

文章编号:1671-6833(2004)04-0001-03

碳纤维布加固钢纤维混凝土梁的抗弯性能预测

李清富¹, 邓 宇¹, 杜卫兵²

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省水利科学研究所, 河南 郑州 450003)

摘 要: 在碳纤维布加固钢筋钢纤维混凝土梁中, 加固效果要受到被加固结构本身性能、加固材料性能以及荷载情况等因素的影响, 因此, 加固效果具有极高的非线性. 针对这一问题, 在试验研究的基础上, 运用神经网络方法, 以钢纤维混凝土强度、截面尺寸、纵向钢筋配筋率等 10 个变量作为输入单元, 以加固梁的抗弯承载力作为输出单元, 建立了预测加固梁抗弯承载力的 BP 神经网络模型. 通过预测值与试验值的对比分析, 验证了该模型的科学性和合理性.

关键词: BP 神经网络; 碳纤维布; 钢筋钢纤维混凝土梁; 抗弯承载力; 预测

中图分类号: TU 375

文献标识码: A

0 引言

近年来, 钢纤维混凝土以其优良的抗拉、抗弯、阻裂和耐冲击等性能在结构工程中得到了越来越广泛的应用. 如同普通钢筋混凝土结构一样, 随着使用时间的延长, 在荷载和外界环境的共同作用下, 钢筋钢纤维混凝土结构也会发生老化、破损和抗力衰减现象, 也需要对其进行维修和加固. 作者以碳纤维布作为加固材料, 对加固后钢筋钢纤维混凝土梁的抗弯承载力进行了试验研究. 由于在加固中是利用粘结剂将碳纤维布粘结在钢纤维混凝土表面, 使钢纤维混凝土与碳纤维布形成一体共同工作, 因此, 加固效果就受到诸多因素的影响, 加固作用也具有极高的非线性. 为了较精确预测碳纤维布加固的效果, 本文将以此些试验资料作为样本, 运用 BP 神经网络原理, 建立碳纤维布加固钢筋钢纤维混凝土梁的抗弯承载力预测模型.

1 BP 神经网络模型

人工神经网络模型是依据人脑基本功能特征, 试图模仿生物神经系统的功能或结构而发展起来的一种新型信息处理或计算体系^[1]. 本质上它是大量基本信息处理单元(神经元)依一定的结构连接而成, 用来完成不同智能处理任务的一个大规模系统. 标准的 BP 神经网络模型, 有 3 个神经元层次组成, 最上层为输入层, 中间层为隐含

层, 最下层为输出层, 同一层神经元间无任何连接, 仅相邻层神经元之间有连接, 网络结构如图 1 所示(以 3 层为例)^[2]. 这样, 通过 BP 神经网络模型, 就可以把一组样本的输入和输出问题变为一个非线性优化问题. BP 算法是一种有导师的学习算法^[3], 网络的学习过程分为两个阶段: 第一阶段, 对于给定的网络输入, 通过现有的连接权, 将其正向传播, 获得各个单元的实际输出, 在这一阶段, 每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态; 第二阶段, 如果在输出层得不到期望的输出, 则由网络的输出与期望输出之间的误差, 从输出层经隐含层向输入层逐层修正各层间连接权值和阈值, 以使误差不断减小. 这种“正向传播”和“误差反向传播”反复交替进行, 最终网络趋向收敛, 网络间的连接权不再改变^[1~3]. 在模拟求解过程中, 使用梯度下降的算法, 用迭代运算求解权值, 用加入隐节点的方法增加可调参数, 从而完成从输入到输出的高度非线性映射. BP 神经网络的学习步骤如下^[1,2,3]:

(1) 对各层的权值和阈值进行初始化, 即随机地给全部权值和神经元的阈值以初始值, 并给出输入向量和目标向量.

(2) 在一定的学习规则下, 网络通过初始的连接权系数和阈值, 根据选定的变换函数进行非线性推理, 然后再根据得到的实际输出向量与目标输出向量之间的误差来调整连接权系数.

收稿日期: 2004-08-10; 修订日期: 2004-09-20

基金项目: 河南省杰出青年科学基金资助项目(04120002500); 河南省高校青年骨干教师资助计划项目

作者简介: 李清富(1966-), 男, 河南省林州市人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事工程结构耐久性研究.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

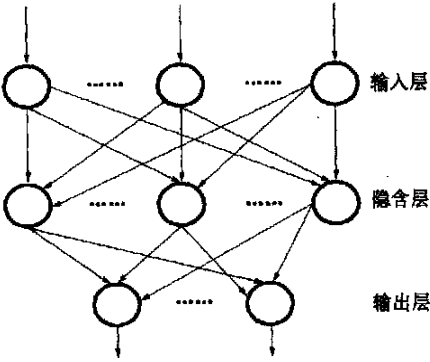


图 1 BP 神经网络结构模型图

Fig.1 Construct diagram of BP neural

(3) 如此反复训练,得到符合给定输入向量和输出向量的复杂的非线性映射关系.

