

大型基坑施工对邻近地铁隧道稳定性分析

张磊, 闫腾飞

中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2021年9月18日; 录用日期: 2021年10月2日; 发布日期: 2021年10月19日

摘要

中国新闻社中部新闻信息中心基坑项目邻近武汉地铁2号线和地铁5号线, 其施工会对邻近的地铁隧道安全性产生影响。文章运用数值模拟方法对中新社项目与地铁2号线和地铁5号线的相互影响关系进行评估, 并针对近接隧道施工存在的风险提出措施建议。结果表明基坑支护方案具备可行性, 在采取一定的工程措施之后, 相关影响可以控制在可接受的范围之内, 隧道变形满足规范要求。

关键词

大型基坑, 邻近地铁, 施工安全

Stability Analysis of Large Foundation Pit Construction on Adjacent Subway Tunnel

Lei Zhang, Tengfei Yan

Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei

Received: Sep. 18th, 2021; accepted: Oct. 2nd, 2021; published: Oct. 19th, 2021

Abstract

The foundation pit project of China News Agency Central News Information Center is adjacent to Wuhan Metro Line 2 and Metro Line 5. Its construction will have an impact on the safety of adjacent metro tunnels. This paper uses numerical simulation method to evaluate the interaction between China News Agency project and Metro Line 2 and Metro Line 5, and puts forward measures and suggestions for the risks existing in the construction of adjacent tunnel. The results show that the foundation pit support scheme is feasible. After taking certain engineering measures, the re-

levant impact can be controlled within an acceptable range, and the tunnel deformation meets the specification requirements.

Keywords

Large Foundation Pit, Adjacent to the Subway, Construction Safety

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着国家基础设施建设的快速发展,其用地的供应日渐紧张,使得基坑在既有隧道附近开挖施工的情况越来越多,与周围建(构)筑物的水平距离也越小。基坑开挖施工会改变原构筑物的应力场及变形场,破坏其原有的应力平衡状态[1] [2] [3],导致周围地表产生沉降甚至坍塌,使构筑物发生变形、开裂,甚至引发安全事故[4] [5]。同时,地铁隧道的存在可能使基坑附近的地应力场更为复杂,影响基坑支护结构的受力及变形特性。因此,如何实现基坑的高效施工兼顾隧道等构筑物的安全使用,已经成为近些年来研究的重要问题。

沈雯等[6]对超深基坑开挖下既有地铁车站结构和隧道区间变形进行了实测,分析发现:开挖基坑会引起隧道区间沉降,车站结构与隧道区间均会产生向基坑侧水平位移;区间隧道在水平方向会出现水平拉伸趋势。廖伟等[7]以深圳恒大中心项目为背景,利用数值模拟和实际监测研究了基坑支护结构和隧道支护结构的力学响应规律。魏刚等[8]推导了基坑施工开挖引起的侧向隧道附加荷载计算公式,指出在原有平衡下,隧道围压呈现“钟形”分布;在再平衡过程中,隧道两侧的围压均减小,同时基坑开挖侧围压比远离基坑开挖侧围压减小值更大。

文章以中国新闻社中部新闻信息中心工程为背景,通过数值分析方法对中新社项目与地铁2号线和地铁5号线的相互影响进行安全评估,在此基础上对施工存在的风险提出措施建议,以期为类似工程提供一定经验参考。

2. 工程概况

中国新闻社中部新闻信息中心工程位于武汉市武昌区中山路与和平大道交汇处,由武汉中新国闻置业有限公司承建,用地约5832.06 m²,地下室标高为-13.200 m~-14.700 m,基坑开挖深度为场地自然地面下9.90~11.40 m。

基坑周围环境较为复杂,东侧紧邻地铁2号线,南侧为中国建设银行湖北省分行,西侧为和平大道,其下有轨道交通5号线,北侧为华润凤凰城。轨道交通2号线积玉桥站~螃蟹岬站区间隧道结构线距离基坑西侧支护结构最小水平净距约9.2~10.6 m,基坑底到隧道顶的竖向净距约为-0.7~1.6 m。轨道交通5号线昙华林站-积玉桥站区间隧道结构线距离基坑东北侧支护结构最小水平净距约34.23 m,基坑底到隧顶的净距为2.0~4.0 m,区间隧道与本项目中间夹着和平大道南延线市政隧道的主体与围护结构,三工程的平面位置关系如图1所示。

