

小南海水库地震堰塞坝体防渗处理

赵元弘

(四川省水利水电勘测设计研究院,四川 德阳 618000)

摘要 对小南海水库地震堰塞坝体物质组成、渗漏特性进行分析和试验研究,采用帷幕灌浆的防渗处理方案解决了堰塞坝体的渗漏问题。采用泥浆护壁、分段回转钻进的钻孔方法,以及孔口封闭、自上而下分段、孔内循环式的灌浆方法灌注水泥黏土浆液,成功地实施了坝体帷幕灌浆。防渗帷幕按高程分段采用不同的防渗标准,满足了坝体的防渗要求。采用潜孔偏心锤跟管钻进、多级孔径套管护壁钻进等施工工艺,解决了检查孔的钻进问题。采用静水头压水试验,测试成果真实地反映了坝体的透水特性。质量检查和渗漏观测资料显示,坝体防渗效果良好。

关键词 小南海水库;地震堰塞坝体;坝体防渗;帷幕灌浆

中图分类号 P642.27;TU311.3

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2008)05-0039-06

Seepage control of the earthquake-induced barrier bar of Xiaonanhai Reservoir//ZHAO Yuan-hong (Sichuan Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Chengdu 618000, China)

Abstract :The composition and permeability property of the earthquake-induced barrier bar of the Xiaonanhai Reservoir are analyzed. The curtain grouting treatment of the barrier bar foundation is considered to solve the seepage problem. During construction, sectioned grouting from top to bottom with slurry cycling in the hole and an enclosure at the top of the hole is applied. The results of the practical grouting show that the grouting effect is excellent in spite of some difficulties in execution. To meet the requirements of seepage control, different anti-seepage standards are employed according to the elevation of the foundation, and a hydrostatic pressure test is performed to precisely determine the permeability property of the dam body. Finally, the quality inspection and seepage observation data show that the effect of seepage control of the earthquake-induced barrier bar of Xiaonanhai Reservoir is quite good.

Key words :Xiaonanhai Reservoir; earthquake-induced barrier bar; dam seepage control; curtain grouting

小南海水库是 1856 年黔江 6.25 级地震导致山体崩塌、堵塞河流形成的地震堰塞湖,位于阿蓬江右岸段溪河上游,库容 $8\,090 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。堰塞坝体长约 1 000 m,顶宽 100 ~ 230 m,底宽 1 200 ~ 1 300 m,坝体一般高 60 ~ 70 m,最高处达 100 m,体积约 $4\,600 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。堰塞坝体结构松散,长期渗漏使坝体产生管涌渗透变形,部分坝段已出现管涌群,危及坝体安全,经多种防渗方案的比较和试验研究,采用帷幕灌浆对地震堰塞坝体进行防渗处理。

1 工程地质条件

1.1 坝体物质组成及结构

小南海水库地震堰塞坝体主要由地震崩塌堆积的页岩及粉砂质页岩块碎石夹孤石组成。在垂向上,以 633.4 ~ 659.0 m 高程为界,坝体结构存在明显

的差异。上部坝体孤石体积分数为 28.1% ~ 56.5%,粒径较大,结构松散,局部具架空结构;下部坝体孤石体积分数为 0 ~ 18.0%,块碎石含量相应增加,孤块碎石粒径明显较细,块碎石部分被粉细砂或黏土充填,结构紧密。在横向上,坝体结构差异不明显(图 1、图 2)。

1.2 坝基

堰塞坝体之下为原河床及阶地堆积物,河床宽 50.0 ~ 80.0 m,其上覆盖厚 4.0 ~ 12.0 m 的砾石层。阶地堆积物由黏土及黏土夹砾石组成,厚 4.8 ~ 19.2 m,结构密实。

覆盖层之下为灰色 ~ 灰绿色页岩,基岩面高程 604.0 ~ 613.0 m,强风化带厚 0.4 ~ 1.6 m,弱风化带厚 3.0 ~ 6.0 m。强、弱风化带内岩体透水率为 2.3 ~ 3.3 Lu,新鲜岩体透水率为 1.7 ~ 3.2 Lu,均属弱透水岩体。

