

三峡大坝接缝灌浆细缝灌区处理分析

陈 磊, 唐 力

(长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010)

摘要:三峡大坝接缝灌浆累计完成 2 034 个灌区, 其中 13 个灌区因张开度达不到灌浆要求被保留观察。三峡枢纽竣工验收前, 对这些灌区进行了专项检查和分析, 对 6 个确认未张开的灌区决定不作灌浆, 对 7 个细缝灌区疏通后进行了化学灌浆, 是国内坝体细缝灌区直接采用化学灌浆的首个案例。详细介绍了细缝化学灌浆处理的灌浆方式、灌浆材料性能、灌浆效果以及处理标准。实践表明, 灌浆效果良好。对类似工程问题的处理具有借鉴价值。

关 键 词:接缝灌浆; 细缝灌区; 化学灌浆; 大坝; 三峡水利枢纽

中图法分类号: TV543

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.10.001

1 工程概况

三峡大坝为混凝土重力坝, 坝顶高程 185 m, 最大坝高 181 m, 大坝轴线全长 2 309.5 m, 共分 115 个坝段, 自左至右依次为: 左岸非溢流坝段、升船机坝段、临时船闸坝段、左岸厂房坝段、左导墙坝段、泄洪坝段、纵向围堰坝段、右厂排坝段、右岸厂房坝段以及右岸非溢流坝段。大坝混凝土施工列入枢纽工程二期和三期施工中, 即: 纵向围堰坝段以左属二期施工范围、以右属三期施工范围。

大坝采取分块浇筑, 根据尺寸不同, 各坝段最多设有 3 条纵缝, 均设置了接缝灌浆。为了加大坝体侧向刚度、改善坝身孔口受力条件、增强坝基深层抗滑稳定性, 对泄洪坝段、厂房坝段和部分非溢流坝段一定高程以下的横缝也进行了接缝灌浆。

三峡枢纽工程于 1994 年正式开工建设, 2003 年 6 月, 二期施工大坝建成并开始挡水 (135 m 水位), 2006 年 10 月, 三期施工大坝建成开始挡水 (156 m 水位), 2008 年汛末, 枢纽进入试验性蓄水期 (175 m 水位)。根据国家主管部门安排及《长江三峡工程整体竣工验收枢纽工程竣工验收大纲》规定, 2015 年底将进行三峡枢纽工程整体竣工验收。

2 施工期大坝接缝灌浆情况

二期施工大坝接缝灌浆工程从 1997 年 12 月开始, 至 2003 年 3 月, 累计完成灌区 1 282 个, 灌区面积 19.5 万 m^2 , 其中在左厂坝段和泄洪坝段共遗留 5 个灌区, 由于灌区顶部排气管少量渗水或基本不出水, 主要是缝面张开小或者未张开, 经采取补孔、加压冲洗、超冷等措施后, 仍不具备正常灌浆条件, 故决定暂不灌浆, 保留管路继续观察。在三期施工时, 又对其进行复核性压水, 情况仍未改善。

三期施工大坝接缝灌浆工程以及二期施工右纵 1 号至泄洪 12 号坝段剩余横缝灌区, 从 2004 年 12 月开始, 至 2006 年 3 月结束, 累计完成灌区 752 个, 灌区面积 16.2 万 m^2 , 其中在右厂坝段遗留 8 个灌区, 由于灌区顶部排气管少量渗水或基本不出水, 主要是缝面张开或未张开, 经采取补孔、加压冲洗、超冷等措施后, 连续两个灌季检查均不具备灌浆条件。参照二期施工大坝接缝灌浆办法, 将其作为遗留灌区继续观察。

3 遗留灌区专项检查及分析

3.1 现场压水检查

经过 6 a 初期运行和 7 a 试验性蓄水运行后, 在三

峡枢纽工程整体竣工验收前的最后一个灌季(2014 年冬~2015 年春),对前期接缝灌浆的遗留灌区进行了专项现场压水检查。结果显示:各灌区预埋管路系统基本正常;部分灌区呈现细缝特征(缝宽小于 0.5 mm);灌区排气管不出水部位,判断其缝面处于闭合状态。详见表 1。

