

基于 FLAC 及神经网络的初始地应力场反演

马震岳 金长宇 张运良

(大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 分别采用 RBF 网络和 BP 网络, 利用 FLAC 进行正分析计算, 依据测点的应力数据反演了计算区域的初始地应力场。结果表明, 在样本数量相同的情况下, RBF 神经网络反演分析的精度以及学习、收敛速度均优于采用 BP 网络的反演算法。

关键词: 初始地应力场; 有限差分法; RBF 神经网络; 反演

中图分类号: TU43

文献标志码: A

初始地应力场是随着时间、空间不断变化的非稳定场, 人们很难了解其内部构造, 只能通过它与外部的联系(例如输入-输出关系)来把握其信息。因此, 初始地应力场的反分析一直是岩石力学中的一项重要课题^[1]。人工神经网络的出现为初始地应力场的反演提供了一种更为有效的解决手段。目前, 大都基于 BP 网络与有限元对初始地应力场进行反演研究^[2~5], 基于 FLAC 及径向基函数对初始地应力场的反演还是一种新的尝试。

RBF 神经网络是以函数逼近理论为基础而构造的一类前向网络, 这类网络的学习等价于在多维空间中寻找训练数据的最佳拟合平面。RBF 神经网络的每个隐层神经元传递函数都构成了拟合平面的一个基函数。与 BP 网络相比, RBF 神经网络是一种局部逼近网络。而 BP 网络则是典型的全局逼近网络, 所以 RBF 神经网络的学习速度要快, 并且其网络的函数逼近能力、模式识别能力和分类能力都优于 BP 网络^[6]。本文通过一简单地下工程算例, 比较了 RBF 网络和 BP 网络对初始地应力场反演的效果。

在岩土仿真计算方面, 有限差分法比有限元法更为适合。本文采用岩土界公认的 FLAC3D 作为计算平台, 这样能够更为准确地提供训练样本。

1 RBF 网络的理论与特性

RBF 网络由三层组成, 其拓扑结构如图 1 所

示。通常情况下最常用的基函数是高斯核函数:

$$y_j = \exp \left[- \frac{(X - C_j)^T (X - C_j)}{2 \sigma_j^2} \right] \quad (j = 1, 2, \dots, N_h)$$

式中, y_j 是第 j 个隐层节点的输出; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 是输入样本; C_j 是高斯函数的中心值; σ_j 为标准化常数; N_h 是隐层节点数。由上式可知, 节点的输出范围在 0~1 之间, 而且输入样本愈靠近节点中心, 输出值愈大。

采用高斯基函数, 具备以下优点: 形式简单, 即使对于多变量输出也不会增加太多的复杂性; 径向对称; 光滑性好, 任意阶导数存在。

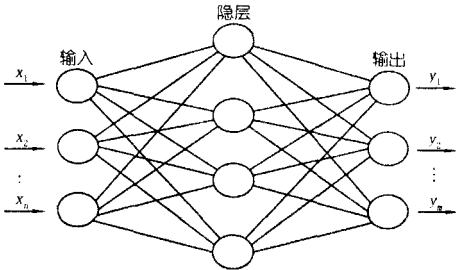


图 1 RBF 网络结构

2 算例验证

借助 FLAC3D 建立某地下厂房所在地域模型, 结合实际地质条件, 在模型内有三种岩体构成, 如图 2 所示。计算时模型底部为全约束, 四周为水平约束, 顶面为自由面。

收稿日期: 2005-05-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50279003)

作者简介: 马震岳(1962-), 男, 博士、教授, 研究方向为水利水电工程, E-mail: dmzy@dlut.edu.cn

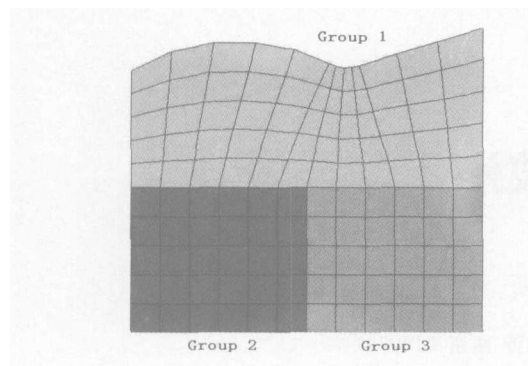


图 2 计算模型

岩体的初始地应力场一般是由岩体自重和水平构造应力共同作用形成。在模拟构造应力时，本文借鉴了侧压力系数这一概念，将水平构造应力记为 gzk_0 ，水平构造应力与自重应力 gz 的比值 k_0 作为待反演的一个参数， k_0 值与应力场的计算值见表 1。

