

卷烟生产过程质量稳定性评价方法的设计及应用

The design and application of evaluation method for quality stability of cigarette production process

熊安言¹ 李善莲² 丁美宙¹

XIONG An-yan¹ LI Shan-lian² DING Mei-zhou¹

刘文召³ 顾亮¹ 黄光富¹

LIU Wen-zhao³ GU Liang¹ HUANG Guang-fu¹

(1. 河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南 郑州 450000; 2. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001; 3. 河南中烟工业有限责任公司黄金叶生产制造中心, 河南 郑州 450000)

(1. Technology Center, Henan Branch of China Tobacco Industry Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3. Gold Leaf Production Manufacturing Center, Henan Branch of China Tobacco Industry Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China)

摘要:为弥补现有质量稳定性评价方法灵敏性不足,运用统计技术设计一种卷烟生产过程质量稳定性评价方法。该方法将生产过程中的变量进行分类,针对不同类型的变量采用不同的方法计算其质量稳定性指数;根据不同工序以及工序中不同变量的重要程度赋予不同的权重,工序内采用加权平均的方法计算其质量稳定性指数,工序间(批次内)采用几何平均的方法计算其质量稳定性指数。将质量稳定性指数分成 4 个档次,80 以上为优,质量最佳;70~80 为良,质量较好;60~70 为合格,质量合格;60 以下较差,需要改进。结果表明,与六西格玛分析方法相比,该方法能够准确反映烟丝质量水平,提高了批次及工序质量稳定性评价结论的可靠性,根据各参数指标的计算结果,可查找出质量稳定性较差的原因,有效提升了制丝生产过程管控水平。

关键词:卷烟;生产过程;质量稳定性;六西格玛;评价方法;批次

Abstract: In order to make up for the deficiency of the existing evaluation method of quality stability, a new method of evaluating the quality stability of cigarette production process was developed by using statistical techniques. This method first classified the variables

in the production process, and different types of variables using different methods were used to calculate the quality stability index. Moreover, different weights were determined according to both the importance of different processes and different variables in processes, and then the process using weighted average method was applied to calculate the stability of quality index. Furthermore, the process (batch) using geometric mean method was used calculate the stability of quality index. The quality stability index was divided into 4 grades as follows, more than 80 for the best, the best quality; 70~80 for good, good quality; 60~70 for qualified, the quality of qualified; 60 the following poor, needed to be improved. The results showed that the method could accurately reflect the tobacco quality level and improve the reliability and stability of batch process quality evaluation conclusion compared with the six sigma analysis method. The reason of poor stability was revealed according to different parameter indexes, and the management and control during silk production process could be significantly improved.

Keywords: cigarette; production process; quality stability; six sigma; evaluation methods; batch

基金项目: 河南中烟工业有限责任公司重点科技项目(编号: ZW2013031)

作者简介: 熊安言,男,河南中烟工业有限责任公司技术中心工程师。
通信作者: 顾亮(1975—),男,河南中烟工业有限责任公司技术中心工程师。E-mail: gul@hatic.com.cn

黄光富(1969—),男,河南中烟工业有限责任公司技术中心工程师。E-mail: huanggf@hatic.com.cn

收稿日期: 2016-11-05

《卷烟工艺规范》^[1]强调了工艺控制(管理)由控制指标向控制参数转变,并突出了过程控制(管理)与质量稳定性的重要意义。统计学^[2]定义了稳定状态和不稳定状态。生产过程的质量稳定性是指在车间生产过程中可持续地满足技术标准、规范要求,从而保证各个生产单元所输出产品质量的波动在允许范围内的能力^[3]。近年来,过程(管控)能力指数 CPK^[4]、西格玛水平测试^[5-6]等在烟草行业得到广泛运

