

昆明市某深基坑变形监测实例分析

董桂红^{1,2,3}, 刘有军^{1,2,3}, 郭海力^{1,2,3}

(1. 云南省建筑科学研究院, 云南 昆明 650223;

2. 昆明市建筑工程结构安全和新技术重点实验室, 云南 昆明 650223;

3. 云南省建筑结构与新材料企业重点实验室, 云南 昆明 650223)

摘要: 昆明某深基坑开挖面积大、开挖深度深、形状复杂,并且紧邻地铁和小学,周围环境复杂。为了确保建筑施工的安全,必须对基坑的支护结构以及周边环境进行监测。综合考虑基坑周边环境、工程地质条件及水文地质条件,制定基坑监测方案,论述深基坑变形监测的目的、监测内容以及监测点布置。根据工程监测数据结果,对坡顶水平位移及垂直位移、土体深层水平位移、立柱内力、支撑内力、地下水位进行分析。结果表明,内支撑的轴力、基坑坡顶、冠梁顶部位移整体呈现平稳的增长趋势。立柱底部受基坑土体挤压,引起基坑土体回弹,后期逐渐稳定。监测结果能够真实准确地反映基坑的变形情况,为今后类似工程施工提供借鉴和参考。

关键词: 基坑监测;地下水位;支撑内力;土体深层水平位移;监测分析

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2019)04—0076—06

Analysis of Engineering Deformation Monitoring of a Deep Foundation Pit in Kunming

DONG Guihong^{1,2,3}, LIU Youjun^{1,2,3}, GUO Haili^{1,2,3}

(1. Yunnan Institute of Building Research, Kunming, Yunnan 650223, China;

2. Kunming Key Laboratory of Building Structure Safety and New Technology, Kunming, Yunnan 650223, China;

3. Yunnan Key Laboratory of Building Structure and New Materials, Kunming, Yunnan 650223, China)

Abstract: A deep foundation pit in Kunming has large excavation area, deep excavation depth and complex shape. The pit is close to the subway and a primary school, and the surrounding environment is complex. In order to ensure the safety of its construction, it is necessary to monitor the supporting structure and surrounding environment of the foundation pit. Considering the surrounding environment, geological and hydrological condition, the monitoring plan was proposed. Slope top horizontal displacement, slope top vertical displacement, soil deep horizontal displacement, column internal force, support internal force and groundwater level are analyzed according to project monitoring data results. It turns out that axial force of internal support, base slope top displacement, and top displacement of crown beam showed a steady growth trend. The bottom of the column is squeezed by the soil of the foundation pit, thus causing the soil of the foundation pit to rebound and gradually stabilize in the later period. The monitoring results accurately reflect the deformation of the foundation pit, and provide reference for similar construction in the future.

Keywords: base pit monitoring; groundwater level; support internal force; soil deep horizontal displacement; monitoring analysis

随着城市建设的发展,大型建筑迅速崛起,城市

高层建筑、地铁工程、市政道路立交桥促使基坑的开

挖越来越深^[1]。基坑工程是一个综合性很强的过程,大型建筑的基坑具有开挖面积大、开挖深度深、形状复杂、支护结构多样性和周边环境保护要求严格等特点^[2]。基坑开挖过程和支护都会对土体产生力的作用,使得基坑内外的土体从原本的静止状态变成了主动土压力的状态,土体中的应力重新分布并产生应力集中情况从而引起土体的位移,对基坑内部支护结构产生荷载作用^[2]。当这种荷载和变形超过可控范围时就会对基坑以及周边的结构和部分设施造成影响,严重时可能会对地下基础产生破坏作用,造成安全事故^[3]。因此,在施工过程中,深基坑的安全问题便成了基础施工的重中之重。做好深基坑工程的变形监测尤为重要^[4]。只有通过监测数据及时有效的整理和准确分析,才能掌握地表、地下水、围护结构与支撑体系的状态,了解施

工对既有建筑物的影响,确保施工工期和既有建筑的安全。

1 工程概况

1.1 工程简介

某工程为 3 栋高层住宅,位于昆明市盘龙区东华小区东侧,昆河铁路西侧,东华小学北侧,为原小龙路社区、东华小区拆旧建新项目。上部结构为框架剪力墙,两层地下室,基坑开挖深度为 4.05 m ~ 11.10 m。基坑开挖周长 435.20 m。基坑北侧为在建田园路,道路缘石距离基坑垂直开挖线 5.1 m,路下共有 6 条管线。东侧为昆河铁路,南侧为待施工的旧城改造地块,西南侧为小学教学楼,西北侧为在建幼儿园。基坑测点布置平面示意图见图 1。

