

# 建筑物沉降监测专家分析系统设计与开发

董春来, 吴雪燕, 蒋廷臣

(江苏淮海工学院, 江苏 连云港 222001)

**摘要:** 建筑物沉降监测数据分析与处理是一项较复杂的系统工程, 本文从自动化处理观点出发, 介绍了设计沉降监测专家分析系统的咨询新理念 and 主体思想, 探讨了开发选用的数学模型与开发过程, 以期对相关变形监测与分析提供帮助和启示。

**关键词:** 沉降监测; 分析系统; 设计与开发

**中图分类号:** TU 196      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672- 5867( 2008) 06- 0165- 03

## Design and Implementation of Expert Analyzing System for Buildings Settlement

DONG Chun- li, WU Xue- yan, JIANG Ting- chen  
(Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222001, China)

**Abstract** The data analysis and processing of buildings settlement is a complicated systematic engineering. From the point of view of automatic processing, this paper introduced the new principle and the main thoughts for expert analyzing system. It also discussed the mathematics model during the development and the developing procedure to provide development that inquiry into the development to choose to use process take expert help and enlighten for related distortion monitoring and analysis.

**Key words** buildings settlement; analytical system; design and implementation

### 0 引言

随着经济建设的高速发展, 城市人口的迅速增长, 土地资源利用愈来愈紧张, 城市建筑向纵深发展。由于荷载及基础等多方面原因, 建筑物沉降及变形愈来愈引起相关人们的关注。为了及时提供城市高耸建筑物的监测资料, 掌握建筑物动态变形, 确保建筑物安全使用, 必须实施建筑物沉降监测、数据处理、变形分析、总结及预测预报, 然而, 这是有一定难度且非常复杂的过程, 为了适应城市建设和发展需要、提供更好的咨询和服务、提高自动化、现代化程度, 设计开发沉降监测专家分析系统, 十分必要。

### 1 系统设计

专家系统基于建筑物沉降监测取得大量多期观测数据信息, 采用数据相关性及预测模型, 全面实现处理分析预测自动化、管理现代化, 其总体结构如图 1 所示。

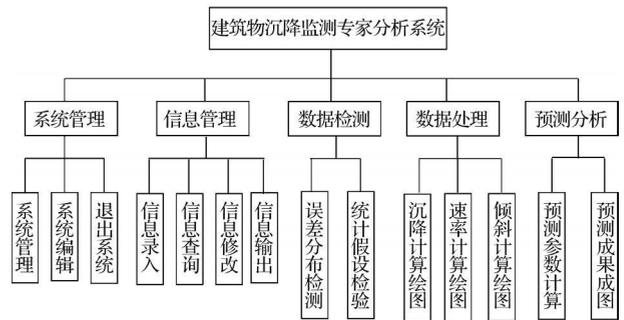


图 1 专家分析系统总体结构图

Fig 1 The overall structure of system

### 2 沉降观测数据正确性的检验

#### 2.1 误差分布的假设检验

沉降观测的数据误差是以偶然误差为主导的, 无论是从误差的正负号或者从误差数值的大小等方面来进行

收稿日期: 2008- 02- 18

作者简介: 董春来 (1963- ), 男, 安徽安庆人, 副教授, 在读硕士研究生, 主要从事大地测量、变形观测、测绘数据库及测量数据处理等方面的教学与研究工作。

分析和考察,都应该基本上符合偶然误差的基本特性。

1)误差正负号个数的检验

设以  $x_i$  表示误差数列中第  $i$  个误差的正负号,当  $\Delta_i$  为正时,取  $x_i + 1 = +1$ ,为负时,取  $x_i = 0$ 。则  $S_x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = [x]$  是表示在  $n$  个误差中正误差出现的个数。在概率论中知道,  $S_x$  是服从二项分布的变量,当  $n$  很大时,标准化后  $S_x$  变量将近似于  $N(0, 1)$  分布。

为了检验  $p$  是否为  $1/2$  作出假设:

$$H_0: p = 1/2 \quad H_1: p \neq 1/2$$

$$n = 12, S_x = 7$$

在  $H_0$  的假设下,统计量:

$$\frac{S_x - \frac{n}{2}}{\frac{1}{2}\sqrt{n}} \sim N(0, 1)$$

2)正负误差分配顺序的检验

有时误差的正负号可能是受到某一因素的支配而产生系统性的变化,例如可能随着时间而改变,在某一时间段内误差大多为正,而在另一段时间内则大多为负,但是,在这种情况下,正负误差的个数有可能基本相等。如果只用上述方法进行检验,就难以发现是否存在上述系统性的变化。所以,就应该将误差按照时间的先后顺序排列,从而检验其是否随着时间而发生系统性的变化。

