

中梁山隧道高压富水区帷幕注浆技术

袁晏仁 李金求 周 凯

(中国建筑第五工程局有限公司 长沙 410004)

摘 要 依托中梁山隧道下穿余家湾水库段高压富水区工程,详细介绍超前全断面帷幕注浆的施工方案;综合采用红外探水法、超前探孔法、检查孔法等,对注浆效果进行检验。开挖揭露后证明,岩溶裂隙和管道可以得到有效封堵,且注浆效果良好。

关键词 城市轨道交通;隧道工程;高压富水区;帷幕
注浆;注浆效果

中图分类号 U455.4 文献标志码 A

文章编号 1672-6073(2013)02-0100-04

1 工程概况

中梁山隧道是重庆市轨道交通 1 号线(沙坪坝—大学城段)双碑北站—赖家桥站区间的一部分,两侧与高架桥线路连接,隧道右线起点里程为 K 23 + 808.000,隧道右线终点里程为 K 28 + 137.000,全长 4.329 km。隧道位于沙坪坝区,横穿中梁山脉,整体呈东西走向,最大埋深约 270 m,除洞口段外均为深埋隧道。

中梁山隧道出口掘进至 K 26 + 522 时出现高压岩溶裂隙涌水,水量大,水压力高,涌水中夹带大量的泥砂,严重威胁施工安全。涌水对地下水平衡造成威胁,同时余家湾水库水位出现急剧下降,给歌乐山居民的生活用水造成威胁。因此,项目部决定采取注浆措施对涌水进行处理。

注浆采取全断面注浆堵水方式,本循环超前堵水注浆范围为 K 26 + 522 ~ + 492,纵向长 25 m (不含止浆墙),径向加固范围为开挖工作面及开挖轮廓线外 6 m,分别在 K 26 + 512 和 K 26 + 504 处布设两个补孔断面加强注浆堵水效果,共设计注浆孔 96 个,注浆完成后经过效果评定可满足设计要求则进行开挖施工,循环开挖长度 20 m。

收稿日期: 2012-04-18 修回日期: 2012-05-21

作者简介: 袁晏仁,男,重庆轨道交通 1 号线中梁山隧道项目经理、高级工程师,负责项目全面工作,495067171@qq.com

2 超前注浆堵水施工方案

2.1 处理原则

考虑到隧道涌水下穿余家湾水库,为避免涌水造成大量地表水损失及环境破坏,对该段涌水采用“排堵结合,以堵为主,综合治理,保护环境,不留后患”的原则治理^[1-3]。

2.2 掌子面封闭及作业平台设计

为形成封闭的注浆施工环境,需在掌子面喷射 C 25 混凝土,厚度 30 cm,喷浆后要求掌子面密实、平整。为满足大型进口钻机作业要求,需要在工作面铺设钻机作业平台,作业平台长 13 m,预留作业工作空间高度 5 m。钻机作业平台需采用渣洞回填密实,平台表面浇筑 30 cm 厚 C 25 混凝土与止浆墙成为整体,如图 1 所示。

