

文章编号:1005-0523(2019)05-0010-06

超小净距双线隧道掘进对先建隧道的影响

李小奇¹,王 宁²

(1.中铁隧道集团二处有限公司,河北 廊坊 065201;2.华东交通大学江西省岩土工程基础设施安全与控制重点实验室,江西 南昌 330013)

摘要:南昌地铁2号线在赣江东岸某区间的上下行隧道存在超小净距段,超小净距对双线先后施工产生的影响目前还不清楚。通过3D实体弹塑性模型对两条隧道的超小净距段进行了数值仿真分析。结果表明:先建隧道衬砌水平方向中轴线上的总应力最大;新建隧道掘进对先建隧道的变形扰动存在滞后性,最大位移发生在开挖断面后方,同时开挖扰动存在最大限值;新建隧道掘进使得先建隧道衬砌在靠近开挖侧水平轴线以上部分变形最大、应力增量最大,呈现向开挖侧弯曲的现象;新建隧道掘进对先建隧道的内力扰动存在超前性,即开挖面前方某段距离内隧道的内力增量最大。

关键词:双线隧道;数值模拟;超小净距;隧道变形;衬砌应力

中图分类号:U45

文献标志码:A

地铁隧道一般都是双线布置,考虑周边地质条件以及城市管线、建筑基础的布置等因素,可能导致出现拟建隧道与已有隧道的距离过小。在这种情况下,必须考虑后建隧道施工对先建隧道的影响,保证工程安全。因此,研究后建地铁隧道掘进对邻近先建隧道内力和变形的影响,具有非常重要的实际意义。

目前,国内外针对双线隧道施工问题的相关研究较为丰富,既包括钻爆施工的岩石隧道^[1-6],也有盾构为主的软岩或软土隧道^[7]。依托上海复兴东路越江隧道的实测数据,林志等^[8]分析了最小净距6.5 m的双线隧道施工时衬砌的变形问题,指出后建隧道推进使得先建隧道出现被挤远的现象。王伟等^[9]以上海大连路越江隧道(最小净距6.5 m)为背景,利用MARC有限元软件平行双线隧道的合理净距问题,通过分析指出最佳净距为0.8D,直径6 m的隧道约为4.8 m。彭惠等^[10]采用MARC软件结合实测数据分析了净距9 m的双线隧道施工时衬砌的位移与内力,指出先建隧道会出现向外、向下的变形。王新^[11]以上海虹梅南路越江隧道工程为背景,利用PLAXIS.2D软件分析了双线盾构隧道施工时两条隧道的位移变化规律,其采用的模型为2D模型,该工程中隧道最小净距为5 m。丁海滨等^[12]通过ABAQUS软件构建了上海复兴东路越江盾构隧道的一个2D模型,双隧道的实际净距为7.7 m,文章综合考虑衬砌内力、变形及经济等因素指出隧道净间距可取洞径的0.7~0.8倍。刘玮等^[13]分析了广佛城际铁路陈村2号小净距(4 m)隧道先建隧道衬砌的实测变形数据,指出先建隧道衬砌可出现平均6 mm的外向水平位移。日本学者Yamaguchi等^[14]针对某4条盾构隧道近距离掘进过程隧道间的相互作用进行了研究,指出后建隧道施工可引起先建隧道衬砌产生应力增量,且在盾构机面到达监测管片前10~5 m时被检测管片就已经出现应力增量,而这一现象在文献[6-13]中均未体现,其中利用2D模型更加不能反映这一问题。张明聚等^[15]对北京地铁10号线草桥站到纪家庙站区间一段净距2.7~4 m双线盾构隧道施工进行了监测,得到了先建隧道管片的应力变化数据,其分析结果表明先建隧道衬砌靠近后建隧道一侧的应力增加最为显著。

收稿日期:2019-01-24

基金项目:国家自然科学基金项目(51868021);江西省交通运输厅基金项目(2017D0035);江西省教育厅基金项目(GJJ170363)

