

岩溶坝基帷幕灌浆高注浆量控制措施与效果分析

张正雄

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司,云南昆明650051)

摘要:帷幕灌浆是坝基防渗处理的一种常用技术手段,而岩溶地区因其岩溶发育致使岩溶裂隙和通道纵横交错,且难以获取其规律性,灌浆过程中往往会出现注浆量偏高的现象。为了能够既有效控制帷幕灌浆成本,又确保帷幕灌浆施工质量,就需要采用科学、合理、可靠的施工技术措施和手段,对高注浆量的情况进行重点控制和改进。本文结合某水电站岩溶坝基帷幕灌浆中突出的高注浆量现象,通过有针对性地从技术措施和控制手段等方面的综合探索与应用,最终达到了坝基防渗的目的,并最大限度地节约了帷幕灌浆的时间,有效控制了高材料消耗所带来的高成本问题,为类似项目的帷幕灌浆积累了一定的经验。

关键词:岩溶坝基;帷幕灌浆;高注浆量;控制措施;效果分析

中图分类号:TV543 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)07-0121-05

Measures and effect of high grouting volume control in curtain grouting for karst dam foundation

ZHANG Zhengxiong

(PowerChina Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming Yunnan 650051, China)

Abstract: Curtain grouting is a common technical method for dam foundation anti-seepage treatment. Because of karst development in karst areas where karst fissures and channels crisscross, and it is difficult to find out their regularity, the grouting volume is often high. In order to effectively control the cost of curtain grouting and ensure the construction quality of curtain grouting, it is necessary to adopt proper and reliable construction technical measures and means to control and improve the situation of high grouting volume. In relation to the high volume consumed in curtain grouting for the karst dam foundation of a hydropower station, comprehensive exploration and application of specific technical measures and control means was conducted to achieve the purpose of dam foundation seepage prevention with the curtain grouting time reduced to the minimum and the cost of high material consumption effectively controlled, as well as some experience gained for curtain grouting for similar projects.

Key words: karst dam foundation; curtain grouting; high grouting volume; control measures; effect analysis

0 引言

在岩溶区特别是岩溶强烈发育的地区进行水工建设,大坝基岩、水库周边和库区渗漏通道的处理极为重要,处理的施工技术也比较复杂,帷幕灌浆技术是水工建筑岩体处理中常用而重要的一种工程措施^[1]。

但岩溶区帷幕灌浆面临着诸多复杂的环境和

因素,致使帷幕灌浆的施工难度加大,往往既要考虑工程质量及效果,又要考虑减少灌浆材料的消耗,有效控制造价。因此,需要结合地质条件及钻孔、洗孔、压水、灌浆等环节所表现出来的实际情况,采取具体处理和应对措施。这是一项非常复杂而又十分重要的技术工作。

收稿日期:2020-06-08; 修回日期:2020-08-03 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.07.019

作者简介:张正雄,男,汉族,1982年生,高级工程师,主要从事水利水电工程地质勘探、基础处理、岩土工程地质勘察及施工工作,云南省昆明市学府路691号,33011192@qq.com。

引用格式:张正雄.岩溶坝基帷幕灌浆高注浆量控制措施与效果分析[J].钻探工程,2021,48(7):121-125.

ZHANG Zhengxiong. Measures and effect of high grouting volume control in curtain grouting for karst dam foundation[J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):121-125.

1 高注浆量情况带来的常见问题

(1)帷幕灌浆实践中,出于对灌浆施工材料成本的考虑,对于岩溶区域高注浆量的灌段往往采取限流、限量的措施,但同时也会给强岩溶部位带来待凝复灌次数增多、辅助工作时间增长、辅助施工成本增大等问题。还会因为孔序施工顺序的限制,制约了其它孔段帷幕灌浆施工的开展,从而导致帷幕灌浆施工效率降低,对工期控制尤其是较为紧张的工期控制极为不利。

(2)高注浆量灌段一般灌浆时间都会延长,浆液长时间在孔内流动摩擦升温,射浆管容易在孔内被水泥浆凝住,“凝管”事故频发,会加大事故发生的概率和处理难度。

2 高注浆量的主要原因分析

(1)岩溶区溶蚀裂隙或岩溶通道发育,且多呈区域型分布,整体岩层地质条件较差,造成大耗浆的原因主要是遇到断层、裂隙、溶洞、黄泥夹层^[2]。加之受坝基爆破开挖所产生的裂隙和一些断层破碎带的影响,具备了高注浆量现象所需要的各项条件。

