

# 地铁隧道施工对侧向既有建筑物桩基变形影响研究

赵宇臻<sup>[1]</sup> 文志年<sup>[2, 3]</sup> 王智德<sup>[2]</sup>

- (1. 湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068;
2. 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070;
3. 中冶集团武汉勘察研究院有限公司, 湖北 武汉 430080)

**摘要** 为确保邻近建筑物桩基在隧道开挖过程中的安全, 本研究建立了隧道与桩基不同空间位置下的三维数值分析模型, 研究隧道开挖对邻近建筑物桩基的变形影响规律, 并以桩基的水平及竖向变形为控制目标探究隧道与桩基的最小近距离建议值。研究表明: 隧道与桩基之间的距离增大时, 桩基的变形会逐渐减小, 建议隧道与桩基之间的最小近距离控制在 2.5 倍洞径以上。

**关键词** 盾构隧道 桩基 安全距离 水平变形 竖向变形

中图分类号: U459.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)08-0152-03

地铁作为利用地下空间解决地面交通承载能力的典范, 在诸多城市的规划中随处可见。在复杂的城市环境中进行地铁建设, 不可避免地会以近距离方式在立交桥、高架桥和人行天桥等建筑物的桩基础附近下穿或者侧穿。地铁开挖过程中常引起地层位移变化导致地表沉降, 从而引起邻近建筑桩基侧向变形及沉降, 影响桩基的正常使用<sup>[1-2]</sup>。因此, 开展地铁施工对既有建筑物桩基变形影响和控制的研究, 对确保原有建筑物桩基的稳定和隧道施工的正常进行具有重要的意义。论文基于隧道不同埋深时桩基变形及地表沉降规律, 对隧道与桩基之间的安全距离展开研究。并以武汉轨道交通 3 号线二七路站~兴业路站区间隧道开挖工程为例, 采用两阶段位移法理论分析结合数值分析方法<sup>[3-5]</sup>, 研究隧道与桩基的距离及隧道埋深变化时桩基变形规律, 以桩基的水平变形和竖向变形为控制目标, 对隧道与桩基的安全距离进行探究。

## 1 工程概况

武汉轨道交通 3 号线二七路站~兴业路站区间沿线地貌形态为堆积平原区, 由长江冲洪积物构成的 I、II 级阶地。根据实地钻孔勘察, 结合该区域地质资料对比分析, 隧道开挖区间内各时代地层依次为: 第四系人工堆积层(Qml)、第四系新近冲积土(Q4al)、

第四系全新统冲积层(Q4al)、志留系坟头组(S2f)。地层从地表往下依次为杂填土(1-1)、素填土(1-2)、淤泥(1-3)、粉质粘土、粉土夹粉砂(2)、粘土(3-1)、淤泥质土(3-4)、粉质粘土、粉土、粉砂互层(3-5)、粉砂(4-1)、粉细砂(4-2)、含砾中粗砂(4-3)、圆砾、卵石夹中粗砂(5)、泥岩、砂质泥岩(20b)。隧道穿越地层主要为砂土层, 盾构过程中地层扰动较大, 极易对邻近桩基产生不利影响。本文主要将针对此砂性地层进行研究。

本区间的地下水按埋藏条件分类有上层滞水和承压水两种类型。本场地地表水系不发育, 在本文中不考虑地下水的影响。

## 2 计算模型及参数

根据武汉轨道交通 3 号线二七路站~兴业路站区间隧道开挖实际工程, 建立数值分析模型。在模型中, 将隧道外径设置为 6m, 管片厚度为 0.3m, 隧道全长 50m。桩基础为承台桩基础, 承台的三维尺寸为 1.8m×3.6m×2m。承台下方为两根桩长为 33m 的端承桩, 桩径为 0.6m, 两根桩中心之间的距离为 1.8m。隧道与桩之间的距离及隧道埋深设为变量, 以此研究桩基础与隧道开挖不同空间位置的影响。盾构隧道与桩基的位置关系如图 1 所示。

