

全站仪自由设站法在深基坑变形监测中的应用

赵春华 张 欢

中交一公局第五工程有限公司 北京 100024

摘要：随着经济的飞速发展，国家基础设施建设规模和数量都在不断增大，建造的各种类型的大型工程也越来越多，大型工程基坑开挖的深度和规模也越来越大。一般的基坑监测工作中，先在远离工程基坑变形区外围埋设平面基准点，然后利用导线、前方交会等方法，根据平面基准点在基坑边上测设工作基点，最后在测设的工作基点上架设全站仪用极坐标的方法测设监测点。随着高精度自动化全站仪的出现和推广使用，在基坑周边找到2个以上的稳定目标是可以做到的。假设在周边稳定目标上埋设棱镜（或固定观测墩）作为基准点，在基坑施工区域任意位置选择工作基点并架设全站仪，按全站仪后方交会的内置程序自由设站测量工作监测点。

关键词：深基坑；自由设站；变形监测

1 引言

我国在早期的工程建设中并没有重视到基坑监测这一项目，随着基坑发生的事故越来越多，我们对基坑监测的研究在慢慢开展起来。对基坑进行检测，也只是通过人工巡逻来进行。监测要求的不断提高和监测难度的不断加大，应运而生自动化监测系统，使以前不可能完成的监测任务有了科学的解决办法。

当前，城市建筑的设计越来越复杂，这也导致了对技术指标的要求也越来越高。近年来测绘技术的发展越来越快，仪器的精度越来越高，方法越来越多。随着监测工作的蓬勃发展，在一些大型工程项目中各种先进仪器逐渐被应用，它们普遍具有自动化、智能化、高精度、高稳定性的优点，如瑞士徕卡公司 GeoMos 的自动监测系统，它由全站仪、倾斜仪、自动监测软件、其他传感器等构成，此技术已应用于我国三峡工程、等工程监测中。

2 正文

利用全站仪对深基坑进行变形监测工作，主要的测量手法和方法为交会法（前方交会、后方交会、自由设站等方法）。以及自由设站的平差计算与精度评定。

2.1 本文的主要研究内容

本文针对基坑变形监测，主要以全站仪自由设站监测方法为主要方法，说明了该方法的基本原理及作业流程，最后和其他几种深基坑变形监测的常用方法进行精度比较，来论证全站仪自由设站法在深基坑变形监测中的优势。本文的主要研究内容有下面几点：

（1）理解全站仪自由设站法的基本原理，通过查阅相关参考文献理解全站仪自由设站法进行变形监测的基本作业流程及注意事项。

（2）了解国内外全站仪自由设站法在工程变形监测方面的研究现状及发展情况。

（3）比较全站仪自由设站法和其他深基坑监测方法的

精度，分析在深基坑监测上全站仪这种监测方法的优势。

2.2 基坑变形监测内容

按照我国深基坑变形监测技术的相关规范的要求，深度大于米的基坑或基坑施工现场情况难以判断时，在地质条件特别差的情况下，深度小于五米的基坑在变形监测的范围内（因此，在进行基坑监测时要综合考虑各种可能存在的因素，首先要考虑基坑的级别、工程成本、地质情况、各种环境因素、基坑所在的位置以及地下的各种建筑物。党在基坑的旁边存在各种有关国家经济建设以及国防战备需要的各种建筑物时，要与相关管理单位进行沟通。如果因为各种因素没有顾及到，可能会造成严重的经济和人员伤亡，造成资金的浪费和影响后面的作业。

基坑工程监测对象包括：支护结构、基坑底、施工工况、地下水状况、基坑四周土体及相关的自然环境、周围重要的道路、地下管线及地下设施、周围建（构）筑物和其他应监测的对象。具体的监测项目选择应根据基坑类别选择如表 2-1 所示。

表 2-1 建筑基坑工程仪器监测项目表

监测项目	基坑类别		
	一级	二级	三级
（坡）顶水平位移	应测	应测	应测
墙（坡）顶竖向位移	应测	应测	应测
围护墙身层水平位移	应测	应测	宜测
土体深层水平位移	应测	应测	宜测
墙（桩）体内力	应测	可测	可测
支撑内力	应测	宜测	可测
立柱竖向位移	应测	宜测	可测
锚杆、土钉拉力	应测	宜测	可测
坑底隆起	软土地区	宜测	可测
	其他地区	可测	可测

土压力		宜测	可测	可测
空隙水压力		宜测	可测	可测
地下水水位		可测	应测	宜测
土层分层竖向位移		宜测	可测	可测
墙后地表竖向位移		应测	应测	宜测
	竖向位移	应测	应测	应测
周围建(构)筑物	倾斜	应测	宜测	可测
变形	水平位移	宜测	可测	可测
	裂缝	应测	应测	应测
周围地下管线变形		应测	应测	应测

