

浅孔高压固结灌浆在高水头、小断面引水隧洞中的应用

熊天智, 陈彦好

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 以老挝南湃水电站引水隧洞为工程实例, 介绍了高水头、小断面引水隧洞高压固结灌浆采用的施工方法, 对弱透水岩层隧洞灌浆进行了总结分析, 可为类似工程的隧洞灌浆提供参考。

关键词: 老挝; 南湃水电站; 高水头; 引水隧洞; 高压固结灌浆

中图分类号: TV7; TV554; TV543 + .5

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2017)06-0086-03

1 概述

老挝南湃水电站为高水头、长引水式电站, 引水系统由左岸引水隧洞和压力钢管两部分组成, 总长 8 247 m, 其中隧洞段长 6 739.4 m, 压力钢管段长 1 507.47 m。

引水隧洞进口底板高程为 1 114 m, 总长度为 6 739.4 m, 隧洞由 3 段平洞和 2 段竖井组成, 3 段平洞纵向坡度分别为 $i = 1.7\%$ 、 0.5% 、 0.5% 。末端高程分别为 1 075.04 m、848 m、629.96 m, 对应长度分别为 2 390.89 m、2 298.65 m、1 530 m。隧洞采用圆形平底断面, 开挖洞径为 4.4 m (宽 2.75 m), 衬砌后底宽 2.47 m。

上平段主要以常规固结灌浆 (最大灌浆压力为 2 MPa) 作为基础处理手段, 中平段和下平段为高压固结灌浆 (最大灌浆压力分别为 4 MPa 和 7 MPa, 中平段为无盖重高压固结灌浆)。

引水隧洞下平段围岩以中厚层凝灰岩为主, 局部间夹薄层黑色板岩或薄层凝灰岩, II 类围岩约占 6.33%, III 1 类围岩约占 41.44%, III 2 类围岩约占 40.57%, IV 类围岩约占 11.66%。衬砌方式主要为挂网喷混凝土, 极少量洞段采取钢筋混凝土衬砌、引水隧洞下平段围岩以中厚层凝灰岩为主, 局部间夹薄层黑色板岩或薄层凝灰岩, III 1 类围岩约占 37.2%、III 2 类围岩约占 53%、IV 类围岩约占 9.8%。全洞段实施钢筋混凝土衬砌。

2 设计理念、技术参数及其工程特点

2.1 设计理念及采用的技术参数

老挝南湃水电站引水隧洞以钢筋混凝土衬砌

与围岩作为联合受力体, 基础灌浆的主要目的: 一是为提高围岩的整体性, 二是填充围岩裂隙, 减少围岩透水率。该工程引水隧洞固结灌浆灌后透水率要求小于 1 Lu, 其相应的技术参数见表 1。

表 1 各部位基础固结灌浆技术参数表

部位	水头 /m	灌浆压力 /MPa	灌后标准	备注
上平段	143	2		
上竖井	220	2~4	压力试验	竖井各部位
中平段	348	4	压力不大	根据实际水
下竖井	472	4~7	于 1Lu	头高度计算
下平段	509	7		实际灌浆压力

2.2 工程特点

该工程高压固结灌浆的主要特点: 隧洞断面小, 在施工机械选择上具有较大的局限性; 洞内空间过小, 施工不便; 局部洞段灌浆属于无盖重高压灌浆, 漏浆、串浆等风险高, 难度大; 电站高水头高, 灌浆压力高; 灌后质量要求高, 灌后基岩透水率不大于 1 Lu。

3 所采用的施工方案

笔者以引水隧洞下平段典型的高压固结灌浆为例, 论述了该工程下平段高压固结灌浆采用的施工方案及技术措施。

3.1 施工布置

(1) 风水电布置。该工程施工用电为钻孔、灌浆、抽水、照明等用电, 在指定变压器低压端架设 240 mm² 主电缆线至工作面主配电柜内, 配电柜再分配至制浆站和钻孔、灌浆施工工作面。

施工用水根据施工部位的不同及现场实际情

收稿日期: 2017-06-10

况,铺设 $\phi 80$ 钢管或橡胶管、利用水泵抽水至制浆站、再分散到各个工作面。

施工用风为钻孔用风,在交通支洞的空压机接 $\phi 100$ 主风管至洞内主洞以及上下游施工面。

(2)制浆系统的布置。根据该工程施工现场条件,结合本次灌浆施工特点及施工进度安排,采取集中制浆的方式制浆。在洞外搭建一个面积约 80 m^2 的集中制浆站,可储存水泥 150 t 。安设2台高速制浆机、2台低速搅拌机、2台灌浆泵及供水、输浆管路系统等。输浆管路为直径 30 mm 的钢编管。浆液搅拌后分送至各转浆站,再由转浆站分送至各工作面。

