

浅析汾河二库帷幕灌浆施工中对设计技术参数及施工机具实用性的验证

杨敏 李娜 李洪涛

(中国水电基础有限公司,天津 301700)

【摘要】 为了验证汾河二库除险加固帷幕灌浆设计技术参数的可行性和施工机具的实用性,根据现场实际情况,选定右岸引张线廊道内帷幕灌浆共9个孔作为生产性试验段。采用钻孔、钻孔冲洗与压水试验以及灌浆的方法进行试验,通过对试验成果进行分析,得出结论:试验段按设计技术参数进行施工,完全可以达到设计要求的灌浆效果,且施工机具选择合理,在后续工作中,可以试验段为依据,拟定施工方案。

【关键词】 帷幕灌浆;生产性试验;技术参数;施工机具

中图分类号: TV543+.5

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)04-013-05

Analysis on verification of design technical parameters and construction machines practicability during construction of curtain grouting in Fenhe Reservoir Two

YANG Min, LI Na, LI Hongtao

(Sinohydro Foundation Engineering Co., Ltd., Tianjin 301700, China)

Abstract: A total of 9 holes for curtain grouting in right bank extended wire corridor is selected according to the actual situation in the site in order to verify the feasibility of design technology parameters of Fenhe Reservoir Two's curtain grouting and practicability of construction machines. Drilling, drilling flush, pump-in test and grouting methods are adopted for testing. The test results are analyzed for the following conclusion: the test section is constructed according to design technical parameters, the grouting effect required in design can be completely reached, construction tools are selected rationally, and the test section can be regarded as the basis for formulating construction plan in subsequent work.

Key words: curtain grouting; productive test; technical parameters; construction machines

1 概述

1.1 工程概况

山西省汾河二库总库容 1.33 亿 m^3 ,是一座以防洪为主,兼顾供水、发电、旅游养殖等综合效益的大型水利枢纽工程。

坝址控制流域面积 2348 km^2 ,原设计多年平均入库径流量 1.45 亿 m^3 ,多年平均入库沙量 560 万 t,水库

总库容 1.33 亿 m^3 ,兴利调节库容 0.48 亿 m^3 ,防洪库容 0.058 亿 m^3 。水库兴利水位 905.70m,设计洪水位 907.32m,校核洪水位 909.92m。

汾河二库应急专项除险加固工程帷幕灌浆工程主要施工内容包括:

a. 上游帷幕:左岸防渗墙下帷幕灌浆范围为桩号 0-001.0~0-144.0m,共计 73 孔;右岸引张线廊道内帷

幕灌浆范围为0+217.5~0+273.75,共计29孔。

b. 下游帷幕:左岸帷幕灌浆范围为桩号0+010.25~0+068.25,共计32孔;右岸帷幕灌浆范围为桩号0+186~0+214,共计20孔。

1.2 试验段工程地质

帷幕灌浆试验选择在右岸引张线廊道(桩号0+237.7~0+253.7)处,先导孔取芯情况表明,该部位0~0.6m为混凝土盖板,0.6~1.6m接触段,混凝土与基岩面之间空隙较大,1.6m以下为弱风化、微风化基岩,完整性较好。其中3.55~48.55m之间不均匀分布有细微裂隙,先导孔取芯多呈短柱状、碎块形态,裂隙大多闭合无充填,少数见白色钙质物充填。48.55m以下岩石完整,先导孔取芯多呈长柱状,断面新鲜,无明显水蚀痕迹。

