

# 常州润华环球中心深基坑支护效果分析

宋珪<sup>1</sup>, 张海丰<sup>2</sup>

(1. 江西省地质工程(集团)公司, 江西 南昌 330029; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

**摘要:**常州润华环球中心基坑工程一区开挖深度达18 m,采用钻孔灌注排桩和内支撑作为支护结构。基坑施工过程中对基坑顶部的沉降位移和水平位移进行了监测。基坑工程施工结束后基坑顶部的沉降位移和水平位移达到稳定值(分别为25 mm和40 mm),整体支护效果显著。但在基坑第三次开挖结束后第二道支撑构筑完成之前,基坑顶部的沉降位移和水平位移速率突然增大,直至第二道支撑构筑完成后增速才缓慢降低。提高第二道支撑的标高有利于降低基坑的变形,提高支护效果。

**关键词:**深基坑; 基坑支护; 位移监测; 内支撑; 常州润华环球中心

**中图分类号:** TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)12-0044-04

**Supporting Effect Analysis on Deep Foundation Pit of Runhua Globe Center in Changzhou/SONG Gui<sup>1</sup>, ZHANG Hai-feng<sup>2</sup>** (1. Jiangxi Geo-engineering (Group) Corporation, Nanchang Jiangxi 330029, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** The depth of the foundation pit area 1 of Runhua Globe Center reached 18 meters, and it was constructed by using cast-in-situ bored piles and inner bracing structure. Vertical settlement and horizontal displacement at the surface around the deep foundation pit were monitored during and after the foundation engineering construction. By the completion of the construction, the subsidence and horizontal displacement reached the stable values of 25mm and 40mm respectively, the supporting effect was coincided with the design requirements. However, monitored values increased suddenly just at the time after the third excavation and before the second support completion and the growth rate were slowly decreased until the second supporting structures were completed. It is advantageous to reduce the deformation of foundation pit and improve the supporting effect by increasing the designed elevation of the second supports.

**Key words:** deep foundation pit; foundation pit support; displacement monitoring; inner bracing; Runhua Global Center

## 1 项目概况

常州润华环球中心项目地处江苏省常州市武进区,场地东临湖塘河,基坑呈南北向“梯”形,南北长约303 m,东西长边约140 m,短边约120 m。基坑一区开挖深度18.0 m,二区、三区开挖深度12.0 m。场地地貌单元隶属长江三角洲冲湖积平原地貌,勘察深度内覆盖层主要为粘性土,夹有砂性土,呈交错沉积或互层状。本工程的特点是:(1)开挖深度大,平面规模大,属特大特深基坑;(2)基坑范围内(-5~-10 m)包含透水性很强的粉土夹粉质粘土层,渗透系数达 $422 \times 10^{-6}$  cm/s,止水要求严格。

## 2 基坑支护方案

### 2.1 支护方案介绍

基坑支护方案重点考虑止水帷幕、支护体系、降水方案的选择。

**止水帷幕:**润华环球中心基坑工程需要隔断的

地下水主要为④层粉土夹粉质粘土中的地下水以及防止湖塘河内河水的渗漏,选择竖向止水帷幕。选用三轴深层搅拌法,三轴搅拌桩直径为850 mm。搅拌桩插入⑤层粉质粘土为不透水层(渗透系数 $0.02 \times 10^{-7}$  cm/s),该层厚度达到8 m,可以考虑作为基坑地下水隔水顶板。

**支护体系:**常见基坑支护形式有放坡开挖、悬臂支护、重力坝支护、土钉墙、内支撑和土锚支护结构。其中前3种支护类型适用于浅基坑。土钉墙结构适用于开挖深度<15 m的基坑。内支撑结构和土锚支护结构适用于深基坑,共同的优点是安全可靠,内支撑结构的缺点是成本高、施工周期长,土锚支护结构的缺点是锚固力有限。根据该基坑特点,一区超深基坑选用内支撑+排桩挡土结构,以基坑安全为主要目标;二、三区基坑选用复合土钉墙结构。

**降水方案:**基坑范围内含水层主要为③层粉质粘土夹粉土和④层粉土夹粉质粘土。由于先施工的

收稿日期:2015-04-27; 修回日期:2015-11-17

作者简介:宋珪,男,汉族,1978年生,高级工程师,从事岩土工程施工工作,上海市武威路88弄20号6楼(200331),songgui-jd@163.com;张海丰,男,汉族,1989年生,硕士研究生,从事地质工程领域研究工作,湖北省武汉市鲁磨路388号,xhhaifeng@126.com。

