

北京地铁义和庄站基坑支护结构及变形监测

常江^{1,2}, 张君²

(1. 北京住总市政工程有限责任公司, 北京 100029)

(2. 清华大学土木工程系, 北京 100084)

摘要: 结合北京地铁义和庄站深基坑支护变形监测方案, 并通过大量实测数据对基坑的水平变形、钢支撑和锚索拉力变化规律进行了研究; 并比较排桩、内支撑与排桩、锚索两种支护形式的变形差异。监测结果表明: 围护结构的变形增量主要发生在基坑深层土体开挖及支撑结构架设前后阶段, 在开挖至坑底后变形趋于稳定; 支撑内力增加影响因素较多, 包括地面堆载及温度影响; 围护结构变形与支撑轴力变化具有显著的关联性; 桩撑与桩锚支护结构的变形具有一定的差异性。

关键词: 地铁; 深基坑; 支护; 监测; 变形

中图分类号: X947 **文献标识码:** A

Support structure and deformation monitoring of excavation pit in Yhezhuang station of Beijing subway

CHANG Jiang^{1,2}, ZHANG Jun²

(1. Municipal Engineering Co., Ltd., Beijing Housing Group, Beijing 100029, China)

(2. Department of civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper presents an in-situ instrumentation and deformation monitoring research for a deep foundation pit in Beijing subway Yihezhuang station. A large number of field-tested data of the pit horizontal deformation, the steel support forces and cable tension variation were measured and studied. The difference of deformation behavior for both anchored-pile walls and steel tube-supported pile walls were investigated in detail. The monitoring results showed that the incremental deformation mainly occurs during and around the stage of deep soil pit excavation and the supporting structures installation. The deformation will be stabilized gradually with the excavation reaching the pit bottom. The increases of the steel support internal forces are associated with many factors, such as the ground surface loading and temperature vibration. The wall structure deformation is associated with the axial force of steel support greatly. There is obvious difference of the deformation behavior for anchored-pile walls and steel tube-supported pile walls.

Key words: subway station; deep excavation pit; support; monitoring; deformation

1 引言

近年地铁以其快捷、舒适等优点受到人们的青

睐而得到快速发展。地铁工程的建设首先面临的是地铁车站深基坑工程的开挖, 在基坑工程施工过程中, 由于地质情况复杂, 基坑开挖对地层产生扰动, 进而可能会引起地表或附近构筑物沉陷和变形, 危及安全且失事后果严重。因此, 在深基坑开挖过程中, 通过现场施工监测, 及时掌握基坑支护结构变形

和周围环境条件的变化,反馈信息以指导施工,具有特别重要的意义。本文通过对北京地铁义和庄车站基坑围护结构水平位移、钢支撑及锚索内力现场监测,研究了基坑变形规律,为基坑施工提供信息化指导。同时,为类似施工提供工程借鉴。

本文所涉及的工程为北京地铁大兴线义和庄站,是北京第一个下沉式广场结构的基坑车站,且围护结构多样化(包括桩+内支撑、桩+锚索、土钉),为北京地区已建地铁之罕见。车站主体总长 462.15m,标宽 18.7m,为单柱双跨岛式站台车站,二层框架结构。车站主体围护结构分为三段:北段、

中间扩大站厅段、南段,其中,南段、北端为单层基坑,中间扩大站厅段为双层基坑。

2 地质水文概况

根据《北京地铁大兴线义和庄站岩土勘察报告》,大兴线义和庄站场区位于永定河冲洪积扇的中下部,地层主要为人工填土、第四纪新近沉积层和一般第四系沉积层,地层有粘性土、粉土、砂类土、碎石类土交互沉积而成。勘察揭示地层物理指标如表 1 所示。

