

# 复杂地铁车站深基坑开挖对周围环境影响的规律分析

崔红利

中铁隧道集团四处有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要] 青秀山地铁车站站厅基坑采用明挖和排桩内支撑的支护形式, 周边环境相当复杂。对基坑支护结构、基坑周围土体和相邻建筑物进行全面系统的监测, 在出现异常反应时及时反馈, 进行施工工艺的调整, 结合基坑开挖的实际情况, 利用有限元软件进行数值模拟, 来分析基坑开挖对建筑物沉降的影响, 并结合实际监测数据给出最合理的防护措施并为同类深基坑提供参考。

[关键词] 深基坑; 复杂环境; 监测; 有限元

## Analysis on the Influence of Deep Foundation Pit Excavation on Surrounding Environment in Complex Subway Station

CUI Hongli

China Railway Tunnel Group Limited, Guangxi Nanning, China 530000

**Abstract:** The foundation pit of Qingxiushan subway station is supported by open excavation and internal support of row piles, and the surrounding environment is quite complicated. The retaining structure of the foundation pit, the soil around the foundation pit and the adjacent buildings are monitored comprehensively and systematically. In the event of abnormal reaction, timely feedback is made, the construction technology is adjusted, and combined with the actual situation of the excavation of the foundation pit, The finite element software is used to simulate the influence of foundation pit excavation on the settlement of buildings, and the most reasonable protection measures are given in combination with the actual monitoring data, and the reference for similar deep foundation pit is provided.

**Keywords:** Deep foundation pit; Complex environment; Monitoring; Finite element method

### 引言

地铁车站多建于闹市区, 在城市中心密集区遇到越来越多的深基坑工程, 因为地铁车站深基坑的开挖容易引起周围地表的沉降, 而且周围建筑物、市政管线密集, 一些建于 80 年代或 90 年代早期的建筑物往往桩基埋深较浅。地铁车站深基坑的设计或施工即使出现一些小小的差错, 都有可能引起周围建筑物或市政管线的沉降、开裂或局部损伤, 严重的可能引起倒塌事故, 因此在基坑开挖过程中需进行实时监测<sup>[1]</sup>, 对位移进行实时把控, 实现施工的信息化, 从而更好地为施工服务。江杰等<sup>[2]</sup>对复杂环境下多种支护结构并存的深基坑进行研究, 得出了该地区深基坑施工过程中多种支护结构变形位移规律。丁智等<sup>[3]</sup>、杨有海等<sup>[4]</sup>、张雪婵等<sup>[5]</sup>对杭州软土地区基坑监测数据进行分析, 讨论了不同工况下桩体深层水平位移和土体深层水平位移、地表沉降程度的关系。

由于复杂环境下深基坑开挖与紧邻建筑的相互影响较复杂, 解析解很难准确的反映多部位的位移变形情况。因此本文以南宁市青秀山站地铁车站为背景, 基于有限元软件 plaxis 对基坑施工过程进行数值模拟, 深入研究基坑开挖对邻近建筑的变形影响范围及变形规律, 并将实时监测结果和相关部位解析解进行比对, 探讨深基坑开挖对建筑物影响的变形规律并提出具体措施为类似工程提供参考。

## 1 工程介绍

### 1.1 工程概况

南宁市地铁车站青秀山站位于凤岭南路与青山路交叉口东侧约 180m, 车站斜跨凤岭南路, 呈南北走向布置, 凤岭南路现状道路宽 30m, 为双向 6 车道。两条人行道路、车流量大, 交通繁忙。起点里程 YDK20+45.200, 终点里程为 YDK20+229.900, 总长 184.7m, 其中明挖站厅起点里程 YDK20+136.500, 终点里程为 YDK20+218.900, 明挖结构总长为 82.4m, 标准段总宽 41.8m, 标准段基坑底部埋深约 24.35m, 基坑支护工程安全等级为一级。

