

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2021.03.015

综合管廊施工对临近建筑沉降的影响分析

陈元盛^{1,2}, 党发宁¹

(1. 西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 陕西省引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710010)

摘要: 本文针对综合管廊施工对临近建筑的沉降影响问题开展研究, 依托陕西省汉中市综合管廊项目进行现场监测。采用 Midas GTS/NX 有限元分析软件对管廊明挖施工过程进行动态模拟, 分析施工全过程下基坑围护结构以及临近建筑的变形情况, 并将模拟计算结果与现场监测数据进行对比验证。结果表明: 临近建筑物发生了偏向基坑的倾斜, 倾斜度为 0.13×10^{-3} , 建筑物最大沉降值为 4.8 mm, 满足监测规范要求; 围护结构发生“弓”形水平位移, 高层建筑旁基坑两侧围护结构发生非对称变形, 低层建筑旁基坑两侧维护结构变形基本对称; 临近建筑发生不均匀沉降和水平位移, 水平位移具有分层现象; 数值模拟与监测结果变形趋势一致, 建筑物的沉降发展主要集中在综合管廊基坑开挖阶段。

关键词: 综合管廊; 明挖法; 临近建筑; 数值模拟

中图分类号: TU990

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2021)03-0414-09

Analysis of the influence of comprehensive pipe gallery construction on the settlement of adjacent buildings

CHEN Yuansheng^{1,2}, DANG Faning¹

(1. Faculty of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Hanjiang-to-Weihe River Water Diversion Project Construction Co. Ltd., Xi'an 710010, China)

Abstract: This paper studies the influence of comprehensive pipe gallery construction on the settlement of adjacent buildings, and carries out on-site monitoring based on the comprehensive pipe gallery project in Hanzhong City, Shaanxi Province. The open excavation construction process of pipe gallery is dynamically simulated by the Midas GTS/NX finite element analysis software, the deformation of foundation pit retaining structure and adjacent buildings during the whole construction process is analyzed, and the simulation results are compared with the on-site monitoring data. The results show that the adjacent building is inclined to the foundation pit, that the inclination is 0.13×10^{-3} , and that the maximum settlement value of the building is 4.8 mm, which meets the requirements of the monitoring code. The "bow" horizontal displacement occurs in the retaining structure, the asymmetric deformation occurs on both sides of the foundation pit next to the high-rise building, and the deformation of the maintenance structure on both sides of the foundation pit next to the low-rise building is basically symmetrical. Uneven settlement and horizontal displacement occur in adjacent buildings, with the horizontal displacement stratified. The deformation trend of the numerical simulation is consistent with that of the monitoring results, and the settlement development of the building is mainly concentrated in the excavation stage of the comprehensive pipe gallery foundation pit.

Key words: comprehensive pipe gallery; open excavation method; adjacent buildings; numerical simulation

收稿日期: 2020-09-22; 网络出版日期: 2020-12-14

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20201214.1535.010.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51979225, 51679199)

第一作者: 陈元盛, 男, 博士生, 高级工程师, 研究方向为水利工程建设管理及岩土灾害防治。E-mail: 395019184@qq.com

通信作者: 党发宁, 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为岩土工程及水工结构数值分析。E-mail: dangfn@mail.xaut.edu.cn

随着我国经济不断发展,城市化进程不断推进,城市人口越来越密集,土地资源日益紧张,市政基础设施供应压力不断增大,为满足不断发展的城市需求,地下综合管廊建设数量与日俱增。综合管廊的建设可以解决传统直埋式管线使用寿命短、后期维修管理不便等问题,将多种市政管线集中于人工地下空间内,实现前期统一规划、中期统一设计施工、后期统一维修管理,形成一种现代化、集约化的新型城市基础设施,对缓解城市市政压力以及促进城市地下空间规划发展具有重大意义^[1]。地下综合管廊施工多位于城市中心,现场施工环境复杂,一般多穿越地表或地下结构,如何在保证地下综合管廊安全施工的同时,不影响周边既有建筑的安全,成为地下综合管廊建设亟待解决的问题。

综合管廊发源于19世纪欧洲,法国巴黎在19世纪30年代建立了世界上第一条城市地下综合管廊^[2],用以放置压缩空气、自来水给水和通讯等市政管道。经过多年的使用,管廊的良好工作效益为人们所认可,管廊开始在法国、英国等欧美国家推广使用。20世纪综合管廊传入亚洲,1923年,在关东大地震之后,日本在九段坂、滨町等地修建了共同沟,截至目前,日本成为当今世界上综合管廊建设速度最快、法律法规最完善、技术最先进的国家^[3]。相较于国外成熟的地下综合管廊理论和技术体系,我国综合管廊建设起步晚、发展慢。1958年,我国在北京天安门广场建造了第一条综合管廊,其长度约1 km,管廊内包含电力、暖气、电信等市政管线^[4]。进入21世纪以来,通过大量的管廊理论研究和实践,我国地下综合管廊建设取得了快速发展,2015年更是出现了井喷式的增长,未来5年将是我国管廊建设的高峰期。截至2017年底,中国大陆综合管廊的在建里程达6 575 km,并以每年2 000 km的规模增长^[5]。

国内外学者就基坑明挖造成土体与围护结构的变形影响问题以及综合管廊施工引起临近既有结构变形沉降问题进行了大量研究。1943年, Terzaghi^[6]就提出了基坑开挖坑底抗隆起稳定系数的概念,随后 Mana等^[7]在其基础上,通过对监测数据的整理总结,给出了坑底抗隆起稳定系数与支护结构最大侧移之间的关系。1970年, Ishihara^[8]分析了土体性质、基坑尺寸等影响基坑周边土体变形的多个因素。2004年, Moormann^[9]对全世界530个基坑的现场监测数据进行整理和归纳,对支护结构水平位移和地表沉降进行了分析。2006年,王素霞^[10]运用PLAXIS软件建立临近既有建筑的基坑开挖模型,揭示了基坑开挖对建筑的影响规律。

