

高压喷射灌浆技术在云南病险水库加固工程中的应用

卢晓鹏

(云南省水利水电科学研究院,云南 昆明 650228)

摘要:云南病险水库普遍存在坝体和坝基渗漏严重的问题,以白鹤水库除险加固工程为例,探讨了高压喷射灌浆技术在大坝防渗加固中的应用及效果。水库防渗处理后坝体浸润线降低,下游坝坡原渗水潮湿现象消失,高水位时下游坝脚的渗水量也大幅减小,坝体和坝基的防渗性能明显改善。高压喷射灌浆技术适用范围广,施工简便灵活,质量检测方便,对其他病险水库的加固处理具有借鉴作用。

关键词:高压喷射;灌浆技术;病险水库;白鹤水库;云南省

中图分类号:TV543 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2012)05-0082-04

Application of high-pressure sprinkling grouting technology to reinforcement of ill-conditioned reservoirs in Yunnan Province//LU Xiaopeng (*Yunnan Research Institute of Water Resources and Hydropower, Kunming 650228, China*)

Abstract: The ill-conditioned reservoirs in Yunnan Province commonly have severe seepage problems in the dam body and foundation. By taking the reinforcement of Baihe Reservoir as an example, the application and effectiveness of high-pressure sprinkling grouting technology in anti-seepage and reinforcement of dams in Yunnan Province are investigated. The results show that the phreatic line of the dam body decreases after anti-seepage treatment of Beihe Reservoir. The phenomenon of leakage on the downstream dam slope disappears. The leakage quantity at the downstream dam toe greatly decreases at high water level. The anti-seepage properties of the dam body and foundation are obviously improved. The high-pressure sprinkling grouting technology has wide range of applicability, its construction is simple, and its quality inspection is convenient. It is helpful to the reinforcement of other ill-conditioned reservoirs.

Key words: high-pressure sprinkling; grouting technology; ill-conditioned reservoir; Baihe Reservoir; Yunnan Province

我国大部分水库修建于 20 世纪 50—70 年代,设计和施工存在较多缺陷,运行管理制度也不完善,使建成的水库存在着不同程度的工程安全隐患^[1]。截至 2009 年底,云南省现有的 5 514 座水库中,超过一半是病险水库,它们对下游人民群众的生命财产安全构成了威胁。科学合理地对病险工程除险加固,使水库安全可靠地运行,充分发挥工程效益,是十分必要和紧迫的。

白鹤水库应用高压喷射灌浆技术对大坝进行防渗加固,形成完整的防渗体系,本文重点研究不同土体的高压喷射参数、工程适用范围、处理深度、防渗效果等关键技术。高压喷射灌浆技术和其他防渗技术一样,有一定的适用范围,采用该项技术时只有根据工程的要求、土质条件和地下水情况选用相应的高压喷射灌浆技术和工艺,才能取得满意的效果。高压

喷射灌浆基础处理技术为应用于白鹤水库大坝防渗加固工程的新技术,在云南省应用得还比较少。白鹤水库大坝坝体和砂砾石层的高压旋喷深达 59.2 m,为云南省内高压喷射灌浆处理深度最深的水库工程。白鹤水库大坝地质条件较为复杂,经现场生产性试验,原设计施工技术参数不易形成连续墙体,为保证 59.2 m 深的孔能形成旋喷连续墙,施工将水压由 30~35 MPa 一次性调整为 40 MPa,加大了水压的切割力度,确保高压水、水泥浆、压缩空气进入地层,与地层中的黏土、砂砾石等充分搅拌混合,经过凝结固化,最终形成柱列式连续水泥结石墙。

1 水库工程特性

白鹤水库位于云南省大姚县七街乡,大坝高 25 m,坝顶高程 1 907.4 m,水库总库容 1 130 万 m³,

基金项目:2011 年度云南省水利科技项目(201101)

作者简介:卢晓鹏(1966—),男,云南昆明人,高级工程师,硕士,主要从事水利水电勘测设计工作。E-mail:hygslxp@163.com

兴利库容 975 万 m^3 。溢洪道为开敞式,位于大坝左岸;底涵位于大坝左岸坡山脚,高涵位于大坝右岸山体中。白鹤水库工程等别为 3 等,其主要建筑物为 3 级,次要建筑物为 4 级。水库按 50 年一遇洪水进行设计,1000 年一遇洪水进行校核。

