

BIM 技术支持下的泵站工程深基坑支护防渗方法

文 / 张 玮 衡宇建设集团有限公司

摘要：为探究 BIM 技术支持下泵站工程深基坑支护防渗方法，文章以泵站工程深基坑为研究对象，分析 BIM 技术在深基坑支护防渗设计、施工管理与监控等方面的应用，探讨地质条件复杂、地下水渗透管理困难及施工不确定性等面临的挑战。研究认为，通过 BIM 技术可优化支护结构设计方案，提升防渗设计与施工效率，支持全过程施工管理。BIM 技术在泵站工程深基坑支护防渗中具有重要价值，能为解决相关问题提供有效途径，助力泵站工程顺利实施。

关键词：BIM 技术；泵站工程；深基坑；支护；防渗

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.047

引言

在现代化水利工程建设中，泵站工程至关重要。而泵站工程的深基坑施工面临诸多难题，其中支护与防渗工作直接关系到工程的稳定性与安全性。传统的支护防渗方法在面对复杂的地质条件和施工环境时，常暴露出设计不够精准、施工管理困难等问题。BIM 技术作为一种先进的数字化技术，具有可视化、协同性等优势。将其引入泵站工程深基坑支护防渗领域，有望突破传统方法的局限。文章旨在深入探究 BIM 技术在泵站工程深基坑支护防渗设计、施工管理与监控等方面的具体应用，分析其面临的挑战，并提出优化方法，为泵站工程的高效、安全建设提供有力支撑。

一、BIM 技术在深基坑支护防渗中的应用

（一）BIM 技术在深基坑支护设计中的作用

在深基坑支护设计阶段，BIM 技术发挥着不可替代的作用。首先，它能建立三维可视化模型，将原本抽象的设计方案以直观的形式呈现出来。设计人员可以全方位、多角度地审视支护结构的布局，如桩体的位置、支撑的设置等，及时发现潜在的设计缺陷。例如，通过 BIM 模型，能清晰看到不同类型桩体在空间上是否存在碰撞或不合理的间距，避免在实际施工中出现返工情况。其次，BIM 技术可进行多方案对比分析^[1]。基于建立的模型，快速模拟不同支护结构形式在各种工况下的受力情况，通过数据分析得出最优方案。比如对比不同材质支撑的承载能力与成本，结合工程实际需求，为选择最适合的支护设计提供科学依据，有效优化设计流程，提高设计质量与效率。再者，借助 BIM 技术的协同设计功能，不同专业人员如结构工程师、岩土工程师等可在同一平台实时交流与协作。各专业人员能及时反馈意见，确保支护设计在满足结构安全的同时，充分考虑地质条件、施工可行性等多方面因素，实现设计的全面性与合理性。

（二）BIM 技术在防渗设计中的支持

BIM 技术为防渗设计提供了全面且强大的支持。其

一，通过对地质数据的整合与分析，构建精确的地下地质模型，能清晰展示地下土层分布、含水层位置及渗透特性等信息。设计人员依据此模型，精准确定防渗帷幕的深度、厚度及位置。例如，若模型显示某区域存在强透水层，可针对性地加深防渗帷幕（如图一所示），确保有效阻隔地下水。其二，BIM 技术可进行防渗效果的模拟分析。在虚拟环境中模拟不同防渗方案下地下水的渗流情况，直观呈现渗流路径与压力分布。如模拟采用不同类型防渗材料时，地下水在基坑周边的渗透情况，预测可能出现渗漏的位置，提前优化设计方案，避免后期渗漏隐患。其三，利用 BIM 的参数化设计功能，能快速调整防渗设计参数。当工程条件发生变化或设计方案需要优化时，只需修改相关参数，模型便能自动更新，高效完成设计变更。例如，根据实际施工中发现的土层变化，及时调整防渗墙的长度和厚度，保证防渗设计的灵活性与适应性。



图1 防渗土工布

（三）BIM 技术在施工过程中的管理与监控

在深基坑施工过程中，BIM 技术是高效管理与精准监控的有力工具。从施工进度管理方面来看，将施工进度计划与 BIM 模型相结合，形成 4D 模型，能直观展示

不同时间节点各项施工任务的进展情况。管理人员可实时对比计划进度与实际进度，及时发现偏差并采取调整措施。例如，若某一施工环节因天气原因延误，通过4D模型可快速评估对后续施工工序的影响，合理调整施工顺序或增加资源投入，确保整体进度不受太大影响。在质量管理上，BIM模型可作为质量管控的信息载体^[2]。施工人员将现场施工情况与模型进行对比，如支护结构的实际安装位置、防渗材料的铺设质量等，及时发现并纠正施工中的质量问题。同时，利用BIM技术的碰撞检测功能，提前发现不同施工专业之间的冲突，避免因施工顺序不当导致的质量隐患。在安全监控方面，BIM技术可模拟施工现场的安全风险，如深基坑周边的边坡稳定性、高空作业区域的安全防护等。根据模拟结果提前设置安全警示标识和防护措施，有效降低安全事故发生的概率。此外，通过在模型中集成监测数据，实时掌握基坑的变形、地下水位变化等情况，一旦出现异常能及时预警，保障施工安全。

