

岩溶隧道洞口段超前支护数值模拟

钟剑¹, 傅鹤林², 唐超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: 隧道洞口常处于浅埋段, 岩土体稳定性差, 能否安全顺利进洞是隧道施工的重要环节, 常需对洞口段进行超前预支护, 其中管棚、超前预注浆加固是较常见的手段。文中以吉庆隧道为依托, 采用数值模拟方法, 分别建立管棚+预注浆超前支护、管棚支护、预注浆及无任何支护作用下模型, 通过对比分析, 揭示不同支护方式的力学效应, 为隧道洞口支护形式选择提供技术支持。

关键词: 隧道; 洞口段; 超前支护; 管棚支护; 预注浆加固; 数值模拟

中图分类号: U455.7

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)01-0124-05

1 工程概况

重庆内环快速路南半环巴南区境内吉庆隧道位于老王冲倒转背斜的西北翼, 主要岩性为泥盆系上

统和石炭系下统的泥质灰岩、混灰岩夹灰岩、页岩及砂岩。隧道埋深 6 m, 围岩 V 级, 上覆 3 m 厚土层, 围岩与土层的物理力学参数见表 1。采用三台阶法进洞, 支护方法及参数见表 2。

表 1 围岩与土层的物理力学参数

围岩 与土层	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	体积模量/ MPa	剪切模量/ MPa	粘聚力/ MPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	渗透 k 值/[$\text{m}^2 \cdot$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) $^{-1}$]	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	孔隙度
注浆加固区	2 300	400	200.0	0.300	35	6.12×10^{-15}	6.00×10^{-9}	0.500
强风化灰岩	2 200	208	119.0	0.045	30	3.06×10^{-10}	3.00×10^{-4}	0.482
黏土覆盖层	1 900	8	5.5	0.040	18	2.54×10^{-10}	2.49×10^{-4}	0.387

表 2 支护方法及参数

支护方法	管棚直径/mm	弹性模量/GPa	泊松比	长度/m	管壁厚度/m	环向间距/cm
钢架+网喷初期支护	—	10.5×10^9	0.25	—	0.20	—
管棚	108	62.24	0.30	30	0.06	40

2 隧道洞口模型的建立

2.1 模型构建

根据现场实际地质情况, 分析范围取长 \times 宽 \times 高=40 m \times 70 m \times 40 m。采用 Mohr—coulomb 理想弹塑性模型, 超前管棚采用 Beam 单元, 钢拱架+网喷初期支护采用 Shell 单元。

2.2 计算参数选取

结合该隧道地质资料, 参照《公路隧道设计规范》, 确定围岩及材料参数(见表 1、表 2)。

2.3 计算边界与初始应力场

边界条件: 地表为自由边界, 模型左、右、前、后及底部施加法向约束。

初始应力场条件: 取自重应力场, 围岩泊松比取

0.33, 水平应力与垂直应力的关系为 $\sigma_{zz} = \sigma_{xx} = 2\sigma_{yy}$ 。

2.4 进洞开挖与支护的模拟

进洞施工模拟工序为注浆预加固 \rightarrow 设置 30 m 长管棚预支护 \rightarrow 开挖上台阶 5 m \rightarrow 中台阶、下台阶开挖, 各相差 5 m \rightarrow 施作初期支护。以此循环, 直至开挖完成。

模型建立中, 对于位移, x 向为水平方向, y 向为竖向, 且以重力方向为负向, z 轴负向为隧道开挖方向。

3 数值模拟分析

采用上述模型, 对管棚+预注浆超前支护、管棚支护、预注浆及无任何支护作用下隧道洞口的力学

效应进行对比分析。

3.1 模拟结果

3.1.1 预注浆+超前管棚支护的模拟

对隧道洞口采用预注浆+管棚超前支护时,上台阶开挖竖向应力及位移见图 1。由图 1 可知:整

个开挖过程中围岩应力对称分布,随着台阶的推进,掌子面因卸载产生低应力区,拱脚则形成高应力区,与开挖前相比,应力提高 100%;最大沉降均出现在拱顶,地表沉降对称,且离地表中线越近,沉降越大,隧道顶部地表沉降为 4~6 mm。