表 1 地层物理力学性质指标表

土层代号	土层名称	重量密度 (kN/m^3)	内摩擦角 $^{\circ}$	粘聚力 (kPa)	水平基床系数 (MN/m^3)	垂直基床系数 (MN/m^3)	静止土压力系数	地基承载力 (kPa)
1	素填土		(12)	(10)				
	粉土	20.2	24.8	23.9	(25)	(20)	0.32	160
1	粉质粘土	19.6	1.3	22	(22)	(18)	(0.45)	150
2	粉细砂	(20)	(30)	(0)	(25)	(20)	(0.38)	160
	粉质粘土	19.9	13	25.8	57	53	0.32	220
1	粉土	20.1	20.7	30.5	52	61	0.33	200
2	粉细砂	(20)	(30)	(0)	(30)	(25)	(0.40)	180
3	粘土	19	12.3	66	(28)	(22)	(0.50)	200
	圆砾	(20)	(38)	(0)	(60)	(45)	(0.25)	350
1	粉细砂	(20)	(30)	(0)	(40)	(35)	(0.45)	260
2	粉土	20.5			(35)	(30)	(0.40)	230
3	粉质粘土	20.1			(35)	(30)	(0.45)	240
	粉质粘土	20.2	7.2	57	(35)	(30)	(0.45)	260

该车站地下水主要为上层滞水和层间潜水,上层滞水主要为农田灌溉所致,无稳定性,层间潜水水位标高为 17.09~15m,含水层主要为圆砾层、粉细砂 1 层及其以下的砂、圆砾层中,由于层间潜水受大气降水影响较大,水位有一定的变化,变化幅度一般在 2~3m。

3 支护与监测方案

该车站盾构始发端头井采用 800mm@1200mm 钻孔灌注桩+630mm、 $t=12\text{mm}$ 钢管内支撑;南段、北端标准段采用 800mm@1400mm 钻孔

灌注桩+630mm、 $t=12\text{mm}$ 钢管内支撑;中间扩大站厅双层基坑段,地下二层采用 800mm@1400mm 钻孔灌注桩一桩一锚结构,地下一层西侧采用土钉墙进行支护,地下一层东侧采用 600mm@1200mm 钻孔灌注桩两桩一锚结构。桩顶做钢筋混凝土冠梁。冠梁顶设置 240mm 砖砌挡土墙,墙后土回填压实。

由于现行设计分析理论尚未达到成熟的阶段,积累完整准确的基坑开挖与支护监测结果,对于总结工程经验,完善设计分析理论都是十分宝贵的。本文通过监测得到桩体水平位移、钢支撑、锚杆体系的实际受力数据,通过分析围护结构沿深度、时间的

变化规律并利用反馈的信息,科学合理安排下一步的施工工序,使施工更加安全,工程质量更好,保证基坑支护结构和相邻建筑物的安全。

施工监测的任务是配合施工过程动态测量支护结构变形及受力的变化情况,把测量结果及时反馈于施工过程,以信息化技术指导基坑开挖和支护结构施工,保证基坑支护结构和相邻建筑物的安全,总

结施工经验,为完善设计提供依据。本工程根据实际情况监测项目为:(1)围护体水平位移共布置 13 个断面,共计 23 根测斜管;(2)支撑轴力共布置 9 个断面,共计 27 个轴力计;(3)锚索拉力共布置 5 个断面,共计 17 个锚索计;(4)桩体内力共布置 2 根桩,12 个断面,共计 24 个钢筋应力计。具体监测点布置平面、剖面示意图如图 1~图 3。

