

文章编号: 1006 - 2106(2012) 11 - 0082 - 05

暗挖地铁隧道斜交下穿既有铁路的施工研究^{*}

蔺云宏^{**} 李冀伟 王 飞

(西安科技大学, 西安 710054)

摘要: 研究目的: 新建地铁隧道下穿既有铁路工程涉及到铁路运营安全和地铁施工安全, 受到工程界的重视。文中选取暗挖地铁隧道斜交下穿某既有铁路工程为研究对象, 该地铁隧道为双线、部分浅埋隧道, 隧道采用暗挖法施工难度和风险较大。通过 ansys 计算软件按初步设计的施工顺序和施工工艺进行三维数值计算, 分析隧道施工引起的地层沉降和塑性区分布。

研究结论: (1) 隧道施工引起地层内力重分布, 是地表产生沉降的原因, 但是列车荷载对地表沉降的影响更为显著; (2) 数值计算对施工措施的选择提供了重要依据; (3) 施工前对铁路路基注浆加固或在铁路路基两侧预埋袖阀管根据沉降情况进行注浆, 可对沉降变形进行控制。

关键词: 地铁隧道; 暗挖法; 下穿既有铁路; ANSYS; 三维数值分析

中图分类号: TU45 **文献标识码:** A

Study on Construction of Subsurface Excavated Metro Tunnel Under - passing Existing Railway

LIN Yun - hong , LI Yi - wei , WANG Fei

(Xi'an University of Science and Technology ,Xi'an ,Shanxi 710054 ,China)

Abstract: Research purposes: Construction of the metro tunnel under - passing the existing railway is related to the railway traffic safety and the metro construction safety. So the more attention is paid to such construction. In this paper , taking one subsurface excavated metro double track tunnel with shallow part as an example , the three - dimensional numerical calculation was made for the designed construction order and construction technology with the ANSYS calculation software , and the analysis was made for the stratum settlement and its distribution.

Research conclusions: The analysis showed the internal force in the stratum caused by the tunnel construction was redistributed and this was the reason for the ground settlement. However , the train load had bigger influence on the ground settlement. The numerical calculation could provide the important basis for selection of the construction measures. If the grouting was conducted to the railway subgrade before construction or the grouting was conducted through the sleeve valve bedded on both sides of the subgrade , the settlement deformation could be controlled.

Key words: metro tunnel; subsurface excavation method; under - passing existing railway; three - dimensional numerical analysis

1 研究背景

目前世界很多大城市把对地下空间的开发利用作为解决城市人口、环境、资源危机的重要措施, 实现城

市可持续发展的重要途径。随着城市规模的扩大和交通路网的不完善, 新建城市隧道下穿既有建(构) 筑物的工程实例越来越多。下穿施工产生的主要问题是新建隧道施工对既有结构的影响。大量的地铁隧道工

^{*} 收稿日期: 2012 - 05 - 14

^{**} 作者简介: 蔺云宏, 1980 年出生, 男, 在读硕士研究生。

程建设实践表明,城市隧道施工势必引起地层沉降和变形^[1-3],当地表沉降到一定程度时,将影响其上覆建(构)筑物的安全使用。严重时将会造成地表建筑物的不均匀沉降、开裂和破坏。当新建隧道下穿铁路时,甚至会引起既有铁路变形过大,从而可能引发列车出轨等严重事故。

因此,需要在设计前对构建筑物的允许变形与隧道施工可能产生的最大变形进行对比,以确定设计及施工是否满足要求。

笔者以某暗挖法地铁隧道下穿既有铁路实际工程为研究背景,采用有限元软件分析了新建地铁隧道不同施工方案下,对既有铁路产生的影响。通过模拟有无车辆荷载及是否注浆四种不同工况,得出每种工况下出现的不利情况,找到了最有利的设计工况并得出了变形规律。对地铁隧道下穿既有铁路施工具有指导作用。实际工程实施也证明了分析的正确性。

