

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.02.044

基坑分块开挖参数对邻近地铁盾构隧道的变形影响分析

彭智勇^{1,2}, 杨秀仁¹

(1.北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京市 100037; 2.城市轨道交通绿色与安全建造技术 国家工程实验室)

摘要: 合肥市某交通枢纽广场工程存在大面积基坑开挖, 施工区域底部和侧部存在地铁4条盾构隧道下穿和侧穿, 其中一条盾构隧道距离东区基坑底部4.5 m, 距离西区基坑侧部11.3 m, 且已运营, 为了基坑开挖过程中对隧道结构变形进行控制, 拟基坑内开挖保护区采用“双排桩+斜撑”方式支护、“分段+跳挖+底板封闭”方式开挖, 该文采用数值模拟技术, 通过不同开挖方案的对比分析, 得到开挖参数对隧道变形的影响规律, 从而确定开挖参数的合理范围。

关键词: 基坑分块开挖; 邻近盾构隧道; 开挖参数; 分块尺寸; 隧道变形

1 引言

随着城市轨道交通的高速发展, 城市地铁线网密度逐渐增大, 当此类城市开展新建设或改造时, 必然出现各类建筑基坑施工邻近轨道交通结构的情况。在此区域进行基坑开挖, 产生的土体变形容易对地铁结构的内力与变形产生不利影响。针对这种情况, 很多学者和工程师基于工程实际, 展开了基坑开挖对邻近地铁结构的影响机理及处理措施研究。况龙川结合实际工况和隧道监测数据分析了基坑侧向开挖对隧道变形影响的主要因素; 陈郁等利用理论推导出隧道上方土体开挖卸荷引起隧道结构的附加应力, 并进而求解出隧道隆起的定量计算方法; 宋海滨等利用数值分析方法研究了不同基坑开挖方案对隧道水平与竖向变形的影响; 宋伟基于敏感性分析的方法对临近隧道工程的基坑支护方案的影响因素展开了分析; 毕景佩从堆土对盾构隧道结构病害影响的角度分析了既有盾构隧道

结构的围岩环境荷载变化对结构的内力影响。可见, 以往多是从开挖机理和不同开挖方案的角度对邻近隧道施工影响展开的研究, 关于具体开挖参数对隧道的影响规律研究较少。实际上, 开挖参数的合理选择决定了开挖方案的可行性, 该文基于基坑按不同尺寸分段开挖, 通过分析开挖参数对隧道结构变形影响规律, 确定分段开挖参数的合理范围。

2 工程概况

合肥市某交通枢纽广场工程存在大面积基坑开挖, 场地东西长212 m, 南北宽189 m, 场地分东西两区, 主体结构形式采用现浇钢筋混凝土框架结构, 其中西区为地下三层(底板埋深16.4 m)、东区为地下一层(底板埋深6.9 m), 施工区域东区底部和西区侧部邻近两条地铁线, 均为已建盾构隧道, 且其中一条地铁线已开通运营, 该隧道右线距离东区基坑底部4.5 m, 距离西区基坑侧部11.3 m。基坑总体上采用明挖法施

- *****
- [2] 史聪慧. 下行式移动模架制40 m铁路箱梁施工关键技术[J]. 铁道建筑技术, 2006(5).
- [3] 夏建中. 芜湖长江大桥40 m PPC铁路简支箱梁制造和架设技术[J]. 桥梁建设, 2000(3).
- [4] 王东辉, 覃勇刚. 南京大胜关长江大桥钢梁架设及关键技术[J]. 桥梁建设, 2009(3).
- [5] 邓永锋, 余巧宁. 武汉天兴洲公铁两用长江大桥钢梁架设

- 边跨合拢施工技术[J]. 桥梁建设, 2008(6).
- [6] 邓永锋, 周明星, 黄冈公铁两用长江大桥钢桁梁架设技术研究[J]. 桥梁建设, 2013(2).
- [7] 骆双全. 南京大胜关长江大桥主桥钢梁主跨合拢技术[J]. 施工技术, 2009(10).
- [8] 宋伟俊, 董广文. 南京大胜关长江大桥钢梁架设与合拢技术[J]. 桥梁建设, 2009(6).

