

文章编号:1000-582X(2010)02-0079-04

边坡变形的 GPS-ANN 综合分析方法

文海家, 赵 亮, 李 鑫

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘 要:基于边坡变形破坏的演化规律,通过对 GPS 变形监测数据的分析,评价了边坡的稳定现状;构建了基于 GPS 监测数据的位移-时间神经网络识别模型,并对未来某段时间内边坡的变形趋势进行预测;利用 Matlab 神经网络工具箱,实现了基于 GPS 监测的神经网络位移预测模型;通过实例研究,对基于 GPS 监测数据的边坡变形 ANN 预测结果进行了分析。

关键词:边坡;变形预测;神经网络;GPS 监测

中图分类号:TU441.35

文献标志码:A

Combination of GPS monitoring and ANN prediction for slope deformation

WEN Hai-jia, ZHAO Liang, LI Xin

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Based on the evolution pattern of slope deformation and failure, stability status of a slope is evaluated through analyzing the data of GPS monitoring. A neural-network model of slope displacement-time is developed based on the GPS monitoring data. It can be used to forecast slope deformation trends. A neural-network displacement prediction model of slope deformation is proposed with Matlab ANN toolbox. Upon a case study, the ANN prediction results based on GPS monitoring data are analyzed.

Key words: landslide; deformation prediction; neural network; GPS monitoring

1 斜坡变形破坏的时间演化规律

岩土边坡变形作为一种能被测出的数据,可反映边坡体在各种因素共同作用下的稳定状况。因此,通过分析边坡体变形监测数据,以及预测其位移变形来判断滑坡稳定现状,并预测边坡灾变^[1]的可能性,是一种较为有效与可靠的途径。

研究表明:重力作用下斜坡岩土体的变形演化曲线具有如图 1 所示的三阶段演化特征^[2-4]。

第 1 阶段(AB 段):初始变形阶段。坡体变形初期,变形从无到有,坡体中开始产生裂缝,变形曲线表现出相对较大的斜率,但随着时间的延续,变形

逐渐趋于正常状态,曲线斜率有所减缓,表现出减速变形的特征。

第 2 阶段(BC 段):等速变形阶段。在初始变形的基础上,重力作用下,斜坡岩土体基本上以相同(近)的速率继续变形。但因不时受到外界因素的干扰和影响,其变形曲线可能会有所波动。

第 3 阶段(CF 段):加速变形阶段。当坡体变形发展到一定阶段后,变形速率会呈现出不断加速增长的趋势,直至坡体整体失稳(滑坡)之前,变形曲线近于陡立,这一阶段被称为加速变形阶段。

上述斜坡变形规律具有普遍意义,它为认识边坡稳定现状提供了理论依据。据此,可以在 GPS

收稿日期:2009-10-12

基金项目:国家杰出青年科学基金(50625824);国家“十一五”重大科技专项课题(2008ZX07315-001-1)

作者简介:文海家(1971-),男,重庆大学副教授,主要从事岩土工程研究,(E-mail)jhw@cqu.edu.cn。

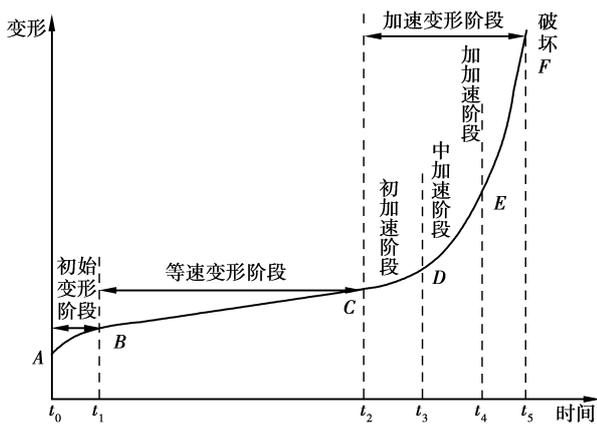


图 1 一般滑坡变形-时间规律曲线

监测的基础上,通过数据的处理来分析斜坡的稳定状况^[5];同时,如果以监测数据为基础建立外推数学模型,更可实现斜坡稳定状况的超前预报。

2 基于 GPS 位移监测的边坡稳定现状分析

随着 GPS 技术的逐渐成熟及推广,利用 GPS 进行边坡变形监测近年来得到了较为广泛的应用^[6-7]。GPS 边坡监测的关键包括监测精度、网络布设和数据的采集与分析等。在此仅研究基于 GPS 位移监测的边坡稳定现状。

