

某垂直防渗帷幕工程F1断层帷幕灌浆试验

王志奇^{1, 2}

1. 华北有色工程勘察院有限公司; 2. 自然资源部金属矿山地下水灾害防治工程技术创新中心

摘要: 本文以某工程项目为例, 基于试验依据及目的, 讨论了帷幕灌浆施工工艺应用阶段需要注意的内容, 内容包括工艺路线、孔位测放、灌浆工艺试验、压(注)水试验、制浆、灌浆、封孔等, 分析了特殊情况下的处理要点, 整理了灌浆试验效果, 其目的在于积累试验经验, 为相关体系的不断完善提供可靠依据。

关键词: 帷幕灌浆施工工艺; 整治工程; 试验报告

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.06.044

一、工程概况

拟建F1断层帷幕位于拟建场区南部, 位于山体之间, 有小路连接, 交通条件较差。拟建F1断层帷幕位于沟谷内, 并深入两侧山体, 防渗墙长度约44.80m。深度: 上部不高于强风化岩层上表面, 下部不高于108.37m。对于地质条件复杂或者没有经验参数的场区应选取具有代表性的区段开展帷幕灌浆试验, 主要目的为: 优化帷幕灌浆孔设计参数, 如灌浆孔排距、孔距、孔深等, 推荐适宜的灌浆段长、灌浆压力、浆液配比等。

二、帷幕灌浆施工工艺

(一) 工艺路线

帷幕灌浆试验流程如下: 孔位侧放→场地平整→钻机安装→ $\phi 110\text{mm}$ 开孔钻进至注浆顶板→下放108mm护壁管并固管→钻进到设计注浆段长→钻孔冲洗→压水试验→注浆扫孔至结束→钻孔测斜→最后一段注浆→全孔压水试验→合格后进行封孔→场地恢复施工。

(二) 孔位测放

以甲方提供的场区控制点坐标为基准, 采用测量仪器将灌浆孔按照设计孔位一一测放至施工场区。

钻机安装实际位置与设计位置偏差不大于10cm, 确保灌浆孔在帷幕线的轴线上, 且经过了监理或业主现场代表的检查验收。

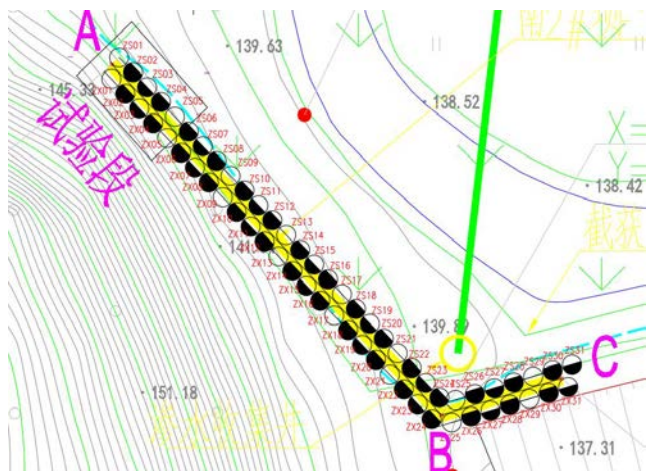


图4-2 F1断层帷幕灌浆试验段

(三) 灌浆工艺试验

帷幕灌浆试验段确定在F1断层西北侧端点位置。灌浆试验孔设计10个灌浆孔(其中I序孔4个、II序孔2个、III序孔4个), 试验段检查孔1个, 上游排5个孔, 下游排5个孔。

如压水验证及检查孔压水试验不能达到设计要求, 应对孔距及注浆材料进行调整, 试验调整遵循的原则为:

(1) 压水试验透水率大于 1Lu , 水泥注入率低且全孔压水不合格, 说明裂隙开度较小常规水泥颗粒不能有效充填, 应考虑掺入细颗粒材料如膨润土、超细水泥及无固相注浆材料。

(2) 灌浆孔全孔压水合格, 检查孔压水试验不合格, 应减少注浆孔孔距。

(四) 压(注)水试验

灌浆段灌浆前后采用了简易压(注)水试验获取透水率, 判定地层透水性和灌浆效果。在压水试验中也需遵循以下应用流程: 钻井到压水位置→进行设备检测与调试→完成洗孔之后, 开始测量孔内静水位→不反水情况下会下放注浆管到设计位置→开始进行注水试验→孔口水位抬升记录→检查原始记录, 如果处于正常状态, 若记录内容处于正常状态, 则结束压水试验→进行资料整理, 利于后续活动的开展。

