

基于 CRITIC 赋权法的细支烟物理指标综合质量评价研究

周沅桢¹, 和小娟¹, 王泽宇¹, 乔俊峰², 王永², 范兴², 祁林³, 资文华²

(1.红云红河烟草(集团)有限责任公司红河卷烟厂, 云南 红河 652399; 2.云南师范大学 能源与环境科学学院, 昆明 650500; 3.红云红河烟草(集团)有限责任公司会泽卷烟厂, 云南 会泽 654200)

摘要: **目的** 为建立细支烟物理指标综合质量评价方法, 以客观评价细支烟卷制过程中的质量稳定性。**方法** 以某细支卷烟质量、圆周、长度、吸阻和总通风率为基础, 利用 CRITIC 赋权法计算各物理指标的客观权重, 并结合其技术标准, 计算出每支细支烟的综合得分以及各班组、机台生产细支烟的综合得分和过程绩效指数, 建立细支烟物理指标综合质量评价方法。**结果** 基于 CRITIC 赋权法计算, 细支烟质量、圆周、长度、吸阻和总通风率权重系数分别为 0.152、0.147、0.243、0.182 和 0.276, 合格烟支的综合得分 ≥ 60 分, 不合格烟支的综合得分 < 60 分, 班组抽检烟支的综合得分与合格率呈线性正相关($R^2=0.956\ 9$), 客观地反映了细支烟主观扣分偏好和物理质量的整体水平。**结论** 基于 CRITIC 赋权法建立的细支烟物理指标综合质量评价方法, 能客观评价班组和机台的卷烟卷制综合质量水平, 及时发现细支烟卷接包装过程中存在的质量问题。

关键词: CRITIC 赋权; 细支烟; 物理指标; 综合评价; 过程能力

中图分类号: TB489; TS47 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)09-0176-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.09.024

Comprehensive Quality Assessment for Physical Indexes of Slim Cigarette Based on CRITIC Weighting Approach

ZHOU Yuan-zhen¹, HE Xiao-juan¹, WANG Ze-yu¹, QIAO Jun-feng², WANG Yong²,
FAN Xing², QI Lin³, ZI Wen-hua²

(1. Honghe Cigarette Factory, Hongyuhonghe Tobacco Group Co., Ltd., Yunnan Honghe 652399, China; 2. School of Energy and Environment Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 3. Huize Cigarette Factory, Hongyuhonghe Tobacco Group Co., Ltd., Yunnan Huize 654200, China)

ABSTRACT: An evaluation method of comprehensive quality on slim cigarette physical indexes was established to objectively analyze the quality stability during packaging process. In this study, based on weight, circumference, length, suction resistance and total ventilation rate of a certain kind of slim cigarette, the objective weight coefficient of each physical indexes was calculated with criteria importance though intercriteria correlation (CRITIC) weighting method, and the comprehensive score of each slim cigarette and the comprehensive score and process performance indexes of working teams and machine stations were further calculated combined with its technical standard, then the comprehensive quality evaluation method on physical index of slim cigarette was formed. After the calculation with CRITIC weighting approach

收稿日期: 2021-08-18

基金项目: 红云红河烟草(集团)有限责任公司科技计划项目(HYHH2018GY04, HYHH2019GY06)

作者简介: 周沅桢(1974—), 男, 工程师, 主要研究方向为卷烟工艺管理。

通信作者: 祁林(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为卷烟工艺技术研究; 资文华(1977—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为农产品加工与废弃资源综合利用。

method, the weight coefficient rates of weight, circumference, length, suction resistance and total ventilation rate of the slim cigarettes were 0.152, 0.147, 0.243, 0.182 and 0.276, respectively. The comprehensive score of qualified cigarettes was equal or greater than 60, while the score of unqualified cigarettes was below 60. The comprehensive scores of the sampling produced by working team exhibited significantly positive linear correlation with qualified rate ($R^2=0.956\ 9$). It objectively reflected the overall level of physical quality and subjective preference on slim cigarettes. The established evaluation method of comprehensive quality on physical index of slim cigarette can objectively evaluate the comprehensive quality level for working team and machine station of slim cigarettes producing, which is beneficial to find the quality problems during the slim cigarette packing process.