2 工程概况

本地铁区间为左右分建的两条并行单线隧道,正线隧道为暗挖隧道,采用喷锚构筑法施工。左右线间距约为 11~12 m。区间隧道以半径 450 m 曲线下穿某既有铁路,隧道与既有铁路平面夹角约为 42°。下穿段右线全长 115.004 m,左线全长 109.489 m。此段线路平面为直线,左、右线隧道均以 13‰的下坡穿越既有铁路。该段区间隧道的覆岩(土)厚度为 9~11 m。既有铁路是运输大动脉,每日列车上行 68 列,下行 69 列,上行时速为 95 km/h,下行时速为 90 km/h;采用 60 kg/m 标准轨、ⅢA 型轨枕、弹条Ⅱ型扣件,道床为一级道砟。

线路下穿既有铁路,表覆第四系全新统人工堆积层,下伏燕山晚期花岗岩,局部糜棱岩、砂土状碎裂岩及碎裂状花岗岩发育,煌斑岩、花岗斑岩岩脉穿插。基地稳固,地下水为基岩裂隙水,局部具弱承压性,富水性一般贫~极贫,局部构造发育地段,富水性贫~中

等。

3 数值模拟

3.1 模型建立

采用大型有限元通用软件 ANSYS 进行三维计算分析。三维计算有限元模型尺寸为长 105 m,宽 50 m,高 26 m,如图 1 所示。模型上部为既有铁路。由于地铁隧道下穿既有铁路,为保证铁路运输的安全运营,防止由于隧道开挖导致的铁路路基沉降变形过大,以及分析上部列车荷载对新建地铁隧道的影响。本模拟分析分别针对既有铁路上有无车辆荷载,以及隧道施工是否采用注浆加固等多种工况进行了分析研究,如下:

工况一:地铁隧道施工,无车辆荷载,无注浆加固措施,如图 2 所示;

工况二:地铁隧道施工,无车辆荷载,采取注浆加固措施,如图 3 所示。

工况三:地铁隧道施工,有车辆荷载,无注浆加固措施。

工况四:地铁隧道施工,有车辆荷载,采取注浆加固措施。

针对地勘资料(地层物理参数如表 1 所示),对实际地层进行了模拟,采用曲面分割体层块,从而形成与实际情况近似的地层分布,如图 1 所示。对三维几何模型进行单元划分,最终得到用于数值计算的三维有限元模型如图 4 所示。总计 179 625 个单元,31 749 个节点。计算模型约束条件为左右两侧、前后两侧施加水平方向的单向约束,下侧施加竖直方向的单向约束,上侧(也就是地面)为自由端。利用 ANSYS 提供的单元处理功能,来模拟地铁隧道的分步开挖和支护过程,如图 5、图 6 所示。对施工过程采用地层-结构模型进行模拟分析,其中铁路钢轨(60 kg/m)采用 beam 单元模拟,土体的本构模型采用弹塑性 D-P 模型^[4-5]。

表 1 地层物理力学参数

土层名称	厚度/m	密度/(g/cm ³)	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	摩擦角/(°)	侧压系数
素填土	0.30~4.00	2.03	—	—	—	—	—
杂填土	3.80~8.20	2.03	—	—	—	—	—
强风化粗粒花岗岩	0.40~13.50	2.30	—	0.24	60	30	0.32
砂土状碎裂岩	1.20~17.90	2.25	—	0.25	—	—	0.33
强风化安山岩	0.50~17.00	2.44	15 000	0.22	2 000	35	0.18
中等风化粗粒花岗岩	0.50~17.00	2.45	12 000	0.23	—	—	—
微风化粗粒花岗岩	1.20~17.00	2.53	36 000	0.20	8 000	40	0.15