2014年,陈晓瑞等^[11]对南京某综合管廊的施工进行监测,并运用FLAC3D对管廊基坑施工过程进行动态模拟,通过现场监测数据与数值模拟对比,得出施工过程中基坑沉降、水平位移、支护轴力等的变化规律。2017年, Goh A. T. C等^[12]通过有限元数值模拟,在分别改变土体性质、基坑深度及宽度、墙体的刚度、墙体的锚固深度及基坑长宽比、黏土层厚度的情况下,讨论研究了围护墙体的水平位移。2018年,陶红霞^[13]以成都天府新区综合管廊明挖施工项目为研究对象,研究明挖深基坑的整体变形,通过ABAQUS模拟管廊施工动态过程,模拟结果与现场实测变形特征吻合,反映了综合管廊明挖过程中的土体变形规律,验证了喷锚加固体系可以减小基坑边坡顶部区域沉降值。2018年,冯天炜等^[14]通过Midac-GTX软件对地下综合管廊明挖施工过程进行动态模拟,分析管廊开挖过程对临近地铁的影响。2019年,杨友彬等^[15]以昆明某综合管廊临近既有地铁隧道为工程背景,通过将数值模拟与现场监测相结合,研究综合管廊基坑临近既有隧道在施工过程中的加固措施及处理范围。2019年,王莉等^[16]以北京市副中心综合管廊建设为工程背景,基于有限差分程序,对综合管廊箱涵上穿既有地铁的顶进施工方案进行优化分析,研究不同方案下围岩、地铁的应力、位移及塑性区分布的规律。2019年,郭曜祯等^[17]依托成都管廊项目,对临近桥桩基础的综合管廊施工过程进行数值模拟,从桩基与基坑距离、基坑支护体系两个方面计算分析了施工过程对桩基位移的影响。

综上所述,国内外学者对临近既有结构的综合管廊施工已经进行了大量研究,并取得了一些突出成果。但由于综合管廊施工涉及领域广泛,不仅涉及基坑开挖、支护等岩土问题,还涉及综合管廊和临近建筑变形等结构性问题;同时,综合管廊具有很强的区域性,周边施工环境复杂,影响因素众多,故上述研究仍有诸多不足,不能满足日益发展的综合管廊设计和施工需求。因此,本文依托汉中市地下综合管廊项目,通过现场监测与数值模拟相结合的方法,对综合管廊明挖施工过程中的围护结构变形以及临近建筑沉降进行研究,总结分析基坑围护结构变形和建筑沉降的变化规律,以为相似综合管廊工程的设计施工提供参考与借鉴。

1 工程背景

1.1 工程概况

地下综合管廊项目位于汉中市,共分为三个施工标段,中标段起始于天汉大道东侧,终止于益州路西侧,管廊施工自西向东,综合管廊设计为双舱截

面,舱型为综合舱和电力舱,舱型尺寸分别为 $B \times H = 1.9 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$ 、 $B \times H = 2.2 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$ 。监测段为中标段,管廊全长 3.160 km,位于 $K0+080 \sim K0+160$ 段,即汉中市天汉大道与汉宁路交叉口。距离综合管廊基坑 1 m 处存在临近建筑物,即两栋混凝土框架结构的税务局建筑,其中高层待测建筑为 6 层 18 m,低层建筑为 4 层 12 m,临近建筑与综合管廊位置如图 1 所示。

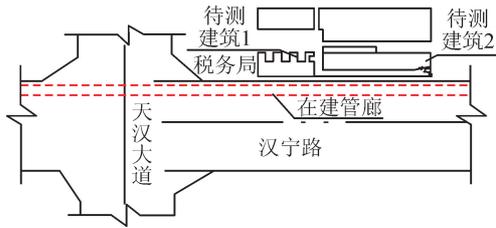


图 1 综合管廊临近建筑物
Fig. 1 Buildings adjacent to utility tunnel

本次现场监测主要针对临近建筑的管廊 $K0+080 \sim K0+160$ 标段,监测期为 2018 年 4 月~6 月,该标段各施工工序与施工起始时间(月/日)如表 1 所示。

表 1 各施工工序与起始时间

Tab. 1 Construction process and starting time

序号	施工工序	起始时间
1	基坑开挖至 0.5 m	4/23
2	基坑开挖至 1.5 m	4/27
3	基坑开挖至 2.8 m	4/30
4	基坑开挖至 4.0m	5/4
5	基坑开挖至 6.0 m	5/8
6	管廊现浇 30 m	6/1
7	管廊现浇 60 m	6/6
8	管廊现浇 90m	6/10
9	基坑回填 3.2 m	6/13
10	基坑回填 5.5 m	6/17
11	拆除支撑回填封顶	6/20

注:监测年份为 2018 年。

1.2 工程水文地质条件

根据现场地质勘探,综合管廊场地地层含有杂填土、粉质黏土、中砂和卵石。

1) 杂填土 Q4ml:灰黄色、青灰色、褐黄色;由粉质黏土、建筑垃圾、生活垃圾组成,含砖瓦碎屑、有机质、植物根系、虫孔、虫粪等,土层稍湿~湿,松散堆积年限约 5 年,结构紊乱,均匀性较差,钻探揭露厚度:0.30 m~3.20 m,层底高程:503.10 m~506.10 m。

