

基于烟丝分布特征的卷烟硬度预测模型

The prediction model for hardness of cigarette based on the distribution features of cut tobacco in cigarette

何孝强¹ 李泓燊² 向虎¹ 王龙¹ 张云飞¹

HE Xiao-qiang¹ LI Hong-shen² XIANG Hu¹ WANG Long¹ ZHANG Yun-fei¹

邹玉胜¹ 赵荣¹ 刘戈弋¹ 杨涛¹ 李绍臣¹

ZOU Yu-sheng¹ ZHAO Rong¹ LIU Ge-yi¹ YANG Tao¹ LI Shao-chen¹

(1. 红云红河烟草〔集团〕有限责任公司曲靖卷烟厂, 云南 曲靖 655001;

2. 红云红河烟草〔集团〕有限责任公司, 云南 昆明 650000)

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

2. Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000, China)

摘要:研究了烟支中段填充系数与测量卷烟硬度时的径向压缩量的关系,建立了压缩量与烟丝填充系数和烟支直径的回归模型,进而对卷烟硬度进行预测。结果表明:模型拟合优度 $>98\%$ 、测试集的标准化均方误差为0.6,相对误差均值为3.7%,模型预测误差远远小于指标正常波动范围及产品技术标准规定的允差范围,模型预测效果较好,同时模型适用于各种规格的卷烟,可以应用于实际生产中的卷烟硬度预测。

关键词:卷烟硬度;预测模型;烟丝分布;填充系数;径向压缩量;数据挖掘

Abstract: Studied the relationship between the filling factor of cigarette middle section and the radial compression amount when measuring the hardness of cigarettes, and then established the prediction model of cigarette hardness. The results showed that the goodness of fit of the model was over 98%, the standardized mean square error of the test was 0.6, and the average relative error was 3.7%. The prediction error of the model was far less than the normal fluctuation range of the index and the tolerance range specified in the product technical standard, and the prediction effect of the model was good. Meanwhile, the model was applicable to various specifications of cigarettes, which can be applied to the prediction of cigarette hardness in actual production.

Keywords: hardness of cigarette; prediction model; the

distribution features of cut tobacco in cigarette; filling factor; radial compression amount; data mining

卷烟硬度是反映烟支饱满程度和回弹性能的一项指标^[1]。硬度过低会造成卷烟输送过程中外观容易受损、消费者抽吸时发生燃烧锥掉落等,过高会造成卷烟吸阻、烟气含量以及烟丝消耗增加。而且卷烟硬度能直接反映烟丝含量的多少,是制定卷烟重量标准的重要参考指标^[2],但是在新品开发或者配方调整时,只能通过试生产出成品烟支后进行检测获得硬度指标,再根据硬度调整重量,检测存在严重的滞后性,不仅会造成较大的原辅料消耗,还存在一定的质量隐患,因此在烟支卷制前对卷烟硬度进行预测对提高生产效率、降低消耗具有重要意义。

目前对卷烟硬度的研究主要包括:烟丝结构对卷烟硬度的影响^[3],卷烟单支重量和圆周对卷烟硬度的影响^[4-6],烟支密度对卷烟硬度的影响^[7],膨胀梗丝填充能力对卷烟硬度的影响^[8]等。以上研究内容存在以下问题:① 仅对单一规格的卷烟进行硬度影响因素研究,当卷烟规格发生变化时研究结果不再适用;② 分析了卷烟单重对硬度的影响关系,未将卷烟烟丝和卷烟材料分开,实际卷烟硬度测量的是烟丝部分;③ 卷烟硬度测量的是除去滤棒后的烟支中段位置,未考虑烟支的紧头和中段烟丝量的区别,存在一定偏差;④ 仅做了卷烟硬度影响因素研究,未能对卷烟硬度做出准确预测。试验拟从卷烟硬度的检测原理入手,通过对大量不同规格卷烟的硬度检测数据的深入挖掘,研究烟支内烟丝分布情况与卷烟硬度的关系,结合卷烟规格、烟丝特性和设备参数等因素建

作者简介:何孝强,男,红云红河烟草(集团)有限责任公司曲靖卷烟厂工程师,硕士。

通信作者:李泓燊(1978—),男,红云红河烟草(集团)有限责任公司经济师,博士。E-mail: lil3717@hyhgroup.com

收稿日期:2019-12-25

立卷烟硬度预测模型,以期根据模型预测结果指导卷烟重量标准的制定及相关参数的调整,提高生产效率。

1 原理分析

卷烟硬度是指在一定时间内,试样的径向受到一定压力,试样受压后与受压前直径的百分比^[8],即:

$$H = \frac{D-a}{D} \times 100\% = \frac{d}{D} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

H —— 硬度, %;

a —— 压陷量, mm;

