

高压喷射注浆技术在白龟山水库顺河坝 防渗墙围井试验中的应用

石长青

(河南省水利勘测总队, 郑州 450003)

[摘要] 本次围井高喷试验, 选用三重管摆喷法处理方案, 施工采用两序施工方法。砼墙体连续均匀, 孔与孔之间连接较好, 其防渗、强度、厚度均能满足设计要求。

[关键词] 高喷 施工工艺 围井检查

[中图分类号] TU475 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2004)03-0101-04

1 概况

1.1 工程概况

白龟山水库位于淮河支流沙河上游、平顶山市的西南郊, 库容 $5.25 \times 10^8 \text{ m}^3$, 于1960年建成蓄水。拦河坝和顺河坝为均质土坝, 顺河坝长16.2 km, 建在沙河右岸一级阶地上, 坝基为第四系冲积物, 坝基土层下部为细砂和砂卵石层, 属强透水层, 造成库水沿此通道向库外渗漏, 形成了坝基扬压力, 危及顺河坝的安全; 另外造成水资源的极大浪费, 影响水库的经济效益。虽然下游坝脚打了降压井, 对释放承压水、降低扬压力、减少坝后沼泽化起到了极好的作用, 但防渗效果差。经多方磋商, 选用高压喷射注浆技术在小黄庄坝段(顺河坝桩号5+000~5+550)做一垂直防渗墙来截断渗流, 解决该坝段的渗漏与安全问题。

1.2 地质概况

据勘探资料, 场区地面高程约95.0 m, 覆盖层为第四系全新统冲积物(Q_4^al), 厚约24 m, 其中上部为重粉质壤土, 厚约6 m, 层底高程约89.0 m; 中部为细砂, 厚约6 m, 层底高程83.0 m; 下部为砂卵石, 成分以石英砂岩为主, 大于2 cm的含量约52%, 粒径一般2~8 cm, 个别可达20 cm以上, 多呈次圆状, 中粗砂充填较密实, 局部夹有泥质团块; 有效粒径 $d_{10} = 0.18 \text{ cm}$, 不均匀系数 $C_u = 21.2 \sim 65.2$, 曲率系数 $C_c = 0.3 \sim 0.8$, 厚约12 m, 层底高程约71.0 m, 该层上部与砂层呈互层状。下伏上第三系(N_1^l) 砂

质粘土岩和粘土质粉砂岩。

场区地下水类型为第四系孔隙承压水, 细砂层和卵石层为强透水层, 厚约18 m, 渗透系数 $K = 1.08 \times 10^{-2} \sim 27.4 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。上部重粉质壤土和下伏上第三系砂质粘土岩为相对隔水层, 施工期间场区地下水埋深1.2 m, 承压水头4.8 m。pH值7.44, 对砼无腐蚀性。

2 高喷试验方案设计

2.1 高喷原理

高压喷射注浆法始创于日本, 是20世纪70年代新兴的一种地基处理技术, 利用钻机钻孔至设计处理深度后, 用高压设备使浆液或水成为20~50 MPa的高压流从喷嘴中喷射出来, 冲击破坏土体, 同时随喷射流导入的固化浆液与被冲切的土体就地掺搅, 随着喷嘴运动和浆液的凝结固化, 在地基中按设计的方向、深度、厚度、结构形式和性能, 构筑与地基结合紧密的凝结体(或结石体), 达到加固地基或基础防渗目的的一种地基处理方法。

高压喷射注浆法按喷嘴运动方式(或形成固结体形式)可分为旋喷、定喷和摆喷三种形式。旋喷形成柱状, 定喷形成板状, 摆喷形成较厚的墙体。根据设备情况可分为单管法、二重管法、三重管法和多重管法4种。

该技术在回填土、粘性土、砂性土、砂砾石、砂卵石、卵漂石、碎石渣等第四系松散覆盖层中均可使用。其中单管法、二重管法多应用于砂土中, 三重管

[收稿日期] 2002-02-27; [修订日期] 2003-04-26; [责任编辑] 曲丽莉。

[作者简介] 石长青(1968年-), 男, 1993年毕业于河南大学, 工程师, 现主要从事水利工程勘察及岩土工程工作。

法和多重管法适用于砂砾、砂卵石地层中。本次选用三重管摆喷法处理方案。

2.2 高喷围井设计及技术指标

围井设计选用 6 个孔,按六边形布置,孔距 1.4

m,孔深进入上第三系砂质粘土岩或粘土质砂岩,最后形成一个十二面体封闭围井。为了解不同孔距的灌浆效果,经设计院同意,将 2-3 号及 4-5 号孔距改为 1.35 m,3-4 号孔距改为 1.3 m(图 1)。

