

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0012.005

# 三次指数平滑法在基坑地表沉降变形分析中的应用\*

郑 丽, 白宝玉

(1.宿州学院 环境与测绘工程学院,安徽 宿州 234000; 2.重庆市公安局 科技信息化处,重庆 400000)

**摘 要:**根据某地铁车站基坑施工过程中地表沉降监测的实测资料,应用三次平滑指数法进行沉降变形的预测,充分证实了在地表沉降变形分析中该预测法的可行性;研究表明:在现有地铁车站基坑地表沉降 14 期观测数据参与建模条件下,三次指数平滑法与时间序列 ARIMA(1,1,1)模型相比,其均方误差 MSE 较小,模型的预测值与吻合较好,平均残差值为-0.010 1,平均相对误差为-0.219 0,确保了地铁车站的正常施工及安全使用,为后续工程建设提供保障。

**关键词:**三次指数平滑法;基坑周边地表沉降;变形预测

**中图分类号:**X/41 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-058X(2015)12-0023-04

随着城市基础设施改造、市政建设以及高层建筑物的施工建设,深基坑开挖与支护技术得到了前所未有的发展和推进。在地铁车站基坑施工过程中引发的岩土性状、环境、周边邻近建筑物、地下设施变化的监测,已成为了基坑工程中不可或缺的环节<sup>[1]</sup>。这就要求在项目开始前,除考虑基坑自身即周围环境外,还应查阅当地历年地质资料,结合地质情况有所侧重的进行设计布点和监测,这样在把握整体的同时并根据地质资料考虑局部可能出现的异常情况,这比在异常情况发生后再去寻找原因和采取补救措施更有意义<sup>[2]</sup>。

目前,很多学者对地下工程引起的变形问题有进行深入研究。基坑工程变形预测中应用比较多的方法主要包括:灰色预测、支持向量机、小波分析等。文献[3-5]引入灰色理论,分别基于多因素灰色 G(1,N)模型、GM(2,1)二阶线性动态模型以及 GM(1,1)模型对基坑工程地表沉降等相关变形量进行预测。文献[6]运用 LSSVM 建立基坑地表沉降预测模型。文献[7]基于小波分析完成基坑地表沉降预测研究任务。为此,比较了三次指数平滑模型与 ARIMA 两种模型在基坑工程周边地表沉降预测中的应用,以期确保周边建筑物和地下管线的安全,为基坑工程安全、顺利进行提供有力保障。

## 1 三次指数平滑法概述

近年来,指数平滑法具有使用方便、操作简单等特点,被广泛应用于变形监测数据预报中。其中,三次指数平滑是将二次平滑值进行第三次指数平滑,求取三次指数的平滑值,然后可以用它来估算二次曲线预测模型,并根据这三次所求取的指数平滑值求解模型的参数。

三次指数平滑值的计算公式为

$$S_t^{(3)} = aS_t^{(2)} + (1 - a)S_{t-1}^{(3)} \quad (1)$$

三次指数平滑法的预测模型为

收稿日期:2015-03-13;修回日期:2015-04-28.

\* 基金项目:宿州学院安徽省煤矿勘探工程技术研究中心开放课题资助(2013YKF04);宿州学院校级项目活动(2011YSS03).

作者简介:郑丽(1983-),女,江苏洪泽人,讲师,从事 3S 技术及其一体化研究.

$$\hat{y}_{i+T} = a_i + b_i T + c_i T^2 \quad (2)$$

其中:  $a_i = 3S_i^{(1)} - 3S_i^{(2)} + S_i^{(3)}$ ,  $b_i = \frac{a}{2(1-a)} [(6-5a)S_i^{(1)} - 2(5-4a)S_i^{(2)} + (4-3a)S_i^{(3)}]$ ,  $c_i = \frac{a^2}{2(1-a)^2} (S_i^{(1)} - 2S_i^{(2)} + S_i^{(3)})$ ,  $a$  为加权系数,且  $0 < a < 1$ ,  $T$  为预测周期。

