

城市高层建筑变形监测的技术研究

刘甲红¹, 徐顺明^{2*}

¹广东普蓝地理信息服务有限公司, 广东 广州

²广州地铁集团有限公司, 广东 广州

Email: *13602711881@163.com

收稿日期: 2021年5月30日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘要

高层建筑的沉降或水平位移, 无论施工阶段的高层建筑还是运营阶段的高层建筑的安全至关重要。变形监测是判别其发生高层建筑沉降和位移变化的主要手段, 文章主要分析了高层建筑的变形监测的原理、计算方法、工作流程等, 并通过实例数据来展示城市高层建筑变形监测的形变过程, 以供建设、城市管理者作参考。

关键词

高层建筑, 沉降, 变形监测, 安全

Research on Deformation Monitoring Technology of Urban High Rise Buildings

Jiahong Liu¹, Shunming Xu^{2*}

¹Guangdong Pulan Geographic Information Service Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

Email: *13602711881@163.com

Received: May 30th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

The settlement or horizontal displacement of high-rise buildings is very important to the safety of

*通讯作者。

文章引用: 刘甲红, 徐顺明. 城市高层建筑变形监测的技术研究[J]. 土木工程, 2021, 10(6): 579-589.

DOI: 10.12677/hjce.2021.106065

high-rise buildings in both construction and operation stages. Deformation monitoring is the main means to identify the settlement and displacement changes of high-rise buildings. This paper mainly analyzes the principle, calculation method and work flow of deformation monitoring of high-rise buildings, and shows the deformation process of deformation monitoring of urban high-rise buildings through case data, so as to provide reference for construction and urban managers.

Keywords

High Rise Building, Settlement, Deformation Monitoring, Safety

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 随着我国国民经济的飞速发展, 人口也越来越多, 城市中现代化大型建筑物不断出现, 以及一些城市过量开采地下水(如天津)导致大型建筑物沉降显著。这在客观上提出了如何保证高层建筑的安全运营问题, 即高层建筑是否存在均匀与不均匀沉降或水平位移, 并且这些现象的存在是否危及建筑及其设施安全使用[1], 这就需要通过变形监测获取实时变化资料, 通过数据的对比、分析, 监视建筑物是否出现沉降或位移。下面着重讨论变形监测的原理和方法。

2. 高层建筑物沉降原因和特点

高层建筑给城市带来一片现代气息, 同时也带来了许多的问题, 沉降问题便是其中之一。高层建筑, 随着修建的逐层增加, 基础和地基载荷不断增加, 就容易引起基础及四周的地层变形。建筑物因变形及外部荷载与内部应力的作用, 也会发生形变。这种形变超过一定限度就会影响建筑物的正常使用, 甚至危及安全, 因此, 在建筑物施工和运行管理期间, 必须对建筑物进行严密的变形监测[2]。变形包含垂直位移变形和水平位移变形, 这里主要针对垂直位移的变形进行观测, 即建筑物的沉降观测。

建筑物的变形通常由两方面原因引起。一是自然条件的变化, 即地基的工程地质、水文地质条件, 土壤的物理性质, 及大气温度等。地基的地质条件有的稳定、有的不稳定, 容易引起建筑物的倾斜及不均匀沉降[3]; 在土基上的建筑物, 土基发生塑性变形时, 建筑也容易发生沉降; 由于温度或地下水位的季节性和周性变化, 也会引起建筑物的规律变形。二是建筑物本身的原因, 即建筑物本身的荷重, 建筑物的结构等作用。此外, 由于勘测设计、施工以及运营管理工作做的不合理, 还会引起建筑物产生额外的变形。

工程建筑物的变形, 分为静态变形和动态变形。静态变形通常是指变形观测的结果只表示在某一期间内的变形值[4], 它只是时间的函数; 动态变形是指在外力影响下而产生的变形, 故它是以外力为函数来表示的动态系统对于时间的变化。其观测结果是表示建筑物在某个时刻的瞬时变形。

