

# 不同影响因素下双线盾构隧道施工土体变形规律分析

张虎林

山东高速建设管理集团有限公司, 山东 济南 250101

**[摘要]** 地铁盾构隧道施工对周边环境的影响程度是施工过程中重点关注的环境, 地表的沉降程度是反应隧道施工对周边环境扰动程度的重要参考因素, 是施工中重点监测的项目。文中以地铁双线盾构隧道施工为研究对象, 结合工程实际工况, 分析了隧道埋深及隧道间距对土体变形的影响, 通过 ABAQUS 建立模型进行计算, 对比分析了不同方案下的地表沉降, 以期为类似工程提供指导。

**[关键词]** 盾构隧道; 地表沉降; 数值模拟; 方案比选

DOI: 10.33142/ec.v7i5.11853

中图分类号: TU432

文献标识码: A

## Analysis of Soil Deformation Law during Double Line Shield Tunnel Construction under Different Influencing Factors

ZHANG Hulin

Shandong Hi-speed Construction Management Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250101, China

**Abstract:** The degree of impact of subway shield tunnel construction on the surrounding environment is a key concern during the construction process, and the degree of surface settlement is an important reference factor reflecting the degree of disturbance to the surrounding environment caused by tunnel construction. It is a key monitoring project during construction. In this article, the construction of subway double line shield tunnels is taken as the research object, and combined with actual engineering conditions, the influence of tunnel burial depth and tunnel spacing on soil deformation is analyzed. A model is established through ABAQUS for calculation, and the surface settlement under different schemes is compared and analyzed to provide guidance for similar projects.

**Keywords:** shield tunnel; surface subsidence; numerical simulation; scheme comparison and selection

### 引言

近年来, 随着我国城镇化建设的逐步推进, 人口也在向着大中型城市流动和集中。随之而来的是原有的基础设施已不能满足人们日常的需求, 而地铁的建设应用, 一方面能极大地满足人们的出行需求、缓解地面的交通压力, 另一方面也一定程度上减少了汽车尾气的排放, 符合低碳出行、绿色发展的理念。由于地铁建设所处区域通常人流量大、建筑物密集, 因此大多数地铁隧道的建设使用盾构法。虽然隧道位于地下一定深度, 但在挖掘过程中, 周围岩土体仍不可避免地会受到扰动, 引起地表沉降并对上层建筑物造成威胁。因此, 研究盾构隧道对地表沉降的影响显得极为重要。本文主要针对隧道掘进过程中施工引起的地表沉降进行研究分析, 通过建立模型, 模拟盾构隧道的开挖过程。对比分析分析了隧道埋深及隧道间距对土体变形的影响, 结合工程实际, 确定开挖工序。确保施工过程以及后续运营过程的稳定性和安全性, 保证所建设项目能够如期投入使用, 发挥应有的社会效益, 便利人们的生活。同时, 为后续的地铁施工建设和地下空间的开发利用提供宝贵的工程实际经验和完善的方案措施。

### 1 工程概况

该地铁隧道为双线盾构隧道, 区间上方主要为道路、沿街商铺及居民楼, 区间下穿市政管线(移动、国防、联通、有线电视光缆等), 管线埋深较浅, 距隧道顶距离超过 6m, 且车站

管线迁改后, 盾构端头加固区域无管线。隧道主要穿越中砂砾、圆砾, 地下水位较丰富。工程实际情况较为复杂, 本区间的盾构施工易出现突发状况, 制约因素较多, 实际施工过程中难度较大。为了研究隧道埋深及隧道间距对土体变形的影响, 隧道埋深分别取 13.2m、16.5m、19.8m、23.1m, 进行隧道埋深对地表沉降的影响。分析隧道间距对地表沉降的影响时, 选取隧道间距 L 分别取 14m、16m、18m、20m, 进行分析。

