

水利工程泵站施工中防渗技术的应用

程 赛 戴荣涛 杨 明

江苏省水利工程建设有限公司 江苏 扬州 225000

摘 要：水利工程泵站渗流问题是威胁水利工程安全稳定的关键因素，直接影响工程使用寿命与运行效益。本文以达西定律及渗流场理论为基础，分析地质条件、工程结构、水文特性对泵站渗流的影响机制。系统阐述基坑开挖、主体结构施工及附属结构处理阶段的主流防渗技术与应用要点，构建“施工前-施工中-施工后”全流程质量控制体系。从前期勘察与材料选型、过程关键环节管控、后期养护监测三方面提出优化策略，为泵站防渗施工提供技术支撑，实现渗流风险有效防控，保障泵站长期可靠运行。

关键词：水利工程；泵站施工；防渗技术；应用

引言：随着水利工程建设规模扩大，泵站作为水资源调配与防洪排涝的核心设施，其运行安全性备受关注。渗流作为泵站工程常见病害，易引发地基沉降、结构开裂等问题，严重时导致工程失事。当前部分泵站因防渗技术不当、质量控制缺失，出现渗漏隐患，增加维护成本。因此，本文立足泵站施工实际，以渗流理论为指导，聚焦防渗技术应用与优化，探究不同施工阶段的防渗关键措施，建立完善的质量保障体系，为解决泵站渗流难题、提升工程抗渗能力提供实践参考，具有重要的工程价值与现实意义。

1 水利工程泵站渗流问题的理论基础与影响因素

1.1 泵站渗流现象的基本理论

泵站渗流现象指水分在土体或岩体孔隙、裂隙中流动的过程，其理论核心围绕达西定律展开，该定律明确了渗流速度与水力坡降的线性关系，即当水流处于层流状态时，渗流速度与水头差成正比，与渗流路径长度成反比，比例系数为渗透系数。并且渗流理论还涉及渗流场分析，通过描绘等势线与流线构成的流网，可清晰反映渗流方向、速度分布及压强变化规律。渗流的发生需满足两个基本条件：一是存在连通的孔隙通道，二是存在水位差形成的水力梯度，这为后续分析泵站渗流问题提供了理论支撑。

1.2 泵站渗流问题的核心影响因素

泵站渗流的影响因素可分为地质条件、工程结构与水文特性三类。地质条件是基础，土体的颗粒级配决定孔隙大小与连通性，细颗粒含量高的黏性土渗透系数小，粗颗粒砂土则渗透能力强；岩体的裂隙发育程度与产状直接影响渗流通道的发育。工程结构方面，泵站基础埋深、底板形式及防渗体布置方式至关重要，基础埋深不足易导致渗流路径缩短，而防渗体衔接不严密会形

成渗流薄弱环节。水文特性中，泵站上下游水位差是渗流的驱动力，水位差越大水力梯度越高，渗流速度越快；地下水动态变化则会改变渗流场的初始状态，加剧渗流风险^[1]。

1.3 泵站防渗技术的核心设计原则

泵站防渗技术设计需遵循针对性、整体性与经济性原则。针对性原则要求结合场地地质条件选择适宜技术，如砂土区域优先采用截渗墙阻断渗流通道，黏性土区域可强化压实减小孔隙率。整体性原则强调防渗系统的连贯完整，从基础底部到边坡顶部形成封闭防渗体系，避免因局部缺陷导致整体失效。经济性原则需平衡防渗效果与工程成本，在满足渗流控制要求的前提下，优先选用施工简便、材料易得的技术方案，同时考虑长期运行中的维护成本，通过优化设计实现技术可靠与经济合理的统一。

2 水利工程泵站施工中主流防渗技术及应用要点

2.1 泵站基坑开挖阶段防渗技术

泵站基坑开挖阶段的防渗核心是阻断地下水渗入作业面，为后续施工创造干燥环境，同时防止基坑边坡失稳。（1）基坑开挖阶段需根据地基土质特性选择技术类型，砂性土地基优先采用“铺盖+垂直防渗”组合形式，黏性土地基可单独使用铺盖防渗。（2）钢筋混凝土铺盖是常用的水平防渗设施，长度通常取上下游最大水位差的3至5倍，最小厚度不宜小于0.4米，顺水流向的永久变形缝缝距可控制在8至20米，靠近翼墙区域宜采用较小缝距。对于粉土、粉细砂等易渗透地基，需在铺盖前端增设垂直防渗体，高压喷射灌浆帷幕是优选方案，其最小有效厚度不小于0.5米，能有效切断深层渗流通道^[2]。（3）基坑边坡防渗常采用土工膜覆盖技术，用于防渗的土工膜厚度需结合作用水头确定，一般不小于0.5毫米，

铺设后需及时设置保护层防止破损。当基坑开挖遇到砂砾石层时,截水槽或防渗墙嵌入相对不透水层的深度需达1.0米以上,若下卧层为岩石则嵌入深度不小于0.5米,确保形成完整的防渗屏障。

