

The Influence of Environment Temperature and Humidity on Tobacco Moisture Control

—Based on the Data of Tobacco Primary Processing in Honghe Cigarette Factory

Yunfei Zhang¹, Peng Yuan^{2*}, Yun Dong¹, Cunbo Yuan¹, Hongyan Yan², Jie Chen¹

¹Honghe Cigarette Factory, Hongyunchonghe Tobacco Group Company Limited, Honghe Yunnan

²School of Mathematics and Statistics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan

Email: [*yuanpengyp@sina.com](mailto:yuanpengyp@sina.com)

Received: Jun. 4th, 2015; accepted: Jun. 19th, 2015; published: Jun. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

During the tobacco primary processing, moisture control plays an important role in cigarette quality. Based on the data of tobacco primary processing in Honghe Cigarette Factory, multilevel model and hierarchical multiple regression are used to study the influencing factors of tobacco moisture control during the primary processing. The results showed that: 1) outdoor temperature and humidity have a significant impact on the cut tobacco moisture control during the primary processing; 2) the influence of outdoor temperature and humidity has interactive effect. Therefore, the tobacco moisture control should adjust to the change of outdoor temperature and humidity.

Keywords

The Temperature and Humidity of Environment, Moisture Control, Multilevel Model, Tobacco Primary Processing

环境温湿度对制丝水分控制的影响

—基于红河卷烟厂制丝过程数据

张云飞¹, 袁鹏^{2*}, 董云¹, 袁存波¹, 晏鸿雁², 陈洁¹

*通讯作者。

¹红云红河烟草(集团)有限责任公司红河卷烟厂, 云南 红河

²云南财经大学统计与数学学院, 云南 昆明

Email: yuanpengyp@sina.com

收稿日期: 2015年6月4日; 录用日期: 2015年6月19日; 发布日期: 2015年6月25日

摘要

制丝过程中, 水分控制对卷烟质量起着重要的作用。本文基于红河卷烟厂制丝过程数据, 运用多水平模型和阶层回归方法, 研究制丝过程烟丝水分控制的影响因素。结果表明: 1) 室外温湿度对制丝过程水分控制有显著影响; 2) 室外温湿度的影响存在交互效应。因此, 制丝过程水分控制须根据室外温湿度的变化来进行调节。

关键词

环境温湿度, 水分控制, 多水平模型, 制丝过程

1. 引言

制丝过程作为卷烟生产的一个重要阶段, 其过程控制对后段工序的生产乃至烟支成品的质量都有显著影响。在整个制丝过程, 烟丝水分都伴随着烟丝生产的始终, 因此对于制丝线烟丝水分的控制, 显得尤为重要。烟丝水分的把握是否得当, 直接影响着烟丝的柔韧性和耐加工性, 从而关系到生产过程烟丝的消耗、烟支的感官舒适度, 甚至对卷烟的生产成本和销售收益造成影响。烘丝和加香是制丝过程的关键环节, 这一流程的烟丝含水率控制自然而然成为精准化管理的重点。

目前, 卷烟厂在进行烟丝生产水分控制调节方面, 完全依赖操作人员的经验来进行频繁地调整设备参数, 忽视了室外温湿度对烟丝水分的影响, 如此做法显然是不可取的。在不同的室外温湿度的情况下, 应及时调整设备参数以适合外界环境对烟丝含水率的影响。而在水分控制监测方面, 卷烟厂主要通过设定烘丝水分中心值和成品烟丝水分中心值来实现对制丝过程水分控制是否合理的评判。由于制丝线工序较多, 各段工序对于烟丝水分控制的程序也不同, 要实现烟丝水分的精确控制, 应在各段工序都设定中心值来进行严格的水分控制, 如此来保证烟丝水分的稳定性。

本文主要讨论制丝线烘丝机出口到加香机出口段烟丝含水率之间的关系, 为工厂精准化管理提供帮助。

2. 数据说明及研究方法

2.1. 数据说明

为了具体了解烟丝在制丝过程中是否受到室外温湿度的影响以及室外温湿度和制丝室内环境如何影响烟丝水分, 红河卷烟厂对同一牌号 12 批制丝线烟丝各处水分及其所处环境的温湿度进行了测定。本文采用红河卷烟厂同一牌号 12 批烟丝在不同环境温湿度条件下烘丝机出口、标丝柜入口、加香机出口烟丝含水率抽检数据, 每批数据样本量在 30 左右。基本数据统计特征如下:

表 1 给出了 12 个批次实验室外温湿度、烘丝环境温湿度、标丝房环境温湿度和加香环境温湿度各项参数值, 表 2 列出了各批次烘丝含水率、标丝柜入口烟丝含水率以及加香机出口烟丝水分的均值情况。

