

隧道下穿角度对既有管线的影响研究

孙壮壮

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 桥梁隧道设计院,陕西 西安 710000)

摘要:采用三维有限元数值分析,结合某工程隧道下穿既有管线案例,研究不同下穿角度对地层及既有管线的沉降变形影响。研究分析表明,隧道仰拱处均发生明显隆起,地层竖向沉降较大处主要集中在隧道拱部上方,且不同夹角对隧道开挖引起的地层竖向变形范围和沉降数值影响不大;随着施工阶段的进行,管线沉降逐渐变大,最大沉降位置发生在隧道正上方,随着隧道与既有管线夹角的增大,管线两侧沉降变形的不对称性逐渐减弱,当两者夹角为 90° ,即两者完全正交时,两侧沉降变形完全对称;隧道不同下穿角度对距离隧道相同水平距离位置处的沉降变形影响基本可以忽略,且从两侧向中间呈现先缓慢沉降、后快速沉降的变形规律,但管线沿自身方向同一位置处的沉降变形随着二者夹角的减小而增大,既有管线整体沉降变形增大。

关键词:隧道工程;有限元分析;城市管线;下穿隧道

中图分类号:U455 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2022)03-0092-06

0 引言

随着中国经济的快速发展,城市轨道交通日益重要,城市隧道工程数量也不断增加^[1],对城市隧道施工测量技术及研究也日益增多。刘循^[2]对城市隧道工程测量技术开展了相关研究,胡宝生等^[3]对城市隧道工程中爆破与非爆破施工方法的适用范围进行了研究,梅勇文^[4]对城市隧道设计和施工技术研究做出了贡献,梁征楷^[5]对城市隧道盾构施工技术开展了相关研究。此外,城市核心地区地下管线网络错综复杂,隧道与既有管线的错位交叉穿越不可避免。隧道施工过程中容易引起附近地表的沉降和变形,也会造成周围地下管线的较大变形,严重的甚至会导致发生断裂和破损事故^[6-7],因此研究隧道下穿施工对既有管线的影响非常重要。

已有相关学者开展隧道施工下穿对既有管线的影响研究,其中包含盾构隧道施工对既有管线的影响研究^[8-14],下穿双线地铁隧道对管线的影响^[15],浅埋暗挖法下穿管线施工标准及控制研究^[16-17],以及其他类型下穿管线的影响研究^[18-21]。上述研究表明,隧道下穿既有管线会引起管线上覆附加应力的增加以及管底土压力的减小。相同条件下,管隧间距越小以及地层损失率越大,管线上覆附加应力增加量越大,隧道与管线的不同位置关系对管线影响明显,位于管线中心线处的管线沉降要明显大于其他位置。张学进^[22]研究了隧道不同埋深及夹角下对管线的沉降影响,研究表明,埋深越大,隧道开挖对地层竖向的沉降范围影响越大,最大沉降量越大,不同夹角下,与隧道水平面交汇处的管线沉降不随夹角变化而变化。结合某工程隧道下穿既有管线工程,采用三维有限元数值模拟,研究分析下穿隧道与既有管线不同夹角下对附近地层沉降变形及既有管线沉降变形的影响。

1 工程概况

选取某工程隧道下穿既有管线作为案例,该工程地质情况从上向下依次为8 m厚的风化土地层、13 m厚的风化岩地层、42 m厚的软岩地层,其中既有管线处于风化岩地层中,隧道处于软岩地层中。

收稿日期:2022-07-19 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.20220219

作者简介:孙壮壮(1996—),男,助理工程师,研究方向为隧道设计。E-mail:1666052646@qq.com

孙壮壮.隧道下穿角度对既有管线的影响研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2022,35(3):92-97.

