

## 城市深基坑分坑开挖变形影响分析

郭玉达<sup>1</sup> 杨善亮<sup>2</sup>

1 杭州市建设工程质量安全监督总站, 浙江 杭州 310011

2 中铁三局集团有限公司, 浙江 杭州 310011

**[摘要]**文章以杭州市某深基坑工程为例,对在城市中进行深基坑开挖对自身围护结构及周围土体的变形影响规律进行了分析。分析结果表明,随着开挖深度的增加,围护结构的水平位移逐渐增大,并呈现出拟“弓”形的变化规律;在基坑开挖过程中周围土体沉降量随着距基坑边缘距离增大呈现出先增大后减小的趋势;采用分坑开挖加上合理的支护体系能够有效的控制围护结构水平位移和周围土体沉降,确保城市中深基坑开挖的施工安全。研究成果为类似工程提供了参考依据。

**[关键词]**深基坑;分坑开挖;地下连续墙;地表沉降

DOI: 10.33142/aem.v5i8.9475

中图分类号: TU941

文献标识码: A

## Analysis of Deformation Impact of Urban Deep Foundation Pit Excavation

GUO Yuda<sup>1</sup>, YANG Shanliang<sup>2</sup>

1 Hangzhou Construction Engineering Quality and Safety Supervision Station, Hangzhou, Zhejiang, 310011, China

2 China Railway No. 3 Engineering Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310011, China

**Abstract:** Taking a deep foundation pit project in Hangzhou as an example, the article analyzes the deformation impact of deep foundation pit excavation on the self retaining structure and surrounding soil in the city. The analysis results indicate that as the excavation depth increases, the horizontal displacement of the retaining structure gradually increases, and shows a quasi "bow" shaped variation pattern; During the excavation process of the foundation pit, the settlement of the surrounding soil shows a trend of first increasing and then decreasing as the distance from the edge of the foundation pit increases; The use of pit excavation and a reasonable support system can effectively control the horizontal displacement of the retaining structure and the settlement of the surrounding soil, ensuring the construction safety of deep foundation pit excavation in cities. The research results provide a reference basis for similar projects.

**Keywords:** deep foundation pit; pit excavation; slurry wall; surface subsidence

### 引言

随着城市的不断发展,在城市中进行深基坑工程建设的现象越来越多。随之而来,如何在城市复杂施工条件下安全、快速的进行基坑工程建设是我们当前面对的一大难题。在基坑过程中,土体开挖会导致周围土体卸荷从而对基坑自身及周围构筑物产生一定的影响,如果在施工过程中处理不当,可能会酿成严重的工程事故<sup>[1]</sup>。陈勇超<sup>[2]</sup>通过对广州某超大深基坑工程实例,采用支护理论与数值模拟相结合的方法,认为基坑开挖每增大 1m,卸载状态下土体的工程性质及力学状态就会发生巨大变化,施工风险也会明显增大。庄海洋等<sup>[3]</sup>以上海某深软场地狭长基坑为背景,探讨了深软场地狭长深基坑变形的时空分布特征及其主要诱因。汪中卫等<sup>[4]</sup>以某地铁深基坑实测数据为依据,经过分析后发现,采用基于时空效应的分层分块的快挖快撑、坑内注浆和支撑预加轴力等措施,可以显著减小围护结构水平位移和地表沉降。霍润科等<sup>[5]</sup>通过研究深基坑开挖过程中各道支撑轴力的变化规律,认为第一道支撑采用混凝土支撑比钢支撑更能有效的抑制基坑开挖所导致的围护结构变形。

本文基于杭州市某深基坑工程,研究深基坑开挖对自身围护结构和周围土体的变形影响规律。通过对实测数据

的分析,验证了本项目所提出的施工方案的合理性,为类似工程提供了参考依据。

### 1 工程概况

#### 1.1 工程简述

本工程基坑位置及场地现状如图 1 所示。本工程地下室主体基坑东西向长约 264m,南北向宽约 114m,基坑周长约为 766m,基坑面积约 3 万平方米,挖深 13.1m。基坑整体划分为 K1~K5 五个分坑进行施工。开挖顺序为先 K1、K2 号分坑再 K3、K4 号分坑最后开挖 K5 分坑。