作者简介:李小奇(1979—),男,工程师,研究方向为地下工程施工。

通过对上述已有研究的分析发现:① 上述文献多以双线平行为背景;② 最小净间距在 4 m 以下较少;③ 采用数值分析法时多以 2D 模型为基础,不能反映空间效应。针对这些问题,本文依托真实项目开展超小净距双线隧道掘进对先建隧道的影

1 工程背景

1.1 工程概况

南昌地铁 2 号线在赣江东岸风井至阳明公园站的隧道区间由于需要尽可能避让八一大桥基础,出现了上下行隧道超小净距的情况见图 1,该段长度约 300 m,其中最小净距为 2.4 m。该处地层以泥质粉砂岩和富水卵石层为主。

1.2 工程地质条件

隧道穿越的主要地层为粉质粘土层、砾砂、圆砾、中风化泥质粉砂岩、强风化泥质粉砂岩等,从勘察资料分析,基岩裂隙多呈闭合状,透水性弱,水量不丰富,径流条件较差。基岩裂隙水具有微承压性。土体的具体物理力学参数如表 1 所示。

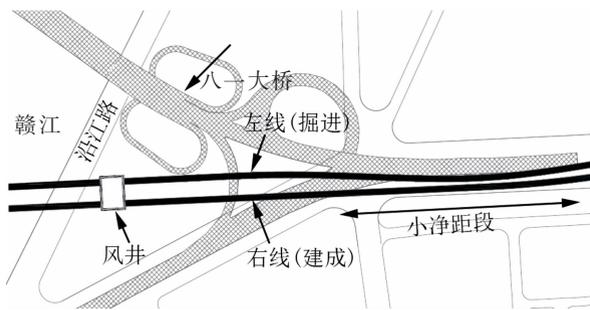


图 1 地铁隧道平面示意图

Fig.1 Schematic diagram of subway tunnel plane

表 1 土层参数
Tab.1 Soil parameters

土层	土层厚度/m	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	重度/(kN/m ³)	压缩模量/MPa	泊松比
素填土	5.8	15	10	14.4	10.3	0.40
粉黏土	4.2	25	10	18.7	8	0.35
圆砾	8.2	38	34	20	30	0.32
强风化	0.7	40	28	21	80	0.32
中风化	33	100	38	24.5	40	0.30

2 数值模型

2.1 计算模型简化

选取隧道净间距 4~2.4 m 段采用 ABAQUS 有限元软件三维实体仿真建模。为减少边界效应,隧道两侧土体边界距隧道衬砌的距离均取隧道直径的 5 倍,整体模型的长宽高为 84 m×80 m×52 m。为满足分析计算精度,划分网格时对隧道周边的土体进行了网格加密,计算单元为 C3D8R 实体单元,单元总数为 20 322 个,土体四周约束法向位移,底部约束竖向位移(图 2 所示)。由于强风化泥质粉砂岩层厚度只有 0.7 m,

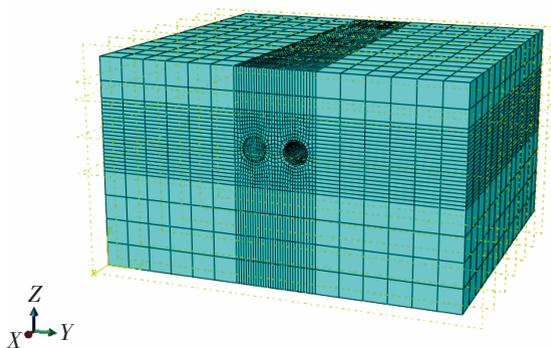


图 2 有限元模型

Fig.2 Finite element model

为使网格划分更为规整,使计算易于收敛,将强风化泥质粉砂岩层并入圆砾层,厚度为9 m。

开挖分为5个断面分别代表隧道净距为4 m(I-I)、3.6 m(II-II)、3.2 m(III-III)、2.8 m(IV-IV)和2.4 m(V-V),每个开挖段相当于向前推进14环,如图3所示。每一步开挖后,提取开挖面处和邻近隧道对应处的衬砌内力和变形;提取先建隧道沿轴线方向应力和变形的分布规律。图3中A、B、C、D为先建隧道某断面上数据提取点的示意图。

