

地铁盾构区间隧道近接下穿综合管廊影响研究

杨 奎,李 奥,陈雾航,董 飞,黄 俊,邢冬冬
(苏交科集团股份有限公司,江苏 南京 210017)

摘 要: 地铁盾构区间隧道施工下穿既有综合管廊时,周围土体产生扰动,引起周围土体的变形,会使既有综合管廊产生附加应力和变形,威胁结构安全。为了研究盾构隧道下穿过程中对既有综合管廊的影响,探索不同穿越角下既有管廊的变形规律,采用三维有限差分法进行模拟,分析盾构隧道施工过程中既有综合管廊的沉降变形规律、地基加固对管廊沉降的控制效果及不同下穿交角对既有综合管廊沉降的影响。计算结果表明:既有综合管廊在盾构机附近主要产生纵向上的不均匀沉降,随着盾构掘进,沉降逐渐增大,进行地基加固后能够有效减小既有管廊的沉降变形。当下穿交角较小时,既有综合管廊沉降变形增大。通过本文的研究,可以为类似工程提供指导。

关键词: 盾构法;综合管廊;有限差分法;盾构下穿;地铁区间

中图分类号: U455.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0294-04

0 引 言

随着城市地下空间开发利用规模越来越大,地下环境日渐错综复杂。地铁区间盾构隧道在施工过程中,下穿既有管线非常频繁,施工穿越过程难度及风险也越来越大。在盾构施工过程中,因土体扰动而引起地表沉降及周围土体变形,使临近既有结构产生了附加应力和变形,直接影响临近结构与周边环境的安全。为有效提升盾构下穿过程中临近结构的安全性,对施工过程中的各项指标进行合理的监控量测尤为重要。

目前针对地铁盾构区间下穿既有地下结构的影响研究已取得了较多的研究成果。熊志浩^[1]针对地铁盾构区间下穿综合管廊,采用有限差分法开展了三维模拟,分析总结了盾构隧道在不同角度下穿和盾尾注浆压力下结构的变形和影响规律;方勇^[2]针对平行隧道盾构施工,采用三维有限元进行模拟,开展了隧道位移、变形和内力的实时监测,分析了盾构隧道在动态施工过程中的变化规律;许有俊^[3]通过三维有限元和实测数据分析了盾构对上部车站结构的影响,可以有效控制既有车站结构的变形;徐前卫^[4]针对盾构平行隧道掘进过程中的土地扰动问题,以上海外滩观光隧道上穿地铁2号线为例进行了深入研究。徐章杰^[5]以北京地铁15号线盾构穿越京承铁路

箱涵工程为背景,开展了地铁盾构施工与既有铁路箱涵变形相关问题的研究。目前研究现状大多针对个别工况,缺少对既有结构进行地基加固后,盾构近接施工的研究,对不同相交角度影响的研究则更少。

本文以南京规划地铁9号线、13号线近接下穿扬子江综合管廊工程为研究背景,采用有限差分软件FLAC 3D建立数值模型,模拟地铁盾构区间隧道下穿综合管廊的施工过程,研究盾构隧道近接下穿过程中,上部既有管廊的变形规律,通过在既有管廊下部进行地基加固,对比分析地基加固措施对管廊结构变形的控制效果。通过改变隧道下穿交角,研究不同下穿交角的影响。

1 工程概况

南京市扬子江大道作为滨江风光带的重要组成部分,连接东西向的过街设施较为复杂,市民步行横跨扬子江大道存在过街难的问题,滨江风光建成后,过街难的矛盾更加突出,因行人横穿过街的交通事故频发,因此,迫切需要开展对扬子江大道的全面快速化完善工程。

项目全线新建综合管廊工程北起扬子江隧道南出口接地点,南至河西大街,管廊共长约7 km。综合管廊部分位置与规划地铁9号线、13号线的区间及车站存在平面位置上的交叉现象,纵向最小净距分别为6 m与3 m,且存在多种交叉角度,施工下穿过程中存在较大的不确定性。二者位置及交叉情况见图1、图2。

