

文章编号: 1003-1480 (2002) 03-0009-03

# 人工神经网络对混合点火药燃速的预测

陈西武<sup>1, 2</sup>, 秦志春<sup>2</sup>, 周彬<sup>2</sup>, 祝逢春<sup>2</sup>, 侯素娟<sup>2</sup>, 田桂蓉<sup>2</sup>, 徐振相<sup>2</sup>

(1. 中国兵器工业第213研究所, 陕西 西安, 710061; 2. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京, 210094)

**摘 要:** 以某混合点火药各组分含量作为药剂性能描述, 利用误差反传神经网络(BP网络)算法, 通过对9个配方药剂的训练建立了燃速与组成之间的定量关系模型, 并对另外9个配方混合点火药的燃速进行了预测。结果表明, 模型很好地反映了配比与燃速之间的关系, 预测值与实际测量值比较接近, 相对误差小于12%。该方法为混合药剂的研究和开发提供了一条新的途径。

**关键词:** 人工神经网络; 燃烧速度; 混合点火药

**中图分类号:** TP18; TQ038.1      **文献标识码:** A

## Prediction for the Burning Rate of Igniting Mixture by Artificial Neuron Network

CHEN Xi-wu<sup>1, 2</sup>, QIN Zhi-chun<sup>2</sup>, ZHOU Bin<sup>2</sup>, ZHU Feng-chun<sup>2</sup>, HOU Su-juan<sup>2</sup>, TIAN Gui-rong<sup>2</sup>, XU Zhen-xiang<sup>2</sup>

(1. The 213 th Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an, 710061;

2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094)

**Abstract:** A computational paradigm is presented for making rapid and accurate estimations of burning rates for igniting mixtures by back-propagation neuron networks. Quantitative relational model between burning rate and combination has been established by training for 9 mixtures. Prediction has also been conducted for the other 9 mixtures. The results show that the neuron network is capable of efficiently formulating the correlations necessary to make accurate predictions and the prediction error less than 12%. This method has been proven to be efficient for the development of igniting mixture.

**Key words:** Ignition mixture; Artificial neuron network; Burning rate

人工神经网络(Artificial Neuron Networks), 是基于模拟人脑智能特点和结构的一种信息处理系统, 具有并行分布处理与存储、高度容错、自组织、自适应和自学习功能, 能分析处理模拟的、模糊的、随机的信息, 被广泛应用于模式识别、信号处理及预测、智能控制与决策、系统(组合)优化等各个领域<sup>[1~2]</sup>。由于它是一种典型的黑箱方法, 不需要了解输入输出之间的相互关系, 依靠其自学习功能根据样本信息自动寻找输入输出的相互关系, 因而在研究复杂系统或系统内复杂关

系上具有独特的优越性<sup>[3]</sup>。

含能材料的输出性能受很多因素的影响, 这些因素有来自材料本身的化学结构方面的, 也有其物理状态方面的, 还有合成以及成型工艺方面的。同时含能材料的合成、测试等研究又涉及诸多危险工序, 因此利用人工神经网络对含能材料进行预先研究具有重要的意义。文献<sup>[4~5]</sup>中用人工神经网络对炸药的分子结构和爆速及装药密度的关系进行了研究。

混合火工药剂具有性能可调、制造方便的特

收稿日期: 2002-05-30

作者简介: 陈西武(1968—), 男, 在读博士研究生, 从事火工技术研究。

点, 在火工领域占据重要位置, 然而因为混合药剂的成分多, 各组分性质、含量、物理状态以及成型工艺等对输出性能的影响各不相同, 因此在配方设计上往往需要进行大量的试验, 投入大量的人力、物力, 并经受危险品试验的潜在危险<sup>[6-7]</sup>。本文利用误差反传神经网络 (Back-Propagation Network, 简称 BP 网络) 对某 4 组分混合点火药的组成与燃速的关系进行了模拟, 建立并驯化了适用于该系统的 BP 网络, 预测并测试了几个典型配方的燃速, 取得了满意的结果。