围护结构设计方案为“钻孔灌注桩排+桩间旋喷桩止水+被动区加固+一道临时钢筋混凝土支撑”,各段围护结构(图2)详细参数详见表1。

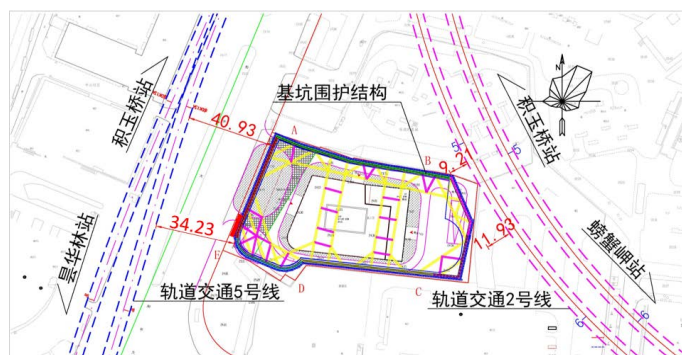


Figure 1. Planar relationship diagram

图 1. 平面关系图

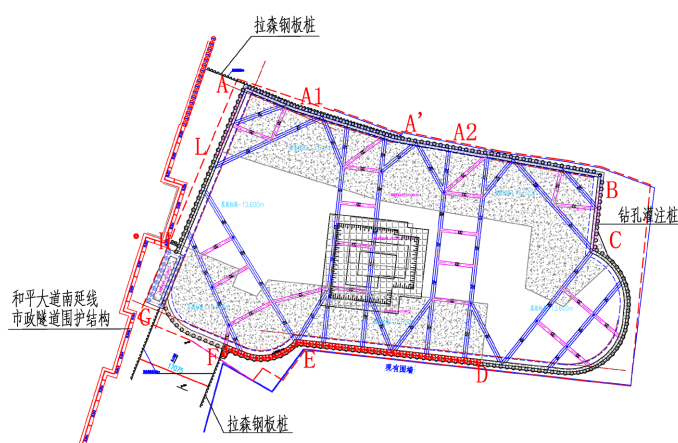


Figure 2. Layout plan of foundation pit support

图 2. 基坑支护平面布置图

Table 1. Foundation pit profile support parameters

表 1. 基坑剖面支护参数

区域	支护形式	支护参数	对应区间
AA1/A2B	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1200@1500$ L = 27 m	
A1A'A2	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1200@1500$ L = 28 m	
BC	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1000@1500$ L = 24 m	2号线积~螃区间
CD	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1100@1500$ L = 24 m	
DEF	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1100@1500$ L = 26 m	
FG	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1000@1500$ L = 18 m	
GH	双排桩 + 桩间三轴搅拌桩加固	$\phi 1100@1500$ L = 25 m	
HL	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1100@1500$ L = 24 m	5号线积~县区间
LA	钻孔灌注桩 + 桩间旋喷桩止水帷幕	$\phi 1000@1500$ L = 24 m	

3. 数值建模

采用数值分析软件 Midas GTS 建立 1:1 模型, 模型尺寸为 248 m * 125 m * 40 m (长*宽*高), 基坑开

挖深度为 12 m, 排桩支护按刚度相等原则等效为地连墙, 深度为 28 m, 2 号线区间隧道直径 6 m, 衬砌厚度 0.3 m, 5 号线隧道直径 6.2 m, 衬砌厚度 0.35 m, 数值模型如图 3 所示。基坑和隧道周围土体、基坑围护结构采用了 3D 实体单元, 隧道衬砌采用 2D 板单元, 支撑结构采用 1D 梁单元。

