

# 基于模糊综合与神经网络的制丝 工艺多因素评价模型

Application of fuzzy comprehensive and Neural network evaluation  
models on tobacco primary processing line quality

王晓娟

WANG Xiao-juan

(贵州中烟工业有限责任公司贵定卷烟厂, 贵州 贵定 551300)

(China Tobacco Guizhou Tobacco Industrial Co., Ltd., Guiding cigarette factory, Guiding, Guizhou 551300, China)

**摘要:**为解决将制丝工艺质量、设备运行状态、生产消耗作为影响因素联合对制丝工艺进行综合等级判定的问题,建立了基于层次分析法、线性投影法的多因素模糊综合评价模型和神经网络评价模型。通过对甲乙丙 3 个班组 9~12 月份质量系数、断料情况进行建模,表明:神经网络评价模型既可以用于验证多因素模糊综合评价模型的合理性与准确性,也可独立对制丝工艺综合等级进行判定。两种方法相结合,互相验证,为提高制丝工艺综合生产水平提供了科学、简洁的依据,对查找工艺质量、设备运行状态、生产消耗指标下的各项不良因素提供了支持。

**关键词:**制丝工艺;层次分析法;多因素模糊评价模型;隶属函数;神经网络评价模型

**Abstract:** To solve the problems on determining comprehensive level of pipe tobacco technology via pipe tobacco quality, equipment operation and production consumption, the Fuzzy comprehensive and neural network evaluation models were built based on analytic hierarchy process, linear projection method. The modeling results of the three groups based on the mass coefficient and cutting material condition from September to December indicated that neural network evaluation model could not only verify the rationality and accuracy of multi-factor fuzzy comprehensive evaluation model, but also could independently determine the comprehensive level of pipe tobacco technology. It not only offers scientific evidence to improve production levels of pipe tobacco, but also provides support to find negative factors in process quality, equipment operation and production consumption by combing with the two methods.

**Keywords:** Tobacco primary processing line quality; Analytic Hierarchy Process; Multi-factor fuzzy comprehensive evaluation model;

**作者简介:** 王晓娟(1973—),女,贵州中烟工业有限责任公司贵定卷烟厂工程师。E-mail: xj0357@sina.com

**收稿日期:** 2017-03-09

Membership; Neural network evaluation model

制丝过程是稳定产品质量、降低原辅料消耗的重要环节。过程能力指数是指过程能力满足产品质量标准要求的程度,在过程能力判断基准的 5 个等级中,当过程能力指数处于特级水平( $\geq 1.67$ )后,可以考虑简化管理、降低成本。目前烟草行业制丝生产设备先进、产品质量稳定,多家卷烟厂正在进行易地技改,因此建立一套制丝工艺综合评价体系显得尤为重要。传统的制丝工艺评价以各工序质量系数为基础,对工艺质量指标和感官质量综合评价与判定,根据结果设置各生产工序适宜的工艺技术参数<sup>[1]</sup>。2016 年新版卷烟工艺规范<sup>[2]</sup>指出:应定期开展工艺消耗评价,验证工艺消耗控制效果,并结合工艺消耗指标完成情况,对造成物料高耗的工序、流程、操作方法等进行改进。在过程能力指数普遍处于特级水平的前提下,建立基于工艺质量、设备运行状态、生产消耗三者结合的制丝工艺综合评价体系,更符合新形势下的发展需求。目前对制丝过程参数的研究已较为广泛,如刘继辉等<sup>[3]</sup>应用随机森林回归的方法对制丝过程参数权重进行分析;熊安言等<sup>[4]</sup>研究了叶丝加料工序工艺参数对加料效果的影响;刘晓龙等<sup>[5]</sup>运用专家矩阵分析卷烟制造过程特性参数与需求参数之间的关联程度;张涛等<sup>[6]</sup>研究了制丝工艺参数对 9 种主流烟气成分释放量的影响。对于成品的综合评价研究也较为成熟,如陶永峰等<sup>[7]</sup>运用 Z 比分数与模糊 AHP 相结合的评价模型,对卷烟成品实验室检测能力进行评价,有较好的应用效果。而直接对制丝工艺综合评价体系的研究则较少,因此建立评价模型对制丝工艺进行综合评价非常必要。多因素模糊综合评价模型用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象作出一个总体的评价,能较好地解决模糊的、难以量化的问题。本试验拟采用多因素模糊综合评价模型对制丝工艺综合评价进行建模。并引入神经

