

建筑工程基坑监测与分析

——以某办公楼项目为例

胡俊超

通标标准技术服务（上海）有限公司

摘要：本文以某办公楼建设工程项目为例，简要介绍了工程情况，并从基坑监测准备、方法、成果输出、技术难点及数据分析等方面对地下工程施工阶段基坑监测过程、要点进行介绍和分析。根据实践可知，在基坑监测的过程中，应加强对于基坑实际情况的研究，明确现场监测要点，科学进行基准点、监测点的布设，严格按照国家规范、地方标准、行业标准及设计要求以及工程实际情况，展开竖向位移、水平位移、围护墙体侧向位移（测斜）、地下水位以及支撑轴力等方面的监测，以此保障基坑监测质量效果。

关键词：建筑工程；基坑监测；安全

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.18.068

引言：地下工程基坑施工是建筑工程项目实施过程中的重要环节，尤其在围护结构和土体加固及基坑土方开挖阶段，土体应力平衡容易受到破坏，不仅会威胁施工安全，还可能会引起周边建筑物、道路、地下管线系统等产生不良影响，而通过基坑监测有助于及时发现隐患问题，并结合实际情况调整相应施工方案，以此确保施工安全，周围建筑物、道路、地下管线等能够得以正常使用。因此，加强对于建筑工程基坑监测的研究和分析是十分有必要的。

一、工程概况

本文以某综合体办公楼项目为例，针对基坑监测技术措施展开探讨。案例项目基坑面积约22000m²，周长约680m。基坑普遍开挖深度为10.20m，临边集水井区域开挖深度为11.50m，坑内承台及深坑区域开挖深度为10.50~14.25m。本案例项目地下结构采用顺作法施工。基坑采用900@1100钻孔灌注桩结合850@600三轴水泥土搅拌桩隔水帷幕作为围护结构，局部临边集水井区域采用1000@1200钻孔灌注桩，竖向设置两道钢筋混凝土支撑。基坑安全等级为二级，环境保护等级为三级，基坑监测等级为二级。

二、基坑监测准备

（一）监测项目及点数

结合基坑围护设计施工要求，以及以往相同工程经验，此基坑监测项目以及点数情况如下：

- （1）围护墙顶沉降、位移监测数量为36个；
- （2）围护墙体侧向位移（测斜）监测数量为16；
- （3）坑外地下水位监测数量为16个；
- （4）支撑轴力监测数量为17个；
- （5）立柱沉降监测数量为18个；
- （6）坑外地表沉降监测数量为80个；
- （7）周边建筑物沉降监测数量为12个。

（二）基准点布设

基准点布设需要以相关规范要求为基准，结合现场实际情况进行合理布设^[1]。此次基坑工程施工监测拟设

置3个竖向位移监测基准点。在实际进行基准点布设过程中需要注意以下技术要点：

（1）采取有效保护措施，避免基准点遭受破坏，确保其可正常使用；

（2）每月至少1次进行基准点联测，检查基准点的稳定性和可靠性；

（3）设置有强制对中的观测墩，若现场实际情况无法满足相应要求，则需要选用精密光学对中仪器，以此保障监测效果，对中误差要求不超过0.5mm。

（三）监测点（孔）布设

（1）围护墙顶沉降、位移监测，优先布设在每条边的中间位置，间距控制在15~20m之间，并尽量布置在容易发生位移的位置，如搅拌桩接缝处，水平和沉降位移监测采用共用点形式，采用金属监测标志埋设。

（2）围护墙体侧向位移（测斜）监测，根据基坑围护结构变形特点，将其设置在上挠曲计算值最大的位置，孔间距控制在20~50m之间，每个边至少应设置1个监测孔，埋深应与围护桩长度相同。

（3）坑外地下水位监测，测点布设过程中，要求先设置地下水位管，再进行基坑降水施工，要求钻孔孔径在110mm以上，水位管直径控制在50~70mm之间，并根据基坑深度，合理控制孔深，约为8m左右，并做好相应防护措施，以免杂物进入水位管。

（4）支撑轴力监测，监测点需布置在支撑内力较大或在整个支撑系统中起关键作用的杆件上，要求每个支撑至少设置3个监测点，并保持监测点竖向位置相同，对于钢筋混凝土和钢支撑内力的监测应设置在支撑1/3的位置，要求每个截面至少设置2个内传感器^[2]。

（5）立柱沉降监测，观测点需要布置在基坑中部、承担结构荷载位置以及地质条件相对复杂的位置，根据剖面实际情况布置在垂直于基坑边的位置，要求剖面间距控制在30~50m左右，设置在基坑中间位置，每条剖面的监测点应至少为3个，按照由密到疏的规律从内向外逐渐布置。