收稿日期: 2023-05-17

作者简介: 杨奎(1983—),男,硕士,高级工程师,从事岩土工程、隧道及地下工程等相关设计和研究工作。

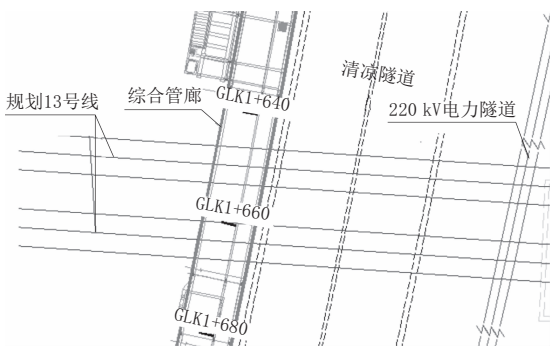


图1 地铁13号线与管廊交叉示意图

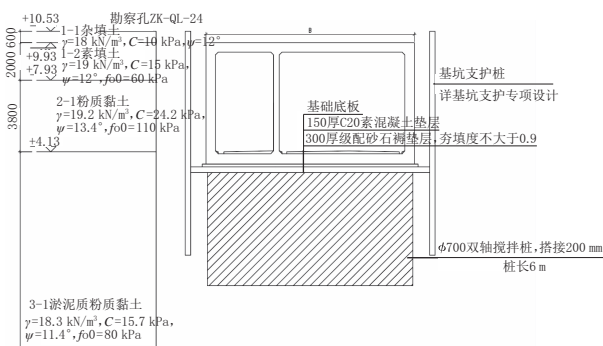


图4 管廊地基加固剖面示意图(单位:mm)

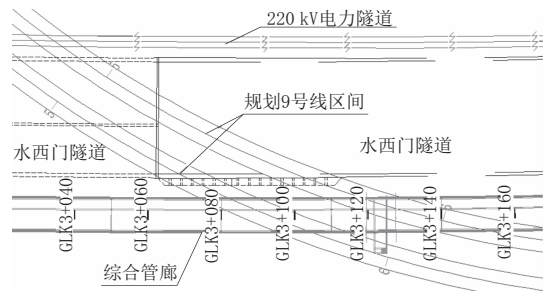


图2 地铁9号线与管廊交叉示意图

地铁区间隧道设计为内径 5.9 m 的双盾构隧道,盾构管片厚度 0.35 m。交叉段综合管廊标准横断面形式见图 3。为了减小盾构隧道近接下穿过程中管廊的沉降变形,保证对管廊结构变形影响可控,设计时采用双轴水泥土搅拌桩复合地基对管廊结构进行地基加固,搅拌桩桩径为 700 mm,采用常规的四搅两喷工艺,桩间纵、横向搭接 200 mm。使用 42.5 级普通硅酸盐水泥,水灰比为 0.45~0.60,送浆压力 0.4~0.6 MPa,水泥掺入量 16%(坑底以上虚桩部分水泥掺量 8%),深搅桩 28 d 的无侧限单轴抗压强度不小于 1.0 MPa。地基加固情况见图 4。

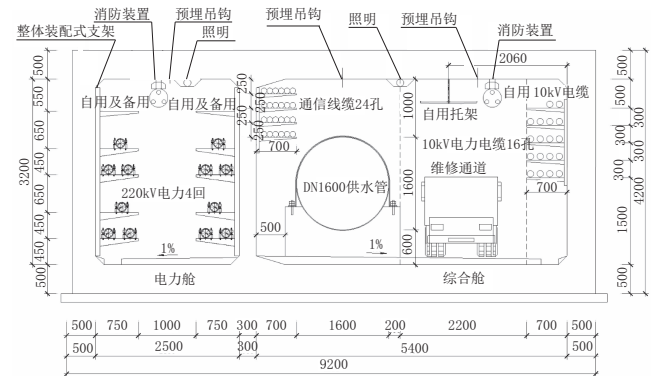


图3 交叉段综合管廊横断面示意图(单位:mm)

根据勘察资料,综合管廊地层范围内土体主要为素填土与粉质黏土,盾构隧道穿越范围内土体主要为长江漫滩的淤泥质粉质黏土,无侧限抗压强度为 37.60 kPa,该层局部夹薄层稍密状粉土及粉砂,具水平状沉积层理,局部富集,土质不均匀。

2 盾构施工过程数值模拟

2.1 计算模型的建立

为了较准确的模拟扬子江管廊运营后,新建地铁盾构隧道开挖施工对其的影响,采用 FLAC 3D 开展数值模拟,进行开挖施工的全过程分析。计算中,土层、既有管廊以及新建地铁盾构管片均采用实体单元,各参数按实际取值。

实际工程中,盾构开挖以及与土层间的相互影响较为复杂,通常会在精度允许的情况下进行适当简化。根据实际情况并考虑计算精度,本次分析过程中采用了如下几点假定:施工对既有管廊结构扰动为小变形问题、混凝土和土体为各向同性材料、初始地应力只考虑自重、忽略地下水的渗透和排水固结作用。

