

水泥-粉煤灰浆液在水电站隧洞灌浆中的应用

刘华, 王勇, 杜林, 黄芬

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610072)

摘要:针对三叉水电站引水隧洞IV标段围岩地质条件,详细分析了水泥-粉煤灰浆液在该工程引水隧洞灌浆中的应用情况。从应用情况综合分析可以得出,隧洞灌浆采用水泥-粉煤灰浆液是可行的,完全能满足设计要求,在保证灌浆质量的前提下,可以降低部分施工成本,具有较好的推广应用价值。

关键词:水泥-粉煤灰浆液;回填灌浆;固结灌浆;可灌性

中图分类号:TU543 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2012)04-0076-04

Application of Cement & Fly Ash Slurry in Tunnel Grouting of Hydropower Station/LIU Hua, WANG Yong, DU Lin, HUANG Fen (Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan, 610072)

Abstract: Application of cement & fly ash slurry in a tunnel grouting of hydropower station was analyzed, according to the geological conditions of surrounding rock in contract section IV, tunnel grouting by cement & fly ash slurry was feasible to satisfy the design requirement with lower construction cost.

Key words: cement & fly ash slurry; backfill grouting; consolidation grouting; groutability

1 工程概况

涪江上游虎牙河梯级二级三岔水电站位于四川省绵阳市平武县境内,工程枢纽主要有拦河坝、发电引水建筑物、发电厂及升压站等建筑物组成。

引水隧洞岩性为前震旦系碧口群上部岩组的凝灰质千枚岩、凝灰质变质砂岩,但以凝灰质千枚岩为主,洞内岩体微风化,局部岩层裂隙发育较破碎,岩层走向与洞轴线近平行,隧洞位于地下水位以下。该段地质条件较差,还有虎牙关断裂带穿过该段范围,4号支洞洞下游山体表面有一条小河沟流过,地下水流相当丰富,且承压水压力较高,对引水隧洞衬砌和灌浆施工有较大影响。

鉴于引水隧洞IV标段(桩号8+537.30~5+180.50)地质条件较差,设计要求先对衬砌混凝土顶拱进行回填灌浆,然后对隧洞围岩进行全面固结灌浆来进行加固。回填灌浆孔排距3m,每排为2、3孔交错布置,最大灌浆压力为0.3MPa;固结灌浆孔排距3m,每圈6孔,孔深深入基岩3m,灌浆压力0.5MPa。

主要工程量为:回填灌浆1.1万m²,固结灌浆2万m。

2 灌浆材料

2.1 水泥

收稿日期:2011-12-08

作者简介:刘华(1975-),男(汉族),四川内江人,中国水利水电第十工程局有限公司基础工程分局副总经济师、工程师,从事水利水电地基与基础工程施工、技术和经营管理工作,四川省都江堰市蒲阳路164号基础工程分局(611830),dzhuangfen@163.com。

灌浆规范要求,灌浆水泥的细度要求通过80μm方孔筛的筛余量>5%,必须符合质量标准,受潮结块者不得使用。本工程采用42.5R普通硅酸盐水泥,物理力学性能指标见表1,试验结果表明符合国家标准。

表1 水泥性能试验成果表

名称	凝结时间/min		安定性	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
	初凝	终凝		7d	28d	7d	28d
工程所用 42.5R水泥	165	220	合格	4.86	7.24	23.5	43.8
国家标准	≥45	≤600	合格		≥7		≥42.5

2.2 粉煤灰

粉煤灰用于灌浆的作用机理是粉煤灰的主要成分为具有活性的氧化硅、氧化铝和氧化铁,它们在常温下与水泥水化物氢氧化钙发生二次反应,生成的水化物具有水硬性,可促进结石强度的增长,尤其是结石后期强度有较大的增长。

根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148-2001)要求,粉煤灰可选用I、II、III级,各级粉煤灰的品质指标应符合《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055-2007)要求,本工程所用粉煤灰质量经四川省建筑工程质量检测中心鉴定属于II级,主要化学成分和物理性能分析见表2。

