

文章编号: 1000-7598-(2006) 增-0384-05

灰关联神经网络法及防洪堤边坡稳定性分析

林育梁¹, 卢丹玫², 杨二静¹

(1. 广西大学 土木建筑工程学院, 南宁 530004; 2. 广西水电工程设计院, 南宁 530022)

摘 要: 灰关联分析神经网络方法首先是对防洪堤边坡稳定性影响因素进行灰关联分析, 得出各因素影响程度的大小排序, 然后建立该工程的神经网络模型, 选择灰关联分析得到的优势因子作为样本输入以及关联度作为网络权值确定的一个因素, 利用大量南宁市防洪堤边坡工程实例对网络进行训练学习, 最后用训练成功的网络对工程进行预测。预测的结果与实际情况进行对比表明, 这个方法能够满足南宁市防洪堤边坡稳定性预测的要求。

关 键 词: 灰关联; 人工神经网络; 防洪堤边坡; 稳定性

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Application of neural network methods based on gray theory the flood proving slope stability Analysis

LIN Yu-liang¹, LU Dan-mei², YANG Er-jing¹

(1. college of Civil and Architectural Engineering of Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Designing Institute of Water and Electricity Engineering of Guangxi, Nanning 530022, China)

Abstract: A neural network method based on gray theory is presented, in this method, the influential influence factors on slope stability of flood embankment are analyzed by gray correlation to get the order of each influential factor; then the advantage factors of gray correlation analysis are chosen to train the neural network; and the correlation degrees are taken as a factor to decide the weighted coefficients; finally the trained neural network is used to predict the engineering. This method has been applied to the slope stability analysis of Nanning flood proving slopes. Compared with the actual situation, this method can satisfy the requirements for slope stability forecast of Nanning flood embankments.

Key words: Gray correlation analysis; artificial neural network; flood embankment; stability

1 前 言

防洪堤的边坡失稳问题是堤防工程中常见的主要灾害之一。目前很多城市都在兴建防洪堤, 这些日益增多的工程活动往往会诱发岸坡边坡失稳, 从而导致更多的建设费用和治理费用的投入, 给国家和人民造成巨大的损失, 因此加强对堤防边坡失稳问题的研究是堤防建设中十分重要而迫切的任务。

边坡岩土体是性质极其复杂的地质介质, 长期的地质作用使它的力学参数、结构面分布、工程特性等都呈现复杂多变的, 随时空变化的明显的的不确

定性。再加上工程参数量测和取样的误差以及模型不准确引起的不确定性, 给边坡稳定性分析带来了巨大的困难。近年来, 研究人员逐渐认识到边坡稳定性分析中考虑其不确定性的重要性和必要性, 从而形成了不确定性分析方法。

不确定性分析方法目前主要有: 可靠性分析方法、模糊综合评价方法、灰色系统评价方法和神经网络评价方法。灰色系统理论以“部分信息已知, 部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象, 而边坡系统实质上是灰色系统, 而且往往是“小样本”、“贫信息”系统, 因而用于边坡稳定

性的研究大有前途。

冯夏庭等提出的坡稳定性神经网络估计和评估系统研究,开创了利用神经网络对边坡稳定性进行研究的新途径,但神经网络的推理过程是在“黑箱”中进行的,推理过程不透明,某些影响因素和数据的采用缺乏说服力。其次会出现网络训练时间长或不收敛等情况,因此将灰色理论和人工神经网络有机的结合起来,各取其长,以形成优势互补,运用于复杂岩土体边坡的稳定性评价中,以求获得令人满意的边坡稳定性分析的评价方法,无疑具有一定的理论和实际意义。

2 边坡稳定性因素灰关联度分析

2.1 影响因素的原始数据

根据调查,本文把影响防洪堤边坡稳定性的灰色关联因素大致归纳为坡高、坡比、平均容重、摩擦角、凝聚力、水头、堤距和超载等8个方面,将南宁市防洪堤岸坡中比较具有代表性的7个实例素实质的各项影响因素见表1,如图1所示。

