

双泵大流量振孔高压旋喷防渗墙在粉细砂坝中的应用

崔雪玉, 万翔鸿, 张迪迪, 邓会君

(中国水利水电第一工程局基础工程分局, 辽宁 大连 116041)

摘要:振孔高喷是近几年发展的钻喷一体化、一次成墙较为先进的高喷防渗墙施工工艺, 是利用高压喷射流对地层产生冲切、掺搅、升扬、置换、充填挤压、渗透固结等作用, 形成所需性状的防渗固结体。本工程是首次将水力冲填粉细砂坝应用到水利枢纽大坝工程中, 采用高喷防渗墙进行防渗更是初次在这样的条件中使用。大流量振孔高压旋喷施工工艺既能保证施工质量, 又能提高施工工效, 是高压旋喷工艺的又一次革新。

关键词:大流量; 振孔高压旋喷; 防渗墙; 粉细砂坝

中图分类号:TV543⁺.8 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2009)03-0066-03

Application of Double-pump Large Flow Vibrating Boring and High-pressure Jet Grouting Cut-off Wall in Fine Silt Dam/CUI Xue-yu, WAN Xiang-hong, ZHANG Di-di, DENG Hui-jun (Foundation Engineering Branch, Sinohydro Engineering Bureau No. 1, Dalian Liaoning 116041, China)

Abstract: Vibrating boring and high-pressure jet grouting is an integrated technologies of drilling and grouting and advanced high-pressure jetting anti-seepage wall construction technology for one-step wall forming. Anti-seepage concretion was formed by punching shearing, mixing, lifting, replacing, packed pressing and permeable solidity with high-pressure jet flow. Fine silt dam by hydraulic filling was used in hydro-junction dam engineering for the first time, and high-pressure jetting anti-seepage wall was also for the first time used for seepage control. Large flow vibrating boring and high-pressure jet grouting is an innovation in high-pressure jet grouting technology, which can not only ensure construction quality but also increase working efficiency.

Key words: large flow; vibrating boring and high-pressure jet grouting; anti-seepage wall; fine silt dam

1 概述

大顶子山航电枢纽位于黑龙江省松花江干流哈尔滨市以东约46 km处, 是一座以航运、发电和改善哈尔滨市水环境为主, 同时具有交通、水产养殖和旅游等综合利用功能的低水头航电枢纽工程。枢纽建筑物有船闸、泄洪闸及混凝土过渡坝段、河床式水电站、土坝、闸(坝)上公路(桥)等。水库正常蓄水位116.00 m, 最大库容 $16.97 \times 10^8 \text{ m}^3$, 装机容量66 MW, 最大下泄流量 $22704 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

本枢纽工程为一等工程, 工程规模为大(1)型, 相应的土坝为2级建筑物, 相应洪水标准为100年一遇洪水设计, 300年一遇洪水校核。

工程地处松嫩平原南部, 坝址处河谷呈宽阔不对称的U字形, 沼泽湿地、牛轭湖、砂丘、砂垄发育, 地面(水下)高程在107~109 m, 正常蓄水位为116 m, 防洪水位上限118 m。

土坝布置在左岸滩地上, 总长1959.70 m, 为水力冲填粉细砂坝, 坝顶宽12.00 m, 最大坝高14.20 m, 坝顶高程121.50 m。坝基为松散的级配不良细、中、粗砂, 厚度约10 m, 透水性强, 粉细砂、细砂平均厚度20 m左右; 基岩为白垩系灰色泥岩, 强风化深度不等, 最深达2 m多。强风化泥岩中含泥量较大。

设计防渗方案原为: 基础为槽板式砼防渗墙, 坝体为粘土心墙。由于工期原因, 设计优化后的防渗方案为: 坝基与坝体均为高压旋喷防渗墙, 防渗墙进入中等风化岩0.5 m, 墙厚 $<60 \text{ cm}$, 渗透系数 $>10^{-5} \text{ cm/s}$, 28天抗压强度3~5 MPa。

由于水力冲填粉细砂坝是首次应用到水利枢纽大坝工程中, 采用高喷防渗墙进行防渗更是初次, 而防渗墙对大坝安全运行非常关键, 为确定本工程不同地层中高喷施工使用的参数, 施工前进行了2次高压旋喷灌浆试验, 从而确定合适的施工参数。