用。其中,孙东亮^[7]提出了新的工序能力评价技术指标 Cak 和 \bar{K} ,提高了工序能力评价结论的可靠性和可比性,实现了对过程的实时监控;文杰等^[8]为稳定和提高卷烟制丝质量,采用统计过程控制技术(过程能力指数 PPK 值)对制丝工序的重要参数进行了评价和改进;刘泽春等^[9]利用控制图和过程能力指数的评价方法,对卷烟制丝加料过程的稳态进行判断,并对稳态条件下的加料均匀性进行了定性和定量的描述及评价;王光宇等^[10]设计开发了质量评价系统(statistical process control,SPC),并对该系统的结构、功能作了框架性论述;李永华等^[11-15]运用六西格玛管理方法,分别对烟草制丝线关键质量特性指标(critical to quality,CTQ)和关键过程特性指标(critical to process,CTP)进行确定,并应用层次分析法得到各指标权重,通过加权求和得到生产过程能力 Z 水平,用于对制丝加工过程能力进行综合评价,同时采用六西格玛的 DMAIC(是指定义<Define>、测量<Measure>、分析<Analyze>、改进<Improve>、控制<Control>5个阶段构成的过程改进方法)方法论对 Z 水平较小的工序进行改进,使卷烟制丝线过程能力得到显著提高。另外,失效模式及后果分析(failure mode and effect analysis,FMEA)风险评价方法^[16-17]、灰色关联分析^[18]、层次分析法等^[19-20]质量评价方法也被应用到烟草行业,有效提高了质量管控水平。但上述方法均存在以下问题:①以正态分布为基础,在稳态下计算;②统计结果在合格区间内区分不显著,量化水平较窄;③无法对整批质量稳定性进行统一的、可比较的量化分析。参考李善莲等^[21]的研究结果,设计了一种卷烟生产过程质量稳定性评价方法,旨在克服当前评价方法的不足,量化分析评价过程的管控能力,直观分析过程质量稳定性水平,且能根据各参数指标的计算结果,查找出质量稳定性较差的原因,进一步提升生产过程管控水平。

1 卷烟生产过程质量稳定性评价方法的设计

1.1 评价方法的组成

卷烟生产过程质量稳定性评价方法:①关键工序、质量指标及其权重的确定;②将卷烟生产过程中的变量进行分类,包括有允差要求的望目控制型、无允差要求的望目控制型、极值控制型和范围控制型。其中,无允差要求的望目控制型变量可利用公式转化为波动量、精度等极值控制型变量,或增加控制限转化为有允差的望目型变量;此外,如滚筒转速、阀门开度等,在生产过程中设定后基本不随时间变化,监视即可;范围控制型变量,如贮叶时间等要求在一定的范围内,符合要求即可。因此,过程中需重点管控的是望目和极值控制型变量;③将分类后的变量进行量化表征。其中,望目控制型变量通过偏离度和离散度来表征,极值控制型变量通过实测值与设定值的偏移程度来表征;④进行单变量质量稳定性评价。根据变量类型的不同采用不同的评价模型,望目控制型变量采用基于偏离度和离散度的望目控制模型进行评价,极值控制型变量采用基于实测值与设定值的偏移程度的极值控制模型进行评价;⑤进行多变量

质量稳定性评价。多变量评价包括工序综合质量稳定性评价和批次综合质量稳定性评价两部分,前者采用基于单变量质量稳定性评价结果加权平均的工序质量稳定性评价综合指数模型,后者采用基于工序综合质量稳定性评价结果加权平均的批次质量稳定性综合评价指数模型。

1.2 评价参数和质量指标及其权重的确定

通常可采用专家咨询、层次分析^[22]、德尔菲法^[23]等方法,分析确定各变量及其分析评价权重。本研究中采用专家咨询法根据重要程度对关键工序及相关参数和质量指标赋予权重,结果见表1、2。为评价方便,制丝和卷包分开赋予权重,整批评价时,制丝权重为60%,卷包权重为40%。

1.3 变量量化表征

对检测或采集数据通过与技术标准要求相比较进行变量量化表征。

1.3.1 望目控制型变量的量化表征 望目控制型变量通常为在线采集的连续数据,可通过偏离度和离散度来表征。

(1) 偏离度:偏离度是指实际数据与目标数据相差的绝对值所占目标数据的比重,表征的是实际控制值与技术标准值的偏离程度,即准确度。望目控制型变量又分为有允差和无允差两类。

①有允差望目控制型变量($X_{pv} \pm 3\delta_{pv}$),一般要求控制在允差范围内(或3倍标偏),采用式(1)进行计算和表征。其中, A 值越小,表征实际控制均值与技术标准值越接近,即

表1 制丝关键工序及权重设置[†]

