

水利水电工程施工中的灌浆施工技术探讨

尉阳阳

(中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810007)

摘 要 灌浆施工技术是目前我国水利水电工程建设领域中广泛应用的一项创新性工艺技术。这项技术不仅能够高效地提升和改善工程结构的稳定性和耐久性能, 确保其在长期运行中保持良好的状态, 还能针对性地解决一些传统加固方法难以克服的复杂难题。通过灌浆施工, 可以有效填充结构内部的空隙和裂缝, 增强整体结构的密实性和抗渗能力, 从而显著提升水利水电工程的安全性和使用寿命。本文从灌浆施工技术的概况出发, 对水利工程建设中的孔位布置、钻孔、灌浆施工等技术进行分析, 并提出相关的质量控制措施, 以期为水利工程施工提供参考。

关键词 水利水电工程; 灌浆施工技术; 帷幕灌浆质量评定

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.26.018

0 引言

水利水电工程是基本民生工程, 在防洪减灾、灌溉供水、电力供应等领域有着举足轻重的地位, 也是我国国民经济持续稳定发展的重中之重。但在水利水电工程施工中, 经常遇到地基处理、渗漏防治及结构加固等方面的难题。本文就灌浆施工技术在水利水电工程中的运用进行了探讨, 以期为我国现代化水利建设工作的开展提供技术参考。

1 灌浆施工技术概述

灌浆施工技术是将浆液注入土体、岩体或构筑物中, 对其进行填充, 达到加固或修复的目的。其基本原理是利用特殊工艺将专用泥浆经压力灌注至指定部位, 促使其在孔隙中扩散凝结, 以提高结构强度, 减少渗漏, 改善土壤性能, 如图 1 所示。

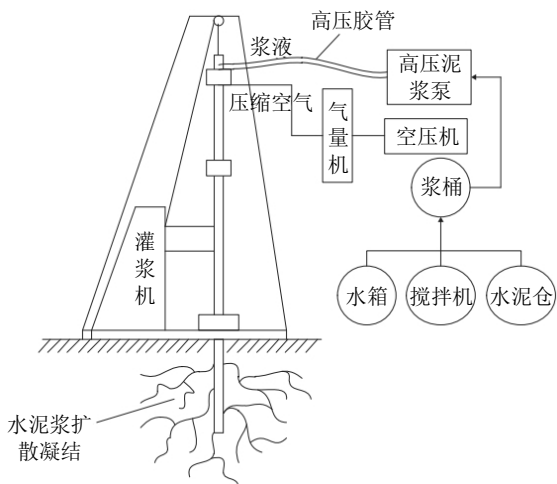


图 1 灌浆施工技术原理图

2 水利水电工程施工中的灌浆施工技术应用要点

2.1 工程概况

某水电站建设工程位于河流干流之上, 其具有发电和蓄水的双重作用, 其设计容量是 9 820 万 m^3 , 其设计能力是 40 MW, 这一项目计划按中级 III 等工程的规格进行建造, 主要包括厂房、大坝和泄洪区等建筑物。该工程的施工海拔 298.1 m, 其中拟建的坝高 70.65 m, 为了加强其防渗漏, 需要将帷幕灌浆廊道设置于坝体上游侧, 三层帷幕灌浆廊道最低高度为 233.9 m, 最高为 297.5 m, 中间一层的廊道高是 262.1 m, 另外, 廊道断面的长与高分别设计为 3.0 m 与 3.5 m。