(2)帷幕线附近的溶蚀裂隙在高压灌浆的作用下与下部附近的溶蚀裂隙溶洞有串通的迹象^[3],或是相关的溶蚀裂隙、溶洞在高压作用下增大,也是促成高注浆量的重要因素。尤其在串浆、冒浆或漏浆等情况而又不能、不易及时发现的情况下,高注浆量的现象就会更为突出。

(3)地下水丰富的区域,受地下水的作用,灌注的浆液有可能随着地下水的流动造成较大损失,这种情况造成的高注浆量现象在实践中也较为普遍。

3 对高注浆量常用的控制措施

对于岩溶区高注浆量部位的帷幕灌浆,通常采用“先堵后灌”的处理思路,并根据钻孔的具体情况采取相关控制措施。

(1)先确定“封堵”的灌浆材料(如水泥砂浆、细石混凝土、膏状浆液等),并对岩溶通道进行堵漏灌浆,重点是处理较大的溶洞和集中渗漏的通道^[4]。

(2)堵漏灌浆后,再确定“灌浆”的材料(如水泥浆、化学浆液等),并进行帷幕灌浆。

(3)在具体的帷幕灌浆过程中,还需要根据实际灌注情况,通常采用“低压、浓浆、限流、限量、间歇”等手段进行帷幕灌浆的综合控制。

4 工程应用实例

4.1 工程概况

某水电站双曲拱坝坝基的基岩以灰岩为主,局部为白云岩,岩溶较发育,发育强度与排泄基准面有关,且发育极不均一。主要发育在地下水位变动带及包气带内,地下水位随时间和深度具有速变性,岩体透水性总体由地表向地下深部和向分水岭方向逐渐减弱,为典型的喀斯特地质地貌区。坝址区喀斯特地貌主要表现为岩溶宽缝、溶洞、溶隙及溶槽,宽缝多无充填或有少量粘土充填,溶洞多有粘土充填或半充填,规模较大的岩溶裂隙发育带宽度 <15 m,高度 >50 m。

为做好坝基防渗帷幕灌浆处理,划分左、右岸 EL.584 m 灌浆洞、EL.612 m 灌浆洞、EL.653 m 灌浆洞及河中 EL.584 m 坝体灌浆廊道共计 7 个工作面进行帷幕灌浆。帷幕灌浆过程中,受地层岩溶发育及地下水等地质条件的影响,压水不返水、灌浆不回浆及串浆等现象较为突出,帷幕灌浆中高注浆量的现象十分明显。

4.2 主要地质特征及现象

从钻孔及压水试验等具体情况来看,高注浆量灌段主要为裂隙、宽缝或岩溶洞穴、溶槽等岩溶发育且相互连通的部位,主要有充填型、半充填型和非充填型 3 种情况。主要地质现象如下:

(1)钻进过程中,无返水或返水较小、返黄泥水或褐泥水、返泥沙、掉钻、进尺加快及孔口涌水等,部分岩体溶蚀为细砂、粉砂状(参见图 1)。



图 1 钻孔揭露的部分地质特征及现象

Fig.1 Some geological features and phenomena exposed by drilling

(2)钻孔岩心有明显的溶蚀、破碎、泥质充填物,或岩心采取率明显偏低。

(3)钻孔冲洗或简易压水试验无回水或回水较小、压力值较小,亦或压力表根本打不起压力,灌前

透水率偏大(参见图2)。

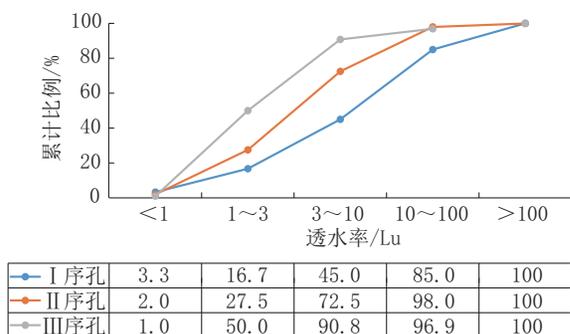


图2 具有代表性的帷幕灌前透水率累计比例曲线

Fig.2 Representative cumulative proportion curve of water permeability before curtain grouting

(4)灌浆过程中,串浆、冒浆及无压无回、难以升压至设计灌浆压力值等现象突出。

4.3 高注浆量问题的突出体现

本项目高注浆量灌段与地质条件有着直接的关联,而按照原定方案和措施,虽单次注浆量得到了一定程度的控制,但也直接导致待凝复灌次数增多(局部孔段最大复灌次数高达17次,见表1),灌浆时间及辅助时间大幅延长,人力、材料及设备资源浪费极为严重,钻灌效率极低,且灌浆总耗浆量控制仍难以达到预期,严重影响和制约着灌浆工作顺利推进。

