

doi: 10.7690/bgzd.2020.02.015

# 基于 BP 神经网络的转筒式称量系统的称量效率预测

许杰淋, 何 川, 周丽娟, 王雪晶

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为解决普通数理方法难以进行转筒式称量效率预测的问题, 基于 BP 神经网络, 建立人工神经网络算法模型。对模型输入项进行分析, 找出影响称重效率的重点关联因素, 研究在 5 种输入层因素下, 模型称量效率的预测精度, 并进行仿真分析。结果表明: 该模型能有效预测转筒式称量方式的称量效率, 且预测精度较高。

**关键词:** BP 神经网络; ANN 预测模型; 称量效率; 预测精度

**中图分类号:** TP15 **文献标志码:** A

## Weighing Efficiency Prediction in Rotor Weighing System Based on BP Neural Network

Xu Jielin, He Chuan, Zhou Lijuan, Wang Xuejing

(Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** The artificial neural network (ANN) prediction model based on BP neural network is built to predict the weighing efficiency of rotor weighing machine which is difficult to carry out by ordinary mathematical methods. The key factors of the weighing efficiency are found by analysis of the input layers. The prediction accuracy of the weighing efficiency of the model is studied under 5 kinds of input layer factors, and the simulation analysis is carried out. The results show that the model can effectively predict the weighing efficiency of the rotary weighing method, and the prediction accuracy is high.

**Keywords:** BP neural network; ANN prediction model; weighing efficiency; prediction accuracy

### 0 引言

精确称量是人类日常生产活动中必不可少的重要环节。转筒式称量装置作为一种新型的称量方式, 称量精度较高, 能够适用于多种不同物性物料的精准确量<sup>[1]</sup>。转筒秤多用于一次称量多组物料の場合, 且每组物料称量时间比传统的计量板称量、勺型称量等方式长<sup>[2]</sup>, 为准确预测转筒式群模称量方式的效率, 找到最合适的操作条件显得尤为重要。

影响转筒秤称量效率的因素众多, 比如转筒的俯仰角、转筒的快转速及快转速目标值、慢转速、补偿值等。由于这些因素对称量效率的影响较复杂, 因素之间也相互关联、耦合, 所以这些因素与称量效率之间存在着典型的非线性关系, 普通的曲线拟合方式难以分析出它们之间的关系。BP 神经网络多用于分析非线性关系的場合<sup>[3]</sup>。笔者基于 BP 神经网络, 建立了人工神经网络 (artificial neural networks, ANN) 算法模型, 对转筒式称量方式进行效率预测。

### 1 ANN 模型建立

#### 1.1 BP 神经网络的机理

ANN 是研究输入与输出之间复杂关系的一种人工智能算法, 不需要事前确定输入与输出之间的数学隐射关系, 通过对大量数据的学习、对自身算法参数的训练, 模拟出输入与输出之间的关系规则, 从而得出一定输入情况下的输出。BP 神经网络将误差反向传播, 修正网络中的权值、阈值, 使误差沿梯度较小的方向下降, 经过大量反复的数据训练, 确定出最优的网络参数。此时用网络预测某输入的输出, 使预测输出与实际输出误差最小, 达到准确预测目的<sup>[4-5]</sup>。

#### 1.2 BP 神经网络的结构

BP 神经网络结构模型拓扑结构包括输入层、隐含层和输出层 3 层。在向前传递过程中, 输入信号从输入层经隐含层逐层处理, 直到输出层。每一层的神经元信号只直接传递给下一层神经元, 如果输

收稿日期: 2019-10-26; 修回日期: 2019-12-03

作者简介: 许杰淋(1986—), 男, 四川人, 硕士, 工程师, 从事工业自动化设备结构设计和装药工艺研究。E-mail: swairobot@163.com。

出层得不到理想的输出，输出误差则反向传递，BP 神经网络通过误差值大小调整权值和阈值，使预测输出不断逼近期望输出，达到最优输出。BP 神经网络的拓扑结构如图 1 所示。

