

## 基于近红外光谱的烤后片烟箱箱对应质量监控方法

王子冲<sup>1</sup>, 濮永安<sup>1</sup>, 张淑媛<sup>1</sup>, 徐田锋<sup>2</sup>, 赵松玮<sup>2</sup>

(1. 云南烟叶复烤有限责任公司保山复烤厂, 云南保山 678000; 2. 北京紫东科技有限公司, 北京 100061)

**摘要** 结合云南烟叶复烤有限责任公司保山复烤厂现有烤后工艺, 搭建了一套烤后片烟在线质量监控系统。该系统基于在线近红外光谱技术实时检测传送带上片烟烟碱、总糖等化学成分含量, 并通过数据堆栈的方式统计成品片烟质量, 确保烤后片烟在线数据与片烟成品(片烟箱)数据箱箱对应。片烟装箱打标后, 标签信息包含生产批次、化学成分含量等信息, 初步建立了烤后片烟质量库, 为后续中烟工业根据配方进行原料加工提供了可靠的数据支持。根据实际生产情况, 有针对性地选取了 114 个不同加工批次的样品用于建模。其中, 模型的判定系数( $R^2$ )为 0.962, 均方根误差(SEC)为 0.13。为了验证系统性能, 试验对 550 箱片烟进行了监控, 结果发现烟箱烟碱数据波动和在线烟碱数据波动基本一致, 说明该系统可用于复烤企业烤后片烟质量监控。

**关键词** 均质化加工; 打叶复烤; 在线近红外; 化学成分; 箱箱对应

**中图分类号** TS 44 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2020)01-0200-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.01.060



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Box-to-box Corresponding Quality Monitoring Method of Pieces Tobacco Leaf after Baking Based on Near-infrared Spectrum

WANG Zi-chong, PU Yong-an, ZHANG Shu-yuan et al (Baoshan Re-baking Factory, Yunnan Tobacco Re-baking Co., Ltd., Baoshan, Yunnan 678000)

**Abstract** An on-line monitoring system of pieces tobacco leaf after baking was set up, which combined with post-baking process of Baoshan flue-cured tobacco factory. The system could detect the contents of tobacco based on the on-line near-infrared spectroscopy technology, such as nicotine and total sugar. The data stack was used to calculate the quality of the post-baking tobacco leaf, and ensure that the online data were corresponding smoke box data of the post-baked tobacco. The smoke box was labeled, which contains information such as batch, chemical composition content and so on. The quality library of the post-baked tobacco smoke was established, which provided reliable data support for the follow-up of the raw material processing according to the formula. According to the actual production situation, 114 samples of different processing batches were selected for modeling. Among the established model, the determination coefficient ( $R^2$ ) is 0.962, the root-mean-square error (SEC) is 0.13. In order to verify the performance of the system, we continuously monitored 550 smoke boxes of flue-cured tobacco. The results show that the variation trend between smoke box nicotine data and online nicotine data almost same, whence the system can be used at baking smoke quality monitoring of flue-cured tobacco factory.

**Key words** Homogenization processing; Threshing and redrying; Online near-infrared; Chemical components; Box-box corresponding

烟草是我国重要的经济作物之一, 在国内乃至全世界范围均被广泛种植<sup>[1]</sup>。众所周知, 打叶复烤是烟叶加工到卷烟生产的中间环节, 其均质化水平直接影响到成品卷烟的口感。近年来, 随着国内复烤技术的发展, 复烤均质化加工的要求越来越高<sup>[2-3]</sup>。许多复烤企业为了响应行业要求, 积极研究原烟、片烟均质化加工工艺, 旨在借助新技术提升自身复烤加工水平。

烤后片烟质量监控是打叶复烤行业的后端工艺, 其质量监控措施直接影响成品片烟质量。目前, 常规的烤后片烟质量监控方法大多采用实验室离线抽检的方式进行化验<sup>[4-5]</sup>。常规的方法存在消耗化学试剂、检测慢、代表性差等缺点, 无法做到片烟逐箱质量监控。在实际生产加工过程中, 片烟之间化学成分存在波动, 而离线抽检方法是将加工过程中一段时间内的烟碱平均值作为打包后片烟烟箱的烟碱值<sup>[6-8]</sup>。该方法的局限性是数据不充分, 无法为卷烟企业提供有效的数据支持, 从而加大了卷烟企业生产的难度。