Table 1. The temperature and humidity values 12 batches

表 1. 12 个批次各项温湿度值

批次	室外		烘丝环境		标丝房环境		加香环境	
	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度
1	16.5	50.3	25.2	49	24.4	60.3	25	60.1
2	16.1	49.9	26.6	48	26.2	56.6	26	60.2
3	10.1	66.3	26.2	53	26.8	53.8	25	60.4
4	10.8	55.7	25	45	25.8	60.2	26	60
5	8.3	51.3	25.4	49	26.5	55.7	26	59.9
6	8.2	59.2	25.5	50	26	61.8	26	60.3
7	10	62.1	24	44	25.9	60.2	26	59.8
8	11.2	70.5	25.9	57	26.4	57	26	60.1
9	10.4	71.1	25.8	58	26.1	61.5	26	60.7
10	18.7	41.9	24.5	48	25.9	59.9	26	60.3
11	15.5	47.1	25.9	49	26.7	55.5	26	59.6
12	11.4	56.9	25.2	47	26.1	60.2	26	59.8

Table 2. Moisture content of 12 batches of mean and standard deviation

表 2. 12 个批次含水率均值和标准差

批次	样本量	含水率均值			含水率标准差		
		烘丝	标丝柜入口	加香机出口	烘丝	标丝柜入口	加香机出口
1	31	13.5029	12.95	12.6781	0.0866	0.0307	0.0125
2	30	13.482	12.9357	12.7743	0.0690	0.0408	0.0157
3	32	13.5384	12.9241	12.7697	0.0461	0.0487	0.0106
4	31	13.5468	12.9552	12.9074	0.0819	0.0324	0.0124
5	30	13.5387	13.0307	12.912	0.0470	0.0260	0.0119
6	35	13.4517	12.8751	12.8463	0.0368	0.0269	0.0161
7	32	13.4473	12.9797	12.8906	0.0759	0.0357	0.0088
8	30	13.4803	13.0093	12.894	0.0529	0.0323	0.0133
9	31	13.539	12.9565	12.8726	0.0494	0.0220	0.0184
10	29	13.4938	12.9983	12.8803	0.0908	0.0321	0.0161
11	32	13.5428	12.8703	12.7606	0.0402	0.0312	0.0198
12	31	13.5603	12.9065	12.8106	0.0467	0.0294	0.0115

通过纵向对比可知，各段烟丝含水率在不同温湿度条件下的均值和标准差是存在着一定差异的，具体差异情况可通过后文的方差分析科学地评判。本文假定烟丝含水率在进入讨论环节前都在合理的控制范围，便于方法的确定和模型的分析。

2.2. 单因素方差分析

方差分析是通过检验各总体的均值是否相等来判断分类型自变量对数值型因变量是否有显著影响，

而单因素方差分析研究的是一个分类型自变量对一个数值型因变量的影响。

进行方差分析后发现各效应的均值之间有显著差异, 此时只能知道有某些均值彼此之间是不同, 但无法知道哪些均值不同, 本文通过多重 t 检验方法找出在进行单因素方差分析时哪些均值是不同的。

2.2.1. 多重 t 检验

多重 t 检验针对因子的各个效应进行两两之间的比较。结合本文数据, 设批次因子有 r 个批次, α_i 、 α_j 分别对应第 i 、 j 个批次烟丝水分(烘丝出口水分、标丝柜入口水分、加香机出口水分)的均值, 假设检验为

$$H_0: \alpha_i = \alpha_j, i \neq j, (i, j = 1, 2, \dots, r),$$

检验统计量为

$$T_{ij} = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{\sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}}, i \neq j (i, j = 1, 2, \dots, r)$$

其中 \bar{X}_i 、 \bar{X}_j 分别为 i 、 j 个批次的烟丝水分均值, n_i 、 n_j 分别为 i 、 j 个批次的烟丝水分值个数, SS_E 为误差平方和(或组内平方和), $MS_E = SS_E / (n - r)$ 为误差的均方和, 也是 σ^2 的估计。当 H_0 成立时, $T_{ij} \sim t(n - r)$ 。所以 t 检验的拒绝域为

$$C = \{ |T_{ij}| > t_{1-\alpha/2}(n-r) \}$$

多重 t 检验使用方便, 但当多次重复使用时会增大犯第一类错误的概率, 从而使得“有显著差异”的结论不一定可靠, 所以在进行较多次重复比较时, 对 p 值进行调整。通过求得调整后的 p 值, 进而可判断出各个批次两两之间的烟丝水分值是否具有显著差异的具体情况[1]。

2.3. 多水平模型

经典的线性模型只对某一层数据的问题进行分析, 而不能将涉及两层或多层数据的问题进行综合分析。其基本假定是单一水平和单一的随机误差项, 并假定随机误差项独立、服从方差为常量的正态分布, 代表不能用模型解释的残留随机成分。而当数据存在层次结构时, 作为一种非独立数据, 其观察值在观察单位间或同一观察单位的各次观察间不独立或不完全独立, 其大小常用组内相关度量。此时, 随机误差项则不满足独立常方差的假定, 模型的误差项不仅包含了模型不能解释的应变量的残差成份, 也包含了高水平单位自身对应应变量的效应成份[2] [3]。

