

# 基坑变形水平位移监测方法对比研究

王正亚

中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 中国·陕西 西安 710075

**摘要:** 基坑变形监测对于市政工程的安全至关重要, 而水平位移的监测作为监测项目的重点, 根据实际情况选择一种水平位移监测方法是本文所研究的问题。论文对六种基坑水平位移监测的方法(轴线法、测小角法、极坐标法、单站改正法、边角交会法、自由设站法)进行了分析总结, 并提出了各种方法存在的优缺点。在工程应用中对水平位移监测应该考虑各种方法的适用性, 采用多种方法相结合的最优方案, 使监测得到的结果更为精确, 为市政深基坑工程水平位移监测的合理选择提供理论指导。

**关键词:** 基坑变形; 水平位移; 监测方法

## Comparative Research on Horizontal Displacement Monitoring Methods of Foundation Pit Deformation

Zhengya Wang

China Communications First Highway Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075, China

**Abstract:** The deformation monitoring of foundation pit is very important for the safety of municipal engineering, and the monitoring of horizontal displacement is the focus of the monitoring project. It is the problem studied in this paper to select a horizontal displacement monitoring method according to the actual situation. In this paper, six methods of horizontal displacement monitoring of foundation pit (axis method, small angle method, polar coordinate method, single station correction method, corner intersection method, free station method) are analyzed and summarized, and the advantages and disadvantages of various methods are put forward. In engineering application, the applicability of various methods should be considered in horizontal displacement monitoring, and the optimal scheme combining various methods should be adopted to make the monitoring results more accurate, so as to provide theoretical guidance for the reasonable selection of horizontal displacement monitoring of municipal deep foundation pit engineering.

**Keywords:** foundation pit deformation; horizontal displacement; monitoring methods

### 1 引言

深基坑的安全高效的建设和, 水平位移监测起到了至关重要的作用。这一监测过程主要涉及测量基坑边界上的监测点向内部移动的距离, 且该移动的方向需垂直于基坑边界。众多研究者已取得显著成果, 其中熊春宝<sup>[1]</sup>指出, 在市政开挖过程中, 实时监测基坑周围的水平位移尤为关键, 且对精度的要求相当高。阐述不同变形监测方法之间的应用效果, 为指导工程实践显得尤为重要。对于目前已有的水平位移监测技术手段, 胡园园<sup>[2]</sup>等通过对比研究发现测小角法不仅在计算上简单且操作便捷, 而且能够保持出色的高精度监测结果。由于其在实际应用中展现出的高效性和稳定性, 这种方法已被广泛认可, 被视为一种理想且可靠的深基坑水平位移监测方案。刘乾<sup>[3]</sup>及其团队深入探究了视准线法在水平位移监测中的优势与局限, 并对六种监测技术的适用性进行了详细评估, 从而识别了在特定环境条件下最有效的监测方案。袁定伟<sup>[4]</sup>等对当前广泛采用的基坑水平位移监测方法进行了详尽的分析和比较。并进一步提出了测小角法的若干改进措施, 这些改进旨在提高该技术的精度与效率, 为

精确监控基坑水平位移提供了更为高效的解决方案。而面对不规则基坑的位移变形时该如何解决, 王克荣<sup>[5]</sup>等学者创新性的通过测量和计算垂直方向坐标方位角的变化, 从而实现不规则基坑的水平变形监测。这一方法在多个市政工程项目中得到了实践验证, 展现出卓越的精确度和可靠性。李勇<sup>[6]</sup>探讨了水平位移监测模型, 面对单因素模型变形预测值存在偏差问题, 提出了适用于水平位移监测的组合模型, 利用数值计算对比分析了回归模型、AR模型和灰色关联组合模型三者的精度。传统和现代监测方法在赵莽<sup>[7]</sup>等的研究中得到了深入的阐述。随着科学技术的进步, 高精度、轻量化及能够实时跟踪的监测技术得到了长足的发展, 如高精度测量机器人和激光位移计, 而现代监测技术也存在一些不足, 对比传统与现代技术之间的优缺点, 同时建议根据现场状况, 多种手段可达到优势互补的作用。在李锋<sup>[8]</sup>等的研究中, 全站仪自由设站法作为基坑水平位移监测的关键技术被得到了深入的探讨和详细介绍。

