

AHP-模糊算法在卷烟制丝过程质量评价中的应用

陈得丽, 高立秀, 孙成顺, 张彪, 陶彪, 敖茂

(红云红河烟草(集团)有限责任公司曲靖卷烟厂, 云南 曲靖 655001)

摘要: **目的** 为解决现有制丝评价系统粗放, 只注重质量结果的评价, 忽略控制过程本身的问题, 建立适应当前工艺现状和过程控制数据分布特点的综合评价与管控方法。**方法** 通过在工段、工序、工艺参数多层级间构建科学的评价结构, 采用层次分析法计算各层级间指标权重, 基于模糊算法建立百分制质量指数表征函数, 最终通过批次综合得分 S_{batch} 模型进行工艺质量评估。**结果** 新构建的评价模型精准科学地评估了批次全工序过程控制水平, 根据综合得分, 可以实时追溯批次弱项指标并改进, 批次优秀率(批次综合得分大于95分)达91.2%。**结论** 构建了集约的制丝评价体系, 从工艺参数到工序深入挖掘分析生产过程控制情况, 实现了由结果评价向过程评价的转变, 给生产操作工和工艺管理员提供实时借鉴, 不断提高过程控制水平。

关键词: 制丝工艺; 层次分析法; 模糊算法; 百分制质量指数表征函数; 综合评价

中图分类号: TS452 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)23-0195-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.23.027

Application of AHP-Fuzzy Algorithm in Quality Evaluation of Tobacco Primary Processing

CHEN De-li, GAO Li-xiu, SUN Cheng-shun, ZHANG Biao, TAO Biao, AO Mao

(Qujing Cigarette Factory, Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Qujing 655001, China)

ABSTRACT: The work aims to establish a comprehensive evaluation and control method to adapt to the current process status and process control data distribution characteristics, so as to solve the problem of extensive evaluation system of existing silk making, only focusing on the evaluation of quality results, ignoring the problem of control process itself. Through the construction of scientific evaluation structure among the multi-level of work section, process and process parameter, the weight of each level index was calculated by AHP. The quality index representation function of percentage system was established based on fuzzy algorithm. Finally, the process quality was evaluated by the comprehensive batch score model. The new evaluation model accurately and scientifically evaluated the whole process control level of the batch. According to the comprehensive score, the batch weak indicators can be traced and improved in real time, the excellent rate of the batch (the comprehensive score of the batch was greater than 95 points) was 91.2%. An intensive evaluation system for silk production is constructed. The deeply analysis of the production process control in the production from process parameters to the process step realizes the transformation from result evaluation to process evaluation, which can provide real-time reference to the operators and the manager of process, then helping them constantly improve the process control level.

KEY WORDS: wire-making process; hierarchical analysis; fuzzy algorithm; percentage-based mass index characterization function; comprehensive evaluation

收稿日期: 2020-03-03

基金项目: 红云红河烟草(集团)有限责任公司科技项目(HYHH2018XX04)

作者简介: 陈得丽(1988—), 女, 硕士, 主要研究方向为制丝中控操作、数据分析及信息化项目管理。

制丝是卷烟生产的重要环节,承载了卷烟内在品质的主要工艺任务,高水平的制丝过程控制是品牌发展的质量保障。由于制丝线工艺流程较长,影响因素较多,且为流水线作业,各环节相互影响,如何深入剖析各生产环节的质量状态,评价分析其过程控制能力是制丝工艺质量控制的重难点。以往,大部分烟草企业主要以国标《卷烟工艺规范》为基础,制定企业内控标准进行制丝质量评价,采用抽样检验的方法来衡量整批产品的质量,存在一定局限性^[1]。对此,尤长虹、张楚安等^[2]提出利用层次分析法对进柜烟丝含水率、出柜烟丝含水率、整丝率、碎丝率、纯净度、填充值等6个主要指标重要程度进行综合评价,虽然在一定程度上能够反映实物的质量水平,但只是针对产品质量的评价,而没有反应出生产过程中的控制水平。王光宇、吕希胜^[3]提出以在线质量评价为主,结合烟气、香气等物理化学指标评价,最终形成制丝质量评价方法。罗志雪^[4]在分析建立针对稳态和非稳态生产过程中工艺参数的过程质量表征方法的基础上,采用离散度和偏离度构建了针对工序和批次的过程质量评价模型,借助信息化平台算QI得分进行评价。目前,卷烟制丝生产线正逐步实现由结果控制向过程控制的转变,笔者将层次分析法和模糊算法相结合构建一种精准科学的工艺过程控制水平评价与管控方法,不仅对控制的结果进行评价,对生产过程控制水平也做出评价,有效分析制丝加工过程控制水平,缩小批间差异,保证产品质量的稳定性。

