

锦屏一级水电站坝基无盖重固结灌浆施工工艺探讨

杨世伟, 李德勇

(四川准达岩土工程有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘要: 锦屏一级水电站大坝由于基础层混凝土仓面面积大, 温控要求严格、间歇期短, 固结灌浆施工与坝体混凝土温控存在较大矛盾, 主要采取无盖重固结灌浆加有盖重补强固结灌浆及引管的方式进行。主要就无盖重固结灌浆主要存在问题进行了分析和探讨。

关键词: 水电站坝基; 无盖重固结灌浆; 锦屏一级水电站

中图分类号: TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)08-0056-03

Discussion on Construction Technology of Consolidation Grouting without Concrete Covering for Dam Foundation in Jinping 1 Hydropower Station/YANG Shi-wei, LI De-yong (Sichuan Zhunda Geotechnical Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072, China)

Abstract: In Jinping 1 hydropower station, because of large concrete surface of dam foundation, strict temperature control, short construction interval and the contradiction between consolidation grouting and concrete temperature control, both consolidation grouting without concrete covering and reinforced consolidation grouting with concrete covering were adopted. The paper analyzed and discussed the main problems of consolidation grouting without concrete covering.

Key words: dam foundation; consolidation grouting without concrete covering; Jinping 1 hydropower station

1 概述

锦屏一级水电站位于四川凉山州盐源县、木里县交界的雅砻江上, 是雅砻江水能资源最富集的中、下游河段五级水电开发中的第一级水电站。大坝为混凝土双曲拱坝, 坝顶高程 1885 m, 最大坝高 305 m, 水库总库容 77.6 亿 m^3 , 调节库容 49.1 亿 m^3 , 具有年调节性能, 装机容量 3600 MW, 年发电量 166.2 亿 $kW \cdot h$ 。该水电站以发电为主, 兼有蓄能、蓄洪和拦砂作用。

根据前期的固结灌浆试验成果, 降低大坝混凝土开裂风险, 锦屏一级水电站固结灌浆主要采取如下灌浆方案。

(1) 在河床及边坡较缓的 11~17 号坝段采用无盖重固结灌浆 + 有盖重补强固结灌浆。坝体混凝土浇筑前, 进行坝基 I 序孔、II 序孔、III 序孔的无盖重固结灌浆, 待浇筑混凝土厚度达 6 m 后, 并在其强度达到 50% 设计强度后再对浅表 0~5 m 的岩体在无盖重固结灌浆孔间重新钻孔灌浆。

(2) 其它坝段采用无盖重固结灌浆 + 引管有盖重固结灌浆, 具体为: 坝体混凝土浇筑前, 进行坝基 I 序孔、II 序孔、III 序孔的无盖重固结灌浆, 并要求在坝体混凝土浇筑前, 结合坝基接触灌浆, 对浅表 0

~5 m 的岩体在无盖重固结灌浆孔间重新钻孔, 采取引管至坝后贴角或监理人指示其它部位, 须待其上部坝体浇筑高度 > 30.0 m, 且当相应坝段的横缝接缝灌浆结束 3 天后, 开始对 0~5 m 段进行引管有盖重加强固结灌浆。

2 固结灌浆施工难点

2.1 工程量大、工期紧, 与混凝土施工形成干扰

锦屏一级水电站大坝基础固结灌浆工程量达 25.2 万 m^3 , 工期紧, 与混凝土施工干扰较大。为利于温控及混凝土防裂, 坝体混凝土层间间歇期控制在 7~15 天, 固结灌浆安排在混凝土层间间歇期内施工, 一般分两期施工。分两期施工造成施工不连续, 增加了钻灌设备的投入、二次倒运费和人员设备的窝工, 同时也延长了单个坝段固结灌浆的净施工工期。

2.2 坝基地质条件比较复杂

坝基岩体受开挖爆破影响, 卸荷松弛严重, 其间分布了 F2、F13、F14、F18 等多条断层和溶蚀裂隙, 坝基主要以大理岩为主, 其间分布着少量砂岩、绿片岩。大透水率、大耗浆量孔段较多, 在压水、灌浆过程出现串、冒、漏情况给施工带来一定难度。同时大透水率、大耗浆量孔段, 施工过程中易造成坝体抬动变

收稿日期: 2010-12-15

作者简介: 杨世伟(1977-), 男(汉族), 河南人, 四川准达岩土工程有限责任公司工程师, 水工专业, 从事岩土施工管理工作, 四川省成都市青羊区浣花北路 1 号, zdrecysw@163.com。

