

宁夏太阳山供水工程刘家沟水库坝基帷幕灌浆试验研究

马小七¹, 吕建民², 路学忠²

(1. 宁夏回族自治区发展与改革委员会, 宁夏 银川 750001; 2. 宁夏伊斯兰地质工程公司, 宁夏 银川 750021)

摘要:通过对宁夏刘家沟水库坝基先期的灌浆试验研究,验证了在该区进行帷幕灌浆的可行性,得出了坝基盖板的合理厚度、浆孔间距、分段数、浆液级别及最佳灌浆压力,为加快后期工程进度取得了丰富的施工与设计参数。

关键词:宁夏刘家沟水库;坝基;帷幕灌浆;试验研究

中图分类号:TV543 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)06-0029-04

1 工程概况

宁夏太阳山供水工程刘家沟水库位于宁夏吴忠市红寺堡开发区买家河湾、同心县韦州镇、盐池县惠安堡镇接壤的三角地带,其以陕甘宁盐环定扬水工程八干渠作为引水水源,利用刘家沟建设调蓄水库,经水厂净化处理后,向太阳山能源新材料基地内的企业、城镇居民供水,同时,也为周边群众提供人饮水源。

整个工程由引水工程、调蓄工程、提升泵站、输水管道和净配水厂5部分组成,引水工程设计流量 $10.5\text{ m}^3/\text{s}$,调蓄水库一期设计总库容 1000 万 m^3 ,日供水规模5万t;二期设计总库容 1999 万 m^3 ,日供水规模10万t。水库采用碾压式土坝,坝顶长1258m。

太阳山供水工程建成后,对支撑当地经济建设,充分发挥当地资源优势,加快经济发展、建设社会主义新农村与和谐社会,走新型工业化道路,推进自治区经济社会实现跨越式发展具有重要意义。

刘家沟水库大坝坝基防渗设计采用开挖截水槽与帷幕灌浆结合的方式。为了取得帷幕灌浆设计与工程施工参数,受宁夏水利部门的委托,我们进行了2组帷幕灌浆孔试验研究。

2 试验区工程地质情况

刘家沟水库坝区属丘陵地貌单元,地层自上而下依次为:

①粉砂,分布在该地区的上部,浅黄色,风积形成,易随风移动,厚 $0.4\sim 3.0\text{ m}$,渗透系数 $6.0\times$

10^{-3} cm/s ;

②粉砂,主要分布在冲沟的上部,浅黄色,厚 4.2 m ,渗透系数 $6.0\times 10^{-3}\text{ cm/s}$;

③圆砾,分布在冲沟的中部,青灰色,密实,亚圆形,厚 4.7 m ,渗透系数 $6.0\times 10^{-3}\text{ cm/s}$;

④壤土,分布在左右岸I级阶地中,褐色,坚硬,具层理,厚度不等,渗透系数 $4.4\times 10^{-4}\text{ cm/s}$;

⑤粉砂,分布在左岸I级阶地,浅黄色,厚度 11.2 m ,渗透系数 $6.0\times 10^{-3}\text{ cm/s}$;

⑥砂岩,与二叠系石千峰组砂岩为角度不整合接触关系,灰绿色、灰褐色,中厚层状,层状构造,泥质胶结或石膏质胶结,夹有数层石膏薄层,厚 $3\sim 10\text{ mm}$,并夹有薄层泥岩及泥岩条带、泥岩团块,遇水易崩解,新鲜岩体中裂隙不发育,多闭合,无充填,强风化层厚 5.0 m ,多为碎块状,岩石酥软,易碎,风化裂隙发育;中等风化层厚 5.0 m ,风化裂隙较发育,岩体完整性较好;以下为微风化层,节理裂隙不发育,岩体完整性好;

⑦砂岩,紫红色,中厚层状,层状构造,泥质或钙质胶结,夹有薄层泥岩及泥岩条带,岩石中含有少量泥岩碎屑,新鲜岩体中裂隙不发育,多闭合,无充填。

此次试验确定在二叠系、三叠系中完整和破碎岩层上各做一组,分别定名为1号和2号。

3 灌浆试验目的及要求

(1)从技术上论证拟采用的帷幕灌浆方法对刘家沟水库坝基下地层进行防渗处理的可行性,以及效果的可靠性;