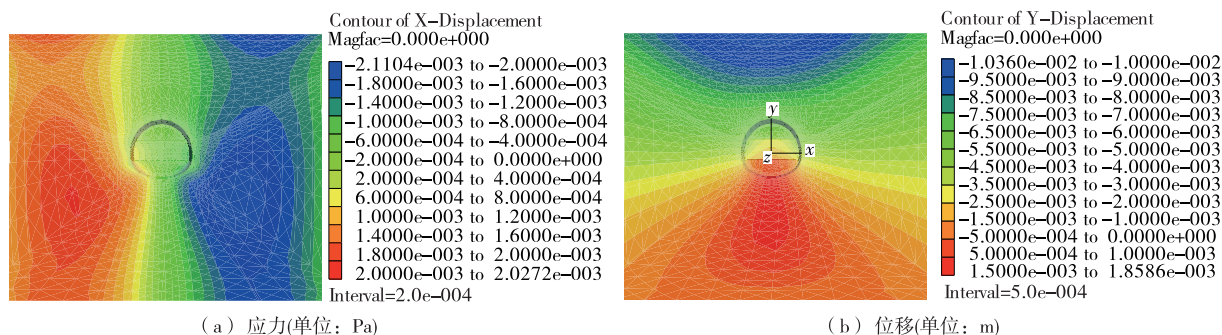


图 1 预注浆+管棚支护时上台阶开挖 y 向应力及位移(单位:m)

3.1.2 预注浆加固的模拟

对隧道洞口地表仅进行预注浆支护时,上台阶开挖竖向应力及位移见图 2。由图 2 可知:纵横向应力相对隧道轴线对称,随着开挖的推进,出现局部

应力集中(拱脚与拱顶部位),但未出现拉应力,横向应力最大值在 0.4 MPa 左右,竖向应力最大值在 1.0 MPa 左右;拱顶位移和地表沉降呈对称分布,地表沉降最大值为 11.3 mm。

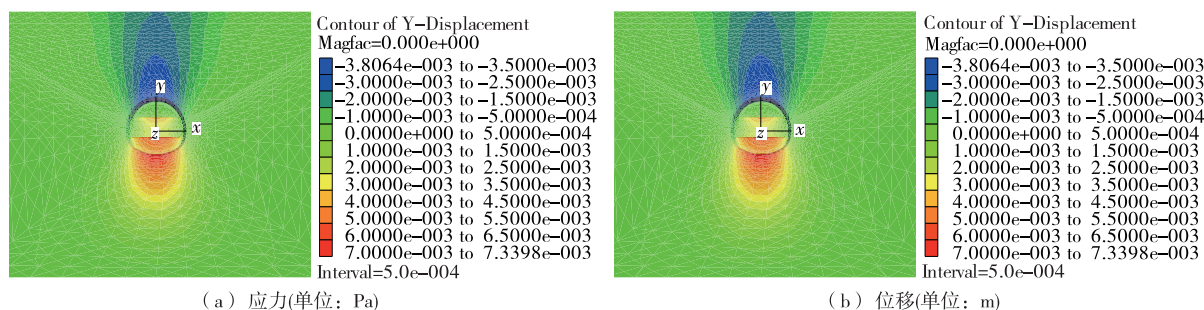


图 2 预注浆支护时上台阶开挖 y 向应力及位移(单位:m)

3.1.3 管棚超前支护的模拟

进洞仅采用管棚超前支护时,上台阶开挖竖向应力及位移见图 3。由图 3 可知:采用管棚超前支护时,上台阶开挖时竖向应力和位移呈对称分布。

随着开挖的推进,水平位移与纵向位移在拱顶、拱脚及仰拱处变化较大,地表沉降范围逐步增大,开挖完成后最大竖向位移为 10 mm 左右,水平位移为 2.4 mm 左右,上部地表沉降为 6~8 mm。

