

文章编号: 1009-2269(2015)02-0036-04

软岩隧道变形监测与分析*

张天祺¹, 师占宾²

(1. 兰州交通大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 结合兰渝铁路的工程实例, 对桃树坪隧道使用 CRD 法和 CD 法与双侧壁导坑法相结合两种不同开挖方法下断面的围岩变形进行监测, 研究其稳定性, 并对围岩的变形曲线进行回归分析, 为开挖方法的优化和施工提供指导。

关键词: 软岩隧道; 监控量测; 回归分析; 稳定性

中图分类号: U456.3

文献标志码: A

1 工程概况

桃树坪隧道设计轮廓为单洞双线大断面, 隧道的进口位置位于兰州东站出站端, 其里程为 DK3+445, 出口的位置位于榆中县方家泉村, 其里程为 DK6+655, 该里程段属于兰渝铁路的重难点工程。

桃树坪隧道整体穿越第三系粉细砂层, 该段地层呈粉细粒结构, 且结构较为密实, 颜色为浅红色, 其成岩作用和自稳能力均较差, 轻微扰动后迅速变成松散粉状结构。在遇到富水的情况下围岩的自稳能力基本丧失, 呈现流塑状和很明显的软化现象。桃树坪隧道属于 VI 级软弱围岩, 其开挖过程中出现的涌砂、突水等现象比较频繁, 基底较易软化, 施作初衬时非常艰难, 而且拱部及边墙的变形收敛很严重, 施工难度较大, 所遇的安全风险较高, 施工进度也很缓慢。因此非常有必要对桃树坪隧道进行围岩的变形监测, 以便更好的对此类隧道施工进行指导, 降低施工过程中的风险。

2 监测实施方案

2.1 监测内容及频率

根据 2012 年 1 月 18 日兰渝线高地应力及特殊地质段隧道二次衬砌的受力测试会议精神和

2012 年 9 月 20 日兰渝铁路的高地应力软岩和特殊围岩隧道支护以及二衬受力监测方案的专家评审意见, 结合现场高地应力实际情况, 分三类进行监测方案优化设计。

桃树坪隧道被划分为 II 类监测隧道, II 类隧道将进行变形(拱顶下沉、水平收敛、拱脚下沉、地质素描、施工步序及工法描述等)、衬砌接触压力、衬砌钢筋应力和初期支护钢架应力共 4 个监测项目, 要求监测元件能够满足人工监控。

监控量测的主要内容包括拱顶下沉和周边水平收敛的位移量的监测, 其断面测点布置如图 1 所示。拱顶下沉的监测频率为初期 1~2 次/日(备注: 一周以后 3 次/周, 半月以后 2 次/周); 周边水平收敛的监测频率为初期 1~2 次/日(备注: 一周以后 3 次/周, 半月以后 2 次/周)^[1]。其中拱顶下沉采用全站仪量测, 周边水平收敛采用隧道位移收敛计和全站仪配合量测。

2.2 测点布设

桃树坪隧道洞深 VI 级围岩段间隔 20 m 设置两个必测项目监测断面, 每个必测项目监测断面设置拱顶下沉测点 3 个; 上测线周边水平收敛测点一对(拱腰); 下测线周边水平收敛测点一对(边墙即最大跨)。在隧道开挖到监测断面里程时, 及时进行

* 收稿日期: 2014-11-25

作者简介: 张天祺(1990-), 男, 吉林永吉人, 硕士生。

测点的埋置工作,并跟进量测工作.

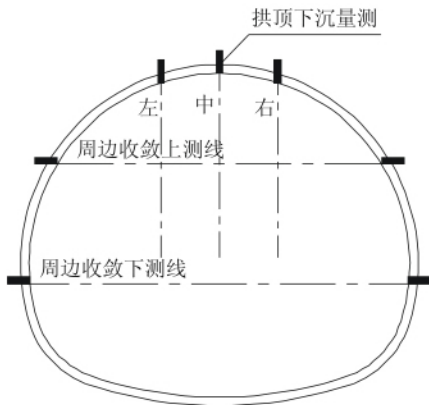


图 1 监测断面测点布置示意图

3 软岩隧道围岩变形监测与稳定性分析

3.1 CRD 法开挖下围岩变形监测与稳定性分析

以 DK4+931 监测断面作为实例进行详细分析如下.