近红外光谱技术因其检测快速、无接触等优点, 被广泛应用于农畜产品加工、医药成分分析等领域<sup>[9-11]</sup>。近几年, 随着光谱仪性能的提升、建模算法的优化, 在线近红外光谱技术开始被应用于工业加工环节的在线检测。同时, 研究和

使用近红外在线监测技术是打叶复烤质量监控未来的发展趋势<sup>[5]</sup>。因此, 研究并应用打叶复烤质量监控体系对烟草行业发展具有重大意义。

烤后片烟在线检测数据与成品片烟烟箱数据对应, 是复烤加工均质化过程中数据处理的重要一环, 是客观评价加工质量的重要前提与数据支撑<sup>[12-13]</sup>。笔者基于在线近红外光谱技术及自动化技术, 搭建了一套烤后片烟质量监控系统, 并考察了其应用效果。

## 1 系统设计

**1.1 整体方案** 根据云南烟叶复烤有限责任公司保山复烤厂现有烤后片烟加工工艺, 设计的烤后片烟在线质量监控系统如图 1 所示。该系统主要由在线近红外光谱采集与分析系统(瑞士 BUCHI 公司)、工控机、电控柜、称重皮带、传送机构及相关控制软件。系统采用的光谱仪的有效波长范围是 900~1 700 nm, 其电控箱通过 USB-RS422 模块与工控机通讯, 用于数据传输与检测器控制。选用的检测器光源为大光斑光源, 有效检测面积的直径约为 300 mm, 最佳探测距离为 350 mm, 大大提高了检测器的适应能力。

在线近红外光谱采集与分析系统架设在烤机出口后传送带正上方, 用于实时检测片烟化学成分的含量, 包括烟碱含量、总糖含量、还原糖含量、总氮含量、氯含量、钾含量及水分含量 7 项指标。传送带末端正下方有一条翻转皮带, 用于片烟装箱。烟箱放置在称重皮带上, 满框(重量达到设定值)

**作者简介** 王子冲(1971—), 男, 云南保山人, 工程师, 从事轻工业、自动化技术、工业通用技术及设备研究。

**收稿日期** 2019-07-17

时,传感器会发出脉冲信号给 PLC,PLC 收到满框信号自动控制翻转皮带翻转进行下一箱装箱,工控机收到满框信号后

计算该烟箱内所有有效数据的平均值,并上传至服务器存储。

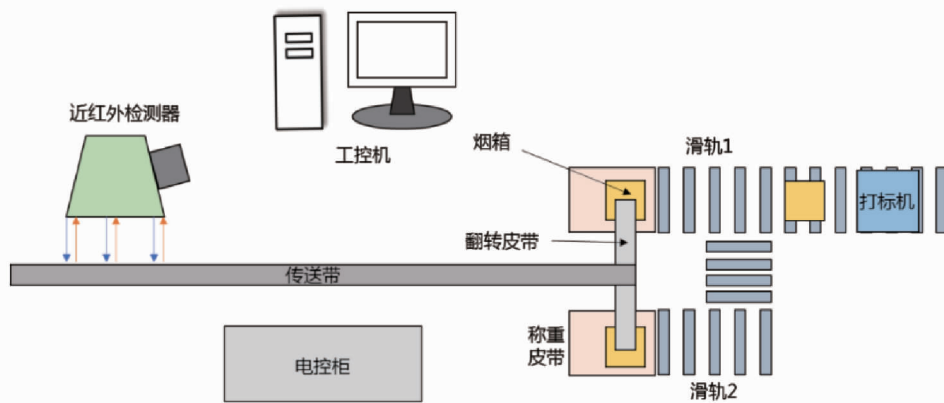


图 1 烤后片烟在线质量监控系统过程示意

Fig. 1 The process of the on-line monitoring system for pieces of post-baked tobacco leaf

