

ABAQUS软件分析盾构法施工地铁对相邻管线的影响

任艳荣, 王晓虹

北京建筑大学理学院, 北京

收稿日期: 2023年4月19日; 录用日期: 2023年5月9日; 发布日期: 2023年5月23日

摘要

为研究盾构法施工地铁对管线的影响, 本文采用ABAQUS软件进行数值模拟。分别模拟了不同土质、不同管径、不同埋深对地下管线的动力影响, 模拟过程中考虑了管线和土体接触面的影响。模拟结果表明隧道埋深、不同管径对管线的位移影响较大。

关键词

盾构法施工, ABAQUS软件, 有限元模拟

ABAQUS Software Analysis of the Effect of Shield Tunneling on Adjacent Pipelines during Subway Construction

Yanrong Ren, Xiaohong Wang

School of Science, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing

Received: Apr. 19th, 2023; accepted: May 9th, 2023; published: May 23rd, 2023

Abstract

In order to study the influence of shield tunneling on pipelines, ABAQUS software is used for numerical simulation in this paper. The dynamic effects of different soil properties, different pipe diameters and buried depth on underground pipelines are simulated respectively, and the influence of pipeline and soil contact surface is considered in the simulation process. The simulation results show that the buried depth of the tunnel and different pipe diameters have great influence on the displacement of the pipeline.

Keywords

Shield Tunneling, ABAQUS Software, Finite Element Simulation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市建设的不断发展,许多大中型城市通过修建地铁来缓解路面交通。而地铁建设中,大部分采用的盾构法施工。盾构施工中,如果施工控制不当,就会造成地下管线中产生附加应力和变形。而过大的附加变形和应力会导致管线受损,引发电缆管线故障、自来水管线爆裂、煤气管线泄漏等。

盾构法施工过程非常复杂,对周围环境的影响与施工的主要技术环节密切相关。因此,许多学者进行了大量的研究。孙海霞[1]等采用 ABAQUS 软件建立了能够更加全面合理地模拟施工过程中各种因素影响的三维有限元模拟,以实际的地层参数,施工参数及相应的管线变形监测数据等作为样本,利用所建模型对隧道施工中的管线沉降进行了对比分析,计算结果基本满意。刘鑫[2]采用 ABAQUS 软件,分析盾构法隧道开挖影响下的埋地管道的应力和变形情况,得出当隧道与埋地管道处于垂直位置时,盾构法施工对管道中部的应力和变形都有较大的影响,是发生破坏的高危区域。刘媛媛[3]研究了盾构推进时的施工参数:掘进压力、千斤顶推力及注浆压力对地下管线的影响,并提出了盾构施工时对既有管线的保护与控制措施。祝树红等[4]采用 ABAQUS 有限元计算软件,对盾构施工过程中隧道周围土体变形以及近接既有管线的变形和受力特性进行了分析。

综上所述,盾构法施工对市政管线的动力响应的研究,还存在一定问题:1) 模拟盾构隧道施工中影响地下管线的因素不够全面;2) 很多三维模拟的软件并不适合盾构施工岩土工程的模拟;3) 绝大部分研究将隧道开挖视为二维问题,且材料视为均质;4) 没有考虑管土接触面对管线动力响应的影响。

基于以上原因,本文考虑了管土接触面的影响,利用 ABAQUS 软件中单元生死技术,分析了不同工况条件的变化对管线的动力响应。

2. ABAQUS 软件介绍

ABAQUS 软件是国际通用的大型有限元分析软件,具有很强的非线性能力,丰富的适合岩土工程分析的本构模型,多达百种的各种单元类型。非线性分析和耦合场分析的能力,使其成为隧道施工分析领域的有力武器。其优点是具有大型的单元库和广泛的求解非线性问题的能力、高效率 and 高级辅助系统等。

3. 盾构法施工建立非线性有限元模型

隧道开挖前,土体在自重及其他外力作用下已处于稳定状态,该状态作为数值分析的初始状态。隧道洞室被开挖后,洞室周边应力被解除,则会引起周边土层的应力被重新分布。因此衬砌结构与土体之间的相互作用,将会产生衬砌结构内力。采用如下方法进行计算:利用计算软件,划分洞室形成之后的单元网格,首先施加土体自重与自重应力,计算洞室周边分布力,得到开发洞室的初始应力。利用单元生死技术,杀死土体单元,生成衬砌单元,逐渐释放洞室周边分布力至零。形成土体与衬砌结构相互作用的接触面,以重新计算结构体系的不平衡力。