网络模型在学习已有评价因素与分数的前提下,预测已知评价因素的综合评价分数并作对比。其最终目的是对不同班组制丝工艺综合评价等级进行对比,不同班组、不同时间的评价等级形成对标,给出影响评价等级的因素,提高工艺质量、设备运行状态、生产消耗影响下的制丝工艺综合生产水平。

## 1 模型建立

### 1.1 多因素模糊综合评价模型

对于“制丝工艺综合评价”这一模糊的概念,用精确数学无法准确地界定制丝工艺综合能力属于何种水平,而从模糊数学的观点来看,对于制丝工艺综合评价体系,尽管无法界定它的能力究竟属于哪个级别,但是可以评价制丝工艺综合能力属于某个或某几个级别的程度,这种程度即可量化为隶属度。

在权重的计算过程中,运用了层次分析法<sup>[8]</sup>对权重进行量化计算。在计算隶属程度时,对原始数据进行无量纲化处理,无量纲化处理采用了基于“线性投影法”的模型,用处理后的数据作为各个因素的评价指标,保证了结果的精确性。

多因素模糊评价方法操作步骤为<sup>[9]</sup>:

(1) 建立评价对象因素指标集合  $Z = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$ , 其中  $x_1 \sim x_{10}$  对应的因素指标数据为无量纲化后的数据。

(2) 建立待评定对象集合  $N = \{N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_{10}, N_{11}, N_{12}\}$ , 数据来自甲乙丙3个班组4个月的生产数据。

(3) 建立评价等级集合  $P = \{A, B, C, D, E\}$ 。

(4) 建立多因素评价映射体系,即对  $Z$  中的每个元素  $x_i, (1 \leq i \leq 10)$ , 分别建立  $x_i, (1 \leq i \leq 10)$  到  $P$  的隶属函数映射  $F_{x_i}$ , 在每个  $F_{x_i}$  中, 建立单因素评价映射:

$$f: x_{ij} \rightarrow P \quad \forall x_{ij} \in x_i \quad \text{其中 } j=1, 2, \dots, 10.$$

(5) 根据即隶属函数,对集合  $N$  中的每个班组分别计算多因素模糊判断矩阵  $R_{N_j} (j = 1, 2, \dots, 10)$ 。

(7) 建立综合评判体系:由于评价对象因素集合  $Z$  中各个因素的权重各不相同,利用多层次分析法逐层计算10种因素的权重集合  $\omega = \{\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \omega_{14}, \omega_{21}, \omega_{22}, \omega_{31}, \omega_{32}, \omega_{33}, \omega_{34}\}$ , 在得出  $\omega$  与  $R_{N_j}$  的值之后,利用公式:  $l_j = \omega \times R_{N_j}$  计算出综合隶属程度向量  $l_j (j = 1, 2, \dots, 10)$ 。

(7) 最终将指标集合  $P$  中的等级均匀量化,分别给定  $P$  中每一个评价指标的量化分值,得到一个量化分值矩阵,记作  $F_p = (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$ , 则  $F_p \times l_j^T$  即为最终制丝工艺综合评价分数。

### 1.2 神经网络评价模型

基于神经网络<sup>[10]</sup>的多因素综合评价方法通过神经网络的自学习、自适应能力和强容错性,建立更加接近人类思维模式的综合评价模型。训练好的神经网络把专家的评价思想以连接权的方式赋予于网络上,这样该网络不仅可以模拟专家进行定量评价,而且避免了评价过程中的人为失误。由于模型的权值是通过实例学习得到的,避免了模糊综合评价方法人为计取权重和相关系数的主观影响和不确定性。本

试验采用 T-S 模糊神经网络模型<sup>[11]</sup>,分为输入层、模糊化层、模糊规则计算层和输出4层。输入层与输入向量连接,节点数与输入向量的维数相同。模糊化层采用隶属度函数对输入值进行模糊化得到模糊隶属度值。学习算法:①对误差进行计算,其公式为:  $e = \frac{1}{2} (y_d - y_c)^2$ ,  $y_d$  是网络期望输出,  $y_c$  是网络实际输出,  $e$  是网络实际输出与期望输出的误差;②对神经网络系数、网络学习率进行计算。神经网络评价模型算法流程图见图1。

