

中梁水库喀斯特发育区组合灌浆技术探讨

屈昌华¹, 咎廷东¹, 周树灯²

(1. 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550081; 2. 重庆水利投资集团巫溪远达公司, 重庆 404000)

摘 要:中梁水库喀斯特发育, 根据其发育特点采用了以高压水泥灌浆为主, 多种方法相互组合的灌浆技术, 其优点在于设备配置及工艺简单、功效高、造价低等。通过对中梁水库喀斯特发育区组合灌浆处理技术进行有益的探讨, 为喀斯特地区水库防渗堵漏处理提供了一种新思路。

关键词:喀斯特发育区; 组合灌浆; 防渗堵漏; 中梁水库

中图分类号:TV543 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)04-0048-03

Discussion of Composite Grouting Technology in Karst Area of Zhongliang Reservoir/QU Chang-hua¹, ZAN Ting-dong¹, ZHOU Shu-deng² (1. Guiyang Hydropower Investigation Design & Research Institute, CHECC, Guizhou Guiyang 550081, China; 2. Chongqing Water Conservancy Investment Group Wuxiyuanda Company, Chongqing 404000, China)

Abstract: According to the characteristics of karst development in Zhongliang reservoir, the high pressure cement grouting is adopted mainly with some other grouting technologies combination. The equipment configuration and the process are simple with high efficiency and low cost. The composite grouting treatment technology in Zhongliang reservoir was discussed to provide a new idea for seepage control and plugging of reservoir in karst development area.

Key words: Karst development area; composite grouting technology; seepage control and plugging; Zhongliang reservoir

1 工程概况

中梁水库位于重庆市巫溪县, 水库大坝为混凝土面板堆石坝, 最大坝高 118.50 m, 正常蓄水位高程为 625.00 m, 总库容约 1 亿 m³。水库为纵向深切河谷, 两岸岸坡陡立, 碳酸盐岩分布广泛, 喀斯特发育。经前期勘测证实: 水库右岸存在 3 条较大喀斯特管道, 其中 1 号管道因库岸隔水层被右岸冲沟横切, 破坏了隔水层的完整性, 并低于库水位, 水库蓄水后存在沿 1 号喀斯特管道渗漏问题, 其它 2 条管道因出露高程高于库水位, 不存在喀斯特渗漏。

为防止库水从 1 号喀斯特管道渗漏而影响水库效益, 在库内隔水层破坏处设置了一道近 SN 向防渗帷幕(冲沟下游侧), 主要采用的方法是高压水泥灌浆(分为上、下 2 层灌浆平洞施工), 施工过程中由于只采用了一般的灌浆工艺, 效果较差, 难以达到工程目的。作者通过对喀斯特地质条件及其发育特征分析研究后建议采用组合方法处理, 取得了较好效果。组合灌浆技术具有设备配置与工艺简单、功效高、工程低等优点, 为喀斯特地区水库防渗堵漏处理提供了一种新思路。

2 喀斯特地质条件简析^[1,2]

2.1 基本地质条件

2.1.1 地层岩性

防渗区内主要出露地层为三叠系下统地层, 次为二叠系与志留系。其中志留系(S)地层岩性为石英砂岩、泥岩, 透水率较小; 二叠系主要包括中统铜矿溪组(P_{2c})、碳质页岩、栖霞组(P_{2q})与茅口组(P_{2m})灰岩, 上统吴家坪组(P_{3w})、长兴组(P_{3x})与大隆组(P_{3d})地层, 除 P_{3d}及 P_{3w}底部王坡段岩性为炭质页岩、炭质泥岩外, 其余为质纯层厚的灰岩; 三叠系下统主要为大冶组(T_{1d})与嘉陵江组(T_{1j})角砾岩、灰质白云岩、白云岩。