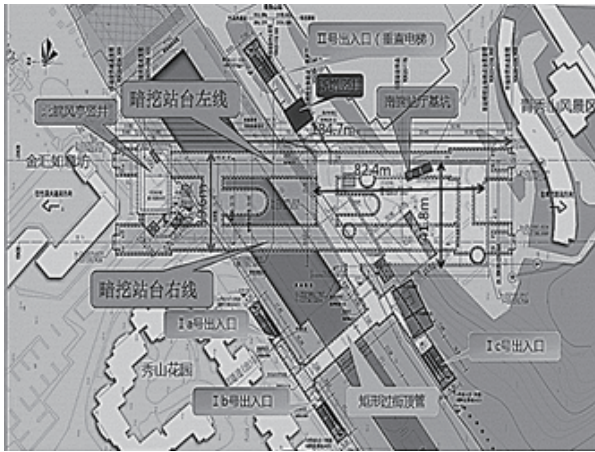


图1 青秀山车站周边建筑示意图

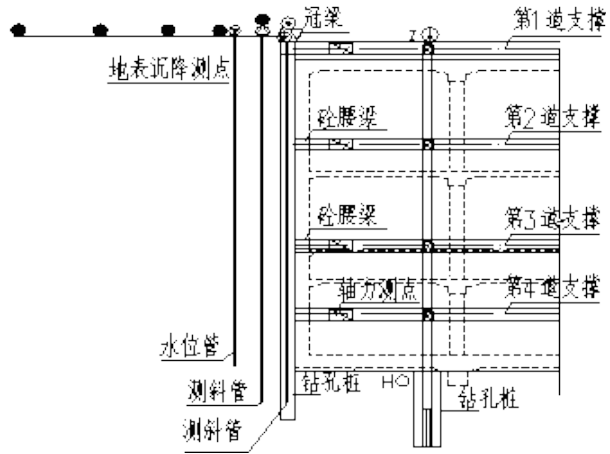


图2 明挖站厅基坑剖面图

### 1.2 工程地质与水文条件

车站范围内岩土从上至下依次为：表层为可塑~硬塑状素填土①2；中部为硬塑土、坚硬土、半岩半土的泥岩、粉砂质泥岩（⑦1-1、⑦1-2、⑦1-3、）；下部为粉砂岩、泥质粉砂岩以及粉细砂岩（⑦2-1、⑦2-2、⑦2-3、⑦3-2、⑦3-3）。数值模拟所选截面各土层参数如表1、表2所示。

表1 站厅截面土层物理力学参数

土层	层厚/ m	重度/ (Kn/m <sup>3</sup> )	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)	泊松比	压缩模量/ MPa	渗透系数/ (m. d <sup>-1</sup> )
①1杂填土	6.5	15	10	6	0.45	/	0.5
⑦1-3泥岩、粉砂质泥岩	14	21.1	80	15	0.24	14.10	0.02
⑦2-3粉砂岩、泥质粉砂岩	15	22	60	30	0.24	14.10	0.8
⑦1-3泥岩、粉砂质泥岩	1.5	21.1	80	15	0.24	14.10	0.02
⑦2-3粉砂岩、泥质粉砂岩	8.5	22	60	30	0.24	14.10	0.8
⑦1-3泥岩、粉砂质泥岩	6.2	21.1	80	15	0.24	14.10	0.02
⑦2-3粉砂岩、泥质粉砂岩	14.3	22	60	30	0.24	14.10	0.8
⑦3-2泥质粉砂岩	2	22.8	70	35	0.24	/	1
⑦2-3粉砂岩、泥质粉砂岩	7.1	22	60	30	0.24	14.10	0.8

### 1.3 基坑支护方案

明挖站厅采用围护结构和砼支撑的围护体系，其中围护结构采用  $\phi 1200@1500\text{mm}$  和  $\phi 1500@1900\text{mm}$  的混凝土灌注桩共计 176 根，共设 5 道混凝土支撑，混凝土支撑采用尺寸为  $800*900$  和  $1000*1200$ 。

### 1.4 周边建筑概况

管委会为 1-3 层框架结构，采用独立基础，距基坑最近距离为 20m，对南端明挖站厅的土方开挖及围护桩的施工影响较大。工程中使用旋喷桩对土层进行止水加固，直径 1.2m，间距 0.9m，共一排。

## 2 地铁深基坑开挖对周围建筑影响的数值分析

### 2.1 分析方法与模型的建立

根据基坑开挖方案、支护方案、地质条件、周边建筑物情况等资料，采用有限元软件模拟基坑开挖、支护过程中的位移和对周边建筑物、管线的影响。就基坑变形而言，研究证明二维计算结果一般在基坑转角处比三维计算结果大 15% 左右<sup>[6]</sup>，在基坑其他部位相差不大。因此，将基坑按二维问题处理是合理的。故本文采用了 PLAXIS 2D 对基坑进行分析，既充分考虑了基坑与邻近建筑物变形的相互耦合关系，又利用硬化土模型（HS），实现了对基坑变形的精细化分析，从而使得针对建筑物的变形计算结果更为准确可靠。