3.2 施工材料及机械

3.2.1 水泥、掺合料及外加剂

该工程选用标号P.I 52.5水泥作为灌浆用水泥,细度要求通过 $80\ \mu\text{m}$ 方孔筛余量不大于5%,按国家和行业的有关规定,对每批次水泥进行取样检测。

该工程在施工过程中未使用任何掺合料和外

加剂,均以纯水泥浆液进行灌注。

3.2.2 制浆用水

灌浆用水符合《水工混凝土施工规范》DL/T5144拌制水工混凝土用水要求的规定。

3.2.3 施工机械

该工程主要采用的施工机械有: 23 m^3 电动空压机、YG80导轨式凿岩机、ZJ400-A高速搅拌机、DS-1000L低速搅拌机、SGB6-10灌浆泵、SGB6-18高压灌浆泵。

3.3 高压固结灌浆施工

3.3.1 灌浆试验

该工程首先进行生产性试验灌浆。鉴于该工程下平段的地质特点,选取一处III2类围岩作为试验区,并对IV类围岩的首次灌浆进行密切观察,确定合理的灌浆参数及灌浆工艺(灌浆压力、灌浆孔间排距等)。水泥浆液性能测试:浆液配制程序及拌制时间、浆液的稳定性,确定浆液配比。

3.3.2 孔位布置

该工程引水隧洞灌浆孔布置情况见图1。

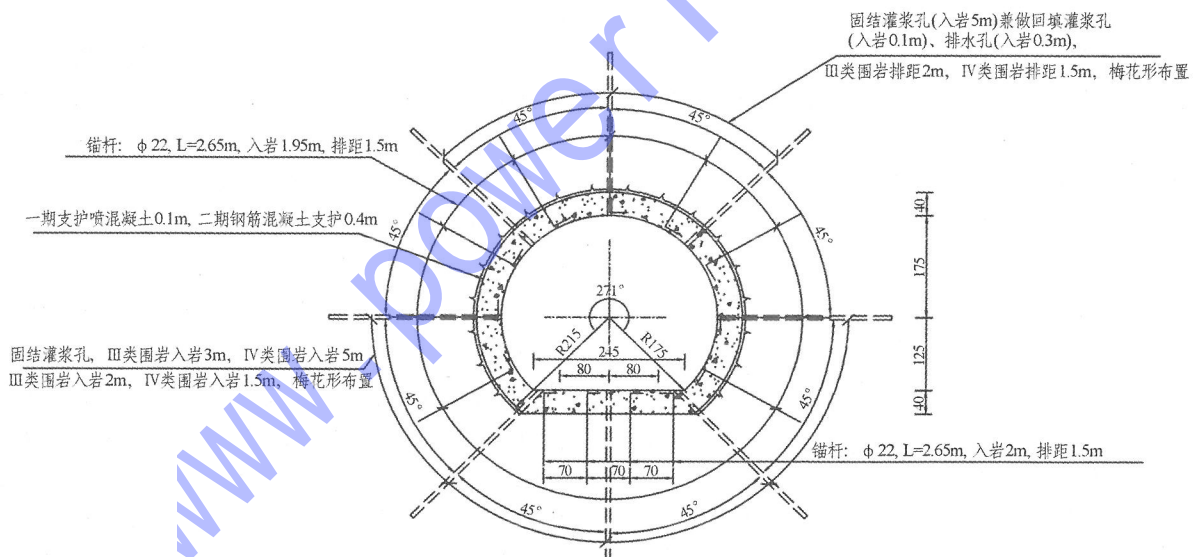


图1 灌浆孔布置图

3.3.3 钻孔的分序与分段

该工程引水隧洞下平段由于灌后要求较高,施工难度较大,高压固结灌浆孔环间及环内均分2序施工,钻孔采用YG80导轨式凿岩机进行施工,一次性钻至终孔深度,钻头为 $\phi 50$ 十字型钻头。

3.3.4 钻孔冲洗及压水试验

固结灌浆孔需进行孔壁和裂隙冲洗。孔壁冲洗至回水澄清后即可结束。裂隙冲洗采用压力水进行冲洗,结束标准为回水澄清后 10 min 或总时间不少于 30 min 。对于地质条件复杂的孔段,还应结合实际情况采用适宜的冲洗方法。