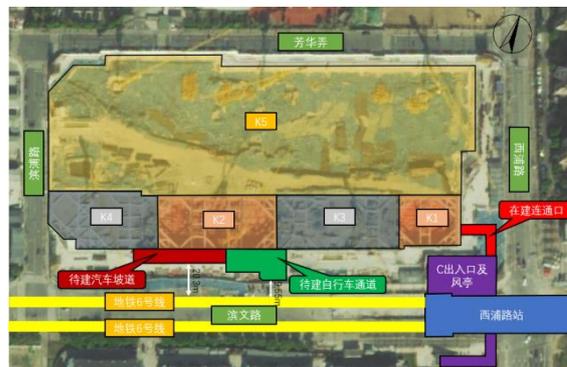


图 1 基坑位置示意图

其中 K1~K4 东、南、西侧采用 800 厚地连墙结合三道内支撑支护（其中第一道为混凝土支撑，第二、三道为钢支撑），K1~K4 分隔桩采用  $\phi 800@1100$  钻孔桩。K5 区域采用  $\phi 800@1000$  钻孔桩结合两道型钢组合支撑支护，桩外采用一排三轴水泥搅拌桩止水止水。本工程典型的内支撑系统剖面图如图 2 所示。

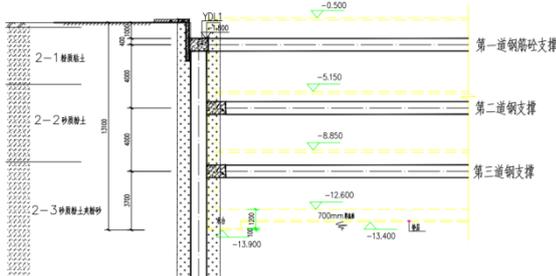


图 2 基坑内支撑系统典型剖面图

### 1.2 地质水文情况简述

根据现场勘察，工程基坑开挖范围内以素填土、黏质粉土和砂质粉土为主。根据基坑的实际开挖情况，所涉及主要土层参数如表 1 所示。

表 1 土层参数

编号	岩土名称	$\gamma$	$k_v$	$k_h$	$c$	$\phi$
		$\text{kN/m}^3$	$\text{cm/s}$	$\text{cm/s}$	$\text{kPa}$	$^\circ$
2-1	粘质粉土	18.7	$6.2\text{E-}4$	$5.0\text{E-}4$	5	29
2-2	砂质粉土	18.7	$7.4\text{E-}4$	$5.9\text{E-}4$	6	31
2-3	砂质粉土夹粉砂	19.0	$2.5\text{E-}4$	$4.6\text{E-}4$	8	30
3-1	淤泥质黏土	17.1	$4.1\text{E-}7$	$3.5\text{E-}4$	13	10

场地勘探深度以浅的地下水类型按其含水介质、水动力特征及其赋存条件，主要分为第四系松散岩类孔隙潜水、第四系松散岩类孔隙承压水和基岩裂隙水三类。

## 2 基坑围护结构实测结果分析

### 2.1 监测点分布

根据本工程实际情况，选取毗邻地铁的 K1~K4 号分坑南侧的部分监测点位数据进行分析。具体点位分布结果如图 3 所示。

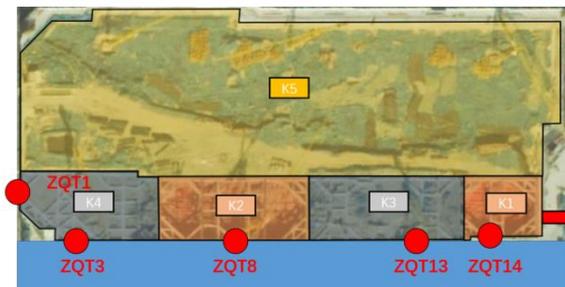


图 3 围护结构水平位移监测点位分布图

### 2.2 K1~K4 分坑开挖对围护结构影响结果分析

以地下连续墙和内支撑作为基坑的支护体系，在基坑

内土体开挖后，开挖部分的地下连续墙受到了较大的主动土压力，从而产生了向基坑内部变形的趋势，这与基坑周围土体的水平位移保持相同的变形趋势<sup>[1]</sup>。随着基坑开挖深度的不断增加，地下连续墙的水平向位移不断增大，朝向基坑内部不断变形。本文以围护结构水平位移朝向坑内方向为正。