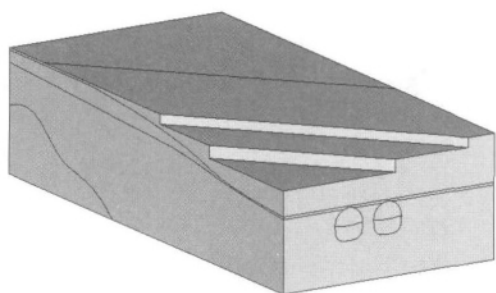


图 1 三维几何模型

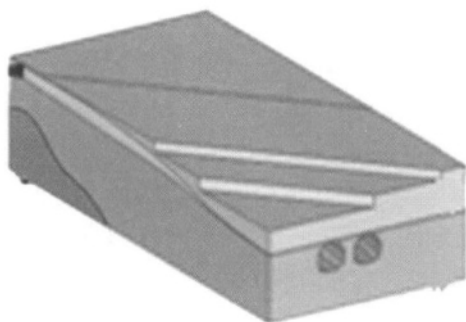


图 2 未注浆加固示意图

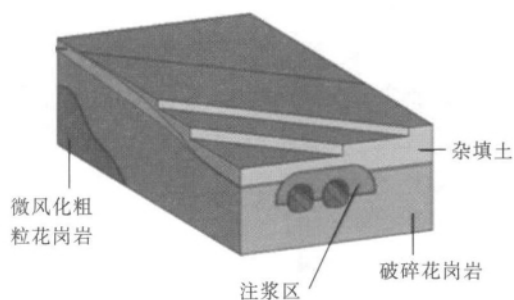


图 3 注浆加固区示意图

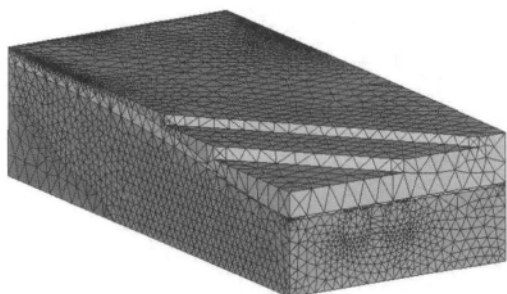


图 4 模型网格划分

3.2 计算结果及分析

隧道下穿铁路施工过程中,当路基发生沉降时可能会引起轨道出现差异沉降。差异沉降与列车自振相结合,使列车振幅增大,列车会发生摇摆运动,对列车运行造成安全隐患^[6]。为预测及排除此隐患,通过仿

真模拟,重点分析在各种工况下隧道开挖过程中所引起的既有铁路路基竖向位移的变形量,如图 7 ~ 图 10 及表 2 所示。

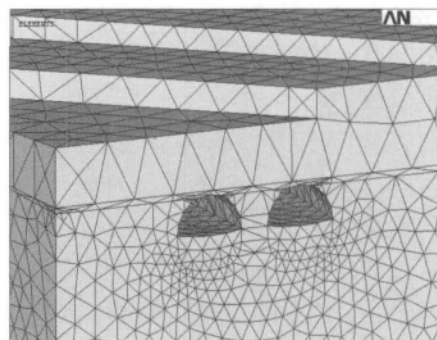


图 5 台阶法施工阶段示意图一

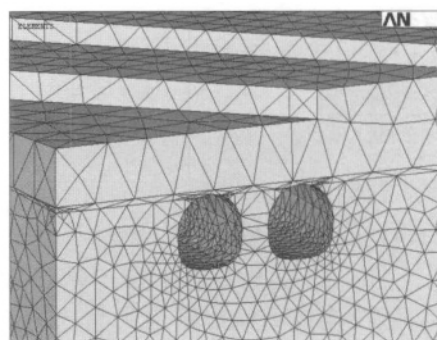
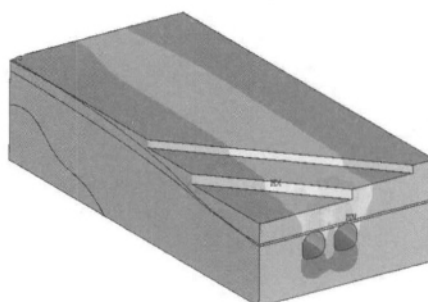
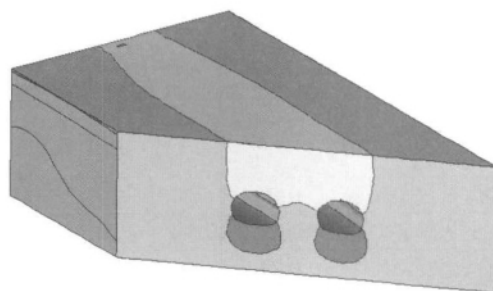