以奉节新城区较高风险边坡区域——王家坪滑坡(此滑坡已经作初步整治)为例,图 2 给出了某段时间内该滑坡体上布设的 3 个 GPS 监测点所记录的时间-位移数据。

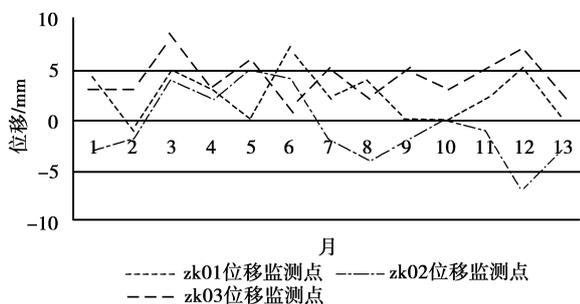


图 2 王家坪滑坡某时段 GPS 监测时间-位移曲线

从图 2 可发现:

1) 位移虽然随时间波动,但波动范围较小,处于弹性波动范畴,整体趋势表现为稳定态势;

2) 位移随时间较小波动,表明坡体在降雨、人类工程活动等影响下处于一种动态平衡^[8],但有必要进行长期监测。

综上所述,王家坪滑坡在治理后,目前处于某种动态平衡状况,但无法根据 GPS 监测数据来预见之

后的变形趋势。因此,利用斜坡变形规律,探索一种基于 GPS 监测的边坡变形预测方法,对边坡变形进行超前预报具有重要意义。

3 神经网络位移预测分析

3.1 神经网络实时、超前预测原理

神经网络(ANN)具有模拟人类部分形象思维的能力,它用类似于“黑匣子”的方法,通过学习和记忆,找出输入和输出之间的映射关系。一个简单的神经网络模型可以反映一个非常复杂的映射关系,特别适用于无法用数学公式表达的复杂工程问题,已经有人用于研究岩土工程问题^[8-11]。

研究表明,经过样本集训练的 BP 神经网络模型,对于不是样本集中的输入也能给出合适的输出^[12-14]。从函数拟合角度看,说明 BP 网络具有插值功能和外推功能。因此,利用神经网络可以对离散点进行高度非线性的拟合,这种拟合的曲线反映了离散点分布规律和发展趋势。

设 $\{t_i | i=1, 2, \dots, n\}$ 为边坡位移监测的时间序列, $\{x_i | i=1, 2, \dots, n\}$ 为边坡 GPS 监测点对应 t_i 的累计位移序列,通过 BP 神经网络训练,可以建立神经网络位移-时间的拟合模型,可以表示为

$$X = F(t), \quad (1)$$

用式(1)表达的神经网络位移-时间模型,能基本反映边坡在多种因素综合作用下位移随时间的变化规律,并能够用其来预报下一时间的变形值。同时,新的实测位移数据又可以作为训练样本,实时更新神经网络位移-时间模型^[15],从而实现基于 GPS 监测的边坡变形实时、超前预测。

3.2 神经网络实时位移预测的实现

基于以上神经网络实时、超前预测原理, GPS-ANN 实时位移预测的实现步骤归纳为:

1) 利用前 n 时间段的监测点位移作为样本,建立神经网络位移-时间模型 $X = F(t)$;

2) 基于 BP 网络的外推功能,利用该模型预测第 $n+1$ 时段的位移 $X_{n+1} = F(t_{n+1})$;

3) 由现场监测得到第 $n+1$ 时段的实测位移,比较分析预测位移的误差及其产生原因;

4) 利用前 $n+1$ 时段的实际监测位移,重新训练更新神经网络模型,然后对 $n+2$ 时段位移进行预测,即重复 2)~4) 步。

遵循以上步骤,可实现基于现场监测与 ANN 相结合的边坡变形实时预测。

通用 MATLAB 程序是集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体数值软件。它提供了方便、界面友好的神经网络工具箱,通过 MATLAB 神经网络工具箱进行简单编程,可实现以上基于现场监测与 ANN 相结合的边坡位移-时间 ANN 建模,

并进行边坡变形的实时预测分析。

4 边坡位移预测实例

4.1 实例建模

以前两节研究为基础,结合前述王家坪滑坡 GPS 监测实例,利用 MATLAB 神经网络工具箱,可按如下方法、步骤构建 ANN 位移-时间模型:

1) 设置 2 层 BP 网络完成函数逼近任务;2) 输入量范围为 1~16,后推 3 个月的预测期;3) 训练函数采用学习率可变的动量 BP 算法训练函数 traingdx;学习函数选用附加动量因子的梯度下降权值/阈值函数 learngdm;误差性能函数选用均方误差性能函数 mse;4) 网络层选 2 层:第一层 13 个神经元、转换函数选 tansig,第二层 11 个神经元、转换函数 purelin。