计算模型的边界按 3~5 倍洞径考虑,各交叉断面模型见图 5。根据前述模型计算中关于边界的描述,断面 1 和断面 2 的计算模型尺寸(长×宽×高)分别为:55.5 m×63 m×35 m 和 70 m×190 m×40 m,分别包含单元数量为:260 767 个和 330 755 个;包含节点数量为:47 292 个和 58 713 个。

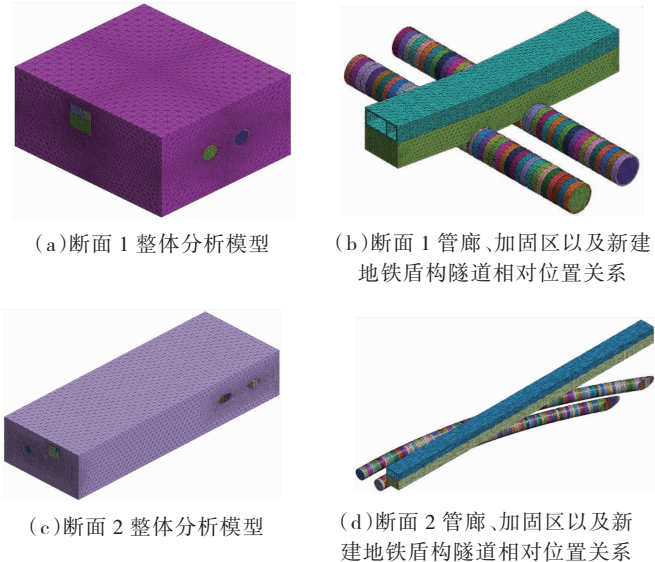


图5 各交叉断面模型示意图

2.2 土体及结构力学参数

根据勘察报告,土体力学参数见表 1,具体结构材料性质见表 2。

表 1 地层土体分布及力学参数						
名称	深度 /m	重度 / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	E/MPa	泊松比	抗剪强度	
					c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
11a	3.3	17.9	1.22	0.32	21.0	7.0
31a	4.2	18.2	1.14	0.32	14.4	5.0
31c	10.3	19.5	3.32	0.35	7.0	30.0
31b	42.2	18.4	1.29	0.35	11.0	20.0

表 2 结构计算参数		
名称	地铁管片混凝土	管廊混凝土
材料模型	弹性	弹性
弹性模量 E/MPa	30 000	30 000
泊松比	0.2	0.2
容重 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	25	25

2.3 数值模拟方案

计算中首先进行地层的初始地应力计算,在正式开始计算隧道开挖的影响之前,进行模型的位移和塑性状态的清除,用以确保最终的计算结果为隧道开挖所产生的附加位移。加固区采用改变相应区域范围内材料参数的方法加以实现,具体参数取自相关文献中关于水泥土搅拌桩的部分。

隧道的开挖采用空模型(null)进行实施。在建模过程中,将盾构管片按照管片宽度进行网格划分(本次计算中取为 1.5 m),计算中按照一环管片宽度的进尺掘进直至盾构隧道在计算范围内贯通。对于盾构机顶推力的模拟,计算中采取在开挖面上施加法向应力的方式加以实现。对于双线盾构隧道开挖顺序的考虑,计算中假定一条线开挖完成后再进行另一条线的开挖。

2.4 计算工况

根据现场施工工艺和进度,模拟时分为 10 个主要工况来考虑,分别为两线初始开挖、到达管廊、抵达管廊正下方、穿过管廊以及完全贯通。具体计算工况见表 3。

3 结果分析

3.1 施工过程管廊沉降分析

不同工况下断面 1 管廊监测点沉降结果见图 6,各工况下位移云图见图 7。计算中考虑了盾构的施工过程,分别给出了两线初始开挖、到达管廊、抵达管廊正下方、穿过管廊以及完全贯通各个阶段的沉降

表 3 计算工况			
计算 工况	施工过程	计算 工况	施工过程
1	初始开挖(大里程隧道开挖)	6	初始开挖(小里程隧道开挖)
2	掘进至管廊外墙(大里程隧道开挖)	7	掘进至管廊外墙(小里程隧道开挖)
3	掘进至管廊正下方(大里程隧道开挖)	8	掘进至管廊正下方(小里程隧道开挖)
4	穿过管廊外墙(大里程隧道开挖)	9	穿过管廊外墙(小里程隧道开挖)
5	大里程隧道开挖完成	10	小里程隧道开挖完成

