

# 帷幕灌浆工艺在复杂地质条件中的应用及效果分析

李洪泉, 姜全兵

(江西省地矿局九一五地质大队, 江西 樟树 331202)

**摘要:**以北京市大宁调蓄水库帷幕灌浆工程为例,对帷幕灌浆施工工艺进行详细阐述,并针对该工程地质条件较复杂的情况,总结了施工中针对性的经验措施,分析了灌浆前后分序地层单位注浆量及透水率的变化,评价了灌浆效果。

**关键词:**帷幕灌浆;施工工艺;复杂地质条件;效果分析

中图分类号:TV543 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2011)11-0059-03

**Application of Curtain Grouting Technology in Project under Complicated Geological Condition and the Effect Analysis/LI Hong-quan, JIANG Quan-bing** (No. 915 Geology Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Zhangshu Jiangxi 331202, China)

**Abstract:** With the curtain grouting project of Daning regulating reservoir in Beijing, the paper discussed the curtain grouting construction process in detail; according to the complicated geological conditions, the paper also summed up the construction experiences and methods, analyzed the changes of grouting amount per unit and permeability rate in different formations before and after grouting and evaluated the grouting effect.

**Key words:** curtain grouting; construction process; complicated geological condition; effect analysis

## 0 前言

帷幕灌浆工艺因其操作方便、工艺程序完善、灌浆质量稳定、质量检查方法简便等显著特点,被广泛应用于水利防渗建设工程和其他基础防渗加固的工程中。但是,由于各工程项目地质情况差别较大,采用帷幕灌浆工艺进行地基防渗加固处理时,应针对地层具体的地质情况,结合帷幕灌浆的工艺特点,合理选择工艺参数,配备合适的设备机具,并合理调整施工工艺,确保工程质量达到设计要求。笔者结合北京市南水北调配套工程大宁调蓄水库帷幕工程施工案例,介绍帷幕灌浆工艺的应用,并分析其灌浆效果,以抛砖引玉。

## 1 工程概况及施工段地质情况

北京市南水北调配套工程大宁调蓄水库工程是保障南水北调进京来水得以充分、稳定、有效利用的重点工程。大宁水库位于房山区长辛店镇大宁村北河段,库岸现有巡堤公路,交通便利,现场三通一平条件较好。

本次基岩帷幕灌浆工程位于蓄水库工程施工第四标段(FBO+000.5~168.5),处理堤段全长168m,设计灌浆工程量2137.5m<sup>3</sup>。该施工段先期已经

完成了混凝土防渗墙施工。根据前期地质勘探情况,该段基岩地层主要分布有砂砾岩、强风化泥岩、泥质砂岩。地层裂隙发育,其中砾岩层含砾石粒径较大,地层较复杂。前期勘查压水试验揭露该施工段地层平均渗透系数5~17Lu,渗透系数较大,局部存在明显的病害隐患,对水库蓄水不利,需要进行灌浆加固处理。设计采用帷幕灌浆工艺,处理深度自防渗墙底部高程始,以下12.5m。要求加固处理后地层的综合透水率<3Lu。

## 2 设计方案及试验确定的工艺参数

由于设计方案只明确了孔距、排距、灌浆方式、处理范围和质量标准,而没有给出参考试验参数,施工单位进驻后汇合了多方宝贵意见和以往的施工经验,编制了详细的试验大纲,在报请设计、监理同意后组织工程试验。2010年6月15日开始施工,到9月8日完成灌浆试验检查孔施工,历时3个月,取得了完整的试验成果,并据此确定了如下灌浆施工参数。

孔距:1m,单排孔,分3序3段加密施工;  
钻孔孔径:开孔直径91mm,终孔直径75mm;  
设计灌段长:处理段长12.5m,采用2.5、5.5m

收稿日期:2011-04-14

作者简介:李洪泉(1961-),男(汉族),河南博爱人,江西省地矿局九一五地质大队工程师,岩土工程专业,从事水利工程施工工作,江西省樟树市,laodoowoo@sohu.com;姜全兵(1975-),男(汉族),江西临川人,江西省地矿局九一五地质大队高级工程师,探矿工程专业,从事灌浆防渗及软基加固处理施工工作,江西省南昌市二七南路552号(330002),114986631@qq.com。

分段方式,要求先施工第一段防渗墙接触带,再施工第二段,最后施工第三段;

灌浆方式:Ⅰ序和Ⅱ序孔采用自上而下灌浆法,Ⅲ序孔采用自下而上灌浆法;

灌浆比级:确定浆液水灰比为3、2、1、0.8、0.5五个比级;

