

帷幕灌浆施工中特殊情况（串浆、冒浆等）处理技术与案例分析

李金龙

新疆银通建设监理有限公司 新疆 奎屯 833200

【摘要】帷幕灌浆作为一种重要的地基处理技术，在水利工程、岩土工程等领域广泛应用。帷幕灌浆的目的在于通过在地基中灌入浆液形成防渗帷幕，提高地基的防渗性能。然而，在实际施工过程中，常常会遇到各种特殊情况，如串浆、冒浆、漏浆等。这些特殊情况若处理不当，将严重影响灌浆效果和工程质量。通过这些特殊情况处理技术的应用，可以有效提高帷幕灌浆的质量和效率，保证工程的防渗性能，从而确保水利工程、岩土工程等相关工程的安全稳定运行。这对提高工程的经济效益和社会效益具有重要意义，也是当前工程技术领域研究和实践的重点内容之一。本文旨在概述帷幕灌浆特殊情况处理技术的关键方面及其重要性。

【关键词】帷幕灌浆；施工技术；处理技术；串浆冒浆

DOI:10.12417/2811-0528.25.09.052

帷幕灌浆是一种在水利工程、岩土工程等领域广泛应用的基础处理技术。其主要目的在于提高地基的承载能力、降低地基的渗透性以及增强地基的稳定性。通过将具有特定性能的浆液注入到地层中的孔隙、裂隙等空间，从而形成一道类似帷幕的防渗结构体。

1 串浆处理策略

1.1 封堵措施设计

在帷幕灌浆工程中，串浆现象是较为常见的问题，而合理的封堵措施设计至关重要。封堵措施旨在阻止浆液在非预定的通道内流动，从而保证灌浆的效果和质量。对于较大的串浆通道，则采用了一种复合封堵材料。这种材料由特殊的纤维和高强度水泥混合而成。纤维的加入增强了封堵材料的韧性，防止在高压力下出现裂缝。在实际应用中，该复合封堵材料在承受高达 3-5MPa 的灌浆压力时，仍能保持良好的封堵效果。封堵措施的设计还需要考虑到施工的便捷性。在一些复杂的地质结构中，采用了可注射式的封堵材料，通过特殊的注射设备，能够将封堵材料准确地注入到串浆通道中，大大提高了封堵的效率。

1.2 浆液改性方案

浆液改性是处理串浆问题的另一个重要策略。原始的浆液可能在流动性、凝结特性等方面存在不足，导致串浆现象的发生。通过对浆液进行改性，可以改变其物理和化学性质，从而更好地适应灌浆环境。在一些岩溶地区的帷幕灌浆工程中，由于地质结构复杂，串浆现象频繁。针对这种情况，对浆液进行了减水剂和缓凝剂的添加改性。减水剂的加入降低了浆液的水灰比，提高了浆液的稠度，减少了浆液的流动性。现场实验表明，添加减水剂后，浆液的流动度从原来的 18-20cm 降低到

12-15cm，这使得浆液在灌浆过程中更不容易串入其他通道。缓凝剂的添加则延长了浆液的凝结时间。在这种岩溶地区的工程中，根据不同的地层情况，缓凝剂的添加量控制在 0.5%-1.5% 之间，使得浆液的凝结时间从原来的 4-6 小时延长到 8-12 小时。这样就有足够的时间让浆液在预定的灌浆区域内充分填充，而不会因为过早凝结而产生串浆。还有一些工程中采用了添加膨胀剂的浆液改性方案。膨胀剂在浆液凝结过程中会产生一定的体积膨胀，使得浆液能够更好地填充孔隙，并且在串浆通道处形成更加紧密的封堵，有效防止串浆的再次发生。

1.3 压力调控技巧

压力调控在串浆处理中起着关键的作用。合适的灌浆压力能够保证浆液在预定的范围内扩散，避免串浆现象的恶化。压力调控还需要考虑到不同地层的承受能力。在软土地层中，灌浆压力需要控制在较低的水平，一般不超过 1.5MPa，以防止地层变形和串浆。而在较硬的岩石地层中，灌浆压力可以适当提高，但也需要进行实时监测。在一个岩石地层的帷幕灌浆工程中，采用了分级压力灌浆的方式。首先以较低的压力 1-1.5MPa 进行初步灌浆，使浆液初步填充地层孔隙，然后根据灌浆情况逐步提高压力到 2-2.5MPa，这种压力调控技巧既保证了灌浆的效果，又有效地避免了串浆问题的发生。在压力调控过程中，还需要借助压力传感器等设备进行实时监测，确保压力在设定的范围内波动，避免因压力突然变化而导致串浆现象的突然加剧。

