

塑性混凝土防渗墙技术在水库防渗中的应用

陈 权

(安徽省引江济淮集团有限公司, 安徽 合肥 230022)

摘 要 塑性混凝土防渗墙是现代水利工程施工中重要的防渗构件类型之一, 凭借其优异的变形协调能力与抗渗性能, 在水库防渗工程中得到广泛应用。本文结合塑性混凝土的技术特点, 简述塑性混凝土的主要技术优点, 论述了塑性混凝土防渗墙在水库防渗应用中存在的主要技术问题, 并提出相应的质量控制和施工优化措施。通过合理控制槽孔深度、把好原材料质量关、准确把握配合比、做好称量和入管前的检查等工作, 以期为保障水库防渗体系的长效稳定、安全可靠提供参考。

关键词 塑性混凝土; 防渗墙技术; 水库防渗

中图分类号: TV62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.016

0 引言

水库是水资源调控和防洪减灾的重点工程, 其结构安全直接影响区域生态安全和社会经济稳定。塑性混凝土防渗墙柔性刚度适中、抗拉裂性强, 已成为高水头、软弱地基、地震活跃区水库防渗的优选方案。该技术通过降低弹性模量和提高极限应变能力, 有效协调坝体与地基间的不均匀沉降, 抑制坝体裂缝的发展。然而, 在实际工程施工中, 存在材料配比不稳定、施工工艺控制不严格等问题, 使塑性混凝土的防渗效果并不理想。深入剖析塑性混凝土的性能机理与施工控制要点, 对推动其在水库防渗领域的高质量应用具有重要意义。

1 塑性混凝土的优点

1.1 有效减缓和抑制裂缝的扩展

塑性混凝土通过掺入膨润土、粉煤灰等矿物掺合料, 取代了水泥和天然骨料, 大幅降低其弹性模量, 使其在受力状态下呈现非脆性破坏特征。在结构内部出现细微裂纹时, 材料内部的塑性流动可吸收部分能量, 延缓裂缝尖端应力集中, 从而可阻止裂缝进一步扩展。相较于普通混凝土, 其裂缝宽度发展速率明显降低, 能更好维持防渗墙体的连续性。

1.2 具有较高的延展性

延展性是评估材料在断裂前承受塑性变形能力的重要指标, 塑性混凝土通过优化胶凝材料体系与骨料级配, 其极限拉应变可达到普通混凝土的 3~5 倍。因此它在受到地基沉降、地震动荷载及温度作用等情

况下, 塑性变形较大, 可以通过自身的形变释放内应力, 避免突发性开裂, 提升结构韧性。

1.3 较好的抗渗性能

尽管塑性混凝土弹性模量较低, 但其致密的微观结构与低水胶比设计保障了良好的抗渗能力。膨润土遇水后形成凝胶相, 起到填充孔隙通道的作用; 粉煤灰二次水化反应生成的 C-S-H 凝胶可使孔径分布更细化。在多因素协同作用下, 可使渗透系数控制在 10^{-8} cm/s 的数量级内, 满足水库防渗墙的设计要求。

1.4 良好的变形能力

塑性混凝土的应力—应变曲线表现出明显的塑性平台区, 在达到混凝土峰值强度之后, 仍能保持较大的承载力和一定的位移变形能力。这一特性使其能够适应坝基复杂的应力场变化, 尤其适用于坝基变形很大的软弱夹层、断层破碎带或高地震烈度区域的水库工程, 有效避免因刚度突变引发的结构破坏。

1.5 更容易施工成型

塑性混凝土拌合物具有良好的流动性与悬浮稳定性, 坍落度通常控制在 180~220 mm, 扩展度大于 450 mm, 便于在深窄槽孔中自密实成型。其初凝时间可通过外加剂灵活调节, 适应不同气候条件下的连续浇筑需求, 减少冷缝产生风险, 提升墙体整体性。

2 塑性混凝土防渗墙技术在水库防渗中的应用问题

2.1 槽孔成型质量不稳定

由于地质条件、成槽设备及操作工艺等各方面的原因, 在施作塑性混凝土防渗墙施工时, 槽孔成型的

作者简介: 陈权 (1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程。

质量会受到不良影响,在复杂地层中,如遇到软硬夹层和孤石层,易导致槽壁偏斜、缩径或者塌孔,进而影响墙体连续性和完整性。个别工程采用抓斗或者冲击钻进方式施工时,因参数控制不好或者是泥浆护壁不到位,造成槽孔垂直度超限或者是局部地方扩径,造成后面无法将混凝土浇筑到墙内,形成薄弱区域^[1]。此外,成槽后清孔不彻底,残留沉渣厚度超标,则墙体与基岩或土体会有空隙,将会减弱墙体与基岩或土体的连接力,进而降低防渗的整体效果。如果现场没有做好监控措施,在浇筑完后才发现这些问题,返工成本高且工期延误风险大。

