

岩溶富水隧道 V 级围岩段涌水及注浆加固圈研究^{*}唐超¹, 傅鹤林², 任志高¹

(1.湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004; 2.中南大学, 湖南 长沙 410075)

摘要: 吉庆隧道是龙琅(涟源市龙塘镇—新化县琅塘镇)高速公路上的富水岩溶隧道, 准确预测隧道涌水量对于采取合理的防排水措施及开挖方法十分重要。文中对该隧道中富水的 V 级围岩段涌水量进行分析和预测, 根据涌水量大小、围岩承载能力等确定注浆加固圈厚度, 为隧道防排水设计、围岩注浆加固及施工提供技术支持。

关键词: 隧道; 富水岩溶; V 级围岩; 涌水量; 注浆加固圈

中图分类号: U457

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)06-0140-03

1 工程概况

吉庆隧道位于龙琅(涟源市龙塘镇—新化县琅塘镇)高速公路新化县吉庆镇与油溪乡交界处, 该段为分离式路基。左线隧道起于 ZK50+635, 终于 ZK52+440, 隧道底高程为 289.07~237.84 m, 全长 1 805 m; 右线隧道起于 K50+635, 终于 K52+440, 隧道底高程为 289.12~238.37 m, 全长 1 805 m, 最大埋深约 25.39 m; 进出口均采用削竹式洞门。为

两车道分离式隧道, 采用上下台阶法开挖。采用 LED 灯照明, 机械通风, 洞内设置完善的消防及监控设施。

隧道围岩以白云质灰岩为主, 岩溶发育, 围岩破碎且富水, 雨季施工由于地表水下渗极易引发突涌水。围岩级别见表 1。

鉴于 V 级围岩段长达 445 m, 重点研究 V 级围岩段 ZK50+982—ZK51+038 的隧道涌水情况, 确定最小注浆圈厚度。

表 1 隧道围岩分级

起讫里程	长度/m	考虑影响因素状态或关系	围岩级别	围岩名称
ZK50+635—670	35	洞口段、浅埋段、发育断层	V	黏土、强风化泥质灰岩、凝灰岩
ZK50+822—892	70	发育断层、围岩破碎、断层外带地下水丰富	V	断层构造角砾岩
ZK50+982—ZK51+038	50	发育断层、围岩破碎、断层外带地下水丰富	V	断层构造角砾岩
ZK51+181—246	65	发育断层、洞身浅埋	V	断层构造角砾岩
ZK51+431—476	45	发育断层、围岩破碎、断层外带地下水丰富	V	断层构造角砾岩
ZK50+870—ZK51+904	34	发育断层、围岩破碎、断层外带地下水丰富	V	断层构造角砾岩
ZK50+990—ZK52+020	30	发育断层、围岩破碎、断层外带地下水丰富	V	断层构造角砾岩
ZK52+380—440	50	洞口段、隧道浅埋	V	断层构造角砾岩

2 涌水量预测常规方法

2.1 传统经验公式法

传统经验计算公式为:

$$Q_s = LKH(0.676 - 0.06K) \quad (1)$$

式中: Q_s 为涌水量(m^3); L 为隧道涌水段计算长度(m); K 为围岩渗透系数(m/d); H 为地下水水头至隧道横断面等价圆中心点的折算距离(m)。

2.2 传统地下水水力法

古德曼计算公式为:

$$Q_0 = L \frac{2\pi KH}{\ln(4H/d)} \quad (2)$$

式中: Q_0 为隧道通过地段围岩最大涌水量(m^3/d); d 为隧道横断面等价圆的折算半径(m)。

传统地下水动力经验公式为:

$$Q_0 = L(0.0255 + 1.9224HK) \quad (3)$$

^{*} 基金项目: 湖南省路桥建设集团课题《地质构造发育网状岩溶隧道灾变预测及岩溶处治技术研究》; 国家自然科学基金项目(51578550)

2.3 简易水均衡法

对于岩溶发育区的隧道,由于大气降水会全部通过围岩下渗涌入隧道,通常采用简易水均衡法计算平均涌水量,再确定研究范围内的大气降水量和计算范围内的地表补给面积。计算公式为:

$$Q_{cp} = (1\ 000FaR)/365 \tag{4}$$

式中: Q_{cp} 为计算段隧道平均涌水量(m^3/d); F 为计算范围内地表水补给面积(km^2); a 为大气降水入渗系数; R 为一定面积范围内大气降水量(mm)。