本工程引水隧洞灌浆选用粉煤灰作为其中一种

表2 粉煤灰主要性能指标检测成果表

级别	化学成分/%						物理性质				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	烧失量/%	细度(45 μm方孔筛筛余量)/%	需水量比(PW)/%	含水率/%	密度/(t·m ⁻³)
Ⅱ级	48.1	35.6	5.1	1.5	0.76	0.24	7.1	18	102	0.2	1.95
DL/T 5055 标准						≤3	≤8	≤20	≤105	≤1	

灌浆材料的主要目的是在保证工程质量的前提下节约成本投入。

3 粉煤灰用于水泥灌浆的优点

粉煤灰具有火山灰活性、特定颗粒尺寸和形状以及密度较小等特点,其主要颗粒形状是含漂珠等球状粒子的结合体,并具有光滑而致密的外壳,有较好的珠体润滑减阻特性,因而有较好的可注性和渗透性。粉煤灰本身并无胶凝性,但在细微分散形式下和有水分存在时,它能与碱发生反应而生成胶凝性产物。与水泥一样,粉煤灰也是粒状材料,在水中容易沉积。在纯水泥浆液中加入粉煤灰可以代替砂作为填充物,同时在水泥的作用下粉煤灰也产生胶凝性,这有利于浆液结石体强度的提高。其优点主要表现在以下几个方面:

- (1) 提高强度和抗化学侵蚀能力;
- (2) 易于泵送和灌注并降低泌水率和沉降;
- (3) 减少材料的收缩值;

(4) 掺用了粉煤灰的注浆材料具有流动性能好、便于施工、减少施工设备磨损和提高抗渗性等优点。

4 水泥-粉煤灰浆液的试验

根据本工程的特点,浆液性能试验的目的是通过比较粉煤灰掺入量不同的水泥-粉煤灰浆液与纯水泥浆液的各种技术指标,得出适用于本工程隧洞灌浆的水泥-粉煤灰浆液中粉煤灰的最佳掺入量,为指导下一步正式施工提供技术保证,从而确保引水隧洞灌浆在满足设计要求的强度、抗渗性、耐久性和整体性等条件下,节约水泥,降低成本,产生一定的经济效益。

根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148-2001)要求,结合引水隧洞地层状况,顶拱衬砌混凝土与围岩之间存在空腔,回填灌浆以充填为主,但又要达到设计强度要求,试验水灰比采用1、0.6两个比级(质量比),粉煤灰掺入量为水泥质量的50%;固结灌浆目的是改善岩石的物理力学性质,对于引水隧洞来说就是对隧洞开挖爆破影响

范围的围岩(松动圈)进行补强和加固,灌注浆液形成的结石必需达到强度要求,为达到这个目标,固结灌浆应适当控制粉煤灰掺入量,因此选取粉煤灰掺入量为水泥质量的30%、40%和50%三种进行试验,最大掺入比为水泥质量的一半,水灰比依次采用2.1、0.8、0.6四个比级,不同水灰比和粉煤灰掺入量的水泥-粉煤灰浆液性能试验结果见表3。

表3 不同水灰比和粉煤灰掺入量的浆液性能对比表

编号	水灰比	粉煤灰掺入量/%	析水率/%	漏斗粘度/s	28天结石强度	备注
1		30	51	21	9.5	
2	2	40	40	17	9.1	
3		50	35	15	9.4	
4		30	15	30	15	
5	1	40	15	40	15	
6		50	13	68	15	包括回填和固结
7		30	8	60	21	
8	0.8	40	4	150	20	
9		50	3		21	
10		30			34	
11	0.6	40			32	
12		50			32	包括回填和固结