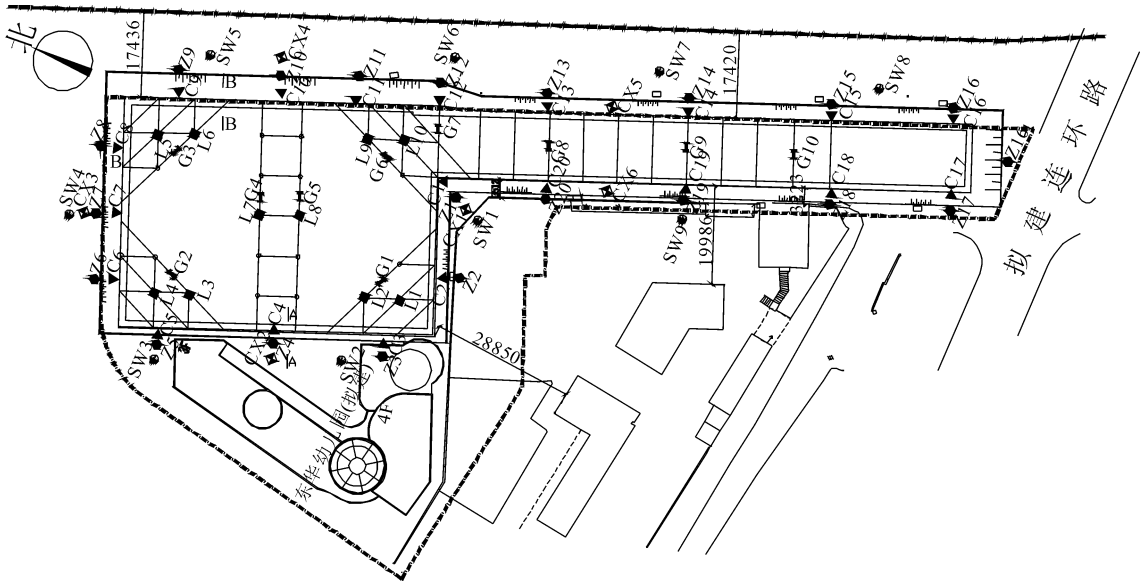


图 1 基坑测点布置平面示意图

1.2 工程地质条件和水文地质条件

项目地层主要由人工填土层及第四系冲洪积、冲湖相沉积地层组成。基坑深度影响范围内土层如下:

- ①杂填土:以黏性土为主,夹大量碎石、砖块、混凝土块等硬杂物及建筑垃圾。层厚 0.40 m ~ 2.40 m;
- ②素填土:以可塑状态黏性土为主,局部夹薄层粉土,夹少量碎、砾石,局部夹少许腐植物。层厚 0.80 m ~ 2.80 m;
- ③粉质黏土:可塑状态为主,局部夹粉土薄层及少许风化砾石。层厚 0.80 m ~ 4.10 m;
- ④粉质黏土:可塑状态为主,含少许腐植物。层厚 0.60 m ~ 8.00 m;
- ⑤有机质土:软塑状态为主,含较多腐植物。层厚 0.40 m ~ 3.80 m;
- ⑥粉质黏土:软塑状态,含少许腐植物,层厚 0.90 m ~ 3.10 m;
- ⑦

粉土:含少许腐植物及风化砾石,层厚 0.40 m ~ 3.50 m;

⑧圆砾:砾石含量 50% ~ 75%,砾径一般为 2 mm ~ 30 mm,层厚 0.50 m ~ 8.60 m;

⑨粉土:含少量腐植物,局部含 5% ~ 10% 粒径 2 mm ~ 20 mm 中风化砂岩、玄武岩砾石,层厚 0.40 m ~ 3.50 m。

该场地地下水位较高,勘察期间所量测到的场地内稳定水位埋深在现地表下 0.55 m ~ 2.70 m 之间,标高介于 1 891.17 m ~ 1 894.45 m 之间。水位受季节变化影响,但变化幅度较小,根据常年区域水文地质资料,水位变幅不超过 0.5 m。基坑开挖深度范围内上部不等厚的填土,杂填土层为新近堆填,无蓄水条件,素填土层以黏性土为主,为相对隔水层,仅局部分布少量上层滞水,填土以下为上部相对隔水的粉质黏土,其下分布有粉土,圆砾。粉土层赋