多水平模型将单一的随机误差项分解到与数据层次结构相应的各水平上, 具有多个随机误差项并估计相应的残差方差及协方差。构建与数据层次结构相适应的复杂误差结构, 这是多水平模型区别于经典模型的根本特征。其由固定与随机两部分构成, 与一般的混合效应模型不同之处在于其随机部分可以包含解释变量, 故又称为随机系数模型, 其组内相关也可作为解释变量的函数[4]。

由于本文所取数据在各个工序间采用的是不放回抽样, 故在烘丝出口处、标丝柜入口处和加香机出口处的取样是不同的, 如此要进行它们各个环节的水分分析以目前的统计手段来看是很难实现的。由于同一批次烟丝数量众多, 每一条烟丝都是整批烟丝的一个代表, 他们虽然有各自的特性, 但同一批次的烟丝的共性是很明显的, 故在进行分析时, 我们认为假定各处所取样本是相同的具有合理性。同一批次的近 30 条数据为抽取到的 30 份烟丝样本各工序段水分值, 工厂进行了 12 个批次的抽验工作, 因此, 同一批次的近 30 份烟丝含水率是第一水平单位, 而不同温湿度参数设定情形是第二水平单位, 尝试用多水平模型中的两水平模型对数据进行探究。

多水平模型可对不同水平上的误差方差进行深入和精细的分析。结合多水平模型原理可以建立适应本文数据分析的如下两水平模型形式。

水平 1 模型：

$$bw = \beta_{0j} + \beta_{1j} \times hw_{ij} + e_{ij}^{(1)}$$

水平 2 模型：

$$\begin{aligned} \beta_{0j} &= \gamma_{00} + \gamma_{01} \times ot_j + \gamma_{02} \times oh_j + \gamma_{03} \times bt_j + \gamma_{04} \times bh_j + \gamma_{05} \times ot_j \times oh_j + \gamma_{06} \times bt_j \times bh_j + e_{0j}^{(2)} \\ \beta_{1j} &= \gamma_{10} + e_{1j}^{(2)} \end{aligned}$$

总的模型可写成：

$$\begin{aligned} bw &= \gamma_{00} + \gamma_{01} \times ot_j + \gamma_{02} \times oh_j + \gamma_{03} \times bt_j + \gamma_{04} \times bh_j + \gamma_{06} \times ot_j \times oh_j \\ &\quad + \gamma_{07} \times bt_j \times bh_j + \gamma_{10} hw_{ij} + e_{1j}^{(2)} \times hw_{ij} + e_{ij}^{(1)} + e_{0j}^{(2)} \end{aligned}$$

各变量代表的含义为：， bw 标丝柜入口烟丝水分； hw ，烘丝出口烟丝水分； ot ，室外温度； oh ，室外湿度； bt ，标丝房环境温度； bh ，标丝房环境湿度。 i ：水平 1 单位； j ：水平 2 单位。 γ_{00} 和 γ_{01} 在第 2 水平的单位之间是恒定的，它们是 β_{0j} 和 β_{1j} 的固定成分，这里 $e_{0j}^{(2)}$ 和 $e_{1j}^{(2)}$ 是水平 2 的残差， $e_{ij}^{(1)}$ 是水平 1 的残差。

2.4. 阶层回归分析

阶层回归分析是多元回归的一种变量选择方法。在一般的学术研究中，解释变量间可能具有特定的先后关系，必须依特定顺序来进行分析。在实际执行上，阶层回归分析最重要的工作是决定变量的阶层关系与进入模式。变量间的关系如何安排，必须从文献、理论或现象上的合理性来考量，也就是必须要有理论根据，而不是研究者可以任意为之，或作由计算机决定[5]。

从技术层次来看，阶层法能够将解释变量以分层来处理，如果结合同时进入法，适合于学术性的研究来决定一组解释变量的重要性；如果结合逐步法，则类似于预测型回归分析，可用于分层来决定最佳模型。当解释变量是类别变量，欲进行虚拟回归时；或是当解释变量对于因变量具有非线性关系，若要进行多项式回归时；以及解释变量间具有交互作用，欲进行混合回归时，也都必须采用阶层回归程序。由此可知，阶层回归是一种整合性的多层次分析策略，兼具统计决定与理论决定的变量选择程序，是一种弹性很大的回归分析策略[5]。

3. 实证分析

3.1. 烟丝含水率方差分析

3.1.1. 烘丝含水率

由图 1 可以看出，各批次(不同温湿度条件)的烘丝含水率情况有一定的波动，批次 3、批次 7、批次 9 和批次 11 的烘丝含水率比较集中，而其中批次 3 和批次 7 的大部分数据尤为集中，因而出现异常点，批次 7 的异常点比较多；批次 1、批次 4 和批次 10 的烘丝含水率离散程度较高，数据波动较大。为科学检验各批次烘丝含水率情况，运用单因素方差分析进行检验。

表 3 为 12 个批次烘丝含水率单因素方差分析结果。

p 值远小于 0.05，具体统计意义。12 个批次的烘丝含水率是不尽相同的，在不同的温湿度条件下，烘丝含水率可能不同。为看出各批次间的差异情况，本文运用多重 t 检验方法进行均值的多重比较。