收稿日期: 2018-10-15(修改稿)

基金项目: 国家重点研发计划项目(编号: 2017YFB1201104-013)

作者简介: 彭智勇, 男, 博士, 工程师. E-mail: 158836310@qq.com

工,西区基坑采用围护桩支护,东区基坑采用放坡方式开挖,针对西区与东区交界区,采用“围护桩+斜撑”方式支护,“分段+跳挖+底板封闭”方式开挖。基坑与隧道平、立面关系如图1所示。

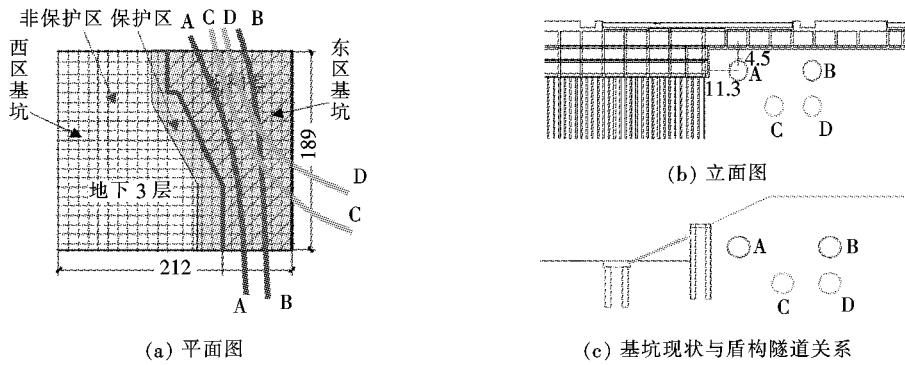


图1 基坑与隧道平、立面关系图(单位:m)

拟建场地地势南高北低,地层按物理性质主要分为杂填土、黏土和全风化泥岩层,隧道位于黏土层。无岩溶、滑坡等不良地质现象。

3 数值计算模型的建立

实际上,邻近隧道的基坑变形控制是多种措施的共同作用,其中基坑的开挖尺寸是关键控制因素之一,为分析开挖参数对隧道位移的影响,将施工过程中其他工程措施保持不变,仅调整开挖参数,通过不同开挖方案的对比分析,得到开挖参数对隧道变形的影响规律,从而确定开挖参数的合理范围。

总体上基坑开挖范围按邻近隧道的距离分为保护区和非保护区,该文以保护区内东西区基坑交界处土体开挖为研究对象,该区域采用“双排桩+斜撑”方式支护,主要施工过程为先开挖西区基坑至地下一层,随后在东西区基坑交界处施做双排桩,然后分块跳挖西区土体至地下三层并施做西区基坑底板结构,随开挖过程实时架设斜撑及承台桩,待西区结构施做完成后,分块跳挖东区基坑土体至地下一层并施做东区基坑结构。总体上基坑按“先限位后开挖”的原则进行施工。但考虑到限位措施与土体的共同作用,虽然限位措施能降低分块开挖对隧道结构的变形影响,但分块开挖尺寸过大显然会对隧道结构的变形产生更大的影响,而过小的开挖尺寸会增加施工难度和建造成本,同时影响施工进度,因此合理的分块开挖尺寸成为了隧道变形控制的关键指标。

该文研究5种分块开挖尺寸对隧道结构的变形影响,总体施工过程完全一致,区别在于西侧基坑保护区的分块开挖尺寸不同,研究的分块参数变化见表1。

表1 分块开挖尺寸方案

分块方案编号	分块尺寸/m	分块方案编号	分块尺寸/m
1	6~8	4	15~20
2	8~12	5	20~24
3	12~15		

根据表1分块方案,采用“地层—结构”模型进行三维建模分析,模型尺寸为1 000 m×1 000 m×70 m(长×宽×高)。模型中的地层采用实体单元模拟,修正摩尔—库仑模型本构。盾构隧道、基坑围护桩、基坑底板等结构均采用弹性模型,其中盾构隧道、基坑围护桩用板单元模拟(基坑双排桩按板单元等刚度墙模拟)。