2.2 地质情况与水文条件

(1) 工程地质情况。该电站工程地处沙一泥岩一疏松堆石交错区, 地层横跨西北, 构造相对简单, 倾向于倾角, 受小型板块挤出效应的影响, 发育多条明显的褶皱地貌, 同时还发育多条受自然因素影响的风化带。通过对各风化带的发展程度进行了研究, 得出了各风化带的发展程度不尽相同, 其中, 强烈风化带较大的裂缝, 而软弱风化带则具有较好的封闭性的结论。另外, 坝体表面覆盖着丰富的岩石, 且岩石组成差异很大, 当上层受到很大的载荷作用时, 坝体将发生明显的变形。(2) 施工区水文条件。该水电站工程区域的地下水资源量很大, 在基岩裂隙和疏松岩石中都含有大量的水分子。在该地区, 基岩裂隙具有较高的储水能力, 分布面也比较广泛, 在施工区域内, 基本存在着自由水。疏松岩石中的孔隙水以河流滨岸为主, 在一些流域内也有, 但含水量属于中等偏低。降水是该区地下水资源的主要补源, 而河流系统则是

地下水位的一个重要补充渠道,当降水过多时,则会以散流和泉水等形式从地面排泄^[1]。

2.3 帷幕灌浆施工技术应用流程

1. 勘探与测量。在进行帷幕灌浆之前,建设方应组织专家利用地理信息技术和 GPS 技术,对施工场地进行全面的调查,特别是在一些复杂的地区,要进行重点的探测,以便能够获得准确完整的工程参数和数据。基于这一点,技术人员要根据测绘数据的动态管理机理,对勘察所得的全部资料进行细致的检查,核对和预处理后,剔除不准确和不完整的资料,同时弥补缺失的资料,为科学地制定帷幕灌浆的施工计划奠定基础。

2. 灌浆孔布设与处理。根据地质调查和水文资料,该项目在进行帷幕灌浆时,需要布置一排灌浆孔,每一排灌浆孔间距都要保持 1~1.5 m,要把岩体的钻孔灌浆高度控制在不超过 15 m,再对每个灌浆孔进行编号,以此来决定后面的灌浆孔的测试次序。在开设灌浆孔之前,要采用回旋式地质钻机进行钻孔工作,在施工过程中,要根据实际的钻进状况对钻头进行替换和调节,保证灌浆孔之间的轴向偏差小于 10 cm,从而防止漏浆。在钻进过程中,首先要清除钻孔区的杂物,平整好地表,使钻具顺利安装,并把钻具安放到要钻的位置,避免在钻进过程中产生孔位误差。灌浆钻孔结束后,要及时用管道清除钻孔中的垃圾,清洗孔壁。钻孔的压力应该达到 80%,并且保证钻孔的深度在 20 cm 以内。钻孔完毕后,要做水压测试,以证实灌浆孔的密实度。

3. 确定灌浆段长度及灌浆压力。在灌浆孔压水测试中,确保每个灌浆孔都满足灌浆要求后,再逐个测定每个灌浆断面的确切长度,并在每个灌浆断面上合理设置灌浆的工作压力。该项目分为 5 个灌浆区段,帷幕灌浆参数详见表 1。

表 1 帷幕灌浆参数

灌浆段编号	灌浆段长度 /m	灌浆压力 /MPa
1#	2	0.6
2#	3	1.0
3#	4	1.5
4#	5	2.0
5#	5	2.5

4. 选择灌浆材料。由于该项目的帷幕灌浆作业区处于非岩溶区,因此必须对灌浆的配料进行合理的选择。通过对各方面的分析,确定了本工程中采用的是普通水泥浆。因为水泥浆有多种不同的等级,所以必须在灌浆试验中才能决定其所需的浆液配合比。通过试验分析发现,如果帷幕灌浆时岩层透水率大于 100 Lu 但小于 200 Lu,应按照 2:1 配比配制水泥浆作为灌浆材

料。若透水率大于 50 Lu,但小于 100 Lu,则要换用按照 3:1 的配比配成的水泥浆液进行灌注。在进行帷幕灌浆时,在初始 10 分钟以内,必须严密监控抽浆速率,如发现抽浆不够或抽浆过多,要及时对其进行处理。