管线材质为铸铁水管,半径 1 m,管壁厚度 15 mm,管线底部距离隧道结构顶板约 10 m,隧道与管线相对位置关系见图 1。

2 有限元模型建立

2.1 分析工况

基于典型管线结构和隧道轮廓,结合周围土体情况建立数值模型,分析研究既有管线与隧道开挖夹角、既有管线沉降变形的相关性。为了模拟隧道施工过程中对上方既有管线的影响,采取施工阶段分步开挖过程进行分析,具体模拟过程如下:隧道每段开挖 2 m,开挖时前段施加锚杆,在开挖下一段的同时对前段施作喷混。

本次模拟了 10 段开挖过程,以隧道下穿管线 30°、60°、90° 3 个工况进行计算分析。

2.2 模型建立及参数选取

数值模拟破坏准则土层采用摩尔库伦准则,隧道喷混、锚杆及管壁采用弹性模拟;模型中土层采用实体混合网格单元模拟,喷混、管壁采用二维板单元模拟,锚杆采用植入式桁架模拟,长度为 4 m。由于管线的竖向沉降变形远大于横向变形,因此计算中只考虑竖向沉降变形。计算参数见表 1。

表 1 材料参数

材料	厚度/m	弹性模量/kPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	容重/(kN·m ⁻³)
风化土	5	5 000	0.30	20	30	18.0
风化岩	13	50 000	0.30	20	33	23.0
软岩	42	2e6	0.25	200	35	25.0
喷混	0.15	1.5e7	0.20	—	—	24.0
管壁	0.015	1.55e5	0.27	—	—	73.0
锚杆	—	2.1e8	0.30	—	—	78.5

根据《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013),风险等级较低且无特殊要求的地下管线沉降和差异沉降控制值见表 2。

表 2 地下管线沉降及差异沉降控制值

管线类型	沉降		差异沉降/mm
	累计值/mm	变化速率/(mm·d ⁻¹)	
燃气管道	10~30	2	0.3%L _g
污水管	10~20	2	0.25%L _g
供水管	10~30	2	0.25%L _g

合理地确定模型体量及网格疏密是数值计算可行性和可靠性的基本保障。该地基土体的模型尺寸可依据已有的研究经验来确定,即当地基土体模型自重方向、水平方向的几何尺寸分别控制为不小于隧道及地下管线对应尺寸的 3 倍和 5 倍时,边界效应影响可忽略,网格剖分采用隧道和管线周围网格相对密集、边界处网格相对稀疏的划分效果,网格稀疏处网格尺寸为 1 m,隧道密集部分采用 0.2 m,可同时满足计算精度及收敛性要求。整体数值模型如图 2 所示,模型整体尺寸为 45 m×20 m×63 m(宽×长×高),隧道与既有管线相对位置关系如图 3~图 6 所示。

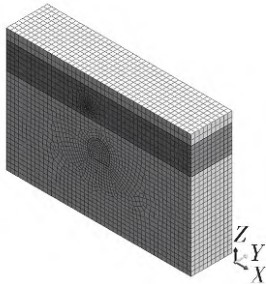


图 2 整体数值模型

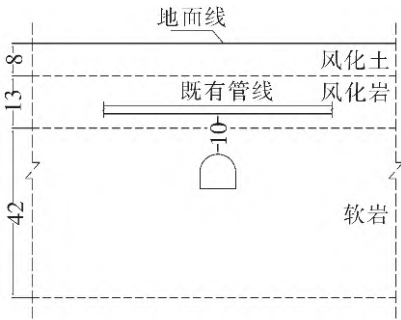


图 1 隧道与管线相对位置关系(单位:m)

