 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i6.10631

Research on the Application of Curtain Grouting Technology in Water Resources and Hydropower Engineering Construction

Yuntao Zhou Hua Zhou

China Water Resources and Hydropower Ninth Engineering Bureau Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550081, China

Abstract

In water conservancy and hydropower engineering, curtain grouting technology involves injecting a specific cement slurry into the bedrock to form a waterproof curtain. This technique enhances the compaction of the dam foundation, blocks groundwater infiltration pathways, ensures the safety of hydraulic structures, improves their impermeability, extends the project's service life, and mitigates regional soil erosion, thereby comprehensively reducing potential long-term operational risks. Based on this, this paper first analyzes curtain grouting techniques used in water conservancy and hydropower construction, including top-down segmented grouting methods, and then proposes application strategies covering preparatory work and drilling operations, aiming to improve project quality and ensure safe operation.

Keywords

water conservancy and hydropower engineering; curtain grouting technology; application strategies

水利水电工程施工帷幕灌浆施工技术应用研究

周运桃 周华

中国水利水电第九工程局有限公司，中国·贵州 贵阳 550081

摘 要

水利水电工程中，帷幕灌浆技术在基岩中注入特定的水泥浆液，形成具有防渗作用的帷幕，可以增强坝基的密实性，阻断地下水渗透通道，保证水工建筑的安全性，还能增强抗渗能力，延长工程的使用寿命，又可遏制区域水土流失，全方位降低水利工程长期运行的潜在风险。基于此，本文先是分析水利水电工程施工帷幕灌浆施工技术，涵盖自上而下分段式灌浆技术等，接着提出该技术的应用策略，覆盖前期筹备工作、钻孔施工等环节，旨在提高工程质量，维持项目安全运行。

关键词

水利水电工程；帷幕灌浆技术；应用策略

1 引言

《水利工程建设项目质量管理规范》明确提出，帷幕灌浆技术是水利水电项目施工的关键技术之一，可有效遏制地下水渗透，提高坝体结构稳定性。伴随技术持续创新，帷幕灌浆施工方法不断优化，逐渐向更高效的方向发展，以满足日益严格的工程要求。因此，施工单位应强化应用帷幕灌浆技术，保证施工人员掌握先进的灌浆工艺，同时严格控制施工质量，维护工程安全。

2 水利水电工程施工帷幕灌浆施工技术

2.1 自上而下分段式灌浆技术

自上而下分段式灌浆技术把整个灌浆区分为若干个不同的分段，从上至下逐步实施灌浆，以保证每个分段都能均匀地形成有效的防渗层，避免浆液过度扩散或者固化不均。施工单位会按照实际需要调整灌浆的注入量，实时监测浆液的深度，而且每个分段的施工完成后，会停顿灌浆作业一段时间，待浆液充分固化并达到设计强度后，再进入下一层的灌浆作业，如此可防止浆液流动不均，还能有效避免因浆液过量或过少出现防渗效果不佳的情况。与此同时，自上而下分段式灌浆技术能灵活适应不同的工程需求，依据施工具体情况调整不同层次的灌浆压力，让每一层的防渗效果都达到预期标准，能够有效提高工程质量。另外，面对不同土质及水文条件的项目时，自上而下分段式灌浆技术凭借其精确的控制手段，可以稳定防渗效果，增强坝体的抗渗透能力，从而为水利工程提供安全保障。

2.2 自下而上分段式灌浆技术

自下而上分段式灌浆技术从工程的底部向上逐层灌浆，充分固化每一层防渗层，形成连续而坚固的防渗屏障，可有效避免浆液不均匀分布，紧密连接每一层，进而形成高效的

【作者简介】周运桃（1989–），男，中国贵州毕节人，本科，工程师，从事水利水电施工技术管理研究。

防渗效果。注浆设备会依据施工深度，精确调控灌浆压力，为每一层独立灌浆，保证浆液的注入深度精确衔接各层次，防止浆液流动性过强或过弱引发防渗失效。同时，自下而上分段式灌浆技术能应对不同地质条件的施工需求，若在岩层较为坚硬或渗透性较强的区域，则按照岩土层的渗透性细致调整施工方案，保证浆液的有效固化效果。除此之外，该技术能最大限度地控制浆液的扩散范围，以免过度注浆造成环境污染或施工失败，防止出现“漏浆”或“过浆”现象，以此维持施工质量的稳定性。

2.3 综合式灌浆技术

综合式灌浆技术整合自上而下、自下而上以及分段式等多种灌浆技术的优点，按照工程实际情况，选择最佳的灌浆方式，精确调整每一层的灌浆参数，来适应不同地质条件的需求。施工过程中，综合式灌浆技术充分考虑了浆液的注入深度以及灌浆层次之间的连接，实时监控灌浆过程，保证每一层的浆液注入精度，以防浆液出现扩散或固化不均现象，从而有效地提高灌浆施工的整体效果。面对岩土层不同性质的情况下，综合式灌浆技术能够基于实际需求，改变灌浆参数，让每一层防渗层均匀致密，形成一个完整的防渗屏障，并精准调节浆液的注入量，促使每一层的灌浆效果都达到最佳状态，进而保证水利水电工程的长期稳定性，减少施工的不确定性。