（6）坑外地表沉降监测，将监测点布置在垂直于基坑边的剖面上，要求剖面之间距离控制在30~50m之间，每个侧面剖面至少1条，并将其设置在基坑侧边中间位置，测点数量至少为3个。

（7）周边建筑物沉降监测，根据周围建筑物实际情况，将其布置在建筑沉降基础柱、沉降缝等位置，要求监测点之间的距离在20m以内。

（8）裂缝监测，在施工过程中，根据现场实际情况，对新发现裂缝或者有增大趋势的裂缝进行监测，要求每个裂缝至少布设1组监测点，要求分列裂缝两侧，并与裂缝垂直。

三、监测精度及方法

（一）监测精度

根据案例工程项目要求，此次基坑监测等级为二级，详细监测精度要求如下：（1）竖向位移监测，要求监测点测站高差中误差精度为0.5mm，水准测量读数基辅差为0.5mm，基辅高差之差0.7mm，路线闭合差 $1.0\sqrt{n}$ mm（n为测站数），前后视距差为2.0，前后视距差累积为3.0。（2）水平位移监测点坐标中误差精度要求为3.0mm，测角中误差精度为1.5。（3）围护墙体侧向位移（测斜）监测，要求测斜仪分辨率应在0.01mm/m以内，精度为±0.1mm。（4）坑外地下水监测，需使用钢尺水位计进行测量，监测值精度为±1cm。（5）支撑轴力监测过程中，案例项目使用的是单片计算机技术，测量范围在500-5000Hz，分辨率0.1Hz的数显频率仪^[3]。

（二）监测方法

竖向位移沉降监测采用的是直接水准法，通过水准测量获得初始值，然后采用相同的方法、路线进行重复观察，进而计算沉降量，即通过本次高程减去初始值高程，即可获得本次积累沉降量。

水平位移监测可根据实际情况采用视准线法或者小角度法。其中视准线法监测示意图如图1所示，即以一个视准线基准点为测站，另一端视准线基准点为方向，设定与基坑围护墙平行的视准线，测量监测点到该基准线之间的距离，用后一次距离减去上次距离就是本次位移量，用本次距离减去初始距离即为本次累积位移量。小角度法是在于基坑围护墙延长线平行的平面控制点设立测站，并在50m位置选择稳定、成像清晰的固定目标，作为后视方向，然后测量监测点与后视方向之间的夹角，根据测站至监测点水平距离，以及相邻测角差计算本次位移量。

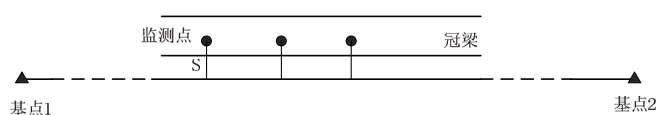


图1 视准线法监测示意图

坑外地下水监测采用的是直接水准法，测量水位孔口顶的高程，然后计算水面到管顶的距离，以此计算水位变化量。实际测量过程中，需要先慢慢将探头放入水面，当探头刚接触水面时，读取钢尺读数，然后再将探头拉出水面，当探头刚离开水面时，再次读数，取平均值为水面深度。

围护墙体侧向位移（测斜）监测，用测斜仪在0°和180°方向上分别以管底为零，间隔0.5m读数A0、A180，连续拉至管顶，即为一测回，再计算各段位移，各段位移累计即可推算出对应测斜管内各点围护体侧向变形水平位移值。

支撑轴力监测。根据案例工程实际情况，选用两道钢筋混凝土支撑，通过内埋方式布置传感器进行监测，并计算支撑轴力。主要计算公式如下：

$$N_c = \sigma_s (E_c \times A_c / E_s + A_s) = \bar{\sigma}_{js} (E_c \times A_c / E_s + A_s)$$

$$\bar{\sigma}_{js} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [k_j (f_{ji}^2 - f_{j0}^2) / A_{js}]$$

式中， N_c 表示支撑轴力（kN）； σ_s 表示钢筋应力

（kN/mm²）； $\bar{\sigma}_{js}$ 表示钢筋计监测平均应力（kN/mm²）； k_j 表示第j个钢筋计标定系数（kN/Hz²）； A_{js} 表示第j个钢筋计截面积（mm²）； f_j 表示第j个钢筋计监测频率（Hz）； f_0 表示第j个钢筋计安装后的初始监测频率（z）； E_s 表示钢筋弹性模量（kN/mm²）； E_c 表示混凝土弹性模量（kN/mm²）； A_c 表示混凝土截面积（mm²）； $A_c = A_b - A_s$ ； A_b 表示钢筋混凝土截面总面积（mm²）； A_s 表示钢筋截面总面积（mm²）。