2) 粉质黏土 Q4al:灰黄色、褐黄色;土层含铁锰质氧化物,可塑,稍有光泽,无摇震反应。局部夹有粉土薄层,钻探揭露厚度:0.50 m~4.80 m,层底高程:500.40 m~505.40 m。

3) 中砂 Q4al:灰白色、灰黄色;由石英、长石、云母、暗色矿物组成,级配较好。局部夹有细砂层及粉土层,下部夹有砾石。土层稍湿~湿,松散,钻探揭露厚度:0.40 m~4.40 m,层底高程:498.25 m~503.00 m。

4) 卵石 Q4al:杂色;由石英岩、砂岩、灰岩组成,磨圆度较好,多呈圆状和亚圆状,卵石直径 2 cm~6 cm,夹有中、粗砂层,土层很湿~饱和,中密~很密。层顶深度:3.20 m~8.10 m。

1.3 综合管廊基坑支护方案

地下综合管廊基坑支护设计方案采用放坡明挖法加横向内支撑,基坑开挖深度为 6 m,喷射混凝土强度等级为 C20,厚度 80 mm,第一道横向内支撑位于基坑顶部向下 1.2 m 处(受施工场地限制,现场施工与设计有所出入),被直径 609 mm、壁厚 16 mm 的钢管支撑,钢围檩为双拼 H50×30 cm,开挖支护参数如图 2 所示。

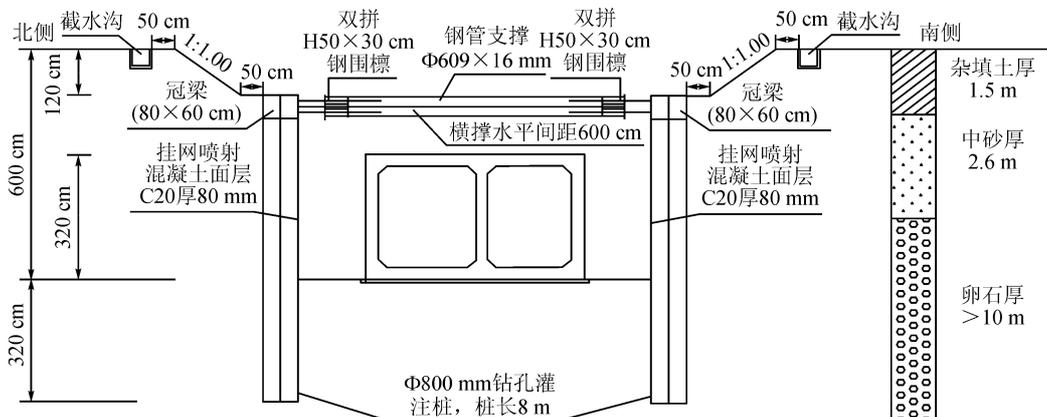


图 2 综合管廊基坑开挖支护方案

Fig. 2 Utility tunnel foundation pit excavation support scheme

2 综合管廊邻近建筑现场监测

两栋税务局建筑距离管廊基坑 1 m 左右,综合管廊施工过程会对周边建筑物沉降产生影响,因此

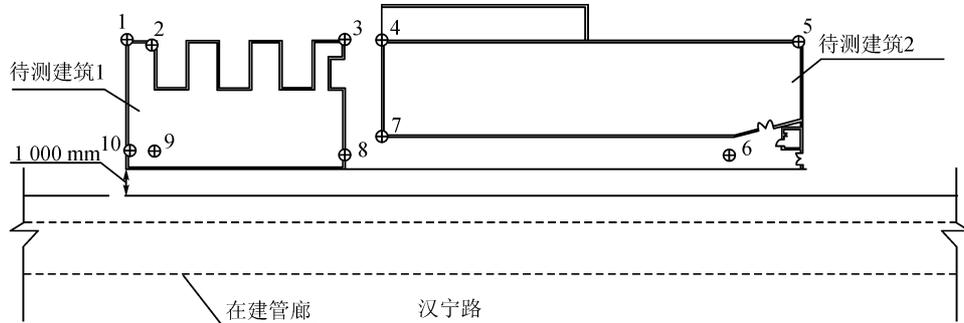


图3 税务局测点布置示意图

Fig. 3 Layout of measuring points of tax bureau

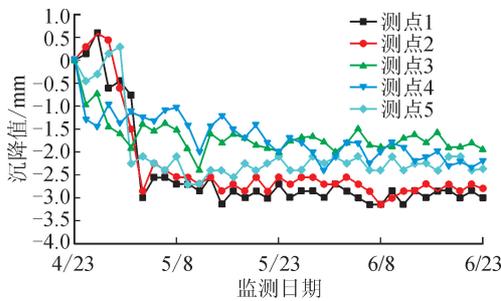


图4 测点1~5的沉降随时间变化曲线(2018)

Fig. 4 Settlement curve of measuring point 1~5 with time in 2018

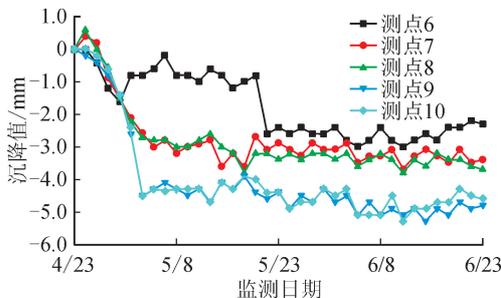


图5 测点6~10的沉降随时间变化曲线(2018)