收稿日期: 2008-09-03

作者简介:崔雪玉(1970-), 女(汉族), 内蒙古武川人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局副局长、高级工程师, 水文地质与工程地质专业, 从事水工建筑物基础处理工作, 辽宁省大连市旅顺口区中水山庄基础工程分局, cuixueyu1988313@163.com; 万翔鸿(1971-), 男(汉族), 宁夏隆德人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局副总工程师、项目总工程师、高级工程师, 工程地质专业, 从事水工建筑物基础处理工作, JCHFJWXH711100@tom.com; 张迪迪(1983-), 女(满族), 河北青龙人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局统计员、助理工程师, 计算机专业, 从事统计工作, didis520zl@163.com; 邓会君(1982-), 男(满族), 吉林梅河口人, 中国水利水电第一工程局基础工程分局项目总工程师、助理工程师, 水利水电工程专业, 从事水工建筑物基础处理工作, 68851698@qq.com。

参数确定后于2007年3月20日~5月12日进行施工,施工防渗墙轴线长1350 m,施工工期为42天,投入振孔高喷设备7台套,完成防渗墙2.5万 m^2 。

2 布孔及技术参数

2.1 振孔旋喷布孔及技术参数

2.1.1 布孔

根据旋喷试验围井试验的实际情况以及现场的需要,高压旋喷防渗墙在坝轴线上游5 m位置布孔,孔距选定为0.8 m。

2.1.2 振孔旋喷技术参数的选择

根据振孔旋喷试验,参考以往工程实例,本工程确定参数如下:

土坝高喷防渗墙选用大排量旋喷施工工艺,其施工参数为:孔距0.8 m,进浆量140 L/min,风压0.8~1.0 MPa,风量4~8 m^3/min ,浆压32~35 MPa;提速:基岩为4 cm/min,基岩上5 m为16 cm/min,其余为18 cm/min;旋转速度:16~20 r/min;浆液密度:1.35~1.45 g/cm^3 ;孔斜率 $\leq 1\%$ 。

3 施工程序

振孔旋喷施工程序为:施工准备→确定旋喷孔位→旋喷机就位→调整振管垂直度→供浆、供气及地面试喷→振动旋转至设计深度→旋转提升喷射灌浆至设计高程→旋喷结束提出振管→旋喷机就位。

4 施工过程控制

(1)孔位定位:由施工技术人员根据试验方案进行放样,做好标记和编号,定位误差 ≤ 3 cm,当班质检员检查合格确认后,方进入下道工序。

(2)振孔旋喷机就位:由操作人员用水平尺校准振孔旋喷机垂直度,并经质检人员检查满足要求后,稳定振孔旋喷机。

(3)调整喷管垂直度:利用水平尺(或铅锤)调整高喷管垂直度,确保气泡居中(或铅锤在圆环内),经过两次检测合格以后,即满足高喷灌浆施工的偏斜控制要求。

(4)振动成孔前:先进行地面试振,各项技术指标达到要求后,调低气、浆压力参数后将高喷管下振至孔底。

(5)高喷头下振至孔底后,将浆、气参数调到试验值,待浆液返出孔口后,按试验参数进行高喷灌浆。

(6)为确保防渗墙底线进入岩石并嵌接良好,在振孔过程中详细观察机械的振动状况,并记录入岩深度,达到入岩0.5 m以上后终孔。

(7)详细记录孔号、孔深、地层变化等特殊情况及处理措施。

(8)提升喷射注浆:按照试验参数自下而上按规定速度提升到既定防渗墙顶高程后,调低高喷参数并快速提升到地面。

(9)高喷灌浆原则上全孔连续作业,施工有间断的孔段,需进行复喷,搭接长度 < 0.5 m,复喷工作在技术人员指导下进行。

(10)当提升旋喷过程中出现压力骤升或突降、孔口回浆浓度或回浆量异常现象时,及时查明原因,妥善处理,并报告监理工程师。

(11)高喷灌浆过程中异常现象,采取以下措施处理。

①孔口不返浆时,立即停止提升,加大进浆量和风压;孔口少量返浆时,降低提升速度。

②孔口返浆浓度过大时,降低浆液浓度或在孔口增加补偿稀释水管并控制流量,避免高喷塌孔、埋管事故发生。

③备用发电机(50 kW以上功率),减少突然停电带来危害性影响。

④供浆正常的情况下孔口回浆密度变小、回浆量增大,降低风压并加大浆液密度或进浆量。若孔口冒浆量过大,可通过下列措施解决:提高喷射压力;适当缩小喷嘴孔径;提升速度适当加快。