2 大坝工程地质条件及病险现象

2.1 坝址工程地质条件

坝址河流两岸山体地形坡度 $20^\circ \sim 30^\circ$,坝址区为白垩系江底河组粉砂质泥岩、砂质泥岩及第四系冲积层。坝址第四系冲积层厚 20 ~ 31 m,其中黏土砂卵砾石层分布于河床部位,以 2 mm 以上粗砾为主,孔隙大,结构疏松;淤泥质黏土厚 6.4 ~ 11 m,多呈软塑状态,局部夹粉砂土和粉砂层透镜体。

2.2 病险现象和原因分析

当库内蓄水位达 1902.9 m 时,下游坝坡发现潮湿现象,左岸下游坝脚同时出现渗流;库水位在 1903.4 ~ 1903.9 m 时,下游坝坡的渗水潮湿面积达 3781 m^2 ,总渗漏量每昼夜达 561 m^3 。2000 年发生“1·15”姚安地震,水库距震中较近,检查后共发现 25 条裂缝,坝脚渗漏量增大,距土坝坝脚 40 ~ 50 m 的农田发生裂缝,并伴有黑泥浆上涌,部分裂缝涌水并有沙沸现象。

大坝产生渗漏是因为坝体碾压质量差,大坝土体透水性较大;坝基冲积层没有被切断,黏土砂卵砾石层上、下游贯通,大坝填筑前未进行坝基清基或防渗处理,坝基砂卵砾石层透水性强。

3 大坝防渗处理

3.1 大坝防渗方案

坝体碾压质量差,透水性强,坝基存在砂、卵(砾)石强透水层,坝体和坝基渗漏严重。为防止大坝的渗透破坏,减少坝体和坝基渗漏量,对坝体和坝基进行垂直防渗处理。

根据白鹤水库坝基淤泥质黏土和砂卵砾石层的物理力学性质,结合高压喷射的特殊性及防渗深度(大坝高压喷射防渗处理最大深度 59.2 m),设计采用单排旋喷套接结合两岸摆喷的方式形成防渗墙,防渗墙轴线与坝轴线平行,并向上游偏移 1.0 m,墙体结构见图 1^[2]。整个高压旋(摆)喷灌浆的防渗墙长度为 318.4 m,灌浆孔为单排孔,其中高压摆喷灌浆孔 64 个,累计孔深 926.7 m;高压旋喷灌浆孔 303 个,累计孔深 13713.6 m。

大坝左、右两岸 25 m 深度范围采用高压摆喷,孔距为 1.2 m,摆角 60° 。中间坝段采用高压旋喷,高压旋喷孔沿坝轴线布置,孔距为 0.8 m,旋喷孔深

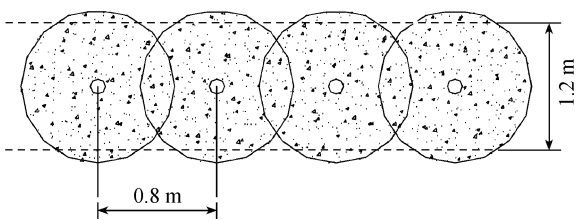


图 1 防渗墙平面结构形式

达基岩表面,单排布孔。

施工中认真按施工技术要求执行,根据大坝工程地质条件、现场试验结果及已有工程实践经验,确定高压喷射各项施工技术参数如下:高压水压力 30 ~ 35 MPa,流量 75 L/min;浆液压力 1 MPa,流量 50 L/min;气压 0.3 ~ 0.7 MPa;提升速度 6 ~ 10 cm/min,旋转速度 8 r/min;钻孔孔斜率小于 0.5%,孔位偏差小于 2 cm。

3.2 高压旋喷灌浆防渗施工

3.2.1 高压旋喷灌浆机械系统

高压旋喷灌浆机械系统是按高压旋喷灌浆施工工艺要求,由多种设备组装而成,主要有造孔钻机、搅浆机、灌浆泵、水泥上料机、压缩空气机、高压水泵、提升卷扬及旋摆设备、喷射装置、浆液回收设施及监控设备等。