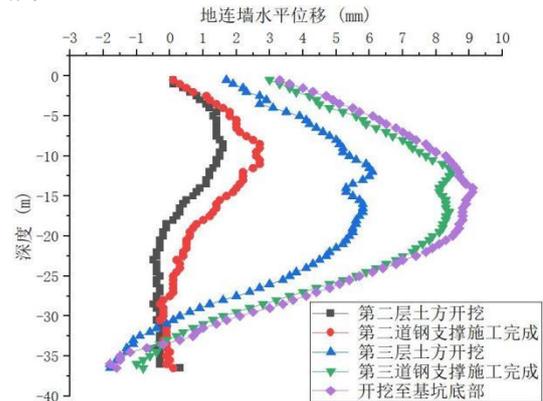


图 4 ZQT14 号点位围护结构位移结果图

ZQT14 号点位位于 K1 号分坑南侧，亦是最早进行监测的点位之一。由图 4 可知，当基坑开挖深度较浅时，地下连续墙的水平位移均控制在 3m 以内，且水平位移最大值均出现在现阶段开挖面附近。当第三层土方开挖完成后，地下连续墙的水平向位移有较大发展，最大值达到了 6.1mm。随后第三道钢支撑架设完成后，水平位移最大值达到了 8.5mm。按照理论来说，这两道工况下的围护结构水平位移应较为接近。参考现场实际施工情况，造成两道工况下围护结构变形相差较大的原因可能是两道工况的施工间隔长，基坑暴露时间较长。当基坑开挖至坑底位置时，围护结构水平变形相较于前道工况无明显发展，最大变形量仅为 9.1mm，出现在深度为 -14m 位置，同时这一位置也非常接近本工程最终坑底位置。

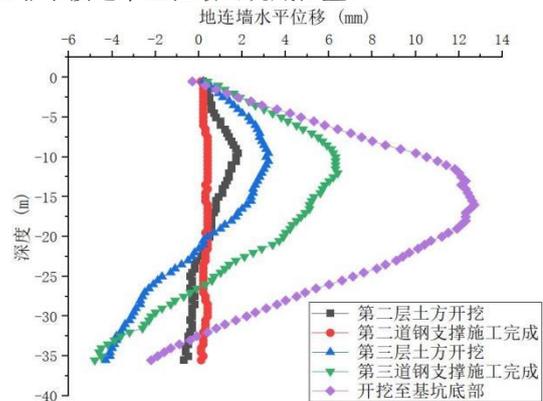


图 5 ZQT8 号点位围护结构位移结果图

ZQT8 号点位位于 K2 号分坑南侧，K2 号分坑与 K1 号分坑同期施工。由图 5 可知，在第二道钢支撑架设完成后，围护结构水平变形量非常小，相较于第二层土方开挖

时有所减小。随着基坑开挖深度的不断增加,该点位的围护结构水平位移也在不断增大。当第三层土方开挖完成时,围护结构水平位移最大值为3.2mm。同K1号分坑的情况,当第三道钢支撑架设完成时,围护结构水平位移最大值达到6.4mm,增量为100%,这可能与基坑第三道钢支撑架设时间较晚有关。在K2号分坑最后一层土方开挖完成后,围护结构水平位移的最大值为12.7mm,位于深度为-16m位置。从上述可知,地连墙的整体水平位移随着开挖深度的增大而不断增大,同时呈现出“弓”形的变化规律。

