

文章编号: 1674-599X(2020)03-0062-05

新建隧道下穿对既有隧道稳定性影响研究

王春国

(中铁十四局集团 隧道工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要: 为研究相同地质条件下, 不同开挖方式对既有隧道稳定性的影响。以深圳地铁 9 号线下穿工程为背景, 利用 FLAC^{3D} 有限元软件, 建立了隧道开挖的三维数值模型, 分析不同开挖方式对新建隧道和既有隧道的应变影响, 并与现场监测值进行了对比分析。研究表明: 数值模拟所得不同开挖方式的应变与实际测量结果的趋势相似, 但对隧道稳定性的影响从大到小依次为: 全断面法, 台阶法, CD 法, 双侧壁导洞法。考虑到施工成本和时间成本, 该工程的最佳开挖方案为台阶法。

关键词: 隧道; 开挖方式; 数值模拟; 稳定性

中图分类号: U452

文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2020.03.010

Influence of underpass of new tunnel on stability of existing tunnel

WANG Chun-guo

(Tunnel Engineering Co., Ltd., China Railway 14th Bureau Group, Jinan 250000, China)

Abstract: To study effects of excavation methods on the stability of existing tunnel, a 3D numerical model of tunnel excavation is established based on the finite element software FLAC 3D taking Shenzhen Metro Line 9 as an example. The effects of excavation methods on the strain of the new and existing tunnels. The simulated results are compared with the field monitoring data. The results show that the strain of tunnel by different excavation methods obtained from simulation and field monitoring holds a similar pattern. The impacting extent of excavation method on the tunnel stability (from large to small) is full section method, step method, CD method and bilateral wall tunnel method. Comprehensively considering the cost of construction and time, the optimal excavation method for the project should be step method.

Key words: tunnel; excavation method; numerical simulation; stability

在城市轨道交通工程建设中, 会遇到隧道下穿的问题, 给工程施工的变形控制带来考验。如果不严格控制隧道的稳定性, 就可能造成严重的事故。不同的隧道开挖方式, 会对隧道稳定性有不同影响。若开挖方式不当, 也会造成隧道应变的增加^[1-4]。国内外有关隧道下穿的研究较多。王清标^[5]等人以不同开挖方式对隧道周围地层和围岩的变化进行研究, 分析了多隧道交汇处岩石受力的变化规律。姚勇^[6]等人以某地区小净距隧道为背景, 利用数值计算, 分析了软岩隧道开挖稳定后, 对围岩

和衬砌进行了力学分析, 并且研究了不同净距隧道开挖对中间岩层的影响。晏启祥^[7]等人通过数值模拟不同开挖方法对锚杆和混凝土的作用, 分析了不同净距对中间岩层的影响。Zhang^[8]等人对黏性摩擦土圆形隧道的稳定性进行了三维数值模拟, 分析了隧道直径与深度比和土壤性质的圆形隧道面稳定性。但对全断面开挖、台阶法、双侧壁导洞法及 CD 法的研究鲜见^[9-12]。因此, 作者拟依托深圳地铁 9 号线工程, 将数值模拟值和工程实测值进行对比, 分析了不同施工法对隧道的拱顶沉降、水平收敛

收稿日期: 2020-04-07

作者简介: 王春国(1971-), 男, 中铁十四局集团隧道工程有限公司高级工程师。

及地表沉降的影响，以期为该工程的施工方法选择最佳方案。

1 工程概况

深圳地铁 9 号线总长为 25.38 km，纵穿南山、福田及罗湖 3 个区。地铁 9 号线与地铁 1 号线因有交汇，所以会出现新建隧道下穿既有隧道的施工情况。深圳地铁 1 号线开挖后，隧道外径为 6.0 m，内径为 5.4 m，掘进施工为土压盾构。隧道管片为标准管片，每环为 6 片，宽度为 1.5 m。新建隧道直径为 6.0 m。沿既有隧道与新建隧道的交界处，布置检测断面，断面间隔 5.0 m，对隧道附近同一埋深带 MC-A 处的地表沉降进行了检测。隧道的监测点布置如图 1 所示。