3.2.2 高压旋喷灌浆施工步骤

高压旋喷灌浆采用“三管法”分序进行旋喷施工^[3],施工工艺流程见图 2。

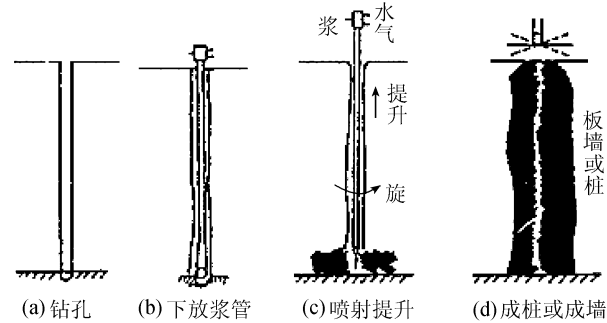


图 2 高压旋喷灌浆施工流程

施工方法及步骤:

- a. 制浆。使用合格的 425 号普通硅酸盐水泥,浆液密度 1.6 ~ 1.7 g/cm^3 。水泥浆的搅拌时间,使用高速搅拌机应不少于 30 s,使用普通搅拌机应不少于 90 s。浆液在过筛后使用,并定时检测其密度。
- b. 钻孔。确定施工的孔号及桩位,按设计要求钻孔至基岩面后进行深度确认,达到设计孔深后测斜。

c. 试喷。先进行地面试喷,然后将喷射管放入灌浆孔,当喷头下放至设计深度时,送入符合要求的水、气、浆,待浆液冒出孔口后,按设计要求摆动提升,自下而上直到设计高度,喷射过程中要详细记

录,严格按技术要求控制施工质量。

d. 高压旋喷灌浆。施工中采用三重管喷射形式,喷射灌浆的顺序为旋喷机就位→将喷管下至预定孔深→送浆至孔口返浆→启动高压泵、空压机→开始旋喷并提升→结束旋喷→回填封孔。

e. 封孔。现场调配好封孔浆液后机械封孔。

4 高压喷射灌浆防渗效果

4.1 高压喷射灌浆施工质量检查

白鹤水库高压喷射灌浆施工完成后,进行开挖检查、检查孔检测、室内检测等工作^[4]。

4.1.1 开挖检查

a. 高压摆喷孔灌浆坝段:摆喷孔桩之间搭接良好,摆角形成的喷射扇形区域明显,对接处水泥土胶结牢固;水泥墙体在两孔对接处较厚,达到 1.2 m,而在摆喷孔处厚 0.5 m,达到设计要求。

b. 高压旋喷灌浆坝段:旋喷孔桩之间搭接良好,孔桩与孔桩之间已形成套接,套接处水泥土胶结密实牢固,整体水泥墙体在同一深度上厚度均匀,就开挖的 5 m 深度的墙体厚度来看,厚 0.9 ~ 1.4 m,达到设计要求。

4.1.2 检查孔检测

检查孔共 38 个,布置在旋喷桩中心处、旋喷桩上下游及旋喷桩之间,通过取芯和注水试验,检查比较旋喷桩的搭接情况和喷射效果^[5-6]。

通过检查孔进行 199 段的注水试验,渗透系数统计如下:小于 $0.05 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 的有 29 段,占总段数的 14%;在 $(0.05 \sim 0.5) \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 之间的有 74 段,占总段数的 38%;在 $(0.5 \sim 1.0) \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 之间的有 96 段,占总段数的 48%;平均渗透系数为 $0.68 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$;所有检查孔的注水渗透系数均在设计规定的防渗标准值 $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 以内,坝体及冲积层灌浆前后渗透系数和透水率比较如表 1 所示。

表 1 坝体及冲积层灌浆前后渗透系数和透水率比较						
孔深/m	渗透系数/ (10 ⁻⁶ cm·s ⁻¹)		渗透系数 降低率/%	透水率/Lu		透水率 降低率/%
	灌 前	灌 后		灌 前	灌 后	
0 ~ 5	4.76	1.00	79.0		0.09	
5 ~ 10	18.50	0.60	96.8		0.28	
10 ~ 20	39.30	0.70	98.2		0.05	
20 ~ 30	26.00	0.80	96.9	11.46	0.01	99.9
30 ~ 40	87.30	0.17	99.5	29.60	0.07	99.8
40 ~ 50		0.34		38.20	0.14	99.6
50 ~ 57		0.90		41.27	0.13	99.7

