

水利施工中帷幕灌浆技术的运用

周益军

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i3.6199

[摘要] 本文深入探讨了水利施工中帷幕灌浆技术的运用。通过阐述帷幕灌浆技术原理、施工流程、质量控制等方面内容,并结合大型水利枢纽工程案例,详细分析了该技术在实际工程中的应用效果与关键点。研究表明,合理运用帷幕灌浆技术能够有效提高水利工程基础的防渗性能,保障工程的安全稳定运行,为水利工程建设提供可靠的技术支持。

[关键词] 水利施工; 帷幕灌浆技术; 防渗; 质量控制

中图分类号: TV543+.1 **文献标识码:** A

Application of curtain grouting technology in water conservancy construction

Yijun Zhou

China 11th Water Conservancy and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] This paper discusses the application of curtain grouting technology in water conservancy construction. By expounding the principle, construction process and quality control of curtain grouting technology, and combining with the case of large-scale water control project, the application effect and key points of this technology in practical engineering are analyzed in detail. The research shows that the reasonable application of curtain grouting technology can effectively improve the seepage resistance of water conservancy project foundation, ensure the safe and stable operation of the project and provide reliable technical support for water conservancy project construction.

[Key words] water conservancy construction; Curtain grouting technology; Seepage prevention; quality control

引言

水利工程作为保障水资源合理利用、防洪减灾以及促进经济社会发展的重要基础设施,其工程质量至关重要。在水利工程建设中,基础的防渗处理是关键环节之一。帷幕灌浆技术作为一种高效的防渗手段,能够在地基中形成一道连续的防渗帷幕,有效阻止地下水的渗透,提高地基的稳定性和承载能力。随着水利工程建设规模的不断扩大和技术要求的日益提高,帷幕灌浆技术在水利施工中的应用越来越广泛,对其技术原理、施工工艺以及质量控制的研究具有重要的现实意义。

1 帷幕灌浆技术原理

1.1 基本概念

帷幕灌浆是指在水利工程基础中,通过钻孔将浆液注入地层孔隙或裂隙中,使浆液在一定压力作用下扩散、填充并固化,从而形成一道连续、密实的防渗帷幕。这道帷幕能够截断或减少地下水的渗流路径,降低坝基扬压力,增强地基的防渗性能。从微观层面来看,当浆液注入地层后,会沿着孔隙和裂

隙流动,填充其中的空间,随着时间推移,浆液逐渐凝固,形成紧密的结构体,如同在地基中构建了一道坚固的屏障,阻挡地下水的穿透^[1]。

1.2 灌浆材料与浆液特性

常用的灌浆材料主要有水泥、黏土、化学材料等。其中,水泥浆因其成本低、结石强度高、耐久性好等优点,在水利工程帷幕灌浆中应用最为广泛。以普通硅酸盐水泥为例,其细度要求通过80 μm 方孔筛的筛余量不超过5%。水泥浆的水灰比是影响其性能的关键参数,一般根据工程实际情况在0.5:1-2:1之间调整。水灰比不仅影响水泥浆的流动性,还对其结石强度和收缩性有显著影响。例如,水灰比过大,水泥浆流动性好,但结石强度会降低,收缩性增大,可能导致防渗帷幕出现裂缝;水灰比过小,水泥浆流动性差,难以在孔隙和裂隙中充分扩散。黏土浆则具有较好的可塑性和抗渗性,常与水泥浆混合使用,以改善浆液的性能^[2]。化学材料如聚氨酯、环氧树脂等,具有凝固时间短、防渗效果好等特点,但成本较高,一般用于特殊地质条件或对防渗要

求极高的部位。比如在一些有特殊防渗需求的水工隧洞工程中,化学灌浆材料能快速形成高强度的防渗结构,确保工程的安全运行。

2 帷幕灌浆施工流程

2.1 施工准备

2.1.1 地质勘察

在施工前,需对工程场地进行详细的地质勘察。通过地质钻探、物探等手段,获取地层结构、岩石特性、地下水水位及流向等信息。地质勘察就如同为工程绘制一幅精确的“地下地图”,为后续施工提供基础数据。地质钻探可以直接获取地下不同深度的岩芯样本,分析岩石的类型、结构和完整性;物探技术如地质雷达、地震波勘探等,则能大面积探测地层结构和异常区域。根据勘察结果,绘制地质剖面图,分析地层的防渗性能,确定帷幕灌浆的深度、厚度以及灌浆孔的布置方案^[3]。

