

水库大坝地下水过水通道封堵技术研究

刘 强^{1,2} 尹 琼^{1,2}

1. 江西理工大学资源与环境工程学院 江西赣州 341000

2. 江西理工大学矿业环境污染防控江西省重点实验室 江西赣州 341000

【摘 要】渗漏是水库大坝工程中常见的问题之一，对水库下游的建筑物和人员的生命财产安全造成威胁。针对这一问题，采用帷幕灌浆对大坝地下水渗漏通道进行治理，帷幕灌浆采用双排孔布设，孔位位于坝轴线两侧，浆液采用复合硅酸盐水泥浆液，灌浆孔钻孔孔径为75~200mm，注浆采用自下而上分段灌浆，帷幕厚度设计值为2m，灌浆孔深度50~70m，浆液扩散半径1.5m，注浆压力取值为5.11~7.18 MPa，单孔注浆量为70.1L，最后采用取芯、孔内电视、注水试验对灌浆效果进行检验。治理方案可为大坝地下水渗漏通道的封堵提供新的方法。

【关键词】大坝渗漏；帷幕灌浆；过水通道；封堵技术

【基金项目】江西省自然科学基金面上项目（项目编号：20202BAB203016）

我国在20世纪50年代末至70年代修建了大量的山区水库，限于材料和技术等条件，水库坝体以土石坝居多，经过几十年的运行加之缺少管理和维护，水库坝体、坝基出现地下水渗漏的现象较为普遍，坝体的稳定性存在较大隐患，进而威胁水库下游的生命与财产安全。据不完全统计，全国3100多座大中型水库中，出现渗漏的坝体与坝基约占20%；小型水库大坝也约有40%存在渗漏问题^[1-2]。水库大坝的病险害问题多采用防渗治理^[3]，处理水库大坝病险害问题常用防渗技术方案主要有：帷幕灌浆法、高压旋喷注浆法、静压注浆法、水泥土搅拌桩防渗墙法、搭接处理法等^[4]。结合坝基实际情况选择方案，对不同方案的防渗效果、施工条件要求等多方面综合比较选取最优方案对水库坝基进行除险加固治理。

结合坝基岩土性质、地质结构构造、岩土层透水性判断水库大坝坝基渗漏类型主要为孔隙性渗漏，裂隙性渗漏也

有分布。针对不同土石坝，因其渗漏性质和特点不同^[5]，坝基防渗处理采取的方案不同，均质土坝基多采用高压旋喷注浆、岩质坝基多采用帷幕灌浆^[6-8]。对坝基进行帷幕灌浆处理，将按配比比例要求配置的水泥浆液通过灌浆设备灌入岩土体，可以改善岩土体的抗渗性，有效提高坝基岩土层土体的防渗性、强度和完整性，以达到防渗效果。

1 大坝帷幕灌浆方案

1.1 帷幕灌浆原理

帷幕灌浆是指将浆液注入各地层的土层裂缝和岩体孔隙内，待注入的浆液凝结与各地层连为一体，形成具有良好阻水性的连续防渗帷幕，以减小渗流量和渗透性实现坝基防渗治理。

1.2 帷幕灌浆位置

帷幕灌浆位置依据坝轴线确定，水库大坝所建坝址位置位于山谷谷口处，坝体左右坝肩依山而建，且岩体较为完

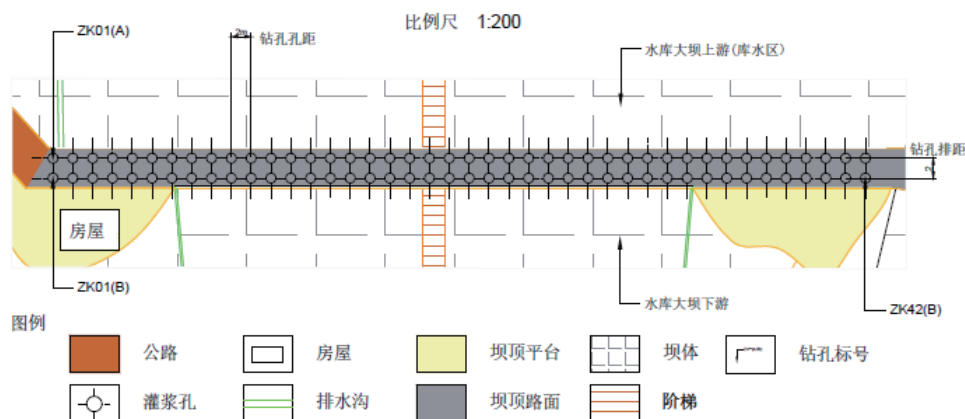


图1 灌浆孔分布示意图

整,故防渗帷幕布置沿坝轴线分布于坝体正下方位置处。同时为确保防渗帷幕的防渗效果。帷幕厚度设计L为2m、浆液扩散半径R取1.5m孔距由式(1)计算。

$$a = \sqrt{4R^2 - L^2} = 2.236m \quad (1)$$

取孔距为2m,排距为2m,根据计算孔距结合水库大坝坝基数据分析,帷幕灌浆采用双排孔,孔位设置均布于坝轴线两侧。根据勘测数据分析,过水断面分布不均匀,且在沿坝轴线方向均有分布,故对坝体及下部坝基进行帷幕灌浆设计,具体灌浆孔布设见图1。