图 6 台阶法施工阶段示意图二

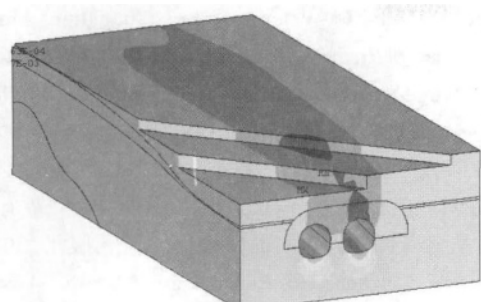


(a)

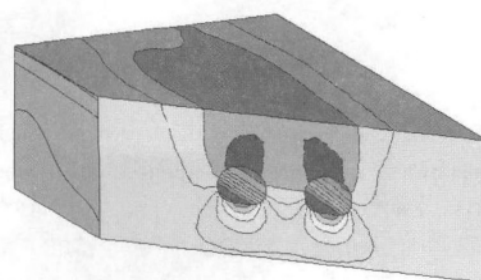


(b)

图 7 竖向位移图(无车未注浆加固)

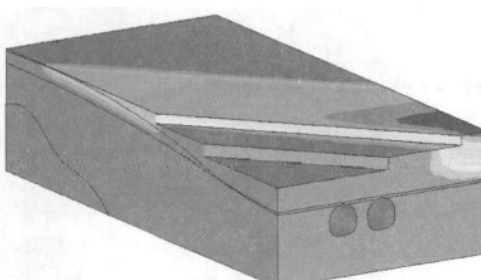


(a)

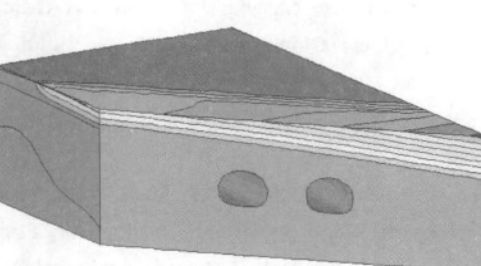


(b)

图 8 竖向位移图(无车注浆加固)

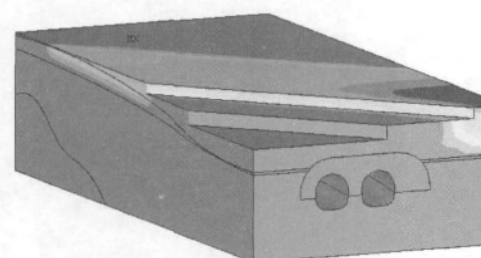


(a)

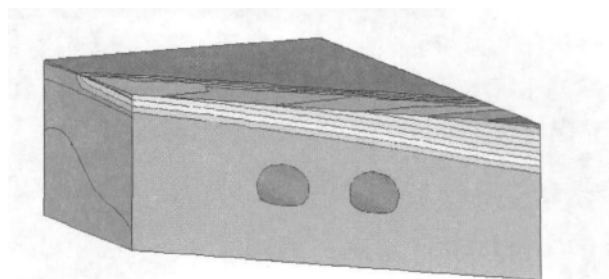


(b)

图 9 竖向位移图(有车未注浆加固)



(a)



(b)

图 10 竖向位移图(有车 注浆加固)

表 2 竖向位移变形对比

工况	工况描述	竖向位移/mm
工况一	无车、未 注浆加固	0.721
工况二	无车、注浆加固	0.117
工况三	有车、未注浆加固	9.897
工况四	有车、注浆加固	6.402

通过模拟分析可知,引起既有铁路路基沉降的主要原因在于上部列车通过时产生的竖向荷载,因为地铁区间隧道的开挖必然会引起地表沉降,主要原因在于新建隧道的施工破坏了原有地层,使得地层的应力重分布。然而由于地铁区间隧道开挖所产生的地表沉降量则较小,仅为有车工况下的 1/10 左右。同时,在工况一中铁路路基沉降变形呈现出整体沉降趋势,即隧道顶部的最大沉降贯穿至地表;而工况二中隧道顶部的最大位移沉降尚未贯穿至地表,且地表处竖向位移仅为工况一的 1/4 左右。

