性质等主要参数，给防渗帷幕的设计赋予科学依据，包含厚度划定，埋设深度选定，分段布置规划等内容。根据具体的防水性能和技术指标要求，对塑性混凝土的配合比做准确的优化，并经过一系列的试验来确定出最佳的水泥、膨润土、骨料、水的比例组合，保证所用材料达到力学性能和抗渗功能的技术指标^[3]。

2.2 导墙施工

防渗墙成槽施工中起主要辅助作用的设备是导墙，在槽位定位、设备支撑以及边坡稳定性保持等方面起着决定性的作用，并给之后的施工创造了准确的基准条件。在水利工程中，

由于钢筋混凝土具有较好的力学性能和耐久性,一般将其用作导墙的主要材料。实际施工时利用精密放样技术确定导墙的位置,用严格质量检测手段控制轴线偏差、标高精度、截面尺寸等主要参数是否满足设计要求。为了防止地基沉降引起的不良影响,导墙基础要深入到原状土层,并达到有关的技术标准。模板安装阶段应重视几何形状的准确性,混凝土浇筑后要及时采用振动压实工艺提高密实度,全过程养护至强度达到设计值的70%。在整个建设过程中还要加强对于导墙状态的动态监测,及时发现并解决出现位置偏移或者开裂等问题^[4]。

2.3 泥浆制备与护壁

地下连续墙施工过程中,泥浆护壁技术属于关键工序之一,它担当起稳定槽壁、控制塌陷、改良成槽品质的任务。为了保证工程的安全、质量符合标准,在地质条件允许的情况下,应选择合适的泥浆材料和合理的泥浆组成,并根据地质情况选择合适的膨润土,配合适量的纯碱等辅料,对泥浆的物理性质进行调节,以满足不同土质环境的需要。对渗透性较大的砂砾层要提高泥浆比重以增强抗渗性能,在软弱黏土地区则要提高泥浆的黏稠度,改善颗粒分散性。完成调配之后,泥浆还要经过一定的静置熟化时间,并且必须经过严格的检验,检验结果合格后才能使用。成槽时应不间断地向孔内补充泥浆,使泥浆液面大于地下水位0.5米以上,并用实时观测和定时更换的方式保证护壁的长久稳定可靠。

2.4 成槽与清槽施工

防渗墙工程的主要技术为成槽工序,施工方式主要有钻抓法、钻劈法、抓取法等。选择的方法要联系工程地质条件和现场实际情况。在软土或砂砾石地层中,钻抓法较适合使用,操作方便,有利于槽壁稳定,而在硬质岩层或者厚层卵石分布区则应采用钻劈法,对坚硬岩体进行破碎并清除废弃物。在整个成槽过程中要时刻监控槽孔的垂直度、深度和宽度指标,并且及时评价槽壁状况;当出现坍塌或者偏移的时候,立刻停止工作并修正有关参数。

3 工程施工质量控制措施

3.1 原材料与配比质量控制

防渗墙工程质量的关键在于原材料性能,建立健全的原材料进场检验制度就显得尤为重要。在水泥的选择上,应首选具有较强强度稳定性和较低水化热的普通硅酸盐水泥;膨润土应选用优质工业品,以保证良好的塑性及抗渗透性;砂石骨料要保证粒径分布均匀、严格控制含泥量,严禁不合格原料进入施工环节。根据施工现场的环境温度、湿度以及地质情况来对混凝土配合比进行动态的调整,在每次浇筑前都要做预拌试验,全面检测混凝土配合比的力学性能和抗渗性是否达到设计要

求^[5]。

表1 为中心塑性混凝土的技术参数范围。

性能指标	设计标准值	施工控制值	检测方法
抗压强度 (28d)	2.0~5.0MPa	$\geq 2.0\text{MPa}$	立方体抗压试验
弹性模量	500~1500MPa	$\leq 1500\text{MPa}$	静力抗压弹性试验
渗透系数	$\leq 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$	$\leq 8 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$	常水头渗透试验
极限拉伸应变	$\geq 0.5\%$	$\geq 0.6\%$	拉伸性能试验

