

车行横洞施工对隧道主洞变形的影响

孙志杰, 董立山

(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: 针对隧道车行横洞施工对主洞结构产生影响,以运城-灵宝高速公路中条山隧道工程为依托,采用现场试验和三维有限元仿真的方法,对车行横洞施工阶段主洞的变形规律进行了研究。研究表明:车行横洞施工对主洞的影响,在时间上主要表现在交叉口初支拆除和横洞的第 1 个开挖步,随着横洞开挖深度的增加,主洞结构的变形逐步趋于稳定;车行横洞施工对隧道主洞围岩变形影响主要表现为主洞拱顶下沉量增加和开挖侧拱脚水平位移减小,主洞未开挖侧拱脚水平位移影响不大。

关键词: 车行横洞; 试验; 三维有限元; 变形

中图分类号: U455 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)02-0032-05

0 引言

为确保分离式双洞长大隧道在发生交通事故和火灾时,能及时将人员和车辆疏散,一般在长大隧道中要设置横通道,车行横通道的设置间距为最大不得超过 1 000 m,人行通道的设置间距为最大不得超过 500 m^[1]。可见横通道在长大隧道运营中的重要作用。目前对隧道洞室内交叉段三维受力分析主要是通过数值分析^[2-4]。刘山洪等^[5]采用数值方法对聚云山隧道主洞和横洞交叉口段稳定性进行了分析,得出地应力和结构应力集中是导致交叉口失稳的主要原因。罗彦斌等^[6]对田恒山隧道交叉口段进行了现场试验。此外,马栋等^[7]对隧道交叉口段的施工也进行了有益探索。但是,车行横洞施工对主洞结构变形的影响目前研究的较少。因此,以中条山隧道为依托,采用三维数值模拟和现场试验的方法,研究隧道车行横洞施工对主洞结构变形的影响。

1 工程概况及现场试验

1.1 工程概况

依托工程运城-灵宝高速公路中条山隧道为上下行分离式隧道,上行线长为 9 671 m,下行线长为 9 670.942 m。隧道最大埋深 681 m,属深埋特长公路隧道。

全洞共设置车行横洞 12 处,人行横洞 16 处。试验段选取车行横洞与主洞交叉点桩号为 YK13+945。

研究段主要由下古生界寒武系下统馒头毛庄组、中统徐庄组下半段组成;馒头毛庄组主要为泥灰岩、页岩、石英砂岩、灰岩、泥岩互层状组成,徐庄组为泥质、砂质页岩组成;岩层产状 $160^{\circ} \sim 200^{\circ} \angle 18^{\circ} \sim 23^{\circ}$ 。此段主要由软质、硬质岩互层状组成。

1.2 现场试验

为研究车行横洞开挖对主洞初支结构的受力产生的影响,在主洞的初支结构中埋设测试传感器进行监控量测。测在中条山隧道上行线车行通道两侧分别设置监测断面 YK13+950 和 YK13+930。量测的项目包括围岩拱顶下沉和净空收敛,量测断面布置如图 1 所示。

收稿日期: 2012-04-05

作者简介: 孙志杰 男 1983 年出生 工程师

基金项目: 山西省交通建设科技项目(10-2-43)

2 数值模拟

为分析横通道施工对主洞支护结构变形的影响,采用有限元软件进行三维动态模拟。

2.1 模型的建立

模型以主洞和横洞交叉点为模型中心点, Y 方向为主洞方向, X 方向为横洞方向。模型尺寸: 主洞左右边界距离为大于3倍开挖宽度, 取60 m, 主洞下边界为大于3倍开挖高度, 取30 m; 由于隧道属深埋隧道, 上边界取30 m并施加等效竖向荷载。主洞开挖长度选为60 m, 横洞开挖长度为30 m。主洞与横洞交叉口三维模型如图2所示。

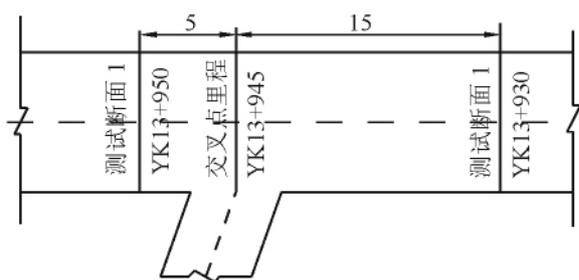


图1 量测断面布置图(单位:m)