表 1 构造应力系数 k_0 与应力场的计算值 MPa

k_0		一号测点		二号测点		三号测点	
x 方向	y 方向	x	y	x	y	x	y
0.1	0.1	7.7	3.0	13.1	5.3	8.3	3.0
0.2	0.2	10.3	3.9	15.7	6.7	10.3	3.3
0.4	0.4	14.4	5.1	19.4	7.1	14.3	4.3
0.4	0.1	13.7	3.1	15.2	3.6	14.1	2.6
0.3	0.4	14.7	7.7	14.2	7.3	11.1	4.8
0.1	0.2	8.0	3.6	13.5	5.6	9.1	3.5
0.3	0.5	12.6	8.9	14.9	8.4	12.9	5.2
0.5	0.4	15.6	5.8	21.1	7.9	14.8	5.0
0.2	0.5	12.4	8.7	14.4	8.1	10.2	4.8
0.2	0.4	11.3	4.5	16.1	7.0	11.2	4.6
0.2	0.3	9.7	5.3	15.5	7.6	9.4	3.7

在模型中选取不同的 3 个点作为“现场测点”。将 1~10 组的 k_0 代入模型进行计算，将计算出的 3 个节点的 10 组 x 、 y 方向的应力值作为网络输入值，而将 10 组 k_0 值作为网络输出值，对 RBF 网络进行训练。RBF 在训练到第 25 次时，误差就已经达到给定误差 $=0.05$ 的要求。

网络训练结束后，将第 11 组的 k_0 作为检验样本代入模型进行正分析计算，将计算得到的 3 个测点的 x 、 y 方向的应力值作为“现场的实测值”，再将“现场的实测值”代入建立好的 RBF 网络反演 k_0 值。

将反演得到的 k_0 值再代入模型进行一次正分析计算，再将地应力值与“现场实测值”相比较（表 2）。由表 2 可知，反演结果的最大误差为 8.2%。根据国内外统计的资料显示，初始地应力

测量结果的误差可达到 25%~30%^[2]。因此，本文应用 RBF 网络进行对岩体初始地应力场的反演计算精度能够满足工程要求。

表 2 应力实测值与反演值的比较 MPa

测点	实测值	RBF 网络	BP 网络
一号 x	9.7	8.9	10.6
y	5.3	5.7	6.8
二号 x	15.5	15.4	16.1
y	7.6	7.5	7.1
三号 x	9.4	8.7	8.9
y	3.7	4.0	3.4

本文又采用 BP 网络重新进行反演计算，在该算例中 BP 网络隐含节点个数选取 8 个，经过训练 6 069 次数，误差达到 $=0.05$ 要求，反演结果见表 2。由表 2 可知，在训练样本较少的情况下，RBF 网络的精度要高于 BP 网络，且学习速度远高于 BP 网络，这就节省了大量的计算时间。

3 结语

由于 FLAC 更适合于模拟岩土工程的问题，因此计算获得的训练样本更为准确，可以提高反演的计算精度。与 BP 网络相比，RBF 是自适应网络，无需调整隐含层的节点个数，在样本容量较少的情况下也具有很高的反演精度。但是，同 BP 网络一样，训练样本的分布空间应分布均匀，并且能够覆盖预测问题。

参考文献：

[1] 杨林德. 岩土工程问题的反演理论与工程实践[M]. 北京：科学出版社，1996.

[2] 蒋中明,徐卫亚,邵建富. 基于人工神经网络的初始地应力场三维反分析[J]. 河海大学学报, 2002, 30(3): 52-56

[3] 冯夏庭. 智能岩体力学导论[M]. 北京：科学出版社，2000.