### 2 模型建立与参数确定

采用有限元软件 ABAQUS 建立了如图 1 所示的盾构隧道模拟开挖模型。模型尺寸为: X 方向 80m, Y 方向 60m, Z 方向 40m。土体模型利用 Mohr-Coulomb 本构模型建立。本模型网格划分节点总数 76342, 单元总数 67600。模型边界条件设置为: 模型左、右两侧 X 方向设置水平约束, 前后两侧 Y 方向设置水平约束, 底部 Z 方向设置竖向约束, 模型上表面自由。岩土体参数如表 1 所示。

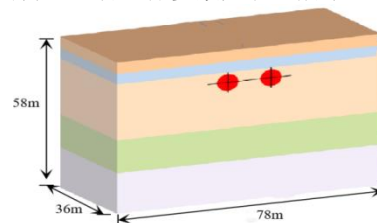


图 1 数值计算模型

表 1 土体计算参数

材料类型	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	泊松比	弹性模量 (MPa)	粘聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
粉质粘土	1970	0.31	8	24.76	16.1
中砂	1960	0.30	28	-	28
圆砾	2440	0.25	35	-	36
泥质粉砂岩	2430	0.33	4000	400	40

### 3 计算结果分析

#### 3.1 隧道埋深对土体变形的影响

利用 ABAQUS 软件模拟上述过程，通过提取数据进行分析，可以看出隧道埋深和地表沉降的关系。

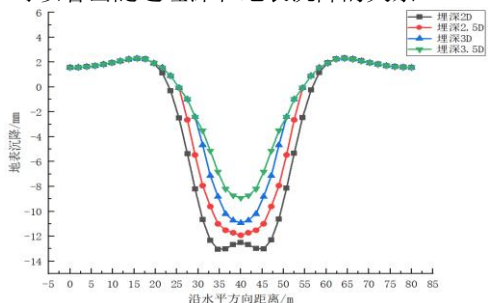


图 2 不同隧道埋深时地表沉降量

图 2 为其他条件一定时，隧道埋深分别取 13.2m、16.5m、19.8m、23.1m 对地表沉降地影响，不同埋深所对应的最大地表沉降为 13.02mm、11.92mm、10.92mm、8.85mm，随着隧道埋深 D 地增加，地表沉降最大值减小，沉降槽宽度逐渐增大，地层扰动的范围逐渐增大。

隧道的拱顶沉降量和隧道埋深 d 之间的关系如图 3 所示。取隧道埋深为 13m、15m、19m、24m，不同埋深对应拱顶竖向沉降分别为 21.32mm、18.83mm、15.96mm、13.23mm 和 9.76mm。图 3.31 显示拱顶的沉降值随着隧道埋深 d 增加而减小。

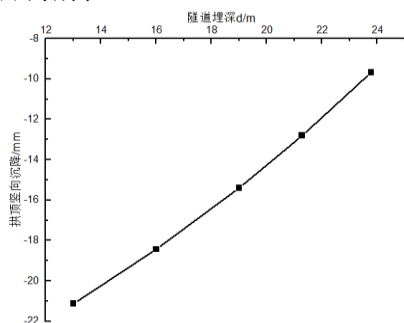


图 3 隧道埋深对拱顶沉降值的影响

隧道的拱底隆起值和隧道埋深 d 之间的关系如图 4 所示。此处取隧道埋深为 13m、16m、20m、24m，其对应的拱顶竖向隆起分别为 16.01mm、14.32mm、10.83mm、9.91mm。图 3.32 显示拱底的隆起值随着隧道埋深的增加而减小。由此可见，隧道埋深对土体变形的影响是显而易见的，埋深越深，对于上部土体的影响也会相对减小。

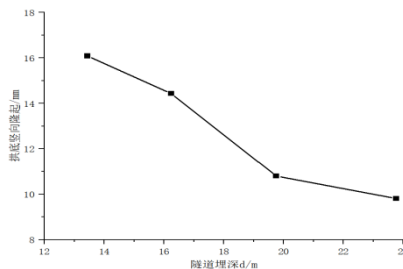


图 4 隧道埋深对拱底竖向隆起的影响

隧道施工所引起的地表沉降，其原理是在开挖过程中，地层产生一定的损失，而土体为了达到稳定状态，便自发地改变形态来寻求稳定，因此隧道上方土体就会产生变形和位移。隧道的埋置深度是隧道的开挖面的水平高度最高的点到地面的垂直距离。而根据隧道周围岩石的初始状态以及变形破坏方式，大部分的山岭隧道又可以细分为浅埋隧道、深埋隧道以及超深隧道这三类。通常来说，隧道的埋深对土体的沉降和隆起有较大的影响，在其他条件一定时，隧道埋深越大，对地表的影响越小，因此地表的沉降也会相对减小。