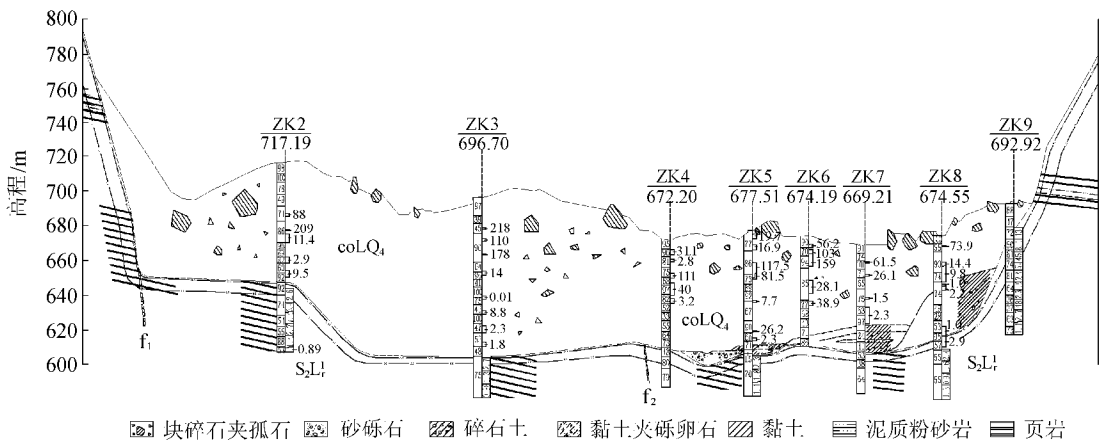


图1 地震堰塞坝体纵剖面

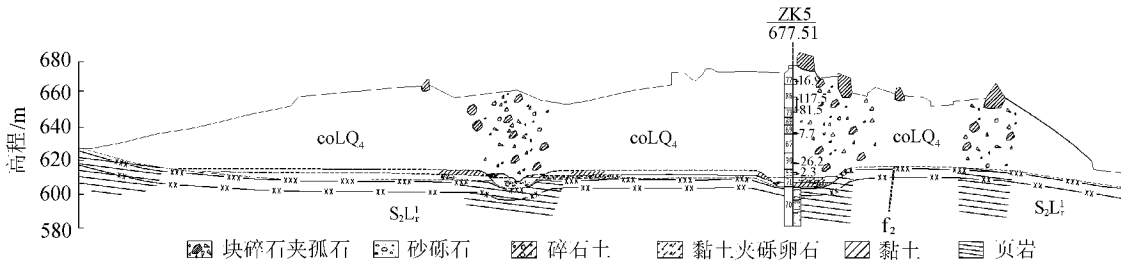


图2 地震堰塞坝体横剖面

1.3 坝体渗漏

坝体上部渗透系数在 $4.56 \sim 20.41 \text{ cm/s}$ 范围,属强~极强透水层;下部渗透系数在 $(0.75 \sim 7.06) \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 范围,属中等~强透水层。坝体右侧 $666.0 \sim 670.6 \text{ m}$ 高程范围内的上游坝面分布有大量的管涌入口。管涌呈圆~椭圆状,位于块碎石及孤石的接触部位,直径 $0.1 \sim 0.3 \text{ m}$,面密度 $0.3 \sim 0.5 \text{ 个/m}^2$,最多达 2.1 个/m^2 。渗漏出露点位于坝面泄洪沟内,分布于 $665.0 \sim 663.0 \text{ m}$, $639.7 \sim 643.2 \text{ m}$, $605.5 \sim 610.0 \text{ m}$ 3个高程带。实测坝体渗流量 $0.1 \sim 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$,平均约 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$,年渗漏水量约 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2 防渗方案研究

小南海地震堰塞坝体是中国唯一、世界罕见的保存完好的地震遗址,先后被列为国家级典型地震遗址保护区、全国防震减灾科普宣传教育基地,防渗处理既要确保坝体安全,又要保护地震遗址。根据堰塞坝体的地层特点,对帷幕灌浆、混凝土防渗墙、黏土铺盖、土工膜面板等4种坝体防渗方案进行了研究。