2.2 数据区间化

影响防洪堤边坡稳定性的影响为一个非时间序列,故采用原始数据区间化比较合理。我们采用通常判定边坡稳定性的安全系数作为分析关联的母序列。这样数据区间分布由原来的0~120转变成0~1之间,成功的实现了数据归一化。

2.3 求差序列

采用公式 $\Delta_{0i} = |x_0(k) - x_i(k)|$ 计算比较序列区间化象与参考序列区间化象的绝对差值 $\Delta_{0i}(k)$ 。

2.4 计算关联系数

取关联度计算公式中的分辨系数 $\rho=0.5$,得关联系数序列 $\xi_{0i}(k)$ 见表2。

2.5 计算关联度

由关联度计算公式得各比较序列与参考序列之间的关联度,关联度排序见表3:各影响因素对稳定系数的关联序列表明了它们对防洪堤边坡稳定性影响程度。根据上述关联度计算结果,各影响因素对稳定安全系数的关联度排序见表3。

表1 影响因素的原始数据
Table 1 The original data of influential factor

参数	1	2	3	4	5	6	7
安全系数 K (母序列)	1.419	1.188	1.233	1.123	1.071	1.419	1.321
坡高 h m	16.260	20.460	20.310	17.890	20.400	17.850	19.690
平均容重 γ (KN/m ³)	20.060	19.750	19.800	20.400	20.000	20.230	20.390
凝聚力 c (kpa)	7.000	3.000	14.140	12.000	2.530	28.580	39.750
摩擦角 φ (度)	24.880	10.000	14.640	18.670	8.000	13.40	16.880
水头 H (m)	13.250	12.390	14.360	9.390	10.340	13.000	13.830
堤距 L (m)	59.500	61.600	72.000	74.230	75.000	96.200	64.470
超载 q (kpa×m)	97.4	53.520	107.140	97.400	97.400	53.520	53.520

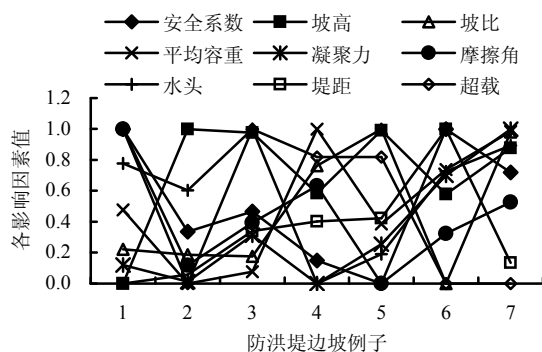


图1 原始数据处理前的曲线

Fig.1 The curve of original data (before processing)

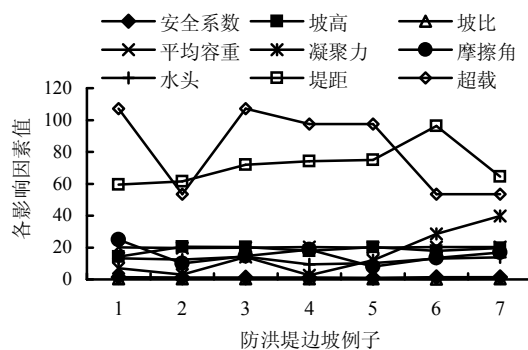


图2 原始数据区间化后的曲线图

Fig.2 The curve of original data (after processing)

表 2 原始数据归一化处理的关联系数表
Table 2 The correlation coefficients from the processed data

参数	1	2	3	4	5	6	7
坡高	0.333	0.430	0.501	0.677	0.337	0.446	0.836
坡比	0.391	0.768	0.633	0.449	0.333	0.333	0.657
平均容重	0.489	0.598	0.563	0.370	0.565	0.657	0.653
凝聚力	0.362	0.607	0.765	0.826	1.000	0.625	0.640
摩擦角	1.000	0.697	0.874	0.509	1.000	0.425	0.722
水头	0.691	0.652	0.483	0.770	0.724	0.646	0.741
堤距	0.333	0.642	0.800	0.665	0.542	1.000	0.462
超载	0.734	0.598	0.483	0.428	0.379	0.333	0.410

