

基于 GMDH 神经网络的轮胎硫化温度预测

徐 玲

(无锡商业职业技术学院 电子工程学院,江苏 无锡 214153)

摘要:介绍硫化过程的测温难点及 GMDH 神经网络的算法和构造。采用 GMDH 神经网络对硫化过程中轮胎内部温度进行预测,并与 BP 神经网络预测进行对比。研究表明,GMDH 神经网络的温度预测精度较高,对非线性数据有很好的预测效果。采用该方法可为轮胎硫化控制提供有力支持,并实现轮胎生产无损测量。

关键词:轮胎;硫化;GMDH 神经网络;温度测量

中图分类号:TQ336.1+1;TQ330.6+7 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)05-0301-04

轮胎属于厚橡胶制品,硫化工艺是影响其质量的重要因素。如何确定硫化过程中轮胎内部的温度分布是一个至关重要的问题,然而硫化过程是一个边界条件复杂的复合介质热传导的过程^[1],影响因素较多,目前在实际生产中主要靠经验来确定硫化工艺条件,并且需要反复调整和试验,耗时费力。如何确定制品硫化过程中的温度分布以提高功效和节约能源是一个急需解决的问题。

轮胎内部温度变化与外部给定温度和时间之间的关系是确定轮胎硫化条件及控制硫化过程的关键。硫化过程中在线测温在实际应用中受到整体设备、传感装置和实时性要求等多方面的制约,提高硫化质量的关键是采用无损测量的方法确定胶料硫化的温度分布,并将硫化时胶料的内部状态准确地反映给控制器,以采取合适的控制手段。神经网络是模拟生物神经网络进行信息处理的一种数学模型,由于其具有学习和适应、自组织、函数逼近和大规模并行处理的能力,因此可用于智能控制^[2]。

本研究为实现轮胎生产中的无损测量,采用 GMDH(Group Method of Data Handling)神经网络对轮胎制品内部温度进行预测,并与 BP 神经网络预测进行对比,以期为轮胎硫化程度控制、硫化工艺条件确定以及硫化制品合格率提高提供有力的支持。

作者简介:徐玲(1976—),女,天津人,无锡商业职业技术学院讲师,硕士,主要从事控制理论及应用研究和教学工作。

1 硫化过程的数学描述及测温难点

轮胎是多层复合厚橡胶制品,其硫化过程中的温度分布受轮胎初始温度分布、几何形状、胶料类型、传热介质性质和传热情况等很多因素的影响^[3]。橡胶是热的不良导体,轮胎在升、降温过程中各部分胶料的受热历程有较大的差异,其硫化过程是温度场分布不均匀的非线性动态过程^[4]。

轮胎硫化过程可用下述数学公式描述:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = f[\theta(0),r,\theta_m(t),\theta_n(t)] \quad (1)$$

式中, $\theta(t)$ 为 t 时刻轮胎某点的温度, f 为非线性函数, $\theta(0)$ 为轮胎的初始温度, r 为轮胎内某点到轮胎中心的距离, $\theta_m(t)$ 为 t 时刻胶囊中过热水的温度(内温), $\theta_n(t)$ 为 t 时刻模具的温度(外温)。

轮胎等厚橡胶制品的硫化过程的影响因素较多,导致过程严重的非线性,其温度分布为非线性模型,采用传统建模方法很难建立橡胶硫化过程的温度分布模型,因此利用神经网络的方法可以方便快捷地实现温度预测。

由于厚制品不同层次的温度存在着差异,在制定轮胎硫化条件时需要了解不同时刻内部的温度分布情况,而用现有的热电偶测温不能真实地反映温度分布情况,因此经常出现因控制不精确而出现大量次品问题。

为了掌握轮胎在硫化过程中的真实温度分布情况,以便为控制提供更加准确的信息(最佳质量控制点),有必要进一步改进测试方法,但从测温设备上提高测温水平不易实现,神经网络技术为