防渗线 SN 两端接隔水地层, 其中二叠系大隆组(P_{3d})与三叠系大冶组(T_{1d})组成水库边界隔水地层(防渗线 N 接头), 志留系(S)地层构成防渗线 S 接头, 帷幕底部无隔水层, 以岩体透水率 $q \leq 3 \text{ Lu}$ 控制, 为一悬挂式帷幕。

2.1.2 地质构造

地层近 EW 向展布(垂直防渗线), 产状为 280°~300°/SW(NE) $\angle$ 50°~85°; 区内断层不发育, 主要有 F₃、F₄、F₈; 节理主要有南北向、东西向 2 组, 其次为 NE 向和 NW 向 2 组剪性节理。SN 向节理为横张节

收稿日期: 2011-10-27

作者简介: 屈昌华(1964-), 男(汉族), 四川人, 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院高级工程师, 水文工程地质专业, 从事水利水电勘测、设计及基础处理施工与咨询工作, 贵州省贵阳市金阳新区, zgqch@163.com。

理,并密集成带发育,控制了区内南北向冲沟的形成。

2.1.3 水文地质条件

防渗线地下水主要为喀斯特裂隙与管道水;防渗线上的地下水位低于河水位(575.2 m),为一地下水位凹槽区,其中最低水位高程为470 m,比河水位低105 m。

2.2 喀斯特发育特点

2.2.1 喀斯特发育规律

防渗线上喀斯特发育主要以构造方向控制为主要特点,表现为顺层面、顺断层裂隙面及褶皱发育;喀斯特发育还与地层岩性密切相关,岩性是岩溶发育的基础,若地层呈厚层状且连续性好,岩溶发育愈强烈,如二叠系地层“质纯层厚”,溶蚀作用强烈,三叠系地层岩性较杂,岩溶发育相对较弱。在岩体透水性突变处(隔水层与透水层交界部位)喀斯特同样发育。

2.2.2 喀斯特发育程度分区

参照《岩溶地区工程地质调查规程》(DZ/T 0060-93),防渗线喀斯特发育程度可分为强、中、弱3个区域,其中强喀斯特发育区见表1。

表1 防渗线强喀斯特发育区表

部位	桩号	高程 /m	钻孔喀斯特率/%	透水率 /Lu	单位注水量 /(kg·m ⁻¹)
上层	0+190~230(KS1区)	626~585	22.4	>20	>500~1000
平洞	0+285~295(LS2区)	579~565	11.2	不升压	>500~1000
	0+283(KX1区)	496~495	10.9	不升压	>500~1000
下层	0+290~310(KX2区)	540~495	13.3	>20	>500~1000
平洞	0+335~355(KX3区)	465~450	10.1	>20	>500~1000

2.2.3 喀斯特强发育区的特点

喀斯特强发育区主要为充填型及半充填型溶洞、窄缝状管道及溶蚀裂隙,以钻孔喀斯特率高、透水率大、水泥单位注水量大为主要特点,规模在防渗线上投影面积多为数十平方米至近千平方米,最大体积约6500 m³(上层平洞KL1),多在地下水位线以上发育,充填物多为粘土、粘土夹砂、粘土夹碎石。

防渗线上的1号管道系统主要由多条窄缝状喀斯特小管道规模组成,根据连通试验实测的地下水流速(0.05 m/s),利用公式 Q (流量,0.53 m³/s)= W (面积)× V (流速)估算防渗线上的过水断面 $W=10.6$ m²,又据地质调查,窄缝状小管道一般长约为10 m,裂隙宽0.01~0.02 m,大约有50~100条喀斯特小管道^[4]。

