

Study on Surrounding Rock Stability of Cross Section of Traffic-Electric Co-Construction Tunnel of Cross Section and Overhaul Road

Ningqiang Shi¹, Tingting Ge², Xiaoguang Jing^{3*}

¹T.Y. Lin International Engineering Consulting (China) Co., Ltd., Chongqing

²Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou Guangdong

³School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: jxgcqu@163.com

Received: Apr. 29th, 2019; accepted: May 14th, 2019; published: May 21st, 2019

Abstract

Combining with the Jinzhuwan Tunnel and the power tunnel co-construction project of Tongmao Avenue in Chongqing, the intersection of the crosswalk of the tunnel and the overhaul of the power tunnel is taken as the research object, and a three-dimensional finite element model is established, which passes through the cross section of the pedestrian crossing and the power tunnel. The finite element analysis of the construction process analyzes the displacement, stress, plastic zone characteristics of the surrounding rock and the influence of the overhaul and the sidewalk on the surrounding rock of the tunnel, which provides a basis for the tunnel support design.

Keywords

Co-Construction of Tunnels, Tunnel Crossing, Lining Deformation, Surrounding Rock Stress, Numerical Simulation

交通 - 电力共建隧道横通道与检修道交叉段围岩稳定性研究

史宁强¹, 葛婷婷², 靳晓光^{3*}

¹林同棧国际工程咨询(中国)有限公司, 重庆

²华南理工大学广州学院, 广东 广州

³重庆大学土木工程学院, 重庆

Email: jxgcqu@163.com

*通讯作者。

收稿日期：2019年4月29日；录用日期：2019年5月14日；发布日期：2019年5月21日

摘要

结合重庆同茂大道金竹湾隧道与电力隧道共建工程，以共建隧道人行横通道与电力隧道检修道交叉段为研究对象，建立三维有限元模型，通过人行横通道与电力隧道检修道交叉段施工过程的有限元模拟，分析了交叉段围岩的位移、应力、塑性区特征及检修道和人行道的开挖对隧道围岩的影响范围，为隧道支护设计提供了依据。

关键词

共建隧道，隧道交叉，衬砌变形，围岩应力，数值模拟

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

市政隧道和电力隧道的共建，节约了土地和成本，对公共设施建设的科学发展和经济性的提高具有很好的作用。由于隧道结构属于狭长空间、相对独立、结构密闭，一旦发生火灾，会带来严重的人员伤亡、财产损失及社会影响，人行通道的建立尤为重要。而对于电力隧道，必须设置满足规范要求的检修道，人行通道与电力隧道及检修道必然存在交叉。对于交通隧道 - 电力隧道 - 人行通道这种复杂的特殊结构形式，其施工对围岩的影响具有特殊性，国内外对此研究很少，主要借鉴一般交叉隧道的研究成果。

近年来，随着公路隧道与轨道交通建设的发展，交叉隧道的研究及成果越来越多，但交叉型式比较规则。张俊[1]以宝塔山隧道#2 风机房辅助通道十字交叉结构工程为依托，运用有限元软件对不同工况下的辅助通道十字交叉结构进行模拟对比，得到了风机房辅助通道十字交叉段内围岩变形及范围、裂缝分布及破坏类型、接触应力分布形态等力学特征。李世麟等[2]通过三维数值模拟，对长河坝水电站公路交叉隧道结构的稳定性进行了研究，为设计优化提供了依据。徐慧芬等[3]以某高速公路上跨铁路隧道为例，用规程规定的方法核算新建隧道爆破施工对已建隧道的振动影响大小，并采用有限元方法对施工过程进行了三维数值模拟分析。孙闯等[4]以盘道岭隧道交叉施工段为研究对象，提出交叉隧道施工优化支护方案。王渭明等[5]针对极小净距交叠隧道受力复杂的特点，对极小净距交叠隧道下行双线施工间距优化进行了研究。台启民等[6]依托北京地铁 6 号线北海北至南锣鼓巷区间隧道工程，对暗挖重叠地铁隧道地表变形特性进行了分析。梅勇文[7]以沈阳市南北快速干道工程为例，对明挖法施工城市隧道与综合管廊共建技术进行了探讨。阚绍德[8]结合具体工程针对电力隧道工程和地铁工程共建的关键技术进行分析总结。靳晓光等[9]利用有限元数值分析的方法对高地应力下的深埋隧道建立了弹塑性模型，进行了研究，分析了横通道不同的开挖方法对主隧道围岩扰动和对初期支护有着不同的影响。史彦文等[10]用有限元法模拟了隧道主洞与车行横洞交叉段施工全过程，并对其二衬进行了受力分析。刘新荣等[11]以北京地铁 10 号线的工体北路站为依托，介绍了大断面群洞交叉隧道的施工方案，并研究了交叉区段衬砌结构的受力特征。可以看出，目前对交叉隧道的研究，主要集中在公路隧道横通道或轨道交通隧道交叉方面，关于市政交通隧道与横通道及共建电力隧道检修道交叉段围岩稳定性进行整体分析的还很少。