2 冒浆控制技术

2.1 表面封堵工艺

一种常见的表面封堵材料是速凝水泥。速凝水泥具有快速凝结的特性，能够在较短时间内形成坚固的封堵层。将速凝水

泥按照一定比例调配成浆体，然后涂抹在冒浆的部位及其周边区域。经过实际测量，在涂抹后的10-15分钟内，速凝水泥浆体开始凝结，有效地阻止了浆液继续从表面冒出。除了速凝水泥，还有一些化学封堵剂也被应用。这些化学封堵剂具有良好的渗透性和粘结性。当将其注入到冒浆通道的表面裂隙时，它能够深入裂隙内部，与岩石表面发生化学反应，形成一层坚固且密封性良好的封堵膜。这种封堵膜不仅可以阻止浆液冒出，还能提高地层表面的抗渗性。

2.2 深层加固手段

灌浆加固是常用的深层加固方法之一。采用特殊配方的灌浆材料，如添加了纤维材料的水泥浆。纤维材料能够增强浆液的韧性和抗裂性。在某矿山帷幕灌浆工程中，由于地层结构复杂，存在较多的裂隙和空洞，容易发生冒浆现象。施工方采用了添加纤维的水泥浆进行深层灌浆加固。在灌浆过程中，这种特殊的浆液能够填充到深层的裂隙和空洞中，随着浆液的凝固，裂隙和空洞被填满并加固，提高了地层的整体稳定性，减少了冒浆的可能性。

3 施工工艺改进

3.1 分段灌浆技术

分段灌浆技术是帷幕灌浆施工中的重要创新。该技术基于对地层结构和灌浆需求的深入分析。在实际操作中，将灌浆孔按照一定的长度标准进行分段。在渗透性较低的地层段，较短的灌浆段能够确保浆液充分填充地层孔隙，提高灌浆的密实度。而在渗透性较高的地层段，适当缩短灌浆段可以避免浆液过度流失，保证灌浆压力的有效传递。通过分段灌浆技术，可以实现对不同地层特性的精准适应，从而提高帷幕灌浆的整体质量。从施工工艺角度来看，每一段的灌浆都需要严格控制灌浆压力、浆液流量和灌浆时间等参数。

3.2 高压注浆方法

高压注浆方法在帷幕灌浆中有着独特的应用价值。其原理是利用较高的注浆压力，使浆液能够克服地层的较大阻力，深入到地层的微小孔隙和裂隙中。在一些地质条件复杂的工程场地，如存在大量细小裂隙的岩石地层或密实度较高的砂土地层，常规注浆压力往往难以使浆液充分扩散。然而，高压注浆方法并非无限制地提高压力。过高的压力可能会导致地层结构破坏，引发地面隆起或其他不良地质现象。因此，在实施高压注浆时，需要精确计算和控制注浆压力。要根据地层的承载能力、孔隙结构等因素，合理调整浆液的配比，确保浆液在高压下的流动性和稳定性。

3.3 多孔同步灌浆

多孔同步灌浆是一种提高帷幕灌浆效率和质量的先进技术。它打破了传统的单孔依次灌浆模式，实现多个灌浆孔同时进行灌浆作业。多孔同步灌浆的关键在于对各灌浆孔之间的相互影响进行精确分析和控制。各孔之间的间距、浆液的扩散范围以及地层的渗透性等因素都会影响多孔同步灌浆的效果。在实际工程中，需要通过数值模拟和现场试验相结合的方法，确定最佳的灌浆孔布置方案和灌浆参数，确保多孔同步灌浆技术能够达到预期的效果，提高帷幕灌浆工程的整体质量和效率。