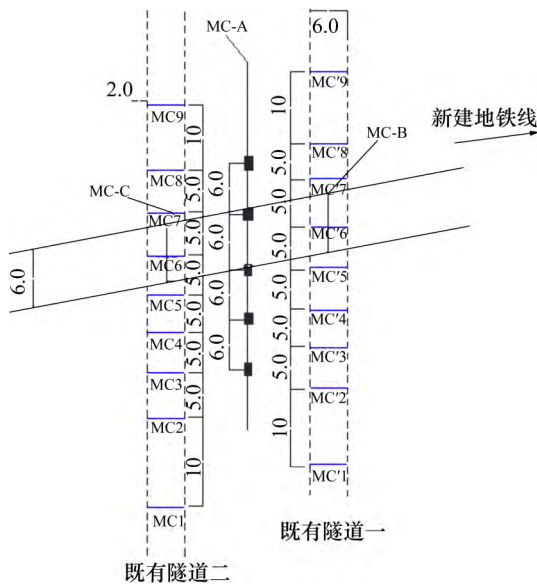


图 1 隧道断面(单位: m)

Fig. 1 Tunnel section (unit: m)

隧道采用台阶法施工，根据现场地质勘查情况，隧址区土体由素填土、细粉砂、砾质粘性土及花岗岩等组成。

2 数值分析

采用 FLAC^{3D} 软件，模拟新建隧道的开挖过程。为分析不同开挖方法对隧道及周围岩体的稳定性，分别模拟台阶法、全断面、双侧壁导洞法及 CD 法施工新建隧道对既有隧道的影响。在模拟中，假设土为厚度不变的均匀介质，新建隧道尺寸为 54 m×50 m×70 m。隧道衬砌与既有隧道为弹性模型，土体为摩尔库伦模型。隧道模型如图 2 所示。各开挖方式的隧道断面如图 3 所示。

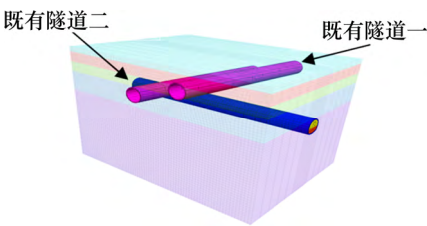


图 2 数值模型

Fig. 2 Numerical simulation model

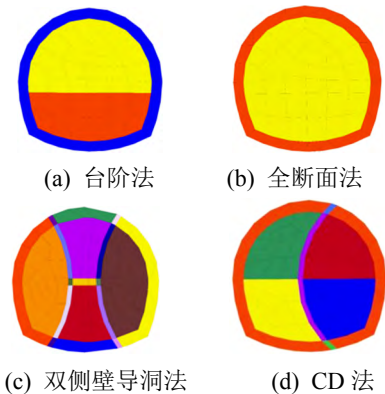


图 3 开挖断面

Fig. 3 Excavation section

数值模拟的步骤：①建立模型，确定相关参数；②初始重力运算，达到平衡；③开挖方式计算，结果分析；④改变开挖方式，重新进行计算，结果分析。土体参数见表 1。

表 1 数值计算参数

Table 1 Parameters of numerical calculation

土层	厚度/m	体积模量/MPa	剪切模量/MPa	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	密度/(kg·m ⁻³)
素填土	6.0	4.9	2.4	12.0	10.0	1 679
细粉砂	2.0	60.3	5.3	15.8	19.3	1 843
砾质粘性土	9.0	17.9	8.4	20.0	23.5	1 857
全风化花岗岩	9.0	44.6	24.8	20.3	27.6	1 955
强风化花岗岩	13.0	71.8	44.3	25.2	45.4	1 980
衬砌	0.6	14 800.0	11 100.0	—	—	2 600

3 模拟值与实测值对比分析

3.1 地表沉降

MC-A 监测数据如图 4 所示。从图 4 可以看出,采用台阶法、CD 法及双侧壁导洞法施工,对地表的影响均较小。地表沉降量最大的区域为新建隧道正上方约 10 m 范围。且距离新建隧道越远,地表沉降越小。工程实测值也是中间大两边小的趋势,监测最大值为 9.7 mm。采用台阶法施工,地表沉降的检测值与模拟值相比,趋势相似,但实测值比模拟值大 17%。