1.2 软件编写 根据云南烟叶复烤有限责任公司保山复烤厂的实际生产需求,基于力控组态编程环境编写了烤后片烟在线监测系统软件,如图 2 所示。主界面包括基本信息、成分检测、统计信息以及图表显示等模块。为了降低数据存储量,系统默认数据采集间隔时间为 5 s,所采集的光谱数据及检测指标预测值实时上传至服务器存储,即烤后片烟质量数据库。当软件收到满框信号时,系统从服务器获取数据并自

动计算烟箱内化学指标均值。软件植入了烤后片烟近红外检测预测模型,并根据加工需求预设了片烟烟箱化学成分含量的波动范围。如烟碱含量过高或过低(超出波动范围)的片烟烟箱打标后,软件会提示该箱片烟烟碱不符合加工要求,并返回到故障柜中进行贮存。经过混合、掺配且化学成分稳定后,在烤后环节通过微流回掺线以微小流量均匀回掺,与正常打叶复烤加工后的成品片烟进行混合。



图 2 系统软件主界面

Fig. 2 The main interface of the system software

软件的工作流程图如图 3 所示。即软件初始化完成后,可选择人工或自动进行黑参考、白参考校正。校正后,软件将采集到的黑参考、白参考以及样品光谱数据转换成吸光度光谱,其计算公式为  $A = \lg I_0 / R$ 。式中,  $A$  表示样品的吸光度;  $I_0$  表示白参考与黑参考差值;  $R$  表示样品光谱与黑参考差值。

软件通过预设的烟叶光谱特征信息自动识别传送带下方是否有片烟通过。如果软件没有收到称重皮带的满框外触发信号,软件将一直采集数据并上传至均质化加工云端服务器存储。满框后,软件基于队列顺序,自动从服务器获取该烟箱所有化学成分含量及其平均值数据。重复以上步骤,实现箱内片烟化学指标与烟箱编号一一对应,直至该批次加工完成。

软件通过预设的烟叶光谱特征信息自动识别传送带下

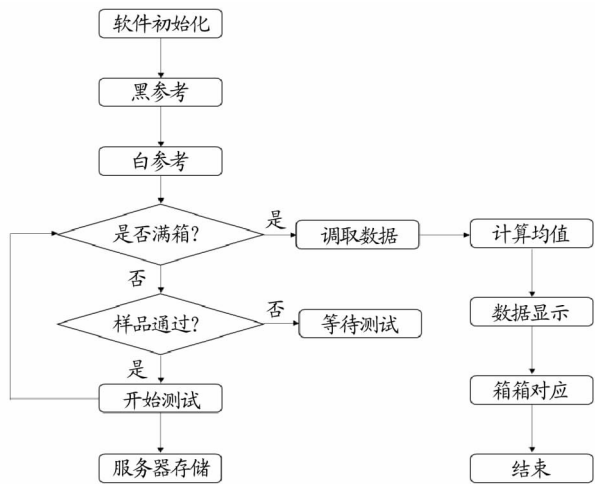


图3 系统软件工作流程

Fig. 3 The working flow of the system software

**1.3 箱箱对应原理** 假设传送带传输速度( $v$ )2 m/s 保持不变,从探测器下方至装箱位置传送距离( $L$ )为 50 m,数据保存间隔( $t$ )5 s,则在固定的传输距离内有 20 个数据。数据存储采用堆栈的方式,即先入先出原则。当烤后片烟在线监测系统软件收到满框信号后,系统自动从服务器获取箱内有效检测数据,即当前传送带上 20 个数据的片烟未进入该烟箱。如图 4 所示,从第一个有效检测数据开始到接收到满框信号,假设共有  $n$  个数据堆栈存储,那么从数据 1 到数据  $n-21$  之间的所有数据即为进入该烟箱的片烟检测数据。同理,在打标阶段,烟箱信息通过类似方法实现烟箱虚拟编号与标签的对应。基于以上过程,在烤后片烟加工、装箱、打标阶段均实现了检测数据与片烟烟箱箱箱对应,大大提高了复烤企业成品片烟的监管数字化和智能化水平。

