

高聚合物复合堵水浆材在岩溶地区深孔帷幕灌浆中的应用

范 峥¹, 钟久安², 何非凡², 臧 鹏²

(1.北京振冲工程股份有限公司,北京 100102; 2.四川共拓岩土科技股份有限公司,四川 成都 610000)

摘要:以云南省某水电站右岸抗力体涌水处理工程为背景,详细介绍了深孔帷幕灌浆遇到溶腔大流量高压高流速涌水的特殊情况后引进高聚合物复合堵水浆材(C-GT 堵水浆材)进行处理的技术特点及施工过程。为岩溶地区工程涌水处理提供了新的材料选择及处理方式,可对类似工程提供借鉴。

关键词:岩溶地区;帷幕灌浆;高聚合物复合堵水浆材;涌水处理

中图分类号:TV543 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)01-0086-05

Application of high polymer composite water blocking slurry in deep hole curtain grouting in the karst area

FAN Zheng¹, ZHONG Jiuan², HE Feifan², ZANG Peng²

(1.Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China;

2.Sichuan Gotone Geotechnical Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: Based on the background of water surge treatment for the right bank support body of a hydropower station in Yunnan Province, this paper introduces treatment of the special conditions of high-volume, high-pressure and high-flow water inrush encountered during deep hole curtain grouting with high-polymer composite water-blocking slurry (C - GT water-blocking slurry), which provides new material selection and treatment methods for the gushing water treatment in the karst area, and also reference for similar projects.

Key words: karst area; curtain grouting; high-polymer composite water-blocking slurry; water inrushing treatment

帷幕灌浆是在闸坝的岩石或砂砾石地基中建造防渗帷幕的工程手段之一,以防渗帷幕阻止或减小地基中地下水的渗透,与位于其下游的排水系统共同作用,还可减低渗透水流对大坝的扬压力。

在岩溶地区进行帷幕灌浆主要面临的问题是钻孔遇到溶腔后灌注常规水泥浆液、水泥-水玻璃浆液无法达到结束标准,不但导致常规材料的大量消耗,还面临着帷幕灌浆无法搭接成幕的风险^[1-3]。

云南省宣威市某水电站大坝采用常规处理方法后未能达到理想效果,后引进四川共拓岩土科技股份有限公司所研发的 C-GT 堵水浆材及相关灌浆施工工艺,结合实际施工条件,专项设计工艺技术,

最终合格完成了该工程的特殊孔段帷幕灌浆施工^[4-6]。

1 工程概况

云南省宣威市某水电站位于北盘江支流革香河上,水电站大坝为碾压混凝土双曲拱坝,最大坝高 167.5 m。大坝下游左右岸抗力体各布置有 1390、1340、1315 m 三层排水洞。

坝址区出露下石炭统岩关组中厚层至块状灰岩,局部夹薄层泥质灰岩,与下伏中上泥盆统宰格群中厚层白云岩呈平行不整合接触,并局部覆盖有第四系松散堆积物。整体为一套碳酸盐岩沉积地层,

收稿日期:2019-03-01; **修回日期:**2019-12-23 **DOI:**10.12143/j.tkge.2020.01.016

作者简介:范峥,男,汉族,1989 年生,项目经理,工程师,地质学专业,长期从事岩土工程灌浆材料的研发和管理工作,北京市东城区望京西园 221 号博泰大厦 12 层,542357202@qq.com。

引用格式:范峥,钟久安,何非凡,等.高聚合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.

并具有向斜构造特性,向斜核部位于大坝右坝肩位置。穿过大坝坝肩的断层构造主要有 F_1 、 F_{12} 及 F_8 等,均不同程度形成导水构造。水库蓄水过程中,层间夹泥及断层内的泥质充填物在水压力作用下被不断冲蚀掏空,从而在右岸 1315 m 排水洞内形成涌水点,并伴随渗漏通道冲蚀作用,水量持续增大。

当蓄水水位达到 1325 m 时,右岸 1315 m 排水洞开始出水并形成 9 个涌水点,水位上升至 1385 m 时,涌水量最大达到 $6\sim 7\text{ m}^3/\text{s}$ 。随即停止蓄水并打开中孔下泄,施工期水位稳定在 1380 m。