从表 1 可看出,坝体及冲积层高压旋(摆)喷灌浆后渗透系数和透水率都显著降低,说明坝体及冲积层的防渗性能明显改善和提高^[7]。

4.1.3 室内检测

高压旋(摆)喷结束后,在进行现场检查孔注水试验时,选取检查孔的坝体层、坝基淤泥层、砂卵石层的高压喷射土体取芯做室内检测试验^[8-9],各项检测指标如表 2 所示。试验结果表明,各层高压喷射土体的物理力学指标值满足防渗体设计要求。

表 2 坝体和坝基高压喷射灌浆土体物理力学指标				
检测部位	天然密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	天然抗压 强度/MPa	天然静力 抗压弹性 模量/MPa	渗透系数/ ($10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
坝体层	1.68	3.0	1262	4.97
淤泥质层	1.59	5.2	6453	3.11
砂砾石层	1.79	11.0	5875	2.80

4.2 高压喷射灌浆防渗效果分析

2002 年 10 月 14—22 日上游库水位处于 1901.25 ~ 1901.54 m 时,下游坝脚的渗水量为 98.6 L/s,高压喷射灌浆施工后,2005—2008 年对水库的渗漏量观测表明,水库水位在 1896.77 ~ 1905.00 m 时,下游坝脚渗水量为 0.12 ~ 0.35 L/s,且渗水量稳定,说明高压喷射灌浆防渗效果是显著的。

自 2005 年 10 月 25 日起开始对浸润线进行观测,实测浸润线均低于设计浸润线,渗流稳定性好。最高水位和最低水位时的实测浸润线均低于 2002 年初步设计时钻孔水位和设计浸润线,说明通过对大坝进行高压旋喷灌浆和摆喷灌浆,减小了坝体和坝基渗漏,降低了坝体浸润线,增强了土坝稳定性^[10-11]。

白鹤水库除险加固工程实施后,水库已正常蓄水运行,坝体和坝基观测均未发现异常情况;高水位时,水库下游坝坡原渗水潮湿现象已消失,下游坝脚右侧渗水点已完全消失,防渗处理效果明显。

5 高压喷射灌浆技术在云南省其他水库除险加固工程中的应用

高压喷射灌浆技术在白鹤水库加固工程中取得成功,说明该大坝加固处理技术具有广阔的应用前景,为各地区病险水库处理提供了可资借鉴的依据,并积累了工程经验,成果对类似工程的推广应用具有指导意义。到 2010 年,云南省在下口坝水库、麦子河水库等 10 余座水库工程除险加固中均应用该技术对大坝进行了防渗处理,大坝通过高压喷射灌浆防渗处理后效果明显,取得了较好的社会 and 经济效益。

6 结 论

a. 高压喷射灌浆技术适用范围广,对治理大坝坝体及淤泥、砂卵石基础等多种地层渗漏效果好。

b. 高压喷射灌浆施工要连续,不得停喷,如因

发生事故,应尽快恢复。复喷前先用钻机扫孔至中断位置以下 50 cm,再将喷管下放至孔底复喷,以确保墙体的连续性。

c. 高压喷射灌浆后质量检测方便,可采用开挖检查、钻孔检测及取样试验等检测。水库大坝工程高压喷射防渗墙的检测,因坝顶窄,不宜做围井检查,宜采用钻孔注水检查。

d. 高压喷射灌防渗墙具有较好的防渗加固性能,施工简便、灵活,机具振动小、噪音低。

参考文献:

[1] 牛运光. 病险水库加固实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2002.

[2] 王明森,王洪恩,查振衡. 高压喷射灌浆防渗加固技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

[3] 彭万军,刘晓波,曾鹏九. 振孔高压旋喷施工技术[J]. 水利水电科技进展,2008,28(1) :74-75.

(上接第 70 页)

参考文献:

[1] 李茂芳,孙钊. 大坝基础灌浆[M]. 2 版. 北京:水利电力出版社,1987.