模型是非线性的,它类似于二次多项式和能够较好的显现时序的变化趋势,经常用于预测非线性变化时序的发展状况。

## 2 算例与分析

某地铁车站基坑工程,场地地势平坦,施工过程中对周边地表沉降进行变形监测,沉降观测采用精度为二等的光学水准仪,监测周期为 1 d。选取连续 14 d 观测所得 14 期数据,如表 2 列出某个地表沉降监测点的实测值,其累积沉降量分别列入表中,从表 2 中可以看出:周边地表沉降监测点在连续 14 d 观测中最大沉降量为 3.3 mm,最小为 -0.1 mm,累计沉降量高达 25.3 mm,平均沉降量 1.8 mm/d,地表沉降点呈现下沉趋势。

### 2.1 选择指数平滑的次数

为了验证上述方法的可行性,采用三次指数平滑模型对地表沉降量进行预测分析。对于指数平滑的次数的选择,主要是通过地表沉降监测点的变化趋势,判断其是否存在曲率,若该曲线呈现水平波动趋势,可用一次指数平滑法预测,呈现线性趋势,则选用二次指数平滑法预测,而对于有曲率,非线性的,选用三次指数平滑法。

### 2.2 建立三次指数平滑预测模型

利用平滑模型进行预测,其精度与平滑系数  $a$  的确定关系很大。 $A$  愈小,预测值变化愈小,预测曲线就愈平滑,反之, $a$  愈大,预测波动就愈大。如果  $a$  的取值反映了当时被测量的滤波特性<sup>[10]</sup>。目前,主要有 3 种方法:理论计算法、经验判断法、试算法。依托理论计算法,对于指数平滑法,当  $n$  较大时, $a = 2/(n+1)$ <sup>[11]</sup>。根据理论计算法,大致确定额定的取值范围。基于试算法,基于均方拟合误差最小的原则,选取较好的  $a$  值,此时预测模型均方拟合误差公式为<sup>[12]</sup>

$$MSE = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t (\hat{y}_k - y_k)^2 \quad (3)$$

其中: $\hat{y}_k$  为预测值, $y_k$  为实测值。

从表 1 中可知,观测期数  $n = 14$ ,求出  $a = 0.13$ 。选取几个  $a$  值进行试算,经过多次反复计算,选取较好的  $a$  值为 0.14,此时指数平滑值分别为  $a_i = 3.043 3$ ,  $b_i = -0.063 7$ ,  $c_i = -0.013 6$ ,因而三次指数平滑预测模型为

$$\hat{y}_{i+T} = 3.043 3 - 0.063 7 T - 0.013 6 T^2 \quad (4)$$

应用所建立的三次指数平滑模型进行地表沉降量预测,其预测值列入表 1,并将其与 ARIMA(1,1,1)模型预测值进行比较,计算两种预测模型的残差和相对误差,从表 1 中可以看出:三次指数平滑模型进行地表沉降量预测时,预测结果与实测沉降量相差甚小,证明了方法的合理性与精确性,进一步计算得到表 2,又从表 1 中可知:三次指数平滑法的平均残差 -0.010 1、平均相对误差为 -0.219 0 和均方误差为 0.038 65,相比时间序列 ARIMA(1,1,1)模型计算结果而言,三次指数平滑模型拟合精度更高。

表 1 两种方法预测周边地表沉降量与实测沉降量的比较

观测期数	实测值/mm	累计沉降量/mm	三次指数平滑法			ARIMA(1,1,1)模型		
			预测值/mm	残差/mm	相对误差	预测值/mm	残差/mm	相对误差
1	3.0	3.0	2.966 0	-0.034 0	0.011 3	3.0	0	0
2	3.0	6.0	2.875 4	-0.124 6	0.041 5	3.066 1	-0.066 1	-0.022 0
3	3.3	9.3	2.796 6	-0.503 4	0.152 5	2.765 8	0.534 2	0.161 9