形,存在一定的风险性。

3 无盖重固结灌浆设计

3.1 无盖重固结灌浆的布置及分区

为提高坝基岩体的整体性和承载能力,以适应305 m高拱坝基础应力需要,大坝坝基基础岩面全部布置有固结灌浆,共分26个坝段进行。根据地质条件每个坝段分B、C、D区。

固结灌浆孔布置原则为:B区间排距为2.0 m×2.0 m,孔深入基岩25 m。C、D区间排距为3.0 m×3.0 m,孔深分别为20 m和15 m。固结灌浆孔矩形布置,分三序进行施工。

3.2 无盖重固结灌浆总体施工工艺流程

施工顺序如下:抬动孔→物探孔(物探测试)→I序孔→II序孔→III序孔→检查孔(物探测试)。

3.3 无盖重固结灌浆施工工艺

根据试验成果,结合坝基地质情况,坝基固结灌浆主要采用的施工工艺如下:无盖重固结灌浆在II级、III₁级岩体中钻灌时采用自下而上分段灌浆法,在III₂级岩体中钻灌时,I序孔采用自上而下分段灌浆法,其后序孔根据现场实际情况,按监理人指示可选用自上而下分段灌浆法、自下而上分段灌浆法或综合灌浆法。

(1)钻孔。钻孔要求分序、分段进行,钻孔孔底偏差控制不大于1/40孔深,孔位偏差 ≥ 10 cm。

(2)洗孔、压水。钻孔冲洗分孔壁冲洗和裂隙冲洗,裂隙冲洗采用高低压脉动冲洗,冲洗压力一般采用80%的灌浆压力,压力 > 1.0 MPa时,采用1.0 MPa。

物探孔、灌后检查孔进行“单点法”压水试验,一般灌浆孔段采用简易压水试验,“单点法”压水试验和简易压水的压力为灌浆压力的80%,若大于1 MPa时,采用1.0 MPa。

采用自下而上分段灌浆法时,各灌浆孔可在灌浆前全孔进行一次裂隙冲洗,孔底段进行一次简易压水。

采用孔口封闭法和自上而下分段灌浆法进行灌浆时,各孔段均进行简易压水。

(3)灌浆分段及压力。灌浆过程中应根据抬动监测情况及时调整灌浆压力,以不发生抬动为原则,基岩抬动变形允许值 ≥ 200 μm 。设计灌浆压力参数见表1。

(4)浆液比级和变浆标准。固结灌浆水灰比为2、1、0.7和0.5(质量比)四个比级,开灌采用2。浆

表1 固结灌浆压力参考表

孔深/m	压力/MPa		
	I序孔	II序孔	III序孔
0~2	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.5
2~5	0.5~0.8	0.8~1.5	1.5~2.0
5~10	0.8~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5
10~15	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
15~20	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5
20~25	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5

液变换遵照由稀到浓逐级变换。

(5)灌浆结束标准。采用自上而下分段灌浆法时,灌浆段在最大设计压力下,注入率 ≥ 1 L/min,继续灌注60 min,可结束灌浆;采用自下而上分段灌浆法时,灌浆段在最大设计压力下,注入率 ≥ 1 L/min,继续灌注30 min,可结束灌浆。

(6)封孔。灌浆结束后采用全孔一次封孔。全孔灌完后,采用水灰比0.5的浓浆全孔置换稀浆,封孔压力采用该孔所在序的第1段灌浆压力,屏浆30 min后结束。

3.4 固结灌浆的质量标准

固结灌浆质量检查采用检查岩体波速、钻孔变形模量和钻孔全景图像测试,并结合钻孔压水试验、灌浆前后物探成果、有关灌浆施工资料以及结合钻孔取心资料等综合评定。

3.4.1 灌后透水率标准

固结灌浆检查孔压水试验采用“单点法”,孔数按灌浆孔总数的5%控制。

压水试验孔段合格率在85%以上,不合格孔段的透水率不超过设计规定的150%,且不集中。

防渗帷幕中心线上、下游各3 m范围透水率 ≥ 1 Lu;其它范围透水率 ≥ 3 Lu。

3.4.2 灌后岩体声波标准

无盖重固结灌浆岩体声波标准见表2。

表2 灌浆处理后岩体物理力学性质指标设计要求

岩类	声波速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		钻孔变形模量 E/GPa	单位透水率q /Lu	
	85%以上的测点	5%以下的测点			
大理岩	II类岩体	≥ 5500	< 4500	≥ 21.0	≤ 3.0
	III ₁ 类岩体	≥ 5200	< 4300	≥ 11.0	≤ 3.0
	III ₂ 类岩体	≥ 5000	< 4200	≥ 7.0	≤ 3.0
砂板岩	II类岩体	≥ 5300	< 4400	≥ 12.0	≤ 3.0
	III ₁ 类岩体	≥ 5000	< 4200	≥ 9.0	≤ 3.0
	III ₂ 类岩体	≥ 4800	< 4100	≥ 6.0	≤ 3.0
	IV ₂ 类岩体	≥ 4300	< 3800	≥ 4.2	≤ 3.0

