

水利工程中帷幕灌浆施工技术重难点及解决方法

刘 霆

南水北调东线山东干线有限责任公司 山东济南 250000

摘要: 本文深入探讨了水利工程中帷幕灌浆施工技术重难点及相应解决方法。首先阐述了帷幕灌浆技术的定义、原理、分类与应用范围,为后续分析奠定基础。接着详细剖析了钻孔与测斜、灌浆中断、串浆、浆液凝结等施工中的重难点问题。最后针对这些问题提出了具体的解决方法,旨在提升水利工程帷幕灌浆施工的质量和效率,保障水利工程的稳定与安全。通过对帷幕灌浆施工技术的系统研究,为水利工程领域相关实践提供有价值的参考。

关键词: 水利工程;帷幕灌浆;施工技术;重难点;解决方法

引言

水利工程是国家基础设施中非常重要的一部分,在区域经济发展、社会稳定以及水资源的合理利用等方面发挥着至关重要的作用。但是水利工程施工在水的长期侵蚀和冲刷下,其结构容易遭到破坏,渗漏现象频繁发生,极大地影响了工程的整体稳定和安全。帷幕灌浆施工技术是水利工程防渗处理中的重点方法,能够有效地减少地基渗漏量,控制坝基渗流坡降以及提高工程结构强度和稳定性。但在实际的施工当中,由于受到地质条件和施工环境的限制,这项技术也面临着很多重、难点。深入分析这些存在的问题,并提出行之有效的解决措施,这对于提升水利工程帷幕灌浆的施工质量,确保工程的安全运行有着十分重要的作用。

一、帷幕灌浆施工技术概述

(一) 帷幕灌浆技术的定义与原理

帷幕灌浆技术是一种通过钻孔将水泥浆、化学浆液等物质注入到岩层或土壤中的方法,其主要目的是形成一个连续且稳定的防渗结构,也就是通常所说的“帷幕”。在受到压力影响时,浆液会渗透并填补岩石和土壤中的裂缝,进而构建一个防止渗透的屏障,以确保工程的安全性。该技术能有效地阻隔地下水渗入,并为水坝及其他重大工程的建设奠定坚实的基础;加强软弱地层以保证隧道及其他工程围岩稳定性;并阻止污染物扩散,确保环境安全,尤其适用于垃圾填埋场等场所。帷幕灌浆技术的核心是将浆液注入岩石或土层的裂缝和孔洞中,从而形成一个连续的防水帷幕,这有助于减少水的渗透量和降低渗透压力。在水电水利项目中,这种技术是覆盖层地基防渗处理的核心手段,并经常被应用于闸坝的

岩石或砂砾石地基中。

(二) 帷幕灌浆技术的分类与应用范围

根据防渗帷幕的灌浆孔排数,帷幕灌浆技术可以被分类为两排孔帷幕和多排孔帷幕。但就所用胶凝材料而言,有水泥、高分子化学溶液和水泥粘土浆液等,在这些胶凝材料中,应用最多的就是水泥,在某些特定情况下,会采用高分子化学溶液,但在砂砾石地基上,通常会选择使用水泥粘土浆液。

这项技术广泛用于水利和各种地下工程。水利工程中,帷幕灌浆多用于闸坝岩石或者砂砾石基础上,大坝施工时经过灌浆后形成一道持续阻水帷幕以减少渗流量,降低渗透压力,为了确保坝体的稳定性,三峡工程大规模地采用了这项技术,并且其帷幕灌浆钻孔的最大深度已经超过了100米。对地下工程而言,如隧道、地铁、矿井等工程中,帷幕灌浆可以阻止地下水的渗入,增加工程结构的安全性,并为建设创造有利条件。堤防工程还可以采用该技术加强堤身防渗能力以防御洪水侵袭和确保周边区域安全。

二、帷幕灌浆施工技术重难点分析

(一) 钻孔与测斜

钻孔是帷幕灌浆施工的基础工序,其质量直接影响后续灌浆效果。在实际施工中,钻孔环节面临诸多问题。一方面,钻孔位置偏差难以避免。尽管施工前会进行精准定位,但受钻孔设备振动、地质条件复杂等因素影响,钻头易偏移,导致钻孔位置与设计要求不符。另一方面,钻孔倾斜问题突出。不同地层地质特性差异大,如软弱地层与坚硬地层交替出现,钻孔过程中钻头受力不均,易产生倾斜。若钻孔倾斜过大,会影响帷幕灌浆的连续性和防渗效果,甚至导致灌浆施工无法正常进行。此外,

钻孔过程中还可能出现孔口返水流量较小、孔壁掉块导致卡钻、钻杆接手脱落等事故，深孔帷幕灌浆钻孔事故频发，处理成本高，严重时会使已施工完成的钻孔灌浆孔段作废，需重新钻孔灌浆，增加施工成本和时间。