3.2 施工过程动态质量管控

实行工程施工全周期的动态管理,对主要施工工序设置专项质量控制点。导墙施工期间重点关注轴线偏移、垂直度偏差和混凝土养护状况等关键指标,严格按照技术规范的要求执行;成槽作业时重点检查槽体倾斜角度和沉渣厚度,防止超挖或者欠挖,消除坍塌危险;泥浆配制过程中,保持比重、黏度、含砂率等主要参数的稳定,按照实际情况随时调整泥浆配制方案。混凝土浇筑阶段,对浇筑速率、导管埋深、液位高度三者加以管控,防止出现断层、离析、冷缝的情况。实行全过程旁站监督制度,每天对施工日志进行详细的记载,各个工序开始前需要经过验收合格后才可以进入下一环节,以保证工程质量逐步提高。

3.3 成品检测与缺陷处理

防渗墙工程竣工后要马上启动成品质量检测工作。利用钻孔取芯、超声波探伤、压水试验等多种无损检测手段,对墙体密实度、整体性、抗渗性进行全面的评价,找出墙体裂缝、空腔、分层等缺陷的部位。对轻度异常情况可采用注浆方式予以局部修补,而对严重破坏或者有渗漏隐患的地方,则要彻底清除损坏部分,再进行重新浇筑,保证结构安全可靠。在必要的情况下,可以将传统刚性混凝土防渗墙和塑性混凝土防渗墙实际的性能表现进行对比分析,具体指标见附表2。

表2 两种防渗墙技术应用效果对比

对比项目	刚性混凝土防渗墙	塑性混凝土防渗墙
弹性模量 (MPa)	20000~30000	500~1500

抗变形能力	差, 易开裂	强, 适配地基变形
渗透系数 (cm/s)	$\leq 1 \times 10^{-6}$	$\leq 8 \times 10^{-8}$
施工成本	较高	降低 15%~25%
后期渗漏概率	较高	极低

(注: 续表2)

4 工程应用成效分析

以某中型水利枢纽除险加固工程为例, 坝地质条件属于厚层砂砾石透水层。由于原有的防渗体系因为长期使用而产生老化、损坏, 造成坝基渗流和坝体湿渍问题越来越严重, 给工程的安全稳定运行造成了很大影响。因此本文将用塑性混凝土防渗墙技术对现状进行治理, 方案中设置的墙体厚度为0.8米、成槽深度为32米、全部覆盖透水层区, 提高整体防渗能力、消除安全隐患。

施工全过程严格按照制定的工艺标准、质量控制规范进

行。经过压水试验、渗透性检测以及变形监测可知, 防渗墙结构具备较好的密实性及均一性, 没有发现裂缝、夹层、空洞等缺陷, 实际测得的渗透系数一直小于设计目标值 (5×10^{-8} cm/s)。在汛期高水位工况下, 大坝主体及基础单元保持无渗漏、无管涌状态, 墙体具有很好的柔韧性、适应性, 可以很好地补偿由于地基微变所引起应力的变化, 保证结构整体稳定。本工程和传统的刚性防渗技术比较, 工期缩短约10%, 综合成本降低20%, 提高了长期的抗渗性, 彻底消除了枢纽区域长期存在的渗漏问题, 大大提高了设施的安全级别和运行可靠性, 取得了很好的经济效益和社会效益。

5 结语

综上所述, 塑性混凝土防渗墙技术由于有很好的柔韧性、突出的抗渗性、良好的经济性、灵活多样的施工特点, 在水利枢纽工程中具有很强的适应能力, 能很好地满足复杂的地质环境和动态工况的要求。和传统的刚性防渗措施相比, 具有防渗加固、修补缺陷等优点的防渗加固及缺陷修补技术有很大的技术优势。本文对施工工艺的主要因素、施工工艺关键技术问题及质量控制措施进行了分析, 并用具体案例对施工技术应用情况进行论证。

参考文献:

- [1] 李鲁刚.基于渗流-应力耦合的塑性混凝土防渗墙前后堤防整体应力应变研究[J].水利科技与经济,2026,32(5):100-104.
- [2] 刘飞.水库除险加固中防渗墙与坝基帷幕防渗效果分析[J].陕西水利,2026,(5):171-173+177.
- [3] 杜宜斌,李增发,黎彩琴,等.深厚覆盖层混凝土防渗墙高效复合成槽方法研究[J].陕西水利,2026,(5):161-164.
- [4] 杨威,尹帮达.超声波成孔成槽检测仪在薄壁塑性混凝土防渗墙中的应用研究[J].水利技术监督,2026,(8):342-346.
- [5] 王孔华,张雄.水利工程堤坝防渗与加固技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(11):199-201.