表 1 压水检查成果

灌区编号	类别	面积/ m ²	压力/ MPa	漏水率/ (L·min ⁻¹)	排气槽流量/ (L·min ⁻¹)	缝容/ L	缝宽/ mm
左厂 13-2-I-4	横缝	151.00	0.2	0.1	0.0	-	-
左厂 13-2-14-I-III-4	横缝	480.00	0.2	0.6	0.0	-	-
泄 1-左导-III-3'	横缝	50.00	0.2	0.5	10.0	19.0	0.38
泄 3-4-III-3-1	纵缝	280.00	0.2	0.7	-	96.0	0.3
泄 20-21-III-7	横缝	66.00	0.2	0.1	0.0	-	-
右厂 16-2-II-4	纵缝	67.65	0.2	0.3	0.0	-	-
右厂 18-2-II-4	纵缝	62.25	0.2	0.3	9.0	28.0	0.50
右厂 19-2-II-4	纵缝	57.00	0.1	-	-	-	-
右厂 23-1-II-4(右)	纵缝	31.00	0.2	0.1	0.0	-	-
右厂 23-2-24-I-III-6	横缝	95.00	0.2	0.2	23.0	42.8	0.45
右厂 25-2-II-8	纵缝	106.00	0.2	0.5	12.0	39.6	0.33
右厂 25-1-II-9(左)	纵缝	45.00	0.2	0.8	4.0	12.6	0.28
右厂 25-1-II-9(右)	纵缝	45.00	0.2	0.3	10.0	14.4	0.32

注:排气槽流量为灌区顶部两个排气管(孔)单开出水流量之和;泄 3-4-III-3-1 排气管与其他管路串通,数据失真未录入;右厂 19-2-II-4 灌区受廊道内电缆桥架影响无法通水,改为压气检查。

3.2 相关监测成果

2003 年起,三峡大坝陆续挡水运行,2008 年枢纽进入试验性蓄水期,2010 年至今已连续 5 a 达到正常蓄水位 175 m。相关监测资料表明:大坝变形、渗流、应力应变等观测值均在设计允许范围内,遗留灌区所在坝段变形和应力指标与其他坝段基本一致,坝体内部温度稳定在 18.6℃~21.5℃,年变幅 0.4℃~1.2℃,坝体自生体积变形已稳定,大坝工作性态正常。

4 遗留灌区处理设计

4.1 处理方案

检查和分析表明:① 经过长时间挡水运行,大坝坝体内部温度和自生体积变形已稳定,加之上游水压力作用,缝面开度已不具备继续增大的条件;② 由于这些灌区散布在不同坝段,且灌区面积大多较小(其中 9 个区不到 100 m²,且有细缝),对缝面整体传力效果和坝体挡水运行影响较小;③ 受材料使用寿命限制,预埋管路系统难以继续保持完好。因此,确定对未张开的 6 个灌区不作灌浆,只封填管路,对 7 个细缝灌区进一步疏通后实施灌浆。

在第一灌季(2004 年冬~2005 年春),三期大坝施工中,曾经采用超细水泥对右厂 24-2-II-7、8、9 三个细缝灌区进行过灌浆处理,其中仅右厂 24-2-

II-7 排气管口出浆,其他两个区排气管均未出浆,且比重仅为 1.25。也就是说,缝面只能通过水灰比为 2:1 的稀浆,从实施情况看,处理效果不理想。

由于三峡枢纽工程已投入正常运行,剩余灌区管口位置散布在不同坝段的各个廊道内,现场缺乏适用水泥灌浆施工的风、水、电及弃浆处理设施。经施工单位估算,若在左、右岸坝后各设置 1 个水泥制浆站及输送管路,并在坝内建立临时废浆池,其施工总造价与化学灌浆相比已无优势,且工期相对较长。而且,如先进行水泥灌浆后再进行补充化学灌浆,造价和工期会进一步增加,再加上二次灌浆钻孔量大,不仅施工困难,对坝体结构也会造成损伤。