1. 压(注)水试验工艺及技术要求

压水试验前先采用大泵量冲洗孔内的岩粉及孔壁, 直至回水澄清后并延续不少于10min方可结束; 如因岩体透水性极强, 采用大泵量的水冲洗但不返水则连续冲洗20min即可停止。

①地层透水性较弱时, 将止浆塞安放至灌浆段顶板以上2~3m较完整的地层进行简易压水试验, 地表控制压力应不低于0.5MPa。压力与流量均由自动记录仪进行记录。

②地层透水性较强时, 进行注水试验。注水试验前应进行孔内水位观测, 直到基本稳定, 稳定的标准为最后三次观测差值小于10cm。

2. 压(注)水试验结束标准

①进行注水试验的试段, 最后三次水位观测差值小于10cm, 即可结束。

②进行压水试验的试段, 要求压力保持稳定, 当连续三次的流量读数最大和最小值之差小于平均流量的10%, 即可结束。试验时间不宜小于20min。

3. 压(注)水试验质量保证措施

①严格执行相关规范要求。②试验由实际操作人员跟班作业。③在每次试验前, 对试验设备进行试验、检查, 发现问题及时处理。④测量水位的测绳、万用表定期进行检查校正。⑤下止浆塞时准确记录灌浆管的长度和数量。⑥止浆塞长度不小于孔径的8倍。止浆塞下至

设计位置后，采用充水法检查隔离效果。

（五）制浆

1. 浆液类型

灌浆材料为中抗硫酸盐水泥，浆液水灰比可采用3: 1、2: 1、1: 1、0.8: 1、0.5: 1五个比级。

2. 材料技术要求

①水泥采用强度等级不低于42.5的中抗硫酸盐水泥；②其他外加剂的性能应符合相关规范标准的要求；③水为一般工业用水，应符合混凝土拌和用水标准。

水泥在进场时进行了见证取样并送至有检测机构对材料性能进行检测，保证材料质量合格。

3. 制浆技术要求

①制浆材料必须称量，称量误差应小于5%。水泥等材料宜采用重量称量法或计袋法，浆液严格按配比配置。

②搅拌机的转速和拌和能力应与所搅拌浆液类型和灌浆泵的排浆量相适应，并能保证均匀、连续地拌制浆液。供浆能力应能满足多孔同时灌注的要求，不小于 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。

③浆液输送管道可采用软管避免急拐弯，必要时应设三通，便于检查和疏通。采用快速接头，便于输浆管的移动和疏通。

（六）灌浆

1. 灌浆工艺

①灌浆方式

采用全孔自上向下的孔内分段循环的施工方法，止浆塞将孔内灌浆段分割开来，封闭孔内浆液形成孔内循环，改变浆液流态，缓解浆液凝结速度。

②灌浆流程

灌浆流程如下：做好注浆泵准备工作→进行压水试验→确定浆液的具体比例→高速搅拌后将浆液输送到预定位置进行二次搅拌→开泵进行注浆施工→泵入和泵出钻孔，计算相应的流量差，完成整个灌浆工作。

2. 灌浆段长

灌浆段长一般为5m，可根据实际钻探情况进行调整，岩体破碎、孔壁不稳时灌浆段长控制在2-3m。

3. 灌浆压力

灌浆压力是提供浆液扩散的动力源，第一段灌浆压力0.3-0.5MPa，第二段灌浆压力1.0-1.5MPa，第三段及以下（进入中风化）灌浆压力2.0-2.5 MPa。

