

水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的应用探讨

陈元聪

四川路航建设工程有限责任公司，四川成都，610000；

摘要：帷幕灌浆指施工团队将浆液灌入岩体或土层的裂隙中，形成连续的阻水帷幕，以减小渗流量和降低渗透压的灌浆技术。帷幕灌浆施工技术能阻断地下水渗流路径，增加水利水电工程的使用寿命。然而，相关团队在实际施工中会面对灌浆压力和配比控制问题、浆液扩散不均匀和中断等问题。文章针对施工问题，从优化帷幕灌浆压力控制、科学调整帷幕浆液配比、确保帷幕浆液均匀扩散以及预防帷幕灌浆施工中断四方面，深入探究帷幕灌浆施工技术在水利水电工程中的应用措施，助力水利水电工程建设向更高质量发展。

关键词：水利水电工程；帷幕灌浆施工技术；应用

DOI：10.69979/3029-2727.25.05.013

引言

近年来，随着《国家水网建设规划纲要》等政策的出台，水利水电工程建设已步入发展阶段。政策要求企业要精准补短板和强弱项，全面提升水利水电工程项目的安全保障能力。在这样的背景下，帷幕灌浆作为水利水电工程中重要的防渗加固施工技术，已受到施工企业的重视。帷幕灌浆施工技术能协助施工人员将浆液注入地层裂隙中，形成防渗帷幕，阻断地下水渗透工程实体，增强工程结构的稳定性。此外，相关企业应用帷幕灌浆技术还能延长工程使用寿命，降低后期维护成本。

1 水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的概念

施工团队采用帷幕灌浆施工技术，是防止大坝等水利设施渗漏的主要措施，灌浆时要使用稳定性较高的水泥灌浆液，并高压喷射式方法将灌浆液注入灌浆孔^[1]。灌浆后的工程实体会形成连续的防渗帷幕，能截断水流减小渗流量，还能阻隔地下水渗透路径。目前，帷幕灌浆施工技术已应用于大坝、水库、地下洞室等水利水电工程当中，能够提高工程结构的整体安全性。科学的灌浆施工流程应当包括施工勘探、开挖灌浆孔、冲洗缝隙、灌浆、密封孔洞，从而为水利水电工程带来稳固的防渗保障，延长工程使用寿命。

2 水利水电工程施工中应用帷幕灌浆施工技术的问题

2.1 帷幕灌浆压力和配比控制问题

一方面，部分施工团队存在无法稳定控制帷幕灌浆压力的问题。岩层的地质条件复杂，不同地层的透水性

各有所差，为施工团队控制灌浆压力造成困难。灌浆压力过高，就会破坏地层结构，形成更多裂隙或使得浆液流失；灌浆压力过低，浆液则无法有效填充裂隙，导致灌浆流程断断续续。另一方面，施工团队在实际施工中，难以达到理想的浆液配比状态。团队若采用错误的浆液配比，还会减弱浆液的流动性，不能让浆液完全透至岩层裂隙中；配比不合理将直接影响帷幕的防渗性能。水灰比过高可能致使浆液流动性过强，水灰比过低则使得浆液过早凝结，限制灌浆成效。

2.2 帷幕浆液扩散不均匀和中断问题

施工团队面对岩层裂隙分布不均时，没有精准控制灌浆管的分布情况，也未使用恰当的灌浆施工工艺，导致浆液扩散不均匀^[2]。浆液扩散不均匀会使得局部区域的浆液过厚或过薄，引发局部应力集中，影响水利水电工程的整体质量。此外，有些施工团队施工时若出现帷幕灌浆中断问题，则通常与施工设备故障有关。设备如果有灌浆泵失效、管路堵塞等情况，就会打断灌浆作业流程，降低帷幕的固化效果。另外，设备故障还会致使已注入的浆液回流，浪费材料，削弱水利水电整体工程质量。

3 水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的应用措施

3.1 优化帷幕灌浆压力控制

施工团队合理调整灌浆压力，能够确保浆液渗透岩层裂隙，增强岩体密实度，提高工程的抗渗性能。灌浆压力受到岩层特性、浆液性能以及施工环境影响，过高可能破坏岩层引发渗漏风险，过低则难以填充所有裂隙

