

# 单向高压摆喷防渗墙不分序研究与应用

万翔鸿, 李强, 许小杰

(中国水利水电第一工程局有限公司基础工程分局, 辽宁大连 116041)

**摘要:** 高压摆喷防渗墙是成熟的施工工艺, 其地层适应范围广, 在国内的各种防渗工程中被广泛应用。常规的施工工艺分 I、II 序孔施工, 在本工程通过试验与施工研究的不分序钻孔高喷工艺, 不但有利于桩间搭接、加快施工工期, 而且能够控制墙体厚度, 为钻孔高喷防渗墙的推广应用奠定了基础。

**关键词:** 高压摆喷防渗墙; 不分序; 桩间搭接

**中图分类号:** TV543<sup>+</sup>.82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)03-0058-03

**Study on One-way High-pressure Swing Spray Cut-off wall Construction with Non-order Method and the Application/WAN Xiang-hong, LI Qiang, XU Xiao-jie** (Sinohydro Bureau 1 Co., Ltd., Foundation Engineering Sub-bureau, Dalian Liaoning 116041, China)

**Abstract:** Being an advanced construction technology, the high-pressure swing cut-off wall is extensively applied in many kinds of anti-seepage project in China. General construction technology is divided into order I and II. The high-pressure technology with non-order method used in the project is not only good for piles overlapping and speeding up the construction schedule, but also good for control of cutting-off wall thickness to build up the foundation for the promotion and application of high-pressure cut-off wall.

**Key words:** high-pressure swing spray cut-off wall; non-order; piles overlapping

## 1 工程概述

哈达山水利枢纽工程位于第二松花江下游河段, 距第二松花江与嫩江汇合口处约 60 km, 是第二松花江干流最后一级控制性工程。本工程由坝区枢纽工程、防护区工程和输水工程组成。枢纽工程建筑物主要由混凝土重力坝连接段、河床式电站、溢流坝、取水及门库段、粘土均质坝等组成。水库总库容  $6.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 灌溉面积 285 万亩 ( $1900 \text{ km}^2$ ), 电站装机容量 34.5 MW。

工程规模为大(1)型, 工程等别为 I 等, 主要建筑物为 1 级建筑物, 次要建筑物为 3 级。二期上游围堰采用高压摆喷防渗墙, 设计墙体入岩不小于 50 cm, 墙体厚度  $\leq 20 \text{ cm}$ , 抗压强度  $R_{28} \geq 3.0 \text{ MPa}$ , 渗透系数  $K_{28} \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

根据设计防渗墙性能, 采用常规的摆喷工艺在喷嘴处的墙体厚度难以达到 20 cm, 为解决这一问题, 我们提出了单向摆喷不分序施工工艺。

## 2 常规分序摆喷与单向不分序摆喷工艺对比分析

### 2.1 常规分序摆喷工艺的弊端

高压摆喷防渗墙施工常规工艺分 I、II 序施工, 即先施工 I 序孔的高喷孔钻孔、喷浆, 在 I 序孔喷浆

结束达 70% 强度后再施工 II 序孔钻孔、喷浆, 最后形成连续的防渗墙。

分析以往工程实例, 常规的施工工艺分序施工给施工带来以下弊端。

(1) 不利于孔位控制。在该工艺流程中, 孔位布设时先由测量人员按一定间距测放控制点, 施工时技术人员按测量人员测放的控制点先布设 I 序孔孔位, 在 I 序孔施工完成后再由测量人员、技术人员测放 II 序孔孔位, 因此 I、II 序孔的孔位布置使用的控制点不是同一个控制点 (即使是同一桩号也有偏差), 由此会造成 I、II 序的孔位偏差。孔位偏差会造成严重影响墙体间的搭接, 从而影响防渗效果。

