

郑州某改造工程基坑开挖变形监测

王风波¹, 张帆², 陈立伟¹

(1. 天津市北洋水运水利勘察设计院有限公司, 天津 300456; 2. 中交天津港航勘察设计院有限公司, 天津 300461)

摘要:以郑州健康路与同乐路西北角处176号院改造工程的基坑工程为例,从基坑开挖监测的目的、监测内容、监测精度及仪器选择、监测点的布设与监测方法,以及监测报警值和监测频率等5个方面对基坑开挖变形监测进行论述。实践表明,通过监测工作及时捕捉在施工中发生的细小变化,做到信息化施工,达到了保护基坑与周边环境的目的。

关键词:基坑开挖;变形;监测

中图分类号:TU473.2 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)12-0078-05

Deformation Monitoring of Foundation Pit Excavation for a Renovation Project in Zhengzhou/WANG Feng-bo¹, ZHANG Fan², CHEN Li-wei¹ (1. Tianjin Beiyang Survey and Design Institute of Water Transport and Conservancy Co., Ltd., Tianjin 300456, China; 2. CCCC Tianjin Port Waterway Prospection & Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: Take an example of the foundation pit excavation for a renovation project in Zhengzhou, the paper describes the purpose and content of monitoring, monitoring accuracy and instrument selection, the layout of monitoring points and monitoring methods as well as monitoring alarm values and monitoring frequency. The practice shows that by timely capturing small changes in construction to realize information construction, the foundation pit and the surrounding environment are protected.

Key words: foundation pit excavation; deformation; monitoring

0 引言

众所周知,基坑工程施工是城市基础设施建设的关键环节,也是劳动安全与社会公共安全监管的重点^[1-3]。一件件触目惊心的建筑物倒塌事故均表明,基坑工程施工质量的好坏将直接决定该建筑物的质量,基坑开挖作为基坑工程施工过程中的第一步,其重要性是显而易见的。在基坑开挖过程中,对于基坑的变形监测将直接决定基坑工程的成败,因此对基坑开挖过程中的相关变形进行监测是极其重要的^[4-7]。本文以位于郑州市健康路与同乐路西北角处176号院改造工程的基坑工程为例,对该基坑开挖过程中的变形监测相关问题进行论述。

1 工程概况

本工程基坑长约125 m,宽约90 m,基坑开挖深度约为11 m(局部最深处可达13 m)。基坑东面为4栋7层的家属楼,南侧为省体保健中心和训练馆,西临黄河南街,北面距建筑物相对较远,周边环境较复杂。基坑支护采用了桩锚加土钉墙的结构形式,基坑安全等级为一级。

2 基坑开挖监测

2.1 监测目的

(1)将监测数据与预测值相比较以判断前一步施工工艺和施工参数是否符合预期要求,以确定和优化下一步的施工参数,做好信息化施工。

(2)将现场监测结果反馈优化设计,使支护结构设计达到确保安全、经济合理、施工快捷的目的。

(3)将现场监测的结果与理论预测值相比较,用反分析法导出更接近实际的理论公式,用以指导工程施工。

2.2 监测内容

本基坑侧壁安全等级为一级,根据《建筑基坑工程监测技术规范》(GB 50497-2009)规定,基坑工程监测项目的选择,应在充分考虑工程水文地质条件、基坑工程安全等级、支护结构特点及变形控制要求的基础上,考虑该工程特点,确定监测项目为以下8个方面:(1)围护桩顶竖向位移监测;(2)围护桩顶水平位移监测;(3)锚索应力监测;(4)地下水位监测;(5)周边地表沉降监测;(6)周边道路沉降监测;(7)周边建筑物沉降监测;(8)土体深层位移(测斜)。

2.3 监测精度及仪器选择

收稿日期:2013-06-14

作者简介:王风波(1984-),男(汉族),山东人,天津市北洋水运水利勘察设计院有限公司,岩土工程专业,从事岩土工程勘察监测工作,天津市塘沽新港二号门厂西路保安公司南院,wangfengbo5221@126.com。