堰塞坝体坡面极不规则,若采用黏土铺盖和土工膜面板进行防渗处理,需将上游坝坡削成规则的边坡,对突出的孤石进行清理,这样将会破坏地震遗址的原始地貌,并且开挖弃渣也将影响地震遗址的环境保护,造成无法弥补的损失。因此,这2种方案不宜作为坝体防渗方案。

混凝土防渗墙虽然防渗可靠,但坝体孤块石多且体积大,而防渗墙深达 80.0 m ,采用冲击钻或回转钻成孔困难,能否形成连续的墙体目前尚无十分把握,并且国内外也无类似地层采用混凝土防渗墙的成功经验,因此也不宜采用此方案。

根据钻孔压(注)水试验规程^[1]和坝体材料颗粒分析判断,堰塞坝体具有可灌性。灌浆试验研究表明^[2],该堰塞坝体可灌性良好,灌浆帷幕防渗效果较好,可以解决坝体的渗漏问题,因此采用帷幕灌浆进行该堰塞坝体的防渗处理。

3 帷幕灌浆设计

3.1 帷幕灌浆的目的

地震堰塞坝体从形成至今已有约 150 a ,坝体沉降变形已趋于稳定,在不改变外部条件的情况下不存在边坡稳定问题,但渗漏已使坝体产生严重的渗透变形,危及坝体安全。因此,帷幕灌浆的主要目的是减少坝体渗漏,确保坝体安全^[3]。

3.2 帷幕轴线

帷幕轴线以坝顶‘乌龟石’顶部 $(0 + 528.40)$ 为转折点,向右岸与山体相接,向左岸至帷幕灌浆B试区后,沿已成坝顶公路呈折线与山体相接。轴线的长 748.14 m ,其中右岸长 224.24 m ,左岸长 523.90 m (见图3)。

3.3 帷幕灌浆试验研究

地震堰塞坝体的帷幕灌浆在国内外尚属首次^[4],



图3 地震堰塞坝体帷幕灌浆布置示意图

帷幕灌浆能否形成完整、连续、可靠的防渗幕体尚需试验论证。为此进行了灌浆试验^[2]和生产性试验灌浆研究^[5]。

根据地震堰塞坝体的地层特点,将5个试验区(A,B,C,D,E)分别布置在坝体左侧、中部及右侧帷幕轴线上(图3)。各试区按梅花形布置3排帷幕孔,深入基岩1.0m,孔距分别为1.5m,2.0m,2.5m,3.5m,3.9m,排距2.0m。灌浆试验历时335d,共完成试验灌浆孔89个,累计钻孔深6254.6m、灌浆深6082.2m。

灌浆试验研究表明,小南海地震堰塞坝体可灌性良好,帷幕灌浆可以解决坝体的渗漏问题;采用3排帷幕,按渗漏分布现状布置帷幕灌浆孔,最大孔距3.5m,深入基岩1.0m,可以形成完整、连续、可靠的防渗帷幕,满足地震堰塞坝体防渗要求。

3.4 灌浆孔布置

根据灌浆试验研究,结合地震堰塞坝体的地层特点,按渗漏分布现状分段布置帷幕灌浆孔(图3)。实际施工时沿帷幕轴线呈梅花形布置3排帷幕孔,排距1.5~3.5m。灌浆试验区位于帷幕轴线上,除D试区和E试区补强灌浆外,其余试区已形成的帷幕可作为坝体帷幕的组成部分。全坝段共布置灌浆孔736个,累计钻孔深48124.3m、灌浆深47759.0m。

3.5 灌浆深度

根据地震堰塞坝体的地层特点和灌浆试验研究,确定从混凝土盖重层底部开始灌浆。堰塞坝体以下基岩为弱透水岩体,无须进行防渗处理,但考虑到坝体和基岩的有效衔接,为保证接触带的防渗效果,帷幕应深入基岩一定深度。灌浆试验表明,若帷幕深入基岩1.0m就能满足接触带的防渗要求,因此实施灌浆帷幕深入基岩1.0m,最大帷幕深约80.0m。