沉降观测的主要目的是正确反映出建筑物的变化情况, 达到监视建筑物的安全运营, 了解其变形规律之目的。因此, 观测点应根据建筑物的性质和地基情况来定, 具有针对性、重点性、全面性。不同观测对象分类为: 工业与民用建筑, 主要观测内容是均匀沉降和不均匀沉降。对于建立在江河下游冲积层上的城市以及有地下采矿的地区, 会发生地表沉降的现象, 所以必须进行变形观测, 掌握其沉降与回升

的规律以采取防护措施。

3. 高层建筑物的沉降观测

3.1. 沉降观测的组织工作

建筑物的沉降观测工作包括以下几个阶段:

- a. 筹备阶段;
- b. 外业观测阶段;
- c. 外业观测成果的处理阶段;
- d. 建筑物沉降和地基相对变形的确定阶段。

第一阶段工作, 设计单位要编写一个实施观测工作的技术任务书。其中包括水准标石和沉降标志的布设方案, 确定沉降的相对精度指标及观测周期和观测期限[5]。

承担观测工作的测量单位要根据技术任务书编写测量工作计划, 计划必须包括: 控制点是水准标石的布设略图及其类型、沉降标志的结构及其固定方法、水准测量线路略图、精度估算和观测方法以及平差计算方法。

计划决定以后, 就要埋设高程控制标志和沉降标志, 外业工作从在测区建立统一的高程控制开始。为此要沿测区的所有水准标石敷设水准路线, 而水准标石的高程应在国家高程系统中确定, 因此要在这些水准标石和最近的一个国家高程点之间敷设水准路线。

在测区建立了高程控制之后, 就开始建筑物的沉降观测。就要在已知水准标石之间敷设包括所有沉降标志在内的水准路线。

对沉降标志进行水准测量的同时要测量建筑物体的温度, 确定地下水位及其化学成分, 以及获取对产生沉降原因能够做出正确解释的许多其它数据, 在一期外业观测结束之后, 要编绘标有水准标石和沉降标志之间的高差和距离的水准路线略图, 计算闭合环的闭合差。如果闭合差在限差之内, 则可以对线路进行平差, 评定外业观测精度, 并计算沉降速度。

有关建筑物地基的沉降和变形的资料还要补充建筑物的温度和地下水位的波动曲线图, 以及建筑物基础和墙壁的目视观测成果。

3.2. 工作基点布设的方法和原则

沉降监测网常有工作基点(水准基点)和监测点(变形点)组成。水准基点是沉降观测的基准点。因此, 要求它非常稳定, 使它在相当长的观测时期内(一般为几年到十几年)高程固定不变。观测点则是布设在变形的建筑体上, 能反映变形体变形的几何特性的点。

水准基点一般是用 129 或 159 mm 钻头钻孔后灌注混凝土筑成的, 再埋设时, 由于受到土壤膨胀和收缩的影响而不宜稳定。因此水准基点应尽可能埋设在基岩上。标石上部需加套管防护, 套管理深应在 1.2 m 左右, 顶部应加以保护标志。但在城区, 当新建的建筑物附近有修建年代较长, 基础稳定的建筑物时, 也可在该建筑物上设置基点。

在布设水准基点时, 埋设位置应距拟测建筑物 20~25 m 处。以避免后欲建管道, 道路的地区。基点一般应埋设成 3 个一组。以便检测基点是否稳定。对于拟测的工程规模较大的, 基点要统一布设在建筑物周围。便于沉降水准的联测, 缩短水准线路以提高观测的精度。还有为了避免地层沉降的影响。同时, 水准基点的埋设深度应与建筑物基础深度相适应。

由于沉降地区的影响或其他的原因, 水准基点的高程也是有可能变化的。为检测水准基点是否有变化, 可将一组 3 点构成一个边长为 100 m 左右的等边三角形[6], 如图 1。