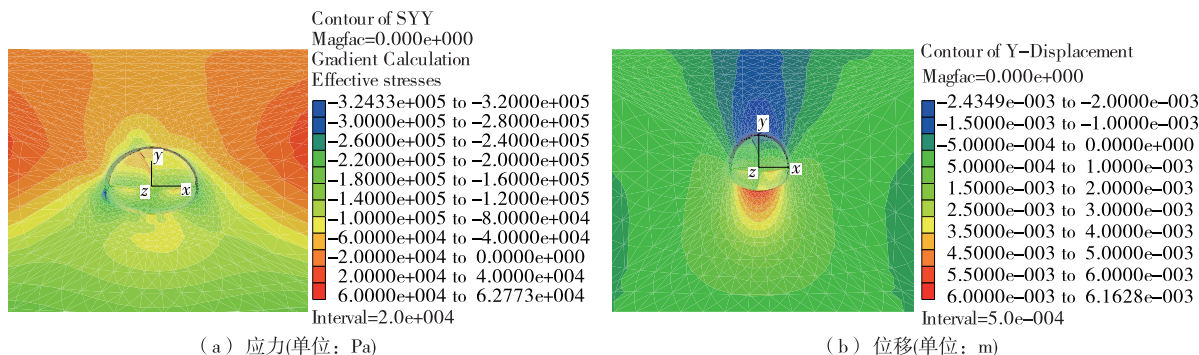


图 3 管棚超前支护时上台阶开挖 y 向应力及位移(单位:m)

3.2 对比分析

为对比各种支护方法的效果,设置图4所示5条变形监测线L1~L5[其中L1为地表沉降监测线(横),L2为地表沉降监测线(纵),L3为拱顶变形监测线,L4为拱底变形监测线,L5为侧壁变形监测线],每掘进5m记录各监测线的位移分布,结果见图5~9。

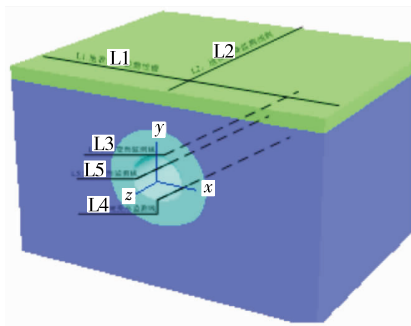
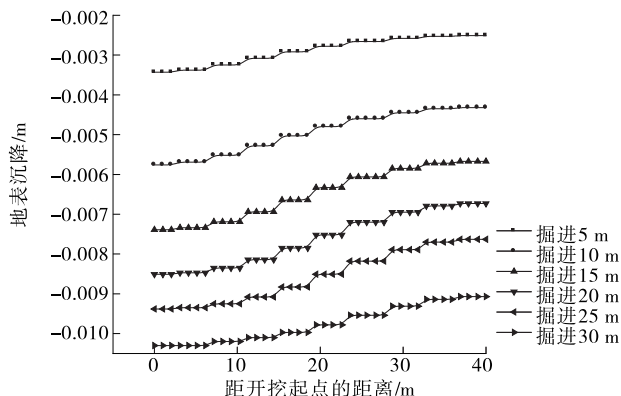
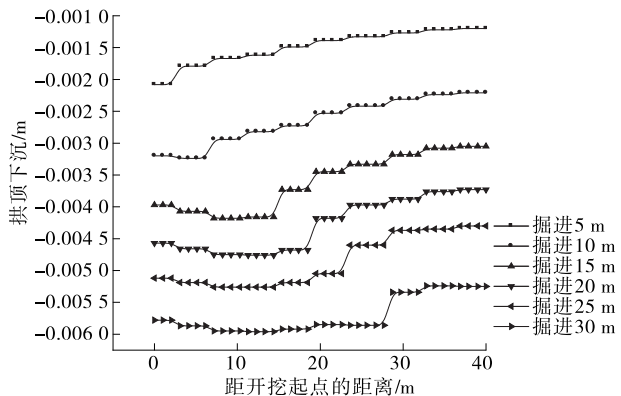