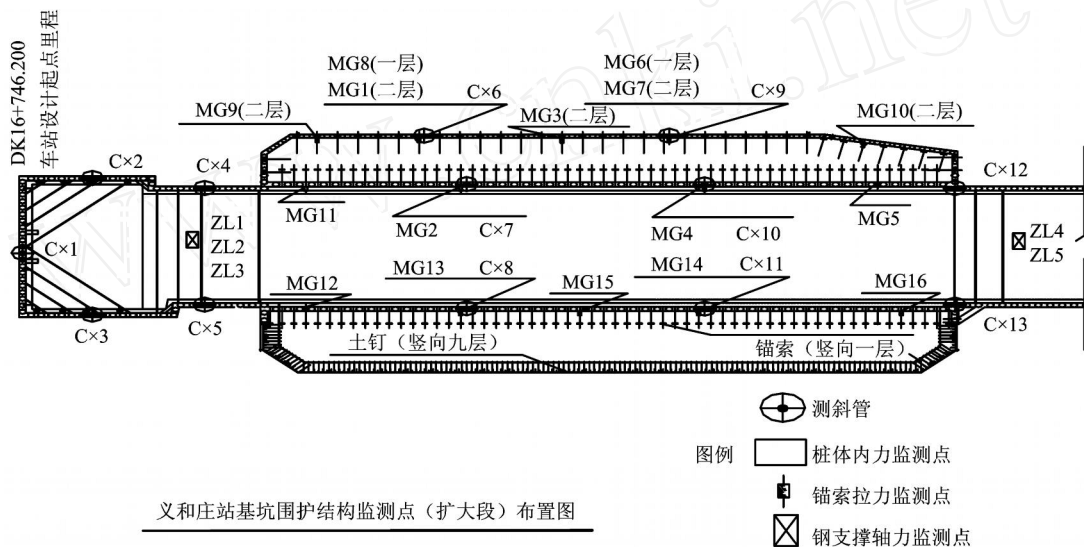


图 1 义和庄车站基坑围护结构监测点(扩大段)平面布置图

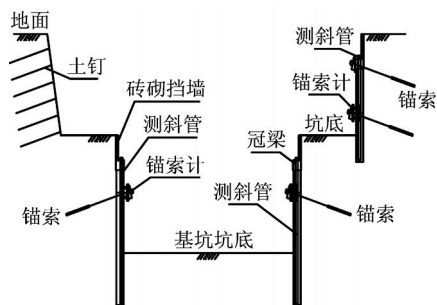


图 2 基坑扩大段监测点剖面图

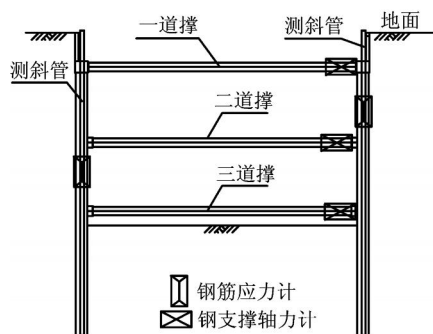


图 3 基坑标准段监测点剖面图

根据《北京地铁监控量测规范》可知,该基坑安全等级属于一级。根据规范要求,在基坑开挖期间,每 12h 观测一次;开挖完成后,1~7d 内每 12h 观测一次;开挖完 7~15d,每 1d 观测一次;开挖完 15~30d,每 3d 观测一次;开挖完 30d 以后,每 7d 观测一次。当变形超过有关标准或场地变化较大时,加密观测;当大雨、暴雨或基坑荷载条件改变时及时监测;当有危险事故征兆时连续观测。

4 监测结果与分析

为了很好的反映整个基坑的变形情况,采取在典型区域集中选取相关测试项目的原则,以达到各种测试结果、作用关系相互验证的目的。本文根据实际工程的特点及监测数据的完整性,选择基坑北段的盾构始发区的排桩+支撑断面与扩大段东侧排桩+锚索围断面作为研究对象,说明基坑围护结构在基坑开挖过程的位移变化情况。

基坑的开挖过程是基坑开挖侧土体卸荷的过

程,由于卸荷而引起坑内外土体原始应力状态的改变,作用在支护结构上的土压力使支护结构产生向基坑内的移动,即支护结构水平位移,同时坑外土体产生侧向滑移,引起地表开裂及垂直变形。其中维护结构水平位移是基坑工程变形控制设计的关键指标。图 4所示为排桩+内支撑围护结构桩 CX2不同开挖时刻变形沿深度分布曲线,由图可知,当基坑开挖较浅,如即 5m 时,基坑变形较小;随着基坑的继续开挖,如达到 10m 时,基坑位移已经较大,顶部在第一道钢支撑的作用下,曲线形状变为弓形,中间大,两头小。在深度 7.5m 处达到最大值 8.05mm;在第二道支撑的作用下,基坑开挖到 14m,坑底 16m 时,桩的位移在深度 8m、9.5m 达到最大值 9.58mm、13.38mm;在架设第三道钢支撑并继续开挖到浇注基础底板后监测发现基坑无较大变形,基坑变形趋于稳定。基坑开挖一个月后监测知在 10.5m 深度达到最大值 15.22mm,远远小于基坑设计值 25mm,表明 3道支撑及基础底板所组成的支护体系能较好地完成基坑围护工作。