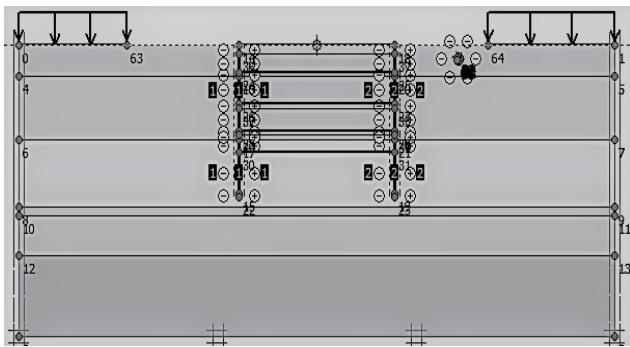


图3 明挖站厅基坑有限元模型

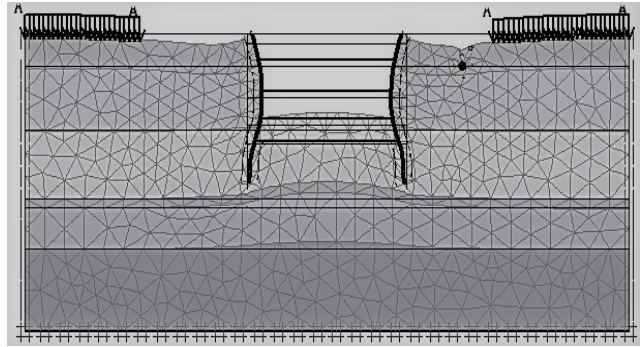


图4 站厅基坑整体位移

## 2.2 本构模型与施工工况

模型计算中土体采用硬化土 (Hardening Soil) 本构模型, HS 模型是一个可以模拟包括软土和硬土在内的不同类型土体行为的先进模型。它的弹性部分采用了合理的双刚度, 即加载模量分别定义, 且考虑了土体的压硬性。塑性部分采用非相关联流动法则和各向同性的硬化准则, 可以较好地描述双曲线形式的应力应变关系和土体的剪胀性。围护桩采用 plate 单元模拟, 内支撑采用 node to node anchor 单元模拟, 明挖站厅有限元模型如图 3 所示。

整个模型的模拟过程包括地面建筑、管线、基坑开挖、基坑支护几个步骤, 其中地面建筑通过对地面加载的方式进行模拟, 基坑开挖采用分步开挖的方式进行, 基坑施工进度如表 2 所示。

表2 明挖站厅基坑施工进度表

工况	日期	内容
1	2016年3月17日~2016年6月22日	围护桩、立柱、抗拔桩、降水井完成
2	2016年6月23日~2016年7月22日	第一次开挖 (冠梁施工完成)
3	2016年7月15日~2016年8月1日	第二次开挖 (第一道支撑完成)
4	2016年7月25日~2016年9月9日	第三次开挖 (第二道支撑完成)
5	2016年8月19日~2016年9月30日	第四次开挖 (第三道支撑完成)
6	2016年9月15日~2016年10月22日	第五次开挖 (底板施工完成)

## 2.3 基坑开挖引起的变形

图 4 为明挖站厅基坑开挖完成后的整体变形图, 基坑的变形主要在下列几个方面:

(1) 由图 4 可知, 基坑周围土体垂直位移的最大值发生在基坑底部, 即坑底土体出现隆起;

(2) 由图 5 可知, 坑后土体不同距离地表沉降趋势为勺形, 影响范围在 1~1.5 倍围护桩长度, 由于受到土体与桩体之间的相互作用和支撑的影响最大沉降没有出现在桩体附近; 坑后土体不同距离最大地表沉降为 6.4mm, 位置在距离坑边 16m 处, 该变化趋势与沉降大小与刘小丽<sup>[7]</sup> 偏态改进公式计算的结果比较吻合;

