

水利工程施工中的灌浆技术及其对结构稳定性的影响分析

李 鹏¹ 曹宝田²

1. 开封黄河工程开发有限公司 河南 开封 475000

2. 河南黄河河务局开封黄河河务局 河南 开封 475000

摘 要：本文聚焦水利工程施工中的灌浆技术，阐述其分类、应用及特点，深入分析灌浆技术对水利工程结构稳定性的多方面影响，包括提高地基承载力、增强结构整体性、改善抗渗性能等。同时，探讨影响灌浆效果的因素，如地质条件、灌浆材料、施工工艺等，并提出相应优化措施，旨在为水利工程灌浆施工提供理论参考，保障工程质量与安全。

关键词：水利工程；灌浆技术；结构稳定性；影响因素；优化措施

1 水利工程施工中的灌浆技术

1.1 灌浆技术的分类

在水利工程施工领域，灌浆技术依据其独特的功能特性，可细分为多种类型，每种类型都精准对应不同的工程需求与地质条件。帷幕灌浆作为其中关键的一种，主要应用于大坝上游迎水面区域。其核心作用在于降低坝体内部的渗透率，通过构建一道隐形的防渗屏障，有效阻挡地下水的渗透，从而显著增强坝体的稳定性，为大坝的安全运行提供坚实保障。固结灌浆则通常被布置在岩石地质条件较为优越的区域，它能够对大坝的基部进行全面且深入的固结处理。在灌浆过程中，浆液充分填充基岩的孔隙和裂隙，使基岩变得更加坚固，大幅提高其牢固性和抗压性，为坝体提供更为稳固的基础支撑。回填灌浆主要针对混凝土坝体与基岩或混凝土衬砌与围岩之间存在的空隙进行填充。在施工过程中，由于各种因素影响，这些空隙若不及时处理，将严重影响结构的整体性和稳定性。回填灌浆技术通过将浆液注入空隙，使结构各部分紧密结合，形成一个有机的整体，有效增强结构的整体性。接缝灌浆则是专门针对混凝土坝体的接缝问题而设计的技术^[1]。混凝土坝体在施工过程中不可避免地会形成接缝，这些接缝往往是渗漏的薄弱环节。接缝灌浆技术通过向接缝中注入浆液，填充接缝空隙，形成一道连续的防渗层，有效防止接缝渗漏，确保坝体的整体性和安全性。

1.2 灌浆技术的应用

灌浆技术在水利工程施工中展现出极为广泛的应用前景。以坝基处理为例，不同地质条件下的坝基处理需要采用不同的灌浆技术。在岩溶地质条件下，由于岩溶洞穴和裂隙发育，地质条件复杂，采用高压灌浆技术是较为有效的处理方法。高压设备将水泥浆液以高压状

态注入岩溶洞穴和裂隙中，浆液在高压作用下迅速填充空洞，提高坝基的密实度和稳定性。对于浅层泥岩溶地形，处理过程相对复杂一些。首先需要清除填充物，为后续灌浆施工创造良好条件。然后使用灌浆技术将混凝土浆液回填并进行灌浆施工，确保坝基质量达到设计要求。当遇到吸浆特别严重的地基时，需要采取特殊的灌浆措施。实施降压操作，降低浆液的流动速度和扩散范围；加入速凝剂，加快浆液的凝固速度；采用间歇式灌浆方法，重复操作直到灌浆结束，以提高浆液的利用率和灌浆质量。在混凝土坝体接缝处理中，接缝灌浆技术发挥着至关重要的作用。通过严格控制浆液的配合比、灌浆压力和灌浆速度等参数，确保浆液能够充分填充接缝空隙，形成良好的防渗效果，保证坝体的整体性和安全性。

1.3 灌浆技术的特点

灌浆技术之所以在水利工程施工中得到广泛应用，得益于其诸多显著优点。首先，它能够有效改善地基的物理力学性能。在灌浆过程中，浆液充分填充地基中的孔隙和裂隙，使地基土体变得更加密实。这种密实度的提高直接导致地基承载力的增强，使地基能够承受更大的荷载，为水利工程的结构安全提供有力保障。其次，灌浆技术可以显著增强结构的整体性。浆液在压力作用下扩散到结构与地基或结构各部分之间的空隙中，将它们粘结成一个紧密的整体。这种整体性的增强不仅提高了结构的抗变形能力，还使结构在承受荷载时能够更加均匀地分布应力，减少局部应力集中的现象，从而提高结构的稳定性和耐久性。此外，灌浆技术还具有良好的抗渗性能。浆液凝固后形成的结石体具有致密的结构，能够有效阻止地下水的渗透^[2]。在水利工程中，地下水渗透是一个常见且严重的问题，它不仅会导致水量损失，