收稿日期:2007-03-28; 改回日期:2007-05-12

作者简介:马小七(1955-),男(汉族),山西人,宁夏回族自治区发展与改革委员会以工代赈办公室,区域地质普查与矿产调查专业,从事水利、地震与地矿等方面的项目管理工作,宁夏银川市;吕建民(1967-),男(汉族),宁夏固原人,宁夏伊斯兰地质工程公司工程师,水工环专业,从事水文地质、工程地质、环境地质及地基与基础方面的技术工作,宁夏银川市西夏区朔方路90号;路学忠(1970-),男(汉族),宁夏盐池人,宁夏伊斯兰地质工程公司总工程师、高级工程师,地质工程专业,工学博士,从事地质工程技术与管理工作,(0951)2078369、13895301962, nxydgs@126.com。

- (2) 选择合理的施工工艺及相应的技术措施;
- (3) 推荐合理的帷幕灌浆孔距与排距;
- (4) 提出合理的最大灌浆压力,尤其是论证当采用较低灌浆压力时保证下游防渗帷幕质量的可靠性;
- (5) 得出合理的浆液配方及外加剂掺入量,同时提出灌浆过程中出现异常问题的处理措施,整理分析灌浆试验成果资料,为帷幕灌浆施工提供指导;
- (6) 防渗帷幕的防渗能力要达到 $q \leq 1.5 \text{ Lu}$ 。

4 帷幕灌浆设计及完成工程量

1 号和 2 号试验场区分别选择在主沟道东西两侧,钻孔起始位置分别为岩层表面与强风化层下限。帷幕灌浆孔设计孔深 13.5 m 和 8.5 m,抬动观测孔孔深 14.5 m 和 9.5 m,压水试验孔孔深 13.5 m 和 8.5 m。

现场施工次序为: $\text{I}_1 \rightarrow \text{III}_1 \rightarrow \text{II}_1 \rightarrow \text{J}_1$ (检查孔) $\rightarrow \text{III}_2 \rightarrow \text{I}_2 \rightarrow \text{III}_3 \rightarrow \text{J}_2 \rightarrow \text{II}_2 \rightarrow \text{III}_4 \rightarrow \text{J}_3 \rightarrow \text{I}_3$ 。

具体完成的钻孔工程量见表 1。

表 1 完成的钻孔工程量

场地编号	抬动观测孔进尺/m	钻孔进尺/m			灌浆孔进尺/m						检查孔进尺/m
		I 序孔	II 序孔	III 序孔	I 序孔	段次	II 序孔	段次	III 序孔	段次	
1	29.0	25.5	0	0	20.5	5	0	0	0	0	0
2	19.0	59.5	24.0	48.0	59.5	17	24.0	8	48.0	16	41.0

5 施工方案及施工技术措施

5.1 混凝土盖板制作、抬动仪设置

1、2 号试验场地混凝土盖板采用 C15 混凝土,具体尺寸为 30 m × 6 m × 0.5 m (长 × 宽 × 厚)。试验场地设置 2 个抬动观测孔,用 $\text{O}91$ mm 钻头钻进成孔,外管下入 $\text{O}80$ mm 的 PVC 管,内管下入 $\text{O}18.3$ mm 的钢管,孔底部 1 m 范围用混凝土固结,内外管间用砂回填,在内管上安装千分表,在进行帷幕灌浆施工中观测浆帽上抬值。

5.2 钻孔、灌浆顺序

按设计要求钻孔为 1 排,分 3 序施工, I 序孔 3 个,间距 12 m, II 序孔 2 个,分别位于各 I 序孔中间, III 序孔分别位于 I、II 序孔中间最终形成间隔 3 m 的帷幕。施工时先进行 I 序孔,其次是 II 序孔,最后是 III 序孔。每序钻孔按设计要求分段施工,钻孔时取岩心,灌浆前做压水试验,压水稳定后进行灌浆。

5.3 灌浆孔施工技术

(1) 所有钻孔的布置严格按设计要求的尺寸和位置进行测量放线布孔。开孔位置偏差均小于 10 mm。

(2) 钻孔采用 GY-2A 型回转式岩心钻机钻进,采用金刚石和硬质合金钻头取心钻进技术,因钻机自重大,钻进时确保了钻机的平稳,钻进到一定深度后使用长岩心管,保证了钻孔垂直完整。