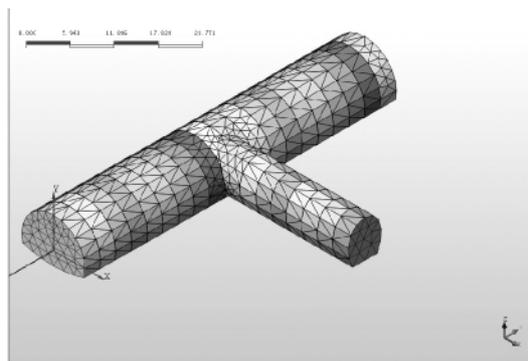


图2 主洞与横洞交叉口三维模型图

施工过程采用先开挖主洞, 主洞支护施作完毕后再开挖横洞, 施作横洞支护, 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, 施工步序如下: 施工步1为自重计算, 施工步2~21为主洞开挖, 施工步3~22为主洞支护。施工步23为主洞交叉口部位初支拆除。施工步24~31为横洞开挖, 施工步25~32为横洞支护。

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。

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	φ /($^{\circ}$)	板厚度/m
IV级围岩	22.64	1.4	0.33	0.64	37.5	—
锚杆	78	210	0.15	—	—	—
主洞初支	23	25	0.20	—	—	0.22
横洞初支	23	25	0.20	—	—	0.12

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和关键部位板单元的应力进行施工过程监测。

3.1 主洞围岩变形分析

图3和图4为横洞开挖前后主洞在交叉口断面的竖向和横向位移云图。

横洞主洞和横洞交叉口处的初期支护拆除和横通道的开挖支护过程中, 主洞围岩竖向变形大于水平变形。竖直方向的变形主要表现为拱顶下沉和仰拱隆起。水平方向的变形主要表现为边墙向隧道净空的收敛。

分别对距交叉断面不同距离的断面主洞拱顶竖向位移和左、右拱脚水平位移进行施工过程监测。图5中0~18分别为监测断面距交叉口断面的距离 L , 单位为m。主洞右侧为横洞开挖侧。

从图5(a)中可看出, 施工步从17~22, 主洞竖向位移趋于稳定, 第23施工步交叉口初支拆除, 位移突然增大, 交叉口断面处($L=0$)增幅为1 mm。横洞第一次开挖位移增幅再次增大, 交叉口断面处($L=$

