

偏差预测与参数优化相结合的卷烟卷制质量整合控制

韩利强¹, 刘新贤¹, 王志勇¹, 王海宇², 王岩³

(1.河南中烟工业有限责任公司漯河卷烟厂, 河南 漯河 462003; 2.郑州大学商学院, 郑州 450001;
3.广州融智科技有限公司, 广州 510220)

摘要: **目的** 为了解决卷烟卷制过程控制精度低、质量波动大等问题, 建立一种卷烟卷制质量的整合控制模式。**方法** 采用累计和方法预测重量和圆周质量特性的偏差, 并进行在线调整; 同时以质量和圆周的标偏为目标函数, 以吸阻均值为约束条件, 基于二次响应曲面建立卷制工艺参数的多目标优化设计, 由此建立这两方面相结合的质量控制模式, 并采用自学习优化和遗传算法对模型进行优化设计。**结果** 选取漯河卷烟厂 ZJ19 卷接机对某一牌号卷烟的卷制过程进行在线应用分析和验证, 结果表明: 烟支质量、圆周、吸阻等卷制质量指标的均值与目标值的偏差分别降低了 66.6%、86.7%、65.6%, 标准偏差分别降低了 31.8%、65.2%、11.9%。**结论** 这种偏差预测调整和多目标参数优化相结合的质量控制模式能够有效提升卷制过程的综合质量水平。

关键词: 卷制质量; 累计和; 预测调整; 响应曲面; 多目标优化

中图分类号: TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)15-0217-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.028

Integrated Control of Cigarette Manufacturing Quality Based on Deviation Forecast and Parameter Optimization

HAN Li-qiang¹, LIU Xin-xian¹, WANG Zhi-yong¹, WANG Hai-yu², WANG Yan³

(1. Luohe Cigarette Factory, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Henan Luohe 462003, China;
2. Business School, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;
3. Guangzhou Rongzhi Technology Co., Ltd., Guangzhou 510220, China)

ABSTRACT: The work aims to develop an integrated control mode of cigarette manufacturing quality to solve the low control accuracy, large quality variation and other problems in cigarette manufacturing. The cumulative sum method was used to predict the deviation of weight and circumference quality characteristics and adjust online. At the same time, with the standard deviation of circumference and weight as the objective function and the mean of draw resistance as the constraint condition, the multi-objective optimization design of process parameters was established based on the quadratic response surface, and the quality control mode of cigarette manufacturing quality combining these two aspects was established, and self-learning optimization and genetic algorithm were used to optimize the model. The ZJ19 cigarette making machine of Luohe Cigarette Factory was selected for online application analysis and verification of the cigarette manufacturing process of a certain brand. The results showed that the deviation between the average value of cigarette weight, circumference, draw resistance and the target value was reduced by 66.6%, 86.7%, 65.6% respectively, and the standard deviation was reduced by 31.8%, 65.2%, 11.9% respectively. This quality control mode combining deviation prediction

收稿日期: 2023-02-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71672209); 河南中烟工业有限责任公司科技项目 (AW202133)

作者简介: 韩利强 (1974—), 男, 中级工程师, 主要研究方向为烟草工艺。

通信作者: 王海宇 (1979—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为质量工程。

adjustment and multi-objective parameter optimization can effectively improve the comprehensive quality level of the cigarette making process.

KEY WORDS: cigarette manufacturing quality; cumulative sum; forecast adjustment; response surface; multi-objective optimization

