

# BP神经网络在妥尔油改性酚醛树脂研制中的应用

陈新,孟震宇

[华奇(中国)化工有限公司,江苏 张家港 215635]

**摘要:**研究BP神经网络在妥尔油改性酚醛树脂研制中的应用。结果表明,通过建立神经网络模型,以原料松香的松香酸质量分数、妥尔油改性酚醛软化点和相对分子质量作为条件,可以预测妥尔油改性酚醛树脂胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间、硫化特性和拉伸性能,从而研制出适用且具有稳定应用性能的妥尔油改性酚醛树脂。

**关键词:**BP神经网络;妥尔油;改性;酚醛树脂

**中图分类号:**TQ330.38<sup>+</sup>3 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-5448(2017)12-28-04

妥尔油改性补强树脂作为胶料的补强剂,与亚甲基给予体(HMT)反应生成热固型交联网络体系,能提高胶料的硬度、定伸应力和拉伸强度,广泛应用于轮胎等生产领域。妥尔油改性补强树脂主要影响胶料的门尼粘度、焦烧性能和物理性能。

松香是妥尔油改性补强树脂的主要成分之一,根据生产来源可以分为脂松香、妥尔油松香和木松香。脂松香由松树分泌的油脂提炼而成,妥尔油松香从造纸行业的副产物妥尔油中提取,木松香则从松木中萃取获得。不同产地和提炼方式的松香具有不同的成分,这给生产性能稳定的妥尔油改性补强树脂带来一定困难。因此,如何采用有效模型分析不同成分和性能的松香给妥尔油改性酚醛树脂产品性能带来的差异,并通过模型计算和控制工艺参数以得到性能稳定的妥尔油改性酚醛树脂产品成为重要研究的课题。

人工神经网络(Artificial Neural Network),简称ANN,是在模拟生物神经网络基础上构建的一种信息处理系统,具有强大的信息存贮能力和计算能力,是一种非经典的数值方法<sup>[1]</sup>。采用人工神经网络法对配方组分与反应参数进行拟合,再通过遗传算法对配方及工艺参数进行计算,可预测所求的目标值。

神经网络在目前已有几十种不同的模型。其中比较常用的有Hopfield网络、BP网络、Kohonen

网络和ART(自适应共振理论)网络。BP神经网络是一种应用最为广泛的网络类型,可用来拟合非线性的连续函数。训练好的BP神经网络可以对输入值进行计算,并输出预测结果,可广泛应用于非线性建模、函数逼近和模式分类等<sup>[2]</sup>。

本工作研究BP神经网络在妥尔油改性酚醛树脂研制中的应用。

## 1 BP神经网络的设计

### 1.1 网络层

BP神经网络一般包括输入层、输出层、隐含层及各层间的函数。完整的BP神经网络具有1个输入层、1个输出层及至少1个隐含层。BP神经网络层见图1。

1989年,Robert以数学方式证明任意一个闭区间上的连续函数都可以用一个3层的BP神经网络来逼近<sup>[3]</sup>,因而只需要3层BP神经网络就能实现从 $n$ 维到 $m$ 维的映射。

### 1.2 输入层和输出层

输入层和输出层的单元数根据条件和求解项确定,通常输入层和输出层就是条件值和待测值。

### 1.3 隐含层单元

隐含层单元数的确定是较复杂的问题,其与输入层和输出层单元有直接的联系,若隐含层单元太多,会导致计算时间变长,误差增大,同时不能识别未计算的样本;若隐含层单元太少,信息无法处理,导致无法得到精确的结果<sup>[4]</sup>。

