

文章编号: 1672 3031(2006) 01-0027-04

# 块石架空围堰防渗施工技术

符平, 赵卫全, 张金接, 杨晓东

(中国水利水电科学研究院 工程安全监测中心, 北京 100044)

摘要: 土石围堰由于其材料易得、施工简便等特点得到了大量的运用, 但其中的大块石容易形成架空结构, 为围堰闭气施工带来困难。高喷灌浆、静压灌浆、混凝土防渗墙是比较成熟的土石围堰防渗施工方法, 但对于块石架空严重的围堰和较短施工工期的防渗工程, 其应用会受到动水条件、块石结构以及工期等因素的影响。本文研究了膏浆(速凝膏浆)材料的性质、施工工艺以及其与常规防渗技术的比较, 并列举了膏浆技术运用的工程实例, 为在块石架空围堰进行防渗施工提供了一种有效、经济的施工技术。

关键词: 块石架空; 围堰; 速凝膏浆; 防渗技术

中图分类号: TV543

文献标识码: A

## 1 块石架空围堰防渗施工的特点

在大坝主体的建设过程中必须为坝体建造提供无水的施工条件, 因此一般要兴建挡水围堰。土石围堰由于其材料易得、施工简便等特点得到了大量的运用。通常在大江截流、土石围堰填筑完成后, 马上就要进行土石围堰的防渗施工, 对围堰闭气后的基坑进行抽水, 以尽早下基坑进行必要的施工, 为基坑渡汛做准备。

由于施工工期比较紧, 河流两岸边坡的土石开挖材料常被利用为土石围堰的堰体材料, 如小湾下游围堰、彭水土石围堰, 这就有可能形成块石架空围堰<sup>[1]</sup>。从防渗角度分析, 对块石架空围堰进行防渗施工有如下特点: (1) 工程量大、工期短。土石围堰的轴线长度一般都在 100m 以上, 其防渗深度可达到 40m 量级, 因此土石围堰的防渗帷幕长度可达到数千米, 如彭水围堰的帷幕长度为 4 500m<sup>[1]</sup>, 小湾电站下游围堰帷幕长度为 3 673m<sup>[2]</sup>。由于围堰存在大量架空结构, 空隙率较高, 为形成完整的防渗体系, 所灌入的材料必须在防渗体附近完全充填这些空隙, 因此材料的消耗量比较大, 如彭水的围堰防渗共耗水泥 1 万 t 以上<sup>[1]</sup>, 施工的工程量巨大。同时, 由于需要渡汛, 施工工期也很短, 如彭水电站从大江截流到闭气只有 3 个月时间<sup>[1]</sup>。(2) 动水条件。由于施工工期短, 同时围堰是临时建筑物, 因此很多土石围堰所做的黏土心墙质量较差, 尤其是水下部分的心墙, 或干脆就不建黏土心墙, 加上这种围堰的架空结构比较严重, 因此, 即使是在上下游水位差不大及渗径较长的情况下, 在围堰中仍可能存在流动水体, 该水流还可能具有相当大的流速。(3) 钻孔难度大。由于地层存在严重的架空结构和流动水体, 钻孔难度大, 采用泥浆护壁, 泥浆的流失量会很大, 因此需要采用跟管护壁的方式进行钻孔。

## 2 常用防渗技术

高喷灌浆、静压灌浆、混凝土防渗墙是比较成熟的土石围堰防渗施工方法, 但其运用在架空结构严重的土石围堰上, 尤其是当施工工期很短时, 都存在着难以克服的困难。

(1) 混凝土防渗墙。在架空结构严重的地层中进行防渗墙施工, 存在着护壁泥浆大量漏失的问题, 不仅直接增加了泥浆的工程量, 而且伴随着泥浆的漏失, 容易出现塌孔、塌壁等孔内事故, 将直接影响整个防渗工程的工期。另外, 架空结构地层中通常含有的大块石强度较高, 对造孔施工造成很大的困难,

收稿日期: 2006-02-06

作者简介: 符平(1975-), 男, 湖南永顺人, 博士, 工程师, 主要从事地基与基础处理方面研究。E-mail: fuping@iwhr.com

施工工期也难以满足整体要求。

(2) 高喷灌浆。高压喷射灌浆是利用土体在 10~ 30MPa 压力下能被切割、破坏的原理,采用高压喷射流的冲击力,对土体产生穿射、切割、搅拌、挤压作用,破坏地基土而后被浆液置换、充填、混合,形成浆液与土粒混凝土的防渗板墙结构。其一般不适用于粒径在 50mm 以上的砾石、卵石地基以及堆积松散、含有块石、存在大裂隙的基础<sup>[3]</sup>。如在架空结构严重的围堰地层中进行高喷灌浆,其对堰体很难产生破坏作用,因此实际上就是进行静压注浆。

