

水利工程

水利水电施工中帷幕灌浆技术的质量控制研究

赵刘山

贵州水利实业有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i4.7899

[摘要] 水利水电工程是国民经济的重要基础设施，其施工质量直接关系到工程的安全运行和效益发挥。帷幕灌浆技术作为水利水电工程防渗处理的关键技术之一，对于提高工程防渗性能、保障工程安全具有重要意义。本文旨在探讨水利水电施工中帷幕灌浆技术的质量控制方法，通过理论分析与实践案例相结合，提出针对性的质量控制策略，以期为同类工程提供借鉴和参考。

[关键词] 水利水电施工；帷幕灌浆技术；质量控制研究

Study on the quality control of curtain grouting technology in water conservancy and hydropower construction

Zhao Liushan

Guizhou Water Conservancy Industry Co., LTD.

[Abstract] Water conservancy and hydropower projects are an important infrastructure of the national economy, and their construction quality is directly related to the safe operation and benefit of the project. As one of the key technologies of seepage control treatment in water conservancy and hydropower projects, curtain grouting technology is of great significance for improving engineering seepage control performance and ensuring engineering safety. This paper aims to explore the quality control method of curtain grouting technology in water conservancy and hydropower construction, and puts forward the targeted quality control strategy through the combination of theoretical analysis and practical cases, in order to provide reference and reference for similar projects.

[Key words] water conservancy and hydropower construction; curtain grouting technology; research on quality control

引言

水利水电工程在防洪、灌溉、发电等方面发挥着重要作用。然而，由于工程所处地质环境的复杂性，以及施工过程中的各种不确定因素，工程常常面临渗漏问题。帷幕灌浆技术作为一种有效的防渗处理方法，在水利水电工程中得到了广泛应用。该技术通过向岩土介质的裂缝与空隙注入浆液，形成一道连续的防水屏障，从而减少渗水流量并缓解渗透压。然而，帷幕灌浆技术的实施过程复杂，质量控制难度较大。因此，加强帷幕灌浆技术的质量控制研究，对于提高水利水电工程的防渗性能、保障工程安全具有重要意义。

一、帷幕灌浆技术概述

(一) 帷幕灌浆技术的定义与分类

帷幕灌浆技术，作为水利水电工程领域的一种关键防渗手段，其定义不仅限于简单的注浆过程，更是一种集地质勘探、材料选择、施工技术和质量监控于一体的综合工程技术。该技术通过精确地向岩土介质的裂缝与空隙中注入特制浆液，形成一道致密的防水帷幕，从而有效减少渗水流量，缓解渗透压，

确保水利水电工程在极端水文条件下的安全稳定运行。在分类上，帷幕灌浆技术依据灌浆孔是否穿透至相对不透水的岩层深处，被明确划分为封闭式帷幕灌浆与悬挂式帷幕灌浆两大类。封闭式帷幕灌浆要求灌浆孔穿透至不透水层，形成封闭的防渗体系，适用于地质条件复杂、渗透压力大的工程。而悬挂式帷幕灌浆则无需穿透至不透水层，通过在岩层中悬挂灌浆帷幕来达到防渗目的，适用于地质条件相对较好、渗透压力较小的工程。此外，根据防渗帷幕结构中灌浆孔的排列布局，还可进一步细分为双排孔帷幕与多排孔帷幕。双排孔帷幕通过在工程两侧分别设置灌浆孔，形成两道平行的防渗屏障，增强防渗效果。而多排孔帷幕则通过在工程周围设置多排灌浆孔，形成更为复杂的防渗网络，适用于对防渗要求极高的工程。

(二) 帷幕灌浆技术的原理与特点

帷幕灌浆技术的原理，在于充分利用浆液在岩土介质中的渗透、扩散和凝固特性。浆液在注入岩土介质后，能够迅速填充裂缝和空隙，并在压力作用下逐渐扩散至整个防渗区域。随着浆液的凝固，其将形成一道致密的防水帷幕，有效隔绝地下