Fig. 5 Settlement curve of measuring point 6~10 with time in 2018

由图4可知,建筑物测点1~5的沉降曲线有所波动,但建筑物整体沉降值逐渐增大。建筑物各阶段沉降速率不同,在管廊施工初期,建筑物的沉降较大,沉降速率较快,后期逐渐趋于平缓。测点1~5的沉降值依次为3.1 mm、2.7 mm、1.9 mm、2.2 mm、2.4 mm,测点1的沉降值最大,平均沉降速率为0.052 mm/d,满足《GB50497—2009 建筑基坑工程监测技术规范》要求1.2 mm/d,建筑物的沉降处于安全范围内。

由图5可知,测点7~10临近6层建筑物,在6

有必要对综合管廊现场邻近建筑进行监控测量。邻近建筑现场监测布置方案如图3所示,邻近建筑测点1~5的沉降监测结果如图4所示,测点6~10的沉降监测结果如图5所示。

层建筑物段施工初期,其沉降值发展较快,后期逐渐趋于平缓,最终沉降值依次为3.4 mm、3.7 mm、4.8 mm、4.6 mm;测点6位于4层建筑物附近,在4层建筑物段施工时,其沉降有突变,初期发展较快,后期逐渐稳定,累计沉降值为2.3 mm。测点6~10位于建筑物临近基坑侧,受管廊施工影响较大,整体沉降值比测点1~5沉降值大。建筑物发生了偏向基坑的倾斜,最大沉降差为2.1 mm,倾斜度为 0.13×10^{-3} ,小于规范要求0.008;其中测点9沉降最大,累计沉降4.8 mm,平均沉降速率为0.08 mm/d,小于规范要求1.2 mm/d,建筑物沉降和倾斜均处于安全范围,综合管廊支护设计和现场施工满足要求。

3 综合管廊明挖施工数值模拟

3.1 三维模型建立

采用Midas GTS/NX对综合管廊明挖施工过程进行数值模拟。以汉中市地下综合管廊工程为原型,基坑开挖深度6 m,支护桩埋深9.2 m,结合现场施工情况与数值模拟需求,模型尺寸定位 $110 \text{ m} \times 70 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 。模型边界条件采用Midas GTS/NX自带的“地基边界”自动约束,对模型土体四个侧面进行水平位移约束,模型底部为固定约束,顶部为自由边界,同时对建筑物桩柱施加旋转约束,约束建筑物的转动。荷载条件设置自重荷载,主要考虑土体自重以及管廊和临近建筑的自重。模型采用修正Mohr-Coulomb本构模型,综合管廊板、建筑物板、等效地连墙采用二维板单元模拟,建筑物桩、柱子、钢支撑采用一维梁单元模拟。模型土层相关参数如表2所示,结构单元材料参数如表3所示。

表 2 模型土体参数

Tab.2 Model soil parameters

土层	层厚/m	弹性模量 E /(MPa)	泊松比 μ	粘聚力 c /(kPa)	内摩擦角 φ /(°)	重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)
杂填土	1.5	9	0.31	9	10	18
中砂	2.6	56	0.25	0	30	19.1
卵石	20	110	0.21	0	35	22.2

表 3 模型结构参数

Tab.3 Model structure parameters

名称	材料	弹性模量 E /(GPa)	泊松比 μ	重度 γ /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)
管廊	C40 混凝土	32.5	0.2	25
建筑物	C30 混凝土	30	0.2	25
钢支撑	钢材($\Phi 609 \times 16$)	210	0.28	78.5
钻孔灌注桩	C30 混凝土	30	0.2	25
等效地连墙	C30 混凝土	30	0.2	25
冠梁	C30 混凝土	30	0.2	25

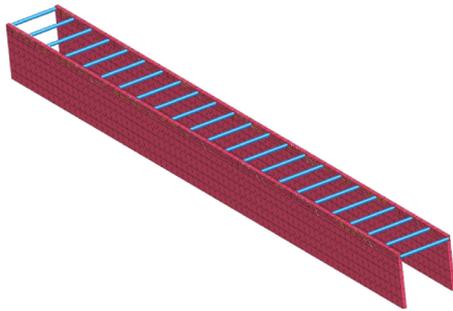
灌注桩施工时,由于桩间土的“成拱效应”,有限

元模拟不易控制,而地下连续墙与围护桩受力相似,可以采用抗弯刚度等效法将钻孔灌注桩等效为对应的地连墙,等效公式为:

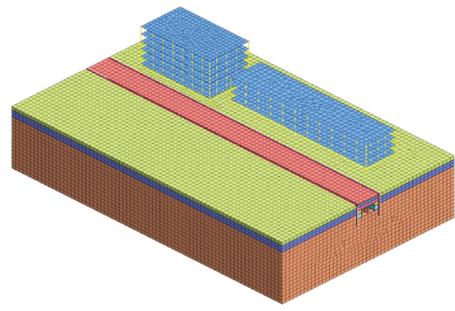
$$\frac{1}{12}(D+t)h^3 = \frac{1}{64}\pi D^4 \quad (1)$$

式中: D 为钻孔灌注桩的直径,mm; t 为钻孔灌注桩的桩间净距,mm; h 为等效地连墙厚度,mm。

实际工程中,钻孔灌注桩直径 $D=800$ mm,桩间净距 $t=800$ mm,所以按照等效公式计算可得等效地连墙厚度 $h=532$ mm,墙长 9.2 m,等效后的数值模型如图 6 所示。



(a) 等效地连墙模型



(b) 整体三维模型

图 6 数值模型图

Fig.6 Numerical model diagram

3.2 综合管廊施工工序模拟

结合实际施工工序和计算分析需要,将综合管廊施工分为以下 13 个工序(工序 3~13 与表 1 相对应):