3.6 帷幕防渗标准

堰塞坝体渗流有限元分析表明,若灌浆帷幕的渗透系数 $K \leq 5.00 \times 10^{-4}$ cm/s,既能满足坝体的防渗要求,达到减少坝体渗漏的目的,也能节省工程投资^[6-9]。综合分析后确定灌浆帷幕的防渗标准为渗透系数 $K \leq 5.00 \times 10^{-4}$ cm/s。考虑到方便现场质量

检查,采用透水率 q 作为现场控制防渗标准。文献^[10]认为:若帷幕的防渗标准要求渗透系数 $K = i \times 10^{-4}$ cm/s($i = 1 \sim 9$),则透水率 q 值可取 $5 \sim 20$ Lu。据此确定小南海水库地震堰塞坝体灌浆帷幕的防渗标准为透水率 $q = 15 \sim 20$ Lu。

根据坝体物质结构的差异,该防渗帷幕按高程分3段采用不同的防渗标准:孔口至高程658.0m, $q \leq 15$ Lu;高程658.0~635.0m, $q \leq 18$ Lu;高程635.0m至基岩1.0m, $q \leq 20$ Lu。

3.7 灌浆材料

灌浆试验对水泥和黏土两种主要灌浆材料进行了研究。黏土颗粒较细,可提高浆液的可灌性和稳定性,并增加浆液的初凝塑性,堰塞坝体的地层特性正适合于添加黏土的充填式灌浆,既可满足灌浆体强度低、弹性模量低以及变形性能好和抗渗性能高的要求,又可降低灌浆工程投资,使帷幕达到既安全可靠又经济合理的目的。在正式灌浆施工时,采用32.5级普通硅酸盐水泥和黏土作为主要的灌浆材料,砂、水玻璃在处理特殊情况时使用。

3.8 浆液配合比

灌浆试验研究时,灌注浆液以纯水泥浆和水泥黏土浆为主,孔口段和中排Ⅱ序孔和Ⅲ序孔采用纯水泥浆,其余采用水泥黏土浆,各排浆液干固比(水泥:黏土)为1:0.4(均为质量比,下同),3组浆液水固比(水:水泥+黏土)分别为3:1,2:1,1:1。根据灌后检查孔压水试验成果和灌浆资料分析,该地层灌注水泥黏土浆可取得较好的灌浆效果,并且还可适当增加黏土的掺量,以节省灌浆工程投资。

生产性试验灌浆研究时,灌注浆液仍以水泥黏土浆为主,对浆液的干固比进行了调整:上、下游排干固比为1:1.0,中排干固比为1:0.4,水固比仍为3:1,2:1,1:1。

在试验灌浆期间,对不同干固比的水泥黏土浆液进行了水下养护条件下的初凝时间检测,结果见表1。从表1看出配合比(水泥:黏土:水)1:0.4:1.4的浆液初凝时间与试验室的检测结果基本接近,而

表 1 水泥黏土浆物理力学性能指标检测值

水固比	配合比 (水泥:黏土:水)	密度/ (g·cm ⁻³)	初凝时间/h		抗压强度/MPa		劈裂强度/ MPa	弹性模量/ GPa	渗透系数/ (10 ⁻³ cm·s ⁻¹)
			室内	室外	14 d	28 d			
1:1	1:0.4:1.4	1.53	23	23.5	1.82	2.89	0.190	2.21	5.00
1:1	1:0.6:1.6	1.51	24	37.8	1.53	2.68	0.170	2.11	4.24
1:1	1:1.0:2.0	1.55	26	68.5	1.16	2.15	0.120	1.81	6.37
2:1	1:0.4:2.8	1.31	72	41.8	0.38	0.85	0.064	0.58	
2:1	1:0.6:3.2	1.32	72	46.8	0.16	0.40	0.028		
2:1	1:1.0:4.0	1.33	84	94.3	0.07	0.14	0.017		
3:1	1:0.4:4.2			52.4					
3:1	1:0.6:4.8			61.8					
3:1	1:1.0:6.0			173.0					

配合比 1:1.0:2.0 的浆液初凝时间比试验室长 42.5 h。从检查孔施工情况分析,干固比 1:1.0 的浆液初凝时间长,强度偏低,容易破坏,难以满足坝体防渗要求,不宜在灌浆中使用。