止水帷幕形成了封闭的隔水墙,这两层的含水量相对较少,降水的主要目的是为挖土提供方便,选用管井井点降水方案。

### 2.2 支护设计计算

润华环球中心基坑工程支护的难点是一区深基坑,这里仅介绍一区深基坑设计计算内容,并与下文监测结果对比。一区深基坑采用  $\varnothing 900$  mm 钻孔灌注桩 + 2 道钢筋混凝土内支撑 +  $\varnothing 850$  mm 三轴水泥土搅拌墙帷幕。一区基坑实际施工顺序和时间见表 1。

表 1 一区基坑施工顺序和对应时间

工程内容	开始日期	截止日期
前期施工	2011-01-01	2011-07-20
第一次土方开挖:地面至圈梁底,开挖深度 2 m	2011-07-21	2011-07-21
围梁施工	2011-07-22	2011-07-28
第二次土方开挖:地面(-1 m)至第一道支撑底(-5.2 m)	2011-07-29	2011-08-17
第一道支撑施工	2011-08-10	2011-08-24
第三次土方开挖:第一道支撑底(-5.2 m)至第二道支撑底(-12.1 m)	2011-08-25	2011-09-18
第二道支撑施工	2011-09-15	2011-09-28
第四次土方开挖:第二道支撑底(-12.1 m)至基坑底(-16.25 ~ -19.25 m)	2011-09-29	2011-10-23
其它施工	2011-10-19	2012-05

一区内支撑计算分析采用 Z\_soil 软件。模型采用考虑土体剪胀特性的冒盖塑性模型。为了计算方便,不考虑地层的变化,将所有地层的参数都设为粘聚力  $c = 0$  kPa,内摩擦角  $\varphi = 30^\circ$ ,膨胀角  $\psi = 0^\circ$ 。三轴排水实验割线刚度和固结实验切线刚度取  $E = 1.0 \times 10^4$  kPa,其他参数取默认值。将地层对墙体的作用简化为等效弹簧,围护墙划分为梁单元,支撑为仅承受轴力的杆单元。围护结构开挖阶段计算时计入结构的先期位移值以及支撑的变形,按“先变形、后支撑”的原则进行结构分析,并计算内部结构回筑阶段各工况的内力组合,最终的位移及内力值是各阶段之累计值。下面给出 2 道内支撑的位移云图。

第一道支撑位移云图(图 1)显示,位移最大的位置在一区的最宽处的拐角附近,局部最大位移达到了 16.4 mm,达到该位移的区域较小;大多数区域的位移约为 9.8 mm。仔细观察位移的分布规律,可以发现图中的下部(一区基坑最宽处)的两端,位移矢量图大体呈圆弧形分布(图中附加的两条黑线),整体成“倒心型”分布。这是因为,一区基坑在水平剖面上有 4 道支撑,其中 2 道与基坑的长度方向正交,也即与

水平向土压力(图中  $F_H$  方向)平行;另外 2 道支撑与水平向土压力(图中  $F_H$  方向和  $F_V$  方向)斜交。由于  $F_H$  和  $F_V$  都是水平向土压力, $F_H$  和  $F_V$  的合力  $F_{合}$  垂直于斜支撑的方向。由于支撑的轴向方向并不平行于土压力的作用方向,内支撑承受土压力作用较好的轴向支撑作用并没有充分发挥出来。这就导致内支撑效果的削弱,在该部位产生较大的位移。