1) 周边水平收敛^[2-4]. 由图 2 监测断面周边水平收敛曲线可得,上测线趋势的变化为:快速增长阶段→缓慢减小阶段→快速增长阶段→稳定的跳跃变化阶段→快速减小阶段→缓增趋稳阶段. 前 13 天快速增长至 34.854 mm;第 14 天突变至-0.064 mm,然后缓慢减小至-14.862 mm;从第 21 天至第 28 天快速增长至 23.716 mm;随后一直到第 60 天一直稳定在 10 mm 到 30 mm 之间稳定的跳跃变化;随后快速减小至-51.576 mm,中间略有小幅跳跃;之后 20 多天缓慢增长直至稳定在 0 mm 左右变化. 下测线趋势的变化是:快速减小阶段→缓增趋稳阶段. 前 16 天快速减小至-113.426 mm,最大速率达到-38.354 mm/d;之后 16 天缓慢增长至-81.074 mm,随后水平收敛值基本趋于稳定,收

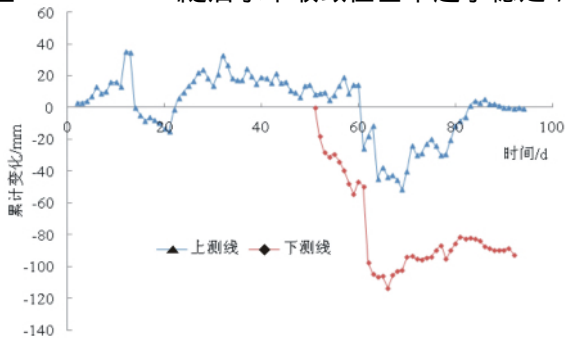


图 2 DK4+931 断面周边水平收敛曲线

敛值稳定在-89.55 mm.

2) 拱顶下沉. 由图 3 所示,监测断面拱顶下沉收敛曲线可以看出,该监测断面的 3 个测点保持相同趋势的变化,其中右测点的拱顶沉降量最大,中间测点拱顶沉降量次之,左测点拱顶沉降量最小,表明该监测断面承受偏压影响. 拱顶下沉趋势的变化为:较稳定的跳跃变化阶段(3 部初支开裂引起右测点突变)→快速减小阶段→缓减趋稳阶段. 前 105 天拱顶下沉 3 个测点基本保持在-50 mm 至 50 mm 之间稳定的跳跃变化,变化幅度不大;只有右测点前 10 天急剧变化至-507 mm,由 3 部初支开裂引起;之后 20 天快速减小,从第 135 天开始拱顶下沉基本趋于稳定,其中左测点沉降量为 345 mm,中间测点沉降量为 356 mm,右测点沉降量为 398 mm.

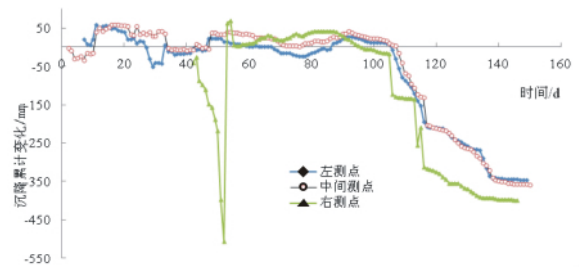


图 3 DK4+931 断面拱顶下沉收敛曲线

3.2 CD 法、双侧壁导坑法相结合开挖下的围岩变形监测与稳定性分析

以 DK5+462 监测断面作为实例进行详细分析如下.

1) 周边水平收敛. 由图 4 监测断面周边水平收敛曲线可得,上测线趋势的变化为:快速减小(中间有小幅跳跃)阶段→缓减趋稳阶段→快速减小阶段→趋稳阶段. 前 46 天处于快速减小小幅跳跃阶段,小幅跳跃可能原因为支撑的拆除,第 46 天减小至-52.410 mm;从第 47 天开始一直到第 85 天基本处于稳定阶段,收敛值在-45 ~ -50 mm 之间稳定变化;随后快速减小至-75.676 mm;然后基本趋于稳定状态,稳定收敛值为-73.637 mm. 下测线两个点的位置处于双侧壁导坑法施工,无法直接量测水平收敛,故只能看两个测点各自水平收敛. 由图 5 可知下测线两点基本保持一致的变化趋势,左测点变化较大,右测点变化较小,表明该监测断面承受偏压影响. 下测线两点变化趋势是:缓慢增

长阶段→快速增长阶段→趋稳阶段. 两个测点的收敛值分别为: 左测点 80.019 mm, 右测点 35.844 mm. 以左测点为例, 前 160 天缓慢增长, 中间略有小幅跳跃变化, 此后 10 天快速增长, 然后逐渐趋于稳定状态, 前 170 天收敛值为 74.488 mm, 占最终收敛值的 93%.