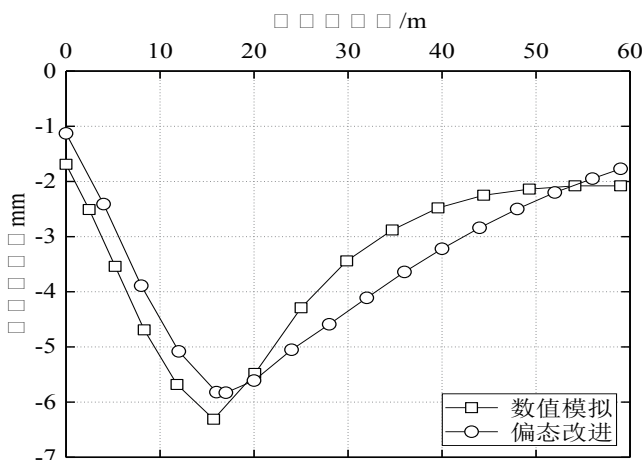


图5 数值模拟与偏态改进计算结果对比

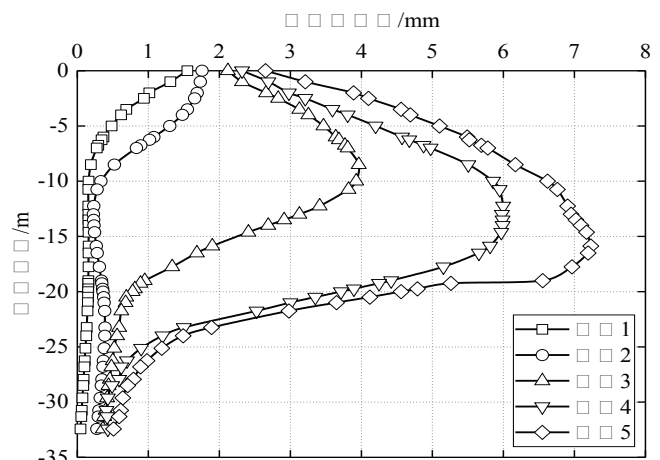


图6 站厅基坑桩体水平位移

(3) 围护桩向基坑内有水平位移, 由图 6 可知, 桩体最大水平位移为 7.41mm, 最大位移一般在开挖深度的 2/3 附近;

