

基于组合模型的建筑变形态势分析方法

甘立蹇, 吴 栋, 张东升

(苏州工业园区测绘有限责任公司, 江苏 苏州 215021)

摘 要 传统的变形态势分析大都是基于单个模型进行的。虽然使用单个模型是经过一系列计算优选得到,但在实践中单个模型进行分析时,仍存在较大的局限性,其准确性亦不够高。本文对组合模型法的原理作了概述,并将其应用于高架桥墩监测进行了实例分析,不仅预测了变形量,也预测了变形速率,获得了变形终;变形态势分析结果验证了组合模型法较单模型法的优越性。

关键词 变形预测 t 检验 单模型法 组合模型法

中图分类号: TU197

文献标识码: A

文章编号: 1672- 4097(2011) 01- 0026- 04

1 引言

传统过程变形态势分析大都是基于单个模型进行的。虽然使用单个模型是经过一系列计算优选得到,但用单个模型进行分析仍存在较大的局限性,准确性亦不够高。

若要选择一个模型来同时满足以上要求,显然不易。为此,本文尝试了一种组合模型的方法。首先,选择几个较优拟合模型,然后,用一组权系数向量将他们线性组合起来,从而得到一个组合模型。将其应用于实践,本文说明了组合模型优于一般单个拟合模型。

2 模型的权系数估计

建立各种模型的关键是合理确定权系数向量。假定已经获得反映工程变形过程的 n 个观测值 y_i 和相应时刻的自变量 x_i 的观测向量,并设 y 关于自变量 x 和待估参数 b 的 m 个拟合模型为:

$$y_i = f_i(x, b_i) \quad (2-1)$$

在给定 m 个权系数向量 k_1, k_2, \dots, k_m , 且满足

$\sum_{i=1}^m k_i = 1$ 后可构成下列组合模型:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^m k_i \hat{y}_i = \sum_{i=1}^m k_i f_i(x, \hat{b}_i) \quad (2-2)$$

(2-2) 式中, \hat{y} 为组合模型预测值; \hat{y}_i 为第 i 个模型的预测值; \hat{b}_i 为第 i 个模型参数的最小二乘估计值;

式(2-1)、(2-2)表明要求权系数 k_i , 必须先求得单个拟合模型的待估参数 b_i 。

2.1 单模型参数的权系数估计

在工程变形分析中,一般选定的单个拟合模型

是非线性的,为了方便的估计出模型参数,人们通常先对非线性模型进行线性化变换,再按最小二乘法估计参数。由于线性化变换过程中,因变量大都做了替换,所以这种方法估计的参数并非最优无偏估计。为了准确估计一组合模型权系数向量,这里给出一种加权最小二乘估计方法,它可获得单个拟合模型参数的最优无偏估计。

设对单个非线性模型做线性化变换后,可化为:

$$\hat{Y} = \hat{A} + \hat{B}X \quad (2-3)$$

此时,可求得使目标函数:

$$J = \sum_{i=1}^n \left[\frac{dy}{du} \right]_i^2 [u(y_i) - \hat{u}(y_i)]^2 \quad (2-4)$$

为最小的参数 \hat{A} 、 \hat{B} 。令权因子 $P_i = \left[\frac{dy}{du} \right]_i^2$, 最小二乘法原理可得到:

$$\left. \begin{aligned} \hat{A} &= \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i - \hat{B} \sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \\ \hat{B} &= \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i \sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}}{\sum_{i=1}^n P_i X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i X_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_i}} \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

最后,根据 \hat{A} 、 \hat{B} 用逆变换法,可分别求得拟合模型的参数向量。

2.2 组合模型参数的权系数估计

对于组合模型:

$y^T = (y_t | t = 1, 2, \dots, n)$ 为观测值向量;

$\hat{y}_i^T = (\hat{y}_{it} | t = 1, 2, \dots, n)$ 为第 i 个模型的预测值向量;

$\hat{Y} = (\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_m)$ 为各模型的预测值矩阵;

$e_i^T = (e_{it} = | y_t - \hat{y}_{it} |, t = 1, 2, \dots, n)$ 为第 i 个模型的预测误差向量;

$E = [e_1, e_2, \dots, e_m]$ 为各模型的预测误差矩阵;