Table 1 Key process and weight settings

| 工序名称 | 工序权重/% | 参数及指标 | 权重/% |
|------|--------|---------|------|
| 松散回潮 | 10 | 回风温度 | 60 |
| | | 出料含水率 | 40 |
| | | 物料流量 | 10 |
| 润叶加料 | 15 | 热风温度 | 20 |
| | | 加料精度 | 30 |
| | | 出料含水率 | 40 |
| | | 入口含水率 | 20 |
| | | 物料流量 | 10 |
| 薄板烘丝 | 50 | HT 蒸汽流量 | 15 |
| | | I 区壁温 | 10 |
| | | II 区壁温 | 20 |
| | | 热风温度 | 5 |
| | | 出料含水率 | 20 |
| | | 流量波动 | 10 |
| | | 掺配精度 | 10 |
| 掺配加香 | 25 | 加香精度 | 20 |
| | | 出料含水率 | 30 |
| | | 填充值 | 10 |
| | | 整丝率 | 10 |
| | | 碎丝率 | 10 |

[†] 无掺配牌号,掺配精度质量稳定性指数赋值100。

表 2 卷包评价项目及权重设置

| Table 2 Evaluation items and weight settings | | | |
|--|--------|-------|------|
| 项目名称 | 项目权重/% | 参数及指标 | 权重/% |
| 感官质量 | 50 | 感官质量 | 100 |
| | | 吸阻 | 30 |
| | | 质量 | 15 |
| | | 总通风率 | 20 |
| | | 硬度 | 5 |
| | | 端部落丝 | 10 |
| 物理质量 | 20 | 含水率 | 10 |
| | | 圆周 | 5 |
| | | 含末率 | 5 |
| | | 焦油量 | 40 |
| | | 烟碱量 | 30 |
| | | CO 量 | 30 |
| 外观质量 | 10 | 外观质量 | 100 |

控制准确度越好,生产过程质量越稳定。

$$A = \frac{|\bar{\chi} - \chi_{pv}|}{\delta_{pv}}, \quad (1)$$

式中:

A ——偏离度;

$\bar{\chi}$ ——实测平均值;

χ_{pv} ——技术标准值;

δ_{pv} ——设计标准偏差, $\delta_{pv} = \text{允差}/3$ 。

② 无允差望目控制型变量,采用式(2)可计算出相对变化量等转化为极值控制型变量,或增加控制限转化为有允差的望目控制型变量。因此,以下望目控制型变量均指有允差望目控制型变量。

$$B = \frac{|\bar{\chi} - \chi_{pv}|}{\chi_{pv}}, \quad (2)$$

式中:

B ——相对变化量。

(2) 离散度:离散度表征的是实际控制波动情况(标准偏差)对技术标准要求的满足程度,即精准度,采用式(3)进行计算和表征。其中, P 值越小,表征实际控制的波动情况越能满足技术标准要求,即控制精度越好。

$$P = \frac{s}{\delta_{pv}}, \quad (3)$$

式中:

P ——离散度;

s ——实测标准偏差。

1.3.2 极值控制型变量的量化表征 极值控制型变量通常为离线检测数据,在技术标准中通常有望大($\geq \chi_{pv}$)、望小($\leq \chi_{pv}$)设定,主要通过实测值相对于设计值的偏移程度来表征,采用式(4)进行计算:

$$C = \frac{\bar{\chi} - \chi_{pv}}{\chi_{best} - \chi_{pv}}, \quad (4)$$

式中:

C ——偏移程度;

χ_{best} ——理论或实际最优值。

1.4 单变量质量稳定性评价

1.4.1 望目控制型变量模型 望目控制型变量要求控制中心值和标准偏差,即对偏离度和离散度均有要求,其质量稳定性指数 I 采用式(5)计算:

$$I_c = I_{best} - (I_{best} - I_{base}) \times \sqrt{\left(\frac{A}{3}\right)^2 + P^2}, \quad (5)$$

式中:

I_c ——望目控制型变量质量稳定性指数;

I_{best} ——最优水平;

I_{base} ——基线水平;

A ——偏离度;

