

On-Line Measurement and Control Methods Research for Circumference of Cigarette Filter Tip

Jinliang Feng¹, Zhigang Zhong², Chenshun Sun¹, Zhansheng Wang¹, Xingxu Li²

¹Qujing Cigarette Factory, Hongyun Honghe Group, Qujing

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

Email: xingxu1967@sina.com

Received: Nov. 18th, 2013; revised: Dec. 20th, 2013; accepted: Jan. 3rd, 2014

Copyright © 2014 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

Through an empirical study of this paper, it is concluded that: 1) on-line measurement of cigarette filter tip can be achieved by installing four laser sensors perpendicularly on the KDF2 cigarette filter tip production line and measuring diameter of these four angles of incidence of cigarette filter tip; 2) whether the circumference of filter tip is reaching the standard criteria can be adjudged scientifically by using interval hypothesis test. Furthermore, the control method presented in this paper can be used for reference for cigarette enterprises.

Keywords

Circumference of Cigarette Filter Tip; On-Line Measurement; Hypothesis Test; Power Function

滤棒圆周在线估计及控制方法研究

冯金良¹, 袁志刚², 孙成顺¹, 王展生¹, 李兴绪²

¹红云红河集团曲靖卷烟厂, 曲靖

²云南财经大学统计与数学学院, 昆明

Email: xingxu1967@sina.com

收稿日期: 2013年11月18日; 修回日期: 2013年12月20日; 录用日期: 2014年1月3日

摘要

本文实证研究发现：1) 只需要在KDF2滤棒生产线上垂直安装四台激光感应器，测量滤棒四个入射角直径，就能实现滤棒圆周的在线估计；2) 通过区间假设检验、功效函数设计，可以科学地判定烟滤棒圆周是否在标准范围内。本文提出的控制方法对卷烟企业具有借鉴意义。

关键词

滤棒圆周；在线估计；假设检验；功效函数

1. 引言

在滤棒圆周测量研究中，研究人员提出了相关的测量方法。张小英和李敏[1]提出一种结合 CCD 光电检测技术和小波变换边缘检测技术为一体的非接触式卷烟直径的测量方法，并说道该方法具有无测力，无磨损，无变形，精确度高等优点。具体操作为：利用 CCD 方法采集卷烟的边缘图象(灰度值)经 A/D 转换后进入 PC 机，PC 机再对这些边缘信息进行准确定位，进而算出卷烟直径。胡丹和李敏[2]介绍一种集 CCD 光电测量技术、单片机应用技术于一体的测量系统，该系统能对卷烟直径进行精确测量，且具有高速自动化，成本低等特点。胡丹、李敏和武小红[3]研究了图像边缘检测的模糊方法能有效地将物体从背景中区分开来，应用图像边缘检测的模糊数学方法测量卷烟直径的基本原理，并介绍了如何利用计算机实现整个测量过程，该系统具有较高的精确度。

KDF2 滤棒成型机是我国烟草行业滤棒加工制造的主力机型，KDF2 圆周检测关键部件是磁性浮子，通过控制浮子上下气室内的气压使其保持在一定的位置，当与探头相联的气室因滤棒圆周变化造成气压变化时，浮子位置发生变化，触动继电器触点并由圆周控制模块驱动控制电机动作，通过调整冷却压板高低位置来控制滤棒的圆周。

随着烟草行业“减害降焦”步伐的加快，高透、复合滤棒在卷烟生产中的运用越来越广泛。原有气压检测方式受滤棒透气度的影响，无法实现对其圆周的精确控制。如果激光检测技术能够得到成功应用，其非接触式检测方式不受滤棒透气度的影响，能够广泛适用于各种滤棒圆周的精确控制。

然而，滤棒不是一个标准的圆，利用激光检测技术对滤棒进行 360 度扫描来估计圆周是一个比较好的方法，但生产设备上无法安装这样的检测设备。问题是：我们能否通过激光技术得到滤棒几个点的直径，进而对滤棒圆周进行估计，从而实现滤棒圆周的在线估计和控制。因此，本文的思路是：抽取滤棒进行离线检测，检测滤棒圆周和不同角度的直径，讨论不同角度直径与圆周之间的关系，确定在线检测滤棒直径的点数和入射角，进而进行滤棒圆周的在线估计和控制。