### 3 基坑监测结果分析

为确保基坑开挖过程的安全,对深基坑及其周围环境进行监测分析,指导基坑开挖和支护结构施工,确保邻近建筑物的安全。

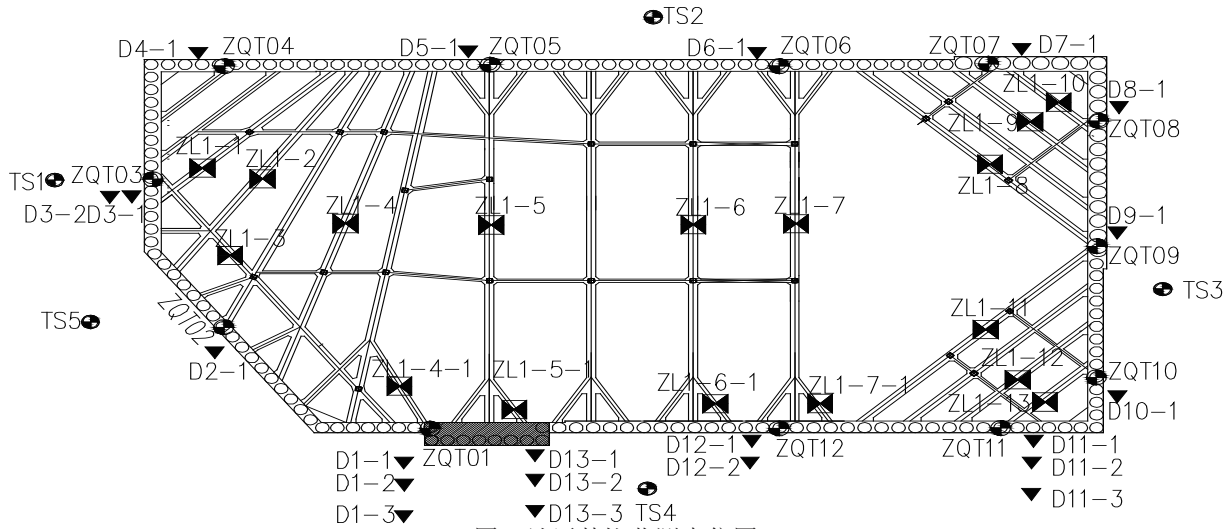


图7 站厅基坑监测点位图

#### 3.1 桩体水平位移监测结果分析

图7为明挖站厅监测点位布置图,图8为明挖站厅测点ZQT05、ZQT07、ZQT09的桩体水平位移监测曲线图,图9为明挖站厅测点TS1、TS2的桩后土体位移监测曲线图。实际监测结果中ZQT09最大水平位移为6.78mm,ZQT05最大水平位移为9.32mm,ZQT07最大水平位移为8.96mm,三个测点位移关系为ZQT05>ZQT07>ZQT09。可以看出,矩形基坑开挖过程中,长边方向测点ZQT05的位移大于短边方向测点ZQT09的位移。TS2最大水平位移为7.37mm,TS1最大水平位移为6.32mm,位移大小同样与处于长短边位置有关。结合图8、图9可以看出,桩体位移与坑后土体位移的变形趋势基本相同且最大位移所在深度相差不大,同一测点附近,桩体变形略大于坑后土体变形。

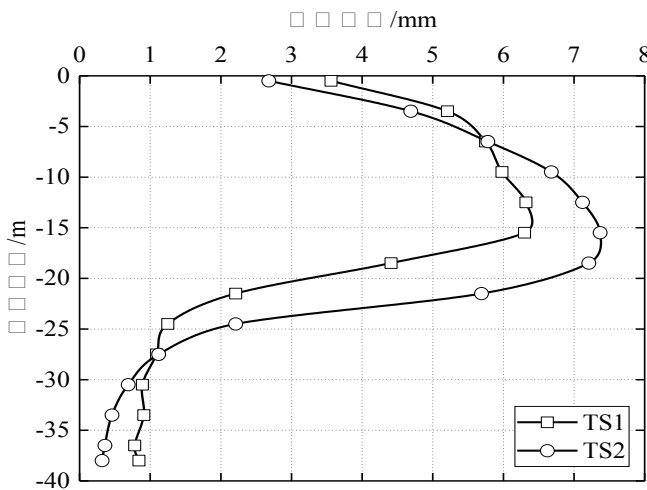


图8 站厅基坑围护桩水平位移

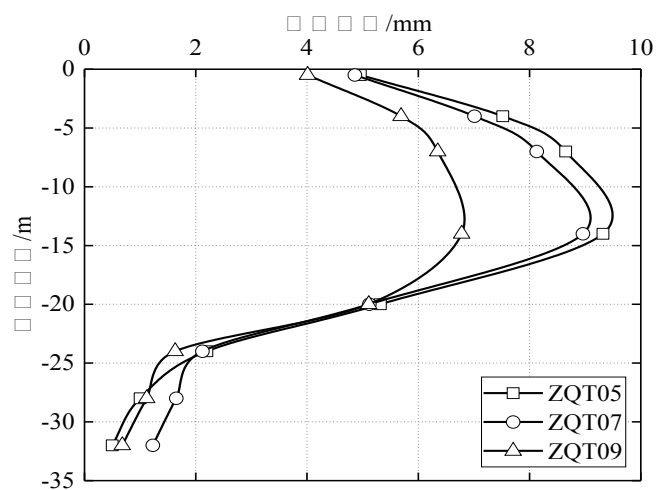


图9 站厅基坑土体水平位移

#### 3.2 支撑轴力监测结果分析

图10为基坑第一层支撑轴力随时间变化图,由图可知,横支撑部位轴力大于角支撑部位轴力,正常情况下,基坑中部支撑轴力大于基坑边支撑轴力,但测点ZL1-4>ZL1-7,这可能与基坑开挖较浅且基坑边支撑较复杂有关。图11为基坑各层支撑轴力变化图,这里选取具有代表性的测点ZL1-5的垂直深度上不同支撑层的四个测点来进行分析。随着开挖时间的推移,各测点均有不同程度的波动,这与开挖深度的增加和支撑的逐渐增加以及周边施工的扰动均有一点关系。各层支撑轴力变化总体上是随着开挖先增加后减少的过程,因此,在开挖过程中应密切关注轴力的变化。