#### 4.2 隧道埋深对土体变形的影响

本节基于 ABAQUS 软件，继续进行三维模拟，提取数据分析对比之后，可以得出隧道间距 L 和地表沉降量之间的关系。地表竖向沉降和隧道间距 L 之间的结果关系图如图 5 所示。图 5 为其他条件一定时，隧道间距 L 分别取 14m、16m、18m、20m，其所对应的地表最大沉降值为 13.02mm、12.05mm、11.4mm、10.7mm。对于地表沉降的影响，随着隧道间距 L 的增加，相应的地表沉降减小。

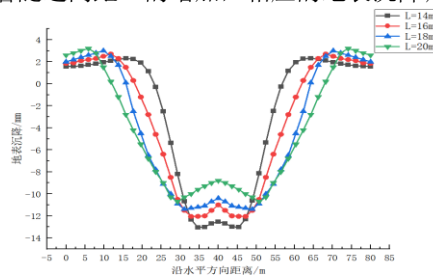


图 5 不同隧道间距的地表沉降量

隧道的拱顶沉降量和隧道间距 L 之间的关系如图 6 所示。取隧道间距分别为 14m、16m、18m、20m，其所对应的拱顶竖向沉降分别为 21.01mm、16.15mm、13.91mm 和 11.35mm。图 6 显示拱顶的沉降随着隧道间距 L 的增加而减小。

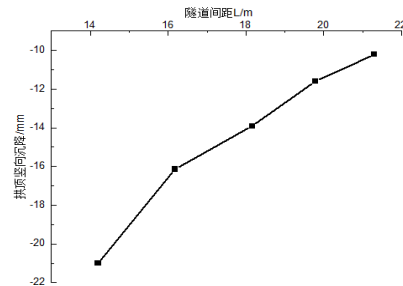


图 6 隧道间距对拱顶竖向沉降的影响

隧道的拱底隆起值和隧道间距  $L$  之间的关系如图 7 所示。隧道间距取 13m、16m、19m、24m，其对应的拱顶隆起值分别为 18.08mm、16.43mm、12.81mm、9.81mm，由此可见拱底的隆起值随着隧道间距  $L$  的增加而减小。

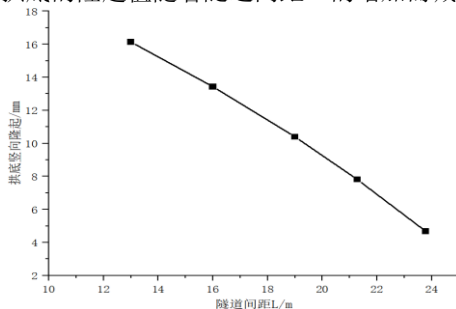


图 7 隧道间距对拱底隆起值的影响

由上述分析可见，隧道间距对隧道周围土体的影响也是非常明显的，隧道间距越大，对周围土体的影响就越小。

在隧道盾构开挖过程中，隧道间距的大小对周围土体的变形也起到了很大的影响，通常在设计隧道时，各个区间甚至每一段的间距都是不同的。由于隧道的间距的大小与其周围的围岩属性和临近的建筑物有关，因此在公路隧道设计规范中，明确指出在不同的环境下，隧道的间距会有差异，而且隧道间距还会对隧道开挖时周围土体的变形产生很大的影响。通常情况下，当双线隧道距离较远时，两个隧道所产生的各自的变形叠加的程度会减小，两个隧道之间会相互交叉作用，而这样的作用容易叠加，因此对于双线隧道，距离越远，相互作用的叠加也就越小，土体的变形同时也会减小。而两个隧道离得越近，相互作用的叠加相对明显，以至于变形的增大。