表 4 中元素是由多重 t 检验得到的调整后 p 值是否大于 0.05 转化而来：若 p 值大于 0.05，则接受原

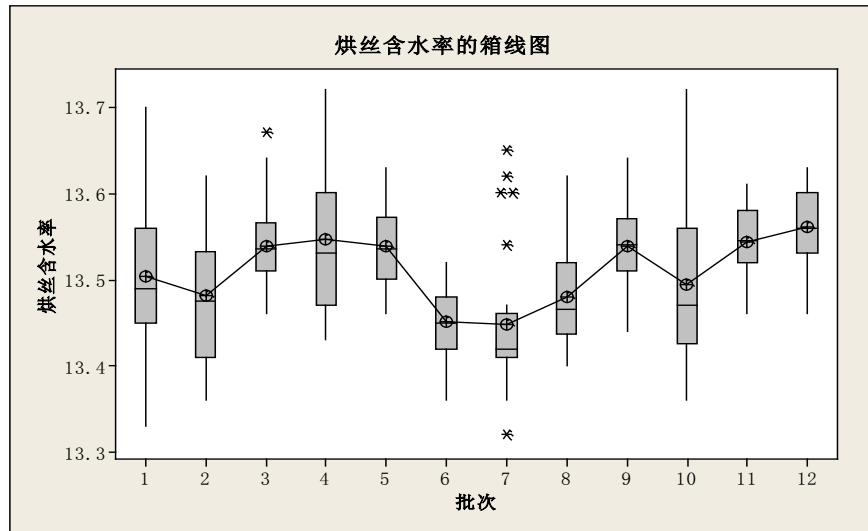


Figure 1. Boxplot of cut cigarette moisture content of 12 batches
图 1. 12 个批次烘丝含水率的箱线图

Table 3. Variance analysis results of moisture content of cut cigarette
表 3. 烘丝含水率的方差分析结果

来源	自由度	SS	MS	F	p
批次	11	0.53936	0.04903	12.54	0.000
误差	363	1.41971	0.00391		
合计	374	1.95907			

注: S = 0.06254, R² = 27.53%, 调整后 R² = 25.34%。

Table 4. The multiple comparison results of moisture content of each batch
表 4. 各批次烘丝含水率多重 t 检验结果

批次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	有	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	有	无	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	有	无	有	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	有	无	有	有	—	—	—	—	—	—	—	—
6	无	有	无	无	无	—	—	—	—	—	—	—
7	无	有	无	无	无	有	—	—	—	—	—	—
8	有	有	无	无	无	有	有	—	—	—	—	—
9	有	无	有	有	有	无	无	无	—	—	—	—
10	有	有	有	无	有	有	有	有	有	—	—	—
11	有	无	有	有	有	无	无	无	有	有	—	—
12	无	无	有	有	有	无	无	无	有	无	有	—

注: 有——存在显著差异, 无——不存在显著差异。

假设, 认为这两个批次不存在显著差异, 在表中标记为“无”; 若 p 值小于 0.05, 则这两个批次存在显

著差异，在表中标记为“有”。由于涉及批次较多，为便于直观地表达批次相互之间的水分值差异情况，故做如上处理。各批次的烘丝含水率两两之间存在差异的情况居多。批次 10 除了与批次 4、批次 12 没有明显差异外，与其它各批次差异明显，其原因可能在于批次 10 的烘丝环境温湿度与批次 4、批次 12 相近。

3.1.2. 标丝柜入口烟丝含水率

图 2 中，标丝柜入口烟丝含水率在各批次的均值波动很大，幅度明显大于烘丝含水率。但标丝柜入口烟丝含水率整体上集中程度较高，在批次 2、批次 8、批次 10 和批次 11 各有一个异常值。

表 5 为 12 个批次标丝柜入口烟丝含水率单因素方差分析结果。

由表 5 可知， p 值高度显著。不同批次的标丝柜入口烟丝含水率不全相同，批次的不同对标丝柜入口烟丝含水率差异的影响是显著的。如下进行多重 t 检验。

同表 4 一样，表 6 也是通过处理得到的多重 t 检验结果，12 个批次两两比较标丝柜入口烟丝含水率存在显著差距的情形比较多。批次 12 除了与批次 3 没有明显差异外，与其它批次差异明显；批次 11 除了与批次 6 没有明显差异外，与其它批次也是差异明显。

3.1.3. 加香机出口烟丝含水率

由箱线图 3 可知，各批次加香机出口烟丝含水率集聚现象明显，出现异常值的情况也十分明显，而各批次的加香机出口烟丝含水率波动很大。

表 7 为 12 个批次加香机出口烟丝含水率单因素方差分析结果。

由调整后的 R^2 知，单因素方差分析的解释效果很好。由 p 值可知，批次的不同引起了加香机出口烟丝含水率的明显不同。

同表 6，表 8 为多重 t 检验结果，12 个批次的加香机出口烟丝含水率两两比较基本上都是存在着显著差异的。除了批次 2 与批次 3、批次 3 与批次 11、批次 4 与批次 5、批次 7 与批次 8 和批次 9、批次 9 和批次 10 这些情形不存在明显的差异外，其它情形差异显著。

