

复杂地质条件下水利工程施工地基处理灌浆技术研究

叶慧

沛县水利局排灌队

DOI:10.32629/btr.v8i12.5193

[摘要] 水利工程建设中,复杂地质条件给地基处理带来不少棘手难题,灌浆技术是应对这些问题的常用手段。本文梳理了复杂地质对地基处理的多方面影响,涉及地质构造、岩土性质、地下水条件和地形地貌等维度,并分别介绍了水泥灌浆、化学灌浆、粘土灌浆和水泥砂浆灌浆的技术特点与适用情形。灌浆施工中的孔位布设、材料选配、压力调控和工序衔接等环节,每一处都关系到地基加固质量和施工安全,以期同类地质条件下的灌浆设计与施工提供参考。

[关键词] 复杂地质; 水利工程施工; 地基处理; 灌浆技术

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Research on Grouting Technology for Foundation Treatment in Water Conservancy Engineering Construction under Complex Geological Conditions

Hui Ye

Irrigation and Drainage Team, Peixian Water Resources Bureau

[Abstract] Complex geological conditions pose numerous challenges to foundation treatment in water conservancy engineering construction, and grouting technology is a commonly used method for addressing these challenges. This paper analyzes the various impacts of complex geological conditions on foundation treatment, focusing on geological structures, geotechnical properties, groundwater conditions, topography, and geomorphology. It also introduces the technical characteristics and applicable conditions of cement grouting, chemical grouting, clay grouting, and cement mortar grouting. In the grouting construction process, aspects such as borehole layout, material selection, pressure control, and coordination between construction procedures are all closely related to foundation reinforcement quality and construction safety. This study aims to provide a reference for grouting design and construction under similar geological conditions.

[Key words] complex geological conditions; water conservancy engineering construction; foundation treatment; grouting technology

引言

水利工程施工常常遇到地质条件复杂的局面,如岩层产状多变、土性参差不齐、地下水位高低起伏、地表形态高低错落,这些因素交织在一起,给地基稳定性和现场作业带来不少麻烦。灌浆技术凭着适用面宽、操作方式灵活,在实际工程中经常被拿来应对这些难题。本文将梳理把水泥灌浆、化学灌浆、粘土灌浆和水泥砂浆灌浆各自的特点和适用场合,同时对施工中几个关键环节做了归纳,希望能给类似条件下水利工程的灌浆设计和现场施工提供一点实实在在的参考。

1 复杂地质条件对水利工程地基处理的影响

(1)地质构造的复杂变化会破坏岩体原有的完整结构,形成各类不连续的岩体构造,降低地基的整体承载能力。岩层产生的形变与错位,会改变地基的受力状态,造成内部应力分布不均,

引发不均匀沉降。多种地质构造共同作用时,会持续加剧地基的不稳定性,给水利工程后续施工和长期运行带来安全隐患。(2)施工区域的岩土性质差异明显,不同岩土体的物理性能和力学性能各不相同,适用的地基处理工艺、施工材料以及规范标准也有区别。实际施工中,需要根据不同岩土层的实际情况调整施工方案,综合考虑各类影响因素,这整体上提升了地基处理工作的操作难度和复杂程度。(3)施工区域地下水的各项状态参数会对地基施工造成多方面不利影响。地下水位变化、水流状态以及水质特征,都会改变地基土体的原有结构和性能,降低土体抗剪强度,增加地基沉降风险。地下水流动会干扰灌浆施工的正常进行,影响地基加固效果,还可能破坏已成型主体结构。具有腐蚀性的地下水则会持续侵蚀地基主体结构和各类加固材料,缩短水利工程的实际使用年限。(4)施工区域的地形地貌变化会对

现场施工形成制约。特殊地形会压缩施工场地,影响施工设备的正常布设和作业,增加施工投入与难度^[1]。不同地形条件下的地基受力状态存在差异,部分区域叠加了不良地质结构和外力冲刷作用,导致地基稳定性不足,需要额外开展针对性的防护与加固作业,进一步增加了地基处理的施工工作量和技术难度。

2 复杂地质条件下水利工程施工常见的地基处理灌浆技术

2.1 水泥灌浆技术

在复杂地质条件的水利工程地基施工中,水泥灌浆技术适用于多数地质场景。这项技术的核心原理是借助专用灌浆设备和灌浆管道,将配制好的水泥浆液输送至地基岩土内部,使浆液充分渗入岩土体的孔隙与裂缝当中。渗入缝隙的水泥浆液逐步凝固硬化,形成稳定的水泥结石结构,以此改善地基的整体结构特性,提升承载强度和防渗能力,满足水利工程地基施工的基本要求。水泥灌浆所用的材料来源广泛,整体成本可控,成型后的地基结构强度稳定,综合优势比较明显。该技术能够有效改善松散、破损的地基岩土结构,填补岩土内部各类空隙,强化地基的整体性和稳定性,能够适配复杂地质条件下的地基加固需求。实际开展水泥灌浆作业时,施工质量和最终成型效果受多项参数影响。过程中需要全程把控浆液调配状态、灌浆压力和作业时长等关键内容,规范各项操作,规避施工隐患,确保水泥灌浆工艺的处理效果达标,为后续水利工程施工打好地基基础。