3 喀斯特强发育区组合灌浆技术

3.1 防渗帷幕灌浆的一般原则

水库防渗要达到的工程目的就是防止库水沿溶洞、溶蚀裂隙及管道渗漏,采用的方法是设置防渗帷幕。由于灌浆技术成熟,故目前水利水电工程中的防渗帷幕主要采用钻孔灌浆技术,材料多为水泥浆材,灌浆压力多为高压(>3 MPa)。采用帷幕灌浆进行防渗处理一般性原则主要为:(1)查明地质情况,特别是要查明断层、裂隙、破碎岩体等地质缺陷,以便选用合适的防渗处理方案与工艺;(2)在有代表性的地段进行帷幕灌浆试验,为防渗帷幕设计提供合理的技术参数(如孔排距、灌浆压力等);(3)应根据已查明的地质条件和灌浆试验成果进行帷幕设计,适当选择防渗线的方向、长度、帷幕深度及灌浆参数,以能将水库渗漏量控制在最小程度或规范允许程度为标推;(4)随着帷幕灌浆施工的不断深入,应根据灌浆钻孔揭露新的地质情况对设计参数进行修正,对于处理效果较差的灌浆工艺应分析原因,选用更为适合有效的灌浆工艺和灌浆材料;(5)在选择帷幕方案时既要考虑防渗效果,同时还应充分考虑到经济因素,力争做到“效果好,又经济”。

3.2 喀斯特发育地区水库防渗帷幕灌浆处理原则

处于地质条件复杂的喀斯特地区的水库,由于喀斯特发育程度、规模、形态不尽相同,从而导致帷幕灌浆处理复杂,除了具有非喀斯特地区水库帷幕灌浆所有特点外,还独具灌浆工艺复杂、工程量大、工期长、使用材料多、费用高等特点。针对喀斯特发育地区帷幕灌浆的特点,其处理原则除前面提到的之外,还应把握以下原则:(1)施工前应设置帷幕灌浆先导孔,并利用钻孔、物探、水文地质试验等手段查明喀斯特的各种边界条件,如类型、规模、方向及充填物性状等;(2)在查明喀斯特发育情况后,有针对性选用有效的方法或工艺、适合的灌浆材料。

3.3 中梁水库帷幕组合灌浆技术

3.3.1 帷幕灌浆的基本方法及其适用条件

喀斯特地区水库防渗帷幕灌浆就是利用钻孔并施以一定压力把各种浆液灌入岩体溶洞、溶蚀裂隙及裂隙孔隙中,形成阻水幕,从而达到水库防渗堵漏的灌浆,基本方法主要包括纯压式灌浆和循环式灌浆,或自上而下分段灌浆法、自下而上分段灌浆法、综合灌浆法、孔口封闭灌浆法,或高压灌浆(>3 MPa)和中低压灌浆(<3 MPa);或水泥灌浆与其它材料灌浆等。

喀斯特发育区帷幕灌浆采用单一方法一般难以达到工程目的,往往需要通过查明喀斯特边界条件后同时选用特殊方法或组合方法,才能达到预期效

果。喀斯特帷幕灌浆的实质就是采用多种方法先将较大的溶洞介质或管道介质变成裂隙介质后再灌浆。组合方法主要包括:(1)级配料充填与水泥灌浆液或水泥水玻璃浆液组合法,适用于小型及中型规模无充填溶洞、有水但流速小的溶洞;(2)压力冲洗、压力置换与水泥灌浆+限压、限流、限量、间歇等特殊措施组合,适用于充填粘土夹砂为主的溶洞或溶蚀裂隙;(3)不同掺砂比(逐级)的水泥砂浆与水泥灌浆组合,适用于规模较小的喀斯特管道或溶蚀裂隙;(4)工序调整法,即按规范中的特殊情况调整施工序次,通过溶洞后再按设计要求的序次施工,适用于规模较大的强溶蚀区;(5)细石混凝土或细石自密实混凝土与水泥灌浆组合,适用于规模较大的无充填型溶洞或管道;(6)碎石与细石混凝土交替回填与水泥灌浆组合,适用于大型充填溶洞及管道;(7)模袋灌浆与水泥灌浆组合,适用于高流速喀斯特管道;(8)压力置换与水泥灌浆组合,适用于喀斯特发育深度较大且灌浆孔施工过程中相互串浆的地段;(9)逐级升压、加密孔挤密与水泥灌浆组合等。