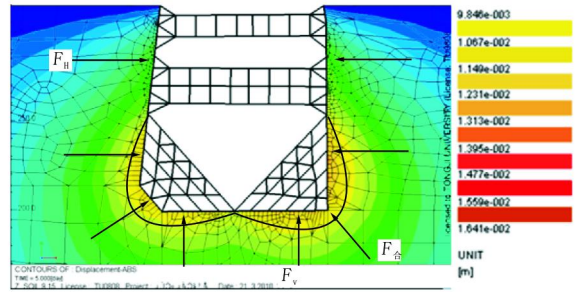


图 1 第一道支撑位移图

与第一道内支撑位移和受力相比,第二道支撑的位移云图在分布规律上与第一道支撑是相同的,第二道支撑受到的位移场略小于第一道支撑(图 2)。

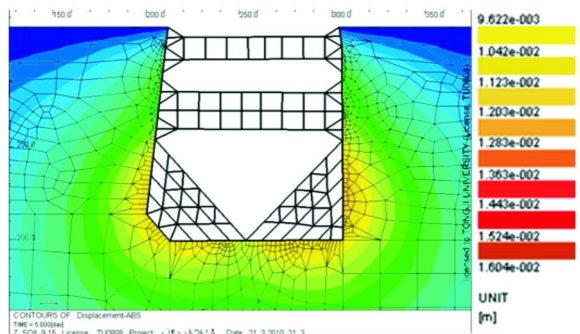


图 2 第二道支撑位移图

### 3 水平位移和竖直位移监测分析

本工程监测主要针对一区深基坑位置<sup>[1-3]</sup>,基坑坡顶(支护桩)的水平位移测点为 SP1 ~ SP27,基坑坡顶(支护桩)的垂直沉降位移测点为 C1 ~ C27,监测平面图见图 3。

一区基坑工程施工后期(2011 年 11 月以后),随着基坑开挖和支护工作的持续进行,基坑顶部的水平位移和竖直位移随时间增长的速率逐渐减小。2012 年 5 月 9 日基坑开挖支护施工完成后基坑顶部的水平位移已达到稳定,基坑顶部竖向沉降达到 25 mm,基坑顶部朝向基坑内侧的水平位移达到 40 mm。监测结果表明基坑支护设计方案安全可靠。

#### 3.1 基坑坡顶(支护桩)沉降位移监测

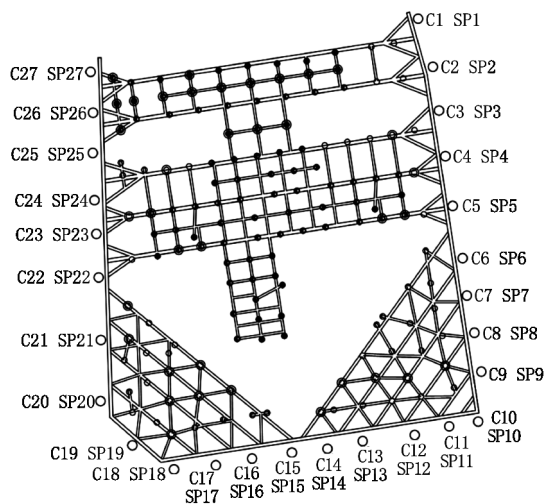


图3 基坑监测平面图

沉降监测点 C1 ~ C10 位于临河侧, C11 ~ C27 位于非临河侧, 图 4 给出了具有代表性的 C5、C10、C15、C18 和 C21 的监测结果。监测时间为 2011 年 8 月 13 日到 2011 年 11 月 13 日, 历经基坑开挖过程中的第二次基坑开挖(至  $-5.2\text{ m}$ )、施工第一道支撑、第三次开挖(至  $-12.1\text{ m}$ )、施工第二道支撑和第四次开挖(至  $-16.25 \sim -19.25\text{ m}$ )。

图中标注为⑤的点的沉降值是  $-3.5\text{ mm}$ , 大于前一次和后一次监测值( $-2.0\text{ mm}$ ), 该点出现时正在进行第三次基坑开挖。由于该点与整体趋势相差较大, 认定为异常点, 且对分析基坑开挖引起的基坑变形没有影响, 故将该点舍去不做分析。根据曲线的斜率变化拐点将监测曲线划分为①、②、③和④共 4 段。其中, 第三次开挖过程中, 沉降曲线包括①和②段, 沉降速率经过 1 个拐点, 沉降速度增加; 施工第二道支撑过程中, 沉降曲线包括②、③和④段, 含 2 个拐点, 沉降速度先增加后降低; 第四次开挖过程中, 沉降曲线包括④, 含 1 个拐点, 沉降速度基本不变。②和③段之间的沉降速度变化十分显著, 在此点之前, 各监测点的监测数据基本重合, 差异较小。此点之后, 各点的监测数据开始出现分化。该点位于第三次开挖即将结束的时候, 开挖标高至  $-12.1\text{ m}$ , 距离第一道支撑  $6.9\text{ m}$ , 此时第二道支撑正在施工, 尚未形成对围护桩的支撑。由于第二道支撑尚未形成对侧向土体的支撑, 在侧向土压力作用下, 钻孔灌注围护桩向基坑内侧位移, 前期预计位移量最大值为  $59.1\text{ mm}$ , 最大值发生在竖直标高为  $-11\text{ m}$  处, 如图 5。钻孔灌注围护桩向基坑内侧位移后, 围