这一研究提供了有效途径。

2 GMDH 神经网络算法及特点

GMDH 数据处理组合方法是前苏联乌克兰科学院的 A. G. Ivaknenko 于 1968 年运用多层神经网络原理和品种改良假说提出的一种复杂非线性系统的启发式自组织建模方法,以 K-G(Kolmogorov-Gabor)多项式为基础通过不断筛选组合建立非线性系统的模型,对高阶非线性系统的辨识很有效^[5]。GMDH 神经网络是前馈神经网络中一种用于预测的实用神经网络,其特点是网络结构不固定,在训练过程中不断变化。

GMDH 神经网络具有以下特点^[6]:

- (1) 建模过程自组织控制,不需任何初始假设;
- (2) 最优复杂性及高精度预测;
- (3) 能够自组织多层神经网络每层的最佳结构,即能够自动保留有用变量和删除多余变量;
- (4) 能够自动选择最佳网络层数和每层的神经元数目。

GMDH 算法由系统各输入单元交叉组合产生一系列的活动神经元,其中每一神经元都具有选择最优传递函数的功能,再从已产生的一代神经元中选择若干与目标变量最为接近的神经元,被选出神经元强强结合再次产生新的神经元,重复这样的优势遗传、竞争生存和进化的过程,直至具有最佳复杂性的模型被选出。

3 GMDH 神经网络温度预测网络构造

3.1 样本训练及数据准备

在轮胎硫化过程中,用以训练和测试的样本取自确定硫化条件时的实测温度数据,测温重点选择轮胎使用过程中易出现质量问题的胎圈、胎肩和胎冠等部位。数据的测试过程为:闭气 2 min、正硫化 50 min、冷凝水排 5 min,硫化到启模的时间共计 57 min。为减少网络学习过程中因数据突变引入的误差,不考虑模型在最初的迅速升温,从 90 s 时刻起,每隔 30 s 对 11 个不同部位的温度进行记录。实测数据并不完全作为神经网络的输入、输出,需要经过一些选择和处理再作为样本的输入和输出。样本选取时以那些易测量的

外部温度作为输入样本,将不稳定的、难测的内部温度作为输出样本。由于硫化反应是在一定时间内完成的,时间的变化与温度的高低有密切关系,因此将时间序列值也作为一个重要的样本参数。

在某次轮胎硫化过程中进行数据采集,硫化过程共持续 57 min,从 1.5 min 开始到 57 min,每隔 30 s 取一组数据,共得到 111 组数据。通过对所测得数据的观察和分析,选取 18 组数据作为实验数据。样本的输入参数为:间隔为 30 s 的时间序列、胎冠中心线行驶面表面温度、胎冠中心线缓冲胶片下的温度及外压蒸汽室的温度。样本的输出参数为:胎冠中心线第 1 和 2 层帘布间的温度及下模胎侧水平轴第 1 和 2 层帘布间的温度。

3.2 GMDH 神经网络结构

GMDH 网络基于多层神经网络的自组织思想,通过各层网络神经元之间不断二元组合来拟合非线性系统的 K-G 多项式^[7]:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (2)$$

系统各输入单元通过交叉组合产生一层活动神经元,从这些产生的神经元中选择与预测目标值最为接近的部分神经元作为下次网络的输入元,如此强强结合,不断竞争选择产生新层,直到所有新产生的神经元都不比上代优秀时,进化过程结束。

任一神经元都以上层网络中的两个神经元输出作为其输入,首先从系统输入变量 $[x_1, x_2, x_3, x_4]$ 开始,对每一对输入量 $[x_i, x_j]$ 按照式(3)进行非线性拟合:

$$\begin{cases} \mathbf{w}_k = [\mathbf{w}_0, \mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \mathbf{w}_3, \mathbf{w}_4, \mathbf{w}_5] \\ \mathbf{x}_k = [1, x_i, x_i^2, x_i x_j, x_j, x_j^2] \\ \mathbf{y} = \mathbf{w}_k \mathbf{x}_k^T \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\mathbf{w}_k$ 为各层权系数; $\mathbf{x}_k$ 为输入向量; $\mathbf{y}$ 为神经元输出。GMDH 网络中的处理单元的输出是两个输入量的二次多项式,因此网络的每一层将使多项式的次数增大两阶。本研究的 GMDH 神经网络的结构如图 1 所示。