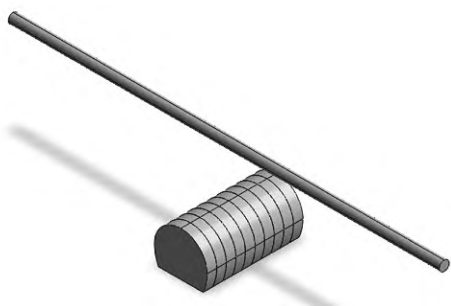


图 3 隧道与既有管线 90°夹角

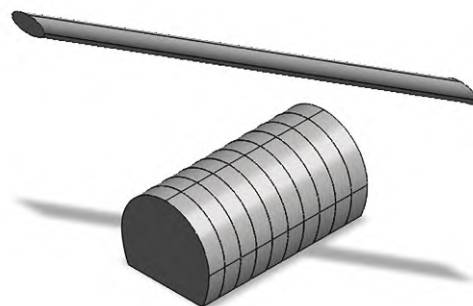


图 4 隧道与既有管线 60°夹角

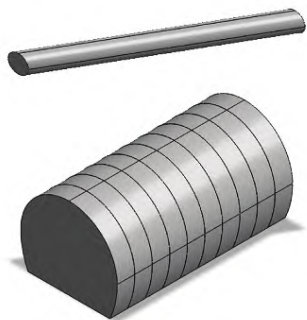


图 5 隧道与既有管线 30°夹角

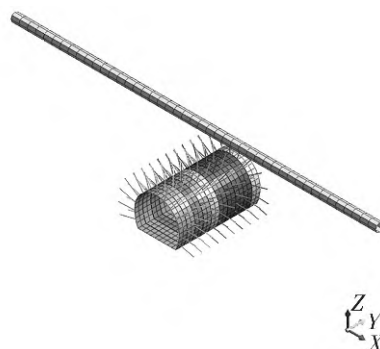


图 6 隧道锚杆与喷混结构示意图

3 计算结果分析

3.1 地层沉降变形

隧道开挖过程中不可避免地对周围地层产生影响,因此研究隧道施工过程中沉降变形规律很有必要,图 7 展示了考虑施工阶段条件下,隧道全部开挖支护完成后不同夹角情况下的地层沉降变形。

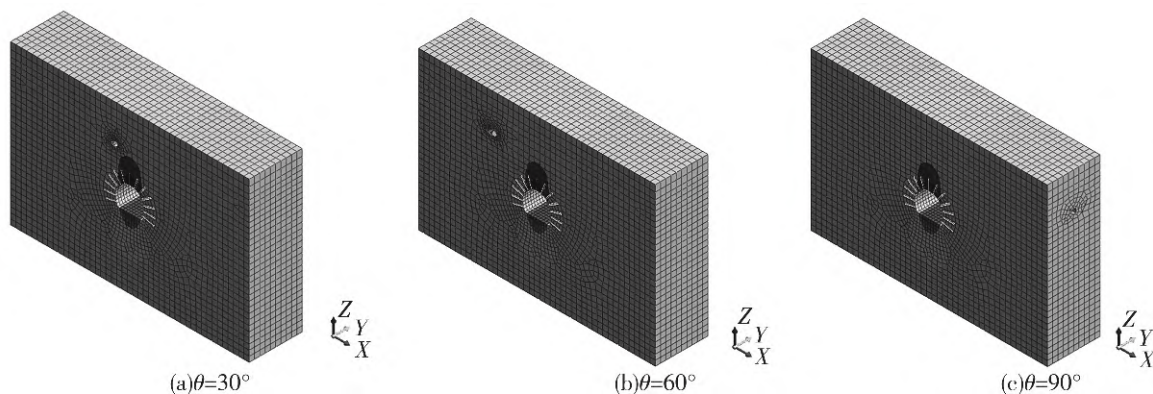


图 7 地层沉降变形

从图 7(a)可以看出,当下穿隧道与既有管线夹角为 30°时,隧道仰拱处发生隆起,隆起最大高度为 3.47 mm,在隧道拱顶处发生较大沉降,最大沉降高度为 3.69 mm;从图 7(b)中可以看出,当下穿隧道与既有管线夹角为 60°时,隧道隆起位置同样发生在仰拱位置,最大隆起高度 3.47 mm,最大沉降位置也发生在拱顶位置,沉降高度为 3.70 mm;图 7(c)中,当下穿隧道与既有管线夹角为 90°,即两者正交时,最大隆起与沉降位置依然在仰拱和拱顶位置,最大隆起和沉降高度分别为 3.46 mm 和 3.70 mm。

综合分析可得出以下结论:3 种工况下,隧道仰拱处均发生明显隆起,地层竖向沉降较大处主要集中在隧道拱顶位置,而且不同夹角对隧道开挖引起的地层竖向变形的范围和沉降数值影响不大。

