

水电站坝体灌浆施工技术应用

周密

湖南省第六工程有限公司

摘要：水电站坝体灌浆施工技术是保证水电站坝体稳定性和安全性的关键技术之一。本文对水电站坝体灌浆施工技术的应用进行了系统的研究，包括涉及灌浆材料的选用，施工方式的优化，以及质量控制的实施等三个主要方面进行论述。文章指出，合理的灌浆技术对坝体的抗渗性和整体性能有显著的提高，对坝体裂缝的产生也有显著的抑制作用。另外，本文还对施工中的安全管理和环保要求也进行了重点阐述，为水电站坝体灌浆施工提供了科学的理论指导和实践的参考依据，对工程的顺利实施起到了重要的保障作用。

关键词：水电站；坝体灌浆；施工技术；应用

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.17.088

引言

水电站坝体灌浆施工技术是保障水电站坝体安全稳定运行的关键环节，也是当前坝体施工的一项比较先进的技术。它能够提高坝体的整体强度和稳定性，又能有效地防止渗水和裂缝的产生，在保证水电站的长期安全运行方面具有十分重要的意义。

一、水电站坝体灌浆施工技术概述

（一）灌浆施工技术的定义与分类

灌浆施工技术的目的是为了增强结构强度，提高抗渗性，防止裂缝扩大等，将特制的浆液通过打孔或其他方式注入坝体或地基裂缝、孔隙中的一种工程技术。该技术在水电站坝体、隧道、桥梁等工程领域得到广泛应用，对确保项目安全，提高项目质量意义重大。注浆施工技术按注浆材料的不同，可分为水泥注浆、化学注浆、混合注浆等几种。以水泥为主要材料的水泥灌浆，适用于大多数坝体工程，通过注入适量的水和其他添加剂混合而成的浆液。化学灌浆则是以化学材料为灌浆剂，具有固化快、强度高特点，尤其对处理细小裂纹、难以触及的部位效果显著。而混合灌浆则是将水泥与化工材料相结合，进而达到更加理想的工程效果。

（二）灌浆施工技术在水电站坝体建设中的应用现状

目前，水电站坝体建设普遍采用灌浆施工技术，实际应用成效显著。在水电站坝体建设中，针对坝体裂缝的处理、坝体防渗性能的增强、坝体整体稳定性的提高等问题，主要采用灌浆施工技术进行施工。灌浆施工工艺通过对灌浆材料的合理选择和施工方法的优化，使坝体质量和使用寿命得到显著提高。同时，随着科技的不断

断进步新型注浆材料和智能注浆设备以及自动化监控系统的不断涌现，为进一步发展注浆建设技术提供了强有力的支撑。

灌浆施工技术在水电站坝体建设中主要应用于以下两个方面：一是处理坝体裂缝问题，二是增强坝体的抗渗性。用灌浆施工技术向坝体裂缝中注入浆液，能有效填充裂缝并恢复坝体的完整性和强度，而坝体抗渗性能的增强则主要是靠注入密实的浆液来封闭坝体中的孔隙和通道，从而使坝体具有良好的抗渗性。具体就是坝体裂缝问题，将采用灌浆施工技术对裂缝进行治理；坝体抗渗性的提高，主要是利用灌浆技术向坝体裂缝中注入浆液，以增强坝体的抗渗性，从而有效地防止水库中的水渗漏到坝体内部。因此，灌浆施工技术在水电站坝体建设中应用意义重大。坝体整体稳定性提高是通过灌浆处理，对坝体内部结构进行加固，使坝体的整体稳定性得到提高，从而对抵御地震和水流冲刷等自然力的作用具有十分重要的意义。而其他方式，如加固坝体结构等，在提高坝体稳定性方面，也可以起到一定的作用。

然而，虽然灌浆施工技术在水电站坝体建设中得到普遍应用，但仍然面临着一些挑战和困难。例如，如何对灌浆材料进行合理选用是一方面的问题，如何对施工方法进行改进以促进施工效益与质量的提高，以及如何保证施工过程的安全等等，都是在实际工程中需要不断改进和解决的难题。因此，在研究和发展的同时，应更多地技术创新和智能化方面加以足够的重视。