★基金项目: 武汉市城乡建设委员会科技计划项目(武城建[2017]12号, 武城建[2019]68号)。

最后生成的三维计算模型的尺寸为  $100\text{m} \times 50\text{m} \times 50\text{m}$  (长  $\times$  宽  $\times$  高), 此数值模型尺寸在三倍开挖洞径之外, 可以减少模型边界条件对计算结果的影响。为了模拟管片与围岩之间的注浆层, 在衬砌外设置等厚、均质的等代层, 等代层的厚度设置为  $0.3\text{m}$ , 采用弹性本构模型的实体单元进行模拟, 使隧道开挖过程更加贴合实际工程情况。地层采用 Mohr-Coulomb 弹塑性本构模型, 桩、承台及管片采用弹性本构模型, 模型整体选用砂土地层, 土层厚度  $50\text{m}$ , 天然重度  $19$ , 粘聚力  $3$ , 内摩擦角  $35$ , 泊松比  $0.24$ , 弹性模量  $20\text{MPa}$ ; 采用的管片重度  $25$ , 泊松比  $0.3$ , 弹性模量  $35000\text{MPa}$ , 厚度  $300\text{mm}$ 。

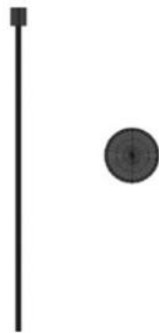


图1 隧道与桩基的位置关系

### 3 隧道开挖对不同距离桩基的影响

将隧道与桩基之间的距离设置为  $1.0D$  ( $6\text{m}$ )、 $1.5D$  ( $9\text{m}$ )、 $2D$  ( $12\text{m}$ )、 $2.5D$  ( $15\text{m}$ )、 $3D$  ( $18\text{m}$ ) 五种情况 (隧道埋深  $13\text{m}$ ), 自桩顶开始每隔  $2\text{m}$  设置一个监测点, 最后一个监测点设置在桩端处, 共计  $18$  个监测点, 以获取桩基变形数据, 研究隧道开挖对不同距离桩基的影响, 探究隧道与桩基之间的最小近距离建议值。

#### 3.1 基于水平变形的最小近距离建议值

通过数值计算, 得到桩基的水平变形曲线图, 如图2所示。从图2可以看出, 桩基水平位移极大值则主要出现在桩顶、隧道轴线处及桩端处; 随着隧道与桩基距离的增大, 桩基的水平侧移、挠曲变形均减小。当隧道与桩基之间的距离在  $1.0D \sim 3.0D$  ( $6\text{m} \sim 18\text{m}$ ) 之间变化时, 桩顶侧移分别为  $3.460\text{mm}$ 、 $4.010\text{mm}$ 、 $3.290\text{mm}$ 、 $2.711\text{mm}$ 、 $2.107\text{mm}$ ; 当隧道与桩基之间的距离为  $1.5D$  ( $9\text{m}$ ) 时, 位移最大, 为  $4.01\text{mm}$ ; 当隧道与桩基之间的距离为  $3.0D$  ( $18\text{m}$ ) 时, 位移最小, 为  $2.107\text{mm}$ ; 在隧道与桩基之间的距离大于  $1.5D$  时, 桩

顶侧移随隧道与桩基之间距离的增大而逐渐减小, 位移的减小值依次为  $0.720\text{mm}$ 、 $0.579\text{mm}$ 、 $0.604\text{mm}$ 。桩基的桩底侧移分别为  $3.835\text{mm}$ 、 $4.156\text{mm}$ 、 $3.947\text{mm}$ 、 $3.282\text{mm}$ 、 $2.842\text{mm}$ , 当桩洞距离为  $1.5D$  ( $9\text{m}$ ) 时, 位移最大, 为  $4.156\text{mm}$ ; 当桩洞距离为  $3.0D$  ( $18\text{m}$ ) 时, 位移最小, 为  $2.842\text{mm}$ ; 变形规律与桩顶侧移的变形规律基本相同, 桩洞距离大于  $1.5D$  ( $9\text{m}$ ) 时, 桩底侧移减小值依次为  $0.209\text{mm}$ 、 $0.665\text{mm}$ 、 $0.44\text{mm}$ 。