P ——离散度。

令 $I_{best} = 100, I_{base} = 60$, 可得:

$$I_c = 100 - 40 \times \sqrt{\left(\frac{A}{3}\right)^2 + P^2}. \quad (6)$$

1.4.2 极值控制型变量模型 极值控制型变量有望大、望小两种类型,其质量稳定性指数 I_d 采用式(7)计算:

$$I_d = I_{base} + (I_{best} - I_{base}) \times \left(\frac{\bar{\chi} - \chi_{pv}}{\chi_{best} - \chi_{pv}}\right) = I_{base} + (I_{best} - I_{base}) \times C, \quad (7)$$

式中:

I_d ——极值控制型变量质量稳定性指数;

χ_{pv} ——设定要求,等于 χ_{base} ;

χ_{best} ——理论或实际期望最优值;

$\bar{\chi}$ ——实测平均值;

C ——偏移程度。

令 $I_{best} = 100, I_{base} = 60$, 可得:

$$I_d = 60 + 40 \times C. \quad (8)$$

1.5 多变量质量稳定性评价

多变量质量稳定性评价涉及工序及批次的质量稳定性分析评价,批次(或工序)质量稳定性指数取基于各工序(或单变量)质量稳定性指数的加权平均值。构建量化的批次(或工序)质量稳定性指数模型,采用式(9)、(10)进行计算:

$$G = f(I, \omega) = \sum_{i=1}^k \omega_i I_i, \quad (9)$$

式中:

G ——工序质量稳定性指数;

I_i ——第 i 个变量的质量稳定性指数;

ω_i ——第 i 个变量的权重。

$$L = f(G, d) = \sum_{i=1}^k d_i G_i, \quad (10)$$

式中:

L ——批次质量稳定性指数;

G_i ——第 i 个工序的质量稳定性指数;

d_i ——第 i 个工序的权重。

1.6 评价分析

对照表3质量指数得分进行过程稳定性分析评价,表中指数80以上的为优,指数70~80的为良,指数60~70的为合格,指数60以下的为不合格。质量指数变化大和得分低的项目需要分析和改进。

2 卷烟生产过程质量稳定性评价方法的应用

卷烟生产过程质量稳定性评价是将中控室自动采集数据与人工检测数据相结合,用于评价卷烟生产过程多参数、多指标、多工序以及批次质量稳定性的综合评价方法。利用黄金叶生产制造中心“黄金叶”品牌某规格卷烟制丝关键工序中控室自动采集数据和质量检测数据,以六西格玛评价方法为对照,分别对批次综合质量稳定性指数优、良2个档次进行应用效果分析。

2.1 各工序单变量质量稳定性评价

(1) 松散回潮工序:主要考察出料含水率和回风温度。

由表4可知,六西格玛评价结果为合格率100%,即为优;但质量稳定性指数评价结果,出料含水率为良,回风温度为优,这与松散回潮采用定量加水造成出料含水率控制效果不理想的结果相吻合。

(2) 筛分加料工序:主要考察入口物料流量、出料含水率、热风温度和加料精度。由表5可知,六西格玛评价结果为合格率100%,即为优;质量稳定性指数评价结果虽然也全部为优,但数值上多数不是100,说明未达到最优程度。例如入口物料流量,013号比014号稳定性指数差,其标准偏差也刚好差于014号,从而真实地反映了生产过程的波动性。

(3) 薄板烘丝工序:主要考察入口含水率、入口物料流量、HT蒸汽流量、I区筒壁温度、II区筒壁温度、热风温度和出料含水率。由表6可知,六西格玛评价结果除014号的入口含水率和物料流量外,其他合格率均为100%,014号入口含水率合格率为95.71%,即为优;质量稳定性指数评价结果则是014号入口含水率、I区筒壁温度、II区筒壁温度均