二、灌浆材料的选择与应用

（一）灌浆材料的种类与特性

水电站坝体灌浆材料的选用，直接影响了灌浆施工的品质和效果。目前，市场上常见的注浆材料主要有几大类，如水泥基浆材料、化学注浆材料和高性能复合注浆材料等。

1. 水泥基灌浆材料：水泥基灌浆材料是在添加适量的外加剂和矿物掺合料的基础上，以水泥为主要成分制成的灌浆材料。这种材料在水电站坝体的一般灌浆工程中使用较多，其主要优势在于成本低，来源广泛，施工方便等。但对于紧急修复或要求快速固化的项目，水泥基灌浆料固化时间长、早期强度低的情况可能不太适用。

2. 化学灌浆材料：主要由高分子聚合物等化学成分构成具有固化速度快强度高渗透性好等特点，特别适用

于处理细小裂缝难以到达的部位。但化学灌浆材料成本较高且部分材料可能存在环境污染和毒性问题，在使用时需要特别注意。

3. 高性能复合灌浆材料：由于结合了水泥基和化学灌浆材料的优点，高性能复合灌浆材料具有高强度高渗透性快速固化等特性。同时，对于优化配方和添加特殊外加剂可发挥抗裂抗渗等特殊功能。因此近年来得到了大力发展。从整体上看，高性能复合灌浆材料的发展前景看好。发展高性能复合灌浆材料是今后灌浆材料研究的重要方向之一。

（二）灌浆材料的选择原则与依据

在选择注浆材料时应考虑多种因素的影响，包括工程要求、坝体结构、环境状况等多方面的因素都需要综合考虑。以下是选择注浆材料的主要原则和依据：

1. 项目要求：首先，在强度、渗透性、固化时间等方面，选择注浆材料应符合项目要求。如化学注浆材料或高性能复合注浆材料，优先用于要求快速固化的项目；水泥基灌浆料可选用需长期稳定的项目。

2. 坝体结构：在选择注浆材料时，坝体的结构特点也是重要的依据。不同的坝体结构对注浆材料有不同的性能要求，如重力坝要求更高的强度，拱坝要求更高的变形性能。因此，坝体的结构特点和受力情况，应在选择注浆材料时予以充分考虑。

3. 环境状况：对注浆材料的性能及使用年限有重要影响的是环境状况。如注浆材料要选择耐水性好、防渗性强的，在潮湿或水下环境下使用；防冻性较好的注浆材料应选择寒冷地区。

4. 经济性：材料价格、施工成本等因素也需要在选择注浆材料时加以考虑。在符合工程要求及符合相关标准的前提下应尽量选择价格合理、施工方便的注浆材料。

（三）灌浆材料的配合比设计与优化

保证注浆施工质量和效果的关键环节是注浆材料的配合比设计。合理的配合比例可以使灌浆料的性能优势得到充分发挥，坝体强度和稳定性得到提高。以下为主要步骤及方法：

1. 确定配合比设计参数：灌浆材料强度、渗透性、固化时间等关键性能指标根据工程要求和坝体结构特点确定。这些指标将作为匹配比例设计和评估标准的基础。

2. 选用适当的外加剂及掺合料：对注浆材料性能有重要影响的是外加剂及掺合料。注浆材料的流动性、强度、抗渗性等性能都可以通过添加适量的外加剂和掺合料来提高。在选用外加剂和掺合料时，应充分考虑其性能特点和与主料的相容性。

3. 开展配合比试验：不同配合比通过室内试验或现

场试验检验其性能。测试内容包括强度、渗透性、固化时间等指标，测试内容包括强度、渗透性、固化时间等多个方面。根据测试结果进行分析，对不同配比对注浆材料性能的影响规律，从而确定最佳配合比方案。