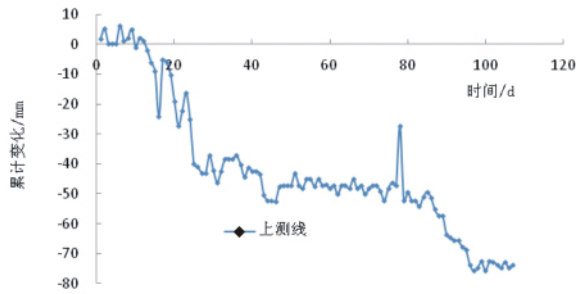


图 4 DK5+462 断面上测线收敛曲线

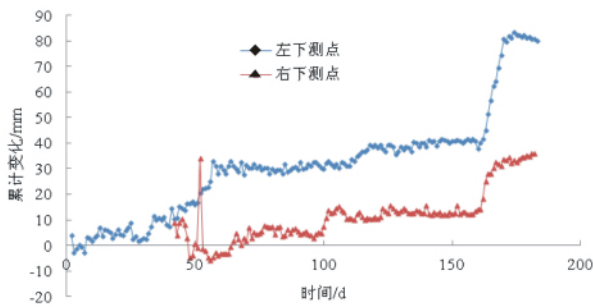


图 5 DK5+462 断面下测线收敛曲线

2) 拱顶下沉. 由图 6 监测断面拱顶下沉收敛曲线可得, 该监测断面的 3 个测点保持相同趋势的变化, 其中左测点拱顶沉降量最大, 中间测点拱顶沉降量次之, 右测点拱顶沉降量最小, 表明该监测断面承受偏压影响. 拱顶下沉趋势的变化为: 缓慢减小阶段→快速增长阶段→快速减小阶段→趋稳阶段→快减趋稳阶段. 其中左测点 48 mm、中间测点 31 mm、右测点 27 mm. 以中间测点为例, 曲线在前 20 天有减有增, 20 到 60 天快速减小趋于稳定,

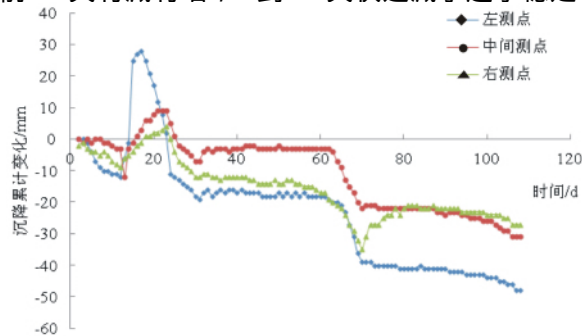


图 6 DK5+462 断面拱顶下沉收敛曲线

60 天后的 10 天左右的时间里快速减小然后趋于稳定, 其前 70 天的沉降量为 22 mm, 占最终沉降量的 71%.

4 围岩变形曲线的回归分析

对变形监测数据采用多项式函数进行回归分析, 回归方程式为^[5-6]

$$y = at^5 + bt^4 + ct^3 + dt^2 + et + f.$$

其中 t 为时间; y 为 t 时刻的沉降量或收敛值; a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 分别为回归系数. 将变形监测数据 (有个别大幅度跳跃点时可忽略) 导入 Excel, 通过电子表格对数据分散点的趋势进行回归分析, 从而可得符合数据变化趋势的回归方程及回归系数. 分别对回归方程式求一阶导数和二阶导数, 从而可以得到曲线在任意时刻的变形速率为