模型地层与主要结构物理参数取值如表2所示。
模型结构及网格划分如图2所示。

以方案1(分块尺寸6~8 m)为例,其主要施工过程包括:

- (1) 开挖东西区基坑地下一层,然后施做西区基坑围护桩、东西区基坑交界处双排桩以及西区基坑底部抗滑桩。
- (2) 开挖非保护区土体,随开挖随完成西区基坑围护桩锚杆和斜撑支护,并完成非保护区结构底板施做。
- (3) 对保护区采用分块跳挖的方式开挖,并尽快完成基坑底板的闭合(保护区土方开挖分块尺寸分为5种方案,如表1所示)。
- (4) 东西区基坑交界处采用10 m宽预留土方+承台桩+斜撑方式,限制双排桩的水平变形。
- (5) 完成西区基坑非预留土方区内的结构施做后,分块开挖预留土方,施做相应底板和上部结构。

表 2 地层与主要结构物理力学参数

地层编号 及名称	单元 类型	厚度/ m	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	压缩/回弹 模量/MPa	泊松比	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)
杂填土① ₁	实体	2.5	1 920	—	0.42	10	5
黏土②	实体	6.4	1 990	11/42	0.40	52	13
黏土③	实体	28.0	2 000	14/48	0.40	50	15
全风化泥质砂岩⑥	实体	33.1	2 100	25/—	0.35	25	20
盾构管片	板	0.30	2 450	弹性模量 3.45×10^4	0.20	—	—
围护桩	板	1.0	2 450	弹性模量 3.25×10^4	0.20	—	—

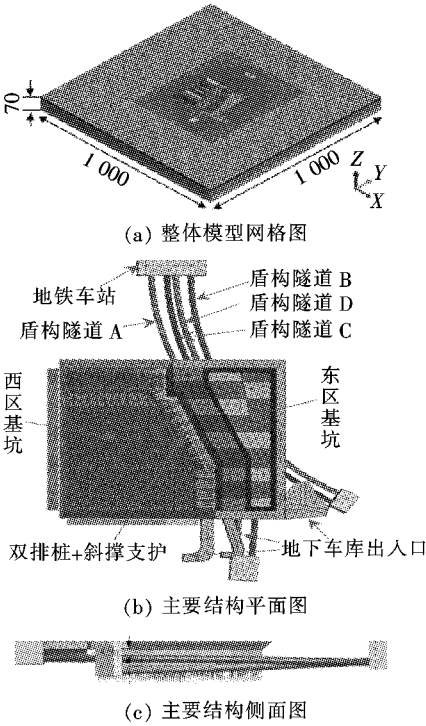


图 2 地层结构模型网格图(单位:m)

(6) 完成西区地下结构施做后,再按分块跳挖的方式开挖东区基坑土方,并施做相应的地下结构。

4 开挖参数与隧道位移影响规律研究

以方案 1(分块尺寸 6~8 m)为例,4 条盾构隧道以盾构隧道 A 受到的开挖影响最大。在上述主要 6 个施工阶段中,盾构隧道结构最大水平变形发生在西区基坑预留土方开挖阶段,为 5.3 mm(向基坑内侧);对应阶段隧道结构最大竖向变形为 3.33 mm。盾构隧道结构最大竖向位移发生在东区基坑开挖阶段,为 4.36 mm;对应阶段隧道结构最大水平变形为 4.58 mm(向基坑内侧)。

按不同区域开挖对盾构隧道结构的影响划分看

(图 3),总体上西区基坑开挖对隧道的变形影响较大,虽然盾构隧道的最大竖向变形发生在东区基坑开挖时,但由于西区基坑开挖对隧道结构前期累计竖向变形的叠加影响较大造成的;另一方面,西区基坑开挖使得盾构隧道结构的水平变形(向基坑内侧)影响较大,东区基坑开挖使得盾构隧道结构的水平变形程度减小。因此,总体上分析西区基坑(特别是西保护区基坑)开挖对盾构隧道结构的变形有决定性影响。