在灌浆施工时,根据灌浆试验研究成果确定灌注浆液以水泥黏土浆为主,干固比上、下游排为 1:0.6,中排及接触段为 1:0.4,冰固比为 3:1,2:1,1:1 浆液配合比上、下游排为 1:0.6:4.8,1:0.6:3.2 和 1:0.6:1.6,中排和接触段为 1:0.4:4.2,1:0.4:2.8 和 1:0.4:1.4。

3.9 浆液变换标准

灌浆试验对各种配合比的浆液变换进行了研究和探索,总结出适合该地层特点的浆液变换标准。在灌浆施工中,浆液变换遵循由稀到浓的原则。

3.10 灌浆段长

灌浆试验对 1.0 m、2.0 m、3.0 m、5.0 m、8.0 m、10.0 m 等多种灌浆段长进行研究,确定了帷幕灌浆段长的划分标准。灌浆施工时,各灌浆段长划分为接触段 0.2 m、第 1 段 2.0 m、第 2 段 2.0 m、第 3 段 3.0 m、第 4 段及以下各段 5.0 m。在特殊情况时可适当调整段长,但不允许超过 8.0 m。

3.11 灌浆压力

在灌浆试验研究时,边排孔先采用的灌浆压力(表压力)为 0.1~1.5 MPa,但上部 0.1 MPa 压力偏低,而下部 1.5 MPa 压力又稍高。在施工中排孔时,对灌浆压力进行了调整:边排Ⅰ序孔和Ⅱ序孔 0.2~1.2 MPa,Ⅲ序孔 0.2~1.3 MPa,中排Ⅰ序孔和Ⅱ序孔 0.1~1.3 MPa,Ⅲ序孔 0.2~1.5 MPa。

在生产性试验灌浆时,按上述灌浆压力进行灌浆时混凝土盖重层产生抬动,周边出现冒浆、漏浆现象。同时浆液注入率普遍较大,很多段次在低压、无压或间歇灌浆相当长一段时间后才能逐步升压,在这种情况下,小通道、小裂隙已被堵塞,幕体已初步形成,升压后对这些部位的作用已不明显,并且采用较大的灌浆压力还会对已成幕体产生劈裂破坏,如中排Ⅲ序孔在 45.0 m 以下幕体被击穿,因此使用较大的灌浆压力已无必要。随后对灌浆压力又进行了

调整:边排Ⅰ序孔和Ⅱ序孔 0.2~0.8 MPa,Ⅲ序孔 0.2~1.2 MPa,中排Ⅰ序孔和Ⅱ序孔 0.1~1.2 MPa,Ⅲ序孔为 0.2~1.4 MPa。

灌浆试验研究表明,适当提高中排孔的灌浆压力,有利于浆液的扩散和增加帷幕的密实性,可使帷幕均匀、连续,防止产生集中渗漏。在正式灌浆施工时,各排、序孔的灌浆压力(表压力)为:边排Ⅰ、Ⅱ序孔 0.2~0.8 MPa,边排Ⅲ序孔 0.2~1.2 MPa,中排各序孔 0.3~1.4 MPa。接触段及孔口管段灌浆压力下限以盖重层不抬动为准,上限压力为 0.2 MPa。

4 帷幕灌浆施工

4.1 施工原则及方法

a. 钻孔和灌浆原则 钻孔和灌浆采用分序加密的原则进行,先施工上游排,再施工下游排,最后施工中排,同排上先施工Ⅰ序孔,再施工Ⅱ序孔,最后施工Ⅲ序孔。

b. 钻孔和灌浆方法 采用硬质合金或金刚石钻头泥浆护壁、分段回转钻进的方法,以及孔口封闭、自上而下分段、孔内循环式的灌浆方法。

4.2 帷幕灌浆施工

a. 钻孔 坝体结构松散、架空较多,在钻孔中使用泥浆护壁,采用 300 型地质钻机配 $\varnothing 60 \sim 108$ mm 的无芯合金钻头钻进成孔。在遇到卵石层时换用 $\varnothing 91$ mm 的金刚石钻头钻进。接近基岩面时,换用 $\varnothing 56$ mm 的金刚石取芯钻具钻取岩芯,以判断基岩面。