卷烟卷制是现代烟草加工工业中的关键步骤,是卷烟纸包裹烟丝实现烟支成型的重要工序。随着市场竞争的日益激烈,卷烟卷制质量越来越受到人们的关注。在烟草行业中,卷制质量包括烟支的质量、圆周、吸阻、硬度、长度、端部落丝量、含末率、含水率等多项指标,其中最主要的是质量、圆周和吸阻。对卷制质量的影响因素分析和优化改进的研究有很多,如王红素等^[1]运用相关分析和多元回归方法研究了卷烟吸阻与各物理指标、工艺参数、烟丝结构之间的数学关系模型;朱文魁等^[2]研究了不同的片烟成丝模式对烟支质量、吸阻等质量指标稳定性的影响;朱波等^[3]通过烟丝形态调控技术研究了不同的烟丝形态对烟支质量、吸阻等质量指标的影响;赵文康等^[4]基于线性网络模型方法研究了卷烟各部分稳定性对整体吸阻稳定性的贡献;汪功明^[5]采用微波检测技术对烟支质量控制系统进行了改进研究;褚云凯等^[6]基于 Beckhoff (倍福) PLC 超采样技术对质量控制系统的架构和算法进行了优化改进;王晓燕等^[7]研究了不同的卷烟机机型对烟丝结构和单支质量、吸阻等卷制质量的影响;宾晖等^[8]研究了劈刀盘规格、吸风室负压等参数对烟支质量标偏、回丝率等卷烟质量指标的影响;孙英俊等^[9]针对单支质量偏差,对卷烟机轻重烟支检测及剔除系统进行了优化设计;胡芳平等^[10]运用正交试验的方法分析了弹丝辘转速等卷烟机参数对烟支质量稳定性的影响,并进行了优化设计;邓春宁^[11]设计了一套光电式在线烟支圆周检测装置,能够实现烟支圆周的实时在线检测,有效避免烟支质量缺陷;黄幼斌等^[12]应用全因子试验分析法研究卷烟机主要设备参数(大压板位置、小压板位置、烟舌位置)调整对卷烟圆周稳定性的影响。在这些研究中,有的仅分析了卷制质量的影响因素,如烟丝结构、滤棒等,并未提出有效的优化和控制策略;有的虽然提出了一些有效的优化策略,但多数都集中于对质量、圆周等单一质量指标的优化和控制上,往往容易造成某一质量指标优化的同时其他质量指标劣化的现象,缺乏对卷制质量的综合优化控制。

针对此类问题,本文采用过程质量偏差累计和预测调整与卷烟机工艺参数多目标优化相结合的整合控制模式。实现卷制质量实时在线控制与多质量指标的综合优化设计,有效提高卷烟卷制过程的综合质量水平。

1 过程质量偏差累计和预测调整

在卷制质量的控制中,可以通过对平整器位置和大压板位置的调整实现对烟支单支质量和圆周的快

速调整。以我厂 ZJ19 卷接机对某一牌号卷烟的卷制过程为研究对象,单支卷烟的质量控制往往是通过微波或红外对烟条密度的检测来推算烟支质量,再通过 PID 反馈控制平整器位置的往复移动来实现对卷烟质量的调节。这种控制方法响应速度较慢,它通过一个较长烟条的平均密度来计算单支质量,使得在过程中出现的质量波动很难及时发现并有效控制。在利用大压板对圆周进行控制过程中也类似地存在调节不及时、调节不足或调节过量等问题。

为了更准确地预测过程质量的偏差,避免由于个别检测结果的变化造成对过程偏差的错误估计^[13],可采用指数加权移动平均(EWMA)的方法计算单支质量的偏移:

$$\hat{d}_t = \lambda(X_t - T) + (1 - \lambda)\hat{d}_{t-1} \quad (1)$$

式中: X_t 为当前时刻 t 的单支质量值; T 为单支质量目标值; λ 为平滑系数,为确保 EWMA 算法对当前发生变化的灵敏性,通常可取 $\lambda=0.02$; $\hat{d}_{t-1}$ 为上一次检测时刻 $t-1$ 的过程偏差估计值,其初始值 $\hat{d}_0 = 0$ 。为进一步提高对较小的过程偏移的灵敏性,采用累计和的方法来构造过程偏差的预测统计量:

$$\begin{cases} Q_t^+ = \max \left[0, Q_{t-1}^+ + \hat{d}_t(X_t - \frac{\hat{d}_t}{2}) \right] \\ Q_t^- = \min \left[0, Q_{t-1}^- - \hat{d}_t(X_t + \frac{\hat{d}_t}{2}) \right] \end{cases} \quad (2)$$

式中: Q_t^+ 和 Q_t^- 分别为过程正向波动(质量增大)和负向波动(质量减小)的判别值, Q_0^+ 和 Q_0^- 的初始值皆为 0。参照累计和控制图的构造方法^[14],判断过程处于稳定状态的界限为:

$$L^+ = h\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad L^- = -h\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \quad (3)$$