3.3.2 中梁水库喀斯特强发育区组合灌浆处理方法简述

中梁水库防渗处理设置了上、下层平洞,处理段长分别为416 m与380 m,帷幕设置了3排孔,排距1.3 m,孔距2.0 m,采用梅花型布孔,分3序施工,防渗处理透水率标准为 $q \leq 3 \text{ Lu}$,设计要求的灌浆方法是“孔口封闭、孔内循环、自上而下分段灌浆法”,最大灌浆压力为4 MPa。

由于防渗线上喀斯特强发育区按常规高压水泥灌浆施工未达到预期效果,为此,根据喀斯特发育情况,有针对性地选用组合了灌浆方法处理,取得了明显效果。以KS1喀斯特发育区的组合灌浆处理措施为例,简要介绍如下。

3.3.2.1 基本地质情况

KS1喀斯特强发育区位于上层平洞,在防渗线上出露长度为30 m,孔深0~45 m,面积约1300 m²,喀斯特类型主要为无充填溶洞(KL1)及充填型溶洞,充填物主要为粘土、粘土夹砂以及溶蚀残留碎块状岩石等。水泥灌浆存在的主要问题就是灌浆压力很难达到设计要求3.5 MPa。

3.3.2.2 处理方法

对于区内的KL1溶洞,将灌浆钻孔直径扩大到150 mm后,先采用C20细石混凝土与碎石交替回

填,再采用水灰比0.5的浓水泥浆进行补强灌浆;对于区内其它部位灌浆孔,根据在低压灌浆时孔口返浆特点,有针对性采用的组合措施有:(1)采用低压、浓浆、限流、限量、间歇等措施施工,限流标准为注入率 $< 15 \text{ L/min}$,限量干料(水泥)为2 t/m,间歇时间为8~36 h;(2)分排分段升压,即调整上下游排灌浆压力为2 MPa,中间排2.5~3.5 MPa,每个灌浆段可复灌几次,逐次提高灌浆压力,直至达到设计压力;(3)每次复灌当灌注材料已达限量时停灌或当灌浆压力升到此次预定的灌浆压力时停灌;(4)缩短灌浆段长度为3 m;(5)压力冲洗法,即根据灌浆孔内充填物的情况分别采用压力(5~6 MPa)旋喷冲洗、压力(5~6 MPa)水冲洗、风水联合冲洗等;(6)灌注速凝浆液,即每次复灌将近结束时可灌注速凝浆液;(7)上下游排灌浆完毕后,再灌中间排。

3.3.2.3 处理效果

处理完成后通过检查孔检查,符合设计防渗标准,效果良好。

4 结语

通过对中梁水库喀斯特强发育区组合灌浆实践和技术探讨,笔者获得2点体会:

(1)喀斯特强发育区的帷幕灌浆处理方法应有针对性且应多样化,单一的灌浆方法很难达到预期的效果,只有在查明喀斯特发育情况后选用的组合灌浆处理措施才能达到预期的效果;

(2)目前还没有定型的喀斯特强发育帷幕灌浆处理方法,因地制宜地采用组合灌浆技术是取得良好灌浆效果的保证,也为深部喀斯特溶洞处理提供了一种新的方法。

参考文献:

- [1] 重庆中梁水电站水库防渗工程设计咨询与现场技术服务总结工作报告[R]. 贵州贵阳:中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 2010.
- [2] 大宁河中梁水电站初步设计报告(4 工程地质)[R]. 湖南长沙:中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 2005.
- [3] 李新明, 屈昌华. 基于喀斯特发育特点的中梁水库防漏标准探讨[J]. 中国水利, 2011, (2): 47~48, 53.
- [4] 屈昌华. 中小型水库坝基岩溶管道渗漏勘察与处理实例[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(10): 60~61.
- [5] 屈昌华. 响水水库坝区灌浆试验分析与评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(1): 60~61.