2.4 孔口封闭型灌浆技术

孔口封闭型灌浆技术有效封闭施工孔口，让浆液精准注入目标区域，避免外泄现象，并在灌浆孔的上部或周围设置专门的封闭装置，凭借封闭压力，完全封闭灌浆孔口，促使浆液有效渗透到指定的岩土层，从而形成坚固的防渗屏障。可调节的钢套筒等组成灌浆孔的封闭装置，能够保持孔口的密封性，防止浆液过度流失或扩散，以此提高灌浆效果的稳定性。而且，孔口封闭型灌浆技术严格控制孔口封闭，可以保证浆液精确地注入裂隙或孔隙，适用岩层裂隙较大、渗透性强的区域。另外，封闭型灌浆技术还能够有效避免灌浆过程中的浆液污染，防止影响周围环境，具有重要的环保意义。

2.5 循环式灌浆工艺

循环式灌浆工艺利用循环注浆的方式，持续在目标区域注入浆液，并基于每一轮灌浆的反馈结果调整浆液的注入参数，以达到更为精细的灌浆效果，有效填充施工区域内的每个裂隙。循环式灌浆工艺采用的注浆设备实时监测浆液的流量，检测每次灌浆后浆液的固化效果，并依据实际情况调整后续灌浆的液体配比，可以保证浆液能够精确渗透到岩土层的每一条裂缝，最大程度地提高防渗效果。传统单次灌浆可能无法充分覆盖所有裂隙，而循环式灌浆多次注入浆液，能够让其逐渐渗透至更深的区域，形成更加坚固且稳定的防渗层，避免局部施工不到位或防渗层不均匀的风险。

2.6 纯压式灌浆工艺

纯压式灌浆工艺凭借单纯依靠外部压力将浆液注入岩土层，基于高压的驱动作用让浆液渗透至岩层的细小裂隙，便可加固岩土结构，提升防渗效果的深度。浆液借助专用设备以高压注入岩土层的孔隙系统，按照不同地质条件精确调节压力，保证浆液能顺利渗透并填充岩层中的裂隙或其他空隙，其适用需要深度加固或防渗要求较高的地区，能有效避免传统灌浆技术浆液扩散不均或覆盖不到的情况。除此之外，纯压式灌浆利用高压作用，可以增强浆液与岩土层的结合力，提高防渗效果的持久性，并动态调整压力控制系统，有利于每一层灌浆都能实现最佳的注浆效果。

3 水利水电工程施工帷幕灌浆施工技术应用策略

3.1 前期筹备工作

精准的前期规划工作能够有序推进施工各项工作，避免因准备不足出现施工延误或质量问题，因此必须按照施工现场的具体要求，选择适应性强的灌浆设备，提高灌浆效率，降低设备故障率，减少维修成本。设计方案时，施工单位要考虑不同土层的渗透性差异，合理确定灌浆的深度，详尽规划灌浆过程的每个环节，以保证施工过程能有效达到防渗加固的效果。同时，所有相关人员必须全面了解灌浆技术，掌握操作规程，并熟悉设备的性能，这需要施工单位强化施工管理人员的技术培训，提高其管理项目进度、质量控制等方面的能力，以便快速处理各种问题。制定施工计划时，应考虑施工周期等多种因素，科学安排各个环节的时间节点，按时完成每个阶段，并留有足够的时间检查质量，避免资源浪费，最大限度降低施工风险。

3.2 钻孔施工

不同的地质条件下，施工单位要选择适应性强的钻机及钻头，若为硬岩层或复杂地质环境，采用合适的钻进速度以及钻头材料，保证钻孔的稳定性，防止出现孔壁坍塌或偏位现象。钻孔施工过程中，要精确测量钻孔深度、直径及孔位，避免深度不准确或孔位偏差，影响灌浆效果。钻孔施工完成后，施工单位需要清除孔内的泥沙、岩屑等杂物，让浆液能够顺利渗透到岩土层的裂隙，形成有效的防渗层，如果在深孔或孔口周围存在较大沉积物的情况，应采取特殊的清孔措施，以防因杂质堵塞孔道影响后续灌浆工作。

3.3 压水试验

实施压水试验时，施工单位应该按照施工要求设置合理的压水压力，模拟正常运行情况下水流渗透防渗层的压力，判断防渗层能否有效抵抗水流渗透，以全面评估灌浆层的均匀性，若渗透性过高，则表明灌浆施工存在不足，防渗效果不佳。期间，施工单位需要注意实时监控水位变化，及时调整施加的水压或检查设备，并维持水源的稳定性，避免外部因素干扰结果，从而保证实验数据的真实性。最后，分