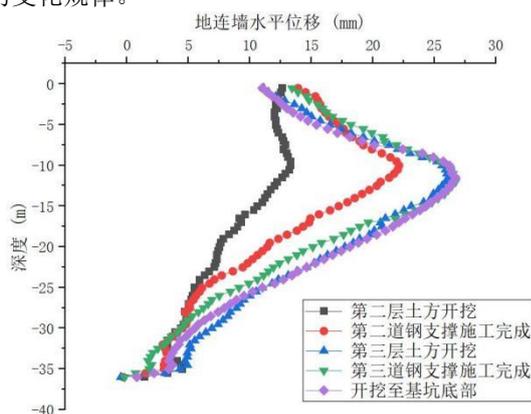


图6 ZQT13号点位围护结构位移结果图

ZQT13号点位位于K3号分坑南侧,在K1和K2号分坑地板施工完成后进行土方开挖工程。由图6可知,在K1和K2号分坑开挖完成的基础上,K3号分坑的围护结构也受到了一定的影响,在基坑开挖深度较浅时,围护结构就产生了较大的水平位移。在K3号分坑第二层土方开挖完成后,ZQT13号点位的最大水平位移达到了13.3mm,相较于ZQT14号点位的1.6mm与ZQT8号点位的1.8mm有显著增长。在后续工况特别是第三层土方开挖完成与第三道钢支撑架设中,两者的围护结构水平位移量非常接近,同时根据现场调研K3号分坑这两道工况施工间隔短,也验证了基坑暴露时间会影响基坑围护结构的变形。在最后一层土体开挖完成后,ZQT13号点位的围护结构水平位移最大值达到了26.7mm,出现在深度为-12m位置,与坑底位置较为接近。

图7~8为ZQT3号和ZQT1号监测点位的围护结构变形结果,其中ZQT3号点位位于K4号分坑南侧,ZQT1号点位位于K4号分坑西侧。由图7可知,ZQT3号点位的前期围护结构水平变形接近于“拟线性”分布,围护结构水平位移最大值在顶部附近,位移量为5.5mm。随着开挖深度的进一步增大,围护结构水平位移的变化规律逐步变为“弓”形。当K4号基坑第三道钢支撑架设完成后,围护结构水平位移最大值发生在深度为-12.5m处,位移量为13.5mm。当基坑全部开挖完成后,围护结构水平位移最大值减小至12.4mm,仍然位于深度为-12.5m位置。由图8

可知,ZQT1号点位整体地下连续墙变形量要小于ZQT3号点位。与ZQT3号点位不同,1号点位的围护结构在基坑开挖深度不大的时候就呈现出了“弓”形的变化规律,并且在后续的施工中仍然保持这样的规律。在K4号分坑开挖完成后,ZQT1号点位的围护结构水平位移最大值达到7.6mm,位于坑底位置附近深度为-15mm位置。

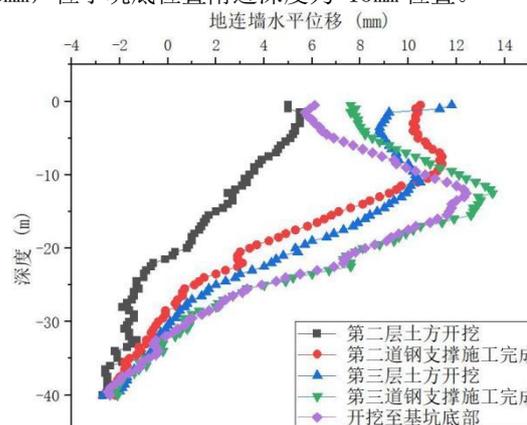


图7 ZQT3号点位围护结构位移结果图

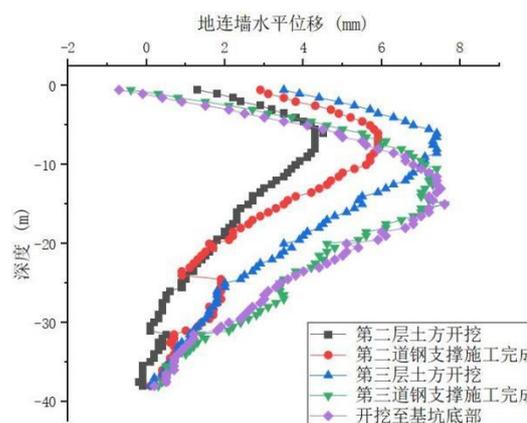


图8 ZQT1号点位围护结构位移结果图

综上所述,本工程K1~K4号分坑开挖对于南侧临近地铁的围护结构的水平位移影响结果并不大。在各种工况下,围护结构水平位移最大值主要控制在10mm左右,最大值也不超过30mm,完全符合设计要求的40mm变形量。