#### 4 结论

(1) 在其他条件一致的情况下，随着隧道的埋深增加，相应的地表沉降量减小，隧道拱顶的沉降和隧道拱底的隆起值也会减小。可见，隧道埋深增加之后，隧道对周围土体的影响也会减小。

(2) 在其他条件一定时，随着双线隧道间距的增大，相应的地表沉降量减小，同时隧道拱顶的沉降和隧道拱底的隆起值也会减小。因此，也可以得出双线隧道间距增大后，隧道对周围土体的影响也会减小。

#### 【参考文献】

[1] 侯学渊, 廖少明. 盾构隧道沉降预估[J]. 地下工程与隧道, 1993(4): 24-32.  
[2] 韩焯, 罗文林, 李宁. 地铁隧道施工引起沉降槽宽度的影响因素[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(6): 1188.  
[3] 王震, 刘维宁, 张成满, 等. 地铁车站浅埋暗挖法施工引起地表沉降规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 188(9): 1855-1861.

[4] 孟丹, 臧晓光, 于广明, 等. 地铁车站开挖引起地表沉降分析方法的对比研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(6): 1169-1177.

[5] 魏纲, 魏新江. 双线盾构施工对邻近框架建筑物影响的研究[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(2): 339-343.

[6] 姜忻良, 崔奕, 赵保健. 盾构隧道施工对邻近建筑物的影响[J]. 天津大学学报, 2008(6): 725-730.

[7] 孙玉永, 周顺华, 官全美. 软土地区盾构掘进引起的深层位移场分布规律[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(3): 500-506.

[8] 刘洪洲, 孙钧. 软土隧道盾构推进中地面沉降影响因素的数值法研究[J]. 现代隧道技术, 2001(6): 24-28.

[9] 魏炜. 盾构隧道施工侧穿桥梁对桩基位移和受力特性的影响[J]. 市政技术, 2020(2): 87.

[10] 薛哲. 盾构隧道施工对临近桩基变形的影响[J]. 工程机械与维修, 2022(4): 98.

[11] 杨记芳. 大直径盾构隧道施工对高层建筑及桩基影响数值分析[J]. 太原理工大学学报, 2017(5): 78.

[12] 谢宇, 魏纲, 蔡诗淇, 等. 类矩形盾构隧道施工对邻近桩基附加荷载的研究[J]. 低温建筑技术, 2019(12): 87.

[13] 马光金. 基于灰色关联故障树的盾构隧道施工风险研究[J]. 铁道建筑技术, 2020(4): 76.

[14] 石磊. 基于盾构隧道施工阶段的消防研究[J]. 山西科技, 2017(2): 76.

[15] 唐长东, 曾林海. 平行盾构隧道施工对不同位置桩基的影响研究[J]. 广东建材, 2010(9): 76.

[16] 方水平. 曲线盾构隧道施工侧穿廊桥桩基施工风险分析[J]. 黑龙江交通科技, 2023(12): 76.

[17] 胡浩. 大直径盾构隧道施工的实测分析[J]. 大众标准化, 2022(7): 87.

[18] 王峰, 魏智勇. 某盾构隧道施工参数的研究[J]. 江西建材, 2020(5): 76.

[19] 周鑫, 杨建辉, 刘涛. 盾构法施工对近距离侧穿桥梁桩基的影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2022(2): 87.

[20] 冯国辉, 郑茗旺, 窦炳琚, 等. 盾构掘进引起的邻近群桩水平位移解析研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2022(4): 98.

[21] 魏新江, 张彪, 鲁梁梁, 等. 盾构隧道同步注浆的几个核心问题探讨[J]. 现代隧道技术, 2022(3): 87.

[22] 何占坤. 盾构隧道下穿既有车站桩筏基础影响分析及施工控制——以杭州地铁 5 号线盾构隧道下穿杭州南站站房工程为例[J]. 隧道建设(中英文), 2022(1): 76.

作者简介: 张虎林(1997.1—), 男, 汉族, 山东省济南市, 山东高速建设管理集团有限公司, 工程技术, 助理工程师。