$K^T = \left(k_i | i = 1, 2, \dots, m; \sum_{i=1}^m k_i = 1 \right)$ 为各模型的权系数构成的权系数向量;

此时, 组合模型预测值向量 \hat{y}^T 和预测误差向量 e_i^T 可表示为:

$$\hat{y}^T = K^T \hat{Y}^T \quad (2-6)$$

$$e_i^T = K^T E^T \quad (2-7)$$

于是, 有组合模型预测误差的平方和 J :

$$J = e^T e = [K^T E^T][K^T E^T]^T = K^T (E^T E) K = K^T \bar{E} K \quad (2-8)$$

设 R 为单位向量, 即 $R^T = (1, 1, \dots, 1)$, 则权系数向量的约束条件 $\sum_{i=1}^m k_i = 1$ 转化为:

$$R^T K = 1 \quad (2-9)$$

运用拉格朗日求条件极值方法, 预测误差平方和 J' 可写成:

$$J' = K \bar{E}^T K + \lambda (R^T K - 1) \quad (2-10)$$

式(2-10)中, λ 为拉格朗日乘数。

线假定向量 e^1, e^2, \dots, e^m 线性独立, 则 $\bar{E} = E^T E$ 必为对称正定矩阵, 从而其逆阵存在。此时, 可求得 J' 对 K 的一阶偏导数, 并令其为零:

$$\frac{\partial J'}{\partial K} = 2\bar{E}K + \lambda R = 0 \quad (2-11)$$

顾及 $R^T K = 1$ 有:

$$\lambda = - \frac{2}{R^T \bar{E}^{-1} R} \quad (2-12)$$

$$K = \frac{\bar{E}^{-1} R}{R^T \bar{E}^{-1} R} \quad (2-13)$$

最后, 可求得组合预测误差平方和 J' :

$$J' = \frac{1}{R^T \bar{E}^{-1} R} \quad (2-14)$$

当选择两个模型作组合预测时, 即 $m = 2$, 权系数公式可简化为:

$$k_1 = \frac{\sum_{t=1}^n e_{2t}}{\sum_{t=1}^n e_{1t} + \sum_{t=1}^n e_{2t}} \quad (2-15)$$

$$k_2 = 1 - k_1 \quad (2-16)$$

3 组合模型法的分析实例

苏州工业园区北环东延二期为沪宁城际铁路配套工程。该工程西起官渎里立交, 利用新苏路和 312 国道通过高架桥形式下穿苏嘉杭高速公路, 向东连续跨越 227 省道分流线、娄门路、星港街后落地, 全长 4 270 m。沿线设置星港街互通立交一座, 以苏慕路北侧起坡, 跨越苏虹路、娄江、312 国道、沪宁铁路后向东落地, 连接葑亭大道, 南北全长 1 409 m, 整个工程总投资约 12.7 亿元。

我单位对北环东延的局部区域高架桥墩进行了变形监测, 利用组合模型法对这部分监测数据进行分析 and 预测。

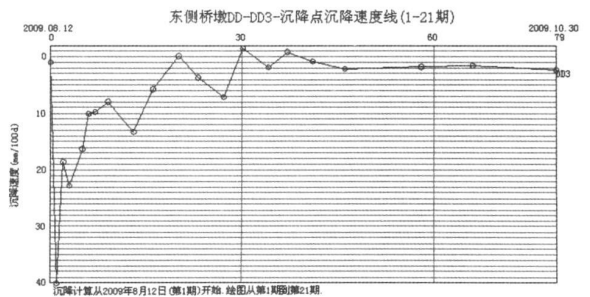


图 3-1 高架桥墩沉降速度线

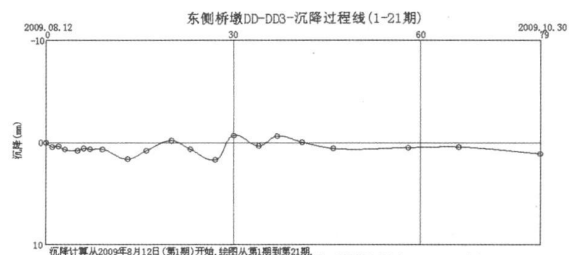


图 3-2 高架桥墩沉降过程线

图 3-1、图 3-2 中, 可以看出沉降速度曲线基本趋于稳定, 沉降过程线也趋于稳定, 说明监测结束时, 该高架桥墩随着时间的变长, 趋于稳定, 也说明时间与沉降量之间有一定的关系。但是, 稳定后的最终沉降量无法在图中获得, 需要进一步分析讨论。