2.3.1 监测精度要求

本基坑开挖过程中监测精度需满足以下4方面要求。

(1) 高程采用国家二级水准测量,进行闭合路线或往返观测,按照要求水准测量观测点测站高差中误差精度为 ± 0.5 mm。

(2) 测斜仪的系统精度 ≤ 0.25 mm/m,分辨率 ≤ 0.02 mm/500 mm。

(3) 平面位移监测精度 ≥ 1 mm。

(4) 观测前对水准仪进行“i”角检测,其“i”角小于 $15''$ 即符合规范规定要求。每次观测的高程中误差均 $< \pm 0.5$ mm。

2.3.2 仪器选择

本基坑开挖过程中使用的监测仪器有:DS05水准仪1台,NTS-352全站仪1台,测读计1台,钢钢水准标尺2把,测斜仪1台,水位计1台,卡尺1把,办公电脑1台,打印机1台。

2.4 监测点的布设与监测方法

为保证所有监测工作的统一,提高监测数据的精度,使监测工作有效的指导整个基坑施工,本次监测工作采用由整体到局部的原则。即首先布设统一的监测控制网,再在此基础上布设监测点(孔)。监测控制网主要用于建筑物沉降、立柱沉降、围护墙顶的位移、基坑周边地表沉降、地下水位、围护墙体变形监测、深层土体测斜等方面的监测。监测控制网可分为水准控制网(用于各竖向位移监测项目(即沉降监测)的高程控制基准)与平面控制网(用于各水平位移监测项目平面控制基准)2部分。水准控制点布设9个,编号为01~09,建立闭合环与施工高程控制点,每个月联测一次;平面控制点布设4个,编号为P1~P4。控制区域为整个监测区,为使测距、测角误差在横、纵坐标上均匀分布,网形为闭合导线网,引侧外方向为施工用平面控制网。点位设在稳定、安全的地方,通常在地面埋设钢钉点,并在顶上刻划十字形。

2.4.1 围护桩顶水平位移、竖向位移监测点的布设及监测

在基坑开挖、支护结构施工中,根据围护桩顶部的水平、竖向位移的位移量,为围护桩体水平及竖向稳定性提供依据。监测点沿围护桩周边布置,在围护桩周边中部、阳角处布置监测点,监测点间距 ≥ 20 m,每边监测点数目 ≤ 3 个,监测点设置在冠梁上。在基坑冠梁上布设一组测点,共21个测点,编号S1~S21。将顶端划十字形的钢筋埋入冠梁中,用混凝土

固定,确保测点牢稳。

具体监测方法为:桩顶水平位移测量按照小角度法进行观测。在平行于基坑围护桩延长线上的平面控制点设工作站,取远方50 m外位置稳定、成像清晰的永久性目标作固定后视方向,分别测出各个监测点相对后视的夹角,每次4测取平均值A。光电测距量处测站至监测点边长S。同一测点相邻2次测角差 $d_0 = A_i - A_{i-1}$,从而计算出该点本次位移量,第一次位移量累加至本次位移量即为该测点累计位移量。桩顶竖向位移计算方法同周边道路沉降监测。

监测结果见图1。

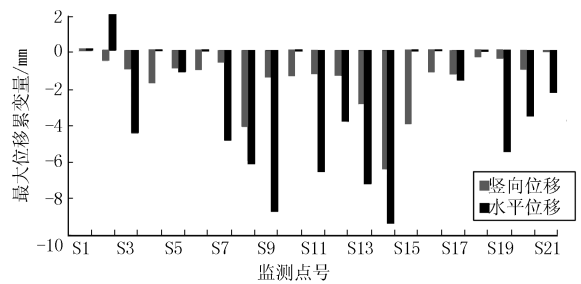


图1 围护桩顶竖向及水平位移各监测点最大位移累变量

围护桩顶各监测点变化规律基本相同,主要特征有:

- (1) 各竖向位移监测点最大累计变化量均以下降为主,最大沉降量为 -6.47 mm;
- (2) 各水平位移监测点变化均为向基坑内位移,最大位移量为 -9.4 mm;
- (3) 在整个监测过程中各点虽出现过上下波动现象,但各点均未出现报警;
- (4) 底板形成后各点变化趋于稳定。

2.4.2 周边道路沉降监测点的布设及监测

观测基坑开挖过程中周边道路竖向位移情况,掌握该区域道路稳定性,了解基坑施工对周边道路的影响。道路及地表沉降测点按监测方案在受施工影响的地表设置,测点间距为25~50 m。在基坑周边道路黄河南街布设一组沉降监测点。共布设6个测点,编号为D1~D6。为保护测点不受碾压影响,道路及地表沉降测点标志采用窖井测点形式,采用人工开挖或钻具成孔的方式进行埋设,要求穿透硬质路面。测点加保护盖,孔径 ≤ 150 mm。道路、地表沉降监测测点应埋设平整,防止由于高低不平影响人员及车辆通行,同时,测点埋设稳固,做好清晰标记,方便保存。图2为道路、地表测点埋设示意图。

具体监测方法为:周边道路沉降按照国家二等水准要求观测。以水准控制点为基准,从高程控制

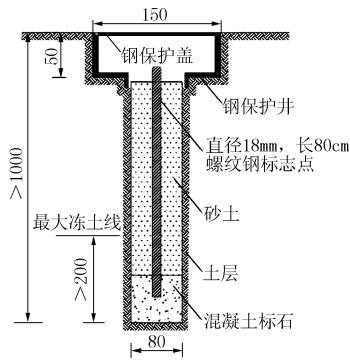


图2 道路、地表测点埋设示意图

网引入高程,固定测站进行闭合或者附合线路测量,进行平差并计算各测点高程,并与初始值比较,计算累计变化量,与上次高程比较计算本次变化量。

监测结果表明,距离基坑较近的点位沉降较大,越远则越小,地表监测点变化规律符合理论预期,周边道路沉降监测点变化均以向下为主,最大沉降量为 -4.54 mm 。道路沉降的变化规律,与基坑开挖深度、基坑距离远近、施工工况有密切关系:开挖深度越深,变化量越大;离基坑越近,变化量越大。

2.4.3 周边建筑物沉降监测点的布设及监测

观测基坑在开挖过程中周边建筑物的竖向变形情况,掌握该区域建筑物的稳定性,了解基坑施工对周边建筑物的影响。在邻近基坑建筑物的四角、中部,分别布置观测点。本项目共布设64个测点,编号A1~A10、B1~B10、E1~E4、F1~F10、G1~G10、H1~H10、K1~K10。埋设方法为将“L”型钢筋植入建筑物墙体(见图3)。具体监测方法同周边道路沉降监测。

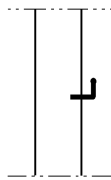


图3 周边建筑物测点埋设示意图

监测结果表明,建筑物沉降的变化规律,与基坑开挖深度、基坑距离远近、施工工况有密切关系:开挖深度越深,变化量越大;离基坑越近,变化量越大。基坑开挖施工过程中,监测点变化曲线表现为沉降,底板完成后,变化量较小,趋势走向平稳。本次监测周边建筑物沉降监测点最大沉降量为 -7 mm 。

2.4.4 周边地表沉降监测点的布设及监测

观测基坑开挖过程中周边地表竖向变形情况,掌握基坑施工对周边地表的影响。在基坑外沿基坑

周边布设一组地表沉降监测点。共布设一组,编号为C2~C7。其余同周边道路沉降监测。

监测结果表明,距离基坑较近的点位沉降较大,越远则越小,地表监测点变化规律符合理论预期,地表沉降监测点变化均以向下为主,最大沉降量为 -2.84 mm 。

2.4.5 土体深层位移监测(测斜)