2. 滤棒离线检测数据说明

2.1. 样本设计

研究设计了两个样本：样本 I 和样本 II。样本 I 从不同机台生产的滤棒中随机抽取 76 支滤棒组成；样本 II 从同一机台生产的滤棒中随机抽取 20 支组成。

2.2. 数据检测

采用离线检测设备(KC 机)，分别从 180 个角度(顺序是 1, 2, 3, …, 180 度)测量滤棒直径，每支

滤棒测得 180 个直径数据；同时测量滤棒圆周的数据。

3. 滤棒圆周估计

3.1. 估计方法讨论

如果滤棒是一个标准的圆，则滤棒圆周为 πR (注 R 为直径)。问题是滤棒不是一个标准的圆，如何合理的估计滤棒直径成为了关键难题。我们的思路是：从不同的入射角去测量滤棒圆周直径，计算不同入射角直径的均值，讨论据此计算的圆周与离线检测圆周之间的差异，从而确定滤棒圆周估计方法。

当然，最有效的方法是利用滤棒 180 个角度测量的直径数据进行估计最为有效，但需要在先测量滤棒 180 个直径数据，需要在生产线上安装 180 台传感器，现实中并不可行。我们的想法是找到最少的入射角进行直径测量，并据此估计滤棒圆周。

估计精度要求：滤棒圆周的控制标准为 24 ± 0.1 mm，项目设计要求估计误差(误差 = 估计值 - 真实值)小于 0.05 mm。

基本设想是：在生产线上垂直安装激光传感器，测量滤棒相互垂直的直径，进而估计滤棒圆周。

1) 如果在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装两台激光传感器，则测量滤棒相互垂直的两条直径，滤棒圆周的估计方法为：

$$\hat{R}_i = \frac{x_{1i} + x_{2i}}{2}, \hat{y}_i = \pi \hat{R}_i \quad (1)$$

其中， y 为滤棒圆周， R 为直径， x_1, x_2 为相互垂直滤棒直径。

2) 如果在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装四台激光传感器，则测量滤棒相互垂直的四条直径，滤棒圆周的估计方法为：

$$\hat{R}_i = \frac{x_{1i} + x_{2i} + x_{3i} + x_{4i}}{4}, \hat{y}_i = \pi \hat{R}_i \quad (2)$$

其中， x_1, x_2, x_3, x_4 为相互垂直的滤棒直径。

类似地，在 KDF2 滤棒生产线上可以垂直安装八台激光传感器、十六台激光传感器等。按公式(1)和(2)的方式，同样可以设计出对应不同传感器数量的滤棒圆周的估计方法。

3.2. 实证分析

对滤棒 1~180 度入射角测得的直径数据作如下处理：1) 每间隔 90 度的直径进行平均可以得到 90 组平均值数据，用 $k = 1, 2, \dots, 90$ 分别表示；经过处理后，I 样本数据变为 76 行 90 列的数据表。II 样本数据经过同样处理后，得到一张 20 行 90 列的数据表；此数据用于验证垂直安装两台激光传感器的情形。2) 每间隔 45 度的直径进行平均可以得到 45 组平均值数据，用 $k = 1, 2, \dots, 45$ 分别表示；经过处理后，I 样本数据变为 76 行 45 列的数据表。II 样本数据经过同样处理后，得到一张 20 行 45 列的数据表。此数据用于验证垂直安装四台激光传感器的情形。

1) 如果在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装两台激光传感器，根据公式(1)进行滤棒圆周的估计，样本中滤棒圆周估计误差大于 0.05 mm 的滤棒占到 20% 以上，因此，在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装两台激光传感器不可行。

2) 如果在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装四台激光传感器，根据公式(2)进行滤棒圆周的估计，样本滤棒圆周估计误差小于 0.05 mm，在接受范围内。因此，可以在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装四台激光传感器，对滤棒圆周进行在线估计。这里给出 II 样本的估计效果表(见表 1)。

因此，实证分析说明，只需要在 KDF2 滤棒生产线上垂直安装四台激光感应器，测量四个入射角滤

Table 1. The estimation error of the filter tip circumference

表 1. 滤棒圆周估计误差

滤棒	测量值(mm)	估计值(mm)	误差(mm)
1	24.0461	24.07	0.02
2	24.0172	24.04	0.02
3	24.0758	24.03	-0.05
4	24.0184	24.03	0.01
5	24.0347	24.05	0.01
6	24.0393	24.03	-0.01
7	24.0659	24.03	-0.04
8	24.0379	24.07	0.03
9	24.0918	24.06	-0.03
10	23.9977	24.03	0.04
11	24.0500	24.04	-0.01
12	24.0225	24.04	0.02
13	23.9984	24.03	0.03
14	23.9971	24.02	0.02
15	24.0567	24.03	-0.03
16	24.0043	23.99	-0.01
17	24.0230	24.04	0.02
18	23.9956	24.03	0.04
19	24.0932	24.09	0.00
20	24.0102	24.03	0.02