3.2 施工阶段对管线变形的影响

为了更好地分析管线纵向各位置沉降规律,选取管线顶部在 X 坐标轴上的投影线为分析对象,做出各个点位的最终沉降线图,图8展示了不同施工阶段对管线竖向沉降变形的影响。

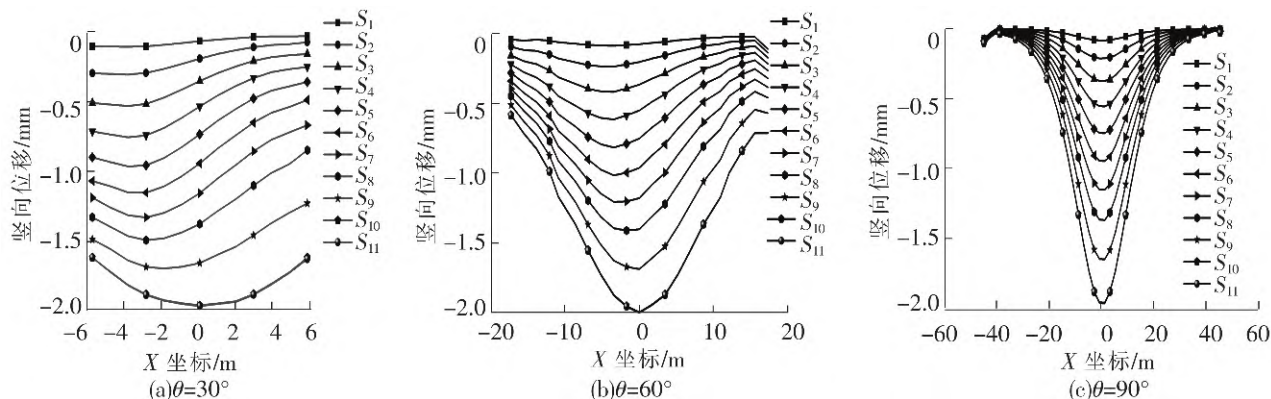


图8 管线沉降变形

从图8(a)中可以看出,当下穿隧道与既有管线夹角为 30° 时,随着施工阶段的进行,管线竖向沉降变形增大,在施工全部完成后管线最大沉降位置发生在隧道正上方,最大沉降高度为 1.98 mm,在 $S_1 \sim S_{11}$ 施工阶段中,由于隧道与管线夹角的存在,隧道在施工前段部分时,隧道管线 X 负方向最先靠近隧道的一侧受到隧道开挖施工的影响,随着施工阶段的进行,管线另一侧也逐渐受到影响,因此图8(a)中管线沉降曲线呈现沿隧道两侧不完全对称的现象,且随着施工阶段的进行,管线沉降逐渐增大,且沉降最大位置发生在隧道正上方。

在图8(b)中,当隧道与既有管线夹角为 60° 时,管线随着隧道施工的进行而导致的沉降规律与夹角为 30° 时类似,但是管线两侧的不对称沉降区别减弱,并且也随着施工的进行沉降逐渐增大,最大沉降位置发生在隧道正上方,最大沉降高度为 2.00 mm。

图8(c)中,当夹角为 90° 时,管线两侧的不对称沉降完全消失,沿隧道正上方两侧对称分布的规律更加明显,随着施工的进行沉降逐渐增大,最大沉降位置发生在隧道正上方,最大沉降高度为 1.96 mm。

综合分析可以看出,不同施工阶段中管线的沉降变形规律相近,随着施工阶段的进行,沉降逐渐变大,最大沉降位置发生在隧道正上方,随着隧道与既有管线夹角的增大,两侧沉降变形的不对称性逐渐减弱,当两者夹角为 90° ,即两者完全正交时,两侧沉降变形完全对称,而且从两侧向中间呈现先缓慢沉降,后快速沉降的变形规律,根据最大沉降高度可以看出,不同夹角对管线最大沉降变形的影响较小。