1.3 注浆浆液参数

选用硅酸盐水泥进行帷幕灌浆,结合水库库区场地条件和GB175-2020《通用硅酸盐水泥》规范^[9]相关要求最终选用复合硅酸盐水泥浆液(见表1),因其除了具有矿渣、火山灰、粉煤灰硅酸盐水泥所具有的水化热低、耐蚀性好、韧性好,还能通过水泥提高强度性能,便于后期强度发展。适用于地下、水利和大体积混凝土工程。不宜用于受冻循环和干湿交替的工程中。

表1 复合硅酸盐水泥浆液强度

强度等级	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
	3d	28d	3d	28d
32.5	≥12.0		≥3.0	
32.5R	≥17.0	≥32.5	≥4.0	≥5.5
42.5	≥17.0		≥4.0	
42.5R	≥22.0	≥42.5	≥4.5	≥6.5
52.5	≥22.0		≥4.5	
52.5R	≥27.0	≥52.5	≥5.0	≥7.0
62.5	≥27.0		≥5.0	
62.5R	≥32.0	≥62.5	≥5.5	≥8.0

2 施工方法

2.1 钻孔

帷幕灌浆宜采用回转钻进;孔位偏差控制在10cm范围内(见表2);孔径为75~200mm。

表2 孔径允许偏差值

孔深(m)	20	30	40	50	60
最大允许偏差值(m)	0.25	0.50	0.80	1.15	1.50

2.2 灌浆方法和灌浆方式

因本次帷幕灌浆基岩段长大于6m,注浆采用自下而上分段灌浆,在坝体与坝基接触位置处灌浆段设置为2m,其下每5~6m分为一段。清孔最大压力1MPa。

2.3 钻孔冲洗和裂隙冲洗

在灌浆前进行钻孔冲洗,沉积厚度小于20cm,冲洗液回水清静时停止,洗孔压力为灌浆压力的80%,若大于1.0MPa,采用1.0MPa。

2.4 灌浆压力和灌浆量

灌浆压力按工程地质条件设计,复杂地区通过实验验证,并按现场实际情况作适当调整。灌浆压力依据式(2)初步设计计算,式中 P_c 为灌浆最大压力(MPa); P_1 为水压力(MPa); λ 为沿程阻力系数; γ_g 为浆液重度(KN/m³);H为注浆管长(m);V为浆液流速(m/s);d为注浆管直径(m);C为常数,可取0.3MPa~0.5MPa。各灌浆孔地面以下20~30m灌浆段分段一致,故灌浆压力相同。 γ_g 取值为13.5KN/m³,C取0.5。

$$P_c = P_1 + 1.015\lambda\gamma_g \frac{HV^2}{2d} + C \quad (2)$$

表3 沿程阻力系数表

管径(mm)	λ	管径(mm)	λ
50	0.0455	250	0.0284
75	0.0418	275	0.0276
100	0.038	300	0.027
125	0.0352	325	0.0263
150	0.0332	350	0.0258
175	0.0316	400	0.025
200	0.0304	450	0.0241
225	0.0293	500	0.0234

表4 地面以下各段灌浆段灌浆压力值

h	P_1	λ	H	V	2d	P_c
70	0.5929	0.0304	65	0.3	0.4	7.1850
65	0.5439	0.0304	60	0.3	0.4	6.6674
60	0.4949	0.0304	55	0.3	0.4	6.1498
55	0.4459	0.0304	50	0.3	0.4	5.6322
50	0.3969	0.0304	45	0.3	0.4	5.1145