KEY WORDS: CRITIC weighting; slim cigarette; physical index; comprehensive evaluation; process capability

近年来, 细支烟作为烟草行业重点发展的新品类, 其市场规模不断扩大, 结构价位稳步上移, 低焦特质逐渐凸显, 有效满足了消费者对卷烟产品的个性化、差异化需求, 并已成为中式卷烟发展的新亮点。与常规卷烟相比, 细支烟物理指标具有圆周小、烟支长和吸阻高等特点, 但其烟支质量、吸阻、硬度稳定性较差, 烟支物理指标的质量控制较常规卷烟难度大^[1-2], 仅通过调整卷烟机参数和优化烟丝结构以提高烟支物理质量的稳定性^[1], 难以发现卷接包装过程中存在的质量波动问题, 因此, 如何根据细支烟特点建立更加科学、合理的物理指标质量控制模型, 对客观评价细支烟物理质量稳定性和加工工艺改进提供技术依据具有重要的指导意义。

目前, 细支卷烟研究主要集中于烟机设备、检测仪器、烟用辅材、加工工艺和主流烟气成分等方面^[1], 而对于细支卷烟物理指标评价方面的研究则鲜有报道。在烟支烟物理指标评价过程中, 一般是通过抽检方式测量烟支质量、圆周、长度、吸阻、总通风率和硬度 6 项指标, 如果某项指标超出技术标准, 就判定该烟支为不合格。此评价方法较为粗放, 仅根据烟支合格与否进行评价扣分, 不利于评价烟支的整体质量水平, 也无法对生产过程中的质量波动情况进行监控。采用赋权法可根据各评价指标间的相对重要程度建立客观的评价模型^[3], 其权重的确定主要分为主观赋权和客观赋权, 主观赋权法(如专家打分法、层次分析法)容易受人为因素的影响^[4-6], 客观赋权法(如熵权法、标准离差法)则是根据指标变异性的大小来确定权重, 其判断结果不依赖于人的主观判断, 有较强的数学理论依据。CRITIC (Criteria Importance though Intercriteria Correlation) 法是由 Diakoulaki 提出的一种客观权重赋权法, 通过指标的变异和冲突性来确定权重, 适用于指标间存在相关性的权重计算^[7]。闫滨等^[8]利用 CRITIC 赋权法和 AHP 法对大伙房水库上游水质进行评价, 分析表明改进后的评价方法考虑了总氮指标超标严重情况, 较传统方法得到的评价结果更加准确客观; 曹英莉^[9]基于 CRITIC 赋权法确定了采场结构的最佳参数; 龙林健等^[10]基于 CRITIC 客观赋权法也有效确定隔离矿柱安全厚度的

最优厚度。此外, 利用 CRITIC 赋权法和模糊优选法可以克服以往模糊评价中隶属函数选择主观性, 实现不同年份和标准等级的大气质量同时排序^[3]。

基于卷烟部分物理指标间存在相关性, 文中采用 CRITIC 赋权法计算各项物理指标的客观权重, 进而构建班组和机台的综合质量评价模型。基于 CRITIC 赋权法建立细支烟物理指标综合质量评价方法, 以期客观评价卷接班组、机台整体质量水平和过程控制能力, 及时发现卷接包装中存在的质量隐患, 提高管理的科学性。

1 实验

1.1 数据

数据来源于某细支烟 2019 年 6—11 月的烟支物理指标抽检数据, 数据共 43 901 条。

1.2 评价方法

烟支物理质量指标主要包括质量、圆周、长度、吸阻、总通风率和硬度, 其中, 质量、圆周和长度为每个班组操作工人在生产中可直接控制的指标, 而吸阻、总通风率和硬度则无法在生产过程中直接表现出来, 属于内生变量^[11]。受卷烟厂抽检流程影响, 硬度这一物理指标无法与其他 5 项指标一一对应, 因此, 文中主要根据质量、圆周、长度、吸阻和总通风率的抽检结果进行烟支物理指标综合评价与考核方法的设计, 具体步骤为: 首先, 采用 CRITIC 赋权法计算质量、圆周、长度、吸阻和总通风率 5 项指标的客观权重; 其次, 基于烟支 5 项物理指标的检测值, 并结合各项指标的技术标准, 利用功效系数法计算出烟支在 5 项物理指标下的量化得分; 最后, 基于 5 项物理指标的权重和量化得分计算每支卷烟的综合得分, 并最终计算出班组和机台的综合得分和过程绩效指数。

1.2.1 CRITIC 赋权法确定物理指标权重

CRITIC 法根据评价指标的变异大小和各指标间的冲突性来综合计算各指标客观权重, 其中, 各指标变异大小通过标准差来衡量, 标准差越大, 权重就会

越高;指标之间的冲突性则通过相关系数进行计算,相关性越高,说明指标间的冲突性越小,指标所占的权重就会降低^[12-13]。具体步骤如下。

1) 数据处理。烟支的不同物理指标在量纲和取值上存在较大的差异,为消除量纲影响,采用式(1)对数据进行标准化处理。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad j=1,2,3,4,5 \quad (1)$$