表3 质量指数得分区间
Table 3 Quality index score interval

| 离散度 | 偏移度 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0.20 | 0.40 | 0.60 | 0.80 | 1.00 | 1.20 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.20 | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 0.0 | 100 | 97.33 | 94.67 | 92.00 | 89.33 | 86.67 | 84.00 | 81.33 | 78.67 | 76.00 | 73.33 | 70.67 | 68.00 | 65.33 | 62.67 | 60.00 |
| 0.2 | 92 | 91.57 | 90.39 | 88.69 | 86.67 | 84.45 | 82.11 | 79.69 | 77.22 | 74.70 | 72.16 | 69.60 | 67.02 | 64.42 | 61.82 | 59.21 |
| 0.4 | 84 | 83.78 | 83.13 | 82.11 | 80.77 | 79.17 | 77.37 | 75.41 | 73.33 | 71.16 | 68.90 | 66.59 | 64.22 | 61.82 | 59.38 | 56.92 |
| 0.6 | 76 | 75.85 | 75.41 | 74.70 | 73.74 | 72.54 | 71.16 | 69.60 | 67.89 | 66.06 | 64.12 | 62.10 | 60.00 | 57.84 | 55.62 | 53.35 |
| 0.8 | 68 | 67.89 | 67.56 | 67.02 | 66.27 | 65.33 | 64.22 | 62.95 | 61.54 | 60.00 | 58.35 | 56.59 | 54.75 | 52.82 | 50.83 | 48.78 |
| 1.0 | 60 | 59.91 | 59.65 | 59.21 | 58.60 | 57.84 | 56.92 | 55.86 | 54.67 | 53.35 | 51.93 | 50.40 | 48.78 | 47.07 | 45.28 | 43.43 |

表4 松散回潮工序采集数据及两种评价方法的计算结果

Table 4 The results of data collection and two different evaluation methods of the loose resurgence

| 变量 | 批次号 | 统计结果 | | | | 对照(六西格玛评价方法) | | | 稳定性指数(质量稳定性评价方法) | | |
|---------|-----|------|-----|-------|-------|--------------|--------------|-------|------------------|-------|-------|
| | | 标准值 | 允差 | 平均值 | 标准偏差 | Φ (USL) | Φ (LSL) | 合格率/% | A | P | I_c |
| 出料含水率/% | 013 | 17.5 | 1.0 | 17.55 | 0.221 | 1 | 0 | 100 | 0.150 | 0.664 | 73.37 |
| | 014 | 17.5 | 1.0 | 17.52 | 0.242 | 1 | 0 | 100 | 0.060 | 0.726 | 70.94 |
| 回风温度/℃ | 013 | 60.0 | 2.0 | 60.04 | 0.273 | 1 | 0 | 100 | 0.060 | 0.409 | 83.63 |
| | 014 | 60.0 | 2.0 | 60.01 | 0.298 | 1 | 0 | 100 | 0.015 | 0.446 | 82.14 |

表5 筛分加料工序采集数据及两种评价方法的计算结果[†]

Table 5 The results of data collection and two different evaluation methods of the screening feeding

| 变量 | 批次号 | 统计结果 | | | | 对照(六西格玛评价方法) | | | 稳定性指数(质量稳定性评价方法) | | |
|------------------------------|-----|---------|------|----------|-------|--------------|--------------|-------|------------------|-------|-----------|
| | | 标准值 | 允差 | 平均值 | 标准偏差 | Φ (USL) | Φ (LSL) | 合格率/% | A | P/C | I_c/I_d |
| 入口物料流量/(kg·h ⁻¹) | 013 | 3 200.0 | 16.0 | 3 199.98 | 0.605 | 1 | 0 | 100 | 0.004 | 0.113 | 95.47 |
| | 014 | 3 200.0 | 16.0 | 3 200.01 | 0.410 | 1 | 0 | 100 | 0.002 | 0.077 | 96.93 |
| 出料含水率/% | 013 | 18.5 | 1.0 | 18.55 | 0.066 | 1 | 0 | 100 | 0.150 | 0.197 | 91.88 |
| | 014 | 18.5 | 1.0 | 18.51 | 0.080 | 1 | 0 | 100 | 0.030 | 0.239 | 90.44 |
| 热风温度/℃ | 013 | 90.0 | 3.0 | 89.85 | 0.258 | 1 | 0 | 100 | 0.150 | 0.300 | 89.50 |
| | 014 | 90.0 | 3.0 | 90.20 | 0.347 | 1 | 0 | 100 | 0.200 | 0.347 | 85.85 |
| 加料精度/% | 013 | ≤1.0 | | 0.01 | 0.101 | | 0 | 100 | | 0.990 | 99.60 |
| | 014 | ≤1.0 | | 0.00 | 0.016 | | 0 | 100 | | 1.000 | 100.00 |