3.1. 模拟材料性态

施工过程中由于盾构机渐进向前, 而周围土体则相对静止。有限元很难完全模拟该过程, 须进行相应简化, 一般是将盾构推进作为一个非连续过程进行研究。假设盾构跳跃式向前, 每次向前推进的长度恰为一个衬砌单元宽度, 用改变单元材料的方法反映盾构的向前。

1) 本构模型。岩土计算中广泛采用的有两大类模型, 一类是弹性非线性模型, 该模型较简单, 容易考虑土体的初始应力状态, 确定和计算参数; 另一类是弹塑性模型, 可以反映土体的非线性应力 - 应变关系。

2) 盾壳和衬砌的处理。将盾壳和衬砌管片看作弹性材料, 依据钢和混凝土的弹性模量以及泊松比计算单元刚度。

3) 间隙单元。间隙单元包括: 刀盘超挖间隙单元、盾尾操作间隙单元、盾尾脱空间隙单元。弹性模量一般取为岩土体的 10^{-5} 。

4) 被开挖掉的单元。ABAQUS 软件采用单元杀死方法来模拟被开挖掉岩土单元。挖掉单元的弹性模量取为极低值。

5) 开挖面卸荷单元。为模拟盾构开挖面卸荷所引起的岩土位移, 在盾构开挖面前方设置卸荷单元。

3.2. 土体本构模型

土体本构模型采用适用于岩土材料的弹塑性模型 Drucker-Prager 模型, 该模型考虑了土体的非线性应力 - 应变关系, 以内摩擦角和粘聚力的形式给出。其屈服函数为:

$$F = t - p \tan \beta - d = 0 \quad (1)$$

$$t = \frac{1}{2}q \left[1 + \frac{1}{k} - \left(1 - \frac{1}{k} \right) \left(\frac{r}{q} \right)^3 \right] \quad (2)$$

$$d = \left(1 - \frac{1}{3} \tan \beta \right) \delta_c \quad (3)$$

$$G = t - p \tan \varphi \quad (4)$$

式中: t 为偏应力参数; β 为材料的摩擦角; d 为材料的黏聚力, 单位为 MPa; δ_c 为硬化参数, 由单轴压缩实验确定, k 为三轴拉伸屈服应力与三轴压缩屈服应力之比; G 为塑性流动势; φ 为减胀角。

3.3. 边界条件

位移边界条件: 沿 Y 轴隧道轴线方向, 模型前后两面边界施加 Y 方向的水平约束; 模型关于 YZ 面对称, 在对称面施加 X 方向的水平约束; 模型的左边界施加 X 方向的水平约束; 模型底面施加 Z 方向的竖直约束; 上部边界条件施加上部岩土体自重压力。

3.4. 计算假定

计算模型采用如下假定:

- 1) 土体各向同性, 且是连续的弹塑性材料, 遵循 Drucker-Prager 屈服准则;
- 2) 土层呈均匀水平状;
- 3) 初始应力只计入土体自重应力。
- 4) 忽略地下水的渗透作用, 土体变形与时间无关, 不考虑土体固结和蠕变作用;
- 5) 注浆体、衬砌和盾构机外壳均为线弹性材料;
- 6) 盾构机外壳与土体表面的相对滑动忽略不计。

3.5. 数值模拟步骤

盾构前行实际上是盾构刚度和载荷的迁移, 在盾尾、盾首预设单元, 单元刚度的变化通过采用单元激活与杀死的方法进行处理。开挖面被推进时, 盾首逐渐深入, 盾尾逐渐脱出。盾构前行时, 也必须执行盾构附属结构包括载荷。其步骤如下:

- 1) 计算土体开挖前的应力场, 保证初始地应力平衡, 令其只有 10^{-4} 数量级的变形, 初始应力场通过简化重力场的方法进行模拟, 以便得到土体的初始应力状态;
 - 2) 采用单元生死技术, 杀死开挖步内土体单元, 激活部分衬砌单元;
 - 3) 盾构推进到下一步, 前一步开挖处土体由衬砌支承, 在盾尾处施加注浆所产生的均布压力。
- 重复 2) 3) 步施工工况, 计算盾构到达管线前、管线时和通过管线后不同距离时管线的位移。