式中: $\min(x_j)$ 和 $\max(x_j)$ 为指标的最小值和最大值。

2) 计算评价指标的变异性和冲突性。评价指标的变异性通过标准差 σ_j 进行表征,第 j 项指标的冲突系数根据式(2)进行计算,式中 r_{ij} 为评价指标间的相关系数。

$$c_j = \sum_{i=1}^5 (1 - r_{ij}) \quad j=1,2,3,4,5 \quad (2)$$

3) 计算权重系数。根据评价指标的变异性和冲突性综合计算权重系数,第 j 项指标权重系数计算方法见式(3)。

$$W_j = \frac{\sigma_j \times c_j}{\sum_{j=1}^5 (\sigma_j \times c_j)} \quad j=1,2,3,4,5 \quad (3)$$

1.2.2 功效系数评分法计算评价指标得分

功效系数法是基于多目标规划原理而建立的,根据多个指标进行综合分析的定量评价方法^[14]。根据评价指标技术标准,通过功效函数将每项物理指标转化为可以度量的评价分数,第 i 支卷烟的第 j 项指标得分的计算方法见式(4)。

$$S_{ij} = \left(1 - \frac{|x_{ij} - k_j|}{|U_j - k_j|} \right) \times 40 + 60 \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,3,4,5 \quad (4)$$

由式(4)可知,当检测值 x_{ij} 等于中心值 k_j 时得分最高,为 100 分;当检测值分布在规格极限 $[L_j, U_j]$ 内时,越接近中心值 k_j ,得分越接近 100 分;越接近 L_j 或 U_j ,得分越接近 60 分;当检测值分布在规格极限 $[L_j, U_j]$ 外时,得分小于 60 分。

1.2.3 烟支综合得分量化

烟支综合得分根据评价指标得分和权重系数计算,分合格烟支和不合格烟支进行计算。

1) 合格烟支综合得分。合格烟支是指 5 项指标得分均在 60~100 分,采用式(5)计算综合得分。

$$S_i = \sum_{j=1}^5 (W_j \times S_{ij}) \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

2) 不合格烟支综合得分。不合格烟支是指 5 项指标得分至少有 1 项在 0~60 分,采用式(6)计算综合得分,使不合格烟支的综合得分小于 60 分。

$$S_i = \sum_{j=1}^5 \left[W_j \times \left(60 \times \frac{S_{ij}}{100} \right) \right] \quad i=1,2,\dots,n \quad (6)$$

1.3 班组或机台数据验证

1.3.1 班组或机台综合得分量化

班组或机台综合得分采用其生产烟支的平均得分进行表征,计算式见式(7)。

$$K = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j \quad i=1,2,\dots,n \quad (7)$$

1.3.2 班组或机台综合过程绩效指数

根据班组或机台抽检烟支 5 项物理指标得分,可计算单侧规格情形的过程绩效指数,其过程绩效指数值越高,说明产品的质量特征处于一个稳定规范之内^[15-16]。过程绩效指数计算方法见式(8)。

$$P_j = \begin{cases} \frac{\bar{S}_j - L}{3\sigma_j}, \bar{S}_j > L \\ 0, \bar{S}_j \leq L \end{cases} \quad j=1,2,3,4,5 \quad (8)$$

式中: $\bar{S}_j$ 为评价指标得分的均值; L 为规格下限,文中将规格下限设为 60,因为 60 分以下就为不合格烟支; σ_j 为评价指标得分的标准差。

最后,根据评价指标的过程绩效指数和权重系数计算综合过程绩效指数,计算见式(9)。

$$P = \sum_{j=1}^5 (W_j \times P_j) \quad (9)$$

1.4 数据分析

基于质量、圆周、长度、吸阻和总通风率的烟支物理指标,采用 SPSS 和 Python 语言编程进行计算,使用 Matplotlib 和 Excel 2010 软件制图,5 项物理指标间的相关系数矩阵和矩阵散点图分别见表 1 和图 1。由表 1 和图 1 可知,卷烟部分物理指标之间存在显著相关性,特别是质量和总通风率、吸阻和总通风率之间的相关性较为明显,因此,对烟支物理质量指标进行客观赋权时,如果单纯根据指标的离散性,不考虑指标间的相关性,一定程度上会使权重系数难以反映真实的情况^[17-18]。

2 评价过程分析及结果

2.1 细支卷烟物理指标权重系数计算

利用 CRITIC 赋权法进行细支卷烟 5 项物理指标权重系数的计算,各项指标的变异性、冲突性和权重系数见表 2。由表 2 可知,总通风率变异性最大,说明总通风率的数值差异较大,所蕴含的信息量最多;吸阻冲突性最高,说明吸阻与其他 4 项指标的重复性最低。