[†] 加料精度为极值控制型变量,对应极值控制型变量的计算方法和指标表征。

为良,入口物料流量为差,出口含水率虽然为优,但指数值仅为 85.33。因此,014 号由于流量的异常波动,造成入口含水率、筒壁温度、出料含水率波动。可见,质量稳定性指数能够清晰地反映这一生产过程,六西格玛评价结果仅能发现因物料流量出现异常波动而引起入口含水率波动,且影响较小。

(4) 掺配加香工序:主要考察流量波动、加香精度、出料含水率、填充值、整丝率和碎丝率,掺配精度稳定性指数赋值 100。由表 7 可知,六西格玛评价结果为两批次的加香精度和 013 号碎丝率合格率在 70%~80%,其他合格率为 80% 以上;质量稳定性指数评价结果则是两批次的填充值、013 号整丝率为良,013 号碎丝率为合格,其他指标为优。从检

测数据可以看出,两批次的填充值平均值为 $4.2 \text{ cm}^3/\text{g}$,与标准要求($\geq 4.0 \text{ cm}^3/\text{g}$)的下限值较为接近,013 号的碎丝率和整丝率情况类似。而两批次的加香精度值均在 0.09% 以下,能够满足标准要求($\leq 0.5\%$)。可见,质量稳定性评价方法能够真实地反映生产质量完成情况。

2.2 各工序及批次综合管控能力评价

由表 8 可知,六西格玛评价结果为两批次差异不大,014 号稍差于 013 号,但均处于优以上;质量稳定性指数评价结果则是 014 号显著差于 013 号,013 号整体质量稳定性指数为优,而 014 号仅为良,原因在于松散回潮和薄板烘丝的质量稳定性指数较差,这与上述分析相符合。

表 6 薄板烘丝工序采集数据及两种评价方法的计算结果

Table 6 The results of data collection and two different evaluation methods about dry plate drying

| 变量 | 批次号 | 统计结果 | | | | 对照(六西格玛评价方法) | | | 稳定性指数(质量稳定性评价方法) | | |
|---|-----|---------|------|----------|--------|--------------|--------------|--------|------------------|-------|---------|
| | | 标准值 | 允差 | 平均值 | 标准偏差 | Φ (USL) | Φ (LSL) | 合格率/% | A | P | I_c |
| 入口含水率/% | 013 | 17.8 | 0.5 | 17.77 | 0.032 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.180 | 0.191 | 91.98 |
| | 014 | 17.8 | 0.5 | 17.76 | 0.090 | 0.957 | 0.000 | 95.71 | 0.240 | 0.538 | 78.24 |
| 入口物料流量/ ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$) | 013 | 2 800.0 | 14.0 | 2 799.99 | 0.285 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.002 | 0.061 | 97.56 |
| | 014 | 2 800.0 | 14.0 | 2 807.87 | 27.067 | 0.590 | 0.210 | 38.00 | 1.686 | 5.800 | -133.09 |
| HT 蒸气流量/ ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$) | 013 | 150.0 | 10.0 | 150.00 | 0.128 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.000 | 0.038 | 98.47 |
| | 014 | 150.0 | 10.0 | 150.00 | 0.102 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.000 | 0.030 | 98.78 |
| I 区筒壁 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 013 | 123.0 | 2.0 | 123.00 | 0.046 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.000 | 0.069 | 97.25 |
| | 014 | 123.0 | 2.0 | 123.09 | 0.423 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.135 | 0.630 | 74.57 |
| II 区筒壁 温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 013 | 123.0 | 2.0 | 123.00 | 0.072 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.000 | 0.108 | 95.68 |
| | 014 | 123.0 | 2.0 | 123.07 | 0.368 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.105 | 0.550 | 77.86 |
| 热风温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 013 | 115.0 | 3.0 | 115.00 | 0.172 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.000 | 0.172 | 93.10 |
| | 014 | 115.0 | 3.0 | 114.99 | 0.162 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.010 | 0.162 | 93.54 |
| 出料含水率/% | 013 | 12.8 | 0.5 | 12.73 | 0.024 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.000 | 0.140 | 92.02 |
| | 014 | 12.8 | 0.5 | 12.73 | 0.057 | 1.000 | 0.000 | 100.00 | 0.420 | 0.339 | 85.33 |

表 7 掺配加香采集、检测数据及及两种评价方法的计算结果[†]