3.6. 计算参数

计算过程中需要的参数见表 1, 表 2 和表 3。

Table 1. Soil layer calculation parameters

表 1. 土层计算参数

土层名称	弹性模量(E) (MPa)	泊松比 ν	密度 ρ (kg/m^3)	粘聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (度)
土层 1	4.76	0.36	1781	12	21.8
土层 2	6.38	0.39	1883	23.4	18.3
土层 3	9.55	0.37	1973	12.6	29.3
土层 4	12.50	0.34	2000	38.3	21.4

Table 2. Pipe diameter

表 2. 管径

管径(m)	1.25	1.0	0.75

Table 3. Pipe parameters

表 3. 管线参数

材料	弹性模量(E) (GPa)	泊松比 ν	密度 ρ (kg/m^3)
钢管	210	0.3	7850
混凝土管	25	0.2	2500

4. 计算结果分析

4.1. 土质对管线位移的影响

由图 1 可以得知, 从不同土层中管线的竖向位移曲线可以发现, 不同土层中地下管线的竖向位移类似于地表沉降槽曲线, 随着土体刚度的增大, 管线的竖向位移越来越小, 四种土层中管线的最大位移分别为 41.23, 33.24, 26.76, 23.43 mm, 土层 1 的位移较大, 处于不安全状态, 可通过注浆加固等措施来

达到减小管线竖向位移的目的, 因此可以看出不同土质对管线性状的影响很显著。所以在施工过程中, 特别注意土质条件的变化。

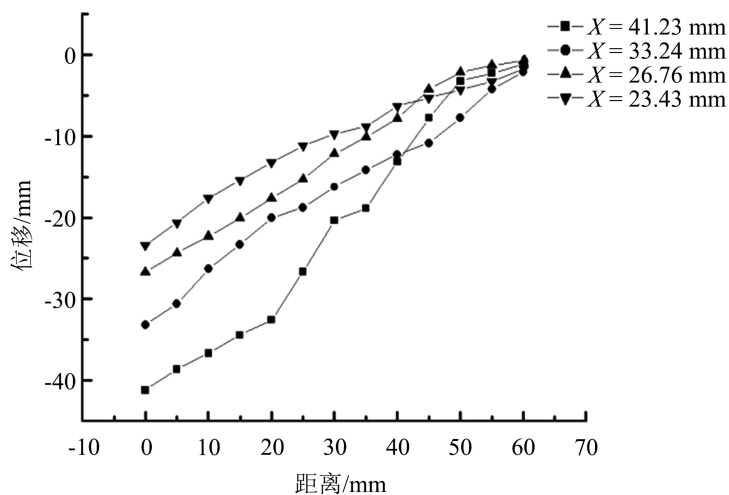


Figure 1. The relationship between vertical displacement of pipelines and different soil properties

图 1. 不同土质与管线的竖向位移间的关系

4.2. 管径对管线位移的影响

分别模拟管径为 1.25 m, 1.0 m, 0.75 m, 壁厚分别是 100 mm, 100 mm, 75 mm 的钢筋混凝土管, 得出管径与管线的竖向位移间的关系(见图 2)。

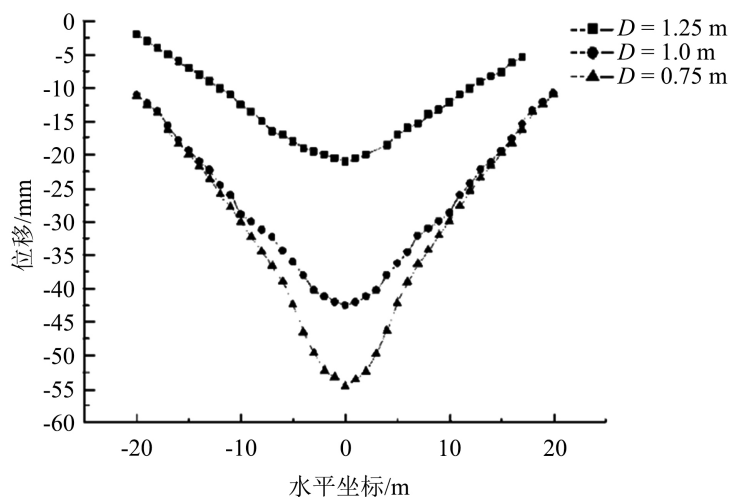


Figure 2. The relationship between different pipe diameters and vertical displacement of pipelines