灌浆压力:分段灌浆压力自上而下依次为0.2、0.4、0.6 MPa;

灌注材料:采用42.5普通硅酸盐水泥,纯水泥浆灌注。

### 3 主要施工设备

XY-2PC型钻机2台,XY-1A型钻机3台,VY-8/10型空压机1台,HB80/10型泥浆泵3台,BW150/50型高压灌浆泵3台,HTGJ-Ⅲ型自动记录仪1台,KXP-1型测斜仪1台,自制制浆机组3台套。

### 4 施工工艺

帷幕灌浆施工工艺流程:自上而下钻进→钻孔冲洗→简易压水试验(单点法)→分段灌浆→压力封孔。

#### 4.1 钻孔

造孔采用XY-2PC型或XY-1A型液压回转式钻机,清水钻进。施工前期采用硬质合金钻进工艺,因地质情况复杂,钻进速度缓慢,后采用金刚石-复合片钻进工艺,局部采用了风动潜孔锤钻进。开孔孔径91 mm,终孔孔径75 mm。造孔过程中严格控制孔斜,发现孔斜超过规范要求时,及时纠正,确保其孔底偏差满足规范要求。

#### 4.2 洗孔

灌浆前均冲洗钻孔,直至回水清净时为止,冲洗压力为灌浆压力的80%。

#### 4.3 压水试验

本工程Ⅰ序和Ⅱ序孔采用自上而下灌浆法,Ⅲ序孔采用自下而上灌浆法,各孔段灌前均进行压水试验,压水段与灌浆段长相同,压力为灌浆压力的80%。

#### 4.4 制浆

采用集中制浆,搅拌时间 $\leq 3$  min。

#### 4.5 灌浆

灌浆均采用3序孔分序加密进行。灌浆段长度严格按施工参数控制,特殊情况下适当缩减或加长。射浆管距孔底距离 $< 50$  cm,灌浆时加强抬动观测。

#### 4.6 灌浆压力

帷幕灌浆压力分为3级,逐段升压,分别为0.2、0.4、0.6 MPa。

#### 4.7 浆液变换

灌浆浆液水灰比采用3、2、1、0.8、0.6五个比级。浆液先稀后浓,逐级变换。

当灌浆压力保持不变,注入率持续减少时或当注入率不变而压力持续升高时,不改变水灰比。

当某一级浆液的注入量已达300 L以上或灌注时间已达1 h,而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时,改浓一级进行。

当某一级浆液注入量 $> 30$  L/min时,根据具体情况越级变浓。

#### 4.8 灌浆结束标准

在规定的压力下,当单位注入率 $\geq 0.4$  L/min时,继续灌注60 min或注入率 $\geq 1$  L/min时继续灌注90 min即可结束。

#### 4.9 封孔

灌浆孔封孔均采用压力灌浆封孔法。

### 5 施工中遇到的主要困难及采取的主要措施

由于地质情况复杂,施工中遇到很多困难,包括钻孔进度缓慢、孔壁不稳、灌浆绕塞、窜浆、抬东异常等等,对施工进度造成较大影响。针对这些问题,通过分析研究,及时采取了有效的处理措施,保障了施工正常进行。

#### 5.1 钻孔困难及孔壁不稳定问题

施工段主要分布有砂砾岩、强风化泥岩、泥质砂岩。其中砾岩层含砾石粒径较大,裂隙发育,且常常和泥质砂岩交互变化,地层较复杂。前期采用硬质合金钻进工艺,因地质情况复杂,钻进速度缓慢。经过一段时间的探索,及时改为金刚石-复合片钻进工艺,有效提高了成孔速度。针对个别孔段金刚石-复合片钻进工艺效率仍然很低的情况,则采用了风动潜孔锤钻进工艺成孔。

鉴于帷幕灌浆要求以清水钻进保证灌浆效果,而清水钻进对钻孔孔壁稳定是严峻考验。施工中多次出现钻孔卡、埋事故,危及人员安全和孔内安全。为此,采取加长粗径钻具、安装捞渣筒及适当减小泵量等技术措施,减少事故率,同时配备了专用的施工工具,保障发生孔内事故时及时处理。