D —— 压缩前试样直径, mm;

d —— 压缩后试样直径, mm。

标准^[9]规定,卷烟硬度的测量位置为不包括滤嘴段的烟支中部位置。根据检测原理,卷烟规格一定时,卷烟硬度与烟丝本身的填充力和实际的填充密度存在正相关关系^[2],由于在烟支卷制过程中,为了减少烟支空头概率、提高搓接质量,削减烟丝的平准盘往往设计有凹槽,使烟支两端烟丝密度高于中段,因此如果直接用卷烟的整体烟丝平均密度来预测硬度存在较大误差,为建立精确的卷烟硬度预测模型,首先要计算出卷烟的中段烟丝含量。

烟支紧头密度高于中段密度是由平准盘凹槽削减过多的烟丝造成的,根据平准盘凹槽的弧长及烟支长度可对烟支紧头和中段进行分解,平准盘削减瞬间的烟丝条经卷烟纸包裹后存在一定的压缩量,通过计算压缩后烟支 2 个紧头段和中段的体积即可计算出各段的烟丝量,具体计算步骤:

(1) 当烟支紧头位置和中段密度相同时,分别计算无嘴烟支中段、点燃端紧头和接嘴端紧头体积,其中烟支中段体积 v 计算公式:

$$v = \pi r^2 \left(l - \frac{l_1}{2} - \frac{l_2}{2} \right), \quad (2)$$

式中:

π —— 圆周率;

v —— 烟支中段体积, mm^3 ;

r —— 烟支半径, mm;

l —— 无嘴烟支长度, mm;

l_1 —— 点燃端平准盘凹槽弧长, mm;

l_2 —— 接嘴端平准盘凹槽弧长(当烟支只有点燃端一个紧头时, l_2 为 0), mm。

烟支点燃端紧头体积 v_1 计算公式:

$$v_1 = \frac{l_1}{2} \pi r^2 + 0.47 l_1 h_1 d_1, \quad (3)$$

式中:

v_1 —— 烟支点燃端紧头体积, mm^3 ;

l_1 —— 点燃端平准盘凹槽弧长, mm;

r —— 烟支半径, mm;

h_1 —— 点燃端平准盘凹槽径深, mm;

d_1 —— 点燃端平准盘凹槽深度, mm。

烟支接嘴端紧头体积 v_2 计算公式:

$$v_2 = \frac{l_2}{2} \pi r^2 + 0.47 l_2 h_2 d_2, \quad (4)$$

式中:

v_2 —— 烟支接嘴端紧头体积, mm^3 ;

l_2 —— 接嘴端平准盘凹槽弧长, mm;

r —— 烟支半径, mm;

h_2 —— 接嘴端平准盘凹槽径深, mm;

d_2 —— 接嘴端平准盘凹槽深度, mm。

(2) 计算烟支中段烟丝量。首先根据预设卷烟重量和已知的卷烟材料重量计算出烟丝量,然后根据烟支各段体积计算出中段烟丝量 m ,具体计算公式:

$$m = (m_1 - m_2) \frac{v}{v + v_1 + v_2}, \quad (5)$$

式中:

m —— 烟支中段烟丝量, g;

m_1 —— 预设单支卷烟重量, g;

m_2 —— 平均单支卷烟辅料重量, g;

v —— 烟支紧头和中段密度相同时的烟支中段体积, mm^3 ;

v_1 —— 点燃端紧头体积, mm^3 ;

v_2 —— 接嘴端紧头体积, mm^3 。

2 模型建立与验证

2.1 烟支中段填充系数的计算

选择曲靖卷烟厂 2018 年 1 月~12 月的 15 个常规牌号卷烟物理指标检测数据,数据包括卷烟重量、圆周、长度、硬度,卷烟规格包括常规卷烟和中、细支卷烟,涵盖了目前主流的卷烟规格。经数据清洗后共 167 721 条数据,每个样本为一支卷烟的物理指标检测数据,根据上述原理在数据集中加入计算烟支中段烟丝量所需要的中间变量,包括卷烟材料重量、滤棒长度、烟丝填充值和平准盘凹槽规格,计算出每个样本的烟支中段烟丝量 m ,结合烟支规格和平准盘凹槽规格计算出烟支中段烟丝密度,由于卷烟硬度受到烟丝填充值和填充密度的综合影响,因此用烟支中段的烟丝密度乘以烟丝填充值得到表征烟支中段烟丝填充情况的变量,记作烟支中段填充系数 fd_m ,计算公式为:

$$fd_m = 1\,000 f \times \frac{m}{v}, \quad (6)$$

式中:

fd_m —— 烟支中段填充系数;

f —— 烟丝填充值, cm^3/g ;

m —— 烟支中段烟丝量, g;

