

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.03.015

基于改进指数平滑法的岩体边坡变形预测

刘造保^{1,2},徐卫亚^{1,2},张开普^{1,2},刘 康³

(1.河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,江苏 南京 210098;

2.河海大学岩土工程科学研究所,江苏 南京 210098 3.中国水利水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072)

摘要:结合 VisualBasic.NET 编程技术提出了二次和三次指数平滑预测模型参数 α 的优化改进方法,建立了参数最优的二次和三次指数平滑法预测模型.基于锦屏一级水电站左岸高边坡工程部分监测数据,应用指数平滑法基本原理建立二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型,并应用该模型对左岸高边坡某工程部位监测位移等变形物理量进行预测预报分析.结果表明,改进的预测模型预测结果准确有效,与后期实际监测位移比较误差较小.

关键词:改进指数平滑法;岩体边坡;变形预测;锦屏一级水电站

中图分类号: TU454 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)03-0313-04

变形预测是水电工程高边坡预报预警中不可或缺的部分,是根据现有的各种监测资料分析和预测未来数据发展趋势,从而分析判断被监测体在未来某时期内是否稳定,或者预测滑坡发生时间的过程^[1].近几年工程建设频繁,高边坡大量涌现,其地质条件复杂,部分地区多次出现了滑坡灾害,因此基于监测资料信息的边坡变形预测预报及预警^[2]有极强的应用背景和实际意义.

预测的首要问题是应用合适的预测方法,建立合适的预测模型.目前代表性的预测方法或模型有 Verhulst 模型^[3]、稳定模糊综合评判模型^[4]、灰色系统模型^[5]、指数平滑法^[6]、卡尔曼滤波分析法^[7]、混沌分形分析法^[8]等.各种预测方法和模型都有各自的应用背景和局限性,因此,探讨和研究其应用背景对于预测方法或模型本身以及应用其解决工程实际问题都有极大的推动作用.指数平滑法是 20 世纪 50 年代末期由美国数学家布朗和霍尔特发展起来的,目前已在多个领域中得到应用.本文结合 VisualBasic.NET 编程技术提出了二次和三次指数平滑预测模型参数 α 的优化改进方法,建立了参数最优的二次和三次指数平滑法预测模型.基于锦屏一级水电站左岸高边坡工程部分监测数据,应用指数平滑法基本原理建立二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型,并应用该模型对左岸高边坡部分工程部位监测位移等变形物理量进行预测预报分析.

1 指数平滑法原理

指数平滑法是一种非统计性的时间序列分析方法.该方法的主要思想为:每个时间序列都具有某种特征,即存在着某种基本数学模式,而实际观测值既体现这种模式,又反映随机变动.指数平滑法的目标就是采用“修匀”历史数据来区别基本数据模式和随机变动^[6].这相当于在历史数据中消除极大值和极小值,获得该时间序列的平滑值,并以它作为对未来时期的预测值.在整个预测中,不断用预测误差来纠正新的预测值,即运用“误差反馈”原理对预测值不断修正.应用较多的有二次指数平滑法和三次指数平滑法.指数平滑法基本公式^[9]为

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) F_t \quad (1)$$

式中: F_{t+1} —— $t+1$ 时期的预测值; Y_t —— t 时期的观测值(实际值); α ——平滑(加权)系数, $0 < \alpha < 1$,体现预测误差对时序预测的修正幅度,通常称作指数平滑参数,也称作预测模型的模型参数; t ——时间序列.

二次指数平滑法中预测值的计算基于以下原则:当趋势存在时,一次和二次平滑值滞后于实际值,将二

者之差加在一次平滑值上,则可对趋势进行修正.特别地,当时间序列大致呈线性趋势变化时,二次指数平滑法预测相当有效.其预测方程即 $t+m$ 时期的预测值表示为^[9]

$$F_{t+m} = a_t + b_tm \tag{2}$$

式中 m 为自然数,表示预测期数或跨度.

三次指数平滑法的目的是为了修正预测值,使其跟踪非线性趋势的变化,它能随着时间序列呈抛物线增长而不断调整预测值,计算中不但能考虑时间序列线性增长的因素,而且也能考虑二次曲线的增长因素.特别地,当时间序列按照二次曲线的形状增加或减少时,三次指数平滑法预测相当有效.其预测方程即 $t+m$ 时期的预测值表示为^[6]

$$F_{t+m} = a_t + b_tm + \frac{1}{2}c_tm^2 \tag{3}$$

根据式(2)和式(3)求得的预测值分别称作二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型的预测值,其中指数平滑参数 α 的取值对模型预测结果的影响较大,是一个需要深入探讨的问题.