4.4 主要控制措施

针对岩溶坝基高注浆量部位的实际问题,重点从措施、方法、材料及经济成本等方面进行综合探索研究并付诸实践,最终确保帷幕灌浆质量并达到设计标准,是坝基帷幕灌浆的重点和难点。经过研究分析,对高注浆量部位总体采用“先堵后灌”的方法,并根据钻孔揭露的实际地质情况分别采取合适的具体方法和手段加以控制。

4.4.1 一般岩溶条件的控制措施

本项目岩溶发育情况一般的部位,钻孔总体正常(进尺均匀、岩心完整、回水正常),但在灌浆过程中也有注浆量较大的情况,说明该部位可灌性较好。具体控制措施如下:

(1)当灌入水泥浆单位耗量达150~200 kg/m,灌浆压力无逐渐升高或注入率无逐渐减小的趋势,说明其灌浆效果不明显,则进一步采取浓浆、低压、限流或分级升压(级数根据各灌段的灌浆压力确定)的措施,将注入率控制在10.0~15.0 L/min。

表1 右岸584灌浆洞R584-1-13(I)典型孔段复灌情况统计

Table 1 Regrouting data for the typical section of R584-1-13(I) at the right river bank

段次	灌浆孔段/m		灌前 透水 率/Lu	注浆 量/kg	单位注 入量/ (kg·m ⁻¹)	
	自	至				
03	5.50	10.50	5.00	63.04	5171.96	1034.39
03F1					4857.53	971.51
03F2					5044.57	1008.91
03F3					5153.71	1030.74
03F4					5225.65	1045.13
03F5					5105.61	1021.12
03F6					5088.40	1017.68
03F7					5192.34	1038.47
待凝 复灌					5073.92	1014.78
03F8					5083.63	1016.73
03F9					5178.12	1035.62
03F10					5005.01	1001.00
03F11					5267.51	1053.50
03F12					2970.24	594.05
03F13					5195.51	1039.10
03F14					4492.81	898.56
03F15					4255.01	851.00
03F16					666.21	133.24
03F17						
合计					84027.74	16805.55

(2)当灌入水泥单位耗量达300 kg/m,其灌浆效果仍不明显时,则采取间歇灌浆措施。每次间歇的灌入浆量控制在400~600 L,间歇停顿的时间控制在15~25 min。当连续间歇灌注3次灌浆效果仍不明显时,则采取待凝,待凝时间一般在12 h以上。

(3)在复灌过程中,对于灌前洗孔水压压力能达到超过设计压力1 MPa的孔段,直接采用纯水泥浆灌注。为减少水泥浪费,也可采用水泥砂浆灌注,但有结束趋势后,及时换用纯水泥浆继续灌注至达到结束标准。

4.4.2 强岩溶条件的控制措施

强岩溶区往往在钻进过程中会伴有明显的异常现象,一般立即停钻,记录好掉钻位置及经过,观察孔内及周围是否有异常,保留好心样,查明原因并判断出具体的岩溶情况(溶洞、溶穴、溶蚀宽缝等)后,根据岩溶规模大小、充填物类型、地下水活动等情况,有针对性地采取措施进行岩溶封堵处理,再结合

现场实际情况进行水泥砂浆、水泥浆的正常灌注至达到帷幕灌浆结束标准。

4.4.2.1 岩溶封堵

(1)无论是充填型、半充填型还是非充填型岩溶部位,均先采用回填碎石、砂子或灌注水泥砂浆等措施进行岩溶封堵处理后,再进行灌浆。

(2)采用水泥砂浆进行灌注时,先灌注0.8:1:1或1:1:1的水泥砂浆,并在灌注过程中无回浆时,适时采用限流、间歇灌注。待孔口有回浆时,根据回浆大小及稳定情况选用限流措施,减少间歇时间或不间断,避免出现管路堵塞及孔内事故的发生。

4.4.2.2 注浆量的控制

(1)若注入量较大,观察下一层灌浆平洞或坝肩边坡是否漏浆或冒浆,若漏冒浆,立即封堵漏、冒浆点^[5]。可根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆(加大掺砂量)等方法进行处理^[6]。

(2)当灌入水泥单位耗量达200~250 kg/m,灌浆压力无逐渐升高或注入率无逐渐减小的趋势时,则采取低压、限流或分级升压的控制措施。当流动性降低后再按照相应的情况升高灌浆的压力,但应注意在升高灌浆压力时其注入的速度也要进行控制,一般情况下应控制注入量 ≥ 15 L/min为最佳^[7]。