一般来讲,可通过以下3个公式确定隐含层单

**作者简介:**陈新(1981—),男,湖南衡阳人,华奇(中国)化工有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎用酚醛树脂的研究。

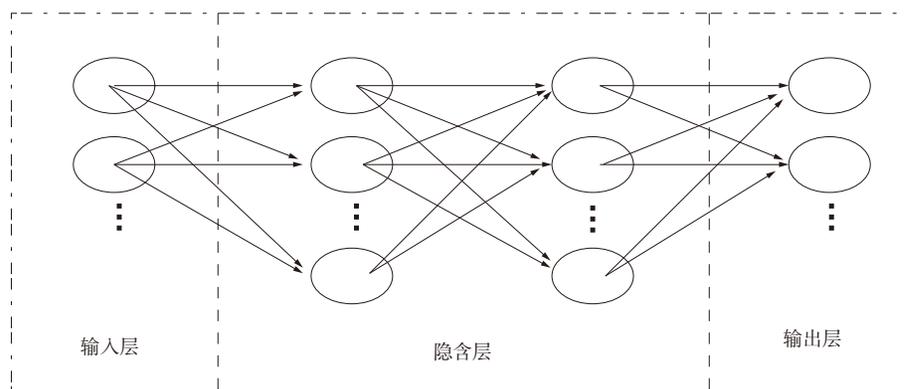


图1 BP神经网络层示意

元数<sup>[5]</sup>:

$$\sum_{i=0}^n C_{n_i}^i > k \quad (1)$$

式中,  $k$ 为样本数,  $n_i$ 为隐含层单元数,  $n$ 为输入层的单元数,  $i$ 为 $[0, n]$ 之间的常数。

$$n_i = \sqrt{n + m} + a \quad (2)$$

式中,  $m$ 为输出层单元数,  $a$ 为 $[1, 10]$ 之间的常数。

$$n_i = \log_2 n \quad (3)$$

式中,  $n$ 为输入层单元数。

将3个公式综合后确定隐含层单元数的最小值和最大值,然后依次调试,根据调试后的训练误差和测试误差决定最佳隐含层单元数。

## 2 实验

### 2.1 试验阶段

#### 2.1.1 主要原材料

松香和其他合成树脂均为市售品。

#### 2.1.2 合成工艺

妥尔油改性酚醛树脂采用华奇(中国)化工有限公司10MT妥尔油补强树脂合成工艺制备。

#### 2.1.3 胶料配方

天然橡胶 100, 炭黑N375 60, 妥尔油改性酚醛树脂 9, 氧化锌 4, 硬脂酸 2, 环保油 4, 防老剂RD/HMT/防护蜡混合物 4, 硫黄 4, 促进剂NS 2。

#### 2.1.4 性能测试

门尼粘度按照GB/T 1232.1—2000《未硫化橡胶用圆盘剪切粘度计进行测定 第1部分:门尼粘度的测定》进行测试;焦烧性能按照GB/T 1233—2008《未硫化橡胶初期硫化特性的测定 用圆盘剪切粘度计进行测定》进行测试,温度为127℃;硫

化特性按照GB/T 16584—1996《橡胶用无转子硫化仪测定硫化特性》进行测试,温度为150℃;拉伸性能按照GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》进行测试。

### 2.2 数据收集

收集26批不同妥尔油改性酚醛树脂产品作为样本组。以产品指标中软化点、数均相对分子质量( $\bar{M}_n$ )、重均相对分子质量( $\bar{M}_w$ )以及松香的松香酸含量作为研究条件,得出样本组汇总,如表1所示。

随机选出其中3组样本作为预测样本。

### 2.3 BP神经网络模型的建立

选用3层BP神经网络作为模型主体。输入层含4个单元,即松香的松香酸含量及妥尔油改性酚醛树脂软化点、 $\bar{M}_n$ 、 $\bar{M}_w$ 。输出层含5个单元,分别为胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间 $t_{35}$ 、 $t_{90}$ 、100%定伸应力、拉伸强度。建立的模型可通过控制松香的松香酸含量及妥尔油改性酚醛树脂软化点和相对分子质量控制产品性能的稳定性。

