

文章编号:1005-0523(2014)04-0006-05

浅埋大断面黄土隧道围岩变形时空效应分析

李志清¹, 丁春林¹, 李双美², 舒进³(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 中铁二十五局集团第五工程有限公司, 青岛 266000;
3. 铁道部第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300142)

摘要:以大西客运专线某隧道浅埋段为工程背景, 针对三七微台阶法施工条件下的围岩变形特性进行了现场测试分析。实测结果表明:隧道在开挖的过程中其围岩变形受时间、空间效应的影响, 整个时程曲线呈“厂”型, 增长历时约25天;隧道纵向开挖面的影响距离大约为2倍的洞径;监测断面距离开挖面1倍的洞径时, 拱顶下沉释放率均达到了70%以上, 仰拱开挖时, 拱顶下沉释放率增加了约30%;二次衬砌的合理施作时间约为隧道开挖后在初期支护施作16~19天后。该结果对深入了解类似隧道围岩变形规律, 确定合适的支护时机很有意义。

关键词:大断面黄土隧道;浅埋;监控量测;围岩变形;时空效应

中图分类号:U25

文献标志码:A

某隧道由于其浅埋、断面大及黄土特殊的工程性质, 是大西客运专线的重点控制工程, 隧道开挖后易发生大变形和坍塌^[1], 围岩的稳定性控制形势极为严峻。围岩变形是隧道稳定性判定最直接的依据, 而目前对于浅埋大断面黄土隧道围岩变形时空效应的研究还远远滞后于工程实践, 扈世民等^[2]依托兰渝铁路大断面黄土隧道工程, 采用三维数值模拟结合现场试验分析了台阶法施工中围岩深部变形特征;陈建勋等^[3]通过现场测试分析了单洞两车道分离式黄土隧道的施工变形特性, 并对测试结果进行了回归分析;乔春生等^[4]通过土工试验、现场监测和三维有限元模拟等方法, 对饱水黄土隧道的变形规律进行了系统研究, 试验数据可为今后修建类似隧道积累经验;毕长武等^[5]在黄土隧道内开展了长期的变形监测, 得到了黄土隧道随时间变化的三个阶段, 并对施工和支护过程提出了针对性的建议;初厚永^[6]结合郑西铁路客运专线高桥大断面黄土隧道的监控量测工作, 详细介绍了监控量测极其数据的处理;李宁^[7]也对郑西客专黄土隧道围岩变形进行了分析, 得出一些有益的结论;吴永^[8]利用Midas/GTS有限元分析软件研究了黄土隧道开挖支护后的位移场, 并与现场监测数据进行了分析对比, 积累了宝贵经验;赵东平等^[9]统计分析了大断面黄土隧道初期支护变形量, 研究了大断面黄土隧道变形规律及预留变形量合理取值范围。

以上学者主要研究了在预留核心土法、台阶法、盖挖法、双侧壁导坑法等工法条件下黄土隧道的围岩变形特性, 而对于大断面浅埋黄土隧道采用三七微台阶法施工中围岩变形时空效应的研究甚少。因此, 研究浅埋大断面黄土隧道采用三七微台阶法施工中围岩变形时空效应对于指导同类隧道工程设计和施工具有重要意义。本文针对某隧道地质特性及围岩变形情况, 通过现场实测数据分析了浅埋大断面黄土隧道采用三七微台阶法施工过程中的围岩变形时空效应。

1 工程概况

大西客运专线某隧道总长3 083 m, 隧道开挖面积为161.64 m², 全隧埋深为7~49 m, 隧道处于低山丘

收稿日期: 2014-05-16

作者简介:李志清(1988—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为岩土工程、隧道与地下工程等方面;丁春林(1967—), 男, 副教授, 研究方向为隧道与地下工程。

陵区,黄土沟壑较发育。隧道洞身主要穿越地层为第四系上更新统坡洪积层(Q_3^{dl+pl})新黄土和中更新统洪积层(Q_2^{pl})老黄土。新黄土为黄褐色,坚硬~硬塑,颗粒均匀,具大孔隙,含薄层细圆砾土和钙质结核层,夹多层浅棕红色古土壤层;老黄土为浅棕红色,坚硬~硬塑,土体紧密,含钙质结核层和洪积碎石类土和砂土,覆土较薄,综合评定为V级黄土围岩^[10]。隧道轮廓为五心拱(含仰拱),其现场施工情况如图1所示。