2.4 裘布依理论公式

裘布依理论公式为:

$$Q_s = LK \frac{H^2 - h^2}{R - r} \tag{5}$$

式中: Q_s 为隧道正常涌水量(m^3/d); h 为隧道内排水沟假定水深(m); R 为隧道涌水地段引用补给半径(m); r 为隧道洞身横断面等价圆折算半径(m)。

2.5 数值模拟分析法

在地下水计算过程中,数值模拟分析具有一定优势。因此,采用FLAC^{3D}分析该隧道Ⅴ级围岩段的涌水情况、预测涌水量,确定最小注浆圈厚度。

$10^{-6}m/(Pa \cdot s)$,水位高度根据地质勘探结果确定为30 m;注浆加固区域假定为按照Ⅲ级围岩模拟,围岩物理力学参数见表2。

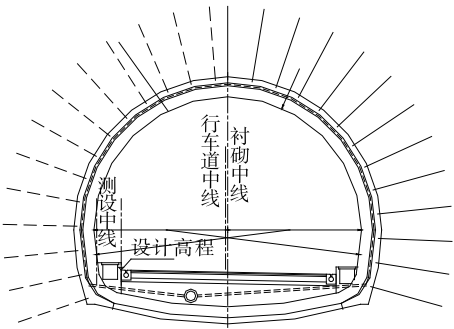


图1 隧道断面示意图

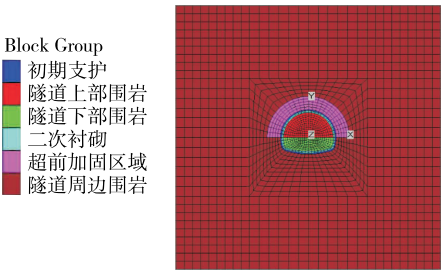


图2 隧道计算模型

3 Ⅴ级围岩段数值分析

3.1 模型构建

隧道开挖断面见图1,模型尺寸为高×宽×长(轴线)=60 m×60 m×20 m,计算模型见图2。采用位移约束边界,Ⅴ级围岩初始渗透系数取 $8 \times$

3.2 Ⅴ级围岩段流固耦合结果分析

3.2.1 Ⅴ级围岩段涌水量

按前述方法计算Ⅴ级围岩段ZK50+982—ZK51+038的涌水量,结果见图3。

表2 隧道围岩参数

围岩级别	特性参数					
	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	摩擦角/(°)	凝聚力/MPa	抗拉强度/MPa	容重/(kg·m ⁻³)
Ⅴ级围岩	0.71	0.33	25	0.2	0.1	2 000
Ⅳ级围岩	2.00	2.10	30	0.6	1.1	2 200
Ⅲ级围岩(注浆区域)	6.70	11.10	45	1.2	2.1	2 400

