

堤防防渗技术在水利工程中的应用与实践

张栋效 邬金海

上海市水利工程集团有限公司 上海市松江区 201600

【摘要】随着全球气候变化和极端气候事件的增加，有效的防渗技术对于保障水利设施的安全运行和提高其效率变得尤为重要。水体的渗透不仅会影响水利设施的结构安全，还可能对周边生态系统造成长远影响，因此，在堤防施工中，需采取有效的防渗施工技术措施。本文首先对水利工程堤防渗漏的原因进行介绍，然后分析水利工程堤防防渗施工技术类型与应用要点，并通过实例进行详细阐述，以期为类似工程提供参考。

【关键词】水利工程；堤防；防渗

一、水利工程堤防渗水现象的原因

堤防渗漏问题的复杂性源自多种因素，施工材料的适应性和质量是防渗效果的决定因素。土壤的种类、粒度分布和塑性指数直接影响其防渗性能。例如，粘土虽然具有较好的防渗特性，但如果含砂量过高或者粘土层太薄，其防渗效果将大打折扣。此外，非饱和土壤的毛细作用可能导致水分上升，这在堤防体中尤为常见，尤其是在水位变化频繁的区域。施工过程中的技术措施对防渗性能也有重要影响。堤防的压实度需要根据土壤类型和湿度适当调整。不同类型的土壤对压实的需求不同，如粘性土壤和砂质土壤在压实标准上有显著不同。压实不充分会造成土体密实度不足，从而增加水的渗透路径。此外，堤防施工中常见的接缝处理不当，如搭接宽度不足或未按规定进行压实，也是导致渗透的常见原因。除此以外，设计阶段的细节处理同样关键。设计师需要充分考虑堤防所在地的水文地质条件，如地下水位、降雨量和流域特性，都会影响到最终设计的防渗措施，如选择合适的堤防截面、防渗层设置和排水系统设计。设计不当不仅会导致防渗效果不佳，还可能引发堤防的结构不稳定。最后，环境因素如气候变化和人为活动也不容忽视。气候变化导致的极端天气事件，如暴雨和干旱，会对堤防的防渗性能带来极大挑战。

二、水利工程堤防防渗施工技术类型

（一）帷幕灌浆防渗施工技术

帷幕灌浆防渗施工技术是一种在水利工程中广泛应用的深层防渗方法，适用于大型水坝和堤防工程。该技术通过在地下形成一个连续的灌浆帷幕，有效阻断水在土体中的渗透路径，从而达到防渗目的。在实施帷幕灌浆技术时，需进行详细的地质和水文调查，以确定渗漏点和潜在的水流路径，指导灌浆的精确位置和深度，确保防渗效果。施

工流程如图1所示。灌浆过程中，选择合适的灌浆材料是关键。常见的灌浆材料包括水泥浆、化学浆（如丙烯酰胺、硅藻土浆液等）和粘土浆。水泥浆因其成本相对低廉和适用性广而常用。而化学浆料则因其特殊的化学性质，能在特定条件下形成更为密实和均匀的防渗层，适用于复杂的地质环境。在灌浆施工中，通常采用高压灌浆法，通过高压注入，灌浆材料能迅速扩散并填充土壤中的空隙，与土壤颗粒紧密结合，增强土体的整体防渗性能。此外，高压灌浆还可提高灌浆材料与土壤的粘结力，增强帷幕的整体稳定性和持久性。施工中还需考虑灌浆的层次和顺序。通常，帷幕灌浆是从下至上进行，可以逐步控制灌浆的提升和固化过程，确保帷幕的连续性和完整性。