降低帷幕的连续性。施工单位在控制灌浆压力时，应当考虑当地岩石结构，针对性调控裂隙发育地段。施工单位高效控制灌浆压力，还能减少施工过程中的资源浪费现象，同时减少对周围环境干扰。施工企业精准控制灌浆压力会增加工程的稳定性，是保证工程质量的施工技术。例如，施工企业在帷幕灌浆施工过程中发现地层条件复杂、裂隙分布不均的情况。单位为精准控制帷幕灌浆压力，必须在施工前组织技术人员详细勘察当地地层结构，利用地质雷达和钻孔取芯技术，获取地层裂隙相关分布数据。施工企业根据勘探结果制定分段灌浆方案，将灌浆区域划分为不同层次的任务区间，并设定不同的灌浆压力范围。企业在施工过程中应当采用先进的自动化灌浆设备，配备高精度压力传感器，实时监测灌浆压力。灌浆设备要与施工管理系统对接，智能分析所采数据。施工人员可以通过计算机系统实时改进灌浆压力，使压力值始终保持在合理的设计范围内。当探测到地层异常时，系统会自动触发警报，提醒施工人员立即暂停灌浆行动，在解决问题并准确调整参数后方能继续施工。此外，施工企业在灌浆初期，应先使用较低压力试探性灌浆，以查看地层反应。然后，施工人员便能依据地层的压力变化，逐步调节压力值，使得浆液完全填充到各个裂隙中而不破坏地层本身的结构。企业在灌浆中期应指导施工人员将压力值稳定在一定范围内，判断浆液的扩散情况。企业在灌浆后期要逐步降低压力，防止浆液过度流失。施工企业应该建立严格的灌浆压力施工制度。技术人员要在每次灌浆施工结束后，将压力数据、浆液流量和地层反应情况详细记录在案，形成完整的施工档案。详尽的数据能为企业后续灌浆施工提供参考，帮助企业持续完善帷幕灌浆压力控制策略。施工企业优化压力控制方法，可成功解决复杂地层条件下的灌浆压力控制难题，使帷幕灌浆施工顺利进行。

3.2 科学调整帷幕浆液配比

浆液配比决定帷幕灌浆材料的渗透能力，还会影响浆液的抗冲刷能力。浆液配比过高会导致浆液流动性过强，配比过低则会使浆液过早凝结。施工团队合理控制泥浆凝结速度，有必要避免因为泥浆凝结时间过长而使结构底部出现渗漏风险^[3]。施工企业调整浆液配比需要全面考察当地地质条件及设计要求，并通过实验精准设计配比方案。企业在施工前，要选用按照科学比例配置好的水泥或者黏土材料^[4]。合理的浆液配比还能增加帷幕的密实性，确保浆液在裂隙中形成均匀的防渗屏障。因此，施工人员要精确变更胶凝材料种类及掺量，完善浆液黏附性，提升浆液的抗水流冲刷能力，减少浆液被

冲蚀的风险，提高灌浆效果。企业在施工前必须组织实验室详细分析地层岩芯，测定岩石的孔隙率、渗透系数和裂隙宽度等指标。实验室要根据分析结构设计多组浆液配比方案，分别测试不同水灰比和添加剂比例下的流动性、凝结时间和抗压强度等性能。例如，实验室经过多次试验，确定最佳浆液配比方案：水灰比为0.6:1，掺入1.5%的减水剂和0.3%的膨胀剂。配比方案在保证浆液流动性的同时，还能有效缩短凝结时间。施工企业按照实验室数据，编排对应的浆液制备工艺，明确原材料计量、搅拌时间和搅拌速度等参数。然后，企业在施工过程中利用电子秤精确计量浆液配比，并投入搅拌机中。制备完成的浆液经过管道输送至灌浆设备，输送过程中还要避免浆液出现分层或沉淀问题。施工人员在灌浆时发现地层裂隙较宽、渗透性较强，便可适当将水灰比降低到0.5:1，增添浆液稠度，防止浆液过度扩散。当地层裂隙较窄、渗透性较弱时，施工人员可扩大水灰比至0.7:1，加大浆液流动性，使浆液充分填充裂隙。企业还应依照现场状况实时调配添加剂比例：当地层温度较高时，增补缓凝剂用量，延缓浆液凝结时间；当地层温度较低时，缩减早强剂用量，加快浆液凝结速度。另外，施工企业应创建严格的浆液质量检测制度。实验室在制备浆液前，须抽样检测原材料，以使水泥、水和添加剂符合设计要求。实验室完成制备浆液后，还要测试浆液流动性、凝结时间和抗压强度等指标，使浆液性能满足施工要求。技术人员在施工流程中应当定期检查浆液配比，发现异常立即上报并调节配比方案。企业使用科学的帷幕浆液配比，能成功解决复杂地层条件下的灌浆难题，增高施工效率。

3.3 确保帷幕浆液均匀扩散

帷幕浆液在裂隙中均匀扩散是保证工程质量的要点，若扩散不均匀便会出现过厚或过薄问题，降低工程的整体防渗效果。施工企业通过合理设计灌浆参数和施工工艺，能够精准把控浆液扩散范围，保障浆液在裂隙中均匀分布。岩层裂隙结构也决定浆液的扩散状态，裂隙发育程度、孔隙连通性及充填物性质等都会改变浆液在岩体中的扩散路径。施工人员必须及时改进灌浆参数，使浆液顺利进入所有裂隙，才能增强工程的整体防渗成效。均匀扩散的浆液能够形成连续稳定结构，提高水电工程的整体使用寿命。例如，企业可以采用分段灌浆工艺，将灌浆过程细化为多个施工小段，每段长度控制在5m深以内。每段灌浆施工前，施工企业通过钻孔成像技术，仔细探查岩层裂隙分布情况，确定浆液扩散路径。采用双液灌浆设备进行灌浆，能够根据地质条件