2 现场实测内容及方法

隧道采用三台阶七步开挖法施工,隧道测试断面的选择充分考虑了隧道埋深、节理裂隙发育程度及施工情况等因素,本文选取浅埋段典型断面实测数据进行分析。隧道变形监控量测包括拱部沉降量测和净空收敛量测。其中隧道拱顶下沉采用精密水准仪和钢挂尺量测,洞周水平收敛采用收敛计量测。基点埋设在受施工扰动的范围以外的结构物上,测点布置如图2所示。



图1 隧道现场施工图

Fig. 1 Construction of tunnel

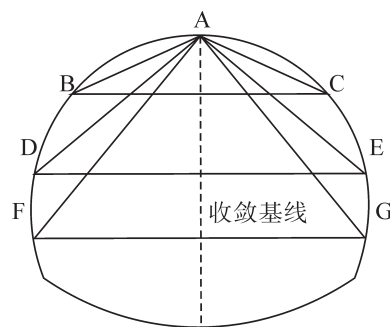


图2 拱顶及洞周测点布置示意图

Fig. 2 Monitoring points of vault and periphery

3 现场实测结果及分析

3.1 围岩变形与时间的变化规律

隧道洞内净空收敛变形监测断面数量较多,受篇幅限制,对监测断面不一一列举加以分析,在断面的选择上,选择距隧道洞口约180 m处较典型的3个监测断面的拱顶沉降及洞周收敛监测数据对围岩变形与时间的变化规律进行分析,拱顶沉降—时间曲线如图3所示,洞周收敛选取DK204+775断面监测数据进行分析,其洞周收敛—时间曲线如图4所示。

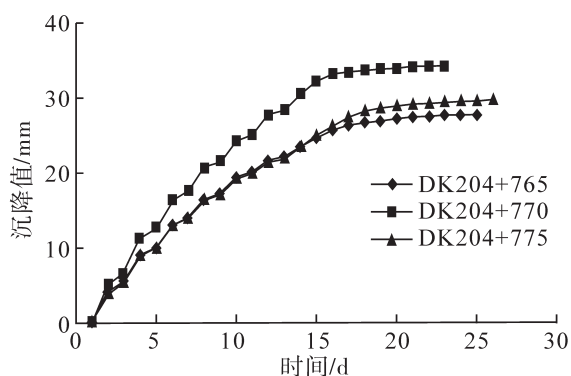


图3 拱顶下沉—时间曲线

Fig. 3 Vault sink—time curve

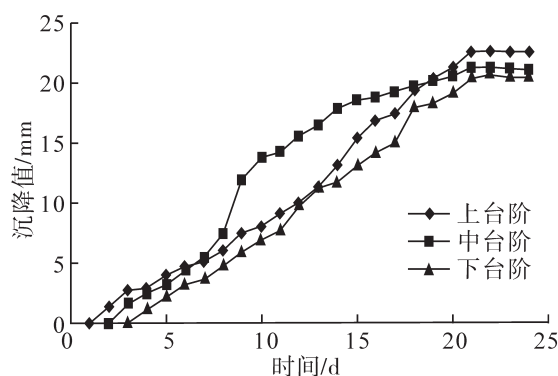


图4 DK204+775断面洞周收敛—时间曲线

Fig. 4 Periphery convergence—time curve at section DK204+775

由上图拱顶下沉及洞周收敛—时间曲线图分析可知:

1) 隧道拱顶下沉具有随着时间推移而逐渐增大的性质,其趋势为“快速增长——缓慢增长——基本稳定”,整个时程曲线呈“厂”型,整个增长曲线约历时25天,快速增长阶段一般持续5天,因此,这段时间每天监测两次,缓慢增长阶段一般持续6天,即随着开挖面的向前推进,隧道围岩变形开始趋于稳定,在此阶段

之后,隧道围岩变形基本趋于稳定,增长速率约为 $0.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,最终达到稳定,这一阶段持续时间最长,一般约为8~10天,这是由于仰拱的封闭,围岩内应力发生微小的变化,直到二次衬砌施作,黄土由于其自身的结构特性,在此阶段表现出了缓慢的流变特性;

2) 隧道采用三七微台阶法开挖,隧道拱顶最大下沉值控制在30 mm左右,其中DK204+765、DK204+770,DK204+775拱顶下沉值分别为27.7,34.2,29.7 mm,均符合我国隧道施工相关规范值,中台阶及下台阶的开挖导致拱顶下沉发生跳跃性的变化,且仰拱的封闭对于隧道的整体稳定起到了关键的作用,即仰拱的封闭使隧道受到了环形的支撑作用,围岩应力重分布趋于稳定;

