

指数平滑法预测滑坡变形的适用性探讨

胡巍¹, 常金源², 李祥龙³, 钟华¹, 史存鹏¹

(1. 长江勘测规划设计研究有限公司, 湖北 武汉 430070; 2. 绍兴文理学院 土木工程学院, 浙江 绍兴 312000; 3. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要:为弄清滑坡变形预测中指数平滑法的适用情形,探讨了该法对三峡库区两种典型滑坡位移曲线——台阶型位移变形曲线和波动型位移变形曲线趋势预测的适用性。研究表明,对于台阶型位移变形曲线,在变形增量由大变小的转折点处,预测值曲线形成尖峰形状,使得预测值估计偏大,而其它阶段误差值相对较小;对于波动型位移变形曲线,指数平滑法具有相当的滞后性,滞后时间与选取的预测时间间隔大致一致,表现出较差的适应性。

关键词:指数平滑法; 滑坡变形预测; 台阶型变形曲线; 波动型变形曲线

中图法分类号: P642

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.14.009

指数平滑法是在20世纪50年代末由数学家布朗和霍尔特提出的^[1-2],目前已在许多领域中得到应用,如车站客流量预测^[3]、垃圾产量预测^[4]等。在滑坡变形预测方面,指数平滑法由于其计算过程比较简单,预测时所需观测值(或实际值)不多,且能够对实际变化做出较为迅速的反应,已成为较常用的预测方法之一^[5]。然而,在利用该方法对三峡库区滑坡进行变形预测时发现,对于不同的滑坡变形曲线,该方法所得的预测变形误差相差较大,表明该方法的使用是有一定适用条件的。因此,弄清实际滑坡变形预测中指数平滑法的适用情形具有较大工程运用价值。

本文以三峡库区两种代表性的滑坡位移变形曲线为例,就指数平滑法对于台阶型位移变形曲线和波动型位移变形曲线的适用性进行探讨。

1 预测原理

指数平滑法是一种非统计性的方法,这种方法认为每个时间序列都存在某种基本数学模式,而实际观测值既体现着这种基本模式,又反映着随机变动。其目的就是平滑历史数据,获得某一时间序列段的“平滑值”,并以此作为未来某一时期的预测值。

指数平滑法有多种数学模型,其中三次曲线指数平滑法在滑坡位移预测中使用较多,其对非平稳时间序列的预测相当有效,尤其适宜中、短期的预报^[6]。

1.1 数学模型^[7]

三次曲线指数平滑法的数学模型为

$$F_{t+m} = A_t + B_t m + C_t m^2 \quad (1)$$

式中, F_{t+m} 为预测值; t 为起始时间; m 为预测时间; A_t 为一次平滑系数; B_t 为二次平滑系数; C_t 为三次平滑系数。

A_t 、 B_t 和 C_t 均由单指数平滑值 S_t' 、双指数平滑值 S_t'' 和三指数平滑值 S_t''' 求得。

$$\begin{cases} A_t = 3S_t' - 3S_t'' + S_t''' \\ B_t = \frac{a}{2(1-a)^2} \left[(6-5a)S_t' - (10-8a)S_t'' + (4-3a)S_t''' \right] \\ C_t = \frac{a}{2(1-a)^2} (S_t' - 2S_t'' + S_t''') \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} S_t' = ax_t + (1-a)S_{t-1}' \\ S_t'' = aS_t' + (1-a)S_{t-1}'' \\ S_t''' = aS_t'' + (1-a)S_{t-1}''' \end{cases} \quad (3)$$

式中, a 为平滑常数。

1.2 初始值选取

初始值的确定通常有两种方法:第 1 种为取初始变形量,即 $S'_0 = S''_0 = S'''_0 = x_1$, 初始的平滑值相等,并等于初始位移变形量;第 2 种方法为取平均值的方法,即 $S'_0 = \frac{1}{n} | \sum_{i=1}^n F_i |$, $S''_0 = \frac{1}{n} | \sum_{i=1}^n S'_i |$ 和 $S'''_0 = \frac{1}{n} | \sum_{i=1}^n S''_i |$, 一般情况下 n 取 3 即可满足要求。相比较而言,前者简单,在应用中也能够取得很好的预测效果,所以,预测模型也多采用第一种取初始变形量的方法。

1.3 平滑常数的选取

平滑常数 a 可以看作是新旧数据在预测中所起作用的比例因子,取值范围为 $0 \sim 1$ 。当 a 取 0 时,3 个平滑值均为初始变形值,而当 a 取 1 时,二次和三次平滑系数没有意义。因此, a 只能取 0 到 1 之间的数值,即 $0 < a < 1$ 和 $0 < (1 - a) < 1$ 。

