

塑料老化性能及使用寿命预测的新方法

黄 伟^{1,2}, 黄大明¹, 姚起宏¹

(1. 广西大学机械工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 北京航空航天大学固体力学研究所, 北京 100083)

摘 要: 提出了利用人工神经网络方法对塑料自然老化性能时间序列进行预测的方法, 并建立了计算模型, 在此基础上本方法也可对塑料使用寿命进行预测。实例计算证实了这种方法具有良好的精度。

关 键 词: 人工神经网络; 塑料老化; 材料性能; 寿命

中图分类号: TQ320.77⁺3 文献标识码: B 文章编号: 1001-9278(2003)06-0056-03

A New Method for Predicting Aging Performance and Life Span of Plastics

HUANG Wei^{1,2}, HUANG Da-ming¹, YAO Qi-hong¹

(1. Institute of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Institute of Solid Mechanics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A method for predicting time sequence of natural aging performance of plastics based on artificial neural networks is put forward and a calculation model is set up also. The method is also useful for predicting the life span of plastics. An example testified the high accuracy of the method.

Key words: artificial neural networks; plastics aging; property; life span

塑料具有良好的力学性能、电性能、化学性能以及尺寸稳定性能等。但其最大的缺点是不耐老化,其老化机理非常复杂,老化原因主要有光老化、氧及臭氧老化、生物降解、水降解等等。由于老化机理的复杂性,目前还难于直接研究各种老化原因引起的力学性能变化,而是通过试验来加以分析研究。目前的老化试验分为两类,一类是自然老化试验方法,它是直接利用自然环境条件进行的老化试验,另一类是人工加速老化试验方法,它是在实验室利用老化箱模拟自然环境条件的某些老化因素进行老化试验,从而加快材料老化过程,得出试验结果的方法。由于老化因素多样及老化机理的复杂性,人工加速老化试验尚难代替自然老化试验。自然老化试验仍是目前最重要和最可靠的老化试验方法。但这种方法也最费时间,同时费用也相当昂贵,获得的试验数据也很有限。工程中常采用回归分析对试验数据进行处理,得出回归公式后进行预测。这种方法要求试验数据具有明显的分布规律,同时,要求具有足够的的数据量,因此,在老化性能预测中局限性是相当大的。

1 人工神经网络模型

人工神经网络理论(Artificial Neural Network,简称ANN)是近年来国内外的一个前沿研究领域,它可用于预测、分类、模式识别、过程控制等各种数据处理场合。相对于传统的数据处理方法,它更适合处理模糊的、非线性、含有噪音及模式特征不明确的问题。人工神经网络理论是在人类对其大脑神经网络认识理解的基础上,人工构造的能够实现某种功能的神经网络。研究表明:大脑的学习过程就是神经元之间的连接强度随外部激励信息做自适应变化的过程,而大脑处理信息的结果则由神经元的状态表现出来。人工神经网络就是在生物学中神经网络理论基础上,简化了结构复杂的偏微分方程模型,构成多个神经元互联结构的网络。具体说人工神经网络就是由多个非常简单的处理单元,彼此间按某种方式连接而形成的信息处理网络,该网络是靠其状态随外部输入信息的动态响应来处理信息的。这些处理单元,就是人们所说的神经元。网络的信息处理是由神经元的相互作用实现的。知识与信息的存储表现为网络元件互联间分布式的物理联系,网络的学习与训练决定于各神经元连接权重的动态演化过程。

用人工神经网络解决问题,要经过两个阶段。第一阶段是训练和学习阶段。如果给出某些神经元一定的输入值,总可以在另一些神经元上通过神经元互联的权重和阀值得到一定的输出值。如果不断调节连接的权重和阈值,使人工神经网络的输入和输出关系逼近实际过程,即让人工神经网络获得实际过程的信息,这就是人工神经网络的学习过程。第二阶段是正常操作或回忆阶段,就是将需要知道输出的输入送给训练后的网络,网络根据对训练过程的回忆就可以对实际输出进行预测与模拟。

2 塑料自然老化力学性能的人工神经网络预测

本文采用人工神经网络中的BP网络(即后传播网络:Back Propagation Network)。因为BP网络结果简单,使用方便明了,而且可以解决多数人工神经网络所面临的问题。BP神经网络的具体实现过程参见图1所示的BP网络学习规则流程图。