分析表3,可以得出如下结论。

(1) 在水灰比相同的浆液中,随着粉煤灰掺量的增加,浆液粘度增加,析水率逐渐减小。

(2) 在水灰比相同的浆液中,随着粉煤灰掺量的逐渐增加(在30%~50%范围内),对浆液结石强度的影响变化不大,因此说明,在水灰比不变的条件下,控制粉煤灰掺入量在一定范围之内,不会降低浆液结石强度。

(3) 粉煤灰掺量相同时,水灰比越小,即浆液中水泥含量越大,浆液粘度和结石体抗压强度越大。水泥容重约为水的3倍,它与水混合后,其颗粒悬浮于水中。水量相同时,水中的水泥颗粒数目越多,颗粒之间相互碰撞摩擦的机会就越多,参与水化反应的颗粒也就越多,水泥颗粒就越不容易下沉,浆体稳定性就越好,从而促使浆液凝结硬化速度加快。在水泥浆液中掺入粉煤灰,浆体早期强度性能随粉煤灰掺量增加而下降,后期强度有所提高。这是由于在早期,水泥水化还不充分,Ca(OH)₂浓度低,粉煤灰活性得不到充分发挥,使得浆体早期强度低;而在

后期,在 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 激发下,粉煤灰的活性得到了发挥,使得后期强度提高。但若粉煤灰掺量过多,水泥水化作用所产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 太少,使粉煤灰的活性得不到充分发挥,浆体后期强度也得不到提高。

(4)水泥浆液掺入粉煤灰后,由于粘度增大,可灌性减弱。因此,在实际应用中,粉煤灰掺量应视岩石裂隙宽窄、连通性,隧洞缝隙、空隙大小和浆液水灰比而定。一般水灰比为 2 时,可掺入水泥质量 10%~50% 的粉煤灰;水灰比为 1 时,可掺入水泥质量 30%~50% 的粉煤灰;水灰比为 0.8 时,可掺入水泥质量 10%~30% 的粉煤灰。

根据试验结果,结合本工程实际情况,综合考虑浆液的性能和造价等因素,实际施工回填灌浆选择的粉煤灰掺入量为 50%,即采用了编号 6 和 12 的配比进行灌注,固结灌浆选择的粉煤灰掺入量为 50% (水灰比 2 和 1) 和 30% (水灰比 0.8 和 0.6) 两种,即采用了编号 3、6、7、10 的配比进行灌注。

5 灌浆施工

5.1 设备机具

制浆采用 ZJY-400 型高速搅拌机,转速 1200 r/min,拌制能力 400 L/min。灌浆采用 SGB6-10 型高压灌浆泵进行灌注,该泵的排量和压力满足灌浆要求,且该灌浆泵能灌注水泥砂浆和水泥粉煤灰混合浆液,有利于回填灌浆及大渗漏带的封堵。为保证灌注资料的真实有效,灌浆全过程使用自动记录仪进行监控。

5.2 灌浆方法

引水隧洞灌浆遵循先回填后固结、分序加密的原则,固结灌浆施工采用分序加密的原则进行施工,即环间分两序,环内加密施工,并用孔口封闭、纯压的方式灌注,回填灌浆采用预埋灌浆管填压式灌注。

5.3 浆液变换原则

回填灌浆采用 1 和 0.6 两个水灰比进行灌注,固结灌浆采用 2、1、0.8 和 0.6 四个水灰比进行灌注。浆液浓度应由稀到浓逐级变换,宜多灌浓浆,浆液变换原则为:

(1)当灌浆压力保持不变,注入率持续减少时,或当注入率不变而压力持续升高时不得改变水灰比;

(2)当某一比级浆液的注入量已达 300 L 以上或注入时间已达 30 min,而灌浆压力和注入率均无改变或改变不明显时,应改浓一级;

(3)当注入率 $> 30 \text{ L/min}$ 时,可根据具体情况

越级变浓;

(4)灌浆过程中发现冒浆、漏浆处理措施:采用低压、浓浆、限流、限量、间歇等方法进行处理,当灌浆段水泥注入量 $> 1 \text{ t/m}$ 时,可灌注水泥砂浆或掺入 3%~5% 水玻璃灌注。