Table 7 The results of data collection, test and two different evaluation methods about Blending flavoring

| 变量 | 批次号 | 统计结果 | | | | 对照(六西格玛评价方法) | | | 稳定性指数(质量稳定性评价方法) | | |
|---|-----|-------------|-----|-------|-------|--------------|--------------|--------|------------------|-------|-----------|
| | | 标准值 | 允差 | 平均值 | 标准偏差 | Φ (USL) | Φ (LSL) | 合格率/% | A | P/C | I_c/I_d |
| 流量波动/% | 013 | ≤ 1.0 | | 0.35 | 0.105 | | 0.000 | 100.00 | | 0.650 | 86.00 |
| | 014 | ≤ 1.0 | | 0.32 | 0.105 | | 0.000 | 100.00 | | 0.680 | 87.20 |
| 出料含水率/% | 013 | 12.7 | 0.5 | 12.75 | 0.029 | 1 | 0.000 | 100.00 | 0.300 | 0.161 | 92.43 |
| | 014 | 12.7 | 0.5 | 12.72 | 0.025 | 1 | 0.000 | 100.00 | 0.100 | 0.151 | 93.77 |
| 加香精度/% | 013 | ≤ 0.5 | | 0.02 | 0.611 | | 0.216 | 78.41 | | 0.960 | 98.40 |
| | 014 | ≤ 0.5 | | 0.09 | 0.523 | | 0.217 | 78.34 | | 0.820 | 92.80 |
| 填充值/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) | 013 | ≥ 4.0 | | 4.20 | 0.082 | | 0.008 | 99.24 | | 0.278 | 71.11 |
| | 014 | ≥ 4.0 | | 4.21 | 0.082 | | 0.005 | 99.46 | | 0.292 | 71.67 |
| 整丝率/% | 013 | ≥ 76.0 | | 79.00 | 1.160 | | 0.005 | 99.52 | | 0.448 | 77.91 |
| | 014 | ≥ 76.0 | | 79.50 | 1.160 | | 0.001 | 99.87 | | 0.522 | 80.90 |
| 碎丝率/% | 013 | ≤ 2.0 | | 1.80 | 0.362 | | 0.290 | 70.98 | | 0.133 | 65.33 |
| | 014 | ≤ 2.0 | | 1.20 | 0.362 | | 0.014 | 98.65 | | 0.533 | 81.33 |

[†] 流量波动、加香精度、填充值、整丝率和碎丝率为极值控制型变量,对应极值控制型变量的计算方法和指标表征。

表8 各工序及批次评价结果

Table 8 Evaluation results of the stability of the process and batch quality

| 批次号 | 对照(六西格玛评价方法) | | | | 批次综合西格玛指数 | 稳定性指数(质量稳定性评价方法) | | | | 批次综合L |
|-----|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | 松散回潮合格率/% | 筛分加料合格率/% | 薄板烘丝合格率/% | 混丝加香合格率/% | | 松散回潮G ₁ | 筛分加料G ₂ | 薄板烘丝G ₃ | 混丝加香G ₄ | |
| 013 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 91.93 | 3.54 | 79.53 | 94.08 | 94.84 | 87.44 | 91.35 |
| 014 | 100.00 | 100.00 | 90.78 | 95.04 | 3.06 | 77.66 | 93.04 | 61.93 | 88.80 | 74.89 |

3 结论

(1) 卷烟生产过程质量稳定性评价方法将物料流量、加料比例等无允差望目型变量转化为极值控制型变量,或增加控制限转化为有允差的望目控制型变量进行评价,有利于对该类参数或质量指标进行客观评价。

(2) 采用卷烟生产过程质量稳定性评价方法,利用中控室自动采集数据和人工检测数据来评价过程质量稳定性,能够节省人力、物力,实现对各工序工艺参数和质量指标以及对整批次质量稳定性的评价。

(3) 与六西格玛分析方法相比,卷烟生产过程质量稳定性评价方法具有明显的技术优势,能够准确反映烟丝质量稳定性水平,发现问题改进点,提升质量稳定性评价的科学性和指导性。

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: 1-4, 118.

[2] 李玉玲. 基于过程能力指数的工序质量控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008: 3-10.

[3] 王国栋. 中小制造企业精益质量导航方法及关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011: 4-15.

[4] 汤淑明, 王飞跃. 过程能力指数综述[J]. 应用概率统计, 2004(2): 207-216.

