

# 基于Elman神经网络的三元乙丙橡胶胶料动态粘弹性能预测

曾宪奎, 李莹如\*, 黄年昌, 张 杰, 鲍丽苹

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 研究三元乙丙橡胶 (EPDM) 胶料配方因子与动态粘弹性能之间的关系, 通过建立Elman神经网络模型预测 EPDM胶料在85 °C温度、0.1 Hz频率、15%应变下的动态粘弹性能。通过正交试验设计18组数据样本, 利用1—14号样本训练Elman神经网络、15—18号样本验证Elman神经网络的预测能力。结果表明: Elman神经网络对EPDM胶料动态粘弹性能预测结果的相对误差基本在4%以内, 具有较高的预测精度。

**关键词:** Elman神经网络; 三元乙丙橡胶; 动态粘弹性能; 样本; 预测

**中图分类号:** TP183; TQ333.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)00-0000-04

胶料动态粘弹性能 (包括储能模量、损耗模量和损耗因子) 是评价橡胶制品减震性能和降噪性能的关键指标, 主要取决于胶料的配方设计<sup>[1]</sup>。由于动态粘弹性能与配方因子之间呈高度非线性关系, 难以进行回归分析, 因此, 配方设计人员须凭经验和大量试验才能设计出满足要求的配方。Elman神经网络结构简单, 可塑性强, 在处理复杂的非线性问题时具有明显优势。

本工作通过正交试验设计18组数据样本, 建立Elman神经网络模型<sup>[2-3]</sup>, 预测三元乙丙橡胶 (EPDM) 胶料的动态粘弹性能。

## 1 实验

### 1.1 正交试验设计

为使Elman神经网络模型能够准确预测EPDM配方中各物料的变化对胶料性能的影响, 同时尽量减少试验次数, 利用正交试验“均匀分散, 齐整可比”的特点, 进行试验设计。选择氧化锌、硬脂酸、炭黑、硫黄和石蜡油的用量为试验因子, 进行五因子四水平正交试验, 因子与水平如表

1所示。试验配方其他组分和用量为: EPDM (牌号5601) 100, 促进剂DM 0.5, 促进剂TMTD 1.5。

表1 正交试验因子与水平

水平	因 子				
	氧化锌	硬脂酸	硫黄	炭黑	石蜡油
1	3	0.5	1	45	10
2	4	1	1.5	50	15
3	5	1.5	2	55	20
4	6	2	2.5	60	25

### 1.2 试验设备和试验数据

XK-160E型开炼机智能炼胶试验平台和X(S)M-1.7L型密炼机, 青岛科技大学产品; RPA2000橡胶加工分析仪, 美国阿尔法科技有限公司产品。

利用RPA2000橡胶加工分析仪测定胶料在85 °C、0.1 Hz频率、15%应变下的储能模量 ( $Y_1$ )、损耗模量 ( $Y_2$ ) 和损耗因子 ( $Y_3$ ), 试验结果见表2。其中,  $X_1$  为氧化锌用量,  $X_2$  为硬脂酸用量,  $X_3$  为硫黄用量,  $X_4$  为炭黑用量,  $X_5$  为石蜡油用量。

## 2 Elman神经网络模型的建立和训练

### 2.1 Elman神经网络结构

图1示出了Elman神经网络结构。由图1可知, Elman神经网络结构包括输入层、隐藏层、输出层

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (ZR2014EMM018)

作者简介: 曾宪奎 (1967—), 男, 山东青州人, 青岛科技大学教授, 博士, 主要从事高分子材料加工技术与装备的教学及研究工作。

\*通信联系人 (zxx1967@163.com)

表2 1—14号样本试验数据和结果

样本编号	输入					输出		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	4	1	1.5	50	10	96.1	79.1	1.22
2	4	2	2	45	20	107.7	85.7	1.16
3	3	1	2	60	15	103.6	91.1	1.25
4	5	1.5	2	55	10	101.9	89.8	1.18
5	3	0.5	1	45	10	94.0	76.7	1.28
6	3	2	1.5	55	25	118.6	103.5	1.17
7	5	0.5	1.5	60	20	98.1	80.5	1.24
8	3	1.5	2.5	50	20	114.9	99.7	1.15
9	6	1.5	1.5	45	15	121.8	102.4	1.19
10	4	1.5	1	60	25	127.6	108.6	1.15
11	5	2	1	50	15	90.7	83.8	1.25
12	4	0.5	2.5	55	15	88.8	76.9	1.25
13	6	0.5	2	50	25	98.8	77.6	1.21
14	5	1	2.5	45	25	86.6	71.6	1.22