结果。该断面的计算中首先开挖南线隧道(大里程段),待大里程隧道施工完成后,开挖小里程段隧道。

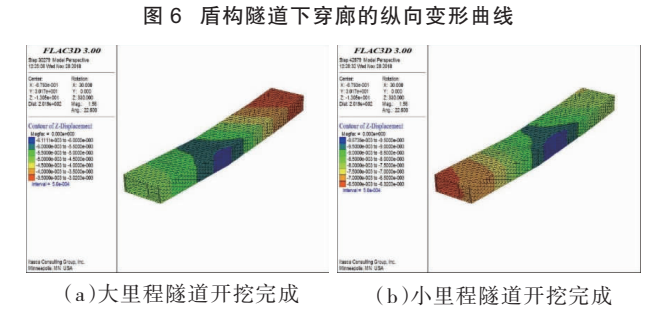
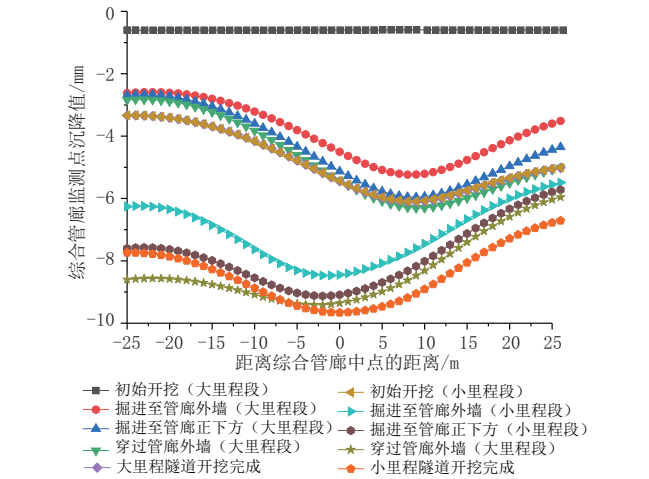


图 7 盾构施工过程既有管廊沉降位移云图

根据图 6 曲线所示,盾构隧道近接下穿施工导致既有综合管廊发生不均匀沉降变形,沉降最大值位置位于开挖隧道中心线正上方。随着隧道掘进,沉降位移逐渐增大,当开挖小里程段隧道时,沉降位移进一步增大,且增幅明显,沉降位移最大值增加了约 40%,沉降最大值位置转移到小里程段隧道中心线正上方,在小里程段隧道开挖完成工况,沉降位移达到最大值,结构最终沉降最大值为 9.67 mm。在施工过程中,应加强对既有综合管廊的位移监测,确保地铁盾构施工过程中既有管廊的正常使用。

3.2 既有综合管廊地基加固效果分析

采用地基加固措施与未进行加固情况下综合管

廊监测点沉降位移最大值曲线对比见图8。根据图8中显示,对既有管廊进行地基加固后,综合管廊沉降值显著减小,采用地基加固措施后,管廊沉降最大值为9.67 mm,与未进行地基加固相比,沉降位移减小了2.1倍,采用地基加固措施可以有效减小既有管廊的沉降变形。

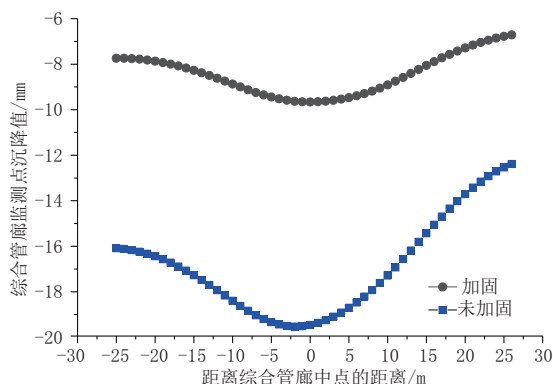


图8 管廊地基加固效果对比曲线

3.3 不同下穿交角沉降值分析

因规划地铁区间盾构施工下穿既有综合管廊时,存在多种相交角度,为了研究不同下穿交角对综合既有综合管廊的沉降影响,分别提取了两种工况下既有管廊监测点沉降位移曲线,见图9。工况1下穿交角为 90° ,工况2下穿交角约为 28° 。