(3) 静压注浆。在架空结构严重且有动水的地层中进行常规灌浆,灌浆过程可控性较差,尤其不能按返浆或有压的标准控制,而采用定量的标准灌浆结束时,对其效果的评价、可靠性等也难以确定控制。因此在架空结构地层可以采用静压注浆结合充填级配料进行灌浆,或者直接灌注砂浆、低级配混凝土等,但仍没解决水下凝固时间长的问题,在动水条件下其灌浆效果不显著。

(4) 双液灌浆。采用双液灌浆(如水泥-水玻璃、AG-MS、控制性灌浆等)在架空结构严重且有动水的地层进行防渗施工,由于需要充填架空部位,在施工过程中容易发生堵孔事故,且对其扩散范围和浆液的凝固等性能不好评价和控制,因此在施工过程中其效果评价和可靠性等难以确定。若结合充填级配料进行灌注,可能会取得比较显著的效果。

3 速凝膏浆技术

3.1 速凝膏浆的材料特性 水泥膏浆是指在水泥浆中掺入黏土、膨润土、粉煤灰等掺合料及少量外加剂而构成的低水灰比的膏状浆液,其基本特征是膏浆的剪切屈服强度值大于其本身重力的影响<sup>[4]</sup>。水泥膏浆主要性能是其具有抗水流冲释性能和自堆积性能,可以用于节理裂隙开度较大的岩体或堆石体的灌浆,其流动性能符合宾汉流体特性。速凝水泥膏浆是在普通水泥膏浆的基础上加入一定量的速凝剂配制而成,采用速凝水泥膏浆堵漏可以缩短和控制膏浆的凝结时间,有利于动水条件下的堵漏和防渗,能节省灌浆材料和时间。表 1 为彭水土石围堰防渗所采用的膏浆的配合比和物理力学指标。

表 1 重庆彭水电站所采用的膏浆物理力学性能指标<sup>[1]</sup>

编号	普硅水泥 /g	铝酸盐 水泥/g	膨润土 /g	水 /ml	W/C	W/S	初凝时间 /min	渗变系数		3d 强度 /MPa	7d 强度 /MPa	28d 强度 /MPa
								屈服强度/Pa	塑性黏度 /(Pa·s)			
1	200	50	200	500	2.00	1.11	> 180	158	0.121	5.4	7.9	9.7
2	200	100	200	500	1.67	1.00	95	247	0.258	7.9	9.1	11.3
3	250	100	200	500	1.43	0.91	40	329	0.325	8.5	10.5	13.2
4	250	150	200	500	1.25	0.83	25	517	0.472	10.4	12.2	13.8
5	250	200	200	500	1.11	0.77	15	652	0.614	12.1	14.6	16.2

注: 1. W/C 指的是水和水泥的重量比; W/S 指的是水和固体(膨润土和水泥)的重量比; 温度为室温。2. 3d、7d、28d 强度均指相应龄期的无侧限抗压强度。

速凝膏浆有 4 个主要的特征<sup>[5]</sup>: ①抗水流冲释性可以提高膏体作为整体抵抗水流的稀释和冲刷作用; ②宾汉体的流动特性和扩散特性可以使膏体能最大限度地充满架空地层; ③触变性可以提高膏浆的扩散范围和抗冲蚀能力; ④凝结时间可控性有利于膏浆适应于不同开度、不同流速的地层防渗施工,并可控制浆液的扩散范围。

3.2 速凝膏浆的施工工艺 (1) 施工设备。膏浆可以利用常规水泥灌浆的孔位进行灌浆施工,因此钻孔不需要特别的设备,但速凝水泥膏浆与普通水泥浆在性质上有较大的差别,因此需要采用特制的搅拌系统和泵入系统进行速凝水泥膏浆施工。如中国水利水电科学研究院研制的 M-1000 大容量高效制浆机可以搅拌浓度大于 2.5Pa·s 的膏浆<sup>[6]</sup>,且具有工效高、扭距大、寿命长、易于维护等优点。泵入系统可以采用混凝土泵、螺杆泵等。

(2) 工艺参数。膏浆的施工工艺参数一般可以参照常规水泥灌浆进行,可以采用自上而下、分段填压式灌注;膏浆的配比参照水泥灌浆通常分为 4~ 6 级,通过浆液变换标准逐级变浓;结束标准一般可按

孔口返浆或孔内有压(注意区分由于膏浆本身的黏滞阻力而产生的虚压力)。膏浆的孔排距根据现场地层情况确定,由于膏浆的屈服强度较大,因此其扩散范围受到一定约束,故孔排距应比水泥灌浆的孔排距小。为进一步提高灌浆效果,可在两排膏浆灌浆孔中间设置一排水泥灌浆孔。

