

# 铁路隧道下穿施工引起既有铁路线路变形规律研究

高云娇<sup>1,2</sup>, 娄国充<sup>1</sup>, 宋 杨<sup>1,3</sup>

(1. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043; 2. 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600;  
3. 中国兵器工业北方勘察设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050011)

**摘要:**近年来,随着我国铁路交通的大规模建设,新建铁路以隧道的方式下穿既有铁路越来越多的出现且在大量的工程当中且影响越来越严重。结合京石高铁下穿既有石德铁路工程,对下穿隧道暗挖段进行了数值模拟计算,分析研究了隧道下穿施工时对既有铁路路基沉降、轨道沉降、轨道水平偏差及轨向偏差的变形规律,得出了隧道下穿施工对既有铁路线路的影响,对工程的设计和施工具有一定的指导意义。

**关键词:** 铁路隧道; 下穿施工; 数值模拟; 变形规律

**中图分类号:** U459.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)01-0031-05

## 0 引言

新建铁路与既有铁路交叉选用隧道下穿的形式在工程项目中应用越来越广泛,因此,隧道下穿施工引起的既有铁路线路的沉降与变形以及对既有线路安全运营的影响成为近期研究的热点。新建铁路以隧道形式下穿既有铁路线路势必会引起周围土体的应力改变和沉降变形,也会引起铁路路基产生不均匀沉降,进而导致既有铁路线路发生变形,产生轨道不平顺、两轨较高差以及轨道路基剥离后的悬空等轨道变形现象,直接影响列车的平稳、安全和平顺运行<sup>[1]</sup>。严重的会直接造成列车运营安全事故,因此,研究隧道下穿既有铁路引起的沉降变形规律是十分必要的。结合有限元软件 Midas 技术,对铁路隧道下穿既有铁路线路施工过程进行了有限元数值模拟<sup>[2-3]</sup>,重点研究了隧道施工引起的既有路基及轨道变形规律<sup>[4]</sup>,为同类工程的设计和施工提供科学依据。

## 1 工程概况

石家庄六线隧道是京石客专石家庄枢纽段施工建设当中的主要工程项目,地处石家庄市二环内,北起石纺路,南至槐安路,自北向南纵穿石家庄市,与既有京广铁路并行,如图 1 所示。石家庄六线隧道工程起始段是四线隧道,在 DK278+700 处并入新建的石青线,成为六线隧道(局部七线),这是国内第一条穿城入地多线多连拱浅埋大跨隧道,隧道起讫里程 DK278+000~DK282+980,全长 4.98 km。线路从右至左(面向石家庄)依次是新建石青线、改建京广线和新建京石线。石家庄隧道中在里程 DK278+300~DK278+380 段下穿石太直通线路基,工程采用暗挖法施工,暗挖段长 80 m,复合式衬砌,双跨拱形框架结构形式,隧道结构高度 13.28 m,顶板覆土厚度 1.92~9.47 m,距离石太直通线上跨京广线桥 12.4 m,结构跨度为 28 m,如图 2 所示。线路加固总长 40 m,列车最高时 10 km/h,施工期间限速 45 km/h。

## 2 数值模拟分析

### 2.1 建立有限元模型

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.01.06

收稿日期: 2013-03-15

作者简介: 高云娇 女 1987 年出生 硕士研究生

基金项目: 铁道部科技开发重点项目(2008G024-B)

