

# 小波-差分指数平滑模型在滑坡变形预测中的应用

王 鸣<sup>1,2,3</sup>, 易 武<sup>1,2,3</sup>

(1. 三峡大学 土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002; 2. 湖北长江三峡滑坡国家野外科学观测研究站, 湖北 宜昌 443002; 3. 三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:**采用小波-差分指数平滑方法对三峡库区八字门滑坡地表位移进行了预测。小波变换以其多分辨率分析的特性, 广泛应用于信号分析, 指数平滑方法是在移动平均法基础上发展起来的一种时间序列分析预测法, 在预测分析中应用广泛。针对三峡库区八字门滑坡的 GPS 监测水平累积位移, 采用小波变换对时间序列进行去噪预处理, 并分别建立一阶差分和二阶差分指数平滑模型对其进行预测, 预测得到的平均绝对误差百分比仅为 1.5% 和 1.1%, 取得了非常好的效果, 该模型可以应用于实际工程。

**关 键 词:**小波分析; 差分; 指数平滑; 滑坡; 变形预测

**中图法分类号:** P642

**文献标志码:** A

**DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.12.011

滑坡作用过程属于一种自然地质现象, 但其造成的后果却是一种社会和经济现象, 具有灾害性, 它不仅给人类生命财产安全带来威胁, 而且对环境、资源等具有破坏性。因此, 开展滑坡灾害预测预报研究具有重要的理论意义和实际意义<sup>[1-2]</sup>。

近年来, 小波理论得到了非常迅速的发展, 而且由于其具备良好的时频特性, 因而实际应用也非常广泛, 在去噪领域中, 应用小波去噪获得了非常好的效果。指数平滑方法是在移动平均法的基础上发展而来, 针对滑坡位移数据的特征, 如今普遍采用 GPS 监测的滑坡水平位移来描述滑坡变形量, 本文以三峡库区八字门滑坡为例, 首先对滑坡 GPS 监测累积水平位移的一段时间序列进行去噪预处理, 并建立一阶差分指数平滑模型、二阶差分指数平滑模型对滑坡位移进行预测。

## 1 小波-差分指数平滑模型的预测原理

### 1.1 小波去噪原理

小波去噪方法包括 3 个基本步骤, 即对含噪声信号进行小波变换; 对变换得到的小波系数进行某种处理, 以去除其中包含的噪声; 对处理后的小波系数进行

小波逆变换, 得到去噪后的信号。

小波去噪方法的不同之处主要在第一步, 针对滑坡 GPS 监测累积水平位移采用给定阈值去噪处理, 在实际的去噪处理过程中, 阈值往往可通过经验公式获得, 且这种阈值比默认阈值的可信度高<sup>[1]</sup>。

小波阈值去噪的基本思想是先设置一个临界阈值  $\lambda$ , 如果生成的小波系数小于该阈值, 则删除该数据, 因为该数据被认为是由噪声引起的, 反之, 则保留, 最后重建小波, 恢复信号。

假设滑坡 GPS 监测累积水平位移的一段时间序列为  $f(t)$ ,  $t=1, 2, \dots$  为观测期数, 具体步骤如下。

(1) 对带噪声的  $f(t)$  进行小波变换, 得到一组小波分解系数  $w_{j,k}$ 。

(2) 通过对小波分解系数  $w_{j,k}$  进行阈值处理, 得到估计小波系数  $\overline{w_{j,k}}$ , 使得  $w_{j,k} - \overline{w_{j,k}}$  尽可能小。

(3) 利用估计的小波系数  $\overline{w_{j,k}}$  进行重构, 得到估计信号  $\overline{f(t)}$ 。

小波去噪仅仅是对滑坡 GPS 监测累积水平位移 (即时间序列) 的数据预处理, 经预处理后的滑坡变形量数据将更平滑, 为下一步进行差分-指数平滑奠定

基础。

1.2 一阶差分 - 指数平滑模型

当时间序列的变动具有直线趋势时,用指数平滑法可能会出现滞后偏差,其原因在于数据不满足模型要求。因此,也可以从数据变换的角度来考虑改进措施,即在运用指数平滑法以前,先对数据作一些技术上的处理,使之能适合于指数平滑模型,以后再对输出结果作技术上的返回处理,使之恢复为原变量的形态。差分方法是改变数据变动趋势的简易方法<sup>[5-7]</sup>。