2. 有限元计算模型

2.1. 模型的建立

对于无限大的岩(土)体,为了减少边界效应对隧道周边的影响,使隧道周围有一个比较均匀的“自由场应力状态”,一般情况下,选取3~4倍洞径作为影响域。本文选取的模型尺寸为横向168 m,沿隧道纵向23 m,隧道以下取60 m,隧道以上取至地面。模型采用理想弹塑性材料进行施工过程的模拟,建立的有限元模型如图1所示。共有220,035个单元,44,393个节点,且所有单元类型采用四面体单元。喷射混凝土采用梁单元,每根锚杆划分为三节点的植入式桁架单元,桁架单元的节点自动选择与锚杆端部节点最近的点进行力和位移的传递,从而进行锚杆内力的计算。隧道的开挖和支护通过单元的激活和钝化功能来实现。

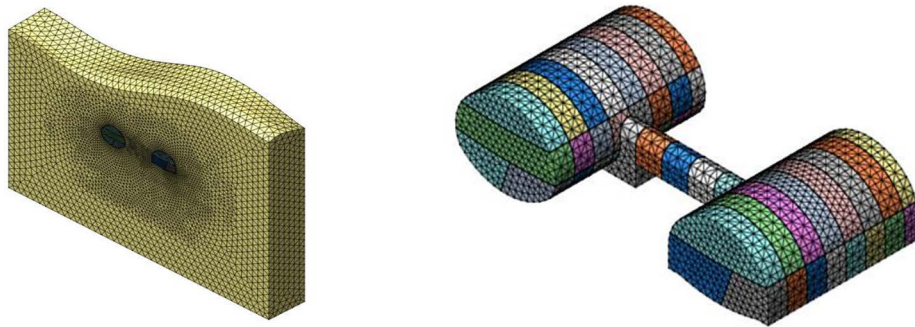


Figure 1. Meshing of 3D numerical analysis model
图 1. 三维数值分析模型网格划分

2.2. 参数的选取

有限元模型中围岩和支护结构参数按照地勘报告并结合《公路隧道设计规范》(JTGD70-2004)选取。具体参数值如表1所列。

Table 1. Rock mass mechanical parameter
表 1. 围岩和支护结构力学参数表

岩土名称	重度(KN/m ³)	弹性模量(MPa)	泊松比 μ	内聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)	抗拉强度(kPa)
中等风化砂质泥岩	25.6	1080	0.34	370	32.17	150
中等风化砂岩	24.9	3030	0.30	1000	40.74	382
喷混支护	25.0	30,000	0.30	-	-	-

注:初期支护为C30,厚0.22 m。

2.3. 施工工序

隧道开挖采用台阶法,2座隧道断面分为7个台阶分部开挖,人行横通道和电力隧道检修道采用全断面开挖。首先开挖右隧道,再开挖左隧道,待左隧道开挖完成后,自右隧道内向左隧道开挖人行道、检修道。隧道每次开挖进尺是3.0 m,开挖后进行初期支护,依次循环,隧道台阶之间间隔两个施工步序(即6.0 m),人行道采用的是全断面开挖,每次开挖进尺为4.0 m,开挖后进行初期支护。检修道一次性开挖,开挖后进行初期支护,共55个施工步序。选取隧道关键施工步(施工步10和施工步28)如图2所示,施工步10为开挖右隧道(图2(a)),施工步28为开挖左隧道(图2(b))。