3.3 GMDH 网络训练

GMDH 网络训练从输入层构造网络开始,调

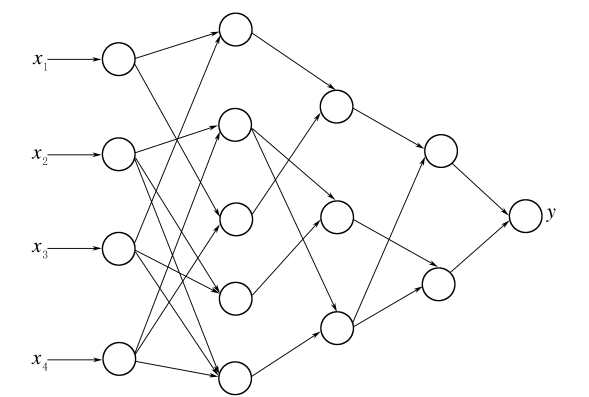


图 1 GMDH 神经网络结构

整每一个神经元的权值和增加网络层直到满足影射精度为止。GMDH 神经网络的神经元层及每层神经元的个数在训练中动态确定,训练步骤如下。

- (1)数据预处理。对输入样本进行归一化处理,以增强网络训练的收敛性。
- (2)决定网络的输入信号。预测需要用到以前的输出值。
- (3)将试验数据分成训练样本和测试样本。
- (4)建立输入神经元层。神经元与输入信号数(i)有关,对于每个输入信号,都有一个神经元与之对应。
- (5)将神经元权值的初始值设为零。
- (6)将训练数组作用于输入层的每个神经元。在 k 时刻取 y_{k-1} ($k=1,2,\cdots$) 作为输入信号, y_k 为期望输出,计算每一神经元的输出误差,并修正其权值和均方差之和,当均方差之和大于上一循环计算时,训练停止。
- (7)输入选择数据,计算每个神经元的输出均方差。根据差值确定一个阈值,选择均方差小于阈值的神经元作为下一层神经元。

- (8)当本层最小均方差大于前一层神经元的
最小均方差时停止训练。如果训练是由于最小均
方差偏大而停止的,则将前一层神经元作为输出
层,舍弃那些与输出神经元没有联系的神经元。
- (9)利用评价数据组检验训练好的网络性能。
评价数据组可以是上述样本灵气和测试数据的组
合,也可采用新数据。本研究采用新数据。

4 温度预测

橡胶轮胎各部分的最终硫化状态是由其硫化过程中的温度历程所决定的,轮胎内部点的温度是无法实测的,但内部点温度与表面温度之间存在相关性,可以通过轮胎表面温度来预测内部点的温度。选取几组新数据,这些数据都是硫化过程中易于测得的温度,将这些数据作为实验输入样本,然后将训练好的神经网络用于轮胎硫化时的温度预测,预测胎冠中心线第 1 和 2 层帘布间的温度和下模胎侧水平轴第 1 和 2 层帘布间的温度,这两个部位的温度也是温度测量的难点,在实验过程中对输入数据进行归一化处理,输出数据进行反归一化处理。

在将 GMDH 神经网络用于温度预测的同时,将 BP 神经网络也用于温度预测,并进行比较,结果如表 1 和 2 所示。从表 1 和 2 可以看出, GMDH 神经网络的预测精度高于 BP 神经网络,对非线性数据有很好的预测效果。

5 结语

采用 GMDH 神经网络对硫化全过程的温度数据进行预测,可实现无损性测量,而且可以将误差控制在很小的范围内。通过预测结果可以掌握

表 1 胎冠中心线第 1 和 2 层帘布间的温度实测与预测结果对比

℃

项 目	测量时刻/min								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值	53.11	58.92	64.15	67.26	74.93	80.87	85.71	90.55	94.84
BP 神经网络									
预测值	54.23	58.14	64.92	69.49	72.86	82.75	84.66	94.31	85.58
误差	1.12	-0.78	0.77	2.23	-2.07	1.88	-1.05	3.76	0.74
GMDH 神经网络									
预测值	53.64	58.65	64.76	67.42	74.88	80.65	85.94	89.92	94.31
误差	0.53	-0.27	0.61	0.16	-0.05	-0.22	0.23	-0.63	-0.53