棒直径，就能实现滤棒圆周的在线估计。

4. 在线控制方法

4.1. 假设检验

滤棒圆周控制标准为 24 ± 0.1 mm，在线检验滤棒圆周是否在标准范围内，需要进行区间假设检验。由于理论的复杂性，区间假设检验方法在管理实践中并未得到应用。基本步骤为：

- 1) 确定零假设和备择假设。具体如下：

$$H_0 : \mu_0 \in [23.9, 24.1] \quad H_1 : \mu_0 \notin [23.9, 24.1]$$

- 2) 构造统计量。

$$T_L = \frac{\bar{y} - 23.9}{\sigma/\sqrt{n}} \quad T_U = \frac{\bar{y} - 24.1}{\sigma/\sqrt{n}}$$

其中 \bar{y} 代表滤棒圆周估计值， σ 代表标准差， $n=1$ (只有一个样本)。

- 3) 判断分析。在 5% 的显著性水平下，当 $T_L = \frac{\bar{y} - 23.9}{\sigma/\sqrt{n}} < C_1$ 时，有理由拒绝原假设，说明滤棒圆周远

远小于 23.9 mm; 当 $T_U = \frac{\bar{y} - 24.1}{\sigma/\sqrt{n}} > C_2$ 时, 有理由拒绝原假设, 说明滤棒圆周长远远大于 24.1 mm。

其中 C_1 、 C_2 为正态分布的两个分位点, $C_1 = -1.96$, $C_2 = 1.96$ 。

4.2. 实证分析

本文的区间假设检验方法构建基于处理后的 I 样本数据, 从 I 样本抽取四个“超标”样本数据, 并与处理后的 II 样本数据一起作为测试集, 对该方法进行测试, 检验该方法的判断效果。由于测试集中的所有烟支滤棒圆周的真正值均大于 23.9 mm, 并且它们的 T_L 统计量均大于 -1.96, 因此它们的圆周都被正确地判为大于 23.9 mm, 在这里就不赘述。

由表 2 可以看出, 前面四支滤棒圆周均超过标准 24.1 mm, “2-1-5”的 T_U 统计量值中有 6 个角度是大于 1.96, 即拒绝原假设, 把它判为“不合格品”。其它三支滤棒的 T_U 统计量值均小于 1.96, 事实上, 其它 36 个角度的 T_U 统计量值也小于 1.96, 即不拒绝原假设, 把它们错误地判为“合格品”。II 样本的 20 支滤棒圆周的真正值均小于 24.1 mm, 并且它们的 T_U 统计量值都小于 1.96, 没有理由拒绝原假设, 它们均被正确地判为“合格品”。在测试集中的 24 支滤棒圆周有 21 支被正确判断, 有 3 支被误判。然而, 前面四支滤棒比较特殊, 真实的误判率将更小。因此, 区间假设检验方法的判断效果是比较优良的。

4.3. 假设检验效果分析

功效函数[1]是指: 在统计意义上, 犯第一类错误的概率, 当原假设为真时, 样本观测值落入拒绝域是一个小概率事件。根据实际推断原理, 在一次观测中, 小概率事件是几乎不可能发生的, 所以拒绝原假设的理由充足。在本文的假设检验中, 原假设是受保护, 即不能把合格品判为不合格品。因此, 滤棒圆周的观测值在合理范围内, 其功效函数值越小越好。下面给出功效函数, 具体的推导过程略。

$$\begin{aligned} \beta(\mu) &= P_{\mu} \left(\frac{\bar{y} - 23.9}{\sigma/\sqrt{n}} < C_1 \text{ 或 } \frac{\bar{y} - 24.1}{\sigma/\sqrt{n}} > C_2 \right) \\ &= P_{\mu} \left(\frac{\bar{y} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} < C_1 - \frac{\mu - 23.9}{\sigma/\sqrt{n}} \right) + P_{\mu} \left(\frac{\bar{y} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} > C_2 - \frac{\mu - 24.1}{\sigma/\sqrt{n}} \right) \\ &= \Phi \left(C_1 - \frac{\mu - 23.9}{\sigma/\sqrt{n}} \right) + \left(1 - \Phi \left(C_2 - \frac{\mu - 24.1}{\sigma/\sqrt{n}} \right) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $C_1 = -1.96$, $C_2 = 1.96$, $n=1$, μ 为滤棒圆周观测值

