

# 水泥 - 水玻璃注浆在围堰防渗漏浆处理中的应用

袁超鹏<sup>1</sup>, 王 胜<sup>1</sup>, 吴秋红<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 四川力程建设工程有限公司, 四川 成都 610091)

**摘要:**漏浆是围堰防渗注浆过程中常遇到的工程现象,采取合理有效的方法解决漏浆问题对注浆效果具有重要的工程意义。针对引黄工程某围堰防渗注浆过程中的大量漏浆问题,对现场工程情况及漏浆原因进行了分析,提出采用水泥 - 水玻璃双液注浆的解决方案。在分析水泥 - 水玻璃浆液凝结硬化机理基础上,主要从注浆材料、注浆方法、注浆压力、注浆结束条件及封孔等方面对其注浆技术的现场应用情况进行了分析。检查孔压水试验表明,通过水泥 - 水玻璃注浆处理后,漏浆地层透水率大幅减小,满足工程设计要求,达到漏浆封堵效果。

**关键词:**围堰防渗注浆;漏浆;水泥 - 水玻璃;压水试验

**中图分类号:**TV543 **文献标识码:**B **文章编号:**1672 - 7428(2016)10 - 0068 - 04

**Application of Cement-Sodium Silicate Grouting in Slurry Leakage Processing of Cofferdam Seepage Control/**  
YUAN Chao-peng<sup>1</sup>, WANG Sheng<sup>1</sup>, WU Qiu-hong<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Sichuan Licheng Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610091, China)

**Abstract:** Slurry leakage is one of an engineering phenomenon during cofferdam seepage grouting process. It is important to take reasonable and effective way to solve problems related to slurry leakage in cofferdam seepage grouting project. With regard to a large number of slurry leakage cases in a cofferdam seepage grouting process during the Central Yellow River Diversion Project, field engineering conditions and reasons for the slurry leakage were analyzed, and proposal on adopting cement-sodium silicate double solution grouting technology was put forward to solve the problem. On the basis of analyzing coagulation hardening mechanism of cement-sodium silicate slurry, field application of cement-sodium silicate technology was analyzed, referring to grouting material, grouting method, grouting pressure, grouting end condition and hole sealing. Pressurized water experiment of inspection hole has shown that water permeability of lost circulation formation is much lower after cement-sodium silicate grouting treatment than before. It meets the design requirements by achieving the effect of blocking slurry leakage.

**Key words:** cofferdam seepage grouting; slurry leakage; cement-sodium silicate; pressurized water experiment

## 0 引言

在地质条件复杂的地区修建水利工程,完整可靠的防渗设施对确保水利工程的施工安全与可靠运转意义重大。帷幕注浆可以通过填充水泥浆液来阻止水的渗透性,从而提高防渗功能,现在越来越多的建设项目都应用这种方法进行防渗施工。其中它的原理是在合理的间距内进行钻孔并注入水泥浆液,在相互连接的每个钻孔下面使注入的浆液扩散凝固,形成类似帷幕的一道防渗墙,防渗墙能切断和阻碍水的渗透通道,从而达到防渗的效果,也就成了防

渗注浆。由于有些地区在修建水利工程时,其中围堰基础部位地层多为回填土和砂砾石,围堰基础结构孔隙率大,在注浆过程中,经常发生大量漏浆情况,严重影响工程施工进度以及围堰防渗质量。

在山西中部引黄工程中,其取水工程在山西省保德县境内,主要建筑物包括取水口、无压引水隧洞、沉沙池及放空洞、地下泵站、进水池及泄水洞、出水池等建筑物。取水口位于天桥水电站左坝头上游 380 m 处。放空洞位于天桥电站左坝头沟谷的左岸,进口始于沉沙池末端,底高程 821.60 m;出口位

收稿日期:2016 - 07 - 19; 修回日期:2016 - 08 - 03

基金项目:四川省教育厅重点项目“硅酸盐 - 硫酸铝水泥基钻孔铸壁材料研究”(编号:16ZA0099);地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自由探索课题“硅酸盐 - 硫酸铝水泥水化协同效应与钻孔铸壁技术研究”(编号:SKLGP2015Z010)

作者简介:袁超鹏,男,汉族,1992年生,成都理工大学在读硕士研究生,研究方向为岩土钻掘工程,四川省成都市成华区二仙桥东三路1号,1065166678@qq.com。

于天桥电站下游黄河左岸,出口底高程 818.20 m,全长约 681.96 m<sup>[1]</sup>。放空洞围堰堰体总长度为 72.1 m,位于黄河左岸钢筋笼挡水墙上部。

