

内支撑基坑支护体系施工过程的监测及分析

戚庆学, 彭波, 董宜辉

(山东正元建设工程有限责任公司, 山东 济南 250101)

摘要:河南省人民医院新建病房楼基坑采用两道钢筋混凝土内支撑。通过基坑支护桩深层水平位移、支撑轴力、地面沉降、周边建筑物沉降的监测,对各工况下的监测结果进行了分析,找出了各工况对基坑变形的影响因素及规律性,得到一些有益结论,为以后类似工程施工提供经验与借鉴作用。

关键词:基坑支护;内支撑;深层水平位移;支撑轴力;地面沉降;监测

中图分类号:TU473 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)10-0068-06

Monitoring on Construction Process of Internal Bracing Support System for Foundation Pit and the Analysis/QI Qing-xue, PENG-bo, DONG Yi-hui (Shandong Zhengyuan Construction Engineering Co., Ltd., Jinan Shandong 250101, China)

Abstract: The internal bracing with two reinforced concrete lines was used in the foundation pit of a new ward building in Henan Province. The monitoring was made on the deep horizontal displacement of foundation pit retaining pile, strut axial force, ground subsidence and the settlement of surrounding buildings, the monitoring results under all the conditions were analyzed to find out the factors affecting the deformation of foundation pit and the regularity under different conditions, some instructive conclusions are obtained, which could be the reference to the similar engineering construction.

Key words: foundation pit support; internal bracing; deep horizontal displacement; strut axial force; ground subsidence; monitoring

1 工程概况

河南省人民医院新建病房楼建筑总高度 90.60 m,地下 2 层,地上 23 层,建筑面积约 11.86 万 m²。基坑东西长约 144.00 m,南北宽约 77.00 m,总面积约 11000 m²,地面相对标高为 -1.60 m,平均开挖深度 14.20 m,局部开挖深度 16.50 m。

基坑周边环境如图 1 所示。东侧支护内边线距食堂及洗理部约 2.80 m。南侧支护内边线距已建病房楼约 2.70~8.40 m,该建筑物 22 层,静压方桩基础,筏板基础埋深 7.30 m。西侧支护内边线距污水处理站约 13.70 m,污水池满载情况下荷载约 40000 kN。西北角支护内边线距 11 层省眼科研究所约 9.7 m。基坑北侧支护内边线距 5 号 4 层病房楼约 9.00 m。基坑的东侧、西侧、北侧均分布大量的地下管线。周边无放坡空间。

基坑采用支护桩加两道钢筋混凝土内支撑支护,双排 Ø600 mm 单管法高压旋喷桩或单(双)排 Ø1000 mm 三管法高压旋喷桩截水,基坑支护剖面如图 2 所示。

基坑所涉及的土层物理力学参数如表 1 所示。

地下水位在地面以下 2.00~3.00 m,平均 2.50 m。

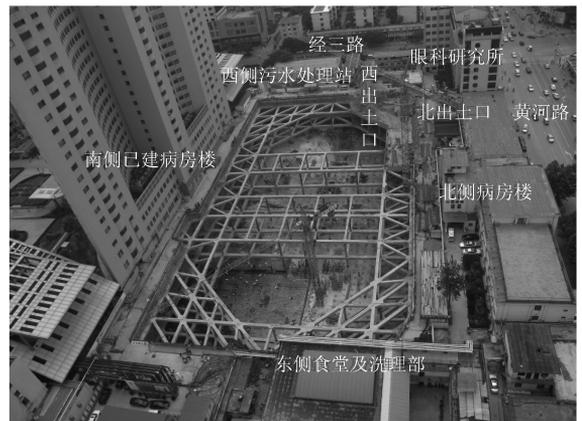


图 1 基坑周边环境图

2 监测方案

黄河冲积平原区粉土对水及振动的敏感性较高,不利于基坑开挖中的变形控制。根据《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497-2009),针对基坑环境的复杂性及地质特征,为保证基坑开挖及结构施工安全,达到动态设计与信息化施工的目的,布置了基坑内深层水平位移及支撑轴力等监测点,如图 3。

收稿日期:2013-04-07

作者简介:戚庆学(1972),男(汉族),山东临沂人,山东正元建设工程有限责任公司高级工程师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计与施工工作,山东省临沂市蒙山大道 107 号,qiqingx@163.com。