还会对工程结构造成侵蚀和破坏。通过灌浆技术形成防渗帷幕,可以有效减少渗漏损失,保证水利工程的安全运行。

2 灌浆技术对结构稳定性的影响

2.1 提高地基承载力

灌浆技术通过向地基中注入浆液,对地基的物理力学性能进行实质性改善。浆液填充了地基中的孔隙和裂隙,使地基土体变得更加密实,从而提高了地基的承载力。以某水利工程为例,在坝基处理中采用高压灌浆技术,将水泥浆液注入岩溶洞穴和裂隙中。灌浆前,坝基的承载力较低,无法满足大坝的荷载要求,存在较大的安全隐患。灌浆后,坝基的承载力得到了显著提高,能够承受大坝的重量和水压力,保证了坝体的稳定性。这一变化不仅体现了灌浆技术对地基承载力的直接提升作用,也为水利工程的安全运行奠定了坚实基础。

2.2 增强结构整体性

灌浆技术在增强结构整体性方面发挥着关键作用。浆液在压力作用下扩散到结构与地基或结构各部分之间的空隙中,将它们粘结成一个紧密的整体。在混凝土坝体接缝处理中,采用接缝灌浆技术,浆液填充了接缝中的空隙,使坝体的各个部分紧密连接在一起,形成一个连续的整体结构。这种整体性的增强提高了坝体的抗变形能力,使坝体在受到水压力、温度变化等外部因素作用时,能够更好地保持结构的稳定性和完整性。同时,灌浆技术还可以增强结构与地基之间的连接,使结构与地基形成一个有机的整体,共同承受荷载。这种整体协同工作的方式进一步提高了结构的抗变形能力,减少了结构因局部破坏而导致整体失稳的风险。

2.3 改善抗渗性能

在水利工程中,地下水渗透是一个亟待解决的问题。浆液凝固后形成的结石体具有优异的抗渗性能,能够有效阻止地下水的渗透。通过灌浆技术,在坝体、坝基等部位形成防渗帷幕,为水利工程构筑了一道坚固的防线。例如,在某水库大坝的防渗处理中,采用帷幕灌浆技术,在大坝内部形成了一道连续的防渗帷幕。灌浆前,大坝存在一定程度的渗漏问题,不仅导致水量损失,还对大坝的结构安全造成了潜在威胁。灌浆后,大坝的渗漏量大幅减少,防渗效果显著。这一成功案例充分证明了灌浆技术在改善抗渗性能方面的有效性和重要性,为水利工程的安全运行提供了可靠保障。

3 影响灌浆效果的因素

3.1 地质条件

地质条件作为影响灌浆效果的关键要素,其复杂性

和多样性对灌浆施工提出了严峻挑战。不同的地质环境对灌浆材料的选择、灌浆工艺的制定以及最终的灌浆效果均产生着显著影响。在岩溶地区,地质特征表现为岩溶洞穴和裂隙广泛发育。这些洞穴和裂隙犹如天然的“通道”,使得灌浆时浆液极易流失。为了应对这一难题,通常需要采用高压灌浆技术,借助高压设备将浆液强力注入岩溶洞穴和裂隙中,同时加入速凝剂等外加剂。速凝剂能够加快浆液的凝固速度,减少浆液在洞穴和裂隙中的流失,从而保证灌浆效果,确保浆液能够有效填充岩溶空间,提高地基的稳定性和承载力。而在软土地基中,情况则截然不同。软土地基的土体具有孔隙率大、含水量高的特点。这使得灌浆时浆液的扩散范围较大,如果控制不当,浆液可能会过度扩散,导致灌浆效果不理想。因此,在软土地基的灌浆施工中,需要严格控制灌浆压力和浆液浓度。通过合理调整灌浆压力,使浆液能够在土体中均匀扩散,避免过度集中或流失;同时,精确控制浆液浓度,确保浆液具有适当的流动性和填充性,以达到最佳的灌浆效果。

3.2 灌浆材料

灌浆材料的性能是决定灌浆效果的核心因素之一。目前,常用的灌浆材料主要包括水泥浆、水泥黏土浆和化学浆液等,每种材料都有其独特的优缺点。

水泥浆以其强度高、耐久性好的优势在灌浆工程中得到了广泛应用。然而,其凝固时间较长,这在一些对工期要求紧迫的工程中可能会带来不利影响。水泥黏土浆的凝固时间相对较短,能够较快地形成强度,但其强度较低,对于一些对承载力要求较高的工程可能不太适用。化学浆液具有粘度低、可灌性好的优点,能够较好地填充细小的孔隙和裂隙,但成本较高,在一些大型工程中可能会增加工程造价。因此,在选择灌浆材料时,必须根据工程的具体要求和地质条件进行综合考虑。例如,在需要较高承载力的工程中,应优先选择强度较高的水泥浆;在工期紧张且对强度要求不是特别高的工程中,可以考虑使用水泥黏土浆;而对于一些孔隙和裂隙细小、普通浆液难以灌入的工程,化学浆液则可能是更好的选择。

3.3 施工工艺

施工工艺是保证灌浆效果的关键环节,它贯穿于灌浆施工的整个过程,包括钻孔、制浆、灌浆、封孔等环节。在钻孔过程中,钻孔的孔径、孔深和孔斜都需要严格控制。合适的孔径能够保证浆液的顺利注入和扩散;准确的孔深能够确保浆液能够到达需要灌浆的部位;而严格的孔斜控制则能够避免钻孔偏离设计位置,影响灌

