

水下不分散混合浆液在围堰防渗堵漏中的应用

向学忠, 邓树密

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 都江堰 611830)

摘要:高压喷射灌浆作为一种技术可行、经济合理、施工快捷的防渗方式在水力水电工程中广为应用,但在遇到强透水、大漏失等复杂地层结构时,高喷质量往往会受到一定影响。在这种地质条件下,就需要采取其它辅助手段配合高喷以确保防渗取得较好的效果。在总结各类复杂地层高喷施工经验的基础上,介绍了一种新型水下抗分散水泥混合浆液,其可弥补高喷灌浆在特殊地层中的局限性,使高喷防渗墙质量可靠性更进一步加强。

关键词:水下不分散;混合浆液;围堰防渗;防渗堵漏

中图分类号:TV52;TV551;TV543;TV223.4;TV42

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)05-0001-04

0 引言

围堰在水力水电工程施工过程中占有很重要的地位。尤其是在大江截流及大坝施工阶段,围堰施工进度与所形成围堰的防渗性能好坏直接影响到工程的进度与施工质量。围堰堰体主要由河床原始地层和人工填筑层堆砌而成,所处的地基一般多为砂层、大颗粒砂卵石层、淤泥层、孤石及漂石密集地层;所采用的原材料有砂、石、土以及混凝土等材质性能与材料尺寸相差很悬殊的堆积料;采用的堆积方式多采用自卸汽车直接往下卸料,大部分地方未按要求进行分层碾压,从而导致堰体密实性和土料间胶结力较差,加之堰体下部因填筑时自然筛分而形成的大颗粒石块,致使堰体底部架空现象普遍、严重,堰体抗渗能力较差。此外,一些河床由于受地层沉积和人工开采砂石等因素的影响,围堰基础层存在大块石、孤石和级配极不合理的卵(砾)石等,这些地层局部架空、透水性极强,同时还受到地下高速水流的影响,喷灌浆液流失严重,给围堰防渗增加了很大难度。

目前解决围堰防渗难题的主要手段有静压可控性灌浆、高压喷射灌浆、混凝土(固化灰浆)防渗墙等。混凝土防渗墙在理论上是最安全可靠的,完全可以单独采用,但其施工成本也是最高的。采用喷或灌为主的防渗方法因其对施工场地要求不高、投入的设备机具小、施工效率高、综合成本低,在方案的技术、经济方面比混凝土防渗墙具有更多的优越性,因而在围堰防渗中被广泛推

广应用,但是在遇到块石架空层和高水头、大流量、地下动水条件时,采用单一的、传统的以喷和灌为主的防渗处理方法很难对这些复杂地层进行有效处理。为了解决这些问题,也曾采取过多种技术措施,这些措施有利有弊,效果因地层情况差异较大,目前很难统一制定出一套可完全复制的技术措施、方法来应对复杂地层围堰防渗。笔者根据目前围堰防渗堵漏的实际应用情况,借鉴了国内外水下不分散混凝土水下浇筑所取得的良好成效的经验,构思了一种掺加了水下抗分散外加剂的水泥混合浆液灌浆来封堵漏失通道,这种浆液具有较强的抗冲刷和稀释能力,在地下水流速快、强透水的松散地层中尤为适用。

1 围堰防渗堵漏常用的几种方法比较

1.1 高压喷射灌浆

高压喷射灌浆(Jet grouting)技术于1968年首创于日本。20世纪70年代初,我国铁路、煤炭、水电及冶金系统相继引进并开始研究高压喷射灌浆技术,80年代以来,意大利、荷兰及前苏联等国也大规模采用该项技术。我国水电系统已于1980年首先将此项技术用于山东白浪河电站。90年代在二滩、小浪底和三峡工程完成了高喷防渗幕墙,其施工设备精良、技术先进,施工工期短,质量好,带动了我国高喷技术的发展。该项技术主要适用于人工填筑层、软土或砂砾石地层,具有施工速度快、造价低的特点;但在水头压差较大、含有较多漂石或块石的地层中应慎用。因为其在地下水流速大、块石架空层集中的部位使用时,由