假设滑坡 GPS 监测累积水平位移的一段时间序列为  $y_t, t = 1, 2, \dots$  为观测期数,当时间序列呈直线增加时,可运用一阶差分指数平滑模型来预测。其公式如下

$$\nabla y_t = y_t - y_{t-1} \tag{1}$$

$$\nabla \hat{y}_{t+1} = \alpha \nabla y_t + (1 - \alpha) \nabla \hat{y}_t \tag{2}$$

$$\hat{y}_{t+1} = \nabla \hat{y}_{t+1} + y_t \tag{3}$$

式(1)表示对呈现直线增加的序列作一阶差分,构成一个平稳的新序列;式(3)表示把经过一阶差分后的新序列的指数平滑预测值与当前变量的实际值迭加,作为下一期变量的预测值。对于这个公式的数学意义可作如下的解释。

$$y_{t+1} = y_{t+1} - y_t + y_t = \nabla y_{t+1} + y_t \tag{4}$$

当采用按式(2)计算的预测值去估计式(4)中的  $y_{t+1}$  时,则式(4)等号左边的  $y_{t+1}$  也要改为预测值,亦即成为式(3)。

以上各式中,  $\nabla$  为差分记号;  $\alpha$  为加权系数。由式(2)可以看出,  $\alpha$  的大小决定了在新预测值中新数据和原预测值所占的比重。  $\alpha$  值越大,新数据所占的比重就愈大,原预测值所占的比重就愈小,反之亦然。因此,  $\alpha$  值应根据时间序列的具体性质在 0 ~ 1 之间选择。

1.3 二阶差分 - 指数平滑模型

当时间序列呈现二次曲线增长时,可用二阶差分指数平滑模型来预测,计算公式如下

$$\nabla^2 y_t = \nabla y_t - \nabla y_{t-1} \tag{5}$$

$$\nabla^2 \hat{y}_{t+1} = \alpha \nabla^2 y_t + (1 - \alpha) \nabla^2 \hat{y}_t \tag{6}$$

式中,  $\nabla^2$  表示二阶差分;  $\alpha$  为加权系数。

2 小波 - 差分指数平滑模型的应用

三峡库区八字门滑坡地处秭归向斜东翼的香溪河右岸,为高陡逆向斜坡,岩体结构软硬相间,由两组较为发育的“X”型裂隙构造组合形成(见图1)。

目前八字门滑坡全区均有变形迹象,右侧边界及复建公路附近最为明显。右侧边界变形主要表现在前

部发育一系列羽状剪切裂缝,另外,滑坡体上多处人工挡土墙已发生变形,倾覆破坏<sup>[8-10]</sup>。

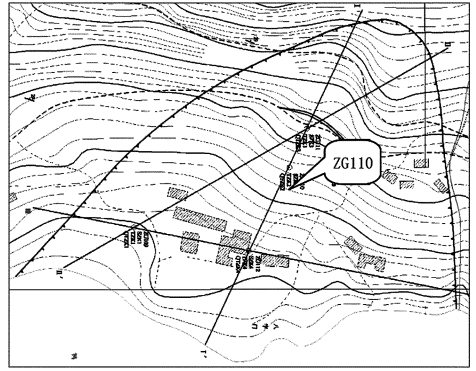


图1 八字门滑坡监测平面布置

此次选择八字门滑坡中部的 ZG110 号 GPS 监测点的滑坡变形量数据进行建模和变形预测,图2为该监测点从2010年10月8日至2012年9月27日期间的滑坡监测水平累积位移数据曲线。