本次 1340 m 高程深孔帷幕灌浆施工目的即为截断涌水通道并减小右岸 1315 m 排水洞涌水量,以满足大坝下游抗力体稳定的要求。

本工程大致施工顺序为:补充岩溶勘查→1315~1340 m 边坡及薄弱位置灌浆加固→1315 m 排水洞涌水流量降低达到可控排放→1340 m 灌浆廊道内进行充填灌浆→1315 m 排水洞可控孔灌浆封堵→1340 m 灌浆廊道内进行补强帷幕灌浆。

本文重点介绍 1340 m 灌浆廊道内进行补强帷幕灌浆过程中遇到的大涌水量孔段处理方法和应用的新材料^[7-8]。

2 特殊情况及处理措施

本工程帷幕灌浆施工均按照相关规范和施工方案进行实施,在施工过程中除常规问题以外,主要存在以下 2 方面的特殊情况。

2.1 渗漏通道复杂,串漏浆部位分布范围广

根据前面介绍的本工作区岩溶发育的特点,导水的渗漏通道发育复杂且分布范围广。具体表现在:灌浆前涌水点较多,灌浆过程中串漏浆部位分布范围广。除右岸抗力体 1315、1340 m 排水洞各涌水点外,排水洞外与河道相邻的右岸边坡(包括 1340 m 边坡马道及 1315 m 边坡与混凝土浇筑的接缝)、大坝下游用于消能的水垫塘底部、右岸二道坝下游近边坡的河道位置及左岸二道坝下游出露的溶洞位置均有明显反映,普通水泥浆灌注过程中,各部位串漏浆现象明显,最远距离灌浆帷幕约 230 m。

处理措施:在使用普通水泥浆灌注过程中发现以上串漏浆情况时,及时针对各部位进行控制处理。

(1)对右岸抗力体 1315、1340 m 排水洞内各涌水点安装闸阀进行闭浆处理;

(2)对左岸二道坝下游出露的溶洞回填沙袋、嵌

缝充填并埋设引排管,在引排管上安装控水装置进行闭浆处理;

(3)右岸边坡渗漏部位因防备边坡抬动,则采用了安置模袋及嵌缝的方式,进行漏浆部位的反滤处理,尽可能将水泥浆留在渗漏通道内,仅水通过;

(4)水垫塘因常年积水,且在上游拥有季节性补给水源,另施工期大坝中孔下泄流量全部进入水垫塘中,故无法详细勘察其渗漏部位并进行处理,仅能在灌浆施工工艺上进行改进和控制。

2.2 涌水部位集中,涌水深度深、压力较大,涌水量及流速较大

本次帷幕钻孔施工过程中,主要出水点分布在 3 个区域,涌水深度 80~110 m,测得水压 0.21~0.25 MPa,最高涌水水柱高度约 3 m,详见图 1、表 1。



图 1 帷幕钻孔涌水情况

Fig.1 Water intruding from the curtain drill hole

表 1 帷幕钻孔涌水统计

Table 1 Water intruding statistics of the curtain drill holes

| 序号 | 孔号 | 涌水深度/m | 涌水压力/MPa | 水头(出孔口)高度/m | 位置 |
|----|-----------|--------|----------|-------------|----------------|
| 1 | YGKT-19 | 79.0 | 0.20 | 2.00 | 检 4 附近 |
| 2 | WMBQ-1 | 84.5 | 0.20 | 0.50 | 检 4 附近 |
| 3 | WMBQ-2 | 91.0 | 0.25 | 0.70 | 检 4 附近 |
| 4 | YGKT-23 | 84.0 | 0.25 | 2.20 | F_{12} 断层影响区 |
| 5 | YGKT-24 | 99.0 | 0.25 | 1.50 | F_{12} 断层影响区 |
| 6 | YGKT-26 | 98.0 | 0.30 | 2.50 | F_{12} 断层影响区 |
| 7 | YGKT-27 | 100.0 | 0.20 | 1.00 | F_{12} 断层影响区 |
| 8 | YGKT-28 | 99.0 | 0.25 | 1.50 | F_{12} 断层影响区 |
| 9 | RWM-III-8 | 110.0 | 0.20 | 0.50 | F_{12} 断层影响区 |
| 10 | RWM-III-9 | 96.0 | 0.20 | 0.60 | F_{12} 断层影响区 |
| 11 | WMBQ-7 | 82.0 | 0.25 | 1.00 | F_{39} 断层影响区 |