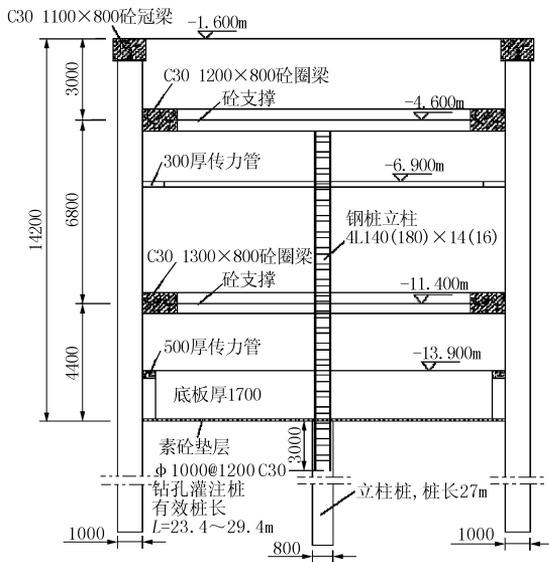


图 2 基坑支护剖面

基坑开挖中,5 m 以浅深度监测频率 1 次/2 d,5 ~ 10 m 深度监测频率 1 次/d,10 m 以深监测频率 2 次/d;底板浇筑后 7 天内及支撑爆破拆除前后 7 天内,监测频率 2 次/d,特殊情况,适时调整监测频率。

3 各工况监测结果分析

基坑开挖及支撑施工分区域进行,分别为东南角撑、东北角撑、南部对撑、北部对撑、西南角撑、西北角撑(栈桥)区域;每层支撑拆除分 2 次爆破,东南、东北角撑第一次爆破,其余各区第二次爆破。基坑工程施工总体进程时间如表 2。

3.1 深层水平位移

J2 点位于基坑北部对撑处,紧临 5 号病房楼(北侧),开挖深度 16.5 m;J6 点位于基坑东侧角撑支撑处,紧临东侧医院食堂及洗理部,为变形控制重

表 1 土层物理力学参数表

土层编号	土层名称	埋深 /m	层厚 /m	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	三轴压缩固结不排水		三轴压缩不固结不排水	
					内摩擦角/($^{\circ}$)	粘聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	粘聚力/kPa
①	杂填土	1.5	1.5	18.5				
②	粉土	3.3	1.8	19.6			13.6	9.7
③	粉土	6.3	3.0	19.9	16.61	8.00	13.5	8.6
④	粉土	7.8	1.5	19.9	13.83	9.96	13.3	8.3
⑤	粉土	10.9	3.1	19.8	13.83	10.11	14.2	9.8
⑥	粉土	12.4	1.5	19.4	14.91	10.22	13.6	8.9
⑦	粉土	15.4	3.0	19.4	14.00	11.03	13.9	10.9
⑧	粉质粘土	16.2	0.8	18.9	15.06	16.79	14.8	16.3
⑧ ₁	粉砂	17.2	1.0	18.9				
⑧	粉质粘土	18.7	1.5	18.9				
⑨	粉砂	22.2	3.5	20				
⑩	细砂	29.2	7.0	20				
⑪	粉质粘土	34.2	5.0	20				