4 典型案例分析

4.1 工程背景介绍

在某大型水利枢纽工程中，坝基的地质条件极为复杂。坝基岩石主要为花岗岩，其中穿插着多条断层破碎带，这些破碎带的宽度在0.5米到3米不等。岩石的透水性较强，根据前期勘探数据，在部分区域的透水率高达10Lu以上。工程要求坝基的帷幕灌浆必须达到防渗标准，将透水率降低到1Lu以下，以确保大坝的安全和稳定。该工程的坝高达到150米，坝基面广，帷幕灌浆的总工程量巨大。由于坝基地质的不均匀性，不同区域的岩石强度、孔隙率等参数差异明显。在这种情况下，传统的帷幕灌浆技术面临着诸多挑战，如灌浆浆液的扩散难以控制、灌浆压力在不同地层中的传递效果不一致等。而且，工程所在地的地震活动较为频繁，这对坝基的稳定性和防渗性能提出了更高的要求。

从施工环境来看，该地区气候多变，降雨量大，施工现场的排水难度较大。由于坝基附近有已建成的建筑物和设施，施工过程中的振动和噪音控制也成为了重要的考虑因素。这些因素综合起来，使得该水利枢纽工程的帷幕灌浆工程成为一个极具挑战性的项目。

4.2 技术方案实施

针对该工程的复杂情况，制定了一套综合性的技术方案。在灌浆材料方面，选用了高强度、高流动性的水泥基浆液，并添加了适量的外加剂以调节浆液的凝结时间和粘度。根据不同区域的透水率和岩石孔隙率，调整了浆液的水灰比，在透水率较高的破碎带区域，采用了水灰比为0.8:1的浆液，而在相对完整的岩石区域，水灰比调整为1:1。

在灌浆工艺上，采用了分段灌浆与高压注浆相结合的方法。对于断层破碎带区域，将灌浆段长度缩短至3米，以确保浆液能够充分填充裂隙。在这些区域采用了3-5MPa的高压注浆，以克服地层的高透水性。在完整岩石区域，灌浆段长度适当延长至5-8米，注浆压力控制在1-3MPa之间。

为了应对串浆问题，在相邻的灌浆孔之间设置了止浆塞，并且根据串浆的严重程度调整止浆塞的位置和密封性能。当出现轻微串浆时，通过调整浆液的注入速度和压力来控制串浆现象。在冒浆控制方面，在地表容易冒浆的区域预先铺设了一层土工布和混凝土薄板，当出现冒浆时，及时对冒浆点进行封堵，并调整灌浆压力和浆液流量。

在漏浆区域，根据地质勘探结果，对漏浆通道进行了详细的分析。对于较大的漏浆通道，采用了先灌注速凝浆液进行封堵，然后再进行常规灌浆的方法。在施工过程中，密切监测灌浆压力、浆液流量和地层抬升情况，根据监测数据及时调整施工参数。

4.3 效果评估总结

工程完成后，进行了全面的效果评估。通过对灌浆后的坝基进行压水试验，结果显示坝基的透水率在绝大部分区域都降低到了 $1Lu$ 以下，满足了工程的防渗要求。在灌浆区域选取了

多个监测点进行长期的位移监测，数据表明坝基的稳定性良好，在地震活动期间，坝基的位移量在安全范围内。

从浆液扩散情况来看，通过钻孔取芯和 CT 扫描等手段，发现浆液在断层破碎带和岩石孔隙中扩散均匀，填充效果良好。这表明所采用的灌浆材料和工艺能够有效地适应复杂的地质条件。

在施工过程中，虽然遇到了串浆、冒浆和漏浆等问题，但通过针对性的技术措施，这些问题都得到了有效的解决。没有因为这些特殊情况而导致工程进度的延误，也没有对周边建筑物和设施造成不良影响。整个工程的帷幕灌浆质量达到了预期目标，为该水利枢纽工程的安全运行提供了坚实的基础。

5 结语

帷幕灌浆技术在水利工程、岩土工程等众多领域有着不可替代的重要性。在整个关于帷幕灌浆特殊情况处理技术的论述过程中，对各种特殊情况的应对措施进行了深入探讨。

参考文献：

- [1] 王岩.超前注浆小导管在水工隧洞塌方处理工艺探讨[J].黑龙江水利科技,2025(1).
- [2] 全飞.数字孪生驱动的帷幕灌浆质量全过程控制及评价方法研究[D].西安理工大学,2023.
- [3] 刘斌.水工建筑防渗漏处理中的帷幕灌浆施工技术分析[J].科海故事博览,2023:52-54.
- [4] 陈哲.探究水利工程施工中帷幕灌浆技术应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(003):000.
- [5] 杨培洲.两河口水电站大坝岸坡卸荷基础帷幕灌浆施工技术研究及应用[J].水利建设与管理,2023,43(3):67-73.