2.2 化学灌浆技术

化学灌浆的核心是借助化学浆液完成地层改良作业。与常规水泥浆液相比,化学浆液流动性更好,灌注性能更强,固化成型的时间可以根据施工现场的实际情况灵活调整,整体适用面更广。在复杂地质施工场景中,地层内部往往存在细微裂缝和微小孔隙,常规水泥浆液难以有效灌注填充,无法兼顾地层加固和防渗处理的双重需求,而化学浆液能够深入渗透这些细微结构,充分填充地层空隙,改善原有地层结构性能,同时达到加固和防渗止水的处理目的^[2]。目前工程施工中应用的化学浆液品类较多,环氧树脂类和聚氨酯类是较为常用的两种。不同品类的化学浆液材料特性不同,适用的施工场景也有差别。环氧树脂类浆液成型后结构稳定性好,粘结强度高,主要用于存在裂隙缺陷的岩石地基加固。聚氨酯类浆液具备良好的形变适应能力,止水防渗性能稳定,在地下水渗漏治理中应用广泛,能够有效解决施工现场的地下水渗漏问题。

2.3 粘土灌浆技术

粘土灌浆的基本做法是将配制好的粘土浆液灌注至地基土体内部,以此改善原有地基土体的各项物理力学指标。施工所用的粘土浆液本身具备良好的稠度特性和结构稳定性,浆液进入土层后,能够充分填充土体内部的各类孔隙,有效封堵渗水通道,从根源上改善地基的透水特性,降低整体渗透性能,同时优化土体结构,提升地基承载能力。在软土地基的实际处理中,粘土灌浆技术可以搭配多种常规地基处理工艺同步施工,通过多工艺协同作用,加快软土地基内部水体的排出速度,促进土体固结成

型,进一步稳固地基整体结构,增强地基稳定性。不过这项技术也存在一定的应用局限。成型后的地基土体结构强度偏弱,整体承载性能提升幅度有限,因此适用场景比较特定,主要用在水利工程中对地基承载力要求不高的处理施工中。实际选用时需要结合工程具体条件综合判断,避免因承载能力不足影响后期结构安全。

2.4 水泥砂浆灌浆技术

水泥砂浆灌浆,是在纯水泥浆液里按一定比例掺入砂子,调配成复合砂浆材料再进行灌浆。这种做法把纯水泥灌浆和砂浆材料的优点结合到了一起,配出来的浆液流动性不错,灌注性能也跟得上,常规灌浆作业能顺畅完成。浆液固化后,灌浆结构的整体强度更高,耐久性也更稳定。工程上遇到大尺寸孔洞、宽大的裂缝这类病害时,水泥砂浆灌浆的填充适配性明显更好,能把结构内部的空隙填得更加密实,成型后形成整体性良好的固结支撑,对受损基体的加固效果比较可靠。和纯水泥灌浆相比,砂子的加入减少了水泥用量,材料成本因此得到控制,施工的经济性有所提升^[3]。在实际作业中,砂浆的调配和搅拌工序直接关系到最终的灌浆质量。施工人员需要严格控制砂灰配比,搅拌操作也要规范,确保物料混合均匀,避免出现分层离析。一旦物料质量失控,就可能出现填充不密实、固结强度不够等隐患,给工程留下安全风险。

3 复杂地质条件下水利工程地基处理灌浆施工工艺的关键要点

3.1 灌浆孔布置

灌浆孔布置是水利工程地基灌浆施工的基础工序,对复杂地质条件下的地基加固和防渗施工质量起着决定性作用。正式开展灌浆孔布置作业前,工作人员需要全面排查施工现场的地质情况,结合地基工程的整体处理要求和灌浆工艺的适配性,确定灌浆孔的布设位置、排布间距和钻孔深度。面对地质构造复杂、岩体裂隙发育的施工区域,需要调整灌浆孔布设密度,提升浆液扩散的覆盖范围,补齐地基处理的薄弱区域,保障地基施工的完整性。施工期间需统一规范灌浆孔的排布方式,保证浆液能够均匀渗入地基土体与岩层缝隙当中,避免出现浆液扩散不平衡、地基局部处理不彻底的问题。灌浆孔的钻孔深度需要匹配地基处理的实际施工需求,穿透所有需要整改的不良地质层,让灌浆施工完成后,浆液能够有效固结地层结构,完成地基土体加固和岩层防渗堵漏的施工任务。合理把控灌浆孔布置的各项施工细节,能够从施工源头把控复杂地质环境下地基灌浆作业的整体施工质量,保障水利工程地基结构的稳定性和防渗性能。