## 1 网络结构设计、驯化及预测结果

以药剂中各组分所占的百分比这个药剂的属性作为网络预测的输入值, 以每个配方对应的燃烧速度作为网络预测的目标值, 采用目前比较成熟而且应用最广泛的 BP 神经网络, 如图 1 所示。输入层有 9 个神经元, 输出层 1 个神经元, 增加一个含有 4 个神经元的隐层, 网络中同层各神经元之间互不连接, 相邻层的神经元通过权连接。药剂配方数据经过归一化处理输入到输入层各点, 再通过适当的权重和作用函数转换下耦合到隐层各点, 然后在传输函数和输出层权重下通过输出层输出, 将输出数据与学习样本的目标数值进行比较, 之间的误差沿原通道返回, 反复学习并修正各层神经元的连接权重, 进行全局逼近, 使误差达到最小。

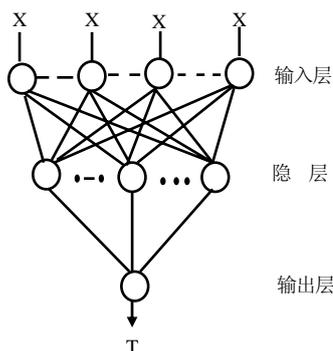


图 1 药剂配方与燃速预测中神经网络结构示意图

利用耐水药试验中的 1 组正交测试及结果对上述网络进行驯化, 用驯化后网络对其他 9 个配方的燃速进行了预测, 并与实际测量值进行了对比。表 1 和表 2 分别给出了驯化网络的预测与实测结果和实际预测时耐水药配方——燃速关系的预测与实

测结果。图 2 为网络预测值与实际测量值的直观对比。

表 1 网络驯化结果预测值与实际测量值的比较

序号	配方 / %				燃烧速度/(mm·s <sup>-1</sup> )		误差 / %
					预测值	实测值	
1	30	2.8	1.2	66.0	10.50	10.5	0
2	30	3.3	2.1	64.6	5.10	5.1	0
3	30	3.8	3.0	63.2	3.10	3.1	0
4	34	2.8	2.1	61.1	5.90	5.9	0
5	34	3.3	3.0	59.7	3.40	3.4	0
6	34	3.8	1.2	61.0	7.60	7.6	0
7	38	2.8	3.0	56.2	3.80	3.8	0
8	38	3.3	1.2	57.5	9.70	9.7	0
9	38	3.8	2.1	56.1	4.90	4.9	0

表 2 网络预测值与实际测量值的比较

序号	配方 / %				燃烧速度/(mm·s <sup>-1</sup> )		误差
					预测值	实测值	
1	33	3.3	1.0	62.7	8.95	8.9	0.562
2	33	3.0	1.1	62.9	9.05	8.4	7.738
3	36	3.0	1.5	59.5	8.51	8.3	2.530
4	36	3.3	1.7	59.0	7.52	7.0	7.428
5	36	3.3	1.8	58.9	7.16	6.8	5.294
6	33	3.3	2.0	61.7	6.51	5.9	10.34
7	34	3.0	1.3	61.7	8.82	7.9	11.64
8	36	3.6	2.4	58.0	5.12	5.3	-3.396
9	33	3.6	2.8	60.6	4.45	4.5	-1.111