4. 浆液变换标准

灌注时浆液应由稀到浓逐级变换，变换原则如下：

①当灌浆压力保持不变，注入率持续减少时，或注入率不变而压力持续升高时，不得改变水灰比。

②当某级浆液注入量已达300L以上或灌浆时间已达60min，而灌浆压力和注入率均无改变或改变不明显时，应改浓一级配比。

③当注入率大于30L/min，可根据具体情况越级变浓。

5. 灌浆结束标准

灌浆过程正常进行的前提下，可依据以下三点结束灌浆：

①单次灌浆结束标准

当灌浆段在设计压力下，注入率不大于1L/min后，继续灌注30min即可结束灌浆。

②灌浆孔（整孔）结束标准

各段达到结束标准，进行全孔压水试验，全孔单位透水率 q 小于1Lu即可认为达到终孔结束标准。

（七）封孔

全孔灌浆结束后，采用压力灌浆封孔法封孔：将灌浆塞塞在孔口，射浆管下至距离孔底0.5m，灌入水灰比为0.5: 1浆液替换孔内水，在最大灌浆压力下，当注入率不大于1L/min时，延续30min停止。

三、特殊情况处理

由于第一灌浆段处于强风化地层，埋深较浅，节理裂隙发育、岩石强度低，经常发生地表冒浆、串浆等情况。针对试验段发生的一些特殊情况处理方法如下：

（一）钻孔串浆处理

①当正在钻进的钻孔被串浆时，立即停钻，在被串浆孔内漏浆处以上的部位安设止浆塞，堵塞串浆。灌浆孔正常进行灌浆，待灌浆结束后，被串浆孔恢复正常钻进；

②如被串浆孔为待注钻孔，被串浆孔与灌浆孔同时进行灌浆。

（二）地表冒浆预防、处理

①地表冒浆一般多发生在钻孔附近、对于浅部破碎带、裂隙发育的灌浆段灌浆过程中应加强监测、巡视，严格控制灌浆压力，避免压力突变；

②一旦发生地表冒浆，立即停止灌浆，进行清水冲孔，冒浆点出现清水后，换用0.5: 1单液水泥浆液进行灌浆，待跑浆点出现浓水泥浆后，停止灌浆，进行待凝，清理地表的废浆，等冒浆通道内的水泥浆形成一定强度后再后续施工。

（三）固塞事故预防和处理

（1）预防

①止浆塞位置一定要由专门的技术人员根据钻孔岩芯资料确定，保证安设位置光滑完整，裂隙不发育地段。在固定好止浆塞后，使用钻机微微提升，验证止浆塞的稳固性；

②往孔内注水，在灌浆过程中保证孔内水位的稳定，稳定的水位说明止浆塞的封闭性较好，如发现水位上升或流出井口，应立即停止灌浆。

（2）处理措施

①固塞时间不长时，可以用高压灌浆泵往井内注清水，清水将孔内浆液冲洗干净，直至井口不在返出浆液为止；

②利用钻杆自重，一提一放，往复几次，可利用胶囊的膨胀、迅速收缩以及自重的共同作用将凝固的水泥脱落。若仍无法取出，在钻塔拉力承受范围内，直接往上提塞子，如果还是不能提出塞子，则采取扫孔。

四、灌浆试验效果分析

对试验阶段所取得的各项资料，采用叠加效应和检查孔施工两种方法对灌浆施工效果进行分析、评价和总结。

(一) 叠加效应分析
本次帷幕灌浆试验分下游排和上游排两排, 共10个

钻孔, I序孔4个、II序孔2个、III序孔4个。试验区各序孔的单位注入量和单位透水率见表6-1。

表6-1 试验一区灌浆数据统计表

统计范围	统计类别	试验段平均值	I序孔		II序孔		III序孔		备注
			平均值	百分值	平均值	百分值	平均值	百分值	
下游排	单位注灰量 (kg/m)	310.21	216.80	100%	488.43	225.29%	283.67	130.84%	
上游排	单位注灰量 (kg/m)	132.88	168.01	100%	137.10	81.60%	95.67	56.94%	百分值为与I序孔数值比值
下游排	平均透水率 (Lu)	34.88	37.06	100%	55.46	149.65%	22.40	60.44%	
上游排	平均透水率 (Lu)	12.12	16.83	100%	11.17	66.37%	8.28	49.20%	

由表6-1可看出, 上游排单位注灰量和平均透水率仅为上游排的42.83%和34.75%, 说明两排孔之间单位注灰量及透水率有较为明显的叠加递减效应; 先施工的下游排单位注灰量及透水率II序孔大于I序孔, 说明地层透水性不均一, 存在局部灌浆量大的部位; 后施工上游排钻孔I、II、III序孔单位注灰量和平均透水率表现出了较为明显的叠加递减效应说明灌浆效果良好, 地层在各序孔多次灌浆充填后, 透水性逐渐降低。