图4 变形监测线的布置



(a) 预注浆+管棚支护



(c) 预注浆支护

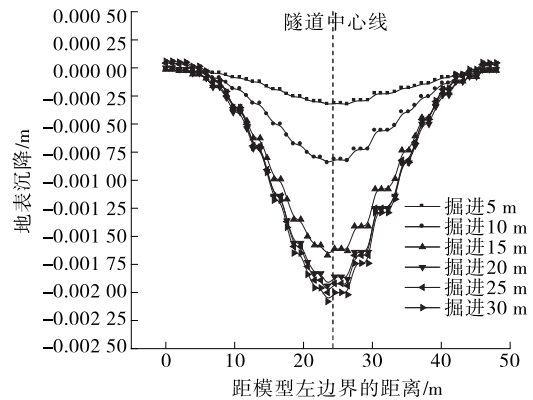
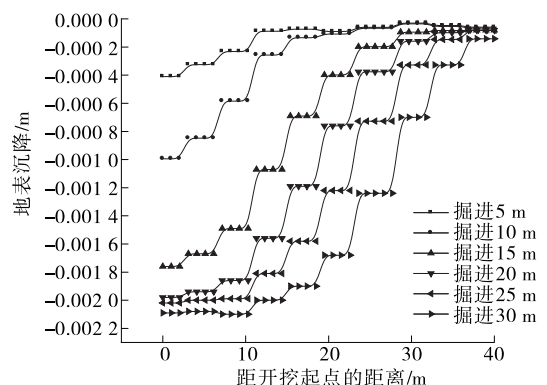
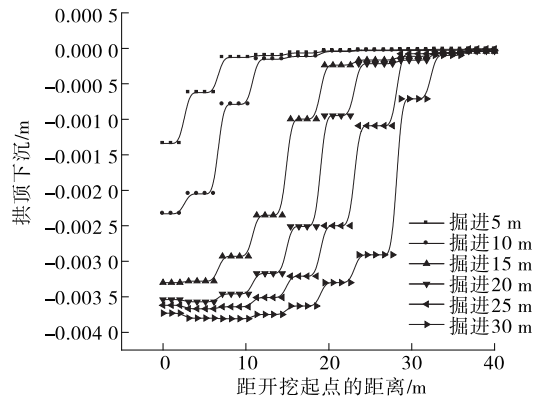