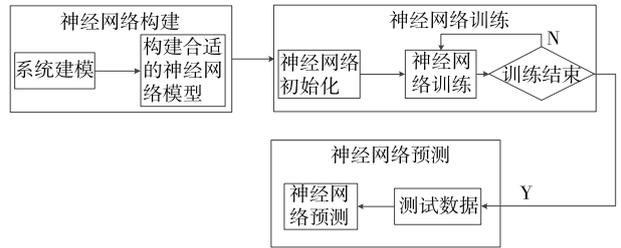


图1 神经网络评价模型算法流程

Figure 1 Algorithm process of neural network evaluation model

## 2 制丝工艺综合评价模型应用

以松散回潮工序质量系数、加料工序质量系数、烘丝及混丝加香工序质量系数、梗加香工序质量系数、断料次数、断料时间等10个主要因素作为评价对象,以2016年制丝车间某A类卷烟9~12月份甲乙丙3个班组的生数据作为待评定对象。建立5个等级的评语集,对制丝工艺进行综合评价。

### 2.1 评价指标结构及因素

制丝工艺综合评价指标体系结构见图2。

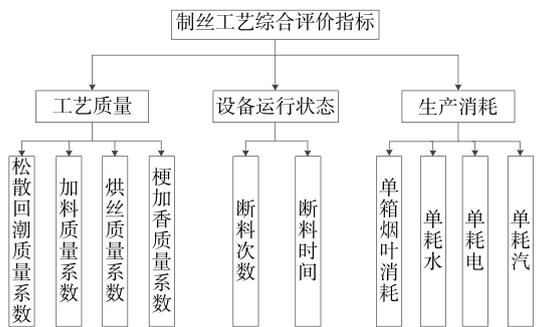


图2 制丝工艺综合评价指标体系

Figure 2 Comprehensive evaluation index system of tobacco primary processing line quality

### 2.2 计算各指标的权重

利用多层次分析法计算各指标的权重,如  $\omega_1 = (0.636\ 98, 0.104\ 71, 0.258\ 31)$ 。计算结果通过一致性检验,其余权重见表1。

### 2.3 “线性投影法”对原始数据无量纲化处理

传统处理方法以理想指标值经无量纲化处理后为“1”,对单向指标进行归“1”化处理。其优点是确保处理后的单向

表 1 各指标对应的权重<sup>†</sup>

Table 1 The weight of various indicators

子目标	权重	指标层指标	权重
工艺质量	0.636 98	松散回潮质量系数	0.106 17
		加料质量系统	0.106 17
		烘丝质量系数	0.318 47
		梗加香质量系数	0.106 17
设备运行状态	0.104 71	断料次数	0.052 35
		断料时间	0.052 36
生产消耗	0.258 31	单箱烟叶消耗	0.161 44
		单耗水	0.032 29
		单耗电	0.032 29
		单耗汽	0.032 29

† 目标为制丝工艺综合评价指标,其权重为 1。

指标值  $x \in [0, 1]$ , 各项指标散布较均匀, 综合水平值直观性较好; 缺点是理想指标值主观性较大, 准确性难以保证。线性投影法是采用一元线性方程将原始数据无量纲化处理的一种方式。本试验采用“线性投影法<sup>[12]</sup>”: ① 使各指标无量纲化处理后的评价标准值在 (0, 1) 范围内, 也避免了因指标原始值大小与散布程度使评价结果的失真; ② 避免了因选取理想指标值的主观性而造成的误差, 使得问题的处理更加准确。

用“线性投影法”对原始数据进行无量纲化处理: 将所选取的 10 项因素原始值在 (0, 1) 区间内投影, 采用的线性相对量化数学模型为:

$$y_i = bx_i' + c, \quad (1)$$

式中:

$x_i'$  —— 各个因素原始值;

$y_i$  —— 投影法处理后的各个因素标准值;

$b, c$  —— 待定系数。

这里需要引入有关“正指标”“逆指标”的概念, 通俗的解释就是: 某因素的数值越大, 该因素的影响力越强, 那么该因

素就是“正指标”; 如果相反就是“逆指标”。本文所选取的工艺质量因素的松散回潮工序质量系数、加料工序质量系数、烘丝及混丝加香工序质量系数、梗加香工序质量系数 4 项指标为“正指标”, 其余 6 项指标为“逆指标”。

当  $x$  为“正指标”时按式(2)进行具体计算:

$$y = f(x) = \begin{cases} 1, & x = 2\max\{x_i'\} \\ 0, & x = 1/2\min\{x_i'\} \end{cases} \quad (2)$$

当  $x$  为“逆指标”时, 按式(3)进行具体计算:

$$y = f(x) = \begin{cases} 1, & x = 1/2\min\{x_i'\} \\ 0, & x = 2\max\{x_i'\} \end{cases} \quad (3)$$