b. 灌浆孔的冲洗和压水 堆积坝体成孔困难,为保护已成的钻孔,灌浆孔一律不进行冲洗和压水试验。

c. 灌浆 采用自上而下分段灌浆。在灌浆过程中若浆液注入量大,间隙、待凝次数频繁,灌浆难以结束时灌注水泥黏土砂浆。

5 帷幕灌浆效果分析

5.1 与地质勘察成果比较分析

帷幕钻孔揭示,坝体左、右两段的地层结构存在一定的差异。右段坝体较浅,钻孔深约 65.0 m,左段

坝体较厚,钻孔深约 78.0 m,最深达 82.5 m。右段地层架空及管涌通道较多,结构松散;左段地层架空、管涌通道相对较少,块碎石部分被粉细砂或黏土充填,结构密实。

帷幕钻孔还揭示,上部坝体块碎石粒径较大,孤石含量较高,结构松散,多次出现架空、漏浆现象,其中 42.0 ~ 59.0 m 段有黏土及黏土夹块碎石层,局部有粉砂层,钻孔时经常发生‘缩径’现象;下部坝体块碎石粒径较小,孤石含量较少,结构较密实,很少出现架空、漏浆现象。

帷幕灌浆揭示,坝体上部 27.0 m 以内注浆量较大,27.0 m 以下注浆量相对较小,说明坝体上部渗透性强,下部渗透性弱。该结果与地质勘察成果相一致。

5.2 干料注入量分析

各排、序孔干料注入量统计见表 2。

灌浆统计资料表明,中排各序孔的单位干料注入量均比边排各序孔有较大幅度的减少,并且随着灌浆次序的增加,单位注入量均有明显减少,灌浆效果良好。

5.3 钻孔施工分析

开始钻两边排孔时,孔口不返泥浆、架空、塌孔的情况比较严重,而中排孔上述情况明显减少。出现孔口不返泥浆的下游排孔达 326 段次,上游排孔达 163 段次,而中排孔仅 30 段次。出现架空、塌孔下游排孔为 24 段次,上游排孔为 16 段次,而中排孔未出现架空、塌孔现象。说明两边排实现了对架空段和漏浆通道的封堵,中排孔已起到了逐渐挤密压实的作用。钻孔施工情况也表明灌浆效果较好。

5.4 灌浆压力分析

出现开灌不起压力的下游排孔达 645 段次,上游排孔达 291 段次,而中排孔仅 128 段次,减少较明显。从灌浆压力分析,灌浆效果较好。

6 帷幕灌浆效果检查

6.1 检查孔钻进方法及压水试验效果

地震堰塞坝体结构复杂,采用帷幕灌浆进行防渗处理在国内尚属首例,我国尚未制定相应的设计和施工规范,灌浆质量检查也无相应标准可供依照^[11]。小南海水库地震堰塞坝体在灌浆试验、生产性试验灌浆及正式灌浆施工中,先后进行了清水回转钻进、风动潜孔锤冲击回转钻进、稀泥浆护壁钻进、潜孔偏心锤跟管钻进(跟管深度达 80.0 m)及多口径全断面钻进等多种检查孔钻进方法的试验和探

索,每种钻进方法均存在一定的缺陷,单独采用难以真实地反映该地层的透水情况。通过多种钻进方法的交替使用和钻孔资料分析,总结出适合该地层特点的检查孔钻进施工工艺:潜孔偏心锤跟管钻进、多级孔径套管护壁钻进(小口径全断面钻进→压水试验→扩孔→下套管护壁→继续小口径全断面钻进→…→反复循环钻进)等多种钻进方法,不同地层选择不同的钻进方法,成功地解决了检查孔钻进问题,保护了地层原状,压水试验结果真实地反映了该特殊地层的透水状况。

采用静水头法,基本水柱高 10.0 m,若地下水位(以库水位为准)至孔口高度大于 10.0 m,则静水头与孔口齐平;若地下水位至孔口高度小于 10.0 m,则静水头取为高出孔口 2.0 m。