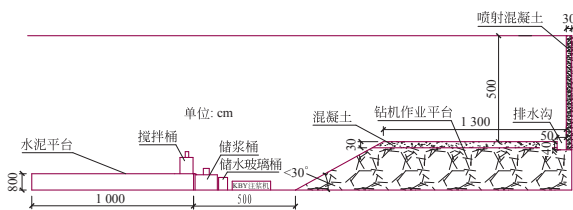


图 1 场地布置图

2.3 超前堵水注浆设计

超前堵水注浆设计如图 2~图 3 所示。

2.4 注浆参数

超前堵水注浆参数见表1。

2.5 注浆顺序

超前堵水注浆顺序总体原则为由外到内、由上到下、间隔跳孔,分三序孔施工。

2.6 注浆材料

注浆材料采用普通水泥-水玻璃双液浆。水灰比为(0.8~1.2):1,体积比为1:1。原材料为普通硅酸盐水泥、水玻璃(浓度:35Be;模数:2.4~2.8)。

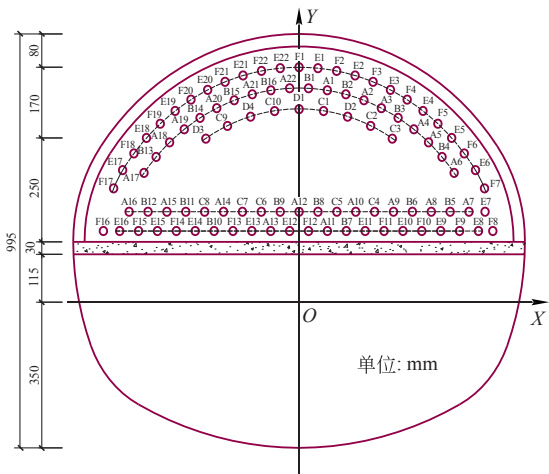


图2 超前堵水注浆开孔布置图

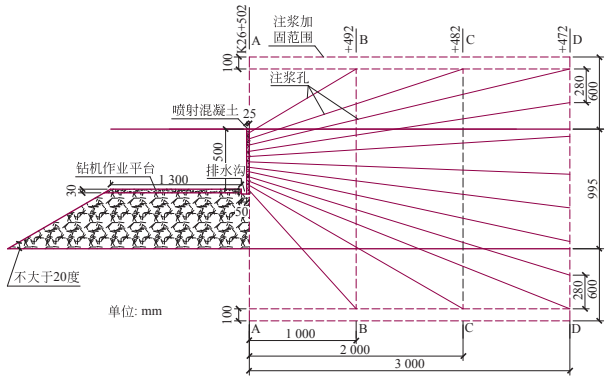


图3 超前堵水注浆纵断面图

表1 超前堵水注浆参数

参数名称	参数值	备注
注浆范围	纵向	K 26 + 522 ~ + 492 (30 m)
	径向	开挖工作面及开挖轮廓线外 6 m
浆液扩散半径/m	2.0	
终孔间距/m	2.8	
注浆终压/MPa	5 ~ 6	
注浆孔径/mm	φ 90	
注浆速度/L/min	10 ~ 100	
注浆方式	前进式分段注浆 (3 ~ 5 m/段)	施工中根据情况调整
注浆孔数量/个	96	

2.7 注浆工艺

超前堵水注浆采用前进式分段注浆工艺：

- 1) 标定孔位,确定钻进外插角后,采用 φ130 mm 钻头低速钻进至 1.8 m,安设 2 m 的孔口管。
- 2) 孔口管采用 φ108 mm,δ 4 mm 无缝钢管加工,管长 2.0 m,孔口管外壁缠绕 50 ~ 80 cm 长的麻丝成纺锤形,采用钻机冲击到设计深度,并用锚固剂锚固,以保证孔口管安设牢固、不漏浆。

3) 为防止钻孔过程中突发涌水突泥,孔口管安设完成前端须安设高压闸阀,通过高压闸阀进行钻孔注浆施工。

4) 钻孔注浆施工过程,原则上每次钻深 3 ~ 5 m 后,退钻进行注浆施工,注浆达到设计结束标准后,再钻进 3 ~ 5 m,并进行注浆,如此循环直到钻注到设计深度。

2.8 注浆结束标准

1) 单孔注浆以定压定量相结合。

定压标准:根据地层涌水压力注浆终压定为 5 ~ 6 MPa,单孔注浆压力达到设计终压并维持 10 min 以上可结束该孔。

定量标准:注浆量根据地层围岩孔隙率 20%,单孔每米设计注浆量控制在 4.0 m³,当单孔注浆量达到设计注浆量的 1.5 ~ 2 倍,压力仍然不上升,可采取调整浆液配比缩短凝胶时间或进行间歇注浆等工艺使注浆压力达到设计终压,结束该孔注浆。

