

边坡稳定性的神经网络预测研究

贺可强^{1,2}, 雷建和¹

(1. 青岛建筑工程学院, 青岛 266033; 2. 中科院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

[摘 要] 根据神经网络法的基本原理, 结合 38 个实际边坡工程稳定实例, 应用 VB5.0 可视化编程语言, 建立了边坡稳定性的神经网络预测模型, 并运用该模型对部分边坡工程的稳定性进行预测, 预测结果与边坡实际稳定状态相吻合, 从而表明了神经网络法在边坡稳定性预测中的有效性。

[关键词] 边坡稳定性 神经网络 预测

[中图分类号] TP183 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)06-0072-04

0 引 言

滑坡灾害与其它地质灾害一样, 有自身的发生发展规律。滑坡岩土工程发生过程实际上是斜坡从渐变位位移变形到突然发生宏观滑移的非线性复杂过程。因此, 边坡稳定性的分析是一个复杂的系统工程问题。由于构成边坡的岩土体形成于不同的地质环境中且经过多次地壳运动作用, 再加上地应力及地下水等地质环境因素的作用, 所以边坡岩土体的构成与物理力学性质表现出宏观和微观上的不连续性和高度的非线性等特点。因此, 边坡工程可以看成是不确定的、非线性的动态开放复杂大系统。为此, 对其稳定性作出准确有效的预测预报仍是岩土工程与工程地质领域急待解决的课题之一。

目前, 对边坡稳定性定时评价与预测预报方法可分为两大类: 数学力学定量法和位移时序分析法。数学力学定量法是一类以边坡的数学力学分析为基本手段的评价方法, 主要代表性方法为刚体极限平衡法、Sama 法、各种数值分析法、概率分析法等; 位移时序分析法主要是以位移、位移速率和位移加速率为主要信息来源的分析预测法, 在这方面已相继提出统计预测模型差别法^[2]、灰色系统理论、突变理论预测模型、周期位移分析法、趋势位移分析法等。同时, 随着非线性科学的发展, 使人们开始认识到滑坡灾害的发生是系统内在要素通过一系列非平衡不稳定产生空间、时间、功能和结构的自组织过程^[3], 导致滑坡灾害的发生是系统远离平衡态的结果, 提出了一些基于人工智能及非线性理论分析法, 如各种优化方法^[4]、突变理论分析法^[5]、人工智能神经网络法^[6]、神经网络专家系统方法、层次排序法 (AHP

法)^[7]及加卸载响应比理论等, 其方法共同特点为智能性、综合性、集成性和非线性。本文根据对影响边坡稳定性的定性定量因素分析, 运用神经网络基本原理, 建立了边坡稳定性的神经网络预测模型, 并对实际边坡的稳定性进行了预测预报, 预测结果与边坡的实际稳定性相吻合, 说明了神经网络方法在边坡稳定性预测中的有效性和实用性。

1 神经网络法的基本原理

神经网络 (neural networks) 是由大量处理单元 (神经元、处理元件、电子元件和光电元件等) 广泛互连而成的网络。网络的信息处理由神经元之间的相互作用来实现, 知识与信息的存贮表现为网络元件互连间分布式的物理联系, 网络的学习和识别决定于各神经元连接权系的动态演化过程。神经网络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特征关系 (映射)。它特别适用于无数学表达式的复杂工程问题, 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。

Rumelhart、Mc Clelland 和他们的同事于 1982 年成立了一个 PDP 小组, 1985 年发展了 BP 网络学习算法, 实现了 Minsky 的多层网络设想, 它可以实现从输入到输出的任意非线性映射, 权值的调整采用反向传播 (Back Propagation) 的学习算法。在确定了网络结构后, 利用输入输出样本集对其进行训练, 也即对网络的权值和阈值进行学习和调整, 以使网络实现给定的输入输出映射关系。经过训练的 BP 网络, 对于不是样本集中的输入也能给出合适的输出, 这种性质称为泛化 (generalization) 功能。从函数拟合角度看, 这说明 BP 网络具有插值功能和外推功能。同时, 人工神经网络由于具有以下特点: (1) 能

