

灌浆施工技术在水利水电工程施工中的应用

贾帅

龙江县水利服务中心

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6907

[摘要] 灌浆施工技术是水利水电工程施工中核心的基础工艺技术之一,能够直接影响工程整体的结构稳定性与防渗耐久性能。本文梳理了常见的灌浆施工技术类型,结合工程场景分析了其在地基加固、防渗处理、裂缝修复、围岩稳定等环节的具体应用,进一步提出针对性质量控制措施,为同类工程施工提供参考。

[关键词] 灌浆施工技术; 水利水电工程; 应用

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Application of Grouting Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

Shuai Jia

Longjiang County Water Conservancy Service Center

[Abstract] Grouting construction technology is one of the core basic technological processes in water conservancy and hydropower engineering construction, which can directly affect the overall structural stability and seepage prevention durability of the project. This article sorts out the common types of grouting construction technology and analyzes its specific applications in foundation reinforcement, seepage prevention treatment, crack repair, surrounding rock stabilization, and other aspects in combination with engineering scenarios. It further proposes targeted quality control measures to provide a reference for similar engineering construction.

[Key words] Grouting Construction Technology; Water Conservancy and Hydropower Engineering; Application

引言

灌浆施工技术是水利水电工程中应用广泛的基础处理工艺,可通过浆液充填岩土裂隙与结构缺陷,提升工程结构力学性能与防渗能力,对保障工程稳定运行至关重要。本文结合施工实际,梳理灌浆技术应用要点与质量控制措施,为同类工程提供参考。

1 灌浆施工技术的主要类型

1.1 帷幕灌浆

帷幕灌浆是在水利水电工程地基中,沿着建筑物轴线或周边,按一定孔距和深度钻设一排或多排钻孔,将具有一定流动性和胶凝性的浆液通过钻孔压入地基岩层的裂隙、孔隙中,形成一道连续的、防渗性能良好的地下防渗帷幕。其主要作用是截断或减少地基中的渗透水流,降低渗透压力,防止渗漏破坏,确保建筑物的安全稳定。帷幕灌浆通常适用于岩基或覆盖层较薄的地基,在大坝、水闸、堤防等挡水建筑物的基础处理中应用广泛^[1]。施工时,需根据地质条件、防渗要求等确定灌浆孔的布置形式(如单排、双排或多排)、孔距、排距、灌浆深度以及浆液配比等参数。

1.2 固结灌浆

固结灌浆是通过向岩土体中的裂隙或孔隙灌注浆液,以提高岩土体的整体性、密实性和承载能力的灌浆技术。它主要用于处理地基或围岩的松散、破碎岩层,将原来结构松散的岩体胶结成一个整体,从而改善其力学性能。固结灌浆一般布置在建筑物基础底部、隧洞围岩、边坡等部位。在水利水电工程中,大坝基础的固结灌浆可以提高坝基岩体的弹性模量和抗剪强度,减少基础的不均匀沉降;隧洞开挖后的固结灌浆能够增强围岩的稳定性,防止塌方。其灌浆孔的布置较为灵活,可根据地质情况采用梅花形、方格形等布孔方式,灌浆压力和浆液浓度需根据岩体的渗透性和强度要求进行调整。

1.3 回填灌浆

回填灌浆是指在混凝土衬砌与围岩或混凝土结构与围岩之间的空隙中灌注浆液,以填充空隙、使衬砌与围岩紧密结合,共同承受荷载,并防止渗漏的灌浆技术。常用于隧洞、地下厂房、涵洞等地下工程中。当隧洞开挖后进行混凝土衬砌时,由于施工等原因,衬砌与围岩之间可能存在一定的空隙,这些空隙会影响

结构的整体性和防渗性能。回填灌浆通过在衬砌混凝土中预留的灌浆孔或钻孔,将浆液压入空隙,使浆液凝固后将衬砌与围岩胶结成一个整体,从而提高结构的稳定性和防渗能力。回填灌浆的灌浆压力一般较低,以避免对衬砌结构造成破坏。

2 灌浆施工技术在水利水电工程施工中的应用

2.1 地基加固

水利水电工程中的水坝、水电站厂房等核心建筑,对地基的承载能力和稳定性有着极高的要求,一旦地基出现承载力不足、压缩性过高或者存在松散夹层、裂隙等地质缺陷,很容易引发建筑不均匀沉降、结构开裂等安全问题,直接影响整个工程的使用寿命和运行安全,灌浆施工技术就是解决这类地基问题最常用且有效的手段之一。

针对软土地基、松散砂卵石地基或者存在溶洞、裂隙的岩质地基,工程上一般会根据不同的地质条件选择适配的灌浆类型来加固。比如对于松散的砂卵石地基,多采用固结灌浆,将水泥基浆液均匀注入地基颗粒之间的空隙中,待浆液凝固后,就能将原本松散的砂石颗粒胶结成一个整体,大幅提升地基的整体强度和承载能力,降低地基的压缩性,减少后期工程运行过程中的沉降变形^[2]。而对于存在较大溶洞或者断层破碎带的地基,通常会先使用回填灌浆填充较大的空洞,再配合固结灌浆对周边松散岩体进行加固,逐步夯实地基结构。