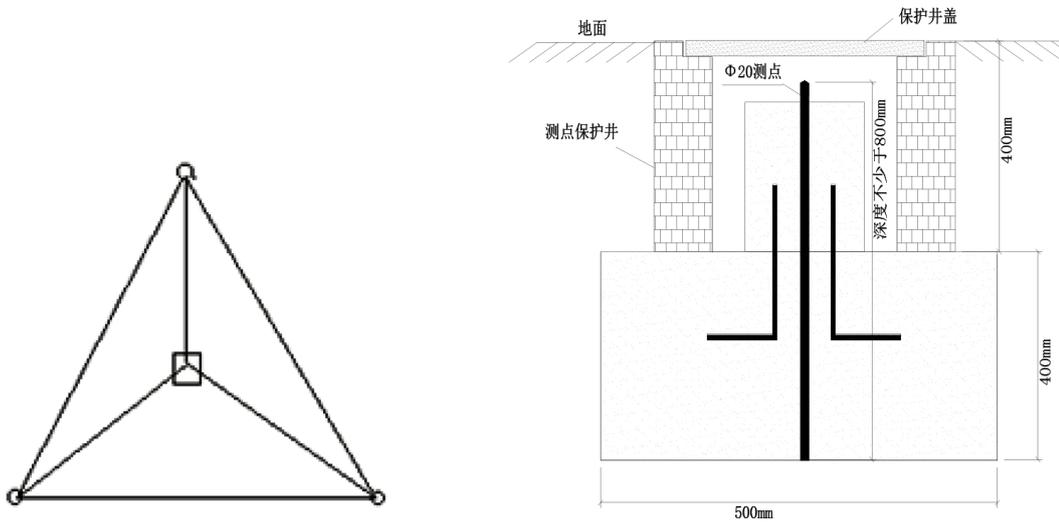


Figure 1. Schematic diagram of bench mark
图 1. 水准基点示意图

三个顶点为水准点, 在三角形中心与三点等距的地方设置固定测站, 在此测站可经常观测三个水准基点的高程, 在具体作业中, 也往往将三点联测成一个闭合环。

3.3. 测量仪器的选择及误差分析和精度分析

3.3.1. 仪器选择

高层建筑物沉降观测, 不同于一般的水准测量, 其精度要求较高, 但根据不同的精度要求, 也许要选择不同的仪器进行, 表 1 是根据等级选用了不同的仪器以及沉降观测中误差制定。

Table 1. Error table of different levels of instruments
表 1. 不同等级仪器误差表

观测等级	适用范围	中误差 mm	水准器				水准尺
			等级	型号	放大倍率	水准管格值 mm	
一等 高精度	重要任务 科研任务	±0.2	S05	蔡司 004	44	10"/2	线条式 因瓦水尺
				威特 N3	42	10"/2	
二级 中精度	一般工程 科研工程	±0.5	S1	北测 S1	40	10"/2	线条式 因瓦水尺
				蔡司 007	32	10"/2	
三级 普通观测	沉降量较大的工程	±0.1	S1	北测 S1	40	10"/2	区格式 木双面尺
				威特 N3	28	30"/2	
四级 普通观测	沉降量较大的工程	±1.0	S3	北测 S3	30	25"/2	区格式 木双面尺
				蔡司 030	25	30"/2	
五级 简易观测	沉降量较大, 精度要求不高	±2.0	S3	北测 S3	30	25"/2	普通水准尺
				蔡司 030	25	30"/2	

3.3.2. 误差分析

由于水准测量中视线短, 测站多, 因而在精度分析中, 多用每站的高差中误差来衡量。每站的高差中误差包括以下几种因素:

a. 观测误差 $M_{\text{测}}$ 。它包括: 照准误差 M_1 , 符合水准气泡居中误差 M_2 和读数误差 M_3 。

1) 照准误差 $M_{\text{测}}$

$$M_{\text{观}} = P/V * S/\rho$$

公式中: P ——人眼的鉴别能力。取 $30''$ 。

V ——望远镜放大倍率。

S ——最大视距。

2) 符合水准气泡居中误差 $M_{\text{中}}$

$$M_{\text{中}} = 0.03 * \tau'' * S/\rho''$$

公式中: τ'' ——水准管值。

S ——最大视距。

3) 读数误差 $M_{\text{读}}$:

根据所用仪器不同, M_3 可以分为三类:

用 S05, S1 型水准仪和因瓦水准尺时, $M_3 = \pm 0.03 \text{ mm}$;

用 S1 型水准仪和木双面尺时, $M_3 = \pm 0.03 \text{ mm}$;

用 S3 型水准仪和木双面尺时, $M_3 = \pm 0.5 \text{ mm}$;

综上所述, 每观测一测站的观测误差为:

$$m_{\text{观}} = \pm \sqrt{2m_{\text{观}}^2 + 2m_{\text{中}}^2 + 2m_{\text{读}}^2}$$

b. 仪器误差 $M_{\text{仪}}$ 。它主要包括调焦误差 M_1 , 水准尺分划误差 M_2 , 尺底不平误差 M_3 ; 以及 i 角产生的误差 M_i :

$$M_i = i * \Delta S/P$$

公式中: I ——S05, S1 以 15 秒计; S3 以 20 秒计;

ΔS ——允许视距差。

因每测站高差中, M_i , M_1 只影响一次; 而 M_2 , M_3 影响两次
所以:

$$m_{\text{仪}} = \pm \sqrt{m_i^2 + m_{\text{焦}}^2 + 2m_{\text{尺}}^2 + 2m_{\text{底}}^2}$$

外界影响误差 $M_{\text{外}}$:

主要包括立尺不直误差 $M_{\text{直}}$ 和其它外界误差 $M_{\text{它}}$

$$m_{\text{外}} = \pm \sqrt{2m_{\text{直}}^2 + 2m_{\text{它}}^2}$$

3.3.3. 精度分析

对水准点的检验, 常因精密水准按一等水准测量规范进行, 对观测点的观测, 可按二等水准的方法和要求进行。如果网中最弱点相对与工作基点的高差中误差为: $M_{\text{弱}}$ 我们对其精度要求如下:

$$M_{\text{弱}} \leq \mu_{\text{站}} * \sqrt[2]{K}$$

$$K = K_1 * K_2 / (K_1 + K_2)$$

$$\mu_{\text{站}} = \sqrt[2]{P[dd]4 * n}$$

$$P_i = 1/N \quad (i = 1, 2, 3, \dots)$$

式中: K_1 , K_2 表示由两个工作基点分别测到最弱点的战数; n 表示符合水准路线的测段数; N_i 表示各测短的测站数; d_i 表示各测段往返高差较差。

另外, 未消除或消弱沉降观测过程中, 水准点之间不均匀沉降所产生的影响。采取下列措施:

- a) 尽量缩短水准路线或线路的长度, 也可用两类同级水准仪, 进行对象观测以代替往返观测, 以缩短观测时间;
- b) 沉降观测作业应从沉降量大的地方开始, 依次向沉降量小的地区推进;
- c) 在沉降量较大的地区, 应在短时间内完成一个闭合环的观测, 沉降网中的节点有几个小组协同作业时, 应同时接测。

3.3.4. 观测周期和终测标准

保证资料完整, 应从基础浇制完成以后, 施工进行到 ± 0 时, 进行首次观测, 建筑物上部结构施工, 随着荷载的增加, 每增加一层或三层荷载观测一次, 封顶时观测一次。上砌体、装修、竣工、使用各观测一次, 使用阶段, 使用后第一年观测四次, 第二年每隔半年观测一次, 以后每年观测一次。

在观测过程中发现差异沉降量大于规定的要求式或阶段沉降量较大时, 一方面要及时通知设计, 施工部门采取措施。如南面沉降大, 则先从北面施工; 另一方面缩短观测周期, 进行监测, 以保证建筑物的安全。

根据经验半年沉降量不超过 2 mm, 既每日平均沉降速度小于或等于 0.01 mm/日, 则认为该建筑沉降量已经稳定, 可终止观测。

3.4. 数据处理经典理论和方法

影响变形数据的结果有多种原因, 如测量精度的局限; 操作者人为误差的影响; 测量方式、方法的优劣及外界环境的变化等, 最后由于变形观测本身也存在误差, 有重大意义精度要求很高的建筑必须考虑这些因素。它们对变形的影响有多大? 这就要求我们必须找出引起变形的因素与变形值之间的内在联系与统计规律。下面介绍两种方法。