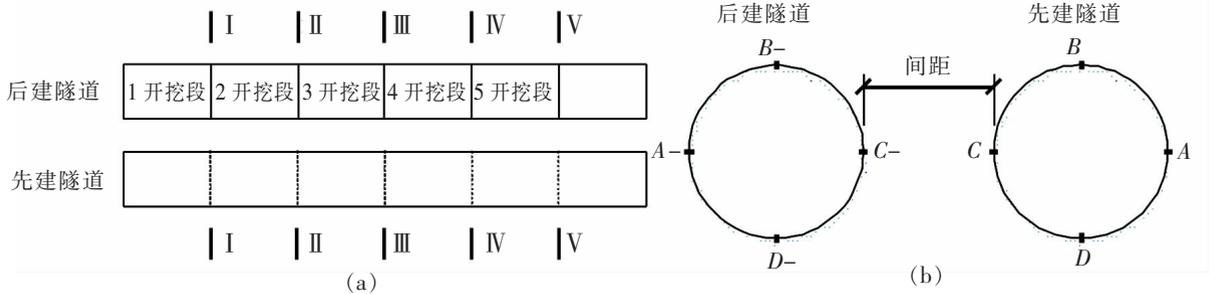


图3 分段开挖及隧道位置示意图

Fig.3 Schematic diagram of tunnel excavation and tunnel locations

2.2 模型参数选取

土体假设为连续均质弹塑性体,采用摩尔-库伦模型模拟土体的塑性变形。盾构管片强度和刚度比土体大的多,实际工程也不允许衬砌达到塑性变形状态;因此衬砌采用弹性模型模拟。模型的参数见表2和表3。

表2 土体模型参数

Tab.2 Parameters of soil model

土层序号	土层厚度/m	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	密度/(kg/m ³)	变形模量/MPa	泊松比
1	5.8	15	10	1 440	10.3	0.40
2	4.2	25	10	1 870	8	0.35
3	9	38	34	2 000	30	0.32
4	33	100	38	2 450	40	0.30

注:土体膨胀角以及绝对塑性应变均为0。

表3 衬砌模型参数

Tab.3 Parameters of lining model

密度/(kg/m ³)	弹性模量/MPa	泊松比
2 400	34 500	0.169

3 计算结果和分析

主要计算既有隧道衬砌的变形和内力增量情况。为更好地表示衬砌上不同位置处的状态,在隧道切平面上取点编号,如图3所示。

3.1 开挖到不同位置时先建隧道衬砌内力与变形分析

在5个间距不同的位置,截取先建隧道衬砌面上应力和位移。图4表示开挖到不同位置时,先建隧道对应处衬砌环的变形量。总体来说,BC段的变形最大,说明后建隧道开挖对相邻隧道变形的主要影响区为衬砌上部靠近后建隧道一侧,先建隧道会出现向后建隧道一侧变形的趋势。当隧道间距为4 m时,最大位移5.5 mm。隧道间距从3.6 m到2.4 m,最大位移为6.2~6.5 mm。说明当隧道间距小于4 m后,后建隧道开挖对相邻

隧道的影响不会随间距减小而出现明显变化。

图 5 所示为衬砌的总应力分布。A、C 两点的应力表明,先建隧道水平方向中轴线上两点的应力较大。隧道顶部和底部的应力较小。随着隧道间距越来越小,A 点的应力有所增大,C 点处承担的应力有所减小,例如间距为 4 m 和 2.4 m 时,在 C 点处的应力差约为 0.4 MPa。