（二）灌浆中断

灌浆中断是帷幕灌浆施工中常见的问题，主要由停电、机械故障、器材问题等因素引起。例如，灌浆设备在运行过程中突然出现故障，如泵体损坏、管路堵塞等，会导致灌浆无法正常进行；供电系统突发故障停电，也会使灌浆作业中断。灌浆中断对帷幕质量影响较大，若中断时间过长，浆液在孔内凝固，会导致灌浆孔堵塞，影响后续灌浆施工；即使恢复灌浆，浆液的流动性和渗透性也会发生变化，难以保证帷幕的连续性和均匀性，降低防渗效果。

（三）串浆

串浆即浆液受压力窜入邻近钻孔内，帷幕灌浆施工过程中邻近钻孔间地层裂隙连通性良好时易发生串浆。串浆将导致浆液分布不均，局部浆液过多、局部浆液过少而影响帷幕整体防渗性能。同时串浆也造成灌浆压力及注入率不易控制，加大了施工难度及费用。如果串浆问题不能及时得到处理，就有可能诱发冒浆等更为严重的问题发生，从而进一步影响施工质量与进度。

（四）浆液凝结问题

浆液凝结问题主要包括凝结时间过长和凝结不均匀。浆液凝结时间过长会使施工周期延长，增加施工成本，且在动水条件下，浆液易被水流冲走，无法有效填充裂隙，降低防渗效果。例如，在地下水流速较大的地层中进行帷幕灌浆施工，若浆液凝结时间过长，浆液在注入过程中会被水流稀释和冲刷，难以形成有效的防渗帷幕。浆液凝结不均匀会导致帷幕内部结构不一致，强度和防渗性能存在差异，影响帷幕的整体稳定性。这可能是由于浆液配比不合理、搅拌不均匀或地层温度、湿度等因素影响所致。

三、帷幕灌浆施工技术重难点的解决方法

（一）钻孔与测斜问题的解决方法

为了解决钻孔位置的偏差问题，在开始钻孔施工之前，应该使用全站仪等高精度的测量设备来进行测量和放线，以确定灌浆的轴线和具体的施工控制点，以及与水利工程设计和监理主体的有效沟通和基准数据的明确。钻孔时，利用罗盘仪和其他辅助仪器对钻孔位置进行实时监控，并适时调整钻头的方向以保证钻孔位置的偏差处于允许的范围之内。对钻孔倾斜，应从钻杆的选择、

钻机的固定、钻进速度的确定、钻进压力的确定和钻机转速的确定等多方面入手，针对不同地层的地质特性加以控制。如软弱地层要用较低的钻进压力、转速慢速钻进；坚硬地层的钻进压力与转速可以适当提高。同时在各钻孔段结束时，用测斜仪测量钻孔的孔斜，如果孔斜超过标准，则及时采取纠偏措施，例如调整钻机的角度和使用导向钻具。

为了预防钻孔事故的发生，施工前必须准备完备的事故处理设备和工具，例如打捞工具、套铣工具等，并且需要配备具有强烈责任心和较高业务能力的钻孔灌浆施工人员。钻孔时严格执行操作规程，强化现场管理，发现并处理可能出现的问题。如定期对钻杆接手的连接进行检查以防掉落；控制钻进速度以免孔壁掉块；对冲洗液的压力及流量进行合理的控制，避免孔口返水流量太小。如果出现钻孔事故时，则要根据事故的种类及严重程度采取相应处理方法，例如用套铣方法对卡钻事故进行处理、用打捞工具对脱落的钻杆进行打捞等。

（二）灌浆中断问题的解决方法

为了有效地应对水利工程帷幕灌浆施工过程中出现的灌浆中断现象，必须从防治和治理两个方面采取综合措施。在施工之前，周密而又全面地做好准备工作至关重要。针对各种施工设备进行深入的检查和维修，保证设备的性能在最佳的状态下，能够平稳工作；与此同时，装备备用电力系统如柴油发电机，当正常的供电发生故障时，备用系统能够快速投入运行，确保电力的连续供给；严把灌浆管材质量关，消除管道堵塞、断裂和接口不牢固的安全隐患，从根本上减少灌浆中断的风险。

在施工过程中加强对设备的监控和维护。安排专业人员对设备的运行状况进行定时巡查，发现和消除可能存在的故障隐患，确保设备一直保持良好的运行工况；定期对灌浆压力表进行校对核验，保证灌浆压力的准确和稳定，达到帷幕灌浆的施工需求；安排专门人员对电力供应进行监测和控制，掌握电力的实时动态，保证电力的正常供应。

如果灌浆过程遗憾地发生了中断，则需要根据中断的原因和持续时间灵活应对。中断时间短的，应尽快恢复注浆，在恢复过程中应从稀浆开始，如果吸浆率接近中断前的吸浆率，则可以很快恢复到中断前的稠度；如果吸浆率相差很大，就逐级调节浆液稠度。中断较长的情况下，在恢复灌浆前进行扫孔以除去孔内凝固的浆液和杂质，然后按照以上方法进行恢复灌浆。如果复苏后吸浆率明显下降并在很短的时间内终止，则说明裂隙口

