

DOI: 10.11779/CJGE2014S2078

# 上海软土地区半圆形基坑的实测结果研究

张中杰<sup>1</sup>, 汤翔<sup>1</sup>, 王建华<sup>2</sup>

(1. 上海市城市建设设计研究总院, 上海 200092; 2. 上海交通大学土木工程系, 上海 200030)

**摘要:**通过对上海临港新城某半圆形基坑实测数据的分析,结合对半圆形基坑结构优势、变形特性的综述,探讨了半圆形基坑围护结构变形、地表沉降的一般规律。结果表明:该半圆形基坑围护结构的最大侧向位移为开挖深度的0.152%~0.636%,平均值为0.325%;围护结构侧向变形通常为深层凸鼓形,围护结构最大侧移点深度一般位于开挖面以下2~6 m;基坑周边最大地表沉降为开挖深度的0.587%,平均值为0.312%。在相同地质和施工条件下,和矩形基坑相比,半圆形基坑结构形式对控制变形有一定优势。

**关键词:**软土;半圆形;基坑;变形;沉降

中图分类号: TU470 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2014)S2-0451-04

**作者简介:**张中杰(1976-),男,高级工程师,主要从事城市轨道交通、地下空间、基坑工程的设计与研究工作。  
E-mail: vincentsucdri@126.com。

## Measured deformation of a semi-circular foundation pit in Shanghai soft soils

ZHANG Zhong-jie<sup>1</sup>, TANG Xiang<sup>1</sup>, WANG Jian-hua<sup>2</sup>

(1. Shanghai Urban Construction Design and Research Institute, Shanghai 200092, China; 2. Department of Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** A semi-circular foundation pit of Lingang metro station in Shanghai soft soil deposits is monitored and analyzed. Combined with the summarization of characteristics and advantages of the semi-circular pit, the deformations due to excavation are discussed. The monitoring results show that the ratio of the maximum lateral displacement of the retaining structures to the excavation depth ranges from 0.152% to 0.636%, and the mean value is about 0.325%. The deformation of the retaining structures exhibits a clearly deep bulging profile as the excavation continues, and the maximum lateral displacement of the retaining structures usually appears between 2 m and 6 m below the excavation surface. The ratio of the maximum surface ground settlement to the excavation depth is 0~0.587%. Under the same geological and construction conditions, compared with the rectangle pit, the semi-circular pit has the advantages of displacement control.

**Key words:** soft soil; semi-circle; excavation; deformation; settlement

## 0 引言

随着城市建设的高速发展和地下空间的大规模开发,基坑的面积越来越大、开挖的深度越来越深、围护结构的形式也越来越多样化<sup>[1-4]</sup>。某些场合,由于建筑的平面布置要求,或是为了利用圆拱形围护结构自身的优点,需要采用半圆形基坑。圆形支护结构就是结合基坑的具体情况,在平面上将支护结构布置成圆形或近似圆形,把常规的直线形支护结构改进成曲线形,从而充分发挥圆形结构的受力优点<sup>[5]</sup>。由于圆形结构在受轴对称水土压力作用时能充分发挥混凝土材料的抗压性能,相对于常规的长条形或矩形围护结构可以更好的发挥结构的环向的拱作用,并充分利用地基土的拱效应,具有水平受力优、节省材料、变形小,稳定性高的优点,因此已被应用于软土地区的工程实

践中。其中部分基坑属于无内支撑圆形基坑,也就是在施工过程中只设置加强基坑整体性的钢筋混凝土环形围檩,而不设置在一般基坑开挖过程中需要的保证边坡稳定的内支撑。圆形基坑的优势在于有效利用空间作用,基坑的环撑(圈梁)在受压情况下产生结构拱效应,通过轴力平衡土压力,相当于发挥了水平支撑作用,可节省施工水平向受力构件所需的材料和工期,且无障碍的基坑空间更便于土方施工和缩短工期。

尽管圆形基坑在实际工程中的应用日益增多,但对该种形式基坑的研究却相对滞后,制约了它的工程推广应用。相对于传统的基坑支护体系,圆形基坑围护结构所面临的诸多特殊问题有待进一步的解决。

本文以上海临港新城滴水湖站交通枢纽基坑工程为背景,对监测资料进行分析,并且结合已有统计资料对半圆形基坑施工的效果进行讨论评价,以期为类似工程提供参考。

## 1 工程概况和围护结构设计

### 1.1 工程概况

临港新城滴水湖站交通枢纽工程(含配套地下空间)位于临港新城中心区一期建设区北部,北连临港大道,南邻滴水湖,环抱轨道交通11号线南段临港新城站。主体结构为地下二层,采用现浇钢筋混凝土梁板体系,顶板厚度为250~500 mm,中板厚度为200 mm,底板厚度为1100~1200 mm,底板下设置钻孔灌注桩抗浮。主体结构的东侧为下沉式广场,基坑平面呈半圆形(图1),圆弧半径达65 m,基坑面积约13800 m<sup>2</sup>,开挖深度为11.13 m。