[5] 马逢时, 周暉, 刘传冰. 六西格玛管理统计指南: MINITAB 使用指导[M]. 2版. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 609-622.

[6] 马林, 何桢. 六西格玛管理[M]. 2版. 北京: 中国人民大学出版社, 2007: 400-539.

[7] 孙东亮. 过程检验数据在过程能力评价中的应用[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(3): 20-23.

[8] 文杰, 唐着宽, 杨明权, 等. 过程能力分析在制丝工艺技术改进中的应用[J]. 烟草科技, 2012(3): 12-16.

[9] 刘泽春, 黄华发, 洪伟龄, 等. 过程能力分析在卷烟加料均匀性评价中的应用[J]. 烟草科技, 2010(10): 5-7, 21.

[10] 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, 23(12): 24-26, 52.

[11] 李永华, 姜麟, 刘秀明, 等. 基于六西格玛管理建立制丝线过程能力评价体系[J]. 信息系统工程, 2014(6): 139-140, 149.

[12] 王蔚. 六西格玛管理在QC小组活动中的创新整合应用[J]. 科技资讯, 2015(9): 145.

[13] 罗志雪. 六西格玛管理在企业管理实践中的应用[J]. 企业改革与管理, 2015(5): 28-29.

[14] 李永华, 姜麟, 刘秀明, 等. 六西格玛与多元线性回归模型在烟丝含水率设计中的应用[J]. 科技和产业, 2014, 14(8): 159-164.

[15] 高树华. 推行精益六西格玛管理提升卷烟物流管理水平[J]. 改革与开放, 2015(2): 124-125.

[16] 范胜兴, 范林晖, 欧亚敏, 等. 烟丝质量评价方法的改进[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(2): 25-28.

[17] 黄雯华. FMEA在卷包工序产品品质风险管理中的应用[J]. 烟草科技, 2014(4): 26-30, 34.

[18] 张勇刚, 吴键, 项波卡, 等. 基于改进模糊灰色关联分析法的卷烟化学品质评价[J]. 烟草科技, 2014(10): 83-86.

[19] 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.

[20] 范胜兴, 范林晖, 欧亚敏, 等. 层次分析法在烟丝质量评价中的应用[C]// 中国烟草学会工业专业委员会烟草工艺学术研讨会论文集. 青岛: 中国烟草学会, 2010: 45-48.

[21] 李善莲, 张炜, 张超, 等. 基于功效系数法的卷烟加工过程管控评价方法[J]. 烟草科技, 2016, 49(5): 75-82, 99.

[22] 侯定丕. 层次分析[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1990: 100-168.

[23] 赵松山, 白雪梅. 用德尔菲法确定权数的改进方法[J]. 统计研究, 1994(4): 46-49.

(上接第93页)

[4] 应义斌, 徐惠荣, 叶昱程. 分级机用双锥式滚子水果输送翻转装置: 中国, 02266030.5[P]. 2002-08-03.

[5] 李庆中, 汪懋华. 基于计算机视觉的苹果自动分级系统硬件开发[J]. 农业机械学报, 2000, 31(2): 56-59.

[6] THROOP J A, ANESHANSLEY D J, ANGER W C, et al. Quality evaluation of apples based on surface defects: development of an automated inspection system [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(3): 281-290.

[7] 徐惠荣, 应义斌, 盖玲. 双锥式滚子水果输送翻转机构的研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(6): 100-103.

[8] YANG Tao. Method and apparatus for sorting objects by color including stable color transformation: US, 5533628[P].1996-07-09.

[9] LEEMANS V, DESTAIN M F. A real time grading method of apples based on features extracted from defects[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(1): 83-89.

[10] BENNEDSEN B S, PETERSON D L, AMY Tabb. Identifying defects in images of rotating apples[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 48(2): 92-102.

[11] 魏新华, 周杏鹏, 李法德, 等. 水果机器视觉分选机滚子式传输翻转机构优化设计[J]. 农业机械学报, 2007(9): 98-102.

[12] 李炬, 李凤军, 韩东海. 柑橘分级检测中翻转机构的力学分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(1): 94-96.

[13] 赵新闻, 杨兵初, 黄生祥. 椭球体转动惯量的计算[J]. 物理与工程, 2007, 17(2): 28-29.