收稿日期:2015-08-25

于浆液自身性能的局限而无法改变原有地层结构,往往造成浆液大量(有些几乎全部)流失而无法取得预期的效果。

1.2 常规静压灌浆

在架空结构严重且有动水存在的地层中进行常规灌浆,其灌浆过程可控性较差,而且往往不能按照返浆或有压的标准结束;而采用定量的标准结束时,其效果的评价、可靠性等难以控制。已有的研究表明:普通硅酸盐水泥在水下、尤其是动水下凝结的时间需要10 h以上,甚至发生假凝或不凝现象,因而无法取得预期效果,故其只适用于低水头、低渗压的地层。

1.3 可控性灌浆

在许多围堰工程实施中,由于在高水头、短渗径、高流速的条件下,常规灌浆施工一直无法取得较好的成效。许多研究者针对实际情况的需要,一直致力于具备抗水流冲释能力、具有不分散效果灌浆浆液的研究和开发。于是就诞生了可控性灌浆。在控制性防渗灌浆材料中,又以水泥膏浆和双液灌浆运用的最为广泛。

水泥膏浆通常指的是在水泥浆中掺入大量的粘土、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,其基本特征是浆液的初始剪切屈服强度值可以克服其自身重力的影响,其主要性能是抗水流冲释性能和自堆积性能,可以用于有中等开度(如10~20 cm)渗漏通道的一定流速、大流量的堆石体渗漏地层。双液灌浆是将水泥浆液与速凝浆液混合后灌入地层,利用其快速凝固的特点,在钻孔附近快速凝固成水泥结石而不会被水流带走。“双液灌浆”在国内早有应用,但未形成规模,且其施工工艺可行性差,理论上虽然可行,但在实际应用时的可操作性不强,尤其是双液如何混合和最佳胶凝时间如何控制,均有待于进一步研究。

2 水下抗分散水泥混合浆液的材料组成及特性

水下抗分散浆材是在借鉴国内外水下混凝土浇筑经验的基础上,在纯水泥浆液、水泥膨润土浆或水泥砂浆中掺入抗分散剂和专用调凝剂,以提高浆液分散介质的粘稠性,从而达到抗水稀释的目的。抗分散能力是指水泥混合浆液通过水域时抵抗水流冲刷稀释的能力。如果浆液的屈服剪切应力大或塑性粘度高,那么,在通

过水层时,水流无法将其稀释冲散,浆液表现出良好的抗分散性。

水下不分散水泥粘土浆液着眼于灌浆浆液自身性能的改善,即通过在普通水下水泥浆液中加入水下不分散外加剂(通常是水溶性高分子聚合物)来提高浆液的粘稠性,从而达到抗水冲刷的目的。抗分散剂由主剂和辅助剂组成。其中,主剂又被称为絮凝剂,主要作用是增稠,通过主剂的加入来提高水泥浆体的粘度。目前,所研制的抗分散剂的主剂大部分是水溶性纤维素醚或水溶性丙烯酸类的聚合物。根据其类型又分为缓凝型、普通型、早强型和双快型等几种,辅助剂的主要作用是减少浆液灌注时的吸水量、增加强度、改善浆液的流动性、降低增稠聚合物在浆液中的掺量,从而最终降低成本。可用于做辅助剂材料的种类很多,既有高分子聚合物,也有无机材料。在这些辅助剂中,最常用的辅助剂是减水剂。研究者在研制抗分散剂时,都会把减水剂作为其中的一个重要组分。原因有两点:一是由于掺加了絮凝剂的水泥浆液通过水层时,吸水量会有很大幅度的增长。掺入减水剂后,可以降低浆液的吸水量;二是从水下水泥浆液的流动性角度考虑,减水剂的加入,在水灰比不变的情况下,起到了增加流动性的作用,适合水下工程的施工。不同种类外加剂复配时存在相容性的问题,即两种或两种以上的材料复合使用时,是否能充分发挥其各自的效能。因此,辅助剂中的减水剂需能保证与絮凝剂之间的相容性好,两者不会影响各自效能的发挥。

