

# 高压摆喷注浆截渗墙施工技术研究

孙根江<sup>1</sup>, 张卫华<sup>1</sup>, 朱毓杰<sup>2</sup>

(1. 中国人民武装警察部队 水电第七支队, 湖北 武汉 430200; 2. 中国人民武装警察部队 水电第三总队, 四川 成都 611130)

**摘要:** 高压喷射灌浆技术是通过在地层中的钻孔内下入喷射管, 用高速射流(水、浆液或空气)直接冲击、切割、破坏、剥蚀原地基材料, 将受到破坏、扰动后的土石料与同时灌注的水泥浆或其它浆液发生充分的掺搅混合、充填挤压、移动包裹至凝结硬化, 构成坚固的凝结体后成为结构较密实、强度较高、有足够防渗性能的构筑物, 以满足工程需要的一种技术措施。对南水北调辉县一标高压摆喷注浆截渗墙施工方案和工艺进行了研究、探讨。

**关键词:** 高压摆喷; 截渗墙; 研究; 南水北调辉县一标

**中图分类号:** TV52; TV543; TV7; TV51

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2016)04-0024-03

## 1 工程概述

南水北调辉县一标位于河南省辉县市, 设计桩号为IV66+960~IV72+000, 标段长度为5.04 km, 标段内共有各种建筑物7座, 其中: 河渠交叉建筑1座, 退水闸1座, 左排水渡槽1座, 公路桥6座, 生产桥1座。设计流量为260 m<sup>3</sup>/s, 加大流量为310 m<sup>3</sup>/s。设计水位高程为102.961~98.939 m。渠道过水断面呈梯形, 设计底宽为25~14.5 m, 堤顶宽5 m。渠道边坡系数为2.25~0.4, 设计纵坡为1/20 000~1/28 000。高压摆喷注浆截渗墙灌浆孔沿南水北调中线总干渠左、右岸防护堤基底中心线布置, 灌浆段总长2.105 m(即桩号68+000~70+105段)。

## 2 施工方案

### 2.1 试验孔布置

为选择具有代表性的地层, 分别在其上游、中游、下游选取了三个试验区进行试验。遵循试验区布置在较薄弱地层的原则, 依据地质单位提供的渠道地质纵剖面图, 结合已开挖渠道边坡地质揭露情况综合分析后, 确定了三个具有代表性的区域: I区布置在左岸上游, II区布置在左岸下游, III区布置在右岸中游。

I区: 根据渠道开挖揭露及先导孔钻探得知其为黄土状壤土, 相对较厚, 中间夹有砂卵石层, 砂卵石层层厚约2~4 m, 粒径一般为3~60 mm。

第一组: 孔距1.2 m, 摆喷对接。

第二组: 孔距1.5 m, 摆喷对接。

II区: 黄土状壤土, 相对较薄, 砂卵石顶部高程位于渠道正常水位之上, 分布高程为99~106 m, 层厚约7~8 m。砂卵石层粒径一般为10~150 mm, 局部存在粒径为60~100 cm的漂石。

### 2.2 摆喷灌浆设计施工参数

(1) 技术要求。

①摆喷灌浆孔单排布置, 孔间距初定为1 m, 且不宜大于1.5 m;

②灌浆前先进行灌浆试验, 以进一步调整灌浆压力、孔排距、灌浆材料及其他灌浆参数;

③灌浆后截渗墙的渗透系数要求不大于 $1 \times 10^{-4}$  cm/s;

④灌浆完成后, 应在灌浆体薄弱部位钻孔检测渗透系数, 抽检孔数应不小于总孔数的5%, 渗透系数不合格者需进行补灌。

(2) 摆喷灌浆试验采用三管法施工, 设计要求其灌浆压力应大于20 MPa。根据《水电水利工程高压喷射灌浆技术规程》(DL/T 5200-2004)并参考国内相关工程经验, 为便于科学分析试验成果, 试验参数以喷水压力、提升速度、摆喷次数变化为主, 浆液配比、气浆压力和流量、喷嘴直径、摆角等相对不变。每种孔距确定2组试验参数, 每组21个孔, 共6组, 试验孔总数为126个。

(3) 摆喷灌浆试验采用单排两序对接布孔, 试验方案以孔距划分为三种: 孔距分别为1 m、1.2 m、1.5 m(灌浆I序孔中心间距分别为2 m、2.4 m、3 m, II序孔中心间距亦分别为2 m、2.4 m、3 m)。三种试验方案如下:

收稿日期: 2016-07-12

方案一:孔距1 m,试验参数见表1。

表1 试验参数表

灌浆参数	试验位置	
	参数1 (II区第一组)	参数2 (III区第一组)
水灰比	1:1	1:1
钻孔直径/mm	110-114	110-114
高压水喷射压力/MPa	36~37	37~38
水 高压水喷射流量/L·min <sup>-1</sup>	70~80	70~80
喷嘴直径/mm	1.7	1.7
压缩空气喷射压力/MPa	0.7~0.8	0.7~0.8
气 压缩空气输送量 /m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup>	1.2	1.2
浆液喷射压力/MPa	0.3~1	0.3~1
浆 水泥浆供应量/L·min <sup>-1</sup>	60	60
浆液比重/g·cm <sup>-3</sup>	1.52~1.5	1.52~1.5
提升速度	卵石层 /cm·min <sup>-1</sup>	8~10
	粘土层	14~16
摆喷次数	卵石层 /次·min <sup>-1</sup>	8
	粘土层	12
摆角/°	60	60

方案二:孔距1.2 m,试验参数见表2。

表2 试验参数表

灌浆参数	试验位置	
	参数1 (I区第1组)	参数2 (II区第2组)
水灰比	1:1	1:1
钻孔直径/mm	110-114	110-114
高压水喷射压力/MPa	37~38	38~39
水 高压水喷射流量/L·min <sup>-1</sup>	70~80	70~80
喷嘴直径/mm	1.7	1.7
压缩空气喷射压力/MPa	0.7~0.8	0.7~0.8
气 压缩空气输送量 /m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup>	1.2	1.2
浆液喷射压力/MPa	0.3~1	0.3~1
浆 水泥浆供应量/L·min <sup>-1</sup>	60	60
浆液比重/g·cm <sup>-3</sup>	1.52~1.5	1.52~1.5
提升速度	卵石层 /cm·min <sup>-1</sup>	8~10
	粘土层	12~14
摆喷次数	卵石层 /次·min <sup>-1</sup>	8
	粘土层	12
摆角/°	60	60

方案三:孔距1.5 m,试验参数见表3。

### 2.3 工艺流程

(1)摆喷孔定位:在灌浆孔轴线上按试验确定的3种孔间距进行放线定位,各孔统一编号,孔位桩打入地面0.2 m并妥善保护。

表3 试验参数表

灌浆参数	试验位置	
	参数1 (I区第2组)	参数2 (III区第2组)
水灰比	1:1	1:1
钻孔直径/mm	110-114	110-114
高压水喷射压力/MPa	37~38	39~40
水 高压水喷射流量/L·min <sup>-1</sup>	70~80	70~80
喷嘴直径/mm	1.7	1.7
压缩空气喷射压力/MPa	0.7~0.8	0.7~0.8
气 压缩空气输送量 /m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup>	1.2	1.2
浆液喷射压力/MPa	0.3~1	0.3~1
浆 水泥浆供应量/L·min <sup>-1</sup>	60~65	60~65
浆液比重/g·cm <sup>-3</sup>	1.52~1.5	1.52~1.5
提升速度	卵石层 /cm·min <sup>-1</sup>	8~10
	粘土层	12~14
摆喷次数	卵石层 /次·min <sup>-1</sup>	8
	粘土层	12
摆角/°	60	60

(2)钻孔:本工程采用SG-150和GJ-200地质钻机及XY-2G型回转钻机造孔。钻孔前将钻机放置水平,钻进过程中应随时用水平尺检查钻机水平状况,用铅锤检查钻孔垂直度;钻孔孔位与设计偏差不得大于50 mm,钻孔的有效深度大于设计墙底深度0.3 m,灌浆孔深度除满足设计要求外,根据钻孔地质情况,还应深入相对不透水层1.5 m。钻孔过程中应做好记录并绘制钻孔柱状图。

(3)水泥浆制备:施工前,测定水泥浆比重,实测出搅拌筒直径和有效深度,计算每筒的理论用水量、水泥用量,将每筒用水量理论位置用油漆标记在筒内壁上。依次加入水、水泥,搅拌时间不得少于4 min。水泥浆放入储浆筒前要经过滤筛并及时将水泥硬块剔出。在储浆筒内设置搅拌装置,确保水泥浆在使用前不析、不沉淀。

(4)灌浆:将高喷台车精确就位,先在孔外试喷,待各项指标正常时,将喷射管下到孔底。对浆液中的各项指标进行检测,合格后启动高压水泵、空压机、搅拌机、泥浆泵等配套设备,将各项工艺参数调整到试验方案确定的参数后开始喷射,待孔口返浆后按方案确定后的速度开始提升,先送高压水,再送水泥浆和压缩空气(一般情况下,压缩空气可迟送30 s)。之后原位静喷1~3 min,待