(3) 钻孔孔径:固结孔孔径 91 mm,灌浆孔、检查孔孔径 75 mm。

(4) 钻孔孔段分段:设计孔深 8.5 m 的孔分 2 段,第一段为 3.5 m,第二段为 5.0 m;孔深 13.5 m

的孔分 3 段,第一段为 3.5 m,第二段为 5.0 m,第三段为 5.0 m。在施工时根据实际情况 2 号试验场地调整为: I 序孔第一段为 1.9 m,孔径 91 mm,接触灌浆,下入 $\text{O}89$ mm 的孔口钢管固结;第二段为 1.6 m;第三段为 3.0 m;第四段为 5.0 m;第五段为 5.0 m;第六段为 5.0 m。II、III 序孔第一段为 2.0 m,孔径 91 mm,接触灌浆,下入 $\text{O}89$ mm 的钢管固结;第二段为 2.0 m;第三段为 3.0 m;第四段为 5.0 m;第五段为 5.0 m;第六段为 5.0 m。

孔口管安装数量见表 2。

表 2 孔口管安装数量

场地编号	抬动观测孔/m		灌浆孔 $\text{O}89$ mm 钢管/m		
	PVC 管	1in 管	I 序孔	II 序孔	III 序孔
1	29.0	31.0	12.9	0.0	0.0
2	19.0	21.0	5.7	3.8	7.6

(5) 钻孔孔斜:经现场检测垂直度均小于 0.25 m。施工中主要采取的措施是钻机钻杆对准孔位中心后,用精度 2‰ 的水平尺在两个方向(前后左右)调整立轴处于垂直;开孔时采取轻压慢钻,当钻进到一定深度后,根据地层实际情况优化钻进参数,提高施工效率,且每回次结束后用 2‰ 的水平尺校验立轴的垂直度。

5.4 压水试验

压水试验和帷幕灌浆时压力表位置均设置在回浆管。简易压水试验在钻孔冲洗液变清后,自上而下分段压水试验。压水试验的压力为帷幕灌浆压力的 80%。为防止地面发生抬动,压力严格控制,压力由小到大逐级升高。派专人观测地面抬动情况,并根据结果调整试验压力,因此采用单点法和三级压力五个阶段的五点法压水试验,每 3 min 测读一

次压水流量,取最后的流量值作为计算流量,其成果以透水率(Lu)表示。

5.5 灌浆

灌浆次序为: I 序孔→II 序孔→III 序孔,帷幕灌浆采用自上而下法循环式,射浆管距孔底距离 > 50 cm。帷幕灌浆使用的设备主要有注浆泵、制浆机、储浆器、各型高压循环管线等,灌浆时采用 LJ - III 型灌浆压水自动记录仪进行记录。灌浆过程中当发生地表冒浆,压力突然升、降,吸浆量突增、减等异常现象时,及时进行处理。

灌浆压力:第一段为 0 ~ 0.1 MPa,第二段为 0.1 ~ 0.2 MPa,第三段为 0.2 ~ 0.3 MPa,第四段为 0.3 ~ 0.5 MPa,第五段为 0.5 ~ 0.7 MPa,第六段为 0.7 ~ 1.0 MPa。为防止地面发生抬动,灌浆压力严格控制,压力由小到大逐级升高。灌浆时专人观测地面抬动情况,并根据结果调整灌浆压力。灌浆过程中为保持灌浆压力的稳定,在回浆管路设稳压节流阀,灌浆压力以孔口回浆管压力表读数为准。

灌浆材料为普通抗硫酸盐水泥,强度等级均为 42.5 MPa。浆液水灰比为 5、3、2、1、0.8、0.6、0.5 七个比级。开灌用水灰比为 5 的浆液。灌浆过程中浆液变换标准:如灌浆压力保持不变,注入率持续减少,或当注入率不变而压力持续升高时,不改变浆液水灰比;当某一级浆液的注入量达 300 L 以上或灌注时间已达 60 min 以上,灌浆压力或注入率均无改变或改变不显著时,可改浓一级水灰比的浆液进行灌注;当注入率 > 30 L/min 时,可根据具体情况越级变浓水灰比;当裂隙漏浆、冒浆经各种方法封堵无效时,可根据具体情况越级变浓水灰比或最浓一级。