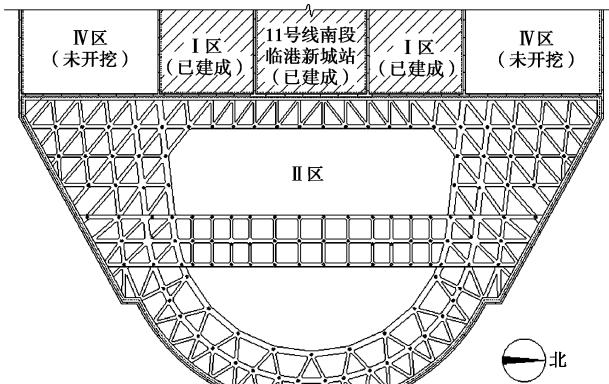


图1 基坑平面布置图

Fig. 1 Plan view of excavation site

根据地质勘察报告,拟建场地在所揭露的65.45 m深度范围内的地层主要由黏性土、粉性土、砂土组成,如表1所示,缺失上海地区常见的③、⑥层。其中⑦层中的承压水为第一承压含水层,承压水位埋深为3.0~11.0 m。

表1 土层参数表

Table 1 Soil parameters

土层 编号	土层 名称	H /m	$\gamma$ (kN·m <sup>-3</sup> )	c /kPa	$\varphi$ (°)	$E_s$ /MPa
①	填土	2.3				6.060
② <sub>3</sub>	砂质粉土	12.2	18.4	6	32	10.730
④	淤泥质黏土	8.1	17.7	12	10	2.420
⑤ <sub>1</sub>	黏土	6.7	16.7	17	15.5	3.050
⑤ <sub>3</sub>	粉质黏土	5.2	17.6	19	20	3.880
⑤ <sub>4</sub>	粉质黏土	3.5	18.4	40	20.5	7.090
⑦ <sub>1</sub>	砂质粉土	5.2	19.8	6	32.5	13.310
⑦ <sub>2</sub>	粉砂	24.1	18.7	1	36.0	17.880

### 1.2 围护结构设计

根据本基坑工程的特点,基坑西侧局部利用11号线南段临港新城站的地下连续墙,其余围护结构采

用600 mm地下连续墙,长度24 m。竖向设置两道钢筋试混凝土支撑,明挖顺筑法施工,围护结构剖面图如图2所示。

支撑平面布置的主要思路是:充分发挥混凝土支撑刚度大、整体性好和布置灵活的特点,将基坑圆弧段的坑外水土压力,通过半圆形混凝土桁架支撑传递到平直段的地下连续墙,与平直段的坑外水土压力平衡。基坑中部设置南北走向的对撑,平衡南北两侧坑外水土压力的同时兼做栈桥。基坑西侧设置一组边桁架,由于西侧坑外结构大部分已建成,其作用主要是加强支撑系统的整体性。

具体开挖及支护方案为:沿基坑深度方向从上至下挖土至相应的支撑底部,并及时设置支撑,与I区共用的封堵墙随挖随凿除,直至挖至坑底做素混凝土垫层并浇筑下沉式广场底板。待底板达到设计强度后拆除第二道支撑;待下沉式广场侧墙及侧向传力构件达到强度后,拆除第一道支撑。