3.4.1. 时间序列时域法

时域法的主要是同一变量在现在时刻的观测值, 在时间上同以前的观测值是有联系的。当然在新时刻会出现未预料的新情况, 因此对时间序列 $\{x_t\} (t=1, 2, 3, \dots)$ 可以用如下得数字模型来描述

$$X_t = f(X_{t-1}, X_{t-2}, \dots) + a_t \quad (3-3)$$

这里的函数把现在的情况同一前的联系起来, 而 a_t 表示时刻 t 出现的新情况。

模型(3-3)常用的一种情况是 f 取线性形式且假定 a_t 是白噪声序列其值为零, 当只有有限项时模型成为

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + a_t \quad (3-4)$$

当用 B^k 表示线形推移算子, 分别用

$$BX_t = X_{t-1}, B^2 X_t = X_{t-2}, \dots, B^p X_t = X_{t-p}$$

代入(3-4)式, 则得

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) X_t = a_t \quad (3-5)$$

令

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)^{-1} = 1 - \theta'_1 B - \theta'_2 B^2 - \theta'_3 B^3 - \dots - \theta'_q B^q \quad (3-6)$$

则

$$X_t = (1 - \theta'_1 B - \theta'_2 B^2 - \dots - \theta'_q B^q) a_t \quad (3-7)$$

顾及 B^k 为线形推移算子, 则可写成

$$X_t = a_t - \theta'_1 a_{t-1} - \dots - \theta'_q a_{t-q} \quad (3-8)$$

通常称模型(3-4)为自回归过程, 记作 $AR(p)$; 模型(3-8)为滑动平均过程记作 $MA(q)$ 。实际模拟中, 为了使模型拟合实际数据具有更大的灵活性, 有时在模型中既包括了自回归部分也包括了滑动平均部分这时数学模型成为

$$X_t - \phi_1 X_{t-1} - \phi_2 X_{t-2} - \dots - \phi_p X_{t-p} = a_t - \theta'_1 a_{t-1} - \dots - \theta'_q a_{t-q} \quad (3-9)$$

模型(3-9)称自回归滑动平均过程, 常缩写为 $ARMA(p,q)$ 过程。

用时序分析的时域法来处理变形观测数据, 实质上就是根据有变形观测取得的一段样本值 x_1, x_2, \dots, x_n 对观测序列 $\{x_t\}$ 的模型做出估计。也即需确定模型的阶数 p, q , 并估计出参数 ϕ, θ_j 与白噪声序列的方差。前者称模型识别, 后者称参数估计。时序分析的时域法在拟合观测数据时, 采用自相关函数为主要诊断工具。

时域法模拟随机序列的步骤如下:

(一) 计算自相关函数 ρ_k

a) 计算自标准协方差函数

$$\gamma_x(k, l) = E\{[X_k - u_x(k)][X_l - u_x(l)]\} \quad (3-10)$$

此处 $u_x(k), u_x(l)$ 分别为序列 X_k, X_l 的均值

b) 计算自协方差函数

$$\rho_x(k, l) = \gamma_x(k, l) / [\delta_x(k) \delta_x(l)] \quad (3-11)$$

当 $k = l$ 时, $\rho_x(k, l) = \rho_k$ 为自相关函数。

(二) 计算偏相关函数 ϕ_{kk}

偏相关函数得计算可利用方程

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-1} \\ \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{k1} \\ \phi_{k2} \\ \dots \\ \phi_{kk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \dots \\ \rho_k \end{bmatrix}$$