土体深层位移变形通过预埋在基坑周边的测斜孔进行监测,主要了解随基坑开挖深度的增加,土体不同深度的水平位移变化情况。在基坑阳角、中部钻孔后分别布置,孔间距 $20\sim 50\text{ m}$,本监测项目共布设11个测点,编号为CX1~CX11。

测斜管的埋设步骤如下。

(1) 钻孔。孔深大于所测围护结构的深度 $5\sim 10\text{ m}$,孔径比所选的测斜管直径大 $5\sim 10\text{ cm}$,在土质较差地层钻孔时应用泥浆护壁。

(2) 接管。钻孔作业的同时,在地表将测斜管用专用束节连接好,并对接缝处进行密封处理。

(3) 下管。钻孔结束后马上将测斜管沉入孔中,然后在管内充满清水,以克服浮力,下管时一定要对好槽口。

(4) 封孔。测斜管放到位后,在测斜管与钻孔空隙内填入细砂或水泥和膨润土拌和的灰浆,其配合比取决于土层的物理力学性能和地质情况。刚埋设完几天内,孔内充填物会固结下沉因此要及时补充保持其高出孔口。

(5) 保护。基坑施工阶段是测斜管最容易受到损坏阶段,必须与施工单位协调好,派专人看护测斜管,以防被破坏。测斜管管口一般高出圈梁面 20 cm 左右,周围砌设保护井,以免遭受损坏。

具体监测方法为:测斜管应在工程开挖前 $15\sim 30\text{ d}$ 埋设完毕,在开挖前的 $3\sim 5\text{ d}$ 内复测 $2\sim 3$ 次。待测斜管处于稳定状态后,取其平均值作为初始值,开始正式测试工作。每次监测时,将探头导轮对准与所测位移方向一致的槽口,缓缓放至管底,待探头与管内深度基本一致、显示仪读数稳定后开始监测。一般以管口作为确定测点位置的基准点,每次测试时管口基准点必须是同一位置,按探头电缆上的刻度分划,匀速提升。每隔 500 mm 读数一次,并做记录。待探头提升至管口处。旋转 180° 后,再按上述方法测量,以消除测斜仪自身的误差。

通常使用的滑动式测斜仪采用带导轮的测斜探头(图4),探头两对导轮间距 500 mm ,以两对导轮之间的间距为一个测段。每一测段上、下导轮间相

对水平偏差量 δ 可通过下式计算得到。

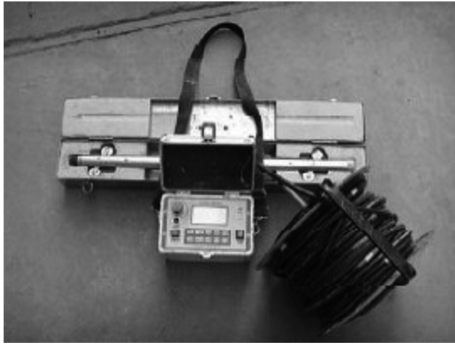


图 4 滑动式测斜仪

$$\delta = l \sin \theta \quad (1)$$

式中: l ——上、下导轮间距; θ ——探头敏感轴与重力轴夹角。

测段 n 相对于起始点的水平偏差量 Δn , 由从起始点起连续测试得到的 δ_i 累计而成, 即

$$\Delta n = \sum_{i=0}^n \delta_i = \sum_{i=0}^n l \sin \theta_i \quad (2)$$

式中: δ_0 ——起始测段的水平偏差量, mm; Δn ——测段 n 相对于起始点的水平偏差量, mm。

监测结果表明, 土体测斜各监测孔位移变化规律的主要特征有以下 4 点:

- (1) 土体测斜各监测孔之间变化规律基本一致;
- (2) 基坑进行围护结构施工阶段时, 各个监测孔变化均在正常范围内;
- (3) 基坑进行开挖阶段时, 各监测孔变形曲线呈向基坑方向位移趋势, 各孔均未出现累计值报警情况;
- (4) 基坑底板浇筑完成后, 各监测孔变形变化速率明显减小。