式中: σ 为 X_t 的标准差,可由历史数据计算得到; h 为累计和控制图的控制限参数,通常可取 4。于是,可根据 Q_t^+ 和 Q_t^- 的大小来得到以下控制策略:

1) 以 0 为中心,在控制界限范围内,即 $Q_t^+ < L^+$ 且 $Q_t^- > L^-$ 时,可认为过程中不存在异常波动,控制器保持不变。

2) 若 $L^+ \leq Q_t^+ < 2L^+$, 则认为过程中存在较小程度的正向偏移,应降低平整器位置 k_1 。

3) 若 $2L^- \leq Q_t^- < L^-$, 则认为过程中存在较小程度的负向偏移,应增高平整器位置 k_1 。

4) 若 $Q_t^+ > 2L^+$, 则认为过程中存在较大程度的

正向偏移, 应降低平整器位置 k_2 。

5) 若 $Q_i^- < 2L^-$, 则认为过程中存在较大程度的负向偏移, 应增高平整器位置 k_2 。

其中 $0 < k_1 < k_2$, k_1 和 k_2 表示平整器位置调整的幅度, 首先其初始取值可根据操作人员的经验给出, 然后在实际应用中根据调整的效果进行自学习优化。比如针对 k_1 , 自学习算法的步骤如下: 对于控制策略 2—4, 优化的方法基本相同, 下面仅以控制策略 2 为例进行说明。收集多次 (10 次以上) 实施策略 2 调整后 1~5 min 的质量检测数据计算均值 μ , 若

$$T - \frac{D}{3} \leq \mu \leq T + \frac{D}{3} \quad (D \text{ 为质量上规格限与目标值 } T \text{ 的差值}),$$

则说明该调整策略是有效的, k_1 保持不变;

若 $\mu > T + \frac{D}{3}$, 说明调整的幅度偏小, 应增大 k_1 的取

值, $k_1 = k_1 + 1$; 若 $\mu < T - \frac{D}{3}$, 说明调整的幅度偏大,

应减小 k_1 的取值, $k_1 = k_1 - 1$ 。为适应生产工况的变化, 可每间隔一段时间, 如 2 个月进行一次自学习优化。

对圆周的在线调整, 也可根据上述算法进行圆周偏差的累计和预测, 并采用类似的控制策略和自学习优化方法对大压板的位置进行调节, 实现烟支圆周的精准控制。

2 工艺参数的多目标优化

上述调节策略能够有效地实现卷烟质量和圆周均值 (位置效应) 的精准控制, 但对质量和圆周的标偏 (散度效应) 仍缺乏有效的管控, 同时对同样重要的烟支吸阻, 也无法直接通过在线调整来实现有效的控制。因此还有必要通过工艺参数优化的方法降低各卷烟卷制质量指标的波动。结合现场操作人员经验, 分析出影响卷制质量的主要工艺参数为工艺风力负压、小风机压力、质量控制比例系数、劈刀盘滞后、紧头滞后、吸丝带张力等, 将工艺参数分别设为 $x_1, x_2, \dots, x_6$ 。

首先, 通过试验设计方法对质量标偏、圆周标偏、吸阻均值等 3 个质量指标分别进行单变量响应曲面分析, 并对响应曲面方程进行拟合。响应曲面试验根据各工艺参数的取值范围分布选择高、中、低 3 个水平, 采取中心复合设计 (CCD, Central Composite Design) [15] 安排 53 次试验, 每次试验都根据试验方案将各工艺参数设置到不同的水平。然后记录和计算在该试验条件下的质量标偏、圆周标偏、吸阻均值。采用 Minitab 质量分析软件对试验结果进行数据分析, 得到 3 个质量指标的响应曲面见图 1—3。