2 梁抗弯承载力的BP 神经网络预测

2.1 预测模型的建立

通过对大量碳纤维布加固混凝土梁受力性能试验的分析^{4~9}以及本文作者的试验研究,得出影响碳纤维布加固钢筋钢纤维混凝土梁抗弯承载力的主要因素有:钢纤维混凝土强度($f_{fc m}$)、截面尺寸($b \times h$)、纵向钢筋配筋率(ρ_s)、碳纤维布与钢纤维混凝土的弹性模量比(n_d)、钢筋与钢纤维混凝土的弹性模量比(n_s)、钢筋的屈服强度与碳纤维布抗拉强度的比值(f_{st})、碳纤维布的锚固长度与梁计算跨度的比值(l_{f0})、钢纤维的含量特征参数(λ)、碳纤维布的附加锚固系数(f_m)等,因此选择这 10 个变量作为输入单元,把加固梁的抗弯承载力作为输出单元,隐含层单元个数通过试训得出,输入函数采用 Sgmid 型函数 $[f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}]$,输出函数采用线性.BP 神经网络预测碳纤维布加固钢筋钢纤维混凝土梁的抗弯承载力流程图见图 2.

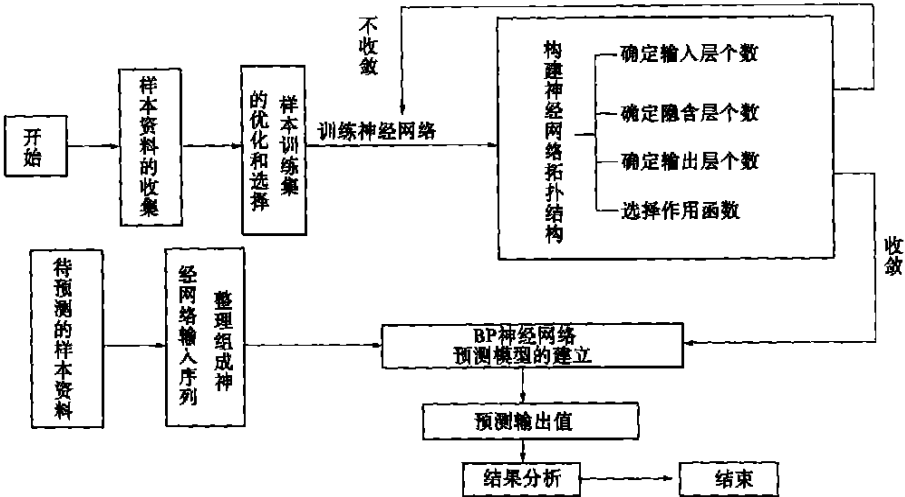


图 2 BP 神经网络预测模型流程图

Fig.2 Forecast model flow chart of BP neural network

2.2 BP 神经网络的训练

下面将根据本文的试验数据对网络进行训练,并把训练数据直接作为输入数据进行模拟评估,同时对评估结果进行分析比较,以验证模型的合理性和准确性.

鉴于BP 网络在训练时容易出现陷入局部极小和收敛速度慢等问题,在选用BP 网络模型时,

采用动量法和学习率自适应调整两种策略(应用函数trainbpx()),从而提高了学习速度,并增加了算法的可靠性.网络参数的选择如下:通过训练确定隐含层单元数为 12 个,初始学习率选为 1.05,动量系数为 0.9,最大训练次数 6 000,目标训练误差为 0.001.样本值与网络输出值比较结果见表 1.

表 1 神经网络训练样本

Tab.1 Training sample of neural network

$f_{fc m}/\text{MPa}$	b/mm	h/mm	$\rho_s/\%$	n_d	n_s	f_{st}	l_{f0}	λ	f_m	试验值/(kN·m)	预测值/(kN·m)
37.6	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.028 6	0.78	0	13.169	13.393
35.4	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.071 4	0.78	0.8	13.695	13.402
47.2	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.028 6	0.78	0	13.519	13.396
41.3	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.028 6	0.78	0	13.344	13.392
33.2	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.028 6	0.78	0	13.249	13.393
40.6	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.047 6	0.78	0.4	13.599	13.395
42.1	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.028 6	0.78	0	13.519	13.393
36.4	100	200	0.62	8.33	7	0.075 6	0.071 4	0.78	0.5	13.599	13.394

2.3 加固梁抗弯承载力的预测

由表 1 中试验值与预测值的对比分析可知, 所建立的神经网络在经过训练后已相对比较成

熟. 假如已知某加固梁的基本参数如表 2 所示, 则用该神经网络就可以对这些加固梁的抗弯承载力进行预测, 预测结果见表 2.