裂缝监测，在实际施工过程中，若出现裂缝情况需要明确裂缝位置、形态、长度、宽度等信息，并进行拍照、测量，做好标注，采用直接测量法，使用千分尺或游标卡尺测量裂缝两侧标志之间的距离，并以此计算裂缝宽度变化情况。

除上述监测内容，还需要定期在实际施工过程中对支护结构、工况、周围环境以及监测设施状态进行巡视检查，着重关注支护结构裂缝、沉降、滑移情况，以及施工过程中地表水、地下水排放状况，基坑降水设施运转情况，地下管道完整性、周围建筑物沉降、裂缝情况等，同时确保监测设施状态良好，无损坏，并做好相应监测记录^[4]。

四、监测期限、频率、报警值

基坑监测应从桩基围护结构施工开始，直至±0.00标高及土方回填结束为止，本案例工程基坑监测工期约420天。

本案例工程项目中基坑监测频率设置如下：

- （1）围护桩施工阶段（基坑开挖前），每周1~2次；
- （2）基坑开挖阶段、底板浇筑及底板浇筑完成后3d、支撑拆除及拆除后3天，均需每天监测1次；
- （3）底板浇筑完成至地下结构施工至±0.000一般情况，每周监测2~3次；
- （4）地下结构施工结束后1个月内，监测频率不应低于1次/周。

此外，若出现监测数据连续报警、数据累计值达到报警值，现场巡检过程中出现异常情况、突发不良地质、连续暴雨，或者施工险情等，需要根据情节严重程度，适当增加监测频率，以此确保出现安全隐患时，能够及时反应。

为确保监测工作的有效性，需要明确不同监测内容的报警值指标，在监测以及巡视的过程中，一旦发现某个参数变化速率或者累计值超过报警值，需要立即中止施工，查找问题原因，并采取有效控制措施，消除危险，以此确保基坑施工安全，充分发挥基坑监测的作用。本案例工程相应监测报警值如下（超出以下范围应报警）：

- （1）围护墙顶沉降、位移监测，变化速度±3mm/d，累计值±40mm；
- （2）围护墙体侧向位移（测斜）监测，变化速度±3mm/d，累计值±40mm；
- （3）坑外地下水监测，变化速度±300mm/d，累计值±1000mm；
- （4）支撑轴力监测，第一道支撑5000KN，第二道支撑9000KN，钢支撑2500KN；
- （5）立柱沉降监测，变化速度±3mm/d，累计值±20mm；

(6) 坑外地表沉降监测, 变化速度±3mm/d, 累计值±40mm;

(7) 周边建筑物沉降监测, 变化速度±2mm/d, 累计值±20mm。

五、监测报告

在进行基坑监测过程中, 还需要输出, 每日测量报表、阶段监测报告以及最终监测报告。根据不同阶段监测需求, 明确监测报告内容, 确保数据信息可靠、内容全面。如每日测量报表中需要明确监测项目、天气情况, 以及相应测量点编号、监测值、本次变化值和累积变化值, 清晰记录当前工况, 并对监测结果进行简单说明和建议, 必要时还需要提供相关分析曲线。最终监测报告内容包括施工情况、监测项目以及所有监测点的相应布置图, 监测仪器、方法、成果, 以及监测期间采取的相应控制措施, 并对监测结果进行整体分析评价, 输出监测点水平位移曲线图、竖向位移成果表、曲线图等。

六、监测过程中技术处理及数据分析

(一) 围护墙体侧向位移(测斜)监测孔埋设难点及保护

围护桩深23m, 测斜管埋深应与围护桩长度相同, 为减少埋管过程中对测斜管破坏的可能性, 我们预埋2根测斜管, 并每根做无缝对接; 在围护结构桩施工过程中, 将测斜管逐节绑扎好并固定在钢筋笼上, 管间用管套衔接, 自攻螺丝固定并用硅胶密封, 测斜管的顶底两端头用布料堵塞, 盖好管盖; 检查测斜管内壁的一组导槽, 使其与基坑开挖方向基本垂直; 测斜管内注入清水, 防止其泥浆等异物的进入, 测斜管管顶用钢套管保护管顶, 防止在压顶梁施工时对测斜管造成破坏。