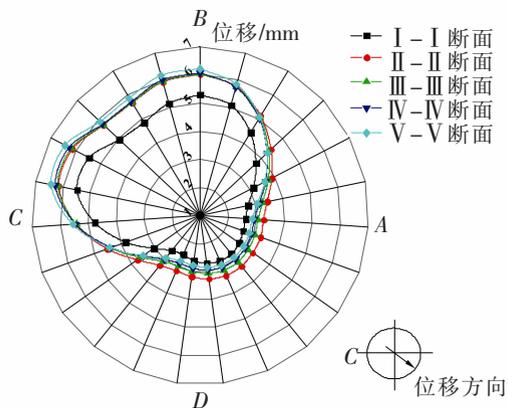


图 4 后建隧道开挖到不同断面处时先建隧道对应位置的衬砌变形

Fig.4 Lining deformation of the pre-built tunnel at the corresponding location during the tunnel excavation in different sections

图 6 表示新建隧道开挖造成先建隧道衬砌应力的增加量,可以反映新建隧道对先建隧道的扰动情况。各个断面上应力增量最大的区域都是隧道顶部偏向 BC 区,同样证明衬砌靠近掘进一侧受扰动情况最大,这一结果基本符合张明聚等^[15]的实测结果。若需要加固地层可重点考虑这个区域。隧道间距从 3.6 m 缩减到 2.4 m,应力增量逐渐增大,说明两隧道间距越近,先建隧道内力增加越大,增加了混凝土衬砌裂缝开展的可能性。对耐久性要求高的区域,需控制隧道间距,或在施工时采取必要的提高耐久性措施。

3.2 开挖过程对先建隧道的整体影响

选最靠近新建隧道的 C 点,分析开挖过程对先建隧道的整体影响。图 7 中曲线 1 表示新建隧道掘进至两隧道净距 4.0 m 时,先建隧道整线的变形。当挖到 I-I 断面时,该断面后方的先建隧道位移增加到 7 mm 左右,断面前方由于土体还未扰动,隧道的变形逐渐减小,远端的位移增量几乎为 0。当挖掘到 II-II 断面时,断面后方的位移继续增加,最大值接近 10 mm,断面前方隧道位移也在逐步增大。开挖第 3,4,5 段土体后,先建隧道的整线变形曲线表明,隧道开挖继续推进后,邻近先建隧道的扰动变形存在上限约为 12 mm。

图 8 表示隧道掘进过程中邻近先建隧道衬砌的内力增量曲线。从曲线可以看出开挖面前方一定距离范围内衬砌内力增量最大,增量最大处距开挖面约 15 m,超过 15 m 之后随着距离的增加内力增幅明显降低,该结论与 Yamaguchi^[14]的计算结果一致。隧道衬砌内力增量最大值与隧道净距大体成线型关系,隧道净距越小,衬砌内力增量越大。

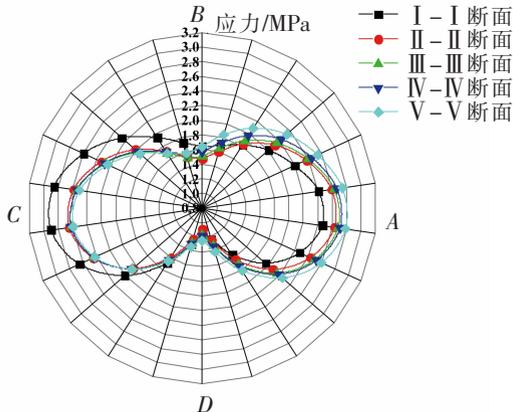


图 5 后建隧道开挖到不同断面处时先建隧道对应位置的衬砌总应力

Fig.5 Lining stress of the pre-built tunnel at the corresponding location during the tunnel excavation in different sections