水性及透水性相对较弱,且总体分布范围及厚度不大,圆砾层赋水性及透水性极强,分布范围及厚度较大,为基坑开挖深度范围内的主要含水层。

2 基坑监测方案

2.1 基坑支护方案

根据工程的开挖深度、基坑面积、基坑工程施工等综合因素,基坑支护方式按以下采用:两层地下室区域基坑北侧及东侧采用“上部放坡+SMW 工法+一道钢筋混凝土内支撑”的支护体系,见图 2。

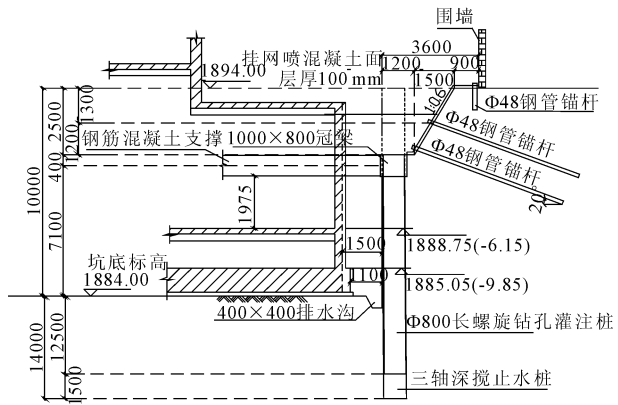


图 2 内支撑基坑剖面示意图

基坑西侧由于不具备型钢回收的条件则采用“上部放坡+长螺旋钻孔灌注桩+一道钢筋混凝土内支撑”。一层地下室区域基坑中段采用“上部放坡+SMW 工法+一道 Φ609 钢管对撑”;基坑南段(基坑较浅部位)采用“SMW 工法悬臂支护”的支护体系;南侧采用“喷锚支护”。两层地下室区域及一层地下室区域(深坑部分)止水方案采用:“SMW 工法”,一层地下室区域(深坑部分)止水方案采用“三轴深搅止水帷幕”。

2.2 监测项目

根据《建筑基坑工程监测技术规范》^[5](GB 50497—2009)等相关规范要求,按照能够确保信息化施工、将基坑开挖过程中存在的风险降到最低的原则下,确定了经济合理、安全可靠的监测项目:(1) 基坑支护桩顶水平位移监测;(2) 基坑支护桩顶竖向位移监测;(3) 基坑边坡顶水平位移监测;(4) 基坑边坡顶竖向位移监测;(5) 基坑内支撑立柱桩竖向位移监测;(6) 基坑内支撑内力监测;(7) 基坑周边土体深层水平位移监测;(8) 基坑周边地下水位监测;(9) 周边建筑(构筑物)、管线及道路监测。

2.3 变形监测

基坑支护桩、边坡和内支撑立柱桩顶监测点采

用后植点的方法,同时可以作为水平位移和竖向位移监测点。基坑边坡顶共计布设位移监测点 21 个;基坑支护桩顶共布设位移监测点 20 个;基坑内支撑立柱桩竖向位移监测点 10 个。

2.4 内支撑内力监测

内支撑内力监测点布置于内支撑受力较大、易变形的位 置。内支撑内力布置 14 个监测点,每一组内置 2 个钢筋应力计。

2.5 深层水平位移监测

基坑周边土体深层水平位移测斜管长度不宜小于基坑开挖深度的 1.5 倍,土体深层水平位移分别布设在基坑四周,每根测斜管长 16 m。土体中测斜孔采用钻孔的方式埋设,钻孔完成后,将测斜管的凹槽平行或垂直于基坑边缘,并将四周用粗沙填实。工程预计埋设 6 个测斜管进行监测。

2.6 地下水位监测

通过对地下水位的监测,可以监测调查地下水、渗水与降雨的关系,确定支护结构变形和时间降雨关系,进而分析和判断支护结构稳定变化的情况。本次利用 9 个回灌井作为水位监测点。

