

分层开挖支护基坑变形监测及影响因素分析

夏晋华¹, 岳鹏威²

(1. 郑州信息科技职业学院 环境工程系, 河南 郑州 450008;

2. 郑州航空工业管理学院 土木建筑工程学院, 河南 郑州 450015)

摘要: 为了得到基坑开挖导致支护结构的变形和土体的位移对周边环境的影响, 利用信息化施工技术对郑州某深基坑分层开挖与土钉墙联合支护施工过程中支护结构的水平位移及周边建筑物的沉降进行监测和分析。结果表明: 基坑坡顶产生的水平位移主要发生在开挖和支护阶段, 预应力锚杆对于控制基坑变形起关键作用; 基坑变形与土方分层开挖时间有直接关系, 土方开挖快, 位移速率大; 周边建筑物沉降与基坑壁水平位移有关联但不同步, 沉降滞后水平位移一周之后。

关键词: 深基坑; 分层开挖; 水平位移; 沉降; 监测

中图分类号: TU354

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2013)05—0022—05

Deformation Monitoring and Analysis of Influencing Factors for Stratified Excavating Foundation Pit

XIA Jin-hua¹, YUE Peng-wei²

(1. Department of Environmental Engineering, Zhengzhou Vocational College of Information and Technology, Zhengzhou, He'nan 450008, China; 2. School of Civil and Architectural Engineering, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou, He'nan 450015, China)

Abstract: In order to get the effect of the pit excavation support deformation and soil retaining structure displacement on the surrounding environment, the monitoring and analysis are made for the horizontal displacement of the supporting structure combined with pile anchor and soil nailing wall as well as the surrounding buildings' settlement of a deep foundation pit in Zhengzhou by using the information construction technology. The results show that the horizontal displacement from foundation pit slope mainly occurs in the excavating and supporting stage, and the prestressed anchor plays a key role to control the deformation of foundation pit; The deformation of foundation pit has direct relation with pit excavating time, so the faster the earthwork excavation, the larger is the displacement rate; The surrounding buildings' settlement and the horizontal displacement of foundation pit wall are related but not synchronous, and the settlement lags after the horizontal displacement for a week.

Keywords: deep excavation; stratified excavating; horizontal displacement; settlement; monitoring

由于岩土本身的复杂性、非线性以及土体的力学性质与参数很难把握, 工程计算中, 有关基坑工程的变形理论在解决实际工程问题时仍然有很大的局限性^[1-3]。支护结构变形导致周围土层的位移对周边建筑物影响的理论计算, 目前尚不能准确地得出结果^[4-7]。

在基坑工程实践中, 为了保证基坑支护结构与周边环境的安全, 大力发展信息化施工技术, 对支护

结构和周围建筑物进行变形监测, 采用理论导向, 量测定量和经验判断相结合的方法, 及时捕捉施工阶段的变形与位移的动态变化, 既是检验理论正确与否的有力依据, 又是创新与发展理论的重要手段^[8]。基于此, 以郑州某深基坑桩锚与土钉墙联合支护的施工过程为例, 对支护结构的水平位移和周边建筑物的沉降进行变形监测和详细分析, 探索基坑变形规律及影响因素, 为基坑工程安全施工提供科学的

依据。

1 工程概况

郑州某大厦位于郑州市金水路与兴亚路交叉口,主楼 27 层,裙房 6 层,2 层地下室,北部 2 层地下车库与主楼相连,主楼与裙楼基底埋深 9 m。基坑东侧紧邻兴亚路,且距市政管道较近,南临金水路,为郑州市主干道,交通繁忙,车流量大,西距一号楼 11 m,距二号楼 15 m,北侧距三号楼仅有 10 m。基坑面积 6 260 m²,周长 331 m,基坑平面及测点布置见图 1。