表 1 细支卷烟物理指标相关系数矩阵
Tab.1 Correlation coefficient matrix of physical indexes on slim cigarettes

指标	质量	圆周	吸阻	长度	总通风率
质量	1				
圆周	0.178**	1			
吸阻	0.150**	0.003	1		
长度	0.086**	-0.020**	0.084**	1	
总通风率	0.550**	-0.030**	-0.441**	-0.021**	1

注: **为在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

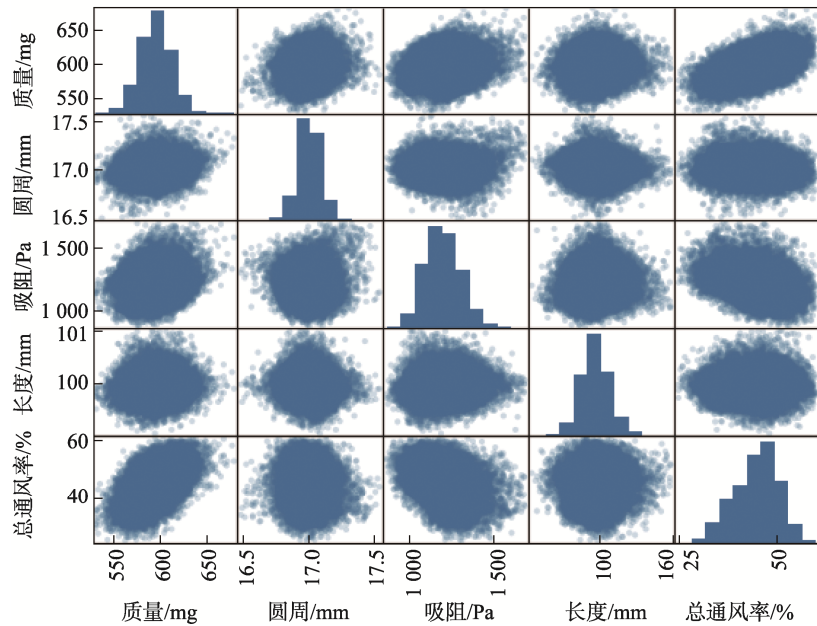


图 1 细支卷烟物理指标矩阵散点图
Fig.1 Scatter matrix plot of physical indexes on slim cigarette

表 2 CRITIC 赋权法权重系数
Tab.2 Coefficient table of CRITIC weighting method

物理指标	变异性	冲突性	权重系数
质量	0.114	3.036	0.152
圆周	0.086	3.869	0.147
吸阻	0.131	4.205	0.243
长度	0.107	3.871	0.182
总通风率	0.159	3.942	0.276

将计算得到的权重系数从大到小排列, 并与细支卷烟物理指标的超标扣分细则(表 3)进行对比可知, 吸阻超标扣分最高, 这主要由于吸阻直接影响消费者的抽吸体验, 因而 CRITIC 法计算得到的客观权重系数也较高; 此外, 长度、质量和圆周被赋予的权重较为接近, 超标扣分中除圆周外, 长度和质量的扣分也是一致的; 差异最大的是总通风率, 主观制订的超标扣分标准较低, 但客观计算得到的权重较高, 说明在细支烟中总通风率的重要性存在被低估的情况。细支

卷烟中主流烟气的焦油量和 CO 量相对较低, 且总通风率也会对其产生较大影响, 这表明总通风率赋予较高权重也反映了细支卷烟低危害的特点。由此说明, 采用 CRITIC 法计算得到的权重系数与主观扣分偏好保持了较好的一致性, 并能对每项指标的重要程度进行客观判别, 既反映出了细支卷烟物理质量指标的实际信息量, 又充分体现了吸阻对消费者的抽吸体验和细支卷烟低危害的品牌定位。

表 3 CRITIC 赋权法所得权重系数与超标扣分标准对比
Tab.3 Contrast the weight coefficient obtained by CRITIC weight method and the standard of deduction

物理指标	权重系数	超标扣分/(分·支 ⁻¹)
总通风率	0.276	0.2
吸阻	0.243	1.0
长度	0.182	0.2
质量	0.152	0.2
圆周	0.147	0.5

2.2 细支卷烟物理指标量化得分和综合得分计算

选取同一机台相同牌号卷烟某一天 A、B、C 3 班抽样烟支检测的 30 组数据为参考,根据该牌号 5 项物理指标的技术标准(表 4),按照式(4)——(6)和表 3 确定的各项物理指标权重系数,分别计算各烟支的量化得分和综合得分,结果见表 5。