2.7 监测频率

从开始开挖至冠梁顶部处时,基坑变形及支撑内力每 3 天监测一次;从冠梁顶部开挖基底时,每天监测一次;地下室底板浇筑后 3 天~7 天监测一次,在内支撑拆除阶段,每天监测 1 次~2 次。在每次工况变化前后各监测一次。

地下水位监测在水位管设置完毕、基坑开挖降水前开始进行。开挖至冠梁顶部处时,每 3 天监测一次;从冠梁顶部开挖基底时,每天监测一次;地下室底板浇筑后 3 天~7 天监测一次,在内支撑拆除阶段,每天监测 1 次~2 次。

测斜管埋设完毕至基坑开挖前开始观测深层水平位移。开挖至冠梁顶部处时,深层水平位移每 3 天监测一次;从冠梁顶部开挖基底时,每天监测一次;地下室底板浇筑后 3 天~7 天监测一次,在内支撑拆除阶段,每天监测 1 次。在每次工况变化前后个监测一次。

当监测数据达到报警值或者监测数据变化较大或者速率加快等影响基坑及周边环境安全的异常情况时,应提高监测频率。

2.8 监测预警

根据项目设计资料,基坑坡顶竖向位移、冠梁顶部竖向位移、立柱桩竖向位移、地下水位沉降、周边土体深层水平位移以及支撑内力的监测报警值计算见表 1,基坑工程周边环境监测报警值见表 2。根据

《建筑基坑工程监测技术规范》^[5] (GB 50497—2009)相关规范要求,基坑坡顶水平位移、冠梁顶部

水平位移一级监测报警值为 35 mm,二级为 50 mm。

表 1 基坑及支护结构监测报警值

桩位沉降 累计值 /mm	桩位沉降 变化速率 /(mm·d ⁻¹)	边坡顶沉 降累计值 /mm	边坡顶沉降 变化速率 /(mm·d ⁻¹)	周边土体深 层沉降累 计值/mm	周边土体深 层沉降速率 /(mm·d ⁻¹)	支撑 内力 /kN	坑外水位 累计值 /mm	坑外水位 变化速率 /(mm·d ⁻¹)
25	2	25	2	30	>2	≥74(0.7× <i>f_i</i>)	1000	>500

表 2 周边环境监测报警值

地面竖向位 移累计值 /mm	地面竖向位 移变化速率 /(mm·d ⁻¹)	周边建筑物 最大沉降 /mm	周边建筑物 沉降速率 /(mm·d ⁻¹)	管线最 大沉降 /mm	管线最大沉 降变化速率 /(mm·d ⁻¹)	铁路沉降 累计值 /mm	铁路沉降 变化速率 /(mm·d ⁻¹)
25	2	25	2	20	3	5	1

3 监测成果分析

通过获取实时监测数据资料,并对监测结果进行处理、分析,可以准确判断基坑的变化趋势^[6],及时确定相应的施工措施,确保施工安全。

3.1 基坑坡顶、冠梁顶部、立柱桩竖向位移

绘制基坑坡顶、冠梁顶部、立柱桩各个测点竖向累积位移与时间的关系曲线图,见图3—图5。

由图3坡顶竖向位移*S*—时间*t*关系曲线图可知,Z8点的基坑坡顶竖向位移最大累计变化值为10.94 mm,该值出现在第191天的监测时间内,未达到设计报警值。在整个监测过程中,各个测点的坡顶竖向位移从整体上呈现出缓慢且稳定的增长,Z1点的累积竖向位移在前期开挖的2个月内相较其他测点较大,可仍然未超过设计报警值。

由图4冠梁顶部竖向位移*S*—时间*t*关系曲线图可知,冠梁顶部竖向位移在监测的第22天开始出现。C16的冠梁顶部竖向位移累积量是监测过程中的最大值,最大值为10.45 mm,未超过设计报警值。各个测点位移时间曲线的发展趋势稳定,中间未见突变点。

由图5立柱竖向位移*S*—时间*t*关系曲线图可知,立柱竖向位移在监测的第28天开始出现。基坑开挖初期,土体受主动土压力和被动土压力差的强力作用不断增大。在主动土压力作用下,立柱底部往基坑内部挤压,产生了向上的力,引起基坑土体回弹,出现立柱向上移的现象^[7]。后期基坑底板完成,立柱竖向位移累积量逐渐稳定^[8]。监测过程中立柱竖向位移累积量最大值为17.97 mm,未超过设计报警值。