1 制丝评价系统的问题现状

当前,制丝生产线采用的质量评价系统多以统计过程控制(Statistical Process Control, SPC)技术为主,以简单剔除料头料尾的方式处理数据。当控制过程达到稳定状态时对关键工序和工艺参数进行评价,保证过程长期处于受控并且稳定的水平,虽然SPC技术在控制图分析和过程能力指数分析对过程质量评价发挥了重要作用,但仍不能满足现有的制丝生产要求。一方面,传统SPC技术仅对单指标、单参数独立进行评价,没有在工段、工序、工艺参数多层级间构建科学的评价结构,无法准确完整地评价一个批次控制过程的优劣;另一方面,用于评估的数据质量不高,采用简单剔除非稳态数据得到稳态数据的方法,缺乏科学性,使得用于分析的数据不够完整,从而降低评价结果的准确性^[4-7]。

此外,部门每月初才对上个月的质量进行统计分析,异常批次反馈存在滞后性,不能及时指导生产。评价体系的质量指标选择单一,主要集中统计指标均值、标准偏差(σ)、考虑偏移的过程能力指数(C_{pk})、不考虑偏移的过程能力指数(C_p)、变异系数(C_v)等,评价模型较为粗放,常以批次指标是否达到工艺标准范围进行简单评价,达到得100分,否则不得分,

未能建立百分制质量指数表征函数,精准科学计算,控制水平高低。只注重质量结果的评价,忽略控制过程本身,缺乏批次前后工序、同工序的关联性评价,无法形成有效的管控机制。

2 制丝质量综合评价模型的研究和构建

首先根据集团工艺考核标准,选择具有代表性的工艺指标,对多个指标进行模糊评价^[8]。鉴于指标数据的具体情况,选用偏大型或偏小型分布作为模糊集的隶属函数,构建生产过程中工艺参数的过程百分制质量指数表征函数^[9],并进行模型参数估计。考虑指标之间的差异度,利用层次分析法及指数标度法进一步确定各指标的权重,通过加权变换得到模糊评价决策向量,将评价决策向量和生产实际情况进行比对,最终得到合理的综合评价模型。

2.1 基于模糊算法的百分制质量指数表征函数的研究

针对制丝线批次生产质量工艺指标体系的模糊性,在SPC方法的基础上,采用模糊算法构建百分制质量指数表征函数,采用柯西分布隶属函数和岭型分布隶属函数^[10-11],选用2种不同的分布方法可以更准确地验证隶属函数选择是否得当,起到互相验证的作用。

偏小型柯西分布:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{1}{1 + \alpha(x - a)^\beta} & x > a \end{cases} \quad (1)$$

偏大型柯西分布:

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ 1 - \frac{1}{1 + \alpha(x - a)^\beta} & x > a \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\alpha > 0$, $\beta > 0$ 。

偏大型岭型分布:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (x - \frac{a_1 + a_2}{2}) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases} \quad (3)$$

偏小型岭型分布:

$$\mu_4 = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (x - \frac{a_1 + a_2}{2}) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & x \geq a_2 \end{cases} \quad (4)$$