由表 5 可以看出,样品 22[#]的烟支总通风率不合格,样品 15[#]和 25[#]的烟支吸阻不合格,其得分均在 60 分以下;而样品 3[#]和 10[#]的烟支圆周与中心值一致,因此其圆周得分为 100 分。将综合得分与 5 项物理指标的单项得分进行对比,可以看出单项指标得分高不

一定就代表综合得分也高,如样品 3[#]和 10[#]的 2 支卷烟圆周得分为 100 分,但样品 3[#]的长度得分较低,样品 10[#]的吸阻和总通风率得分也低,其综合得分也均低于 90 分,因此,细支卷烟物理指标量化得分和综合得分的计算能够较好地反映烟支的整体质量水平。

表 4 细支卷烟烟支物理指标技术标准
Tab.4 Technical standard on physical index of slim cigarettes

质量/ mg	圆周/ mm	吸阻/ Pa	长度/ mm	总通风率/%
585±50	17±0.2	1200±200	100±0.5	44±10

表 5 细支卷烟物理指标检测数据及其量化得分和综合得分
Tab.5 Quantitative and comprehensive scores on physical indexes of slim cigarettes

样品 编号	班组	各烟支物理指标检测数据					各烟支物理指标量化得分					综合得分
		质量/ mg	圆周/ mm	吸阻/ Pa	长度/ mm	总通风率/ %	质量	圆周	吸阻	长度	总通风率	
1 [#]	A	580	17.02	128 1	99.69	40.6	96.0	96	83.8	75.2	86.4	86.60
2 [#]	A	612	16.96	127 5	99.94	37.4	78.4	92	85.0	95.2	73.6	83.74
3 [#]	A	563	17.00	124 0	99.68	39.4	82.4	100	92.0	74.4	81.6	85.64
4 [#]	A	573	17.03	130 4	100.08	40.4	90.4	94	79.2	93.6	85.6	87.47
5 [#]	A	554	16.97	122 5	99.85	39.2	75.2	94	95.0	88.0	80.8	86.65
6 [#]	A	572	17.04	114 1	99.84	38.3	89.6	92	88.2	87.2	77.2	85.75
7 [#]	A	575	17.08	127 8	99.93	38.3	92	84	84.4	94.4	77.2	85.33
8 [#]	A	566	17.02	120 8	99.58	39.6	84.8	96	98.4	66.4	82.4	85.74
9 [#]	A	576	16.91	122 8	100.12	36.9	92.8	82	94.4	90.4	71.6	85.31
10 [#]	A	594	17.00	130 1	99.99	38.4	92.8	100	79.8	99.2	77.6	87.67
11 [#]	B	572	17.09	123 2	99.82	40.3	89.6	82	93.6	85.6	85.2	87.51
12 [#]	B	581	16.90	133 5	99.75	38.8	96.8	80	73.0	80.0	79.2	80.63
13 [#]	B	575	16.94	133 0	100.01	39.5	92.0	88	74.0	99.2	82.0	85.59
14 [#]	B	593	17.15	127 0	99.74	40.2	93.6	70	86.0	79.2	84.8	83.23
15 [#]	B	613	17.13	140 1	99.98	38.6	77.6	74	59.8	98.4	78.4	46.05
16 [#]	B	591	16.96	122 2	99.87	39.1	95.2	92	95.6	89.6	80.4	89.72
17 [#]	B	569	17.04	126 3	99.84	41.0	87.2	92	87.4	87.2	88.0	88.18
18 [#]	B	577	17.02	126 8	99.62	38.7	93.6	96	86.4	69.6	78.8	83.75
19 [#]	B	560	17.06	138 4	100.19	34.6	80.0	88	63.2	84.8	62.4	73.11
20 [#]	B	578	17.08	133 4	99.99	39.8	94.4	84	73.2	99.2	83.2	85.50
21 [#]	C	601	16.99	134 0	100.19	44.8	87.2	98	72.0	84.8	96.8	87.31
22 [#]	C	581	16.99	109 9	100.04	32.8	96.8	98	79.8	96.8	55.2	48.82
23 [#]	C	602	16.94	136 6	100.21	41.6	86.4	88	66.8	83.2	90.4	82.39
24 [#]	C	603	16.97	123 0	100.19	42.9	85.6	94	94.0	84.8	95.6	91.49
25 [#]	C	604	17.06	143 9	99.87	43.2	84.8	88	52.2	89.6	96.8	48.92
26 [#]	C	602	16.98	135 4	99.56	43.4	86.4	96	69.2	64.8	97.6	82.79
27 [#]	C	577	17.01	125 8	99.76	43.5	93.6	98	88.4	80.8	98.0	91.87
28 [#]	C	570	16.95	127 8	99.58	39.7	88.0	90	84.4	66.4	82.8	82.05
29 [#]	C	593	17.04	133 3	100.09	41.5	93.6	92	73.4	92.8	90.0	87.32
30 [#]	C	594	16.88	132 6	99.85	43.4	92.8	76	74.8	88.0	97.6	86.41