因隧道衬砌拼接, 管片结构整体刚度小于理想整体圆环模型, 因此对衬砌弹性模量进行了 70% 折减。主要物理、力学参数见表 2、表 3。

Table 2. Table of soil parameters

表 2. 土体参数表

材料	泊松比	密度	弹性模量	粘聚力	摩擦角
		kg/m ³	/MPa	/kPa	/度
杂填土	0.34	1670	9.6	15	12
粘土	0.30	1710	5.6	6	1.8
粉细砂	0.32	1820	15.9	22	20
中风化泥岩	0.30	1830	13.8	21	23

Table 3. Structural unit parameters

表 3. 结构单元参数

结构单元	密度(kg/m ³)	弹模 E(GPa)	泊松比
围护桩	2500	31.50	0.167
支撑	2500	31.50	0.167
隧道衬砌	2500	24.15 (折减)	0.167

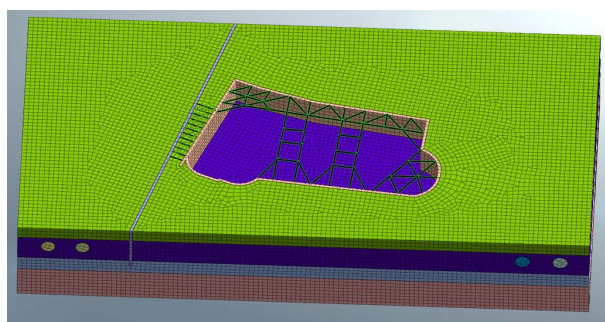


Figure 3. Numerical model

图 3. 数值模型

4. 结果分析

信息中心项目基坑开挖后, 会对地层产生扰动, 引起周边地铁隧道土压力的变化, 使得隧道附近的应力场产生应力重分布。进而导致隧道围岩发生变形, 管片衬砌的位移和内力发生变化, 使得既有状态发生改变, 可能会影响地铁的运营安全。而地铁隧道的存在会增加基坑附近的地应力场的不确定性, 影响基坑支护结构的受力及变形特性。

4.1. 隧道稳定性

根据计算结果, 5 号线隧道管片最大竖向位移为 0.05 mm, 2 号线隧道管片最大竖向位移为 2.44 mm (图

4 红色部分), 表明在基坑开挖影响下, 5 号线和 2 号线隧道衬砌整体上都存在较小的隆起变形, 对 2 号线的影响大于 5 号线。取 2 号线最大变形所在截面(图 5), 可见隧道变形上下几近呈对称分布, 而西侧(靠近基坑侧)变形远大于东侧(远离基坑侧)。