2.1.2 材料与设备准备

根据设计要求,准备好灌浆材料,如水泥、黏土、外加剂等,并确保材料的质量符合标准。对水泥的品种、强度等级、安定性等进行严格检验,严禁使用过期或受潮结块的水泥。水泥的质量直接关系到灌浆的质量和效果,过期或变质的水泥可能导致结石强度不足,影响防渗帷幕的耐久性。同时,配备齐全的施工设备,包括钻机、灌浆泵、搅拌机、测量仪器等。以XY-2PC型钻机为例,其钻进深度可达150m,能够满足大多数水利工程帷幕灌浆的钻孔深度要求^[4]。对设备进行调试和维护,确保其在施工过程中能够正常运行。

2.2 钻孔作业

2.2.1 钻孔布置

帷幕灌浆孔的布置应根据工程地质条件、防渗要求以及建筑物的结构特点等因素确定。一般采用单排或多排孔布置方式。在地质条件复杂、防渗要求高的区域,多排孔布置能更好地形成防渗体系。钻孔方向应尽量垂直于岩石层面或主要裂隙方向,以提高灌浆效果。垂直于岩石层面或裂隙方向钻孔,能够使浆液更好地沿着裂隙扩散,形成更有效的防渗帷幕。

2.2.2 钻孔施工

采用回转式钻机进行钻孔,根据地层情况选择合适的钻头和钻进参数。在软土地层中,采用合金钻头,控制钻进速度为0.5-1m/h;在岩石地层中,采用金刚石钻头,钻进速度可适当提高到1-3m/h。钻孔过程中,要严格控制钻孔的垂直度,偏差不应超过1%。每钻进一定深度,需进行孔斜测量,如发现偏差,及时调整。钻孔的垂直度对灌浆效果有重要影响,偏差过大可能导致相邻钻孔之间无法有效连接,出现防渗薄弱区域。钻孔完成后,对孔内进行冲洗,清除孔内的岩屑、泥皮等杂质,确保灌浆通道畅通。

3 灌浆施工

3.1 灌浆方法选择

3.1.1 循环式灌浆

循环式灌浆是目前水利工程帷幕灌浆中常用的方法之一。

其原理是浆液通过灌浆泵从孔口进入钻孔,一部分浆液注入地层,另一部分浆液通过回浆管返回搅拌机。这种方法能够使浆液在孔内保持流动状态,避免浆液沉淀和堵塞,保证灌浆质量的均匀性^[5]。在一些对灌浆质量要求极高的大型水利工程中,循环式灌浆方法应用广泛。其灌浆压力根据地层情况和灌浆深度进行调整,一般在0.5-3MPa之间。例如,在孔深20-30m的部位,灌浆压力控制在1.5-2MPa,取得了良好的灌浆效果。合适的灌浆压力能使浆液在保证不破坏地层结构的前提下,充分扩散到孔隙和裂隙中,形成密实的防渗帷幕。

3.1.2 纯压式灌浆

纯压式灌浆是将浆液直接通过灌浆泵压入钻孔,不进行回浆。该方法适用于裂隙较大、吸浆量较多的地层。在一些岩石裂隙特别发育的区域,采用纯压式灌浆方法能够快速填充大裂隙,提高施工效率。在灌浆过程中,密切观察吸浆量和灌浆压力的变化,当吸浆量较大且灌浆压力难以升高时,采用限流、间歇灌浆等措施,确保浆液能够充分填充裂隙。例如,当发现吸浆量持续较大且压力上升缓慢时,说明地层存在较大的空隙或通道,此时采用限流措施可以控制浆液的流速,使其充分填充,避免浆液流失。