1.3 试验目的

灌浆试验主要是验证设计技术参数的可行性和施工机具的实用性,为后续帷幕灌浆施工起指导作用,其主要目的如下:

a. 检验施工所采用的地质钻机、灌浆自动记录

仪、灌浆泵、水泥浆液搅拌系统以及相关设备的性能是否满足施工要求。

b. 通过生产性试验验证帷幕灌浆的设计参数及帷幕灌浆的深度和宽度等^[1],主要包括灌浆孔距、灌浆压力、灌浆分段、灌浆孔深、浆液比级等参数。

c. 验证采用“孔口封闭、自上而下循环式灌浆”方法的可行性。

d. 通过生产性试验寻找试验工艺的矛盾点以及需完善的各种措施。

2 试验区选择及布置

2.1 试验区选择

根据现场实际情况,选定右岸引张线廊道内帷幕灌浆(桩号0+237.7~0+253.7)共9个孔作为生产性试验段。

2.2 灌浆孔布置

试验段布置单排帷幕孔,孔距2m,分三序施工。布置一个抬动观测孔、一个先导孔和一个检查孔。试验孔布置如图1所示:

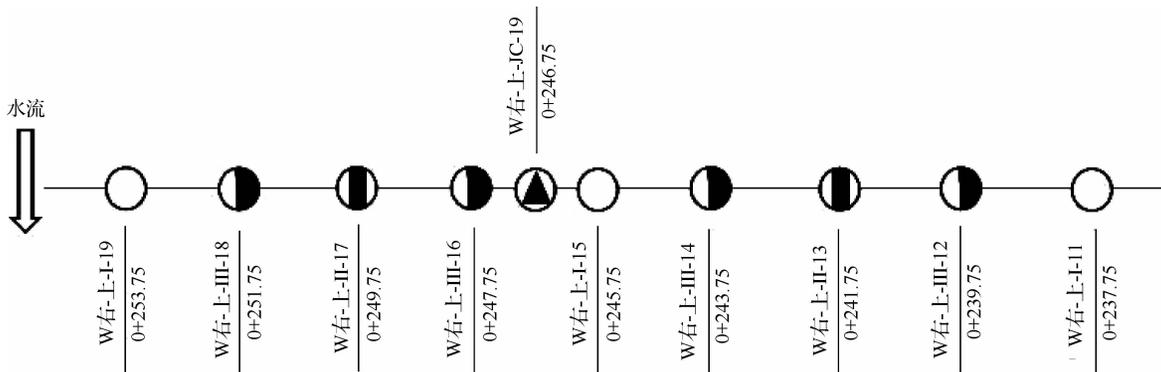


图1 生产性试验灌浆孔布置

2.3 完成工程量

钻孔编号为w右-上-III-11~w右-上-I-19。共布

设一个检查孔、一个抬动孔,其完成工程量见表1。

表1 生产性帷幕灌浆孔完成工程量

项目	孔数	镶管	压水段数	钻孔深/m			水泥用量/kg		
				混凝土	基岩	合计	注入	损耗	合计
灌浆孔	9	9	117	5.5	511.57	517.07	40886.07	4054.92	44940.99
W右-上-JC-1	1	/	12	0.6	53.84	54.44	427.6	209.9	637.5

3 施工工艺

3.1 施工工艺流程

试验孔分三序进行,施工顺序为 I 序孔(I 序孔中先施工先导孔)→II 序孔→III 序孔。

3.2 钻孔

a. 钻孔采用 XY-2PC 型地质钻机,按照设计要求帷幕灌浆孔开孔孔径 $\phi 91\text{mm}$;钻孔孔径选用 $\phi 75\text{mm}$ 、 $\phi 60\text{mm}$ 两种;压水检查孔孔径 $\phi 75\text{mm}$;抬动观测孔孔径 $\phi 91\text{mm}$ 。