在对放空洞围堰进行防渗注浆处理过程中,漏浆问题较突出,需要对其进行专门研究。为此,在分析漏浆原因基础上,提出采用水泥-水玻璃注浆技术解决漏浆问题,并进行了现场应用。

## 1 漏浆原因与现场解决措施

### 1.1 漏浆原因分析

围堰体堰基水泥帷幕注浆采用低压套管注浆法,分两序孔进行灌注。采用自上而下分两段次注浆,入基岩 6.0 m 为第一段,余下注浆段为第二段。首先采用浆液自流方式灌注,无法注入浆液或注入率太小时,适当加压进行低压下灌注。其中在 5 个 I 序孔灌注过程中水泥浆液注入量极大,并且发现在围堰工程下部钢筋笼挡水墙大量漏浆(见图 1)。



图 1 现场漏浆情况

对现场漏浆点进行勘查和分析,认为漏浆的主要原因如下。

(1) 根据地质资料,围堰基础为石炭系中统本溪组炭质页岩、粘土岩夹薄煤层和铝土矿<sup>[2]</sup>,但根据开挖后揭露的实际地质情况,因引黄灌溉 DN1200 供水工程建设,围堰基础部位地层为回填土和砂砾石,围堰基础结构孔隙率大、透水性强,为漏浆事故提供了环境条件。

(2) 建设在黄河边上的挡水墙为钢筋笼式,虽然一定程度上能对黄河防洪起到作用,但在注浆注入过程中,由于存在浆液对孔壁和周围环境的压力以及围堰基础松散的地层,导致注入的浆液对基础中回填土和钢筋笼挡水墙内细小填充物的冲刷,使得在围堰基础和钢筋笼挡土墙内形成流通的路径,导致漏浆事故的发生。

### 1.2 现场解决措施

通过对现场漏浆情况观察及原因分析,采取了以下措施解决漏浆问题。

(1) 先确定漏浆点,对漏浆处采用表面封堵,在漏浆口填充满粘土,并进行人工压实。

(2) 对漏浆孔采取间歇水泥注浆,通过一定时间使水泥浆液在孔内裂隙中凝结,封堵渗漏接缝,当达到一定的强度后,再加压复灌。

(3) 在对漏浆孔进行水泥注浆的过程中,减小浆液水灰比,采用浓浆进行灌注。

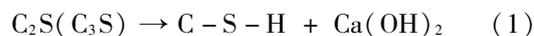
在采用以上措施进行灌注后,发现在围堰基础下部钢筋笼挡水墙处,由一处漏浆点发展为多处漏浆,由于钢筋笼挡土墙内路径互为连通,因此表面封堵措施效果甚微。进行复灌以及浓浆灌注后,水泥注入量出现减少的趋势,但多次灌注之后,注入量仍然很大,并且漏浆点增多,漏浆流量增大。

综合考虑现场情况,结合以往工程经验<sup>[3-6]</sup>,提出采用水泥-水玻璃双液注浆技术处理漏浆问题,并进行了现场应用。

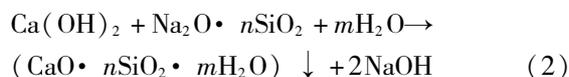
## 2 水泥-水玻璃注浆现场应用

### 2.1 水泥-水玻璃凝结硬化机理

水泥的主要成分是硅酸二钙(C<sub>2</sub>S,含量约 15%~37%)和硅酸三钙(C<sub>3</sub>S,含量约 37%~60%)<sup>[7]</sup>。硅酸二钙主要作用是决定后期强度,具有早期低、后期高的特点,而硅酸三钙主要作用是决定水泥的等级,并具有高强度。硅酸二钙和硅酸三钙的水化过程是生成物基本相同,都是通过与水反应生成氢氧化钙和水化硅酸钙,只是硅酸三钙的水化反应过程速度较快。水化反应可用以下方程式表达:



通过硅酸二钙和硅酸三钙水化反应生成的氢氧化钙很快与水玻璃反应,其反应过程如下:



氢氧化钙与水玻璃的反应速度是比较迅速的。两者反应中形成的水化硅酸钙胶体越来越多,而水化硅酸钙具有一定的强度,所以导致增加越来越多的水化硅酸钙胶质体增大了水泥-水玻璃浆液的强度。因此,水化硅酸钙对水泥-水玻璃双液的早期强度有直接的影响。