若将误差按照某一因素的顺序排列,设以  $v_i$  表示第  $i$  个误差和第  $i+1$  个误差的正负号的交替变换,当相邻两误差的正负相同时,取  $v_i = 1$ ,正负号相反时,取  $v_i = 0$ 。当有  $n$  个误差时,则有  $n-1$  个交替变换(恰好等于 0 的误差不算在内)。现组成统计量:

$$S_v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_{n-1} = [v]$$

则  $S_v$  是表示相邻两误差正负号相同时的个数。显然,  $S_v$  仍然是服从二项分布的变量,且由于正负号交替变换的随机性,  $v_i$  取值 1 与取值 0 的概率应该相等,即  $p = q = 1/2$ 。仿 (3-1) 公式可以写出:

$$\frac{S_v - \frac{(n-1)}{2}}{\frac{1}{2}\sqrt{n-1}} \sim N(0, 1)$$

检验:  $|S_v - \frac{n-1}{2}| < 2\sqrt{n-1}$

3)误差数值和的检验

将一系列误差求和:

$$S_{[\Delta]} = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n = [\Delta]$$

根据偶然误差的第三特性可知,上述  $S_{[\Delta]}$  在理论上应该为 0。

因为  $\Delta_i \sim N(0, \sigma^2)$ , 故有:

$$E(S_{[\Delta]}) = E(\Delta_1) + E(\Delta_2) + \dots + E(\Delta_n) = 0$$

$$D(S_{[\Delta]}) = D(\Delta_1) + D(\Delta_2) + \dots + D(\Delta_n) = n\sigma^2$$

因此  $S_{[\Delta]}$  是服从  $N(0, n\sigma^2)$  变量。它的标准化变量则为:

$$\frac{S_{[\Delta]}}{\sqrt{n}\sigma} \sim N(0, 1)$$

为了检验误差的数值和是否为 0 此处作出“ $H_0$ : 误差数值和期望为 0”的假设。

若取 95% 置信度,则有:

$$P\left\{\left|\frac{S_{[\Delta]}}{\sqrt{n}\sigma}\right|\right\} = 0.9545$$

检验:  $|S_{[\Delta]}| < 2\sqrt{n}\sigma$

4)正负误差平方和之差的检验

将一系列误差各自平方,并组成如下代数和:

$$S_{[k\Delta_i^2]} = k_1\Delta_1^2 + k_2\Delta_2^2 + \dots + k_n\Delta_n^2 = [k\Delta^2]$$

$$E(k_i) = (+1) \times \frac{1}{2} + (-1) \times \frac{1}{2} = 0$$

$$E(k_i^2) = (+1)^2 \times \frac{1}{2} + (-1)^2 \times \frac{1}{2} = 1$$

考虑到偶然误差正负号的出现与误差绝对值的大小无关,故有:

$$E(k_i\Delta_i^2) = E(k_i)E(\Delta_i^2) = 0$$

$$D(k_i\Delta_i^2) = E\{[(k_i\Delta_i^2) - E(k_i\Delta_i^2)]^2\} = E\{(k_i\Delta_i^2)^2\} = E\{k_i^2\Delta_i^4\} = E(k_i^2)E(\Delta_i^4) = E(\Delta_i^4)$$

其方差为:

$$D(S_{[k\Delta_i^2]}) = \sum_{i=1}^n D(k_i\Delta_i^2) = 3n\sigma^4$$

当  $n$  很大时,  $S_{[k\Delta_i^2]}$  将趋近于正态分布  $N(0, 3n\sigma^4)$

2.2 统计假设检验

沉降监测的数据正确性如何,必须选取合理的模型进行假设检验,才能计算总结出合理的结论。检验主要包括  $\mu$  检验法、 $t$  检验法、 $\chi^2$  检验法和  $F$  检验法等。

1)当从正态母体  $N(\mu, \sigma^2)$  中抽得容量为  $n$  的子样,得子样均值  $\bar{x}$ ,设母体方差  $\sigma^2$  为已知,则可利用统计量:

$$\mu = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim N(0, 1)$$

2)当从正态母体  $N(\mu, \sigma^2)$  中抽得容量为  $n$  的子样,得子样平均值  $\bar{x}$  和子样中误差  $\hat{\sigma}$ ,此时,可作统计量:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\hat{\sigma}/\sqrt{n}}$$

对母体数学期望进行假设检验,统计量  $t$  与  $\mu$  不同之处仅用  $\hat{\sigma}$  代替  $\sigma$ ,但  $t$  分布已经不服从正态分布,而是服从具有自由度为  $n-1$  的  $t$  分布,用统计量  $t$  检验正态母体数学期望的方法。

3)从正态母体  $N(\mu, \sigma^2)$  中抽取一组子样,容量为  $n$ ,得子样方差为  $\hat{\sigma}^2$ ,利用服从自由度为  $n-1$  的  $\chi^2$  分布的统计量:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{\sigma^2}$$