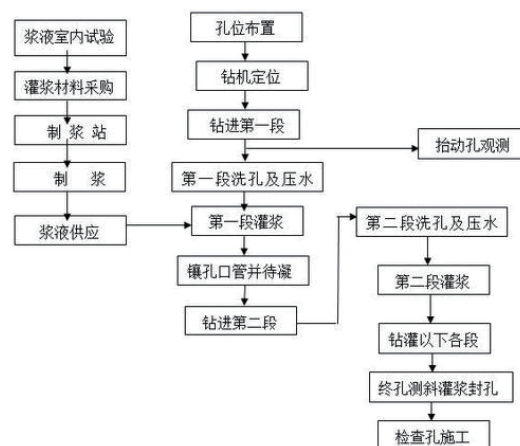


图1 帷幕灌浆防渗施工流程

（二）混凝土防渗墙施工技术

在水利工程中，混凝土防渗墙施工技术主要用于构建坚固的防渗屏障的方法。通过建造一道深入地下的混凝土墙，可以有效阻止水体通过堤防或水坝的渗透。在进行混凝土防渗墙施工前，需进行精确的设计计算，根据地质调

查结果和水文数据，确定墙体的深度、厚度和位置。在设计过程中，必须确保墙体足够深入地下，以达到所有潜在水流的底部，并足够厚实，以承受地下水压的长期作用。在实际施工中，需采用钢筋混凝土，这种材料不仅具有极好的防水性能，而且还能提供必要的结构强度。在施工过程中，可以选择现场浇筑或预制混凝土板，在特定施工现场直接浇筑混凝土，适合形状复杂或尺寸特殊的设计。而预制混凝土板则在工厂制造完成后运输到现场，通过起重设备安装到预先挖好的槽中，施工速度快，便于开展施工质量控制。在混凝土防渗墙施工中，墙体接缝处理至关重要。接缝必须确保严密不漏，可采用特殊密封材料或者采用搭接技术来实现接缝的水密性。此外，墙体中还需要设置排水系统，以便控制墙后的水压，防止水压过大影响墙体的稳定性。具体的施工方法如图2所示。施工期间，要使用现代化的测量和检测技术，对混凝土的浇筑质量、固化过程以及墙体的垂直度和对齐精度进行密切监控，确保每一步施工都符合设计规范。

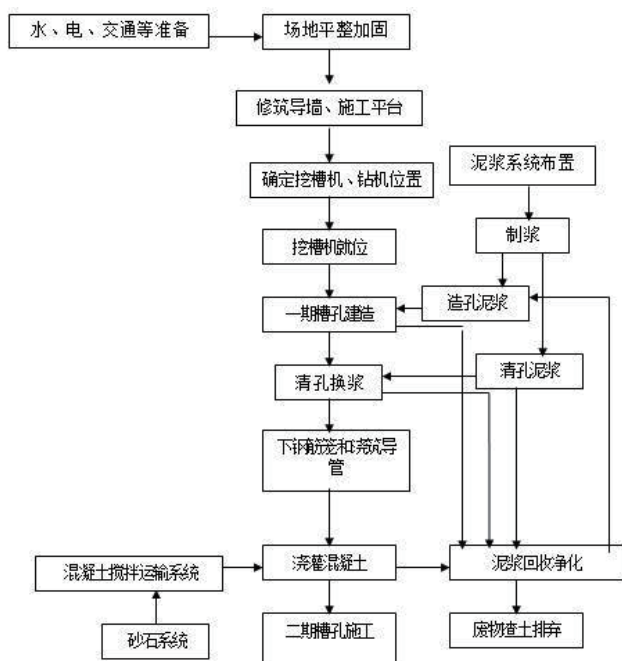


图2 混凝土防渗墙施工方法

(三) 水泥搅拌桩防渗施工技术

在水利和地下工程中，水泥搅拌桩防渗施工技术的作用在于改良地基结构。通过将水泥与原位土混合，形成一系列具有防渗特性的固化桩体，从而改善土质，防止水体渗透。在施工前，需对施工场地进行全面勘探，以评估土壤类型、含水量和其他相关的地下条件，据此确定桩体直径、间距和布局形式，以全面覆盖待改良区域并达到预期的防渗效果。施工过程中，使用专门的搅拌设备，如连续