- 1) 初始地应力平衡:激活所有土层、边界条件、荷载、建筑物及建筑物约束,并且勾选位移清零设置;
- 2) 基坑围护结构施工:激活地连墙,完成地连墙施工;
- 3) 基坑开挖 1+支撑施作:钝化第一层开挖土体,即开挖到 0.5 m 处,激活冠梁和钢支撑;
- 4) 基坑开挖 2:钝化第二层开挖土体,即开挖 1 m;
- 5) 基坑开挖 3:钝化第三层开挖土体,即开挖 1.3 m;
- 6) 基坑开挖 4:钝化第四层开挖土体,即开挖 1.2 m;
- 7) 基坑开挖见底:钝化第五层开挖土体,即开挖 2 m,基坑开挖完成;

- 8) 管廊结构 1:激活第一段地下综合管廊,管廊长度 30 m;
- 9) 管廊结构 2:激活第二段地下综合管廊,管廊长度 30 m;
- 10) 管廊结构 3:激活第三段地下综合管廊,管廊长度 30 m;
- 11) 基坑回填 1:激活第一层回填土,即回填 3.2 m;
- 12) 基坑回填 2:激活第二层回填土,即回填至钢支撑处 2.3 m;
- 13) 拆内支撑+回填完成:钝化钢支撑,激活回填土至地表,回填完成。