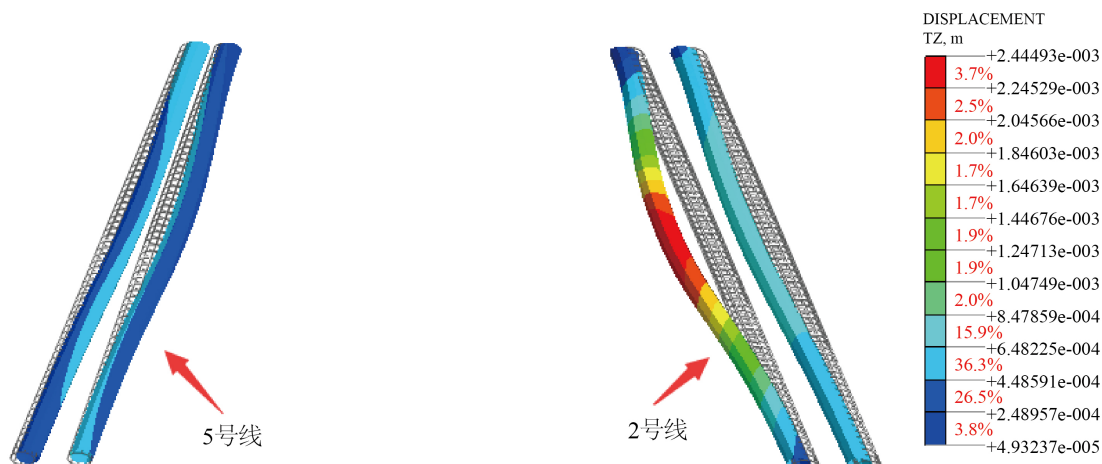


Figure 4. Nephogram of vertical displacement of segment lining

图 4. 管片衬砌竖向位移云图

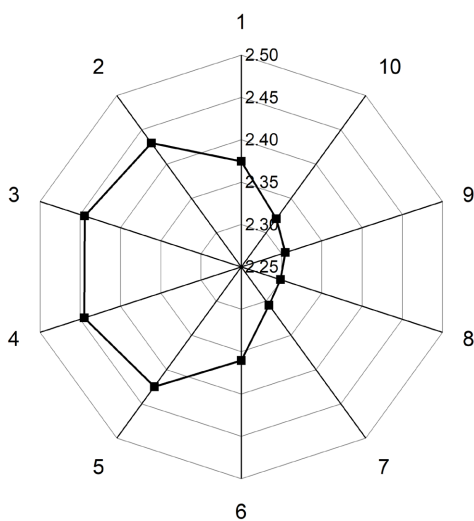


Figure 5. Maximum vertical displacement of line 2

图 5. 2 号线最大竖向位移

在基坑开挖影响下, 隧道衬砌整体水平位移较大, 5 号线隧道管片最大水平位移为 2.21 mm, 2 号线隧道管片最大水平位移为 3.98 mm (图 6 蓝色部分, 负号代表变形偏向基坑方向), 同样水平变形 2 号线仍旧大于 5 号线。取 2 号线最大变形所在截面(图 7), 可见隧道变形曲线呈不规则圆形, 向西南方向凸出, 西南侧最大变形高出东北方向变形 2%, 这与基坑位于 2 号线西南侧是完全相符的。

根据《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202-2013)、《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB50911-2013)规范, 并参考武汉市对于轨道交通规划、运营等方面的规定, 临近地铁区间隧道的地下工程建设应符合以下标准: 1) 隧道水平位移控制值 ≤ 10 mm; 2) 隧道竖向位移控制值 ≤ 10 mm。可见上述结果满足规范要求。