够充分逼近任意复杂的非线性关系 ;(2) 能够学习与适应不确定性系统的动态特性 ;(3) 所有定量或定性的信息都分布存储在网络内的各神经元 , 所以有很强的鲁棒性和容错性 ;(4) 采用并行分布处理方法。这些特点显示了神经网络在解决不确定、非线性复杂系统的问题上有着巨大的潜力。神经网络为完成某种特定任务 , 通常采用训练的方法。通过对特定任务样本集的学习 , 自动调节网络参数 (网络权值、阈值等) , 从而达到记忆、联想、归纳等目的。目前 , 人们提出的人工神经网络模型多达几十种。在模式识别、诊断、系统辨识、预测等领域 , 采用反向传播算法的前馈神经网络 (BP 网络) 得到了极为广泛的应用。

2 边坡稳定性的神经网络预测

2.1 预测的基本原理

边坡稳定和破坏的工程实例 , 为我们研究边坡破坏机理、评价待分析边坡的稳定性提供了大量的知识。如上所述 , 神经网络能够学习严重不确定性系统的动力学行为 , 实现高度非线性映射。其较强的学习、存储和计算能力及容错性 , 适合于从实例样本中提取特征、获得知识 , 并可使用残缺不全的或模糊的信息进行不确定性推理。边坡稳定性神经网络预测的基本原理是 : 给定充分的学习样本 , 网络学习完成获得足够的知识后 , 输入待研究边坡必要的工程地质参数就可对其稳定和失稳破坏作出判断 , 并对安全系数作出较准确的估计。网络的输入是边坡的定量和定性信息 , 输出是边坡稳定性的评价信息 , 即边坡稳定状态或安全系数的估计值。

2.2 边坡稳定性评价信息的描述

定量数据 : 边坡高度、重度、内聚力、摩擦角、边坡角、孔隙压力比等。

定性信息 : 如岩性、破坏模式、岩土体结构类型、岩体质量类别等采用相应的数字代码加以表示。

通过量化处理后 , 神经网络可将影响边坡稳定的各类定性、定量信息引入到边坡稳定的分析和评价过程中 , 以综合分析各类因素对边坡稳定性的影响。

2.3 神经网络实现

1) 神经网络结构

采用 BP 网络实现。整个网络由输入层、隐层和输出层组成。在有监督方式下学习 , 实现非线性映射。网络的拓扑结构如图 1。

各层节点的数目可根据实际样本集的大小进行

人机交互来确定。

2) 神经网络学习算法

(1) 将 BP 网络各层间的连接权值 $w_{ij}(0)$ 和阈值 $\theta_j(0)$ 随机地赋以 $[0, 1]$ 区间的值 ;

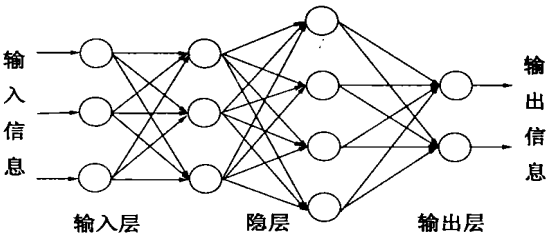


图 1 网络的拓扑结构图

(2) 输入学习样本 , 输入向量 $X_p(p = 1, \dots, P)$ 和目标输出 $t_p(p = 1, \dots, P)$, 对每个 p 进行 (3)、(4)、(5) 三步的操作 ;

(3) 计算隐节点之状态和网络的实际输出

$$o_{pj} = f_j(\text{net}_{pj}) = f_j(\sum w_{ji}o_i + \theta_j)$$

(4) 计算训练误差

$$\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) o_{pj} (1 - o_{pj}) \quad (\text{对输出层})$$

$$\delta_{pj} = o_{pj} (1 - o_{pj}) \sum \delta_k w_{jk} \quad (\text{对隐层})$$

(5) 修正权值和阈值

$$w_{ji}(n + 1) = w_{ji}(n) + \eta \delta_{oj} + \alpha (w_{ji}(n) - w_{ji}(n - 1))$$

$$\theta_j(n + 1) = \theta_j(n) + \eta \delta_j + \alpha (\theta_j(n) - \theta_j(n - 1))$$