5.6 灌浆结束标准与灌浆孔封孔

在规定压力下,当浆液注入率 > 0.4 L/min 时,继续灌注 60 min;或浆液注入率 > 1 L/min 时,继续灌注 90 min。灌浆全过程中,在设计压力下的灌浆时间 < 120 min。

帷幕灌浆(全孔)结束后均采用“置换和压力灌浆封孔法”进行封孔。封孔浆液水灰比采用 0.5 的浓浆,封孔压力采用灌浆孔的最大灌浆压力。封孔时间 30 ~ 60 min。已进行置换和压力灌浆封孔的灌浆孔,待孔内水泥浆液凝固后,如果灌浆孔上部空余孔段 > 3 m 时,清除孔内污水、浮浆后采用“机械压浆封孔法”进行封孔;如果灌浆孔上部空余孔段 < 3 m 时,清除孔内污水、浮浆后使用稠水泥浆人工封填密实。

5.7 灌浆效果验证

帷幕灌浆效果评定以质量检查孔压水试验成果为主,结合钻孔、压水试验、灌浆等成果以及必要的测试成果的资料分析综合评定。根据试验场地灌浆情况,经研究布置了 3 个检查孔,检查孔在试验场地灌浆结束后 14 天,浆液凝固达到一定强度后开始施工。检查孔采用自上而下分段进行压水试验,若透水率 > 5 Lu 时,可直接继续下一段钻进;若透水率 > 5 Lu 时,先压浆再继续下一段钻进。检查孔全孔压水试验结束后,按灌浆要求进行全孔一次注浆和封孔,灌浆和封孔压力采用最大灌浆压力。

6 试验成果参数

通过本次帷幕灌浆试验可以确定,刘家沟水库坝基基岩岩性、构造、裂隙及风化程度具有明显的不均一性,导致试验场地透水性也存在很大的差别,具体灌浆成果见表 3。

表 3 灌浆试验成果表

灌浆次序	孔数	钻孔深度/m	灌浆总长/m	水泥用量/kg			单位注灰量/(kg·m ⁻¹)	灌浆总段数	单位注入量区间分布(段数/频率)/%					压水试验段数	透水率区间分布(段数/频率)/%				
				注灰量	弃灰量	总耗量			<1	1~10	10~50	50~100	100~500		>500	<1	1~3	3~5	5~10
I	3	59.5	58.0	5901.9	750.1	6652.0	101.8	23	6	7	4	5	1	17	5		2	3	7
II	2	24.0	23.0	978.2	502.7	1480.9	42.5	9	4	2	1	2	0	8	4			2	2
III	4	48.0	46.0	1763.8	1211.0	2974.8	38.3	17	11	2	0	4	0	16	8	1	1	2	4

经检查孔验证,由于混凝土盖板和基岩面接触固结灌浆压力较小,导致接触段灌浆效果较差,试验检查成果参数见表 4。

7 结论

根据本次帷幕灌浆试验、研究,得出的主要结论有以下几点。

(1) 截水槽基岩面上制作混凝土盖板,盖板厚 0.60 ~ 1.0 m,宽度最好以截水槽宽度为准。

(2) 宜采用孔口管封闭、自上而下分段、孔底循环灌浆法。孔内安下孔口管不下灌浆塞,施工简单,可以节省大量时间和人力。而且每段灌浆结束后,不需要待凝即可进行下一段的钻进,加快了施工进度。多次重复灌浆有利于保证灌浆质量,也可以使

表4 检查孔参数表

检查孔编号	压水试验段数	透 水 率 频 率 分 布											
		<1		1~3		3~5		>5					
		段数	透水率/Lu	分布/%	段数	透水率/Lu	分布/%	段数	透水率/Lu	分布/%	段数	透水率/Lu	分布/%
J1	4				1	1.42	25	1	4.10	25	2	8.3, 42.76	50
J2	4	1	0.52	25	1	2.90	25	1	3.74	25	1	43.3	25
J3	5				3	1.58, 2.18, 2.8	60	2	3.66, 5.0	40			