表 2 下模胎侧水平轴第 1 和 2 层帘布间的温度实测与预测结果对比

℃

项 目	测量时刻/min								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值	61.75	71.06	78.83	86.64	92.44	98.93	104.07	109.16	113.54
BP 神经网络									
预测值	62.58	72.38	79.92	85.73	94.76	97.51	105.29	110.51	114.83
误差	0.83	1.32	1.09	−0.91	2.32	−1.42	1.22	1.35	1.29
GMDH 神经网络									
预测值	61.47	71.35	78.64	86.79	93.83	98.68	104.27	109.82	113.91
误差	−0.28	0.29	−0.19	0.15	1.39	−0.25	0.20	0.66	0.37

轮胎硫化时的温度分布,这对硫化过程中故障的分析具有一定的指导作用。

神经网络用于轮胎硫化控制时的内部温度预测是可行而且是有效的,但在实际生产中测温环境的模糊因素对网络精度的影响、时间序列参数对网络的影响以及在线使用等方面还有待进一步深入研究,以提高该方法的可靠性和实用性。

参考文献:

[1] 徐玲,徐保国. 橡胶硫化罐现场总线智能群控系统[J]. 计算机测量与控制,2005,13(6):559-561.

[2] 高隽. 人工神经网络原理及仿真实例[M]. 北京:机械工业出版社,2003:31-115.

[3] 熊伟丽,肖应旺,徐保国. 橡胶硫化过程智能控制系统[J]. 计算机与应用化学,2004,21(5):738-742.

[4] 刘伟峰,刘川来,段利亚. 基于人工神经网络的轮胎硫化自适应控制[J]. 轮胎工业,2008,28(3):172-174.

[5] Ivakhnenko A G. Heuristic Self-organization on Problems of Engineering Cybernetics[J]. Automatic,1970,6(3):207-219.

[6] 刘光中,颜科琦,康银劳. 基于自组织理论的 GMDH 神经网络算法及应用[J]. 数学的实践与认识,2001,2(4):464-467.

[7] 吴栋梁,王扬,郭创新,等. 基于改进 GMDH 网络的风电场短期风速预测[J]. 电力系统保护与控制,2011(2):88-93.

收稿日期:2012-11-13

Tire Vulcanization Temperature Prediction Based on GMDH Neural Network

XU Ling

(Wuxi Institute of Commerce,Wuxi 214153,China)

Abstract: The difficulty of temperature measurement for vulcanization process,and the arithmetic and construction of GMDH neural network were introduced. The temperature inside tire was predicted by using GMDH neural network,and compared with the prediction of BP neural network. The results showed that GMDH neural network had higher accuracy of temperature prediction,and was very efficient for nonlinear data. The GMDH neural network method could provide strong support to vulcanization process control and building-up of nondestructive temperature measurement method for tire production.

Key words: tire;vulcanization;GMDH neural network;temperature measurement

一种导热天然橡胶复合材料及其制备方法

中图分类号:TQ332.5 文献标志码:D

由中北大学申请的专利(公开号 CN 101942122A,公开日期 2011-01-12)“一种导热天然橡胶复合材料及其制备方法”,提供了一种导热天然橡胶复合材料的制备方法:(1)导热填料的制备。将天然鳞片石墨浸没在浓硫酸和浓硝酸的混合液中,进行超声处理、过滤、水洗、干燥、粉碎

以及膨胀处理。(2)导热填料的表面处理。将导热填料浸泡到表面处理剂溶液中,进行超声处理、过滤、干燥。(3)导热天然橡胶复合材料的制备。先将天然橡胶塑炼,待其包辊后加入其他配方组分进行混炼,然后硫化成型制得产品。膨胀石墨优良的导热性能和高的长径比使导热天然橡胶复合材料具有导热性能优异、易于散热等优点。

(本刊编辑部 赵 敏)