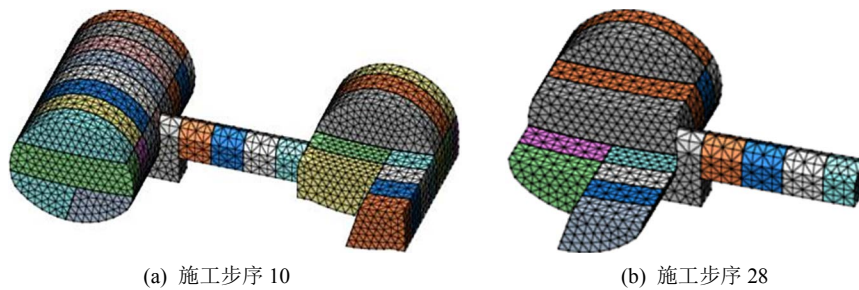


Figure 2. Excavation schedule of the tunnel
图 2. 右隧道开挖步序图

3. 模拟结果及分析

3.1. 围岩位移特征

隧洞开挖前,岩体在原岩应力作用下处于平衡状态,随着隧道掌子面的开挖,这种平衡状态被打破,隧道周围岩体发生卸荷回弹,各点应力进行重新分布达到新的平衡。根据垂直应力(通常称为主应力)和水平应力的关系,对于具有一定尺寸的地下工程来说,其垂直剖面上各点的原始应力大小是不等的,地下洞室在岩体内将处于一种非均匀的初始应力场中。理论研究表明,应力和位移的显著变化范围,只限于隧道周围的一部分区域,远离隧道一定范围后,围岩中的应力趋近于初始应力状态,开挖引起的位移趋近于零。

人行横通道和检修道的开挖势必会引起围岩的扰动,人行横通道、电力隧道检修道和交通隧道交叉口形成复杂的应力状态,是施工过程中控制的重点部位。为了解横通道施工对隧道围岩位移的影响,对其进行具体分析,得出隧道围岩位移的变化特征。

据左、右隧道交叉口距离不同断面的隧道衬砌变形后的轮廓线与隧道设计轮廓线如图 3 和图 4 所示,两图中将隧道变形扩大 200 倍。由于隧道的开挖形成临空面,左、右隧道的三个断面均向内部变形,从而引起隧道净空面积的缩小。左、右隧道均以竖向变形为主,隧道断面位移的变化基本保持一致;由于在左、右隧道交叉口处隧道围岩的支撑作用较其他部位弱,隧道交叉口断面的变形最大,距隧道交叉口 5.0 m 处断面的变形次之,距隧道交叉口 8.0 m 处断面变形最小。由于隧道交叉口的存在,左、右隧道均产生了不对称的变形,靠近交叉口一侧隧道围岩受其影响较大,而远离交叉口的一侧,变形受其影响很小。随着隧道断面与交叉口距离的增大,人行横通道和检修道的开挖对隧道变形的影响逐渐减小。为进一步研究人行横通道和检修道与主隧道交叉口对隧道变形的影响程度,选取左右隧道断面上各五个测点(图 5)的拱顶沉降来分析交叉口对左、右隧道变形的影响范围。

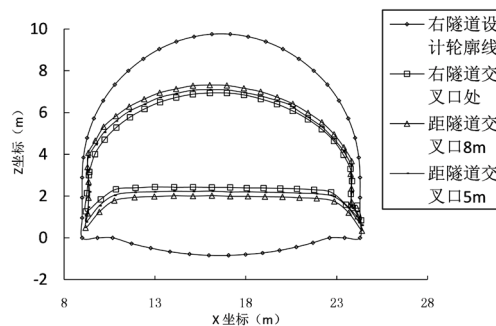


Figure 3. Change of tunnel lining contour of the right tunnel
图 3. 右隧道不同断面衬砌轮廓变化

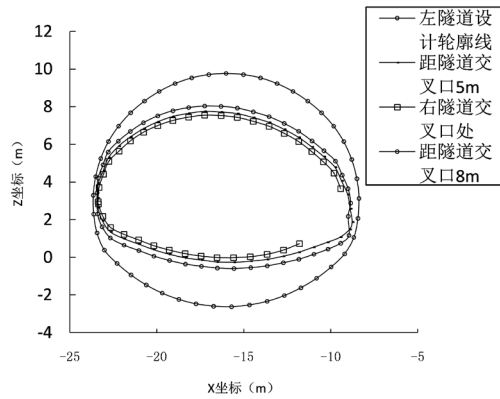


Figure 4. Change of tunnel lining contour of the left tunnel
图 4. 左隧道不同断面衬砌轮廓变化

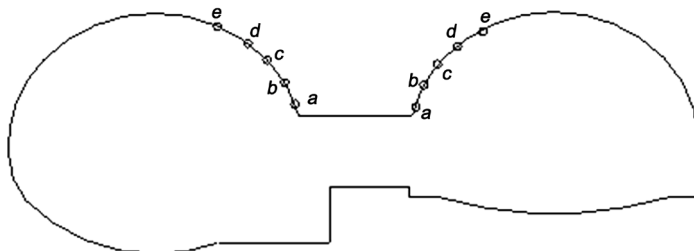


Figure 5. The arrangement of feature points of the right and left tunnels
图 5. 左右隧道断面测点分布示意图