3.1 相关性分析

为建立模型来分析预报, 首先需对分析时间与沉降量之间的关系进行相关性分析计算, 以确定两者是否存在相关性是建立模型的重要依据。分别

取置信度为 99% 和 95%，即 $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 进行显著性检验。计算结果见表 3-1(表中* * 表示置信度为 99% 的相关,* 为 95% 的相关)。

表 3-1 相关性分析成果表

		天数	累积沉降
天数	皮尔森 相关系数	1	0.960(* *)
累积沉降	皮尔森 相关系数	0.960(* *)	1

从表 3-1 中可知累计累积沉降量与天数之间存在较为明显的相关性。根据该点,利用组合模型法对两者的关系进行进一步的计算、分析。

3.2 模型分析

为了获得合理的非线性回归模型的类型,对幂函数、指数函数、对数函数和二次函数进行了分析比较,结果如下:

表 3-2 各种函数比较成果表

模型形式	回归拟合度 R^2	F 检验值
二次函数	0.97141	186.86976
对数函数	0.87497	83.97709
指数函数	0.81111	51.52961
幂函数	0.91433	128.07857

可以看出,模型为二次函数时的最大,幂函数次之。故选用二次函数和幂函数模型拟合沉降是合适的。

表 3-3 参数计算结果

参数 i	0	1	2
a_i	0.152282	10.175282	-6.252229
b_i	4.894975	0.641186	
k_i		0.587669	0.412331

表 3-4 观测值与拟合值及拟合误差表

序号	累积 (100d)	观测值 (mm)	$\hat{y}_1 = a_0 + a_1x + a_2x^2$		$\hat{y}_2 = b_0x^k$		$\hat{y} = k_1\hat{y}_1 + k_2\hat{y}_2$	
			拟合值(mm)	拟合误差(mm)	拟合值(mm)	拟合误差(mm)	拟合值(mm)	拟合误差(mm)
1	0.01	0.39	0.25	0.14	0.26	0.13	0.25	0.14
2	0.02	0.35	0.35	0.00	0.40	-0.05	0.37	-0.02
3	0.03	0.65	0.45	0.20	0.52	0.13	0.48	0.17
4	0.05	0.76	0.65	0.11	0.72	0.04	0.67	0.09
5	0.06	0.54	0.74	-0.20	0.81	-0.27	0.77	-0.23
6	0.07	0.61	0.83	-0.22	0.89	-0.28	0.86	-0.25
7	0.09	0.62	1.02	-0.40	1.05	-0.43	1.03	-0.41
8	0.13	1.59	1.37	0.22	1.32	0.27	1.35	0.24
9	0.23	2.43	2.16	0.27	1.91	0.52	2.06	0.37
10	0.41	3.03	3.27	-0.24	2.76	0.27	3.06	-0.03
11	0.46	3.64	3.51	0.13	2.98	0.66	3.29	0.35
12	0.58	3.55	3.95	-0.40	3.45	0.10	3.75	-0.20
13	0.66	3.49	4.14	-0.65	3.75	-0.26	3.98	-0.49
14	0.79	4.16	4.29	-0.13	4.21	-0.05	4.26	-0.10
中误差(mm)			0.283		0.305		0.259	

综合后的组合模型预测结果优于幂函数和二次函数,且它们在水平 $\alpha = 0.01$ 上高度显著,因此,变形态势分析均以组合模型为依据。

为分析变形速率不妨将变形模式求导有:

表 3-5 桥台变形外延预测成果表

时间	变形量 (mm)	变形速率(mm/100d)
2009-11-01	4.27	1.50
2009-11-11	4.38	0.71
2009-11-21	4.41	-0.07