2) 全段结束标准是:设计的所有注浆孔均达到注浆结束标准,无漏注现象;按总注浆孔的 5% ~ 10% 设计检查孔,检查孔满足设计要求。

2.9 施工监测

为了保证在注浆过程中结构的安全,防止因注浆或水压过大而引起围岩局部发生变形,钻孔注浆施工期间须对注浆工作面后方 30 m 范围进行施工监测^[4]。

监测项目为拱顶沉降、边墙收敛、止浆墙位移;监测频率为 1 次/d。控制标准是:收敛速度 $v < 1$ mm/d 时,正常施工; $v = 1 \sim 5$ mm/d 时,应加强观测,适当采取措施; $v = 5 \sim 10$ mm/d 时,应调整施工方案,加强支护; $v > 10$ mm/d 时,围岩处于急剧变化状态,暂时停止施工,采取特殊措施进行处理。

3 注浆效果评价

为查明超前注浆后围岩的完整性和裂隙情况,保证隧道施工安全,减少因地质灾害或注浆失效而导致突水突泥及塌方的安全事故,采用红外线探水法系统和超前探孔在掌子面里程 K 26 + 522 m 进行超前地质预报工作^[5]。

3.1 红外探测法

3.1.1 红外探测法原理

红外探水法是根据探测红外场强的变化来预测掌子面前方是否有含水体存在。在隧道中,围岩每时每刻都在向外部发射红外线能量,并形成红外辐射场,场有密度、能量、方向等信息,岩层在向外发射红外辐射

的同时,必然会把它的地质信息传递出来。当隧道掌子面前方及周边介质单一时,所测得的红外场为正常场,当前面存在隐伏含水构造或有水时,产生的场强要叠加到正常场上,从而使正常场产生畸变。据此判断掌子面前方一定范围内有无含水构造。

测试掘进工作面和隧道开挖纵向地湿场的变化情况,根据介质的辐射红外波段长的能量变化,判定前方是否为隐伏含水构造体,有无发生突涌水的可能。

3.1.2 超前探水的测线布置

掘进掌子面场强测点布置如图4所示。从掌子面向已开挖方向,每间隔5 m 设置一个测点断面,在拱顶、两侧边墙上各布置两条测线,测点数不少于12个,如图5所示。

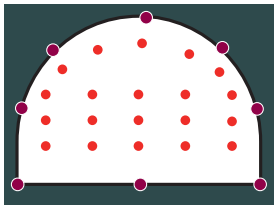


图4 掌子面测点布置示意图

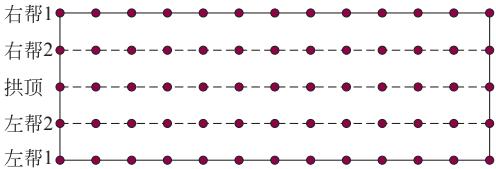


图5 拱顶及侧帮测点布置示意图

3.1.3 注浆前探测结果

掌子面测点中最大场强和最小场强的能量差为 $4 < 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,掌子面红外辐射场强的差值小于安全值10,但掌子面右侧红外探测曲线波动较大,初步推断在一定范围内可能出现涌水。

从图6~图8看,前方的红外场强,随掘进掌子面的推进减小,从数值曲线上看,整体上变化幅度较大,在起点位置场强较高,呈斜向下直线平缓下降,并且较为一致。

通过掌子面场强及各侧帮场强曲线判断,掌子面前方30 m 范围内掌子面右半侧红外探测曲线波动较大,可以判断掌子面前方30 m 范围内红外辐射场存在异常,该段在施工过程中可能出现涌水,地下水主要以岩溶水和溶隙裂隙水为主。结合现场地质资料发现,岩体整体破碎,溶蚀裂隙含水性较好,围岩整体稳定性差,掌子面右下放处有多日连续涌水。