(6) 当 p 历经 $1, \dots, P$ 后 , 判断指标

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (t_k - o_k)^2$$

是否满足要求。满足要求则停止训练。

2.4 应用实例

用搜集到的 38 个边坡工程实例进行神经网络模型有效性检验^[4]。从 38 个样本中随机选取 35 个用于建立边坡稳定性模型 , 其中 21 个为稳定边坡 , 14 个破坏边坡。其余 3 个用于检验模型的正确性。

进行反复试验后知 , 最佳的网络结构确定为 6—8—4—5—2。即 6 个输入节点 , 第 1 隐层节点为 8 个 , 第 2 隐层节点为 4 个 , 第 3 隐层节点为 5 个 , 输出节点为 2 个。6 个输入节点分别对应重度、内聚力、摩擦角、边坡角、边坡高度和孔隙压力比 6 个参数 , 2 个输出节点分别对应安全系数和边坡状态代码。

学习率和冲量因子的初始值分别为 0.5 和 0.6 , 在学习过程中这两个参数可以根据情况进行动态调整。以保证网络的收敛速度最快 (表 1~4)。

从表 4 中可以看出边坡稳定与破坏的判断正确率为百分之百 , 安全系数的估计值也较为精确。

表 1 边坡工程学习样本有关指标一览表

	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	OUT1	OUT2
	重度 (kN/m³)	内聚力 (kPa)	摩擦角 (°)	边坡角 (°)	边坡高 度(m)	孔隙 压力比	安全 系数	边坡 状态
1	22.400	10.000	35.000	45.000	10.000	0.400	0.900	0.000
2	20.000	20.000	36.000	45.000	50.000	0.500	0.830	0.000
3	20.000	0.100	36.000	45.000	50.000	0.250	0.790	0.000
4	20.000	0.100	36.000	45.000	50.000	0.500	0.670	0.000
5	22.000	0.000	40.000	33.000	8.000	0.350	1.450	1.000
6	24.000	0.000	40.000	33.000	8.000	0.300	1.580	1.000
7	20.000	0.000	24.500	20.000	8.000	0.350	1.370	1.000
8	18.000	0.000	30.000	20.000	8.000	0.300	2.050	1.000
9	27.000	40.000	35.000	43.000	420.000	0.250	1.150	0.000
10	27.000	50.000	40.000	42.000	407.000	0.250	1.440	1.000
11	27.000	35.000	35.000	42.000	359.000	0.250	1.270	1.000
12	27.000	37.500	35.000	37.800	320.000	0.250	1.240	1.000
13	27.000	32.000	33.000	42.600	301.000	0.250	1.160	0.000
14	27.000	32.000	33.000	42.200	289.000	0.250	1.300	1.000
15	27.300	14.000	31.000	41.000	110.000	0.250	1.249	1.000
16	27.300	31.500	29.700	41.000	135.000	0.250	1.245	1.000
17	27.300	16.800	28.000	50.000	90.500	0.250	1.252	1.000
18	27.300	26.000	1.000	50.000	92.000	0.250	1.246	1.000
19	27.300	10.000	39.000	41.000	511.000	0.250	1.470	1.000
20	27.300	10.000	39.000	40.000	470.000	0.250	1.434	1.000
21	25.000	46.000	35.000	47.000	443.000	0.250	1.280	1.000
22	25.000	46.000	35.000	44.000	435.000	0.250	1.370	1.000
23	25.000	46.000	35.000	46.000	432.000	0.250	1.230	1.000
24	26.000	150.000	45.000	30.000	200.000	0.250	1.200	0.000
25	18.500	25.000	0.000	30.000	6.000	0.250	1.090	0.000
26	18.500	12.000	0.000	30.000	6.000	0.250	0.780	0.000
27	22.400	10.000	35.000	30.000	10.000	0.250	2.000	1.000
28	21.400	10.000	30.340	30.000	20.000	0.250	1.700	1.000
29	22.000	10.000	36.000	45.000	50.000	0.250	1.020	0.000
30	22.000	20.000	36.000	45.000	50.000	0.250	0.890	0.000
31	12.000	0.000	30.000	35.000	4.000	0.250	1.460	1.000
32	12.000	0.000	30.000	45.000	8.000	0.250	0.800	0.000
33	12.000	0.000	30.000	35.000	4.000	0.250	1.440	1.000
34	31.300	68.000	37.000	49.000	200.500	0.250	1.200	0.000
35	20.000	20.000	36.000	45.000	50.000	0.250	0.960	0.000
最小值	11.999	0.001	0.001	19.999	3.990	0.249	0.669	0.001
最大值	35.001	150.001	45.010	50.001	511.001	0.501	2.051	0.999