二、泵站工程深基坑支护防渗的挑战

（一）地质条件复杂

在泵站工程深基坑施工中，地质条件复杂是一大严峻挑战。不同区域的地质构造差异巨大，地层可能由多种不同类型的岩土体组成，如软土、砂土、岩石等相互交错。这些岩土体的力学性质、渗透性等各不相同，给支护防渗设计与施工带来极大困难。例如，在软土地层中，土体的强度低、压缩性高，基坑开挖后极易出现土体变形、坍塌等情况，对支护结构的稳定性要求极高。而在砂土地层，尤其是富含地下水的砂层，容易发生流砂现象，导致基坑周边土体流失，影响基坑及周边建筑物的安全。若遇到岩石地层（如图二所示），岩石的硬度、节理裂隙发育程度等都会影响爆破施工的难度与效果，以及支护结构的锚固方式和效果。此外，地质条件在水平和垂直方向上可能存在不均匀性，使得设计人员难以准确掌握整个基坑范围内的地质情况。即使进行了详细的地质勘察，由于勘察点的局限性，仍可能存在未发现的地质异常区域，这些都增加了支护防渗工程的风险与不确定性。



图2 河床岩石地层

（二）地下水渗透管理困难

地下水是泵站工程深基坑支护防渗必须面对的难题。首先，地下水水位的动态变化难以精准预测。受到季节性降水、周边河流补给、地下水位开采等多种因素影响，地下水位可能在短时间内大幅波动。当水位上升时，基坑所承受的水压力增大，对支护结构和防渗体系构成巨大威胁。其次，地下水的渗透路径复杂多样^[3]。地层中的孔隙、裂隙、溶蚀通道等为地下水提供了不同的渗透途径，使得地下水可能从多个方向渗透到基坑内部。尤其是在岩溶地区，存在大量溶洞和地下暗河，地下水的流动规律更加难以捉摸，常规的防渗措施可能难以有效应对。再者，不同类型的地下水具有不同的腐蚀性。某些地下水含有大量的化学物质，如硫酸盐、氯离子等，它们会对支护结构和防渗材料产生腐蚀作用，降低其耐久性和防渗性能。长期受到地下水侵蚀，可能导致支护结构损坏、防渗帷幕失效，进而引发基坑渗漏等严重问题。

（三）施工过程中的不确定性

施工过程充满了诸多不确定性因素。一方面，施工工艺的实施效果存在变数。例如，在灌注桩施工中，可能因泥浆护壁不当导致塌孔，影响桩的质量和承载能力；高压喷射注浆法形成的防渗帷幕，其喷射效果可能受到地层条件、喷射参数等影响，导致帷幕的连续性和强度达不到设计要求。另一方面，施工环境的变化难以预估。恶劣的天气条件，如暴雨、强风等，可能导致施工现场积水、土体饱和，增加基坑边坡失稳的风险，同时也会影响施工进度和质量。施工现场周边环境的变化，如新建建筑物的施工、地下管线的迁移等，可能对正在进行的深基坑工程产生不利影响。此外，施工人员的技术水平和操作规范程度也存在差异。若施工人员未能严格按照设计要求和施工标准进行操作，例如支护结构的安装不牢固、防渗材料的铺设存在漏洞等，都可能导致支护防渗效果大打折扣，为工程埋下安全隐患。而且施工过程中可能出现的突发状况，如设备故障、意外事故等，也会对工程进度和质量产生严重影响。

三、BIM技术支持下的泵站工程深基坑支护防渗优化方法

（一）优化支护结构设计方案

在运用BIM技术优化支护结构设计方案时，首要步骤是利用专业软件，基于详细的地质勘察报告与基坑设计数据，创建精确的三维地质与基坑模型。此模型不仅涵盖地层分布、岩土力学参数，还包括基坑的形状、尺寸以及周边建筑物与地下管线等信息。通过模拟不同施工阶段的基坑开挖过程，分析土体的应力应变分布和位

移变化情况^[4]。例如,在模拟过程中,观察到某区域土体位移过大,可能导致基坑边坡失稳,此时可针对性地调整该区域的支护结构,如增加支撑数量或改变桩的间距。借助BIM技术的参数化功能,对支护结构的关键参数进行系统性分析。通过改变桩径、桩长、支撑材料的力学性能等参数,对比不同参数组合下支护结构的力学响应,找出最优化的参数配置。同时,组织设计团队、施工专家以及相关利益方,在BIM协同设计平台上对设计方案进行多轮研讨,充分考虑施工过程中的实际操作难度、材料供应情况以及成本控制因素,确保设计方案既满足工程安全需求,又具备良好的施工可行性和经济性。