(二) 灌浆质量检查

1. 检查孔布置

检查孔是检测地下幕体是否达到设计要求最重要的方法, 施工检查孔对灌浆质量及效果进行检查。试验段共布置1个检查孔, 检查孔J1位于ZS2、ZS3、ZX2、ZX3号灌浆孔对角线的交点上。

2. 检查孔效果评价

各个检查孔的压(注)水试验成果见表6-2。

表6-2 试验段检查孔压(注)水试验成果统计表

孔号	孔序	段次	压水段位			吕荣值 (Lu)
			自	至	段长 (m)	
J1	检查孔	1	4.00	8.99	4.99	0.24
		2	8.99	13.98	4.99	0.28
		3	13.98	18.97	4.99	0.46
		4	18.97	23.96	4.99	0.67
		5	23.96	28.95	4.99	0.36
		6	28.95	32.80	3.85	0.21
		全孔	4.00	32.80	28.80	0.44

由表6-2可见, 试验段中布置的J1检查孔经压水(注水)试验, 各段及全孔单位透水率均小于1Lu, 最大单位透水率0.67Lu, 说明本试验段灌浆效果良好, 灌浆材料和灌浆工艺达到设计要求。

五、建议

根据本次试验成果, 对后期灌浆参数设计、材料配比及灌浆工艺提出如下优化调整建议:

(一) 钻孔布置

帷幕灌浆孔间距应为1.5m, 两排, 排距1.5m, 梅花型交错布置。

(二) 灌浆段长

灌浆段长一般为5m, 可根据实际钻探情况进行调整, 岩体破碎、孔壁不稳时灌浆段长控制在2-3m

(三) 浆液配比

浆液水灰比采用3:1、2:1、1:1、0.8:1、

0.5:1五个比级。

(四) 灌浆压力

第一段灌浆压力0.3-0.5MPa, 第二段灌浆压力1.0-1.5MPa, 第三段及以下(进入中风化)灌浆压力2.0-2.5MPa, 根据地层及灌浆实际情况调整。

(五) 浆液起始浓度

根据每段压水试验结果选择浆液起始浓度, 当地层透水率<50Lu时, 采用水灰比3:1作为起始浓度; 当地层透水率≥50Lu采用水灰比2:1作为起始浓度; 当地层透水率>100Lu时, 采用水灰比1:1作为起始浓度。

(六) 浆液浓度变换标准

灌注时浆液应由开灌比级起由稀到浓逐级变换。当灌浆压力保持不变, 注入率持续减少时, 或注入率不变而压力持续升高时, 不得改变水灰比; 当某级浆液注入量已达300L以上或灌浆时间已达60min, 而灌浆压力和注入率均无改变或改变不明显时, 应改浓一级配比; 当注入率大于30L/min, 可根据具体情况越级变浓; 如出现改浓一级后短时间内出现灌浆压力持续增大或注入率持续减少, 立即调回上一级配比。

结语

综上所述, 帷幕灌浆试验是在建设单位和监理单位的监督和协助下实施的, 施工操作规范, 成果数据真实可靠, 所有原始报表由专人在现场随着施工作业业的进行, 做到及时、准确、真实填写; 其施工情况记录、压水吕荣值和单位注入量数据真实、准确。通过本次灌浆试验, 可得出如下结论:

(1) 根据对灌浆试验数据进行综合分析认为, 试验段在单位灌浆量和透水率数据方面体现出较为良好的叠加效应, 且数据区间分布基本合理, 证明帷幕灌浆方案设计参数、灌浆材料选择、浆液配比、灌浆工艺、施工工序及质量控制措施是满足场区工况条件需要的。

(2) 通过布置检查孔检查, 1个检查孔共完成压水段6段, 其中6段单位透水率均小于1Lu, 合格率100.00%, 按照相关规范及设计要求, 试验段灌浆质量合格。

参考文献

[1] 徐力泽. 基于复杂地质条件下的水库坝基帷幕灌浆施工问题分析[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(09): 22-24.
[2] 路国娟. 竖井帷幕灌浆现场生产工艺试验方法[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(09): 99-100.