将所统计的各个因素的数据分别代入式(2)、(3)得到  $x, y$  的值, 再代入式(1)得到各个因素对应的  $b, c$  值, 最后通过得到的各个因素不同的  $b, c$  值, 再分别将数据代入式(1)进行无量纲化处理。

按照上述方法, 将 10 项因素的所有数据无量纲化处理, 为了便于后期计算分析, 将无量纲化后的数据扩大 100 倍见表 2。

#### 2.4 运用模糊数学原理模型求解制丝工艺综合评价分数

建立隶属函数。制丝工艺综合评价分数各等级之间的差异基本相等, 因此采用梯形隶属度函数, 基本模型表达式见式(4), 为了便于后期计算分析, 将表 2 中的数据写成矩阵的形式,  $x_i (1 \leq i \leq 10)$  表示第  $i$  列列向量,  $\bar{x}_i (1 \leq i \leq 10)$  表示向量  $x_i$  中所有元素的平均值,  $s_i (1 \leq i \leq 6)$  表示向量  $x_i$  中所有元素的标准差。利用 Matlab 计算得到结果见表 3。

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{1}{c_1 - a}x - \frac{a}{c_1 - a}, & a \leq x \leq c_1 \\ 1, & c_1 \leq x \leq c_2 \\ \frac{1}{c_2 - b}x + \frac{b}{b - c_2}, & c_2 \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (4)$$

表 2 各指标无量纲化扩大 100 倍数据

Table 2 Expanded 100 times of various indicators

班组	月份	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
甲班	9	35.79	33.12	33.65	38.14	80.01	87.06	69.85	75.65	74.97	54.17
	10	35.32	33.30	33.51	36.58	80.01	83.53	66.81	78.75	61.36	81.58
	11	28.81	33.05	33.25	36.74	80.01	83.53	69.22	85.77	74.12	91.14
	12	28.42	33.15	33.29	39.50	93.34	90.59	74.05	79.33	71.44	87.48
乙班	9	34.80	33.49	33.73	22.02	66.68	50.59	70.26	78.72	77.28	86.47
	10	31.09	33.32	32.71	20.99	93.34	83.53	70.33	85.83	74.72	90.39
	11	25.85	32.91	33.49	21.69	53.35	75.29	70.53	81.43	64.52	91.28
	12	27.2	32.97	33.02	21.54	93.34	97.65	70.84	57.09	80.31	85.74
丙班	9	29.41	33.55	33.51	35.17	93.34	98.82	63.04	78.06	72.90	89.43
	10	28.86	33.10	33.10	35.98	53.35	63.53	66.84	73.08	73.63	88.77
	11	35.79	33.12	33.65	38.14	80.01	87.06	69.85	75.65	74.97	54.17
	12	35.32	33.30	33.51	36.58	80.01	83.53	66.81	78.75	61.36	81.58

表3  $\bar{x}_i$  与  $s_i$  的计算结果汇总表

Table 3 The calculation results of  $\bar{x}_i$  and  $s_i$

指标	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$\bar{x}_i$	30.56	33.20	33.33	30.84	78.68	81.41	69.18	77.37	72.53	84.65
$s_i$	3.55	0.21	0.32	8.07	15.96	14.92	2.98	8.16	5.66	11.10

根据模糊数学原理,需要将模糊评价分成多个等级,本试验将评价分成了5个等级,详见表4。

表4 制丝工艺综合评价分数级别定义

Table 4 Scores level definition of tobacco primary processing line quality comprehensive evaluation

级别	级别的详细定义	级别量化值
A	制丝工艺综合生产水平优秀,质量水平特级、设备运行状态良好、消耗低	90~100
B	制丝工艺综合生产水平良好,质量水平较高、设备运行状态较好、消耗较低	80~89
C	制丝工艺综合生产水平一般,质量水平有待提高、设备运行无明显故障、消耗较高	70~79
D	制丝工艺综合生产水平合格,质量有不合格情况、设备运行故障较少、消耗高,查找设备故障	60~69
E	制丝工艺综合生产水平不合格,质量水平明显不达标、设备带故障运行、消耗高,不可继续生产	0~59

由于每一组因素向量  $x_i$  的数据指标是独立的,所以这里将对每一个因素都建立一个5级评价的隶属函数,建立该隶属函数的依据:认为每组  $\bar{x}_i$  完全隶属于等级C(即隶属度为1),认为大于  $\bar{x}_i + \frac{3}{2}s_i$  的数值完全隶属于等级A,认为小于  $\bar{x}_i - \frac{3}{2}s_i$  的数值完全隶属于等级E,每个等级之间的距离均等(即a到z,y到f,e到o,p到b的距离相等),每个梯形部分对应的上底长相等,均为  $s_i$  的1/8。