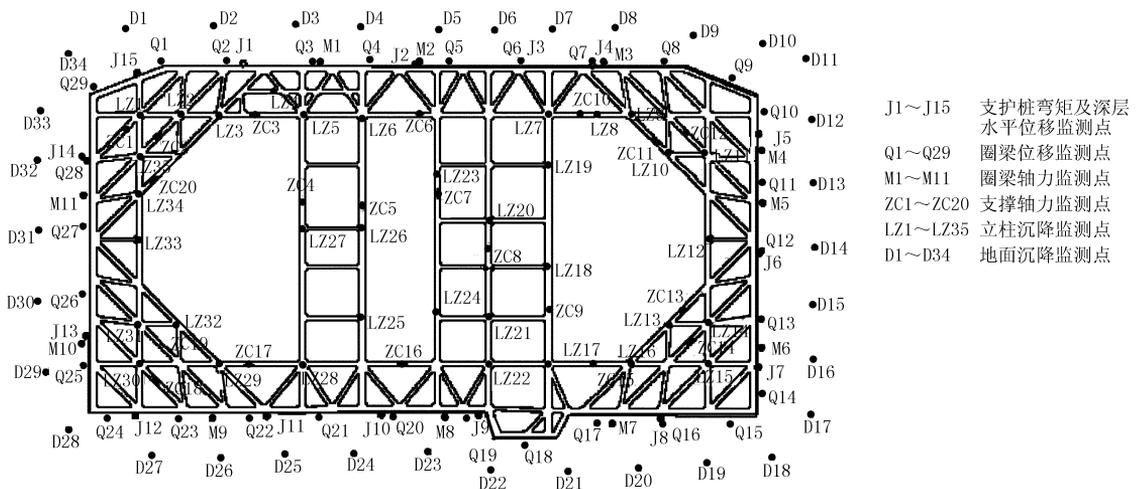


图 3 基坑内监测点布置图

点,故选择 J2、J6 点作为代表点。

3.1.1 第一道支撑施工前后

第一道支撑中心标高 -4.6 m,土方开挖深度 3.0 m。J2 点处 3 月 11 日完成土方开挖,3 月 17 日

表2 基坑工程施工总体进程时间表

施工阶段	施工进度
土方开挖及第一道支撑	2009年3月18日完成本层土方开挖,3月25日完成本层支撑施工
土方开挖及第二道支撑	2009年4月30日完成本层土方开挖,5月18日完成本层支撑施工
开挖至坑底及底板施工	2009年7月5日完成全部土方开挖,8月20日前完成除西北角外的其他区域底板浇筑,8月30日完成西北角底板浇筑
第二道支撑爆破拆除	2009年8月26日东侧爆破,9月5日西侧爆破
第一道支撑爆破拆除	2009年10月30日东侧爆破,11月6日西侧爆破

支撑浇筑完毕。J6点处3月16完成土方开挖,3月21日支撑浇筑完毕。J2点、J6点土方开挖结束时、加撑前、加撑后位移对比如图4所示。

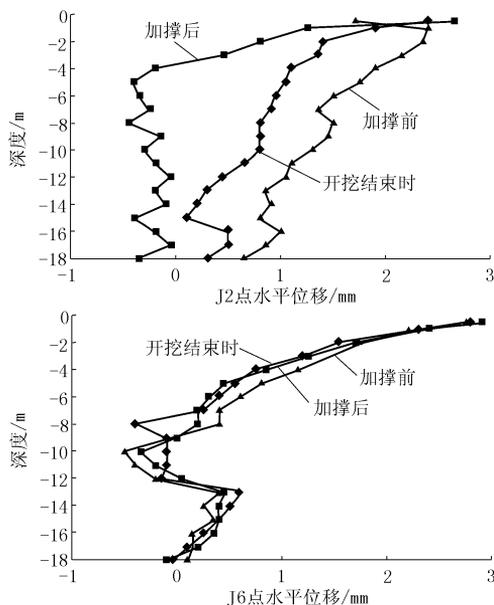


图4 第一道支撑施工前后位移对比如

J2、J6点在开挖至3.0 m后,位移变化值较小,从支护桩顶到开挖面迅速减小。开挖完成后至支撑施工完毕期间,位移略有增加,支撑施工并起作用后,位移稳定或略有减小,且至下层土方开挖前,位移无明显变化。

3.1.2 第二道支撑施工前后

第二道支撑中心标高-11.4 m,土方开挖深度10.2 m。J2点处4月13日土方开挖深度至7.0 m,4月18日土方开挖完成开始支撑施工,4月24日支撑浇筑完毕。J6点处4月5日土方开挖至7.0 m,4月11日土方开挖完成开始支撑施工,4月20日支撑浇筑完毕。J2点、J6点土方开挖至7.0 m、土方开挖结束、加撑前、加撑后等工况位移对比如图5所示。