3.3 不同角度对管线变形的影响

图9展示了施工完成后不同工况下,管线沉降位置在 X 坐标轴上的投影线(即沉降位置距隧道中心最短水平距离)的沉降对比情况。图10展示了同一施工阶段不同夹角下既有管线沿自身长度方向上的沉降对比情况。

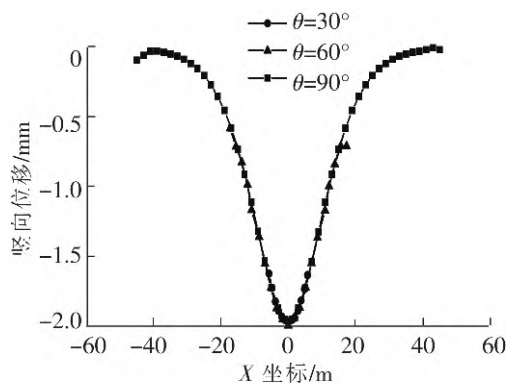


图9 不同夹角下的管线沉降变形对比

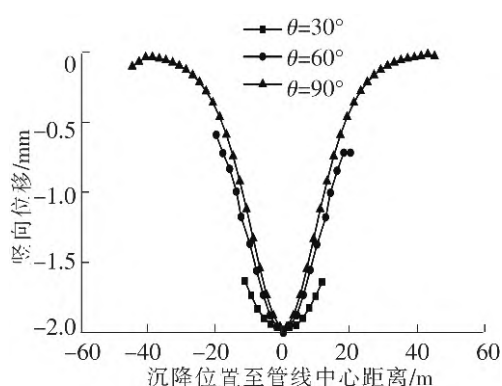


图10 不同夹角下的管线沿自身方向沉降变形

从图 9 中可以看出,3 种工况下,施工完成后,在与隧道水平距离相同的位置处,管线发生的沉降变形基本一致,且不同夹角工况对应的最大沉降变形高度基本一致。

从图 10 中可以看出,由于下穿隧道与既有管线夹角的不同,导致距离管线中心(隧道正上方位置)同样位置处,对应的沉降高度也不同,这是因为随着夹角的减小,既有管线受下穿隧道影响的范围增大,沉降变形也相对增大。

4 结论

通过模拟隧道施工阶段对既有管线沉降变形的影响,考虑不同下穿角度分别建立模型进行分析,得出以下结论:

(1)不同夹角下地层沉降变形中,隧道仰拱处均发生明显隆起,地层竖向沉降较大处主要集中在隧道拱部左上方和右上方,而隧道拱顶沉降较小甚至有隆起,而且不同夹角对隧道开挖引起的地层竖向变形的范围和沉降数值影响不大。

(2)不同施工阶段中管线的沉降变形规律相近,随着施工阶段的进行,沉降逐渐变大,最大沉降位置发生在隧道正上方,且满足规范要求,随着隧道与既有管线夹角的增大,两侧沉降变形的不对称性逐渐减弱,当两者夹角为 90° ,即两者完全正交时,两侧沉降变形完全对称。

(3)隧道不同下穿角度对距离隧道相同横向位置处的沉降变形影响基本可以忽略,且从两侧向中间呈现先缓慢沉降、后快速沉降的变形规律;但沿管线自身方向同一位置处的沉降变形随着下穿隧道与既有管线夹角的减小而增大。