3 水下抗分散水泥混合浆液的室内试验

3.1 试验材料的组成及成分

水下抗分散水泥混合浆液以普通水泥浆或水泥膨润土浆为基础,向浆液中掺加不同组成成分的其他材料,以提高浆液的塑性粘度,增加其塑性和抗水流冲释的能力。

(1)水泥:试验采用P. C42.5R普通硅酸盐早强型水泥。

(2)抗分散材料:选用中国石油集团工程技术研究院研制生产的UWB-II型絮凝剂和与之相配的调凝剂。该材料能使水下不分散混凝土在施工性能、抗分散性能、流动性能、塌落度损失控制及物理力学性能等方面都有了突破性的提高。其具有搅拌粘度和输送阻力小、抗分散性能好、流

动性好、强度高、凝结时间可调范围大、掺入方法简单等特点,它是一种粉末状物质,能够赋予普通混凝土(砂浆)超强的抗分散性、适宜的流动性和满意的施工性能,用于围堰防渗可以解决高速水流条件灌(喷)入地层中浆液严重流失的技术难题,其推荐掺入量为水泥重量的2%~3%。

3.2 浆液室内性能参数测试

本次室内试验采用水灰比为1:1、0.8:1、0.6:1、0.5:1等四种纯水泥浆,在其中分别掺入了不同数量的絮凝剂和调凝剂,分析测试浆液的粘度、初凝时间、终凝时间、7 d和28 d的抗压强度等指标。各种性能指标对比情况分别见表1至表3。

表1 参加不同数量絮凝剂的浆液性能指标表

试验浆液编号	UWB-2 掺量 /%	UWB-T 掺量 /%	马氏漏斗粘度 /s	初凝时间 /min	终凝时间 /min	7 d 抗压强度 /MPa	备注
A1	0	0	30	604	697	7.8	
A2	2	0	49	747	1 193	7.2	
A3	3	0	76	816	1 550	6.5	
A4	4	0	大于150			5.9	
A5	5	0	滴漏			5.1	

注:环境温度20℃,水灰比均为1:1,UWB-2型絮凝剂掺入量为2%~5%,UWB-T调凝剂不参加。

表2 相同絮凝剂掺入量、不同调凝剂掺入量的浆液性能指标表

试验浆液编号	UWB-2 掺量 /%	UWB-T 掺量 /%	马氏漏斗粘度 /s	初凝时间 /min	终凝时间 /min	7 d 抗压强度 /MPa	备注
B1	0	0	30	604	697	7.8	
B2	2	3	52	739	1 186	7.1	
B3	2	5	100	789	1 380	6.3	
B4	2	8	超过150	721	798	5.8	
B5	2	10	滴漏	650	700	4.3	

注:环境温度20℃,水灰比均为1:1,絮凝剂和调凝剂掺量均为水泥重量的百分比。

表3 相同絮凝剂掺入量与不同水玻璃掺入量的浆液性能指标表

试验浆液编号	絮凝剂掺量 /%	水玻璃掺量 /%	马氏漏斗粘度 /s	初凝时间 /min	终凝时间 /min	7 d 抗压强度 /MPa	28 d 抗压强度 /MPa	备注
C1	0	0	35	576	627	9.6		
C2	2	2	56	747	1193	7.8		
C3	2	3	超过150	830	890	7.1	42	
C4	2	4	滴漏			6.5		
C5	2	5	滴漏			5.8		

注:环境温度20℃,水灰比均为0.8:1,絮凝剂和调凝剂掺量均为水泥重量的百分比。

从表1至表3的数据可以看出:在相同水灰比、不掺加速凝剂的情况下,浆液马氏漏斗粘度随着UWB-2型絮凝剂掺入量的增加而增大,在掺入量达到4%时,黏度超过150 s;当掺入量达到5%水泥重量时,浆液流动性极差,呈半胶凝状态,马氏漏斗粘度计显示为滴漏状态。初凝和终凝时间随着掺入量的不断增大而延长,而抗压强度也随着絮凝剂掺入量的增加而呈降低的趋势。在絮凝剂掺入量不变的前提下,在浆液中加入速凝剂以改善浆液性能、加快凝结时间,采用了UWB-T专用调节胶凝时间的干粉材料和常用的水玻璃速