J2、J6点在开挖至7.0 m时,位移变化值较小,

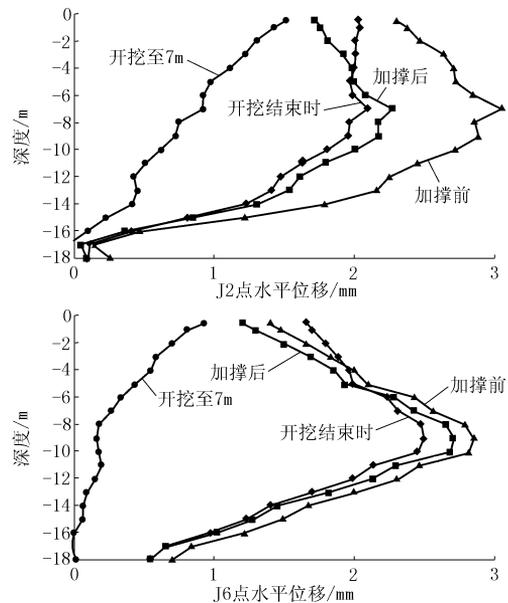


图5 第二道支撑施工前后位移对比如

从支护桩顶到开挖面迅速减小。在开挖至深度10.2 m时,J2点位移从7.0 m的4.65 mm增加到10.5 mm,增量为5.85 mm;J6点位移从7.0 m的3.65 mm增加到16.6 mm,增量为12.95 mm。J6点位移增量较大的原因是由于J6点土方开挖至7.0 m后,为缩短工期,未分层开挖,连续开挖7.0~10.2 m范围内土方,导致基坑外土压力短期内急剧释放,以至位移增量为采用分层开挖J2点的2.21倍,由此可见,采用分层开挖控制位移迅速变化的必要性。

J2、J6点在开挖至10.2 m后,位移从支护桩顶至开挖面接近弧线形递增后递减,J2点位移最大值出现在7.0 m左右,J6点位移最大值出现在9.0 m左右,两者深度相差2.0 m,所以合理控制土方的开挖速度能减缓最大位移面的下移速度。

支撑施工后,J2点位移减小明显,J6点位移变化不大,在下层土方开挖前,两点位移变化量较小。J2点在3.0~10.2 m深度土方开挖中位移增量占施加支撑前总位移的51%,在支撑施工中位移增量占施工支撑前总位移的31%。由此可以看出:支撑的施加对支护桩的位移有显著的约束作用,土方开挖后,需尽快完成支撑施工,控制位移的发展。

3.1.3 底板施工前后

J2点5月23日开挖至14.2 m,6月8日开挖至16.5 m。J6点5月21日开挖至14.2 m。J2点、J6点土方开挖至14.2、16.5 m及底板施工前后各工况位移对比如图6所示。

J2点开挖至14.2 m时,最大位移相对于开挖至10.2 m时增加值为7.1 mm,开挖至16.5 m时,

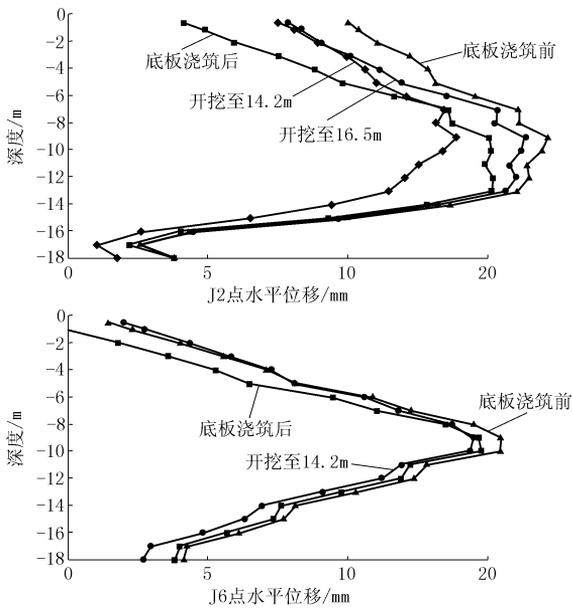


图 6 底板施工前后位移对比图

最大位移相对于开挖至 10.2 m 时增加值为 10.4 mm, 增量为 80%。J6 点开挖至 14.2 m 时, 最大位移相对于开挖至 10.2 m 时仅增加 1.3 mm, 但浅部位移明显减小。

J2、J6 点在开挖至坑底后, 从支护桩顶至开挖面, 位移快速增加后, 又快速减小, J2 点位移最大值出现在 9.0 m 左右, J6 点位移最大值出现在 10.0 m 左右, 最大位移面随开挖深度的增加逐渐下移。

底板浇筑后, 各点的位移变化在 1~2 天内趋于稳定。

3.1.4 第二道支撑爆破拆除

因施工任务重、工期压力大, 经反复论证, 在西北角底板未浇筑的情况经试爆, 第二道支撑分为 2 部分进行爆破拆除, 东侧南北角撑(J6 点)于 8 月 26 日实施爆破; 中段对撑(J2 点)及西侧南北角撑于 9 月 5 日实施爆破。第二道支撑爆破前后最大位移-时间变化如图 7 所示。