对母体方差进行假设检验,用统计量  $\chi^2$  检验正态母体方差的方法。

3 沉降预测与分析

本系统是基于灰色预测模型实现沉降预测与分析的。

### 3 1 GM ( 1 1)模型与预测方法

GM ( 1 1)模型是最常用的一种灰色模型:

$$x^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

预测模型得到的预测值  $x^{(1)}(k+1)$ , 必须经过统计检验才可确定其预测精度等级。选用后验差检验准则来检验。后验差比值  $C$  和小误差概率  $P$  是检验的两个指标。

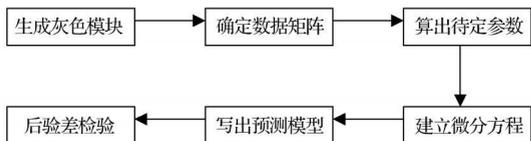


图 2 GM ( 1 1)预测流程图

Fig 2 The working fbwchart of GM ( 1 1) prediction

### 3 2 带残差修正的 GM ( 1 1)模型

灰色模型具有较高的预测精度, 考虑残差  $e = x - \hat{x}$  作为补充量加于预测值上, 以提高预测精度。

预测过程如图 3 所示。

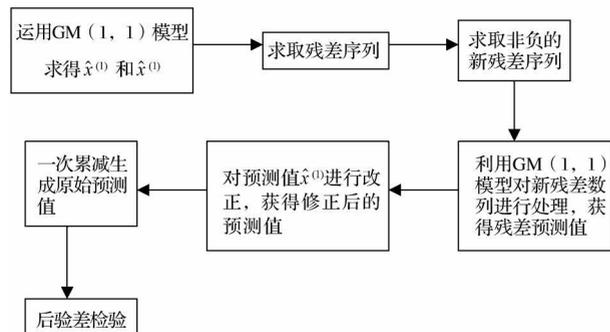


图 3 带残差修正的 GM ( 1 1)预测流程图

Fig 3 The working fbwchart of GM ( 1 1) prediction with residual correction

## 4 系统开发与实现

基于沉降监测专家分析系统的总体设计, 我们关联运用 Visual Basic, Access, Excel, Matlab 及 Word 等语言, 合理选择相应数学模型和决策方法, 开发完成各功能模块, 实现数据检验、信息处理、计算绘图、预测分析等任务, 为建筑物沉降监测提供良好的决策支持。其中绘制曲线及预测计算如图 4 图 5 所示。

## 5 结束语

建筑物沉降监测专家分析系统旨在探索实现沉降监测数据处理系列过程的自动化、现代化、简单化, 科学地整理与评价监测数据, 实时计算、分析与处理数据, 实事求是地绘制相关曲线图, 实际寻求建筑物的沉降变形规

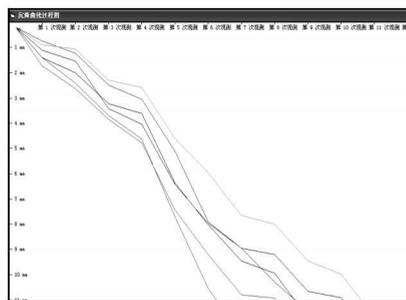


图 4 沉降曲线图

Fig 4 The settlement curve

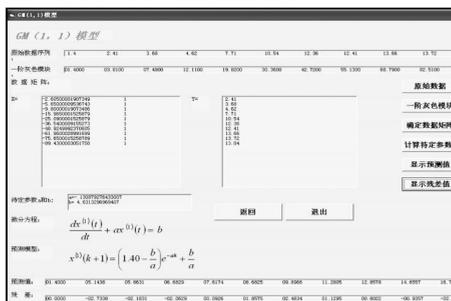


图 5 预测数值计算图

Fig 5 The calculation of prediction value

律, 合理选择预测模型, 实现较精确地预测预报变形趋势, 以监控建筑物的顺利建设和安全使用。

## 参考文献:

- [1] 华锡生, 黄腾. 精密工程测量技术及应用 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2002
- [2] 栾元重, 曹丁涛, 徐乐年, 等. 变形观测与动态预报 [M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 陈永奇, 吴子安, 吴中如. 变形监测分析与预报 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997.
- [4] 刘大杰, 陶本藻. 实用测量数据处理方法 [M]. 北京: 测绘出版社, 2000
- [5] 曹德欣. 计算文法 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [6] 王树元. 大地与建筑物变形测量 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994
- [7] 崔国宏. 土木工程建筑物变形分析与预报技术研究 [J]. 地理空间信息, 2004, 2(3): 10-12
- [8] 龚建伍, 郭金芳, 徐礼华, 等. 工程建筑物变形观测若干问题探讨 [J]. 勘察科学技术, 2003, (6): 24-26
- [9] [美] Noel Jerke Visual Basic 6 参考大全 [M]. 北京: 希望电子出版社, 1999.

[责任编辑: 王丽欣]