经计算并与实际生产相结合,最终采用柯西分布隶属函数。通过模型参数估计得出评价指标百分制质量指数表征函数,见表1。

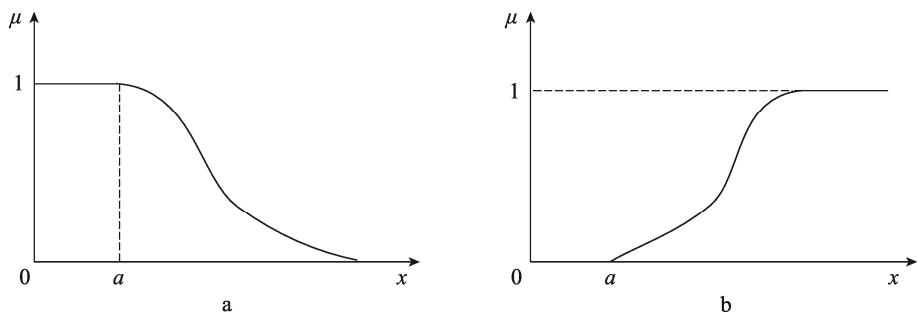


图 1 柯西分布函数
Fig.1 Cauchy distribution function

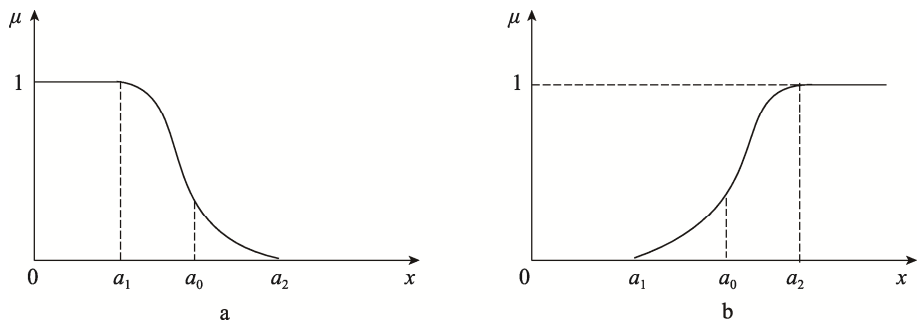


图 2 岭型分布函数
Fig.2 Ridge distribution function

表 1 评价指标百分制质量指数表征函数
Tab.1 Characterization function of 100% quality index of evaluation index

指标要求	函数类型	百分制表征函数
$C_{pk}/C_p \geq 1.33$	偏大型隶属函数	$S(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 91.98x & 0 \leq x \leq 0.67 \\ \frac{100}{1+e^{1.613-3x}} & x \geq 0.67 \end{cases}$
$\sigma \leq 0.5$	偏小型隶属函数	$S(x) = \begin{cases} 100 & x \leq 0.1 \\ 100 \times e^{-0.5 \times (\frac{x}{0.877})^2} & x > 0.1 \end{cases}$
精度 $\leq 0.5\%$	偏小型隶属函数	$S(x) = \begin{cases} 100 & x \leq 0.05 \\ 100 \times e^{-0.5 \times (\frac{10^{2x}}{31.22})^2} & x > 0.05 \end{cases}$
$C_v \leq 0.25\%$	偏小型隶属函数	$S(x) = \begin{cases} 100 & x \leq 0.1 \\ 100 \times e^{-0.5 \times (\frac{x}{0.439})^2} & x > 0.1 \end{cases}$

2.2 构建工序过程质量和批次质量评价模型

制丝生产线以实现“柔性化生产、精细化加工、智能化控制”为目标，采用多线并行布局的设计，充分满足多模块、差异化、个性化的生产需求。根据生产调度安排将各工序进行有机组织起来，以批次加工为单元，以工序为基础，批次即生产批，有相应的批次号，其加工过程即为工序，有相应的工单号。由 1 个或多个工序组合完成一定工艺任务^[12]称为工段。一个完整的生产批次需要经过若干工序才能完成。曲靖

卷烟厂制丝批次加工过程工艺流程见图 3。

表 1 已定义评价指标的百分制质量指数表征函数 S ，用来表示制丝生产过程工艺参数质量得分。根据工艺考核标准选择对工序物理质量和感官特性有较大影响的关键工艺参数，作为组成工序 $S_{process}$ 的下一层级参数，选取的关键工艺参数的质量指数得分为 S_{para} ，则评价上一层级工序生产质量状态的质量指数得分 $S_{process}$ 由关键工艺参数质量指数得分 S_{para} 加权和得到，见式（5）。

$S_{process} = \alpha_1 \times S_{para1} + \alpha_2 \times S_{para2} + \dots + \alpha_N \times S_{paraN}$ (5)

式中： N 为工序中的关键工艺参数数量； $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_N$ 为关键工艺参数权重。

定义质量指数得分 S_{batch} 表示批次物料制丝生产过程控制水平，借鉴工序质量指数得分 $S_{process}$ 的求解方法，可以计算上一层级工段的质量指数得分 $S_{section}$ ，由多个工序质量指数得分加权得到，最终批次综合得分 S_{batch} 由多个工段得分 $S_{process}$ 加权和得到，见式（6）。

$S_{batch} = \beta_1 \times S_{section1} + \beta_2 \times S_{section2} + \dots + \beta_N \times S_{sectionN}$ (6)

式中： M 为制丝主要的工段数量； $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_N$ 为主要工段权重。

2.3 利用层次分析计算各工序评价指标体系权重

层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）是一种综合定性和定量相结合的系统化、层次化的分析方法，主要解决难以完全定量分析的多因素复杂问题。层次分析法遵循以下基本步骤：建立层次结构模