分析基坑开挖主要 6 个关键阶段的施工过程(图 4),可以发现,随着施工的进行,隧道的竖向变形是不断累积叠加的;而水平变形会随着东区基坑土体开挖出现减小的趋势。另外 5 种保护区内基坑开挖尺寸对盾构隧道 A 结构的变形影响也各不相同:对于结构竖向变形影响而言,分块开挖尺寸越小,结构竖向变形越小;而结构水平变形会随着分块尺寸的增大,出现逐渐减小再增大的过程。

选择各方案对应的最不利施工阶段,分析沿盾构隧道 A 里程对应结构变形情况可以发现(图 5),基坑开挖会引发隧道结构隆起和向基坑内侧的水平变形;另一方面 5 种不同分块尺寸的开挖方案,对隧道结构的变形程度各有不同。对于结构竖向变形影响而言,分块开挖尺寸越小,结构竖向变形越小;而对结构水平变形而言,分块开挖尺寸过小会对隧道结构的水平变形产生较大影响。这是由于分块尺寸过小后,土体对结构的实际侧向作用减小有关。

分析不同尺寸开挖方案对盾构隧道 A 结构最不利变形影响情况,如图 6 所示。

取 A 线盾构隧道中段特征断面环向真圆度变形分布图,如图 7 所示,5 种不同分块开挖方案中,方案 3 对应的环向真圆度变形幅度最小。方案 5 对应的变形幅度最大。

取对应位置的盾构隧道结构弯矩图如图 8 所示,5 种不同分块开挖方案对应的弯矩总体上差别不大,对

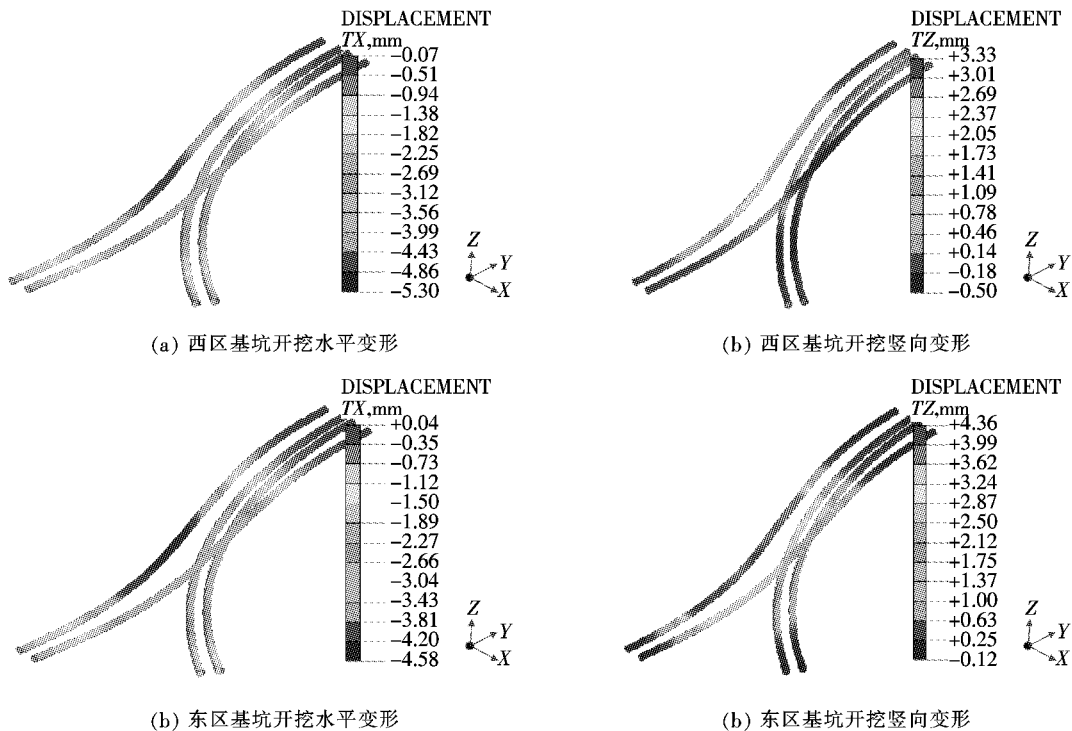


图 3 方案 1 不同施工区域对盾构隧道的变形影响(单位:mm)