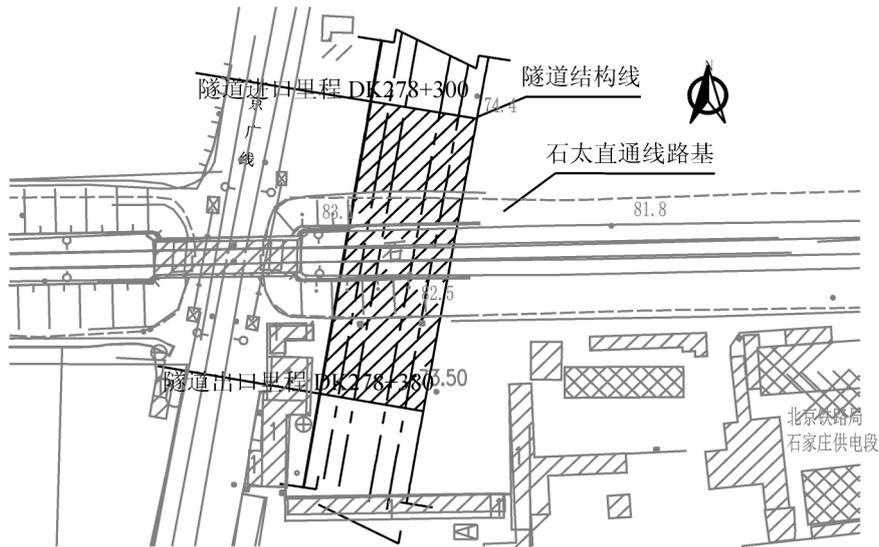


图 1 施工范围总平面图

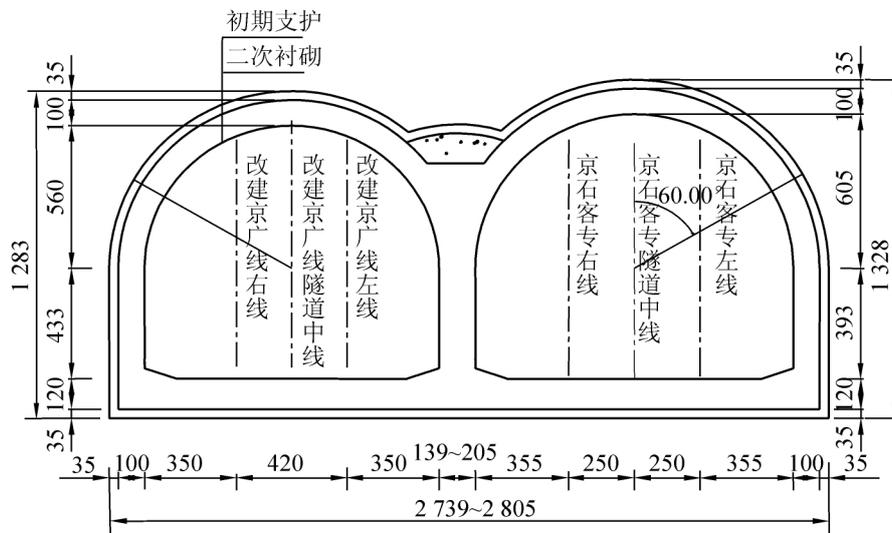


图 2 暗挖隧道断面图 (单位: cm)

考虑到由于尺寸效应产生的计算误差,参考《铁路路基设计规范》<sup>[5]</sup>及《铁路隧道设计规范》<sup>[6]</sup>,新建高速铁路隧道的计算边界取值为:左、右边界分别为 3 倍暗挖结构宽度,下边界取 3 倍的暗挖结构高度,上边界取至地表。模型前、后、左、右和下部边界均施加法向约束,地表确定为自由边界。最后确定为左右距隧道中心各 70 m,下边界 40 m,整体建模网格划分如图 3 所示。在下穿结构施工范围内的网格采用了较细的网格。隧道示意图见图 4 所示。

### 2.2 选取参数

依据下穿石太直通线段勘察钻孔柱状图,将其中的相邻相近土层合并,结合类似工程提供的经验值,最后确定采用如表 1 的地层参数,共分 4 个土层进行模拟;路基、衬砌的计算参数如表 2、表 3 所示。

表 1 地层参数表

编号	类别	天然重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$	粘聚力 $c / \text{kPa}$	泊松比 $\nu$	弹性模量 $E / \text{MPa}$
1	杂填土	17	20	40	0.35	27
2	砂土	19.4	30.5	6	0.3	38
3	黏土	20.1	25	50	0.29	10
4	卵石土	22.5	50	—	0.22	80

