

水利堤防设计与防渗技术研究

刘 旋 宫庆丰

南水北调中线实业发展有限公司 北京 100071

摘 要：水利堤防是防洪体系核心，其设计与防渗技术关乎防洪效能与安全。本文先介绍堤防工程分类与结构型式，阐述渗流机理与防渗原理。接着详细探讨垂直防渗技术（如混凝土防渗墙等）与水平防渗技术（如水平铺盖防渗等）。最后强调防渗工程质量控制，涵盖材料、施工过程、质量检测与验收环节，为水利堤防设计与防渗提供全面参考。

关键词：水利堤防；堤防设计；防渗技术；垂直防渗；水平防渗

引言：洪水灾害频发，严重威胁人民生命财产安全与生态环境，水利堤防作为防洪体系的关键防线，其设计与防渗技术的重要性不言而喻。科学合理的堤防设计，结合有效的防渗技术，能显著提升堤防的防洪能力，降低洪水侵袭风险。本文深入剖析水利堤防设计与防渗技术，旨在为相关工程建设提供理论支持与实践指导，保障堤防工程安全稳定运行。

1 水利堤防工程分类与结构型式

水利堤防工程是防洪体系的核心组成部分，主要用于抵御洪水侵袭、保护沿岸人民生命财产安全与生态环境，其分类与结构型式需结合地形地貌、水文条件、防洪标准等因素综合确定。按防洪对象可分为江河堤防、湖泊堤防、海堤及水库围堤；按结构材料可分为土堤、石堤、混凝土堤、浆砌石堤等，其中土堤因取材便捷、造价低廉，在水利工程中应用最为广泛。按堤身断面型式可分为梯形堤、矩形堤、复合断面堤，梯形堤边坡平缓、稳定性好，适用于大多数土质河床；矩形堤多用于城市河段或土地资源紧张区域，施工难度相对较大^[1]。根据堤身受力特点，还可分为均质堤、非均质堤、心墙堤、斜墙堤等，均质堤由单一土料筑成，施工简单但防渗性能一般，心墙堤和斜墙堤通过设置防渗核心层，能有效提升防渗能力，适用于渗流量较大的河段。合理选择堤防分类与结构型式，是保障堤防工程安全稳定、发挥防洪效能的基础。

2 水利堤防渗流机理与防渗原理

水利堤防渗流是指洪水或地下水通过堤防土体的孔隙、裂隙等通道产生的渗透流动，其形成机理主要与土体渗透性、水头差、堤身结构缺陷等因素相关。当堤防两侧存在水位差时，水会在压力作用下从高水位一侧向低水位一侧渗透，渗透水流会对堤身土体产生渗透力，若渗透力过大，会导致土体颗粒流失、孔隙扩大，进而引发管涌、流土等险情，严重时会造成堤防溃决。防渗原理核心是通过采取针对性措施，阻断或削弱渗流通道、降低渗

透坡降、减少渗流量，保障堤身土体稳定性。具体而言，一是减小土体渗透性，通过改良土料、设置防渗层等方式，降低水流渗透速度；二是截断渗流路径，采用垂直或水平防渗措施，阻止水流纵向或横向渗透；三是排出渗透水流，通过设置排水设施，降低堤身内部孔隙水压力，避免渗透力超出土体抗渗能力。明确渗流机理、遵循防渗原理，是设计和实施堤防防渗工程的前提。

3 垂直防渗技术

3.1 混凝土防渗墙

混凝土防渗墙是垂直防渗技术中应用最广泛、防渗效果最可靠的技术之一，适用于各类土质、砂质堤基，尤其适用于深层透水层、复杂地质条件下的堤防防渗工程。该技术通过专用钻孔设备在堤身或堤基钻孔，采用泥浆固壁，然后向孔内浇筑混凝土，形成连续的垂直防渗墙体，墙体厚度通常为0.6~1.2米，深度根据透水层厚度确定，一般贯穿整个透水层至不透水层^[2]。混凝土防渗墙具有防渗性能好、承载能力强、耐久性高、抗冲刷能力强等优点，既能阻断深层渗流，又能增强堤基稳定性，可有效抵御管涌、流土等险情。施工过程中，需严格控制钻孔精度、泥浆性能、混凝土浇筑质量。

3.2 高压旋喷桩防渗

高压旋喷桩防渗是利用高压喷射设备，将水泥浆或水泥混合浆以高压高速喷射到堤身或堤基土体中，与土体充分搅拌混合，凝固后形成连续的防渗桩体，进而组成垂直防渗屏障的技术，适用于粘性土、砂性土、粉土等多种地层，尤其适用于堤身加固、堤基防渗处理，施工便捷、造价相对较低。该技术的核心是通过高压喷射破坏土体结构，使水泥浆与土体充分混合，形成具有良好防渗性能和一定强度的桩体，桩体之间相互搭接，形成连续的防渗墙，有效阻断渗流通道。施工时，需控制高压喷射压力、喷射速度、提升速度、旋转速度等参数，确保桩体直径均匀、搭接紧密，避免出现断桩、漏桩等