(3)当灌入水泥单位耗量达300~400 kg/m,灌浆效果仍不明显时,则采取间歇灌浆的控制措施,每次间歇的灌入浆量控制在600 L左右。间歇的停顿时间及连续间歇灌注3次灌浆效果仍不明显时的控制措施,与4.4.1第(2)条一致,只是在浆液中掺加适量的水玻璃以适当缩短待凝的时间。

(4)对于注浆量大、复灌次数超过3次,灌浆时仍无压力的情况,将水泥灌入限量提高到20 t,并视具体情况,也可以不受限量的限制,直至灌浆有压力后再进行待凝处理。但水泥灌入量每灌注5 t应间歇,间歇时间以不引起抱管为控制原则。

(5)在有水流作用的岩溶、裂隙等高注浆量的灌段,在水泥浆液中掺加砂、速凝剂等,同时,为避免出现孔内抱管事故,减少灌浆间歇时间或同步采用其它措施进行联合控制。

4.4.2.3 灌浆压力的控制

(1)对于灌浆无压力,或有压力但压力较小的情况,用低压甚至自流式灌浆^[8],在水泥灌入量达到8 t后压力仍无明显提高的情况,先进行第一次待凝,之后按照每递增1 MPa压力为一个阶段进行待凝24 h

后扫孔复灌。

(2)本项目最大设计灌浆压力为3.0 MPa,但由于灌浆区内混凝土盖板厚度及地质条件的差异,而造成灌浆段长度及压力有所差别。对基岩孔深大于15 m的充填型溶洞及宽缝,根据实际情况适当提高灌浆压力至3.5 MPa,以保证水泥砂浆或水泥浆能较好地挤压、包裹及置换泥块。

4.4.2.4 其它控制手段

(1)针对钻孔无回水、复灌2次以上孔段,采取不下入尾管的措施,在孔口直接灌注浓浆,并按照相关比例添加速凝剂以降低水泥初、终凝时间,复灌未结束孔段待凝时间控制在6~8 h。

(2)针对灌浆串浆区域,不考虑孔序限制,将该区域Ⅱ序孔乃至Ⅲ序孔钻至岩溶发育段次,进行集中灌注处理。

4.5 关键技术的应用总结

(1)采用低压、限流、限量、间歇等灌浆措施,每次灌至规定水泥注入量时,应待凝24 h后再重新扫孔灌浆,应特别重视“凝管”事故的预防和处理。具体可在浆液中加入减水降粘剂,采用能旋转的封闭止浆塞,在灌浆过程中时常转动灌浆管等措施^[9]。

(2)高注浆量帷幕灌浆通常会伴有串浆、冒浆等现象,经常会因处理串浆、冒浆或实行间歇灌浆而中断。因中断的意图是为了尽快堵住裂隙,处理冒浆、漏浆情况,只要将钻孔清扫至原深度以后进行复灌即可,即使复灌后不再进浆,也视为正常。

(3)为控制材料消耗,降低成本,采取限流、限量的技术固然可取,但应根据实际地质条件和施工条件,设置科学、合理的标准,才能真正实现既保证质量、又节约成本的目的,否则,如限流、限量值不符合实际地质条件,尤其偏低的情况下,虽能节约大量的水泥材料,但也会同时增加复灌的次数,造成复灌待凝间隔时间增长,从而浪费大量的人力和物力,反而对施工成本控制不利。

(4)为确保强岩溶区帷幕灌浆质量,应增加灌前透水率大、灌浆注浆量大等特殊情况突出部位的质量检测,发现不合格的情况应继续进行补强灌浆,最终确保检查孔合格。

(5)岩溶地区的灌浆施工工艺和各项控制措施不是一成不变的,需要根据不同的岩溶类型制定不同的处理方案,并在施工过程中不断调整方案,方能达到预期的治理效果^[10]。

(6)高注浆量段表现为大吸浆量、低压力或高压,灌注5 min后必须将压力降低,使孔内浆液充分循环1~2 min后再灌注,同时上下活动钻杆。如果将压力降至最低后无回浆,应将钻杆自孔内全部起出(正常孔段不得起出),进行填压式灌浆,这样才能避免孔段以上部位停滞的浆液将钻杆埋住。

5 效果分析

经工程实践验证和综合对比分析,本文所述的高注浆量控制技术措施和手段切合工程实际,基本达到了预期的效果。

(1)岩溶坝基高注浆量部位的帷幕灌浆复灌次数降幅 $>50\%$,在很大程度上节约了复灌待凝、扫孔、洗孔和重复灌浆的时间,施工效率得到了较大的改善,确保了施工工期。