水泥浆液体系中的硅酸二钙和硅酸三钙通过水

化反应生成溶解度不高的氢氧化钙,使水泥浆液体系会很快达到饱和状态,从而抑制了水泥浆液体系中剩余没反应的硅酸二钙与硅酸三钙的水化过程。通过在水泥浆液体系中加入水玻璃之后,形成水泥-水玻璃双液体系。水玻璃再与水泥浆液体系中反应生成的氢氧化钙反应,消耗了水泥浆液体系中的氢氧化钙,氢氧化钙含量不能达到饱和状态,从而一定程度上加速了硅酸二钙与硅酸三钙的水化反应过程。通过一系列连续反应,最后生成水化硅酸钙胶质体,并且与被灌注的岩体之间可以通过相互胶结最后形成一个稳定的凝固体,从而达到水泥-水玻璃双液快速凝结的目的。在宏观上表现出水泥-水玻璃双液初凝时间加快,并且增大凝结体的早期强度<sup>[8-9]</sup>。

## 2.2 注浆材料

由于注浆材料的选用不同,其不同成分性质的差异,水泥浆液水灰比调节的不同,水玻璃溶液模数和浓度性能不一样以及二者比例的调配,均会影响到浆液的性质结构<sup>[4]</sup>。现场使用时,水泥采用吉港冠宇水泥,P. O42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比选用 0.5: 1;水玻璃模数为 3.2~3.4,浓度为 41°Be';浆液配比为:水泥浆:水玻璃=(1:0.5)~(1:1)。

## 2.3 注浆方式

在水泥-水玻璃双液注浆过程中,注浆设备不同的混合形式以及不同的位置,可以导致注浆的方式也不一样。水泥-水玻璃双液注浆方式主要可以分为 3 种类型<sup>[10]</sup>,见表 1。

表 1 水泥-水玻璃双液注浆方式

注浆类型	注浆方式	适用凝胶时间
单液式注浆	水泥与水玻璃浆液配好混合放于同一容器内,单泵单管线注浆	长
双液孔底混合式注浆	水泥与水玻璃预装于不同容器内,双泵双管线输出浆液到管线出口混合而注浆	瞬凝
双液孔口混合式注浆	水泥与水玻璃预装于不同容器内,双泵双管线输出浆液到注浆管头部混合而注浆	短

鉴于工程施工现场对工期要求紧张以及围堰注浆的实际特点,需要选择一种安全便捷、凝结时间可控的注浆方法。通过对以上 3 种注浆方法的比较和实际现场情况,采用双液孔口混合式注浆技术,其注浆工艺见图 2。

## 2.4 注浆压力

首先采用浆液自流方式灌注,起灌时吸浆量

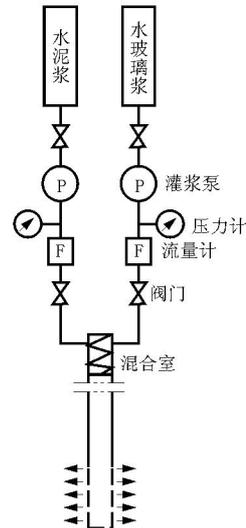


图 2 水泥-水玻璃浆液的注浆方式

较小和不吸浆可适当加压,注浆压力为第一段注浆压力 $\leq 0.3$  MPa,以下每段注浆压力 $\leq 0.5$  MPa。注浆过程中可根据实际情况对注浆压力进行适当调整,吸浆量较小时可适当提高压力,吸浆量较大时,分级降压。每上一段次注浆段注浆结束后待凝 12~24 h 后方可进行下一段次钻孔注浆。

## 2.5 注浆结束条件

根据工程设计要求,在规定的注浆压力下注入率 $\geq 2$  L/min,延续灌注 10 min,可结束注浆。

## 2.6 封孔方法

所有注浆孔、质量检查孔均采用全孔注浆封孔法封孔,封孔前将孔内污物冲洗干净。全孔注浆封孔方法:注浆结束后,在孔口卡塞进行纯压式注浆封孔,采用水灰比为 0.5: 1 的纯水泥浆液,压力为该孔最大注浆压力,结束时间为灌注 10 min。

## 3 注浆效果评价

该围堰防渗工程的注浆效果主要通过检查孔压水试验的成果来评价,再根据现场施工记录、施工成果资料和检验测试资料的综合分析,进行注浆效果评定。

检查压水试验方法主要有单点法和五点法。五点法是指有 5 个压力过程,5 个压力阶段都至少压水 20 min 并每级压水都需达到稳定标准结束,五点法根据压水成果可以判定其属于冲蚀、扩张、层流、紊流等压水试验曲线类型;单点法压水采用单一压力,压水时间 20 min,以最终值计算透水率。根据工程中的规定及施工要求,该围堰防渗工程的注浆检