表 2 路基的计算参数表

编号	类别	密度 $\rho / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi / (^\circ)$	粘聚力 $c / \text{kPa}$	泊松比 $\nu$	弹性模量 $E / \text{MPa}$
1	道砟层	1 800	—	—	0.25	120
2	基床表层	2 200	30	25	0.3	170
3	基床底层	2 100	27	20	0.3	120
4	路基体	2 000	28	25	0.3	80

表 3 衬砌的计算参数表

序号	名称	弹性模量 $E / \text{MPa}$	泊松比 $\nu$	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
1	初期支护	5 000	0.167	22
2	二次衬砌	29 500	0.167	23

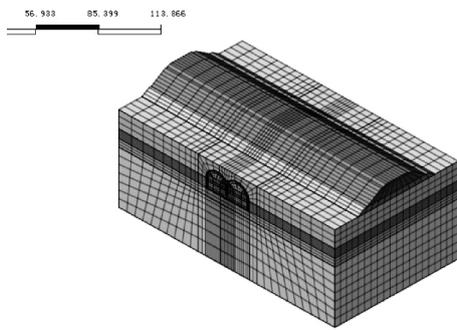


图 3 数值计算模型

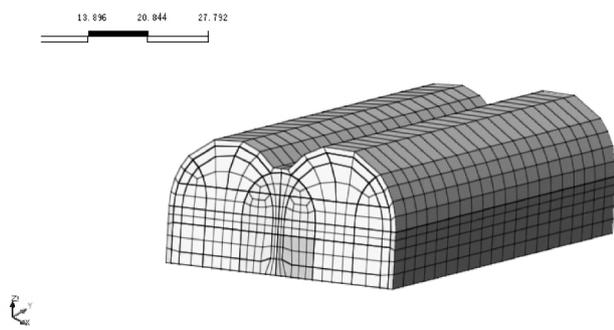


图 4 开挖隧道示意图

### 2.3 模拟施工步骤

在数值模拟中,采取激活与钝化的方式来模拟隧道的开挖掘进,单元被钝化(杀死)后,该区域的应力被设置为零,在这些区域中就没有体力的作用。在每步开挖后,通过激活相应区域的支撑以及初期支护单元来模拟开挖后的支护效果。每开挖步开挖进尺 0.5 m,支护滞后开挖一步,具体步骤如下:先施加岩土自重应力和路基上铁路荷载,使之形成初始应力场;开挖断面 0.5 m,进行初期支护,然后施作支撑;继续开挖断面 0.5 m,断面初期支护,施作支撑;……;直至中洞开挖完,进行中隔墙施作;继而开挖左右侧洞,待初期支护强度达到设计要求后,拆除临时支护,施作二衬。根据上述开挖和支护模拟方法模拟整个隧道下穿既有铁路路基过程。

## 3 下穿施工对既有铁路线路的变形规律分析

### 3.1 隧道下穿施工对既有铁路路基的影响

在隧道下穿施工过程中,选取开挖面距离既有铁路线路中心线的三个典型断面来进行比较分析,现将双连拱隧道开挖至这三个不同施工断面时的路基沉降变形分布曲线绘制于图 5 中。

由图 5 中曲线分布可以得知,隧道开挖时未通过路基中线、在路基中线处以及拆除支撑后的最大沉降值分别为 9.78 mm、14.56 mm、16.39 mm。路基的变形主要发生区域集中在穿越中心处沿既有线方向  $\pm 40$  m 左右的范围内,隧道开挖时距隧道中线处的路基就已经开始产生沉降变形,随着距离越近沉降变形增大,当隧道开挖至路基北侧时路基中线的最大沉降值占总沉降量的 59.6%,当开挖面到达既有线路中线正下方以及拆除支撑后,路基中线的最大沉降值分别增加了 4.78 mm、1.83 mm,占总沉降量的 29.2%、11.1%。结果表明,隧道下穿施工过程中,路基的沉降变形要主发生在隧道通过既有线中线之前,因此在施工中应充分做好对既有线路的加固。