(2)施工组织更趋合理,劳动强度有效降低,管路占浆、弃浆量损失明显减少,合理降低了灌浆材料的消耗,有效控制了施工成本。

(3)坝基主帷幕灌浆单元工程质量评定全部合格,右岸584灌浆洞第一排帷幕岩体平均透水率由灌前的18.95 Lu递减到灌后的0.69 Lu,第二排由灌前的2.71 Lu递减到灌后的0.90 Lu。帷幕灌浆单元工程优良率达到93.3%,分部工程质量验收鉴定为“优良”,达到了设计的要求和坝基防渗的目的。

6 结语

在岩溶区特别是强岩溶区,因其地质条件的复杂性和不均一性,地质规律性较差,采用一种或少量几种灌浆技术措施和手段,往往很难既达到控制成本、又达到保证质量的目的。不同部位及地层的帷幕灌浆,只有根据钻灌过程中揭露的实际情况,尽量把握岩溶发育的特点及规律,才能针对出现的具体情况采取具体的处理措施、确定合理的处理方法,从而做到有的放矢,切实解决施工中存在的问题和最大程度地达到经济而有效的防渗目的。

参考文献(References):

- [1] 谢仕求. 洪家渡水电站K40溶洞防渗帷幕灌浆技术研究及灌浆效果分析[D]. 长沙:中南大学,2005.
XIE Shiqiu. Study on anti-leakage curtain grouting technology for K40 karst cave of Hongjiadu Hydropower Station and analysis of grouting effect[M]. Changsha: Central South University, 2005.
- [2] 丁跃军. 岩溶地区无塞高压灌浆[J]. 探矿工程, 1996(2):20-21.

- DING Yuejun. High pressure grouting without plug in karst area [J]. Exploration Engineering, 1996(2):20-21.
- [3] 王曙光. 洪家渡水电站左岸底层廊道防渗帷幕灌浆工程质量监控[J]. 贵州水力发电, 2005, 19(4):27-31.
WANG Shuguang. Quality supervision on anti-seepage curtain grouting project in the bottom gallery on the left bank of Hongjiadu Hydropower Station [J]. Guizhou Water Power, 2005, 19(4):27-31.
- [4] 隆威, 胥向东. 岩溶地区帷幕灌浆研究[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(3):228-230.
LONG Wei, XU Xiangdong. Study on curtain grouting in karst area [J]. West-China Exploration Engineering, 2006, 18(3):228-230.
- [5] 范峥, 钟久安, 何非凡, 等. 高聚物复合堵水浆材在岩溶地区深孔帷幕灌浆中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(1):86-90.
FAN Zheng, ZHONG Jiuan, HE Feifan, et al. Application of high polymer composite water blocking slurry in deep hole curtain grouting in the karst area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(1):86-90.
- [6] 朱国平. 岩溶地区水库坝基帷幕灌浆处理的几个难点[J]. 甘肃水利水电技术, 2007, 43(4):311-312.
ZHU Guoping. Some difficulties in curtain grouting treatment of dam foundation in karst area [J]. Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology, 2007, 43(4):311-312.
- [7] 黄晓勇, 刘加朴, 赵明华. 岩溶地区灌浆技术探析[C]//地基与基础工程技术创新与发展(2017)——第14次全国水利水电地基与基础工程学术研讨会论文集, 2017:129-135.
HUANG Xiaoyong, LIU Jiapu, ZHAO Minghua. Analysis of grouting technology in karst area [C]//Technical Innovation and Development of Foundation and Foundation Engineering (2017)——Thesis of The 14th National Symposium on Foundation and Foundation Engineering of Water Conservancy and Hydropower, 2017:129-135.
- [8] 王伏春, 刘源, 乐应. 强岩溶地区动水注浆技术探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2):78-81.
WANG Fuchun, LIU Yuan, YUE Ying. Discussion on dynamic water grouting technique in strong karst area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(2):78-81.
- [9] 熊德全, 赵正洪, 王昆. 石英砂岩及粉砂岩地层灌浆试验技术研究[J]. 云南水力发电, 2010, 26(1):71-73.
XIONG Dequan, ZHAO Zhenghong, WANG Kun. Research on grouting test technology in quartz-sandstone and siltstone strata [J]. Yunnan Water Power, 2010, 26(1):71-73.
- [10] 许天龙. 去学水电站防渗帷幕区域岩溶处理施工方法[J]. 四川水力发电, 2016, 35(6):11-14.
XU Tianlong. Construction methods of karst treatment in anti-leakage curtain area of Quxue Hydropower Station [J]. Sichuan Water Power, 2016, 35(6):11-14.

(编辑 周红军)