现以  $x_1$  为例,计算隶属函数  $F_{x_1}$ ,具体表达式见式(5);对应隶属函数图像见图3。

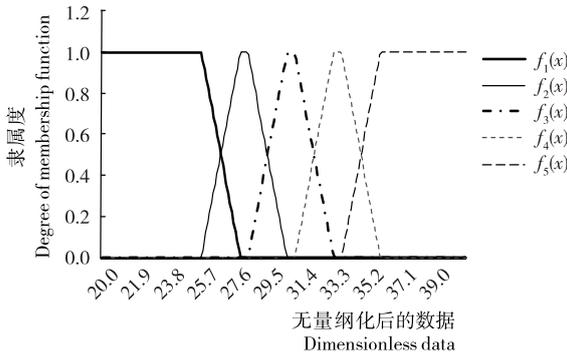


图3 隶属函数

Figure 3 Membership function

$$F_{x_1} \Rightarrow \begin{cases} f_1(x) = \begin{cases} 1, x \leq 25.425 \\ -0.466x + 12.848, 25.425 < x < 27.570 \\ 0, x \geq 27.570 \end{cases} \\ f_2(x) = \begin{cases} 0, x < 25.425 \\ 0.466x - 11.848, 25.425 \leq x \leq 27.570 \\ 1, 27.570 < x < 27.978 \\ -0.466x + 14.037, 27.978 \leq x \leq 30.122 \\ 0, x > 30.122 \end{cases} \\ f_3(x) = \begin{cases} 0, x \leq 27.978 \\ 0.466x - 13.037, 27.978 < x < 30.122 \\ 1, 30.122 \leq x \leq 30.531 \\ -0.466x + 15.227, 30.531 < x < 32.675 \\ 0, x \geq 32.675 \end{cases} \\ f_4(x) = \begin{cases} 0, x \leq 30.531 \\ 0.466x - 14.227, 30.531 < x < 32.675 \\ 1, 32.675 \leq x \leq 33.084 \\ -0.466x + 16.417, 33.084 < x < 35.228 \\ 0, x \geq 35.228 \end{cases} \\ f_5(x) = \begin{cases} 0, x \leq 33.084 \\ 0.466x - 15.417, 33.084 < x < 35.228 \\ 1, x \geq 35.228 \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

同理可得到剩余9组隶属函数。下面根据已经确定的隶属函数计算隶属度:以  $x_1$  因素的5个评价等级的隶属度为例,将表2中对应的数值代入隶属函数  $F_{x_1}$  中得:

$$F_{x_1}(35.79) = \begin{cases} f_1(35.79) = 0 \\ f_2(35.79) = 0 \\ f_3(35.79) = 0 \\ f_4(35.79) = 0 \\ f_5(35.79) = 1 \end{cases}$$