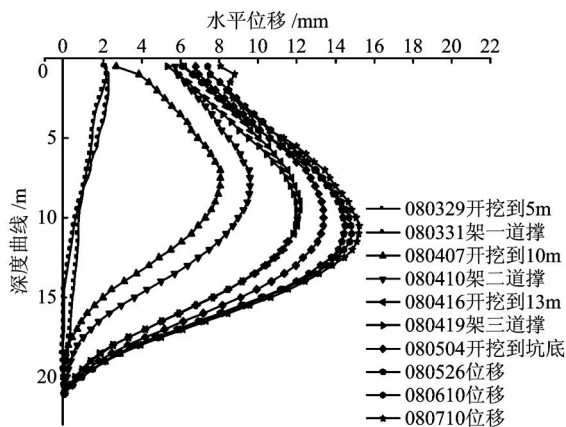


图 4 测斜 CX2 水平位移曲线

图 5 为基坑北段与排桩结构同一断面的钢支撑内力变化曲线,从图示结果可知,由于同一层其他钢支撑的预压及土体的回弹,三道钢支撑安装后内力均经历了快速增加,然后逐渐减小的过程;第一道支撑杆内力在第二道支撑安装之后继续开挖到第三道支撑位置时达到最大;第二道支撑变化较为复杂,在第三到支撑安装后迅速减小,随后在基坑开挖到坑底时达到其最大值;第三道支撑在完成预压及土体回弹后,随基坑开挖一直增大到其最大值,在坑底浇

注完底板后无较大变化。

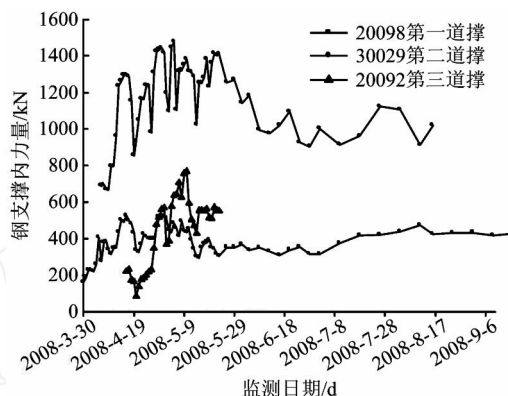


图 5 钢支撑内力变化曲线

图 6 为排桩+锚索围护结构桩 CX5 不同开挖时刻变形沿深度分布曲线,由图示结果可以看出,在基坑开挖较浅,如 5m 时,基坑开挖面以下桩体位移很小,部分呈现负值,即向坑外移动。在基坑开挖期间及锚索安装的整个过程中,基坑变形较小,随着基坑开挖深度增加及锚索锁定值的衰减,基坑变形增大。由于该处 3m 以上为回填素土,所以基坑位移较大,曲线形状为前倾形,最大位移均发生在桩顶部,最大值为 17.04mm;基坑深度 3m 至 6m 为第一道与第二道锚索之间,曲线基本呈直线形变化;6m 以下变形呈弓形,且随着中间部位土体开挖及锚索的锁定力损失弓形形状越来越明显,在深度 7.0m 达到最大值 11.66mm。