v —— 烟支中段体积, mm^3 。

根据式(6)计算出每个样本的 fd_m , 加入数据集中。

2.2 数据处理

为探索相关因素对卷烟硬度的影响模式,以原始数据集的卷烟牌号为分类变量,以每个类别的均值进行初步探索,得出中段填充系数 fd_m 与硬度检测结果的散点图(图1)。

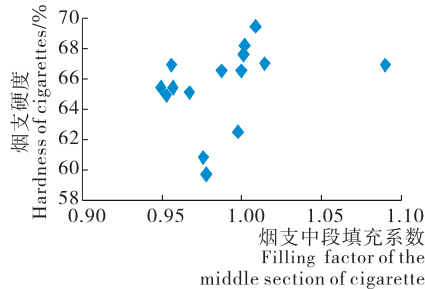


图1 fd_m 与烟支硬度散点图

Figure 1 Scatter plot of fd_m and hardness of cigarette

从图1可以看出,烟支中段填充系数与卷烟硬度没有明显的关系,由于硬度是压缩前后卷烟直径的比例,相同硬度的不同规格卷烟压缩量不同,因此考虑将卷烟硬度 H 根据式(1)转换为测量硬度时的径向压缩量 a 进行分析,得出压缩量与烟支中段填充系数的散点图(图2)。

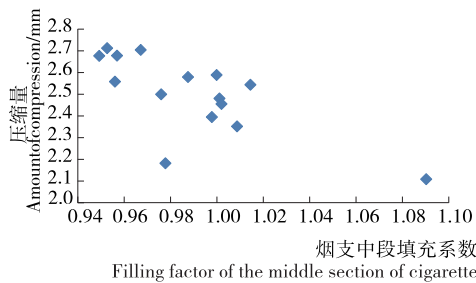


图2 fd_m 与压缩量散点图

Figure 2 Scatter plot of fd_m and amount of compression

从图2可以看出,整体上卷烟硬度测量时的径向压缩量与中段烟丝填充系数呈负相关关系,与理论相符,但是线性关系并不理想。根据卷烟硬度的测量原理,压缩量除与烟丝本身抗压能力有关,还与下压的接触面大小有关,即与卷烟直径 D 有关,直径越大,压缩量越小,因此构建中间变量 $\frac{(fd_m)^2}{D}$ 对压缩量进行探索,得出 $\frac{(fd_m)^2}{D}$ 与压缩量的散点图(图3)。

从图3可以看出,构建的新变量 $\frac{(fd_m)^2}{D}$ 与压缩量 a 之间呈现出很好的线性关系,因此在原始数据中加入新的变量 $\frac{(fd_m)^2}{D}$ 对测量卷烟硬度时的径向压缩量 a 进行拟合。

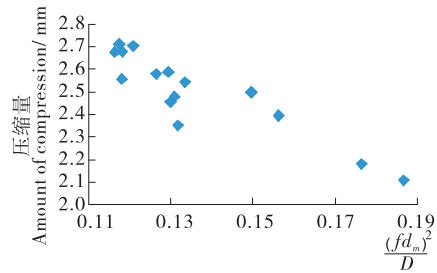


图3 $\frac{(fd_m)^2}{D}$ 与压缩量散点图

Figure 3 Scatter plot of $\frac{(fd_m)^2}{D}$ and amount of compression

2.3 模型建立与验证

首先将数据集分为训练集和测试集,其中训练集为总样本的70%,采用分层抽样的方法在每个牌号卷烟的检测数据中随机抽取70%的样本量组成训练集建立模型,剩下的30%为作为验证模型的测试集。为尽可能消除检测误差对模型的影响,以 fd_m 和 D 为变量,利用K-Means聚类算法^[10]对测试集进行聚类,首先根据总的类内平方和来选择最佳的聚类个数,计算结果见图4。

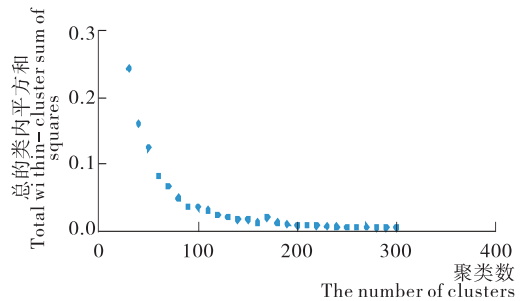


图4 聚类数与总的类内平方和散点图

Figure 4 Scatter plot of the number of clusters and total within-cluster sum of squares

