

浅析坝基固结灌浆施工工艺

许洪武

山西省水利建筑工程局集团有限公司 山西 太原 030000

摘要：坝基固结灌浆施工工艺是水利工程中的重要环节，对于确保坝体的稳定性和安全性具有关键作用。本文首先简述了坝基固结灌浆施工工艺的原理，详细阐述了其施工流程，包括施工准备、钻孔、清孔与洗孔、浆液制备、灌浆及封孔等关键步骤。此外，文章还强调了施工中的技术参数与质量控制的重要性，这些因素直接影响着灌浆施工的质量和坝体的稳固性。通过深入探讨坝基固结灌浆的施工工艺，旨在为相关工程实践提供理论支持和技术指导，以确保水利工程的长期安全运行。

关键词：坝基；固结灌浆；施工工艺；水利工程

引言

在水利工程建设的壮丽画卷中，坝基固结灌浆技术犹如一笔精心勾勒的线条，为整个工程增添了稳固与安全的底色。这项技术以其卓越的地基加固效果，成为水利工程中不可或缺的一环。通过精细的灌浆工艺，坝基的承载能力得以大幅提升，地基沉降得到有效控制。本文将深入剖析坝基固结灌浆的施工工艺，引领读者探索其中的技术精髓，为实际工程应用提供宝贵的经验和启示。

1 坝基固结灌浆施工工艺原理

坝基固结灌浆施工工艺的原理是水利工程中常用的一种地基处理方法，其核心在于通过钻孔，将特制的水泥浆液或其他适宜的浆液注入坝基岩体的裂隙之中。随着浆液的注入，这些原本存在于岩体中的裂隙被逐渐填满，浆液在裂隙中经过一系列的物理化学反应后，最终形成坚固的结石。这一过程不仅有效地固结了岩体，还显著提高了坝基的承载力，使其能够更好地承受上部结构传来的荷载。此外，固结灌浆还能增强坝基的抗渗能力，减少水流的渗透，从而保证坝体的安全稳定。整个施工工艺包括钻孔以形成浆液注入的通道，清孔以确保灌浆质量，浆液制备以满足工程需要，灌浆操作以填充裂隙，以及最后的封孔处理以保护灌浆成果。这一系列步骤共同构成了坝基固结灌浆施工工艺的完整流程，对于提高水利工程的整体性能和安全性具有重要意义^[1]。

2 坝基固结灌浆施工工艺流程

2.1 施工准备

坝基固结灌浆施工工艺流程中的施工准备阶段，是确保整个灌浆工程顺利进行的关键环节。在施工前，进行详细的勘察工作至关重要，这不仅包括对坝基地质情况的全面了解，还需要对裂隙发育情况、地下水条件以及周边环境因素进行深入的探查。通过地质勘探、取样

分析等专业手段，可以准确把握坝基岩体的物理力学性质、裂隙分布特征以及潜在的地质风险。（1）在了解坝基情况的基础上，制定合理的施工方案是施工准备阶段的核心任务。施工方案应综合考虑坝基的地质特点、灌浆材料的选择、施工工艺的可行性以及施工期限等因素，确保方案的科学性和实用性；并且，施工方案中还应包含应对突发情况的预案，以应对可能出现的地质变化或施工难题。（2）施工准备阶段还需要进行充分的资源筹备。这包括选择合适的施工设备，如钻机、灌浆泵等，并确保这些设备处于良好的工作状态；还要根据施工方案确定所需材料的种类和数量，及时进行采购和储备。此外，对施工人员的组织和培训也是必不可少的环节，通过专业技能培训和安全教育，提高施工队伍的整体素质和安全意识。

2.2 钻孔

钻孔作为坝基固结灌浆的首要步骤，其重要性不言而喻。钻孔的主要目的是为后续的灌浆操作提供必要的通道，确保浆液能够顺利注入坝基岩体的预定位置；在进行钻孔操作时，有几个关键方面需要特别注意。（1）钻孔的位置选择至关重要。设计人员需根据坝基的地质构造、裂隙分布、应力状态以及预期的灌浆效果来综合确定钻孔的位置；合理的布孔方案能够确保灌浆浆液均匀分布，有效固结岩体，提升坝基的整体稳定性。（2）钻孔的深度和孔径也是关键参数。深度应根据坝基岩体的特性和设计要求来确定，既要保证浆液能够深入裂隙，又要避免过度穿透造成不必要的浆液浪费；孔径的选择则需考虑灌浆材料的流动性、孔壁的稳定性和钻孔效率等多方面因素。（3）在钻孔过程中，保持孔壁的稳定性和孔壁坍塌和堵塞，操作人员需根据岩体的物理性质选择合适的钻进方法和泥浆护壁

技术；还要实时监控钻孔过程中的各项参数，如钻进速度、泥浆循环情况等，确保钻孔的垂直度和孔径的均匀性。（4）钻孔完成后还需进行详细的孔内检查，确保没有岩屑残留或其他障碍物，为后续的清孔和灌浆工作做好准备。在整个钻孔过程中，严格的操作规程和质量控制措施是确保钻孔质量的关键。