缺陷。高压旋喷桩防渗具有施工速度快、对周边环境影响小、适应性强等优点，可用于既有堤防的防渗加固，也可用于新建堤防的防渗处理，是一种经济高效的垂直防渗技术。

3.3 水泥土搅拌桩防渗

水泥土搅拌桩防渗是通过搅拌设备将水泥等固化剂与堤身或堤基土体强制搅拌均匀，使土体与固化剂发生化学反应，凝固后形成具有防渗性能和一定强度的水泥土桩体，桩体相互搭接形成垂直防渗墙的技术，适用于粘性土、粉土、砂性土等地层，尤其适用于软土地基的堤防防渗处理，施工成本低、环保性好。该技术的核心是利用固化剂改良土体性质，降低土体渗透性，提升土体强度，通过桩体搭接形成连续的防渗屏障，阻断渗流路径。施工过程中，需严格控制固化剂掺量、搅拌深度、搅拌速度、提升速度等参数，确保搅拌均匀，避免出现搅拌不充分、桩体强度不足、搭接不紧密等问题。水泥土搅拌桩防渗具有施工工艺简单、无振动、无噪音、对周边土体扰动小等优点，可广泛应用于新建堤防防渗和既有堤防防渗加固工程，尤其适合对施工环境要求较高的区域。

3.4 垂直铺塑防渗

垂直铺塑防渗是将塑料薄膜（常用高密度聚乙烯膜）通过专用设备垂直铺设于堤身或堤基中，形成连续的垂直防渗膜，阻断渗流通道的防渗技术，适用于粘性土、砂性土、粉土等地层，尤其适用于浅层透水层的堤防防渗，施工便捷、造价低廉、防渗效果好。该技术的核心是利用塑料薄膜的不透水性，构建连续的垂直防渗屏障，阻止水流渗透，同时塑料薄膜具有良好的柔韧性和抗老化性，能适应土体变形，避免因土体沉降导致防渗失效。施工时，需先开挖导槽，然后将塑料薄膜垂直铺设于导槽内，再用土料回填压实，确保薄膜铺设平整、连续，无破损、无搭接漏洞。垂直铺塑防渗具有施工速度快、占地面积小、施工成本低等优点，适合用于中小型堤防的防渗处理，也可作为大型堤防防渗的辅助措施，与其他垂直防渗技术配合使用，提升整体防渗效果。

4 水平防渗技术

4.1 水平铺盖防渗

水平铺盖防渗是在堤基表面铺设一层透水性能极低的防渗材料，形成水平防渗层，延长渗流路径、降低渗透坡降，从而减少渗流量的水平防渗技术，适用于堤基透水路较浅、地下水位较高、渗流量较大的堤防工程，尤其适用于土堤的防渗处理，施工简单、造价合理。常用的防渗材料包括粘土、壤土、土工膜、沥青混凝土等，其中

粘土铺盖因取材便捷、防渗效果好，应用最为广泛；土工膜铺盖具有重量轻、防渗性能优、施工速度快等优点，适用于对防渗要求较高的工程。施工过程中，需先清理堤基表面，去除杂物、压实土体，然后铺设防渗材料，确保铺设平整、压实密实，避免出现裂缝、破损、搭接不紧密等缺陷。水平铺盖防渗的关键是确保防渗层的连续性和压实度，同时需与堤身、垂直防渗设施妥善衔接，防止出现渗流绕渗现象，充分发挥其防渗作用^[3]。

4.2 排水减压措施

排水减压措施是水平防渗技术的重要组成部分，核心是通过在堤身或堤基设置排水设施，排出内部渗透水流，降低孔隙水压力，减少渗透力，从而防止管涌、流土等险情，保障堤身稳定性，适用于各类堤防工程，尤其适用于渗流量大、孔隙水压力较高的砂性堤基。常用的排水设施包括排水盲沟、排水垫层、排水井等，排水盲沟通常设置在堤身底部或堤基内，采用碎石、卵石等透水材料填充，引导渗透水流排出；排水垫层铺设在堤基表面，与水平铺盖配合使用，加快渗流排出速度；排水井则用于深层堤基排水，通过钻孔将排水井设置在透水层中，将深层渗透水流引出。施工过程中，需合理布置排水设施的位置、间距和深度，确保排水畅通，避免排水设施堵塞。排水减压措施不仅能辅助提升防渗效果，还能增强堤身土体的抗剪强度，减少土体沉降，提升堤防工程的整体稳定性。