图 6 和图 7 为隧道施工完毕后，左、右隧道上 a、b、c、d、e，5 个监测点的竖向位移沿隧道轴线的分布曲线。

从图 6~图 7 可以看出，e 点沉降量最大，a 点沉降量最小，b、c、d 点的沉降量介于 a 点和 e 点之间，这与图 3 及图 4 所示的变形趋势一致。可以看出，人行道、检修道与隧道的交叉口对 e 点的变形影响很小，对 a 点的变形影响较大，对 b、c、d 的影响介于 a 点和 e 点之间，这是由于 a 点距离交叉口的距离最近，e 点距离交叉口距离最远，b、c、d 点距离交叉口的距离介于 a 点和 e 点之间。可以看出 a、b、c、d、e 点的沉降量随纵向间距的逐渐增长有趋于稳定的趋势。将 a、b、c、d、e 点沉降量趋于稳定的断面与交叉口的距离定义为交叉口对左右隧道变形的影响范围，经计算隧道交叉口对左右隧道的影响范围均为 1.7 B。

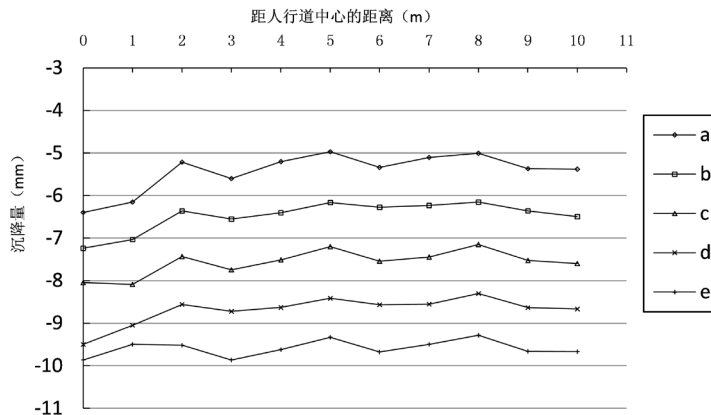


Figure 6. Curve of the right tunnel settlements along tunnel axis
图 6. 右隧道拱顶沉降沿隧道轴线分布曲线

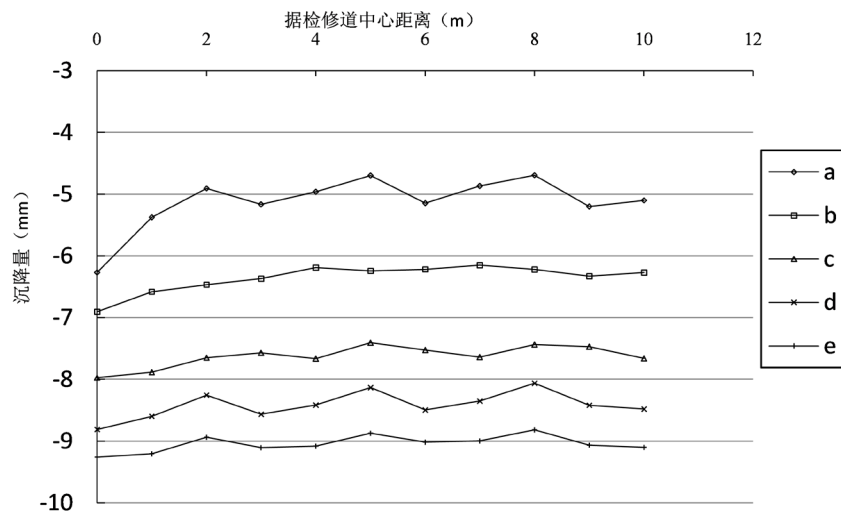


Figure 7. Curve of the left tunnel settlements along tunnel axis
图 7. 左隧道拱顶沉降沿隧道轴线分布曲线