3.1.4. 方差分析结果比较分析

比较烘丝含水率、标丝柜入口烟丝含水率和加香机出口烟丝含水率的箱线图，发现含水率变化情况

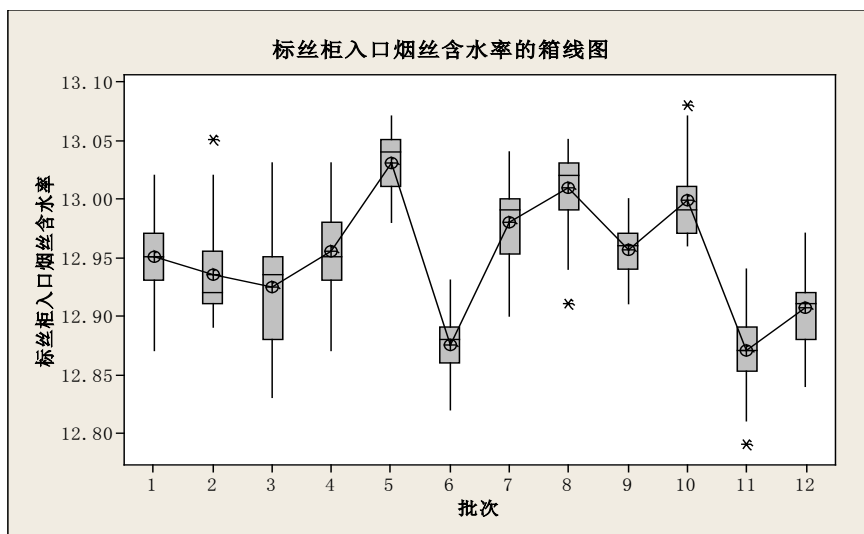


Figure 2. Boxplot of standard wire cabinet moisture content of 12 batches

图 2. 12 个批次标丝柜入口烟丝含水率的箱线图

Table 5. Variance analysis results of standard wire cabinet moisture content of cut cigarette
表 5. 标丝柜入口烟丝含水率的方差分析结果

来源	自由度	SS	MS	F	P
批次	11	0.88356	0.08032	73.82	0.000
误差	363	0.39496	0.00109		
合计	374	1.27852			

注: $S = 0.03299$, $R^2 = 69.11\%$, 调整后 $R^2 = 68.17\%$ 。

Table 6. The multiple comparison results of standard wire cabinet moisture content of each batch
表 6. 各批次标丝柜入口烟丝含水率多重 t 检验结果

批次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	有	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	有	无	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	有	无	有	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	有	无	有	有	—	—	—	—	—	—	—	—
6	无	有	无	无	无	—	—	—	—	—	—	—
7	无	有	无	无	无	有	—	—	—	—	—	—
8	有	有	无	无	无	有	有	—	—	—	—	—
9	有	无	有	有	有	无	无	无	—	—	—	—
10	有	有	有	无	有	有	有	有	有	—	—	—
11	有	无	有	有	有	无	无	无	有	有	—	—
12	无	无	有	有	有	无	无	无	有	无	有	—

注: 有——存在显著差异, 无——不存在显著差异。

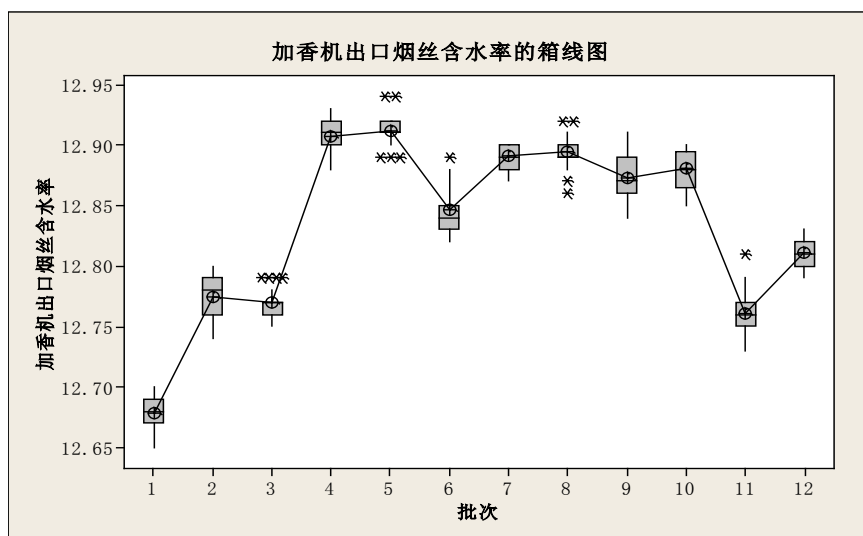


Figure 3. Boxplot of flavoring machine export moisture content of 12 batches
图 3. 12 个批次加香机出口烟丝含水率的箱线图