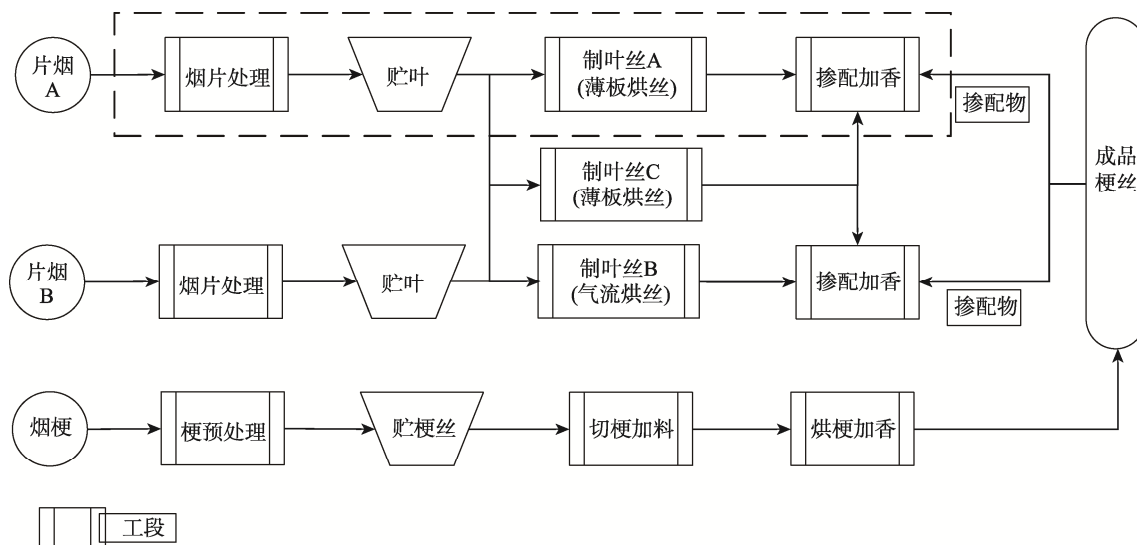


图3 批次加工过程工艺流程
Fig.3 Technological process of batch processing

型；构造判断（成对比较）矩阵；计算权向量并做一致性检验；计算组合权向量并做组合一致性检验^[13-15]。文中构建层次结构模型以曲靖卷烟厂各牌号工艺路线为基础，结合部门质量考核要求，构建质量评价指标体系^[16]见图4，通过对同一层各指标因素进行两两对比构造判断矩阵。

建立评价指标体系和指标因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ ，比较各因素关于上一层某一准则的重要性。对任意2个因素 U_i 和 U_j 进行比较，用 a_{ij} 表示第 i 个因素和第 j 个因素对上一层的影响程度之比，比较时按 1~9 的比例标度^[17]来度量，比例标度方法见表2，则：

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} > 0, a_{ij} = 1 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

若 U_i 对 U_j 的影响程度之比 $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} (i, j = 1, 2, \dots, n)$ ，则

判断矩阵：

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \quad (8)$$

故称 A 为一致性正互反矩阵。记 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 则：

$$A \cdot W = W \cdot \left(\frac{1}{w_1}, \frac{1}{w_2}, \dots, \frac{1}{w_n} \right) \quad (9)$$

$$A \cdot W = W \cdot \left(\frac{1}{w_1}, \frac{1}{w_2}, \dots, \frac{1}{w_n} \right) \cdot W = nW \quad (10)$$

由式(10)可知， W 为判断矩阵 A 的特征向量， n 为唯一非零特征根。对于完全一致的判断矩阵，非零特征根 n 所对应的特征向量 W 归一化后可作为权向量。对于不一致的判断矩阵 A ，有 $A \cdot W = \lambda_{\max} W$ ， $\lambda_{\max}$ 是 A 的最大特征根， W 为对应于 $\lambda_{\max}$ 的特征向量，将 W 作归一化处理后近似地作为 A 的权向量。

判断矩阵一致性检验，在实际问题中构造判断矩阵时很难满足一致性，因此可以将条件放宽到允许判断矩阵存在一定程度的不一致性。根据式(8-10)分析可知，若判断矩阵是完全一致的，其绝对值最大的特征值 $\lambda_{\max}$ 等于矩阵维数 n 。对判断矩阵的一致性要求，可转化为其绝对值最大的特征值和矩阵的维数相差不大^[18]。主要考查以下指标。