析试验结果，能判断灌浆层是否达到设计的防渗要求，甚至是否需要进一步的加固或改进措施，可以为今后可能出现的维修工作提供依据。

3.4 灌浆作业规范施工

实施灌浆作业时，施工单位必须严格按照技术规范，精确执行每一个操作环节，避免因不规范操作出现质量问题。由于不同的地质条件对浆液的种类有不同的要求，施工单位要按照岩土层的渗透性、硬度及裂隙大小，选择适宜的浆液类型，并按照设计配比调配，让浆液的流动性满足施工要求。灌浆前，检测配制好的浆液的质量，以满足灌浆施工标准，并要严格控制浆液的注入压力，若注浆压力过高可能致使浆液过度扩散，造成防渗层不均匀，甚至降低渗透性，而压力过低则未能充分渗透岩层，造成防渗效果不理想。因此，必须在设计范围内精确调节注浆压力，保证浆液充分渗透至岩土层的每个裂隙，形成均匀的防渗层，同时避免过快或过慢的注浆速度影响浆液的固化效果。规范的灌浆作业可以提高水利水电工程的防渗能力，延长工程的使用寿命，为未来的安全运行提供保障。

3.5 孔道封孔施工

封孔作业要使用具有良好密封性能的封孔材料，可采用高强度、耐水性的密封剂，在高水压或其他极端条件下保持长期的密封效果，防止浆液从孔口外泄，保障灌浆区域的均匀性。鉴于高渗透性岩层或多裂隙岩层中，孔道封闭的难度较大，施工单位应使用适应性强的封孔装置，并精确掌握封孔的时间窗口，保证在浆液注入前完全封闭孔道。与此同时，要依据地质环境不同调整封孔方式，在岩土层坚硬且较为均匀的地区，采用简单的机械封闭装置，而在裂隙多的地质区域，需要借助多层封闭或高压注浆封孔等更为复杂的封孔技术。伴随封孔施工推进，必须持续监测孔口的压力及流量变化，保持封闭过程的密封效果，待孔道封闭后，还应在施工区域开展相关质量检验，验证封孔效果是否达标，若发现任何泄漏或不密实的现象，立即修补或重新封闭，以顺利推进灌浆作业。

3.6 施工质量检测

灌浆施工过程中，施工单位要监控浆液的质量，保证其配比符合规范要求，并定期取样检测浆液的性质，若施工环境发生变化，需要立即调整浆液的性能，以适应不同地质条件的需求。灌浆压力过高或过低都会影响浆液的渗透深度，因此施工单位应精确控制灌浆的压力，实时监测注浆压力以及流量数据，让每个灌浆孔的灌浆压力在设计范围内，避免因压力异常引发浆液泄漏或不均匀注入。封孔施工后，采用水压试验或其他先进的渗透测试方法，拟实际工况下的水流情况，检测孔口是否完全封闭且不渗漏，若发现渗漏或封闭不严的情况，应立即采取修补措施，保证灌浆质量达标。施工结束后，全面评估整个灌浆区域质量，利用渗透试验等多种方式，检测防渗层的渗透性，及时调整施工技术，优化灌浆方案。

3.7 特殊情况处理

由于地质环境的复杂性以及水文条件多变，施工过程会遇到一些突发状况，施工单位需要具备足够的应对能力，顺利实施灌浆技术。施工过程中，可能出现不规则裂隙或突遇硬岩层等岩土层性质变化，致使原定的灌浆方案无法满足需求，施工单位要立即调整施工方案，采取针对性的灌浆技术，增加灌浆液的粘性，让浆液有效渗透至裂隙深处，形成稳定的防渗屏障，同时增加水流渗透性较强区域的灌浆压力，以保证防渗效果的稳定性。而且，施工过程可能出现浆液不均匀或泄漏的情况，致使浆液过度扩散或注入不完全，需要精确控制灌浆压力，借助实时监测技术调节灌浆流量，避免出现局部过密或过稀的情况。

4 结语

水利水电工程中，帷幕灌浆技术可以为防渗加固提供关键保障，伴随水利工程规模不断扩大，要持续拓宽应用范围，进一步增强综合环境适应性。面向未来，施工单位需要积极运用智能化技术，科学优化灌浆施工方案，提高施工过程实操性，为水利水电工程可持续发展提供强有力的支撑。

参考文献

[1] 刘广泽.水利水电工程施工中的灌浆技术研究[J].科技资讯,2026,24(05):129-131.

[2] 陈升.水利水电工程施工中的灌浆施工技术[J].人民珠江,2025,46(S2):52-54.

[3] 肖飞.水利水电工程帷幕灌浆施工质量控制技术[J].全面腐蚀控制,2025,39(11):276-279.

[4] 谭泽浩.灌浆施工技术在水利水电工程施工中的应用研究[J].水上安全,2025,(20):184-186.

[5] 张兴龙.水利水电工程施工阶段帷幕灌浆施工技术的应用研究[J].石河子科技,2025,(05):42-43.