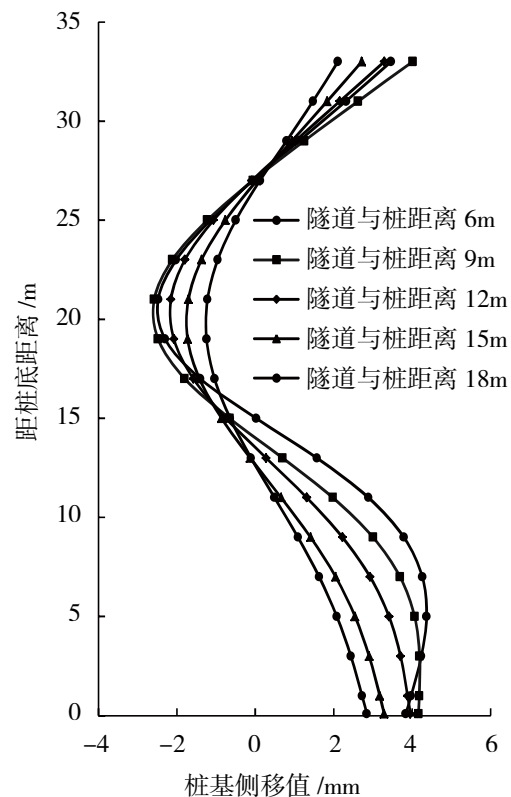


图2 隧道与桩基不同距离下桩基水平变形图

通过以上对比分析, 可见在桩洞距离大于  $1.5D$  时, 通过增加桩基与隧道之间的距离可以减小桩基的侧移及桩身挠曲, 在桩洞距离在  $1.5D \sim 2.5D$  之间时, 减小值逐渐增大, 但随后这种减小幅度又会降低;  $2.5D \sim 3.0D$  之间的减小幅度仅为  $13.4\%$ , 远小于  $2.0D \sim 2.5D$  之间  $20.3\%$  的减小幅度, 盲目地追求更大的安全距离对工程无意义。