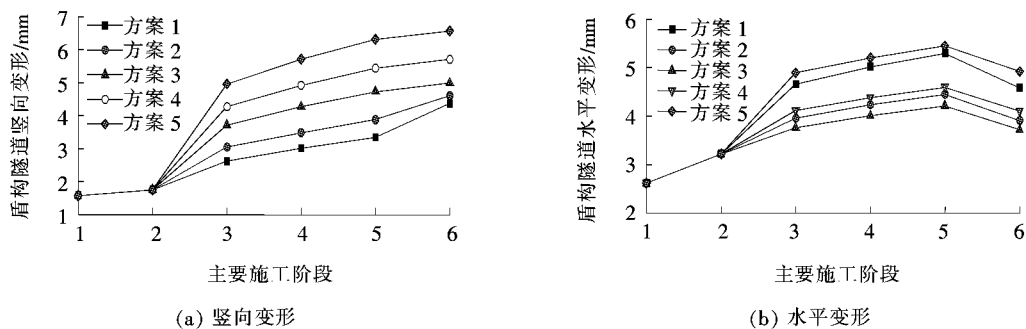


图 4 主要施工阶段对盾构隧道 A 的变形影响

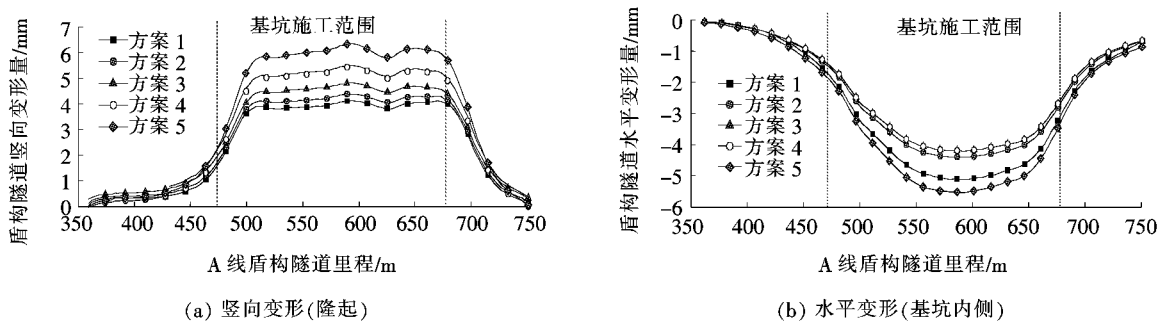


图 5 沿盾构隧道 A 里程对应结构变形情况

结构配筋设计影响不大,盾构区间的运营安全主要受结构变形控制。

可以发现,对于不同分块尺寸开挖方案,盾构隧道结构的竖向变形会随着分块开挖尺寸的减小而减小;