3.2 灌浆压力控制

灌浆压力是影响灌浆效果的关键因素之一。合理的灌浆压力能够使浆液在一定范围内扩散,形成密实的防渗帷幕。在施工过程中,应根据地层情况、钻孔深度、灌浆方法等因素确定灌浆压力。一般来说,灌浆压力随着钻孔深度的增加而增大。在灌浆过程中,通过调节灌浆泵的压力和流量,严格控制灌浆压力在规定范围内。同时,密切观察孔口返浆情况和周边建筑物的变形情况,如发现异常,及时调整灌浆压力或采取相应的处理措施^[6]。例如,如果发现孔口返浆量突然增大且压力下降,可能是地层出现了异常通道或串浆现象,此时需要立即停止灌浆,分析原因并采取相应措施,如调整灌浆压力、改变浆液配合比或进行封堵处理。

4 案例分析

4.1 工程背景

云水湖大坝是一座大型水利枢纽工程,该工程的建设旨在实现防洪、灌溉、发电和供水等多重功能,对当地及周边地区的经济社会发展具有重要意义。然而,坝址处的地质条件相对复杂,基岩主要为花岗岩,但断层和裂隙广泛发育,加之地下水水位较高且水流速度较快,对大坝基础的防渗性能提出了严峻挑战。为确保大坝的安全运行,经过多方论证,决定采用帷幕灌浆技术进行基础防渗处理。

4.2 施工过程

4.2.1 施工准备阶段

在施工准备阶段,项目团队对坝基进行了全面而细致的地质勘察。勘察手段包括地质钻探、地质雷达探测、地震波勘探等,通过这些先进技术手段,项目团队成功绘制了详细的地质剖面图,明确了地层结构、断层和裂隙的分布情况。基于勘察结果,项目团队精心设计了帷幕灌浆方案,确定了帷幕灌浆深度为50米,采用双排孔布置,孔距为2米,排距为1.5米,以确保灌浆效果达到最佳。

4.2.2 钻孔作业阶段

在钻孔作业阶段,项目团队选用了先进的回转式钻机进行钻孔作业。针对不同地层的地质特性,项目团队采用了相应的钻头 and 钻进参数。在软土地层,项目团队使用了合金钻头,并严格控制钻进速度在0.5-1米/小时之间;在岩石地层,则采用了金刚石钻头,钻进速度可提高到1-3米/小时。在钻孔过程中,项目团队始终严格控制钻孔垂直度,每钻进5米便进行一次孔斜测量,确保偏差不超过1%。钻孔完成后,项目团队采用高压水对孔内进行彻底冲洗,以清除岩屑和泥皮,为后续的灌浆作业打下坚实基础。

4.2.3 灌浆施工阶段

在灌浆施工阶段,项目团队根据地层情况和钻孔深度,灵活调整灌浆压力。具体灌浆压力控制如下:孔深0-10米时,灌浆压力控制在0.5-1.0兆帕;10-20米时,压力为1.0-1.5兆帕;20-30米时,压力为1.5-2.0兆帕;30-40米时,压力为2.0-2.5兆帕;40-50米时,压力为2.5-3.0兆帕。对于部分岩石裂隙特别发育的区域,项目团队采用了纯压式灌浆方法,并根据吸浆量和灌浆压力的变化,及时采取限流、间歇灌浆等措施,以确保灌浆效果。云水湖大坝帷幕灌浆项目的关键参数如表1所示:

表1 云水湖大坝帷幕灌浆项目的关键参数

阶段	参数	数值
钻孔作业	钻孔深度	50米
	孔距	2米
	排距	1.5米
	钻孔垂直度控制	每5米测量一次,偏差不超过1%
灌浆施工	灌浆压力控制	0.5-3.0兆帕(根据孔深调整)
	灌浆方法	循环式灌浆(大部分)/纯压式灌浆(部分)
	灌浆材料	普通硅酸盐水泥(42.5级)