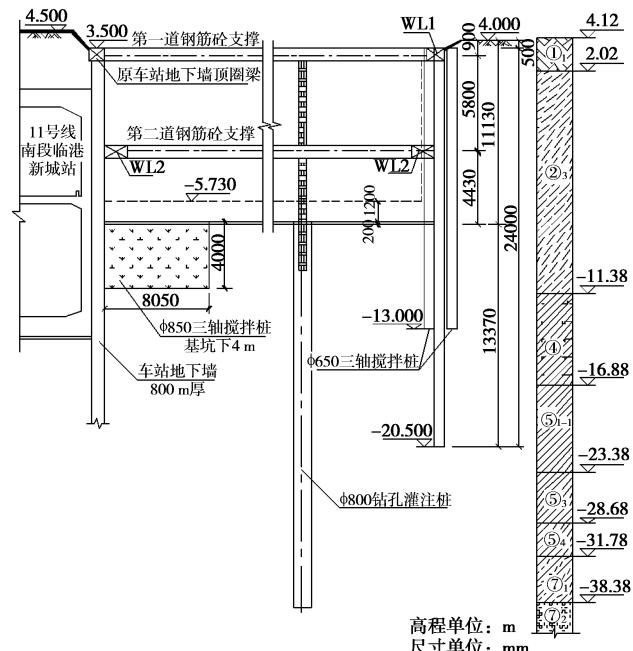


图2 围护结构剖面图

Fig. 2 Section of supporting structure

## 2 现场监测

为确保基坑工程安全顺利地完成,必须对基坑施工的全过程进行监测,及时掌握基坑的变形情况和对周边环境的影响,及时调整施工方案,以达到有效的指导施工现场、优化施工、安全施工和避免事故发生的目的。

基坑周边设置围护结构测斜监测点17个、坑外地面沉降监测点12组、支撑轴力监测点8个。部分监测点布置见图3。

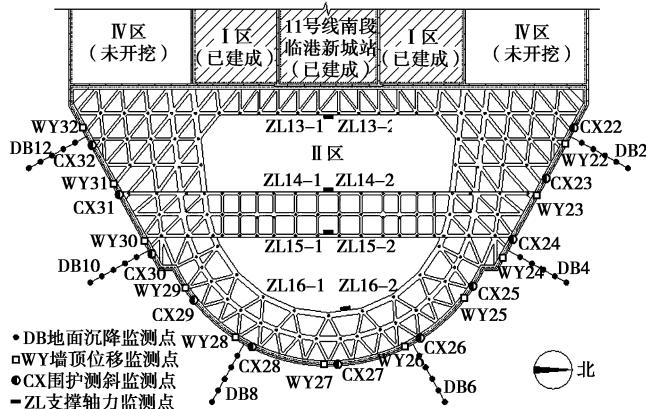


图 3 监测点布置图

Fig. 3 Layout of monitoring points

图 4 为施工各个施工阶段之后, 连续墙测点 CX31 的侧移与深度的关系。基坑开挖至 11.13 m 深时, 连续墙的最大侧移  $\delta_{hm}$  为 70.81 mm, 最大侧移与开挖深度之比为 0.636%。随着开挖深度的增大, 连续墙的最大变形的增长速率减慢, 这是由于随着开挖深度的增大, 由连续墙、立柱以及环形支撑形成的结构系统的刚度越来越大的缘故。各个开挖深度下的最大侧移发生位置分别位于地面以下 10.0 m (挖深 5.80 m)、15.5 m (挖深 11.13 m); 可以看出由于开挖深度较浅, 上部环形支撑的强大支撑作用限值了连续墙的上部变形, 因此连续墙的上端侧移一直保持为零, 并且最大侧移位置一直处于开挖深度以下。

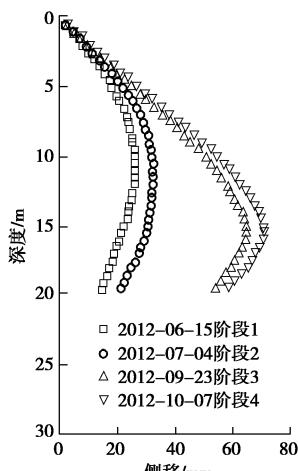


图 4 连续墙侧移图

Fig. 4 Lateral displacement of CX31

图 5 为连续墙的最大侧移与开挖深度之间的关系, 连续墙侧移  $\delta_{hm}$  与开挖深度  $H$  的比值在 0.152%~0.636% 之间, 最大侧移位置为 CX22 的 73.59 mm, 平均值为 0.325%, 这个值小于徐中华<sup>[6]</sup>总结的上海地区以地连墙为支护结构的基坑的统计值 0.415%。不同连续墙测点的数据差异较大, CX22, CX31 测点的侧移最大, CX26, CX27, CX32 测点的侧移最小, 总的来说, 测点侧移呈现出中间小、两端大的趋势。

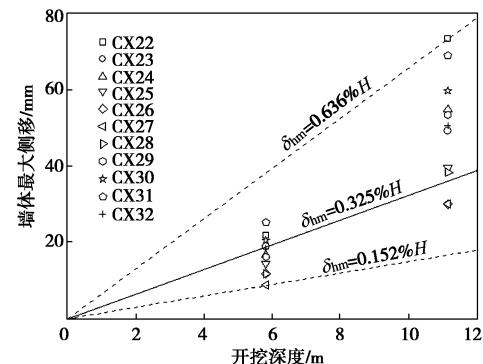


图 5 连续墙最大侧移与开挖深度的关系

Fig. 5 Relationship between maximum lateral displacement of wall and excavation depth