3.1.4 注浆后探测结果

最大场强和最小场强的能量差为 $10 < 16 \mu\text{W}/\text{cm}^2$,可判定前方探测范围25 m 的范围内存在含水体的可

能性较小,岩层含水量极低。从图9~图11可以看到,K 25 + 481 前方的红外场强,随掘进掌子面的推进减小,中部及尾部先小幅下降后又小幅上升,中间拱顶与两帮探测曲线下降趋势较明显。

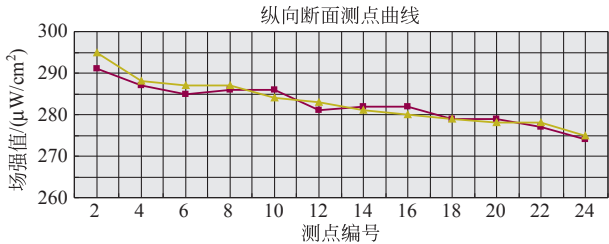


图6 左侧帮场强曲线图

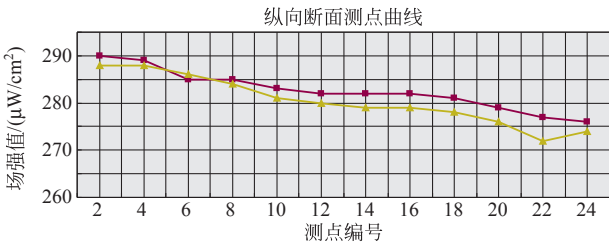


图7 右侧帮场强曲线图

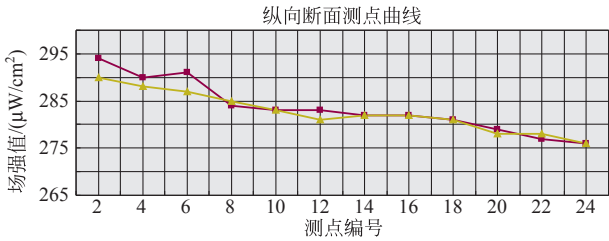


图8 拱顶场强曲线图

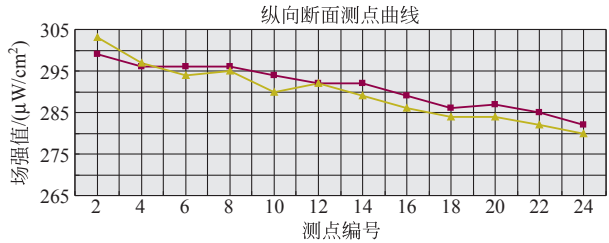


图9 左侧帮场强曲线图

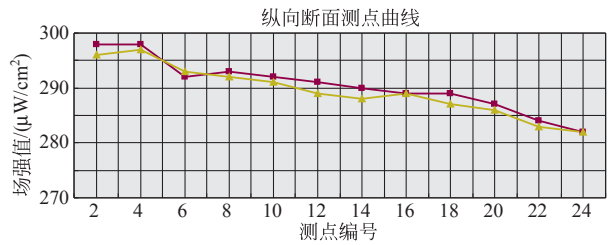


图10 右侧帮场强曲线图

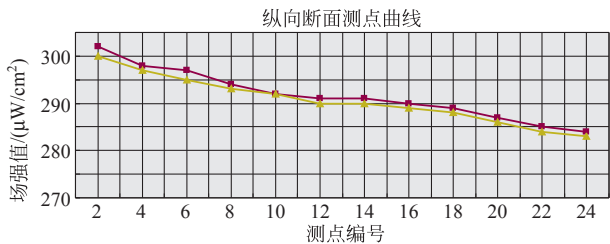


图 11 拱顶场强曲线图

通过掌子面场强及各侧帮场强曲线判断,掌子面 K 26 + 522 ~ + 492 区段存在径流性含水量体的可能性极小,经过超前帷幕注浆,岩体完整性较好,该循环注浆范围内裂隙水也较少。相比超前注浆前探测情况,注浆效果显著。