因此,综合技术经济比较和现场实际条件分析,决定利用原预埋管路对细缝灌区直接进行化学灌浆。

4.2 灌浆要求

(1) 灌浆材料。低黏度型混凝土裂缝用环氧树脂,浆液初始黏度小于 20 mPa·s,湿黏接强度不小于 2 MPa,固化物抗压强度不小于 40 MPa,操作时间可调。

(2) 灌浆压力。0.3~0.5 MPa,根据各灌区具体情况确定。

(3) 灌浆结束标准。灌浆压力达到设计最高压力,灌区顶部排气管(孔)回浆,注入率小于 0.1 L/min 后继续灌注 20 min,即可结束灌浆或注入率已达结束标准,灌区顶部排气管(孔)不回浆,再延长灌注 20 min 亦可结束灌浆。

5 细缝灌区处理实施效果

5.1 缝面冲洗

为进一步改善细缝灌区的畅通性,灌前采用混凝土裂缝清洗剂对缝面浸泡 24 h 后进行反复冲洗。灌前预压性压水显示,经清洗剂浸泡冲洗后,各灌区排气槽流量比冲洗前提高 1~13 L/min,最大流量由 23 L/min 上升为 25.1 L/min。该结果表明:① 灌区内可能存在灰沙颗粒和钙化物附着;② 疏通措施有效,灌区畅通性有所改善;③ 疏通前后灌区的细缝属性没有根本变化。

5.2 化学灌浆

大坝细缝灌区化学灌浆于 2015 年 2 月 4 日开灌,至 8 日全部结束,各个灌区的灌浆情况见表 2。

灌浆资料表明,各灌区行浆速度均匀,所有排气管正常出浆,灌浆压力达到设计值,缝面灌入量与灌前预压性压水符合性较好,灌浆期间缝面增开度基本无变化(最大 7.5 μm),由此判断,灌区处理达到设计要求,灌浆效果良好。

表 2 灌浆及灌前压水成果

灌区编号	灌前预压水		灌浆压力/ MPa	浆液配比 (A:B)	灌浆历时/ min	灌入量/ kg
	进水量/	排气槽流量/				
	L	(L·min ⁻¹)				
泄1-左导-Ⅲ-3'	212	14.4	0.55	5:1	70	175.5
泄3-4-Ⅲ-3-1	248	-	0.55	5:1	84	302.0
右厂18-2-Ⅱ-4	129	10.8	0.40	5:1	95	150.0
右厂23-2-24-1-Ⅲ-6	249	24.0	0.30	5:1	94	298.4
右厂25-2-Ⅱ-8	158	25.1	0.40	5:1	53	151.5
右厂25-1-Ⅱ-9(左)	226	13.1	0.35	5:1	120	193.6
右厂25-1-Ⅱ-9(右)	176	13.5	0.30	4:1	91	274.0

6 细缝灌区化灌处理分析探讨

6.1 灌浆方式

细缝灌区的灌浆方式有磨细水泥、超细水泥和化学材料灌浆。目前,葛洲坝集团生产的超细水泥颗粒细度可以达到 $D_{95} \leq 30 \mu\text{m}$,理论上可以通过 0.15 mm 的缝隙,但实际上键槽结构缝的缝面开度并不是均匀的。三峡泄洪坝段纵缝钻孔录像检查资料显示,三角形键槽的 3 个面张开度各不相同,上下游坝块相对位移的垂直分量会使其中一个斜面趋于贴紧。根据缝容换算或缝面垂直段(测缝计一般埋设于此)测得的只是整个缝面的平均开度,实际上某个斜面的开度会小于平均值,缝面的畅通性受最小开度控制,若其达不到浆材颗粒粒径的 3~5 倍以上,浆液则无法正常流动。

溶液态的化学浆材无疑比颗粒浆材具有更好的可灌性,但在实际工程中,多用于水泥灌浆后的补充灌浆,之前未见坝体接缝灌浆直接采用化学浆材的实例。这主要因为化学材料价格较高且有一定毒性^[1]。价格和环保是影响和制约化学灌浆的两大主要因素。然而就该项目而言,在灌区面积小、部位分散、场地狭窄的客观条件下,化学灌浆由于其设备轻便灵活、场地适应性好、弃浆量少等优势,不仅质量和工期能够得到保证,而且处理成本也相对较低。此外,只要选用环保低毒的浆材产品,规范操作,劳动保护措施落实到位,可将材料毒性对人员和环境的影响降到最低,达到基本无害的程度。