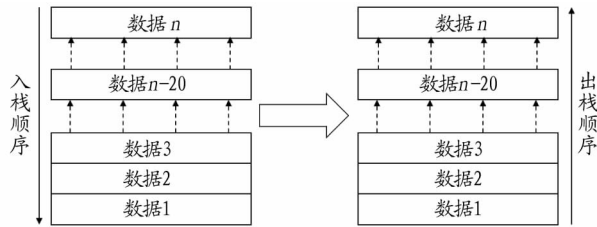


图4 数据堆栈与出栈

Fig. 4 The data stack and out of stack

**1.4 软件模拟** 为了验证方案的可行性,基于北京三维力控科技有限公司的力控组态编程环境(软件版本为力控 ForceControl V7.0),编写了图 5 所示的仿真程序。其中,仿真程序测试了不同参数条件下的运行情况。当采样间隔为 5 s、皮带长度为 65 m、皮带转速为 1 m/s 时,软件装框数据入栈暂存区共有 14 个数据缓存。每当软件接收到一个新的检测值,其先入栈的烟碱值先出栈,直至出栈数据达到 15 个。此时,软件自动计算该烟框的烟碱含量平均值,并从 0 开始记录出栈数据个数。

**1.5 取样与建模** 该研究共制备 114 个样品,并基于交叉验证及 PLS(partial least squares method, 偏最小二乘法)<sup>[14]</sup>建立了烟碱含量、总糖含量等 7 项化学指标的近红外光谱定量预测模型。模型结果用决定系数( $R^2$ )、均方根误差(SEC)表示。以上过程采用 SX-PLUS 软件(BUCHI)进行建模,并将模型植入系统软件进行应用验证。

2 结果与分析

**2.1 模型效果** 以烟碱为例,基于 SX-Plus 软件的建模结果如图 6 所示。从图 6 可以看出,模型的预测值与实验室离线检测结果的相关性较好。其中, $R^2 = 0.962$ , $SEC = 0.13$ 。整体而言,该模型的相关性高、偏差小,具备实际应用的初步条件。