查孔压水试验在该部位注浆结束 14 天后进行,并采用单点法全孔一次性压水<sup>[11]</sup>。

工程中压水试验的压力控制在施工注浆压力的 80%,但试验最大压力控制不能超过 1 MPa,压水试验在保持稳定的压力下,每 5 min 通过现场灌浆记录仪读取注水流量 1 次,连续读取 5 次流量,当最大值与最小值之间的差 < 1 L/min 或者小于最终值的 10% 时,可结束此次压水试验<sup>[12]</sup>。

为检验该围堰防渗工程质量及效果,对围堰工程布设了 3 个注浆检查孔进行压水试验。压水试验成果主要通过透水率来表示,透水率越小,说明岩体可灌性越小,基础裂缝发育少,注浆后防渗效果越好。工程压水试验成果显示透水率为 0.38 ~ 0.8 Lu,均远远小于设计的 10 Lu,合格率为 100%。3 个围堰注浆检查孔的压水试验成果如表 2 所示。

表 2 围堰注浆检查孔压水试验成果

孔号	孔径/mm	孔深/m	压力/MPa	透水率/Lu
FWJ-01	146	14.5	0.5	0.52
FWJ-02	146	14.5	0.5	0.38
FWJ-03	146	14.5	0.5	0.80

与纯水泥浆注浆不同,双浆液注浆施工工艺略显繁琐。对孔隙率大的施工段采用纯水泥浆进行灌注时,因水泥凝结时间比较慢,顺着孔隙流走导致注浆效果不理想。使用水泥-水玻璃双液进行防渗堵漏注浆,通过调节水泥-水玻璃配合比及加量控制浆液凝结速度,从而达到良好的封堵裂缝效果,使围堰基础达到防渗要求。

对围堰基础设置 3 个试验孔进行压水试验,从试验成果中可以看出,通过水泥-水玻璃双液注浆后的围堰透水率小,说明通过水泥-水玻璃双液灌注后,围堰基础中的砾石之间的空隙被封堵,松散土体被加固凝结,实现了封闭裂隙,减少渗漏现象,使围堰工程满足防渗要求,确保放空洞开挖的顺利

进行。

#### 4 结论

(1) 针对取水工程中围堰防渗施工中出现的大量漏浆现象,在对围堰基础特征的分析 and 注浆技术特点的研究基础上,提出并采用水泥-水玻璃双液注浆技术对围堰基础漏浆现象进行处理。

(2) 结合水泥-水玻璃机理分析和现场施工情况,提出并采用“水泥-水玻璃双液孔口混合注浆”方法对漏浆孔进行注浆,施工工艺操作简单,安全可靠,有效解决了现场工期紧以及现场施工的问题。

(3) 通过检查孔压水试验的成果表明,应用水泥-水玻璃双液注浆后,岩土体透水率大大减小,漏浆问题得到较好解决,满足工程防渗要求。

#### 参考文献:

- [1] 王瑛. 山西省中部引黄工程首部取水枢纽方案比选[J]. 山西水利, 2014, (4): 21-22.
- [2] 张百臻. 黄河天桥电站水文地质条件及其对坝基稳定影响的探讨[J]. 人民黄河, 1979, (3): 59-65.
- [3] 王胜, 黄润秋, 陈礼仪. 锦屏一级水电站深部裂缝控制性灌浆技术研究[J]. 工程地质学报, 2012, (2): 276-282.
- [4] 胡国兵. 水泥、水玻璃浆液在锦屏工程涌水封堵中的应用[J]. 人民长江, 2009, (21): 32-34.
- [5] 程鉴基. 珠江三角洲软土地基水泥-水玻璃防渗固结灌浆处理初步研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1995, (2): 179-186.
- [6] 吴延平, 王军, 刘建民, 等. 浅埋暗挖法改良淤泥地层注浆方案选取的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, (S2): 3575-3583.
- [7] 周永进, 李有光. 硅酸盐水化产物的热分析曲线及其特征[J]. 重庆建筑大学学报, 1999, (1): 70-74.
- [8] 杨晓华, 俞永华. 水泥-水玻璃双液注浆在黄土隧道施工中的应用[J]. 中国公路学报, 2004, (2): 69-73.
- [9] 简文彬, 张登, 黄春香. 水泥-水玻璃固化软土的微观机理研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(S2): 632-637.
- [10] 孙钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [11] DL/T 5148—2012, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [12] SL 31—2003, 水利水电工程钻孔压水试验规程[S].