### 3.2 隧道下穿施工对既有铁路轨道偏差的影响

通过对所得的数据的整理,将隧道下穿施工所引起的既有铁路轨道偏差的变形规律绘制于图 6 和图 7 中,由图中可以看出,当开挖面远离既有铁路线路时,轨道的沉降较小,所产生的轨道水平偏差也很小,随着开挖面的推进,轨道沉降逐渐增大,所产生的水平偏差也随着增大,当开挖面通过并远离既有铁路线

路后 轨道的沉降增加值逐渐减小,水平偏差也开始减小,最后趋于稳定。

图 8 表示的是隧道开挖至既有线路中线下时轨道的水平变形分布曲线。从图 8 可以看出,开挖面到达既有中线下时,在隧道中线下产生的轨向偏差最大,并向两侧呈现减小趋势。通过计算结果得知双连拱隧道下穿施工时引起的轨道的水平偏差与轨向偏差都很小,且远远小于规定的允许值,因此,隧道下穿施工对轨道偏差的影响甚微,只要做好轨道的安全防护就可以满足轨道安全运营的要求。

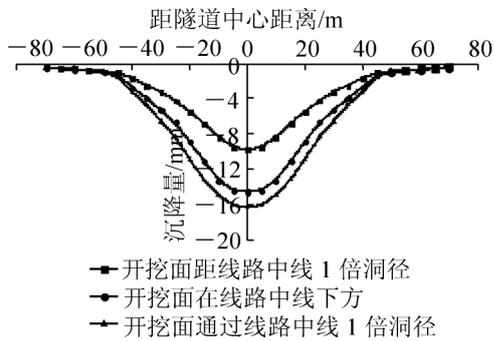


图 5 隧道施工引起路基沉降变形规律

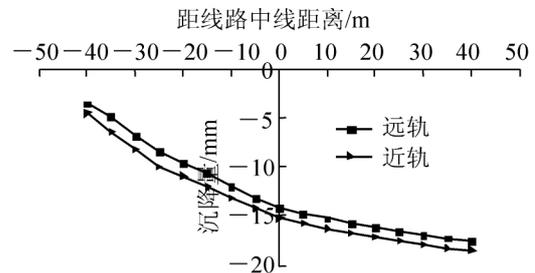


图 6 隧道开挖引起轨道沉降分布曲线图

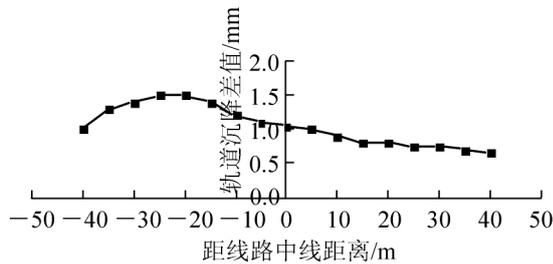


图 7 隧道下穿轨道沉降差值变化(水平偏差)

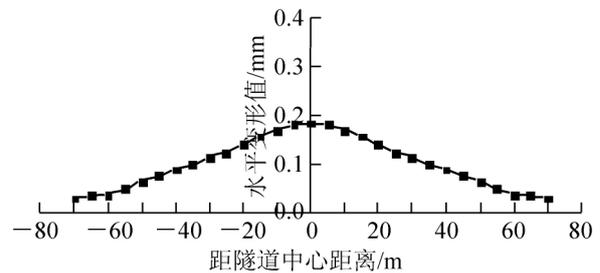


图 8 隧道下穿既有中线下时轨道的水平变形(轨向偏差)

### 4 结论

采取数值模拟方法,对京石高铁隧道下穿既有石德铁路路线进行模拟计算,分析隧道下穿施工对既有铁路路基以及轨道的变形规律,得出以下结论:

(1) 经过分析得知,京石高铁隧道下穿石德铁路的施工主要引起的是对既有铁路的沉降变形相对较大。因此,在实际工程施工中应该主要控制对既有铁路线路的沉降变形。

(2) 采用双连拱隧道下穿既有石德铁路线路产生的路基与轨道沉降符合正态分布曲线规律,隧道下穿施工过程中,路基的沉降变形要主发生在隧道通过既有中线下之前,因此在施工中应充分做好对既有线路的加固。

(3) 新建双连拱隧道下穿既有铁路线路引起轨道发生变形,产生水平偏差与轨向偏差,虽然随着开挖面的不断推进,偏差有所增大,但最终的沉降值都远远小于《铁路线路维规则》中规定的允许值,说明隧道下穿施工对轨道偏差的影响很小,只要做好轨道的安全防护就可以满足轨道安全运营的要求。

### 参 考 文 献

[1] Burland J B, Standing J R, Jardine F M. Building response to tunnelling case studies from construction of the Jubilee Line Extension, London [J]. Thomas Telford Publishing 2001(2): 509-545.

[2] 刘建国. 盾构隧道下穿对土质路基无碴轨道的影响[J]. 华东交通大学学报 2006 23(4): 5-8.

[3] 杨广武. 地下工程穿越既有地铁线路变形控制标准和技术研究[D]. 北京: 北京交通大学土木建筑工程学院 2010.

[4] 曹全, 彭华, 姚建石. 地铁盾构下穿对既有铁路变形的影响[J]. 铁道建筑 2012, 3: 61-64.

[5] 铁道部. TB10001—2005 铁路路基设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社 2005.

[6] 铁道部. TB10003—2005 铁路路基设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社 2005.

(下转第 39 页)

- [4] 龚宪生 赵玫. 具有非线性迟滞特性的大挠度弹性联轴器建模[J]. 上海交通大学学报, 1995, 29(3): 49-54.  
 [5] 龚宪生 赵玫. 大挠度弹性联轴器的阻尼耗能特性、建模及参数识别[J]. 机械强度, 1996, 18(2): 11-12.  
 [6] 龚宪生 赵玫. 一种全新矿用高弹性联轴器动态性能的研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(4): 418-423.  
 [7] 左时伦. 弹性联轴器动态刚度的数学建模与试验研究[J]. 煤矿机械, 2011, 32(3): 82-84.

## Dynamic Modeling and Analysis of Gear Rubber Coupling

Wang Hai , Wen Jianming

( School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics , Tongji University , Shanghai 200092 , China)

**Abstract:** This article focuses on a gear rubber coupling. Firstly, the rubber elements of the coupling are analyzed using the finite elements method to get the restoring force-displacement data. Then a mathematical function against displacement is built using a trace method in which the restoring force is decomposed into a spring force and a damp force. Finally, the amplitude-frequency characteristic and the torque transmission of the gear rubber coupling are analyzed, and the result shows that the coupling not only transmits torque efficiently but also presents characteristics of a soft spring.

**Key words:** rubber coupling; hysteresis characteristics; soft spring

(责任编辑 车轩玉)

~~~~~  
 (上接第 34 页)

## Study on Deformation of Existing Railway Due to Underground Construction of Crossing Railway Tunnels

Gao Yunjiao<sup>1,2</sup>, Lou Guochong<sup>1</sup>, Song Yang<sup>1,3</sup>

( 1. School of Civil Engineering , Shijiazhuang Tiedao University , Shijiazhuang 050043 , China;

2. China Railway Fifth Survey Design Institute Group Co. Ltd , Beijing 102600 , China;

3. China North Industries Norengo Ltd , Shijiazhuang 050011 , China)

**Abstract:** In recent years, with the large-scale construction of China's railway transport, a growing number of new railways are being built with tunnels under-passing existing railways and are producing increasingly serious impact. In this paper, by means of finite element numerical simulation method, the deformation law of road-bed and rail structure of the existing railways are studied when the under-passing tunnel is built, obtaining the deformation of the existing line, which has certain guiding significance for the design and construction of similar projects.

**Key words:** railway tunnel; construction under-passing; numerical simulation; deformation law

(责任编辑 车轩玉)