(三) 模型判断

a) 如自相关函数 ρ_k 在 $k > q$ 后就截尾, 则可判断为 $MA(Oq)$ 序列;

b) 如偏相关函数 ϕ_{kk} 在 $k > q$ 后就截尾则可判断为 $AR(pO)$ 序列;

c) 如 ρ_x, ϕ_{kk} 都不截尾则又陪负指数性得数列所控制, 则应考虑 $ARMA(p,q)$ 模型。

(四) 模型中系数的确定

在模型确定后, 将观测序列代入模型, 每一个序列值可获得一个观测方程, 由最小二乘原理即可求的模型的代估参数。

3.4.2. 一元线性回归和多元线性回归

回归分析法又称最小二乘法、趋势外推法, 它通过一个或一组变量来预测与其相关关系的随机变量, 是一种广泛应用的数理统计方法。

(一) 一元线性回归

一元线性回归方法主要研究两个变量之间线性关系的一种方法。它是根据历史统计资料预测未来一段时间事物的发展趋势和可能达到水平。用于一般预测时其自变量包括广泛的变量 x_i , 它的元素是可以精确测量或可控制的一般变量的观测值或它们的函数。

1) 建模一元线性回归得数学模型为:

$$Y_{ii} = A + BX_i \quad (3-12)$$

式中: Y_{ii} 为第期的观测值;

A 为回归系数(纵轴上截距);

B 为回归系数(直线斜率);

X_i 施工期可选楼层数, 运营期可选观测时间(只限沉降观测时)。

在实际应用时, 先根据历史资料在坐标图上描出散布地点, 并按各点得分布趋势作一条近似直线, 其中总误差最小的趋势直线称为最优直线。延长此线即可预测出今后一段时间的变形值。但是作在线性回归之前, 应先观察这些离散点的离散状况, 是否可以运用线性回归。否则做出结果毫无意义。

2) A 、 B 值得计算 有了(3-12)后我们可以将自变量 X_i 值代入式中求出 Y_{ii} 值, 但是实际 Y_i 的值并不等于计算的 Y_{ii} 值, 而一定的误差 δ_i , 即:

$$\delta_i = Y_i - Y_{ii} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

响应点的坐标为:

$$Y_i = A + BX_i + \delta_i \quad (3-13)$$

按最小二乘法求解:

$$\sum \delta_i^2 = \sum (Y_i - Y_{ii})^2 = \sum [Y_i - (A + BY_i)]^2 \quad (3-14)$$

将上式分别对系数 A 、 B 求偏导, 并令两个偏导数为 0, 即可求出系数的 A 、 B 值。

化简后得联立方程:

$$\sum (Y_i - A - BY_i) = 0 \sum A + B \sum X_i = \sum Y_i$$

$$\sum X_i (Y_i - A - BY_i) = 0 A \sum X_i + B \sum X_i^2 = \sum X_i Y_i$$

解上述联立方程得:

$$A = (\sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum X_i Y_i) / [n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2] \quad (3-15)$$

$$B = (n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i) / [n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2] \quad (3-16)$$

据上式可求出 A 、 B 的值。

3) 相关性检验 相关系数 γ 可由下面公式求得:

$$\begin{aligned} \gamma &= (n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i) / \sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]} \\ &= B \sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2] / [n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]} \end{aligned}$$

再根据置信水平 α 和自由度 $N - n - 2$ 为引数, 查相关系数检验临界值表。若的绝对值大于或等于 ra , 则 X_i 和 Y_i 间存在线性相关关系; 反之不存在线性相关关系。这种判定常称为相关系数的显著性检验。

4) σ_2 的估计 $Y_i - Y_i^0$ 称 X_i 处的残差, 平方和:

$$Q_e = \sum (Y_i - Y_i^0)^2 = (Y_i - A^0 - B^0 Y_i^0)^2$$

称残差平方和, 其服从分布:

$$Q_e / \sigma^2 \sim X^2(n-2)$$

于是 $E(Q_e / \sigma^2) = n - 2$ 。

即知 $\sigma_{02} = Q_e / (n-2)$ 是 σ_2 的无偏估计, Q_e 进一步可写为:

$$\begin{aligned} Q_e &= \sum (Y_i - Y_i^0)^2 = \sum [Y_i - Y^0 - B^0 (X_i - X_0)]^2 \\ &= \sum (Y_i - Y_i^0)^2 - 2B^0 \sum (Y_i - Y_i^0)(X_i - X_0) + B^{02} \sum (X_i - X_0)^2 \end{aligned}$$