水对工程的渗透威胁。

该技术不仅具有施工灵活、适应性强的特点，而且防渗效果显著。帷幕灌浆技术能够在各种复杂地质条件下实施，无论是坚硬岩石还是软弱土层，都能通过调整浆液配比和灌浆工艺来达到预期的防渗效果。此外，帷幕灌浆技术还能在提高岩土介质整体强度和稳定性方面发挥积极作用。浆液在凝固过程中能够增强岩土颗粒之间的粘结力，从而提高岩土介质的整体强度和抗渗性能。这种技术对于改善工程地质条件、提高工程安全性具有重要意义。

二、水利水电施工中帷幕灌浆技术的质量控制要点

(一) 施工准备阶段的质量控制

施工准备阶段犹如大厦之基石，对整个帷幕灌浆工程的质量起着决定性作用。在此阶段，需全方位、精细化地落实各项质量控制工作。

施工图纸审核方面，专业技术人员要以严谨细致的态度，对施工图纸展开地毯式审查。不仅要核对图纸中的各项设计参数是否精准无误，确保与最初的设计理念高度契合，还要深入研究图纸与现场实际地质条件的匹配度。这就要求技术人员结合实地勘察资料，分析地质构造、岩土特性等因素，判断图纸在实际施工中的可行性。一旦发现图纸与实际情况存在偏差，及时与设计单位沟通协调，避免因图纸问题导致施工失误。

材料准备工作容不得半点马虎。对于水泥、水、粉煤灰和外加剂等关键材料，必须严格筛选供应商，确保其提供的材料完全符合国家标准和行业规范。每一批次材料进场时，都要进行严格的检验和试验。例如，对水泥要检测其安定性、强度等指标；对外加剂要测试其减水率、缓凝时间等性能。只有各项指标全部达标，才能允许材料投入使用。同时，建立完善的材料存储管理制度，保证材料在储存过程中不受潮、不变质，维持其原有性能。

设备准备同样至关重要。精心挑选性能稳定、操作简便的灌浆设备，是保障施工顺利进行的前提。在设备选型时，充分考虑工程规模、施工工艺以及地质条件等因素，确保设备的各项性能指标能够满足施工需求。设备进场后，组织专业维修人员对设备进行全面检查和调试。从设备的机械部件到电气系统，从动力装置到控制系统，逐一排查潜在问题，及时修复或更换有故障的零部件。通过多次试运行，确保设备在正式施工中能够稳定、高效运行。

施工队伍培训是提升施工质量的关键因素。对施工人员进行全面的技术培训，涵盖帷幕灌浆的工艺流程、操作要点、质量标准等内容。邀请经验丰富的专家进行现场讲解和示范，让施工人员直观了解正确的施工方法和技巧。同时，加强安全教育，通过案例分析、安全知识讲座等形式，提高施工人员的安全意识，使其深刻认识到安全生产的重要性。制定详细的考核制度，对施工人员的培训成果进行考核，确保每位施工人员都能熟练掌握相关技术和安全知识，为施工质量和安全提供有力保障。

(二) 钻孔阶段的质量控制

钻孔作为帷幕灌浆技术实施的关键前奏，其质量优劣直接关系到后续灌浆效果及整个工程的防渗性能。因此，在该阶段必须严格把控各个环节。

钻孔设备选择是确保钻孔质量的首要任务。要依据工程的具体要求和地质条件，精心挑选性能稳定、精度高的钻孔设备。对于复杂地质条件下的工程，需选用具备强大钻进能力和高精度定位功能的设备。例如，在岩石硬度较高的区域，选择功率大、钻头耐磨性强的钻机；在对钻孔精度要求极高的部位，采用配备先进导向系统的设备。设备的稳定性直接影响钻孔的垂直度和孔径均匀性，高精度则能保证钻孔位置准确无误，满足设计要求。

钻孔顺序与孔距控制是保证钻孔布局合理性的关键。严格按照施工图纸所规定的顺序进行钻孔作业，先钻先导孔，以便获取准确的地质资料，为后续钻孔提供参考。然后根据设计孔距依次施工其他钻孔，确保各钻孔之间的间距均匀一致。在钻孔过程中，密切监控钻孔深度、孔径和孔斜等关键参数。利用先进的测量仪器，如测斜仪，实时监测孔斜情况，一旦发现偏差超出允许范围，立即采取纠偏措施。通过精确控制这些参数，保证钻孔质量符合设计标准，为后续灌浆提供良好的通道。