6.2 灌浆材料性能

环氧树脂灌浆材料是水电工程应用最为广泛的化灌材料之一,三峡工程曾将其用于混凝土裂缝处理、帷幕补强、断层破碎带加固^[2]。此次处理按建标 JC/T1041-2007 选用 I 等 L 型(低黏度)混凝土裂缝用环氧树脂,强度接近普通水泥结石的两倍,浆液黏度只有普通型环氧树脂的十分之一,适合坝体细缝灌区的处理。环氧树脂是溶液态浆材,其可灌性主要取决于浆液黏度。建标 JC/T1041-2007 颁布实施以来,随

着化灌材料科技的发展进步,目前国内主要厂家生产的浆材产品黏度指标已达到 10~20 mPa·s。为取得理想的灌浆效果,设计中将浆材黏度指标上限由标准规定的 30 mPa·s 调整为 20 mPa·s,可操作时间由 30 min 延长至满足现场施工需要。

环氧树脂属于高分子材料,在室外暴露环境下存在自然老化问题,但灌入坝体结构缝后情况则不同,能够引起材料分子结构降解或交联的紫外光、高温、氧化等因素的严密隔离,使材料性能得以长期保持。

6.3 灌浆效果与压力

化学灌浆工艺中,常利用高压手段使原本细小的缝隙扩张,以利于浆液进入。但这种方式在坝体接缝灌浆中是不允许的,为了避免坝体接缝灌浆时结构发生变形破坏,一般控制灌区顶部排气管压力在 0.2~0.3 MPa。由于此次灌浆的灌区面积较小,且周边灌区及相邻结构缝均已进行过灌浆,为保证灌浆效果,对各灌区情况逐个复核后适当上调了灌浆压力,实际压力值达 0.3~0.55 MPa。

灌浆过程中,缝面实测增开度为 0~7.5 μm ,说明灌浆压力还有提升空间。然而,与水泥浆不同,化学浆液不存在逐级变浓挤水压密问题,只要排气管出浆,效果就已经达到,再增加压力意义不大,而且从确保坝体结构安全的角度考虑,也有必要保留一定余度。

在灌浆压力受限的情况下,为改善灌浆条件,灌前采用 ZRY-1 型混凝土裂缝清洗剂对缝面进行了浸泡和清洗,该产品酸度 0.7~1.4 mol/L,与白醋相当,对混凝土缝面附着的苔藓、水锈、钙化乳皮等污染物有一定的溶解和去除作用,对混凝土本身基本无损伤,配合冲洗使用能有效提高缝面疏通效果,但为了避免灌区底部残留酸性液体加速管路等金属预埋件的锈蚀,如果短时间内不实施灌浆,则不建议采用。

6.4 细缝灌浆处理标准

此次细缝灌浆中,虽然所有灌区顶部排气管(孔)都出现了回浆,但对于细缝灌区而言,无法保证避免进水不进浆现象,制定处理方案时,应对此有所预见。为便于处理施工验收和质量评定,在制定处理要求时,未将顶部排气管(孔)回浆列为必须的灌浆合格标准。

对于未张开或已全面堵塞的灌区,根据对坝体挡水功能和实际运行状况的分析,在满足安全的前提下取消了灌浆。其他工程若因结构需要必须确保联成整体,也可重新布孔进行细致检查或通过再造灌浆系统进行补强处理。

chuan Earthquake, Sichuan Province, southwest China[J]. Bull Eng Geol Environ, 2009,68:373-386.

[2] Cui P, Dang C H, Zhuang J Q, et al. Landslide - dammed lake at Tangjiashan, Sichuan province, China triggered by the Wenchuan Earthquake, May 12, 2008: risk assessment, mitigation strategy, and lessons learned[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 65 (4): 1055-1065.