处理措施:按照帷幕施工要求,首先采用普通水泥浆材料灌注,灌注过程中采用以下工艺进行处理^[9]。

(1)采用低压、浓浆、限流、限量、间歇等措施。

间歇复灌多次仍未能结束后,在浆液中掺入水玻璃及氯化钙进行灌注、添加麻丝或使用水泥砂浆灌注。

但施工过程中运用上述手段未能达到理想效果,原因在于添加剂掺入量较小而深部流速较大时,无法控制其漏量;添加剂掺入量较大时,若下射浆管灌注,则容易堵塞射浆管,无法有效灌注渗漏通道。若全孔灌注,则在孔内水压作用下,必在上部孔道局部堵塞形成临时水泥塞,浆液不能顺利到达深部涌水位置。以上情况均体现为扫孔后揭露孔内涌水情况未能改善^[4]。

(2)回填大颗粒骨料并伴随水泥浆充填,可投入小石、卵石及其他填充物或运用一级配或二级配混凝土等材料先充填渗漏通道,填满后再灌注水泥砂浆,待凝一定时间后,再在此部位进行二次钻孔,灌注纯水泥浆使其密实。

该项措施对钻灌设备要求较高,而施工环境的狭小制约了大型设备的选用。首先,投入骨料或浇筑混凝土,需对原帷幕进行扩孔处理,因涌水深度较深,则扩孔需采用大型钻机。施工环境仅为 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 的灌浆平硐,设备进场及施工都有一定难度。同时因涌水部位较集中,无法多台钻机同时施工,在工期上将严重滞后;其次,若不进行扩孔,在水压作用下,人工投入骨料将无法实现,利用泵机施工,同样存在设备进场困难的问题,且在小孔径钻孔内灌入骨料,容易造成骨料架桥,很难达到理想效果。综上,现场施工环境下,该项措施未能有效实行。

(3)在常规材料并改进施工工艺不能有效解决问题的情况下,引进新型材料及其灌浆工艺显得十分必要。本工程引进了四川共拓岩土科技股份有限公司研发的C-GT1堵水浆材,并最终取得了成效。

3 C-GT1堵水浆材应用

3.1 材料概况

C-GT1堵水浆材由GT堵水浆材拌合料跟水泥拌合后制得。

GT堵水浆材拌和料由新型动水高分子材料复合制备而成,能够高效地运用于各类防渗堵漏工程。该复合材料的主要组分有高聚物、活性剂、固化剂。其中高聚物的疏水性能提高整体材料的抗冲释性,活性剂减小整个界面的张力促使材料成为均一相,固化剂根据工况灵活调节凝固时间^[10-11]。

3.2 材料性能

GT堵水浆材拌和料按照0.5:1的质量比与水泥进行拌和制成C-GT1堵水浆材,其性能指标如表2所示。

表2 C-GT1堵水浆材性能指标
Table 2 C-GT1 water-blocking slurry properties

| 外观 | 密度(20℃)/(g·cm ⁻³) | 粘度(20℃)/(mPa·s) | 体积膨胀率/% | 初凝时间/min | 终凝时间/min | 抗压强度/MPa |
|-----|-------------------------------|-----------------|---------|----------|----------|----------|
| 棕黑色 | 1.8~2.0 | 2000~4500 | <5 | 5~30 | 30~60 | ≥5 |

3.3 材料特点

- (1)具有良好的流动性能,遇水快速固化;
- (2)浆液具有良好的可控性,初、终凝时间根据外加剂的加量进行调整控制;
- (3)浆液具有良好的抗冲蚀性能,遇水不被稀释、不分散,可在很大程度上减少浆液的流失;
- (4)浆液固结体具有微膨胀性;
- (5)浆液与岩体的粘结性能和浆液强度指标均能满足一般工况需要;
- (6)可在各种水质条件下使用,如海水、高盐水等;
- (7)制备和灌注浆材设备简单,水泥灌浆设备也能完成操作;
- (8)固结体无毒、无污染,符合环保要求。

3.4 施工流程

(1)材料、人员、设备准备后,根据试验室提供的配合比,每个工程在使用前进行现场小样试验,以便确定具体的现场使用配合比;

(2)现场高速制浆机的规格分别为400 L及600 L,按照小样试验得到的浆液配比确定水泥的使用量,并校核机具,准备制浆;

(3)按照配比量取GT堵水浆材拌和料A组分、GT堵水浆材拌和料B组分、水泥,依次加入高速制浆机搅拌均匀,搅拌2 min制成C-GT1堵水浆材;

(4)灌浆采用孔内纯压式灌浆法,下射浆管至异常孔深,并提升约0.5 m,实行一次性灌注;

