

大断面黄土隧道加宽过渡段变形特性三维数值分析

孙志杰

(山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室 山西 太原 030006)

摘要: 针对三车道公路隧道加宽段空间跨度大,加宽过渡段设计难度大的难题。以某三车道黄土隧道为依托,采用三维有限元仿真的方法,对加宽过渡段的支护结构和围岩的变形规律进行了研究。研究结果表明:加宽过渡段处初支结构的变形呈现不对称性。距过渡段10 m范围以外加宽段围岩变形趋于对称。加宽段施工对正常段的围岩变形影响较小,对加宽段围岩的影响范围约为10 m。故在三车道公路隧道的加宽段施工过程中,除加强支护外,距离过渡断面的前10 m加宽段施工应提高监控量测频率。

关键词: 大断面;黄土隧道;加宽段;变形;三维数值

中图分类号: U451 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)03-0018-05

0 引言

在黄土隧道中,由于土体强度低,施工中往往会发生侧墙变形、拱顶下沉等现象,如果施工工序不当,还会导致既有衬砌的开裂。而对于长大隧道,每隔一定距离会增设加宽车道,车道的加宽直接导致隧道跨度的加大和开挖面积的增加。而三车道公路隧道,其空间跨度更大,加宽段设计难度更大,施工风险更高。对于加宽段处的设计,由于受力关系复杂,分析比较繁琐,国内的设计主要是以工程类比为主。

霍润科^[1]针对两车道黄土隧道加宽段初期结构表面出现的裂缝,通过数值分析和监控量测的手段对裂缝出现的原因进行了分析。闫振东^[2]对天恒山隧道Ⅵ级围岩加宽带施工进行了仿真模拟,分析了加宽段的开挖变形行为和衬砌应力、围岩位移和应力特征等。除此之外,目前对隧道洞室内交叉段研究较多,采用数值分析^[3-7]、现场试验^[3,8-9]等方法对交叉口段的受力、变形、稳定性进行了有益探索。

可见,针对隧道加宽段开展的研究的较少,对大断面黄土隧道加宽段的研究更少。为此,以某高速公路中三车道黄土隧道加宽过渡段为研究对象,重点对加宽段处初支结构和围岩的变形规律进行分析。

1 工程概况

依托工程平阳高速公路阳曲1[#]隧道,该隧道属于黄土三车道单洞隧道,隧道主要布置在黄土梁、塬边缘,沿线以风积地层为主,隧道围岩以第四系中更新统离石组、上更新统马兰组黄土为主。沿线黄土“V”字形冲沟发育,垂直节理发育。沿线不良地质现象主要有湿陷性黄土、黄土陷穴、坡面表层溜坍及沟岸坍塌。

隧道加宽段超前支护采用Φ42超前小导管注浆支护,环向间距40 cm,长度5.2 m。初期支护采用I22b型钢拱架,纵向间距50 cm,纵向Φ22连接钢筋环向间距1 m。Φ25早强砂浆锚杆每根长4.5 m,50 cm×80 cm梅花形布置。挂Φ8双层钢筋网,网格间距20 cm×20 cm。喷C25早强混凝土31 cm,在分段型钢拱架拱脚设置4.5 m/根的锁脚锚杆,每榀施作12根。

隧道加宽段开挖方式采用双侧壁导坑法,先进行超前支护,开挖左侧导洞,支护左侧导洞。开挖右侧

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.03.04

收稿日期: 2013-04-02

作者简介: 孙志杰 男 1983年出生 工程师

导洞,支护右侧导洞。开挖上半断面,支护上半断面。开挖下半断面,支护下半断面。拆除侧隔壁墙。施工时左右导洞距离控制在3~5 m,右导洞和上半断面距离控制在3~5 m,上下半断面距离控制在3~5 m。