3.2. 围岩应力特征

在人行横通道与右隧道、检修道与左隧道交叉口拱腰位置有较大的应力集中，随着与交叉口距离的增大，左、右隧道拱腰处的最大主应力逐渐减小并趋于稳定。通过比较交叉口处围岩最大主应力与未受到影响的围岩最大主应力的比值，来说明交叉口施工对隧道围岩最大主应力的影响范围，如图 8 和图 9 所示。从图中可以看出，交叉口处围岩最大主应力的值略有增大，左、右隧道最大主应力的最大值分别达到 4.31 MPa 和 3.86 MPa，较未受到交叉口影响的最大主应力值增加约 10%。施工中应加强交叉口处围岩的加固，以确保交叉口处围岩的稳定。左、右隧道围岩应力随着与交叉口距离的增大而逐渐减小并趋于稳定，交叉口对左、右隧道围岩应力的影响范围均为 1.0 B。由此可见，交叉口施工对围岩变形的影响范围较应力的影响范围大。

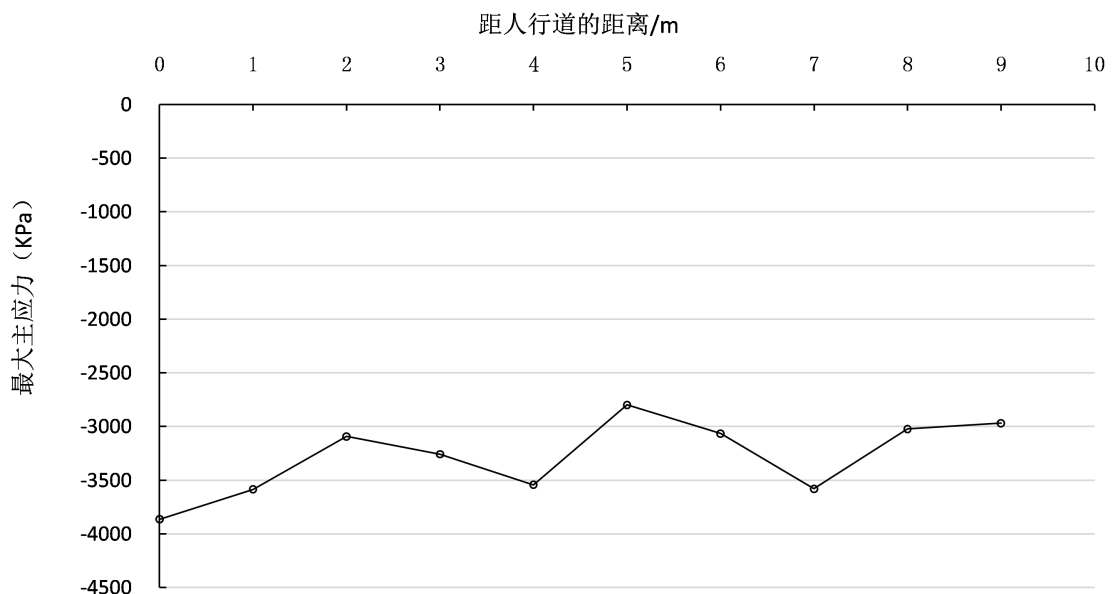


Figure 8. Maximum principal stress diagram of arch crown of the right tunnel
图 8. 右隧道拱顶最大主应力

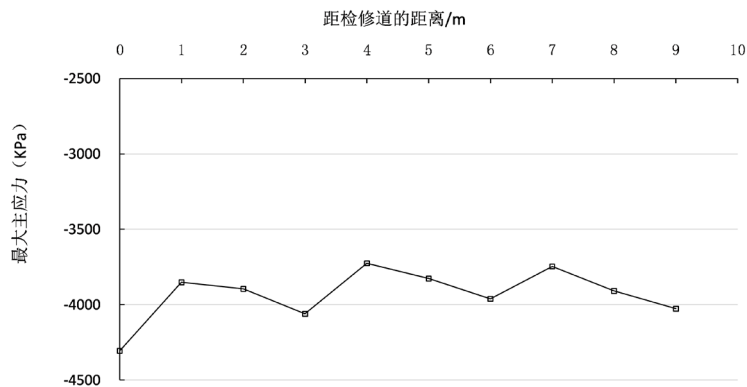


Figure 9. Maximum principal stress diagram of arch crown of the left tunnel
图 9. 左隧道拱顶最大主应力