b. 帷幕灌浆孔的开孔位置与设计孔位偏差一般不大于 10cm。钻孔的终孔深度符合设计规定,钻孔孔底允许偏差符合表 2 规定^[2]。

表 2 帷幕灌浆孔底偏差要求

孔 深 / m	20	30	40	50	60	80	100
最大允许偏差值/m	0.25	0.5	0.8	1.15	1.5	2.0	2.5

3.3 钻孔冲洗与压水试验

a. 试验设备:该次灌浆采用 3SNS 型灌浆泵、钻杆、封闭器(压水塞)、灌浆自动记录系统等施工设备。

b. 各灌浆段灌浆前应采用压力水进行裂隙冲洗,冲洗压力为该段灌浆压力的 80%,且不大于 1MPa;冲洗时间至回水清净时为止,且不大于 20 分钟^[2]。

c. 压水采用简易压水试验,可结合裂隙冲洗进行;压水试验压力为该孔段灌浆压力的 80%,若大于 1.0MPa 时,采用 1.0MPa。压水试验每 5min 测读一次流量,连续 4 次读数中最大值与最小值之差小于最终值的 10%,或最大值与最小值之差小于 1L/min 时,该阶段试验即可结束,取最终值作为计算值^[2]。

3.4 灌浆

a. 灌浆设备:3SNS 型灌浆泵、高速涡轮制浆机、立式双桶储浆搅拌机、灌浆自动记录仪、不铸钻孔口封闭器等。

b. 灌浆方法:采用“孔口封闭、自上而下,孔内循环”分段灌浆方法施工。

c. 灌浆段长及压力:详细参数见表 3。

表 3 帷幕灌浆分段及压力

灌浆段次	1	2	3	4	5	...	终孔段
段长/m	1	2	5	5	5	...	$\leq 10\text{m}$
灌浆压力/MPa	1.0	1.5	2	2.5	3	...	≤ 3.0

d. 灌浆浆液。

①采用普通水泥浆液灌浆,水泥标号为 P. O 42.5MPa;水泥细度要求通过 80 μm 方孔筛的筛余量不超过 5%。

②灌浆用水采用水库中的水,水质符合《水工混凝土施工规范》要求。

③使用高速搅拌机制浆,搅拌时间不少于 30s,自制备至用完时间宜小于 4h。

e. 浆液浓度等级。浆液浓度遵循由稀到浓的原则逐级变换,采用 5:1、3:1、2:1、1:1、0.8:1、0.5:1 等六个比级,开灌比级为 5:1。

f. 灌浆结束与封孔。灌浆结束标准依据设计技术要求和(DL/T 5148—2012)《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》执行,即在最大设计压力下,或注入率不大于 1.0L/min 时,继续灌注 30min 结束^[1]。

g. 抬动变形观测。试验各段次从钻孔冲洗到封孔全过程均进行变形观测,未出现抬动变形。

h. 特殊情况处理。灌浆试验各孔段均按设计及规范要求一次灌注结束,没有出现冒(漏)浆、灌浆中断、串浆等情况。

i. 灌浆质量及效果检查。灌浆结束 14d 后,进行检查孔施工。检查孔分段进行压水试验检查,同时采取岩芯。在 W 右-上-III-16 ~ W 右-上-I-15 之间,轴线中点位置布设一个质量检查孔,编号为 w 右-上-JC-1。经检查孔资料数据分析,满足设计小于 3Lu 的防渗要求。

4 试验成果分析

4.1 灌前透水率分析

a. 岩体透水率分析。在试验段布设 3 个 I 序孔,包括 1 个先导孔,施工中采用简易压水试验,成果以透

水率 q 表示,其值可认为代表该部位岩体原始透水率 情况,具体情况见表4。

表4 灌前压水试验透水率统计结果汇总

孔号	平均透水率/Lu	总段数	透水率区间(段数/百分比%)					备注
			1~3	3~5	5~10	10~100	>100	
W右-上-I-11	8.61	14	1/7	1/7	10/72	2/14	/	2.85~31.14Lu
W右-上-I-15	9.44	13	1/8	1/8	8/61	3/23	/	2.72~32.33Lu
W右-上-I-19	7.87	13	1/8	3/23	7/54	2/15	/	2.77~21.58Lu
合计		40	3/7.5	5/12.5	25/63	7/17	/	