2 数值模拟

为分析加宽段支护结构的受力和变形特性,采用有限元软件进行三维动态模拟。为研究加宽段开挖对主洞初支结构产生的影响,分别在正常段和加宽段分界面、在距分界面2 m、6 m、10 m处正常段和加宽段两侧设置监测断面,对初支结构的拱顶下沉和拱脚收敛进行施工过程监测。监测断面布置如图1所示。

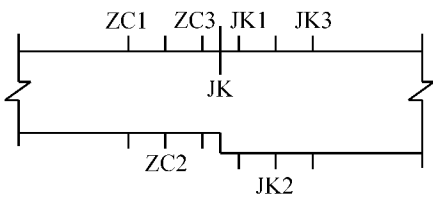
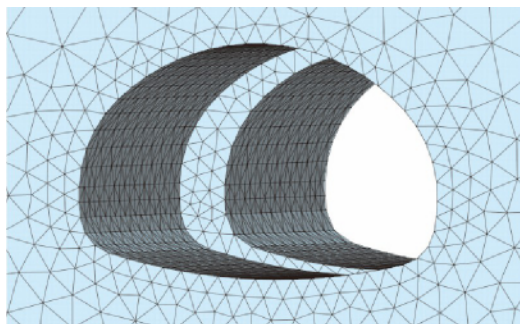


图1 监测断面布置图

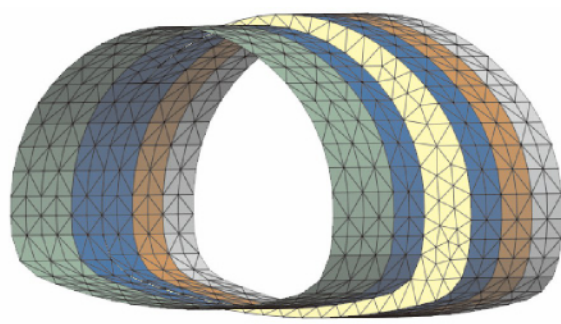
2.1 模型的建立

模型尺寸:主洞左右边界距离为大于3倍开挖宽度,主洞下边界为大于3倍开挖高度,上表面取至地表。主洞开挖长度选为60 m。 Y 轴正向为开挖方向。 $Y=0\sim 30$ m为正常段, $Y=30\sim 60$ m为加宽段。

施工过程采用先开挖正常段,正常段支护施作完毕后加宽段开挖一个施工步,支护正常段和加宽段分界面,再进行加宽段的开挖和支护。模型采用“激活”、“钝化”相应单元来模拟围岩的开挖和支护结构的施加。正常段和加宽段过渡段局部模型如图2所示。



(a)正常段处



(b)加宽段处

图2 正常段和加宽段过渡段局部模型

2.2 模型计算参数

计算模型围岩采用实体单元,主洞和横洞的初期支护喷射混凝土采用板单元,锚杆采用植入式桁架单元,岩体本构模型为莫尔-库仑模型。材料的计算参数见表1。其中围岩的计算参数通过现场所取的原状土三轴试验获得,支护结构的计算参数参照山西交科公路勘察设计院阳曲隧道施工图。

表1 模型材料计算参数

材料类型	容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹模/GPa	泊松比	C/MPa	$\varphi/(^{\circ})$	板厚度/m
V级围岩	21.2	0.15	0.3	0.092	35.24	—
锚杆	78	210	0.2	—	—	—
正常段初支	23.8	28.9	0.2	—	—	0.29
加宽段初支	24	29	0.2	—	—	0.31

3 结果及分析

为分析横洞施工对主洞结构的影响,选取距离交叉点不同距离的断面,对各断面关键节点的位移进行施工过程监测。

3.1 支护结构变形分析

图3为加宽段支护2 m时, $Y=28\sim 30$ m正常段处和 $Y=30\sim 32$ m加宽段处支护结构的变形图。图中数值为竖直方向的位移极值。

从图3中可看出与正常段处初支结构的变形相比,加宽段处初支结构的变形呈现明显的不对称性。

具体为未加宽一侧的变形大于加宽一侧的变形。且仰拱范围的不对称性大于拱部范围。正常段拱顶下沉值为 12.7 mm。加宽段拱部下沉最大值位于拱顶左侧,这是由于在加宽段和正常段交界面大部分位于隧道中线右侧(见图 2),导致初支结构左侧的变形大于右侧。加宽段拱部下沉最大值为 11.6 mm。加宽段面拱部下沉极值较正常段面小是由于加宽断面距掌子面较正常断面近,围岩释放较正常断面小。