实际施工中,施工人员会先对工程场地的地质情况进行详细勘察,明确地基缺陷的分布范围、深度和大小,再以此为依据设计灌浆孔的位置、深度和间距,之后通过钻孔加压将调配好的浆液注入地层,浆液会顺着地层的缝隙流动、扩散,最终填满所有空隙,凝固后形成完整的加固结构体。经过灌浆加固处理后的地基,承载能力通常可以提升2到5倍,压缩变形量也能控制在工程设计允许的范围内,为上部的坝、电站厂房等水工建筑物提供坚实稳定的支撑,从源头上避免了因地基失稳引发的工程事故。

2.2 防渗处理

水利水电工程大多长期与水体接触,甚至需要拦挡大量容量的水体,一旦结构出现渗漏问题,不仅会降低工程的蓄水、发电效率,还会在长期渗透作用下侵蚀结构内部,逐步破坏地基和坝体的稳定性,严重时甚至会引发垮坝等重大安全事故,而灌浆施工技术正是解决水利水电工程防渗问题的常用有效方案。目前应用最广泛的是帷幕灌浆防渗工艺,施工人员会根据工程防渗设计要求,在地基或者坝体与地基的接触位置,钻设一排或者多排相互连接的灌浆孔,再将调配好的防渗浆液注入钻孔,浆液凝固后就会形成一道连续、密实的不透水帷幕,将大部分渗流阻隔在帷幕外侧,大幅降低工程的渗流量,同时也能削弱渗透水流对结构的扬压力,提升结构整体的抗滑稳定性。比如在高坝建设中,通常会沿着坝轴线方向设置深层帷幕灌浆,最深的灌浆孔深度可达上百米,能够深入坝基下方的完整不透水岩层,从底部彻底截断渗流通道^[3]。除了坝基防渗之外,对于坝体本身出现的局部渗漏,或是原有防渗结构老化破损的修补,也可以采用灌浆工

艺处理:施工人员会顺着渗漏通道钻设斜向灌浆孔,将水泥浆或者化学防渗浆液注入缝隙中,填充渗漏通道的同时,黏结破损结构,恢复结构的防渗能力。和传统的防渗工程方案相比,灌浆防渗不需要大面积开挖原有结构,对工程正常运行的影响很小,而且形成的防渗结构整体性好,适应复杂地质条件的能力更强,能适应从松软土层到坚硬岩体的多种地质环境,成本也相对可控,因此在新建水利工程建设 and 老旧病险工程的防渗加固改造中都得到了大量应用。

2.3 裂缝修复

水利水电工程多建设在露天水域环境中,长期受水流冲刷、温度变化、地基沉降等多种因素影响,坝体、输水隧洞、溢洪道等结构很容易出现不同程度的裂缝问题。如果不对裂缝及时修复处理,外部水体持续渗入结构内部,不仅会侵蚀钢筋降低结构强度,冬季低温环境下渗入的水分结冰膨胀,还会进一步扩大裂缝,最终威胁整个工程的结构安全,而灌浆技术正是处理这类结构裂缝最常用也最有效的工艺之一。针对不同类型、不同宽度的裂缝,施工时会采用差异化的灌浆方案:对于宽度小于0.3mm的表层细微裂缝,一般会采用低黏度的环氧树脂化学灌浆材料,这种材料流动性好,能够渗入宽度极小的缝隙中,固化后不仅黏结强度高,还具备不错的抗渗性和耐久性,可以阻止裂缝进一步发展;对于宽度超过0.5mm的深层结构性裂缝,通常会使用水泥基灌浆材料,施工时会沿着裂缝走向开凿V型槽,清理干净缝隙内的杂物后,先埋入灌浆嘴,再按照从下到上的顺序逐步加压注入水泥浆,让浆液填满整个裂缝空间,待浆液固化后就能重新将开裂的结构黏结为整体,恢复结构的完整性和承载能力^[4]。和其他裂缝修复工艺相比,灌浆修复不需要对开裂结构进行大范围拆除重建,既可以缩短施工工期,降低修复成本,也能最大程度保留原有结构的完整性,不会对工程的正常蓄水、发电运行造成长时间影响,对于已经投入运行的水利水电工程来说,是性价比极高的裂缝修复方案。