实时调整浆液注入速度。分段灌注浆液的施工技术方法有助于保证浆液均匀灌入缝隙，节约灌浆施工的机械成本^[5]。施工团队应将浆液速度控制在每分钟 10L 至 15L 之间，使浆液缓慢而均匀地填充裂隙。施工企业还应采用间歇式灌浆方法，每阶段注入一定浆液后需要暂停 10 分钟，以检验浆液扩散情况和地层反应。工作人员发现地层吸浆量明显减少时，要适当提高注入速度，使浆液继续扩散。当地层吸浆量突然增加时，工作人员要立即暂停灌浆，分析其中缘由。施工企业必须运用示踪剂技术监测浆液扩散范围，在浆液中加入荧光示踪剂。施工单位在灌浆施工结束后，还应用紫外线检测样品，推测浆液接下来的扩散走向。技术人员检测结果，判断浆液扩散是否均匀，并补灌扩散不足的区域。施工企业在灌浆施工中，有必要注意浆液扩散的连续性。每段灌浆施工结束后，企业都要派人探查浆液填充状态，以使浆液在裂隙中形成连续屏障。当地层裂隙较宽时，施工团队要灌输高粘度浆液，防止浆液过度扩散；当地层裂隙较窄时，施工团队要供给低粘度浆液，完全填补空隙。企业要将灌浆施工中的浆液扩散范围、注入量以及地层反应数据记录在案，并将信息整理归档，形成详细的施工数据库。施工企业有效克服复杂地层条件下浆液扩散的技术难题，保障帷幕结构的整体质量。

3.4 预防帷幕灌浆施工中断

帷幕灌浆施工中断可能导致帷幕形成局部中断点，打断施工进程。施工单位想要预防中断情况，便需要提前规划应急预案，确保施工设备稳定运行。施工团队还要实时监控施工过程，及时发现潜在问题并采取挽救方法。施工企业提前预防中断问题，能够保证帷幕完整性，提高施工效率，降低施工成本，保障帷幕灌浆施工的顺利进行。施工组织要多方协调浆液供应、设备运行及人员操作等环节，避免因供浆不足、设备故障或操作失误导致施工中断，保障帷幕整体的封堵性能，提升帷幕灌浆施工质量。首先，企业要全面检修灌浆设备，更换破旧的部件，使设备能保持正常运转。企业在设备检修完成后，还要利用试运行测试各项参数是否稳定。之后，施工企业要搭建智能化实时监测系统，全面监控设备的施工状态。系统由传感器、传输模组和中央控制台组成，能够实时采集灌浆设备运行流程、浆液流量等关键数据。企业可将传感器安装在灌浆设备上，实时监测其运行状况。系统会自动识别设备的异常振动或温度过载问题，再以警报形式提醒技术人员处理。数据传输模块能协助

企业将监测数据实时上传至中央控制平台，内含的分析软件会高效处理采集的数据，生成设备运行报告。施工团队查看报告即能判断设备的故障定位，提前采取预防措施。浆液供应环节也纳入智能化监测系统。储浆罐内安装液位传感器，实时监测浆液存量。当浆液存量低于设定阈值时，系统自动向供应商发送补浆请求，确保浆液供应不间断。浆液输送管道安装流量计和压力传感器，实时监测浆液流量和压力。当流量或压力出现异常波动时，系统自动调整输送参数，避免浆液供应中断。施工单位还要将浆液供给纳入智能化监测系统。企业在储浆罐内安装液位传感器，实时监测浆液存量。当浆液存量低于设定阈值时，系统自动向供应商发送补浆请求，确保施工全程能持续供应浆液。浆液输送管道安装压力传感器，实时监测浆液压力状况。系统最后，系统还要内设应急预案功能，能在设备出现故障或浆液供应不足时，向企业快速推送解决措施。智能化监测系统既能提高施工效率，还防止灌浆时浆液的浪费现象。

4 结束语

帷幕灌浆技术具备防渗和加固价值，能够保障工程结构的长期稳定。施工企业通过优化灌浆压力控制、科学调整浆液配比、确保浆液均匀扩散以及预防施工中断，探索多元的技术应用措施，显著提高帷幕灌浆施工效果。企业依据地层特性灵活调节施工技术，确保帷幕的密实性，能为水利水电工程的长期安全运行打好基础。同时，企业推动帷幕灌浆施工技术向精细化和智能化发展，也为降低成本和按时完成项目目标开辟新途径。企业未来应继续关注帷幕灌浆技术的创新应用，降低施工流程对自然环境的负面影响，自动监控全部灌浆施工过程，拓展帷幕灌浆技术在水利水电工程的应用范围。

参考文献

- [1] 王雄. 水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的应用 [J]. 山西水利, 2023, (12) : 48-49+53.
- [2] 王继福. 灌浆技术在水利水电工程施工中的应用 [J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6 (02) : 92-94.
- [3] 赵永锋. 灌浆技术在水利水电工程大坝施工中的应用分析 [J]. 水电站机电技术, 2021, 44 (06) : 79-81.
- [4] 谭东东. 水利水电工程施工中灌浆技术的应用 [J]. 科技风, 2021, (21) : 195-196.
- [5] 李海荣. 探究水利工程施工中帷幕灌浆技术应用 [J]. 建筑与预算, 2022, (08) : 58-60.