图 3 支护结构的变形图

3.2 围岩变形分析

分别对过渡断面($Y = 30$ m)和距过渡断面不同距离断面的拱顶下沉和拱脚收敛进行施工过程监测(见图 1)。图 4 中 JK 代表过渡断面,ZC1、ZC2、ZC3 分别距过渡断面 2 m、6 m、10 m 的正常断面,JK1、JK2、JK3 分别距过渡断面 2 m、6 m、10 m 的加宽断面。施工步 17 为加宽断面第一个开挖步。

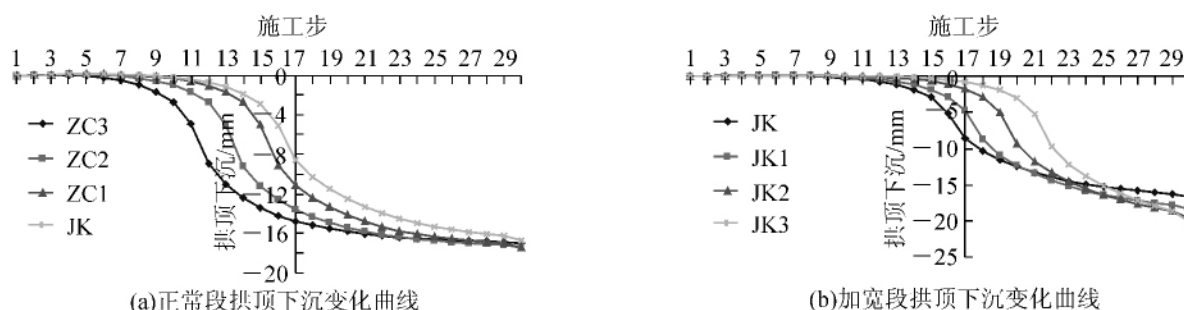


图 4 不同监测断面支护结构拱顶下沉随施工步的变化曲线

从图 4(a)中可以看出,距过渡断面 JK 不同距离的三个正常断面 ZC1、ZC2、ZC3 的最终拱顶下沉值和过渡断面几乎相同,约为 17 mm。且三条曲线的变化规律和 JK 曲线相似。在加宽断面第一个开挖步时,ZC3 断面拱顶下沉完成了总下沉量的 87%,ZC2 为 78%,ZC1 为 64%,JK 为 51%。这是由于随着掌子面的推进,围岩应力逐步释放。从图 4(b)中可以看出,距过渡断面 JK 不同距离的三个加宽断面 JK1、JK2、JK3 的最终拱顶下沉值都比过渡断面 JK 处大,并且随着距过渡断面的距离的增加而增加,具体为 JK1 为 18.5 mm,JK2 为 19.6 mm,JK3 为 20.2 mm,但增加幅度逐渐减小。当加宽段距过渡断面 10 m 时,拱顶下沉值几乎不再随距离的增加而增加。

从图 5(a)中可以看出,距过渡断面 JK 不同距离的三个正常断面 ZC1、ZC2、ZC3 的最终拱脚收敛值几乎相同,约为 16 mm。较过渡断面稍大。这是由于过渡段面施作的初期支护抑制了围岩的水平收敛。三条曲线的变化规律和 JK 曲线相似。在加宽断面第一个开挖步时,ZC3 断面水平收敛完成了总收敛量的 85%,ZC2 为 69%,ZC1 为 43%,JK 为 27%。对比图 4(a)和图 5(a),可以看出,与水平收敛相比,围岩的水平收敛速率稍小于围岩拱顶的下沉速率。从图 5(b)中可以看出,JK1 断面最终拱脚收敛值和 JK 断面相同,约为 15 mm。JK2、JK3 的最终拱顶下沉值都比过渡断面 JK 处大,随着距离增加而增加,具体为 JK2 为 17.3 mm,JK3 为 17.8 mm。当加宽段距过渡断面 10 m 时,水平收敛值几乎不再随距离的增加而增加。