Table 7. Variance analysis results of flavoring machine export moisture content of cut cigarette
表 7. 加香机出口烟丝含水率的方差分析结果

来源	自由度	SS	MS	F	<i>p</i>
批次	11	1.855257	0.16866	825.28	0.000
误差	362	0.07398	0.000204		
合计	373	1.929237			

注: $S = 0.0143$, $R^2 = 96.17\%$, 调整后 $R^2 = 96.05\%$ 。

Table 8. The multiple comparison results of flavoring machine export moisture content of each batch
表 8. 各批次加香机出口烟丝含水率多重 *t* 检验结果

批次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	有	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	有	无	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	有	有	有	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	有	有	有	无	—	—	—	—	—	—	—	—
6	有	有	有	有	有	—	—	—	—	—	—	—
7	有	有	有	有	有	有	—	—	—	—	—	—
8	有	有	有	有	有	有	无	—	—	—	—	—
9	有	有	有	有	有	有	有	有	—	—	—	—
10	有	有	有	有	有	有	无	有	无	—	—	—
11	有	有	无	有	有	有	有	有	有	有	—	—
12	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	有	—

注: 有——存在显著差异, 无——不存在显著差异。

没有明确的趋同性。即经过一系列的工序, 已经使得烟丝含水率发生了显著变化, 温湿度的调整对烟丝含水率起到了明显的调控作用。室外温湿度及工序参数的不同, 对烟丝含水率的影响随着工序的进行越来越明显, 以致在加香机出口段的烟丝含水率在各批次间差异很大。

单因素方差分析表明: 随着制丝工序的进行, 外界环境的影响越来越明显。在加香机出口处, 水分的变动有 96.05% 可视为批次的不同所导致的, 水分变化中的 96.05% 信息可由环境调控温湿度进行解释。

由烘丝含水率、标丝柜入口烟丝含水率和加香机出口烟丝含水率的多重比较结果知, 12 个批次在三处的水分两两比较大都是存在着明显差异的, 且三处的多重比较结果也存在着区别, 没有明显的一致性。

3.2. 标丝柜入口烟丝水分的影响分析

由前文的方差分析可推测数据存在着层次效应, 因此尝试运用 SPSS 软件对数据进行两水平模型拟合。

如表 9 所示, 代表批次间差异的常数项估计值为 0.002514, 批次间方差 *p* 值为 0.021, 小于 0.05, 有统计学意义。表明数据之间存在层次结构特征, 即同一批次标丝柜入口烟丝含水率存在聚集性, 组内相关关系显著; 而表中残差检验结果估计值为 0.001088, 同样具有统计学意义, 不同温湿度水平下的标丝

柜入口烟丝含水率具有异质性。

组内相关系数 $ICC = \frac{0.002514}{0.001088 + 0.002514} = 0.6979$ ，表明数据中存在一定程度的组内同质性、组间差异性。综合来看，数据考虑运用多水平模型进行分析。

经过拟合两水平零模型可以判断，12 个批次间标丝柜入口烟丝含水率具有聚集性，进而添加解释变量拟合两水平模型。得到两水平模型结果表 10。

1) 室外温度影响分析

$$\frac{\partial \text{标丝柜入口水分}}{\partial \text{室外温度}} = 0.1211 - 0.002633 \times \text{室外湿度}$$

由上式知，当室外湿度超过 45.993 时，室外温度对标丝柜入口烟丝含水率起负向作用，而室外湿度小于或等于 45.993 时，室外温度对标丝柜入口烟丝含水率起正向作用或不起作用；结合表 1 可知 12 个批次各项温湿度值，发现只有批次 10 的室外湿度低于 45.933，批次 10 中室外温度对标丝柜入口烟丝含水率起正向作用，而其它批次的室外温度则起负向作用。

2) 室外湿度影响分析

$$\frac{\partial \text{标丝柜入口水分}}{\partial \text{室外湿度}} = 0.032089 - 0.002633 \times \text{室外温度}$$

由公式知，当室外温度超过 12.187 时，室外湿度对标丝柜入口烟丝含水率起负向作用，而室外温度小于或等于 12.187 时，室外湿度对标丝柜入口烟丝含水率起正向作用或不起作用；结合表 1 可知 12 个批次各项温湿度值，发现只有批次 1、2、10 和 11 的室外温度高于 12.187，因此它们的室外湿度对标丝柜入口烟丝含水率起负向作用，而其它批次的室外湿度则起正向作用。

在将各项参数控制在中心值(室外温度 12.27，室外湿度 56.86，标丝房环境温度 26.07，标丝房环境湿度 58.56)的情形下，烘丝含水率每提高 1 个百分点，标丝柜烟丝水分可能提高 0.09515 个百分点。

Table 9. Covariance parameters estimation table of null model
表 9. 零模型协方差参数估计表

参数	估计值	标准误差	Wald Z	显著性
残差	0.001088	0.000081	13.473	0.000
截距[个体=批次]方差	0.002514	0.001087	2.312	0.021