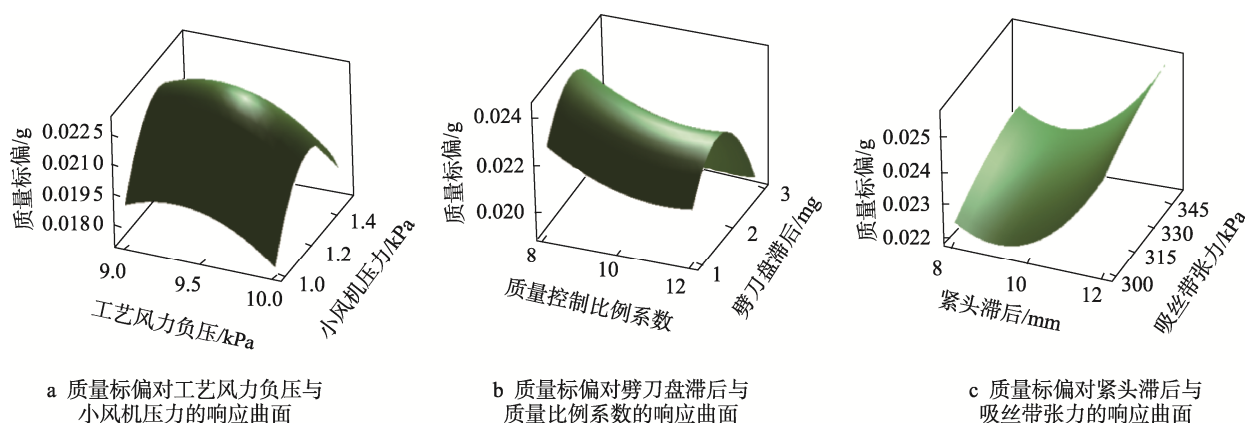


图 1 质量标偏对各影响因子的响应曲面

Fig.1 Response surface of weight standard deviation to influencing factors

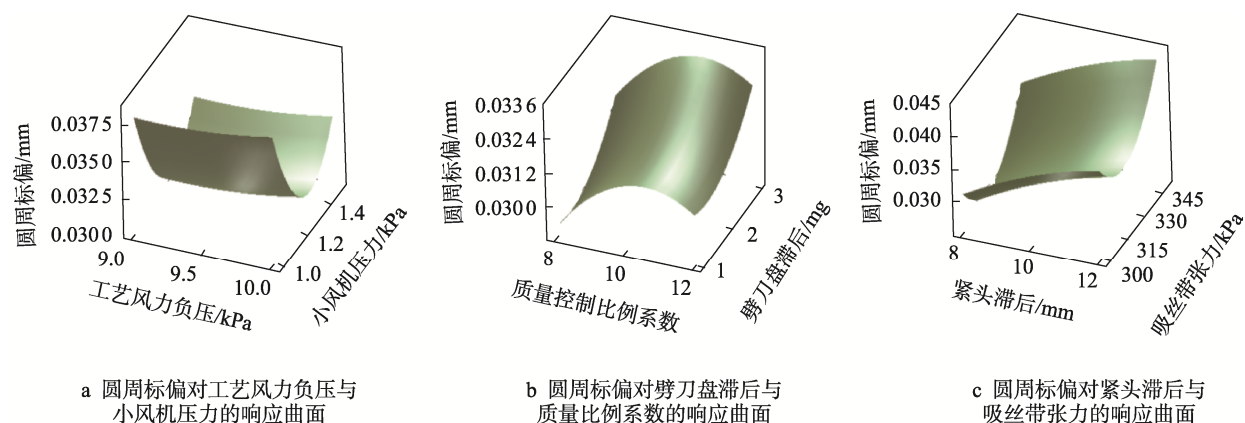


图 2 圆周标偏对各影响因子的响应曲面

Fig.2 Response surface of circumferential deviation to influencing factors

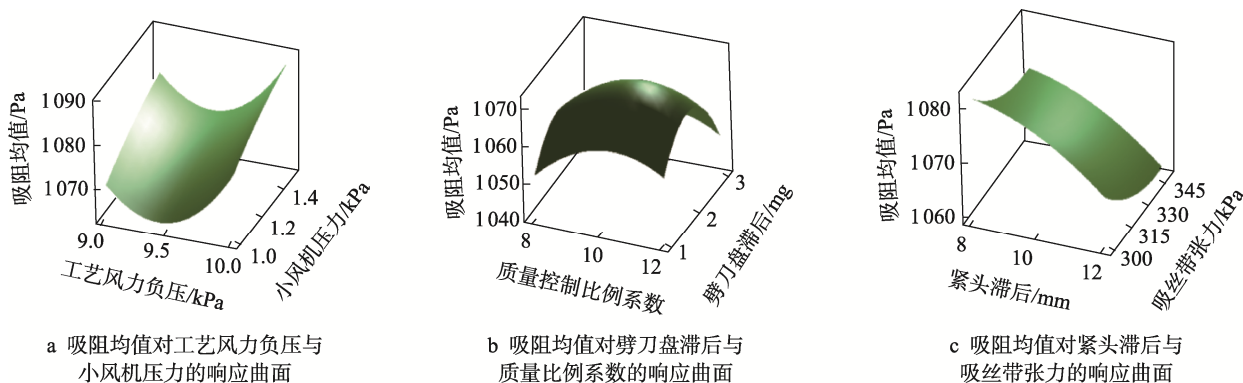


图3 吸阻均值对各影响因子的响应曲面

Fig.3 Response surface of draw resistance mean to influencing factors

从图1—3的各个图形中都可以发现,各影响因子与响应变量之间都呈现出明显的二次函数关系。因此,可以用响应曲面试验设计的结果分别对3个响应变量拟合二次函数模型,删除无关项和系数过小的项后,得到以下函数模型:

$$Y_1 = -0.543 + 0.086x_1 + 0.223x_2 + 0.011x_3 + 0.030x_4 - 0.018x_5 + 0.137x_6 - 0.005x_1^2 - 0.051x_2^2 + 0.0002x_3^2 - 0.0026x_4^2 + 0.0003x_5^2 - 0.003x_6^2 + 0.003x_1x_6 + 0.006x_2x_5 - 0.047x_2x_6 - 0.007x_3x_6 - 0.0114x_4x_6 \quad (4)$$