为了方便计算,将计算的数据写成矩阵的形式

$$R_{N_1} - R_{N_{12}} : \begin{matrix} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.7296 & 0.2704 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7234 & 0.2766 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7797 & 0.2203 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4837 & 0.5163 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5323 & 0.4677 & 0 \\ 0 & 0.2761 & 0.7239 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2141 & 0.7859 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ \\ \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.65 & 0.35 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2597 & 0.7403 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1476 & 0.8524 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7797 & 0.2203 & 0 \\ 0 & 0 & 0.849 & 0.151 & 0 \\ 0 & 0.9704 & 0.0296 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8686 & 0.1314 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4432 & 0.5568 & 0 & 0 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{R}_{N_3} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.6115 & 0.3885 & 0 & 0 \\ 0.0315 & 0.9685 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4188 & 0.5812 & 0 & 0.2766 \\ 0 & 0 & 0.1158 & 0.8842 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7797 & 0.2203 & 0 \\ 0 & 0 & 0.849 & 0.151 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8697 & 0.1303 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7049 & 0.2951 \\ 0 & 0 & 0.4564 & 0.5436 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2122 & 0.7878 & 0 \end{pmatrix}, & \mathbf{R}_{N_8} &= \begin{pmatrix} 0.1728 & 0.8272 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5871 & 0.4029 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4364 & 0.5636 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7546 & 0.2454 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7166 & 0.2834 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5511 & 0.4489 \\ 0 & 0 & 0.0019 & 0.9981 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\
 \mathbf{R}_{N_4} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.7933 & 0.2067 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5175 & 0.4825 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2155 & 0.7885 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7578 & 0.2422 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7166 & 0.2834 \\ 0 & 0 & 0.1183 & 0.8817 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.7567 & 0.2433 & 0 \\ 0 & 0.03 & 0.97 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8353 & 0.1647 & 0 \end{pmatrix}, & \mathbf{R}_{N_9} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.3319 & 0.6681 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0755 & 0.9245 \\ 0 & 0 & 0.2597 & 0.7403 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4277 & 0.5723 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7166 & 0.2834 \\ 0 & 0 & 0 & 0.43 & 0.57 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8042 & 0.1958 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4665 & 0.5335 & 0 \end{pmatrix}, \\
 \mathbf{R}_{N_5} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3089 & 0.6911 \\ 0.6592 & 0.3408 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8428 & 0.1572 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3126 & 0.6874 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8744 & 0.1256 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7462 & 0.2538 \\ 0 & 0 & 0.9064 & 0.0936 & 0 \end{pmatrix}, & \mathbf{R}_{N_{10}} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.5882 & 0.4118 & 0 & 0 \\ 0 & 0.871 & 0.129 & 0 & 0 \\ 0.0219 & 0.9781 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2668 & 0.7332 & 0 \\ 0.9058 & 0.0941 & 0 & 0 & 0 \\ 0.507 & 0.493 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8674 & 0.1326 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7718 & 0.2282 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5961 & 0.4039 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5647 & 0.4353 & 0 \end{pmatrix}, \\
 \mathbf{R}_{N_6} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.7381 & 0.2609 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5086 & 0.4914 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8639 & 0.1361 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7166 & 0.2834 \\ 0 & 0 & 0.849 & 0.151 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2751 & 0.7249 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6933 & 0.3067 \\ 0 & 0 & 0.2853 & 0.7147 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3238 & 0.6762 & 0 \end{pmatrix}, & \mathbf{R}_{N_{11}} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.7187 & 0.2813 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4997 & 0.5003 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4039 & 0.5961 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7797 & 0.2203 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.6757 & 0.325 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9628 & 0.0372 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0387 & 0.9613 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\
 \mathbf{R}_{N_7} &= \begin{pmatrix} 0.8019 & 0.1981 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3633 & 0.6367 & 0 \\ 0.7248 & 0.2752 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9058 & 0.0941 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4835 & 0.5165 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.168 & 0.832 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3516 & 0.6484 & 0 \\ 0.81 & 0.19 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1915 & 0.8085 & 0 \end{pmatrix}, & \mathbf{R}_{N_{12}} &= \begin{pmatrix} 0 & 0.1549 & 0.8451 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0137 & 0.9863 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.9058 & 0.0942 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3849 & 0.6151 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8341 & 0.1659 \\ 0 & 0.5831 & 0.4169 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.135 & 0.865 & 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

结合数值权重值  $w$  计算每个班组的隶属程度向量  $l_n$ ,  $l_n = w \times R_{N_n}$ , ( $n=1,2,\dots,12$ ) 解得  $l_1 = (0.032\ 3\ 0.086\ 4\ 0.211\ 1\ 0.476\ 0\ 0.194\ 3)$ ,  $l_n$  详细表示见表 5, 然后根据表 4 [级别量化表示为分值矩阵  $F = (60, 70, 80, 90, 100)$ ], 计算出  $F \times N_i^T$ , ( $i=1,2,3,4,5$ ) 即表示制丝工艺综合评价量化值, 结合表 4 的级别定义, 结果详见表 6。

2.5 运用神经网络模型求解制丝工艺综合评价分数

首先, 将根据甲乙丙 3 班 9~10 月份通过多因素模糊综合评价模型计算出的制丝工艺综合评价分数及 10 个相关因素作为训练集数据, 甲班 11~12 月已知分数及 10 个相关因素作为测试集数据。然后, 依据上述已知条件, 运用神经网络评价方法建立数学模型。通过已知的训练集和测试集数据, 让数学模型达到自学习的效果, 将测试集预测分数误差降至 10 分以内 (见图 4)。引入权重的概念, 针对不同特征参数进行加权, 使自学习数学模型中的测试集预测分数误差降至 5 分以内。运用建立好的数学模型, 已知 11~12 月份, 甲