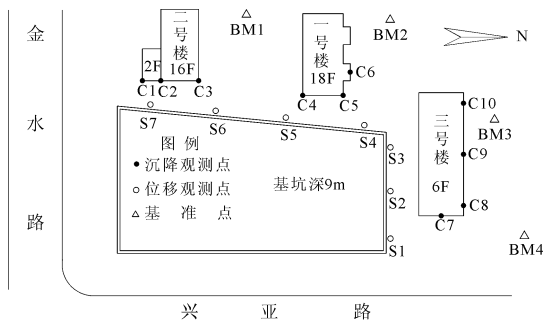


图 1 基坑平面及测点布置图

1.1 工程地质条件

根据地质勘察报告,场地内土层及参数见表 1。

1.2 基坑支护方案

基坑开挖深度 9 m,采用排桩预应力锚杆与土

钉墙联合支护型式(如图 2 所示)。下部 5 m 采用桩锚支护:钻孔灌注桩径 600 mm,桩长 10.7 m,桩距 1.2 m,主筋 13Φ20,箍筋 φ8@200(螺旋),混凝土强度等级 C25,桩顶标高 -4.0 m;桩间采用喷射混凝土处理,冠梁截面 700 mm×600 mm,主筋 12Φ16,箍筋 φ8@200,混凝土强度 C25;锚杆 2 排,采用 Φ28 钢筋,水平间距 2.4 m,竖向间距 2.0 m,锚杆总长 15 m,自由段 5 m,锚固段 10 m,孔径 150 mm,倾角 15°,注浆体(二次注浆)强度 M15;腰梁采用 20# 槽钢,预应力锁定值 60 kN。上部 4 m 采用土钉墙支护型式:土钉水平间距 1.3 m,竖向间距 1.3 m,长度 6 m,孔径 100 mm,倾角 5°,注浆体强度 M10;土钉钢筋 Φ20,加强钢筋采用 Φ12,菱形布置,网筋采用 φ6,间距双向 250;护顶外延 0.8 m,混凝土厚度 70 mm,强度等级 C20。

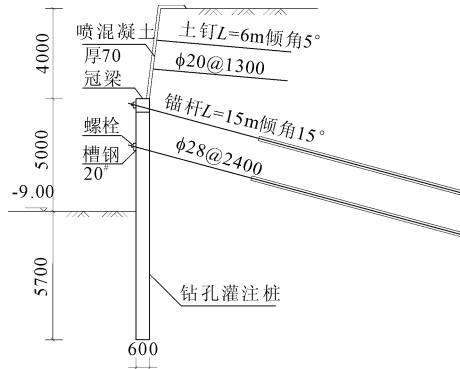


图 2 基坑支护剖面

表 1 基坑土层参数

土层	土类型	厚度 /m	重度 /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	压缩模量 /MPa	粘聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)	泊松比
1	填土	5.0	18.70	3.5	14.4	19.5	0.25
2	粉土	2.0	19.40	5.5	16.3	17.5	0.25
3	粉砂	3.7	19.60	19.5	16.0	22.0	0.23
4	粉土	1.8	19.80	7.5	14.0	23.0	0.25
5	粉砂	6.1	20.20	21.0	13.0	25.0	0.24
6	粉砂	5.4	20.20	7.0	17.0	22.0	0.24
7	粉土	3.2	19.30	26.0	18.0	23.0	0.23
8	中砂	7.2	20.10	31.0	13.0	24.0	0.21
9	粉砂	6.2	20.00	13.0	28.0	19.5	0.30

2 基坑施工与监测方案

2.1 基坑工程施工

由于基坑面积较大,土方开挖与基坑支护分期分层施工,首先进行第一层、第二层土方大开挖和土钉墙支护,然后分层开挖北区土方,待北区基础底板施工完毕后再施工南区,基坑施工顺序如下:

平整场地→放开挖轮廓线→挖第一层土→土钉墙支护→开挖第二层土→土钉墙支护→支护桩顶冠梁施工→挖北区第三层土→北区第一层预应力锚杆施工→挖北区第四层土→北区第二层预应力锚杆施工→挖北区第五层土→挖北区第六层土→北区基坑桩间混凝土止水帷幕施工→北区基础混凝土垫层施工→挖南区第三层土→南区第一层预应力锚杆施工