(二) 提升防渗设计与施工效率

在泵站工程深基坑的防渗工作中,借助BIM技术可显著提升设计与施工效率。构建地下水流模型时,通过物联网技术在基坑周边布置大量水位与水压监测点,收集实时数据,并运用数据同化算法,将其与BIM模型中的预测数据深度融合,实现对模型的动态更新。如此一来,当遭遇暴雨等极端天气引发地下水位突变时,模型能够迅速调整渗流路径与水力特征,为防渗设计的实时优化提供精准依据。

施工模拟阶段,引入虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术。施工人员借助VR设备,可全方位、沉浸式地预演防渗施工流程,提前熟悉复杂施工环境。在实际施工时,利用AR技术,通过移动设备将BIM模型中的防渗施工关键信息,如防渗材料铺设位置、连接方式等,直观地叠加到施工现场,施工人员得以依据这些信息精准作业。例如,在铺设防渗帷幕时,AR设备能实时展示帷幕的设计深度与位置,有效避免因人为误差导致的渗漏隐患。为优化施工进度管理,引入基于BIM的资源管理系统。此系统与BIM模型集成,通过在材料和设备上安装RFID标签,实时追踪施工材料库存、进场时间以及设备运行状态。一旦发现防渗材料短缺或设备故障,系统立即发出警报,并依据施工进度计划和资源储备情况,智能调整施工顺序与资源调配,保障施工的连续性,大幅提升防渗施工效率。

(三) 支持全过程施工管理

BIM技术搭建的施工管理平台,将施工进度计划以4D模型的形式呈现,即三维模型与时间维度相结合。通过实时更新现场施工进度信息,与计划进度进行对比分析,一旦发现进度偏差,立即深入分析原因,如劳动力不足、材料供应延迟或施工工艺问题等,并及时采取相应的纠偏措施,如增加施工人员、调整材料采购计划或优化施工方案。在质量控制方面,以BIM模型为基准,

建立质量验收标准库。施工人员在完成每一道工序后,利用移动设备拍摄现场照片,并上传至BIM管理平台,与模型中的对应部位进行自动比对分析。若发现质量问题,系统将及时发出警报,并提供详细的整改建议^[5]。此外,利用BIM技术的碰撞检测功能,在施工前对不同专业的施工图纸进行全面检查,提前发现诸如管道碰撞、结构与设备安装冲突等问题,避免因设计不合理导致的施工质量缺陷。在安全管理方面,基于BIM模型对施工现场进行全方位的安全风险识别与评估。例如,通过模拟深基坑边坡的稳定性,确定可能出现滑坡的区域,并提前设置防护措施;对高处作业区域进行风险分析,制定相应的安全防护方案。将安全警示信息与BIM模型进行关联,施工人员在施工现场通过移动设备扫描二维码,即可获取该区域的安全注意事项和应急处理措施,有效提高施工人员的安全意识,确保施工过程的安全。

结语

综上所述,BIM技术在泵站工程深基坑支护防渗领域展现出显著优势。在支护结构设计方面,通过构建模型模拟工况,实现了方案的优化,确定了合理的支护形式与参数,兼顾安全、施工可行性与经济性。防渗设计与施工中,利用BIM整合数据、模拟施工,有效提升了效率与效果,精准布置防渗措施,避免施工问题。同时,在全过程施工管理中,BIM技术搭建的平台对进度、质量、安全进行了全方位管控。通过4D模拟保障进度,以模型为依据把控质量,识别风险并采取防护措施确保安全。由此可见,BIM技术为泵站工程深基坑支护防渗提供了全面且有效的解决途径,极大地提高了工程质量与安全性,降低了施工风险,为泵站工程的顺利推进提供了有力支撑,在未来水利工程建设中具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 闫月峰. 泵站工程深基坑支护防渗技术的应用[J]. 水上安全, 2024, (17): 187-189.
- [2] 杨自龙. 提水泵站工程中深基坑开挖与降水的施工方法[J]. 珠江水运, 2023, (05): 94-96.
- [3] 王凯. 临江城区泵站工程临时深基坑支护方案设计[J]. 水利技术监督, 2022, (11): 253-255+277.
- [4] 谢小明, 毛元静. 某泵站工程深基坑支护设计与施工方法[J]. 河南水利与南水北调, 2021, 50(03): 90-91.
- [5] 徐崇俊. 泵站工程深基坑的开挖和支护方法分析[J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46(01): 167-169.

作者简介: 张玮, 1992.11, 女, 汉族, 安徽六安人, 工程师, 本科学历(函授), 研究方向: 水利水电工程。