(3)特殊工艺。①接力灌注法。由于膏浆自身的阻力较大,在运动过程中容易发热,会缩短浆液的凝结时间,且采用速凝材料,容易造成堵管和堵孔事故。同时在高流速、大开度的架空结构地层,对灌入的浆液要求不仅具有截断水流、自身凝固的特性,而且需要具有相当的流动性,能扩散到足够远的范围。采用接力灌注的方法,不仅可以大大减少堵管、堵孔事故发生的概率,而且由于灌浆泵直接位于所灌孔的附近,管路距离短,可以将相当稠度的膏浆泵入孔段内且在压力下扩散到一定的距离,实践表明,在块石架空地层膏浆扩散范围可达到 $4\sim 5\text{m}^{[7]}$ 。②膏浆的不连续灌注。在高流速、大开度地层进行堵漏灌浆通常采取的方法是提高浆液的灌注速度,使灌入的膏浆量远大于被水流冲走的膏浆量。利用速凝膏浆的自堆积、塑性黏度较高以及凝结时间可控的特点,在浆液扩散范围要求小于 $2\text{m}$ 的地层中,可以考虑对速凝膏浆进行不连续灌注。即膏浆在孔径不大的灌浆孔( $< 160\text{mm}$ )中可以克服自身的重力,在孔内形成浆柱,将膏浆凝结过程放在灌浆孔内完成,再灌入新拌制的膏浆,将具有一定强度的孔内膏浆挤入裂隙里,此时连续灌入膏浆以使已凝结的膏浆扩散到尽可能远的地方。③信息化灌浆。对于特大漏量和较高流速地层,速凝膏浆灌注难以奏效时,可结合孔内电视进行探测,判断灌段的地层情况,指导封堵措施,必要时可配合使用充填级配料、或采用模袋灌浆技术。

3.3 技术经济性分析 (1)技术性分析。速凝水泥膏浆由于具有水下不分散和较强的抗水流冲释性能、自堆积性能及易控的凝结时间等特点,可用于动水条件下的堵漏和防渗,能节省灌浆材料和时间,可以用于节理裂隙开度较大的岩体或堆石体的灌浆。

与常规水泥灌浆相比,具有灌浆过程易于控制,灌浆效果比较可靠,可减少浆液的浪费,且能在动水条件下凝结等优点,但需要专门的搅拌和泵入设备,施工工艺较复杂。

与混凝土防渗墙相比,膏浆施工具有造价低、工效高、施工工期及过程容易控制等优点,但防渗效果没有混凝土防渗墙可靠。

(2)经济性分析。依据《水利建筑工程预算定额》(2001年),以某地为例,计算出的各种防渗方案直接费用:常规水泥灌浆按干料耗量为 $1\text{t}/\text{m}$ ,参照定额70072,单价为 $1199.57\text{元}/\text{m}$ ,按两排孔距 $2\text{m}$ 考虑,帷幕的单价为 $1199.57/\text{m}^2$ 。防渗墙施工参照定额70090、70179,单价为 $1564.99\text{元}/\text{m}^2$ 。膏浆没有预算定额,参照定额70072,单价为 $1298.43\text{元}/\text{m}$ 。

3.4 膏浆及速凝膏浆的应用 (1)红枫水电站堆石坝体帷幕灌浆。红枫水电站大坝为木斜墙堆石坝,坝体上游干砌石楔形体为不规则块状灰岩,孔隙率达 $30\%$ ;下游部位为堆石体,孔隙率高达 $38\%$ 。防渗方案为坝体帷幕灌浆,经过大量的室内浆材试验及现场的灌浆试验,决定采用抗剪屈服强度大的膏状浆液,某由水泥、粉煤灰、黏土、赤泥和减水剂等多种材料混合而成,取得了良好的灌浆效果。

(2)海南龙塘水轮泵站坝基溶洞漏水封堵。海南龙塘水轮泵站基础上游发现漏洞30余处,某些洞口面积达 $25\text{m}^2$ 。由于库水渗漏,坝基第一层贝壳岩溶蚀形成空洞,坝底浆砌石底板已部分破坏,使坝基与坝身连通,坝体内填砂及坝基砂层被渗水携出。封堵时充分利用当地材料,坝基加固采用高掺黏土水泥膏浆材料,循环钻灌工艺,取得了较好效果。