凝剂两种材料进行对比,试验室测试结果表明:两种速凝材料均能在一定程度上缩短浆液凝结时间,但UWB-T专用速凝剂掺入后反应迟缓,只有当掺入量达到一定数量后其所起的作用才明显。本次实验的掺入量最大为10%,而水玻璃掺入后反应速度较快,对加快浆液凝结时间起到的作用更加明显。在抗压强度方面,UWB-T掺入量达到一定数量时对强度影响不大,掺入量达到一定值后,对强度有降低的影响,而水玻璃掺入后抗压强度有上升趋势,在本次试验水玻璃的最大掺入量为水泥重量的5%,掺入后,强度较加入前

明显提高。

根据上述试验数据,结合围堰防渗施工现场可能遇到的各种不利因素进行综合分析,最终选择 B4、B5、C3 和 C4 等四种配比的浆液更有利于围堰的防渗灌注,B5 和 C5 两种配比可根据现场漏失情况在添加适量膨润土或砂后搅拌成类似膏状的浆材进行大漏失段的封堵。

4 室内模拟灌注试验

4.1 试验方法

为了验证采用水下抗分散剂后的水泥浆在动水条件下和架空层中的堵漏效果,采用了两个废弃的强制式混凝土拌合机上料斗,现场分别装满直径为 20~40 cm 的卵石,其中间不含任何填充物,在其下端开一个直径为 20 mm 的小孔,分别灌注 0.5:1 的纯水泥浆和水灰比为 1:1、外掺 2% UWB-2 絮凝剂及 8% UWB-T 型调凝剂的不分散浆液。

为了更准确地模拟地下水条件,在两个试验料斗内各放置了一根水管,在灌注过程中,供水管路始终以 40 L/min 的流量连续向两个集料斗中的卵石层中给水。根据灌注前的准备情况,每个料斗灌入 250 L 浆液,原则上要求全部灌入卵石层中,3~7 d 后检查浆液胶结情况。

4.2 试验情况

采用 0.5:1 纯水泥浆灌注的料斗由于卵石中没有填充物,架空情况严重,灌注的浆液被水稀释后直接从底部小孔流出,连续输送约 100 L 浆液后停止,灌后的检查发现浆液几乎全部流失。另一组采用外掺絮凝剂和调凝剂搅拌形成的水泥混合浆液灌注,持续灌注量约 100 L 后即可看到料斗底端小孔渗漏量明显减少,继续灌注量达到 200 L 时,底部漏失孔被完全封堵住,卵石中的孔隙全部填满浆液。灌注完成 7 d 后检查水泥结石情况时发现:采用纯水泥浆灌注的几乎没有结石,而采用水下抗分散水泥混合浆液灌注的水泥结石率可以达到 85% 以上。

现场模拟灌注试验结果表明:水下抗分散水泥混合浆液各项性能指标基本达到要求,防渗堵漏效果与预计目标基本接近,完全可以用于大漏失、高水头、地下水条件下的围堰防渗工程中。

5 不分散混合浆液在围堰防渗堵漏工程中的应用

5.1 工程概况



图1 灌注前卵石层结构图



图2 采用不分散浆液灌注后情况

四川某水电站利用河床明渠导流,分两枯施工,一枯施工右岸部分,围堰堰体采用土工膜防渗,堰基设计采用高喷防渗,高喷防渗墙分两期施工。一期围堰高喷轴线施工长度 597 m,分为上游横向围堰、河床纵向围堰和下游横向围堰三段,基坑截水总面积约 3 万 m^2 ,属于较大型基坑:高喷孔单排布置,孔距 1 m,孔深深入岩石 0.5 m,钻孔深度为 10~31 m。

河床地层以砂卵(砾)石为主。由于人工采砂的影响,粒径小于 25 mm 的细骨料和砂含量少,河床地层扰动深度接近基岩,下覆岩石由粉砂质泥岩、泥质粉砂岩及砂岩组成。

一期围堰采用双重管法进行高喷防渗,完成后基坑抽水时发现基坑有明显的渗漏点,尤其是下游横向围堰合拢段出现了几处渗漏点,随着基坑开挖逐渐加深,坑内外水头不断增大,渗漏量越来越大且开始冒浑水,不断有砂颗粒带出,为防

(下转第 78 页)