5. 灌浆方法与灌浆顺序。该项目采用密闭孔口灌浆法,按自上而下的原理,先将上部灌浆孔灌满,然后对下部灌浆孔进行连续灌浆。对于搭接帷幕区域,应从上到下,利用分段卡塞方式完成灌浆。而在灌浆顺序方面,则要先灌下游排,在此区域灌注完成之后再继续实施其他区域的灌浆作业。该项目的灌浆井分为五个阶段,首先在灌浆环中设置三个灌浆孔,然后在另外两个灌浆孔中进行灌浆,通过层层灌浆来提高灌浆的密实度,从而保证了灌浆的有效性。

6. 灌浆结束标准。在进行帷幕灌浆过程中,如遇下列两种情形,必须及时终止:(1)按设计规定的最大压强,持续进行 1 小时或更长时间的灌浆工作后,才能终止灌浆;(2)灌浆的压力总是维持在规定的容许范围之内,如果灌浆速率不大于 1 L/min,且持续灌浆已持续 1 小时以上,则必须终止。

7. 灌浆孔密封处理。该工程采用高压旋喷灌浆工艺,为改善灌浆工作的密闭性能,在灌浆孔封闭时,将水泥浆与孔内浆液的配比控制为 5:1,并配制一种调和液,采用替代方法对灌浆孔进行封闭,以加强注浆的紧密性。封闭工作须在 0.5 小时以内进行,并有专人对有关资料进行详尽的资料记载,以便今后进行帷幕灌浆的养护和维修^[2]。

2.4 帷幕灌浆质量评定

1. 质量评定标准。根据本工程实际情况,参照混凝土重力坝设计相关要求,本次帷幕灌浆作业应依照表 2 所示标准进行质量评定,以下 3 个指标参数均满足的情况下,可以确认帷幕灌浆质量合格。

表 2 帷幕灌浆质量评定标准

评定指标	指标参数
灌浆孔透水率 /Lu	< 5
各孔段透水合格率 /%	> 90
不合格孔段透水率 /Lu	< 7.5

2. 质量评定结果。在完成了帷幕灌浆后,对各个孔段的渗透系数进行测试,得到每个孔的渗透系数为 4.3 Lu,各个孔的渗透系数都在 95% 以上,没有一个渗透系数大于 6.8 Lu,表明这一帷幕灌浆是完全符合要求的。对帷幕灌浆范围内的每一孔混凝土的单位消耗量进行测量,得出其上限值为 1 274 kg/m³,平均值为 201.7 kg/m³,混凝土消耗较小,为水利水电工程中帷幕灌浆的经济运行提供了保障。

3 水利水电工程施工中的灌浆施工技术应用管理要点

3.1 施工前准备管理要点

为保证该灌浆施工的成功进行,必须从技术方案、资源配置和场地情况三个层面对其进行全面的管 理。首先,在确定灌浆类型、灌浆参数和工艺条件的基础上,根据工程地质调查资料和设计资料,确定灌浆的类型和参数。在复杂的地层中,根据地层渗透率和裂缝发育情况,优选灌浆比例和扩散半径,以保证灌浆的适用性。其次,要做到对灌浆设备的选择、材料的质量控制和员工的技能训练等方面进行科学的分配。灌浆装置的选择要与灌浆压力和流量等工艺参数相匹配,应选择高自动化和稳定性好的灌浆水泵和记录仪;对原材料的控制要按照标准进行,对水泥和掺合料进行取样检验,避免不符合要求的原料进场;员工的训练内容包括工艺标准,紧急情况处理和安全操作,提高操作的规范化程度。最后,在场地的准备方面,要注意场地平整、孔位定位和临时设施的建设,保证钻孔灌注设备的定位和持续的施工,还要对水电、排污系统等其他的一些辅助情况进行核实,防止因为外界的原因而耽误了工程的进度^[3]。