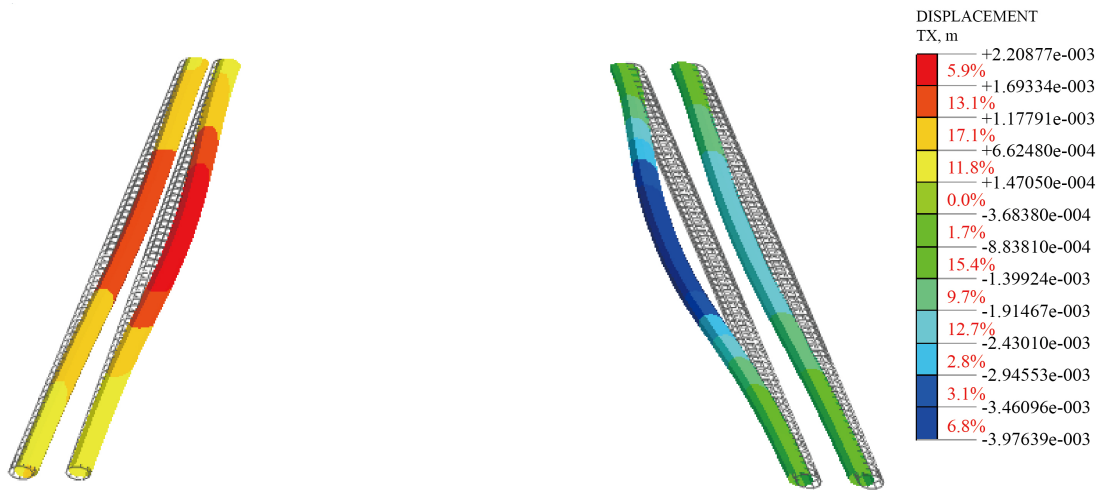


Figure 6. Nephogram of horizontal displacement of segment lining
图 6. 管片衬砌水平位移云图

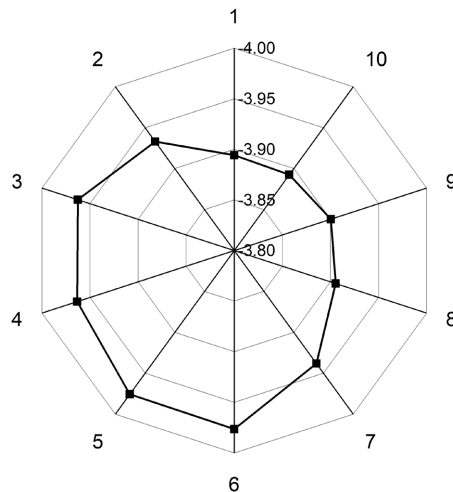


Figure 7. Maximum horizontal displacement of line 2
图 7. 2 号线最大水平位移

4.2. 基坑稳定性

由图 8 可知, 围护结构变形总体呈“弓”形, 上下部位移小, 中部位移大, 靠近 5 号线隧道的基坑西侧围护结构最大水平位移为 37.05 mm (图 9), 靠近 2 号线隧道的基坑东侧, 围护结构最大水平位移为 17.97 mm, 基坑北侧围护结构最大水平位移为 35.17 mm, 基坑南侧围护结构最大水平位移为 38.35 mm。基坑四个方向围护结构变形虽各不相同, 但最大变形所在位置基本一致, 均位于深度 9.8 m 附近, 约占基坑开挖深度的 81.67%, 占围护结构高度的 35%。基坑附近的地表最大沉降约为 4.64 mm。基坑底部最大的回弹变形约为 199.37 mm。

4.3. 支撑内力

支撑内力结果如图 10 所示。根据计算结果, 支撑结构最大压应力为 9.28 MPa, 位置为基坑西侧的第一道对撑(南北向对撑)。西侧地连墙和排桩之间的顶部拉梁中最大拉应力为 1.29 MPa。

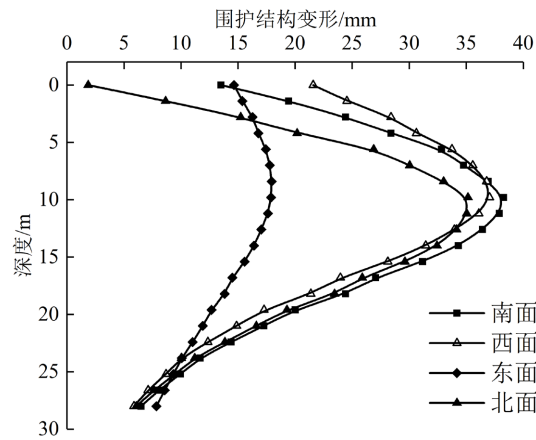


Figure 8. Maximum horizontal displacement diagram of retaining structure
图 8. 围护结构最大水平位移图

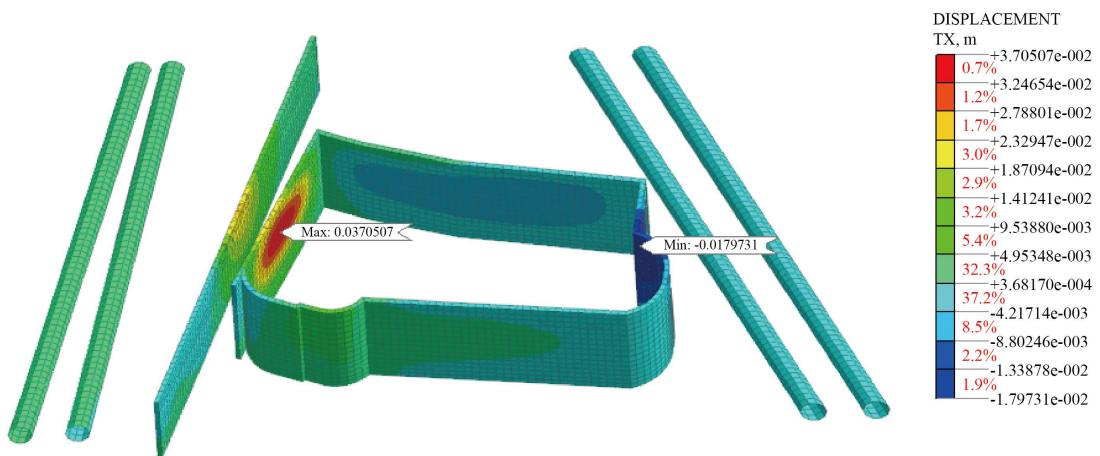


Figure 9. Nephogram of X-direction displacement of retaining structure
图 9. 围护结构 X 方向位移云图