2.2 泵站主体结构施工阶段防渗技术

主体结构施工阶段的防渗重点集中在混凝土结构接缝与关键受力部位,需通过材料选择与工艺控制实现长效防渗。(1)永久变形缝是渗漏高发区域,水下缝段必须埋设至少1道耐久止水带,垂直与水平止水带相交处需构成密封系统,避免形成渗流通道。(2)混凝土浇筑过程中的防渗控制至关重要,需严格控制骨料级配与坍落度,浇筑完成后及时进行养护,防止表面开裂。岩基上的泵房可在底板高水位侧齿墙下设置水泥灌浆帷幕,灌浆孔间距需根据岩层裂隙发育情况调整,单孔灌浆深度应穿透风化岩层。智能灌浆技术的应用可提升施工质量,可实时监测灌浆参数,大幅提升施工效率,单月灌浆进尺可显著增加。(3)垂直防渗体与上部底板的连接需采用柔性方式,钢筋混凝土防渗墙的最小有效厚度不小于0.2米,水泥土搅拌桩防渗墙则不小于0.35米。施工中需确保防渗体之间的垂直缝可靠连接,避免因连接缺陷形成渗漏通道,同时在渗流出口处设置级配良好的排水反滤层,防止渗透变形^[3]。

2.3 泵站附属结构及地基处理防渗技术

附属结构及地基处理的防渗目标是强化整体防渗体系的完整性,解决地基不均匀沉降引发的渗漏问题。(1)前池、进水池等附属结构的底板可设置适量排水孔,孔径通常为50至100毫米,孔距根据渗流情况控制在2至3米,排水孔出口必须配套排水反滤层。(2)地基处理中,端承型桩基础需采取防接触冲刷措施,可在桩顶设置混凝土承台并加密止水构造。对于深厚砂性土地基,采用铺盖与悬挂式防渗墙相结合的形式,防渗墙深度需深入透水层5米以上,同时配合减压井排水,减压井井管内径不宜小于0.2米。黏土铺盖适用于黏性土地基的附属结构防渗,其前端最小厚度不小于0.6米,并向下游方向逐渐加厚,铺盖表面需设置10至15厘米厚的保护层。地下垂直防渗可采用复合土工膜,重要工程中复合土工膜厚度不小于0.5毫米,普通工程可选用0.25毫米以上的单土工膜,铺设时需采用热熔焊接工艺确保接缝严密。(3)侧向防渗需与正向防渗系统衔接,边墩临土侧可设置刺墙延长渗径,刺墙嵌入地基深度不小于1.5米。整个防渗体系施工完成后,需通过注水试验检测防渗效果,确保渗流量控制在每平方米每日0.1升以内,为泵站长期稳定运行提供保障。

3 水利工程泵站防渗施工的质量控制体系

3.1 施工前质量控制

泵站施工前质量控制是防渗工程的基础保障,核心为消除源头隐患。(1)需全面勘察现场,重点排查地质条件,明确土层分布、地下水位等关键参数,聚焦软土地基、砂层等易渗漏区域特性,为方案制定提供精准依据;同时结合勘察结果完成技术准备,设计针对性防渗方案,明确材料选型、工艺标准及技术参数,保障方案科学可行。(2)材料质量是防渗关键,需建立严格进场检验机制。对土工膜、防渗混凝土等核心材料,核查出厂合格证明并抽样检测力学性能、抗渗等级等指标,杜绝不合格材料入场。此外,需检修校准压实、焊接等专用设备,确保运行稳定;组织施工人员技术交底,明确施工要点与质量标准,提升操作规范性。

3.2 施工过程质量控制

泵站施工过程是质量控制的环节,需聚焦各工序的精细化管控。(1)地基处理作为防渗基础,要严格按照技术方案执行,针对不同地质条件采用相应处理工艺,确保地基承载力均匀、沉降稳定,避免因地基变形导致防渗结构开裂。在防渗层施工中,需根据材料特性把控关键工序,如土工膜铺设时要保证搭接宽度符合要求,焊接过程中控制温度与速度,避免出现虚焊、漏焊;防渗混凝土浇筑时要做好振捣作业,确保混凝土密实度,减少内部孔隙。(2)施工过程中的实时监测至关重要,需建立动态管控机制。安排专人对各工序进行旁站监督,重点检查施工参数与工艺标准的符合性,及时纠正违规操作。针对施工缝、变形缝等渗漏风险较高的部位,要强化专项管控,严格执行止水构造安装工艺,确保接缝处密封严密。同时,做好施工环境监测,避免在暴雨、高温等不利条件下开展关键工序施工,保障施工质量稳定性^[4]。