(2) I 序孔施工影响 II 序孔施工。对于高喷防渗墙施工工艺的特点, 在防渗墙钻孔与喷浆过程中会出现很多返浆, I 序孔施工时出现的返浆会破坏后序孔施工场地, 在后序施工地需二次平整。

(3) 墙体连续性较差, 折线搭接工艺造成无效墙体多, 施工成本大。实际上直线搭接形成的墙体成本最低, 单孔有效半径最大。由于分序施工很难将 I、II 序孔的孔位控制在一条直线上, 只能采用折线搭接, 从而使孔距缩短, 单位平方米防渗墙上的钻孔与喷浆量增大, 施工成本增大。

收稿日期: 2010-08-27

作者简介: 万翔鸿 (1971-), 男 (汉族), 辽宁大连人, 中国水利水电第一工程局有限公司基础工程分局总经济师、高级工程师, 工程地质专业, 从事水电工程施工管理工作, 辽宁省大连市旅顺区中水山庄, 459375185@qq.com。

分序摆喷工艺中喷嘴处的墙体厚度一般在 18 cm 以内,很难超过 20 cm,除非加大摆角,但这种工法也造成高喷孔距要减少,单位平方米防渗墙上的钻孔与喷浆量增大,施工成本增大。同时喷嘴处的墙体厚度也无法保证,见图 1 所示。

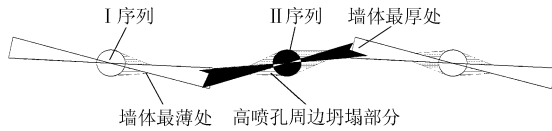


图 1 钻孔分序高压摆喷成墙示意图

从图 1 中可看出,高压摆喷防渗墙墙体最厚处在 I、II 序孔的搭接处,最薄处在距高喷孔附近及高喷孔处与墙体轴线垂直部位。根据多年施工经验和现场试验资料,在正常孔距、压力条件下的最薄部位的最厚墙体在 13 ~ 15 cm 之间,只有当钻孔孔径增大到 20 cm、或将摆角增加到 45°、孔距由 120 cm 缩小至 90 cm 时才能达到墙体 20 cm 的效果,这样明显增加了成墙造价。

### 2.2 单向摆喷不分序施工方法的优点

为在相同施工参数条件下增加摆喷最薄部位的墙体厚度,采用单向摆喷不分序施工方法,即先钻孔、后喷孔包裹前施工孔,从而形成连续的防渗墙(参见图 2)。从图 2 中可以看出,后喷孔能够在前喷孔已喷完区的墙体未凝结之前将其喷孔及喷嘴处墙体较薄部位再次切割,从而增大较薄部位的墙厚,同时可以通过调整孔距而不是调整摆角而增加墙体厚度,以形成各种墙厚要求的防渗墙体。这种工法可以避免分序施工所具有的所有弊端,工艺流程简单化、施工成本可控化、应用范围扩大化。

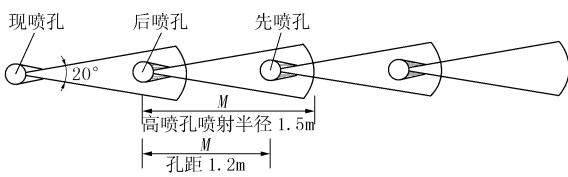


图 2 钻孔单向不分序摆喷成墙平面示意图

### 3 单向不分序摆喷工艺可行性理论分析

高压摆喷防渗墙其原理是利用高压射流作用切割搅拌地层的结构和组成,同时灌入水泥浆或复合浆形成凝结体,借以达到加固地基和防渗的目的。其工法特点是在喷管上提过程中边提边以一定的角度摆动。其破坏、切割地层的主要能量来自高压射流,是将电能转化为动能的过程。

