

# 环境因素对卷烟主流烟气 CO 释放量的影响

林琳<sup>1,2</sup>, 曲亚玲<sup>2</sup>, 朱海军<sup>2</sup>, 张薇<sup>2</sup>, 沈凤兰<sup>2</sup>, 张峻松<sup>1</sup>

(1. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 北京烟草质量监督检测站, 北京 100029)

**摘要:**运用 SPSS V18.0 软件,对影响主流烟气 CO 含量的测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度进行数理统计,并将结果应用于 CO 测量的不确定度评价.结果表明:测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度都与主流烟气 CO 含量存在一定相关性;通径分析表明,环境温度对 CO 量的总作用系数  $r_t$  为 0.040 014;环境湿度对 CO 量的总作用系数  $r_h$  为 -0.012 01;环境风速对 CO 量的总作用系数  $r_f$  为 -0.022 54;环境大气压力对 CO 量的总作用系数  $r_p$  为 0.318 896.忽略各不确定度分量之间的相关性,实验室卷烟主流烟气中 CO 测量不确定度为  $\pm 0.40$  mg.

**关键词:**环境因素;主流烟气中 CO 释放量;数理统计;不确定度评定

**中图分类号:**TS411 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.04.007

## Influence of environmental conditions on CO release quantity of cigarette mainstream smoke

LIN Lin<sup>1,2</sup>, QU Ya-ling<sup>2</sup>, ZHU Hai-jun<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, SHEN Feng-lan<sup>2</sup>, ZHANG Jun-song<sup>1</sup>

(1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

2. Beijing Tobacco Quality Control Test Center, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The effects of temperature, relative humidity, air pressure and air flow of environmental conditions on CO release quantity of cigarette mainstream smoke were studied with mathematics statistics by SPSS V18.0, therefore uncertainties of CO test were evaluated based on the effects. The results showed as follows: temperature, relative humidity, air flow and air pressure of environmental conditions were correlated with CO release quantity of cigarette mainstream smoke; The coefficient factors of direct and indirect effects of temperature, relative humidity, air flow and air pressure of environmental conditions on CO of cigarette mainstream smoke were  $r_t = 0.040 014$ ,  $r_h = -0.012 01$ ,  $r_f = -0.022 54$ ,  $r_p = 0.318 896$ , respectively; Without the coefficients of uncertainties, the combined standard uncertainty was  $\pm 0.40$  mg.

**Key words:** environmental conditions; CO release quantity of cigarette mainstream smoke; mathematics statistics; uncertainty evaluation

收稿日期:2013-03-19

作者简介:林琳(1981—),女,北京市人,郑州轻工业学院硕士研究生,主要研究方向为烟草化学.

通信作者:张峻松(1971—),男,河南省项城市人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为烟草化学与分析及香精香料.

## 0 引言

卷烟烟气中存在着一些有害成分,卷烟主流烟气中的 CO 是在卷烟抽吸过程中产生的,主要存在于卷烟烟气气相物质中. CO 是卷烟烟气的主要产物,是许多烟草组分通过热分解和燃烧而形成的. 烟烟气相中的 CO 随着烟气进入人的气管和肺部,一经吸入即与血红蛋白结合,它与血红蛋白的亲合力比 O<sub>2</sub> 大 2 000 倍以上. 由于人在抽烟时吸入了 CO,减少了红细胞所携带的氧的总量,导致组织缺氧,增加了血管疾病的发生<sup>[1]</sup>.

我国已加入《国际烟草控制框架公约》,对 CO 实行类似焦油标注限量管理. 因此,烟草质量检测机构检测数据的有效性将直接影响对卷烟产品合格与否的判定. YC/T 30—1996 规定了对卷烟主流烟气中 CO 的测试方法,而测量环境的变化、测量仪器的波动等都会导致检测数据的波动,故如何保证检测数据的有效性,越来越引起人们的关注. 任何形态的单质碳或含碳的可燃物质在空气中燃烧都可以生成 CO<sub>2</sub> 或 CO,一定的燃烧条件、氧气的量将影响到 CO 的生成<sup>[2]</sup>. 在卷烟主流烟气中 CO 含量检测过程中涉及的主要环境因素为测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度.

用测量不确定度这个统一的准则对测量结果、质量进行评定和表示,在许多计量和检测领域得到广泛认可<sup>[3]</sup>. 测量不确定度是表征合理地赋予被测量之值的分散性与测量结果相联系的参数,是定量说明测量质量的一个参数. 测量不确定度评定管理有利于测量程序和测量方法的设计改进,通过测量不确定度的数据统计分析及内部纵向、外部横向的比较,得出实验室检测能力的实际水平,为实验室测量质量的持续改进提供了依据和方向.