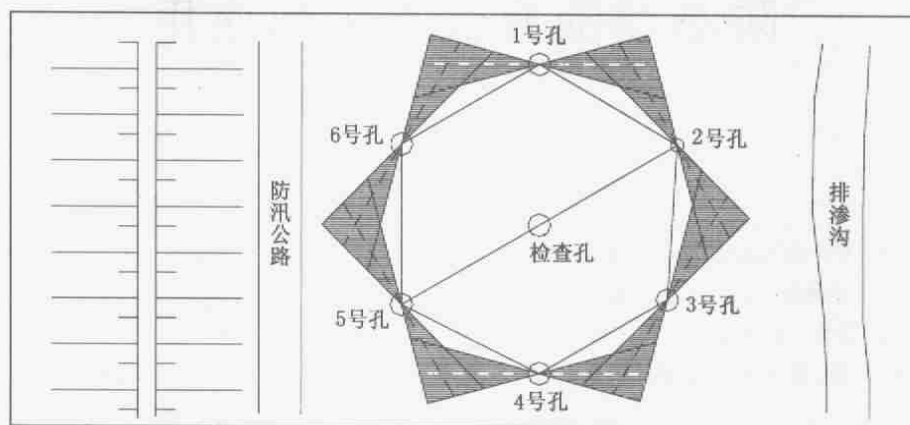


图 1 高喷围井钻孔平面布置示意图

要求采用 525[#]普通硅酸盐水泥,墙体厚度达到 20 cm 以上,抗压强度达到 5~15 MPa,弹性模量达到 $10^3 \sim 10^4$ MPa,浆液固化后渗透系数小于 1×10^{-6}

cm/s,形成围井后渗透系数不大于 1×10^{-4} cm/s,防渗墙进入粘土岩 1 m,造孔斜率小于 0.8%。设计施工参数(表 1)。

表 1 设计施工参数表

参数 岩性	浆液 水灰比	比重	压力(MPa)			水量 L/min	浆量 L/min	气量 m ³ /min	提升速度 cm/min	摆动速度 °/s	摆动角度 °	摆动凝结体轴线方向
			水	浆	气							
砂土	0.8:1	1.7	35	0.5	0.5	70	80	1	12	6	30	垂直对应孔连线
卵石	0.8:1	1.7	38	0.8	0.7	70	80	1	10	6	30	

3 施工工艺

3.1 施工顺序

本次高压喷射围井试验按两序施工,先施工 1、3、5 号孔,再施工 2、4、6 号孔。每序孔间隔不少于 3 天。

3.2 施工方法

高喷灌浆采用三重管自下而上摆喷灌浆法。

3.3 单孔施工工艺流程

放线布孔→钻机就位整平→造孔→高喷台车就位→试喷定向→下喷射管至设计深度→制浆→提升喷射→至孔口 1 m 结束→孔口补浆→移走台车。

3.4 施工参数

围井开挖深度 13.6 m,抽水试验 3 次,取样作力学性试验 3 组,并用雷达技术进行了墙体厚度的测试。

为取得高压喷射灌浆较科学、合理的施工工艺和技术参数,根据机械的性能,经与有关部门商定,我们对围井施工参数进行局部调整:水泥采用 425[#]普通硅酸盐水泥;两序孔采用不同的参数进行对比

试验;施工参数(表 2)。

4 质量检查

4.1 围井渗透性

施工前在检查孔(管钻预留孔)中进行抽水试验,计算细砂及砾石层的渗透系数 $K = 9.95 \times 10^{-2}$ cm/s。本次围井质量检查共进行 3 次单孔抽水试验,渗透系数 $K = 5.0 \times 10^{-5} \sim 5.8 \times 10^{-5}$ cm/s。根据计算,围井内的渗水量比试验前减少了 99%。将试验结果与施工前的抽水试验结果相比较,围井的渗透性大大降低,满足设计要求,高压喷射试验达到预期的目的。