3.2 边坡顶部、冠梁顶部水平位移

绘制基坑坡顶、冠梁顶部各个测点水平累积位移与时间的关系曲线图,见图6—图7。

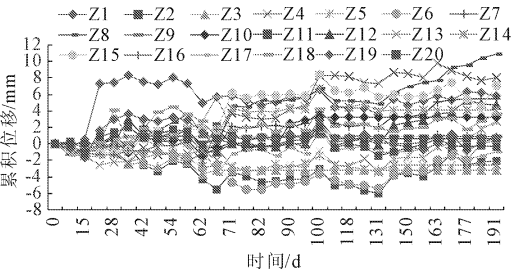


图 3 坡顶竖向位移*S*—时间*t*关系曲线图

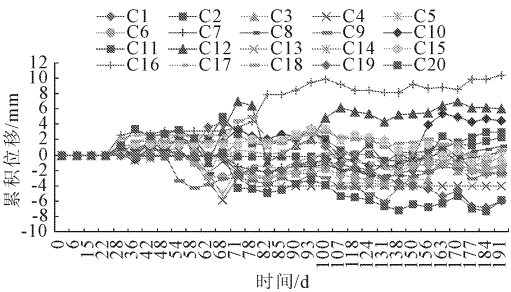


图 4 冠梁顶部竖向位移*S*—时间*t*关系曲线图

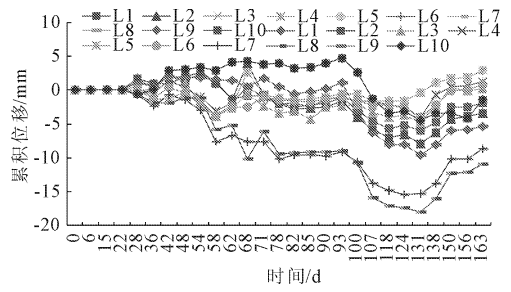


图 5 立柱竖向位移*S*—时间*t*关系曲线图

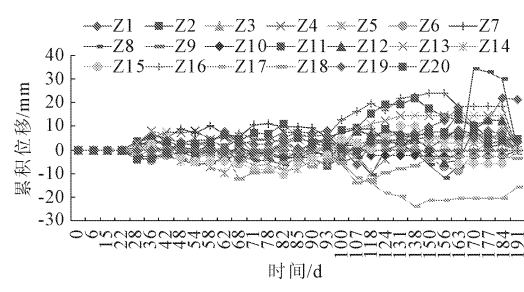


图 6 坡顶水平位移*L*—时间*t*关系曲线图

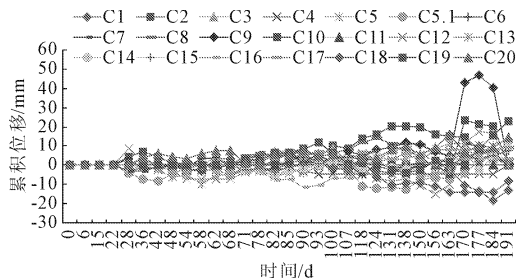


图 7 冠梁顶部水平位移 L - 时间 t 关系曲线图

由图 6、图 7 可知,基坑坡顶、冠梁顶部水平位移 L - 时间 t 关系曲线图的变化形势趋于一致。坡顶及冠梁顶部水平位移在监测的第 28 天开始出现,随着基坑的开挖,土体与冠梁顶部的水平位移逐渐增大。在基坑开挖初期,由于周边土体的内部挤压作用,测点呈现稍微向基坑内侧的变形^[9],内支撑施工完毕后,周边土体的挤压力的作用点逐渐下移,测点出现向基坑外的变形^[10]。在第 170 天时出现明显的高峰点,高峰持续时间非常短,出现后马上下降,后期已趋于稳定。坡顶水平位移最大值发生在 Z8 监测点,最大值为 34.33 mm,未超过设计报警值。冠梁顶部水平位移累积量最大值发生在 C9 监测点,最大值为 46.83 mm,整个监测过程仅出现这一个高峰点,且持续时间很短,当次监测的最大变化速率为 1.083 mm/d,未超过设计报警值,可以判断该高峰点对基坑的影响不大。