护桩后面出现空隙, 周围的土体向空隙处位移并填补空隙, 这一过程导致地表产生沉降<sup>[4-6]</sup>。

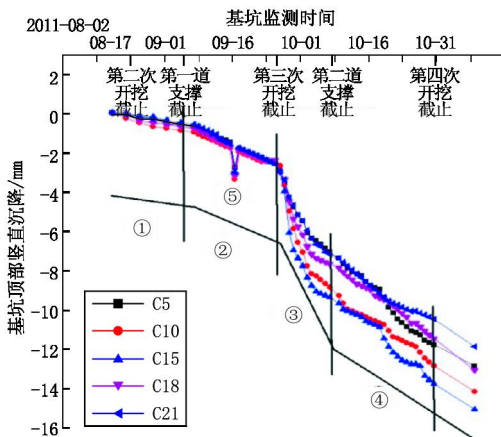


图4 基坑顶部竖直沉降监测结果

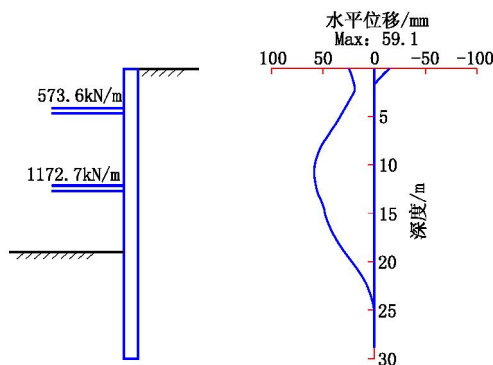


图5 基坑开挖围护结构位移

由于第二道基坑支撑并不及时, 导致在该支撑施工过程中, 基坑顶部的竖直位移发生了较大的增长, 从  $-2.5\text{ mm}$  快速增加到  $-8.0\text{ mm}$ , 增加了 2 倍, 而历时仅为 7 天。如果能在基坑开挖至  $-11.7\text{ m}$  的以上部位进行第二道支撑, 将有效控制基坑顶部的竖向位移。在第二道支撑逐渐构起和土体抗剪强度及灌注桩的围护作用逐渐调动起来后, 在 2011 年 9 月 20 日前后, 基坑表面竖直沉降速度有所降低。但仍然大于第三次开挖过程中的基坑竖直沉降速度。表明后期第二道支撑阻碍了土体的基坑顶部的竖直沉降, 起到了支护作用。在第二道支撑形成后的第四次开挖过程中( $-16.25 \sim -19.25\text{ m}$ , 开挖深度  $5.65\text{ m}$ ), 基坑顶部的竖直沉降速率较第二道支撑施工后期的沉降速率略低。

对比图 4 中的 5 条曲线, 可以看出在第三次开挖截止后(②段后) C10 和 C15 的沉降值已显著大于 C5、C18 和 C21, 尤其是 C15。产生这一现象的原因在于内支撑采用了三角形的造型(如图 1)。在

C15 测点处围护桩并未受到垂直于基坑侧壁的支撑,而围护桩受到的基坑侧壁侧向土压力是垂直于基坑侧壁的,因此当内支撑横梁受到相同的应变小时,斜向的内支撑在垂直于基坑侧壁方向上提供的反力较小,支撑效果较差。另外该处的内支撑梁的密度也较低,提供的反力较小。

### 3.2 基坑坡顶(支护桩)水平位移监测

与基坑顶部竖向位移的分析类似,将基坑顶部水平位移监测成果绘制在图6中。SP5、SP10 位于临河侧;SP15、SP18、SP21 位于非临河侧。基坑顶部水平位移监测中未出现异常点。第三次开挖过程包括①段和②段;第二道支撑阶段包括②和③段;第四次开挖过程包括③和④段。各段的交界处对应的时间略晚于垂直位移监测结果。