全坝段共布置检查孔 22 个,钻孔 1 517.4 m,最大孔深 80.0 m,压水试验 80 段次。在测得的各区段透水率中,大于 10 Lu 的区段共 6 段,占总区段的 7.5%;10 ~ 5 Lu 的区段共 13 段,占总区段的 16.3%;5 ~ 1 Lu 的区段共 45 段,占总区段的 56.2%;小于 1 Lu 的区段共 16 段,占总区段的 20.0%。其中最大透水率为 11.2 Lu,最小透水率为 0.05 Lu,说明灌浆效果明显。

6.2 检查孔岩芯采取情况

在检查孔的钻进施工中,孔内返出大量的水泥黏土结石,说明浆液在坝体内凝结性能良好,帷幕灌浆已起到挤密、压实的作用,灌浆效果较好。

6.3 帷幕幕体开挖情况

坝体右侧帷幕在 0 + 644.63 ~ 0 + 580.21 段经过溢洪道渐变段,在溢洪道施工时,对该部分 665.0 m 高程以上的已灌浆坝体进行了开挖,开挖后揭示:①浆液分别向上、下游方向延伸,延伸长度约 15.0 m,最长达 24.0 m(图 4)。②浆液结石率较高,灌浆结石充满堆积坝体的空隙和孤石裂隙,通过敲击观察,结石密实度较高。③溢洪道其余部位开挖除个别大孤石外,大部分超出设计边坡线,难以形成规则的开挖边坡,但帷幕灌浆部分的边坡开挖成形极好,未出现超欠挖现象。开挖揭露情况表明,帷幕灌浆已形成完整、连续的幕体,效果比较理想。

7 观测资料分析

7.1 水位观测分析

在帷幕下游侧坝体(距帷幕轴线 16.0 ~ 30.0 m)

表 2 各排、序孔干料注入量统计

排	灌浆段长/ m	水泥/ kg	黏土/ kg	干料注入量/(kg·m ⁻¹)				
				单排	双排	I 序孔	II 序孔	III 序孔
下游排	16 695	5 667 045	3 156 195	528.5	502.4	650.6	570.5	443.7
上游排	16 715	5 076 865	2 884 036	476.3	502.4	562.2	531.3	403.8
中排	17 552	3 578 625	1 376 097	282.3	282.3	346.0	302.9	246.3

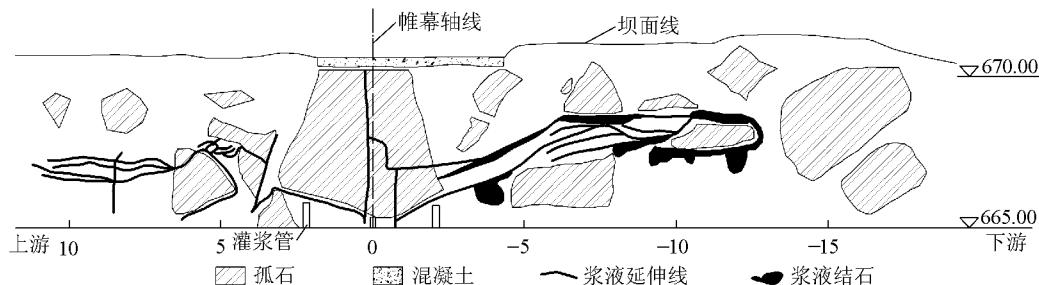


图4 地震堰塞坝体帷幕灌浆浆液扩散情况示意图(单位:m)

设置了8个测压管(图3),测孔编号为GC01~GC08,用于观测坝体浸润线。从2001年7月21日至2002年11月15日共进行了17次测压管水位观测,其中2002年8月15日测得水库最高库水位(671.03m)。

位于左坝肩的GC01,GC02孔,孔内水位比同期库水位低0.16~3.27m;位于右坝肩的GC08孔,孔内水位比同期库水位低0.99~3.58m;位于河床部位的测压孔,孔内水位比同期库水位低1.80~13.10m。