2.2 原材料性能波动大

塑性混凝土防渗墙对原材料稳定性要求较高,但实际工程中水泥、膨润土、砂石、外加剂等组分常存在批次差异。由于各产地或不同供货商,膨润土的膨胀率、胶体率有所不同,直接影响泥浆黏度与悬浮能力。细骨料含泥量及级配不同,会改变混凝土的流动性与抗离析性能。水泥活性不稳定,会使凝结时间出现异常或早期强度不够。以上因素均会造成拌合物的工作性能不一致,进而影响墙体密实度及防渗性能。

2.3 混凝土配合比执行偏差

配合比是确保塑性混凝土具备适宜流动性、低弹性模量及良好抗渗性的基础,但在现场实际使用过程中,存在配合比执行偏差的现象,部分施工单位为追求施工便利,擅自增加水量或者减少膨润土掺量,使混凝土的坍落度与设计值产生偏差。另外拌合站的操作人员对配合比掌握不清,或者是配料系统的参配比没有更新,亦会造成组分比例失准^[2]。雨季施工如果不能及时根据砂石含水率情况调整用水量也会使误差变大,这类偏差在每次的检测当中不易被发现,但累积效应显著,长此以往会导致墙体局部强度偏高且脆性增大,或混凝土流动性不在导致导管堵管、浇筑间断等,使墙体整体破坏,削弱长期防渗功能。

2.4 称量系统精度不足

塑料混凝土各组分计量精度是影响拌合物性能稳定性的主要因素之一,但是现场称量系统由于设备老化、缺少校准或受到外界环境影响造成误差超标。部分中小工程采用简易电子秤或者机械磅秤,其重复性与灵敏度难以满足规范要求,尤其在如膨润土、外加剂等微量组分称量时偏差更为明显。传感器受潮、振动和粉尘污染亦会影响读数准确性。称量不准导致最终配合比与设计值相差较大,混凝土流变性质失控,轻则影响浇筑顺畅性,重则造成墙体内部结构不均,

形成渗流通道,严重制约防渗墙服役寿命。

2.5 入导管前质量失控

混凝土自搅拌完成至导入导管前的转运、暂存环节,常成为质量监管盲区。运输过程中若等待时间过长或环境温度过高,拌合物可能发生初凝或离析,尤其在高温或大风条件下水分蒸发加速,坍落度损失显著。部分工地为赶进度,在未复测工作性能情况下直接入管浇筑,导致导管堵塞或墙体冷缝。转运容器清洁不彻底,残留杂质混入新拌混凝土,亦会引入薄弱界面。此类过程失控虽不直接体现在配合比或原材料上,却对墙体连续性与密实度构成实质性威胁。

3 塑性混凝土防渗墙技术在水库防渗中的应用措施

3.1 槽孔深度控制

在施工过程中,槽孔深度直接影响着墙体的连续性和整体防渗的效果,也决定着塑性混凝土防渗墙是否能达到隔断渗流通道的目的,因而施工前需根据收集的完整的地质勘察资料及工程设计要求,确定合理的槽孔终孔深度。另外还需先对拟建部位的地层构造情况进行研究,弄清其中各种岩土层的空间位置及分布特点,同时着重分辨透水性强的砂砾层、软弱夹层、风化层以及基岩面的位置和起伏情况等,然后确定槽孔底部要深入透水层以下较稳定的不透水层或者是岩体比较完整的稳定基岩中,构成封堵严密、连续、稳定可靠防渗墙。成槽阶段用测量垂度仪器、超声波测径仪、深度传感器等设备进行槽孔的垂直度、孔壁的稳定性、孔深的检测,实施全程动态跟踪纠偏,防止出现孔斜、扩径或者超挖等问题形成墙体薄弱区或渗漏路径^[3]。当遭遇孤石群、溶洞、断层破碎带等复杂地质条件时,可根据实际情况,采取预爆破法、套打法复钻、局部加深、注浆法加固等技术处理措施,保证槽孔达到设计深度及成槽的质量标准。终孔后需要将孔内的沉渣清理干净,利用泵吸或气举的方法将孔底沉渣排净,再用测绳或者电子测深仪校核孔底高程,达到规范及设计的嵌岩深度要求。邻近槽段搭接位置是防渗体系的薄弱环节,因此要求搭接长度和工艺要严格控制,避免出现冷缝、搭接不足现象,从而保障防渗墙在平面上的整体性和竖向上的连续性,最终实现高效、持久的水库防渗目标。

3.2 塑性混凝土原材料质量控制

塑性混凝土防渗墙的性能主要取决于原材料的质量问题,需要建立起一套完整的材料进料检验制度。水泥应该选择标号适中、水化热较低、安定性较好的品种,不能使用受潮、结块、过期的水泥。骨料需严格控制