3) 隧道拱顶下沉值大于洞周收敛值,但其增长趋势基本一致,上、中、下台阶收敛增长趋势也一致,经历快速增长,缓慢增长后趋于稳定,但其整个稳定过程较拱顶下沉慢,持续了约20天。中台阶收敛值最大,为22.5 mm,上台阶收敛值次之,为21.1 mm,下台阶收敛值最小,为20.5 mm,这是由于中台阶处于隧道跨度最大的位置,在隧道开挖之后,原岩应力受到较大的扰动,在隧道开挖跨度最大处,应力较为薄弱,产生了向洞内较大的收敛变形,此处应力释放较其他位置明显。

3.2 围岩变形与开挖面距离的变化规律

隧道开挖过程中,由于开挖面的约束效应,使开挖面附近的围岩应力不能瞬间全部释放,导致围岩位移不能立即全部释放,因此,开挖面附近的围岩变形将随着隧道纵向变化,也是开挖面的“空间效应”^[11,12]。浅埋大断面黄土隧道由于其黄土特殊的工程性质以及采用三七微台阶法开挖,因此,有必要对其开挖面的“空间效应”进行研究,由于隧道拱顶下沉与洞周收敛的变化趋势一致,本文选择拱顶下沉作为分析对象,得到拱顶下沉与距开挖面距离之间的关系,进而研究开挖面的“空间效应”(如表1,表2)。

表1 DK204+770断面拱顶下沉与开挖面距离关系

Tab. 1 Vault sink-distance at section DK204+770

距开挖面距离/m	拱顶下沉量/mm	拱顶下沉释放率/%	备注
1.2	0.00		开始量测
2.4	4.85	14.2	开挖上部核心土
3.6	6.45	18.9	开挖中台阶
5.4	11.10	32.5	开挖下台阶
7.2	12.50	36.5	开挖中部核心土
9.0	16.30	47.7	开挖下部核心土
18.0	25.05	73.2	开挖仰拱
30.0	33.15	96.9	仰拱封闭
44.4	34.20	99.7	二次衬砌浇筑完成
46.8	34.20	100	

表2 DK204+775断面拱顶下沉与开挖面距离关系

Tab. 2 Vault sink-distance at section DK204+775

距开挖面距离/m	拱顶下沉量/mm	拱顶下沉释放率/%	备注
2.0	0.00		开始量测
3.8	3.80	12.8	开挖中台阶
5.6	5.15	17.3	开挖下台阶
7.4	8.80	29.6	开挖中部核心土
9.2	9.95	33.5	开挖下部核心土
21.2	21.80	73.4	开挖仰拱
32.0	27.40	91.9	仰拱封闭
48.8	29.70	99.6	二次衬砌浇筑完成
53.6	29.70	100	

由上表拱顶下沉与开挖面距离关系分析可知:

1) 拱顶下沉与距开挖面距离之间的发展规律一致,整个增长过程分为3个阶段,第一阶段:当监测断面距离开挖面约30 m,即监测断面与开挖面的距离约为2倍的洞径,增长较快,表现出隧道拱顶下沉释放率较大;第二阶段:当监测断面距离开挖面大于30 m,即监测断面与开挖面的距离大于2倍的洞径,增长平缓,隧道拱顶下沉释放率较小;第三阶段:当监测断面距离开挖面大于45 m,即监测断面与开挖面的距离大于3倍,拱顶下沉已基本停滞发展,说明开挖面形成了有效的拱效应。因此,在浅埋大断面黄土隧道中,开挖面的影响距离大约为2倍的洞径,且整个监测的重点应在开挖的初期,在施工开挖中应将初期监测作为重点,及时埋设测点,保证数据的准确性;

2) 三七微台阶法开挖的浅埋大断面黄土隧道,监测断面距离开挖面1倍的洞径时,拱顶下沉释放率均达到了70%以上,断面DK204+770和DK204+775分别为73.2%和73.4%。仰拱开挖时,拱顶下沉释放率增加了约30%,其增长率较其他均大,说明,在仰拱开挖之前,围岩保持了短期的应力重分布,仰拱的开挖对围岩的扰动较大,应重点加强仰拱开始时的监测及支护,及时封闭仰拱。

3.3 二次衬砌施作时机的确定

根据围岩拱顶下沉和洞周收敛的稳定时间,围岩变形稳定时间均值为约为16天,洞周收敛稳定时间约为19天,围岩拱顶下沉稳定时间较洞周收敛稳定时间早3天左右。根据规范主要变形速率和总位移量比率^[13],结合本文浅埋大断面黄土隧道围岩稳定时间,得到二次衬砌合理地施作施加:隧道开挖后在初期支护施作16~19天后(也即拱顶下沉速率 $\leq 0.15 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)即可施作二次衬砌,也即距离开挖面距离约48 m。