[4] 郝哲,刘斌. 基于差分法及神经网络的硐室围岩力学参数反分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(增刊): 77-80

[5] 易达,葛修润. 人工神经网络在岩体初始应力场反演中的应用[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 943-946

[6] 聂学军,苏怀智,郑东健,等. RBF 神经网络在大坝安全监测故障诊断中的应用研究[J]. 水电能源科学, 2004, 22(3): 6-8, 29

DONG Haijing (Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China) HONG Shangqun YE Wenhui p41-43

Abstract : This paper discussed strategy, technique, criteria, amount, procession and steps of ecological environment compensation for hydropower plant. The difficulties relating to ecological compensation mechanism for Xiloudu and Xiangjiaba Hydropower Plants on Jinsha River (the upper part of Yangtze River) are pointed out. Some measures and suggestions are proposed in order to overcome these practical difficulties.

Key words : waterpower; ecologization; compensation; financing

Back Analysis of Mechanical Parameters and Initial Stress Field of Rock Masses Based on Finite Difference Method and RBF Neural Network MA Zhenyue (School of Civil and Hydraulic Eng., Dalian Univ. of Tech., Dalian 116024, China) JIN Changyu ZHANG Yunliang p44-45

Abstract : Using RBF NN and BP NN respectively authors of this paper identified initial stresses according to measured normal stresses of some specific points. Direct computations based on Fast Lagrangian Analysis of Continuum (FLAC) were performed to get enough training samples for RBF NN and BP NN. An example shows that combination of RBF NN has faster convergence and is more effective than application of BP NN.

Key words : initial stress field; finite difference method; RBF NN; back analysis

Seepage Analysis of Slope with Respect of Plant Roots JIANG Zhiqiang (Dept. of Geological and Geotechnical Eng., Hohai Univ., Nanjing 210098, China) SUN Shulin HUANG Yong p46-48

Abstract : Plant roots are distributed in both saturated and unsaturated zone. Seepage field redistribution is greatly affected by the roots absorbing and transpiring water in slope, which is thought as a complicated problem involved with. Considering the water-absorbing of roots as source-sink item, the controlling equation of saturated-unsaturated seepage is established. One calculating example is given to analyze the effects of roots to seepage field.

Key words : plant roots; saturated-unsaturated seepage; water-absorbing model

Applying Evolution Strategy to Search for Most Dangerous Non-Circular Critical Slip Surface in Slopes WU Yusheng (School of Water Resources and Hydropower, Wuhan Univ., Wuhan 430072, China) CHEN Shenghong p49-52

Abstract : Based on the combination of evolution strategy and limit equilibrium method, an effective global optimization method is proposed to allocate the most dangerous non-circular critical slip surface corresponding to the minimum factor of safety in slopes. The method can be applied to slopes with any configuration, different layering and external load distribution. The feasibility, efficiency and robustness of the proposed method are finally demonstrated with the stability analysis of a classic slope case.

Key words : slope stability analysis; most dangerous critical slip surface; limit equilibrium method; evolution strategy

Research of Hydraulic Characteristics of "Y" shaped Junction GUO Weidong (Shenyang Agricultural Univ., Shenyang 110161, China) WANG Xiaogang CAO Jiwen YANG Tianen LIANG Yue p53-56

Abstract : This paper processes a model practice to research the three dimensional hydraulic characteristics of flow of "Y" shaped junction using the ADV (Acoustic Doppler Velicimeter). According to the results there are stagnation zone, flow deflection zone, flow separation zone, acceleration zone and so on which can be seen at "mainstream inclined tributary" shaped junction too. The whole characteristics of flow is spiral flow towards downstream at Yshaped junction. With the ratio of discharge becoming higher and decline of riverbed, the vorticalgrade of this spiral flow will be weaken. The decline of riverbed will greatly increase the pulsant intensity of flow of tributary at channel confluence.

Key words : ADV; spiral flow; ratio of discharge; decline of riverbed

Structural Study on Underground Bifurcation of Hydropower Station with High Pressure WU Hailin (State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Eng. Sci. Wuhan Univ., Wuhan 430072, China) WU Hegao LUO Jinglong DU Peng p57-59, 64

Abstract : In accordance with the practice of a hydro-