4 固结灌浆成果分析

4.1 灌浆成果分析

已施工坝段灌浆成果统计见表3。从表3可以看出:总体灌浆成果符合递减规律。

表3 无盖重固结灌浆单位注入率统计表

坝段号	孔段/m	单位注入率/(kg·m ⁻¹)			
		I	II	III	平均
14	0~5	429.1	162.3	71.8	320.49
	5~孔底	465.9	178.4	101.6	317.14
15	0~5	307.1	191.1	112.7	203.52
	5~孔底	358.6	271.1	145.4	320.27
16	0~5	315.1	212.2	112.7	351.74
	5~孔底	375.6	232.1	145.4	405.56
17	0~5	293.2	152	87.6	181.20
	5~孔底	266	156.6	81.1	172.72
18	0~5	237.23	133.63	76.39	133.47
	5~孔底	257.96	143.41	65.22	155.65
19	0~5	548.91	173.07	83.29	246.39
	5~孔底	518.31	187.85	72.63	243.26

表4 坝基固结灌浆检查孔压水情况汇总表

坝段号	1 Lu 标准区					3 Lu 标准区					备注
	检查孔数	压水段数	≤1 Lu	合格率/%	>1.5 Lu	检查孔数	压水段数	≤3 Lu	合格率/%	>4.5 Lu	
14	3	18	18	100	0	7	42	42	100	0	
15	2	10	10	100	0	15	75	75	100	0	
	2	10	10	100	0	13	65	65	100	0	补强后
16	1	6	6	100	0	9	54	51	94.4	3	
	1	5	5	100	0	2	8	8	100	0	补强后
17	1	6	6	100	0	19	101	99	98.0	2	
18	2	12	12	100	0	11	53	53	100	0	
19	4	23	22	96.0	1	22	116	116	100	0	
合计(平均)	16	90	89	98.9	1	98	514	509	99.0	5	

注:透水率超标孔段单独灌浆处理,重新布孔检测后合格。

表5 坝基固结灌浆各坝段声波检测情况统计表

岩级	坝段号	检查孔数	孔段/m	声波速度/(km·s ⁻¹)			综合评价
				灌前	灌后	提高率/%	
	14	10	0~5	4966	5710	14.98	合格
			5~孔底	5512	5878	6.64	
	15	17	0~5	4684	5217	11.30	不合格
			5~孔底	5152	5409	4.98	
III ₁	补强后	17	0~5		5876	25.40	合格
			5~孔底		5733	11.20	
	16	8	0~5	4562	5641	23.60	合格
			5~孔底	5246	5595	6.60	
补强后	16	2	0~5		5752	26.00	合格
			5~孔底		5632	7.35	
	16	2	0~5	4953	6014	21.40	不合格
			5~孔底	5252	5777	9.90	
补强后	16	1	0~5		5841	17.90	合格
			5~孔底		5659	7.70	
II	17	17	0~5	5225	5823	10.50	合格
			5~孔底	5460	5853	7.20	
	18	13	0~5	5408	5878	8.69	合格
			5~孔底	5790	5950	2.76	
	19	26	0~5	5078	5679	11.50	合格
			5~孔底	5505	5774	4.90	

4.2 检查孔压水成果分析

根据灌后检查孔压水成果统计,14~19坝段共完成灌后检查孔114个,压水604段次,合格597段次,合格率98.8%。具体见表4。

4.3 灌后声波成果分析

固结灌浆灌后采用物探的手段进行检测,包括声波波速、变模,检测结果见表5、6。

根据灌后声波检测结果可以看出:在III₁级岩体中灌后声波值较灌前提高4.98%~26.0%,II级岩体灌后声波值较灌前提高2.76%~21.4%。同时结合表6,各级岩体灌后变模得到极大提高,岩体整体性和抗变形能力得到充分改善,并满足了设计要求。

表6 坝基固结灌浆各坝段变模检测情况统计表

岩级	坝段号	孔深/m	灌前平均值/GPa	灌后平均值/GPa	提高值/%
III ₁	14	0~5		17.61	
		5~孔底	7.54	20.86	176.66
	15	0~5	10.78	20.38	89.1
		5~孔底	3.82	15.26	299.4
16	0~5		15.30		
	5~孔底	9	13.31	47.8	
II	16	0~5	9.04	0	
		5~孔底	11.37	15.53	36.5
	17	0~5	9.69	10.64	9.8
		5~孔底	13	15.41	18.5
	18	0~5	13.52	15.44	14.2
		5~孔底	11.99	17.32	44.5
19	0~5	8.06	17.60	118.4	
	5~孔底	11.16	16.83	50.8	