施工仓面信息、混凝土原材料检验信息、混凝土试验信息、混凝土生产信息、缆机运行信息、坝体混凝土温度信息、灌浆信息、施工进度信息等与质量和进度紧密相关的各基础信息的实时采集、传输、共享与分析,并开展了全过程进度仿真分析,确定了大坝混凝土浇筑缆机配置和仓层厚度方案,工程成功赶回了因坝基开挖滞后等不利因素而影响的9个月工期,电站按照可研工期发电,工程质量经受住了300 m级特高水头的考验,丰富了特高拱坝优质快速施工关键技术,可为国内外同类工程提供借鉴。

参考文献:

[1] 朱伯芳. 混凝土坝的数字监控[J]. 水利水电技术, 2008,

39(2): 15-18.
[2] 李惠,周文松,欧进萍,等. 大型桥梁结构智能健康监测系统集成技术研究[J]. 土木工程学报,2006,39(2): 46-52.
[3] 钟登华,吴康新,练继亮. 基于多Agent的混凝土坝施工仿真与优化研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(2): 485-489, 498.
[4] 王继敏,段绍辉,郑江. 锦屏一级拱坝建设关键技术问题[A]. 水库大坝建设与管理中的技术进展——中国大坝协会2012学术年会论文集[C]. 郑州, 2012.

作者简介:

郑江(1986-),男,四川西昌人,工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第4页)

止出现管涌,经过现场仔细勘查后决定立即采取措施对渗漏点进行处理,通过对几种处理方案比较分析后确定采用水下不分散浆液灌注。

5.2 实施方案及效果

根据现场情况,将灌浆孔布置在原高喷灌浆孔中间,孔距1 m,深度入岩0.5 m,根据钻孔漏风、返水、返渣等情况进行分析后,确定重点处理孔深以下9~18 m范围。灌注水灰比采用0.8:1、0.6:1和0.5:1三种,絮凝剂掺量为2%,调凝剂掺量为10%。首次灌注时,由于存在水头差,部分浆液沿着基坑内的漏失通道流出,于是将第一次序孔在孔深10~15 m处改用螺杆泵灌注水下不分散膏浆,这种膏状浆液由水泥浆、膨润土、砂子、絮凝剂和水玻璃速凝剂等组成,第二次序孔根据漏失情况决定采用水下不分散水泥混合浆液或不分散速凝膏浆灌注。通过实施,在原高喷轴线一共布置了35个孔,灌注完成后,出现较大漏失通道部位完全被封堵住。1个月后,在这些部位进行了钻孔取芯检查,从该部位取出的岩芯可以看出:岩芯多呈柱状结构,卵砾石与水泥浆包裹密实,芯样抗压强度超过20 MPa,渗透系数小于 1×10^{-5} cm/s,完全满足该工程防渗要求。

6 结语

水下抗分散水泥混合浆液作为一种新型防渗

灌浆材料具有在水下不分散、抗水性强、胶凝过程中粘度不断增大、不容易被地下水带走、凝胶时间可以通过速凝剂调节等优点,其性能指标优于普通水泥浆、水泥砂浆和水泥-水玻璃双组分浆液,可以作为高水头、大流量和动水条件下的防渗堵漏材料。试验结果充分表明:按照不同地层条件和要求配置的不分散浆液,完全可以满足各类水工围堰的防渗要求。

复杂地层围堰防渗一直是一个难题。如何在保证围堰防渗可靠的前提下,优化设计和施工方案,采取最经济、科学、合理的方法是每一个从事防渗工程设计和施工的技术人员都值得探讨的技术问题,对于笔者提出的水下不分散水泥混合浆液其实也是具有适用范围和局限性的,比如扩散半径、灌浆压力、灌注量的控制等都需要进一步深入研究和大量的实践来验证。在此,笔者希望对这方面感兴趣的专业技术人员不断探索、研究,以推动围堰防渗堵漏技术水平的不断提高。

作者简介:

向学忠(1970-),男,重庆丰都人,基础工程分局局长,高级工程师,从事水利水电施工与技术管理工作;
邓树密(1971-),男,四川广安人,基础工程分局总工程师,教授级高级工程师,从事水利水电、房屋建筑工程施工与技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)