$$1) \text{ 一致性指标: } C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}。$$

$$2) \text{ 随机一致性指标 } R_1 \text{ 见表3。}$$

$$3) \text{ 一致性比率指标: } C_R = \frac{C_1}{R_1}，\text{ 当 } C_R < 0.10 \text{ 时，}$$

认为判定矩阵 A 有满意的一致性，即通过一致性检验，可将计算的特征向量 W 归一化后作为权向量；否则需要对因素比较的取值进行修正，直到通过检验为止^[19]。

最后，利用 Matlab 软件求得比较矩阵 A 的最大特征根与特征向量^[20]，并进行层次单排序，得到的权重见表4。

3 制丝质量综合评价模型应用

利用曲靖卷烟厂 PMS 系统采集的在线监测数据作为样本数据，以验证上述评价模型的有效性。选取

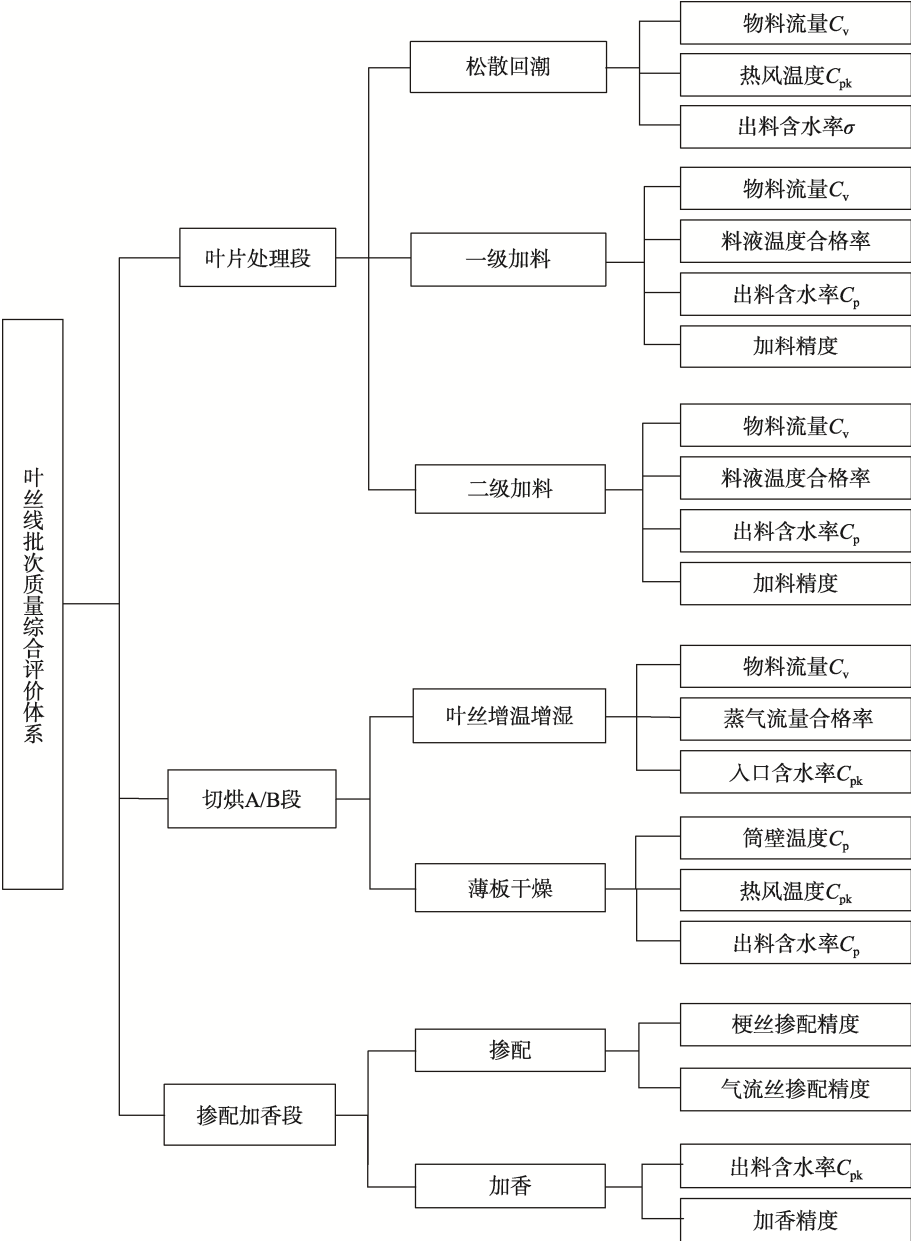


图 4 四级质量评价体系指标
Fig.4 Indexes of four-level quality evaluation system

表 2 判断矩阵元素标度方法
Tab.2 Scaling method of judgment matrix elements

标度	含义
1	表示 2 个因素相比，具有相同重要性
3	表示 2 个因素相比，前者比后者稍重要
5	表示 2 个因素相比，前者比后者明显重要
7	表示 2 个因素相比，前者比后者强烈重要
9	表示 2 个因素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 i 与因素 j 的重要性之比为 a_{ij} ，那么因素 j 与因素 i 重要性之比为 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ij}}$