因此, 根据桩顶及桩底水平位移值, 建议盾构隧道近接桩基施工时, 最好控制隧道与桩基之间的距离在  $2.5D$  以上。

#### 3.2 基于竖向变形的最小近距离建议值

通过数据整理分析, 得到桩基的竖向变形曲线图,

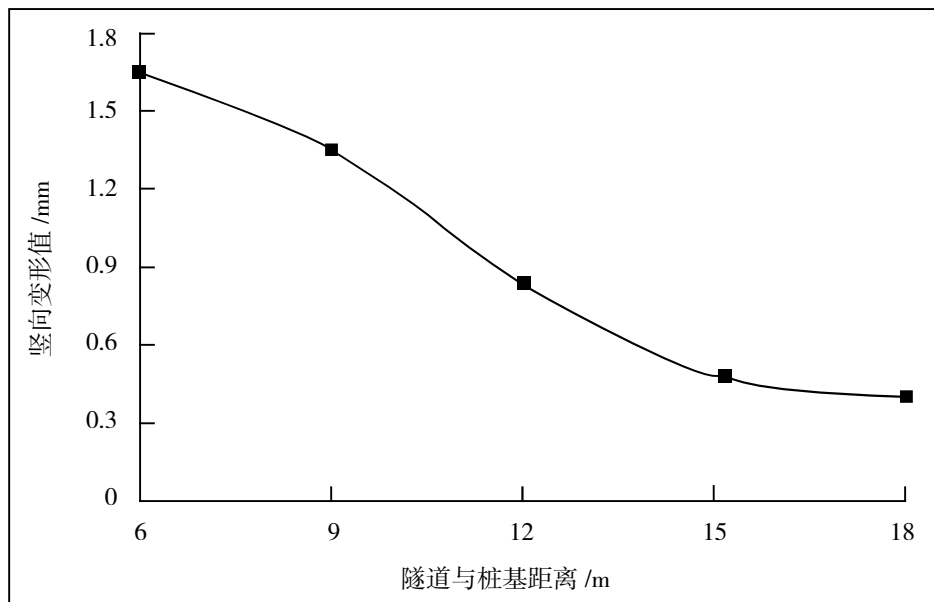


图3 隧道与桩基不同距离下桩基竖向变形图

如图3所示。从图3可以看出,当隧道与桩基之间的距离为 $D\sim 3D$ ( $6\text{m}\sim 18\text{m}$ )时,桩基竖向变形依次为 $1.64\text{mm}$ 、 $1.35\text{mm}$ 、 $0.83\text{mm}$ 、 $0.48\text{mm}$ 、 $0.39\text{mm}$ ,可以发现竖向变形明显随着桩基与隧道之间的距离增大而逐渐减小。竖向变形的减小率随着距离的增大先增大后减小,依次为 $0.29$ 、 $0.52\text{mm}$ 、 $0.35\text{mm}$ 、 $0.09\text{mm}$ 。

在 $1.0D\sim 2.0D$ ( $6\text{m}\sim 12\text{m}$ )区间内,竖向变形的减小率呈增大趋势,而在 $1.5D\sim 3.0D$ ( $9\text{m}\sim 18\text{m}$ )区间内,竖向变形的减小率又逐渐减小。可见,在隧道与桩基的距离在 $1.0D\sim 2.0D$ 区间内时,增大桩洞距离改善桩基竖向变形的效果会随着距离的增大越来越明显,但在距离大于 $2.0D$ 后,虽然增大隧道与桩基之间的距离仍可以减小桩基的竖向位移,但效果会逐渐减弱;在距离从 $2.5D$ 增大至 $3.0D$ 时,减小值已经低于 $0.1\text{mm}$ ,继续通过增大隧道与桩基的距离来减小桩基变形对工程无意义。

因此,根据桩基竖向变形,建议盾构隧道近接桩基施工时,最好控制隧道与桩基的距离在 $2.5D$ 以上。

#### 4 结论

1. 盾构隧道会导致邻近既有桩基产生水平变形和竖向变形,水平变形的极大值主要出现在桩顶、隧道轴线处及桩端处;隧道开挖使桩基产生的变形取决于两者之间的水平距离。随隧道与桩基之间的水平距离逐渐增大,桩基的水平变形会逐渐减小,挠曲变形越来越平缓,桩基的竖向变形也会逐渐减小。

2. 在桩洞距离 $2.5$ 倍洞径内,通过控制隧道与既有桩基之间的水平距离可以有效控制桩基的变形,为保证既有桩基的正常使用,建议砂土地层中,隧道与桩基的最小近距离控制在 $2.5$ 倍洞径以上。

#### 参考文献:

- [1] 秦会来,马敏,马少坤.软土隧道开挖对群桩影响的三维分析[J].广西大学学报(自然科学版),2020,45(01):155-160.
- [2] 田晓艳,谷拴成.地铁隧道对邻近既有桥桩影响及施工方法优化[J].城市轨道交通研究,2017,20(03):127-131.
- [3] Hong Y, Soomro M A, Ng C W W, et al. Tunnelling under pile groups and rafts: Numerical parametric study on tension effects[J]. Computers and Geotechnics, 2015(68):54-65.
- [4] Lu X, Song M, Wang P. Numerical simulation of the composite foundation of cement soil mixing piles using FLAC3D[J]. Cluster Computing: The Journal of Networks, Software Tools and Applications, 2019, 22(01):7965-7974.
- [5] LEE C J, JACOBSZ S W. The influence of tunneling on adjacent piled foundations[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2006(21):430.