将公式进行递归展开如下

$$S'_t = ax_t + a(1 - a)x_{t-1} + a(1 - a)^2x_{t-2} + \dots + (1 - a)^t S'_0 \tag{4}$$

从中可以看出,由于 $0 < (1 - a) < 1$, 随着 t 的增长,即预测时间的不断向后推移,初始值对预测值的影响越来越小^[2]。当数据量较多时,初始值的选取对预测结果的影响将随数据量的增长呈指数递减。

文献[1]指出, a 较大时,新的数据对结果影响较大,模型适应新水平快,但易“过敏”; a 较小时,预测值对时间序列反应比较缓慢,易于落后于新的发展趋势。对于 a 的选择,可以选用计算机自动筛选的办法^[5],使得预测变形值与实际监测值的均方差最小,此时的 a 即为最优平滑常数。

2 方法适用性

2.1 台阶型曲线

树坪滑坡位于三峡库区湖北省秭归县沙镇溪镇树坪村一组的长江南岸岸坡,下距三峡大坝坝址约 47 km,经度 $110^{\circ}37'0''$,纬度 $30^{\circ}59'37''$ 。树坪滑坡属老崩滑堆积体,位于朝北倾斜的逆向斜坡上,滑坡体前缘直抵 140 m 库水位(原始分布高程 65 m),滑体南北纵长约 800 m,东西宽约 700 m,厚约 40 ~ 70 m,总体积约 2 890 万 m^3 。属堆积层滑坡。

整个滑坡体可以分成东西两个滑坡体,分别为 2 号和 1 号滑坡体。ZG86 监测点位于 1 号滑坡体的中部约 265m 高程处。图 1 中曲线 B 显示了滑坡单月累积位移量与时间的关系。其中第一个数据点代表

2007 年 1 月,第二个数据点代表 2007 年 2 月,依次类推,一直到 2012 年 12 月,共 72 组数据。从图中可以看出,累积位移曲线呈明显的台阶状,在每年的 6 ~ 9 月份为变形剧烈期,累积变形增量较大,而其它时间位移曲线相对平缓,月位移量增长缓慢。

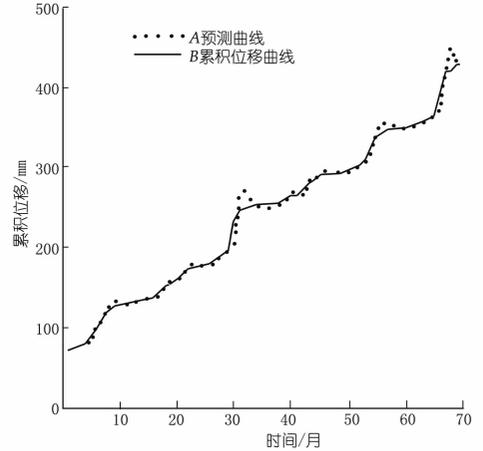


图 1 树坪滑坡累积位移曲线与预测曲线关系

平滑常数 a_1 取 0.6, 初始预测时间取 2, 预测时间间隔 m 取 1, 则预测变形曲线如图 1 中曲线 A 所示。从图 1 中的比较可以看出,预测值曲线基本上沿着实测值曲线上上下下摆动,很少出现较大偏离的情况。但是在累积变形量由大变小的转折点处,预测值曲线则出现了明显的偏离,形成一个陡升陡降的尖峰形状,表现出较大的预测误差。而其它位移缓慢增长的阶段,误差值相对较小。这说明指数平滑法在位移量由大变小的转折点处,表现出较大的滞后性。也可以反过来这样理解,在位移增量由小变大的转折点处,指数平滑法表现得相当敏感,使得预测值估计偏大。

平滑常数 a_1 以最小均方差为原则来选取,分别计算 a_1 从 0.1 到 0.9 的情况下预测值与实测值的均方差,如图 2 和表 1 所示。平滑常数最佳值在 0.5 ~ 0.7 之间。

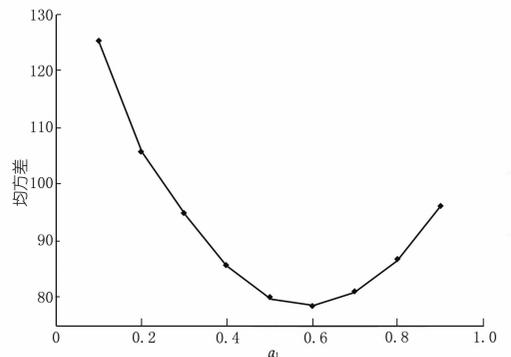


图 2 a_1 均方差曲线

表 1 平滑常数均方差

a	均方差(a_1)	均方差(a_2)	a	均方差(a_1)	均方差(a_2)
0.1	125.3	7.80	0.6	78.5	13.0
0.2	105.8	8.60	0.7	90.0	14.7
0.3	95.0	9.50	0.8	86.6	16.8
0.4	85.6	10.5	0.9	96.2	19.8
0.5	79.9	11.7			