5 存在的问题

5.1 灌后压水透水率偏大

14~19号坝段检查孔压水部分孔段透水率超

(下转第63页)



图6 R=6 mm的倒角切缝

(3)改进了切缝设备的自动化系统,提高了设备的智能化程度。(4)特种异型金刚石工具的配方设计、结构优化设计保证了切缝的质量。

(5)改进了对切缝深度的控制,采用了深度控制轮。

(6)特种异型金刚石刀头可一次完成切缝导(倒)角,切割效率可以达到1~1.5 m/min;既有效保证了质量又提高了切缝导(倒)角效率。

(7)根据试验的结果,可以比较得出8 mm锯片+R6 mm导(倒)角分体式组合切割工艺和8 mm锯片+R6 mm导(倒)角整体式组合切割工艺切割的效果较好(整体式更好,但造价高),因此推荐整体组合工艺。

(8)改进后的DIMAS FS-6600D型锯切机与我们研发的整体式特种金刚石工具匹配,在4 mm切

缝完成的基础上一次性完成8 mm切缝的切割导(倒)角工序,能够达到美国联邦航空管理局《指南》的要求;可以大大提高工作效率(切缝速度比原先提高了40%),降低成本,达到切导(倒)角最佳效果;可选定最佳优化方案。

本研究、研制取得的成果使机场航道路面维护更加方便,在其他切缝工程上的推广应用亦有广泛的前景。

参考文献:

- [1] AC 150/5320-6D,美国联邦航空管理局对设计普通水泥混凝土(pcc)机场跑道道面的指南(第二版)[S].
- [2] 美国联邦航空管理局.美国FAA(联邦航空局)西北山区普通水泥混凝土机场跑道道面设计指南的补充[M].2003.
- [3] 美国联邦航空管理局.美国联邦航空航天管理局关于混凝土结构的补充文件[M].2006.
- [4] 美国联邦航空管理局.混凝土道面创新研发基金关于机场刚性混凝土道面结构施工工艺的研究报告[R].2003.
- [5] 潘秉锁,方小红,杨凯华.自润滑孕镶金刚石钻头胎体材料初步研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1).
- [6] 谢北萍,段隆臣,孟大维.金刚石钻头钻基胎体材料冲蚀磨损的量化研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12):67-69.
- [7] 孙秀梅,刘建福.坚硬“打滑”地层孕镶金刚石钻头设计与选用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2).
- [8] 李天明,李大佛,雷艳,等.自激振荡脉冲射流提高PDC钻头机械钻速实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,25(11).
- [9] 孙丙伦,孙友宏,徐良.金矿复杂地层金刚石取心钻头选型试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8).

(上接第58页)

标,主要集中在孔口段0~5 m范围。由于无盖重固结灌浆0~5 m段灌浆压力降低,普遍存在冒浆现象,并且对注入量较大孔段采取限流、限量、待凝等措施,对灌浆质量造成了一定的负面影响。

5.2 灌后声波合格率偏低问题

从已施工部分坝段的灌后声波成果可以看出,声波波速未达到设计要求的主要集中在孔口段5 m范围和存在地质缺陷部位。

6 工艺措施探讨和建议

无盖重固结灌浆有效地降低了混凝土开裂的风险,减少对混凝土浇筑的工期占压,能够做到快速均匀上升,有效防止地应力回弹,避免仓面裂缝产生。孔口段0~5 m范围采用有盖重加强及引管到下游贴脚,能够保证灌浆质量。同时避免固结灌浆施工与冷却水管干扰问题。

对于检查孔未达到要求(主要是声波检测)的部位,采取局部加强的措施,特别是15号坝段和16号坝段,采取整体加强的方式进行,补强后经检查,均可以达到设计要求。

无盖重固结灌浆采用了“自上而下分段钻孔、分段灌浆”和“一次性成孔,自下而上分段灌浆”两种施工工艺,均能满足灌浆质量要求,工艺方法及操作都是成功的。

参考文献:

- [1] 孙钊.大坝基岩灌浆[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] 王自清.水利水电工程地层注浆堵水与施工新技术及标准规范[M].北京:中国知识出版社,2006.
- [3] 曹雪然.钻灌一体化灌浆工艺的研究与应用[J].黄河规范设计,2010,(1):18-19.
- [4] 王胜,黄润秋,祝华平,等.锦屏一级水电站流斑岩脉化学复合灌浆试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(11):60-64.