$$Y_2 = 1.67 - 0.139x_1 + 0.111x_2 + 0.040x_3 + 0.066x_4 - 0.111x_5 - 0.421x_6 + 0.001x_1^2 + 0.076x_2^2 - 0.0003x_3^2 + 0.0007x_4^2 - 0.0002x_5^2 + 0.109x_6^2 + 0.006x_1x_5 + 0.0175x_1x_6 + 0.0185x_2x_5 - 0.152x_2x_6 + 0.003x_3x_5 - 0.019x_3x_6 + 0.0036x_4x_5 - 0.032x_4x_6 \quad (5)$$

$$Y_3 = 1773.75 - 445x_1 + 286.6x_2 + 37.77x_3 - 33.87x_4 - 27.02x_5 + 738.1x_6 + 39.3x_1^2 - 17.04x_2^2 - 1.75x_3^2 - 12.67x_4^2 - 0.55x_5^2 + 38.98x_6^2 + 2.79x_1x_5 - 99.17x_1x_6 - 9.76x_2x_5 - 38.95x_2x_6 + 1.71x_3x_5 - 5.61x_3x_6 + 1.69x_4x_5 + 19.61x_4x_6 \quad (6)$$

为了对多个响应变量同时进行优化设计,可构造多目标优化设计模型进行计算。其中质量标偏和圆周标偏都是望小质量特性,将二者同时作为目标函数;吸阻的均值是望目质量特性,针对当前生产过程中吸阻的主要问题是均值偏差较大,因此可将吸阻均值作为约束条件,要求其在目标值附近。对于该牌号卷烟,吸阻的质量规格为(1100+200)Pa。为了提高吸阻的稳定性,将吸阻的控制要求进一步提高,要求其在(1100+100)Pa范围内,于是得到以下多目标优化模型:

$$\begin{cases} \min Y_1 \\ \min Y_2 \\ \text{s.t. } 1000 \leq Y_3 \leq 1200 \end{cases} \quad (7)$$

式中:各参数的取值范围分别为 $x_1 \in [8, 12]$ 、 $x_2 \in [0.8, 1.6]$ 、 $x_3 \in [8, 12]$ 、 $x_4 \in [1, 3]$ 、 $x_5 \in [8, 12]$ 、 $x_6 \in [2.5, 4]$ 。