图5 监测线L1地表沉降的变化

由图7可知:随着隧道开挖台阶的推进,拱顶沉



(b) 管棚支护



(d) 未预超前支护

图6 监测线L2隧道拱顶沉降的变化

降呈增大趋势,拱顶沉降随着掌子面的推进而变化,最终趋于稳定。

由图8可知:随着台阶的开挖,仰拱部位逐步隆起,最终趋于稳定。

由图6可知:随着隧道开挖台阶的推进,地表沉降不断增加,最后趋于稳定;采用预注浆+管棚、管棚、预注浆3种不同超前支护方式,尽管地表沉降值不同,但变形规律基本一致。

由图9可知:超前支护措施对监测线L5隧道左侧拱腰收敛值的影响并不大,最终达到稳定。

预注浆+管棚、管棚、预注浆和不采用任何支护方式下隧道沉降变形对比见表3。

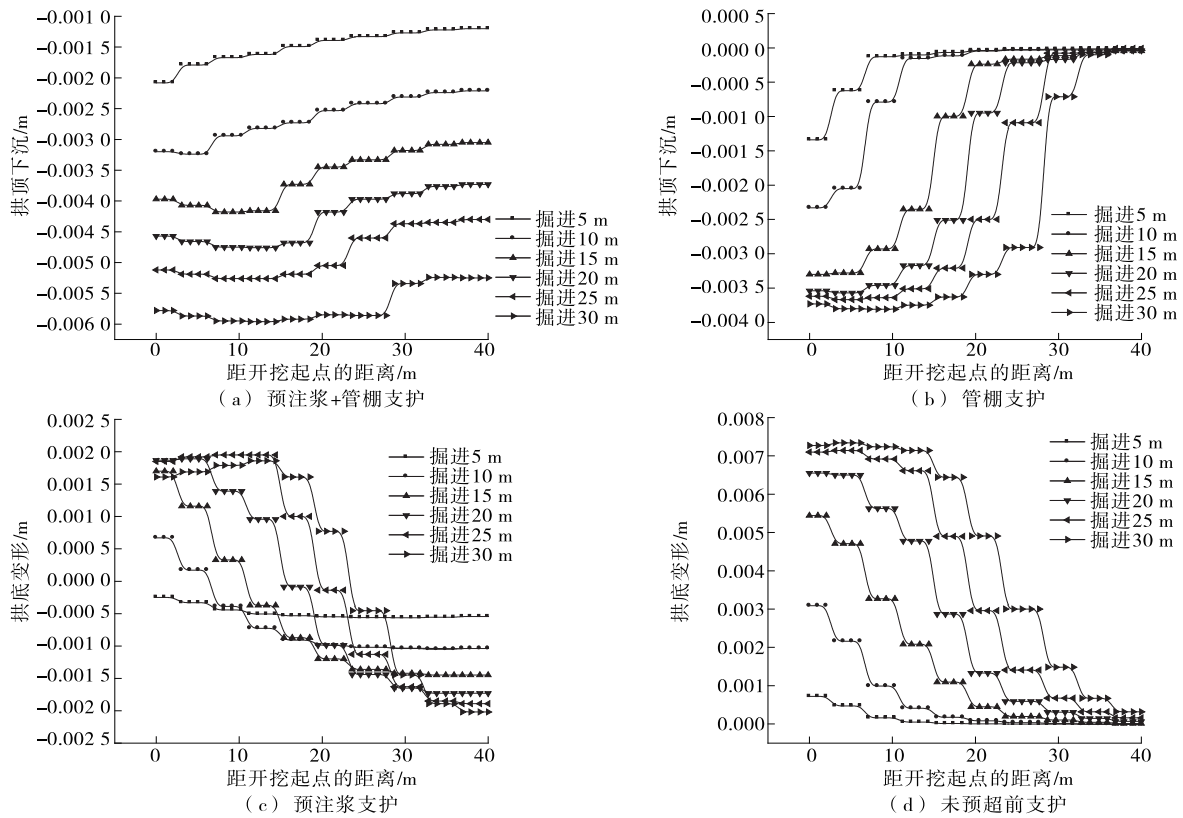


图7 监测线L3隧道拱顶沉降的变化

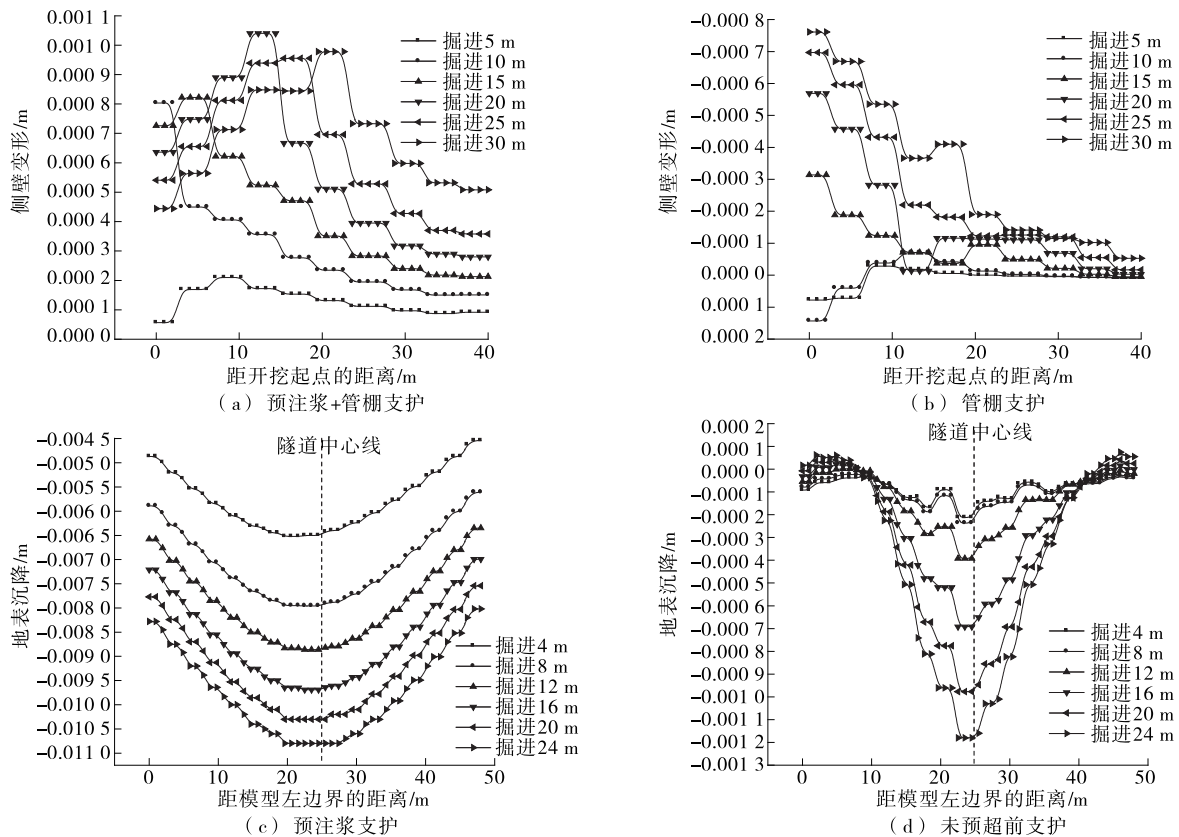


图8 监测线L4隧道拱底隆起的变化