达到预定的喷射压力和喷浆量且孔口冒出浆液后,再按方案确定的提升速度、摆动次数、摆角,自下而上进行喷射作业,提升至设计高度后方可停送水、气、浆,提出喷射管。喷射过程中,必须时刻注意检查浆液的流量、压力、气量以及摆角和摆动次数及提升速度等参数是否符合试验要求并随时做好记录。

(5)回灌:待喷射管提到设计高程后喷射灌浆结束,然后向孔内不断灌入符合质量要求的水泥浆,直到浆液不再下沉为止。

(6)弃浆排放:舍弃的浆液排放至指定地点。

(7)其他操作工艺:

①下管前准确确定喷射方向和摆动角度,确保摆喷墙体的有效连接。

②下管时采取换低压送水、气、浆等方法,防止喷嘴堵塞。

③严把“冒浆”关口,冒浆不正常或不冒浆时不能提升。

④喷射时严密监视各系统的运转情况,发现异常及时处理。

⑤接、卸换管时要迅速,防止坍孔和堵塞。

⑥喷射过程中,接、卸换管及事故处理后再下管时,要比原停喷高度下落50 cm以上,以使板墙上、下连贯。

⑦深层喷射时,为防止注浆管的扭断或埋管,在喷浆开始时即转动和提升。

⑧施工结束、立即拔出注浆管,彻底清洗注浆管路以防堵塞。

### 3 摆喷灌浆效果检查

#### 3.1 钻孔注水检查

完成摆喷灌浆试验35 d后对摆喷板墙的对接处进行了注水试验,按《水利水电工程注水试验规程》(SL345-2007)公式5.3.3计算截渗墙渗透系数。

$$K = \frac{7.05Q}{lH} \lg \frac{2l}{r}$$

式中  $r$  为钻孔半径,cm; $l$  为试段长度,cm; $K$  为试验岩土层的渗透系数,cm/s; $Q$  为注入流量,L/min; $H$  为试验水头,cm,为试验水位与地下水位之差。

#### 3.2 注水试验成果表

注水试验成果统计汇总情况见表4。

表4 注水试验成果汇总统计表

孔间距/m	土层性质	注水段数	合格段数	合格率/%
1	壤土	9	9	100
	卵石	6	6	100
1.2	壤土	9	9	100
	卵石	6	1	16.6
1.5	壤土	6	6	100
	卵石	6	0	0

根据上述注水试验成果数据判定:(1)位于壤土层内的截渗墙三种孔间距的注水试验孔渗透系数均能满足设计要求;(2)卵石层内的截渗墙孔间距为1.2 m的6个注水试验孔中只有1个渗透系数能满足设计要求;1.5 m间距的截渗墙渗透系数全部不合格,全部不能满足设计要求;灌浆孔1 m间距的截渗墙渗透系数全部小于设计要求 $1 \times 10^{-4}$  cm/s,截渗质量满足设计要求。

### 4 效果评价

质量检查结果以及开挖揭露的情况表明:壤土层试验孔摆喷搭接情况良好,卵石层没有很明显的搭接。根据注水试验结果,孔间距1.5 m的试验孔完全不能满足设计要求,卵石层内6个注水段全部不合格;孔间距1.2 m的试验孔个别孔勉强满足要求,卵石层内6个注水段仅有1段合格;只有孔间距1 m的试验孔能完全满足设计要求,卵石层内6个注水段全部合格。

### 5 结语

(1)灌浆技术在粘砾多层结构基础做防渗处理技术上可行,施工质量和处理效果较好;

(2)灌浆技术的关键是孔距和灌浆压力的选择与控制、浆材配比和灌浆工艺的选择;

(3)灌浆参数的选择需切合实际问题,只有通过现场试验才能切实确定;

(4)为确保工程质量,加强截渗效果,在卵石层较厚、相对较集中的渠段按双排灌浆孔布置,能够取得较好的效果。

#### 参考文献:

- [1] 曹丰. 建筑施工技术[M]. 郑州:郑州大学出版社,2007.  
[2] 魏涛,李珍. 三峡工程化学灌浆技术[M]. 武汉:长江出版社,2008.

#### 作者简介:

孙根江(1983-),男,河北衡水人,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;

张卫华(1976-),男,河北衡水人,工程师,在读硕士研究生,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

朱毓杰(1986-),男,吉林榆树人,工程师,学士,从事水利水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)