灌浆前,选择有代表性的孔段作压水试验,采用全孔单点压水法,压水压力为 1 MPa 。压水试

验的目的是获得岩体灌前透水率等参数及发现混凝土缺陷处是否存在漏水、渗水等现象,以便提前进行处理。

3.3.5 灌浆方法

灌浆采用自下而上的孔口循环法进行灌浆施工,由孔底向外分段卡塞灌浆。若遇特殊地质洞段,可采取自上而下、分段灌浆及加密处理的方式予以处理。灌浆塞为 $\varphi 38, L=0.5\text{ m}$ (橡胶段)的水囊塞。灌注第二段时,在孔口外加设长度为15 cm的护筒以保证孔内有效灌浆段长,该方法能有效防止灌浆塞外露钻孔部分因受力不均炸裂。

3.3.6 灌浆压力及变浆标准

该工程固结灌浆水灰比可采用2:1、1:1、0.8:1、0.5:1四个比级,开灌浆液水灰比选用2:1,变浆标准执行相关规范标准,灌浆压力见表2。

表2 下平段高压固结灌浆压力控制一览表

围岩类型	环序	孔序	灌浆段位 /m	段长 /m	压力 /MPa	备注	
III类	I	1序	0~1.5	1.5	2	5 m段参考IV类围岩分段,同理	
		1序	1.5~3	1.5	4		
	序	2序	0~1.5	1.5	2		
		2序	1.5~3	1.5	4		
	II	1序	0~1.5	1.5	3		
		1序	1.5~3	1.5	7		
	序	2序	0~1.5	1.5	3		
		2序	1.5~3	1.5	7		
	IV类	I	1序	0~2 m	2		2
			1序	2~5	2		4
序		2序	0~2	2	2		
		2序	2~5	2	4		
II		1序	0~2	2	3		
		1序	2~5	2	7		
序		2序	0~2	2	3		
		2序	2~5	2	7		

3.3.7 灌浆结束标准与封孔

各灌浆段灌浆的结束条件应根据地质条件和工程要求确定。一般情况下,当灌浆段在最大设计压力下、注入率不大于1 L/min后继续灌注30 min即可结束灌浆。固结灌浆孔采用全孔灌浆法封孔。

3.3.8 特殊情况的处理

固结灌浆过程应密切注意混凝土有无形变、高压情况下压力是否存在突升陡降及地下水渗漏等情况。灌浆期间特殊情况的处理可参照相关施工规范要求执行。

3.3.9 质量检查方法及合格标准

该工程之高压固结灌浆工程的质量检查以采用钻孔压水试验的方法为主,检测岩体弹性波波速的方法为辅。单点压水试验检查孔的数量不应少于灌浆孔总数的5%,检测时间应在灌浆完成7 d以后,检查结束后应进行灌浆和封孔。

该工程高压固结灌浆质量压水试验检查的结果表明:其孔段合格率在85%以上;不合格孔段的透水率不超过设计规定值的150%且不集中,灌浆质量可认为合格。

4 高压固结灌浆施工情况

4.1 施工完成情况

该工程高压固结灌浆试验段累计完成高压固结灌浆钻孔80个,共计长312 m,完成水泥注浆干耗灰55.38 t。

4.2 质量检查情况

该工程高压固结灌浆试验段灌前围岩最大透水率为9.39 Lu,平均透水率为2.77 Lu。灌后质量检测得到的最大透水率为0.62 Lu,平均透水率为0.35 Lu。效果良好。

4.3 结论

该工程高压固结灌浆施工后岩层裂隙得到了充分填充。在进行高压固结灌浆施工后,围岩的渗透性得到了明显改善,在后续的隧洞充水过程以及电站正常发电过程中,山体无明显变形发生和涌水现象,原冲沟内的水量亦无明显变化。

5 结语

(1)该工程高压固结灌浆的特点为洞型断面小、钻孔深度浅、灌浆压力大、灌后要求高。处理该类工程时应充分考虑施工机械的实用性。该工程选用的YG80式导轨式凿岩机及SGB6-18高压灌浆泵经济适用、易于检修、拆卸方便。但该钻机在如此小断面的隧洞内移动不是特别便捷。在今后类似工程选取该种钻孔设备时,可选择制作一个小型台车,或在隧洞顶拱预埋挂钩或轨道等用于钻孔设备的移动。