由表4可以看出,压水试验1~3Lu的占总段数的7.5%,3~5Lu的占12.5%,5~10Lu的占63%,10~100Lu的占17%,反映出岩体初始渗透性基本大于设计防渗要求,小于10Lu的占80%以上,说明岩石裂隙发育以细微裂隙为主;大于10Lu的全部在前3段,接触段均在20Lu以上,说明局部存在中等裂隙,混凝土与基岩接触段存在较大缝隙,可灌性较强。

b. 各次序孔透水率分析。由表5及图2可知,小于5Lu的频率为20%、20%、37%,Ⅲ序孔较I序孔、Ⅱ

序孔频率随着灌浆次序的加密而提高;5~10Lu的频率为63%、65%、49%,随着灌浆次序变化,Ⅲ序孔频率较I序孔、Ⅱ序孔有明显减少;大于10Lu的频率为18%、15%、14%,Ⅲ序孔、Ⅱ序孔、I序孔逐序减少。随着灌浆次序的增加,透水率在小区间内的频率增加,大区间内的频率减少,符合一般灌浆规律。从各次序孔平均透水率看,I序孔、Ⅱ序孔、Ⅲ序孔透水率平均值为8.64Lu、7.12Lu、5.98Lu,随着灌浆次序的增加,透水率逐次减小,符合一般灌浆规律。

表5 生产性帷幕灌浆试验压水成果汇总

排序	孔序	孔数	透水率/Lu	总段数	透水率区间(段数/百分比%)				
					1~3	3~5	5~10	10~100	>100
单排	I	3	8.64	40	3/8	5/12	25/63	7/18	/
	Ⅱ	2	7.12	26	2/8	3/12	17/65	4/15	/
	Ⅲ	4	5.98	51	4/8	15/29	25/49	7/14	/
小计		9	7.25	117	9/8	23/20	67/57	18/15	/

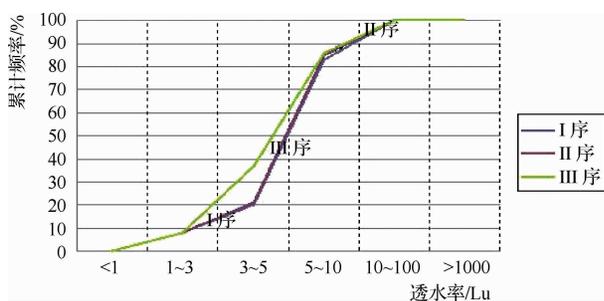


图2 帷幕灌浆试验孔透水率/频率曲线

4.2 水泥注入量分析

根据灌浆资料分析,单位水泥注入量大于100kg/m的段次主要分布在I钻孔、II钻孔中,与灌前压水透水率基本吻合。

各次序孔平均单位注入量值随着灌浆次序的增加,有明显的减少,其中II序孔比I序孔减少39%,Ⅲ序孔比II序孔减少28%,单位注入率逐次减小,符合一般灌浆规律。

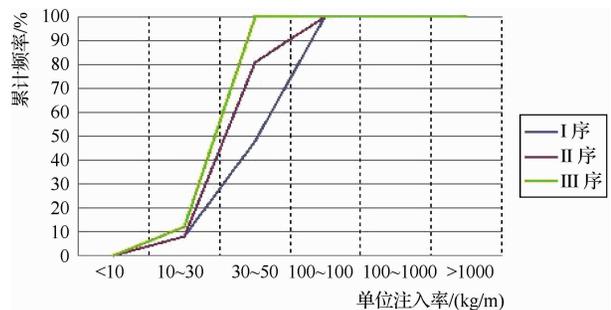


图3 帷幕灌浆试验孔单位注灰量/频率曲线

试验段单位注灰量 10~30kg/m 的孔段共 11 段占 9%,在 30~100kg/m 区间的 80 段占 69%,大于 100kg/m 的 26 段占 22%,与该部位岩体透水性基本相对应。