Figure 10. Internal support stress diagram
图 10. 内支撑应力图

Table 4. Statistics of stress and deformation results**表 4.** 受力变形结果统计

5 号线		2 号线		基坑		支撑/拉梁内力最大值(MPa)
水平位移最大值(mm)	竖向位移最大值(mm)	水平位移最大值(mm)	竖向位移最大值(mm)	水平位移最大值(mm)	沉降最大值(mm)	
2.21	0.05	3.98	2.44	38.35	4.64	9.28/-1.29

根据表 4 基坑与隧道整体三维模型的计算分析结果,采用当前开挖支护方案时,基坑开挖至坑底后,在相互影响下,会产生不同的位移变形和应力变化。

由于基坑邻近隧道侧未出现塑性破坏区,基坑的竖向位移主要表现为开挖后的回弹变形,隧道位移主要表现为面向基坑方向的水平变形,但并未超过控制标准。总体而言,基坑支护体系设计基本合理,支撑刚度和西侧拉梁偏弱,可以基本满足基坑稳定性要求。

5. 结论与建议

1) 信息中心项目进入轨道交通 2 号线、5 号线安全保护区之内,项目基坑开挖会对既有区间隧道产生影响。在采取钻孔灌注排桩、旋喷桩止水、被动区加固系列措施之后,相关影响可以控制在规范标准以内。

2) 既定基坑支护方案条件下,通过有限元计算盾构隧道整体状况基本满足要求,其中 5 号线隧道最大水平位移为 2.21 mm,最大竖向位移为 0.05 mm,2 号线隧道最大水平位移为 3.98 mm,最大竖向位移为 2.44 mm,能够满足《城市轨道交通结构安全保护技术规范》的要求。

3) 基坑施工应采用监测反馈技术,隧道与基坑均应在施工期建立实时监测体系以及预警预报系统。

4) 基坑开挖应先进行试开挖,对隧道及基坑变形进行跟踪分析,施工过程中如果变形或变形速率较预测值偏大则应停止开挖,对隧道和基坑间土体采用旋喷桩等必要措施进行加固,满足施工条件后方可继续施工。

参考文献

- [1] 金振,李清狮.超高层建筑大型地下空间结构施工技术[J].建筑技术,2019(1):78-82.
- [2] Chang, C.T., Sun, C.W., Duann, S.W., et al. (2001) Response of a Taipei Rapid Transit System (TRTS) Tunnel to Adjacent Excavation. *Tunnelling and Underground Space*, **16**, 151-158. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00049-9)
- [3] Dolezalova, M. (2001) Tunnel Complex Unloaded by a Deep Excavation. *Computers and Geotechnics*, **28**, 469-493. [https://doi.org/10.1016/S0266-352X\(01\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0266-352X(01)00005-2)
- [4] 陈伟,吴裕锦,彭振斌.广州某基坑抢险监测及坍塌事故技术原因分析[J].地下空间与工程学报,2006,2(6):1034-1039.
- [5] 齐宏伟,张红芬,田斌.重大基坑坍塌事故虚拟仿真系统研究[J].中国安全生产科学技术,2018,14(11):174-179.
- [6] 沈雯,沈蓉,孙廉威.超深基坑分区开挖对侧方地铁影响的实测分析[J].地下空间与工程学报,2019,15(S1):354-360.
- [7] 廖伟,郭钢,雷静,梁森,陈建华,罗盈洲,艾姣姣.临近地铁深基坑开挖支护结构力学响应规律研究[C]//中冶建筑研究总院有限公司.2021年工业建筑学术交流会议论文集(上册).中冶建筑研究总院有限公司:工业建筑杂志社,2021:6.
- [8] 魏纲,张鑫海,林心蓓,华鑫欣.基坑开挖引起的旁侧盾构隧道横向受力变化研究[J].岩土力学,2020(2):1-11.