图 2. 不同管径与管线的竖向位移间的关系

从图 2 可以看出, 管径越大, 管线发生的位移就越小, 而且呈对称分布, 这是由于管径越大, 其面积越大, 则刚度越大, 抵抗变形的能力就越大, 因此盾构开挖对其影响就越小。所以在其他条件相同的情况下布置管线时, 应尽量选择管径较大的管线, 这样其安全性越高。

4.3. 管线距隧道的距离远近的影响

在其他工况参数保持不变的情况下, 模拟了埋深在 2.6 m, 2.2 m 情况下, 管线的位移由于隧道开挖的影响管线如图 3 所示:

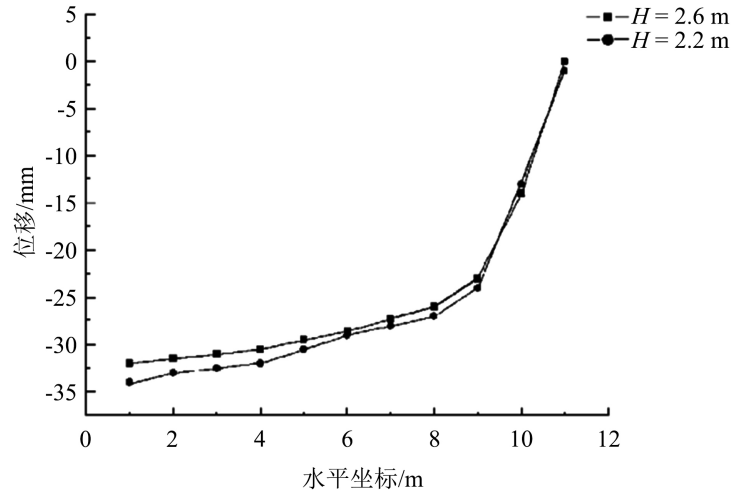


Figure 3. The relationship between different pipe diameters and vertical displacement of pipelines

图 3. 管线竖向位移与埋深间的关系

由图中可以看出, 随着管线距离隧道深度的增加, 管线受到开挖的影响也就越来越小。当管线埋深为 $H = 2.6$ m 时, 管线的最大竖向位移是 32 mm, 而当管线埋深为 $H = 2.2$ m, 管线的最大竖向位移是 36 mm。随着管线距离隧道距离的增大, 埋深越大, 管线的位移越小, 即管线受到的隧道开挖的影响越来越小。文献[5]也得到了类似结论。因此在其他条件不变的情况下, 尽量将管线埋得深些, 其受干扰的程度就会递减。

5. 结论

盾构施工是一个非常复杂的过程, 在施工中存在很多不确定因素。

- 1) 本文主要介绍了 ABAQUS 软件在地铁施工中的应用, 包括盾构隧道施工过程的有限元模拟方法、盾构法施工的非线性有限元模型以及如何建立有限元模型。
- 2) 不同土层中地下管线的竖向位移类似于地表沉降槽曲线, 随着土体刚度的增大管线的竖向位移越来越小, 当管线位移较大时, 可通过注浆加固等措施来达到减小管线竖向位移的目的。
- 3) 随着刀盘推进力的增大, 管线竖向位移在减小, 而且在盾构最下方位移达到了最大值。
- 4) 随着管线距离隧道距离的增大, 埋深越大, 管线的位移越小, 即管线受到的隧道开挖的影响越来越小。因此在其他条件不变的情况下, 尽量将管线埋得深些, 其受干扰的程度就会递减。

参考文献

- [1] 孙海霞, 赵文, 等. 盾构法施工中地下管线沉降监测与数值模拟[J]. 沈阳工业大学学报, 2010, 32(4): 454-458.
- [2] 刘鑫. 基于 ABAQUS 软件盾构法隧道施工中埋地管道力学规律研究[J]. 市政技术, 2020, 38(3): 109-113.
- [3] 刘媛媛. 盾构施工对地下管线的影响研究[J]. 公路交通科技, 2020, 16(9): 336-340.
- [4] 祝树红, 周唯铤, 徐鹏举. 盾构施工对地下管线影响数值模拟研究[J]. 低温建筑技术, 2016, 38(2): 119-122.
- [5] 童雪雪, 李云凤, 袁黎. 盾构法施工对管线影响的数值模拟[J]. 兰州工业学院学报, 2017, 24(4): 22-25.