### 2.3 K5号分坑开挖对围护结构影响结果分析

本工程K5号分坑是开挖面积最大的分坑,同时在K1~K4号分坑开挖完成后一段时间后才进行K5号分坑的开挖。为探究分坑开挖对于围护结构水平位移影响的规律,取K5号分坑开挖前后本基坑南侧围护结构典型点位的水平位移结果进行分析。

图9~11是ZQT1、ZQT3和ZQT13号点位的围护结构在K5号分坑开挖前后水平位移量的对比结果图。从图中可以看出,相较于K5号分坑开挖前各个点位的围护结构水平位移量均有不同程度的增加,其中在基坑开挖深度范围内的位移量增量显著高于坑开挖深度范围外。

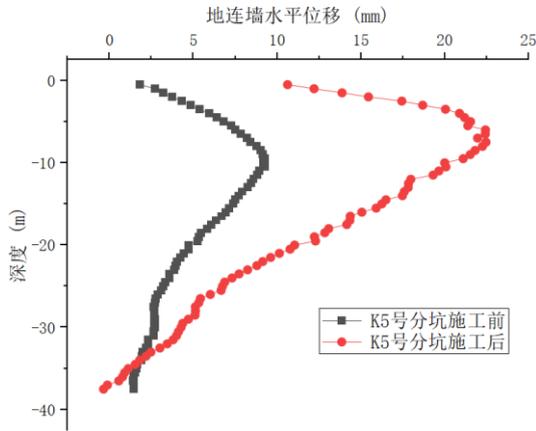


图9 ZQT1号点位水平位移对比图

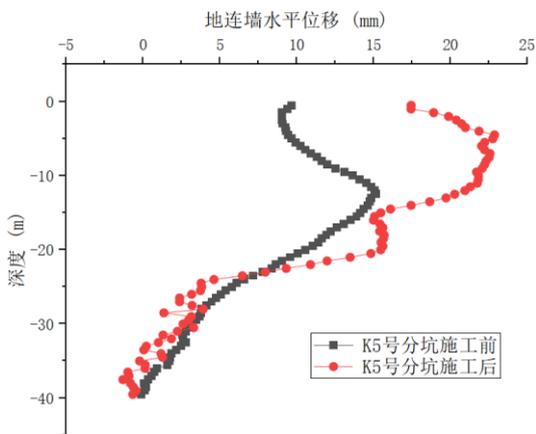


图10 ZQT3号点位水平位移对比图

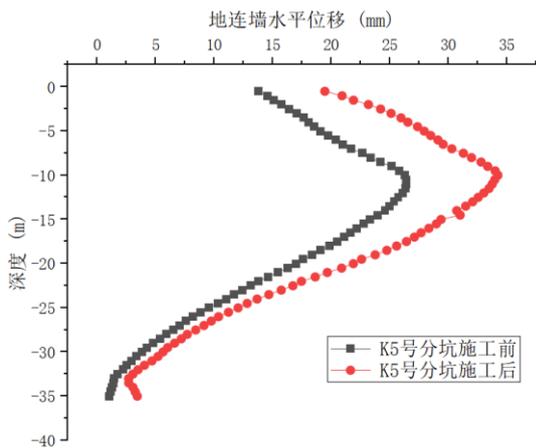


图11 ZQT13号点位水平位移对比图

对于 ZQT1 号点位, 围护结构顶部的位移量由 1.8mm 增大至 10.6mm, 同时最大位移量由 9.3mm 增大至 22.4mm; 对于 ZQT3 号点位, 围护结构顶部水平位移量由 9.6mm 增大至 17.4mm, 最大水平位移量由 15.2mm 增大至 22.7mm; 对于 ZQT13 号点位, K5 号分坑开挖前后围护结构整体水平位移变化规律基本类似, 均近似于“弓”形, 此处地下连续墙顶部位移量由 13.8mm 增大至 19.4mm, 而最大位移量由 26.4mm 增大至 34.2mm。