论文是在以上学者研究的基础上, 对各种方法进行归纳总结, 深入研究 6 种深基坑水平位移监测的方法以及它们

的优缺点。

## 2 监测方法汇总与统计

### 2.1 轴线法

轴线法是一种普遍适用于水平监测中的技术手段。该方法通过在基坑边界上布设一条直线的水平位移点来实现。通过测量位移点与轴线之间的偏移距离，便可以准确计算出水平位移的值。此方法操作简单，精准度高，因此在工程中得到大量应用。

### 2.2 测角度法

测角度法同样是一种在水平位移监测被经常使用的技术手段。它是通过测量基坑每条边所形成的轴线与测站至位移点方向的夹角（即小角度  $\alpha$ ），和测站到位移点的距离  $D$ ，根据这两个参数计算的出位移点到轴线的偏距（见图 1）<sup>[1]</sup>：

$$d = D\alpha/\rho$$

式中： $D$  为工作基点  $A$  至观测点  $P$  的距离（m）； $\rho$  为常数 206265"； $\alpha$  为测站与测点之间的夹角（"）。

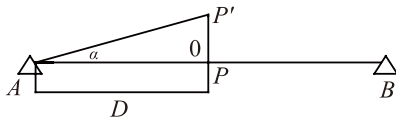


图 1 测小角度法

### 2.3 单站改正法

单站改正法作为最简便的监测手段，仅需一次设站便可完成位移量的测算与修正。在图 2 中，建议将  $A$ 、 $B$  两个标志设置在稳定的墙面上。每次进行监测时，首先测量角度变化来计算点的横向位移量，然后再次测量角度变化以确定观测点的横向位移量<sup>[9]</sup>。

经过修正后，1、2、3、 $i$  各点的位移量：

$$\begin{cases} \Delta_p = \frac{S_{p-A} S_{p-B}}{S_{p-A} + S_{p-B}} \frac{\Delta\beta_p}{\rho} \\ \Delta_1 = \frac{S_{p-1}}{\rho} \Delta\beta_1 + (1 - \frac{S_{p-1}}{S_{p-A}}) \Delta_p \\ \Delta_2 = \frac{S_{p-2}}{\rho} \Delta\beta_2 + (1 - \frac{S_{p-2}}{S_{p-A}}) \Delta_p \\ \vdots \\ \Delta_i = \frac{S_{p-i}}{\rho} \Delta\beta_i + (1 - \frac{S_{p-i}}{S_{p-A}}) \Delta_p \\ \Delta_n = \frac{S_{p-n}}{\rho} \Delta\beta_n + (1 - \frac{S_{p-n}}{S_{p-A}}) \Delta_p \end{cases}$$

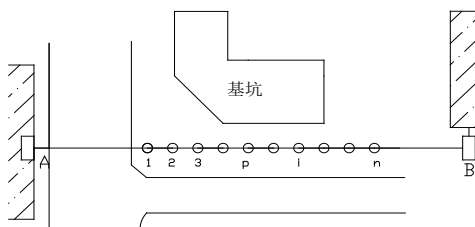


图 2 单站改正法

### 2.4 极坐标法

如图 3 所展示，可以以已知点  $A$ 、 $B$  为坐标轴，并以点  $B$  为极点来建立极坐标系。在此基础上，可以测定待求点  $C$  的坐标。首先需计算已知点  $A$  和  $B$  的方位角，表示为：

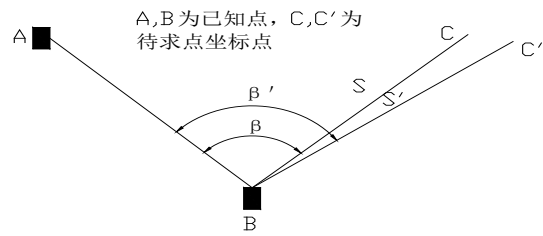


图 3 极坐标法

$$\alpha_{BA} = \arctan(Y_A - Y_B / X_A - X_B) 180^\circ / \pi$$

$BC$  方位角可通过角度  $\beta$  和  $BA$  之间的方位角计算得出，公式如下：

$$\alpha_{BC} = \alpha_{BA} + \beta$$

$C$  点的坐标为：

$$X_C = X_B + S \cos(\alpha_{BC})$$

$$Y_C = Y_B + S \sin(\alpha_{BC})$$

### 2.5 边角交会法

#### 2.5.1 前方交会法

如图 4 中所呈现的，利用经纬仪分别测量已知点  $A$  和  $B$  上的角  $\alpha$  和角  $\beta$ ，这一步骤为我们提供了求解待定点  $P$  的坐标的关键数据。根据下式来准确地确定待定点  $P$  的坐标位置。

$$x_p = \frac{x_A \cot \beta + x_B \cot \alpha - y_A - y_B}{\cot \alpha + \cot \beta}$$

$$y_p = \frac{y_A \cot \beta + y_B \cot \alpha - x_A - x_B}{\cot \alpha + \cot \beta}$$