表 3 关联度的排序

Table 3 The order of correlation degree

影响因素	关联度 γ	排序
坡高	0.508	7
坡比	0.509	6
平均容重	0.556	5
凝聚力	0.689	2
摩擦角	0.747	1
水头	0.672	3
堤距	0.635	4
超载	0.481	8

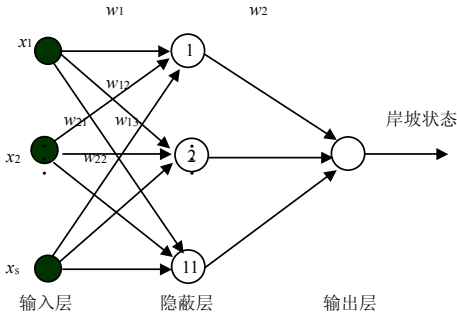


图 3 岸坡稳定状态识别 BP 网络结构图
Fig.3 The BP network structure for distinguishing the stability of flood embankment

3 洪堤岸坡稳定性人工神经网络模型

3.1 防洪堤岸坡稳定性状态空间划分及预处理

边坡稳定性状态空间按常规可分别按需要划分为{稳定, 不稳定}、{稳定, 基本稳定, 不稳定, 潜在不稳定}或{极稳定, 稳定, 不稳定, 极不稳定}等多种形式。防洪堤岸坡稳定性状态空间采用{稳定, 不稳定}划分, 其稳定状态用“1”表示, 其他状态用“0”表示。这样, 防洪堤岸坡稳定性可分别表示为{1, 0}和{0, 1}。

3.2 网络结构的确定:

由于主要影响因素有 6 个, 决定了输入端点数为 6。输出参数只有 1 个, 即岸坡的稳定性状态, 稳定或不稳定。这样有利于满足收敛条件。对于隐层层数, 理论证明: 一个具有 m 个结点输入层, $2m+1$ 个结点的隐层和 n 个输出结点的输出层的 3 层 BP 网络, 可以精确地表达一个连续函数, 故隐层节点数采用 13 个。层间转移函数采用 sigmoid 函数, 各层之间采用全互联方式。网络结构图见图 3。

3.3 网络程序编制

本程序采用 MATLAB 语言编写, 作为 BP 神经

网络通用程序来写的。

3.4 BP 算法的缺点及改进

原始 BP 算法有一些缺陷, 为此采用了动量法和自适应修改学习率算法的训练函数 traindx, 在加权系数的选择中考虑了灰关联分析的结果, 从而提高了学习速度并增加了算法的可靠性, 降低了网络对误差曲面局部细节的敏感性, 有效的抑制了网络陷于局部极小, 缩短了学习时间。

3.5 数据的采集及归一化

由于 ANN 评价依据主要是来自从实例中学习得到的“知识”或“关系”因此, 学习样本的代表性显得非常重要, 它决定了 ANN 模型的“知识量”及其评价结果的可信度。本文数据的采集均来自广西防洪堤岸坡实例见表 4, 如 BP 网络的输入节点物理量各不相同, 数值相差甚远, 所以必须将各输入量归一化, 以防止小数值信息被大数值信息所淹没。一般的方法是将各输入量归一至[0, 1], 但这并不是一种合适的方法, 考虑到 sigmoid 函数在值域 [0.0,0.1]和[0.10,0.90]区域内曲线变化极为平坦, 故