4.3 压重平台

压重平台是通过在堤顶或堤坡设置压重层，增加堤身自重，提高堤身抗滑稳定性和抗渗能力的水平防渗辅助措施，适用于堤身稳定性不足、存在滑动隐患或渗流压力较大的堤防工程，尤其适用于软土地基上的堤防，施工简单、见效快。压重平台的材料通常选用粘性土、砂卵石、块石等，具有重量大、稳定性好、取材便捷等特点，压重层厚度根据堤身稳定性计算确定，一般为0.5-2.0米，宽度与堤顶宽度或堤坡范围相匹配。该技术的核心是通过增加堤身自重，增大堤身与地基之间的摩擦力，抵抗渗透水流产生的向上的托浮力，同时抑制堤身土体的渗透变形，减少管涌、流土等险情的发生。施工过程中，需控制压重材料的质量和压实度，确保压重平台均匀、密实，避免出现局部沉降、滑动等问题，与其他防渗措施配合使用，全面提升堤防的稳定性和防渗能力。

5 水利堤防防渗工程质量控制

水利堤防防渗工程质量直接关系到堤防工程的安全稳定和防洪效能，质量控制是防渗工程施工的核心环节，需贯穿工程设计、材料采购、施工实施、检测验收的全过

程,坚持“预防为主、全程控制、严格验收”的原则,确保工程质量符合设计要求和相关规范标准。

5.1 材料质量控制

材料质量是水利堤防防渗工程质量的基础,所有用于防渗工程的材料,必须符合设计要求和相关规范标准,严禁使用不合格材料,否则会直接影响防渗效果,埋下安全隐患。材料质量控制主要包括材料采购、进场检验、储存保管三个环节。采购环节,需选择资质齐全、信誉良好的供应商,明确材料质量标准和技术要求,签订采购合同,明确质量责任;进场检验环节,对每批次进场的防渗材料(如水泥、混凝土、塑料薄膜、土工材料、土料等)进行抽样检测,重点检测材料的渗透性、强度、耐久性、柔韧性等关键指标,检测合格后方可投入使用,不合格材料一律退场;储存保管环节,根据材料特性合理存放,避免材料受潮、变质、损坏,如水泥需存放于干燥通风的库房,塑料薄膜需避免暴晒、挤压,土料需分类堆放,防止混杂。

5.2 施工过程控制

施工过程控制是水利堤防防渗工程质量控制的核心,需针对不同防渗技术的施工特点,严格控制施工工艺、施工参数和施工流程,及时纠正施工中的违规操作,确保施工质量符合要求。施工前,需组织施工人员进行技术交底,明确施工方案、质量标准、操作规范和安全注意事项;施工过程中,重点控制关键工序和关键环节,如垂直防渗技术中的钻孔精度、泥浆性能、浇筑质量、桩体搭接,水平防渗技术中的材料铺设、压实度、衔接质量,排水减压措施中的排水设施布置、畅通性等。同时需加强现场巡查,及时发现和处理施工中的质量隐患,如墙体夹泥、断桩、薄膜破损、压实不足等,对违规施工行为及时制止并整改^[4]。另外,需控制施工环境对质量的影响,雨天、大风天等恶劣天气应暂停施工,避免因环境因素导致施工质量下降,确保施工过程规范、有序,质量可控。

5.3 质量检测与验收

质量检测与验收是水利堤防防渗工程质量控制的最后一道防线,通过科学的检测方法和严格的验收程序,检验工程质量是否符合设计要求和相关规范标准,确保工程安全可靠。质量检测分为施工过程检测和竣工检测,施工过程检测主要针对关键工序、关键部位进行抽样检测,如防渗墙体的厚度、强度、渗透性,铺盖的压实度,排水设施的畅通性等,及时反馈检测结果,指导施工调整;竣工检测则对整个防渗工程进行全面检测,评估工程整体防渗性能和质量状况。验收分为分部工程验收、单位工程验收和竣工验收,验收过程中,需核查施工资料、检测报告,现场检查工程实体质量,对发现的质量问题,责令施工单位限期整改,整改合格后方可通过验收。验收合格后,需建立工程质量档案,详细记录工程设计、施工、检测、验收等相关资料,为工程后期维护、检修提供依据,确保堤防防渗工程长期稳定运行。

结束语

水利堤防设计与防渗技术是保障防洪安全的关键。从合理选择堤防分类与结构型式,到依据渗流机理运用垂直与水平防渗技术,再到严格把控材料、施工及检测验收等质量环节,每个步骤都紧密相连、至关重要。未来,需不断探索创新,提升堤防设计与防渗技术水平,以更好地应对洪水挑战,守护人民生命财产与生态环境的安宁。

参考文献

- [1]刘勇勇.水利工程施工中堤防防渗技术的研究[J].石化技术,2025,32(6):353-354.
- [2]郭腾,呼磊.堤防防渗技术在水利工程中的应用与改进研究[J].散装水泥,2025(4):118-120.
- [3]王印.水利工程中堤防防渗施工技术的应用研究[J].工程技术研究,2023,8(19):96-98.
- [4]毛文立.堤防防渗施工技术在水利工程中的应用探析[J].珠江水运,2025(16):141-143.