3.3 施工后质量检测与评估

泵站施工后质量检测与评估是防渗效果验证的关键,需构建全面检测体系。采用外观检查排查表面缺陷,结合无损检测技术定位防渗层内部问题,通过注水、渗水试验直接验证抗渗性能。针对检测问题制定专项整改方案,明确措施与复检标准,确保缺陷彻底消除。整改完成后,结合施工记录与检测数据,从材料质量、施工工艺、防渗效果等维度开展整体质量评估,判断是否达成预期目标。同步建立质量档案,记录全流程质量控制与检测信息,形成闭环管理,为后续运行维护提供依据,保障泵站长期稳定运行。

4 水利工程泵站施工中防渗技术的优化策略

4.1 施工前期的基础优化：筑牢防渗前提

泵站施工前期的准备工作是防渗技术有效实施的基础，其核心在于精准掌握地质水文条件与科学规划防渗方案。（1）在地质勘察阶段，需采用精细化勘察手段，全面探明施工区域的土层分布、土壤含水率、地下水位变化规律及岩层裂隙发育情况，避免因勘察疏漏导致防渗措施与实际地质条件不匹配。针对软土地基、砂层等易渗漏地质，应提前制定专项处理方案，为后续防渗施工提供数据支撑。（2）材料选择是前期优化的关键环节。防渗材料的性能直接决定防渗效果，需优先选用抗渗性强、耐久性好、适应变形能力优的材料。在土工合成材料方面，可选用高密度聚乙烯土工膜，其具有优异的抗穿刺性和化学稳定性，能有效阻隔水体渗透；在混凝土材料上，应采用高性能抗渗混凝土，通过优化水泥、掺合料、外加剂的配比，提升混凝土的密实度和抗渗等级，减少内部孔隙，从根本上降低渗漏风险。还需建立严格的材料进场检验机制，确保材料质量符合施工要求。

4.2 施工过程的核心优化：强化关键环节控制

泵站结构的接缝处是渗漏高发区域，需针对不同类型接缝采取针对性优化措施。（1）在混凝土结构施工中的施工缝，应在浇筑前清理界面浮浆，采用界面处理剂增强粘结力，同时设置止水钢板或橡胶止水带，通过双重防护提升防渗效果；对于沉降缝和伸缩缝，应选用弹性好、耐老化的止水材料，确保在结构变形过程中始终保持密封状态，避免因材料收缩或变形出现渗漏通道。（2）地基处理的防渗优化是保障泵站整体防渗性能的核心。针对不同地质条件，可采用多种技术组合的方式提升地基防渗能力。对于浅层透水地基，可采用换填法，将表层透水土层替换为压实性好、抗渗性强的黏土或灰土，形成防渗隔离层；对于深层透水地基，高压喷射注浆技术是有效的优化手段，通过高压喷射将水泥浆与地基土混合，形成连续的防渗帷幕，阻断地下水流通。并在地基开挖过程中，做好排水工作，避免基坑积水影响地基处理质量^[5]。

4.3 施工后期的养护优化：延长防渗时效

泵站施工后期的养护工作是维持防渗技术长期有效的重要保障，需建立常态化的养护机制。（1）在混凝土结构养护方面，应严格控制养护时间和养护方式，采用覆盖保湿、洒水养护等措施，确保混凝土强度稳步增长，减少裂缝产生。对于土工膜等防渗材料，需定期检查其表面是否存在破损、老化现象，发现问题及时进行修补或更换，避免破损区域扩大导致渗漏。（2）建立完善完善的防渗监测体系是后期优化的重要内容。通过在泵站结构关键部位设置渗压计、位移计等监测设备，实时监测渗漏水情况和结构变形数据，及时掌握防渗系统的运行状态。针对监测数据出现的异常变化，需快速分析原因，采取对应的加固和防渗处理措施，实现从“被动维修”到“主动防控”的转变，延长泵站防渗系统的使用寿命，确保泵站长期稳定运行。

结束语：水利工程泵站防渗工程是一项系统复杂的工作，需融合理论支撑、技术应用与质量管控。本文明确了渗流影响因素，梳理了各施工阶段防渗技术要点，构建了全流程质量控制与优化体系。实践表明，只有精准掌握地质水文条件，针对性选用防渗材料与技术，强化施工全环节管控及后期养护监测，才能有效阻断渗流通道，降低渗漏风险。未来需进一步推动防渗技术智能化发展，结合工程实际创新优化方案，持续提升泵站防渗性能，为水利工程的安全运行与水资源高效利用提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]黄联健.水利泵站工程施工中的高喷防渗墙技术[J].水上安全,2024(19):179-181.
- [2]曹梦辉.水利工程中堤防防渗施工技术的应用研究[J].水上安全,2024(02):70-72.
- [3]杨志强.地下连续墙在泵站基坑防渗工程中的应用[J].建筑工程技术与设计,2021(7):1882.
- [4]左杰.浅谈高喷防渗墙技术在水利泵站工程中的应用[J].中国战略新兴产业,2021(16):231.
- [5]黄树彬.水利泵站工程施工中的高喷防渗墙技术研究[J].房地产导刊,2021(32):197-198.