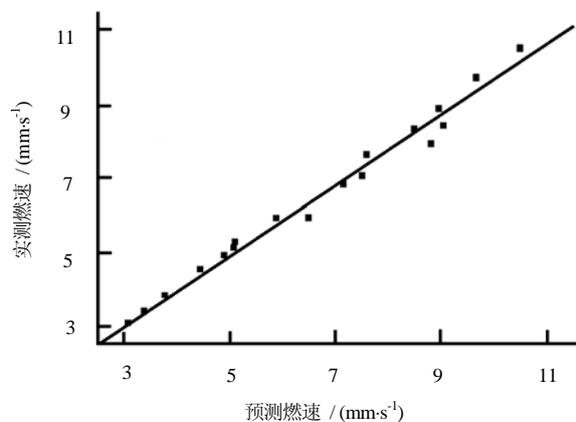


图 2 药剂燃速网络预测值与实际测量值的对比  
由表 1 数据可以看出, 网络经过几十次驯化后

就达到预设的误差要求, 预测值与目标值完全相等。另外9个配方燃速的预测值与实际测量值也相当接近, 相对误差在12%以内。图2是药剂燃速网络预测值与实际测量值的对应关系, 从中可以直观的看出驯化和预测效果。预测结果表明, 用人工神经网络对该混合药剂配方组成与燃烧速度建立对应数值关系是成功的, 基本上能够反映配方与燃烧速度之间的规律, 从而可以减少药剂研究、开发过程中的试验次数。

### 3 结果分析与讨论

人工神经网络已经广泛应用于工业生产及科研开发等很多领域, 本文仅用了9个混合火工药剂配方与燃速关系的数据对, 驯化了一个3层BP网络, 然后利用驯化后的网络预测了另外9个配方的燃烧速度, 并用实际测量进行了验证。结果表明该BP网络成功的建立了该混合火工药剂配方与燃速之间的对应关系, 预测精度比较好, 相对误差不大于12%。

尽管上述的预测结果和实测结果比较接近, 但是几个配方的预测值与实测值之间仍然有较大的偏差, 出现这种结果的原因主要有2个方面, 第一是网络驯化用样本量太少, 代表性不是特别强, 其中还难免有因为操作等原因带来的大误差点; 第二危险品操作中能带来偏差的因素太多, 同样的配方混合顺序差异、混合时间差异、原材料称量误差、原材料取样不均匀、药柱压制压力的偏差、测试偏差等都会导致结果的偏差。尤其是第一点, 当误差较大的数据作为预测基础数据时, 网络并不对数据进行合理性判断, 仅通过自学习建立对应的预测模型, 这样的模型显然不是太好, 特别是当驯化用数据非常少时, 网络通过有限次的调整总可以得到一

组权值使得预测值与目标值之间的偏差为零(表1), 它就将原始数据对中的误差带入模型, 而当驯化用数据对比较多, 也就是说样本量特别大时, 样本不仅能反映数据对之间的普遍规律, 同时还可以消除测试中的随机误差, 网络在有限次驯化后往往也只能得到一个很逼近的模型, 该模型使得样本中数据对的整体偏差最小, 这样的模型显然更客观。

总之, 通过上述驯化和预测表明, 人工神经网络可以对混合火工药剂组成与燃速关系进行建模, 合适的模型也能反映两者之间的客观规律, 进一步展开研究, 人工神经网络技术有望在混合火工药剂的研究、开发中发挥更大作用, 以期达到快速、经济、安全的进行混合火工药剂的研究和开发。

#### 参考文献:

- [1] 王伟. 神经网络原理与应用[M]. 北京航空航天大学出版社, 1995.
- [2] 党建武. 神经网络技术及应用[M]. 中国铁道出版社, 2000.
- [3] 胡守仁等. 神经网络应用技术[M]. 国防科技大学出版社, 1993.
- [4] 黄俊等. 人工神经网络法预测炸药爆速的研究[J]. 火炸药学报, 2000, 22(1): 34.
- [5] 荔建锋等. 人工神经网络用于PBX炸药装药密度的研究[J]. 火炸药学报, 1997, 19(2): 26.
- [6] Bramka R. et al. Risk assessment of pyrotechnic compositions [C]. Proc. Int. pyrotech. Semin. 1994, 20<sup>th</sup>: 121.
- [7] 劳允亮. 火工药剂的现状与发展[J]. 火工品, 1995, (4): 25.

## 勘 误

《火工品》杂志2002年第2期第17页“其原因是酒精具有在电极塞表面的可溶性导电物更彻底一些。”应为“其原因是酒精具有脱水作用, 而无水乙醇脱水的效果更好, 清洗残留在电极塞表面的导电物更彻底一些。”特此更正。