(二) 监测过程中数据采集的解决

现场受施工、材料堆放等因素的影响, 监测点之间不通视给监测数据采集带来困难, 对此, 我们采用加密方格网或轴线控制网, 结合基坑内外控制点, 沿基坑轴线设置固定仪器的支架, 利用全站仪自由架站方法反算架站点的坐标, 再测量各个监测点, 从而解决控制点不通视的问题, 很好的完成了该项目的数据采集。

(三) 监测数据分析

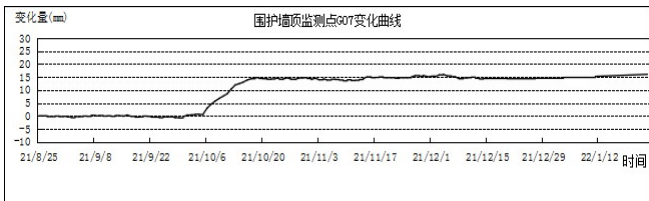


图2 围护墙顶G07监测点变化曲线

以围护墙体顶部G07的位移变化量作为纵轴, 以时间作为横轴画出变形曲线。由曲线可知:

(1) 本项目各个纵向位移变化量都呈上升趋势。

(2) 在监测期间, 各个节点均有上下起伏的情况, 均有累积报警。

(3) 在基底成型后, 各个部位的变动趋势比较稳定。

从水位变化曲线图看出各水位监测孔在基坑降水和基坑开挖过程中变化量较大, 在开挖前期, 水位变化曲线表现为下降; 在开挖中期, 水位变化曲线表现为上

升; 后期至底板完成, 变化曲线表现为上升; 底板浇筑后至结构封顶变化趋于稳定。

七、监测质量管理要点

首先, 结合实际监测需求, 建立相应质量管理流程, 实行岗位责任制度, 明确不同岗位的具体工作内容以及职责范围, 确保监测工作得到有效落实。

其次, 采取有效质量保障措施, 要求监测人员充分了解施工现场周围情况、施工概况, 以及测量内容的预计变化值及变化规律, 充分结合现场实际工况对监测数据进行分析, 一旦发现数据变化异常, 应及时针对现场施工情况进行分析, 明确问题原因, 并采取有效控制措施。

再次, 及时提交监测成果报告, 确保成果反馈准确及时。在完成监测数据采集后, 需要对采集数据进行初步分析, 判断监测对象的安全性, 若存在异常情况应立即上报, 此外, 还需要将相应监测数据输入到计算机系统当中, 进行数据处理分析, 然后生成相应监测报告, 若数据处理过程中, 发现监测数值过大, 或者超过警报值, 需要立即通知项目参与方, 并中止施工, 组织业主、专家以及设计方共同探讨解决措施。

最后, 制定相应应急预案。主要包括日常施工保障措施、测点保护和损坏补救措施, 应急组织以及异常情况或恶劣天气应急预案。全面确保基坑监测工作得以顺利、安全的推进, 保障监测结果的可靠性以及准确性, 一旦出现险情, 如基坑塌陷等, 需要现场工作人员能够及时进行情况上报, 并组织现场监测人员实施监测应急抢险措施, 第一时间掌握数据变化情况, 为施工抢险提供指导意见, 确保现场工作人员生命财产安全^[5]。

结束语: 综上所述, 在实际建筑工程项目基坑监测过程中, 需要加强对于基坑施工方案、技术措施的了解, 分析现场实际情况, 明确基坑监测要点内容, 并结合现场情况, 合理布置监测点, 确保监测到位、全面, 监测点设置合理, 根据不同监测项目以及现场实际情况, 采取合理的监测方法, 科学确定监测频率、报警值等, 确保监测结果能够充分反映基坑施工过程中的实际变形情况, 为施工管理控制以及方案的调整提供可靠依据。相信随着对基坑监测技术的深入研究和分析, 我国建筑工程基坑施工质量安全将会得到更好的保障。

参考文献

[1] 张宇. 天水市北园子地块棚户区改造深基坑工程支护与监测结果分析[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2022, 23(03): 12-18+22.

[2] 周云. 深基坑支护技术在房屋建筑施工中的应用及案例分析[J]. 安徽建筑, 2021, 28(07): 144-145.

[3] 张珂峰, 吴昌将, 易礼. “两墙合一”地下连续墙基坑开挖对邻近建筑的变形影响与实测分析[J]. 建筑结构, 2020, 50(20): 128-132.

[4] 徐亚军. 地铁盾构隧道上方既有建筑与车站联通工程地保监测分析与施工管控[J]. 交通建设与管理, 2020(04): 120-121.

[5] 胡园园, 刘俊生, 陈昌师. 关于修订国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》竖向位移监测精度的实验分析[J]. 城市勘测, 2019(06): 133-136+140.