5) 置信区间 实际应用时, 若置信度为 95%, 则 Y_i 的置信区间的上下限为 $Y_i + 2\sigma$; 若置信度为 99%, 则 Y_i 的置信区间的上下限为 $Y_i + 3\sigma$ 。此外还应求系数 B 的置信区间。 B 的置信度为 $1-a$ 的置信区间为:

$$b_0 \pm t_{a/2}(n-2)\sigma / \sqrt{S_{xx}}$$

其中: $S_{xx} = \sum (X_i - X_0)^2 = \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$ 。

6) 预测 回归方程一个重要应用是对于给定的点 $X = X_0$, 可以以一定的置信度预测对应的 Y 观测值得取值范围, 即所谓的预测区间。预测区间的求法在许多书上讲过, 在此不作论述, 只给出结果:

将 X_0 代入式 $Y = A + BX$, 所求的 Y_0 值的置信度为的预测区间为:

$$Y_0 \pm t_{a/2}(n-2)\sigma \sqrt{1 + (1/n) + (X_i - X_0)^2 / S_{xx}}$$

其中: $S_{xx} = \sum (X_i - X_0)^2 = \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$ 。

由上式可知, 对于已测定的点位值及置信度 $1-a$ 而言, 当愈靠近 X^0 , 预测区间的宽度就愈窄, 预测区间就愈精密。

4. 实例分析

根据上面的介绍, 现以某建筑楼观测数据为例, 根据每个周期的观测值可以算得每个点在相应周期内的高程值。有了高程值后可算得每两个周期之间的沉降量, 就是用后一周期的观测值减去前一周期的观测值。累积沉降量就是首次观测高程与本次高程之差。沉降速度等于累积沉降量除以观测的周期。算得需要得成果后列表 2 所示。

Table 2. Settlement observation results

表 2. 沉降观测成果表

点名	第一次结果(m)	上次结果(m)	本次结果(m)	沉降量(mm)	累计沉降(mm)	沉降速度(mm/日)
时间	2016.12.23	2017.4.22	2017.5.13			
A1	24.5194	24.5179	24.5180	+0.1	-1.4	+0.005
A2	24.5092	24.5074	24.5074	0	-1.8	0
A3	24.5339	24.5319	24.5321	0.2	-1.8	+0.010
A4	24.4806	24.4787	24.4786	-0.1	-2	-0.005

Continued

A5	24.5102	24.5081	24.5087	0.6	-1.5	+0.029
A6	24.5225	24.5206	24.5212	0.6	-1.3	+0.029
A7	24.5058	24.5037	24.5044	0.7	-1.4	+0.033
A8	24.5321	24.5302	24.5306	0.4	-1.5	+0.019
A9	24.4990	24.4982	24.4984	0.2	-0.6	+0.010
A10	24.5123	24.5109	24.5102	-0.7	-2.1	-0.033

通过上面的计算我们得到的是每次观测点的高程和累积沉降量。有了每期的累积沉降量我们就可以画眉各点的变形过程线。表 3 显示的是该建筑物八期的累计沉降量, 它表示了每期的高程值与第一次的高程值之差。