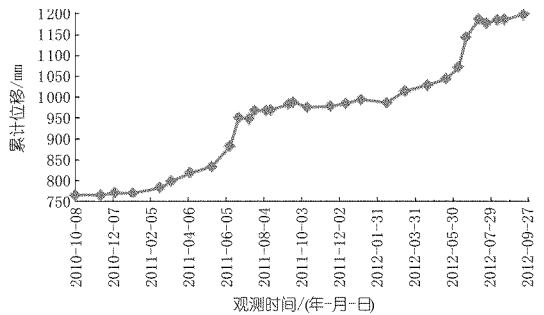


图2 八字门滑坡累积水平位移 - 时间变化曲线

对该原始时间序列进行小波去噪处理,这里选取软阈值处理方式,即将信号的绝对值与阈值进行比较,把绝对值小于或者等于阈值的信号归零,大于阈值的信号将其设为自身与阈值的差值,软阈值较硬阈值有更好地连续性。图3即为小波去噪后的时间序列。

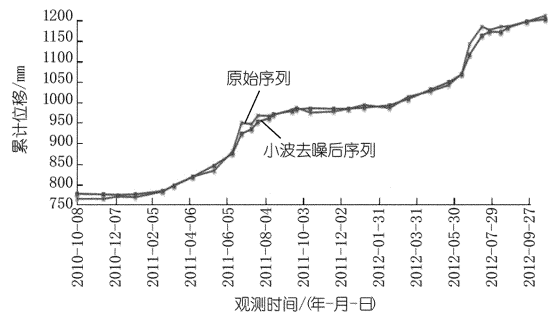


图3 小波去噪前后时间序列对比

八字门滑坡变形的时间序列具有明显的不断增加趋势,且整体具有线性变化趋势,局部有二次曲线变化趋势,故可以应用一阶差分指数平滑法和二阶差分指数平滑法对小波去噪后的序列进行预测。利用公式(1)~(6),结合 Matlab 编程计算,具体计算过程及结果见表1。

表 1 小波 - 差分指数平滑模型计算

日期/ (年 - 月 - 日)	观测 期数	累积位 移/mm	一阶差分指数 预测值/mm	二阶差分指数 预测值/mm
2010 - 10 - 8	1	764.3		
2010 - 11 - 18	2	764.3		
2010 - 12 - 11	3	770.3	773.1	
2011 - 01 - 08	4	769.2	771.4	772.4
2011 - 02 - 20	5	782.6	773.9	779.8
2011 - 03 - 10	6	798.3	782.5	793.4
2011 - 04 - 9	7	818.4	797.3	812.5
2011 - 05 - 13	8	833.2	821.2	843.3
2011 - 06 - 11	9	881.5	852.4	877.6
2011 - 06 - 25	10	949.9	886.6	909.6
2011 - 07 - 11	11	948.1	938.3	978.2
2011 - 07 - 21	12	967.8	956.6	945.0
2011 - 08 - 08	13	967.3	972.1	969.9
2011 - 08 - 15	14	969.6	980.3	967.8
2011 - 09 - 13	15	982.5	988.1	979.6
2011 - 09 - 20	16	988.1	994.6	985.5
2011 - 10 - 12	17	975.5	997.6	986.3
2011 - 11 - 18	18	978.5	997.8	985.7
2011 - 12 - 12	19	985.2	995.4	982.8
2012 - 01 - 06	20	994.3	993.2	983.6
2012 - 02 - 15	21	986.6	993.6	988.3
2012 - 03 - 15	22	1014.3	998.6	999.2
2012 - 04 - 20	23	1028.2	1014.6	1027.0
2012 - 05 - 19	24	1043.1	1039.9	1058.7
2012 - 06 - 8	25	1071.1	1060.7	1068.8
2012 - 06 - 20	26	1143.5	1081.4	1090.1
2012 - 07 - 10	27	1186.0	1129.8	1169.8
2012 - 07 - 22	28	1178.0	1184.0	1216.8
2012 - 08 - 9	29	1185.6	1199.5	1180.6
2012 - 08 - 20	30	1186.5	1194.5	1165.2
2012 - 09 - 19	31	1198.1	1201.4	1194.3
2012 - 10 - 19	32	1212.4	1215.0	1213.0
预测	33		1212.8	1211.2

注:第 3 列累积位移即为秭归县专业监测实时数据,本次计算中加权系数  $\alpha$  取为 0.2,  $t=33$  是用该模型预测的 2012 年 11 月份的滑坡累积水平位移值。