2.4.6 锚索应力监测点的布设及监测

锚索应力是反映锚拉支护结构锚索受力情况和安全状态的指标, 能够测得锚索实际拉力随时间的变化情况, 对该监测项目的实测成果进行分析, 对检验锚索的实际工作状态和预加荷载的损失程度、研究锚索受力机理及其变化规律有着重要意义。锚索应力的监测点应选择在受力较大且有代表性的位置, 基坑周边中部、阳角处和地质条件复杂区段宜布置监测点。本项目共布设 6 个测点, 编号为 Y1 ~ Y6。根据结构设计要求, 锚索计安装在张拉端或锚固端, 安装时钢绞线或锚索从锚索计中心穿过, 测力计处于钢垫座和工作锚之间, 安装过程中应随时对锚索计进行监测, 并从中间锚索开始向周围锚索逐

步加载以免锚索计的偏心受力或过载。如图 5。



图 5 锚索应力计安装图

锚索测力计的计算公式:

$$P = K \Delta F + b \Delta T + B \quad (3)$$

式中: P ——被测锚索荷载值, kN; K ——仪器标定系数; ΔF ——锚索测力计三弦实时测量频率平方的平均值相对于基准频率的平均值的变化量, $\Delta F = (\Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3) / 3$, kN; b ——锚索测力计的温度修正系数, kN/°C; ΔT ——锚索测力计的温度实时测量值相对于基准值的变化量, °C; B ——锚索测力计的计算修正值, kN。

监测结果表明, 基坑开挖施工过程中, 由于土体的开挖, 桩体受力逐渐增大, 锚索应力也相应增加; 底板完成后, 变化量变化较小。图 6 为锚索应力各监测点对应的最大累变量。

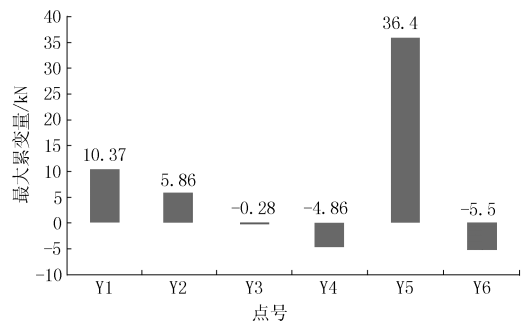


图 6 锚索应力各监测点对应的最大累变量

2.4.7 地下水位监测点的布设及监测

观测在基坑开挖过程中地下水位情况, 掌握该区域地下水位的稳定性。通过坑内水位观测可以检验降水方案的实际效果, 如降水速率和降水深度。通过坑外水位观测可以控制基坑工程施工降水对周围地下水位下降的影响范围和程度, 防止基坑工程施工中的水土流失。根据工程特点, 在基坑内外各布设监测孔, 要求坑体内、外孔位尽量在一个剖面上, 其深度一般低于拟降水位深度 0.5 m 以上, 本监测项目共布设 9 个测孔, 编号 SW1 ~ SW9。水位计

的埋设方法为:用钻机钻孔至设计深度后清孔,孔底部以上2 m处安放 $\text{Ø}100\text{ mm}$ 的PVC透水管,在其外侧用铜网包好。然后逐节将水位管插入孔内至设计深度。在透水管顶部底部深度范围内回填黄砂,以保持良好透水性,其它段采用回填膨涨土将孔隙填充实。成孔后加清水,检验成孔质量,孔口用盖子盖好,防止地表水进入孔内。图7为水位计实物图片。



图7 水位计

具体监测方法为:在基坑降水前测得各水位孔孔口标高及各孔水位深度,孔标高减水位深度即得水位标高,初始水位为连续二次测试的平均值。每次测得水位标高与初始水位标高的差即为水位累计变化量。

$$W = W_0 - W_1 \quad (4)$$

式中: W ——本次水位标高,m(计算结果精确至0.01 m); W_0 ——水位孔的孔口标高,m; W_1 ——本次水位的深度,m。

监测结果表明,基坑开挖前期水位变化表现为平稳;在开挖中期,水位变化表现为下降;底板完成至顶板完成变化趋于稳定,在监测过程中未发现异常变化。

2.5 监测报警值和监测频率

在施工期间,各监测项目如有达到表1所述警戒值时应立即通知业主及监理公司,并密切配合业主、监理单位及设计单位,提出合理化的建议措施,以保证工程安全顺利施工。表2为各监测项目的监测频率。