构建好的网络结构示意图 3。

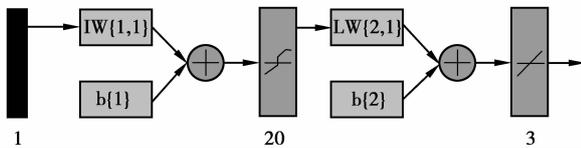


图 3 ANN 网络结构图

4.2 模型网络训练

采用 GPS 位移监测数据对图 1 所示网络进行训练。

1) 定义输入样本 p 及其目标矢量 t ;

输入样本应是初始监测时间到将来某个点的时间长度,这里监测时间为 13 个月。即: $P = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12\ 13]$; 目标矢量为 P 对应 zk01~zk03 三个监测点 GPS 监测位移值。

2) 利用 MATLAB 神经网络工具箱的图形用户界面(GUI)依据选定的函数进行网络训练,得到名为 GPS 的网络。如图 4 为网络学习训练误差曲线。

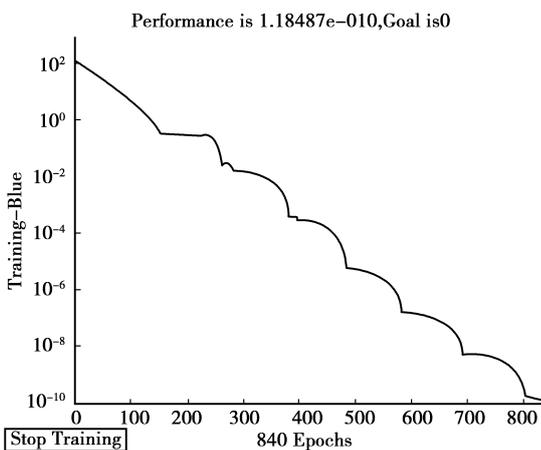


图 4 网络误差曲线

4.3 ANN 位移预测及结果分析

将训练好的网络 GPS 及其输入和输出数据导入到 MATLAB 工作空间,然后在命令窗口输入代码:

```
X0=1:0.05:15;
Y0=sim(GPS,X0);
plot(X,Y,'*',X0,Y0)
Y14=sim(GPS,14);
Y15=sim(GPS,15);
```

即可通过程序运算,得到拟合曲线如图 5 所示。

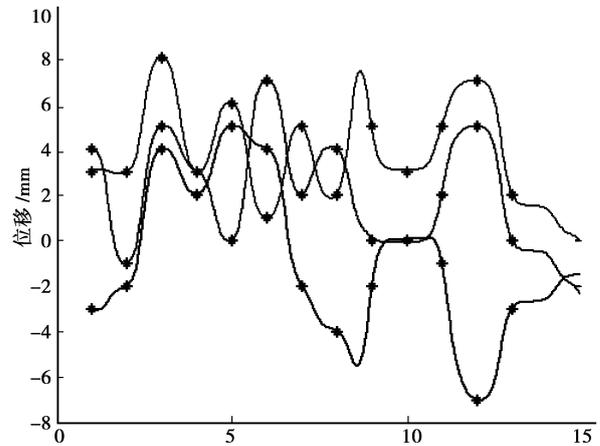


图 5 神经网络位移-时间曲线

图 5 中前 13 个月是样本值,第 14、15 月为预测值; $Y14 = [-0.623\ 9; -2.559\ 6; 1.363\ 7]$ 、 $Y15 = [-2.456\ 5; -1.476\ 1; -0.091\ 7]$; 而现场实测 GPS 监测位移值为: $y14 = [-1; -2; 1]$ 、 $y15 = [-3; 1; -1]$ 。二者对比分析可知:

- 1) 第 14 个月与预测值相差较小,第 15 个月的预测值与实测值相差较大;
- 2) 预测值仍然在弹性范围内,即超前预报该坡体下一时段仍将处于稳定状态。

以上对比结果,可作进一步分析:

① 坡体变形处于弹性阶段,受扰动而发生随机位移。图 2、图 5 所示曲线具有明显的波动说明了位移的随机性。

② 坡体在降水、工程活动、地下水等外界因素的共同作用下,由于每一种影响因素都在改变,造成其变形位移具有高度非线性。但相邻时间其影响因素又有一定的连续性,所以 GPS-ANN 的临近超前预测较准确。