(5)结合设备特性及设计帷幕灌浆压力,C-GT1堵水浆材灌浆压力3.5~4.0 MPa;

(6)C-GT1堵水浆材灌注过程中原则上不变浆,按照结束标准注浆结束后采用纯水泥浆液进行复灌或封孔;

(7)采用C-GT1堵水浆材注浆时灌注压力一

且持续升高,达到灌浆压力后即可结束,避免管路堵塞,然后采用水灰比为 0.5 的纯水泥浆液进行复灌^[12-15]。

3.5 施工成果

C-GT1 堵水浆材首先于检 4 附近涌水量最大的 YGKT-19 号孔进行试灌,成功封堵后运用于 F₁₂ 断层附近区域分步灌注 YGKT-23~29 号孔和 WMBQ II-8、II-9、III-8 及 III-9 号孔,最后灌注 F₃₉ 断层附近区域的 WMBQ-7 号孔,完成了帷幕中深孔涌水的处理。其中,在 F₁₂ 断层影响区域灌注过程中,原主要涌水点(渗漏点)数量逐步减少,下游涌水量显著降低。灌浆情况对比详见表 3,右岸

1340 m 灌浆廊道灌浆前后对比见图 2。



图 2 右岸 1340 m 灌浆廊道灌浆前后现场照片
Fig.2 The photographs of the 1340m grouting gallery on the right bank before and after grouting

表 3 不同材料灌浆情况对比

Table 3 Comparison of different grouting materials

| 灌浆材料 | 单孔最大用量/t | 漏失情况 | 灌浆压力/MPa | 复查结果 | 灌浆成果 |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---|---------------|---|
| 普通水泥 (P. O42.5R) | 3324.27 t 水泥,水玻璃+氯化钙 30.18 t,10 t 人工砂 | 经嵌缝、封堵、反滤等措施后,仍有一定漏失量 | 正常灌注过程中仅 0.2~0.4 MPa,随速凝材料的添加量增加逐步升压,难以形成有效封堵 | 扫孔后仍涌水 | 为后续 C-GT1 堵水浆材灌浆做准备 |
| C-GT1 堵水浆材 | 308.12 t(GT 材料拌合料+水泥) | 灌浆过程各涌水点仅出气泡(为材料反应产物),无明显漏失 | 正常灌注,至 3.5~4.0 MPa 后不吸浆即结束 | 原涌水部位上、下游均未出水 | (1)右岸抗力体 1340 m 排水洞原 9 个涌水点减少至 0 个;(2)右岸 1315 边坡混凝土接缝约 40 m 长下游均渗涌水带减小至无水;(3)大坝右岸灌浆廊道设计帷幕原涌水孔不再涌水;(4)右岸抗力体 1315 m 排水洞涌水量由最大 2 m ³ /s 减小至 15~30 L/s |

4 结语

本次运用 C-GT1 堵水浆材对深孔涌水的帷幕孔进行灌注后,效果显著。对施工帷幕涌水部位的上下游位置进行钻孔复查及水泥浆灌注补强,均检查合格。

随着深孔帷幕涌水问题的解决,后续帷幕施工顺利,右岸抗力体 1315 m 排水洞涌水量继续减小。2018 年 7 月,该水电站再次开始抬水,至 2018 年 8 月,水库水位达 1420 m 高程,满足发电要求,帷幕质量无异常。

综上,本次 C-GT1 堵水浆材在大涌水深孔帷幕施工中的运用十分成功,相比常规材料及工艺,该新型材料具有更易操作、不依靠机具设备、能克服各类施工环境、节省材料等优势。同时,结合以上优势,引进该材料将一定程度上有效解决帷幕灌浆施工中的各类疑难问题,从而对扩大帷幕灌浆技术领域具有积极意义。

参考文献(References):

- [1] 蒙彦,雷明堂.岩溶区隧道涌水研究现状及建议[J].中国岩溶,2013,22(4):287-292.
MENG Yan, LEI Mingtang. The advance and suggestion for the study on discharge rate in karst tunnel gushing[J]. Carso-logica Sinica, 2013,22(4):287-292.
- [2] 许青海,白宝云,严德金,等.帷幕注浆技术在钾镁盐矿矿井病害治理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):84-86,83.
XU Qinghai, BAI Baoyun, YAN Dejin, et al. Application of curtain grouting technology for ventilating shaft disease control in soluble potassium salt mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):84-86,83.
- [3] 张贵金,曾柳絮,陈安重,等.松软地层高压灌浆封孔浆体研制及应用论证[J].岩土工程学报,2012,34(6):1109-1116.
ZHANG Guijin, ZENG Liuxu, CHEN Anzhong, et al. Development and application demonstration of stemming slurry materials for high-pressure grouting in soft stratum[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(6): 1109-1116.
- [4] 彭第,王伟.中梁一级电站库区防渗帷幕灌浆试验效果分析[J].水利水电科技进展,2011,31(5):73-78.