3.2 灌浆材料选择与配制

灌浆材料的选择和配制是水利工程复杂地质地基灌浆施工的关键工序,直接影响地基加固和防渗堵漏的施工质量与使用效果。材料选择阶段,工作人员需结合施工现场地质条件、工程建设规范以及场地周边环境等基础条件确定用材类型,确保选用的灌浆材料能够适配现场施工工况,满足地基灌浆的实际施工要求。施工过程中需根据不同施工环境挑选适配性能的灌浆

材料,抵消场地水文、地质条件对施工造成的不利影响,避免因材料性能不匹配产生各类质量问题^[4]。灌浆材料配制工作必须严格依照现行施工规范和配比标准执行,保证配制完成的浆液各项性能符合工程建设要求。浆液搅拌施工中,要严格管控搅拌工序的各项操作标准,保证浆液搅拌均匀,整体性能保持一致,防止浆液分层、混合不均等情况出现。化学灌浆浆液的施工管理需贯穿全过程,做好原材料的储存保管工作,严格按照规范流程开展现场施工操作,避免因储存、操作不当引发材料变质反应。同时落实现场安全管理举措,做好施工防护工作,有效防范各类施工安全风险,保障灌浆施工工序平稳有序推进。

3.3 灌浆压力控制

灌浆压力是灌浆施工环节的核心控制参数,直接决定地基处理的整体施工质量与结构安全,在各类复杂地质环境的施工过程中,压力管控工作尤为关键。施工期间灌浆压力的管控状态,会直接影响浆液的扩散范围与填充效果,压力管控不当会引发各类施工质量隐患。若施工中灌浆压力把控不足,浆液的扩散能力会受到明显限制,无法充分渗入地基内部的孔隙与裂缝结构当中,地基原本需要实现的加固、防渗处理目标将无法达成,地基整体稳定性和防水性能达不到施工标准。若灌浆压力管控过高,超出地基结构的承受范围,会对原有地基岩体及土体结构造成损伤,破坏地基原有受力体系,引发地基结构扰动、失稳等安全问题。实际施工的过程中,工作人员需结合施工现场真实地质状况、灌浆作业深度以及浆液本身的性能特质等多项核心条件,确定适配的灌浆压力标准。整个灌浆作业全程需做好动态管控,根据施工推进节奏实时调整压力参数。施工中可落实分级升压的作业模式,循序渐进提升灌浆压力,全程监测地基结构的实时状态,规避各类施工风险,保障整体灌浆作业平稳推进。

3.4 灌浆顺序安排

灌浆施工顺序的合理规划是把控施工质量、减少施工不利影响的关键工序,科学的施工排布方式能够切实优化灌浆整体施工效果,保证地基结构的完整稳定。针对各类复杂地质施工场地,灌浆作业需严格遵循既定施工原则,整体施工按照先外围后中间、先下部后上部的基本顺序推进。先开展施工区域外围灌浆孔作业,能够在场地外侧构建整体性的封闭阻隔层,避免灌浆作业过程中浆液出现外渗、流失的问题,为后续中部区域灌浆作

业构建封闭的施工条件,保证内部灌浆施工的成型质量。优先实施下部地层灌浆作业,可利用浆液自重完成底层岩层缝隙、结构空洞的填充作业,夯实地基底部结构,有效提高地基整体密实度与承载能力,筑牢上部结构施工基础^[5]。灌浆施工流程并非固定模式,施工过程中不可照搬统一作业方案,施工人员需要全程结合施工现场的实际地质条件、施工推进进度以及地层实时变化情况,对灌浆施工顺序和作业流程进行实时调整与优化,贴合现场实际施工需求,提前规避各类施工隐患,保障各道灌浆工序衔接顺畅、推进有序,确保整个灌浆施工工作顺利完成,全面满足地基施工的质量与安全标准。

4 结语

综上所述,复杂地质条件下的水利工程地基处理,灌浆技术是绕不开的关键手段。水泥灌浆、化学灌浆、粘土灌浆和水泥砂浆灌浆,各类工艺各有专长,也各有其最适用的工况。施工过程中,灌浆孔的精准布设、材料的科学选配、压力的精细控制以及灌浆顺序的合理安排,每一个环节都直接关乎地基加固与防渗的最终效果。把这些要点落到实处,才能在复杂地质挑战面前筑牢地基,确保水利工程长期稳定运行,为水利事业的高质量发展提供坚实支撑。

【参考文献】

- [1]邓劭,胡斐.复杂地质条件下水利工程施工地基处理灌浆技术分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(7):072-075.
- [2]慕娟.复杂地质条件下水利工程基础灌浆施工技术要点研究[J].水上安全,2025(17):174-176.
- [3]张全荣.复杂地质区水利工程施工地基处理灌浆技术[J].科技资讯,2024,22(13):138-140.
- [4]于振飞,苏杰循.复杂地质条件下的水利工程施工地基处理灌浆技术运用分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(12):213-216.
- [5]邹建波.水利水电工程灌浆施工技术的运用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(5):0033-0036.

作者简介:

叶慧(1981—)女,汉族,江苏人,本科,中级工程师,研究方向:水利施工建设。