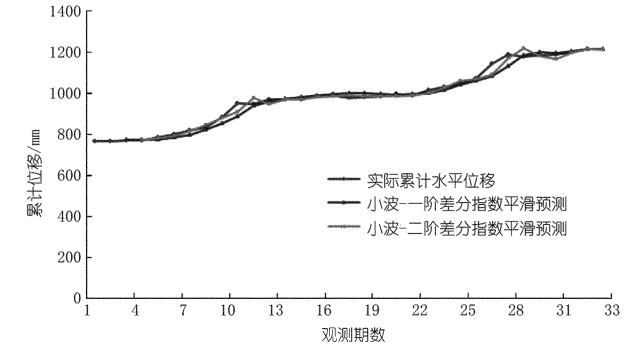


图 4 原始数据曲线与预测数据曲线对比

图 4 为原始数据曲线与预测数据曲线的对照,由图 4 可看到预测值与原始数据曲线的大致走势十分接近。本文按照预测效果的评价原则和惯例,采用平方和误差 (SSE)、平均绝对误差 (MAE)、均方误差 (MSE)、平均绝对百分比误差 (MAPE) 和均方百分比

误差 (MSPE) 5 项拟合误差指标作为评判准则。该模型的预测精度指标见表 2。

表 2 预测精度指标

模型	SSE	MAE	MSE	MAPE/%	MSPE/%
小波 - 一阶差分指数平滑	15104.25	15.28	4.1	1.50	0.40
小波 - 二阶差分指数平滑	9151.88	11.72	3.3	1.10	0.30

由表 2 可知,模型的预测精度非常高。

通过两种模型的预测精度对比可知,二阶差分指数平滑模型的预测精度同样非常高,这是由该时间序列的特征决定的,而绝大部分滑坡的累积位移都具有这些特征,因此用差分 - 指数平滑模型预测滑坡变形是合适的。

3 结 语

本文通过建立小波 - 差分指数平滑模型,对三峡库区八字门滑坡 GPS 监测数据进行预测,得到了非常好的效果,小波变换在时频域内具有良好的表征信号特征的能力,因此在滑坡 GPS 监测数据预处理、特征挖掘、提取及预测方面前景广阔,差分指数平滑模型是基于当前观测数据与历史数据的预测,并赋予它们不同的权重,但是,该模型仍有不足,即加权系数的选择问题,以及只能逐期预测问题,将作进一步的研究。

参考文献:

[1] 易武,孟召平,易庆林. 三峡库区滑坡预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社,2011:55 - 56.

[2] 尹光志,张卫中,张东明,等. 基于指数平滑法与回归分析相结合的滑坡预测[J]. 岩土力学,2007,28(8):1725 - 1728.

[3] 沈良峰,张月龙. 基于指数平滑技术的边坡位移预测方法[J]. 建筑科学,2004,20(4):43 - 45,50.

[4] 王洪兴,王冠,罗文强. 指数平滑技术在斜坡位移预测中的应用[J]. 地质科技情报,2005,24(S1):196 - 198.

[5] 杨建南,张常红. 差分 - 指数平滑预测模型在门诊人次预测中的应用[J]. 中国病案,2009,10(5):32 - 33.

[6] 王应明. 基于相关性的组合预测方法研究[J]. 预测,2002,21(2):58 - 62.

[7] 李远耀,殷坤龙,程温鸣. R/S 分析在滑坡变形趋势预测中的应用[J]. 岩土工程学报,2010,32(8):1291 - 1296.

[8] 戴自航,卢才金. 边坡失稳机理的力学解释[J]. 岩土工程学报,2006,28(10):1192 - 1197.

[9] 戴福初. 从土的应力应变特性探讨滑坡发生机理[J]. 岩土工程学报,2000,22(1):127 - 130.

[10] 谭万鹏,郑颖人,王凯. 考虑蠕变特性的滑坡稳定状态分析研究[J]. 岩土工程学报,2010,32(2):5 - 8.