3.3 数值模拟结果分析

3.3.1 围护结构变形分析

提取围护结构最终水平位移云图以及建筑物两侧围护结构随工序的变形曲线,如图 7 所示。

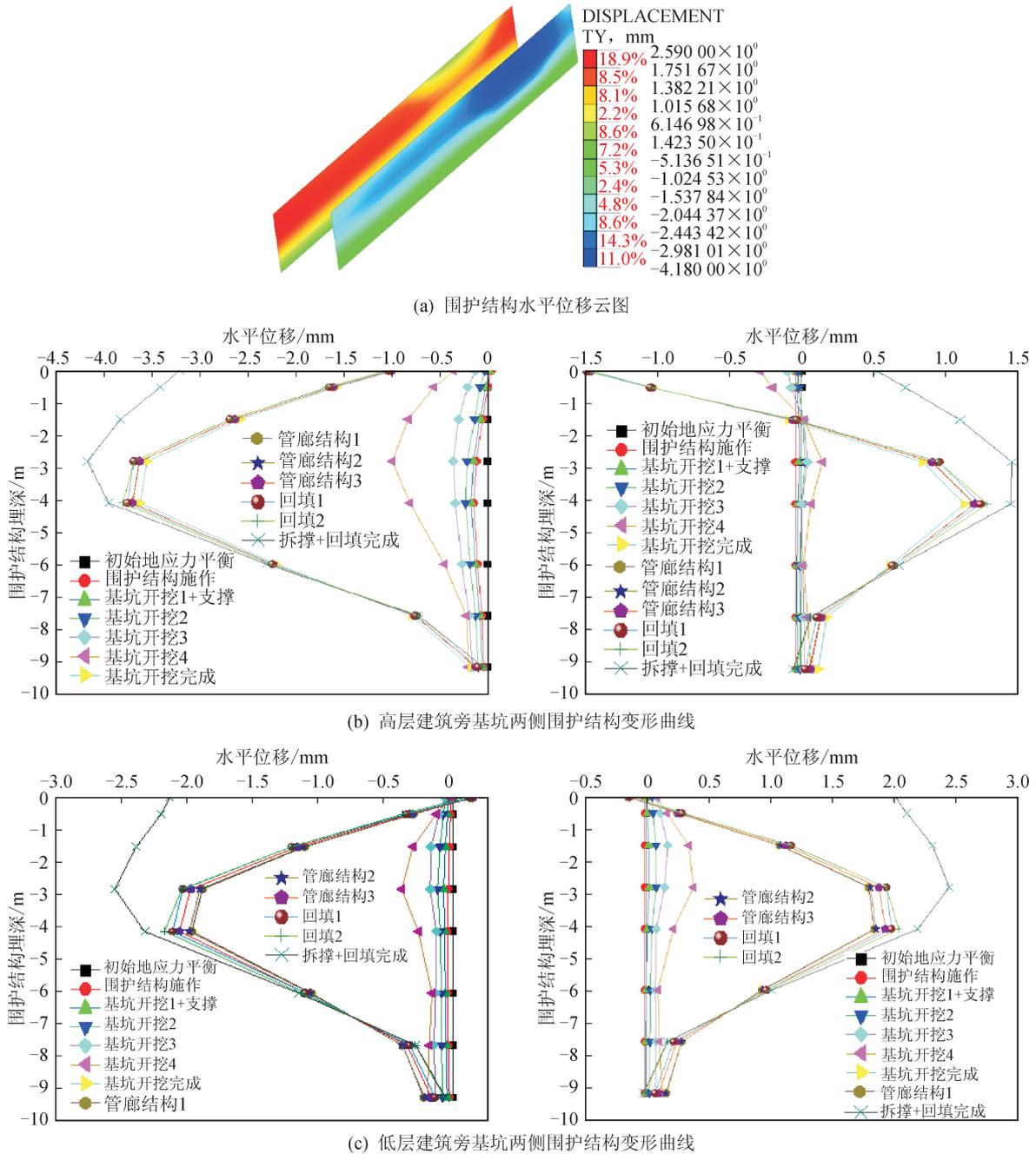


图7 围护结构水平位移图

Fig.7 Horizontal displacement diagram of retaining structure

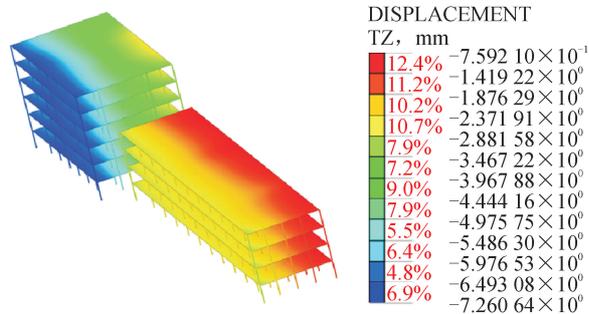
由图7可看出如下两点特征。

1) 围护结构发生偏向基坑的水平位移,最大水平位移发生在高层建筑物处。高层建筑两侧基坑围护结构水平位移呈现不对称分布,建筑物侧位移值为4.2 mm,无建筑对应侧位移值为1.5 mm,建筑物自重荷载的存在加大了围护结构水平侧移,导致对应侧围护结构偏离基坑,直到钢内支撑拆除,对应侧围护结构位移才偏向基坑内部。低层建筑物两侧围护结构水平位移呈现对称分布,建筑侧水平位移为2.5 mm,无建筑对应侧为2.4 mm,低层建筑距离基坑较远且层高较低,故对基坑围护结构影响不大。

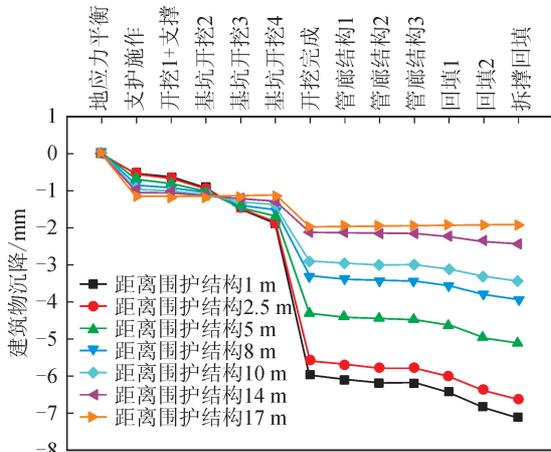
2) 临近建筑的存在加大了围护结构的水平侧移,但对围护结构水平位移的变化趋势没有影响,四幅围护结构水平位移曲线图变化趋势一致。围护结构发生抛物线形变形,随着施工推进,水平位移最大点逐渐下移,围护结构最大水平位移位于3.5H处(H为基坑开挖深度)。围护结构水平位移共发生两次突变,基坑开挖完成时围护结构水平位移有较大增长,钢内支撑拆除时围护结构顶部水平位移有较大增长。施工中需要重点关注突变施工节点,预防事故发生。

3.3.2 临近建筑物沉降分析

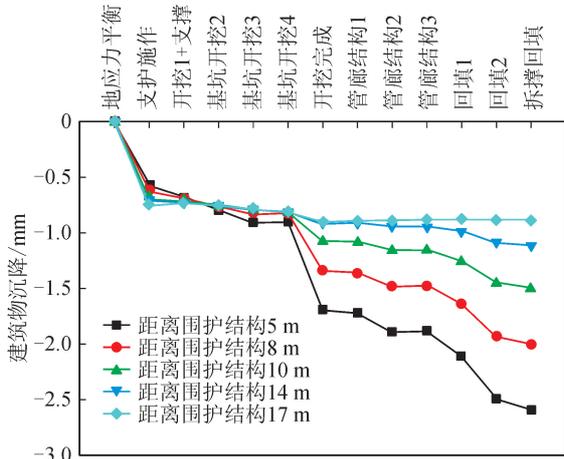
通过模型计算,提取综合管廊施工完成后的建筑物竖向沉降云图,并绘制建筑物基础沉降曲线,如图 8 所示。



(a) 建筑物沉降云图



(b) 6层建筑物沉降曲线



(c) 4层建筑物沉降曲线

图 8 临近建筑物沉降图

Fig. 8 Settlement map of adjacent buildings

由图 8 可看出如下两点特征。

1) 两栋建筑发生明显的不均匀沉降,随着基坑距离增加,建筑基础沉降变小,建筑偏向基坑倾斜,高低层建筑基础点沉降曲线变化趋势相似,距离基

坑不同距离的建筑,其基础点沉降曲线随工序的变化曲线基本一致。建筑基础沉降值随工序推进逐渐增大,在基坑开挖完成时,建筑沉降有个突变增长,是施工的危险节点,基坑开挖阶段的建筑沉降值占整个施工过程的建筑沉降值的 80%。高层建筑最大沉降值 7.2 mm,最远点建筑沉降 2.1 mm,差异沉降 5.1 mm,倾斜度为 0.000 3;低层建筑最大沉降值 2.6 mm,最小沉降值 0.8 mm,差异沉降值 1.8 mm,倾斜度为 0.000 2。

2) 高层建筑物在施工初期,围护结构的施作对其周边土体会产生一个挤压作用,导致邻近土体会产生一个挤压隆起,所以出现了施工初期距离基坑近的基础沉降值反而小于远处的基础沉降值,不过随着基坑开挖深度的增大,基础沉降变大,这种现象逐渐消失。低层建筑物由于距离基坑较远,所以围护结构的施作挤压对其影响不大。

3.3.3 临近建筑物水平侧移影响分析

提取管廊施工完成后的 y 轴水平位移云图,并绘制建筑物顶层水平位移随工序进展的曲线,如图 9 所示。

由图 9 可看出如下两点特征。

1) 综合管廊施工造成临近建筑发生偏向基坑的水平位移,高层建筑水平位移大于低层建筑水平位移。建筑物水平位移分布具有分层现象,随着建筑层高的增加,建筑水平位移增大,建筑顶层水平位移最大。