用较大的灌浆压力。

(3) 坝基防渗主要是封堵岩体裂隙, 灌浆孔的布置可采用双排孔, 呈梅花形布置, 孔距 3.5 m, 排距 1.5 m。

(4) 灌浆孔采用自上而下分段不待凝孔口封闭灌浆, 压浆水灰比级别为 5、3、2、1、0.8、0.6、0.5, 开灌水灰比为 5。灌浆段长宜选择在 2.0~5.0 m 的区间内。考虑到混凝土盖板与基岩面要进行接触注浆, 而且还要保证达到防渗要求, 因此第一段成孔后要进行压水试验, 然后进行压浆, 再作压水试验, 验证透水率 q 值是否小于 3 Lu, 若 $q < 3$ Lu, 则进行下一段施工; 否则重复“钻进-压水试验-压力灌浆”过程直到 $q < 3$ Lu, 在压水试验和压力灌浆过程中注意观测抬动值均不超过 0.2 mm。

(5) 灌浆压力是控制灌浆质量的重要因素。压力过小, 不能将水泥浆液很好的压入岩石裂隙中形成连续的帷幕; 压力过大, 会使岩石裂隙扩大或引起岩体抬动变形而形成新的裂隙, 反而破坏岩石的完整性。较深层的岩石完整性好, 灌浆压力能较好的控制, 主要是表层段压力控制难度较高, 因为地基开

挖后表层岩石多为强风化~弱风化, 岩体破碎、裂隙发育, 灌浆压力很难达到设计要求, 一般仅能达到 0.1 MPa 左右。为此, 首先应先压力灌浆后再开挖或设法增加混凝土盖板厚度; 其次是适当增加帷幕排数或缩小灌浆孔间距以弥补灌浆压力过小而形成帷幕的缺陷; 另外在每个灌浆孔的第一、二段应多次重复灌浆, 直到灌浆压力提高, 达到设计压力与防渗要求。

通过本次灌浆试验, 确定的灌浆方案及施工技术参数完全满足施工要求, 达到了预期的灌浆效果, 也促进了施工进度, 对于刘家沟水库工程工期紧、任务重的施工局面是一种比较理想的施工方法。

参考文献:

- [1] DL/T 5148-2001, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [2] 许厚材, 刘光华, 乔润国. 乌江渡发电厂扩建工程防渗帷幕灌浆试验研究[J]. 贵州水力发电, 2004, 18(1): 78-81.
- [3] 王俊峰. 汾河二库大坝基础固结灌浆抬动试验、灌浆参数选择[J]. 山西水利, 2006, (4): 72-73.
- [4] 余火忠, 陈文俊, 姜清华. 基岩帷幕灌浆工艺研究[J]. 土工基础, 2005, 19(2): 17-19.

(上接第 28 页)

终沉降量为:

$$S_{\infty} = S_b + \frac{1}{\beta} = 2817 + \frac{1}{2.2397 \times 10^{-3}} = 3263.5 \text{ mm}$$

5 结论

(1) 比较预测值与实测值, 二者误差为 1.76%, 说明用双曲线配合方法预测沉降在本工程中是适用的, 其预测的沉降值还是比较准确的。

(2) 从工程角度来看, 工程实际要求计算模型简洁实用, 所以解析方法在工程中比数值方法适用, 双曲线配合方法模型简单, 适用性较强。

(3) 从预测精度来看, 在本试验段中用双曲线

配合法拟合的沉降值较实测值大, 但误差较小, 仅为 1.76%, 所以用双曲线配合方法预测路基的最终沉降量精度还是很高的。

参考文献:

- [1] 夏彩虹, 何磊. 双曲线配合法在某路基沉降反分析中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005, (1): 48-50.
- [2] 俞三薄. 软基处理中沉降经验公式的应用[J]. 大坝观测与土工测试, 1997, 21(1): 40-42.
- [3] 洪友堂. 沉降观测数据处理方法的改进[J]. 北京测绘, 1999, (2).
- [4] 许永明, 徐泽中. 一种预测路基工后沉降量的方法[J]. 河海大学学报, 2000, 28(10): 111-113.
- [5] 施建勇, 雷国辉, 艾英铎, 等. 关于真空预压沉降计算的研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 365-368.