支护结构监测。基坑的支护结构主要用于支撑来自水体和土体的压力，并将此压力传导到临时挡墙。

基坑底部及周围土体监测。土体监测主要项目为基坑外围土体的变形、基坑底部土体的隆起以及支护结构的土压力。

周围设施监测。周围设施监测包括基坑周边一定距离内的建筑设施、地下管线设施、道路设施、以及其他地形地貌的沉降、变形和受损程度监测。

(4) 水系统监测。水系统监测内容为在基坑施工过程中因为大量开挖土石，导致地下水位变化如人为降低水位、回灌、疏通基坑漏水等而对地下水的流速、水的位置、流向、速度等产生的变化监测。

2.3 基坑变形监测的仪器

由于在进行基坑变形监测时，根据工程项目的任务不同，所以所用到的测绘仪器也会不同。要根据工程项目的要求、现场的环境、地质条件、费用、精度要求等各种因素来选择仪器。监测仪器的选择对于变形监测数据的精度起了决定性作用，不同的监测仪器完成的是其专业性领域任务。水准仪可用于监测基坑的沉降，当今的各种精密工程基本来使用水准仪来监测其沉降。经纬仪作为传统的测量仪器，在现代测量工程中其作用已逐渐被全站仪所取代，全站仪因其具有测角测距功能可以实现平面和高程的测量，在施工中常被用于进行水平位移监测。测斜仪在基坑监测中主要用于测量沿铅垂方向土层水平位移和围护桩墙的水平位移。

2.4 基坑变形监测方案的设计

目前国内外大多数设计的基坑工程是通过监测的方法达到了解土体周边应力分布实际变形的目的，并以此验证设计是否与实际有出入，这是因为无论采用何种理论、软件和计算方法，都无法改变现有设计对设计人员的设计经验的依赖，以致最终的定量计算结果都无法与实际情况吻合，最后的计算结果只能成为一个近似的参考数据。

2.5 监测方案的制定

基坑监测是有计划的、系统性的，监测方案的制定应该是以基坑所处具体的岩土条件、水位条件、工程造价、建筑的设计要求和所处的环境等综合因素决定的。

2.5.1 方案的制定一般包括以下几步：

- (1) 资料的收集与分析。
- (2) 实地踏勘。
- (3) 拟定方案初稿。
- (4) 优化设计方案。
- (5) 提交监测报告和图表

2.5.2 方案的设计内容应包括：

- (1) 总结工程概况；
- (2) 确定监测目的；
- (3) 确定监测内容；
- (4) 根据工程概况、监测精度和工程预算等确定监测方法和仪器；
- (5) 确定监测点位布置、基准点位布置、监测频率和点位保护措施；
- (6) 确定监测预警和成果反馈机制；
- (7) 制定方案具体实施细则并密切配合施工进度安排。

2.6 全站仪自由设站法变形监测原理

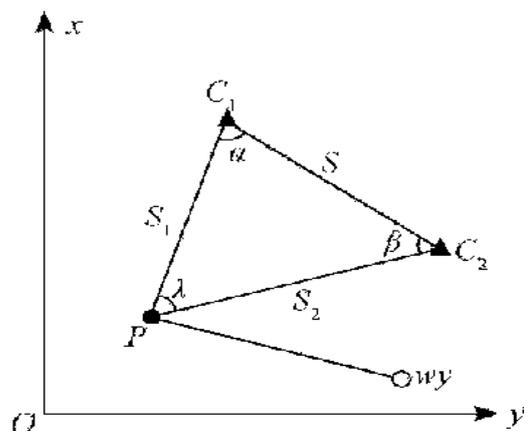
全站仪自由设站(也称边角后方交会)是指通过观测设站点到两个及以上控制点的水平距离和夹角来快速确定设站点的坐标。自由设站法的特点是只需在待定点上设站，速度快，工效高。

2.6.1 自由设站点的坐标计算

如图 2-1 所示， $C_1(x_1, y_1)$ 、 $C_2(x_2, y_2)$ 为已知基准点， P 为待定点，在 P 点上安置全站仪，以必要的精度观测 P 点到基准点 C_1 、 C_2 的距离 S_1 、 S_2 和夹角 λ ，通过平差计算，进而获得 P 点的坐标 (x_p, y_p) 。

$$\begin{cases} x_p = \frac{x_2 \cot \alpha + x_1 \cot \beta + y_1 - y_2}{\cot \alpha + \cot \beta} \\ y_p = \frac{y_2 \cot \alpha + y_1 \cot \beta + x_2 - x_1}{\cot \alpha + \cot \beta} \end{cases} \quad (2-1)$$