续表1

观测期数	实测值/mm	累计沉降量/mm	三次指数平滑法			ARIMA(1,1,1)模型		
			预测值/mm	残差/mm	相对误差	预测值/mm	残差/mm	相对误差
4	2.6	11.9	2.852 9	0.252 9	-0.097 3	2.591 4	0.008 6	0.003 3
5	2.7	14.6	2.600 5	-0.099 5	0.036 9	2.429 5	0.270 5	0.100 2
6	2.5	17.1	2.452 9	-0.047 1	0.018 8	2.064 5	0.435 5	0.174 2
7	2.0	19.1	2.263 1	0.263 1	-0.131 6	1.786 3	0.213 7	0.106 9
8	1.8	20.9	1.922 8	0.122 8	-0.068 2	1.573 8	0.226 2	0.125 7
9	1.6	22.5	1.599 5	-0.000 5	0.000 3	1.325 1	0.274 9	0.171 8
10	1.4	23.9	1.293 3	-0.106 7	0.076 2	0.948 0	0.452 0	0.322 9
11	1.0	24.9	1.003 9	0.003 9	-0.003 9	0.474 4	0.525 6	0.525 6
12	0.4	25.3	0.648 3	0.248 3	-0.620 7	0.167 0	0.233 0	0.582 5
13	0.1	25.4	0.165 8	0.065 8	-0.658 0	0.080 9	0.019 1	0.191 0
14	-0.1	25.3	-0.282 4	-0.182 4	-1.824 0	-0.149 3	-0.049 3	0.493 0

表 2 两种模型的精度对比表

模型	均方误差	平均残差	平均相对误差
三次指数平滑	0.038 65	-0.010 1	-0.219 0
ARIMA(1,1,1)	0.090 2	0.219 85	0.209 78

根据表 1 所得数据绘制周边地表沉降实测值与预测值比较曲线图 1 和两种模型的残差曲线图 2。从图 1 中可以发现:在现有地铁车站基坑地表沉降 14 期观测数据参与建模条件下,建立三次指数平滑模型和 ARIMA(1,1,1)两种模型实际值与预测值吻合均较好,两种模型预测结果正确可靠。从图 2 中可知:所建立两种模型在第 3 期实测值与预测值偏离最大,此时残差值动荡幅度较为明显,但残差绝对值均小于 0.6 mm,表明两种模型都能反映基坑周边地表沉降变形的客观规律与发展态势,对基坑变形预报工作具有一定的实用价值。

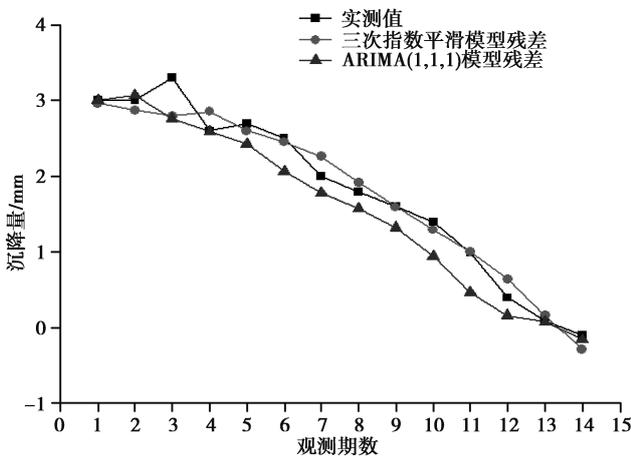


图 1 周边地表沉降实测值与预测值比较曲线图

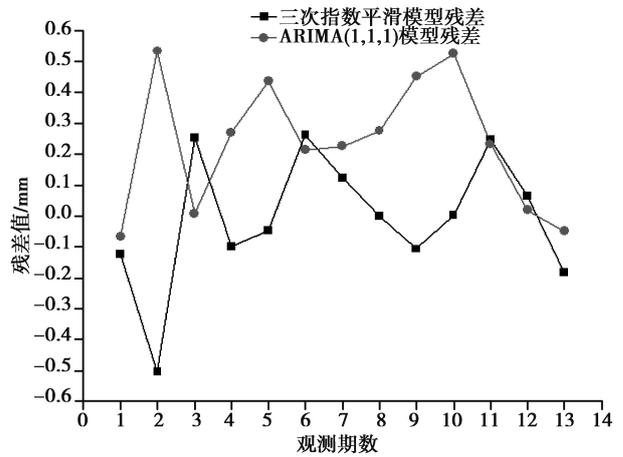


图 2 两种模型残差曲线图

### 3 结 论

由于基坑监测有别于变形监测,它贯穿于基坑工程的整个过程,对地表沉降监测是其重要监测内容之一,可为基坑地表周边沉降情况提供及时有效的反馈信息,为基坑工程的顺利开展提供一定的参考。应用三次指数平滑模型与 ARIMA(1,1,1)模型分别建立了地铁车站地表沉降监测的预测模型,通过精度比较,证