表 5 各班组制丝综合工艺评价指标 5 级隶属度

Table 5 Level 5 membership of each team

班组	月份	A	B	C	D	E
甲班	9	0.032 3	0.086 4	0.211 1	0.476 0	0.194 3
	10	0.032 3	0.171 0	0.303 5	0.387 1	0.106 2
	11	0.003 3	0.301 1	0.485 9	0.200 1	0.009 5
	12	0.000 0	0.207 5	0.413 2	0.177 3	0.202 0
乙班	9	0.122 3	0.080 3	0.116 2	0.261 8	0.419 4
	10	0.410 2	0.014 4	0.241 0	0.309 6	0.024 7
	11	0.341 8	0.086 6	0.187 4	0.384 1	0.000 0
	12	0.333 1	0.336 1	0.032 6	0.227 5	0.070 6
丙班	9	0.161 4	0.035 2	0.272 4	0.388 1	0.142 8
	10	0.080 9	0.662 1	0.152 0	0.104 9	0.000 0
	11	0.000 0	0.250 0	0.198 3	0.498 7	0.053 1
	12	0.067 6	0.233 9	0.427 5	0.265 7	0.005 4

表 6 班组制丝工艺综合评价结果

Table 6 The evaluation results of each team

甲班				乙班				丙班			
9月	10月	11月	12月	9月	10月	11月	12月	9月	10月	11月	12月
87.14	83.64	79.11	83.74	87.76	75.24	76.14	73.66	83.16	72.81	83.56	79.07

乙丙 3 班 10 个相关因素, 预测 11~12 月份甲乙丙三班制丝工艺综合评价分数, 最终结果见图 5。

2.6 结果分析

通过多因素模糊综合评价模型与神经网络评价模型计

算出的制丝工艺综合评价分数结果见表 7。

通过分析可知, 甲班 11 月份制丝工艺综合生产水平处于 B 与 C 级之间, 更偏向于 C 级; 甲班 12 月份制丝工艺综合生产水平处于 B 级。乙班 11 月份制丝工艺综合生产水平处于 B 与 C 级之间, 更偏向于 C 级; 乙班 11、12 月份制丝工艺综合生产水平处于 C 级。丙班 11 月份制丝工艺综合生产水平处于 B 级; 丙班 12 月份制丝工艺综合生产水平处于 B 与 C 级之间, 更偏向于 C 级。而无论是基于多因素模糊综合评价模型还是神经网络评价模型, 对制丝工艺综合评价结果的等级相同, 则说明多因素模糊综合评价模型用于制丝工艺综合评价可行。通过对制丝工艺综合评价等级的判定, 可知 3 班制丝工艺综合生产能力皆不属于优秀水平, 甲班、丙班水平相当, 较好于乙班。通过对各因素隶属度矩阵  $R_{N1} - R_{N12}$  及表 5 各班组制丝综合工艺评价指标 5 级隶属度的数据进行分析可知, 乙班 11 月份松散回潮工序质量系数、加料工序质量系数、梗加香工序质量系数较差, 皆属于 D、E 等级, 质量不合格甚至质量水平明显不达标。断料次数属于 D、E 等级、断料时间属于 C、D 等级, 设备运行状态不佳。乙班 12 月份各工艺段质量系数皆较差, 属于 D、E 等级, 但设备运行状态较好, 断料次数与时间较少, 消耗水平适中。

3 结论

建立了基于层次分析法、线性投影法的多因素模糊综合评价模型, 应用于制丝工艺综合等级评价, 最终得到甲乙丙 3 个班组的制丝工艺综合生产水平及影响其评价等级的不良因素。神经网络评价模型既可以用于验证多因素模糊综合评价模型的合理性与准确性, 也可独立对制丝工艺综合等级

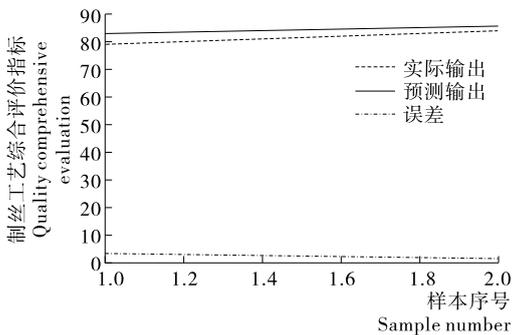


图 4 测试数据预测图

Figure 4 Prediction of test data

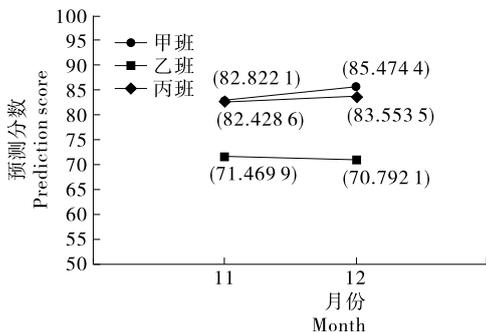


图 5 预测 11~12 月份甲乙丙 3 班制丝工艺综合评价分数

Figure 5 Prediction score of comprehensive evaluation

表 7 班组制丝工艺综合评价结果对比

Table 7 The evaluation results comparison of each team

评价方式	甲班				乙班				丙班			
	9月	10月	11月	12月	9月	10月	11月	12月	9月	10月	11月	12月
模糊评价	87.14	83.64	79.11	83.74	87.76	75.24	76.14	73.66	83.16	72.81	83.56	79.07
神经网络	—	—	82.82	85.47	—	—	71.47	70.79	—	—	82.47	83.55