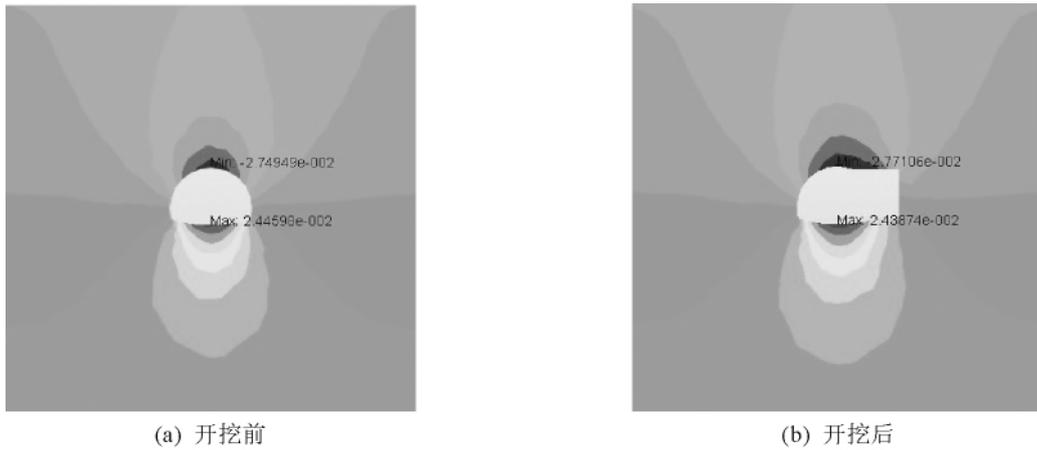


图 3 横洞开挖前后主洞在交叉口断面的竖向位移云图

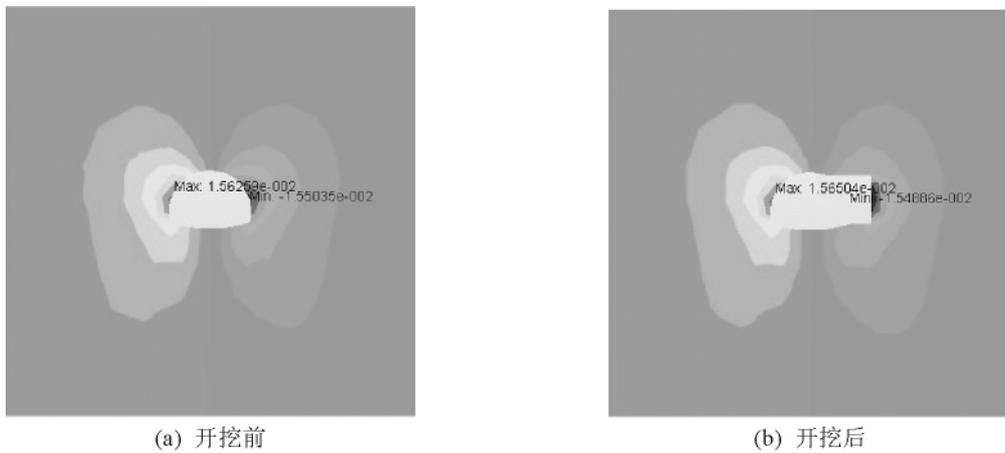


图 4 横洞开挖前后主洞在交叉口断面的横向位移云图

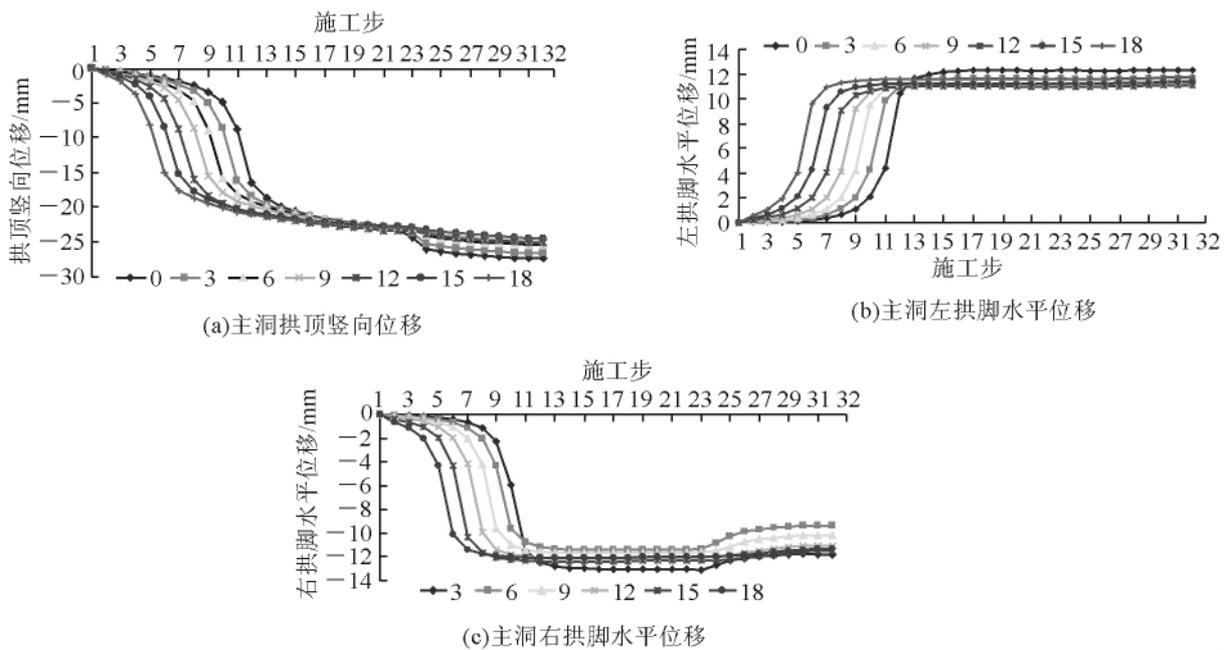


图 5 主洞监测点位移随施工步变化曲线

0) 增幅为 1.75 mm。之后位移增幅逐渐减小,并第二次趋于稳定。从图 5(b)中可看出,主洞左拱脚基本

不受横洞施工影响。从图5(c)中可看出,在横洞第一次开挖前,左右拱脚水平位移的变化规律基本相同。但之后右侧横洞开挖打破了右拱脚水平位移的稳定趋势,位移有减小趋势,且这种影响在距交叉口15 m范围内比较明显。

对比图5(a)、(b)、(c)可以看出,相比拱顶沉降和右侧拱脚,左拱脚水平位移受横洞施工的影响最小。从图5(b)中可看出,交叉口断面处($L=0$)横洞施工对主洞左拱脚水平位移影响最大,最大值发生在交叉口主洞初支拆除时,大小为12.36 mm。

横洞开挖导致主洞围岩发生不对称变形,拱顶竖向位移和横洞开挖侧拱脚水平位移在主洞交叉口初支拆除和横洞施工后打破原有稳定趋势,位移发生突变,到横洞开挖后期第二次趋于稳定,且拱顶竖向位移为增大,拱脚水平位移为减小。另一侧拱脚受横洞开挖影响不大。

3.2 试验结果

对主洞YK13+950、YK13+930断面的围岩拱顶下沉、拱脚收敛进行了现场量测,量测时段为2011年8月4日-2011年10月7日,主洞拱顶下沉时程曲线如图6所示,2011年9月19日开始开挖横洞。