而水平变形会随着分块开挖尺寸的增加,出现先减小后增大的过程,因此在实际施工过程中,分块尺寸的合理选择尤为重要。

当盾构隧道处于运营状态时,根据相关规范要求,

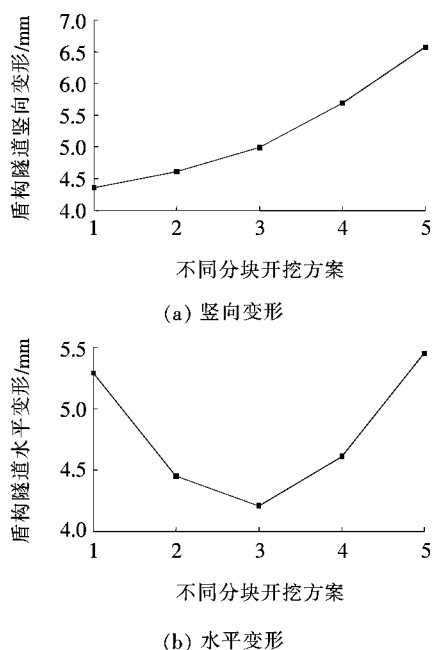


图 6 不同分块方案下盾构隧道最大变形情况

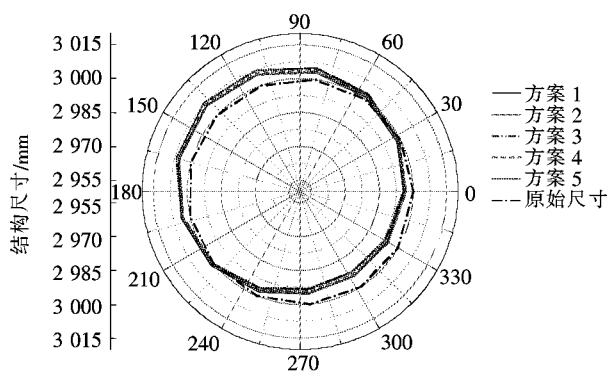


图 7 特征断面环向真圆度变形分布

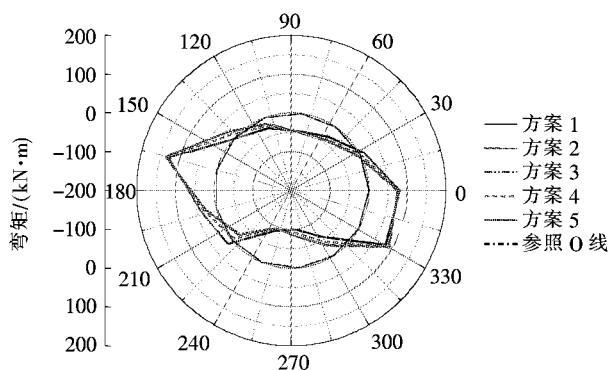


图 8 特征断面盾构隧道结构弯矩图

盾构隧道的竖向和水平变形应控制在 5 mm 范围内。对于前面 5 种分块尺寸开挖方案,从竖向变形控

制的角度而言,宜选用方案 1、2、3,即分块尺寸为 6~15 m;而从水平变形控制的角度而言,宜选用方案 2、3、4,即分块尺寸为 9~20 m;因此总体上控制隧道结构变形宜选择 9~15 m 范围,作为分块尺寸开挖的优选方案。

5 结论

结合合肥某交通枢纽广场工程临近既有盾构隧道施工,通过采用数值仿真分析,研究了地铁保护区内,不同尺寸分块开挖土体对既有盾构隧道结构的变形影响,主要结论如下:

(1) 总体上,由于隧道位于西区基坑东侧、东区基坑底部,因此东西区基坑开挖,均会引起盾构隧道产生竖向变形,且会随施工开挖的进行,出现隆起叠加效应;而对于隧道水平变形而言,西区基坑开挖会导致结构产生向西侧基坑的变形,但当东区基坑开挖时,结构隆起的同时,结构向西区基坑的水平变形会逐渐减小。

(2) 盾构隧道在基坑开挖范围内的变形情况最明显,同时从变形差的角度看,靠近西侧基坑东北和东南角位置的隧道竖向和水平变形差均较大,开挖时,需要重点关注此区域对结构变形的影响。

(3) 对于不同分块尺寸开挖方案,盾构隧道结构的竖向变形会随着分块开挖尺寸的减小而减小;而水平变形会随着分块开挖尺寸的增加,出现先减小后增大的过程,因此在实际施工过程中,需要将竖向和水平变形的影响因素综合分析,确定分块尺寸的合理方案。

参考文献:

- [1] 况龙川.深基坑施工对地铁隧道的影响[J].岩土工程学报,2000(5).
- [2] 陈郁,李永盛.基坑开挖卸荷引起下卧隧道隆起的计算方法[J].地下空间与工程学报,2005(2).
- [3] 宋海滨,李刚柱,殷刘帅.深基坑对紧邻地铁盾构隧道变形的影响性分析[J].铁道标准设计,2013(3).
- [4] 宋伟.临近既有地铁隧道基坑设计方案研究[J].铁道勘察,2018(4).
- [5] 毕景佩.堆土导致的地铁盾构隧道病害及处治对策分析[J].中外公路,2017(2).
- [6] GB 50911—2013 城市轨道交通工程监测技术规范[S].