2 指数平滑参数 α 的优化确定

对于指数平滑参数 α 的取值,文献[9]提出了在修均数据和预测数据时的大概取值原则,该取值原则是根据监测数据的波动情况确定指数平滑参数 α 的取值范围,但不能定量地用于实际预测;文献[10]提出了以相对误差为控制目标的最小二乘法求取 α 的方法,但该文是通过选取几个特殊值试算的方式来大致确定参数 α ,而并未给出指数平滑参数 α 的定量求解方法;文献[11]提出了以利用差分-比率-均值法求取 α 的方法,该方法通过几组数据测试,不具有一般性,而且从理论上也存在缺陷,适用性非常有限;也有文献^[11-12]采取以相对误差为控制目标的计算方法,但都仅仅限于原始数据呈一定内在关系的模型,因此也存在理论和实际的缺陷.

因参数 α 本质上是一个加权参数,其最大取值范围应为 $0 \sim 1$,即其初值 $\alpha_0 = 0$,终值 $\alpha_n = 1$.基于该种考虑,结合计算机技术,提出以控制绝对误差 M 的最小二乘法为基本方法确定参数 α :

$$M = \sum (F_t - Y_t)^2 \tag{4}$$

为使式(4)达最小,采取的方法如下:对参数 α 范围内的所有数,从初值 0 开始,以一个定步长 $\Delta\alpha$ 增长,即 $\alpha = \alpha + \Delta\alpha$,直到终值 $\alpha = 1$ 结束.对于每一个 α 值,根据选择的指数平滑模型,计算相应的模型预测值,然后计算该 α 对应的 M .对于计算出的一系列 M ,选择一种最小的 M 为目标值,同时,与其对应的参数 α 即为最优模型参数.

- 根据以上思路,其计算步骤如下:
- 给定参数 α 的初始值 $\alpha_0 = 0$ 及终值 $\alpha_n = 1$;
 - 取 $\alpha = \alpha_0$;
 - 选定预测时间跨度和预测方法(预测方法为二次指数平滑法或三次指数平滑法);
 - 计算各期相应的预测值;
 - 计算各期预测值的误差目标控制数组;
 - $\alpha = \alpha + \Delta\alpha$;
 - 判断 $\alpha > \alpha_n$,若成立,往 h,否则返 c 继续;
 - 遍历误差控制数组,选择目标最优的 α ;
 - 计算最优 α 对应的预测值并输出结果;
 - 导出结果并绘制预测曲线,查看效果图.

图1为该计算过程计算机程序流程图.上述方法实际是一个先计算 M ,然后选取的过程,因此总能选择出最优模型参数,不存在不收敛等问题.值得讨论的是步长 $\Delta\alpha$ 的选择问题,文献[6,11,13-14]均取值到小数点后2位,即精

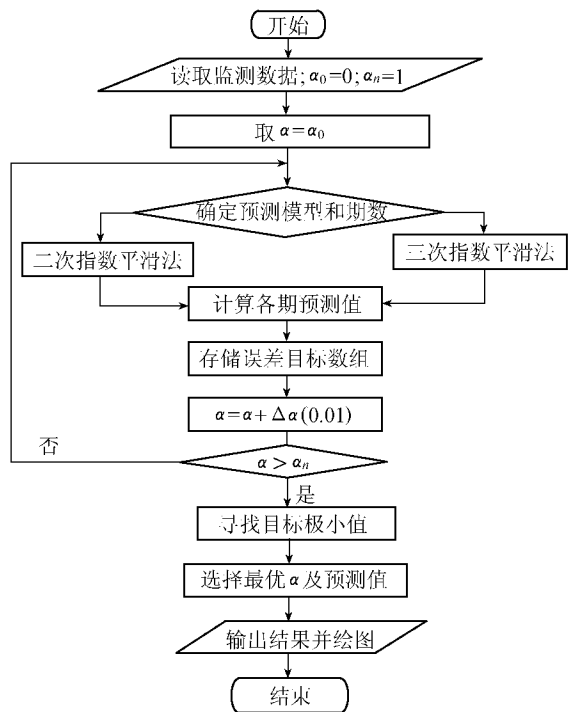


图1 优化算法流程

Fig. 1 Flow chart of optimization algorithm

确到 0.01. 笔者通过实际边坡工程监测数据的数学试验发现 ,当步长 $\Delta\alpha$ 分别取 0.1 和 0.01 时 ,预测效果差别较大 ,而预测值计算次数差别不大(分别为 10 次和 100 次) ,但当 $\Delta\alpha$ 分别取 0.01 和 0.001 时 ,预测效果相差不明显 ,而计算时间相差较大 ,两者分别计算预测值 100 次和 1 000 次 .需要说明的是此处计算次数指的是计算预测值的次数 ,而非实际的运算次数 ,实际运算次数是该值的数倍 .综合考虑上述预测效果和实际运算时间 ,确定预测模型中参数 α 计算步长 $\Delta\alpha$ 取值为 0.01.