2) 高低层建筑的水平位移随工序的变化趋势基本相同,随着施工推进,建筑水平位移增大,在基坑开挖完成时,建筑水平位移发生突变增长,且同一栋建筑距离基坑不同点的水平位移相同,说明建筑物整体性较好,发生了一个偏向基坑的整体侧移。高层建筑最大水平位移为 7 mm,低层建筑最大水平位移 3.4 mm,建筑物的自重以及与基坑的距离均会加大建筑物的水平位移,基坑开挖阶段建筑物水平侧移占总水平侧移的 70%,所以需要重点关注基坑开挖阶段。

3.3.4 模拟结果与监测数据对比

选取数值模拟中与现场监测对应的点位,将建筑物模拟得到的沉降值与现场监测值进行对比分析(测点 1、2、3、4、5 距离基坑 16 m,测点 6、7、8、9、10 距离基坑 1.5 m,由于测点 7 原位于花坛中,偶然因素较大,故测点 7 取原测点附近墙体处,见图 3),数据对比分析如图 10 所示。

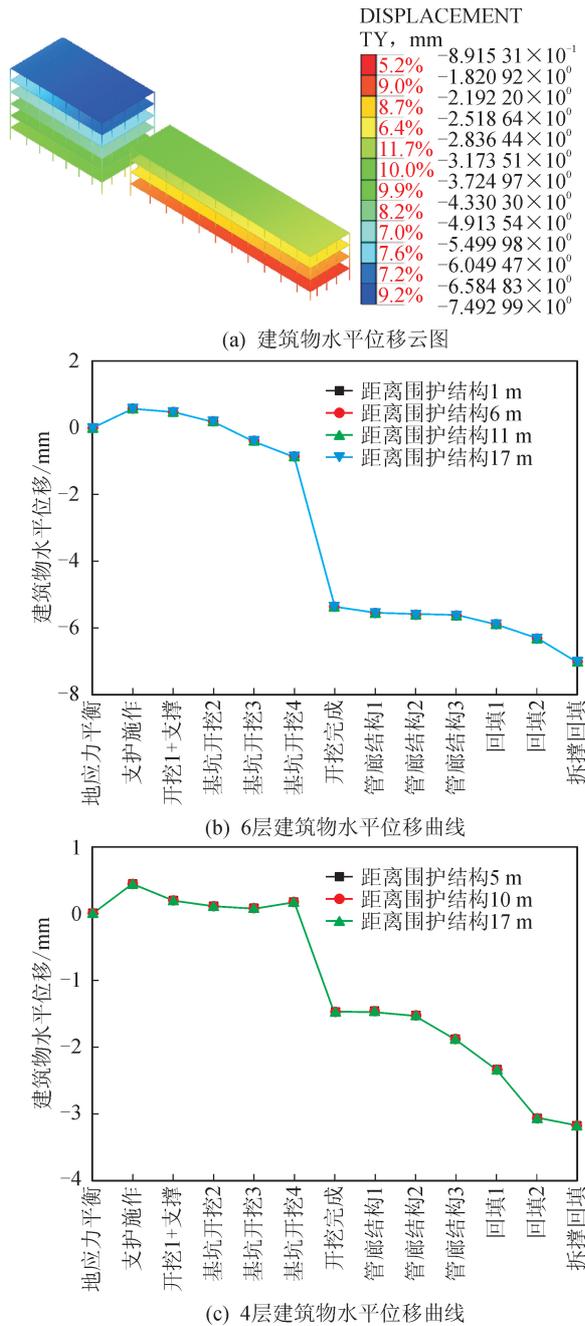


图9 建筑物水平位移图

Fig. 9 Horizontal displacement diagram of buildings

由图10可知,建筑物的模拟数据和现场监测数据有一定差别,但两者的变形趋势大体一致。6层建筑的模拟值与监测值均为9点最大,3点最小;4层建筑的模拟值与监测值均为7点最大,4点最小,模拟值与监测值最大绝对差为3.5 mm,说明数值模拟得到的建筑物整体沉降形态与现场监测是一致的,建筑物整体发生了偏向基坑的位移。数值模拟结果较现场监测值偏大,究其原因可能是:①数值模拟本身具有一定的误差,对建筑模型进行了部分简化;②模型没有考虑降水影响以及实际地层并不是水平的,与模型情况不同;③测点位于建筑物的边角

处或凹凸处,这类测点在模型中多属于危险节点,易发生应力集中,造成变形与实际情况出现偏差。两种方式在数值上虽有一定偏差,但变形趋势基本一致,并且变形特征也符合一般规律,说明本模型的建立较为有效,数值模拟过程对综合管廊施工具有一定的指导与预测作用。

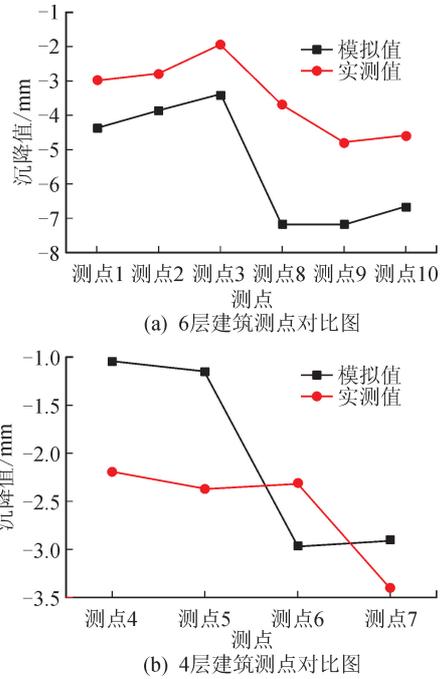


图10 建筑物模拟与监测对比图

Fig. 10 Comparison of building simulation and monitoring

4 结论

本文依托汉中市地下综合管廊项目,对综合管廊施工过程中邻近建筑的沉降进行监测,同时运用Midas GTS/NX模拟综合管廊施工过程,研究施工过程中围护结构变形及临近建筑位移的变化特征,并将模拟结果与监测数据进行对比分析。