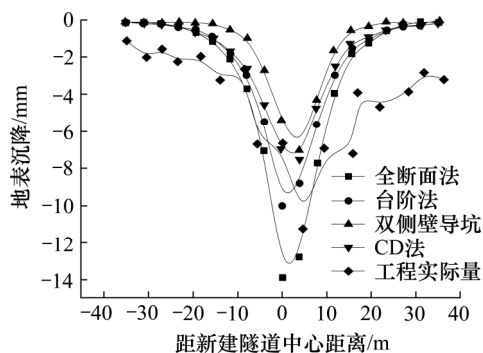


图 4 新建隧道的地表沉降

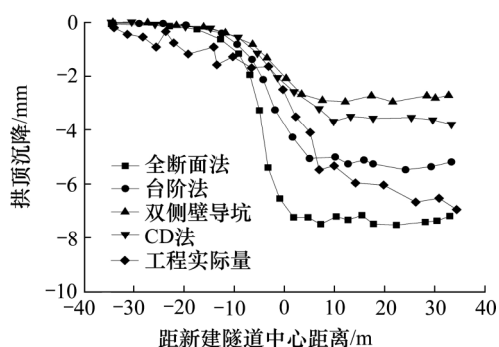
Fig. 4 Surface settlement of new tunnel

3.2 既有隧道的拱顶沉降

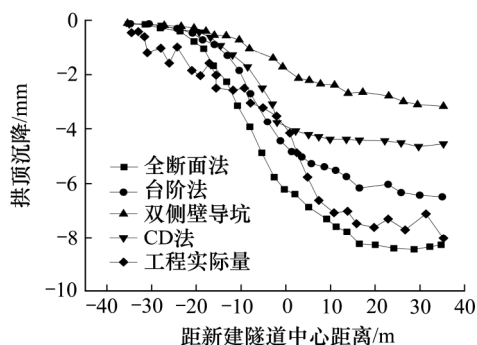
当监测断面为 MC6(MC'6)时,既有隧道的拱顶沉降变化曲线如图 5 所示。从图 5 可以看出,在初期,2 个既有隧道拱顶的沉降表有增大趋势,然后趋于稳定。对于既有隧道一,全断面开挖的拱顶沉降最大,为 7.8 mm。其次为台阶法开挖的,最大值为 5.3 mm。然后为 CD 法开挖的,最大值为 3.4 mm。双侧壁导洞法的最小,最大值为 2.6 mm。既有隧道二与既有隧道一相似,对拱顶沉降的影响,从大到小依次为全断面法,台阶法,CD 法,双侧壁导洞法。在既有隧道二中,全断面法开挖的拱顶沉降,最大值为 8.4 mm,比既有隧道一的增加了 0.5 mm。之所以既有隧道二的拱顶沉降在相同的工法,均大于既有隧道一的,是因为既有隧道一比既有隧道二距施工作业现场较远,受到的施工影响稍小。拱顶沉降的实测值与模拟值趋势基本一致。开始开挖时,模拟值较大。开挖完成后,实测值比模拟值增大 20%。