(2)在进行高压固结灌浆施工前进行简易压水试验很有必要,其主要目的是检查岩层的渗透性及回填灌浆的效果。

(3)灌浆过程应逐级升压、逐级稳压,稳压过程密切关注灌浆塞的状态。该工程在实际施工过程中,少数部位出现了当压力达到5 MPa后、在稳

(下转第94页)

遍,并没有发现问题。与此同时,从当天的现场情况看也没有出现任何故障的迹象。但到了第二天上午才在控制屏上发现点亮的“1号泵故障”指示灯。连机查看 PLC 程序,发现故障是由“1号泵无运行反馈”信号引起的。所谓“1号水泵无运行反馈”是指 PLC 输出启动水泵的命令后未在预定时间内收到软启动器或接触器的运行反馈接点闭合信号。因该电站水泵电机功率很大,故其配置的是软启动器。为了验证软启动器的运行反馈信号是否正常,手动启动 1 号水泵并监视运行信号反馈的时间。令人费解的是,该信号反馈正常,并且远远短于预定的时间,按道理来讲是不该报故障的。

笔者凭借以往的经验进行分析认为,问题必定出在运行反馈信号环节上,既然启动环节没出问题,问题就很有可能出在停止环节。接下来的试验证实了这个猜测。

在对 4 号水泵进行手动启停试验时,突然在停泵瞬间报出了“4号泵故障”和“4号水泵无运行反馈”信号。问题终于浮出水面,但它是如何产生的呢?笔者再次研究了 PLC 程序后,最终找到了程序存在的缺陷。

原来,依照惯例,为防止信号抖动,都会在信号确认前加上延时判断。但从程序看,启泵过程结束后延时继电器一直导通,因此,无论任何时候,只要“运行反馈信号”消失就会立刻报故障,因而并没有将信号抖动屏蔽掉。正常情况下,水泵运行时软启动器的运行反馈接点一直闭合,故不会报故障。但在停泵时,由于发出停泵命令和水泵停止运行几乎是同时,再加上 PLC 扫描周期延迟等因素,PLC 很有可能判定收到运行反馈接

点断开信号时水泵仍处于运行状态,于是即报故障。这一点得到了试验的证明,程序的缺陷也就找到了。

笔者经过认真考虑后决定采用增加延时防止信号抖动的办法消除缺陷。在“运行反馈信号”确认之前,先延时几秒钟(无论是动合还是动断),这样做的效果:停泵时,“运行反馈信号”总会在停泵令之后的几秒钟才会被确认,从而解决了两个信号的顺序问题。果然,加上延时后再进行启停泵试验,故障不再报出。经过一周的监视运行,该控制系统再没有出现运行异常,基本确定故障已经得以消除。

4 结 语

从以上案例的分析可以看出:一个系统的异常现象看似偶然发生,却有其产生的必然性。在 PLC 程序里对两个信号的时序处理不当可导致水泵误报故障,从而引发连锁反应。水电站厂房渗漏排水自动控制系统虽然并不复杂,但其重要性却不可低估,因此,我们应当对系统异常随时保持警惕。PLC 程序看似简单,但如果不清楚 PLC 的工作原理以及各个指令的功能,就可能会在程序中留下缺陷,从而给整个系统埋下安全隐患。PLC 程序与其它软件一样,都需要在反复调试过程中不断完善,而充分利用经过现场反复检验过的标准程序往往能起到事半功倍的效果。希望笔者提供的经验能够给遇到类似情况的水电站提供一定的帮助和借鉴。

作者简介:

赵 军(1969-),男,四川宣汉人,工程师,从事水电厂辅助设备自动控制系统设计、编程和调试等工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 88 页)

压过程中灌浆塞因内部压力过大而出现缓慢退出灌浆孔段的现象,针对这种现象,采取机械助力的方式予以弥补,在灌浆塞末端架设了一个支架以稳固灌浆塞,实践证明效果良好。

(4)在进行高压固结灌浆施工过程中,压力越高,压力稳定性越差,会出现压力突升陡降的情况。笔者建议:今后在类似工程进行高压固结灌

浆时,在灌浆塞末端加设一节灌浆管并设稳压筒,在采取了多重稳压措施的情况下,高压情况下压力突升陡降的情况会得到一定程度的改善。

作者简介:

熊天智(1964-),男,四川綦江人,工程师,从事水利水电工程基础处理施工技术及管理工;

陈彦好(1992-),男,四川都江堰人,助理工程师,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)