高压喷射流破坏土体的效能,随着土体的物理

力学性能的不同,在数量方面有较大的差异。高压水喷射流破坏土体的机理是比较复杂的,从实验和实践得知,高压射流冲切土层的效果,与流量、速度、介质密度有关。

根据动量定律,水射流在空气中喷射的破坏力为:

$$F = \rho Q v_m^2$$

式中:  $F$ ——破坏力, N;  $\rho$ ——喷射流介质密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $Q$ ——喷射流的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $v_m$ ——喷射流平均速度,  $\text{m}/\text{s}$ 。

在介质一定的条件下,流体产生的破坏力与平均速度的平方、流量成正比。平均流速  $v_m$  由喷嘴出口流速  $v_0$  决定。从流体力学得知,高压水连续喷射流的速度和功率可按下列公式计算出流速  $v_0$ :

$$v_0 = \varphi \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}}$$

$$\text{经换算得 } \varphi^2 P = \frac{\gamma v_0^2}{2g} = P_0$$

式中:  $v_0$ ——喷嘴出口流速,  $\text{m}/\text{s}$ ;  $P$ ——喷嘴入口压力, Pa;  $P_0$ ——喷嘴出口压力, Pa;  $\gamma$ ——水的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $g$ ——重力加速度,  $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ ;  $\varphi$ ——喷嘴流速系数,圆锥形喷嘴  $\varphi \approx 0.97$ 。

高压水喷射流量  $Q$  计算公式为:

$$Q = \varphi A \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}}$$

式中:  $Q$ ——流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $\varphi$ ——流量系数,圆锥形喷嘴  $\varphi \approx 0.95$ ;  $A$ ——喷嘴出口面积,  $\text{m}^2$ ;  $P$ ——喷嘴入口压力, Pa;  $\gamma$ ——介质密度;  $g$ ——重力加速度,取  $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

从以上公式可知,高压射流的流速与流量均取决于高压泵施加的压力,所以,在喷射面积一定的情况下,为了取得更大的破坏力,需要提高喷射压力。压力愈高流速愈大,则破坏力愈大,冲切掺搅地层的范围也愈大。高喷防渗墙实际施工中,在压力、介质条件一定的条件下,流量的大小取决于喷嘴直径的大小。所以两个喷嘴不管在两侧还是在同侧,其总流量、出口流速都相差不大,高压射流对地层的破坏力也接近,且射流在同一侧时对地层将重复切割,形成的墙厚会增加。

通过以上分析,表明高压单向不分序摆喷工艺在理论上是可行的,具体的施工参数需通过现场试验确定。

#### 4 单向不分序摆喷工艺试验与应用

为进一步确定单向不分序摆喷工艺在本工程中地层条件的施工参数,在上游围堰防渗墙轴线上进行生产性验证试验。试验分3组,孔距分别为1、1.2、1.4 m,其中1.2 m孔距与一期围堰高压摆喷防渗墙施工的参数一致。试验施工采用三管法:高压水压力32~35 MPa、流量 $\leq 70$  L/min;浆液压力0.5 MPa、流量 $\leq 70$  L/min;风压力为0.6 MPa、流量 $6 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

在单向高喷试验完成3天进行开挖检查,结果表明3种孔距下的最薄处的墙体厚度分别为30、22、18 cm,通过比选1.2 m孔距比较合理,在3个孔中最薄处的墙体厚度22~24 cm,适合本工程的墙体要求和地层条件。故在施工中采用1.2 m孔距、高压水压力32~35 MPa的三管法单向不分序钻孔高喷工艺。施工1.5个月,形成防渗墙 $4800 \text{ m}^2$ ,具体施工方法简述如下。

##### 4.1 施工场地平整

施工前用推土机、震动碾进行防渗墙施工平台的平整,施工平台地面起伏差 $< 10$  cm。平台宽度 $< 6$  m,台面纵向坡度 $\leq 0.5\%$ 。沿防渗墙轴线开挖深30 cm、宽50 cm的补浆槽。