进行判定。其优点是训练数据越多其准确性越高,减少了权重评价主观因素的作用;其缺点是不能对影响评价等级的不良因素进行判断。因此,当样本数据足够多,并且不需要指出影响评价等级的不良因素时,采用神经网络评价模型准确度更高;但如果需要对影响评价等级的不良因素进行排查时,则多因素模糊综合评价模型的应用更广泛。两种方法相结合,互相验证,对提高制丝工艺综合生产水平提供了科学、简洁的依据,对查找工艺质量、设备运行状态、生产消耗指标下的各项不良因素提供了支持。

### 参考文献

- [1] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2003: 20-25.
- [2] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2016: 30-35.
- [3] 刘继辉, 许磊, 马晓龙, 等. 基于随机森林回归的制丝过程参数影响权重分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(2): 63-71.
- [4] 熊安言, 于建春, 王二彬, 等. 叶丝加料工序参数对加料效果的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 66-71.
- [5] 刘晓龙. 卷烟制造过程关键质量特性识别及实证研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013: 20-25.
- [6] 张涛, 苏明亮, 赵伟, 等. 制丝工艺参数对 9 种主流烟气成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2014(8): 32-37.
- [7] 陶永峰, 张胜华, 李文璟, 等. Z 比分数—模糊 AHP 评价模型在卷烟成品实验室检测能力评价中的应用[J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 85-89.
- [8] 刘璇, 王沛, 毕金峰, 等. 基于层次分析法的晚熟品种苹果脆片品质评价[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 46-50.
- [9] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社出版, 2006: 50-55.
- [10] 胡永宏. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 60-65.
- [11] 王小川, 史峰, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 133-137.
- [12] 曲玉琨, 张新征, 王章龙, 等. 火炮系统效能综合评价与指标无量纲化处理的研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2007(3): 20-20.
- [13] 罗志刚, 高群玉, 杨连生. 湿热处理对淀粉性质的影响[J]. 食品科学, 2003, 26(2): 50-54.
- [14] 高群玉, 林志荣. 湿热处理玉米淀粉的溶胀和水解性质初探[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(6): 27-30.
- [15] ZAVAREZE E R, DIAS A R G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starch: A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(2): 317-328.
- [16] 赵佳. 水—热处理对淀粉理化特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 25-26.
- [17] 张民, 吴娜, 董家美, 等. 不同改性方法对大米淀粉理化性质及颗粒结构的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 19-23.
- [18] 尹晓峰, 杨明金, 张引航, 等. 辣椒渗透脱水处理及渗后热风干燥特性及品质分析[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 27-34.
- [19] 张黎骅, 武莉峰, 党鑫凯, 等. 鲜切高山野山药片微波间歇干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 39-44, 92.
- [20] BI Jin-feng, YANG Ai-Jin, LIU Xuan, et al. Effects of pre-treatments on explosion puffing drying kinetics of apple chips[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1 136-1 142.
- [21] 杨晓童, 段续, 任广跃. 新型微波真空干燥机设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 93-96, 208.

(上接第 187 页)

- [19] LI Sung-ling, WARD R, GAO Qun-yu. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (Phaseolus radiatus) starch[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(7): 1 702-1 709.
- [20] ZAVAREZE E R, STORCK C R, DE CASTRO L A S, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 358-365.
- [21] GUNARATNE A, HOOVER R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches[J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 49(4): 425-437.

(上接第 203 页)

- [16] 王中风, 韦田, 张敏, 等. 真空处理对酥梨渗透失水率和固形物增加率的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 53-55, 59.
- [17] 朱杰, 黄阿根, 杨振泉, 等. 黄秋葵热风干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 189-193.
- [18] 任亭, 程亚娇, 游玉明, 等. 干燥条件对熟化竹荪品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 127-131.
- [19] 赵金红, 袁越锦, 李淑英, 等. 芒果渗透脱水冻结的质量与热量传递模拟[J]. 农业机械学报, 2016, 45(12): 262-270.