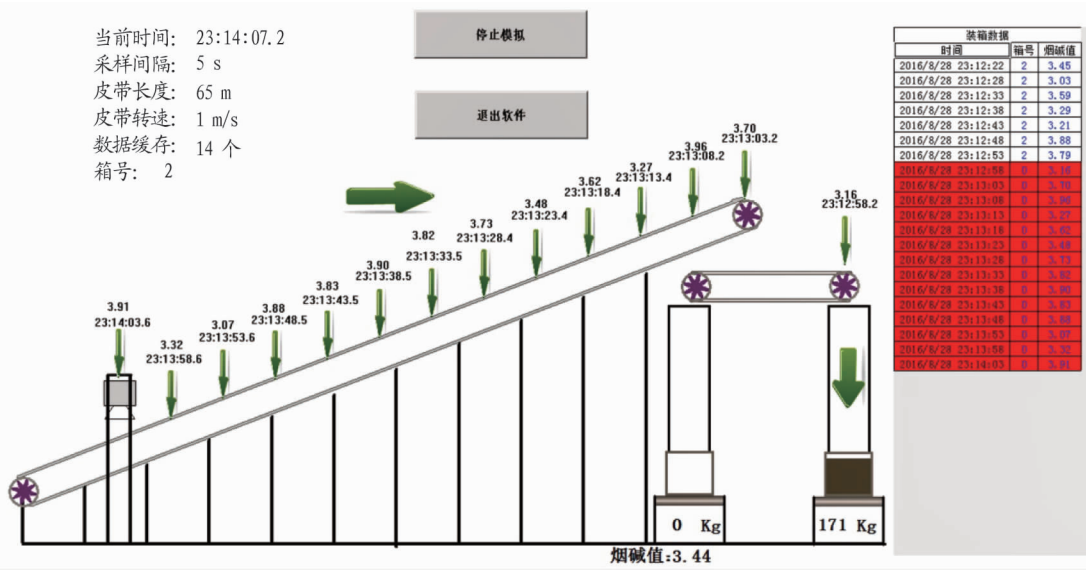


图5 系统软件模拟运行

Fig. 5 The simulation and operation of the system software

**2.2 工业应用** 模型建立后,在保山复烤厂进行了工业应用。即基于在线近红外检测烤后片烟化学成分(主要考察指

标为烟碱)含量,结合 PLC 进行装箱烟流切换控制,使烤后片烟在线数据与片烟成品(片烟箱)数据一一对应,在一定程



度上实现了烤后片烟加工的精细化控制。该方法可基于多参数指标(以烟碱为例)描述成品片烟箱的质量,避免实验室抽样检测带来的偏差。

该试验考察了保山 C3F 等级的原烟复烤加工,其成品片烟箱 550 箱。统计 550 箱在加工过程中的在线烟碱数据,与在每箱打包前提取的样品送实验室近红外分析的烟碱数据(此数据表征片烟烟箱)进行对比,结果如图 7 所示。从图 7 可以看出,烟箱烟碱数据波动和在线烟碱数据波动基本一致,其值位于实测在线烟碱数据极值范围内,烟箱烟碱数据可以反映出加工质量数据。这说明在线数据和烟箱数据实现了一一对应关系。

### 3 结论

云南烟叶复烤有限责任公司保山复烤厂利用在线近红外检测烤后片烟化学成分,PLC 装箱烟流切换,使烤后片烟在线数据与片烟成品(片烟箱)数据一一对应,实现了加工质量数据在成品上的精细化,用更多在线化学成分数据描述成品片烟箱的质量,避免了实验室抽样检测带来的偏差。此项