根据式(3)画出如下功效函数曲线(见图 1)。

功效函数曲线呈对称 U 型曲线, 当 $\mu = 24$ 时, 功效函数值最小, 即 $\beta(\mu) = 0.000215$ 。当 $23.9 \leq \mu \leq 24.1$ 时, 功效函数值范围为: $0.000215 \leq \beta(\mu) \leq 0.02499$, 当 $\mu < 23.9$ 或 $\mu > 24.1$ 时, 功效函数值以非常快的速度增长, 直到增长到 $\beta(\mu) = 1$ 停止。功效函数曲线的意义显而易见, 它清晰地指出: 当样本烟支滤棒圆周的观测值超过标准范围 0.025, 会导致功效函数值迅速地增大, 功效函数值增大的越快越好, 说明构建的区间假设检验判断效果是很好的。如图 1, 当 $\mu = 23.8$ 或 $\mu = 24.2$ 时, $\beta(\mu) = 0.741005$, 它的含义是: 样本烟支滤棒圆周不合格, 并且在 23.7 mm 或 24.2 mm 很小范围内波动时, 它被正确地判为不合格的概率为 74.1%; 当样本烟支滤棒圆周合格时, 并在 [23.9, 24.1] 间波动时, 它被错误地判断为不合格的概率几乎为零。样本烟支滤棒圆周能够在离 23.9 或 24.1 这么小的范围内判断精度达到这么高, 说明构建的区间假设检验方法的判断效果比较优良。

Table 2. T_U Statistics table of the test sample
表 2. 测试样本 T_U 统计量值表

编号	真实值	$k = 5$	$k = 10$	$k = 15$	$k = 20$	$k = 25$	$k = 30$	$k = 35$	$k = 40$	$k = 45$
2-1-5	24.2181	3.1580	2.9464	2.7197	2.2813	1.4953	1.1628	1.2988	2.2813	2.9917
2-2-2	24.1132	0.7395	0.8454	0.8605	0.5884	0.1047	-0.2430	-0.3337	-0.2127	-0.0011
1-2-3	24.1025	-0.3790	0.8454	1.2837	1.2837	0.5128	-0.0918	-0.6208	-1.2255	-1.1952
1-2-2	24.1045	-0.2430	0.7395	1.4802	0.9814	0.5733	-0.0162	-0.5453	-1.0290	-1.1499
1	24.0461	-0.3942	-0.1977	-0.2305	-0.9838	-1.3277	-2.1302	-2.0647	-1.6880	-1.0493
2	24.0172	-2.1793	-1.0002	-0.7709	-0.8528	-1.2131	-1.2950	-2.2448	-2.7198	-3.0637
3	24.0758	-1.2950	-1.2786	-1.0002	-0.1486	0.1298	0.3263	-0.1486	-0.1486	-0.9838
4	24.0184	-2.1466	-1.4751	-0.5744	-0.5744	-1.1312	-1.9664	-2.2940	-2.7689	-2.4413
5	24.0347	-0.1650	-0.4270	-1.0821	-1.7044	-2.3595	-2.1138	-2.1957	-1.6061	-0.5744
6	24.0393	-1.9337	-1.5079	-0.7545	-0.5089	-0.4270	-0.7873	-1.2786	-1.8190	-2.3758
7	24.0659	-1.6553	-1.7535	-0.5908	0.4082	0.4082	0.0643	-0.7054	-1.2786	-1.3441
8	24.0379	-1.0657	-0.3451	-0.0340	-0.3451	-0.8364	-1.9009	-2.3758	-2.5887	-2.1629
9	24.0918	-0.5580	-0.6890	-0.0012	0.6702	0.5229	0.2936	-0.3287	-0.6399	-0.7218
10	23.9977	-2.0483	-1.4424	-0.7873	-1.3441	-1.7863	-2.5560	-3.0964	-2.9818	-3.2274
11	24.0500	-1.9992	-1.3113	-0.1158	0.2281	-0.4270	-0.7054	-1.1967	-1.7699	-2.2284
12	24.0225	-2.0647	-1.0493	-0.4761	0.0315	-0.8037	-1.7208	-2.6870	-2.8835	-2.8016
13	23.9984	-2.2121	-1.2295	-0.8856	-1.0002	-1.6716	-2.4250	-3.1947	-3.2438	-3.0964
14	23.9971	-1.4260	-1.2950	-1.7863	-1.9009	-2.4250	-2.9818	-2.8835	-2.6870	-1.8354
15	24.0567	-1.6061	-1.5406	-0.7709	-0.0340	0.3100	-0.3451	-0.9019	-1.4260	-1.7535
16	24.0043	-2.9490	-2.3758	-1.9664	-1.2295	-0.7054	-1.4915	-1.9664	-2.4413	-2.7525
17	24.0230	-2.0974	-0.7873	-0.7545	-0.9511	-1.3277	-1.8354	-2.0155	-2.4741	-2.2448
18	23.9956	-1.9828	-1.0984	-0.9838	-1.1640	-2.1138	-2.8671	-2.9818	-3.3912	-3.1128
19	24.0932	-0.1158	0.5229	0.6375	0.7849	0.1134	-0.7054	-0.8200	-1.0166	-0.4598
20	24.0102	-2.8180	-1.5079	-0.7218	-0.5416	-1.5406	-1.8354	-2.1793	-2.8344	-2.9163