5.4 结束标准和封孔

回填灌浆的结束标准:在灌浆设计压力下,灌浆管停止吸浆,并继续灌注 10 min 即可结束,灌浆结束后,排除孔(管)内积水和污物,采用浓浆将全孔封堵密实和抹平,对于预埋管则还需将露出衬砌混凝土表面的埋管割除。

固结灌浆的结束标准:在规定压力下,当灌浆孔段注入率 $\geq 1 \text{ L/min}$,持续灌注 30 min,即可结束,灌浆结束后,清除孔内的积水,采用水灰比 0.5 的纯水泥浆液进行“机械压浆封孔法”封孔,并用水泥砂浆将孔口封填密实打抹平整。

5.5 质量检查

三岔水电站隧洞灌浆施工中均掺入了 30%~50% 的粉煤灰,在灌浆施工完成 7 天后布置了总孔数的 5% 进行检查孔施工,检查结果均符合设计要求,达到质量标准,说明水泥粉煤灰浆液在该工程隧洞灌浆施工中应用成功。

6 经济效益

三岔水电站隧洞灌浆工程中,我单位施工范围共使用 42.5R 普通硅酸盐水泥 5600 余吨。为确保本项目合同工期,在前期进行水泥-粉煤灰浆液回填灌浆试验的同时也在采用常规的水泥浆进行灌注,根据统计资料,采用外掺粉煤灰灌注部分消耗水泥共计 4500 余吨,掺加粉煤灰 1900 t,平均掺入量 42%,比灌注纯水泥浆液节省约 50 余万元的材料成本,产生了一定的经济效益。

7 粉煤灰用于灌浆工程存在的不足

水泥-粉煤灰浆液用于该工程隧洞灌浆,既保证了质量,又节约了部分水泥。在取得成功的同时,通过试验和实际应用也发现了粉煤灰用于灌浆仍然存在一些缺点,主要表现在:

(1)活性较低,因而胶结特性不好,需要添加外加剂来提高和改善其活性;

(2)早期强度偏低,使其在注浆工程中的应用受到了局限,针对该缺点,通过查阅相关资料,可采用添加外加剂提高早期强度,满足各类灌浆工程的要求。

8 结语

由于三义水电站引水隧洞IV标段凝灰质千枚岩是一种抗压强度低、吸水率高的较软岩石,部分岩层内具有弱透水性,采用外掺粉煤灰进行回填和固结灌浆施工,完工后回填灌浆通过物探和钻孔取心检查,基本上没有发现空腔存在,完全满足设计要求。固结灌浆前隧洞内多处存在不同程度的渗漏现象,采用水泥-粉煤灰灌浆完成后隧洞内明显渗水部位大大减少,外观检查隧洞基本无渗水现象。总体评价回填灌浆完全充填了顶拱混凝土与围岩之间间隙,充填连续、完整和密实,固结灌浆还深入了极其细微的岩石裂缝(隙),在改善岩石物理力学性质的同时,还起到了一定的防渗作用。

粉煤灰作为一种灌浆材料在水利水电灌浆工程已经有较多的应用实例,但这些多数以大空腔、大漏失段、高速水流等特殊地层的处理为主,全面用于引水隧洞回填和固结灌浆中的实例并不多,通过本工程应用,总结出以下几点供继续推广和使用参考。

(1)室内试验和在本工程中的应用证明,在隧洞灌浆中掺加一定比例的粉煤灰是完全可行的,是能够满足工程需要和设计要求的。

(2)通过试验证明,只要控制粉煤灰掺入量在一定比例范围内,不但不会降低灌注浆体结石抗压强度,反而能在一定程度上提高结石体后期强度。

(3)水泥-粉煤灰浆液拌制时,应先注水拌制

粉煤灰,然后加入水泥低速搅拌一定时间,接着再高速搅拌 3 min 才能使用。这样拌制的浆液均匀,稳定性好,可灌性也好。

(4)由于水泥-粉煤灰浆液早期强度较低,特别是粉煤灰掺量较大时,水泥水化产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 不多,使大部分粉煤灰活性得不到发挥,强度得不到利用。因而在有特殊要求的灌浆工程中,应进行掺加固化剂提高其早期强度的试验研究。