表 3 随机一致性指标
Tab.3 Random consistency index

阶数	R_1
1	0
2	0
3	0.52
4	0.89
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41
9	1.46
10	1.49
11	1.52

2019 年 12 月云烟某牌号 29 批生产过程的数据,通过上述综合评价模型计算整批次制丝全过程加工工序得分,见表 5。

从表 5 可以看出,综合得分大于 95 分的有 23 批,批次优秀率为 91.2%,对于综合得分相同的批次,各工序得分也有不同程度的波动,表明评价模型既能对结果进行评价,也能对过程控制进行评价。批次号 19120903 和 19121304 的这 2 批综合得分较低,可以根据综合得分,追溯批次全过程控制水平,发现叶片预处理段松散回潮工序得分都较低,下一步将对该工序进行问题整改。综上,新构建的综合评价模型能更真实全面地反应过程参数满足工艺技术标准的程度,给生产操作工和工艺管理员提供实时借鉴,不断提高过程控制水平。

表 4 权重计算
Tab.4 Weight calculation

工段	工段权重	工序	工序权重	工艺指标	指标权重	统计指标范围
叶片处理段	0.31	松散回潮	0.54	物料流量	0.10	$C_v \leq 5\%$
				热风温度	0.36	$C_{pk} \geq 1.33$
				出料含水率	0.27	$\sigma \leq 0.5$
				入口含水率	0.27	$C_{pk} \geq 1.33$
		一次加料	0.23	物料流量	0.19	$C_v \leq 0.25\%$
				料液温度	0.13	合格率=100%
				出料含水率	0.25	$C_p \geq 1.0$
				加料精度	0.43	精度 $\leq 0.5\%$
		二次加料	0.23	物料流量	0.19	$C_v \leq 0.25\%$
				料液温度	0.13	合格率=100%
				出料含水率	0.25	$C_p \geq 1.0$
				加料精度	0.43	精度 $\leq 0.5\%$
切烘段	0.40	叶丝增温增湿	0.36	物料流量	0.58	$C_v \leq 0.15\%$
				蒸汽流量	0.42	合格率=100%
		薄板干燥	0.64	筒壁温度	0.63	$C_p \geq 1.33$
				热风温度	0.11	$C_{pk} \geq 1.33$
				出口水分	0.26	$\sigma \leq 0.17$
掺配加香段	0.29	掺配	0.5	梗丝掺配精度	0.5	精度 $\leq 0.5\%$
				气流丝掺配精度	0.50	精度 $\leq 0.5\%$
		加香	0.5	出料含水率	0.50	$\sigma \leq 0.17$
				加香精度	0.50	精度 $\leq 0.5\%$