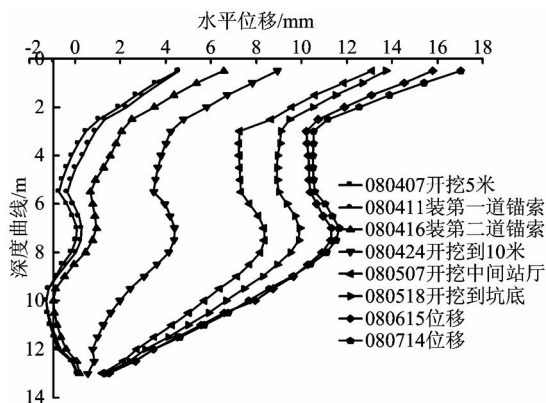


图 6 测斜 CX5 水平位移曲线

图 7 为基坑扩大段东侧与排桩同一断面的锚索内力变化曲线,从图示结果可见,在锚索张拉锁定

后,预加荷载开始衰减,初期衰减速度较快,后期衰减较慢。前期损失主要是由于锚具、锚索计和钢腰梁及排桩的接触面不严密引起的,后期损失则主要是由于土体蠕变引起的。在锚索值稳定后随着基坑的继续开挖,第一道锚索变化较小,第二道锚索受拉力较大,在坑底板浇注前达到其最大值,随后变迅速减小,变化较为平缓。

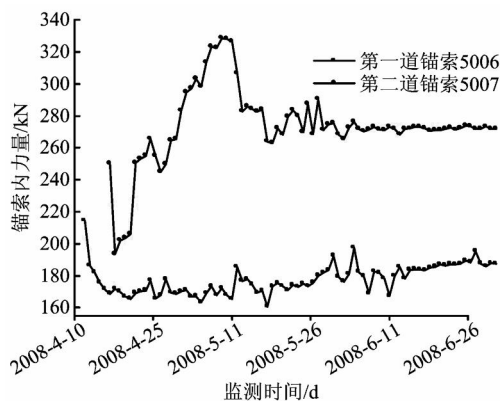


图7 锚索内力变化曲线

5 结论

本文以北京地铁义和庄站深基坑工程为例,对基坑的水平位移、钢支撑和锚杆的轴力变化规律进行了现场监测,并对结果进行了初步分析,主要结论包括:

(1)在基坑开挖过程中,基坑深度在到达钢支撑设计位置而未及时安装时,基坑水平位移变形及前一道钢支撑内力速率变化较大;且随着钢支撑的安装,基坑变形的速率逐渐减小,在某一开挖深度基坑变形不再发展,变形趋于稳定。

(2)在基坑开挖阶段,支撑轴力随基坑开挖深度增加而增加,且前一道支撑均在后一道支撑施加前轴力明显增加,在施加后内力迅速减小;支撑轴力最大值均易出现在基坑设计支撑架设前及架设后的土

方超挖阶段。因此,应尽量减少基坑开挖暴露时间,严格按设计方案开挖及架设内支撑。

(3)基坑开挖过程中,在围护桩之间施加预应力锚索,能够有效地遏制基坑变形的进一步发展。同时应注意锚索预应力损失问题并及时进行张拉锁定;测试研究表明本车站基坑的桩锚围护结构最大水平位移处现在桩顶部位置,而桩与钢支撑围护结构最大水平位移位置处于坑深高度 $2/3$ 位置。

(4)在基坑开挖过程中对基坑变形进行同步监测是基坑支护实现信息化施工的关键,也是基坑支护工程中不可忽视的一个重要环节,确保基坑监测满足规范要求,通过信息化施工监测预警对降低深大基坑工程施工风险具有重要意义。

参考文献

- [1] 龚晓南,高有潮.深基坑工程程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [2] 安关峰,宋二祥,高俊岳.广州地铁小谷围岛站基坑支护设计与监测分析[J].岩土力学,2006,27(2):317~322.
- AN Guan-feng, SONG Er-xiang, GAO Jun-yue. Foundation pit supporting design and supervision of Xiaoguweidao metro station in Guangzhou[J]. ROCK AND SOIL MECHANICS, 2006, 27(2): 317~322.
- [3] 夏才初.地下工程测试理论与监测技术[M].上海:同济大学出版社,1999.
- [4] 丁勇春,戴斌,王建华,等.某邻近地铁隧道深基坑施工监测分析[J].北京工业大学学报,2008,34(5):492~497.
- DING Yong-chun, DAIBin, WANG Jian-hua, et al. Field Observation of a Deep Excavation Adjacent to Subway Tunnels. JOURNAL OF BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2008, 34(5): 492~497.
- [5] Ou C Y, Liao J T, Lin H D. Performance of diaphragm wall constructed using top-down method[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1998, 124(9): 798~808.