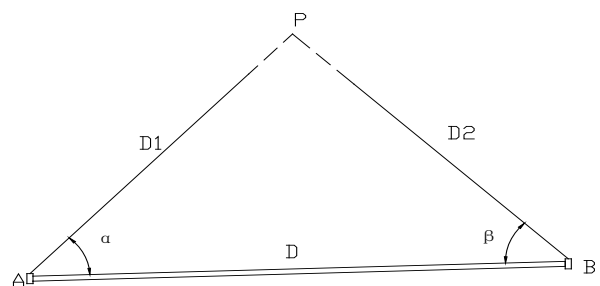


图 4 前方交会法

#### 2.5.2 后方交会法

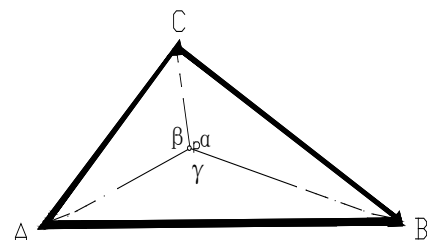


图 5 后方交会法

如图 5 所示, 后方交会就是在未知点  $P$  处设站, 观测 3 个已知点  $A$ 、 $B$ 、 $C$  之间的夹角  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ , 则可计算点  $P$  坐标, 其计算公式为:

$$X_p = \frac{P_A X_A + P_B X_B + P_C X_C}{P_A + P_B + P_C}$$

$$Y_p = \frac{P_A Y_A + P_B Y_B + P_C Y_C}{P_A + P_B + P_C}$$

其中:

$$\begin{cases} P_A = 1 / (\cot A - \cot B) \\ P_B = 1 / (\cot B - \cot \beta) \\ P_C = 1 / (\cot C - \cot \gamma) \end{cases}$$

### 2.6 自由设站法

如图 6 所示, 在位置  $P$  可以自由架设观测仪器, 至少测定在影响变形范围外的两个固定已知目标, 得出测站  $P$  到两个已知点  $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$  间的方向值  $a_1, a_2$  和距离值  $S_1, S_2$  即可计算测站的坐标  $P(x_p, y_p)$ 。其中,  $x_p$  和  $y_p$  为未知数, 必要观测数为  $x_p$  和  $y_p$ , 实际观测数为 4 ( $a_1, a_2, S_1, S_2$ ), 需平差求出  $(x_p, y_p)$ 。采用间接平差, 4 个观测值的误差方程式分别为<sup>[10,11]</sup>:

$$\begin{cases} V_{S_1} = \cos a_1^0 \delta x_p + \sin a_1^0 \delta y_p + S_1^0 - S_1 \\ V_{S_2} = \cos a_2^0 \delta x_p + \sin a_2^0 \delta y_p + S_2^0 - S_2 \\ V_{a_1} = \frac{\rho \sin a_1^0}{S_1^0} \delta x_p + \frac{\rho \cos a_1^0}{S_1^0} \delta y_p + a_1^0 - a_1 \\ V_{a_2} = \frac{\rho \sin a_2^0}{S_2^0} \delta x_p + \frac{\rho \cos a_2^0}{S_2^0} \delta y_p + a_2^0 - a_2 \end{cases}$$

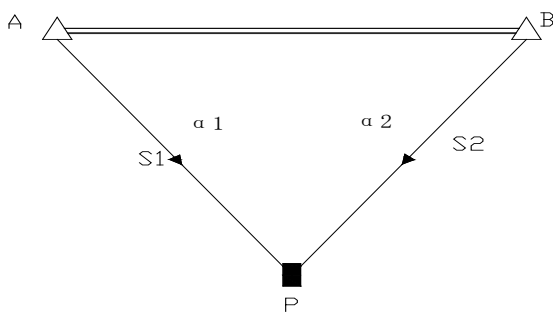


图 6 自由设站法

## 3 水平位移监测法的优缺点

### 3.1 轴线法与测小角度法

轴线法是一种使用方法便捷、成本低廉, 应用对象广泛的监测方法。但是应用在工程等级较低的基坑工程中, 与轴线法类似的小角法更容易观测计算, 但要求与基坑相距一定距离的较开阔的市政场地和基准点, 以避免基坑变形对基线产生影响; 同时也要求基坑的形状更加规整, 否则的话, 在提高观测成本的同时, 也会大大增加探测地点的数量。