##### 4.2 钻孔

采用SGZ-ⅢA型地质钻机、 $\phi 130$  mm硬质合金钻头钻进,粘土泥浆护壁,局部严重塌孔部位下套管跟进。孔深入岩0.5 m,钻孔孔距为1.2 m。钻孔过程中详细记录粉细层厚度、入岩深度,以更直观了解地层。由于围堰自上而下全为粉细砂地层,钻孔过程中的护壁泥浆采用优质钙基膨润土制备,并在浆液中添加增粘剂、分散剂,确保泥浆性能达到护壁要求。钻孔完成后作好孔口保护,并及时喷浆,以免孔内泥砂沉淀影响孔深。

##### 4.3 高喷灌浆

(1)采用32.5普通硅酸盐水泥,制成水灰比为0.6:1的水泥浆浆,浆液密度 $\leq 1.7 \text{ g/cm}^3$ 。制浆站采用分散式,随制随用。施工中流入回收池中的泥浆经过滤后采用泥浆泵抽到制浆机重新加水泥拌制后二次投入施用。

(2)在钻孔达到设计要求的孔深后,将高喷管下至孔底,按照试验确定的水、气、浆各试验参数开始静喷并按表中摆角参数摆动,当孔口返浆,且返浆浓度接近进浆浓度后,自下而上按照规定提升速度提升。当提升至设计防渗墙顶高程,调低高喷参数并快速提升到地面。由于是单向喷浆,在喷灌过程

中与其相邻的已喷孔会出现不同程度的串通,这说明浆液的切割半径能形成有效搭接,并能够进一步扩大喷嘴处的墙体厚度。

(3)高喷灌浆结束后,利用回浆或者水泥浆及时回灌,直到孔口浆面不下降为止。

(4)对各个单孔高喷灌浆施工中,对水压、水流量、气压、气流量、浆压、浆流量必须按技术参数要求;同时准确控制孔口回浆密度 $\leq 1.2 \text{ g/cm}^3$ 。

(5)在不同地层内,按试验确定的参数灵活调整,对应提升速度限定区间进行摆动提升,并准确填写记录钻孔、高喷施工过程中的各参数变化情况。

#### 4.4 墙体质量检查

在高喷防渗墙施工完28天后进行墙体开挖、墙体取心进行室内检验,共开挖检查2处,取心样3组;抗压2组、渗透系数1组。检查结果表明,墙体连续性好,后施工墙体包裹前施工墙体,最薄处的墙体厚度22 cm,墙体抗压 $R_{28} = 3.8、4.1$  MPa,渗透系数 $K_{28} = 6.7 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ,各项指标均满足设计要求。

#### 5 结论与建议

通过理论分析、试验论证与施工验证表明,单向包裹型不分序高压摆喷防渗墙施工工法先进,具备工序间施工干挠少、成墙质量好、墙体搭接可靠,且能够通过调整孔距这一可控参数,即可形成在高喷工艺范围内具备的不同墙体厚度的墙体,同时这种工法适用的地层也比较广,具备一般高喷对地层的适应能力,只是在以后应用中要通过现场试验确定合理的施工参数。该工法在本工程研究成功并应用于实际工程,把高喷防渗墙工法的应用推向更高、更宽阔的领域,值得在以后的工程设计与施工中大力推广。

#### 参考文献:

- [1] 屈昌华. 响水水库坝区灌浆试验分析与评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(1): 65-67.
- [2] 李旭庆. 深层搅拌桩搅拌头结构和动力特性对桩体搅拌均匀性的影响[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(9): 56-58.
- [3] 李焱华, 辛建芳, 司马世华. 高压摆喷灌浆技术在西藏病险水库大坝防渗中的设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(10): 52-57.
- [4] 张启岳, 蒋彭年, 王伟, 等. 土石坝加固技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [5] 白永年, 吴士宁, 王洪恩. 土石坝加固[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [6] DLT 5200-2004, 水利水电工程高压喷射灌浆技术规范[S].