参 考 文 献

- [1]黄宏伟. 城市隧道与地下工程的发展与展望[J]. 地下空间, 2001(4):311-317.
- [2]刘循. 城市隧道工程测量技术研究[J]. 科技资讯, 2014,12(24):43-44.
- [3]胡宝生, 李晓勇. 城市隧道工程非爆破法与控制爆破法的适用范围浅析[J]. 公路交通技术, 2011(4):112-116.
- [4]梅勇文. 城市隧道设计与技术创新[J]. 北方交通, 2017(1):74-79.
- [5]梁征凯. 浅析城市隧道工程盾构施工几点新技术[J]. 建材与装饰, 2019(16):269-270.
- [6]魏纲, 魏新江, 裴新谷, 等. 过街隧道施工对地下管线影响的三维数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2009,28(S1):2853-2859.
- [7]刘晓强, 梁发云, 张浩, 等. 隧道穿越引起地下管线竖向位移的能量变分分析方法[J]. 岩土力学, 2014,35(S2):217-222.
- [8]肖金花, 李雄威, 居尚威, 等. 常州地铁盾构下穿市政管线的应力与变形数值分析[J]. 常州工学院学报, 2018,31(2):8-13.
- [9]马静. 地铁盾构隧道下穿雨污管线影响分析[J]. 市政技术, 2019,37(3):122-125.
- [10]韦凯, 雷震宇, 周顺华. 盾构隧道下穿地下管线的变形控制因素分析[J]. 地下空间与工程学报, 2008(2):325-330.
- [11]张红歌. 盾构隧道下穿对地下管线的变形影响研究[J]. 西部交通科技, 2019(4):142-145.
- [12]周绍宾, 郭佳奇, 徐冲. 盾构隧道下穿交叉市政管线地表沉降分析与控制[J]. 城市轨道交通研究, 2021,24(8):41-46.
- [13]王婉婷, 黄杉, 王尉行, 等. 盾构下穿地下管沟施工影响案例分析及其控制研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018,21(6):105-108.
- [14]史江伟, 范燕波, 裴伟伟, 等. 盾构下穿非连续管线变形特性及预测方法研究[J]. 岩土力学, 2021,42(1):143-150.
- [15]石杰红, 史聪灵, 刘晶晶. 双线地铁隧道下穿管道安全性对比研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019,15(8):113-117.
- [16]邹达. 浅埋暗挖法城市隧道及地下工程施工风险分析及对策研究[J]. 江西建材, 2016(20):164-166.
- [17]周伟, 牛斌, 曾德光, 等. 浅埋暗挖法隧道下穿管线施工控制标准及控制措施研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021,24(9):20-24.
- [18]李义军. 地铁区间隧道下穿污水管线施工技术[J]. 铁道标准设计, 2009(7):87-90.
- [19]吕燕荣. 基于数值模拟理论分析浅埋暗挖施工对既有管道保护方案的安全性[J]. 中国高新科技, 2018(16):83-85.

- [20]王正兴, 缪林昌, 石文博. 砂土中隧道垂直下穿既有管线的数值模拟[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2014, 35(10): 1507-1511.
- [21]王春梅, 何越磊, 汪磊, 等. 隧道下穿引起地下管线竖向位移的计算方法研究[J]. 隧道建设, 2016, 36(2): 186-192.
- [22]张学进. 淤泥质土浅埋暗挖隧道下穿既有管线影响研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(7): 77-83.

Study on the Influence of Tunnel Underpassing Angles on Existing Pipeline

Sun Zhuangzhuang

(Bridge and Tunnel Design Institute of the First Survey and
Design Institute Group Co. Ltd. of China Railway, Xi'an 710000, China)

Abstract: Using three-dimensional finite element numerical analysis, combined with the case of the existing pipeline under the tunnel of a certain project, the influence of different underpassing angles on the settlement deformation of the formation and the existing pipeline was studied in this paper. The research and analysis shows that: Obvious uplift occurs at the tunnel arch, and the vertical settlement of the formation is mainly concentrated above the tunnel arch, and the different angles have little impact on the range and settlement value of the vertical deformation of the formation caused by tunnel excavation. Along with the construction stage, the pipeline settlement gradually becomes larger, the maximum settlement position occurs directly above the tunnel, with the increase of the angle between the tunnel and the existing pipeline, the asymmetry of the settlement deformation on both sides of the pipeline gradually weakens, when the angle is 90°, that is, when the two are completely orthogonal, the settlement deformation on both sides is completely symmetrical. The impact of different tunnel underpassing angles on the settlement deformation at the same horizontal distance from the tunnel can be basically ignored, and the deformation law of first slow settlement and then rapid settlement are presented from both sides to the middle. However, the settlement deformation of the pipeline at the same position along its own direction increases with the decrease of the angle, and the overall settlement deformation of the existing pipeline increases.

Key words: tunnel engineering; finite element analysis; urban pipeline; underneath tunnel