表 2 边坡工程稳定性训练结果一览表

序号	安全系数	状态	安全系数估计值	状态预测
1	0.900	0.001	0.898	0.001
2	0.830	0.001	0.826	0.001
3	0.790	0.001	0.771	0.001
4	0.670	0.001	0.700	0.001
5	1.450	0.999	1.449	0.998
6	1.580	0.999	1.580	0.999
7	1.370	0.999	1.369	0.997
8	2.050	0.999	2.040	0.999
9	1.150	0.001	1.151	0.001
10	1.440	0.999	1.430	0.999
11	1.270	0.999	1.274	0.986
12	1.240	0.999	1.256	0.999
13	1.160	0.001	1.156	0.009
14	1.300	0.999	1.299	0.995
15	1.249	0.999	1.211	0.999
16	1.245	0.999	1.270	0.999
17	1.252	0.999	1.241	0.999
18	1.246	0.999	1.257	0.999
19	1.470	0.999	1.469	0.999
20	1.434	0.999	1.433	0.999

续表 2

序号	安全系数	状态	安全系数估计值	状态预测
21	1.280	0.999	1.246	0.999
22	1.370	0.999	1.362	0.999
23	1.230	0.999	1.264	0.999
24	1.200	0.001	1.199	0.001
25	1.090	0.001	1.083	0.001
26	0.780	0.001	0.802	0.010
27	2.000	0.999	1.993	0.999
28	1.700	0.999	1.700	0.999
29	1.020	0.001	1.017	0.005
30	0.890	0.001	0.899	0.001
31	1.460	0.999	1.450	0.995
32	0.800	0.001	0.802	0.001
33	1.440	0.999	1.450	0.995
34	1.200	0.001	1.199	0.001
35	0.960	0.001	0.960	0.001

表 3 边坡工程 3 个检验样本有关数据一览表

	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	OUT1	OUT2
	重度 (kN/m³)	内聚力 (kPa)	摩擦角 (°)	边坡角 (°)	边坡高 度(m)	孔隙 压力比	安全 系数	边坡 状态
1	27.000	40.000	35.000	47.100	292.000	0.250	1.150	0.000
2	25.000	55.000	36.000	44.500	299.000	0.250	1.550	1.000
3	27.300	10.000	39.000	40.000	480.000	0.250	1.445	1.000

表 4 边坡工程样本检验结果一览表

序号	安全系数	状态	安全系数估计值	状态预测
1	1.150	0.001	1.282	0.002
2	1.550	0.999	1.316	0.999
3	1.445	0.999	1.477	0.999

3 结束语

1) 由于边坡岩土体在物质组成上的不连续性和各向异性且其物理力学性质又受地应力、地下水等多种环境地质因素的影响与控制,所以,边坡工程可以看成是一个不确定的、非线性动态开放系统。因此,用传统的线性化模型往往难以准确地描述这种复杂的非线性特征,因而运用该类边坡模型对大型复杂边坡稳定性进行准确预测预报尚存在一定的困难。