(三) 灌浆阶段的质量控制

灌浆阶段是帷幕灌浆技术的核心环节，其质量直接决定了工程的防渗效果和整体稳定性。因此，必须对该阶段的各项工作进行严格把控。

浆液制备是灌浆质量的基础保障。按照施工图纸所规定的配方和参数，精确控制浆液的水灰比、外加剂掺量等关键指标。水灰比的大小直接影响浆液的流动性和凝固后的强度，外加剂的掺量则会对浆液的凝结时间、耐久性等性能产生重要影响。在制备过程中，采用高精度的计量设备，确保各种原材料的用量准确无误。同时，利用高效的搅拌设备对浆液进行充分搅拌，使各种成分均匀混合。搅拌时间要符合规定要求，以保证浆液的稳定性和均匀性。搅拌完成后，对浆液进行妥善养护，防止其在等待灌浆过程中出现沉淀、离析等现象，确保浆液性能始终稳定可靠。

灌浆压力与灌浆速度控制是确保灌浆质量的关键因素。根据施工图纸要求以及现场实际地质条件，综合考虑地层的透水性、孔隙率等因素，科学合理地确定灌浆压力和灌浆速度。在灌浆初期，由于地层孔隙较大，可适当采用较低的灌浆压力和较快的灌浆速度，使浆液能够迅速填充孔隙。随着灌浆的进行，当浆液逐渐填满孔隙，阻力增大时，要及时调整灌浆压力和速度，避免压力过大导致地层破裂或浆液外溢，同时也要防止速度过慢影响灌浆效率和质量。在整个灌浆过程中，通过压力传感器和流量控制器等设备，实时监测灌浆压力和速度的变化情况，并根据实际情况进行动态调整，确保灌浆质量稳定可靠。

(四) 后期检测与维护阶段的质量控制

后期检测与维护阶段是确保帷幕灌浆技术长期有效运行

的重要环节。因此，在后期检测与维护阶段应重点做好以下质量控制工作：

质量检测：对帷幕灌浆质量进行全面的检测，包括钻孔取芯、压水试验等。通过检测数据，评估帷幕灌浆的防渗效果和质量水平。

缺陷处理：对检测中发现的缺陷和问题，应及时进行处理和修复。同时，对处理后的质量进行再次检测，确保缺陷得到彻底消除。

维护保养：定期对帷幕灌浆进行维护保养工作，包括清理孔口、检查灌浆设备等。通过维护保养工作，确保帷幕灌浆的长期稳定运行。

三、水利水电施工中帷幕灌浆技术的质量控制策略

(一) 加强施工图纸审核与技术交底工作

施工图纸是施工的重要依据，其质量直接影响施工质量。因此，在施工前应应对施工图纸进行全面审核，确保施工图纸符合设计要求，且与实际地质条件相符。同时，应加强技术交底工作，确保施工人员充分理解施工图纸和施工方案的要求，明确施工质量控制要点和注意事项。

(二) 严格控制材料与设备质量

材料与设备的质量直接影响帷幕灌浆技术的实施效果。因此，应严格控制材料与设备的质量。在材料采购过程中，应选用符合国家标准和行业规范的材料，并对材料进行严格的检验和试验。在设备选择过程中，应选用性能稳定、操作简便的设备，并对设备进行全面的检查和调试。同时，在使用过程中应定期对材料和设备进行维护和保养工作，确保其正常运行和性能稳定可靠。

(三) 优化钻孔与灌浆工艺参数

钻孔与灌浆工艺参数是影响帷幕灌浆质量的关键因素之一。因此，应根据实际地质条件和施工图纸要求，合理确定钻孔与灌浆工艺参数。在钻孔过程中，应严格控制钻孔深度、孔径和孔斜等参数；在灌浆过程中，应严格控制灌浆压力、灌浆速度和灌浆段长等参数。同时，应根据施工过程中的实际情况对工艺参数进行适时调整和优化，确保施工质量稳定可靠。