表 2 为加宽段不同断面处左、右拱脚的水平变形值。

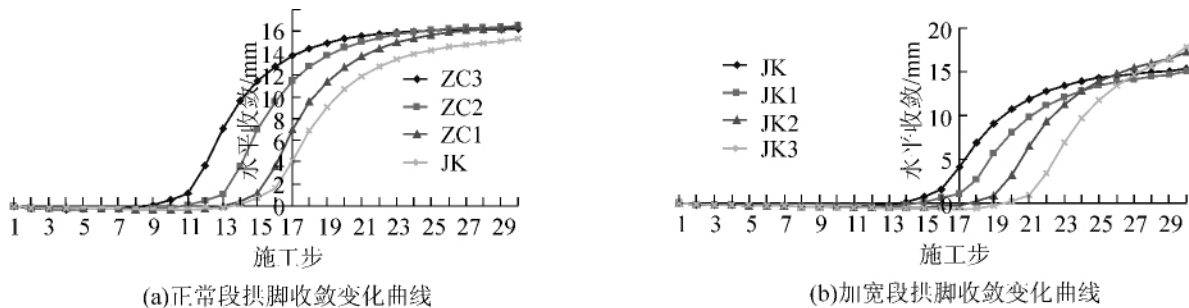


图5 不同监测断面支护结构拱脚收敛随施工步的变化曲线

表2 加宽段不同断面处左、右拱脚的水平变形值 mm

断面	左拱脚	右拱脚	差值
JK	9	6.5	2.5
JK1	8.6	6.6	2
JK2	9.1	8.6	0.5

结合表2和图3,可看出,围岩结构的不对称变形趋势随断面距离过渡断面距离的增大而逐步减小,当距离达到10 m时,变形基本恢复对称趋势。

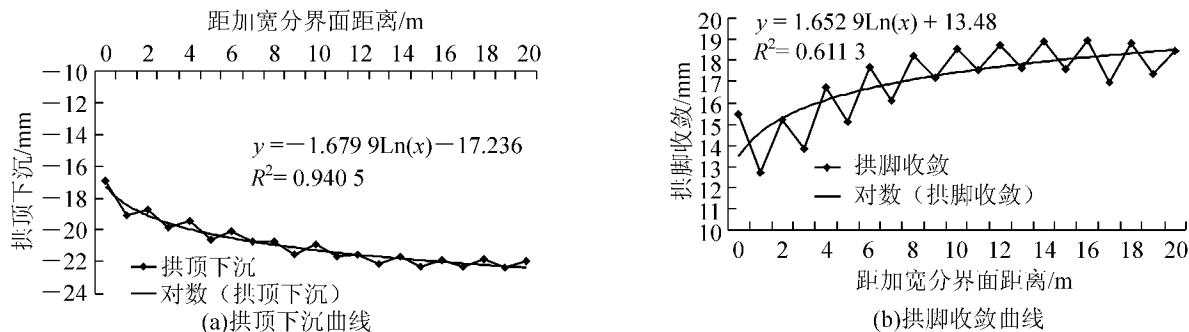


图6 加宽段围岩沿隧道纵向的变形曲线

从图6(a)中可看出,距过渡断面1 m处,拱顶下沉值从16.9 mm增加至19.1 mm,增加了2.2 mm。距过渡断面5 m处,拱顶下沉值从19.5 mm增加至20.6 mm,增加了1.1 mm。距过渡断面10 m处,拱顶下沉值从21.5 mm减小至20.9 mm,减小了0.6 mm。距过渡断面大于10 m拱顶下沉的变化量均小于0.8 mm,拱顶竖向变形趋于稳定。变形曲线服从对数分布,相关性较好。