粒径级配,其中粗骨料的粒径不宜大于 40 mm,细骨料应选用水洗砂,且应满足规程规定含泥量和有机质含量的限量要求。掺合料采用粉煤灰或矿渣微粉时,其活性应该稳定,不应含有有毒物质,且其细度、烧失量需通过实验验证。外加剂宜选择减水率高、塌落度损失小,且与胶凝材料适应性强的类型,应在搅拌站试配合格后方可在现场使用。进场材料均按批抽样送检,检测内容包括物理指标、化学组成、有害物质含量等,不合格材料严禁入场使用。材料应分类堆码、防水防潮、不得混杂。尤其在气温较高或寒冷时应做好骨料温度控制,防止混凝土出机温度异常。

3.3 严格执行混凝土混合比

塑性混凝土配合比是保证塑性混凝土力学性能和变形适应性的关键因素,要根据工程地质条件、墙体功能要求以及施工场地情况合理设计并严格执行,其配合比设计应达到低弹性模量、高极限应变、良好的抗渗性等性能,在满足强度的基础上尽量减少水泥用量,增大掺合料比例提高体积稳定性。保持水胶比处在合理的范围内,过高的水胶比将会减小塑性混凝土抗渗能力,过低的水胶比又会影响塑性混凝土的施工流动性^[4]。严格控制骨料级配,使骨料空隙率尽可能地小些,以增加密实度。正式施工前应经过多组试验得到基准配合比,然后结合施工现场环境对配合比水和外加剂进行适量调整,不能调整胶凝材料总量及骨料比例。搅拌站操作人员应培训,掌握配合比参数和调整方法,严禁凭经验随意增减材料。每次开料前应对计量设备进行检查,重新标定合格方可投入使用。浇筑时定时留样测定坍落度、扩展度及容重,保证拌合物满足配比要求。塑性混凝土配合比一经确定,不得随意改动,如发现偏离配合比数值较大时,应及时记录并调查原因,若实际数据不满足要求,则应暂停施工。

3.4 确保称量系统准确可靠

称量系统的准确可靠是保证塑性混凝土质量一致性的关键环节,所有原材料都必须单独进行称量,严禁用目测体积或经验估计的方法上料,称量装置在使用前须经法定计量部门检定合格,定期做期间核查,尤其是连续上料或温湿度剧烈变化时必须增加校准频次。传感器、料斗、输送管道要保持干净,以免上次上料的余料影响此次称量。外加剂一般使用液体状,需要有较高精度的流量计或者容积式计量泵才能准确地实施微量添加。控制系统的功能要有数据存储和打印出料的功能,每盘混凝土的称量记录须完整保存,作为质量追溯依据。若是遇到极端天气状况,即当天

气寒冷管路结冰,或者是天气炎热温度上升导致骨料含水量发生变化时,称量系统应联动含水率测定仪自动修正用水量,维持水胶比恒定。

3.5 塑性混凝土入导管前的质量控制

塑性混凝土在进导管前的状态会直接影响墙体的连续浇筑以及密实度,此阶段需实施多重控制措施。混凝土从搅拌站出机到进入导管前的时间要尽量缩短时间,采用专用搅拌运输车运输,并保证罐体匀速旋转,防止离析和坍落度损失大。到达浇筑平台后应马上检测混凝土的工作性能,如坍落度、扩展度、泌水率及和易性等指标,不合格的拌合料严禁入管。导管安装前应检查导管的密封性、垂直度以及内壁清洁度,是否无杂物,无变形^[5]。首浇时宜采用隔离球或者砂浆垫层,防止泥浆进入墙底。浇筑时应该保持导管的埋深,防止其拔脱或堵管。每车混凝土入管前需核对配合比标识与实际材料一致性,杜绝错用或混用。现浇过程中要准备备用电源和备用搅拌设备,以应对突发中断。取样要严格按照规定频率进行,留置试件后期用于测定强度和弹性模量。如遇室外环境温度小于零下摄氏度或大于 30℃时,应按要求采取保暖或降温措施,控制混凝土入管温度。

4 结束语

塑性混凝土防渗墙技术以其独特的力学与耐久性能,为水库防渗工程提供了高效可靠的解决方案。其核心价值在于通过材料柔化实现与地基变形的协同响应,从根本上提升防渗墙的刚度随基础条件变化而变化,能够有效提高防渗系统的适应性和耐久性。未来,随着智能传感、数字孪生等技术的融合,进一步提高塑性混凝土防渗墙施工精度和自动化水平,持续推进材料创新与工艺优化,是保障国家水安全战略实施的重要技术支撑。

参考文献:

- [1] 旦朝金. 水库除险加固工程中塑性混凝土防渗墙技术的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53(11): 124-127.
- [2] 年立强, 朱宏松. 塑性混凝土防渗墙技术在水库防渗中的应用[J]. 治淮, 2024(11): 68-70.
- [3] 李佳乐. 浅谈堤防加固工程中防渗墙技术的应用[J]. 水上安全, 2024(02): 184-186.
- [4] 姚任峰. 混凝土防渗墙技术在水利工程的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(02): 46-59.
- [5] 常东明, 蒋亚涛, 赵孟伟. 塑性混凝土防渗墙技术在新城调蓄水库工程中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(06): 45-47.