2.3 细支卷烟卷接过程班组综合过程绩效指数评价

在卷烟产品卷接包装的质量控制过程中,除了平均得分外,每项得分之间的离散程度也是一项十分重要的考核标准,离散程度大,说明质量波动大,设备处于一个不稳定的状态,容易生产出不合格的卷烟。根据表 5 中细支卷烟物理指标的量化得分,按照式(8)和式(9)可计算出各班组抽检烟支每项物理指标的过程绩效指数和综合过程绩效指数,其结果见表 6。

表 6 中平均分越高,标准差越小,所得到的过程绩效指数就越高,代表过程能力越强^[19]。综合过程绩效指数则代表了卷接过程中的整体过程能力水平,对照 Pearn 等提出的过程绩效评价标准^[19]可以看出,A 班组的过程绩效属于比较充分的Ⅱ级别,各项指标的平均得分和标准差整体表现较好,应继续保持;B 班组的过程能力属于Ⅳ级别,整体过程能力不是很理想,应采取一定的措施进行改善;C 班组属于Ⅲ级别,整体过程能力比较一般,还需进一步采取措施提升到Ⅱ级别。

2.4 CRITIC 赋权法评价细支烟物理质量的应用效果验证

为进一步检验 CRITIC 赋权法在细支烟卷接质量综合评价过程中的表现,采集 2019 年 12 月份的全部

抽检数据分班组和机台进行细支烟综合得分和过程绩效指数计算,其抽检情况及物理指标综合得分结果见表 7,过程绩效指数结果见表 8。

由表 7 可知,A 班组的综合得分最高,其生产卷烟的综合质量最好,其次是 C 班组和 B 班组;同样地,40[#]机台的综合得分也较 41[#]高,这说明 A 班组和 40[#]机台卷烟的卷制质量较好。为进一步检验综合得分与合格率的关系,将班组和机台的综合得分与合格率进行回归分析,结果见图 2,抽检烟支的综合得分与合格率之间存在较强的线性关系, R^2 值达到了 0.956 9。由此可见,班组和机台的综合得分不仅反映了其所生产烟支的整体质量水平,还在一定程度上反映了烟支的合格状况。

由表 8 可知,A 班组和 41[#]机台的综合过程绩效指数较高,但无论是班组还是机台,其综合过程绩效指数均处于Ⅳ级别,说明过程能力不足,在现有技术水平下细支烟卷接包装过程中质量控制难度较大,各项物理指标的波动较为明显,特别是吸阻、长度和总通风率。进一步对 5 项物理指标的过程绩效指数进行分析,可以看出吸阻和总通风率的过程绩效指数明显偏低,应重点考虑在吸阻和总通风率上提高技术管理能力。从机台上看,41[#]机台的综合过程绩效指数明显高于 40[#]机台,说明 41[#]机台的整体性能较好,但其吸阻控制能力又明显低于 40[#]机台,仅为 0.49,应该考虑提高 41[#]机台吸阻的过程控制能力。

表 6 细支卷烟各班组物理指标过程绩效指数
Tab.6 Performance index table of physical indicator process for each working team

班 组	质量			圆周			吸阻			长度			总通风率			综合过 程绩效
	平均 分	标准差	过程 绩效	平均分	标准差	过程 绩效	平均分	标准差	过程 绩效	平均分	标准差	过程 绩效	平均分	标准差	过程 绩效	
A	87.44	6.90	1.33	93.00	5.98	1.84	88.02	6.65	1.40	86.40	10.78	0.82	79.40	4.84	1.34	1.33
B	90.00	6.53	1.53	84.60	8.28	0.99	79.22	12.36	0.52	87.28	9.74	0.93	80.24	7.01	0.96	0.94
C	89.52	4.24	2.32	91.80	6.83	1.55	75.50	11.93	0.43	83.20	10.40	0.74	90.08	13.19	0.76	1.03

表 7 细支卷烟班组/机台抽检情况及物理指标综合得分验证结果

Tab.7 Verification results on comprehensive score of slim cigarettes produced via different teams or machines

班组/ 机台	总抽检 数量/支	不合格 数量/支	合格率/%	综合 得分
A	900	82	90.89	81.73
B	1 060	142	86.60	80.18
C	980	109	88.88	80.77
40 [#]	1 520	170	88.82	81.00
41 [#]	1 420	163	88.52	80.70