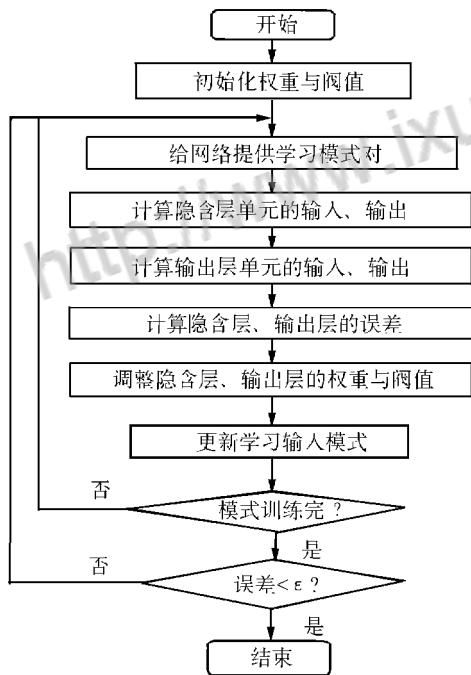


图1 BP学习规则流程图

Fig. 1 The flow chart for back-propagation network

Robert Hecht-Nielsen 映照定理^[1]证明了对于任何在闭区间内的一个连续函数都可以用一个隐层的BP网来逼近,因而一个3层的BP网络可以完成任意的n维到m维的映照。根据映照定理,可以选择3层的BP网来建模,其中一个输入层、一个隐含层、一个输出层。对时间序列值的预测可以采用4个输入单元,2个输出单元的网络模型。采用隐含层单元数的选择,可以参照 Arai 的理论:P-1个隐含单元数是满足任意精度的

必要条件,其中P为样本对数。本模型中将数据分为4对样本数据,即P=4。经计算表明,取隐含层单元数为4是合适的。

设塑料自然老化性能时间序列为 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_d$,用这些数据训练神经网络模型。将 $X_k, X_{k+1}, \dots, X_{k+s}$ 作为第k个输入样本,相应的教师为:

$$\frac{1}{1 + \exp(-X_{k+s})} \quad \frac{1}{1 + \exp(-X_{k+s+1})}$$

其中, $k+s+1 < n$ ($k=1, 2, \dots, n-s-1, n$ 为输入层单元数)。在网络训练达到预定精度后,各个连接单元间的权重与阈值已确定。可用下式计算隐含层和输出层的输出:

$$z_k = f\left(\sum_{i=0}^n j_i x_i\right), y_k = f\left(\sum_{j=0}^q k_j z_j\right)$$

再计算 $\ln\left(\frac{y_{n+1}}{1-y_{n+1}}\right)$, 则 $x_{n+1} = \ln\left(\frac{1}{1-y_{n+1}} - 1\right)$ 即为第n+1个预测值

塑料自然老化力学性能的原始试验数据见表1。

构造拉伸强度输入模式对:

$$\begin{aligned} X^1 &= (0.188, 0.182, 0.171, 0.148) \\ X^2 &= (0.182, 0.171, 0.148, 0.139) \\ X^3 &= (0.171, 0.148, 0.139, 0.133) \\ X^4 &= (0.148, 0.139, 0.133, 0.123) \end{aligned}$$

相应教师模式为

$$\begin{aligned} t^1 &= \left(\frac{1}{1 + \exp(-0.148)}, \frac{1}{1 + \exp(-0.139)} \right) \\ t^2 &= \left(\frac{1}{1 + \exp(-0.139)}, \frac{1}{1 + \exp(-0.133)} \right) \\ t^3 &= \left(\frac{1}{1 + \exp(-0.133)}, \frac{1}{1 + \exp(-0.123)} \right) \\ t^4 &= \left(\frac{1}{1 + \exp(-0.123)}, \frac{1}{1 + \exp(-0.117)} \right) \end{aligned}$$

取控制精度 $e = 0.0001$,可确定各单元权重和阈值,网络训练结束后得到的预测值如表2所示。同样的方法可建立断裂伸长率的输入模式对及教师模式,得到的预测值见表3所示。

3 塑料自然老化力学性能预测计算

塑料拉伸强度和断裂伸长率是塑料老化最重要的性能参数,按照 GB 3681《塑料自然气候曝露试验方法》试验,得到 LDPE 棚模大气自然老化试验结果如表1所示。

表1 LDPE棚模大气自然老化试验结果

Tab. 1 The aging test results for LDPE greenhouse film

老化时间/月	0	3	6	9	12	15	18	21
拉伸强度/MPa	18.8	18.2	17.1	14.8	13.9	13.3	12.3	11.7
断裂伸长率/%	420	462	442	407	344	303	211	111

将试验数据代入神经网络模型,在完成模型的建立和训练后,得到表 2 的计算结果。

表 2 拉伸强度预测结果

Tab. 2 The predict results for tensile strength

老化时间/月	0	3	6	9	12	15	18	21
试验值/MPa	18.8	18.2	17.1	14.8	13.9	13.3	12.3	11.7
预测值/MPa			15.0	14.0	13.3	12.3	11.4	
相对误差/%			1.36	0.72	0.00	0.00	-2.56	

从表 2 中可见,本文对拉伸强度建立的模型,其预测最大相对误差为 -2.56%,平均相对误差为 0.93%,预测精度是相当好的。

采用同样方法可对断裂伸长率进行建模和预测,结果如表 3 所示。

表 3 断裂伸长率预测结果

Tab. 3 The predict results for elongation at break

老化时间/月	0	3	6	9	12	15	18	21
试验值/%	420	462	442	407	344	303	211	111
预测值/%			407	344	301	213	110	
相对误差/%			0.00	0.00	-0.66	0.95	-0.90	