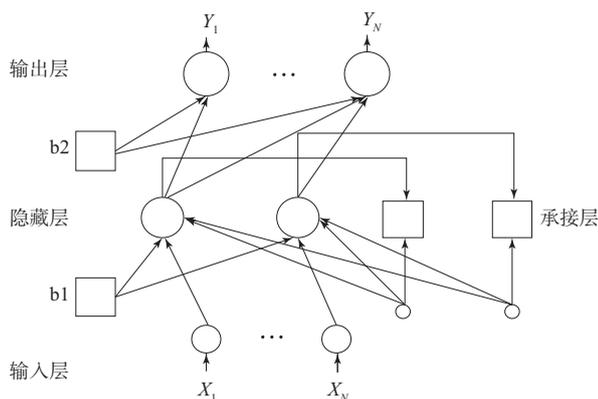


图1 Elman神经网络结构示意图

和承接层。其中,输入层的作用是传输信号,输出层的作用是线性加权,隐藏层使用非线性或线性的传递函数,承接层记忆隐藏层上一时刻的输出值并返回给输入层。Elman神经网络的主要特点为隐藏层输出经过承接层存储和延迟,反馈到隐藏层输入,这种反馈使模型具有历史数据敏感性,

极大地增强了神经网络自身处理动态信息的能力,实现动态建模的目标。此外,Elman神经网络能以任意精度逼近任意非线性映射,且具有较强的鲁棒性、泛化能力和容错能力<sup>[4]</sup>。

## 2.2 Elman神经网络的建立

选取正交试验中5个因子作为Elman神经网络的输入,3个动态粘弹性能指标作为输出,建立Elman神经网络模型,如图2所示。Elman神经网络的隐含层神经元个数为5,传递函数为{'tansig', 'tansig'},训练目标为0.005,训练次数为300<sup>[5]</sup>。

## 2.3 Elman神经网络的训练

选用1—14号数据样本作为训练集训练Elman神经网络,训练过程如图3所示。从图3可以看出,Elman神经网络经过195次迭代,达到设定的目标值,完成模型训练。

将训练集作为Elman神经网络模型的输入,得到训练集拟合结果与试验值的相对误差曲线,如

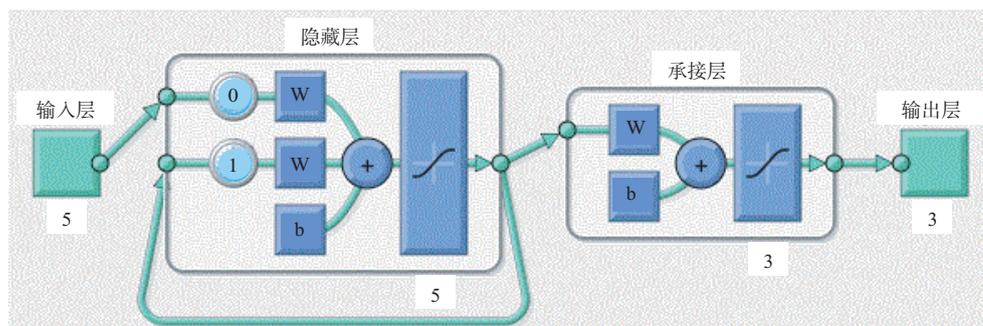


图2 Elman神经网络模型示意

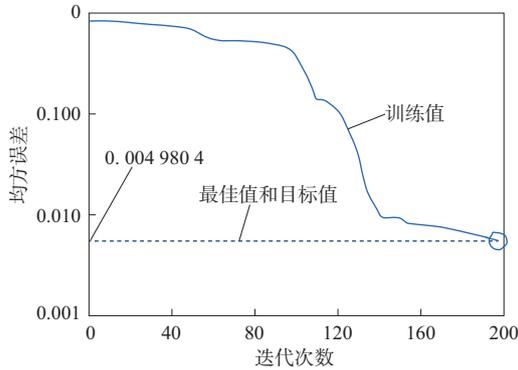


图3 Elman神经网络的训练过程

图4所示。从图4可以看出,Elman神经网络能够很好地拟合训练集数据,拟合结果与试验值最大相对误差小于3.5%,这说明Elman神经网络可有效拟合试验数据,反映出配方中各因子对胶料动态粘弹性能影响的变化规律。