表 2 加固梁的抗弯承载力预测值

Tab .2 Forecast value of the bending load in strengthened beam

$f_{\text{cem}}/\text{MPa}$	b/mm	h/mm	$\rho_s/\%$	n_d	n_s	f_d	l_{f0}	λ	f_m	试验值/(kN·m)
36.5	100	200	0.98	8.33	7	0.079 6	0.014 2	0.75	0.5	13.393
35.8	100	200	0.98	8.33	7	0.079 6	0.013 3	0.75	0.2	13.392

3 结束语

在以碳纤维布作为加固材料的加固结构中, 碳纤维布的加固效果如何一直是人们所关注的问题. 由于影响因素众多, 而且有些因素如胶的种类、粘贴方式等很难定量表达, 因此要建立碳纤维布加固构件承载力计算的精确数学表达式, 目前尚存在一定难度. 作为探讨, 作者以影响碳纤维布加固钢筋钢纤维混凝土梁抗弯承载力的主要因素作为输入单元, 并且把某些定性因素定量化, 以加固梁抗弯承载力为输出单元, 以试验研究成果为学习样本, 应用神经网络方法建立了碳纤维布加固钢筋钢纤维混凝土梁抗弯承载力预测的 BP 神经网络模型, 通过预测值与试验值的比较, 验证了该模型的有效性. 但由于国内外此类试验资料很少, 用于网络训练的样本非常有限, 再加上考虑的参数还不够全面, 因此所建立的模型只是初步的, 仍有许多问题有待于进一步研究.

参考文献:

[1] 焦李成. 神经网络系统理论[M]. 西安: 西安电子科

技大学出版社, 1992.
[2] 邵黎霞, 戴文琰. 人工神经网络方法在力学反问题研究中的应用[J]. 宁波高等专科学校学报, 2002, 12 (4): 40~44.
[3] 张立明. 人工神经网络模型及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1992.
[4] 吴 刚, 安 琳, 吕志涛. 碳纤维布用于钢筋混凝土梁抗剪加固的试验研究[J]. 建筑结构, 2000, 30(7): 16~20.
[5] 吴 刚, 吕志涛. 外贴碳纤维布加固混凝土梁的抗剪设计方法[J]. 工业建筑, 2000, 30(10): 34~38.
[6] 陈小兵, 颜子涵. 采用外部粘贴 FRP 加固混凝土梁抗剪强度的设计计算[J]. 工业建筑, 2001, 31(4): 19~22.
[7] 赵 彤, 谢 剑, 戴志强. 碳纤维布提高钢筋混凝土梁受剪承载力试验研究[J]. 建筑结构, 2000, 30(9): 21~25.
[8] 陈小兵, 颜子涵, 岳清瑞, 等. 碳纤维布加固钢筋混凝土梁的试验研究[J]. 工业建筑, 1998, 28(11): 6~10.
[9] 杨勇新, 王 敬, 岳清瑞, 等. 基于神经网络方法的碳纤维布加固混凝土梁承载力计算[J]. 工业建筑, 2002, 32(4): 1~5.

A Prediction Method for Flexural Behavior of Fiber Reinforced Concrete Beam with Carbon Fiber Sheet

LI Qing-fu¹, DENG Yu¹, DU Wei-ming²

(1.College of Environmental & Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Provincial Water Conservancy Research Institute, Zhengzhou 450003, China)

Abstract : When carbon fiber sheet (CFS) is used in the strengthening of fiber reinforced concrete structure , the strengthening effect is influenced by the structure needed to be strengthened , the properties of strengthening materials and the loading conditions , etc . Therefore the strengthening effect has high nonlinearity . In order to predict the strengthening effect of carbon fiber sheet , the bending strength of fiber reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber sheet is taken as an example in this paper , and a BP Neural Network model is established to predict the bending strength of fiber reinforced concrete beams using neural network method . Through the comparison between the prediction value and experiment results , the rationality and validity of the proposed model are verified .

Key words : BP neural network ; carbon fiber sheet ; fiber reinforced concrete beam ; flexural load bearing capacity ; prediction