4.3 施工效果评估

在施工过程中,项目团队对灌浆压力、吸浆量等关键参数进

行了实时监测和记录,以确保施工质量。灌浆结束后,项目团队采用了钻孔取芯和压水试验等方法对灌浆质量进行了全面检测。共选取了15个检测孔进行钻孔取芯,检测结果显示,芯样完整性良好,结石强度达到了设计要求,浆液与岩石胶结紧密,无明显的缝隙和空洞。压水试验采用单点法,按照《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL31-2003)进行操作,试验结果表明,检测孔的透水率均小于设计规定的5Lu,完全满足工程的防渗要求。

通过该工程的实施,帷幕灌浆技术取得了显著的效果。大坝基础的防渗性能得到了有效提升,在后续的运行过程中,坝基渗漏量明显减少,为云水湖大坝的安全稳定运行提供了有力保障,也为当地及周边地区的水利工程正常发挥功能奠定了坚实基础。

4.4 质量控制

4.4.1 灌浆质量检测

在云水湖大坝帷幕灌浆工程中,灌浆质量检测至关重要。钻孔取芯检测在灌浆结束28天后展开,从15个检测孔获取的芯样,直观反映出灌浆质量。芯样完整性良好,意味着灌浆过程中浆液充分填充地层孔隙与裂隙;结石强度达标,确保防渗帷幕具备足够承载能力与耐久性;浆液和岩石紧密胶结,无明显缝隙与空洞,这些都表明灌浆效果达到预期,为大坝基础防渗提供坚实保障^[7]。

压水试验作为检测防渗性能的关键手段,严格依照《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL31-2003)采用单点法操作。检测孔透水率均小于设计规定的5Lu,低透水率说明地下水难以穿透防渗帷幕,进一步验证了帷幕灌浆对提升大坝基础防渗性能的显著成效。

4.4.2 质量问题处理

施工期间,帷幕灌浆可能遭遇串浆、冒浆、漏浆等质量问题。在云水湖大坝施工时,灌浆孔曾出现冒浆现象。项目团队立即停止灌浆,迅速分析原因,采用水泥砂浆对冒浆部位进行嵌缝封堵。待封堵材料凝固后,重新进行灌浆作业,最终成功解决问题,确保灌浆质量不受影响。

对于串浆问题,通常采用加塞、限流、间歇灌浆等方法处理;冒浆、漏浆问题则通过降低灌浆压力、调整浆液浓度等措施应对。及时且有效的质量问题处理,是保障帷幕灌浆施工质量的核心环节,能避免质量问题对工程防渗性能造成不利影响,为水利工程安全稳定运行筑牢根基。

5 结语

综上,帷幕灌浆技术作为水利施工中重要的防渗手段,在提高水利工程基础防渗性能、保障工程安全稳定运行方面发挥着关键作用。通过对帷幕灌浆技术原理、施工流程、质量控制等方面的深入研究,并结合案例可以看出,合理选择灌浆材料与方

法、严格控制施工过程中的各项参数以及加强质量检测与问题处理,是确保帷幕灌浆施工质量的关键。随着科学技术的不断进步,帷幕灌浆技术将不断发展和完善,为水利工程建设提供更加可靠的技术支持。

[参考文献]

[1]安泽元.水利工程中帷幕灌浆施工技术的重难点探析[J].大众标准化,2023,(08):44-46.

[2]李海荣.探究水利工程施工中帷幕灌浆技术应用[J].建筑与预算,2022,(08):58-60.

[3]郑雪,王春明.水利枢纽工程基础处理技术及防渗效果分析[J].河南科技,2022,41(15):55-58.

[4]李夏,崔巍.水利工程灌浆施工技术的应用[J].长江技术经济,2022,6(02):109-112.

[5]王笃丰.水利工程中的防渗施工技术分析[J].黑龙江科学,2022,13(04):74-75.

[6]罗伟钊.水利工程中帷幕灌浆施工技术分析[J].住宅与房地产,2021,(30):69-70.

[7]杨曼直.帷幕灌浆施工技术在水利大坝基础防渗加固中的应用[J].江西建材,2021,(06):112-113.

作者简介:

周益军(1989--),男,汉族,江西省抚州市人,全日制本科,当前称职中级工程师,研究方向水利水电。