于零的态势。因此,令 $\frac{\partial \hat{y}}{\partial x} = 0$, 有:

$$k_1 a_1 + 2k_1 a_2 x + k_2 b_0 b_1 x^{b-1} = 0 \quad (3-1)$$

用迭代法求得上述方程,有:

$$x \approx 0.99(100d)$$

上式说明,桥台变形预测终值为 4.41 mm。该终值大约在 2009 年 11 月下旬出现。亦即桥台变形持续到 2009 年 11 月下旬才能终止。需要说明的是,大桥在不承受新的或更大外部荷载干扰的情况下,上述预测结果将不会改变。(下转第 33 页)

桥台变形终值预测。由于桥台变形速率呈趋

The Comprehensive and Comparative Study of Topographic Information Capacity in Different Spatial Scale's DEM

ZHANG Zhi-jin¹, LI Yong-sheng², LI Wen-mei^{3,4}

¹ Shandong Institute of Surveying and Mapping of Geology, Jinan Shandong 250013, China;

² Shandong Read Age Information and Technology CO. LTD, Jinan Shandong 250013, China;

³ International Institute for Earth System Science Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China;

⁴ School of Geographic and Oceanographic Sciences of Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China)

Abstract DEM contains a great deal of topographic information, which is the basic data for terrain analysis. Besides of the multi scale factors of DEM data, topography and landscape have characteristics of macro and sub regional features of opposite sex. DEM topographic information capacity with different scales is relatively different. In this paper, on the base of Arc view / GIS, we selected Suide, Jiaxian, Fuxian and Yijun County of Loess Plateau as the experimental plots, extracted terrain data factors found on DEM, and analyzed these extractions with methods of comparative analysis and mathematical Statistics. And than we captured the model of quantified expression of a single factor and determined the quantitative correlation of DEM terrain information capacity, resolution, zone and scales. What's more, we analyzed the law of differentiation of DEM topographic information capacity in distinct spatial scales on these bases.

Key words DEM; spatial scale; topographic information capacity; resolution; terrain analysis

(上接第 28 页)

4 小 结

组合模型法是通过选择几个较优的拟合模型, 然后用一组权重系数向量将它们线性组合起来, 从而得到一个较单模型法更好的预报模型。

组合模型法实际应用于工程变形态势分析和预测, 理论上是严密的, 实际上也有较好的效果。它对变形的模型、变形的速率和变形的终值都进行了较好的预测, 一定程度上克服了用单个模型进行分析时的局限性和不准确性。

该组合模型虽然在北环桥墩监测中预报效果较好, 但在其他工程应用中, 是否具有广泛性, 还需要进一步讨论。而且, 本文只是将统计学模型运用到了变形预报中, 与其他模型(如神经网络、时间序列模型等)的组合并未进行探讨, 所以, 如何进行多

种模型统一, 将来可以进一步研究。

参考文献

- 1 刘祖强, 张正禄, 邹启新, 赵卫, 郭再春. 工程变形监测分析预报的理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008
- 2 黄声享, 邱文华, 马伟, 蒋金虎, 胡光乾. 小浪底水利枢纽外部变形规律分析研究[M]. 北京: 测绘出版社, 2008
- 3 李井春, 夏立福, 张正禄. 监测网参考基准的选取与统一. 测绘通报, 2008(8): 17-20
- 4 黄声享, 尹晖, 蒋征. 变形监测数据处理.[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003
- 5 王志华, 张正禄, 汪海航, 邓跃进. 远程位移监测系统及其试验分析[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(2): 37-38
- 6 张正禄. 工程的变形分析与预报方法研究进展[J]. 测绘信息与工程, 2002, 27(5): 37-39

An Analysis Method of Building Deformation Based on Combinatorial Model Method

GAN Li-jian, WU Dong, ZHANG Dong-sheng

(SIPSD, Suzhou Jiangsu 215021, China)

Abstract Traditional method of Deformation prediction is based on a single model. Although application of a single model is through a series of calculations, it still has limitation in practice, and the accuracy is not enough. In this paper, the principle of combination model method is introduced. By analyzing the practical example of the application of it in elevated bridge, the deflection and the deformation rate were predicted, and the deformation end were also obtained. The results of deformation situation are better, which are fully bear out the superiority of combinatorial model method.

Key words single model; deformation prediction; t testing; combinatorial model method