围护结构最大侧移深度  $H_m$  与  $H$  的关系如图 6 所示, Ou 等<sup>[2]</sup>通过对台北 10 个基坑的实测分析, 发现最大侧移点位置一般出现在基坑开挖面附近, 即  $H_m=H$ 。统计的实际检测数据表明, 临港新城半圆形基坑围护结构的最大侧移深度大于开挖深度, 其值介于开挖面以下 2~6 m 之间。

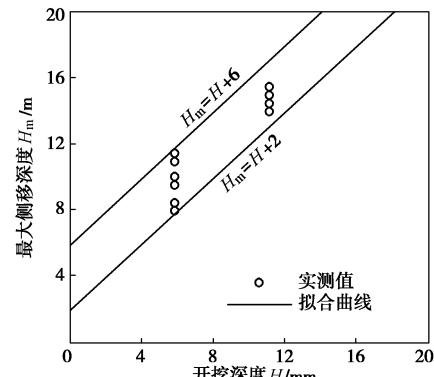


图 6 连续墙最大侧移深度与开挖深度的关系

Fig. 6 Relationship between depth of maximum lateral displacement of wall and excavation depth

统计的地表沉降  $\delta_{vm}$  与开挖深度  $H$  的关系如图 7 所示, 数据点很少,  $\delta_{vm}$  基本介于 (0%~0.587%)  $H$ , 所有测点的  $\delta_{vm}$  平均值为 0.312% $H$ ,  $\delta_{vm}$  随着  $H$  的增大而增大, 开挖深度变大时增大速率变快。

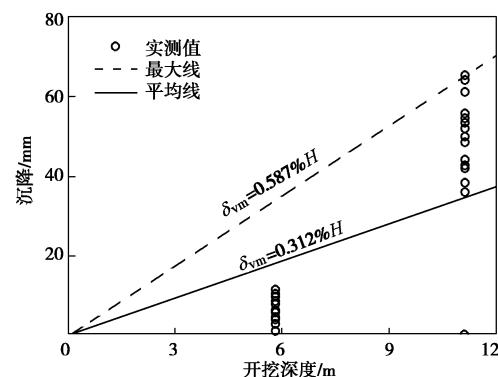


图 7 最大地表沉降与开挖深度的关系

Fig. 7 Relationship between maximum ground surface settlement and excavation depth

### 3 结 论

本文对圆形基坑的发展和优势进行了综述, 同时结合临港新城半圆形基坑工程的实际监测结果, 对半圆形基坑实际施工效果进行了分析和讨论, 本文主要结论如下:

(1) 半圆形基坑可以将墙后土压力转换为墙内轴力, 充分利用混凝土抗压的原理, 环向刚度作用明显, 能有效地控制基坑施工过程中围护结构的变形和对周边环境的影响。

(2) 半圆形基坑围护结构的最大侧向位移为开挖深度的 0.152%~0.636%, 平均值为 0.325%; 围护结构侧向变形通常为深层凸鼓形, 围护结构最大侧移点深度一般位于开挖面以下 2~6 m; 基坑周边最大地表沉降为开挖深度的 0.587%, 平均值为 0.312%。围护结构侧向变形与地表沉降均随着开挖深度的增加而增加。开挖至坑底后后续结构施工过程中两种变形几乎不再增加。

#### 参考文献:

- [1] HSIEH P G, OU C Y. Shape of groundsurface settlement profiles caused by excavation[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998, 35(6): 1004~1017.

- [2] OU C Y, LIAO J T, LIN H D. Performance of diaphragmwall constructed using top-down method[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 1998, 124(9): 798~808.
- [3] XU Z H, WANG W D, WANG J H, et al. Performance of deep excavated retaining wall in Shanghai soft deposit[J]. Lowland Technology International, 2005, 7(2): 31~43.
- [4] ZHANG J G, REN P. Numerical simulation for construction process of a very deep circular pit[J]. ASCE, 2011: 1786~1791.
- [5] 董新平, 郭庆海, 周顺华. 圆形基坑的变形特点及主要因素分析[J]. 地下空间与工程学报, 2005(4): 196~199. (DONG Xin-ping, GUO Qing-hai, ZHOU Shun-hua. Character and factor analysis of deformation of diaphragmwall in the cylindrical foundation pit[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005(4): 196~199. (in Chinese))
- [6] 徐中华. 上海地区支护结构与主体地下结构相结合的深基坑变形性状探究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007. (XU Zhong-hua. Deformation behavior of deep excavations supported by permanent structure in shanghai soft deposit[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)