#### 5.2 灌浆绕塞问题

发生灌浆绕塞的主要原因是孔壁不完整或钻孔扩径造成的。地质情况复杂易影响钻孔孔壁质量,

诸如孔壁不光滑或孔径扩大等等。地层产状陡峭在灌浆加压时也可能产生垂直劈裂,从而诱发绕塞现象。后者在工程试验时曾多次发生,经过反复试验,最终确定的灌浆压力基本可以控制不诱发垂直劈裂。对于前者,解决起来要复杂得多。除在操作上采用孔内反复提拉卡位外,特别针对该项目地层设计了专用的圆柱塞球,塞球用胶和硬度经过反复实验,既要保证胶塞的强度,又要保证塞球的柔度,使其具有良好的扩张和密封性能。此外,由于目前国内帷幕灌浆工艺通用的孔内循环止浆卡具在增加塞球后,再加压卡塞孔壁极易发生胶塞脱落或崩裂现象,为此重新设计了新的卡具,新型卡具可多套串联下入孔内,连续多点卡塞孔壁,精确控制塞球的膨胀程度,避免脱落或崩裂,达到止浆效果。新型卡具在实践中发挥了巨大的作用,卡塞止浆成功率从之前的 65% 提高到 98%,大幅减少了灌浆绕塞情况,保障了施工顺利进行。

### 5.3 窜浆及抬动问题

此次灌浆施工常发生窜浆和抬动情况,观察表明两者常常伴生,且主要发生在第一段。第二、三段偶有发生,但情况轻微,窜浆时主要从相邻孔内冒出少许浆液,之后常常是清水,观测抬动值较小,在规范要求的可控范围内。第一段情况则较复杂,变化较大。

发生窜浆及抬动后主要采取以下措施:(1)降低灌浆压力和灌浆流量,低压慢灌;(2)采取间歇灌浆法;(3)采取固结复灌法,在间歇灌浆效果不明显,迟迟达不到结束条件时,停止灌浆,待凝 12~24 h,重新扫孔复灌;(4)根据灌浆量情况适时加入速凝早强剂,减小浆液扩散范围。通过以上技术手段,窜浆及抬动得到了较好的控制。

## 6 灌浆效果分析

### 6.1 注入量分析

本工程完成帷幕灌浆 169 孔,总进尺 2129.5 m,总耗灰量 97.56 t,总灌注量 44.38 t,平均单位注入量 20.8 kg/m。各序孔单位注入量见表 1。

表 1 单位注入量与孔序关系表

孔序	灌段长 /m	灌入灰量 /kg	单位注入量 /( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ )	占 I 序孔百分比 /%
I	554.5	23267.9	42.0	100
II	525	7221.4	13.8	32.8
III	1050	13894.8	13.2	31.0
合计	2129.5	44384.1	20.8	

由表 1 看出, I 序孔、II 序孔、III 序孔之间单位注入量递减明显,灌浆效果明显。

### 6.2 灌浆前后地层透水率比较

检查孔压水透水率和帷幕孔压水透水率见表 2。

表 2 检查孔压水透水率与帷幕孔压水透水率比较

孔类	孔深 /m	压水段长 /m	压水段数	不同透水率 Lu 值段数/频率(%)				
				<1	<3	<5	<10	>10
帷幕孔	2129.5	2129.5	511	80/15.6	271/53	373/73	441/86	70/14
检查孔	388.4	225.6	54	28/51.9	54/100			

由表 2 可以看出:

(1) 灌前压水透水率在小于 3 Lu 区间内的段数累计频率为 53%,而灌后检查孔透水率在小于 3 Lu 区间内的段数累计频率为 100%,经灌浆后地层的渗透性显著降低。

(2) 灌前地层透水性离散程度较大,经过灌浆处理之后,地层的透水性变得异常均质。

## 7 结语

本次帷幕灌浆施工因地层复杂,钻孔困难等客观因素,施工进度缓慢,生产耗材较大。且由于孔壁质量相对不稳定,变化大,对施工设备和灌浆管提出较高的要求,施工中遇到了很多困难。由于有效的组织管理和严格的质量控制,以及有效的技术创新,使这些困难得以有效解决,保证了施工正常进行。通过该项目施工实践,表明帷幕灌浆施工钻孔和灌浆两大工序对施工进度、质量是相辅相成的。工程质量检查结果同时说明在本类工程的复杂地层进行帷幕灌浆施工,其工艺是充分可行的,关键在于施工中把握工程的特点,加强组织管理,严把技术质量关,特别要严格施工过程控制,关注技术细节,从而确保工程质量。

### 参考文献:

[1] 曹新云. 水库大坝帷幕灌浆冒浆成因与处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(10).

[2] 麦荣强, 曾宪斌. 帷幕灌浆技术在桥墩施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8).

[3] 李光华. 大朝山水电站大坝帷幕灌浆施工[J]. 云南水电技术, 2005, (1).

[4] SL62-94, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

[5] 罗长军. 帷幕灌浆技术在既有土坝可溶岩坝基中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(22).