3.3. 围岩最大主应力迹线及塑性区分布

隧道开挖引起隧道周边各质点向自由临空面移动，围岩应力分布发生改变。左右隧道、人行道和检修道开挖后，其周围最大主应力迹线沿洞室发生偏转，如图 10 所示。在人行道与右隧道、检修道与左隧道交叉口处，人行道和检修道的存在破坏了左、右隧道围岩应力传递路线，左、右隧道最大主应力迹线发生二次偏转，隧道主应力迹线与人行道和检修道本身应力迹线在交叉口处叠加，导致交叉口处围岩应力集中。左右隧道、人行道和检修道开挖完成后塑性区分布如图 11 所示，左、右隧道在拱腰部位围岩所受应力较其他部位偏大，因而在左、右隧道拱腰处产生了塑性区。在人行道和右隧道、检修道与左隧道交叉口处，由于隧道围岩应力的交叉叠加，也产生了塑性变形。施工过程中，应加强交叉口处围岩的支护，提高围岩承载能力，防治围岩及支护结构产生过大的变形。

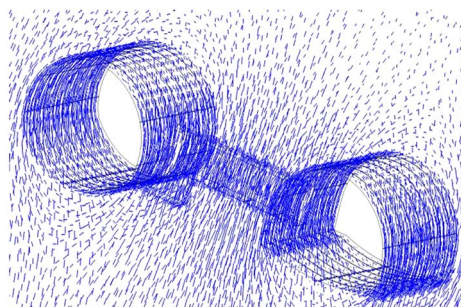


Figure 10. Principle stress line of surrounding rockmass
图 10. 围岩主应力迹线

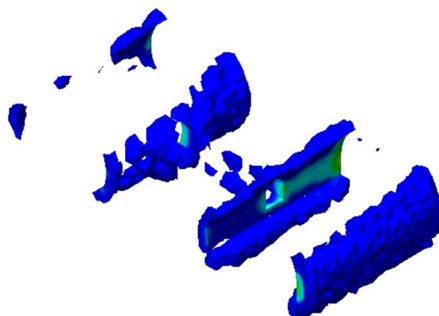


Figure 11. Plastic zone of surrounding rock mass
图 11. 围岩塑性区分布

4. 结论

本文以重庆同茂大道悦来段金竹湾交通隧道与电力隧道共建工程为依托,运用有限元法对交通-电力隧道共建之横通道与检修道交叉段施工力学进行了研究,分析人行横通道和检修道的开挖对隧道围岩的影响范围,得出以下结论:左、右隧道主应力迹线与人行横通道和检修道本身应力迹线在交叉口处叠加,导致交叉口处围岩应力集中形成塑性区;随着隧道断面与交叉口距离的增大,交叉口对隧道围岩变形的影响越小;交叉口施工围岩变形的影响范围约为 1.7 B,围岩应力的影响范围约 1.0 B,交叉口施工围岩变形引起的影响范围较应力引起的影响范围大。

致 谢

本文研究获林同棣国际工程咨询(中国)有限公司科技计划项目资助。

参考文献

- [1] 张俊. 公路隧道与辅助通道交叉结构稳定性分析[J]. 路基工程, 2018(6): 167-171.
- [2] 李世麟, 张志强. 大断面空间交叉隧道变形及支护力学特性分析[J]. 四川建筑, 2018, 38(3): 172-175.
- [3] 徐慧芬, 郑少华, 马超. 公路与铁路立体交叉隧道施工安全性分析[J]. 公路, 2017(10): 299-302.
- [4] 孙闯贾, 宝新. 超小净距近接交叉隧道施工安全性研究[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(6): 141-145.
- [5] 王渭明, 王冲, 秦志斌, 等. 极小净距交叠隧道下行双线施工间距优化研究[J]. 现代隧道技术, 2017(5): 200-209.
- [6] 台启民, 张顶立, 房倩, 等. 暗挖重叠地铁隧道地表变形特性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(12): 2472-2480.
- [7] 梅勇文. 明挖法施工城市隧道与综合管廊共建技术探讨[J]. 北方交通, 2018(6): 138-142.
- [8] 阚绍德. 电力隧道工程与地铁工程共建设计浅析[J]. 广东土木与建筑, 2014(12): 53-55.
- [9] 靳晓光, 李晓红. 深埋交叉隧道动态施工力学行为研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(2): 32-36.
- [10] 史彦文, 曹校勇, 韩常领, 等. 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.
- [11] 刘新荣, 瞿万波, 傅晏, 等. 洞桩法大断面群洞交叉隧道初衬数值模拟[J]. 岩石力学, 2009, 30(9): 2879-2804.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org