2.4 围岩稳定

在水利水电工程的隧洞开挖、边坡开挖等作业环节中,受地质构造运动、开挖施工应力释放等因素影响,周边围岩很容易出现松动、变形甚至坍塌的风险,直接威胁施工人员安全和后续工程结构的长期稳定,灌浆施工技术正是解决这类围岩稳定问题的常用手段。施工前,技术人员会先通过地质勘探和围岩监测数据,明确围岩松动圈的范围、破碎程度以及裂隙分布情况,再制定对应的灌浆方案:对于隧洞周边的破碎围岩,一般会采用超前预注浆工艺,在开挖作业开始之前,就沿着隧洞开挖轮廓向周边围岩钻孔注入水泥基混合浆液,浆液会沿着围岩的裂隙慢慢渗透扩散,等到浆液完全固化后,就能将原本松散破碎的岩块黏结成一个整体,形成一圈具备足够强度和承载能力的支护圈,有效限制围岩在开挖过程中的变形和松动,避免开挖作业时出现围岩掉块、坍塌问题。对于已经开挖完成的边坡围岩,会针对边坡内部的深层裂隙采用固结灌浆,按照梅花形布孔的方式,在边坡坡面布置深浅不一的灌浆孔,将浆液注入边坡内部裂隙,填充岩

块之间的空隙,提升围岩整体的粘结力和抗剪强度,增强边坡围岩的抗滑稳定性,减少后期运营过程中边坡滑移、滑坡等安全隐患。和传统的锚杆支护、喷射混凝土支护等方式搭配使用时,灌浆施工可以填补围岩内部空隙,大幅提升围岩自身的承载能力,减少后期围岩变形带来的结构安全问题,为水利水电工程隧洞、边坡结构长期稳定运行提供可靠保障^[5]。

3 灌浆施工技术在水利水电工程中应用的质量控制措施

3.1 材料检测

灌浆材料的质量是保证灌浆施工质量的基础。在灌浆施工前,必须对所用的水泥、砂、石子、水、外加剂以及化学灌浆材料等进行严格的检测。对于水泥,应检测其强度、细度、凝结时间、安定性等指标,确保符合设计和规范要求;对于砂和石子,要检测其级配、含泥量、压碎值等;对于水,应检查其水质是否符合灌浆要求,不得使用含有有害物质的水;对于外加剂和化学灌浆材料,需检测其性能参数,如减水率、膨胀率、黏度、固化时间等。只有经检测合格的材料才能用于灌浆施工,严禁使用不合格材料。同时,在材料储存过程中,要采取防潮、防晒等措施,防止材料变质。

3.2 过程监控

灌浆施工过程是质量控制的关键环节,需要进行全面、细致的监控。首先,在钻孔阶段,要监控钻孔的位置、孔深、孔径、孔斜等参数,确保符合设计要求。钻孔完成后,需对钻孔进行冲洗和压水试验,以了解岩层的渗透性和裂隙情况,为确定灌浆参数提供依据。在灌浆过程中,要实时监控灌浆压力、浆液流量、浆液浓度、灌浆时间等参数,根据压水试验结果和灌浆情况及时调整灌浆参数。同时,要注意观察孔口返浆情况,防止出现漏浆、冒浆等问题^[6]。对于灌浆过程中出现的异常情况,如压力突然升高或降低、流量异常等,应及时分析原因并采取相应的处理措施。此外,还应做好灌浆施工记录,详细记录各项参数和施工情况,为质量验收提供依据。

3.3 质量验收

灌浆施工完成后,必须进行严格的质量验收,以确保灌浆效

果符合设计要求。质量验收主要包括以下几个方面:一是检查灌浆施工记录,包括钻孔记录、冲洗记录、压水试验记录、灌浆记录等,确保施工过程符合规范和设计要求;二是进行钻孔取芯检查,通过钻取灌浆后的岩芯,观察浆液的充填情况、胶结质量等,评估灌浆效果;三是进行压水试验,在灌浆结束一定时间后,对灌浆孔或检查孔进行压水试验,测定其渗透系数,判断防渗性能是否达到设计标准;四是对灌浆体的强度进行检测,可通过现场取样或无损检测等方法,检查灌浆体的抗压强度、抗剪强度等力学性能。对于验收不合格的部位,应及时进行补灌处理,直至验收合格。

4 结束语

综上所述,灌浆施工技术保障水利水电工程结构稳定性和耐久性的核心技术之一,不同类型的灌浆技术,分别在地基加固、防渗堵漏、裂缝修复、围岩稳固等场景发挥着不可替代的作用。只有严格把控灌浆材料质量、落实施工全过程动态监控、规范做好完工后的质量验收,才能充分发挥灌浆技术的应用作用,为水利水电工程的长期安全运行筑牢基础。

[参考文献]

- [1]朱晓峰,肖芳.水利施工技术及灌浆施工应用研究[J].水上安全,2025,(20):175-177.
- [2]谭泽浩.灌浆施工技术在水利水电工程施工中的应用研究[J].水上安全,2025,(20):184-186.
- [3]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.
- [4]赵小娟.灌浆技术在水利工程大坝施工中的应用[J].产品可靠性报告,2025,(08):179-180.
- [5]刘雨.灌浆施工技术在水利工程防渗处理中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(16):120-122.
- [6]刘克丞.水利水电工程大坝施工中灌浆技术的应用[J].地下水,2025,47(03):224-225.

作者简介:

贾帅(1994-),男,汉族,黑龙江人,本科,研究方向:水利水电工程。