由于中断而堵塞，应采取取出栓塞扫孔、冲洗再注浆等措施。通过采取这些措施可以有效地减少灌浆中断给施工质量带来的影响，确保帷幕灌浆施工的顺利实施。

（三）串浆问题的解决方法

在帷幕灌浆的施工过程中，由于灌浆孔之间的岩层裂缝相互连接，形成了一个通道，这导致浆液从其他钻孔或地下的裂缝中流出，这不仅降低了灌浆的质量，还导致了材料的浪费。对于串浆，如果串浆孔具备注浆条件时，可以采用“一泵一孔”的同步注浆方法，即将串浆孔和注浆孔同时注浆，每一个孔配置一台单独的注浆泵，本实用新型采用双泵并联运行的方式保证浆液对目标区的均匀充填，避免单孔内压力集中造成的串浆现象加重。如果串浆孔暂时不满足灌注的条件，那么在漏浆区域的上方需要安装灌浆塞以严格封堵，以防止浆液进一步流失，直到当前的灌浆孔操作完成，对串浆孔扫孔处理，去除孔内残余杂质，然后再利用高压水清洗孔壁，使其恢复洁净，保证浆液在后续灌浆过程中与岩体的完全接触。

防止串浆需要从施工组织和工艺优化着手，采取增大首次序孔间距和延长相邻次序孔的施工间隔等措施来降低新灌浆液对于已固化浆体冲刷损伤程度；采用由上而下分段灌浆的方法，通过上层浆液固化后产生的隔断层封堵裂隙纵向扩展，减少串浆危险。在施工中需要对浆液的扩散范围进行动态监测，一旦发现吸浆率非正常减小，可以逐级减小灌浆压力，限制进浆量以避免浆液在高压迫作用下沿着裂隙窜动；对于裂隙发育且孔距很小的地区，可以将水玻璃或者氯化钙作为速凝剂混入浆液内，加快浆液凝固，从而减少扩散时间，或者注入水泥砂浆、高黏度材料如混合浆液，通过提高浆液阻力来降低串浆量。采用同步灌注、孔口封堵、工艺优化及材料调整相结合的方法，能有效地控制串浆现象的发生，确保帷幕灌浆的质量和效率。

（四）浆液凝结问题的解决方法

帷幕灌浆作业中浆液的凝结问题将严重影响灌浆质量和工程安全。如果浆液凝结速度过快，容易堵塞灌浆管道和钻孔，造成灌浆不能继续进行。这时，可以适当加大搅拌用水量使浆液的含水量上升，推迟浆液的凝结速度；还可以将适量的缓凝剂如木质素磺酸钙混入浆液中，利用化学作用来调整浆液的凝结时间，以保证其能够在指定的期限内顺利完成灌注。

浆液凝结太慢时，会产生泌水和离析，使帷幕防渗

性能下降。针对这种情况，应严格控制水灰比、降低搅拌用水量、提高浆液稠度、加速凝结进程等；在浆液中加入如水玻璃这样的加速凝剂是可行的，因为它可以与水泥的成分进行化学反应，从而加速浆液的凝结过程。

灌浆期间应密切注意浆液性能的变化情况，并定时采样测试浆液的凝结时间和流动性。发现异常情况后及时对浆液的配合比进行调整。同时，针对不同的地质环境和施工需求，可以灵活选择适当的浆液类型，例如普通纯水泥浆、水泥黏土浆等，以适应各种不同的情况，避免浆液与地质失配而造成凝结问题的发生，确保帷幕灌浆施工的顺利进行，取得预期防渗效果。

结论

水利工程帷幕灌浆施工技术对防渗处理起到了至关重要的作用，但在实际的施工过程中却面临钻孔和测斜、灌浆中断、串浆和浆液凝结等重、难点。通过有针对性地解决措施，包括加强对钻孔施工的管理，做好灌浆中断的防治工作，合理调整灌浆顺序及压力等措施来解决串浆现象，优化浆液材料及配比来解决浆液凝结等问题，可以有效地改善帷幕灌浆的施工质量，确保水利工程的安全平稳运行。在水利工程建设不断推进的过程中，帷幕灌浆的施工技术也会提出更高的要求，在今后的施工过程中，要进一步加大技术创新与研究力度，不断提高这项技术，为了满足不同地质条件及工程需求，给我国水利事业的发展提供强有力的技术支持。

参考文献

- [1] 周立忠, 李绍平, 杨永存. 水利工程复杂地质条件下防渗帷幕灌浆施工技术[J]. 云南水力发电, 2025, 41(03): 128-132.
- [2] 张利, 王玉华, 曹捷. 帷幕灌浆施工技术在水利工程中的应用探究[J]. 农业开发与装备, 2024, (08): 127-129.
- [3] 安泽元. 水利工程中帷幕灌浆施工技术的新难点探析[J]. 大众标准化, 2023, (08): 44-46.
- [4] 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. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2022.08.020.
- [5] 罗伟钊. 水利工程中帷幕灌浆施工技术分析[J]. 住宅与房地产, 2021, (30): 69-70.