灌浆量依据式(3)设计计算,式中Q为注浆量(m³);e为土体孔隙比;R为扩散半径;h为注浆段长度(m); α 有效注浆系数取1; β 为损失系数,可取0.3~0.5。

$$Q = \frac{\epsilon}{1+\epsilon} \pi R^2 h \alpha (1 + \beta) \quad (3)$$

表5 土体孔隙比参数值

岩土类别	孔隙比
粉质粘土	0.4
花岗岩	0.02

表6 灌浆孔灌浆量

H段长 (m)	Q注浆量 (L)	H段长 (m)	Q注浆量 (L)
5	1.0	5	1.0
6	1.2	6	1.2
5	1.0	5	1.0
5	1.0	5	1.0
5	1.0	6	1.2
5	14.1	6	17.0
6	17.0	5	14.1
2	5.7	2	5.7
5	14.1	10	28.3
总注浆量	72.7	总注浆量	70.1

2.5 灌浆结束标准和封孔

单孔注浆结束:依照DZ/T 0285-2015矿山帷幕注浆规范^[10]规定,当注浆段在达到设计压力后,每米注入率不大于1L/min时,再继续灌注30min即可结束注浆。

全段注浆结束:在所有的注浆孔都结束注浆后,对10%的孔进行抽查是否有渗漏情况,是否满足注浆标准,若都无问题则结束。

3 灌浆质量检验

水库大坝经帷幕灌浆处理方式对其存在的过水通道治理后,注浆完毕后,要对注浆量、弃浆量及地质条件进行综合复查,对单位注浆量超过设计注浆量2倍的灌浆孔,要进行重点检查。可采用检查孔压水试验计算治理后水库大坝坝体、坝基的岩土体透水率,进而确定治理后坝体、坝基的透水性或半月后再次进行物探测量,对比治理前电位数据大小确定治理效果。若治理后岩土体透水性降低或自然电场物探测量电位值提高可认为灌浆质量合格,若仍不合格需再次进行处理至质量合格。封孔质量只进行抽样检查即可。在注浆结束后的3h、30天、1年对于阻水帷幕的防渗效果进行检验,具体检验方法如下:

3.1 设置检查孔,取样

设置9个检查孔,分别安排在随机三个注浆孔的前后和旁边,进行钻孔取芯,要求取芯率不小于85%,通过检查所取岩芯的浆液渗透情况、凝固程度、取样进行室内试验,如渗透率、固结程度等。

3.2 孔内电视

通过所设置的检查孔,将摄像设备放入孔中进行检查,查看孔内是否有渗水情况、孔壁是否有较大裂隙、是否有坍塌风险等。

3.3 注水试验

利用检查孔进行注水试验和压水试验,对于原始水头和压力水头进行测量,计算透水率,要求透水率不得大于5Lu。

4 结语

水库大坝的建造就是为拦蓄河谷水为水库库区周边居民生活带来足够的便利,在我国中小型水库十分常见,但其建造时很多水库大坝设计建造周期很短故而存在一些缺陷,结合现场勘测情况和该地区地质资料综合分析,确定大坝及其坝基存在过水通道,而后采用帷幕灌浆方式对水库大坝过水通道进行治理。灌浆孔钻孔孔径为75~200mm,注浆采用自下而上分段灌浆,浆液采用复合硅酸盐水泥浆液,帷幕厚度设计值为2m,灌浆孔深度50~70m,浆液扩散半径1.5m,注浆压力取值为5.11~7.18 MPa,单孔注浆量为70.1L,最后采用取芯、孔内电视、注水试验对灌浆效果进行检验。

参考文献:

- [1] 王传雷,董浩斌,刘占永.物探技术在监测堤坝隐患上的应用[J].物探与化探,2001(04):294-299.
- [2] 王晓明,崔伟,聂栋刚.地面核磁共振地下水探测技术在水库大坝渗漏勘查中的应用[J].物探与化探,2015,39(02):432-436.
- [3] 刘建文,潘展钊.水库除险加固工程大坝防渗墙应用效果分析[J].低碳世界,2016(24):55-56.
- [4] 陆明.水库工程中坝基渗漏类型分析及处理技术研究[J].内蒙古水利,2019,204(08):33-34.
- [5] 陈伊清.灌注浆技术在土坝坝基防渗处理中的应用[J].福建水力发电,2015,58(02):5-7+36.
- [6] 万小乐.钻孔压水试验自动测试技术在某过江隧道中的应用[J].勘察科学技术,2022,246(06):40-43.
- [7] 马建青.文祖口水库坝基渗漏分析与治理方案设计[D].中国地质大学(北京),2013.
- [8] 任玉香.防止水利坝基渗漏帷幕灌浆施工技术探析[J].科技创新导报,2014,11(14):83+85.
- [9] GB175-2020,通用硅酸盐水泥[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [10] DZ/T 0285-2015,矿山帷幕注浆规范[S].北京:中国标准出版社,2015.

作者简介:刘强(1983—),男,汉族,湖北随州人,地质工程博士,江西理工大学地质工程系讲师,研究方向为地下水探测与治理。