(四) 加强施工过程中的质量监控与检测工作

施工过程中的质量监控与检测工作是确保帷幕灌浆质量的重要手段。因此，应加强施工过程中的质量监控与检测工作。在施工过程中应定期对施工质量进行检查和评估工作；在灌浆完成后应对灌浆质量进行全面的检测工作。同时，应建立完善的施工记录和质量管理体系，对施工过程中的数据进行实时记录和分析工作，为施工质量的持续改进提供有力支持。

(五) 提高施工人员技能水平与安全意识

施工人员的技能水平和安全意识是影响帷幕灌浆质量的重要因素之一。因此，应加强对施工人员的培训和教育工作。通过定期开展技术培训和安全教育活动，提高施工人员的技能水平和安全意识；通过定期考核和评估工作，对施工人员的技能水平和安全意识进行持续跟踪和评估工作。同时，应鼓励施

工人员积极参与技术创新和质量改进工作，为帷幕灌浆技术的持续改进和发展提供有力支持。

四、案例分析

案例一：某水库大坝帷幕灌浆施工及质量控制

某水库大坝整体渗漏严重，为了保证大坝的安全稳定运行及库区人们的生命安全，有必要进行防渗除险加固处理。大坝防渗设计方案为：坝基与坝体均为高压旋喷防渗墙，墙下设单排帷幕灌浆进行基岩防渗。帷幕灌浆承担安全渡汛任务，因此必须在大汛来临之前完成。在施工过程中，通过严格控制施工图纸审核、材料与设备质量、钻孔与灌浆工艺参数等质量控制要点，确保了帷幕灌浆施工的顺利进行和质量稳定可靠。帷幕灌浆完成后，通过质量检测发现，帷幕灌浆质量主要指标满足设计防渗指标要求，防渗效果显著。

案例二：某水电站帷幕灌浆施工质量控制实践

某水电站地处地质条件复杂的山区，为了保证水电站的稳定运行和发电效益的发挥，需要进行帷幕灌浆施工。在施工过程中，施工单位通过加强施工图纸审核与技术交底工作、严格控制材料与设备质量、优化钻孔与灌浆工艺参数等质量控制策略的实施，确保了帷幕灌浆施工的顺利进行和质量稳定可靠。同时，在施工过程中还加强了对施工质量的监控与检测工作，及时发现并处理了施工过程中出现的问题和缺陷。帷幕灌浆完成后，通过质量检测发现，帷幕灌浆质量达到了设计要求，为水电站的稳定运行提供了有力保障。

结语

帷幕灌浆技术是水利水电工程中重要的防渗处理方法之一。在施工过程中，通过严格控制施工图纸审核、材料与设备质量、钻孔与灌浆工艺参数等质量控制要点和策略的实施，可以确保帷幕灌浆施工的顺利进行和质量稳定可靠。同时，通过加强施工过程中的质量监控与检测工作以及提高施工人员技能水平与安全意识等措施的落实，可以进一步提高帷幕灌浆施工的质量水平和防渗效果。随着水利水电工程建设的不断发展和技术的进步，帷幕灌浆技术也将不断得到改进和完善。未来，应进一步加强帷幕灌浆技术的研发和创新工作，推动帷幕灌浆技术的持续发展和进步。

[参考文献]

- [1]水利施工技术及灌浆施工应用研究[J].田洪波.四川水泥, 2021(10)
- [2]水利水电工程大坝施工中的灌浆技术应用探讨[J].张军.农村实用技术, 2020(04)
- [3]水利施工技术及灌浆施工应用策略[J].曹燕飞.建材与装饰, 2018(51)
- [4]水利工程中帷幕灌浆的施工工艺和质量要求[J].罗美玲.中国标准化, 2018(14)

作者简介：赵刘山，出生年月：1994年03月18日，男，籍贯：中国，职称：助理工程师；研究方向：水利水电工程。