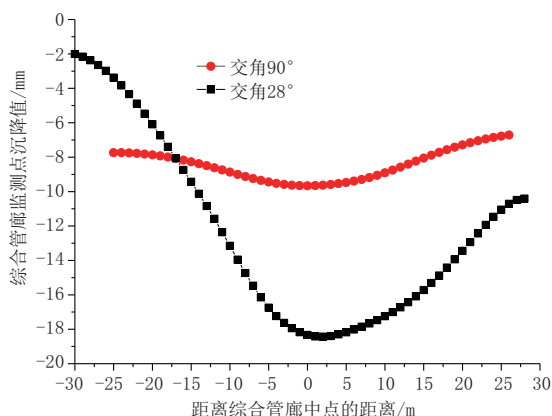


图9 监测点沉降随角度变化

根据图9显示,隧道开挖完成时,下穿交角为 28° 时,综合管廊沉降位移为18.44 mm,沉降大于交角为 90° 的工况,沉降值增大约90%,管廊结构的最大沉降位置位于与地铁隧道交叉位置附近。由于地铁线路基本与既有管廊平行,因此,此种情况下即使采取了地基加固措施,管廊的沉降仍然较大。

分析图9沉降曲线,交角为 90° 时,沉降曲线沿管廊中线大致呈左右对称,当交角为 28° 时,综合管廊发生了明显的不均匀沉降和不均匀侧移,这些不均匀沉降和侧移会使既有综合管廊产生变形和旋转的趋势。由于盾构隧道近乎沿既有综合管廊平行掘

进,在盾构机前方,受盾构顶进力的影响,既有综合管廊将会朝远离新隧道方向侧移,侧移量受盾构顶进力和注浆压力等施工参数影响,施工过程中应加强对既有综合管廊的监测,及时调整施工参数,保证既有综合管廊的安全性与稳定性。

4 结 语

(1)盾构隧道近接下穿综合管廊施工时,盾构机附近的既有综合管廊在纵向上产生不均匀沉降变形,沉降最大值位置位于开挖隧道中心线正上方。既有管廊沉降随着盾构机掘进逐渐增大,在隧道开挖结束时,沉降值达到最大;

(2)既有综合管廊采用双轴水泥土搅拌桩复合地基进行地基加固后,沉降变形得到有效控制,采用地基加固后既有综合管廊沉降位移比未加固情况减小了2.1倍,有效提高了既有综合管廊结构的安全性与稳定性;

(3)研究不同下穿交角对既有综合管廊沉降变形的影响,当下穿交角减小为 28° 时,既有管廊沉降位移明显增大,比交角为 90° 时沉降增大约90%,由于地铁线路位基本与既有管廊平行,因此,此种情况下即使采取了地基加固措施,管廊的沉降也较大,且纵向沉降曲线呈明显不对称形态,既有管廊纵向方向产生明显的不均匀沉降和侧移,施工过程中,应加强对综合管廊的监控量测,及时调整掘进施工参数,保证既有管廊的安全性与稳定性。

参考文献:

- [1] 熊志浩,张路,周晓涵,等.地铁盾构区间隧道近接下穿城市综合管廊影响分析[J].铁道标准设计,2018,62(9):135-139,144.
- [2] 方勇,何川.平行盾构隧道施工对既有隧道影响的数值分析[J].岩土力学,2007(7):1402-1406.
- [3] 许有俊,葛绍英,孙凤.盾构隧道下穿地铁车站结构沉降特性研究[J].施工技术,2018,47(7):113-118,123.
- [4] 徐前卫,尤春安,李大勇.盾构近距离穿越已建隧道的施工影响分析[J].岩土力学,2004(S1):95-98.
- [5] 徐彰杰.北京地铁15号线盾构法施工对既有铁路箱涵的影响分析[D].北京:北京交通大学,2011.
- [6] 汪辉武,郭建宁,李国栋,等.宁波地铁1号线高流变软土地层盾构掘进参数分析[J].铁道建筑,2016(7):49-54.
- [7] 邱明明,姜安龙,舒勇.城市地铁盾构施工地层变形三维数值模拟分析[J].防灾减灾工程学报,2014,34(2):161-167.
- [8] 李磊,张孟喜,吴惠明,等.近距离多线叠交盾构施工对既有隧道变形的影响研究[J].岩土工程学报,2014,36(6):1036-1043.
- [9] 叶飞,苟长飞,陈治,等.盾构隧道同步注浆引起的地表变形分析[J].岩土工程学报,2014,36(4):618-624.
- [10] 孙宇坤,吴为义,张士乔.软土地区盾构隧道穿越地下管线引起的管线沉降分析[J].中国铁道科学,2009,30(1):80-85.