由表 3 可见最大相对预测误差为 0.95%,平均相对误差为 0.50%。

4 使用寿命的预测

在使用过程中一般不会发生直接的断裂失效,而其使用寿命是其主要性能的下降率作为依据的。在某种环境条件下,将所选性能(要选择塑料老化在使用中的主要性能)的数值变化看作是时间的函数,测定性能的变化值,试验继续到性能达到或稍小于相应的临界值(ASTM D 3045 无载荷塑料热老化推荐实施的方法规定:选择性能下降到其原始值的 50%是比较合适的,国标 GB 9344 判断塑料寿命的值,也取性能保持率 50%)为止,做出性能-时间曲线,从而求出该状态条件下的临界使用时间。但在自然老化过程中,由于塑料性能下降到 50%所需要的时间一般是很长的,因此,要根据已有的试验数据进行外推,求出性能下降到 50%所需要的时间作为对使用寿命的预测。在上节中我们已经建立了在老化过程中塑料力学性能的人工神经网络预测模型,在完成了对模型的训练后,就可以用于其性能的序列预测。表 4 给出了拉伸强度的预测值及对应的下降率。

表 4 拉伸强度及下降率预测结果

Tab. 4 The predictive results of tensile strength and its decrease rate

老化时间/月	9	12	15	18	21	24	27	30	33
预测拉伸强度 /MPa	15.0	14.0	13.3	12.3	11.4	10.7	10.0	9.3	8.6
下降率/%	20.2	25.5	29.3	34.6	39.4	43.1	46.8	50.5	54.3

从表 4 可见,可以预测其使用寿命为 30 个月。

5 结束语

本文针对塑料老化过程,利用人工神经网络建立了力学性能和使用寿命的预测模型。该模型可利用老化试验所得到的较少数据对力学性能随老化时间的变化进行预测。文中针对拉伸强度和断裂伸长率进行的预测计算表明,本模型具有很好的预测精度,可满足工程的需要。由于人工神经网络方法需要的试验数据较少,同时也可对统计规律不明显的试验数据进行处理,因而它对老化问题的研究具有重大的意义。

参考文献:

- [1] Nielsen L E and Landel R F, Mechanical Properties of Polymers and Composites, Second Edition[M]. New York, by Marcel Decker Inc, 1994.
- [2] Kim S G and Suh N P, Performance Prediction of Welding Structure in Amorphous Polymer[J]. Polymer Engineering and Science, 1986,26(17), 1 200 ~ 1 207.
- [3] Fan Youchen and Kokko Erkki, Prediction of Long-term Aging of Cellular Plastics, Environment International, Volume: 21, Issue: 4, 1995, 441 ~ 450.
- [4] Mesarovic and Sinisa Dj. Dynamic Strain Aging and Plastic instabilities[J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1995, 43(5):671 ~ 700.
- [5] Senkov O. N. et al, Microstructure and Micro Hardness of an Al-Fe Alloy Subjected to Severe Plastic Deformation and aging[J]. Nanostructured Materials Volume: 10, Issue: 5, 1998, 10(5):691 ~ 698.
- [6] Stolyarov V. V. et al, Influence of Severe Plastic Deformation on Aging Effect of Al-Zr-Mg-Cu-Zr alloy[J]. Materials Science and Engineering, 1997, 234, 339 ~ 342.
- [7] 杨德模. 工程塑料自然老化试验研究[J]. 腐蚀科学与防护技术, 1994(1): 100 ~ 103.
- [8] 周大纲,谢鹤式. 塑料老化与防老化技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,1995.
- [9] 朱福海. 硬质聚氨酯泡沫塑料老化性能评价[J]. 合成材料老化与应用,1997(2): 5 ~ 8.
- [10] 谢建玲. 国内外塑料耐候老化标准对比分析[J]. 化工标准化与质量监督, 1999(7): 13 ~ 15.

论文降重、修改、代写请加微信（还有海量Kindle电子书哦）



免费论文查重，传递门 >> <http://free.paperyy.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [塑料自然老化力学性能的灰色预测](#)
2. [高分子材料老化预测新方法](#)
3. [PC及PC/PE合金热水老化过程中的PC分子量降解规律](#)
4. [塑料老化性能及使用寿命预测的新方法](#)
5. [上海将推广使用新型双壁波纹塑料排污管](#)
6. [加速老化的相关性与使用寿命预测](#)
7. [塑料自然老化力学性能的人工神经网络预测](#)
8. [几种塑料的老化性能](#)
9. [测量弹性体和塑料老化性能的新方法](#)
10. [塑料实验室光源暴露试验方法：第2部分：氙弧灯](#)