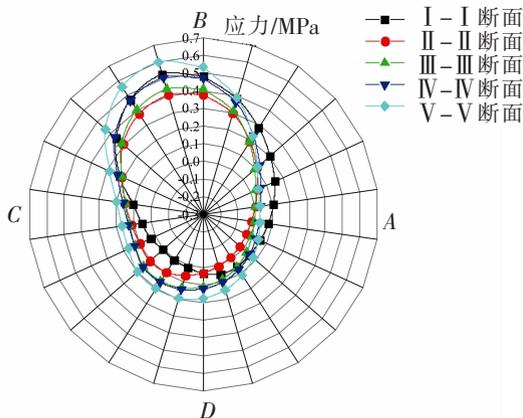


图 6 后建隧道开挖到不同断面处时先建隧道对应位置的衬砌应力增量

Fig.6 Lining stress increment of the pre-built tunnel at the corresponding location during the tunnel excavation in different sections

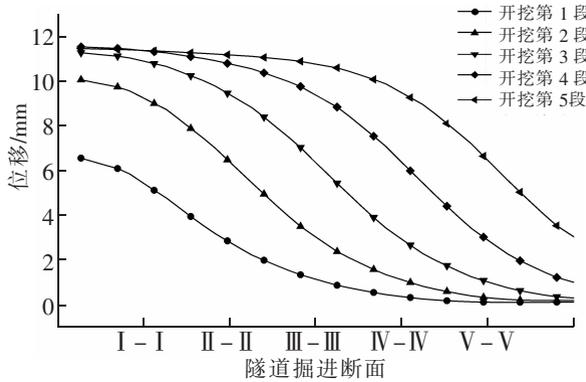


图7 先建隧道整线变形图

Fig.7 Pre-built tunnel deformation map

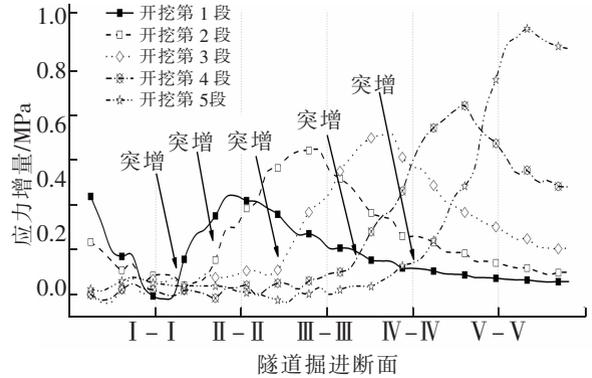


图8 先建隧道衬砌的内力增量图

Fig.8 Internal force increment diagram of the pre-built tunnel lining

4 结论与展望

- 1) 先建隧道开挖使得相邻隧道衬砌在靠近开挖侧、水平轴线以上部分变形最大、应力增量最大(BC段),呈现向开挖侧弯曲的现象。若需要加固地层可重点考虑这个区域的。
- 2) 先建隧道水平方向中轴线上两点的总应力最大。
- 3) 隧道净间距从4.0 m到2.4 m,最大位移为6.2~6.5 mm。说明当隧道间距小于4 m后,后建隧道开挖对相邻隧道的影响不会随间距减小而出现明显变化。
- 4) 隧道掘进对邻近先建隧道变形扰动存在滞后性。即最大位移发生在开挖断面后方,同时开挖扰动存在最大限值。
- 5) 隧道掘进对邻近先建隧道内力的扰动存在超前性,即开挖面前方某段距离内隧道的内力增量最大。开挖面前方15 m范围内先建隧道衬砌内力增量逐渐增大,15 m左右为增量最大值,超过15 m以后衬砌内力增量逐渐减小。超前衬砌内力增量最大值与隧道净距大体成反比关系,隧道净距越小,衬砌内力增量越大。
- 6) 建议在实际工程中,当两隧道间的土质较差时,应重点加固两隧道之间隧道水平中心线以上的土体。

参考文献:

- [1] 刘慧. 招宝山超小净距双线隧道的安全控爆研究[J]. 工程爆破, 2000, 6(1): 49-55.
- [2] 石膏爽, 曾祥国, 赵师平, 等. 超前开挖距离对大跨度小净距隧道稳定性影响的有限元分析[J]. 四川建筑科学研究, 2008, 34(2): 132-137.
- [3] 李文华, 周世生, 韩萧, 等. 超小横净距双线地铁隧道开挖顺序数值模拟分析[J]. 施工技术, 2014, 43(23): 125-127.
- [4] 李文华, 陈旭东, 周世生, 等. 超小净距双线地铁隧道暗挖法对中岩墙稳定性影响分析[J]. 施工技术, 2015, 44(23): 70-71.
- [5] 钱文斐. 新建隧道对既有小净距隧道影响的分析与研究[J]. 城市道桥与防洪, 2015(11): 186-190.
- [6] 万涛, 林刚, 习淑娟. 超小净距地铁三洞隧道群施工动态数值模拟[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(12): 93-98.
- [7] KIM S. Model testing and analysis of interactions between tunnels in clay[M]. London: University of Oxford, 1996.
- [8] 林志, 朱合华, 夏才初. 近间距双线大直径泥水盾构施工相互影响研究[J]. 岩土力学, 2006(7): 1181-1186.
- [9] 王伟, 夏才初, 朱合华, 等. 双线盾构越江隧道合理间距优化与分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006(S1): 3311-3316.
- [10] 彭惠, 李文勇. 近间距双线越江隧道施工相互影响规律的模拟与实测对比分析[J]. 建筑施工, 2007(11): 885-887.
- [11] 王新. 小间距盾构隧道相互影响的数值分析[J]. 低温建筑技术, 2015, 37(8): 123-126.
- [12] 丁海滨, 骆祎, 徐长节, 等. 盾构隧道开挖对邻近隧道的影响分析[J]. 铁道建筑, 2016(12): 41-45.

- [13] 刘玮,杨安民,傅金阳,等. 广佛城际铁路小净距大直径盾构隧道后行线掘进对先行线管片的影响[J]. 铁道建筑,2016(7): 60-63.
- [14] YAMAGUCHI I,YAMAZAKI I,KIRITANI Y. Study of ground-tunnel interactions of four shield tunnels driven in close proximity, in relation to design and construction of parallel shield tunnels[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 1998, 13(3): 289-304.
- [15] 张明聚,赵明,王鹏程,等. 小净距平行盾构隧道施工先行隧道管片附加应力监测研究[J]. 岩土工程学报,2012,34(11): 2121-2126.

Influence of Ultra-Small Distance Double-Track Tunneling on Pre-built Tunnel

Li Xiaoqi¹, Wang Ning²

(1. China Railway Tunnel Group II Co., Ltd., Langfang 065201, China; 2. Jiangxi Key Laboratory of Infrastructure Safety Control in Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The Nanchang Metro Line 2 has an ultra-small distance segment on the east bank of the Ganjiang River. The impact of ultra-small clearance on the two-line construction is still unclear. In this paper, the numerical simulation analysis of the ultra-small distance segments of two tunnels is carried out by the 3D solid elastoplastic model. The results show that the total stress on the central axis of the tunnel lining is the largest; the new tunnel excavation has a hysteresis for the deformation disturbance of the pre-built tunnel; the maximum displacement occurs behind the excavation section, and the maximum limit of excavation disturbance exists; The tunneling makes the deformation of the pre-built tunnel lining up to the horizontal axis above the excavation side and the maximum stress increment, showing the phenomenon of bending to the excavation side. If it is necessary to strengthen the stratum, the area can be considered. The internal force disturbance of the tunnel is advanced, that is, the internal force increment of the tunnel within a certain distance in front of the excavation face is the largest.

Key words: double-track tunnel; numerical simulation; ultra-small clearance; tunnel deformation; lining stress