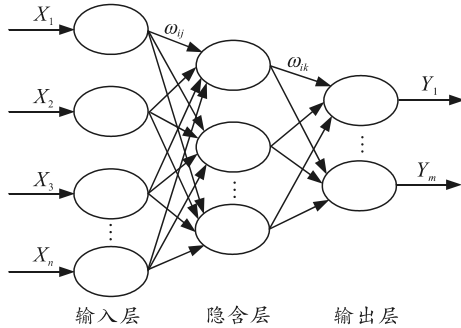


图 1 BP 神经网络拓扑结构

图中： $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  是 BP 神经网络的输入值，主要由影响输出结果的因素构成； $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$  是 BP 神经网络的输出值，输出值可以是单一或者多重； $\omega_{ij}, \omega_{ik}$  是网络模块的权值、阈值。这些参数影响着整个网络的映射关系。整个神经网络就构成了一个从  $n$  个自变量到  $m$  个因变量的映射函数。

ANN 模型部分代码：

数据导入

```
Num=xlsread('test.xlsx','sheet3','B2:G101');
```

%表格数据导入

```
Input_train=num(2:91,1:5);
```

%训练组数据导入

```
output_train=num(2:91,6);
```

%训练组数据导入

```
Input_test=num(92:101,1:5);
```

%测试组数据导入

数据归一化

```
[inputn,inputps]=mapminmax(input_train);
```

%数据归一化

```
[outputn,outputps]=mapminmax(output_train);
```

%数据归一化

初始化网络

```
net=newff(inputn, outputn, 6);
```

%神经网络参数设置

```
net.trainparam.epochs=100;
```

```
net.trainparam.lr=0.1;
```

```
net.trainparam.goal=0.0004;
```

```
net=train(net,inputn,output);
```

%网络训练

### 1.3 BP 神经网络的算法流程

BP 神经网络的算法流程如图 2 所示，其优异的

数据推理能力体现在：1) 理论上，3 层的神经网络能以任意精度逼近任何非线性连续函数；2) 具有优良的自学习和自适应能力，在训练过程中，神经网络能自动提取输入与输出之间的复杂函数关系，并通过不断的反馈学习修正权值、阈值，最终提高预测精度。

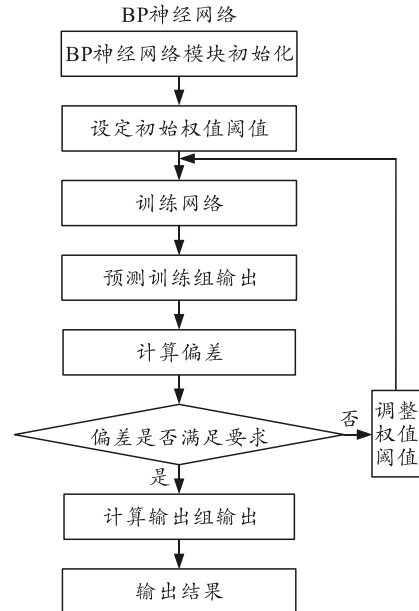


图 2 遗传算法优化的 BP 神经网络模型结构

## 2 仿真实验

### 2.1 影响转筒秤称量效率的因素分析

#### 2.1.1 转筒秤称量效率

转筒秤称量多为一次性群模称量，工艺要求对最终称量结果有称量精度要求。根据精度去划分最终称量的合格数  $n$  与不合格数  $m$ ，且每一次称量会花费一定的时间  $t$ ，则称量效率  $p$  定义为单位时间内称量符合精确要求的合格数：

$$p = n / t; \tag{1}$$

$$q = n + m. \tag{2}$$

其中  $q$  为群模数量，在设备一定的情况下， $q$  为确定整数。

#### 2.1.2 转筒俯仰角

一般转筒沿出料方向向下倾斜，倾斜方向与水平方向形成一定夹角，称之为转筒俯仰角  $\alpha$ 。如图 3 所示，由于倾斜角的存在，转筒在转动时，物料沿倾斜方向下滑，最终落入称量漏斗中，倾斜角的大小决定了物料下滑的速度，倾斜角越大，物料下料越快，不易控制最后下料量；倾斜角越小，物料下料越慢，易于控制最后下料量。倾斜角大小直接影