从图4可以看出,当聚类数为100时总的类内平方和变化趋于平缓,因此选择100为聚类个数。利用聚类后每个类的中心值进行拟合,得到 $\frac{(fd_m)^2}{D}$ 与压缩量 a 的拟合方程:

$$a = 3.549 - 7.602 \frac{(fd_m)^2}{D}. \quad (7)$$

回归方差的拟合优度 $R^2 > 98\%$,拟合效果较好。

预测出烟支径向压缩量后,按式(1)计算卷烟硬度。

利用验证集对模型进行验证,通过计算,模型预测的相对误差平均值为3.7%,测试集的标准化均方误差^[11]为0.6,预测效果较好。为进一步分析模型的预测误差,将各卷烟牌号硬度指标在生产中的实际波动和产品技术标准与模型预测误差进行对比,结果见表1。

表 1 模型预测误差对比表
Table 1 The comparison of model prediction error

卷烟牌号	卷烟规格	实测均值/%	预测均值/%	预测绝对误差平均/%	实测标准差	技术标准允差/%
a	常规烟支	66.8	67.0	2.1	2.5	8.0
b	常规烟支	65.1	66.0	2.0	2.6	8.0
c	常规烟支	66.5	66.8	2.3	2.8	8.0
d	短支	67.8	66.7	2.3	3.0	8.0
e	中支	65.0	65.8	1.9	2.4	8.0
f	常规烟支	65.7	65.8	2.2	2.9	8.0
g	细支	59.8	59.4	2.7	3.5	10.0
h	中支	66.8	66.6	1.9	2.8	10.0
i	常规烟支	66.2	66.4	2.3	2.9	8.0
j	常规烟支	70.1	67.0	3.2	2.5	8.0
k	中支	61.1	62.2	2.8	3.4	10.0
l	中支	64.7	65.6	2.4	2.9	8.0

从表 1 可以看出,模型对各不同规格卷烟的硬度指标预测误差远远小于指标正常波动范围及企业产品技术标准规定的允差范围,说明模型可应用于实际生产过程中的卷烟硬度预测,且应用方便,不受卷烟规格、设备型号、烟丝特性等因素限制,适用范围广。

3 结论

试验研究了烟支中段填充系数与测量卷烟硬度时的径向压缩量的关系,建立了压缩量与烟丝填充系数和烟支直径的回归模型,进而建立卷烟硬度预测模型对卷烟硬度进行预测,模型拟合优度>98%、测试集的标准化均方误差为 0.6,相对误差均值为 3.7%,模型预测误差远远小于指标正常波动范围及产品技术标准规定的允差范围,说明模型预测效果较好,同时模型适用于各种规格的卷烟,可以应用于实际生产中的卷烟硬度预测,为制定卷烟重量标准和产品质量改进提供参考。下一步将加入更多规格牌号的卷烟数据对模型进一步优化和完善。

参考文献

[1] DAVIS D L, NIELSEN M T. 烟草: 生产、化学和技术[M]. 国家烟草专卖局科技教育司, 中国烟草科技信息中心, 译. 北京: 化学工业出版社, 2003: 342.
[2] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 268-271.
[3] 姚二民, 邵宁, 李晓, 等. 基于回归分析方法的烟丝结构与卷烟物理指标关系研究[J]. 食品工业科技, 2017(20): 27-30, 35.
[4] 李永宽, 冯剑, 王雷. 卷烟单支质量与物理和烟气指标的相关性研究[J]. 河南科技, 2011(21): 72.
[5] 倪克平, 范铁桢, 王涛. 卷烟硬度、吸阻与单支重相关性分析[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 60-65.

[6] 张文, 徐秀峰. 烟支重量、圆周与硬度关系的二元回归分析[J]. 安徽农学通报: 上半月刊, 2010(9): 50-52.
[7] 赵同林, 李兵役, 田兴友, 等. 烟支密度与烟支重量、吸阻、硬度及标准偏差的关系[J]. 烟草科技, 2016, 49(10): 74-80.
[8] 高雪萍, 许玉江, 王伟伟, 等. 膨胀梗丝填充能力对卷烟硬度的影响[J]. 科学之友, 2013(6): 16.
[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 22838.6—2009 卷烟和滤棒物理性能的测定 第 6 部分: 硬度[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-2.
[10] GARETH James, DANIELA Witten, TREVOR Hastie, et al. 统计学习导论: 基于 R 应用[M]. 王星, 译. 北京: 机械工业出版社, 2015: 267-270.
[11] 吴喜之. 应用回归及分类: 基于 R [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2016: 4.

(上接第 55 页)

[26] 白峻文, 王吉亮, 肖红伟, 等. 基于 Weibull 分布函数的葡萄干燥过程模拟及应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 278-285.
[27] LIU Yun-hong, SUN Yue, MIAO Shuai, et al. Drying characteristics of ultrasound assisted hot air drying of Flos Lonice rae[J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(8): 4 955-4 964.
[28] 刘军军, 刘金兰, 李帅, 等. 拳参黄酮与 Vc、芦丁协同抗氧化作用研究[J]. 化学与生物工程, 2014, 31(6): 34-37.