Table 3. Cumulative building drawdown

表 3. 建筑物累计沉降量表

累积量点号	16.12.23	00.01.14	03.12	03.25	04.11	04.22	05.13	05.28
A1	0	-0.7	-0.9	-0.7	-1.7	-1.5	-1.4	-3.3
A2	0	-0.7	-1.0	-0.8	-1.3	-1.8	-1.8	-2.4
A3	0	-0.6	-1.1	-1.1	-1.2	-2.0	-1.8	-2.5
A4	0	-0.5	-0.9	-1.0	-1.1	-1.9	-2.0	-2.4
A5	0	0.1	-0.4	0.0	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5
A6	0	0.3	-0.3	0.1	-1.5	-1.9	-1.3	-3.2
A7	0	0.1	-0.5	-0.2	-1.6	-2.1	-1.4	-3.3
A8	0	0.2	/	0.0	-1.4	-1.9	-1.5	-2.9
A9	0	1.0	0.9	1.9	-1.0	-0.8	-0.6	-2.6
A10	0	4.1	3.2	3.3	-1.9	-1.4	-2.1	-0.7
A11	0	1.2	0.2	0.3	-1.8	-1.3	-1.3	-3.7
A12	0	0.8	-0.4	0.0	-2.3	-2.0	-1.5	-4.2
A13	0	1.6	1.4	1.5	-0.1	-0.7	/	-2.8
A14	0	1.4	1.3	1.4	0.2	-0.2	-0.7	-2.6
A15	0	1.2	1.1	1.5	0.2	-0.4	-0.7	-2.5
A16	0	2.0	1.1	1.6	0.4	-0.2	-0.8	-1.0

根据表 3 可以画出 A1-A16 点的变形过程线, 现在以 A1, A6, A9, A12 的变形过程线为例, 变形过程线如图 2:

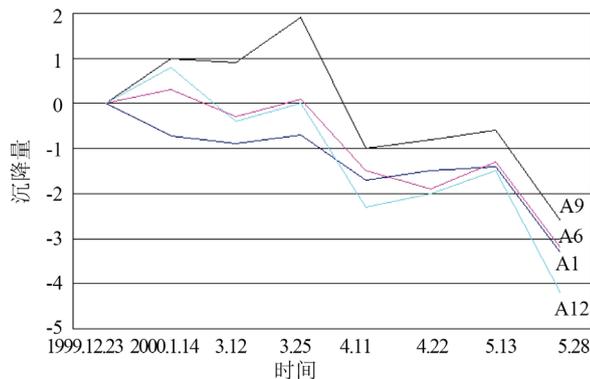


Figure 2. Curve of deformation process

图 2. 变形过程线图

沉降观测后提供的成果应包括下面三个部分:

- 1) 基础平面示意图, 图上应标有观测点的位置及编号, 需要时还应绘竣工时及沉降基本稳定时的等沉线图。
- 2) 观测点的下沉量曲线, 曲线图上应显示每个观测点随着建筑荷载的增加而有的沉降量。
- 3) 沉降观测成果表, 其中表示有每个点在每个周期的高程值, 每个周期的沉降量, 累积沉降量以及沉降速度。通过实例, 我们可以看出高层建筑变形监测的必要性。

5. 结语

高层建筑已越来越多地出现在世界各地, 且建筑物的高度不断增高。高层建筑施工测量属于精密工程测量范畴, 是一项长期艰巨而细致的工作, 本研究重点是传统沉降监测原理和实际验证, 高层建筑沉降变化是复杂的, 展望今后综合采用激光投点仪、GNSS、数字正垂仪、CCD、倾斜仪等多种先进设备, 构建超高层建筑施工测量基准维持内容体系及技术体系, 并重点针对高层建筑施工控制网竖向传递中塔体摆动监测这一关键技术问题进行研究, 现场监测动态信息反馈指导施工过程, 以及建成后的运营安全管理。

参考文献

- [1] 花向红, 邹进贵. 高层建筑沉降监测技术及应用研究[J]. 矿山测量, 2002(1): 8-10.
- [2] 陈翔. 高层建筑中沉降观测技术的应用[J]. 企业技术开发, 2009(7): 47-48.
- [3] 王焱, 魏巍. 浅析建筑物的变形观测[J]. 科学与财富, 2013(1): 211-211, 267.
- [4] 魏利国, 管国斌. 浅析建筑物的变形观测[J]. 科技信息, 2007(3): 107-107.
- [5] 符海鸥, 李奎, 付业平. 建筑物沉降监测设计与实践[J]. 地理空间信息, 2011, 9(6): 133-135.
- [6] 李香娥. 工程建筑物的变形观测[J]. 四川测绘, 2006, 29(1): 36-38.