飞机或者搅拌钻机，将水泥浆注入土中。搅拌装置通常装备有旋转钻杆和搅拌叶片，在钻进土层时同时进行搅拌和喷射。水泥浆与土粒混合后，随着水泥的水化作用，混合体逐渐硬化形成水泥土。水泥土桩不仅具有较高的抗剪强度，而且可显著增强土体的防渗能力。在水泥搅拌桩布局方面，可采用网格状布局方案，桩与桩之间重叠部分形成连续的防渗墙，可为保证防渗效果的关键，如果出现间隙，则可能成为潜在的渗水点，如图3所示。因此，施工时，必须精确控制搅拌深度和桩间距，确保防渗层的完整性。此技术的优点在于施工快速、成本相对低廉，且可以根据地质条件调整混合比例和深度，适应不同的工程需求。

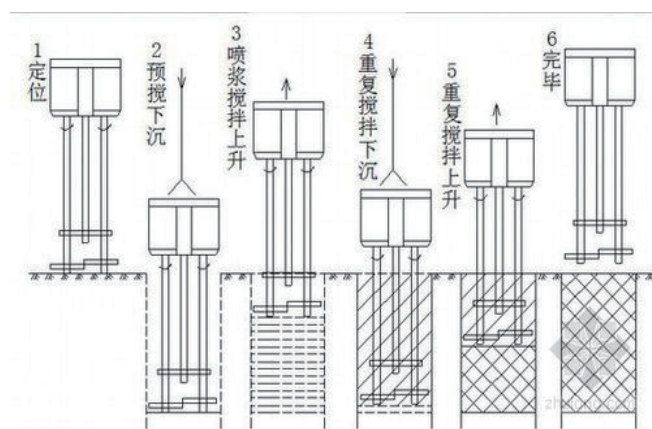


图3 水泥搅拌桩施工

三、水利工程堤防防渗施工技术应用实例

(一) 工程概况

此堤防工程位于水库水利工程的下游区域，总长度为2176.5m，并沿河岸线进行布局。水库设计的总容积为108.5万m³，正常蓄水位设定在1205m，同时，该堤防工程设计需能承受最高洪水位达到1275.5m。工程完成后，主要目的是满足当地的灌溉需求，并显著降低洪水对下游地区的影响。综合现场勘测和多种因素分析后，决定采用水泥搅拌桩技术建立防渗墙体，以期实现高效的防渗效果。

(二) 场地整理与测量放线

在施工前，首要任务是对施工现场进行全面清理和整理。这包括将地面平整，并清除所有杂物，如树叶、树根、瓶子和塑料袋等；同时，对于表面的淤泥质土壤进行更换。此外，必须确保施工现场具备良好的排水系统，以避免积水现象。场地整理完毕后，根据施工图纸确定并标记出钻孔桩的精确位置。这些前期准备工作完成后，钻机到位前还需进行一次详细的复测，确保钻孔位置的精确性，为顺利施工打下坚实基础。

（三）钻机就位与钻进施工

按照精确放置的桩位进行钻机安装，务必进行详尽的调平，以确保钻机的平稳性。此外，钻杆必须与钻孔中心精确对齐，并且在整个钻进过程中，钻杆与钻孔之间需保持严格的垂直关系。钻进时，钻杆的倾斜度必须控制在1%以内，这对确保钻孔的精度和安全性至关重要。钻机就位后，进行钻孔前的基础检查和调试，这包括检测喷嘴是否畅通以确保浆液能顺利流动；检验自动计量设备是否正常工作，精确计量浆液，这些都是确保钻进顺利进行的关键步骤。在钻进施工的初期，应采用低速档位缓慢钻进，这是为了防止钻孔位置在钻进过程中发生偏移，这一步是确保施工精度的关键。一旦钻杆钻过护筒底部，就可以调整到正常的钻进速度。钻进速度的调整应根据土层的实际情况灵活处理，同时必须妥善控制钻速与泥浆排放量之间的协调，以防钻孔塌陷。在本堤防工程项目中，当钻杆钻入50cm深时，启动空压机为钻杆送风，整个钻进过程的速度保持在每分钟1m，直至钻头达到设计深度后停止。在此过程中，空压机将持续向钻杆输送压缩空气，以确保钻进作业的连续性和高效率。