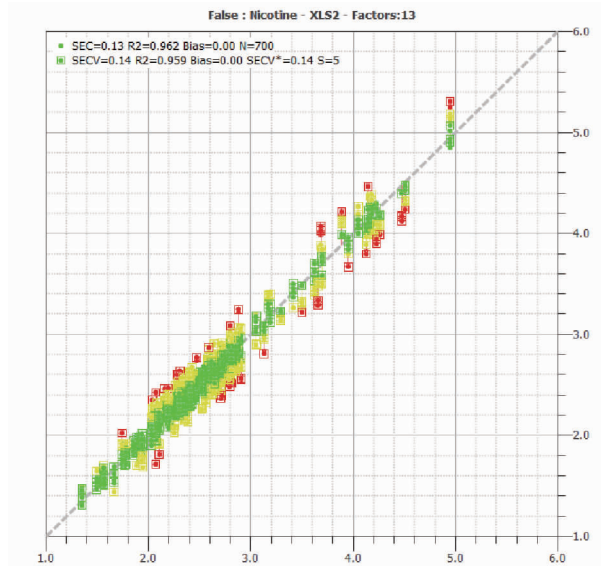


图 6 模型效果

Fig. 6 The effect of the model

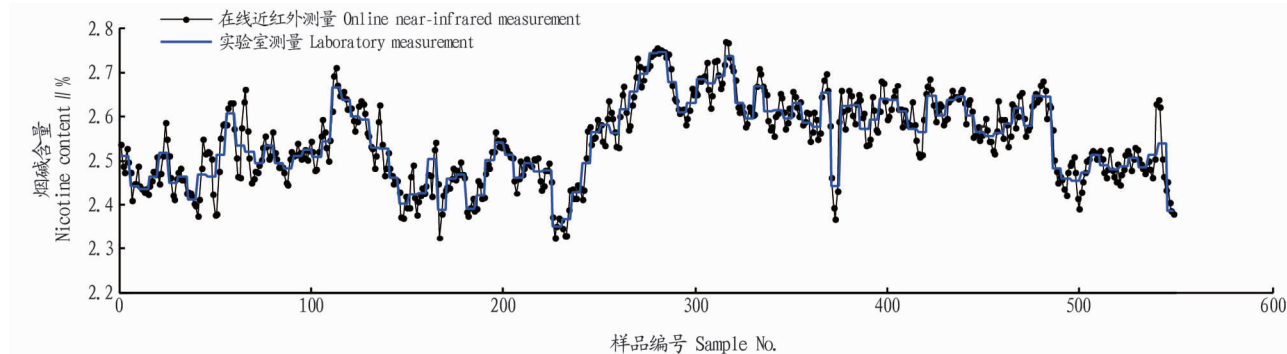


图 7 烤后烟叶数据追踪

Fig. 7 Data tracking of post-baked tobacco leaf

系统已经稳定运行了 2 个烤季,运行效果非常好。此烟叶加工质量评价系统解决了在线数据与片烟烟箱数据的正确匹配,较为准确地描述了片烟烟箱的有关指标,为复烤均质化加工评价提供了准确可信的数据,同时为后续工业加工提供了准确可靠的原料,保证了片烟成品质量数据的可信度,值得在原烟复烤加工企业进一步推广应用。

### 参考文献

- [1] 魏焯昕,党江波,李超,等. 不同倍性烟草杂交获得六倍体烟草植株[J]. 中国烟草学报,2013,19(6):50-54.
- [2] 王宏铝,王筑临,许小双,等. 基于在线烟碱预测模型的烟叶复烤均质化加工[J]. 烟草科技,2015,48(6):73-77.
- [3] 汤敏. 烟叶复烤加工企业生产成本控制研究[J]. 中国经贸,2016(14):209-210.
- [4] 褚小立,袁洪福,陆婉珍. 近红外分析中光谱预处理及波长选择方法进展与应用[J]. 化学进展,2004,16(4):528-542.
- [5] 杜瑞华,周明松. 连续流动分析法在烟草分析中的应用[J]. 中国测试

技术,2007,33(3):76-78.

- [6] 义胜辉,唐天宽,汪意湘,等. 浅谈当今烟草行业复烤节能减排技术研究与应用[J]. 农业与技术,2012,32(9):40.
- [7] 王晓耕,江家洪,冉宁,等. 烟叶分切工艺在打叶复烤生产中的应用[J]. 烟草科技,2005,38(2):3-4,40.
- [8] 蔡联合,韦建玉,邹克兴,等. 叶中含梗率对烤烟打叶加工质量的影响[J]. 贵州农业科学,2007,45(1):140-143.
- [9] 陆婉珍,袁洪福,徐广通,等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京:中国石化出版社,2000.
- [10] 杜文,易建华,黄振军,等. 打叶复烤烟叶化学成分在线检测和成品质量控制[J]. 中国烟草学报,2009,15(1):1-5.
- [11] 汤朝起,刘颖,束茹欣,等. 应用在线近红外光谱分析复烤前后原烟及片烟的质量特性[J]. 光谱学与光谱分析,2014,34(12):3273-3276.
- [12] 于春霞,马翔,张晔晖,等. 基于近红外光谱和 SIMCA 算法的烟叶部位相似性分析[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(4):924-927.
- [13] 邓斌,范梅,刘洪. SPC 技术在烟叶打叶复烤质量管理中的应用[J]. 湖南农业科学,2006(6):96-98,101.
- [14] 孙承顺,李建林,程新宇,等. 把叶分离工艺在打叶复烤中的应用[J]. 中国烟草科学,2007,28(2):14-16.

(上接第 199 页)

- [10] BECHTEL D B, WILSON J D, MARTIN C R. Determining endosperm texture of developing hard and soft red winter wheats dried by different methods using the single-kernel wheat characterization system [J]. Cereal

chemistry, 1996, 73(5):567-570.

- [11] 靳朝义. 新收获小麦后熟作用影响因素及调控研究[D]. 郑州:河南工业大学,2015:1-45.
- [12] 邓化冰. 糯稻品质研究现状与进展[J]. 作物研究,2000(1):45-48.