(12)高喷灌浆结束后,利用回浆或水泥浆及时回灌,直到孔口浆面不下降为止。

(13)试验过程中准确记录高喷灌浆的各项参数、浆液材料利用量、异常现象及处理情况,检查各项施工参数是否符合既定试验参数。

(14)浆量、浆压、风压、风量等其它旋喷参数,由专职记录员观测记录。

(15)高喷灌浆施工过程中经常观察回浆情况,采取措施保证孔内浆液上返畅通,避免造成地层劈裂和地面抬动。

(16)经常检查、准确判断浆嘴、气嘴完好状态,出现介质流异常现象立即处理。

5 浆液配制与使用

(1)制浆用水泥为普通硅酸盐水泥,强度等级为32.5级;高喷浆液密度在1.35~1.45 g/cm^3 之间。

(2)水泥经过粗滤网筛和细滤网筛两层过滤后方可使用,并定时检测其密度,控制浆液温度在5~40℃之间。

(3)现场制浆各种原材料计量采用质量法或体积法,控制其误差<5%。

(4)浆液的搅拌时间,使用高速搅拌机 ≤ 30 s,搅拌后时间超过4 h的浆液不得使用。

6 特殊情况处理

(1)施工中及时观察,准确判断浆嘴、气嘴畅通情况,当浆嘴、气嘴堵塞后,停止喷射加大注浆压力、降低水泥浆浓度、上下反复快速移动喷头等手段,力争通开,而后进行搭接长度 ≤ 0.5 m的复灌施工。在每一孔振孔施工之前应进行喷嘴完好状态的检验,出现介质流异常的喷嘴进行更换或处理。

(2)供浆正常的情况下孔口密度小且不能满足设计要求时,加大进浆密度或进浆量。

(3)孔口不返浆时,立即停止提升,加大进浆量和风压,并降低提升速度;孔口少量返浆时,降低提升速度。

(4)停机超过3 h时,对泵体输浆管路进行清洗后方继续施工。

(5)供浆正常的情况下孔口回浆密度变小、回浆量增大,降低风压并加大浆液密度或进浆量。若孔口返浆量过大,通常是有效喷射范围与注浆量不相适应有关,可通过下列措施解决:

- ①提高喷射压力;
- ②适当缩小喷嘴孔径;
- ③提升速度适当加快。

(6)高喷灌浆因故中断恢复施工时,进行复喷,搭接长度 ≤ 0.5 m,如中断时间超过水泥终凝时间,需在中断部位上下各1 m范围内进行补孔补喷。

7 高压旋喷灌浆质量检验

7.1 开挖外观形体检查

采用反铲进行振孔高压旋喷灌浆施工墙体开挖检测,开挖检测结果为:开挖深度为4 m,由于受土坝粉细砂吹填料影响未开挖至基岩面,从墙体立面进行桩径测量,墙体厚度均能满足墙厚60 cm要求,且有非常大的盈余。墙体搭接良好,墙体外观较规则。经过实际量测,成墙厚度最大为1.2 m,最小为0.76 m。

墙体外观检查显示:搭接良好,外形较规则,墙体均匀连续。但K0+22.00~38.4为轴线变更(由

轴上5 m向轴下方向平移3 m),相接处出现孔斜率为1.05%大于设计值($\leq 1\%$)。经分析,出现这种现象的原因是:在施工过程中由于振孔高喷机受场地影响横向移位非常困难,且由于施工场地排污限制,返浆沉积在场地排浆沟内,致使场地较软,机械支脚无法长久稳固,振动成孔时支腿不均匀下沉,两种原因造成偏斜过大,致使局部墙体孔斜率偏大。上述两方面作用造成孔斜率偏差。偏斜对墙体的搭接影响比较大。

经对孔斜率偏大的部位采取补桩的措施,补桩后完全满足墙体的各项技术参数。

7.2 墙体注水试验检查

按高压旋喷灌浆试验方案,在振孔高喷墙体上布设25个注水孔,并结合该钻孔取心,进行抗压和抗渗试验。注水孔孔径110 mm,注水分两段进行,每一段8 m左右。通过静水头注入检验,墙体浅部渗量较大,底部渗量小,总体对防渗质量影响不大,各组墙体注水试验测得渗透系数均满足设计的技术参数要求,均小于 10^{-5} cm/s。

从基岩成墙心样看,强风化泥岩已被高压射流完全切割,墙体中含有泥岩碎块,水泥胶结非常好,且两孔在岩石中的成墙深度基本在同一高程。为进一步查明强风化岩深度,墙体中钻孔深入基岩1.5 m后才出现层状较为完整、含水泥较少的中等风化泥岩。

7.3 墙体取样试验

根据不同的分组,在围井不同地方进行取样后委托外单位进行抗压、抗渗检测,结果如表1所示。

表1 岩样检测结果

施工方法	试验编号	取样深度 /m	抗压强度 /MPa	渗透系数 /(10^{-6} cm \cdot s $^{-1}$)
	DY-3	2~4	3.74	<1.0
振孔高喷	DY-11	7~16	7.94	<1.0
	DY-29	3~5	4.49	<1.0