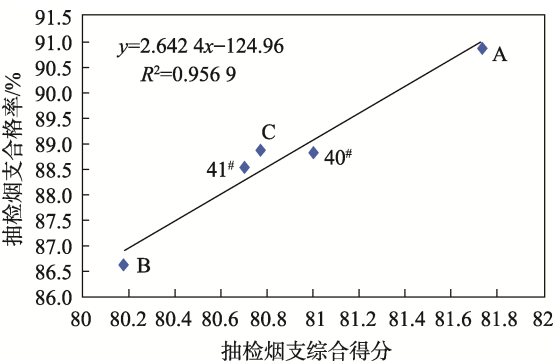


图 2 细支卷烟物理指标综合得分与合格率回归分析
Fig.2 Regression analysis of comprehensive score and qualified rate on sampling cigarettes

表 8 细支卷烟物理指标班组/机台过程绩效指数验证结果

Tab.8 Verification results on performance index of slim cigarettes produced via different teams or machines

班组/机台	质量	圆周	吸阻	长度	总通风率	综合绩效
A	1.06	0.97	0.69	0.70	0.70	0.79
B	1.01	1.01	0.57	0.78	0.67	0.77
C	1.05	1.12	0.60	0.75	0.61	0.78
40 [#]	0.88	1.05	0.80	0.66	0.59	0.77
41 [#]	1.35	1.02	0.49	0.86	0.74	0.84

3 结语

1) 以烟支物理指标为基础, 基于 CRITIC 赋权法建立了细支烟物理指标综合评价方法, 并计算得出总通风率、吸阻、长度、质量、圆周的客观权重系数分别为 0.276、0.243、0.182、0.152、0.147, 充分反映了细支烟的特点和品牌定位。

2) 通过功效系数评分法将每项物理指标转化为直观的评价分数, 并结合权重系数计算得到综合得分, 确立了合格烟支综合得分 ≥ 60 分, 不合格烟支综合得分 < 60 分, 较好地代表了细支烟物理指标的整体质量水平。

3) 细支烟物理指标综合得分与合格率呈线性正相关($R^2=0.9569$), 基于班组和机台综合得分、过程绩效指数的计算, 能客观评价班组、机台合格烟支的生产能力和过程控制能力, 以及时发现细支烟卷接包装过程中存在的质量隐患。

参考文献:

- [1] 周凯敏, 张浩博, 何晋, 等. 卷烟机参数对细支烟卷制的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 129-132.
ZHOU Kai-min, ZHANG Hao-bo, HE Jin, et al. Effects of the Parameter Variations of the Cigarette-Making Machine on Slim Cigarette Producing[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 129-132.
- [2] 张大波, 孔臻, 吴硕, 等. 国内细支卷烟加工工艺现状[J]. 烟草科技, 2018, 51(1): 79-84.
ZHANG Da-bo, KONG Zhen, WU Shuo, et al. Current Situation of Slim Cigarette Manufacturing Technology in China[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(1): 79-84.
- [3] 王瑛, 姜芸芸. 基于改进 CRITIC 赋权法和模糊优选法的大气质量评价[J]. 统计与决策, 2017(17): 83-87.
WANG Ying, JIANG Yun-yun. Air Quality Evaluation Based on Improved CRITIC Weighting Method and Fuzzy Optimal Selection Method[J]. Statistics & Decision, 2017(17): 83-87.
- [4] 褚旭, 李雨, 杜坚, 等. 应用综合赋权法评价植烟土壤肥力[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(4): 42-49.
CHU Xu, LI Yu, DU Jian, et al. Evaluating Fertility of Tobacco Growing Soil by Comprehensive Weighting Method[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(4): 42-49.
- [5] 褚旭, 范幸龙, 杜坚, 等. 烤烟产区气候评价中综合赋权法的应用[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(4): 14-21.
CHU Xu, FAN Xing-long, DU Jian, et al. Application of Comprehensive Weighting Method in Climatic Evaluation of Flue-Cured Tobacco Growing Areas[J]. Chinese Tobacco Science, 2019, 40(4): 14-21.
- [6] 褚旭, 王珂清, 魏建荣, 等. 基于综合赋权法的烤烟烟叶质量评价[J]. 烟草科技, 2019, 52(10): 28-36.
CHU Xu, WANG Ke-qing, WEI Jian-rong, et al. Quality Evaluation of Flue-Cured Tobacco Leaves Based on Comprehensive Weighting[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(10): 28-36.
- [7] 张红涛, 毛罕平. 四种客观权重确定方法在粮虫可拓分类中的应用比较[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 132-136.
ZHANG Hong-tao, MAO Han-ping. Comparison of Four Methods for Deciding Objective Weights of Features for Classifying Stored-Grain Insects Based on Extension Theory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(1): 132-136.
- [8] 闫滨, 姜秀慧, 钟占华, 等. 基于改进权重的综合水质标识指数法的大伙房水库上游水质评价研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(3): 314-323.
YAN Bin, JIANG Xiu-hui, ZHONG Zhan-hua, et al. Water Quality Evaluation of the Upstream of Dahuofang Reservoir Based on Comprehensive Water Quality Identification Index Method of Improved Weight[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2019, 50(3): 314-323.
- [9] 曹英莉. 基于 CRITIC 赋权法的采场结构参数优选模拟研究[J]. 矿业研究与开发, 2021, 41(3): 5-9.
CAO Ying-li. Simulation Study on Optimization of Stope Structure Parameters Based on CRITIC Weighting Method[J]. Mining Research and Development, 2021, 41(3): 5-9.
- [10] 龙林健, 陈星明, 刘传举, 等. 基于 Critic 赋权法的隔离矿柱安全厚度优选研究[J]. 化工矿物与加工, 2021, 50(3): 1-5.
LONG Lin-jian, CHEN Xing-ming, LIU Chuan-ju, et al.