(3)广西乐滩水电站 $10^\#$ 坝基堵漏。广西乐滩水电站旧坝左河槽斜坡地段岩体溶沟、溶槽及溶洞、溶蚀裂隙较发育,旧坝基础存在严重渗漏问题。由前期孔内电视、压水试验、连通试验和施工渗漏资料分析,旧坝与一期围堰接头处存在溶槽、溶洞,充填物基本已被掏空。前期堵漏施工主要采取灌注砂浆、混凝土浆,灌注效果不显著。后经采用速凝膏浆灌注,下游漏水点的渗漏量与堵漏前相比有明显的减少,从采用膏浆前的 $500\text{m}^3/\text{h}$ 减少到基坑开挖时的 $150\text{m}^3/\text{h}$ ,减少达到 $70\%$ 。

(4)重庆彭水电站围堰堵漏工程。重庆彭水电站围堰为土石围堰,大江截流、合龙后主要采用了高喷灌浆、静压注浆等措施进行围堰的防渗处理,对部分耗浆量大的孔采取了水泥-水玻璃双液灌注、控制性灌浆等处理措施,效果不明显。后采用速凝膏浆灌注,14d共完成防渗帷幕 $4\,500$ 余米,灌入膏浆 $4\,000$ 多立方米。闭气后经基坑抽水检查,围堰基坑内渗漏量与堵漏前相比有明显的减少,防渗效果显

著,达到了预期目的。

4 结语

(1) 在架空结构严重地层的防渗处理中采用速凝水泥膏浆灌浆堵漏技术是可行且有效的,速凝水泥膏浆是适合该种地层堵漏的有效材料之一。速凝膏浆具有遇水不分散和一定的抗水流冲释性能,具有良好的可灌性和可控性,与其他灌浆材料相比,具有灌浆效果明显、工效高、浆液浪费少等优点。(2) 对于较大漏量地层的堵漏灌浆应对灌浆材料和灌浆工艺进行适当的调整和改进。目前笔者已在室内试验出在普通速凝膏浆基础上加入增黏剂、增塑剂等外加剂的改性速凝膏浆,可以极大提高膏浆的黏性,增加膏浆的塑性和抗水流冲释能力。改性后的速凝膏浆泥浆用量较少,或不用泥浆,可以简化膏浆的施工工艺,节约灌浆成本。(3) 速凝膏浆有其特定的适用范围,对于特大漏量和较高流速地层的堵漏,速凝膏浆可能也无法满足要求,需要采取其他工艺和材料(如充填级配料、模袋灌浆等)进行处理。

参 考 文 献:

[ 1 ] 中国水利水电科学研究院. 重庆彭水水电站围堰现场咨询报告[ R ]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005.  
[ 2 ] 肖恩尚,等. 小湾水电站下游围堰防渗帷幕灌浆试验[ J ]. 基础处理技术, 2004, ( 4 ): 7- 11.  
[ 3 ] 郭继军. 高压喷射灌浆防渗技术在水库除险加固工程中的应用[ J ]. 内蒙古科技与经济, 2004, ( 8 ): 63- 64.  
[ 4 ] 符平,等. 水泥基速凝灌浆材料研究[ J ]. 水利水电技术, 2004, ( 4 ): 85- 87.  
[ 5 ] 符平,等. 速凝膏浆技术研究与应用[ J ]. 水利水电技术: 2005, ( 1 ): 63- 65.  
[ 6 ] 张金接,等. 大容量高效制浆工艺研究和应用[ J ]. 中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2 ( 3 ): 189- 193.  
[ 7 ] 中国水利水电科学研究院. 广西乐滩水电站 10# 坝基堵漏工程现场咨询报告[ R ]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004.

Seepage control technology for cofferdams with large rock cavities

FU Ping, ZHAO Wei quan, ZHANG Jin jie, YANG Xiao dong  
( Engineering Safety Supervision Center, IWHR, Beijing 100044, China )

**Abstract:** Embankment cofferdams are widely used in hydropower projects due to its easily obtained material and simple construction. Jet grouting, cement grouting and concrete cutoff walls are normal techniques for seepage control of cofferdams. In case of utilizing huge rocks as the construction material, some large cavities may be formed in cofferdams. This would bring about difficulties in seepage control. So application of the normal techniques was confined in cofferdams with large rock cavities or with short construction period due to several factors, such as, flowing water, rock-structure and available construction time, etc. This paper introduces the quick coagulating paste-slurry technique to be used for seepage control of embankment cofferdams and discussed its characteristics and relevant workability. A comparison is made for this method with the normal seepage control techniques. A few practiced examples of paste-slurry technology application were given. They show that the paste slurry technique is one of the effective and economical method for cofferdams with large rock cavities.

**Key words:** large rock cavities; cofferdam; quick coagulating paste slurry; seepage control techniques  
( 责任编辑: 韩昆 )