采用非支配排序遗传算法(NSGA-III, Non-

Dominated Sorting Genetic Algorithm)求解^[16],其中该算法的参数:种群规模 $N=50$,遗传代数 $G=1000$,交叉概率 $P_c=0.9$,变异概率 $P_m=0.2$ 。计算得到的非劣解构成的帕累托前沿见图4。

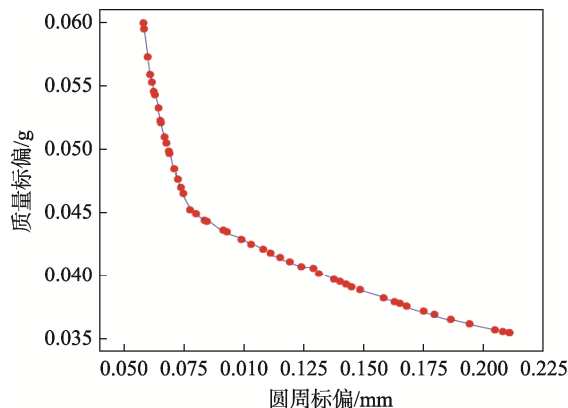


图4 多目标优化的帕累托前沿

Fig.4 Pareto frontier of multi-objective optimization

在这些解中,存在较多相近的解,通过近似解的合并,得到的非劣解解集,见表1。

表1给出了多个对目标函数进行优化设计的解,可以选择其中的任意一个解作为卷烟机工艺参数的优化设计方案。根据各方案所对应的吸阻均值越靠近目标值1100越好为原则,选择方案6作为最优设计方案:工艺风力负压取10.23、小风机压力取1.13、质量控制比例系数取10.21、劈刀盘滞取1.11、紧头滞后取8.01、吸丝带张力取3.22。

3 应用效果比较

将过程质量偏差累计和预测调整与卷烟机工艺参数多目标优化两方面结合起来,形成卷烟卷制过程的整合控制模式,在该牌号卷烟的生产中进行应用效果验证。选取应用前后各10个批次,每个批次分3次进行抽样检验,每次抽样100支进行离线检测,计算各个批次的质量、圆周、吸阻等卷制质量指标的均值和标偏进行比对,如表2所示。

表 1 多目标优化设计的非劣解集
Tab.1 Non inferior solution set of multi-objective optimization design

序号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	Y_1	Y_2	Y_3
1	12.000 0	1.480 2	9.880 6	2.764 5	8.000 0	3.654 4	0.060 0	0.057 6	1 199.98
2	11.793 0	1.574 0	11.681 3	3.000 0	12.000 0	3.000 0	0.0 354	0.210 4	1 144.18
3	11.299 4	1.129 4	10.082 2	2.898 6	10.111 5	3.198 6	0.038 8	0.148 1	1 136.33
4	12.000 0	1.397 0	11.708 8	1.999 7	8.000 0	3.717 5	0.057 3	0.059 1	1 185.13
5	10.999 4	1.599 9	11.999 9	1.539 8	8.986 7	4.000 0	0.041 8	0.110 4	1 129.37
6	10.231 7	1.133 5	10.214 3	1.107 9	8.013 4	3.215 1	0.045 2	0.076 9	1 123.58
7	10.677 3	1.231 7	11.090 5	1.330 6	8.000 0	3.781 2	0.054 6	0.061 6	1 170.46

表 2 应用前后卷制质量比对
Tab.2 Comparison of manufacturing quality before and after application