从图6中可看出:车行横洞开挖前,监测断面拱顶受主洞掌子面施工影响产生沉降,初期沉降速率比较大,到8月27日以后,沉降趋于稳定。横洞开挖以后,沉降值由开始增加,并且距交叉口断面较近的YK13+950断面沉降值增加幅度大于YK13+930断面。

YK13+930断面拱顶沉降受横洞开挖影响很小,该断面距交叉口断面15 m,这于数值模拟结果横洞开挖影响范围1.5倍洞径一致。

边墙收敛时程曲线如图7所示。由图7可看出,主洞围岩的边墙部位在横洞施工前向隧道净空方向的收敛,且初期速率较慢到9月1日以后逐渐趋于稳定。横洞开挖之后,交叉口处的受力结构发生变化,围岩应力重新分布,边墙收敛也发生相应变化,横洞开挖初期,收敛增大,随着横洞掌子面距主洞距离的增加,收敛值也趋于稳定。

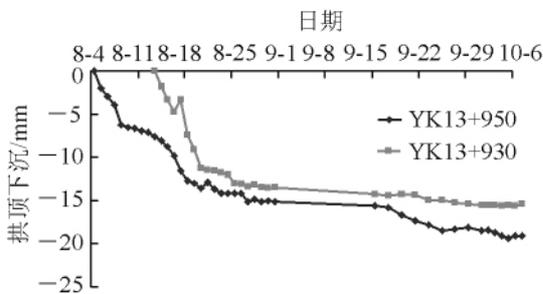


图6 主洞拱顶下沉时程曲线

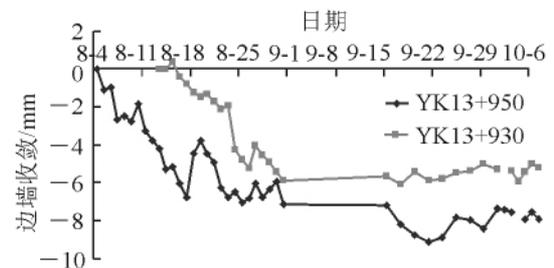


图7 主洞边墙收敛时程曲线

YK13+950处断面边墙收敛所受横洞开挖影响效果大于YK13+930处断面,这同拱顶下沉规律一致。

4 结论

通过依托工程现场试验和对实体工程的有限元模型的施工过程模拟,综合分析了横洞施工对主洞围岩变形产生的影响,得出以下结论:

(1) 横洞施工对主洞的影响,在时间上主要表现在主洞交叉口初支拆除和横洞的第1个开挖步时,随着横洞开挖深度的增加,主洞结构的变形趋于稳定。

(2) 横洞开挖导致主洞围岩发生不对称变形,拱顶竖向位移和横洞开挖侧拱脚水平位移在主洞交叉口初支拆除和横洞施工后打破原有稳定趋势,位移发生突变,到横洞开挖后期第二次趋于稳定,且拱顶竖向位移为增大,拱脚水平位移为减小。另一侧拱脚受横洞开挖影响不大。

(3) 车行横洞开挖导致交叉口附近一定范围内的主洞产生变形和应力集中,其影响范围在交叉口两侧约为1.5倍洞径。

参 考 文 献

- [1]中华人民共和国行业标准编写组. JTG D70—2004 公路隧道设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社 2004.
- [2]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.
- [3]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.
- [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]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.
- [6]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(S2): 3792-3798.
- [7]马栋, 黄立新. 铁路长大隧道斜井与正洞交叉段软弱层状围岩开挖支护施工方法浅析[J]. 世界隧道, 1999(3): 23-27.

Influence of Horizontal Adit Tunnel Construction on Main Tunnel Deformation

Sun Zhijie , Dong Lishan

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

Abstract: For the influence of horizontal adit construction on the main tunnel deformation ,the Zhongtiao-shan highway tunnel engineering of Yuncheng-Lingbao highway is taken as an example. The field test and 3D finite element simulation are adopted to study the deformation regularity of main tunnel during the horizontal adit construction stage. The research results are shown as follow: The significant effect of horizontal adit tunnel construction on main tunnel deformation mainly occurs when demolishing initial support in intersection and during the first excavation step. The deformation of main tunnel is stable with the increase of excavation depth of the horizontal adit. The effect of horizontal adit tunnel construction on main tunnel deformation is mainly the increasing of the vault deflection of the main tunnel and the decreasing of horizontal displacement of the arch springing in excavation side. The effect on the horizontal displacement of the arch springing in the other side is small.

Key words: horizontal adit; field test; 3D finite element; deformation

(责任编辑 刘宪福)