表 5 各工序得分情况统计
Tab.5 Scores of each operation

批次号	松散回潮	一次加料	二次加料	增温增湿	薄板干燥	掺配	加香	叶片处理段	切烘段	掺配加香段	批次综合得分
19120614	99.06	99.93	99.96	99.99	99.56	99.94	99.58	99.47	99.71	99.76	99.65
19120211	98.52	99.94	99.93	99.99	99.73	99.9	99.75	99.17	99.82	99.83	99.62
19120613	98.7	99.74	99.96	99.98	99.62	99.93	99.53	99.23	99.75	99.73	99.58
19120412	98.71	99.94	99.94	99.99	99.19	99.9	99.59	99.28	99.48	99.74	99.49
19122803	98.07	99.93	99.95	99.99	99.64	99.9	99.47	98.93	99.76	99.69	99.48
19122903	98.79	99.93	99.95	99.99	99.35	99.93	98.99	99.32	99.58	99.46	99.46
19120411	98.46	99.78	99.94	99.99	99.44	99.91	99.07	99.1	99.64	99.49	99.43
19120612	99	99.94	99.95	99.99	99.17	99.92	98.82	99.44	99.47	99.37	99.43
19121305	98.56	99.93	99.94	99.98	99.37	99.91	99.04	99.19	99.59	99.47	99.43
19120213	98.61	99.94	99.92	99.98	99.15	99.91	99.05	99.22	99.45	99.48	99.39
19120902	98.12	99.93	99.97	99.98	99.08	99.92	99.48	98.96	99.41	99.7	99.35
19122902	97.82	99.91	99.95	99.98	98.98	99.92	99.25	98.79	99.34	99.58	99.24
19120904	99.33	99.92	99.95	99.99	98.98	99.9	96.18	99.61	99.34	98.04	99.05
19120313	98.51	99.76	99.95	99.99	97.91	99.93	98.28	99.13	98.66	99.11	98.94
19122804	98.58	99.62	93.8	99.98	98.99	99.92	99.26	97.72	99.35	99.59	98.91
19121201	94.22	99.95	99.95	99.99	99.69	99.91	99.73	96.85	99.8	99.82	98.89
19120905	94.9	99.95	99.54	99.99	99.17	99.9	98.57	97.13	99.47	99.24	98.68
19121002	98.04	99.95	89.11	99.99	99.35	99.92	99.41	96.43	99.58	99.66	98.63
19120510	95.48	99.44	99.84	99.99	98.11	99.94	98.94	97.39	98.78	99.44	98.54
19122904	98.61	99.92	81.3	98.62	99.37	99.89	99.33	94.93	99.1	99.61	97.96
19120611	98.21	99.94	99.96	98.39	92.6	99.93	95.27	99.01	94.69	97.6	96.87
19121101	97.45	99.95	83.08	96.15	98.55	99.93	95.36	94.72	97.69	97.64	96.75
19121302	97.17	99.95	99.97	79.95	99.21	99.93	94.02	98.45	92.28	96.97	95.55
19121303	98.59	99.94	86.66	72.11	99.64	99.91	99.27	96.16	89.73	99.59	94.58
19120712	97.8	99.93	99.91	99.98	83.71	99.92	93.5	98.78	89.57	96.71	94.49
19120312	97.25	99.94	97.98	97.95	81.5	99.93	96.06	98.04	87.42	97.99	93.78
19120212	98.28	99.94	94.94	67.13	97.61	99.91	95.22	97.89	86.64	97.56	93.3
19120903	63.8	80.55	99.5	87.21	98.47	99.91	98.83	75.86	94.41	99.37	90.1
19121304	40.38	99.91	99.96	97.09	98.8	99.93	94.17	67.78	98.18	97.05	88.43

注：批次优秀率=综合得分大于 95 分的批次数/总批次数×100%

4 结语

通过在工段、工序、工艺指标多层级间构建科

学的评价结构，采用层次分析法和模糊算法相结合的方法构建的全过程工艺质量评价模型，能精准科学地计算批次全过程工序得分及批次总得分，评价结果与实际相符，模型有效。从工艺参数到工序深

入挖掘分析生产过程的质量状态,及时反馈生产过程中的弱项指标,形成有效的管控机制,给生产操作工和质量管理提供实时借鉴,不断提高了制丝过程控制水平。

参考文献:

- [1] 秦存永, 魏晓华. 制丝过程质量评价系统研究[J]. 中国西部科技, 2011, 10(23): 10—11.
QIN Cun-yong, WEI Xiao-hua. Research on the Quality Evaluation System of the Silk Making Process[J]. Science and Technology in Western China, 2011, 10(23): 10—11.
- [2] 尤长虹, 张楚安, 彭传新. 制丝质量评价方法的设计与应用[J]. 烟草科技, 2001(7): 22—24.
YOU Chang-hong, ZHANG Chu-an, PENG Chuan-xin. The Design and Application of the Evaluation Method for the Quality of Silk Making[J]. Tobacco Science & Technology, 2001(7): 22—24.
- [3] 王光宇, 吕希胜. 制丝质量评价系统研究与实现[J]. 制造业自动化, 2011, 33(5): 24—26.
WANG Guang-yu, LYU Xi-sheng. Research and Realization on Quality Evaluation System in Primary Processing Line of Cigarette Factory[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(5): 24—26.
- [4] 罗志雪. 卷烟制丝生产过程批次质量评价模型的构建和应用[C]//中国烟草学会 2016 年度优秀论文汇编——烟草工业主题, 2016: 1—9.
LUO Zhi-xue. Development and Application of Batch Quality Evaluation Model for Tobacco Primary Processing[C]// The 2016 Excellent Papers Collection of China Tobacco Society-theme of Tobacco Industry, 2016: 1—9.
- [5] 李文泉, 赵文田, 李文斌. 统计过程控制技术 SPC 在烟草制丝生产中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2009(5): 116—118.
LI Wen-quan, ZHAO Wen-tian, LI Wen-bin. Application of Statistical Process Control in Primary Processing of Tobacco[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2009(5): 116—118.
- [6] 石凤学, 张涛, 张强, 等. 基于多元质量控制限的卷烟均质化评价方法研究[J]. 陕西科技大学学报, 2013, 31(1): 10—14.
SHI Feng-xue, ZHANG Tao, ZHANG Qiang, et al. Research on the Homogenization Evaluation Method of Cigarette Based on Multivariate Quality Control Limit[J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology, 2013, 31(1): 10—14.
- [7] 李江, 刘炳军, 张旭, 等. 制丝不同生产线卷烟均质化加工分析[J]. 大众科技, 2017, 19(12): 20—23.
LI Jiang, LIU Bing-jun, ZHANG Xu, et al. Analysis of Homogenized Processing of Cigarette in Different Production Line[J]. Popular Science & Technology, 2017, 19(12): 20—23.
- [8] 王晓娟. 基于模糊综合与神经网络的制丝工艺多因素评价模型[J]. 食品与机械, 2017(5): 204—210.
WANG Xiao-juan. Application of Fuzzy Comprehensive and Neural Network Evaluation Models on Tobacco Primary Processing Line Quality[J]. Food & Machinery, 2017(5): 204—210.
- [9] 刘泽琴. 基于模糊集理论的多维福利指数研究[D]. 北京: 中央财经大学, 2012: 18—21.
LIU Ze-qin. Research on Multidimensional Welfare Index Based on Fuzzy Set Theory[D]. Beijing: Central University of Finance and Economics, 2012: 18—21.
- [10] 马明玥. 偏大型柯西分布隶属函数讨论[J]. 现代职业教育, 2019(10): 122—123.
MA Ming-yue. Discussion on Membership Function of Large Cauchy Distribution[J]. Modern Vocational Education, 2019(10): 122—123.
- [11] 王欣彦. 模糊(Fuzzy)数学理论在评价系统上的应用[J]. 沈阳化工学院学报, 2004, 18(3): 224—227.
WANG Xin-yan. Application of Fuzzy Mathematical Theory on Student's Management of Comprehensive Evaluation[J]. Journal of Shenyang Institute of Chemical Technology, 2004, 18(3): 224—227.
- [12] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[M]. 北京: 中央文献出版社, 2016: 80—91.
State Tobacco Monopoly Administration. Cigarette Process Specification[M]. Beijing: Central Literature Press, 2016: 80—91.
- [13] 吕殿秋. 基于模糊层次分析法的网络信息资源评价研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2010: 34—50.
LYU Dian-qiu. Research on Network Information Resource Evaluation Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2010: 34—50.
- [14] 白萍, 邓路, 张鹏忠, 等. 基于 AHP 层次分析模型的棉花节本增效技术体系综合效益评价[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(7): 1361—1370.
BAI Ping, DENG Lu, ZHANG Peng-zhong, et al. The Comprehensive Benefit Evaluation of the Effects of Cotton Technical System Based on Analytic Hierarchy Process Model[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(7): 1361—1370.
- [15] 陶永峰, 张胜华, 李文臻, 等. 基于层次分析和灰色关联分析的评价模型在卷烟多点加工质量评价中的应用[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(1): 43—49.
TAO Yong-feng, ZHANG Sheng-hua, LI Wen-zhen, et al. Application of AHP and GRA-based Models to Quality Evaluation of Cigarettes from Different Production Sites[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(1): 43—49.

- 43—49.
- [16] 郭伟, 孙江, 郑庆, 等. 制造企业生态系统健康度评价指标体系研究[J]. 统计与决策, 2014(18): 18—21.
GUO Wei, SUN Jiang, ZHENG Qing, et al. Study on Evaluation Index System of Ecosystem Health of Manufacturing Enterprises[J]. Statistics and Decision, 2014(18): 18—21.
- [17] 熊立, 梁樑, 王国华. 层次分析法中数字标度的选择与评价方法研究[J]. 系统理论实践, 2005, 25(3): 72—79.
XIONG Li, LIANG Liang, WANG Guo-hua. Research on Selection and Evaluation of Numeric Scale in Analytic Hierarchy Process[J]. Theory and Practice of System Engineering, 2005, 25(3): 72—79.
- [18] 钱杰. 建筑底部架空周围风环境特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010: 43—46.
QIAN Jie. Study on the Characteristics of Wind Environment Around the Overhead Building Bottom[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010: 43—46.
- [19] 刘莹昕, 刘飒, 王威尧. 层次分析法的权重计算及其应用[J]. 沈阳大学学报, 2014, 26(5): 372—375.
LIU Ying-xin, LIU Sa, WANG Wei-yao. Computation of Weight in AHP and Its Application[J]. Journal of Shenyang University, 2014, 26(5): 372—375.
- [20] 于晶. 使用 Matlab 程序实现层次分析法(AHP)的简捷算法[J]. 科技前沿, 2016(16): 13—14.
YU Jing. Using Matlab Program to Realize the Simple Algorithm of AHP[J]. Frontier of Science and Technology, 2016(16): 13—14.