4. 优化配合比设计：依据试验结果，结合工程经验，进一步优化配合比。在优化过程中，可以考虑调整材料的用量，改变外加料和掺合料的种类和用量等方法，在优化过程中可以适当调整材料用量通过持续的优化，找到协同比例方案，使之既符合项目要求，又降低成本。

在进行灌浆材料的选用及应用过程中，应重点考虑以下几个要点：一是保证灌浆材料本身的质量稳定可靠；二是应结合工程的实际情况，选用合适的施工方法和工艺；三是加强施工过程对材料质量的把关与监控；四是保证灌浆施工的效果达到设计要求。

三、灌浆施工方法的优化

（一）灌浆施工方法的分类与比较

在水电站坝体注浆施工中，注浆施工方法可分为多种类型，根据不同的施工条件和需要进行不同的灌浆施工。常见的注浆施工方法主要有压力注浆、渗透注浆、裂解注浆、电化注浆等几种。这些方法在不同的工程场景中都有自己的特点和优劣。

1. 加压注浆法：在坝体内部或裂缝处注入浆液，并施加一定的压力。此法适用于处理较大的裂缝及较深的注浆，可保证填满浆液，使加固效果达到预期。但压力注浆法对施工设备和操作工艺的要求较高，对注浆压力和出浆量的控制要求较严。

2. 渗透灌浆法：利用浆液的渗透性，使其自然渗透到坝体内部或裂缝中，受到自重或外界压力的作用。这种方法适用于施工简便、造价低廉的小裂缝和松散地层的处理。而浸透注浆法的补强作用比较慢，要达到预期效果，所需时间较长。

3. 裂解灌浆法：通过在坝体内部施加一定的压力，使浆液产生劈裂效应，形成新的浆水通道，从而达到坝体加固的目的，对坝体起到良好的防护作用。这种方法适用于对软弱地层、裂缝等进行大范围的处理，对坝体整体性能有有效的改善作用。但劈裂灌浆法对施工条件要求较高，对劈裂压力、浆液性能等都需要严格控制。

4. 电化注浆法：利用电化原理，在坝体内部通过施加电场作用，使浆液发生化学反应，从而形成固体。该方法适用于处理特殊地质条件和复杂裂缝，具有加固效果好、施工效率高的优点。但电化注浆法则需要专业技术人员操作，施工成本较高。在比较各种注浆建设方式时，需要综合考虑项目要求、建设条件、造价效益等多方面因素。对于不同的项目场景，要在保证施工质量和效果的同时，选择最适合的方式进行注浆施工。

（二）高效灌浆施工方法的探索

随着当前科技的进步与工程实践经验的不断积累，使高效灌浆施工方式的研究与应用日益受到行业的重视和关注。以下是一些有关高效灌浆施工方式的探索与实践：

1. 针对新型灌浆材料的应用：对具有更高强度好渗透性和更快固化速度的新型灌浆材料进行研制和开发，对提高灌浆施工效率与质量能起到很大的作用。比如高性能复合灌浆材料就具有结合水泥基与化学灌浆材料的优点而得到比较广泛的应用前景。

2. 围绕智能化施工装备的研究与开发：在提高灌浆施工效率上引入自动化智能化技术。对于具有高精度高效率的灌浆施工装备的研究与开发将具有更加广阔的前景。例如，目前普遍采用的智能灌浆系统，可以通过对灌浆压力和浆液流量等参数的实时监控和调整，在确保施工过程的稳定性和可靠性的同时，为传统灌浆施工方式带来诸多不足之处进行针对性的优化和创新。

3. 施工管理的精细化：通过制定周密的施工方案、提升现场监管能力，确保灌浆施工的质量符合相关设计标准，实现灌浆施工的效率和质量得到进一步的提高同时保障施工人员安全。