### 3 预测能力验证

为验证Elman神经网络模型在实际运用中的可靠性,重新设计4组数据样本,样本中各因子配比及预测结果和试验结果如表3所示,预测值和试验值的相对误差如图5所示。

从图5可以看出,预测值与试验值的相对误差

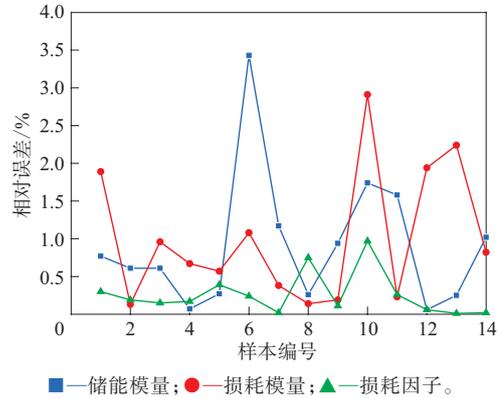


图4 1—14号样本拟合值与试验值的相对误差

基本在4%以内,这表明在排除外界因素及仪器误差的影响下,Elman神经网络适用于EPDM胶料动态粘弹性能的预测。

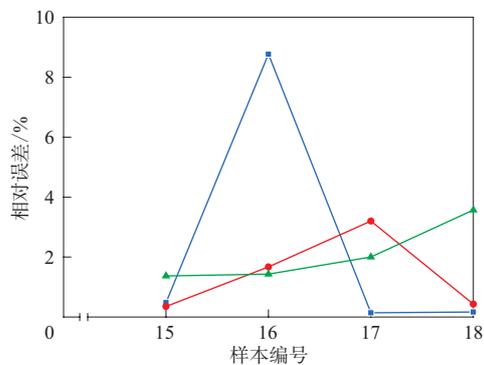
### 4 结语

(1) Elman神经网络能够准确拟合试验数据,拟合值与试验值的相对误差在3.5%以内。

(2) Elman神经网络能够准确预测EPDM胶料的动态粘弹性能,预测值与试验值的相对误差基本在4%以内,具有较高的预测精度,可以为配方设计提供参考。

表3 15—18号样本预测结果和试验结果

样本编号	输入					预测值			试验值		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
15	3	0.5	0.5	45	10	91.064 3	71.852 1	1.277 5	91.5	71.6	1.26
16	4	1	1	50	15	88.712 7	72.293 9	1.268 2	96.5	73.5	1.25
17	5	1.5	1.5	55	20	105.153 5	88.670 1	1.186 2	105.3	89.0	1.21
18	6	2	2	60	25	127.412 6	110.480 0	1.156 4	127.2	110.0	1.12



注同图4。

图5 15—18号样本预测值和试验值的相对误差

### 参考文献:

- [1] 周文敏, 宋新星, 孙翀, 等. 炭黑网络化程度对填充天然橡胶体系伸张疲劳过程中介观结构和动态粘弹性的影响[J]. 橡胶工业, 2017, 64(2): 84-88.
- [2] 丁硕, 常晓恒, 巫庆辉, 等. 基于Elman神经网络的传感器故障诊断研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(4): 72-75.
- [3] 张靠社, 杨剑. 基于Elman神经网络的短期风电功率预测[J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(12): 87-91.
- [4] Jon R, Wang Z S, Luo C M, et al. Adaptive Robust Speed Control Based on Recurrent Elman Neural Network for Sensorless PMSM Servo Drives[J]. Neurocomputing, 2017, 227: 131-141.
- [5] Shen C, Song R, Li J, et al. Temperature Drift Modeling of MEMS Gyroscope Based on Genetic-Elman Neural Network[J]. Mechanical

## Dynamic Viscoelastic Properties Prediction of EPDM Compound Based on Elman Neural Network

ZENG Xiankui, LI Yingru, HUANG Nianchang, ZHANG Jie, BAO Liping

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** The relationship between the formula factors of EPDM compound and dynamic viscoelastic properties was investigated. The Elman neural network model was established to predict the dynamic viscoelastic properties of EPDM compound at 85 °C temperature, 0.1 Hz frequency and 15% strain. 18 sets of data samples were collected by orthogonal experiment design, Elman neural network was trained with sample No. 1—No. 14, and the predictive ability of Elman neural network was verified by sample No. 15—No. 18. The relative error of dynamic viscoelastic properties of the EPDM compound predicting by Elman neural network was less than 4% basically, Elman neural network had high prediction accuracy.

**Key words:** Elman neural network; EPDM; dynamic viscoelastic property; sample; prediction