3.2 超前探孔

在首次完成红外探水后,施作探孔,钻探总长度 30 m,探孔情况如表 2 所示。

表 2 K 26 + 522 ~ K 25 + 492 段探孔情况

孔号	钻进速度/ (m/min)	返水压力/ (MPa)	水流量/ (m³/h)	涌水 颜色	流出固 体细末
T1	0.29		1	灰色	灰白色
T2	0.28	0.4	0.8	灰色	灰白色
T3	0.28		4	灰色	灰白色
T4	0.32	1.2	45	黄色	灰色、黄色细末
T5	0.36	1.5	58	深黄色	灰色、黄色细末

根据探孔的数据资料,掌子面富水区分布以隧道拱顶与拱腰为主,隧底含水体较少,探测结果与物探结果相符。

3.3 检查孔

注浆结束后,根据该循环探孔和所有注浆钻孔的出水情况以及地层吸浆的分布情况,对薄弱区域进行效果检查,经检测,检查孔出水量小于 0.2 L/min·m,任一孔出水量小于 5 L/min。对孔内进行成像,发现孔壁较为光滑,成孔性较好,无塌孔现象,已达到注浆效果评定标准。

3.4 注浆效果揭露情况

经过多种手段检验注浆效果均符合开挖要求和标准,进行开挖施工,对开挖后裸露的岩体进行地质素描,发现注浆有效地封堵了岩溶裂隙和管道,起到了很好的加固封堵效果。开挖后的裸露岩体见图 12。

4 结语

通过多项检测和评价,认为中梁山隧道下穿余家



图 12 超前帷幕注浆劈裂、填充扩散情况

湾水库高压富水区岩溶裂隙、管道基本被帷幕注浆浆液所填充,堵水加固效果明显,帷幕注浆的质量较好,可发挥显著的截流作用,达到了帷幕注浆的目的。同时,也说明红外线探水法能够有效地进行隧道施工的超前探水的定性预报,结合其他地质预报手段,超前探水预报结果和实际开挖揭露的情况一致性较好,地下水探测预报的准确性较高。

参考文献

[1] 张学文. 金子山隧道穿越 F2 富水断层带的帷幕注浆综合施工技术探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2008,6(4):63-66.
[2] 朱克法. 帷幕注浆施工技术在隧道断层破碎带的应用[J]. 河北建筑工程学院学报,2006,24(3):49-52.
[3] 王树国,张民庆,黄鸿健,等. 宜万铁路别岩槽隧道 F1 高压富水断层施工技术[J]. 铁道工程学报,2008,25(9):66-70.
[4] 王润福,孙国庆,李治国. 圆梁山隧道进口填充型溶洞注浆施工技术[J]. 隧道建设,2003,23(2):28-30.
[5] 曲立清,王全胜,张文强. 胶州湾海底隧道综合超前地质预报与注浆方案选择[J]. 铁道工程学报, 2009(9):65-68.

(编辑:郝京红)

Curtain Grouting Technique in High-pressure and Rich-water Zone of Zhongliangshan Mountain Tunnel

Yuan Yanren Li Jingqiu Zhou Kai

(China Construction Fifth Engineering Corp., Changsha 410004)

Abstract: With Zhongliangshan tunnel traversing high-pressure and rich-water zone under Yujiawan reservoir as the background, this paper introduces in detail the construction scheme of advanced whole-section curtain grouting. By using the infrared water detecting method, advanced borehole method, test hole method, grouting effect was inspected. It has been shown that grouting effectively plugged the karst fractures and pipelines and the grouting effect was good during excavation.

Key words: urban rail transit; tunnel engineering; high-pressure and rich-water zone; curtain grouting; grouting effect