3.3 新建隧道拱顶沉降

MC-B 监测断面的拱顶沉降值如图 6 所示。由



(a) 既有隧道一的拱顶沉降



(b) 既有隧道二的拱顶沉降

图 5 既有隧道监测点的拱顶沉降

Fig. 5 Settlement of existing tunnel

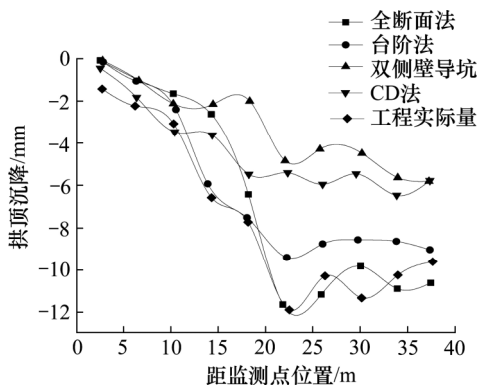


图 6 新建隧道的拱顶沉降

Fig. 6 Settlement of existing new tunnel

于新建隧道的拱顶沉降影响隧道稳定性,因此,对不同施工方法的隧道进行拱顶沉降监测。从图 6 可以看出,新建隧道的拱顶沉降随施工的进程逐渐增加,在距开挖距离 20 m 后,沉降趋于稳定。其中,在 4 种施工方法中,双侧壁导洞法开挖的拱顶沉降最小,为 5 mm;其次为 CD 法开挖的,最大值为 5.8 mm;台阶法开挖的最大值为 8.4 mm;全断面开挖的最大值为 11 mm。表明:施工时,采用双侧壁导洞法和 CD 法,开挖的拱顶沉降较小,更有利于隧道整体的稳定。台阶法开挖的拱顶沉降适中。而

全断面开挖最大,不适用于此工程。对比台阶法的模拟值和实测值,实测值偏大,最大拱顶沉降为11 mm,比模拟值增大了18%。实际测量与数值模拟的趋势相似,开挖距离监测断面较近时,模拟值较大,实测值随着开挖进程,逐渐超过模拟值。

3.4 新建隧道的水平收敛

新建隧道的水平收敛如图7所示。隧道水平收敛的监测点为MC-C。从图7可以看出,隧道支护后,开挖掌子面距离的增大,水平收敛不断增加,在距离监测面30 m后,逐渐趋于稳定。对于隧道稳定后的水平收敛值,从小到大依次为双侧壁导洞法,CD法,台阶法,全断面开挖方法。其中,双侧壁导洞法的水平收敛为4.5 mm。CD法在隧道掌子面距离监测断面20 m后,逐渐稳定,水平收敛为6.2 mm。台阶法开挖和全断面开挖方法的水平收敛和开挖距离,呈线性关系,30 m后趋于稳定,台阶法开挖的水平收敛为8.1 mm,全断面法的水平收敛值最大,为11 mm。在实际工程中,现场实测的水平收敛为9 mm,与模拟值相比,大1 mm左右。表明:模拟值和实际测量结果较为接近。在施工条件相同的情况下,采用双侧壁导洞法,能够有效地减小水平收敛。

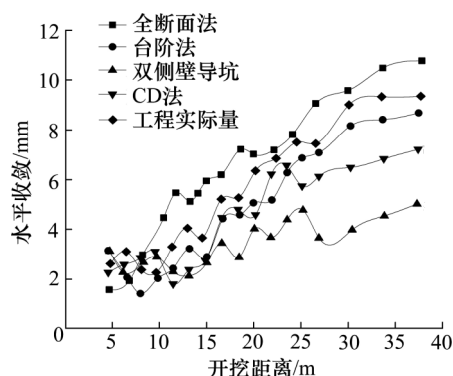


图7 新建隧道的水平收敛

Fig. 7 Horizontal convergence of new tunnels

在施工条件相同的情况下,通过比较全断面开挖方法,台阶法施工,CD法开挖及双侧壁导洞法对下穿新建隧道稳定性的影响,考虑施工成本和时间成本,该工程选择台阶法施工为最佳开挖方案。

4 结论

以深圳地铁9号线地铁下穿工程为背景,采用FLAC^{3D}有限差分法进行计算,并与现场监测值进

行对比分析。得到的结论为:

- 1) 新建隧道开挖过程中,隧道地表沉降量在正上方部位最大,随着与隧道距离的增加而减小。交叉隧道施工对地表沉降的影响,从大到小依次为全断面开挖,台阶法,CD法,双侧壁导洞法。
- 2) 相同的工法上,既有隧道二的拱顶沉降大于既有隧道一的。对于拱顶沉降,实测值与模拟值相近。开挖完成后,实测值比模拟值大20%。新建隧道的拱顶沉降随着施工进程逐渐增加,在距开挖距离20 m后趋于稳定。
- 3) 隧道支护后,水平收敛随着开挖掌子面距离的增大不断增加,在距离监测面30 m后,逐渐趋于稳定。在实际施工中,考虑到施工成本和时间成本,该工程采用台阶法为最佳开挖方案。