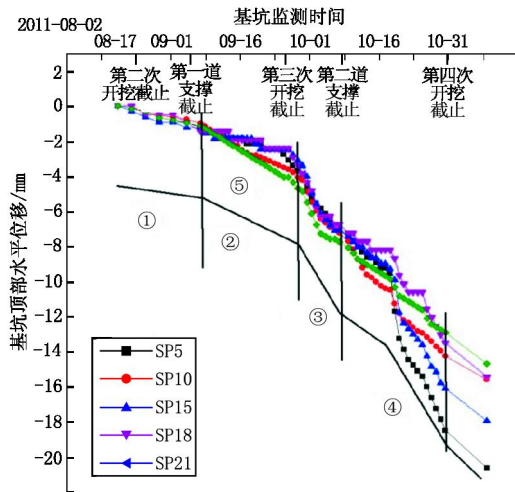


图6 基坑顶部水平位移监测结果

第三次基坑开挖即将完成后(2011年9月18日施工完成)的2011年9月19日,基坑顶部的水平位移也出现了位移速率的增加,如图中标注的②和③段分界限,水平位移速率增加值没有竖直沉降速率增加值大。在第四次开挖中期,2011年10月11日,基坑水平位移速率快速增加,该时刻水平位移增加速率,大于竖直沉降增速。基坑顶部水平位移增速的变化和基坑顶部竖直沉降增速的变化保持相同的步调,因为两者都是由于基坑下部开挖处钻孔灌注围护桩的侧向位移导致下部土体体积损失引起的,区别在于一个是水平位移,一个是竖直位移。另外,基坑下部钻孔灌注围护桩发生侧向变形导致的土体体积损失首先由上部的土体向下沉降填充,而基坑地表的水平向位移主要由钻孔灌注围护桩上部的侧向位移导致。基坑顶部的水平位移和竖向沉降有关联但也有显著

区别。这综合表现在两者的变化在时间上是同步和协调的,区别在于增量的变化率的大小并不相同。

对于基坑顶部的水平位移来说,控制基坑钻孔灌注围护桩整体的侧向变形和两道内支撑的位移(图1和图2)有直接关系<sup>[7,8]</sup>。图6中钻孔灌注桩的最大水平位移是25 mm,图1第一道和图2第二道支撑的最大水平位移是16 mm。图6中基坑第四次开挖完成后监测的最大值是15~20 mm,这与钻孔灌注围护桩计算得到的水平位移值较为吻合,但需要注意的是随着监测时间的增加,实测水平位移值可能会进一步的增大,超出计算值,也即计算值偏于不安全。

基坑顶部水平位移增速在第三次开挖截止后,第二道支撑支座完成之前出现也表明第二道支撑并不及时,应该提前进行第二道支撑的施工。在第四次开挖过程中,上述5个水平监测点的监测值开始出现分化,SP5和SP15的水平位移较大。出现这一现象的原因也是由内支撑的形状和支护效果决定的。

## 4 总结

常州润华环球中心深基坑工程施工过程中对基坑顶部沉降位移和水平位移进行了监测。基坑顶部的沉降位移和水平位移由基坑围护桩和内支撑结构变形引起的基坑周围土体位移导致。实测结果表明,常州润华环球中心深基坑工程支护结构整体设计符合工程要求,但第二道内支撑结构设置的并不及时,提高第二道内支撑结构的位置有利于减小基坑顶部的沉降位移和水平位移。

## 参考文献:

- [1] 车灿辉,刘实,刘静.深基坑工程结构类型与安全监测要素[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):60-64.
- [2] 叶强,吴庆令.某深基坑工程的监测分析与变形特性[J].岩土工程学报,2010,32(2):541-544.
- [3] 戚庆学,彭波,董宜辉.内支撑基坑支护体系施工过程的监测及分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):68-73.
- [4] Cho J, Lim H, Jeong S, et al. Analysis of lateral earth pressure on a vertical circular shaft considering the 3D arching effect[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2015, 48: 11-19.
- [5] Terzaghi K. Theoretical soil mechanics[M]. New York: Wiley, 1943.
- [6] 虞利军,王茸,陈敏军.排桩内支撑基坑典型失稳原因及处理对策分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):77-79.
- [7] 高文华,杨林德.软土深基坑围护结构变形的三维有限元分析[J].工程力学,2000,17(2):134-141.
- [8] 刘杰,姚海林,任建喜.地铁车站基坑围护结构变形监测与数值模拟[J].岩土力学,2010,(2).
- [9] 李芳,李强,于元峰,等.桩锚支护结构设计及支护结构变形监测分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(4):53-57,62.