→挖南区第四层土→南区第二层预应力锚杆施工→挖南区第五层土→挖南区第六层土→南区基坑桩间混凝土止水帷幕施工→南区基础混凝土垫层施工→地下室结构施工→地下室后浇带施工→地下室外墙防水层施工→回填土。

根据施工组织设计,第一层土开挖 2.7 m,以后每层开挖深度 1.30 m,为了避免机械开挖对原土的扰动,基底最后留 300 mm 厚土由人工开挖清土,开挖步骤见表 2。

表 2 基坑开挖步骤

工况	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	第六层
开挖标高/m	-2.7	-4.0	-5.3	-6.6	-7.9	-9.0
北区开挖时间(月-日)	03-20	03-25	03-29	04-05	04-09	04-14
南区开挖时间(月-日)	03-20	03-25	04-23	04-26	04-29	05-02

2.2 监测方案

为了确保基坑施工过程中的安全以及对周边建筑物的保护,及时发现事故前兆,避免支护结构的过量变形带来的安全事故,根据现行国家规范^[9-12]及工程具体条件,对基坑坡顶的水平位移以及周边建

筑物的沉降进行监测,施工期间在基坑西侧和北侧设 7 个水平位移观测点,在基坑周边建筑物上布置了 10 个沉降观测点,监测项目、测点布置原则、监测频率及仪器见表 3。

表 3 基坑监测项目及频率

监测项目	测点布置	监测周期	监测频率	监测仪器
建筑物沉降/mm	在建筑物角部或端部布置,一号楼、二号楼各 3 个,三号楼 4 个。	基坑施工期间	基坑开挖期间每 1~2 d 观测一次,基底垫层施工完成后每周观测一次,基础底板浇筑完成后每半月观测一次。	精密水准仪、钢钢水准尺。
坡顶位移/mm	基坑西侧布置 4 个,北侧布置 3 个,监测点间距 20 m。	基坑施工期间	基坑开挖阶段每天一次,底板施工完成后 2 d 一次,监测数据较稳定时 3 d 一次。	全站仪、钢尺。

3 监测结果及影响因素分析

3.1 水平位移

水平观测点采用钢筋预埋在土钉墙顶混凝土中,采用三角测量法观测,从 4 月 2 日到 7 月 8 日共进行监测 61 次,监测频率在基坑开挖阶段每天一次,底板施工完成后 2 d/次,监测数据较稳定时 3 d/次,特殊情况下增加监测次数。报警标准:水平位移速率达到 5.0 mm/d 或者累计位移达到 30 mm。观测结果见图 3、图 4。