[3] Chen X Q, Cui P, Li Y, et al. Emergency response to the Tangjiashan landslide - dammed lake resulting from the 2008 Wenchuan Earthquake, China[J]. Landslides, 2011, 8(1):91-98.

[4] 何秉顺,丁留谦,王玉杰,等. 四川安县肖家桥堰塞湖稳定性初步评估[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增2):3626-3631.

[5] 常东升,张利民,徐耀,等. 红石河堰塞湖漫顶溃坝风险评估[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1):50-55.

[6] 黄河,郑家祥,施裕兵,等. 唐家山堰塞湖形成机制及应急处理工程措施研究[J]. 中国水利, 2008, (16):12-16.

[7] Dai F C, Lee C F, Deng J H, et al. The 1786 earthquake - triggered landslide dam and subsequent dam - break flood on the Dadu River, southwestern China[J]. Geomorphology, 2005, (65):205-221.

[8] 程根伟,范继辉,程尊兰. 四川 5·12 地震灾区滑坡堰塞坝溃决灾害风险评估[J]. 西南民族大学学报:自然科学版, 2008, 34(6): 1086-1090.

[9] 陈宁生,杨成林,周伟,等. 泥石流勘查技术[M]. 北京:科学出版社, 2011.

[10] Takahashi T. Estimation of potential debris flows and their hazardous zones, soft countermeasures for a disaster[J]. Natural Disaster Science, 1981, (1): 57-59.

[11] 刘宁,程尊兰,崔鹏,等. 堰塞湖及其风险控制[M]. 北京:科学出版社, 2011.

(编辑:赵凤超)

Discussion of regulation mode of torrent - debris flow by dammed lake in small river basin

CHEN Ningsheng¹, HU Guisheng¹, QI Xianyang^{1,2}, WANG Yuanhuan¹, SU Li³

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Construction and Management Bureau, China Three Gorges Corporation, Chengdu 610023, China)

Abstract: Through the detail investigation and analysis on dammed lakes in small river basin in the east of Tibetan plateau, the first tributary Haizi gully of the Jinsha River in Qiaojia County, the first tributary Zongqu gully of the Minjiang River in Maonian County, and the second tributary Gucheng gully of the Minjiang River in Lixian County are selected as typical cases to study the regulation mode of torrent - debris flow by dammed lakes in small river basin. There are three mutual transformation modes of torrent and debris flow under the regulation of dammed lakes: the torrent - debris produced by deposit and re - erosion, the debris deposited and clear water discharged, and erosion scale enlarged. Based on the regulation mode of small watershed dammed lakes on the torrent - debris flow, the disaster risks of the dammed lakes with different characteristics are revealed, and some targeted measures are proposed.

Key words: torrent - debris flow; regulation mode; disaster risk; dammed lake

(上接第 3 页)

7 结语

三峡大坝接缝灌浆细缝灌区处理于 2015 年 3 月全部完成,达到了预期的处理目标,取得了理想的处理效果,不仅为三峡枢纽工程整体竣工验收创造了有利条件,也为今后类似工程问题的处理提供了实例借鉴,对水工化学灌浆技术的丰富和发展具有积极的促进作用。

用。

参考文献:

[1] 蒋硕忠,邓敬森. 中国化学灌浆的现状与未来[M]. 武汉:长江出版社, 2005.

[2] 熊进,祝红,董建军. 长江三峡工程灌浆技术研究[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003.

(编辑:李 慧)

Analysis of grouting treatment in minute joint area of Three Gorges Dam

CHEN Lei, TANG Li

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: 2034 grouting areas had been completed during the joint grouting of Three Gorges Project Dam, 13 of which were reserved for further observation because the joint opening can not meet the grouting requirement. Before the final acceptance of Three Gorges Project, these grouting areas were checked and analyzed specially. It is decided that no treatment need to be conducted to 6 closed grouting areas, and the chemical grouting should be applied to the rest 7 areas, which is the first application of dam minute joint grouting in China. The grouting mode, property of the grouting material, grouting effect and treatment standard of the chemical grouting are analyzed. It is shown that the grouting effect is satisfactory and the experiences are valuable.

Key words: joint grouting; grouting of minute joint; chemical grouting; dam; Three Gorges Project