2) 由于神经网络法能够充分逼近任意复杂的非线性关系且能够学习与适应不确定性系统的动态特征等特点,这些特点显示了神经网络在解决不确定性、非线性复杂系统的问题上存在巨大的潜力,为此,本文采用反向传播算法的前馈神经网络(BP 网络)对边坡的稳定性进行预测预报。

3) 根据 38 个边坡工程稳定性实例分析,将边坡高度、重度、内聚力、摩擦角、边坡角、空隙水压力比选为定量数据,将岩性、破坏模式、岩土体结构类型、岩体质量指标选为定性信息,建立边坡稳定性的神经网络预测模型,并对部分边坡稳定性进行预测,预测结果与边坡的实际稳定状态向吻合。

[参考文献]

[1] 贺可强,等.堆积层滑坡预测预报及其防治[M].北京:地震出版社,1996.100~200.

[2] 赵福生,等.滑坡变形趋势分析[J].自然灾害学报,1998,(2):36~38.

[3] 于学馥,等.岩石力学新概念与开挖结构优化设计[M].北京:科学出版社,1995,7~11.

[4] 陈福煜,等.最优化方法在确定边坡最小安全系数方面的应用[J].岩土工程学报,1998,10(4):1~13.

[5] 秦四清,等.非线性工程地质学导论[M].成都:西南交通大学出版社,1993,70~76.

[6] 胡铁林,等.滑坡预报的改进前馈网络方法研究[J].自然灾害学报,1998,(1).

[7] 冉恒谦,等.层次分析法在滑坡评判中的应用[J].西部采矿工程,1997(4).

[8] 史忠植.神经计算[M].北京:电子工业出版社,1993,103~149.

[9] 冯夏庭,等.边坡稳定性的神经网络估计[J].工程地质学报,1995(4).

A PREDICATION OF THE SLOPE STABILITY BASED ON NEURAL NETWORK

HE Ke - qiang ,LEI Jian - he

Abstract :Based on the basic principle of neural network and the practical data of 38 slopes , this paper puts forward a prediction model of neural network of the slope stability by means of visual basic 5.0 programming language . Meanwhile , a prediction for the stability of some slopes has been carried out using the predicting model . It is found out that the predicating results coincide with the practical stability states of those slopes , which shows that it is very effective using the neural network method for the predication of landslides .

Key words :slope stability based ,neural network ,predication



[第一作者简介]:

贺可强(1960年-),男,1982年毕业于河北地质学院工程地质专业,获学士学位;1990年在中国地质大学(北京)获工学硕士学位。现任青岛建筑工程学院土木工程系教授,岩土工程研究所所长。目前在攻读中科院地质与地球物理研究所博士学位。主要从事地质工程及岩土工程的教学和科研工作。

通讯地址:山东省青岛市抚顺路11号 青岛建筑工程学院研究生处 邮政编码:266033

中国矿业报

中国矿业的马前卒

2002年

全面改扩版

★报纸定位:一张有文化的矿业劳动者的报纸。

★运行理念:一办报,二办事。

★办报理念:用矿业的眼光看社会,用社会的眼光看矿业。

★办事理念:我办你办不成的事,你办我办不成的事。

★经营理念:双向取益,联姻办大事。

★管理理念:从每个环节抓起。

★发展理念:创新、创新、再创新。

■内容覆盖更广■可读程度更高■热点剖析更深

■贴近基层更近■市场信息更多■民情传递更快

隆重推出

矿产市场

矿权市场

装备市场

非矿市场

科技市场

项目市场

生活市场

旅游市场

国家

新闻出

版总署

批准

2002年

《中国矿业报》

将改扩版,每周

二、三、四、六出

版,每周为对开八

版。

2002年《中国矿业

报》全年订价198元,邮

发代号:1-185,各地邮局

均可订阅。在当地邮局订

有困难,可与报社记者外

部联系,报社可直接邮寄,起数为

50份。

电话:010-68336858

邮编:100037

地址:北京市西城区北礼士路70号

www.cnki.net

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

75