浆效果。制浆时,必须按照设计要求准确配制浆液,保证浆液的水灰比、添加剂用量等参数符合要求,以确保浆液的性能稳定。灌浆过程中,灌浆压力、灌浆速度和灌浆量的控制至关重要。灌浆压力过大可能会导致地基或结构物破坏,灌浆压力过小则可能无法使浆液充分填充孔隙和裂隙;灌浆速度过快可能会使浆液来不及扩散,灌浆速度过慢则可能会延长施工工期;灌浆量的控制需要根据孔隙和裂隙的大小和分布情况进行合理确定,避免浆液浪费或不足^[3]。封孔是灌浆施工的最后一道工序,采用合适的方法进行封孔能够有效防止浆液流失,保证灌浆体的完整性。例如,可以采用水泥砂浆封孔或化学灌浆封孔等方法,根据具体情况选择最合适的封孔方式。

4 优化措施

4.1 加强地质勘察

在灌浆施工前,进行详细的地质勘察是确保灌浆效果的重要前提。地质勘察应全面了解工程地质条件,包括地层岩性、地质构造、水文地质条件等。地层岩性决定了地基的物理力学性质,不同的岩性对灌浆材料和工艺的要求不同。地质构造如断层、褶皱等会影响浆液的扩散路径和填充效果。水文地质条件包括地下水的分布、水位、水质等,地下水会对浆液的凝固和强度发展产生影响。根据地质勘察结果,制定合理的灌浆设计方案。例如,在岩溶地区,应查明岩溶洞穴和裂隙的发育情况,确定灌浆孔的布置和灌浆参数,如灌浆压力、浆液浓度、灌浆时间等,以保证灌浆效果。通过详细的地质勘察和科学的设计方案,能够为灌浆施工提供准确的依据,提高灌浆的成功率。

4.2 严格控制灌浆材料质量

灌浆材料的质量是影响灌浆效果的直接因素,因此必须严格控制灌浆材料的质量。在灌浆材料的选择和采购过程中,应严格按照相关标准进行检验。对水泥的强度、安定性、凝结时间等指标进行检测;对化学浆液的粘度、固化时间、强度等性能进行测试。只有符合质量要求的灌浆材料才能进入施工现场。同时,在灌浆材料的储存和使用过程中,应注意防潮、防晒、防冻等。水泥应储存在干燥、通风良好的仓库中,避免受潮结块;化学浆液应按照规定的温度和条件进行储存,防止其性能发生变化。通过严格控制灌浆材料的质量,能够保证灌浆施工的顺利进行和灌浆效果的可靠性^[4]。

4.3 优化施工工艺

不断优化灌浆施工工艺是提高施工质量和效率的关

键。在钻孔过程中,可采用先进的钻孔设备和技术,如旋转钻机、冲击钻机等,提高钻孔的质量和效率。同时,采用导向钻进技术,能够准确控制钻孔的方向和位置,减少孔斜。在制浆过程中,采用自动化制浆设备能够保证浆液的配制精度和质量。自动化制浆设备可以根据预设的参数自动调整水灰比和添加剂用量,确保浆液的性能稳定。在灌浆过程中,采用智能灌浆系统能够实时监测灌浆压力、灌浆速度和灌浆量等参数,并根据监测结果自动调整灌浆工艺。例如,当灌浆压力超过设定值时,系统会自动降低灌浆压力;当灌浆速度过快时,系统会自动调整灌浆泵的转速,确保灌浆效果达到设计要求。

4.4 加强施工过程监控

在灌浆施工过程中,加强施工过程监控是及时发现和解决施工中出现问题的有效手段。可采用现场监测和室内试验相结合的方法,对灌浆效果进行实时监测和评估。现场监测包括钻孔取芯、压水试验、声波检测等。钻孔取芯可以直接观察灌浆体的内部结构和质量;压水试验可以检测灌浆体的抗渗性能;声波检测可以评估灌浆体的密实度和完整性。室内试验则可以对灌浆体的强度、弹性模量等力学性能进行测试。通过现场监测和室内试验的结果,能够及时发现灌浆施工中存在的问题,如浆液流失、灌浆不密实等,并根据检测结果及时调整灌浆工艺,保证灌浆效果达到设计要求。

结束语

灌浆技术作为水利工程施工中的关键技术,对提高水利工程结构稳定性具有重要作用。通过合理选择灌浆技术、严格控制灌浆材料质量、优化施工工艺和加强施工过程监控等措施,能够有效提高灌浆效果,保障水利工程的安全运行。在实际工程中,应根据工程的具体情况和地质条件,选择合适的灌浆技术和施工方案,充分发挥灌浆技术的优势,为水利工程的建设和发展提供有力支持。

参考文献

- [1]刘华.水利工程施工中的防渗技术[J].河南水利与南水北调,2019,4805:50+67.
- [2]陈锦华.水利工程施工中防渗技术解析[J].居舍,2019,36:48.
- [3]郑金海.浅析水利工程中的防渗处理灌浆施工技术策略[J].农家参谋,2019,07:207.
- [4]赵全奎.水利工程建筑施工技术要点分析[J].科技创新,2020,06:123-124.