2.3 清孔与洗孔

清孔与洗孔是坝基固结灌浆工艺流程中至关重要的环节，其目的在于彻底清除钻孔过程中产生的岩屑、泥沙以及其他可能堵塞灌浆通道的杂质；这一步骤的成功执行对于确保后续灌浆作业的质量和效果具有决定性的影响。（1）在钻孔完成后，清孔操作通常首先进行。这一过程中，常用的清孔方法包括使用高压水或高压风进行冲洗和吹洗；高压水冲洗是通过向钻孔内注入高压水流，利用水流的冲刷力将孔内的岩屑和泥沙冲刷出来；这种方法操作简便，且对于较软的杂质清除效果尤为显著；但在某些情况下，高压风吹洗可能更为适用；高压风吹洗则是利用压缩空气产生的强大气流将孔内的杂质吹出，这种方法特别适用于清除钻孔过程中产生的细小粉尘和干燥岩屑。（2）在清孔过程中，操作人员需要密切关注冲洗出的杂质情况，以及冲洗液的颜色和清澈度。这些信息可以间接反映孔内的清洁程度，从而判断清孔操作是否充分；为了避免对孔壁造成不必要的损伤，清孔时的水压或气压应控制在合理范围内。（3）清孔完成后，紧接着进行的是洗孔操作。洗孔的主要目的是进一步清洁灌浆通道，特别是针对那些难以通过清孔操作清除的油污、化学残留物等；洗孔通常使用特定的清洗剂，并配合适当的机械搅拌，以确保清洗剂能够充分作用于孔壁和通道内的各个角落。

2.4 浆液制备

浆液制备在坝基固结灌浆工艺中占据着举足轻重的地位，浆液的配比不仅直接关系到灌浆的效果，还影响着坝基的固结质量和工程的耐久性；所以，在浆液制备环节，必须严谨、精细，确保每一步都符合专业要求。（1）浆液的配比是根据坝基的地质条件、设计承载力和抗渗要求来确定的。这涉及到对地质勘探数据的深入分析，以及对不同材料性能的全面了解；例如，在岩石裂隙较多的区域，可能需要更高粘度的浆液来更好地填充缝隙；而在地质条件较好的区域，则可以选择流动性更好的浆液以提高灌浆效率。（2）在材料选择上，水泥是浆液的主要成分，其类型和标号需根据工程要求进行选择。为了改善浆液的性能，如增加流动性、延缓凝固时间等，通常会加入适量的添加剂；这些添加剂的种类和

用量也是经过精心调配的，以确保浆液在各种施工条件下都能保持良好的工作性能。（3）制备过程中，浆液的均匀性和稳定性至关重要。为了确保这一点，操作人员需要严格按照配比要求将各种材料混合在一起，并使用专业的搅拌设备进行充分搅拌；还要对浆液进行定期的质量检查，包括粘度、密度、凝固时间等关键指标，以确保浆液质量符合设计要求^[2]。

2.5 灌浆

灌浆是坝基固结灌浆工艺中的核心步骤，它涉及到将精心制备的浆液准确地压入坝基岩体的裂隙中；这一过程不仅要求技术人员具备高超的操作技能，更需要严密的监控和适时的调整。（1）在灌浆过程中，控制好灌浆压力是至关重要的。压力过小，浆液可能无法深入岩体裂隙；压力过大，则可能导致岩体破裂或浆液外溢；于是，技术人员需要根据岩体的物理性质和裂隙情况，精确设定和调整灌浆压力。（2）灌浆流量和时间也是关键参数。流量的大小直接影响到浆液在裂隙中的渗透速度和范围，而灌浆时间则决定了浆液能否在岩体内部形成稳定的结石；为了确保灌浆效果，技术人员需要实时监控这两个参数，并根据实际情况进行灵活调整。（3）在灌浆过程中，技术人员还要密切观察异常情况。例如，浆液外溢可能意味着灌浆压力过大或岩体裂隙已饱和，此时需要立即降低灌浆压力或暂停灌浆；孔内堵塞则是另一个常见问题，这可能是由于岩体中的杂质或未清理干净的岩屑造成的；一旦发现此类问题，技术人员应迅速采取措施清理堵塞物，确保灌浆通道畅通。

2.6 封孔

封孔是坝基固结灌浆工艺流程中的收尾环节，其重要性不言而喻；封孔的主要目的是为了防止浆液外溢以及外部杂质进入灌浆孔内，从而确保灌浆效果并保护灌浆成果。（1）在进行封孔处理时，材料的选择至关重要。应优先考虑那些耐久性好、密封性强的材料，例如使用特定配比的水泥砂浆；这样的材料能够有效抵抗外界环境的侵蚀，长期保持良好的密封效果。封孔操作的过程中，技术人员需要确保孔口被严密封堵，不留下任何渗漏的隐患；为了达到这一目的，可以采用专用的封堵工具或设备，辅以适当的施工技巧，确保孔口的密封严实。（2）封孔后还需要进行质量检查与验收工作，这是对整个灌浆工程质量的最后把关。检查的内容涵盖了灌浆质量、封孔质量等多个方面，在检查过程中，一旦发现不合格的部分，应立即采取整改措施或进行返工处理，直至施工质量完全符合设计要求。（3）质量检查与验收不应仅仅停留在表面，而应深入到灌浆孔内部进行