参考文献(References):

- [1] 钟爱军,李懋,王立新,等.隧道上穿溶洞对管片衬砌结构稳定性影响分析[J].交通科学与工程,2018,34(2):71-77.(ZHONG Ai-jun, LI Miao, WANG Li-xin, et al. Analysis of the influence on the stability of segment lining structure through solution tunnel[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2018, 34(2): 71-77.(in Chinese))
- [2] 彭跃辉,陶彪,刘鑫磊,等.浅埋隧道在部分集中脉冲荷载作用下的波动响应[J].建筑科学与工程学报,2019,36(3):110-116.(PENG Yue-hui, TAO Biao, LIU Xin-lei, et al. Wave response of shallow buried tunnel under partially concentrated pulse load[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2019, 36(3): 110-116.(in Chinese))
- [3] 郑毅,张子新.浅埋暗挖隧道开挖方式对地层扰动优化分析[J].地下空间与工程学报,2014,10(6):1372-1379.(ZHENG Yi, ZHANG Zi-xin. Optimization and analysis of the excavation types on the shallow-buried excavation tunnel[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2014, 10(6): 1372-1379.(in Chinese))
- [4] 漆泰岳,吴占瑞,骆驰,等.地铁隧道开挖方式对环境的影响及控制[J].西南交通大学学报,2013,48(5):792-797, 817.(QI Tai-yue, WU Zhan-rui, LUO Chi, et al. Influence of metro tunneling methods on environment and its control[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2013, 48(5): 792-797, 817. (in Chinese))
- [5] 王清标,蒋金泉,路林海,等.不同开挖方式对近距离叠置隧道影响模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2013,

- 32(10): 2079–2087. (WANG Qing-biao, JIANG Jin-quan, LU Lin-hai, et al. Numerical simulation for influence law of different excavation methods on adjacent overlapping tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(10): 2079–2087. (in Chinese))
- [6] 姚勇, 晏启祥, 周俐俐. 小净距隧道在不同开挖方式下的力学效应分析[J]. 西南科技大学学报: 自然科学版, 2005(2): 53–56, 74. (YAO Yong, YAN Qi-xiang, ZHOU Li-li. Study on mechanics effect of small -distance tunnels located at soft ground[J]. Journal of Southwest University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005(2): 53–56, 74. (in Chinese))
- [7] 晏启祥, 何川, 姚勇, 等. 软岩小净距隧道施工力学效应研究[J]. 地下空间与工程学报, 2005(5): 693–697. (YAN Qi-xiang, HE Chuan, YAO Yong, et al. Study on mechanical effect of small-distance tunnels located at soft ground[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005(5): 693–697. (in Chinese))
- [8] Zhang C, Han K, Zhang D. Face stability analysis of shallow circular tunnels in cohesive-frictional soils[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2015, 50: 345–357.
- [9] Li Y N, Liu M, Wu S, et al. Study on FEM numerical simulation and strain monitoring of tunnel secondary lining[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 580–583: 1105–1111.
- [10] Cai L L, Yang X Y, Guo N. Numerical simulation study on three-step method construction for neighborhood tunnel [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 580–583: 1327–1330.
- [11] 张洪锋. 浅埋盾构隧道近接桩基础渗流应力耦合安全性分析[J]. 公路工程, 2019, 44(4): 250–257. (ZHANG Hong-feng. Safety analysis considering seepage-stress coupling on foundations close approach to shallow shield tunnel[J]. Highway Engineering, 2019, 44(4): 250–257. (in Chinese))
- [12] 高硕晗, 周建, 徐岩, 等. 季冻区绿色公路建设技术管理创新与实践[J]. 公路工程, 2019, 44(4): 130–134. (GAO shuo-han, ZHOU Jian, XU Yan, et al. Innovation and practice of technology and management for green highway construction in seasonal frozen region[J]. Highway Engineering, 2019, 44 (4): 130–134. (in Chinese))