(5)水泥-粉煤灰浆体比纯水泥浆体抗溶蚀性能好,可提高防渗体耐久性。这种浆液可在隧洞回填灌浆、基础帷幕灌浆及病害工程防渗加固处理等工程中推广应用。

参考文献:

- [1] 陈礼仪,朱宗培,杨俊志,等.高活性粉煤灰注浆材料的防渗特性及在帷幕灌浆工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2000,(5).
- [2] 钟维昭,陈阳,等.水泥-粉煤灰浆液试验及其在隧洞回填灌浆中的应用[J].建井技术,2003,(6).
- [3] 廖双明,长民强,等.粉煤灰水泥灌浆在堆石体防渗止水中的应用[J].浙江水利科技,1999,(4).
- [4] 陈礼仪,朱宗培,吴丽,等.高活性粉煤灰注浆材料性能和应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),1999,(4).
- [5] 于跃勋,张新中.粉煤灰在基础灌浆材料中的应用[J].粉煤灰综合利用,1999,(3).
- [6] 陈礼仪,王胜,等.粉煤灰灌浆材料的研究与应用[J].成都理工大学学报(自然科学版),2007,(2).

河南找矿突破战略行动动员部署会议在郑州召开

河南省国土资源厅消息(2012-04-09) 2012年4月6日,全省找矿突破战略行动动员部署会议在郑州召开,会议的主要任务是:深入贯彻落实《找矿突破战略行动纲要(2011~2020年)》和全国找矿突破战略行动动员部署电视电话会议精神,总结我省近年来地质找矿工作,加快推进找矿突破战略行动,进一步提升矿产资源保障水平,为中原经济区建设提供更加有力的支撑。会议由省政府胡五岳副秘书长主持,国土资源部汪民副部长、张大卫副省长等领导出席会议并讲话。

郭公民副厅长首先宣读了关于表彰钻探大赛获奖人员和单位、省地质勘查找矿突出贡献单位和集体、2011年度全省十大找矿成果获奖单位的决定,并举行了颁奖仪式。随后,张启生厅长在会议上作了工作报告,总结了省开展地质找矿工作的基本做法,深入分析当前的形势和任务,对推进我省找矿突破战略行动进行了具体部署。

汪民副部长、张大卫副省长分别作了重要讲话,汪民副部长对我省地质找矿工作给予了充分肯定,对扎实开展找矿突破战略行动作了一系列重要指示,他指出,国务院办公厅

转发的《找矿突破战略行动纲要》,其核心要求是实现“三五八战略目标”,即三年实现重大进展,五年实现重大突破,八到十年重塑地质矿产勘查开发新格局。要创新管理机制体制,推行“公益先行、商业跟进、基金衔接、整装勘查、快速突破”的地质找矿新机制,鼓励并支持风险勘查、资本和技术密切结合、探采一体化等创新机制。张大卫副省长指出,当前河南省正处于加快中原经济区建设的关键时期,能否实现持续稳定的矿产资源保障,对于实现“三化”协调科学发展至关重要。河南省实现找矿突破战略行动,应全面贯彻落实国家找矿突破战略行动的重大决策部署,将“重在突破”要求贯穿找矿突破战略行动的始终,积极稳妥地推进矿产资源勘查开发“走出去”战略,着力提高矿产资源节约与综合利用水平。

各省辖市分管副市长和国土资源局局长、省直管县试点县(市)、国家级整装勘查区所在县(市)分管副(县)市长和国土资源(地矿)局局长、省直相关厅局负责同志、中央驻豫单位及有关企业负责同志等近500余人参加了这次会议。