综上所述, K5 号分坑开挖对于 K1~K4 号分坑南侧的围护结构变形仍然有一定的影响。在 K5 号分坑施工完成后这些位置的地下连续墙水平位移量会有一定程度的发展, 但是也依然控制在设计要求的 40mm 以内。从而进一步证明了本工程所设计的支护方案的安全性。

### 3 基坑周围地表沉降结果分析

基坑开挖过程中会造成周围土体的变形沉降, 若变形沉降量过大则易造成周围构筑的结构损伤甚至产生严重的安全事故。因此对于基坑开挖过程中周围土体的沉降变形进行监测是非常有必要的。图 12 是选取的几个地表沉降监测点位位置示意图。

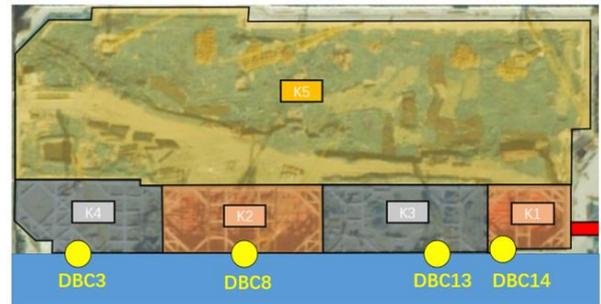


图12 地表沉降监测点位分布图

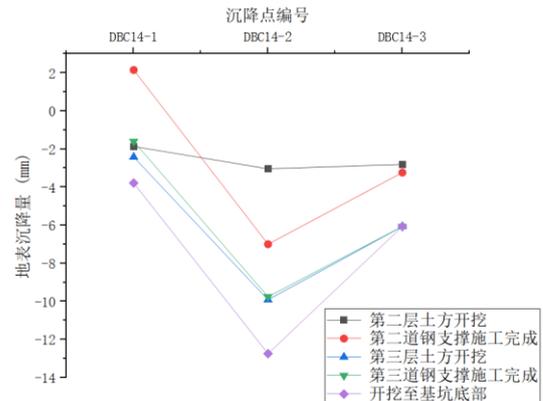


图13 DBC14号点位地表沉降结果图

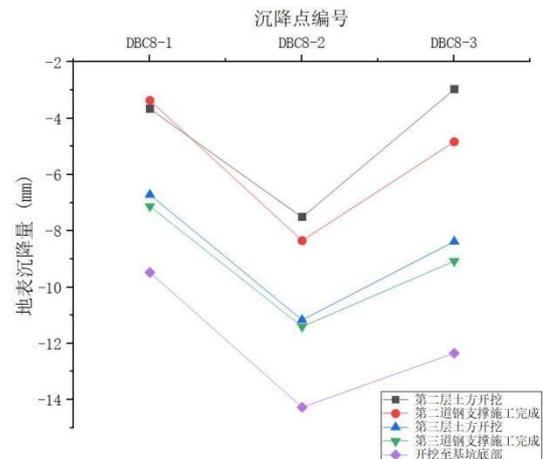


图14 DBC8号点位地表沉降结果图

DBC14 号点位位于 K1 号分坑南侧,图 13 是 DBC14 号点位地表沉降随着 K1 号分坑开挖地表沉降实测变化结果。由图可知,在各个施工工况中,地表沉降最大值均出现在 DBC14-2 号点位,该点位整体的地表沉降变化呈现出先增大后减小的规律,且各点位的沉降结果随着基坑开挖深度的增加而不断增加。最终 DBC14-2 号点位的沉降值为-12.7mm。

DBC8 号点位位于 K2 号分坑南侧,与 DBC14 号点位的结果类似,DBC8 号点位的地表沉降最大值均出现在 DBC8-2 号点位处。整体呈现出“V”形的变化规律。DBC8-2 号点位的沉降值为-14.2mm。