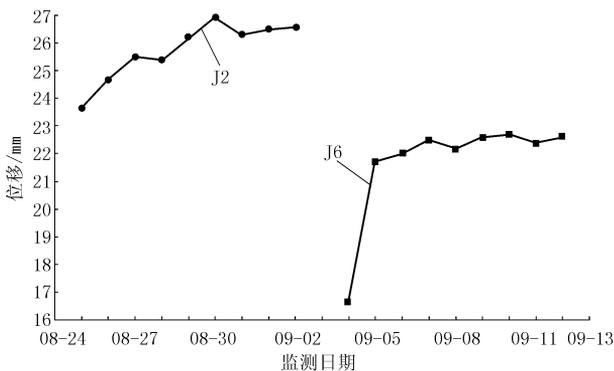


图 7 第二道支撑爆破前后最大位移-时间变化图

J2 点位移最大值出现在 8 月 30 日, 深度 9.0 m 处, 受爆破影响, 位移增量为 3.3 mm。J6 点位移最大值出现在 9 月 10 日, 深度 9.0 m 处, 受爆破影响, 位移增量为 6.05 mm, 且受爆破影响位移的突然增量较大。实施爆破后 4~6 天内, 包括 J2、J6 在内的各监测点位移变化基本稳定。

3.1.5 第一道支撑爆破拆除

第一道支撑东侧南北角撑(J6 点)于 10 月 30 日实施爆破; 中段对撑(J2 点)及西侧南北角撑于 11 月 6 日实施爆破。第一道支撑爆破前后最大位移-时间变化如图 8。

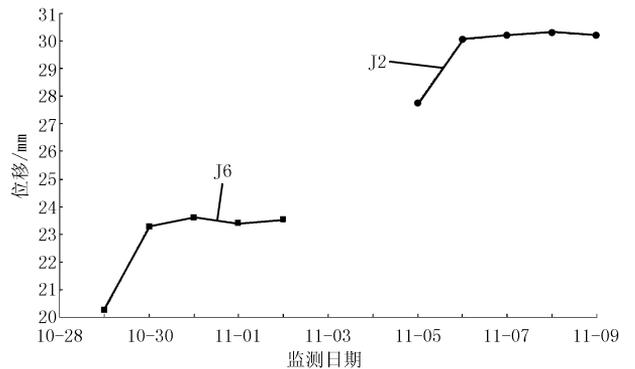


图 8 第一道支撑爆破前后最大位移-时间变化图

J2 点位移最大值出现在 10 月 31 日, 深度 9.0 m 处, 受爆破影响, 位移增量为 2.45 mm。J6 点位移最大值出现在 11 月 8 日, 深度 9.0 m 处, 受爆破影响, 位移增量为 3.25 mm。爆破后, 各监测点位移 1~2 天内达到最大值, 且变化趋于稳定。

对比第一道、第二道支撑爆破拆除时各点监测情况可以看出: 第二道支撑爆破后最大位移突然增量超过第一道爆破后最大位移突然增量 34%~110%, 且变化稳定时间多于第一道支撑变化稳定时间约 4~5 天。

经分析全部深层水平位移监测点的位移变化, 发现拐角处位移较小, 存在明显的空间效应。同时发现南侧深层位移最大值比东、西、北三侧深层位移最大值小 5.7~11.31 mm, 初步分析, 南侧已建病房楼为静压方桩+筏板基础, 且地下 7.0 m 范围内存在众多障碍物, 支护桩充盈数达到 1.41, 相当于增加了支护桩宽度, 有效地限制了基坑变形。

3.2 支撑轴力

3.2.1 支撑轴力的变化过程

支撑的轴力监测共设置 20 个点, 监测时段是从支撑混凝土梁强度达到设计强度的 75% 到拆除支撑梁。下面选择 3 月 22 日~10 月 7 日第一道、第

二道支撑的 ZC7 点的轴力变化进行分析。

从图 9 可以看出,两道支撑的轴力随土方的开挖总体呈增大的趋势,第二道支撑下土方开挖后,第二道支撑轴力迅速增加,第一道支撑轴力缓慢增加。7月25日 ZC7 点处底板施工后,第一道、第二道支撑轴力很快稳定,且第二道支撑轴力在底板施工前后达到最大值。9月5日,在爆破拆除第二道支撑后,第一道支撑轴力有 600 kN 的突变,达到最大值后,很快稳定。