批次	质量均值/g		质量标偏/g		圆周均值/mm		圆周标偏/mm		吸阻均值/Pa		吸阻标偏/Pa	
	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
1	0.844	0.852	0.021	0.017	24.412	24.327	0.048	0.020	1 038	1 095	53.132	35.496
2	0.840	0.851	0.027	0.013	24.396	24.317	0.043	0.014	1 042	1 124	55.427	36.628
3	0.842	0.853	0.022	0.016	24.399	24.326	0.055	0.021	1 057	1 129	49.504	38.295
4	0.850	0.850	0.028	0.012	24.418	24.312	0.039	0.010	1 068	1 084	36.431	34.549
5	0.841	0.852	0.015	0.015	24.395	24.314	0.043	0.009	1 072	1 137	49.072	29.744
6	0.840	0.851	0.022	0.018	24.419	24.321	0.053	0.021	1 069	1 093	36.589	34.617
7	0.852	0.852	0.017	0.011	24.406	24.306	0.048	0.014	1 059	1 124	31.156	58.791
8	0.847	0.852	0.020	0.016	24.413	24.297	0.039	0.016	1 039	1 088	43.679	54.976
9	0.843	0.849	0.024	0.013	24.414	24.299	0.042	0.022	1 068	1 130	52.515	37.304
10	0.845	0.853	0.019	0.014	24.372	24.323	0.051	0.013	1 075	1 139	56.673	48.406
平均值	0.844	0.852	0.022	0.015	24.405	24.314	0.046	0.016	1 059	1 114	46.418	40.881

通过整合控制模式应用前后的卷制质量对比可以发现,应用前的质量均值为 0.844 g,与单支质量的目标值 0.85 g 的偏差为 0.006 g,应用后的质量均值为 0.852 g,与单支质量的目标值的偏差为 0.002 g,质量均值的偏差降低了 66.6%;质量标偏从应用前的 0.022 g 降低到应用后的 0.015 g,降低了 31.8%;应用前的圆周均值为 24.405 mm,与圆周的目标值 24.3 mm 的偏差为 0.105 mm,应用后的圆周均值为 24.314 mm,与圆周的目标值的偏差为 0.014 mm,圆周均值的偏差降低了 86.7%;圆周标偏从应用前的 0.046 mm 降低到应用后的 0.016 mm,降低了 65.2%;应用前的吸阻均值为 1 059 Pa,与吸阻的目标值 1 100 Pa 的偏差为 41 Pa,应用后的吸阻均值为 1 114 Pa,与吸阻的目标值的偏差为 14 Pa,吸阻均值的偏差降低了 65.6%;吸阻标偏从应用前的 46.418 Pa 降低到应用后的 40.881 Pa,降低了 11.9%。

4 结语

烟支质量和圆周的在线检测和自动调节能够有

效控制卷烟卷制质量的稳定性,但在控制精度和及时性等方面存在不少问题。本文首先采用偏差累计和预测的方法提高在线自动调节的准确性,并通过自学习算法提高自动调节对生产工况的适应性;其次采用基于二次响应曲面的工艺参数多目标优化设计来减小卷制质量特性的波动,由此建立这两方面相结合的卷制质量整合控制模式。通过实际应用的效果比较说明了这种整合控制模式对卷制过程质量具有显著的改善效果。

参考文献:

[1] 王红素,赵海洋,赵长久,等. 基于多元回归的卷烟吸阻数学模型及应用[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 60-64.
WANG Hong-su, ZHAO Hai-yang, ZHAO Chang-jiu, et al. Mathematical Model and Application of Cigarette Suction Resistance Based on Multiple Regression[J]. The Food Industry, 2022, 43(5): 60-64.