从图6(b)中可看出,距过渡断面1 m处,拱脚收敛值从15.5 mm减小至12.7 mm,减小了2.8 mm。距过渡断面5 m处,拱脚收敛值从16.7 mm减小至15.1 mm,减小了1.6 mm。距过渡断面10 m处,拱脚收敛值从18.6 mm减小至17.2 mm,减小了1.4 mm。距过渡断面大于10 m拱顶下沉的变化量均小于1.5 mm,拱脚水平变形趋于稳定。变形曲线服从对数分布,相关系数0.6。

4 结论

通过三车道黄土隧道的有限元模型的施工过程模拟,综合分析了加宽段施工对正常段和加宽段的支护结构和围岩变形产生的影响,得出以下结论:

(1) 加宽过渡段处初支结构的变形呈现明显的不对称性。具体为未加宽一侧的变形大于加宽一侧的变形。且仰拱范围的不对称性大于拱部范围。距过渡段10 m范围以外加宽段围岩变形趋于对称。

(2) 加宽段施工对正常段的围岩变形影响较小,对加宽段围岩的影响范围约为10 m。故在三车道公路隧道的加宽段施工过程中,除加强支护外,距离过渡断面的前10 m加宽段施工应提高监控量测频率。

参 考 文 献

[1] 霍润科,黄沛,于振振,等.黄土隧道加宽段初期支护的安全性分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010,42

- (6): 768-772.
- [2] 闫振东. 天恒山隧道 VI 级围岩加宽洞段施工安全性探讨 [J]. 应用技术 2012, 218: 84-87.
- [3] 朱永全, 冯卫星, 陈豪雄. 北京地铁西单车站 2[#] 施工横通道交叉点部位结构有限元分析 [J]. 石家庄铁道学院学报, 1993, 6(3): 39-43.
- [4] 史彦文, 曹校勇, 韩常领. 大断面公路隧道主洞与车行横洞交叉口数值模拟分析 [J]. 中外公路 2009, 29(4): 405-409.
- [5] 张志强, 苏江川, 姜元俊. 马王槽主隧道与横通道交叉部施工受力特征数值模拟分析 [J]. 公路交通科技 2007, 24(1): 109-113.
- [6] 孙志杰, 董立山. 车行横洞施工对隧道主洞变形的影响 [J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版 2012, 25(2): 32-36.
- [7] 刘山洪, 陈寅春, 李刚. 车行横洞与隧道主洞交叉段局部失稳数值分析 [J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版 2011, 30(2): 217-220.
- [8] 罗彦斌, 陈建勋, 王梦恕. 隧道斜交横通道施工对主隧道衬砌结构的影响研究 [J]. 岩石力学与工程学报 2010, 29(增 2): 3792-3798.
- [9] 何志俊. 监控量测在公路黄土隧道洞口段的应用 [J]. 山西交通科技 2012, 216(3): 59-60.

Three-dimensional Numerical Analysis of Widened Location's Deformation Properties of Large Section Loess Tunnel

Sun Zhijie

(Key Lab of Highway Construction & Maintenance Technology in Loess Region,
Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: For the problem of three-lane highway tunnel widened location's large span and difficulty in its design, a three-lane loess highway tunnel is taken as an example. The 3D finite element simulation is adopted to study the deformation regularity of surrounding rock around the widened location. The research results are as follows: The deformation of surrounding rock around the widened location is unsymmetrical. The deformation of surrounding rock beyond 10 m from the widened boundary tends to be symmetrical. The influence of widened location construction on the surrounding rock deformation of regular location is small. The range of influence on the widened location is about 10 m. Besides enforcing the supporting structure, the monitoring frequency of surrounding rock deformation should be increased for the widened location construction within 10 m of the widened section in the construction of three-lane highway tunnel.

Key words: large section; loess tunnel; widened location; deformation; three-dimensional numerical

(责任编辑 车轩玉)