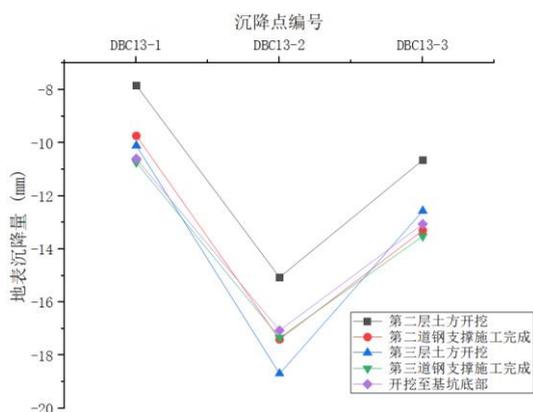


图 15 DBC13 号点位地表沉降结果图

DBC13 号点位位于 K3 号分坑南侧。由图 15 可知,与 DBC14 和 DBC8 号点位相比,DBC13 号点位的地表沉降量随着开挖深度增加量较小,地表沉降最大值仅从-15.1mm 增大至-18.7mm,增量仅为 23.8%。说明 DBC13 号点位在 K3 号分坑开挖前期就产生了较大的沉降量。根据现场勘察,在 DBC13 点位附近存在远超于其余点位的施工堆载,这也说明基坑周围地表堆载过大会影响基坑施工过程中的安全。

图 16 为位于 K4 号分坑南侧的 DBC3 号点位的地表沉降量随施工工况变化的结果图。由图可知,DBC3 号点位的地表沉降最大值也是出现在 DBC3-2 号点位,地表沉降呈现出先增大后减小的变化规律。

综上所述,在 K1~K4 基坑开挖期间,基坑南侧各监测点位的地表沉降变化规律较为接近,且最终沉降量均控制在 20mm 以内,小于设计要求的 30mm。说明本项目设计的支护形式能够有效控制基坑周围土体的沉降变形。

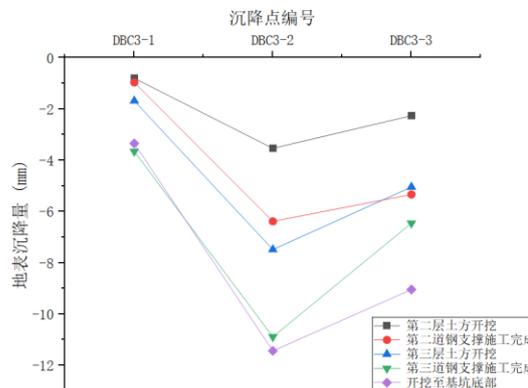


图 16 DBC3 号点位地表沉降结果图

#### 4 结论

本文基于杭州市某临近地铁深基坑工程的现场实测数据,研究了在分坑施工条件下开挖对基坑围护结构水平位移和地表沉降的变形规律,主要得到以下结论。(1)在基坑开挖过程中,围护结构水平位移量会随着基坑开挖深度的增大而增大,最终整体变化规律呈现出拟“弓”形。同时在采用分坑开挖的条件下,后开挖基坑在施工过程中仍然会对已经开挖完成的基坑的围护结构产生一定影响。

(2)基坑开挖会对周围地表土体产生一定影响,从而导致地表土体的沉降。同时基坑周边存在施工堆载则会对地表沉降值产生一定的影响。

#### [参考文献]

- [1]朱炎兵,周小华,魏仕锋,等.临近既有地铁车站的基坑变形性状研究[J].岩土力学,2013,34(10):6.
- [2]陈勇超.广州地铁琶洲站超深基坑开挖变形与支护结构优化设计研究[D].长沙:长沙理工大学,2020.
- [3]庄海洋,张艳书,薛栩超,等.深软场地地铁狭长深基坑变形特征实测与已有统计结果的对比分析[J].岩土力学,2016,37(2):561-570.
- [4]汪中卫,刘国彬,王旭东,等.复杂环境下地铁深基坑变形行为的实测研究[J].岩土工程学报,2006(10):1263-1266.
- [5]霍润科,颜明圆,宋战平.地铁车站深基坑开挖监测与数值分析[J].铁道工程学报,2011,28(5):81-85.

作者简介:郭玉达(1979.6—),男,大学本科,毕业院校:盐城工学院专业:土木工程;高级工程师,主研方向:工程技术、工程管理。