### 2.4 数据归一化处理

如果输入值过大,可能使神经元处于过饱和状态,从而失去计算能力,所以对于输入值需要进行数据归一化处理<sup>[6]</sup>,应将输入值处理在 $(0, 1)$ 的范围内,计算公式如下。

$$x = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4)$$

式中,  $x_i$ 表示数据,  $x_{\min}$ 表示一组变化数据中的最小值,  $x_{\max}$ 表示一组变化数据中的最大值。

### 2.5 隐含层单元数的确定

已知输入层含4个单元,输出层含5个单元,根据公式(1)~(3),最佳隐含层单元数应处在2—14之间,即形成一次从最小单元数2到最大单元数14

表1 样本组汇总

样本	松香酸质量 分数×10 <sup>2</sup>	软化点/°C	$\bar{M}_n$	$\bar{M}_w$	胶料性能				
					门尼粘度[ML (1+8)100 °C]	门尼焦烧时间 $t_{35}$ /min	$t_{90}$ /min	100%定伸应力/ MPa	拉伸强度/ MPa
1	87.72	99.1	938	5 722	68	23.99	14.59	9.6	21.2
2	87.72	97.2	930	4 913	65	23.76	13.52	8.9	21.0
3	87.64	98.0	972	5 727	68	24.58	14.35	9.3	20.6
4	20.85	97.4	1 099	5 461	60	24.37	15.14	9.5	20.6
5	87.15	97.8	1 015	6 047	65	24.35	14.88	9.9	20.2
6	87.03	97.7	928	5 057	69	23.46	14.86	9.1	21.2
7	87.18	98.6	948	5 277	67	25.37	14.31	8.7	19.9
8	87.18	97.6	900	5 169	72	24.81	14.08	9.2	20.4
9	87.18	97.9	945	5 613	68	24.44	14.35	9.2	20.0
*10	86.30	97.4	893	5 145	67	25.00	14.37	9.3	21.0
11	86.30	97.6	879	4 926	68	25.67	14.36	9.2	21.3
12	86.49	97.7	970	4 741	66	25.08	14.53	8.6	20.1
13	87.05	96.9	899	4 761	57	25.15	14.98	9.2	20.8
*14	87.62	96.6	942	4 541	60	24.40	14.64	9.4	20.7
15	89.33	98.2	938	5 588	66	24.74	15.05	9.5	20.1
16	88.08	96.8	1 161	7 609	66	23.79	14.10	9.6	21.2
17	88.28	97.7	1 363	8 777	67	24.19	14.34	9.5	21.5
18	87.70	99.3	1 221	8 016	70	24.03	14.39	9.5	21.6
19	87.71	96.9	781	4 705	66	24.22	14.42	9.5	20.6
20	89.08	98.6	780	5 483	68	23.71	15.34	9.9	23.1
*21	87.10	96.8	1 072	4 937	69	21.10	14.43	9.2	20.4
22	87.10	97.4	1 114	5 790	77	23.83	14.26	9.2	20.8
23	85.83	99.3	989	4 267	61	19.49	14.67	9.1	21.5
24	86.16	97.1	1 056	4 525	67	19.30	14.64	9.1	21.4
25	86.87	97.5	1 048	5 536	67	19.40	14.66	9.2	20.8
26	86.86	97.6	978	5 423	69	20.29	14.67	9.4	20.7

注:\*预测样本。

的训练网络。

采用MATLAB软件,先将预测样本中3组数据剔除,通过对比实际数值与预测值,选择最佳隐含层单元数。训练样本预测值-实际值相对误差统计如表2所示。

从表2可以看出,隐含层单元数为10时,5个输出值处在相对误差较小的位置。

## 2.6 BP神经网络模型的验证

通过MATLAB软件建立一个输入层单元数为4、输出层单元数为5、隐含层单元数为10、训

表2 训练样本预测值-实际值相对误差统计

隐含层单元数	预测值-实际值相对误差/%				
	门尼粘度[ML(1+8)100 °C]	门尼焦烧时间 $t_{35}$	$t_{90}$	100%定伸应力	拉伸强度
2	4.38	4.01	3.48	3.53	2.29
3	5.57	5.86	2.70	2.67	2.71
4	5.57	5.13	2.11	3.77	4.06
5	3.87	3.78	2.01	1.75	1.57
6	3.13	4.29	1.78	1.65	1.89
7	2.82	4.16	1.93	1.73	2.27
8	3.09	4.67	1.88	1.75	2.23
9	3.35	4.27	1.95	1.87	1.91
10	2.66	4.15	1.78	1.63	2.14
11	3.69	4.65	1.82	1.54	1.38
12	2.96	4.36	1.89	1.74	2.24
13	3.07	4.83	1.72	1.68	2.28
14	2.85	4.53	1.61	1.74	2.13