### 3.2 单站改正法

单位改正法是在测小角法的原理上改进的一种在监测点布站的位移监测法。其最大的优点在于监测范围变广, 弥

补了测小角法监测距离短的缺点。应用单位改正法时需对站点的角度变化进行多次校正, 增加了位移数据处理的工作量。且工作中必须布设一个中央观测墩, 这增加了站点布设时的工作难度。

### 3.3 极坐标法

极坐标法设置站点灵活, 可在点位上设置测量, 只要在已知点位坐标及后视方向均可, 从而有效避免遮挡, 顺利收集监控资料。

根据极坐标的工作原理, 其可实现多个角度、多个方向的监控与测量。这减少了工作量, 提高了监测效率。但是, 极坐标法对仪器自身的参数要求较高, 其对位移精度的限制也导致了其在工程上的应用较少。近年来, 高精度仪器研制与推广有利于极坐标法在监测上应用与普及。

### 3.4 边角交会法

边角交会法是一种水平位移监测方法, 通过测量已知控制点和待测点的方向角和水平角, 计算待测点的水平位移。这种方法精度高, 特别是在合适距离下, 可达到较高的测量准确性。它适用于各种地形和环境, 具有广泛的应用性。然而, 该方法依赖于控制点的准确性, 若控制点位置不准确或受到干扰, 可能导致测量误差。同时, 进行边角交会需要专业的设备和技能, 操作相对复杂。因此, 尽管边角交会法在适当条件下是一种有效的监测手段, 但在实际应用中需注意其依赖性和技术要求。

### 3.5 自由设站法

自由设站法是一种先进的水平位移监测技术, 通过摒弃传统控制点, 测量人员依靠精密仪器捕捉待测点与多个参考点的复杂角度关系, 并运用先进算法迅速解算出坐标。这种方法展现出出色的操作灵活性和适应性, 尤其在无法设置控制点的场合中表现突出。然而, 这种技术要求测量人员具备高超的专业技能和丰富的实践经验, 确保每次测量都达到严格的精确性和可靠性标准。尽管自由设站法在灵活性和适应性上具有明显优势, 但其精确性和可靠性受到设备误差和操作技巧的影响, 需要在实践中不断调优和精细化操作, 以确保技术的卓越性。

## 4 结语

对 6 种基坑水平位移监测方法进行了详细的介绍, 并对其方法的优劣进行了研究。

一方面在确定监测方式前要明确其工作原理以保证监测结果准确, 另一方面要充分考虑各方法在时间、成本、准确性上的优势与不足, 来确定最终基坑水平位移监测方法。必要时, 可采用两种及以上的监测方式配合使用, 不同监测方法所得的结果也可以方便后期进行比较与校正。

### 参考文献:

[1] 熊春宝, 潘延玲, 岳树信. 基坑水平位移监测的方法比较与精度分析[J]. 城市勘测, 1996(4): 14-21.  
[2] 胡园园, 黄广龙, 史瑞旭. 深基坑水平位移监测方法的分析与比较

- [J].建筑科学,2012,28(S1):237-241+266.
- [3] 刘乾,李晓柱.桩顶水平位移各种监测方法在深基坑施工监测中的适用性[J].工程与建设,2012,26(6):845-848.
- [4] 袁定伟,郑加柱.建筑基坑变形监测方法分析[J].山西建筑,2007(8):138-139.
- [5] 王克荣,李红梅,王兵.不规则基坑监测侧向水平位移计算方法探讨[J].测绘,2023,46(3):135-136.
- [6] 李勇.基坑水平位移监测预测方法探讨[J].测绘标准化,2023,39(1):98-101.
- [7] 赵莽,吴大国,姚运昌.深基坑工程变形监测方法探讨[J].建筑安全,2023,38(2):90-92.
- [8] 李锋.全站仪自由设站法的精度分析[J].现代测绘,2006(5):3-4+21.
- [9] 黄北华.单站改正法在位移测量中的应用[J].浙江水利科技,1999(S1):74-76.
- [10] 夏才初,潘国荣.土木工程监测技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [11] 张慧慧.测量平差基础(第2版)[M].湖北:武汉理工大学出版社,2017.
- 作者简介:王正亚(1984-),男,中国江苏灌云人,本科,工程师,从事道路桥梁方向设计及现场管理研究。