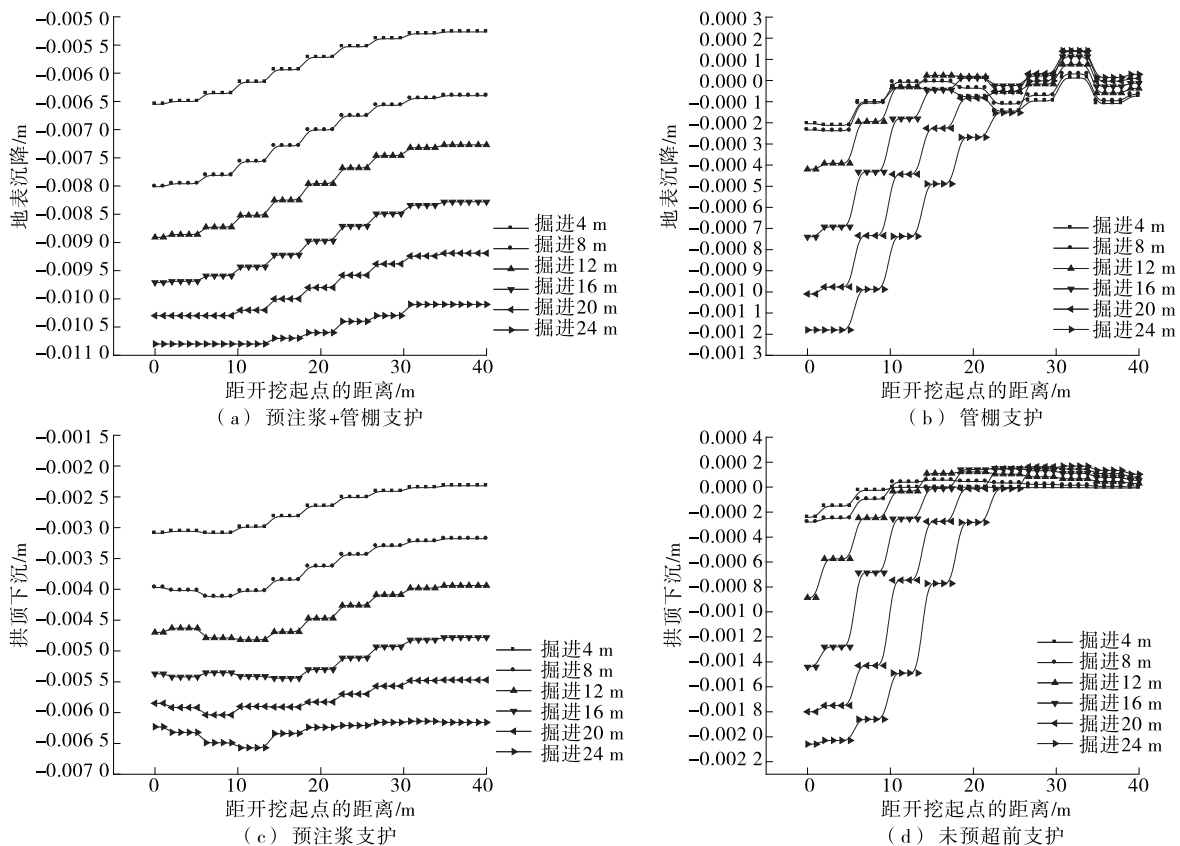


图9 监测线L5隧道左侧拱腰收敛值的变化

表3 不同支护方式效果比较

监测线	监测项目	预注浆+管棚	管棚	预注浆	不采用任何支护
L1	地表沉降/mm	4.0	5.5	7.0	15.5
L2	地表沉降	效果良好	效果一般	效果一般	沉降较严重
L3	拱顶沉降	控制较好	控制一般	控制较差	沉降严重
L4	仰拱隆起/mm	8	10	12	25
L5	拱底沉降/mm	0.6	1.3	2.5	6.0

4 结论

(1) 采取预支护措施可控制地表沉降,对于破碎围岩、浅埋地段隧道进洞,为确保进洞安全,采取预支护措施很有必要。

(2) 就控制拱顶沉降而言,几种支护方式的效果为预注浆+管棚支护>管棚支护>预注浆支护;就仰拱隆起面和隧道侧壁收敛控制而言,预注浆+管棚支护、管棚支护、预注浆支护的效果相当;就控制隧道围岩应力、位移而言,预注浆+管棚支护的效果最好,管棚支护、预注浆的效果相当。

参考文献:

[1] 张霄,李术才,张庆松,等.关键孔注浆方法在高压裂隙水

- 封堵中的应用研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(7).
- [2] 王梦恕,皇甫民.海底隧道修建中的关键问题[J].建筑科学与工程学报,2005,22(4).
- [3] 徐海廷,王全胜,孙国庆,等.厦门翔安海底隧道土石交界软弱地层全断面注浆试验研究[J].铁道工程学报,2009(1).
- [4] 侯伟,作彦卿,何立志.基于 GEO-SLOPE 分析高水头作用下水库对隧道的渗流影响[J].西安理工大学学报,2006,22(2).
- [5] 吴金刚,谭忠盛,皇甫明.高水压隧道渗流场分布的复变函数解析解[J].铁道工程学报,2018(1).
- [6] 袁海清,傅鹤林,谭鑫.隧道管棚加预注浆超前支护数值模拟分析[J].铁道科学与工程学报,2012,9(6).

收稿日期:2019-05-15