3 结语

(1)通过监测工作及时捕捉在施工中发生的细小变化,达到了信息化施工的目的。本次监测工作的数据真实、可靠,在这次监测工作过程中,取得了大量有用的信息,准确的反映了基坑和周边环境变形情况。从整个基坑开挖过程的监测资料反映,基坑北侧水平位移最大累计变化量达到了 -9.4 mm ,观测后期垂直位移变化趋缓,虽然各项监测项目表

表1 监测报警值

监测内容	安全性判别	
	判别标准	警戒值(报警值)
围护墙水平位移	位移量,变化速率	$\geq 30\text{ mm}$ 或 $\geq 0.3\% H$, $2\sim 3\text{ mm/d}$
围护墙竖向位移	位移量,变化速率	$\geq 20\text{ mm}$ 或 $\geq 0.2\% H$, $2\sim 3\text{ mm/d}$
深层水平位移	位移量,变化速率	$\geq 45\text{ mm}$ 或 $\geq 0.4\% H$, $2\sim 3\text{ mm/d}$
锚杆内力	实测锚杆内力与设计强度之比	$\geq 0.7f_2$
地下水水位变化	坑内降水引起止	$\geq 500\text{ mm/d}$
	水墙外水位下降	
基坑周围地表沉降	位移量,变化速率	$\geq 25\text{ mm}$ 或 $\geq 2\sim 3\text{ mm/d}$

注: f_2 为构件承载能力设计值。

表2 监测频率

本基坑类别	施工进度	基坑深度11 m (局部为13 m)	
一级	开挖深度 /m	≤ 5	1次/2d
		5~10	1次/1d
		> 10	2次/1d
	底板浇筑后时间 /d	≤ 7	2次/1d
		7~14	1次/1d
		14~28	1次/2d
	> 28	1次/3d	

明基坑及周边环境处于安全范围,但不排除基坑围护体系持续变形的可能。根据施工工况的记录,基坑开挖期间基坑周边变形明显加大,因此,认为基坑开挖对基坑周边的变形影响较大。

(2)本基坑开挖过程中各监测点的变形速率比较小,且变形速率比较稳定,底板完成以后,变形量明显减小。基坑开挖到回填结束过程中,对周边环境变形影响较小,未发现异常变化。

(3)基坑的监测工作,可以根据实时的变形位移数据,分析、预测基坑及周边环境使用过程中的土体位移,采取有效措施,达到保护基坑和周边环境的目的。

参考文献:

- [1] 叶青,周传松.长江委地下车库深基坑变形监测与成果分析[J].人民长江,2007,38(10):59-62.
- [2] 刘海燕.深基坑监测数据分析与变形预测研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [3] 宋建学,郑仪,王原嵩.基坑变形监测及预警技术[J].岩土工程学报,2006,28(S1):1889-1891.
- [4] 王伟.基坑变形监测数据的可靠性分析[D].广东广州:华南理工大学,2010.
- [5] 彭贵,张金龙,刘政治.深基坑施工及基坑安全性监测实例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(2):30-32.
- [6] 张韬.深基坑变形预测模型[D].湖南长沙:中南大学,2009.
- [7] 邵志国,王军,齐忠树.青岛某深基坑变形监测控制技术[J].青岛理工大学学报,2012,33(2):37-41.
- [8] 车灿辉,刘实,刘静.深基坑工程结构类型与安全监测要素[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):60-64.
- [9] 秦俊生,王成彪,程剑.北京地区某基坑边坡支护变形分析及建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):36-40.