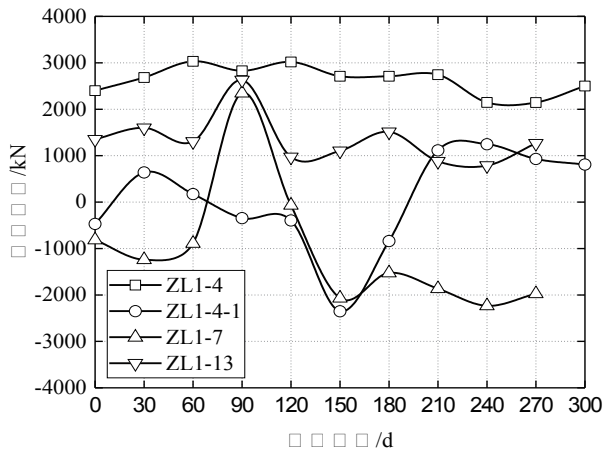


图10 第一道支撑轴力变化图

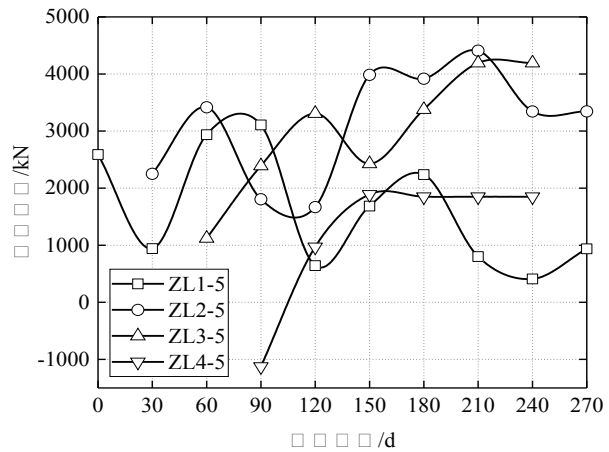


图11 各层支撑轴力变化图

### 3.3 地表沉降监测结果分析

从基坑北侧来看,随着开挖时间的推移,地表土体最大沉降量为 10.9mm,小于标准值。基坑北侧路面沉降较小,沉降控制良好,这与测点位于基坑短边一侧且支撑相对密集有关。基坑东侧路面沉降相对北侧要大,这是由于东侧测点位于基坑长边方向,该方向桩体向基坑内的侧移较大,因此路面沉降更加明显,同时东侧机动车辆较多,受动荷载影响较大。

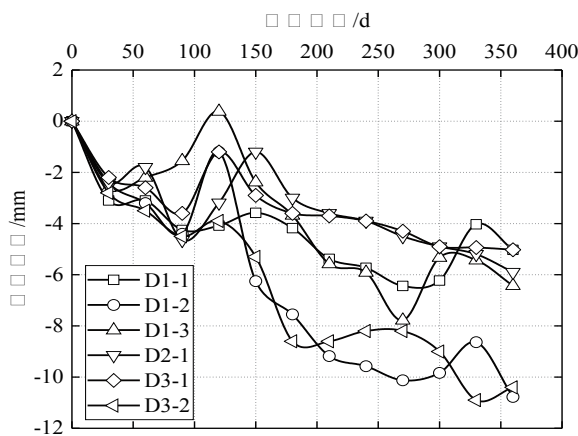


图12 基坑北侧土体历时沉降

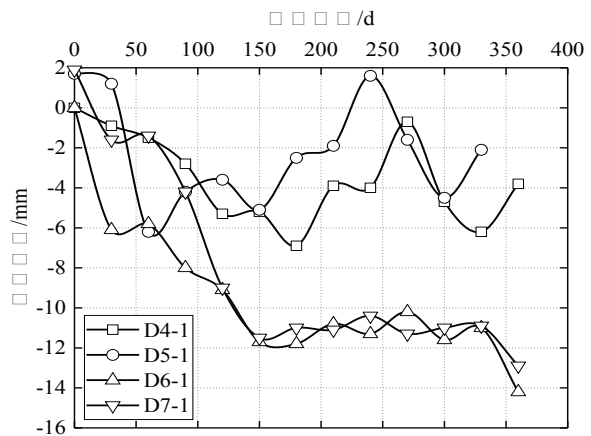


图13 基坑东侧土体历时沉降

### 3.4 周边建筑沉降监测结果分析

图 14 为建筑物监测点位图,图 15 为管委会不同监测点位历时沉降图,因监测点位置不同,各测点数值略有差异,但总体趋势一致。测点受基坑开挖与旋喷桩施工影响,沉降有所波动,后期逐渐趋于平缓。管委会监测点最大沉降在 6mm 左右,与站厅周边最大地表沉降数值模拟结果基本相同,变形趋势与基坑周边土体变形趋势相似,因此,地表沉降数值一定程度上可以反映建筑物沉降情况。