尽管该优化方法一定程度上依赖于计算机的计算处理能力 ,但目前普通计算机的计算能力已经足够承担 ,通过在 VisualBasic .Net 框架下用 Visual Basic 语言编制的程序计算 ,个人普通配置计算机计算用时不到 1s 即输出了参数 α ,因此 ,该方法的实现是简易可行的 .

3 岩体边坡变形预测实例分析

锦屏一级水电站左岸边坡规模宏大 ,工程技术条件复杂 .基于该边坡部分监测数据 ,采用二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型分别预测 ,并且比较预测效果 .表 1 为 C2 标左岸自然边坡平硐石墨杆式收敛计的部分监测数据及应用二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型进行预测的计算结果 ,表 2 为 C2 标左岸边坡 1 960 m 高程以上编号为 M_{11A}¹的排水洞位移计监测值以及应用二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型进行预测的计算结果 .表中计算值最后 3 行为应用前期数据建模得到的后期预测值 ,其它行为数据修均值 .

表 1 C2 标左岸自然边坡平硐石墨杆式收敛计监测数据及预测值

Table 1 Observed and predicated displacements of tunnel at left bank slope of Section C2 by graphite-bar-type-converge meters

时序	监测时间	监测值/ mm	二次平滑法/mm		三次平滑法/mm	
			计算值	误差	计算值	误差
1	2007-09-06	0.73				
2	2007-09-12	0.67				
3	2007-09-20	0.61	0.69	0.08	0.68	0.07
4	2007-10-11	0.71	0.70	-0.01	0.69	-0.02
5	2007-10-18	0.72	0.71	-0.01	0.71	-0.01
6	2007-10-25	0.85	0.72	-0.13	0.72	-0.13
7	2007-11-01	0.83	0.81	-0.02	0.83	0.00
8	2007-11-08	0.82	0.84	0.02	0.86	0.04
9	2007-11-15	0.84	0.85	0.01	0.87	0.03
10	2007-11-22	0.92	0.86	-0.06	0.88	-0.04
11	2007-11-29	0.94	0.92	-0.02	0.94	0.00
12	2007-12-06	0.96	0.96	0.00	0.98	0.02
13	2007-12-13	1.05	0.99	-0.06	1.01	-0.04
14	2007-12-20	1.08	1.06	-0.02	1.08	0.00
15	2007-12-27	1.09	1.11	0.02	1.14	0.05
16	2008-01-03	1.06	1.13	0.07	1.16	0.10
17	2008-01-10	1.11	1.12	0.01	1.13	0.02
18	2008-01-17	1.23	1.14	-0.09	1.15	-0.08
19	2008-01-24	1.02	1.23	0.21	1.24	0.22
20	2008-01-31	1.08	1.12	0.04	1.12	0.04
21	2008-02-07	1.18	1.11	-0.07	1.09	-0.08
22	2008-02-14	1.13	1.12	-0.01	1.11	-0.02
23	2008-02-21	1.11	1.12	0.01	1.09	-0.02
累计绝对误差				0.97		1.03

注 :二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型的最优平滑参数值 α 分别为 0.34 和 0.25.

表 2 C2 标左岸边坡 1 960 m 高程以上排水洞位移计监测值及预测值

Table 2 Observed and predicated displacements of draining tunnel at left bank slope of Section C2 above 1 960 m in height by use of displacement sensors

时序	监测时间	监测值/ mm	二次平滑法/mm		三次平滑法/mm	
			计算值	误差	计算值	误差
1	2007-11-19	-2.54				
2	2007-11-24	-2.67				
3	2007-11-29	-2.60	-2.63	-0.03	-2.62	-0.02
4	2007-12-06	-2.53	-2.62	-0.09	-2.63	-0.10
5	2007-12-13	-2.77	-2.57	0.20	-2.58	0.19
6	2007-12-20	-2.80	-2.70	0.10	-2.71	0.09
7	2007-12-27	-2.81	-2.79	0.02	-2.80	0.01
8	2008-01-03	-2.84	-2.84	0.00	-2.85	-0.01
9	2008-01-06	-2.87	-2.87	0.00	-2.90	-0.03
10	2008-01-10	-2.88	-2.91	-0.03	-2.93	-0.05
11	2008-01-31	-2.91	-2.92	-0.01	-2.95	-0.04
12	2008-02-07	-2.94	-2.95	-0.01	-2.97	-0.03
13	2008-02-14	-2.94	-2.97	-0.03	-3.00	-0.06
14	2008-02-21	-2.92	-2.98	-0.06	-3.00	-0.08
15	2008-03-06	-2.91	-2.97	-0.06	-2.99	-0.08
16	2008-03-13	-2.94	-3.00	-0.06	-3.02	-0.08
17	2008-03-20	-2.93	-3.00	-0.07	-3.03	-0.10
累计绝对误差				0.77		0.97

注 :二次指数平滑法和三次指数平滑法预测模型的最优平滑参数值 α 分别为 0.33 和 0.21.