适合的归一化是将各输入量归至[0.10,0.90]区域内。

3.6 网络的训练

网络采用改进的 BP 算法进行训练，训练速率系数可由输入参数来控制。以南宁市防洪堤岸坡为

研究对象,选择了邕江南北岸沿线岸坡的 20 个实例（其中稳定 13 个，不稳定 7 个，）作为训练样本，见表 4，对所建立的灰色--神经网络模型进行了训练学习。

表 4 防洪堤岸坡稳定和破坏实例
Table 4 Failure and stability examples of slopes of flood embankments

名称	平均容重	凝聚力/kPa	内摩擦角/(°)	水头/m	堤距/m	安全系数	稳定状态
1	20.06	7	24.88	13.25	59.5	1.419	稳定
2	19.75	3	10	12.39	61.6	1.188	不稳定
3	19.8	14.14	14.64	14.36	72	1.233	不稳定
4	20.4	12	18.67	9.39	74.225	1.123	不稳定
5	20	2.53	8	10.34	75	1.071	不稳定
6	20.23	28.58	13.47	13	96.2	1.419	稳定
7	20.39	39.75	16.88	13.83	64.47	1.321	稳定
8	19.5	5	15.75	16.6	60.97	0.721	不稳定
9	19.25	17	22.96	10.4	81.69	0.986	不稳定
10	26.5	52.5	18.3	8.45	47.83	2.09	稳定
11	19.87	28.67	19	11.02	87.14	1.645	稳定
12	25.4	27.5	13	7.67	80.74	1.526	稳定
13	17.5	31.73	20.38	17.8	41.95	1.385	稳定
14	19.97	30	12.7	15.79	85.65	1.686	稳定
15	20.06	20.83	22.38	7.69	74.9	1.421	稳定
16	20.6	27.44	16.11	9.27	48.58	1.418	稳定
17	15.18	18.46	20.23	5.87	78.88	1.752	稳定
18	19.26	27.5	17.95	17.42	28.2	1.643	稳定
19	19.24	27.74	17.95	9.94	36.5	1.801	稳定
20	20.75	4	22.6	5	59.89	0.903	不稳定

表 5 BP 网络预测值与参考值比较表
Table 5 The comparison table of BP net forecast value with reference value

样本	网络输入值					网络	期望	理正	网络
编号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	输出值	输出	判定	预测
21	0.511	0.668	0.384	0.590	0.176	0.999 9	1.0	稳定	稳定
22	0.446	0.700	0.574	0.233	0.100	0.999 9	1.0	稳定	稳定
23	0.483	0.140	0.637	0.286	0.529	0.316 3	0	不稳定	不稳定
24	0.364	0.220	0.700	0.100	0.110	0.943 0	1.0	稳定	稳定

3.7 用训练好的网络预测防洪堤岸坡稳定性

选择若干例未参加网络训练的样本对模型的推理能力和预测效果进行了检验，当网络输出值大于 0.5 时，边坡稳定；当网络输出值小于 0.5 时，边坡处于不稳定状态，预测结果见表 5。

4 结 论

常规神经网络方法预测边坡稳定时,输入样本的因素确定不够科学,从而导致网络效率降低。如采用灰色-神经网络方法则可以根据灰关联分析的结

果做到有的放矢,抓住主要因素作为输入样本,大大减少了因素选取的盲目性,从而有效的提高了网络的效率,取得更好的评价结果。同时,灰关联分析的结果还可利用到网络的训练中,从而加快训练速度,并增加了算法的可靠性。

参 考 文 献

- [1] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,1991.
- [2] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1989.
- [3] 韩力群.人工神经网络理论、设计及应用[M].北京:化工工业出版社,2002.
- [4] 冯夏庭,王泳嘉,卢世宗.边坡稳定性的神经网络估计[J].工程地质学报,1995,(12):89—94.
- [5] 谢全敏,夏元友等.基于神经网络的岩体边坡稳定性的灰色聚类空间预测法及其应用[J].灾害学,2001,(6):16—20.
- [6] 广西珠江委员会南宁勘探设计院.广西南宁市防洪工程可行性研究报告[R].南京:南勘院,2002.