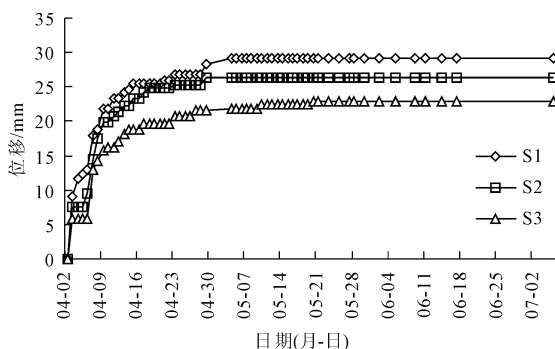


图 3 S1~S3 水平位移曲线图

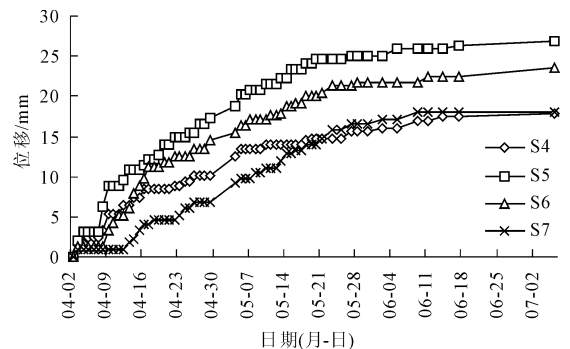


图 4 S4~S7 水平位移曲线图

(1) 基坑土方 3 月 20 日开挖,水平位移 4 月 2 日开始观测,4 月 3 日北区完成第三层土方开挖后,基坑北侧的 3 个监测点 S1、S2 与 S3 位移量为 9 mm、7.5 mm 和 5.9 mm,西侧的 4 个监测点 S4、S5、S6 与 S7 仅为 1.6 mm、2 mm、1.3 mm 和 1 mm,因为北区土方开挖后出现了较大的临空面,基坑外侧的主动土压力使 S1、S2 与 S3 向基坑内侧发生较大的位移,而 S4 由于基坑角隅的影响,位移量较小,仅 1 mm, S5 在基坑西侧中部,位移量稍大,此时南区土方尚未开挖第三层,故 S6 与 S7 位移都比较小。

(2) 4月7日北区第四层土开挖结束,S1、S2、S3监测数据急剧变大,累计位移分别为18 mm、14.5 mm、12.9 mm,位移速率均达到报警标准5.0 mm/d,采取应急措施立即对支护桩上锚杆施加预应力,监测数据呈现收敛,由此可见预应力锚杆对于控制基坑支护结构水平位移起关键作用。西侧4个监测点由于南区下部土方尚未开挖,位移量小,位移曲线平缓。4月16日北区第六层土开挖完毕,各测点位移量均在正常范围,没有出现险情,S1~S7累计位移为25.4 mm、23.3 mm、18.7 mm、8.4 mm、11.4 mm、9.7 mm、4.1 mm,S1位移最大,原因是该测点北8 m左右堆放有砂石等建筑材料,地面超载导致基坑外侧土压力过大,造成基坑壁向内位移也大,由于基坑中部比角部变形大,故S2、S5、S6比S3、S4位移量大,可见基坑变形的空间效应和角隅影响相当明显。

(3) 南区第三层土方开挖时间是4月23日,第六层土方开挖时间是5月2日,在此期间,北侧各测点位移没有增加,西侧各测点位移速率缓慢,图4中S4、S5、S6、S7曲线发展平缓,原因是南区土方开挖与基坑支护比北区晚,基坑壁临空时间短,所以位移较小。基底垫层的浇筑对基坑变形有明显的影响,4月22日北部垫层浇筑完毕后,基坑北侧墙顶水平位移速率减缓,每天观测的位移不到1 mm,到5月7日进行地下室主体施工时,S1、S2、S3累计位移量为29.1 mm、26.3 mm、21.9 mm,位移已基本稳定,数据证明基坑的变形主要在开挖与支护阶段。

3.2 建筑物沉降

施工期间在基坑西侧与北侧3栋住宅楼上布置了10个沉降观测点,用直径16 mm的膨胀螺丝制作,电锤成孔牢固植入建筑物墙体内,要求上方无障碍物,不影响水准尺放置。使用DZS2型水准仪,配合钢瓦钢尺,按测微水准测量方法施测。观测频率在基坑开挖期间每1~2 d观测一次,基底垫层施工完成后每周观测一次,基础底板浇筑完成后每半月观测一次,沉降曲线图见图5~图7。

(1) 建筑物沉降观测从3月20日开始到11月5日结束,共观测41次,3月24日第一层土方开挖结束时,3栋住宅楼测点C1~C10沉降量都很小,最大沉降点C10为0.16 mm,最小沉降点C2仅0.04 mm,因为此时土方开挖深度尚未超过建筑物基础深度,建筑物基础下部地基土未受到扰动,微量的沉降可能是施工降水引起的。3月28日第二层土方开挖后,基坑深度已超过了3栋住宅楼基础深度,各观测点沉降量开始变大,最大沉降点C6为1.48 mm,最小

沉降点C7、C8也达到0.44 mm,从图5~图7中可以看出各测点沉降曲线斜率变大,可见基坑开挖引起周边建筑物的较大沉降是在土方开挖深度超过所影响建筑物的基础深度以后。