1) 通过现场监测,临近建筑发生偏向基坑的倾斜,建筑最大沉降值为4.8 mm,平均沉降速率为0.08 mm/d,小于规范要求1.2 mm/d;两侧沉降差为2.1 mm,倾斜度为 0.13×10^{-3} ,小于规范要求0.008,临近建筑安全。建筑物沉降在综合管廊基坑开挖阶段发展迅速,需要重点关注施工开挖阶段,以防工程事故发生。

2) 管廊基坑围护结构发生抛物线形变形,最大水平位移值为4.2 mm,位于基坑开挖深度 $1/2H$ 处(H 为基坑开挖深度),临近建筑自重荷载的存在会加大围护结构水平变形,但对围护结构水平位移随工序的变化趋势没有影响。高层建筑处两侧围护结构水平位移发生非对称变形,且建筑物侧围护结构

水平位移值最大;低层建筑处两侧围护结构水平位移基本对称。

由模拟分析可知,临近建筑发生偏向基坑的不均匀沉降,不同基坑距离的建筑点沉降趋势一致。同时,临近建筑发生偏向基坑的水平位移,水平位移分布具有分层现象,水平位移值随层高的增加而增大。建筑物的沉降与水平位移均在基坑开挖完成时发生突变增长,数值模拟结果与现场监测数据的变形趋势基本一致。

参考文献:

- [1] 胡继伟. 地下综合管廊施工对地表沉降和邻近建筑物的影响[D]. 西安:西安科技大学,2018.
HU Jiwei. Influence of underground pipe gallery construction on surface subsidence and adjacent buildings [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2018.
- [2] 于晨龙,张作慧. 国内外城市地下综合管廊的发展历程及现状[J]. 建设科技, 2015(17): 49-51.
- [3] 许迟. 贵州省综合管廊建设存在的问题及对策研究[D]. 贵阳:贵州大学,2019.
XU Chi. Study on the problems and countermeasures of the construction of utility tunnel in Guizhou Province [D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.
- [4] 关嘉文. 城市地下管线综合管廊应用研究[D]. 广州:广州大学,2018.
GUAN Jiawen. Research on the application of comprehensive pipeline gallery of urban underground pipeline [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2018.
- [5] 油新华,何光尧,王强勋,等. 我国城市地下空间利用现状及发展趋势[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(2): 173-188
YOU Xinhua, HE Guangyao, WANG Qiangxun, et al. Currentstatus and development trend of urban underground space in China[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(2): 173-188.
- [6] TERZAGHI K. Theoretical soil mechanics[M]. New York: Weley, 1959.
- [7] MANA A I, CLOUGH G W. Prediction of movements for braced cuts in clay[J]. American Society of Civil Engineers, 1981, 107(6): 759-777.
- [8] ISHIHARA K. Relations between process of cutting and uniqueness of solutions[J]. Soils and Foundations, 1970, 10(3): 50-65.
- [9] MOORMANN C. Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database [J]. Soils and Foundations, 2004, 44(1): 87-98.
- [10] 王素霞. 基坑开挖对临近建筑物影响的数值分析研究[D]. 南京:南京工业大学,2006.
WANG Suxia. The numerical analysis study on influence of excavation to adjacent buildings[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2006.
- [11] 陈晓瑞,余湘娟,高磊. 南京某综合管廊基坑开挖数值模拟研究[J]. 低温建筑技术, 2014 (12): 116-119.
- [12] GOH A T C, ZHANG Fan, ZHANG Wengang, et al. A simple estimation model for 3D braced excavation wall deflection [J]. Computers and Geotechnics, 2017, 83: 106-113.
- [13] 陶红霞. 综合管廊明挖基坑变形与有限元分析[J]. 城市住宅, 2018(4): 123-125,128.
- [14] 冯天炜,吕宝伟,李敬梅,等. 地下综合管廊明挖施工对近邻地铁的影响研究[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(S2): 1116-1121.
FENG Tianwei, LÜ Baowei, LI Jingmei, et al. Study on the influence of open-cut construction of utility tunnels on adjacent subway tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2018, 55(S2): 1116-1121.
- [15] 杨友彬,裴利华,林东. 综合管廊近接地铁线施工对既有隧道的影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(S1): 188-194.
YANG Youbin, PEI Lihua, LIN Dong. Study on the influence of adjacent construction of integrated pipe gallery foundation pits on existing subway tunnels[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S1): 188-194.
- [16] 王莉,姜世超. 城市综合管廊上穿既有地铁施工方案研究[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(S2): 717-723,750.
WANG Li, JIANG Shichao. Research on the construction scheme of utility tunnel above-crossing existing subway[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S2): 717-723,750.
- [17] 郭曜祯,姚爱军,曹宽宽,等. 综合管廊施工对临近高架桥桩基础的影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(S2): 704-709,716.
GUO Yaozhen, YAO Aijun, CAO Kuankuan, et al. Study on the influence of construction process of utility tunnel on the adjacent pile foundation of existing viaduct[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S2): 704-709,716.

(责任编辑 周 蓓)