其中 $\alpha = \arcsin\left(\frac{S_2}{S} \sin \lambda\right)$ ， $\beta = \arcsin\left(\frac{S_1}{S} \sin \lambda\right)$



2.6.2 监测点的坐标观测及计算

全站仪自由设站完成后,就可对各监测点进行坐标测量。目前,常用的方法是通过多测回法直接测量各监测点的坐标,然后取平均值,为各监测点的本期观测值。如图2-1所示,位移监测点 $W_i(x_i, y_i)$ 的坐标如下:

$$\begin{aligned} x_{wy} &= x_p + S \cdot \cos \alpha_{pwy} \\ y_{wy} &= y_p + S \cdot \sin \alpha_{pwy} \end{aligned} \quad (2-2)$$

式中: S 为设站点到位移监测点的水平距离; α_{pwy} 为设站点到位移监测点的方位角

2.6.3 基坑水平位移量计算

若以监测点第一周期的坐标值 (x_i^1, y_i^1) 作为初始值,则各监测点相对于第一周期的变形量为:

$$\begin{cases} \Delta x_i = x_i^n - x_i^1 \\ \Delta y_i = y_i^n - y_i^1 \end{cases} \quad (2-3)$$

由下列公式可以计算出变形点的水平位移量:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2} \quad (2-4)$$

这样,进行基坑监测时,每次观测都可以得到一个位移值,从而可以获得移动速度和移动变形规律,并通过设定极限值来判断是否超限而报警。

3. 自由设站点的精度评定

在实际测量过程中,利用自由设站法确定设站点 P 的坐标时,其所需的观测量是为边长和与其对应的方向值。因此,设站点 P 的精度只与观测量有关,即与边长和方向值有关。根据间接平差的方法,列出相关误差方程式为:

$$V = A \cdot X - L \quad (3-1)$$

其中,

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\rho \sin \alpha_{pe_1}^0}{S_1^0} & -\frac{\rho \cos \alpha_{pe_1}^0}{S_1^0} \\ \frac{\rho \sin \alpha_{pe_2}^0}{S_2^0} & -\frac{\rho \cos \alpha_{pe_2}^0}{S_2^0} \\ -\cos \alpha_{pe_1}^0 & -\sin \alpha_{pe_1}^0 \\ -\cos \alpha_{pe_2}^0 & -\sin \alpha_{pe_2}^0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} X^T &= [\delta_{xp} \quad \delta_{yp}] \cdot L^T \\ &= [\gamma_1 - \gamma_1^0 \quad \gamma_2 - \gamma_2^0 \quad S_1 - S_1^0 \quad S_2 - S_2^0] \quad (3-2) \end{aligned}$$

设方向观测中误差为 m_0 ,距离观测中误差为 m_s 。根据测距精度公式测距误差为:

$$m_s^2 = a^2 + b^2 S^2 (10^{-6})^2 \quad (3-3)$$

式中: a 为测距固定误差, b 为测距比例误差。

设方向权为单位权,则测距权为:

$$P_s = \frac{m_0^2}{m_s^2} \quad (3-4)$$

利用最小二乘平差得:

$$X = QA^T PL \quad (3-5)$$

坐标改正数协因数阵为:

$$Q_{XX} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

则点的点位中误差为:

$$m_p = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (3-7)$$

其中, $m_x = \pm m_0 \sqrt{Q_{11}}$, $m_y = \pm m_0 \sqrt{Q_{22}}$ 。

4. 结束语

(1) 采用自由设站法进行基坑变形监测,可在基坑边的任意位置设站,从而快速测定各个监测点的水平位移。

(2) 在实际工程中,施测前务必须进行精度估算、确定使用何种精度的全站仪、施测的测回数、设站的位置等,在监测中严格按照实施方案方能确保监测精度。

(3) 自由设站法不论其工作效率还是在精度方面均能满足目前基坑监测的要求,具有较好的实用价值。

(4) 全站仪自由设站法最大优点是适用于基坑边的工作空间狭窄情况下的基坑变形监测,且不用建固定观测墩节省了经费,提高了测量工作效率。

(5) 全站仪自由设站法为在深基坑变形监测时最实用的一种方法。

参考文献:

[1] 赵雪云. TS09 全站仪自由设站法在基坑支护水平位移检测中的应用[J]. 施工技术, 2013,42(23):104-107.
[2] 吴斌, 赵健斌, 熊先才. 全站仪深基坑开挖安全检测与分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2007,29(2):78-81.
[3] 张建坤, 王金明, 贾亮. 自由设站法进行基坑监测的精度分析[J]. 测绘工程, 2011,20(4):74-76.
[4] 武汉测绘科技大学测量平差教研室. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社. 1996: 83-113.