(编辑:赵凤超)

度值均得以减小,叶轮中的液流运动更加平稳,这在一定程度上也保证了设备的安全,可以适度地延长使用寿命。

(3) 短叶片的添加有效地提升了该泵的效率,同时,也为该泵型的优化提供了一个初步的改良方案。但是,在效率提升方面不是特别明显,说明对于短叶片的设计方案还有待进一步优化,以使其效率得到更显著的提升。

#### 参考文献:

[1] 庄丰余. 浅析离心泵叶轮焊接技术[J]. 化工管理, 2013, (14): 254 - 254.

- [2] 李龙, 王泽, 徐峰, 等. 离心泵叶轮内变工况三维湍流数值模拟[J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 72 - 74.
- [3] 刘文明, 金仲康, 郑源, 等. 大型供水泵站数值模拟及水力优化[J]. 排灌机械, 2009, 9(5): 281 - 286.
- [4] 潘中永, 袁寿其, 刘瑞华, 等. 离心泵复合叶轮短叶片偏置设计研究[J]. 排灌机械, 2004, 22(3): 1 - 4.
- [5] 李沈坚, 李春, 周碧池, 等. 基于 UG 的离心泵实体造型设计及研究[J]. 机械制造, 2008, 46(11): 52 - 54.
- [6] 冯俊, 郑源, 李玲玉. 超低水头竖井贯流式水轮机三维湍流数值模拟[J]. 人民长江, 2012, 44(21): 85 - 88.

(编辑: 赵秋云)

## Optimization of hydraulic performance of centrifugal pump impeller based on CFD

GUO Aohui<sup>1</sup>, LIU Xiaobing<sup>2</sup>, ZENG Yongzhong<sup>2</sup>, LI Jidong<sup>2</sup>, LUO Hongying<sup>1</sup>

(1. College of Hydroelectric and Civil Engineering, Agriculture and Animal Husbandry College of Tibet University, Linzhi 860000; 2. School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** As the centrifugal pumps have been widely used in industrial and agricultural production and life, the improvement of their efficiency is of great significance to meeting actual needs and conserving energy. Since a small amount of turbulent flow exists at the impeller outlet of a certain type of centrifugal pump, five short vanes are added to the impeller to reduce the turbulence, improve the outflow at the impeller, protect the fixed guide vanes, and eventually improve the efficiency of the centrifugal pump. The centrifugal pump with and without the five additional short vanes are put into flow field simulation respectively by the SST model, and through which their  $Q - \eta$  curves are worked out and compared with each other. The pressure nephograms, the velocity streamline charts of the two centrifugal pumps in design working condition are analyzed in comparison with the data obtained from the practical test. It is found out that the turbulent flow at the impeller outlet reduces significantly and the water flows more evenly after adding the five short vanes, which improves the efficiency of the pump in a certain extent. The research results will provide new thoughts and theoretical reference for the optimization and efficiency improvement of the centrifugal pump of this type.

**Key words:** impeller; short vanes; SST model; pressure nephogram; relative velocity vector distribution; centrifugal pumps

(上接 47 页)

## Application of wavelet - difference index smoothing model in displacement predication of landslides

WANG Ming<sup>1,2,3</sup>, YI Wu<sup>1,2,3</sup>

(1 College of Civil Engineering & Architecture, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2 National Field Observation and Research Station of Landslides in Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River, Yichang 443002, China; 3 Collaborative Innovation Center for Geo - Hazards and Eco - Environment in Three Gorges Area, Yichang 443002, China)

**Abstract:** The wavelet - difference index smoothing method was used to predict cumulative displacement of the Bazimen landslide located in Three Gorges Reservoir area. Wavelet transform is widely used in signal analysis because of its multi resolution analysis, while the index smoothing method is a kind of time series analysis method, which is developed based on the moving average method and commonly applied in prediction analysis. Aiming at the accumulative displacement data of the landslide, the time series is denoised by the wavelet transform in pretreatment, and the first difference - index smoothing model and second difference - index smoothing model are established to predict the accumulative displacement of the landslide. The results show that the MAPEs (Mean Absolute Percent Error) are 1.5% and 1.1%, demonstrating that this model can be applied to practical engineering.

**Key words:** wavelet analysis; difference; index smoothing; landslide; displacement prediction