检查。这通常需要使用专业的检测设备和方法，如超声波检测、钻孔取芯等，来确保灌浆和封孔的内部质量也达到了预期的标准。

3 坝基固结灌浆施工中的技术参数与质量控制

3.1 技术参数选择

(1) 灌浆压力是灌浆施工中最关键的参数。合理的灌浆压力能够保证浆液顺利渗透进岩体裂隙中，有效提升坝基的承载能力；在选择灌浆压力时，应详细分析坝基的地质条件，包括岩层的坚硬程度、裂隙发育情况等；还要结合设计要求，明确坝基所需达到的承载能力，从而确定合适的灌浆压力；过高的灌浆压力可能会对坝基造成扰动，甚至引发岩体破裂；而过低的灌浆压力则可能导致浆液无法充分渗透，影响固结效果。(2) 灌浆流量的选择同样至关重要。灌浆流量的大小直接影响到灌浆的均匀性和连续性，在选择灌浆流量时，需要考虑浆液的粘稠度和钻孔的孔径；若浆液粘稠度较高，应适当增大灌浆流量，以确保浆液能够顺畅地灌入钻孔中；反之，若浆液粘稠度较低，则可适当减小灌浆流量，以避免浆液流失；钻孔的孔径也是决定灌浆流量的重要因素，孔径较大时，可容纳的浆液量更多，因此需要相应增大灌浆流量。(3) 浆液配比的选择同样不容忽视。合适的浆液配比能够确保浆液具有良好的流动性和固结性能，从而提高灌浆施工的质量；在选择浆液配比时，应根据坝基的地质条件和施工经验进行综合考虑；例如，在岩石较为坚硬、裂隙较少的区域，可以采用较为粘稠的浆液，以增强固结效果；而在岩石较为松软、裂隙较多的区域，则应采用较为稀薄的浆液，以便于浆液更好地渗透进裂隙中。(4) 技术参数的选择还需考虑施工环境、设备条件以及工期要求等多方面因素。在实际施工中，应根据具体情况灵活调整技术参数，以确保灌浆施工的质量和施工安全；施工人员应具备丰富的实践经验和专业技能，能够准确判断施工过程中的各种问题并及时采取相应措施进行解决；这样才能确保坝基固结灌浆施工达到预期效果，为水利工程的长期安全运行奠定坚实基础^[1]。

3.2 质量控制措施

(1) 施工材料的质量控制至关重要。所有用于灌浆

施工的材料，如水泥、添加剂等，都必须经过严格检验，确保其质量符合设计要求和相关标准；对于不合格的材料，应坚决予以淘汰，防止其进入施工现场，从源头上保证施工质量。(2) 对施工过程的全面监控和检查是质量控制的核心。施工过程中，应派遣专业的质量检查人员对每一个环节进行实时监控，确保施工操作符合规范要求；例如，钻孔的深度、直径和间距等必须严格控制，以满足设计要求；并且灌浆过程中浆液的配比、灌浆压力和流量等参数也需要实时监控，确保灌浆质量。(3) 对施工人员的培训 and 安全教育也是质量控制的重要组成部分。施工人员的技术水平和安全意识直接影响施工质量，于是，应定期组织技术培训，提高施工人员的专业技能，确保他们熟悉施工工艺和操作规程；还要加强安全教育，提高施工人员的安全意识，防止因操作不当而引发的质量问题和安全事故。(4) 定期的检测和评估是确保施工质量持续稳定的重要手段。施工过程中，应定期对已完成的灌浆工程进行检测和评估，包括浆液固结情况、坝基承载能力等方面；通过检测和评估，可以及时发现潜在的质量问题，并采取相应的整改措施，确保施工质量符合要求。

结语

坝基固结灌浆施工工艺是确保水利工程质量与安全的关键技术之一。本文通过对施工流程的详细阐述，以及对技术参数和质量控制的探讨，为读者提供了一个全面而深入的了解这一工艺的窗口。在实际施工中，应严格按照工艺流程操作，注重每一个细节，以确保灌浆施工的质量，进而保障整个水利工程的稳定性和安全性。希望本文能为相关工程人员提供有益的参考，共同推动水利工程建设向更高标准发展。

参考文献

- [1] 苏建江. 水利工程坝基固结灌浆施工技术质量控制研究[J]. 珠江水运, 2021(05): 88-89.
- [2] 孙磊, 陈光国. 超前深孔预固结灌浆在不良地质条件下的施工[J]. 四川水利, 2021(02): 99-101.
- [3] 胡启军. 固结灌浆技术在水库泄洪洞加固中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2021(07): 41-43.