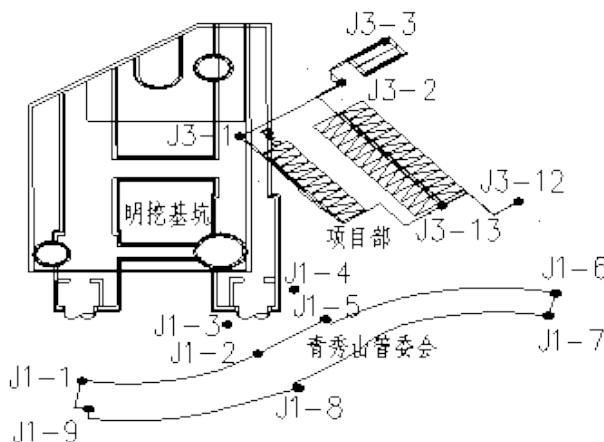


图14 建筑物监测点位图

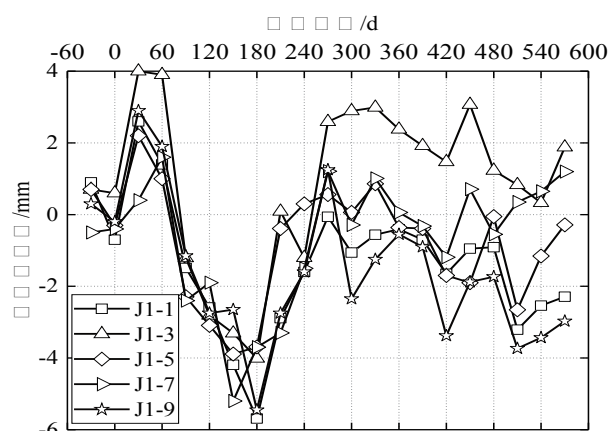


图15 管委会不同测点历时沉降

#### 4 结束语

本文利用南宁市青秀山地铁车站项目并结合数值模拟和监测结果,分析了深基坑开挖对临近建筑物变形影响,得出以下结论:

(1)Plaxis2D 模拟结果具有较好的精确度,其模拟结果与监测结果比较吻合,受其它条件影响,模拟结果会略有偏差;

(2)桩体水平位移最大值所在深度位置与基坑开挖深度有关;基坑长边变形一般大于基坑短边变形,要利用结构或加固措施对基坑长边变形进行控制;

(3)坑后土体水平位移数值与桩体水平位移有关,受桩体水平位移的影响,一般情况下坑后土体位移变化趋势与桩体位移变化趋势相同,但在位移数值上小于桩体位移;

(4)加固措施等对基坑变形的影响较大,在建筑物与基坑围护桩之间增加旋喷桩,可以有效的增加土层的强度,并减小桩体位,从而达到保护建筑物的作用。

#### [参考文献]

- [1]江杰,蒲鸥,刘刚伯,欧孝夺,谢规球.玉象隧道爆破振动监测与分析[J].广西大学学报(自然科学版),2016,41(06):1751-1755.
- [2]江杰,肖萌,刘智勇,王智,张学臣,杨迪.复杂环境下多种支护结构并存的深基坑监测分析[J].广西大学学报(自然科学版),2018,43(01):269-278.
- [3]丁智,王达,虞兴福,王金艳,蒋吉清.杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑监测分析[J].岩土工程学报,2013,35(S2):445-451.
- [4]杨有海,王建军,武进广,李长山.杭州地铁秋涛路车站深基坑信息化施工监测分析[J].岩土工程学报,2008(10):1550-1554.
- [5]张雪婵,龚晓南,尹序源,赵玉勃.杭州庆春路过江隧道江南工作井监测分析[J].岩土力学,2011,32(S1):488-494+537.
- [6]俞建霖,龚晓南.深基坑工程的空间性状分析[J].岩土工程学报,1999(01):24-28.
- [7]刘小丽,周贺,张占民.软土深基坑开挖地表沉降估算方法的分析[J].岩土力学,2011,32(S1):90-94.
- [8]葛卫春.基坑侧向卸荷应力路径及挡墙侧向变形研究[D].河海大学,2001.

作者简介:崔红利(1979-),大学本科,高级工程师