[2] 朱文魁,张永川,向光,等. 片烟成丝模式对烟丝结

- 构与卷制质量的影响[J]. 烟草科技, 2012, 45(5): 10-12.
- ZHU Wen-kui, ZHANG Yong-chuan, XIANG Guang, et al. Effects of Cutting Mode on Cut Tobacco Structure and Cigarette Manufacturing Quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2012, 45(5): 10-12.
- [3] 朱波, 陈智鸣, 张旭升, 等. 烟丝形态调控对中支卷烟卷制质量及稳定性的影响[J]. 烟草科技, 2022, 55(7): 66-72.
- ZHU Bo, CHEN Zhi-ming, ZHANG Xu-sheng, et al. Effects of Modifying Morphology of Cut Tobacco Strands on Quality and Consistency of Demi-Slim Cigarettes[J]. Tobacco Science & Technology, 2022, 55(7): 66-72.
- [4] 赵文康, 李雯琦, 张同琢, 等. 基于线性网络模型的卷烟吸阻稳定性检测评价方法[J]. 烟草科技, 2019, 52(12): 86-92.
- ZHAO Wen-kang, LI Wen-qi, ZHANG Tong-zhuo, et al. Consistency Evaluation on Cigarette's Draw Resistance Based on Linear Network Model[J]. Tobacco Science & Technology, 2019, 52(12): 86-92.
- [5] 汪功明. 基于微波检测技术的卷烟机烟支重量控制系统设计[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 113-116.
- WANG Gong-ming. Design of Cigarette Weight Control System Based on Microwave Detecting Technology[J]. Food & Machinery, 2015, 31(6): 113-116.
- [6] 褚云凯, 徐屹秦, 杜劲松, 等. 基于 Beckhoff 超采样技术的卷烟机重量控制系统[J]. 控制工程, 2015, 22(5): 831-834.
- CHU Yun-kai, XU Yi-qin, DU Jin-song, et al. Design of the Cigarette Weight Control System Based on the Super Sampling Technology of Beckhoff[J]. Control Engineering of China, 2015, 22(5): 831-834.
- [7] 王晓燕, 郑利锋, 吴金凤, 等. 不同卷烟机卷制对配方烟丝结构与卷制质量的影响[J]. 轻工科技, 2012, 28(9): 126-127.
- WANG Xiao-yan, ZHENG Li-feng, WU Jin-feng, et al. Effect of Different Cigarette Making Machines on the Structure and Quality of Formula Cut Tobacco[J]. Light Industry Science and Technology, 2012, 28(9): 126-127.
- [8] 宾晖, 唐小雪, 潘连华, 等. 常规卷烟卷制过程重要参数对卷制质量的影响[J]. 轻工科技, 2021, 37(7): 82-84.
- BIN Hui, TANG Xiao-xue, PAN Lian-hua, et al. Influence of Important Parameters in Conventional Cigarette Shredding Process on Rolling Quality[J]. Light Industry Science and Technology, 2021, 37(7): 82-84.
- [9] 孙英俊, 汪海莲, 秦葉涛, 等. ZJ17 卷烟机轻重烟支参数调整优化的方法[J]. 今日制造与升级, 2022(6): 91-94.
- SUN Ying-jun, WANG Hai-lian, QIN Ye-tao, et al. Adjustment and Optimization Method of Light and Heavy Cigarette Parameters of ZJ17 Cigarette Maker[J]. Manufacture & Upgrading Today, 2022(6): 91-94.
- [10] 胡芳平, 刘舞, 郭志琨. ZJ17 卷烟机工艺参数对烟支质量的影响研究[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(14): 121-122.
- HU Fang-ping, LIU Wu, GUO Zhi-kun. Study on the Influence of Process Parameters of ZJ17 Cigarette Maker on Cigarette Quality[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2018, 24(14): 121-122.
- [11] 邓春宁. PROTOS1-8 卷烟机在线圆周检测装置改造[J]. 机械设计与制造工程, 2019, 48(8): 37-39.
- Deng Chun-ning. The Innovation of PROTOS1-8 Online Circumference Detection Device[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2019, 48(8): 37-39.
- [12] 黄幼斌, 谢忱. 卷烟机主要设备参数对卷烟圆周稳定性的影响[J]. 设备管理与维修, 2014(12): 55-57.
- HUANG You-bin, XIE Chen. Influence of Main Equipment Parameters of Cigarette Machine on Cigarette Circumferential Stability[J]. Plant Maintenance Engineering, 2014(12): 55-57.
- [13] PSARAKIS S. Adaptive Control Charts: Recent Developments and Extensions[J]. Quality and Reliability Engineering International, 2015, 31(7): 1265-1280.
- [14] BOURKE PATRICK D. Detecting a Downward Shift in a Proportion Using a Geometric CUSUM Chart[J]. Quality Engineering, 2020, 32(1): 75-90.
- [15] 马逢时, 周晔, 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, 2013.
- MA Feng-shi, ZHOU Wei, LIU Chuan-bing. Six Sigma Management[M]. 2nd ed. Beijing: China Renmin University Press, 2013.
- [16] TAVANA M, LI Z, MOBIN M, et al. Multi-Objective Control Chart Design Optimization Using NSGA-III and MOPSO Enhanced with DEA and TOPSIS[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 50(5): 17-39.

责任编辑: 曾钰婵