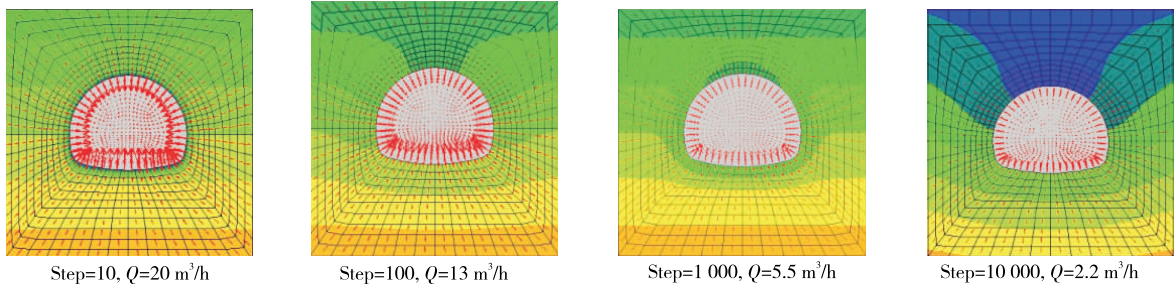


图3 Ⅴ级围岩段涌水量矢量图

根据不同时步的涌水量,得出平均涌水量 $Q = 10.175 m^3/h$,约 $245 m^3/d$ 。采用传统理论方法计

算涌水量,根据当地气象局提供的大气降雨数据,降雨量取1 230 mm;根据围岩渗透试验结果,得到围

岩入渗系数为 0.1。传统理论方法与数值模拟法的计算结果对比见表 3。

表 3 不同方法计算的涌水量对比 m^3/d

计算方法	涌水量	计算方法	涌水量
古德曼公式	1 620	数值模拟法	245
裘布依公式	285	水均衡法	240
经验公式	952	实际涌水量	270

从表 3 可看出:水均衡法和数值模拟计算的涌水量与实际涌水量最接近,与实际情况较吻合,这两种方法可用于 V 级围岩段隧道涌水量预测。

3.2.2 V 级围岩段最小注浆加固圈厚度

以控制流量 $Q=2.5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$ 为控制标准,研究 V 级围岩段最小注浆加固圈厚度。以围岩注浆加固厚度 B 为 1、2、3、4 m 分别计算涌水量,计算结果见图 4 和表 4。从图 4、表 4 可看出:随着注浆加固圈范围的增大,围岩涌水量减小。

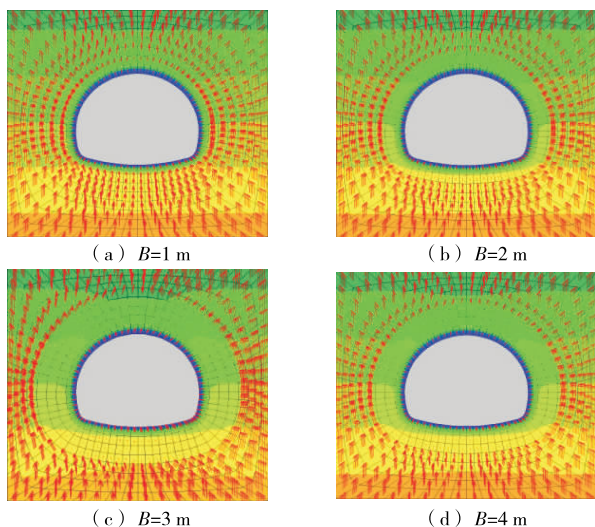


图 4 V 级围岩段不同注浆加固圈厚度下的涌水量矢量图

根据表 4,采用插值法得到注浆圈厚度 2.7 m

时,涌水量小于控制渗流量 $Q=2.5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$,确定 V 级围岩段注浆加固圈最小厚度为 2.7 m。为便于计量,实际工程中建议采用 3 m。

表 4 注浆加固圈厚度与涌水量的关系

注浆加固圈厚度/m	涌水量/ $[\text{m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}]$
1	4.5
2	3.2
3	2.2
4	0.8

4 结论

隧道岩溶是地下水的通道,尤其降雨期间地表水的下渗加上隧道的开挖,隧道掌子面形成汇水自由面,会加速地下水的渗流和排放,更易引起涌水事件。隧道开挖引起围岩应力场改变,导致围岩骨架颗粒产生剪切位移,引起围岩裂隙宽度发生变化,改变渗透性能,进而引起渗流场发生改变。合理的注浆加固圈厚度可做到既经济合理,又解决涌水问题。对于吉庆隧道岩溶富水 V 级围岩段,注浆加固圈厚度 2.7 m 时,涌水量小于控制渗流量,确定 V 级围岩段注浆加固圈最小厚度为 2.7 m。为便于计量,实际工程中建议采用 3 m。

参考文献:

- [1] 周渊韬.富水岩溶隧道 IV 级围岩段涌水及注浆加固厚度分析[J].铁道建筑技术,2013(5).
- [2] 傅鹤林,韩汝才.隧道衬砌荷载计算理论及岩溶处治技术[M].长沙:中南大学出版社,2005.
- [3] 朱显镇.长株潭跃进湖段桥改隧方案评价与施工安全控制研究[D].长沙:中南大学,2014.
- [4] 陈涛,马涛,蒋颖.宜万铁路鲁竹坝 2 号隧道的主要工程问题及其处理措施[J].铁道建设标准,2009(9).

收稿日期:2019-03-12

(上接第 139 页)

抽拔注浆芯管操作使用的便利性。

(3) 采用控制注浆量及注浆压力的双控措施,能攻克成本控制与质量保证难以平衡的技术难题,确保注浆效果,提高注浆压力,较少钻孔数量,加快施工进度,同时减少浆液对环境的影响。

参考文献:

- [1] 湖南湖大土木建筑工程检测有限公司.山塘站注水试

验检测报告[R].长沙:湖南湖大土木建筑工程检测有限公司,2018.

- [2] JGJ 79-2012,建筑地基处理技术规范[S].
- [3] GB 50202-2018,建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [4] 《建筑施工手册》编委会.建筑施工手册[M].第五版.北京:中国建筑工业出版社,2013.

收稿日期:2019-07-10