4 结论

本文结合大戏客专某浅埋黄土隧道采用三七微台阶施工过程,从现场监控量测资料入手,对浅埋大断面黄土隧道的围岩变形时空效应进行了一定的分析和研究,得出以下几点结论。

1) 隧道在开挖的过程中其围岩变形受时间、空间效应的影响。在时间效应上,隧道拱顶下沉和洞周收敛的变化规律基本一致,经历了“快速增长——缓慢增长——基本稳定”的过程,整个时程曲线呈“厂”型,整个增长曲线约历时25天。

2) 拱顶下沉与距开挖面距离之间的关系曲线增长分为三个阶段,第一阶段:监测断面与开挖面的距离约为2倍的洞径,增长较快;第二阶段:监测断面与开挖面的距离大于2倍的洞径,增长平缓;第三阶段:监测断面与开挖面的距离大于3倍,拱顶下沉已基本停滞发展,开挖面形成了有效的拱效应。因此,在浅埋大断面黄土隧道中,开挖面的影响距离大约为2倍的洞径。

3) 三七微台阶法开挖的浅埋大断面黄土隧道,监测断面距离开挖面1倍的洞径时,拱顶下沉释放率均达到了70%以上,仰拱开挖时,拱顶下沉释放率增加了约30%,其增长率较其他均大,说明,在仰拱开挖之前,围岩保持了短期的应力重分布,仰拱的开挖对围岩的扰动较大,应重点加强仰拱开始时的监测及支护,及时封闭仰拱。

4) 二次衬砌的合理施作时间约为隧道开挖后在初期支护施作16~19天后。

参考文献:

- [1] 霍润科,王艳波,宋战平,等.黄土隧道初期支护性能分析[J].岩土力学,2009,30(S2).
- [2] 扈世民,张顶立,郭婷,等.大断面黄土隧道变形特征分析[J].铁道学报,2012,34(8): 117-122.
- [3] 陈建勋,王梦恕,轩俊杰,等.两车道公路黄土隧道变形规律[J].交通运输工程学报,2012,12(3): 9-18.
- [4] 乔春生,管振祥,滕文彦.饱水黄土隧道变形规律研究[J].岩土力学,2003,24(S2): 225-230.

- [5] 毕长武, 成子桥, 杨玲. 黄土隧道围岩变形规律分析 [J]. 水利水电施工, 2012(6):62-64.
- [6] 初厚永. 大断面黄土隧道围岩变形监控量测技术 [J]. 现代交通技术, 2009(1):68-72.
- [7] 李宁. 郑西客运专线大断面黄土隧道围岩变形特征 [J]. 铁道标准设计, 2007(S1):19-21.
- [8] 吴永, 魏伟, 王国强. 阳曲1号黄土隧道围岩变形规律研究 [J]. 铁道标准设计, 2012(4):113-115+119.
- [9] 赵东平, 喻渝, 王明年, 等. 大断面黄土隧道变形规律及预留变形量研究 [J]. 现代隧道技术, 2009(6):64-69.
- [10] 中铁第三勘察设计院集团有限公司. 新建大同至西安铁路工程忻州隧道设计说明 [R]. 天津: 中铁第三勘察设计院集团有限公司, 2010.
- [11] 李晓红. 隧道新奥法及其测量技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [12] 于学馥, 等. 地下工程围岩稳定分析 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1983:298-299.
- [13] 中华人民共和国行业标准编写组. TB 10204-2002 铁路隧道施工规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.

Space-time Effect of Surrounding Rock Deformation in Shallow-depth Large Section Loess Tunnels

Li Zhiqing¹, Ding Chunlin¹, Li Shuangmei², Shu Jin³

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2.The Fifth Construction of Engineering Company, China Railway 25th Bureau Group, Co., Ltd., Qingdao 266000, China;

3.The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: Taking shallow section of the Xinzhou tunnel in Datong-Xi'an passenger line as the engineering background, this study uses site monitoring to measure space-time effect of surrounding rock deformation in three micro bench seven step excavation method. Results show: deformation of surrounding rock is affected by space-time under excavation; the time curve is in inverted "L" shape and may last about 25 days; the impact distance of excavation face is about twice of the tunnel diameter longitudinally; when the distance between monitoring sections and excavation face is equal to the tunnel diameter, release rate of the vault crown settlement reaches more than 70%; when the invert is excavated, release rate of the vault crown settlement increases about 30%; the reasonable time of secondary lining construction is 16-19 days later after initial support construction. It is significant for comprehending the surrounding rock deformation in details to determine the reasonable support time.

Key words: large section loess tunnel; shallow depth; site monitoring; deformation of surrounding rock; space-time effect