2.2 波动型曲线

白水河滑坡位于长江南岸,距三峡大坝坝址 56 km,属沙镇溪镇白水河村,地理坐标为经度 $110^{\circ}32'09''$,纬度 $31^{\circ}01'34''$ 。滑坡体处于长江宽河谷地段,单斜顺层斜坡,南高北低,呈阶梯状向长江展布。其后缘高程为 410 m,前缘抵长江,总体坡度约 30° 。南北向长度 600 m,东西向宽度 700 m,滑体平均厚度约 30 m,体积 1 260 万 m^3 ,为堆积层滑坡,坡体属顺向坡。

ZG91 监测点位于滑坡体的南西部约 290 m 高程处。其位移时间关系曲线表现出强烈的波动性,如图 3 中曲线 D 所示。图 3 中第一个数据点代表 2007 年 1 月,第二个数据点代表 2007 年 2 月,依次类推,一直到 2011 年 12 月,共 60 点数据。

初始预测时间取 2,预测时间间隔取 1。由于均方差基本与平滑常数成正相关关系(如表 1 所示),特选择 0.1,0.3 和 0.5 三种情况进行讨论。由图 3 可知,曲线 A 表示平滑常数取 0.1 时的预测曲线,曲线 B 表示平滑常数取 0.3 时的预测曲线,曲线 C 表示平滑常数取 0.5 时的预测曲线。曲线 B 与实测值曲线极为相似,如将曲线 B 沿时间轴向右平移一个单位(月)(对于预测时间间隔为 2 的情况同样适用),则基本与实测值曲线重合。而曲线 A 和曲线 C 似乎是曲线 B 在位移轴上经压缩和放大后得到,与实测值偏离较远。当平滑常数足够小时,预测值曲线更多反映的是滑坡位移变形的总趋势,类似于将各个位移变形数据进行指数曲线拟合得到。

以上现象表明,对于波动型变化的变形曲线,指数平滑法具有相当的滞后性,滞后周期与预测时间间隔大致一致。这种特点的存在,使得指数平滑法对于此种变形曲线的预测表现出较差的适应性,甚至出现变形趋势错误的预测值。因此,在预测此种位移变形曲线时,应选择其它合适的预测方法进行预测。此时利用均方差最小原则求取平滑常数的方法同样是不适用的。 a_2 从 0.1 变化到 0.9 的情况下预测值与实测值的均方差如表 1 和图 4 所示。

3 讨论

指数平滑法中的“指数”系指采取的一种平滑计算

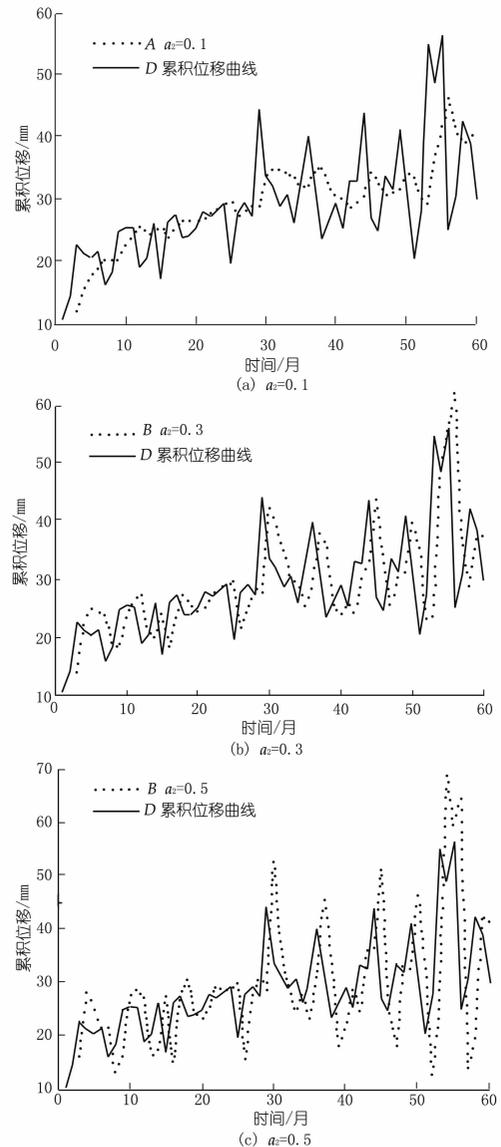
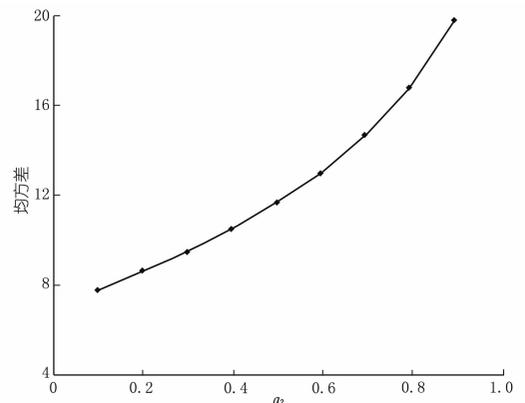