（三）灌浆施工中的质量控制与安全保障

质量控制和安全保障是水电站坝体灌浆建设过程中不可忽视的关键部分。下面就灌浆施工中的质量控制和安全保障进行几点讨论：首先是严格按照规范要求采购、储存、使用，确保灌浆材料质量稳定可靠。其次，要确保各项参数符合设计要求，加强对注浆施工过程的监测和检测。例如，为保证施工过程的稳定性和可靠性，定期检测和调整灌浆压力、浆液流量等。另外，还要评估验收灌浆施工后的效果，以保证加固效果达到预期。要严格按照安全操作规程，确保施工人员在注浆施工过程中安全施工。比如，建筑工人要穿戴安全防护用品，避免浆液溅到眼睛或皮肤上；建筑工地要设置提醒人员注意安全的明显安全警示牌。同时，施工设备的维护、保养工作也需要加强，以保证其正常运转，避免意外事故的发生。针对可能出现的突发情况，制定详细的安全应急预案，以确保注浆施工的质量和安

四、水电站坝体灌浆施工技术的未来发展

水电站坝体灌浆施工技术随着科技的不断进步和工程实践经验的积累，不断开拓创新。未来的注浆施工技术将更加注重高效、环保、智能、环保和可持续发展要求。我们将在本文中展望未来水电站坝体注浆建设技术的发展，并据此提出几点建议。

（一）技术创新与发展趋势

1. 高效化：今后注浆建设工艺将更加注重提高建设效率。通过研发新型高效注浆材料，优化施工工艺，引

进智能施工设备，缩短施工周期，降低成本，实现灌浆施工快速高效。

2. 精细化：传统的灌浆技术已不能满足人们对坝体性能的日益提高的要求。为了更加精确地处理坝体内部的细微裂缝和软弱地层，新的灌浆技术将向精细化方向发展，如精确控制灌浆压力与浆液流量等方面的参数，使坝体的整体性能得到提高。

3. 智能化：未来灌浆施工技术将更加注重智能化技术的应用。通过引入智能传感器、自动化控制系统等技术，实现对灌浆施工过程的实时监控和智能调整，提高施工质量和效率。

4. 多元化：今后随着不同工程应用场景和需求的不断增多。灌浆施工技术也将呈现多元化趋势，既有传统的压力灌浆法渗透灌浆法等办法；还将涌现出更多的新型灌浆施工方式和技术，以适应不同工程的需要。

（二）环保与可持续发展要求下的技术革新

1. 环保型灌浆材料的研发：研制低污染低毒性可降解的环保型灌浆材料，减少对环境的污染；同时优化材料的使用方法与配比，降低材料浪费；

2. 资源循环利用技术的应用：包括对废弃浆液进行回收处理，使资源得以再利用；将可再生能源与节能技术运用到灌浆施工过程中，使能耗和排放有较大幅度的下降。通过这些技术革新的实施，使水电站坝体灌浆施工技术在环保和可持续发展方面得到更好的发挥。

3. 生态修复与保护措施的加强：为达到工程与自然和谐共生的目的，在灌浆施工完成后，应加强对坝体周边生态环境的生态修复与保护措施。具体包括：通过植被恢复工程和水土保持措施，使坝体周边生态环境得到修复和保护；减少施工过程中对生态环境的冲击和破坏。从而达到工程与自然的协调发展。

五、结束语

本论文对水电站坝体灌浆施工技术进行了深入探讨，取得了显著成果。通过探索和应用高效灌浆施工方法，优化施工质量控制和安全保障措施，使得水电站坝体灌浆施工效率和质量得到有效提升。同时，本文还对今后注浆建设技术的发展趋势进行了展望，并提出了相关的建议，为水电站坝体注浆建设技术的长远发展提供了有益的借鉴。

参考文献

- [1] 向胜. 水电站坝体接缝灌浆施工技术分析[J]. 江西建材, 2023(9): 261-263.
- [2] 于磊. 水电站大坝坝体连接缝灌浆施工工艺分析[J]. 中国新技术新产品, 2019(5): 92-93.
- [3] 刘兵. 水电站大坝坝体连接缝灌浆施工工艺探析[J]. 水电水利, 2019(4): 78-79.