观测资料表明,渗透压力在经过帷幕后递减较大,帷幕已起到了良好的防渗作用。

7.2 渗流量观测分析

量水堰位于坝体下游河床,从2001年7月22日至2003年12月31日共进行了45次渗流量观测(表3仅列出了部分数据),其中2002年9月7日测得最高库水位(669.48m),比水库正常蓄水位低1.02m。

表3 帷幕灌浆前、后坝体渗流量观测值对比

序号	灌浆前		灌浆后		渗流量比/% (灌浆后/灌浆前)
	库水位/ m	渗流量/ (L·s ⁻¹)	库水位/ m	渗流量/ (L·s ⁻¹)	
1	668.24	570	668.18	13.9	2.4
2	667.12	296	667.10	15.3	5.2
3	666.22	191	666.22	4.4	2.3
4	665.03	134	665.03	6.5	4.9
5	663.90	104	663.90	10.6	10.2

渗流观测资料表明,帷幕灌浆后坝体平均渗流量为5.2L/s,年平均渗漏量约 $16.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,为灌浆前坝体年平均渗漏量的1.6%,当库水位为669.48m时,堰上水头为5.0cm,渗流量为30.0L/s,约为灌浆前库水位668.24m时坝体年渗漏量的5.3%;当库水位为660.1m时,堰上水头为零;当库水位下降并维持在660.0m左右时,量水堰内水位低于堰顶,渗流量测值为零。说明帷幕已具有较好的防渗效果。

8 结 语

地震堰塞坝体具有物质组成复杂、孤块石多、孔隙率大、局部架空、坡面极不规则等特点,通过对坝体物质组成、渗漏特性的分析和灌浆试验研究,证明该类堆积坝体具有良好的可灌浆性,帷幕灌浆能够解决坝体的渗漏问题。

采用硬质合金或金刚石钻头泥浆护壁、分段回

转钻进的方法,以及孔口封闭、自上而下分段、孔内循环式的灌浆方法,灌注水泥黏土浆液,适当提高中排孔的灌浆压力,成功实施了堰塞坝体的帷幕灌浆。根据坝体的物质结构差异和渗漏特性布置帷幕孔,防渗帷幕按高程分别采用15Lu,18Lu,20Lu3个防渗标准,满足了坝体的防渗要求;采用潜孔偏心锤跟管钻进、多级孔径套管护壁钻进等施工工艺,成功地解决了检查孔的钻进问题;检查孔分段进行静水头压水试验,测试成果真实地反映了地层的透水特性。质量检查和渗漏观测资料显示,帷幕防渗效果良好。

小南海地震堰塞坝体帷幕灌浆在国际、国内均属首次^[4],既无规程规范可以依据,又无类似工程经验可资借鉴,通过灌浆试验研究和探索,找到了适合该地层特性的灌浆设计参数、防渗标准、施工方法及质量检查方法,为帷幕灌浆设计和施工提供了可靠的技术依据^[3]。该地震堰塞坝体帷幕灌浆的成功实施,为四川汶川大地震形成的堰塞坝体防渗处理提供了可资借鉴的经验。

参考文献:

- [1] SL31—2003,水利水电工程钻孔压水试验规程[S].
- [2] 赵元弘.重庆小南海水库地震堆积坝体帷幕灌浆试验研究[J].水文地质工程地质,2005(3):89-93.
- [3] 孙钊.小南海水库大坝帷幕灌浆咨询意见[R].北京:水利部水利建设管理总站,2002.
- [4] 张岚.小南海地震堆积坝体帷幕灌浆和曲线溢洪道科技查新报告[R].北京:水利部信息研究所,2006.
- [5] 赵元弘.小南海水库地震堆积坝体生产性试验灌浆研究[J].大坝与安全,2007(2):63-70.
- [6] SL274—2001,碾压式土石坝设计规范[S].
- [7] 孙钊.大坝基岩灌浆[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [8] 张景秀.坝基防参与灌浆技术[M].北京:中国水利水电出版社,2002.
- [9] 张景秀.灌浆法的正用与新规范构想[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [10] DL/T5200—2004,水电水利工程高压喷射灌浆技术规范[S].
- [11] DL/T5148—2001,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

(收稿日期:2008-05-16 编辑:高建群)