图 3 白水河滑坡累积位移曲线与预测曲线关系

图 4 a_2 均方差曲线

方法,重点在“平滑”两字上,通过平滑历史数据,获得某一时间序列中的预测值,即指数平滑值。本质上而言,指数平滑值是一种权数特殊的加权平均值^[6]。以

上的分析仅是从单纯的指数平滑法计算过程入手,并没有考虑季节变化对预测结果的修正问题。从前面的分析可知,指数平滑法适用于平稳时间序列的预测,对于某一时间段内有不稳定变形的情况,如变形突然加剧或减弱、变形过程呈现波动形等,此时适用性较差,这是由该预测算法本身决定的,难以克服。

4 结论

(1) 对于台阶状发展的位移变形曲线,在变形量由大变小的转折点处,指数平滑法预测值曲线形成一个陡升陡降的尖峰,使得预测值偏大,而在其它阶段,预测值与实测值相差较小。

(2) 对于波动形发展的位移变形曲线,指数平滑法具有相当的滞后性,滞后时间与选取的预测时间间隔大致一致,使得指数平滑法的预测表现出较差的适应性,甚至出现变形趋势错误的预测值。

(3) 在预测滑坡变形的过程中,指数平滑法的局限性体现在对变形增量发生较大变化的位置存在滞后

性。因此,其主要适用于处在平稳变形阶段的变形预测,如台阶状变形曲线中非雨季时期的变形预测。而对于呈波动形的变形曲线,其变形发展具有相当的随机性,指数平滑法难以准确预测此类曲线的发展情况,预测结果误差较大,甚至给出错误的趋势预测。

参考文献:

- [1] 王尚庆. 长江三峡滑坡监测预报[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [2] 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,(6):558-561.
- [3] 祝悦敏. 三次指数平滑预测方法的应用——西安车站客流量预测[J]. 西铁科技,1995,(4):23-29.
- [4] 孟繁柱,温晓新. 运用三次指数平滑法及多元线性回归预测并分析2000年垃圾产量[J]. 环境保护科学,1993,(2):29-33.
- [5] 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,(8):1725-1728.
- [6] 门玉明,胡高社,刘玉海,等. 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,(1):16-18.
- [7] 郎茂祥. 预测理论与方法[M]. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2011:28-33.

(编辑:郑毅)

Discussion of applicability of exponential smoothing method in landslide deformation prediction

HU Wei¹, CHANG Jinyuan², LI Xianglong³, ZHONG Hua¹, SHI Culpeng¹

(1. Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China; 2. College of Civil Engineering, Shaoxing University, Shaoxing 312000; 3. China Geological Environmental Monitoring Institute, Beijing 100081 China)

Abstract: To explore the applicability of exponential smoothing method in landslide deformation prediction, two typical landslide deformation curves in the Three Gorges Reservoir area, step-type curve and fluctuated-type curve, are selected to verify the applicability of the exponential smoothing method. The results show that for the step-type curve, its error is usually small except for large-to-small turning point of deformation, where the curve peak forms, so the error becomes large; for the fluctuated-type curve, the exponential smoothing method reveals obvious lag characteristic and the lag time approximately equals to the chosen prediction time interval, so its applicability for landslide prediction is poor.

Key words: exponential smoothing method; landslide deformation prediction; step-type deformation curve; fluctuated-type curve

(上接第 15 页)

Unloading characteristics of slope rock mass of Wudongde Hydropower Station and stability evaluation

HAO Wenzhong, LIU Chongping, WANG Jiliang, XU Qi

(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

Abstract: Rock mass unloading of high and steep slope may lead to losing stable of the whole or part of the slope, which will endanger the construction and operation of hydropower projects. Taking the high and steep rock slopes at the dam site of Wudongde Hydropower Station as the research object, through the investigation of the macroscopic geological features, seepage characteristics, and the elastic wave characteristics of the unloaded slope rock mass, the horizontal depth and characteristics of the slope rock mass unloading at the dam site are analyzed and identified, and the overall stability of the rock mass in the unloaded zone are evaluated. It can be concluded that the unloading deformation of the slope rock mass is slight and the slopes generally remain stable.

Key words: rock mass unloading; slope; stability; Wudongde Hydropower Station