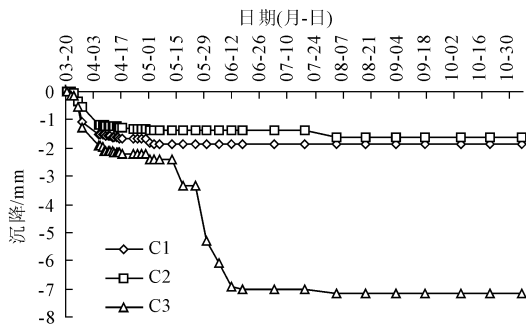


图5 C1~C3沉降曲线图

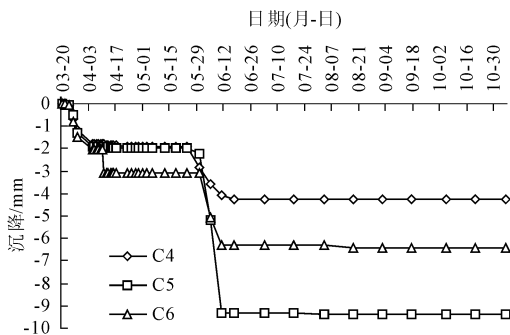


图6 C4~C6沉降曲线图

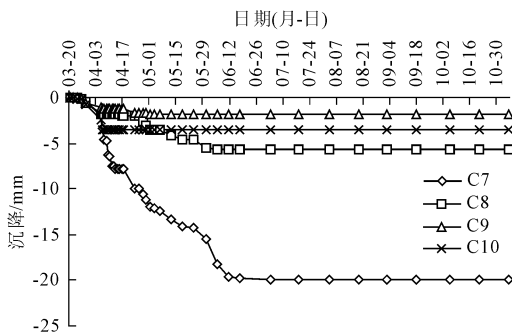


图7 C7~C10沉降曲线图

(2) 图5~图7显示:二号楼C3测点、一号楼C5测点以及三号楼C7测点累计沉降量最大,6月17日沉降值分别达到7.04 mm、6.32 mm、19.73 mm,沉降发展最大时间在5月15日至6月17日,此期间基坑开挖已完成多日,正在施工地下室主体。可见基坑周边建筑物沉降明显滞后于基坑壁水平位移,数据显示在一周之后,而且沉降和水平位移有关联性,在支护结构产生位移大的对应部位,建筑物沉降也较大。由基坑变形和地层损失理论可知,当开挖深度较大且土质软弱时,基坑周围土体从围护墙外围向坑内和坑底移动,使围护墙后地表产生地层沉

降,这是导致周边建筑物和地表沉降的主要原因。

(3) 距基坑距离不同建筑沉降差别比较大,基坑北侧三号楼距基坑最近,仅有 10 m,数据显示该建筑物上各测点沉降值也大,最大沉降点 C7 最终沉降量达到 20.01 mm,其次是西侧一号楼,距基坑 11 m,其最大沉降点是 C5,最终沉降量为 9.4 mm,最远的二号楼距离基坑 15 m,3 个观测点的沉降量也比较小,其最大沉降点 C3 最终沉降量仅 7.17 mm,最小沉降点 C2 最终沉降量只有 1.6 mm。因为基坑开挖后,基坑及周围土体的应力场发生变化,随着基坑内土体自重应力的释放,土体原结构平衡遭到破坏,地基土在原有荷载作用下产生新的沉降。距支护结构越远土体受扰动越小,土体将保持相对较好的整体稳定性,因此离基坑越近,建筑物越容易产生更大的沉降。