Table 10. Fixed effects estimation table of two-level model
表 10. 两水平模型固定效应估计表

参数	估计	标准误差	df	t	显著性
截距	125.523083	31.465558	4.974	3.989	0.011
室外温度	0.1211	0.045288	4.994	2.674	0.044
室外湿度	0.032089	0.011287	4.992	2.843	0.036
烘丝含水率	0.09515	0.027234	365.5	3.494	0.001
标丝房环境温度	-4.305633	1.190218	4.984	-3.618	0.015
标丝房环境湿度	-1.881548	0.522865	4.983	-3.599	0.016
室外温湿度交互项	-0.002633	0.000953	4.992	-2.765	0.04
标丝房环境温湿度交互项	0.070161	0.019591	4.983	3.581	0.016

3.3. 加香机出口烟丝水分分析

由前文的方差分析知，标丝柜入口到加香机出口段的数据仍具有层次效应，故尝试同样用两水平模型来进行分析。

如表 11 所示，代表批次间差异的常数项估计值为 0.005448，批次间方差 p 值为 0.019，小于 0.05，有统计学意义。表明数据之间存在层次结构特征，即同一批次加香机出口烟丝含水率存在聚集性，各个烟丝样本数据存在显著的组内相关关系；而表中残差检验结果估计值为 0.000204，同样具有统计学意义，不同温湿度水平下的加香机出口烟丝含水率具有异质性。

组内相关系数 $ICC = \frac{0.005448}{0.000204 + 0.005448} = 0.9639$ ，表明数据中存在高度的组内同质性。因此数据须

进行多水平来处理。然而在建立多水平一般线性模型后，模型系数显著性很差。我们通过简单的相关分析发现因变量与自变量之间存在着高度的线性关系，故很可能多水平一般线性模型并不适合此段数据的分析。由于数据的组内相关系数高达 0.9639，以至于一个组的信息高度同质，异质性很小，组的概念已经淡化。如此来看，组对于整体的关系就退化为样本对于组的关系。故一个组内的近 30 条信息，可视为一条样本的重复记录(或稍有变换)而已。虽然采用多元回归分析会有一些的偏差，如此来看，回归分析的基本假定在一定程度上是可以近似满足的。本文所用数据变量间的先后关系是很明显的，故决定采用阶层回归分析。

室外温度和湿度作为外生因素，是不可控的，故优先引入方程，各项值会因室外温度和湿度的不同而有所不同的设定，其次放入模型的是标丝柜入口烟丝含水率、加香机环境温度和湿度，最后引入的是室外温度和湿度的交互作用以及加香机温度和湿度的交互作用。所以阶层回归分析中的三个阶层分别是阶层一为室外环境区组，阶层二为加香环境区组，阶层三为交互作用区组。得到的结果发现三个区组能够有效解释因变量加香机出口烟丝含水率 80%的变异量($F(6, 367) = 245.075, p = 0.000$)，以调整后的 R^2 来看，仍有 79.7%的解释力。显示这些变量对于因变量的解释力很高。从各阶层的个别解释力来说，三个阶层的解释力增加量均高度显著。各阶层的系数估计结果如表 12。

由表 12 可知，三个区组的解释力当中，除了加香环境温度和湿度的交互作用没有纳入方程外，其余变量都进入了方程，对应系数都是显著的。且变量的先后进入使得模型的拟合效果越来越好，说明变量的放入顺序及变量的选择都是可以接受的。区组一变量(室外温度和室外湿度)进入模型，室外湿度并不显著。而区组二变量(标丝柜入口烟丝含水率、加香环境温度和加香环境湿度)引入模型后，室外温度的显著性下降而室外湿度显著性明显提高了，其原因可能在于加香环境温度的进入吸收了室外温度的部分影响力，故室外湿度的影响作用得到体现。区组三变量(室外温度和湿度交互作用)纳入模型，加香环境湿度的显著性下降了。

由 β 值可知，室外温度对因变量的影响最大，室外温度和湿度交互项其次，再次是室外湿度，加香环境湿度的作用是几个变量中影响最小的。

1) 室外温度影响分析

$$\frac{\partial \text{加香机出口水分}}{\partial \text{室外温度}} = 0.061 - 0.001 \times \text{室外湿度}$$

Table 11. Covariance parameters estimation table of null model

表 11. 零模型协方差参数估计表

参数	估计	标准误差	Wald Z	显著性
残差	0.000204	1.52×10^{-5}	13.454	0.000
截距 [个体 = 批次]方差	0.005448	0.002326	2.342	0.019

Table 12. District group model and parameter estimation table of multiple hierarchical regression analysis
表 12. 阶层回归分析各区组模型摘要与参数估计值表