练样本数为23、预测样本数为3的BP神经网络模型。用预测样本对该模型进行验证,输出结果如

表3所示。

从表3可以看出,预测样本的门尼粘度、门尼

表3 预测样本预测值-实际值误差统计

样本	门尼粘度[ML(1+8)100℃]		门尼焦烧时间 $t_{35}$		$t_{90}$		100%定伸应力		拉伸强度	
	绝对误差	相对误差/%	绝对误差	相对误差/%	绝对误差	相相对误差/%	绝对误差	相对误差/%	绝对误差	相对误差/%
*10	0.10	0.15	0.48	1.91	0.08	0.57	0.18	1.93	0.21	1.00
*14	2.03	3.37	0.88	3.62	0.14	0.93	0.06	0.63	0.13	0.61
*21	0.46	0.67	0.89	4.21	0.05	0.35	0.21	2.25	0.45	2.21

焦烧时间 $t_{35}$ 、 $t_{90}$ 、100%定伸应力和拉伸强度同实际结果差别不大,相对误差在5%以内,说明BP神经网络模型可以达到预期的预测目标。

### 3 结论

BP神经网络在妥尔油改性酚醛树脂研制的应用中,以松香的松香酸质量分数、妥尔油改性酚醛树脂软化点和相对分子质量作为条件,可以预测胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间、硫化特性和拉伸性能,从而制备出适用且应用性能稳定的妥尔油改性酚醛树脂,这对妥尔油改性酚醛树脂的产品质量控制及应用具有较大意义。

### 参考文献:

- [1] 张铃,张钺. 神经网络理论及应用[M]. 浙江:浙江科学技术出版社,1997.
- [2] 王宇,尹晓峰,黄鹏程. 神经网络和遗传算法在胶粘剂设计中的应用[J]. 中国胶粘剂,2011,20(2):47-51.
- [3] Hecht-Nielsen R. Theory of the Back Propagation Neural Network [J]. Proceedings of IJCNN, 1989, 1(1):593-603.
- [4] 沈花玉,王兆霞,高成耀,等. BP神经网络隐含层单元数的确定[J]. 天津理工大学学报,2008,24(5):13-15.
- [5] 飞思科技产品研发中心. 神经网络理论与MATLAB7实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [6] 柳小桐. BP神经网络输入层归一化研究[J]. 机械工程与自动化, 2010,160(3):122-126.

收稿日期:2017-05-15

## Application of BP Neural Network in Development of Tall Oil Modified Phenolic Resin

CHEN Xin, MENG Zhenyu

[Sino Legend (China) Chemical Co., Ltd. Zhangjiagang 215635, China]

**Abstract:** The application of BP neural network in the development of tall oil modified phenolic resin was studied. The results showed that the Mooney viscosity, scorch time, vulcanization characteristics and tensile properties of tall oil modified phenolic resin compound could be predicted by neural network model established by taking the rosin acid mass fraction of the raw rosin, softening point and relative molecular weight of the tall oil modified phenolic resin as the variables. With this method, the tall oil modified phenolic resin with good and stable application properties was developed.

**Key words:** BP neural network; tall oil; modification; phenolic resin

### 2021年全球橡胶机械销售收入 或将超过56亿美元

中图分类号:TQ330.4 文献标志码:D

研究和市场(Research and Markets)公司日前发布报告,受轮胎行业疲软影响,2016年世界橡胶机械销售收入为46.27亿美元,同比下降4.2%。随

着轮胎行业恢复增长,2017—2021年世界橡胶机械销售收入增长率预计为5%左右,到2021年达到56.34亿美元。中国橡胶机械销售收入已连续13年居世界首位,2016年为96亿元人民币,占世界橡胶机械销售收入的36.2%。工业4.0、智能制造、技术创新及其他政策是橡胶机械行业发展的驱动力。

(钱伯章)