$$dy/dt = 5at^4 + 4bt^3 + 3ct^2 + 2dt + e.$$

变形加速率为

$$d^2y/dt^2 = 20at^3 + 12bt^2 + 6ct + 2d.$$

由表 1 可得知, 当施工时间为 75 天时, DK4+931 监测断面右测点通过回归方程计算可得理论拱顶沉降量为 365.038 mm, 实际监测隧道的沉降量为 354 mm, 预计沉降量最终可以达到 381.38 mm. 实际隧道监测的拱顶沉降量经计算占总体拱顶沉降量的 92.8%; 当施工时间为 30 天时, DK4+931 监测断面下测线通过回归方程计算可得理论周边水平收敛的值为 -86.50 mm, 实际监测隧道的收敛值为 -81.074 mm, 预计收敛值最终可以达到 -86.50 mm, 实际隧道监测的收敛值经计算占总体收敛值的 91%, 此时围岩趋于稳定, 可以开始施作二次衬砌.

同理由表 1 可得知, 当施工时间为 70 天时, DK5+462 监测断面中测点通过回归方程计算可得理论拱顶沉降量为 30.758 mm, 现场监测隧道的沉降量为 24 mm, 预计沉降量最终可以达到 27.084 mm. 实际隧道监测的拱顶沉降量经计算占总体拱顶沉降量的 90%; 当施工时间为 75 天时, DK5+462 监测断面上测线通过回归方程计算可得理论周边水平收敛的值为 -66.714 mm, 实际监测隧道的收敛值为 -68.641 mm, 预计收敛值最终可以达到 -86.763 mm, 实际隧道监测的收敛值经计算占总体

表 2 监测断面围岩变形回归分析结果

测线名称	开挖方法	回归方程	相关系数 R	历时 /d	预计最终位移量 /mm	实测最终位移量 /mm
DK4+931 下测线水平收敛	CRD	$y = -0.005t^3 + 0.4662t^2 - 12.627t + 7.7321$	0.830	40	-86.50	-89.55
DK4+931 拱顶下沉(右)	CRD	$y = 0.0021t^3 - 0.3862t^2 + 13.528t - 67.14$	0.948	100	-381.38	-398
DK5+462 上测线水平收敛	CD 法、双侧壁 导坑法相结合	$y = -0.0003t^3 + 0.0475t^2 - 3.0316t + 20.031$	0.922	90	-86.763	-73.637
DK5+462 拱顶下沉(中)	CD 法、双侧壁 导坑法相结合	$y = 0.0003t^3 - 0.0402t^2 + 1.0319t - 8.5882$	0.914	80	-27.084	-31

收敛值的 93% ,此时围岩趋于稳定 ,可以开始进行二次衬砌施作.

通过上述分析可得知 ,CD 法、双侧壁导坑法相结合的施工方法开挖围岩所需的趋稳时间比 CRD 法开挖时较少 ,与通过实际监测的位移变化曲线所得到的结论是相符的.

5 结语

桃树坪隧道不同工法开挖下的变形监测与稳定性研究表明 ,CD 法、双侧壁导坑法相结合的施工方法比 CRD 开挖方法保持围岩稳定性较好 ,故建议采用较为合理的 CD 法、双侧壁导坑法相结合的施工方法.

参考文献:

- [1] 李晓红. 隧道新奥法及其量测技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 徐爱民. 大湾隧道洞口段施工及监控量测信息反馈 [J]. 工程地球物理学报, 2005, 2(2): 101-103.
- [3] 倪彬, 徐国元. 软岩隧道围岩变形分析及处理 [J]. 山西建筑, 2007, 33(1): 93-94.
- [4] 夏才初, 李永盛. 地下工程测试理论与监测技术 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [5] 王建宇. 隧道工程监测和信息化设计原理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990.
- [6] 刘山洪, 刘毅, 李放. 石龙山隧道新奥法施工围岩变形监测研究 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(1): 44-48, 156.

Deformation Monitoring and Analysis of Soft Rock Tunnel

ZHANG Tian-qi¹, SHI Zhan-bin²

(1. College of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Taking Lanyu railway as an example, we analyze stability deformation of surrounding rock in Tao Shu Ping tunnel which was dug by using complex method that combines CRD method, CD method and double-side-drift method together, and make regression analysis on deformation of surrounding rock to optimize the excavation method and guide construction.

Key words: softrock tunnel; monitoring measurement; regression analysis; stability

(责任编辑: 曾贤灏)