3.2 灌浆工艺过程控制要点

灌浆工序的控制是灌浆工艺过程控制的关键,其关键在于对钻孔、制浆、灌浆和封孔四个阶段进行精确的控制。在钻进过程中,要严格控制孔径、孔深和倾角,采取岩心采样对地层特征进行检验,同时对井下返水、下钻等情况进行统计分析,为下一步灌浆奠定基础。在制浆过程中,需要按照设计的比例对浆液的水灰比进行动态调节,使用高速的搅拌装置来保证浆液的均匀性,并对浆液的密度、黏度和析水性进行周期性的检测,以确保浆液的流动性和稳定性。灌浆采用“先外围后内侧,先低压后高压”的顺序灌注,采用压力—流量双控制方法对灌注量进行实时监控,防止出现劈裂和灌浆漏失。在浆液浓度不正常的地区,应采取间断灌浆、掺入速凝剂等方法进行技术调整。在钻孔封孔时,要保证钻孔中的水泥浆完全固化,然后通过机器压浆或手工夯密的方法对钻孔进行封堵,以避免后期的渗水。在此基础上,设计了一套完整的工程监控系统,实现了对工程建设的全程跟踪。

3.3 质量检测与验收管理要点

灌浆的质量检验和验收是检验灌浆有效性的重要步骤,需要建立多层次的检验系统。在施工期间,采用压水试验、声波测试等方法评价灌浆效果,并根据灌浆压力—时间关系,对灌浆的弥散进行动态优选。在进行隐蔽施工的过程中,要通过钻芯取样,对灌浆

脉的充填性和胶结程度进行检测,并对接触带、断层松动带等软弱部位进行灌浆加固。在进行防渗帷幕施工时,需要进行渗滤实验,以检验其总体抗渗性。根据相关的规范和规程,综合钻孔检测、地球物理测试和压水测试等资料,编制量化评估报告。另外,对于未达到标准的部位,需要进行补注或二次加固,以保证项目的闭环控制。工程竣工文件要对施工参数、试验数据和处置方法进行全面记录,为以后的运行维护工作提供技术支持^[4]。

3.4 安全与环境保护管理要点

灌浆工程要把安全和管理的工作贯彻到整个过程中,以“风险预判”和“绿色”建设来减少其不利的影响。在安全管理方面,有必要为高压灌浆设备、高空作业和地下空间作业制定专门的安保计划,配备压力表超标报警和应急减压设备;对化工灌浆物料的贮存和应用要求进行标准化,并配备防毒面具和洗眼器等紧急措施,防止有害物料泄漏,危及职工身体。在环保方面,要注重泥浆的防治,配备沉淀池和不透膜等设备,禁止向天然水域排放;对噪声和粉尘污染,应采用湿法钻孔和隔音屏障等降低噪声,降低对周围环境的影响。此外,还需要强化建筑工人的职业卫生,进行定期的安全教育和身体检查,提高每个人的危险感知和处理紧急情况的技能,从而达到经济效益和社会效益的双赢^[5]。

4 结束语

在水利水电工程中,采用帷幕灌浆工艺对水工设施进行加固,提高基础稳定和结构防渗性能,是保证水利水电工程安全性和稳定性的重要手段。在水利水电工程的施工中,要结合工程的具体条件,对施工技术进行合理的选择和设计,对每个灌浆的施工步骤都要进行严格的监管,要在事前、事中、事后三个阶段对施工工艺进行把控,这样才能保证帷幕灌浆层的施工质量,使其能够更好地发挥蓄水、防洪以及灌溉的作用。

参考文献:

- [1] 庞婧婧. 水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的探讨[J]. 中国住宅设施, 2025(03):146-148.
- [2] 邓宁. 水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术应用研究[J]. 水上安全, 2024(10):157-159.
- [3] 李涛. 水利水电工程施工环节中帷幕灌浆技术的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(13):98.
- [4] 母其曦. 试析水利水电工程中的帷幕灌浆施工技术[J]. 低碳世界, 2016(34):99-100.
- [5] 刘鹏. 水利水电工程灌浆施工技术及其质量管理措施研究[J]. 建材与装饰, 2020(20):285,288.