③ 基于 GPS 监测的 ANN 变形预测模型,是基于前期数据位移-时间的某种拟合关系来预测后期位移,实例表明不适用于远期变形超前预报。工程实践中可采用 GPS 数据实时更新 ANN 预测模型,进行滚动临近预报,可以达到满意的效果。

5 结论

1) 基于一般斜坡变形规律,GPS 以其众多优点

成为目前用于边坡灾变监测有效而广泛应用的技术手段之一;但仅依据 GPS 监测数据难以实现边坡变形的超前预报。

2)基于 GPS 监测数据,用神经网络可以构建由多种因素综合作用、非常复杂的边坡变形-时间映射关系;从而可实现基于 GPS 监测的边坡变形实时、超前预测。

3)基于 GPS 监测的 ANN 变形预测模型适用于临近超前预测,而进行远期预测时将出现较大误差;采用 GPS 数据实时更新、训练 ANN 模型可以解决这一问题。

4)奉节新城区王家坪滑坡 GPS 实测与变形 ANN 超前预报分析实例表明,该滑坡经处治后其位移长时间内在较小范围内进行波动,处于动态平衡状态。

参考文献

- [1] SAITO M. Forecasting the time of occurrence of a slope failure[C]. Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Montreal, Canada: [s. n.], 1965, 537-541.
- [2] 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室. 三峡库区常见多发型滑坡预报模型建立及预报判据研究[R]. 成都:成都理工大学, 2004.
- [3] 许强, 汤明高, 徐开祥, 等. 滑坡时空演化规律及预警预报研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(6): 1104-1112.
XU QING, TANG MING-GAO, XU KAI-XIANG, et al. Research on space-time evolution laws and early warning-prediction of landslides[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(6): 1104-1112.
- [4] 许强, 黄润秋, 李秀珍. 滑坡时间预测预报研究进展[J]. 地球科学进展, 2004, 19(3): 478-483.
XU QIANG, HUANG RUN-QIU, LI XIU-ZHEN. Research progress in time forecast and prediction of landslides [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(3): 478-483.
- [5] WEN HS, ZHANG JL, ZHANG YJ. Stability Analysis of a High Excavated-slope[C]// Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation & Rehabilitation. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2005, 12: 379-385
- [6] 李天斌, 陈明东, 王兰生, 等. 滑坡实时跟踪预报[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.
- [7] 王尚庆, 徐进军. 滑坡灾害短期临滑预报监测新途径研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2006, 28(5): 385-388.
- WANG SHANG-QING, XU JIN-JUN. New method to monitor and forecast landslide disaster in short-term [J]. Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences, 2006, 28(5): 385-388.
- [8] LIU X Y. Prediction and warning system of debris flow in In-donesia [J] . Soil and Water Conservation in China, 1995(3): 17-19.
- [9] 文海家, 张家兰, 张永兴. 万州城区吴家湾滑坡灾变的神经网络识别[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2005(12): 108-111.
WEN HAI-JIA, ZHANG JIA-LAN, ZHANG YONG-XING. ANN Disaster Identifying of Wujiawan Landslide in Wanzhou Urban[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2005(12): 108-111.
- [10] ZHANG G R , YIN K L , CHEN L X , et al. Geological condition and weather couple model of landslide hazard forecast [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005 , 36(3) : 15-18.
- [11] THOMAS G, MICHAEL J C. A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis[M]. Landslide hazard and risk. [S. l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2004: 102-114.
- [12] CHEN L W, QIU Y. Research on the geo-hazards development rule and early warning in the raining forecast in Heyang County. Shanxi Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005 (3): 119-121.
- [13] 夏训清, 苗胜军, 蔡美峰, 等. GPS 边坡变形监测数据处理与精度分析[J]. 中国矿业, 2006, 15(1): 65-67.
XIA XUN-QING , MIAO SHENG-JUN , CAI MEI-FEING , et al. GPS slope deformation monitoring data processing and accuracy analysis [J]. The Chinese mining industry, 2006, 15(1): 65-67.
- [14] 潘洪科, 饶运章. 神经网络在基坑工程变形预报中的应用研究[J]. 南方冶金学院学报, 2000, 21(4): 239-243.
PAN HONG-KE, RAO YUN-ZHENG. The Application of Neural Network to Foundation Pit Deformity Prediction [J]. Journal os Southern Institute of Metallurgy, 2000, 21(4): 239-243.
- [15] 张白一, 门玉明. 基于神经网络的滑坡变形预测报研究[J]. 西安工程学院院报, 1998, 20(3): 67-69.
ZHANG BAI-YI, MEN YU-MING. Forecasting and prediction of landslides based on neural network [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1998, 20(3): 67-69.

(编辑 陈移峰)