[2] DL/T5148—2001 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

[3] 胡伟华,冷元宝,赵志华,等. 抬动监测在工程固结灌浆过程中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(5) :

(上接第 81 页)

采用石笼网、抛石混凝土等技术进行防护。②闸上冲刷是工程建设期及运行期最容易忽视的问题,对于深厚覆盖层基础上的水闸,往往影响枢纽防渗墙等主体建筑物的安全及工程效益的发挥,因此,防渗墙上游最好设置上游护底及防冲槽结构。

参考文献:

[1] 赖勇,施林祥,郑旭明. 山区河道生态防洪堤关键问题及对策[J]. 中国农村水利水电,2011(9) :142-144.

[2] 李扬,黄荣卫,张婷. 五里亭水利枢纽施工导流期间若干问题的数值分析研究[J]. 水利与建筑工程学报,2011,9(5) :113-117.

[3] 文恒,智宏,牟献友. 水闸消能防冲设计条件的确定[J]. 水利水电科技进展,2005,25(6) :17-20.

[4] 陈朝阳,陈振华,高大水,等. 三峡水库开县调节坝工程泄水闸下游消能工设计优化[J]. 水利水电快报,2011,32(3) :22-24.

[5] 曾新民. 低水头大流量水利枢纽特性与设计优化[J]. 中国水利,2010(20) :75-77.

[4] 任红云,刘海军,彭国强. 双板振动沉模防渗墙的质量分析与控制[J]. 水利水电科技进展,2009,29(2) :52-53.

[5] 白永年. 中国堤坝防渗加固新技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

[6] 杨立洪. 高压喷射灌浆技术在下石陂水库除险加固中的应用[J]. 江西水利科技,2008,34(4) :4-5.

[7] 黄家权. 高喷技术在长江邱家湾段防渗工程中的应用[J]. 人民长江,2002,33(8) :17-18.

[8] BOWLES J E. Physical and properties of soils[M]. 2nd ed. New York; McGraw-Hill Book Co. ,1984.

[9] SCOTT C R. An introduction to soil mechanics[M]. 3th ed. Crown House; Applied Science Publishers,1980.

[10] 陈士亮,宋杰,吴存锡,等. 高压喷射灌浆防渗技术探讨[J]. 中国科技信息,2007(17) :37-37.

[11] 刘振飞. 水利水电工程设计与施工新技术全书[M]. 北京:海潮出版社,2001.

(收稿日期:2012 - 02 - 14 编辑:周红梅)

79-81.

[4] 曾凡杜. 坝面帷幕灌浆技术在竹银水库主坝坝基处理中的应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(6) :55-58.

[5] 彭第,王伟. 中梁一级电站库区防渗帷幕灌浆试验效果分析[J]. 水利水电科技进展,2011,31(5) :73-78.

[6] 于习军,程少荣. 水布垭大坝趾板基础防渗灌浆升压研究与实践[J]. 人民长江,2007,30(7) :62-64.

(收稿日期:2011 - 12 - 26 编辑:周红梅)

[6] 韩昌海,杨宇,骆少泽. 青草沙水库下游水闸冲刷及辅助消能研究[J]. 水利水电技术,2011,42(3) :49-51.

[7] 冯达恩. 东江水利枢纽工程拦河水闸消能防冲设计[J]. 甘肃水利水电技术,2006,42(1) :70-71.

[8] 欧健,陶雪辉,艾克明,等. 水利水电枢纽工程水力设计系统研究[J]. 水利规划与设计,2004(1) :60-61.

[9] 左光栋,杨雪峰,张绪进. 钻根水利枢纽工程消能防冲试验研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(2) :310-314.

[10] 周翠玲,张耀军,张代辉. 钢纤维混凝土在水电工程加固补强中的应用[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2008,39(1) :80-84.

[11] 朱冠美,杨松玲. 三峡工程聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 人民长江,2002,33(10) :39-41.

[12] 陈忠兰,古宝和. 生态格网在河道整治工程中的应用[J]. 上海水务,2007(2) :28-30.

[13] 王学森. 抛石混凝土的性能改进[J]. 混凝土,2003(3) :63-64.

[14] 杨德钦,严伟平,李福恩. 大体积筏板基础抛石混凝土施工技术[J]. 施工技术,2010,39(6) :41-43.

(收稿日期:2012 - 02 - 15 编辑:骆超)