根据图 3 各次序孔耗灰量频率曲线图,可以看出 从左到右 I 序孔、II 序孔、III 序孔逐渐减少,符合一般 灌浆规律,灌浆效果良好(表 6)。

表 6 帷幕灌浆试验孔注入率汇总

排序	孔序	孔数	灌浆长度/ m	水泥注入 量/kg	单位注入量/ (kg/m)	总段数	单位注入量/(kg/m)区间(段数/频率)				
							10~30	30~100	100~300	300~1000	>1000
单排	I	3	170.72	20555.87	120.41	40	3/8	16/40	21/53	/	/
	II	2	115.27	8427.86	73.11	26	2/8	19/73	5/19	/	/
	III	4	225.58	11902.34	52.76	51	6/12	45/88	/	/	/
小 计		9	511.57	40886.07	79.92	117	11/9	80/69	26/22	/	/

4.3 透水率与单位水泥注入量的关系

由表 7 可知, I 序孔、II 序孔、III 序孔平均单位透

水率逐次减小,单位水泥注入量随着透水率的减小而 减少,符合一般灌浆规律。

表 7 透水率与单位水泥注入量统计结果

孔 号	单位透水率/Lu	单位注入量/(kg/m)	备 注	孔 号	单位透水率/Lu	单位注入量/(kg/m)
W 右-上-I-11	8.61	111.39		W 右-上-III-12	6.22	56.75
W 右-上-I-15	9.44	139.48	先导孔	W 右-上-III-14	5.95	49.95
W 右-上-I-19	7.87	111.17		W 右-上-III-16	6.04	53.96
W 右-上-II-13	7.02	71.91		W 右-上-III-18	5.77	50.23
W 右-上-II-17	7.21	74.33				

4.4 检查孔成果分析

W 右-上-JC-1 检查孔岩芯采取率为 86.9%,从岩 芯看,混凝土与基岩结合面胶结良好,密实无缝隙。

检查孔总共压水 12 段,透水率最大 2.71Lu,最小 1.27Lu,透水率均小于设计 3Lu 的防渗标准。

检查孔在压水检查后,与试验灌浆孔要求一致,进 行分段灌浆,灌浆压力同帷幕灌浆,灌浆 12 段,单位水 泥注入量最大为 12.81kg/m,最小为 5.156kg/m,平均 为 7.94kg/m,呈现不吃浆或吃浆量很小的状态,表明 试验区灌浆效果良好。检查孔质量检查统计见表 8。

表 8 检查孔压水试验成果

孔 号		1 段	2 段	3 段	4 段	5 段	6 段	7 段	8 段	9 段	10 段	11 段	12 段
W 右-JC-1	透水率/LU	2.71	2.69	1.29	2.44	2.23	2.30	2.13	1.65	1.68	1.83	1.45	1.27

4.5 钻孔测斜成果分析

灌浆孔每间隔 5m 测斜一次,计算钻孔的孔底偏 差值。偏距范围在 0.12~0.55m 之间,满足设计及规 范要求。

4.6 变形观测分析

试验段 10 个孔(1 个检查孔)129 个灌浆段从裂隙 冲洗、压水、灌浆及封孔过程中,均密切进行趾板抬动 变形观测分析,各孔段均未出现抬动变形。

4.7 灌浆水灰比分析

灌浆过程中采用设计要求的 5:1、3:1、2:1、1:1、 0.8:1、0.5:1 六个比级浆液灌注,其统计情况见表 9。

由表 9 可知,试验段 117 个灌浆段,72% 的孔段都 使用两个及以上的比级灌注。使用开灌水灰比 5:1 结 束的孔段有 33 段,占 28%,说明开灌水灰比选择 5:1 是适合该地层灌浆的。结束水灰比 3:1、2:1、1:1、 0.8:1、0.5:1 分别为 52 段、23 段、7 段、(下转第 9 页)