3.3 地下水位

绘制地下水位时间关系曲线图,见图 8。

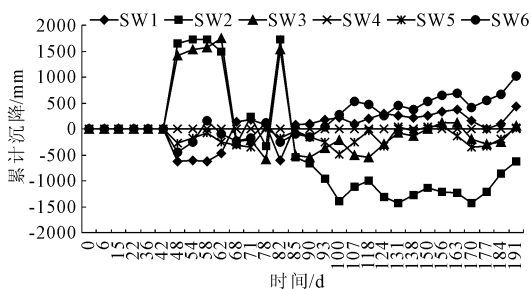


图 8 地下水位时间变化图

由时间曲线可得,基坑外地下水位的情况并不稳定^[11],在基坑开挖早期,地下水位累积变化值出现一个高峰点,最大值发生在 SW2 监测点,最大值为 1 732 mm,已经超出设计报警值。造成这个现象的原因是施工期间正值雨季,雨水充足,而监测点附近有导水管,施工时抽水会影响水位变化^[12]。该时段基坑及支护结构的变形均未超过设计报警值,且水位最大变化速率也未超过设计报警值。综合考虑决定完善混凝土施工方案,确保混凝土施工的质量,加强基坑监测频率,保证底板无裂缝。后期地下水

位逐渐得到控制^[13]。

3.4 深层水平位移

由于该项监测数据较为庞大,仅选取 CX1 测点数据绘制时间曲线图并进行分析。基坑外土体深层水平位移时间变化见图 9。

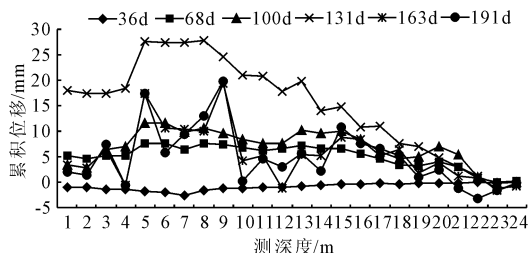


图 9 CX1 深层水平位移时间变化图

随着基坑土方开挖以及基坑支护结构的施工,基坑外土体深层水平位移逐渐增大,前期发展速率快,幅值大,中期随着内支撑的施工完成,深层水平位移稳定发展,整体呈现“V”形发展,后期平稳发展至逐渐收敛,该变化符合土体孔隙水压消散的规律^[14]。在整个监测过程中,CX1 监测点 8 m 深度位置在第 131 天的基坑外土体深层水平位移累计变化值最大,最大值为 27.89 mm,未达到设计报警值。

3.5 内支撑内力

绘制各个测点内支撑内力累计变化量与时间的关系曲线图,见图 10。

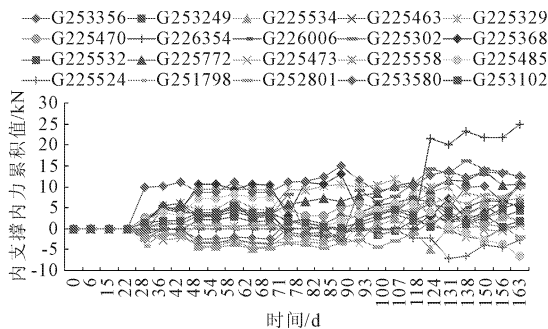


图 10 内支撑内力时间变化图

在整个监测过程中,内支撑的轴力整体呈现拉应力状态,在个别时段出现微小的局部压应力,各个测点的发展状况趋于一致。内支撑轴力最大值发生在 G3 监测点,最大值为 24.8 kN,未超过设计报警值。可见内支撑效果良好。

3.6 周边建筑环境竖向位移

基坑周边环境包括基坑周边建筑、围墙、道路、管道、铁路等。在基坑周边 1 倍 ~ 3 倍基坑深度的范围内周边建筑布设 28 个监测点,工地周边围墙布设 13 个监测点。地表监测点宜按监测剖面设在基坑中部或其他有代表的位置,监测剖面应与基坑垂

直,每个监测剖面上的监测点不宜少于5个;周边道路监测点应布设在易受基坑变形影响的道路上,布设间距应在20 m~30 m为宜。道路竖向位移监测点布设10个;铁路竖向位移监测点布设8个。绘制最大累计沉降量与时间关系图见图11。