响转筒秤称量效率。

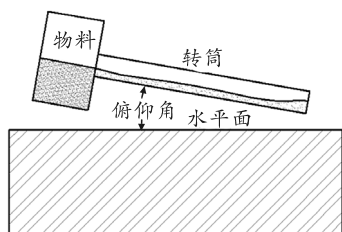


图 3 转筒秤

### 2.1.3 快速称量目标值、快速转速及慢速转速

快速、慢速称量实际是转筒称量中的粗加、精加阶段，快速目标值是当物料漏斗中物料达到目标值时，快速称量与慢速称量的转换分界点。快速阶段目标值及快慢转速设定直接影响称量的速度和最终称量合格数的占比。例如慢速转速设置过低，结果为称量的速度很慢， $t$  值较大，但合格数  $n$  值会较高，最终影响称量效率。

### 2.1.4 补偿值

转筒出口与称量漏斗之间有一定的垂直距离，当转筒停止转动的时候，这段距离中有一定的滞空物料，滞空物料最终会落入称量漏斗中，所以，用补偿值来权重滞空物料，按补偿值大小提前结束称量过程，以保证准确称量。补偿值大小直接影响称量效率。

$$M_f = M_t + M_c \quad (3)$$

其中： $M_f$  为最终称量值； $M_t$  为称量停止设定值（一般设为固定值）； $M_c$  为称量补偿值。

## 2.2 确定模型输入及算法公式

从因素分析中可知：转筒俯仰角、快速转速及目标值、慢速转速、补偿值大小直接影响转筒秤最终称量合格数、称量速率和称量效率。以上因素都应作为 BP 神经网络的输入层。

$$x_i = \{\alpha, v_k, M_k, v_l, M_c\} \quad (4)$$

其中： $x_i$  为输入层向量组； $v_k$  为快速转速； $M_k$  为快速转速目标值； $v_l$  为慢速转速。

在输入层确定的情况下，采用 S 型激励函数以及适当的初始权值、阈值进行输出计算：

$$M_f = f \left\{ \sum_{i=1}^{\beta} w_i x_i - \theta \right\} \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

其中： $f(x)$  为 S 型激励函数； $w_i$  为算法权值； $\theta$  为

算法阈值。

## 2.3 模型预测

实验设定：在其他实验参数一定的情况下，事先采集 100 组称量实验数据。如表 1 所示，这些数据的输入层数据不同，即俯仰角、快速值、快速目标值、慢速值和补偿值 5 种因素的数据有差异。

表 1 ANN 模型输入层数据

序号	俯仰角/ (°)	快速值/ (r/min)	快速目标值/ mg	慢速值/ (r/min)	补偿值/ mg
1	10	60	190	2.0	1.2
2	8	65	185	2.5	0.8
3	11	62	187	1.8	0.9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
98	11	68	191	2.2	1.2
99	12	55	192	1.0	1.1
100	15	70	188	1.6	1.0

设置训练组数为 90 组和输出组数为 10 组，预测各种输入层数据组合情况下对应的称量效率  $P$ 。实验物料为季戊四醇，单模称量值 200 mg，精度  $\pm 2$  mg，在精度范围内为合格品，群模数 30 个。预测结果如表 2 所示。

表 2 预测误差分析

序号	实际称量效率/ (个/min)	预测称量效率/ (个/min)	预测误差/ %
91	1.885	1.952	3.6
92	1.725	1.757	1.9
93	1.913	1.938	1.3
94	1.822	1.783	2.1
95	2.052	2.098	2.2
96	2.074	2.029	2.2
97	1.865	1.805	3.2
98	1.752	1.661	5.2
99	1.921	1.973	2.7
100	2.129	2.161	1.5

## 2.4 仿真结果与分析

如图 4、图 5 所示，在不同的输入层数据组合中，预测效率与实际效率的误差基本在 5% 以下，平均误差为 2.6%。结果表明：ANN 模型经过 90 组数据训练后，能够准确地预测输出组 10 组称量效率数据，模型的预测精度较高。

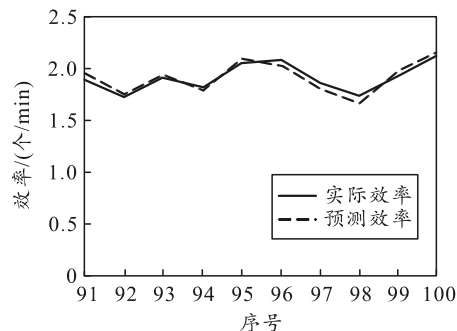


图 4 实际、预测效率分布

第三联动设备混同装置结构如图 8 所示，分料器匀速旋转，经分料过度装置、下料过度装置将发射药均匀分配在 28 格的存料仓里，28 格存料仓先后一格一格放料，实现一次混同。