- PENG Di, WANG Wei. Effectiveness of grouting experiments of anti-seepage curtain in reservoir area of Zhongliang No. 1 Hydropower Station[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2011, 31(5): 73-78.
- [5] 董波, 邓昌奇. 浅谈回填灌浆、固结灌浆的技术与规定[J]. *四川水力发电*, 2010, 29(S1): 106, 116.
DONG Bo, DENG Changqi. Technology and regulations for backfill grouting and consolidation grouting[J]. *Sichuan Water Power*, 2010, 29(S1): 106, 116.
- [6] 陈维. 分析水利工程隧洞回填的灌浆施工技术[J]. *农业科技与信息*, 2015(10): 106-107.
CHEN Wei. Analysis of grouting construction technology for tunnel backfill in water conservancy projects[J]. *Information of Agricultural Science and Technology*, 2015(10): 106-107.
- [7] 黄德平, 黄平, 孙士颖, 等. 300m级高拱坝超深帷幕灌浆试验及施工技术[J]. *施工技术*, 2012, 41(S1): 344-347.
HUANG Deping, HUANG Ping, SUN Shiyong, et al. Grouting experiment and construction technology for super-deep curtain of high arch dam with 300m[J]. *Construction Technology*, 2012, 41(S1): 344-347.
- [8] 毛军林, 张慧. 阿尔及利亚玛乌阿纳水坝工程超深孔灌浆施工技术[J]. *水电与新能源*, 2017(11): 28-32.
MAO Junlin, ZHANG Hui. Ultra-deep hole grouting construction technology in Mahouane Dam Project in Algeria[J]. *Hydropower and New Energy*, 2017(11): 28-32.
- [9] 冯艳玲. 灌浆过程中漏浆、串浆等问题的处理及预防[J]. *工业设计*, 2012(2): 244-245.
FENG Yanling. Treatment and prevention of slurry leakage and communication during grouting [J]. *Industrial Design*, 2012(2): 244-245.
- [10] 李嘉, 王博, 张景伟, 等. 高聚物注浆材料动力特性试验研究[J]. *建筑材料学报*, 2017, 20(2): 198-203.
LI Jia, WANG Bo, ZHANG Jingwei, et al. Experimental research on dynamic property of polymer grouting materials[J]. *Journal of Building Materials*, 2017, 20(2): 198-203.
- [11] 刘志远. 高聚物注浆材料工程特性的试验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007.
LIU Zhiyuan. Experimental study on engineering characteristics of high polymer grouting materials [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2007.
- [12] 唐平. 深孔帷幕灌浆技术参数研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2010.
TANG Ping. Study on technical parameters of curtain grouting in deep holes [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2010.
- [13] 何向红, 管仕军. 锦屏一级水电站坝基深孔帷幕灌浆问题处理[J]. *人民长江*, 2015, 46(10): 4-6.
HE Xianghong, GUAN Shijun. Treatment of deep hole curtain grouting in foundation of Jinping I Hydropower Station [J]. *Yangtze River*, 2015, 46(10): 4-6.
- [14] 康路明, 吕清岚, 杨培青. 长河坝水电站深孔帷幕灌浆试验与分析[J]. *四川水力发电*, 2015, 34(3): 31-37.
KANG Luming, LÜ Qinglan, YANG Peiqing. Test and analysis for deep hole curtain grouting at Changheba Hydropower Station [J]. *Sichuan Water Power*, 2015, 34(3): 31-37.
- [15] 侯锦, 陈雁鸿, 李磊. 紫坪铺水利枢纽工程深孔帷幕灌浆及特殊情况处理[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2015, 42(S1): 146-147, 152.
HOU Jin, CHEN Yanhong, LI Lei. Special situation treatment and deep hole purdah grouting engineering technology in Zippingpu Water-control Project [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunnrlng)*, 2015, 42(S1): 146-147, 152.

(编辑 周红军)