(4) 同一建筑物不同部位产生的沉降不均匀,图 5~图 7 中,一号楼 C5、二号楼 C3、三号楼 C7 比其它测点沉降量大很多,并且 3 个沉降量较大的测点都在建筑物的角部或端部。通过对 3 栋楼最大与最小沉降差对比:一号楼为 5.57 mm,二号楼为 5.15 mm,三号楼为 18.1 mm。经查阅资料:一号楼为 16 层住宅楼,1 层地下室,静压桩,二号楼为 18 层住宅楼,1 层地下室 CFG 桩复合地基,两楼都是箱形基础,剪力墙结构,抵抗变形的能力强。三号楼是 6 层砖混结构,钢筋混凝土条形浅基础,天然地基,因此产生的不均匀沉降比 1 号楼和 2 号楼大的多。可见原有建筑的基础形式、结构、高度、刚度是不均匀沉降的主要影响因素,由于建筑物角部和端部受复杂荷载与多种因素影响,所以角部与端部沉降最大。

3.3 监测综合评价

(1) 从 3 月 20 日首次观测到 11 月 5 日末次观测以来,观测点水平位移最大值为 29.1 mm,建筑物沉降最大值为 21.01 mm,均未超过变形控制值(30 mm)。

(2) 最大局部倾斜(根据三号楼 C7 与 C8 计算)为 0.00142,小于国家《建筑地基基础设计规范》^[12]砌体承重结构局部倾斜规定标准(中、低压缩土小于 0.002),最后 3 次沉降观测单点最大沉降量、最大沉降速率均为 0,达到国家规定沉降稳定标准(小于 0.01 mm/d~0.04 mm/d)。

(3) 当监测数据出现异常,S1、S2、S3 测点位移速率超过控制值时,迅速发出预警通报,有步骤地采取应急措施及处理方案,及时排除险情,并通过跟踪

监测来检验处理后效果,从而确保后续工程的安全。变形控制标准与监测最大值对比见表 4。

表 4 变形控制值与监测值对比表

量测项目	墙顶最大位移/mm	建筑物最大沉降/mm	最大变形速率/(mm·d ⁻¹)	最大局部倾斜
控制值	30.0	30.00	5	0.00200
监测值	29.1	20.01	7	0.00142

4 结 论

(1) 基坑坡顶产生的水平位移主要出现在基坑开挖与支护阶段,预应力锚杆对于限制水平位移起关键作用;围护结构的变形与基坑土方分层开挖的时间和速度有直接关系,土方开挖快,位移速率大,暴露时间长,基坑变形大;受空间效应和角隅影响,中部位移量大,角部位移小;基底垫层浇筑后,位移速率减缓,在进行地下室主体施工时位移趋于稳定。因此,支护结构完成后,合理安排基础和地下室施工进度有利于控制基坑变形。

(2) 周边建筑物沉降与基坑的水平位移有关联但不同步,距基坑壁水平位移大的部位愈近,建筑物产生的沉降也越大,且沉降滞后水平位移发生一周之后;沉降量最大点在建筑物的角部或端部,距离基坑愈近,建筑物沉降愈大。对于周边环境复杂的基坑工程,要合理选择基坑设计及施工方案,控制基坑变形,保证周边环境安全。

(3) 基坑工程利用信息化施工,根据监测结果及时反馈信息,根据预警采取应急措施,避免基坑事故发生。

参考文献:

- [1] 沈恺伦.土钉加排桩复合围护结构的共同作用分析[J].岩石力学与工程学报,2007,26(1):169-174.
- [2] 唐孟雄,陈如桂,陈伟.深基坑工程变形控制[M].北京:中国建筑工业出版社,2006:5-27.
- [3] 丁勇春,王建华,徐中华,等.上海软土地区某深基坑施工监测分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2007,39(3):333-338,344.
- [4] 杨林松.基坑施工引起坑周土体应力与位移场变化特征研究[D].上海:同济大学,2007.
- [5] 朱合华,杨林德,桥本正.深基坑工程动态施工反演分析与变形预报[J].岩土工程学报,1998,20(4):30-35.
- [6] 李忠,朱彦鹏.框架预应力锚杆边坡支护结构稳定性计算方法及其工程应用[J].岩石力学与工程学报,2005:24(21):3922-3926.