从表 1 和表 2 中数据分析 ,各期历史修均值以及预测值的误差均较小 ,预测显示位移亦缓慢增长 ,但增幅不大 ,处于稳定发展状态 .分析显示 ,该部位岩体是稳定的 ,但由于位移仍在缓慢发展 ,需继续观测 .分析比较预测结果可见 (a)从预测期数上可看出 ,随着原始监测数据的缺失 ,曲线的趋势偏离监测数据较大 ,因此 ,建议将其用于边坡工程的短中期预测 (b)无论原始监测数据波动情况如何 ,均能建立其相应的指数平滑法模型进行预测 ,当原始监测数据较平稳或波动不大

时,数据的修均及预测趋势结果准确,但当数据杂乱时,预测效果则欠佳。

4 结 语

a. 本文提出的改进指数平滑法原理清晰,最优预测模型参数 α 的确定在计算机编程环境下便于实现,计算均能收敛,并基于原始监测数据可建立起最优的指数平滑法预测模型。

b. 岩体边坡工程监测数据波动一般不太大,采用指数平滑法预测效果较好,实例中2工程部位岩体位移修均值和预测值的累计误差均较小,显示边坡位移缓慢增长,目前处于稳定发展阶段,仍需继续进行观测。

c. 指数平滑法不适合于长期预测,适合于长期观测的预测模型仍是一个值得研究的课题。同时,该预测模型是单点预测模型,实际工程是由很多测点组成的监测系统,因此,如何进行多点组合预测和系统综合预测是未来研究的重点。

参考文献:

- [1] 杨志法. 岩土工程监测技术及监测系统问题[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [2] 李季, 苏怀智, 胡江. 龙羊峡近坝库岸坡群稳定性分析及预警技术研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(5): 599-604.
- [3] 李天斌, 陈明东, 王兰生. 滑坡实时跟踪预报[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.
- [4] 殷坤龙, 晏同珍. 滑坡预测及相关模型[J]. 岩石力学与工程学报, 1996, 15(1): 1-8.
- [5] 巫德斌, 徐卫亚. 基于GM(1,1)优化模型的岩石边坡变形预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003(1): 85-89.
- [6] 门玉明, 胡高社, 刘玉海. 指数平滑法及其在滑坡预报中的应用[J]. 水文地质工程地质, 1997, 24(1): 16-18.
- [7] 史永胜, 许东俊. 时序分析在边坡位移预测中的应用[J]. 岩土力学, 1995, 16(4): 1-3.
- [8] 曾开华, 陆兆涛. 边坡变形破坏预测的混沌与分形研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 1999, 27(3): 9-13.
- [9] BOWERMAN B L, O'CONNELL R T. Forecasting and time series[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [10] 王长江. 指数平滑法中平滑系数的选择研究[J]. 中北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(6): 558-561.
- [11] 龚承刚. 关于指数平滑系数 α 测定问题的再思考[J]. 北京统计, 2000(7): 32-33.
- [12] 赵殿玉, 杨芳春. 指数平滑系数的优化研究[J]. 阜新矿业学院学报, 1997, 16(2): 231-233.
- [13] 张蔚虹, 刘立. 指数平滑法在销售预算中的应用[J]. 中国管理信息化, 2008, 11(2): 84-86.
- [14] 余世丰, 胡俐先. 季节性指数平滑法预测石化物流配送车保有量[J]. 现代商贸工业, 2008, 20(6): 68-69.

Prediction of rock slope deformation based on optimized exponential smoothing method

LIU Zao-bao^{1,2}, XU Wei-ya^{1,2}, ZHANG Kai-pu^{1,2}, LIU Kang³

(1. Key Lab of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Institute of CHECC, Chengdu 610072, China)

Abstract: Associated with the VisualBasic.NET programming technology, the modified optimization method for the coefficient α of the quadric and triple exponential smoothing prediction model was put forward. The optimization prediction model for α was established using the quadric and triple exponential method. Based on some monitoring data of the high slope on the left bank of the Jinping Stage 1 Hydropower Station, the above model was employed to analyze the displacement of the high slope. The conclusion is that the results predicted by the present modified model are accurate and effective and agree well with the observed ones.

Key words: modified exponential smoothing method; rock slope; deformation prediction; Jinping Hydropower Station