模型内的变量		区组一(室外环境)			区组二(加香环境)			区组三(交互作用)			
		Beta	t	p	Beta	t	p	Beta	t	p	
独立 变量	一	室外温度	-0.566	-9.3	0.000	-0.08	-1.785	0.075	2.835	9.523	0.000
		室外湿度	-0.111	-1.82	0.700	0.08	1.877	0.061	1.971	10.102	0.000
		标丝柜入口烟丝含水率				0.261	9.429	0.000	0.284	11.474	0.000
	二	加香环境温度				0.76	20.848	0.000	0.662	19.543	0.000
		加香环境湿度				0.302	9.237	0.000	0.092	2.558	0.011
	三	室外温湿度交互项							-2.181	-9.881	0.000
模型 摘要		R ²									0.800
		F									245.075
		P									0.000
		ΔR ²									0.353
		ΔF									216.456
		Δp									0.000

由等式可知,当室外湿度大于 61 时,室外温度对加香机出口烟丝含水率起负向作用,而当室外湿度小于或等于 61 时,室外温度对加香机出口烟丝含水率起正向或不起作用;批次 3、批次 7、批次 8 和批次 9 的室外湿度超过了 61,故室外温度对加香机出口烟丝含水率起负向作用,其它批次均呈正向作用。

2) 室外温度影响分析

$$\frac{\partial \text{加香机出口水分}}{\partial \text{室外湿度}} = 0.016 - 0.001 \times \text{室外温度}$$

由等式可知,当室外温度大于 16 时,室外湿度对加香机出口烟丝含水率起负向作用,而当室外湿度小于或等于 16 时,室外湿度对加香机出口烟丝含水率起正向或不起作用;批次 1、批次 2、批次 10 的室外温度超过了 16,故室外湿度对加香机出口烟丝含水率起负向作用,其它批次均呈正向作用。

在将各项参数控制在中心值(室外温度 12.27,室外湿度 56.86,加香环境温度 25.83,加香环境湿度 60.1)的情形下,标丝柜入口烟丝含水率每提高一个百分点,加香机出口烟丝含水率可能提高 0.349 个百分点。在固定的参数设定(室外温度 12.27,室外湿度 56.86,加香环境温度 25.83,加香环境湿度 60.1)下,加香环境温度变动 1 个单位,加香机出口烟丝含水率会变动 0.243 个百分点;同样,加香环境湿度变动 1 个单位,加香机出口烟丝含水率会变动 0.023 个百分点。

4. 结论

由方差分析结果知,烘丝含水率、标丝柜入口烟丝含水率和加香机出口烟丝含水率没有明显的趋同性;室外温湿度及工序参数的不同,对烟丝含水率的影响随着工序的进行越来越明显,以致在加香机出口段的烟丝含水率在各批次间差异很大。烟丝随着工序的进行,其水分受到调控和室外因素的影响愈来愈深。故要实现水分控制的精准把握,应在各制丝线各工序段均设定中心值,以及时有效控制烟丝水分情况。

两水平模型的结果表明:标丝柜入口水分受到环境温湿度和烘丝水分的显著影响,由于交互作用的

存在，室外温度(湿度)对标丝柜入口烟丝含水率的影响与室外湿度(温度)有关；而标丝房环境温度(湿度)对标丝柜入口烟丝含水率的影响与标丝房环境湿度(温度)有关。若将各项参数控制在中心值(室外温度 12.27, 室外湿度 56.86, 标丝房环境温度 26.07, 标丝房环境湿度 58.56)，烘丝含水率每提高 1 个百分点，标丝柜烟丝水分可能提高 0.09515 个百分点。

阶层回归模型结果说明：加香机出口水分受到环境温湿度(加香环境湿度除外)和标丝柜入口水分的显著影响，由于交互作用的存在，室外温度(湿度)对加香机出口烟丝含水率的影响与室外湿度(温度)有关。将各项参数控制在参数中心值(室外温度 12.27, 室外湿度 56.86, 加香环境温度 25.83, 加香环境湿度 60.1)，标丝柜入口烟丝含水率每提高一个百分点，加香机出口烟丝含水率可能提高 0.349 个百分点。在固定的参数设定(室外温度 12.27, 室外湿度 56.86, 加香环境温度 25.83, 加香环境湿度 60.1)下，加香环境温度变动 1 个单位，加香机出口烟丝含水率会变动 0.243 个百分点；同样，加香环境湿度变动 1 个单位，加香机出口烟丝含水率会变动 0.023 个百分点。

基金项目

红河卷烟厂质量内控标准系统的构建研究，项目编号 1013-KY04030。

参考文献 (References)

- [1] 汤银才 (2008) R 语言与统计分析. 高等教育出版社, 北京.
- [2] (美) Ita Kreft Jan De Leeuw (2007) 多层次模型分析导论. 邱皓政, 译, 重庆大学出版社, 重庆.
- [3] 石磊 (2008) 多水平模型及其统计诊断. 科学出版社, 北京.
- [4] 王济川, 谢海义, 姜宝法 (2008) 多层统计分析模型——方法与应用. 高等教育出版社, 北京.
- [5] 邱皓政 (2009) 量化研究与统计分析——SPSS 中文视窗版数据分析范例解析. 重庆大学出版社, 重庆.