4.2 围井墙体的连接性

土层:砼墙体连续均匀,两孔之间墙体连接较好,围井壁平整,呈垂直状,围井形状呈规则的十二面体。

砂层:砼墙体连续均匀,6~8 m 段围井中心被结石体充填,形成一个整体。由于 4 号孔在 12.5 m 以上喷射角度未调整好,4 号孔与 5 号孔墙体连接稍差。

表2 各序孔施工参数汇总表

孔序	岩性	孔号	段长 m	水压 MPa	浆压 MPa	气压 MPa	用时 min	提升速度 cm/min	平均提升速度 cm/min
I	重粉质壤土	1	5.0	38	0.5	0.7	65	7.7	8.6
		3	5.0	38	0.5	0.7	50	10	
		5	5.53	39	0.5	0.7	65	8.5	
	细砂	1	4.0	38	0.5	0.7	40	10	10.2
		3	6.0	38	0.5	0.7	60	10	
		5	3.3	39~40	0.5	0.7	30	11	
	砂卵石	1	16.0	38	0.5	0.7	230	7	7.1
		3	14.5	39~40	0.5	0.7	207	7	
		5	16.8	40~42	0.5	0.7	226	7.4	
II	重粉质壤土	2	6.0	38	0.5	0.7	60	10	9.6
		4	4.4	39	0.5	0.7	50	8.8	
		6	5.5	38	0.5	0.7	55	10	
	细砂	2	3.0	38	0.5	0.7	30	10	9.6
		4	4.9	38~39	0.5	0.7	50	9.8	
		6	3.5	38	0.5	0.7	40	8.8	
	砂卵石	2	16.5	38	0.5	0.7	235	7	7.0
		4	16.6	38~40	0.5	0.7	245	6.8	
		6	16.5	38~39	0.5	0.7	225	7.3	

卵石层:砼墙体连续、较均匀,孔与孔之间的墙体连接较好,结石体中卵石清晰可见。井壁不均匀,呈凸凹状,形状不规则。

通过开挖对围井的质量进行检查,对墙体的连接、连续性和均匀性均有直观认识。围井的连接、连续性总体较好,局部段连接稍差,存在渗水现象。

4.3 砼墙体厚度

采用地质雷达技术对墙体的厚度进行检查。垂向布置2条剖面,分别为于3号孔右侧20 cm处和6号孔左侧10 cm处,深度从1 m到13 m,检查砼墙体在垂直方向的厚度变化及其连续性;水平方向在土层(深度4.5 m处)、砂层(深度7 m处)和卵石层(深度13 m处)中各布一剖面,检查砼墙体在各种地层中的厚度和连续、连接情况。

垂直方向:墙体在土层中的厚度基本稳定,3号孔一般厚度50~70 cm,平均57.6 cm,6号孔一般厚度26~36 cm,平均30.2 cm;上下连续性较好;砂层中厚度有变化,3号孔一般厚度37~75 cm,平均48.4 cm,6号孔一般厚度36~50 cm,平均44 cm,上下连续性较好;卵石层中,3号孔墙体的厚度36~42 cm,平均39 cm,6号孔墙体的厚度45~54 cm,平均49.5 cm,上下连续性较好。水平方向:土层中厚度8~61 cm,平均厚度29 cm,其中近钻孔处墙体较薄(8~15 cm),连接处墙体较厚(24~61 cm),墙体的连接、连续性较好。砂层中厚度22~59 cm,平均厚

度33.8 cm,近钻孔处墙体较薄(12~25 cm),连接处墙体较厚(36~58 cm),墙体连续性较好;卵石层中厚度较大,一般27~75 cm,平均厚度56 cm,墙体的连接、连续性好。

根据检查结果,围井砼防渗墙厚度满足设计要求。

4.4 砼墙体的力学性

本次在水平方向上取土层和砂层中的结石体样品送试验室进行抗压强度和弹性模量试验。试验结果(表3)。

表3 砼结石体试验成果汇总表

取样位置	统计方法	自然容重 g/cm ³	抗压强度 MPa	弹性模量 10 ³ MPa	静泊桑比
土层	组数	6	6	5	4
	范围值	1.24~1.48	1.0~4.1	0.48~3.22	0.14~0.22
	平均值	1.39	2.6	2.36	0.19
砂层	组数	6	6	6	5
	范围值	1.45~1.79	2.9~8.2	2.52~5.88	0.20~0.30
	平均值	1.69	5.7	4.57	0.23

指标均满足设计要求。另外围井开挖深度13.6 m,承压水头12 m左右,未采取任何支护措施,砼墙体不坍塌,证明其强度可以满足设计要求。

5 施工技术参数分析

本次围井试验的施工参数与设计参数对比,结

合围井质量检查结果,针对该水库顺河坝坝地质条件,对围井的技术参数分析如下:

1)孔距:围井设计孔距 1.4 m。本次试验孔距采用 1.3 m、1.35 m、1.4 m 三种。通过围井质量检查,这三种孔距形成砼墙体的各项技术指标均能满足设计要求。如果孔距超过 1.4 m,虽然可以减少工作量,缩短工期,但砼墙体连接质量无保证,而小于 1.4 m 时增加施工费用,延长工期。因此,从经济、高效角度考虑,采用 1.4 m 是可行的。

2)水压力:设计水压力为 35~38 MPa。根据设备情况,水压力只能用喷嘴大小来调节。使用 1.7 mm 喷嘴水压力为 50~52 MPa,设备难以承受;而使用 1.9 mm 喷嘴水压力低于 35 MPa,达不到设计要求;使用 1.8 mm 喷嘴水压力为 38~42 MPa,符合设计要求。本次施工中使用水压力为 38~42 MPa,根据质量检查结果,所形成的墙体质量达到设计要求。因此从机械设备、技术要求等方面考虑,水压力采用 38~42 MPa 较合适。

3)提升速度:提升速度的大小决定所形成墙体的质量和水泥用量。因此如何选择既能保证墙体质量又最经济的提升速度显得非常重要。本次试验在不同孔、不同岩性段采用不同的提升速度(表 2)。根据围井开挖质量检查的情况来看,土层的提升速度为 7.7~10 cm/min、砂卵石层的提升速度为 6.8~7.4 cm/min 比较合适,而细砂层的提升速度为 8.8~11 cm/min,显得稍慢,局部墙体厚度过大,既不经济又浪费工期,因此可适当加快。综合以上分析,结合以往工程实例及相应的技术规范,建议土层段的提升速度 8~10 cm/min,砂卵石层段的提升速度为 7~8 cm/min,细砂层段的提升速度提高为 10~13 cm/min。

4)浆压力、气压力及流量:根据设备的特性,其参数在施工过程中变化不大,均符合设计技术要求,可以作为坝上施工的参数。

5)摆喷角度:摆喷角度决定着砼墙体的厚度和喷射长度。本次施工未做变化,采用设计值 30°。所形成的砼墙体厚度一般在 20 cm 以上,只有土层段靠近喷嘴处厚度小于 20 cm,因此可以作为坝上施工参数。

6)喷射方向:本次试验的喷射方向轴线为垂直于对应孔连线。本次 6 个钻孔按六边形布置。根据其几何特征,喷射方向轴线与相邻孔连线的夹角为 30°。根据围井质量检查结果,除 4 号孔在 12.5 m 以上因喷射角度错动发生变化造成 4 号孔与 5 号孔细砂层段连接稍差、有少量渗水外,其它孔段连接较好。因此在坝上施工时喷射轴线方向与防渗墙轴线夹角可选择 30°。

7)施工顺序:本次施工采用两序施工方法。在施工过程中同序孔存在串浆现象,影响施工速度和质量。这与同序孔间距较短有关。因此建议采用三序或四序施工较为合适。

6 结 论

喷射质量的好坏,除了与被处理地层的水文工程地质条件、浆液种类和喷射方式有关外,还与孔距、水压力、浆压力、气压力、流量、喷嘴的大小和多少、喷嘴的移动速度等因素有直接关系。如何使诸多因素优化组合,取得既经济又符合设计要求的施工技术参数,是试验的主要目的。本次围井高喷试验,砼墙体连续均匀,孔与孔之间连接较好,其防渗、强度、厚度均能满足设计要求。

本次围井高喷试验通过河南省水利厅组织的竣工验收,受到与会专家好评。

[参考文献]

- [1] 地基处理手册编写委员会,地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [2] 建筑地基处理技术规范 JGJ79-91(1998 年版)[M].北京:中国计划出版社,2000.

APPLICATION OF HIGH PRESSURE SHOTCRETE TECHNICS ON CUTOFF - WALL TEST WELL AT REIVERSIDE DAM OF BAIGUISHAN RESERVOIR

SHI Chang - qing

(Henan general team of water and power prospecting and survey, Zhengzhou 450003)

Abstract: The three shot nozzle shotcrete machine and double processing construction method have been used for high pressure shotcrete cutoff - wall test well so that the continues well concrete and good connection among holes have been obtained to meet the requirement of watertight, strength, and thickness of design.

Key words: high pressure shotcrete, construction technics, cutoff - wall well test