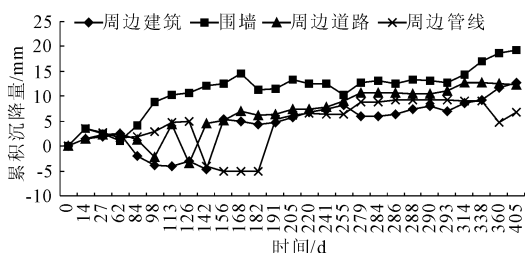


图11 周边建筑最大累积沉降时间变化图

由图11可知,随着基坑开挖,围墙沉降累积量逐渐增大,最大沉降累积量为19.2 mm,未超过设计预警值。而周边建筑、道路和管线由于受到基坑开挖引起的卸载作用,在开挖初期表现出隆起和沉降的现象,后期平稳增长^[15]。周边建筑最大沉降累积量为12.32 mm,道路最大沉降累积量为12.63 mm,管线最大沉降累积量为9.32 mm,均未超过设计预警值。

4 结 论

文章通过对昆明市某内支撑支护结构深基坑的监测结果进行分析,得出如下结论:

(1) 基坑坡顶、冠梁顶部竖向位移累积量整体呈现平稳的增长趋势。立柱底部受基坑土体挤压,产生了向上的力,引起基坑土体回弹,出现立柱向上移的现象。

(2) 基坑坡顶、冠梁顶部水平位移随时间变化形势相似。随着基坑的开挖,土体与冠梁顶部的水平位移逐渐增大。

(3) 基坑外地下水位发展情况并不稳定,地下水位累积变化值出现区间高峰点,已经超出设计报警值。

(4) 基坑外土体深层水平位移时间曲线呈现“V”形发展,早期发展速率快,后期平稳发展至逐渐收敛,累计变化量未达到设计报警值。

(5) 内支撑的轴力发展稳定,各个测点的发展状况趋于一致。累积量未超过设计报警值。

(6) 周边围墙沉降平稳增长,周边建筑、道路以及管线的沉降受基坑开挖的卸载影响,前期表现出隆起和沉降的现象,后期平稳增长。各因素沉降累积量均未超过设计报警值。

参考文献:

- [1] 吴其泰,程 康,刘 阳,等. 浅谈某深基坑的水平位移监测技术[J]. 土工基础,2012,26(5):93-95.
- [2] 杨守兴,刁心宏,陈 力. 南昌某深基坑工程监测成果分析[J]. 工程勘察,2015,45(1):28-33.
- [3] 吴瑞刚,来庆专,苏长毅,等. 某深基坑施工中土体位移的监测分析[J]. 路基工程,2015(4):172-175.
- [4] 王良华. 基坑监测数据的综合分析[J]. 工程质量,2012,30(1):33-36.
- [5] 建筑基坑工程监测技术规范:GB 50497—2009[S]. 北京:中国计划出版社,2009:7-13.
- [6] 刘 浩,杨 锐,张大军,等. 广州某工程基坑变形监测及分析研究[J]. 水利与建筑工程学报,2015,13(1):167-170.
- [7] 陈 涛,张 敏,李更召,等. 天津某深基坑工程监测结果分析与研究[J]. 水利与建筑工程学报,2015,13(3):151-155.
- [8] 黄 跃,吴 勇,王 勇. 昆明某深基坑工程开挖监测分析与变形特性研究[J]. 工程质量,2019,37(1):29-33.
- [9] 叶帅华,陈长流,寇巍巍,等. 兰州市某深基坑工程位移监测及变形特性分析[J]. 岩土工程学报,2014,36(S2):440-445.
- [10] 李苏春,袁运涛. 苏州凤凰国际书城基坑监测分析[J]. 水文地质工程地质,2013,40(1):129-133.
- [11] 袁玉珠,何凤勇. 深基坑变形监测方案设计与数据分析[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(5):205-211.
- [12] 刘西昌,樊 伟. 柳州市某深基坑工程变形监测方案设计与数据分析[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(11):217-219.
- [13] 石汉生,周念清,周洪波. 港湾广场(一期)深基坑变形监测与分析[J]. 岩土工程技术,2007,21(6):279-284.
- [14] 孙冰洋,徐世光,李光明,等. 昆明银杏金川花园深基坑支护技术[J]. 科学技术与工程,2011,11(5):1114-1117.
- [15] 潘 浩,席培胜. 某深基坑监测数据分析[J]. 安徽建筑大学学报,2016,24(4):50-54.