（四）搅拌、提升

在水泥搅拌桩的施工过程中，遵循“四搅四喷”的施工原则是关键。钻杆达到预定深度时，启动钻机的反向旋转和泵浆机，同时进行喷浆和搅拌，同时也要维持恰当的提升速度。对于本次堤防工程，钻杆的提升速度设定为每分钟0.8m，而喷浆压力控制在0.2至0.4MPa。按照标准每米喷入75kg的水泥浆，这一操作通过自动计量装置来确保精度。当钻杆即将提升至距离设计桩顶0.5m处时，停止喷浆以结束此阶段。

（五）复搅

完成初次喷浆后，为确保桩体达到更高的结构强度和稳定性，进行复搅操作是必要的。复搅旨在提升水泥浆的均匀性，避免因搅拌不均匀导致的桩体缺陷。复搅的操作流程与初次钻进相似，首先通过正向旋转启动钻杆，同时开启空压机为钻杆送风以促进浆料混合。当钻杆到达桩底深度后，切换至反向旋转并逐步提升至桩顶，整个提升过程中保持速度约为每分钟1m，确保水泥浆在桩体中的彻底和均匀分布。

（六）成桩移机

完成每个桩体的施工后，根据既定的流程顺序移动钻机至下一个预定桩位，系统的执行后续桩体的建造。通过实施有序的施工流程，不仅可提高工作效率，而且确保每根

桩体的构造质量保持一致。在所有桩体的水泥浆液固化完成后，需进行全面的质量检验。检查桩体的垂直度、混凝土的密实度以及桩与土壤之间的结合强度等关键参数。每一根桩的质量都必须严格符合设计规范和施工标准。

（七）堤防工程成桩质量检验

在该堤防工程启动前，根据实际的工程需求和环境条件，已制定详细的施工标准，详细信息列于表1中。同时，对所有施工材料，尤其是用于水泥搅拌桩的浆液，进行了严格的质量控制，确保这些材料满足设计和实验的质量标准。对整个堤防工程中水泥搅拌桩的施工过程及其最终桩体的质量进行了全面的检验，以验证所有桩体是否达到了所需的质量标准。从堤防工程的最终性能来看，其防渗效果非常显著，达到设计的预期效果，证明水泥搅拌桩技术在此项目中的适用性和有效性。

表1 堤防工程施工及成桩质量标准

项目	标准要求	单位	测量方法
桩底标高	±200	mm	测机头的深度
桩顶标高	-50~+100	mm	应用水准仪进行测量
桩位偏差	50	mm	应用钢尺进行测量
桩径	≤0.04D (D为桩径)	—	应用钢尺进行测量
垂直度	≤1.0	%	应用经纬仪测量
搭接	>200	mm	应用钢尺进行测量

结语：

综上所述，本文结合实例，对水利工程堤防防渗施工技术进行了详细探究。不同的堤防防渗施工技术各有其独特的优势和适用条件。例如，帷幕灌浆技术适用于深层渗漏的处理，而水泥搅拌桩则更适合于处理土质松散区域的渗漏问题。选择合适的防渗技术需要根据具体工程的地质条件、经济预算和预期目标综合考虑。本研究发现可为水利工程的设计与施工提供宝贵的参考，提升堤防工程的防渗效果，确保水资源的有效利用和水利设施的长期稳定。未来研究可进一步探索新材料和新技术在堤防防渗中的应用潜力，以不断优化和创新水利工程防渗策略。

参考文献：

- [1] 陈明毅. 防洪堤堤基防渗墙施工技术研究[J]. 建材与装饰, 2019, (28): 294-295.
- [2] 汪国骏. 芜湖市中江塔段堤防渗漏处理工程浅析[J]. 治淮, 2023, (10): 49-51.