同时,通过对比工况三和工况四,可以看到,由于隧道所在岩层为中风化花岗岩,岩层局部为碎裂状花岗岩岩层,且局部拱部距离杂填土层较近,有车辆荷载未采用超前小导管对拱部注浆时沉降量为 9.897 mm,有车辆荷载采用拱部注浆加固后沉降量为 6.402 mm。因此采用拱部注浆加固措施能够有效控制地面沉降量。

4 结论

(1) 对于新建隧道下穿铁路工程,在隧道施工实施前,应能够准确的对地面的沉降量进行预测,确保既有铁路安全运营。

(2) 新建隧道下穿既有铁路时,隧道施工引起地层内力重分布,是地表产生沉降的原因,但是列车荷载对地表沉降的影响更为显著。施工设计时应给予足够的考虑。

(3) 通过数值模拟分析得出的地层沉降量和塑性分布区能够为施工采取有效措施提供依据。同时应采用信息化设计方法,根据现场监控结果调整支护参数及开挖方法。

(4) 在地面条件允许情况下,隧道施工前对铁路路基注浆加固或在铁路路基两侧预埋袖阀管根据沉降情况进行注浆,可对沉降变形进行控制。

参考文献:

- [1] 何川, 苏宗贤, 曾东洋. 盾构隧道施工对既有平行隧道变形和附加内力的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007(10): 2063 – 2069.
He Chuan, Su Zongxian, Zeng Dongyang. Research on Influence of Shield Tunnel Construction on Deformation and Secondary Inner Force of Constructed Parallel Tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2007(10): 2063 – 2069.
- [2] 阳军生, 刘宝深. 城市隧道施工引起的地表移动及变形[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
Yang Junsheng. Surface Movement and Deformation Caused by City Tunnel Construction [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002.
- [3] 骆汉宾, 李炜明, 周光辉. 武汉地铁盾构施工地表沉降的非等间隔模型分析[J]. 铁道工程学报, 2011(1): 86 – 90.
- [4] 黄书珍, 胡仁喜, 康士廷. ANSYS12.0 土木工程有限元分析从入门到精通[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
Huang Shuzhen, Hu Renxi, Dang Shiyan. Ansys12.0 Civil Engineering Finite Element Analysis from Approaches to Master [M]. Beijing: China Machine Press 2010.
- [5] 李围. 隧道及地下工程 ANSYS 实例分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
Li Wei. The Tunnel and Underground Engineering Ansys Case Analysis [M]. Beijing: China Water Power Press, 2007.
- [6] 余才高. 地铁盾构隧道下穿铁路的安全措施[J]. 城市轨道交通, 2009(4): 33 – 36.
Yu Caigao. The Safety Measures on Subway Shield Tunnel in the Following of Railway [J]. City Track Traffic, 2009(4): 33 – 36.

(上接第 61 页)

- Wu Zhisheng. Demonstration and Enforcement of Design and Construction Schemes for Long Tunnel in Karst Zone [J]. Journal of Railway Engineering Society 2006(2): 47 – 51.
- [5] 吴治生, 张杰. 岩溶隧道风险影响因素及评估. 铁道工程学报 2011(10): 90 – 95.
Wu Zhisheng, Zhang Jie. Influence Factors of Karst Tunnel Risk and Risk Assessment [J]. Journal of Railway Engineering Society 2011(10): 90 – 95.
- [6] 吴治生. 南岭隧道涌水量预测及评价[J]. 铁道工程学报, 1992(2): 44 – 50.
Wu Zhisheng. Prediction and Evaluation of Water – gushing Amount in Nanling Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 1992(2): 44 – 50.
- [7] 同济大学工程地质与水文地质教研室. 构造地质与地质力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
Staff Room of Geology and Hydrogeology Engineering Tongji University. Structural Geology and Geomechanics [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1982.
- [8] 吴治生. 岩溶塌陷地表稳定性分析及工程地质分区[J]. 铁道工程学报 2006(4): 6 – 9.
Wu Zhisheng. Analysis of Stability of Subsidence Surface in Karst Area and Zoning for Engineering Geology [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(4): 6 – 9.