明了三次指数平滑模型拟合精度较好。通过实证分析得出结论:

(1) 三次指数平滑模型数学模型简单,预测精度高,模型用于地铁车站基坑周边地表沉降监测是可行的,并且能够获得足够的预测精度,确保了地铁车站的正常施工及安全使用,为后续工程建设提供保障。模型建立中基于均方拟合误差最小的原则,选取较好的加权系数值为 0.14,建立三次指数平滑模型: $\hat{y}_{t+T} = 3.043 3 - 0.063 7T - 0.013 6T^2$ 。

(2) 在现有地铁车站基坑地表沉降 14 期观测数据参与建模条件下,两种模型通过计算得出模型实际值与预测值吻合较好,所建立两种模型在第 3 期实测值与预测值偏离最大,此时残差值动荡幅度较为明显,但残差绝对值均小于 0.6 mm,两种模型预测结果正确可靠,均能准确反映基坑周边地表沉降变形趋势,可为基坑变形预报工作提供一定的参考和借鉴。

(3) 在经过比较三次指数平滑模型、ARIMA(1,1,1)模型的均方误差、平均残差、平均相对误差发现,三次指数平滑模型拟合精度较高,其模型预测值与实际值平均残差值为-0.010 1,平均相对误差为-0.219 0,其均方误差为0.038 65优于 ARIMA(1,1,1)模型的0.090 2,表明三次指数平滑模型更能准确实现地表沉降监测实时预报。

#### 参考文献:

- [1] 陈峰.基于深基坑工程监测管理探讨[J].工程与建设,2011,25(4):528-529
- [2] 张兴元.上海市徐家汇地铁站深基坑监测技术[J].科协论坛,2008(8):36-37
- [3] 吴杰,柏林.多因素灰色 GM(1,N)模型及其在基坑位移预测中的应用[J].测绘科学,2012,37(6):176-178
- [4] 卢志刚,张建栋,刘兴权.基于 GM(2,1)模型的基坑变形预测分析[J].科技通报,2013,29(7):103-108
- [5] 陈晓斌,张家生,安关峰.GM(1,1)与 GM(2,1)模型在基坑工程预测中的应用[J].岩土工程学报,2006,28(增刊):1401-1405
- [6] 李宏辉.基于 LS-SVM 的基坑周边地表沉降组合预测模型[J].南宁职业技术学院,2013,18(4):89-92
- [7] 郭健,查吕应.基于小波分析的深基坑地表沉降预测研究[J].岩土工程学报,2014,26(增刊2):343-347
- [8] 彭云飞,沈曦.经济管理中常用数量方法[M].北京:科学出版社,2011
- [9] 周吕,文洪雁,韩亚坤.灰色预测与 Kalman 滤波在建筑物沉降变形分析中的应用[J].测绘科学,2014,39(4):149-151
- [10] 杨卡林.卡尔曼滤波在经济预测中应用的探讨[J].西部论坛,2008,18(5):103-108
- [11] 张德南,张心艳.指数平滑预测法中平滑系数的确定[J].大连铁道学院学报,2004,25(1):79-80
- [12] 杨震.三次指数平滑法在港口吞吐量预测中的应用[J].城市建设,2009,43:429-432

## Application of Cubic Exponential Smoothing Method in Foundation Pit Ground Settlement Deformation Analysis

ZHENG Li<sup>1</sup>, BAI Bao-Yu<sup>2</sup>

(1.School of Environment and Survey Engineering, Suzhou University, Anhui Suzhou 234000, China; 2.Science and Technology Information Office, Chongqing Municipal Public Security Bureau, Chongqing 400000, China)

**Abstract:** Based on the measured data of the surrounding ground settlement in a subway station construction, this paper uses cubic exponential smoothing method to predict the settlement, and the reliability of the method is verified. Research results show the settlement in the existing 14 consecutive days observation data of subway engineering under modeling conditions, compared with time series ARIMA (1,1,1) model, the MSE of the cubic exponential smoothing method is smaller. The method is verified available with the average residual error -0.010 1 and relative error -0.213 9 with better match between predicted value and actual value, ensuring the normal construction and safety of subway station, providing protection for the subsequent project.

**Key words:** Cubic Exponential Smoothing Method; surrounding ground settlement of foundation; deformation prediction