另取25组在本单位试验室进行抗压检测,最小抗压强度为3.85 MPa,最大抗压强度为8.2 MPa。且从不同抗压数值的分布来看,深度5 m以内的试件80%抗压强度<5 MPa,5 m以深的试件82%抗压强度>5 MPa,充分说明高喷墙在形成过程中密实度随深度变化的过程:深部水泥浆沉淀多,大量砂质被高压射流带出孔外,形成墙体低部位水泥含量相对较多,而且沉淀密实。

(下转第71页)

表 1 压水检测结果

区域	孔号	孔深 /m	水位 /m	试验段			试段流量 / $(L \cdot \min^{-1})$	试验设备	
				深度/m		试段压力 /MPa			
				起	止				
不稳定区	Z10	92.90	1.7	25.00 90.00	28.00 92.90	0.717	2	12.16 13.83	KT-70/DF-70
	Z3	27.89	19.3	25.00	27.89	0.893	1	13.0	KT-70/DF-L32HZ
天子庙隧道	Z76	116.1	51.5	62.5 113	64.5 115	0.815	2	8 8.8	KT-70/DF-70
	Z82	81.97	6	32.86 80.07	34.65 81.65	0.76	2	10.66 8.83	KT-70/DF-70
官沟大桥	Z90	246.67	4.3	112 240	114 247	0.743	2	12.5 20.5	KT-70/DF-70
	Z113	304.18	6.6	176	179	0.766	1	4.12	KT-70/DF-L32HZ
西沟新村	Z25	36.6	5	23	36.6	0.7	1	4	KT-70/DF-L32HZ
	Z24	45	44	33	45	0.7	1	126	KT-70/DF-L32HZ

作方便、性能可靠,是检验灌注浆质量的有效手段之一,可在灌注浆效果检验和其它压注水试验中推广使用。

参考文献:

[1] SL 31-2003,水利水电工程钻孔压水试验规程[S].
 [2] 李炳平,等.阳泉市 307 国道复线采空区治理工程工后检测孔压水试验报告[R].2007.

(上接第 65 页)

综合分析静载试验的沉降观测数据及 $Q-s$ 曲线可知,桩的沉降稳定快、沉降量小、沉降差小; $Q-s$ 曲线属缓变形态,在最终荷载加至 7000 kN 时曲线斜率增大不多,尚未出现陡降趋势,卸载后桩回弹率高,说明尚未达到极限荷载,承载力尚有一定余量,实际承载力大于设计承载力要求。

15%。

(2)本工程地质情况比较复杂,位于洪积斜地中上部,地层多为卵石及硬塑状粉质粘土,施工相当困难,通过施工难点分析为挤扩多支盘桩在同类地区施工提供了一定的施工经验。

(3)挤扩多支盘桩能充分发挥桩周地基土的潜力,提高单桩竖向承载力、缩短桩长、降低造价、缩短工期,值得推广应用。

7 结语

(1)本工程采用挤扩支盘桩是成功的。根据岩土工程勘察报告提供的数据计算,采用普通钻孔灌注桩桩长 30 m 时,单桩竖向极限承载力标准值为 7028 kN,采用挤扩支盘桩桩长 25 m 时,单桩竖向极限承载力标准值 ≥ 7000 kN,节约工程成本 10% ~

参考文献:

[1] 编委会.建筑施工手册(第 3 版)[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
 [2] DLGJ 153-2000,火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定[S].

(上接第 68 页)

8 结论与建议

根据施工中数据的分析,得出以下结论与建议。

(1)土坝高喷防渗墙选用大排量高压旋喷施工工艺,施工中选用的参数虽然有所保守,但对于这种永久工程的永久防渗来说还是必要的,建议在以后的临时工程中可以适当加大提速、增大孔距,从而充分利用大流量高喷工艺的有利空间。

(2)若施工过程中出现异常情况,需进行复喷,复喷搭接长度 ≤ 0.5 m。

时很难准确判断深度,在施工中入岩深度建议再增加至 1 m,或在施工前应采用取心钻机沿防渗轴线取心,确定准确的防渗墙底线。

(4)孔斜控制尤为重要,特别是对于深度 > 15 m 的防渗墙,其孔斜对墙体的连续性、整体性影响较大,因此振动锤在满足地层适应情况下尽可能用小功率,控制沉入速度,同时加强旋转,从而控制偏斜。

(5)大流量旋喷灌浆工艺可以拓展应用到其它领域,如粗径桩(单桩直径可达 1.2 ~ 1.3 m),从而更进一步推动这项技术的发展。

(3)高频大功率振动锤在泥岩且上部风化岩层