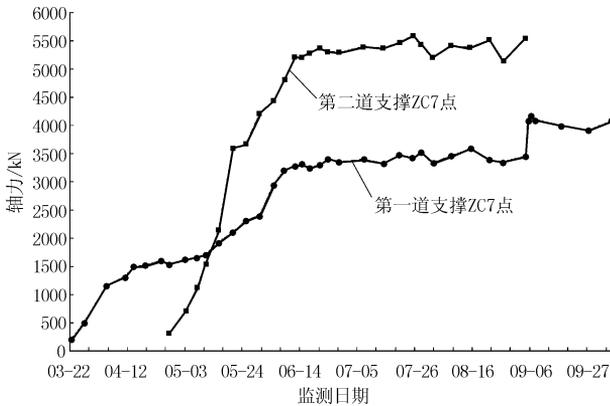


图9 第一道、第二道支撑轴力变化对比图

轴力变化与深层水平位移变化对比后,可看出:轴力变化与深层水平位移变化成对应正比的关系。

3.2.2 实测轴力与设计轴力的对比

第一道支撑、第二道支撑均选取 8 个点做实测轴力与设计轴力的对比分析,见表 3、表 4。

表3 第一道支撑轴力实测值与设计值对比

点号	位置	第一道支撑轴力 实测最大值/kN	第一道支撑轴 力设计值/kN	轴力最大值占设 计值百分比/%
ZC1	栈桥角撑	2235	2796	79.94
ZC4	对撑	4831	5533	87.31
ZC7	对撑	4160	5200	80.00
ZC8	对撑	4210	4780	88.08
ZC1	角撑	3156	4133	76.36
ZC14	角撑	2009	2586	77.69
ZC16	桁架	4008	4587	87.38
ZC19	角撑	3278	4434	73.93
平均值				81.33

由表 3、表 4 可以看出,第一道、第二道支撑轴力最大值均未超过设计值,且从总体来看,支撑轴力实测值相对于设计值来说在相对安全的范围内。从监测点的位置来看,第一道角撑最大轴力占设计值百分比平均值为 76.98%,对撑和桁架最大轴力占设计值百分比平均值为 85.69%;第二道角撑最大轴力占设计值百分比平均值为 83.72%,对撑和桁架最大轴力占设计值百分比平均值为 90.36%。

表4 第二道支撑轴力实测值与设计值对比

点号	位置	第一道支撑轴力 实测最大值/kN	第一道支撑轴 力设计值/kN	轴力最大值占设 计值百分比/%
ZC1	栈桥角撑	3284	3973	82.66
ZC4	对撑	6389	7192	88.83
ZC7	对撑	5587	6277	89.01
ZC8	对撑	5631	6167	91.31
ZC1	角撑	4290	5132	83.59
ZC14	角撑	2747	3222	85.26
ZC16	桁架	5563	6029	92.27
ZC19	角撑	4657	5586	83.37
平均值				87.04

由以上数据分析看出,角撑的受力远远小于对撑和桁架的受力,说明在基坑阴角拐角处存在明显的空间效应,抑制了角撑轴力的增加,而随着离基坑拐角距离的增加,空间效应会逐渐减弱。

3.3 地面沉降和建筑物沉降观测

基坑周边地面沉降监测点设置如图 2 所示,埋设点距离截水帷幕距离 2~3 m,周边建筑物沉降监测点设置在 5 号病房楼、食堂及洗理部、已建病房楼、污水处理站及省眼科研究所,共设置 52 个点。D5 和 D14 沉降曲线如图 10 所示。

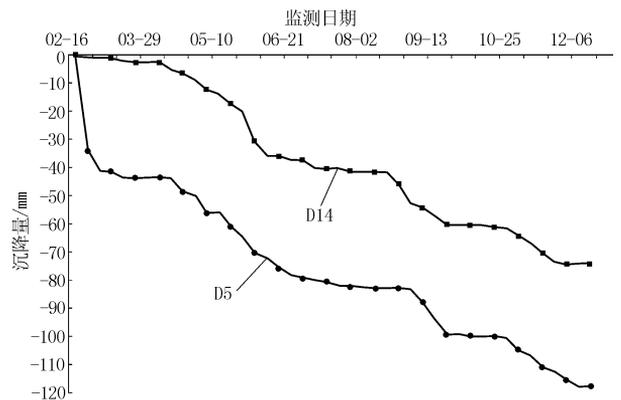


图10 D5、D14 沉降曲线图

由图 10 可以看出:

(1) 沉降量随土方开挖而逐渐增大,地面沉降相对于土方开挖、支护桩变形具有明显的滞后性,滞后时间大致为 8~15 天。

(2) D5 点在土方开挖前,地面已沉降约 35 mm,5 号病房楼裂缝已有发展,原因为地下污水管漏水导致。故基坑开挖前需妥善处理地表水源。

(3) 至 2009 年 12 月 17 日,D14 点所在的食堂西外墙裂缝仅有 2~3 mm,东外墙原有裂缝无明显变化(东西外墙相距约 27 m),南外墙西部分裂缝明显发展,东部分裂缝无明显变化。可以看出:地面沉降量与距基坑的距离成反比,距离越近,沉降量越大,影响范围约 1 倍基坑深度。

4 结论

基坑施工期间,周边建筑物及各种管线均正常运行,达到了设计目的,实现了基坑安全施工。

(1)基坑开挖前应查清并处理好包括污、雨水等地表水源,防止渗漏,尤以粉土等水敏感性土为甚。

(2)第一道支撑施工前后及开挖至深度7.0 m时,支护桩顶至开挖面的位移逐渐减小;开挖7.0 m以下深度土层时,支护桩顶至开挖面的位移快速增加,至最大位移面后,快速减小,最大位移面随开挖深度的增加逐渐下移。第一道支撑爆破拆除后支护桩位移达到最大值。

(3)底板施工完成后,具有明显的约束作用,轴力及位移基本稳定,爆破对位移的影响也较小。

(4)支撑轴力在基坑拐角处存在明显的空间效应。第二道支撑轴力在底板施工前后达到最大值。第二道支撑爆破拆除后,第一道支撑轴力迅速达到最大值并很快趋于稳定。

(5)合理分层、分块开挖土方,尽快加撑,可有效地限制基坑变形。

(6)地面沉降相对于土方开挖、支护桩变形具有明显的滞后性,其沉降量与距基坑的距离成反比。

(7)通过对爆破前及试爆的监测数据分析,采

取了分段爆破拆除。分段爆破后的监测数据说明,相对独立单元可进行分段爆破。

(8)支撑轴力与深层位移具有一定的对应关系。

(9)从支撑轴力实测值来看,设计值比较合理,支撑得到了较充分的发挥。

(10)基坑开挖对深基础的影响明显小于对浅基础的影响。

(11)相邻门诊楼基坑采用了桩锚支护体系。通过桩锚及内支撑支护体系对比可以看出:内支撑既克服了锚杆施工带来的附加沉降,又显著限制了基坑变形,确保了复杂环境下的基坑安全。

参考文献:

- [1] 齐亮.土方开挖对基坑水平支撑系统影响的有限元分析[D].天津:天津大学,2004.
- [2] 王晓伟,童华烨,李志强.复杂环境下地下连续墙内支撑基坑监测分析[J].施工技术,2009,(5).
- [3] 张忠苗,房凯,刘兴旺,等.粉砂土地铁深基坑支撑轴力监测分析[J].岩土工程学报,2010,32(S1).
- [4] 王为东,吴江斌,黄绍铭.上海地区建筑基坑工程的新进展与特点[J].地下空间与工程学报,2005,1(4):547-553.
- [5] 王为东,王建华.深基坑支护结构与主体结构相结合的设计、分析与实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.

(上接第67页)

类型,并采用了旋喷止水帷幕的方式,有效地控制了基坑变形,取得了较好的效果,对类似工程有着一定的借鉴意义。

本工程在TB厂房一侧施工作业面狭小,回填的中粗砂层较厚,实践证明,采用止水+坑内管井降水的效果较好。

本工程由于临近TB厂房,安全要求较高,所以基坑施工信息化监控就变得尤为重要,反馈的信息必须是真实可靠的,否则会出现误判而导致成本增加和工期延误。

参考文献:

- [1] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规范[S].
- [2] GB 50330-2002,建筑边坡工程技术规范[S].
- [3] GB 50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [4] 黄强.深基坑支护工程设计[M].北京:中国建材工业出版社,2000.
- [5] GB 50497-2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [6] 张帆,阎佳生.BBA办公楼基坑支护及降水工程安全监测技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):62-65.
- [7] 许兰兰,周深鑫.南京悦庆大厦深基坑支护设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(1):55-58.

欢迎订阅 2014 年《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志!

邮发代号:2-333