- Research on Optimization of Safety Thickness of Isolation Pillar Based on Critic Weighting Method[J]. Industrial Minerals & Processing, 2021, 50(3): 1-5.
- [11] 李杰, 许磊, 李永红, 等. 基于物理指标的烟支质量评价方法及应用[J]. 管理科学与工程, 2015(2): 30-40. LI Jie, XU Lei, LI Yong-hong, et al. The Evaluation Method and Application of Cigarette Quality Based on some Physical Indexes[J]. Management Science and Engineering, 2015(2): 30-40.
- [12] 张富兴, 张宏伟, 虞松涛, 等. 基于 CRITIC 赋权的回采顺序优化模拟研究[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(4): 1-7. ZHANG Fu-xing, ZHANG Hong-wei, YU Song-tao, et al. Simulation Research on Mining Sequence Optimization Based on CRITIC Empowerment[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(4): 1-7.
- [13] 郑恺原, 向小华. 基于 AHM-CRITIC 赋权的小兴凯湖水质评价模型[J]. 节水灌溉, 2020(9): 79-83. ZHENG Kai-yuan, XIANG Xiao-hua. Water Quality Evaluation Model of Xiaoxingkai Lake Based on AHM-CRITIC Weighting[J]. Water Saving Irrigation, 2020(9): 79-83.
- [14] 李云涛, 晏华, 余荣升, 等. 基于功效系数法的复合相变材料综合性能评价研究[J]. 材料导报, 2017, 31(8): 135-139. LI Yun-tao, YAN Hua, YU Rong-sheng, et al. Comprehensive Performance Evaluation of Composite Phase Change Materials Based on Efficacy Coefficient Method[J]. Materials Review, 2017, 31(8): 135-139.
- [15] 颜斌, 王斌会, 徐锋. 非正态过程能力指数估计与 Bootstrap 置信区间构建[J]. 统计与决策, 2020, 36(7): 10-16. YAN Bin, WANG Bin-hui, XU Feng. Non-Normal Process Capacity Index Estimation and Its Bootstrap Confidence Interval Construction[J]. Statistics & Decision, 2020, 36(7): 10-16.
- [16] 颜斌, 王斌会, 徐锋. 过程能力指数样本估计及置信区间构建方法[J]. 统计与决策, 2020, 36(10): 37-41. YAN Bin, WANG Bin-hui, XU Feng. Construction of Process Capability Index Sample Estimation and Confidence Interval[J]. Statistics & Decision, 2020, 36(10): 37-41.
- [17] 王昆, 宋海洲. 三种客观权重赋权法的比较分析[J]. 技术经济与管理研究, 2003(6): 48-49. WANG Kun, SONG Hai-zhou. Comparative Analysis of Three Objective Weighting Methods[J]. Technoeconomics & Management Research, 2003(6): 48-49.
- [18] 张娇, 蒋倩倩, 张伯言, 等. 基于 AHP-CRITIC 法正交优选乌甘袋泡茶提取工艺及抗炎作用研究[J]. 中草药, 2020, 51(8): 2177-2184. ZHANG Jiao, JIANG Qian-qian, ZHANG Bo-yan, et al. Study on Extraction Process and Anti-Inflammatory Effect of Wugan Tea Based on AHP-CRITIC Analysis[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(8): 2177-2184.
- [19] 王斌会. 过程能力指数统计推断的大数据方法研究[J]. 统计与决策, 2019, 35(11): 22-26. WANG Bin-hui. A Study on Big Data Method for Statistical Inference of Process Capability Index[J]. Statistics & Decision, 2019, 35(11): 22-26.

责任编辑: 曾钰婵