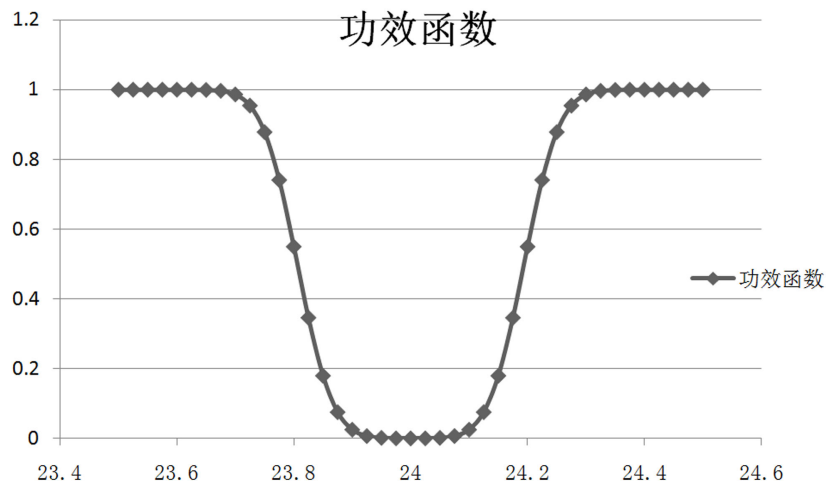


Figure 1. Efficacy function curve
图 1. 功效函数曲线

5. 结论及建议

本文对烟草行业滤棒加工制造的主力机型(KDF2 滤棒成型机)生产滤棒圆周的在线估计和控制方法进行了研究,得出以下结论:1)只需要KDF2滤棒成型机生产线上垂直安装四台激光感应器,测量四个入射角直径,就能实现滤棒圆周的在线估计;2)通过区间假设检验、功效函数的设计,可以科学地在线判定烟滤棒圆周是否在标准范围内。

另外,卷烟企业在生产过程中的许多控制指标,如烟丝含水率的控制、烟支重量的控制等,其标准范围为一个区间。因此,本文提出的区间假设检验、功效函数的控制理念,对卷烟企业相关指标的控制方法设计具有借鉴意义。

致 谢

本文感谢曲靖卷烟厂项目团队(HYHH2012SB03)提供的数据支持和具体指导!

项目基金

本文的研究得到了红云红河烟草(集团)有限责任公司科技计划项目(HYHH2012SB03)基金资助。

参考文献 (References)

- [1] 张小英,李敏 (2006) 基于小波变换的卷烟直径测量法. *高校论坛*, **7**, 39, 75.
- [2] 胡丹,李敏 (2002) 卷烟直径非接触测量系统的研究. *四川工业学院学报*, **2**, 4-6.
- [3] 胡丹,李敏 (2002) 模糊数学在卷烟直径测量中的应用. *四川工业学院学报*, **3**, 38-40.
- [4] 茆诗松,王静龙,濮晓龙 (2009) 高等数理统计. 高等教育出版社,北京.