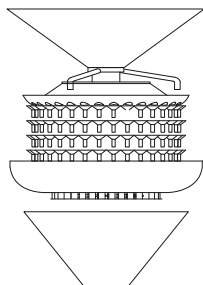


图 8 第三联动混同装置结构

#### 4.3 优缺点分析及改进设计

第三联动设备的优点是生产过程连续化，可适应多种类型的粒状发射药，混同均匀性较好；缺点是占地面积大，现场存药量多，混同效率较低。

笔者针对第三联动混同设备的不足，加快物料传输速度，同时可在第 2 次混同循环开始时，根据药的品号和挥发份差距加入未混同的药粒，按照一定的算法和实验数据确定回流比，以提高混同效率。

### 5 结束语

由于在发射药加工过程中去除了溶剂与水分，

\*\*\*\*\*

(上接第 65 页)

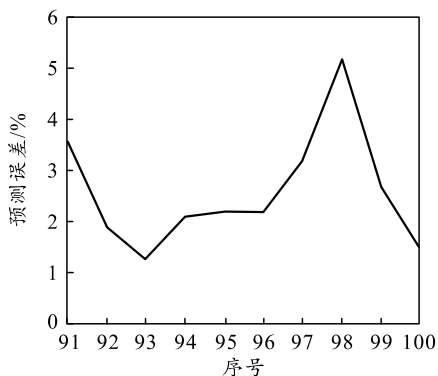


图 5 预测误差分布

### 3 结束语

根据上述实验分析，确定了文中研究对象 ANN 模型的预测精度，在选取了合适的输入层因素后（其中包括俯仰角、快速值、快速目标值、慢速值、补偿值），基于 BP 神经网络的 ANN 模型能够有效地预测转筒式称量方式的称量效率，且预测的平均误

干燥的发射药成品是处于生产过程中敏感最高的状态，以上 4 种混同方式通过先进的自控技术实现既定的工艺路线，形成发射药混同自动化生产线集成控制方法，控制所有阀门的开闭和电机的启停，对特定位置的特定参数进行检测，并及时进行信号反馈，可按照工艺的构想完成操作，在关键控制位置安装监视系统，中心监控室远程可视化操作<sup>[4]</sup>。通过先进控制技术的运用，均能实现混同过程的连续化、自动化，人机隔离操作，下一步将针对混合均匀度<sup>[5]</sup>和混同能力进行研究，达到安全、高质量、高效率混同的目的。

#### 参考文献：

- [1] 任务正, 王泽山, 杨红梅, 等. 火炸药理论与实践[M]. 北京: 中国北方化学工业总公司, 2001: 313-316.
- [2] 一种粒状发射药混同工艺方法: 中国, ZL 200610055842. 2[P]. 国防发明专利, 2011.
- [3] 一种粒状发射药混同工艺: 中国, ZL 200910120404. 3[P]. 国防发明专利, 2013.
- [4] 张洪林, 李洪叶, 刘宝民, 等. 发射药制造过程中静电产生机理及控制措施[J]. 兵工自动化, 2018, 37(12): 77-80.
- [5] 谭敏, 邓维平, 张永明. 粒状发射药自动化混同工艺混合均匀度[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(3): 81-83.

差为 2.6%，预测精度较高。此结果说明：BP 神经网络模型具有良好的自适应和自学习能力，ANN 算法能够应用于转筒式称量方式的称量效率预测，具有较大的实际生产指导意义。

#### 参考文献：

- [1] 朱珠, 张博, 刘彬. 发射药自动称量技术对比及发展分析[J]. 机械与电子, 2015(4): 75-78.
- [2] 朱全松, 虞波. 一种发射药高精度计量称装药技术[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(9): 133-135.
- [3] 薛雪东, 程旭德, 徐兵, 等. 基于 BP 神经网络的导弹故障诊断专家系统设计[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(4): 54-56.
- [4] 谢宇, 韩保红, 段云龙. 基于神经网络 PID 控制的颗粒物料称量系统[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(9): 15-17.
- [5] 庄育锋, 胡晓瑾. 基于 BP 神经网络的微量药品动态称重系统非线性补偿[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(8): 1914-1920.