本文拟利用数理统计方法系统分析环境因素对卷烟主流烟气中 CO 测量不确定度的影响,有效评价因测量环境的变化、测量仪器的波动等因素导

致检测数据的不确定性,从而提供判断结果可靠性的依据.

## 1 实验

### 1.1 样品及测试方法

按照 GB/T 16447—2004《烟草和烟草制品调节和测试的大气环境》<sup>[4]</sup>和 YC/T 30—1996《卷烟烟气气相中一氧化碳的测定·非散射红外法》<sup>[5]</sup>测定上海烟草集团(公司)北京卷烟厂所提供的金装 8 mg“中南海卷烟”.

### 1.2 仪器

SM450 型直线型吸烟机、皂膜流量计,英国斯茹林公司产; Thermo Air2 吸烟机风速仪,瑞士 Schiltknecht 公司产; DYM3 型空盒气压表,长春气象仪器厂产; XWSS—03D 型温湿度仪,武汉市仪器仪表研究所产; Challenger3000BF040A/CSF—083L 型恒温恒湿机组,美国力博特公司产; 1M1000RH 型恒温恒湿箱,澳大利亚 Clayson 公司产.

## 2 结果与讨论

### 2.1 环境因素对卷烟主流烟气中 CO 影响的数理分析

利用 SPSS 软件对 2009 年度亚洲烟气分析合作试验的数据进行数理分析,分别对测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度 4 个主要环境因素与主流烟气 CO 含量进行相关性、多元线性回归和通径分析<sup>[6-7]</sup>,结果见表 1—表 3.

表 1 环境因素与主流烟气 CO 含量相关性分析

	CO 含量	风速	温度	湿度	大气压
CO 含量	1.000	-0.056	0.039	0.037	0.306
风速	-0.056	1.000	0.482	-0.443	-0.059
温度	0.039	0.482	1.000	-0.625	0.196
湿度	0.037	-0.443	-0.625	1.000	-0.088
大气压	0.306	-0.059	0.196	-0.088	1.000

表 2 环境因素与主流烟气 CO 含量多元线性回归分析系数

	非标准化系数		标准系数 <i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>Sig.</i>	<i>B</i> 的 95.0% 置信区间	
	<i>B</i>	标准误差				下限	上限
(常量)	-2.579	6.216		-0.415	0.680	-15.070	9.912
风速	-0.001	0.006	-0.023	-0.141	0.889	-0.012	0.010
温度	0.027	0.132	0.038	0.206	0.838	-0.238	0.293
湿度	0.023	0.054	0.077	0.436	0.665	-0.085	0.132
大气压	0.076	0.035	0.304	2.162	0.036	0.005	0.147

从表 1 可知,各因素间存在一定的相关性,且与主流烟气 CO 含量也有一定相关性. 尽管相关性不显著,但鉴于不确定度评价的严谨性和数值较小,弱相关也应考虑.

表 2 是用方差分析对每个因变量做偏回归分析,得到回归系数及显著性检验的计算结果. 建立的回归方程为

$$y = -0.023x_1 + 0.038x_2 + 0.077x_3 + 0.304x_4$$

其中,  $y$  表示 CO 含量,  $x_1$  表示风速值,  $x_2$  表示温度值,  $x_3$  表示湿度值,  $x_4$  表示大气压力值.

由于环境因素之间存在相关关系,将环境因素

直接影响卷烟主流烟气中 CO 测量不确定度的称作直接作用,将环境因素通过影响其他因素从而对卷烟主流烟气中 CO 测量不确定度的称作间接作用. 表 3 是在相关分析和回归分析的基础上用通径系数分析方法将环境因素对卷烟主流烟气中 CO 测量不确定度的作用,分解为直接作用和间接作用以及各自的作用系数.

### 2.2 CO 测量不确定度的评定

运用卷烟主流烟气中烟碱、焦油和 CO 测量不确定度评定指南的方法,进行实验室 CO 测量不确定度的评定,其流程图如图 1 所示<sup>[8]</sup>.

表 3 环境因素与主流烟气 CO 含量通径分析系数

	直接作用	间接作用	总作用	风速	温度	湿度	大气压
风速	-0.023	0.000 46	-0.022 54		0.482	-0.443	-0.059
温度	0.038	0.002 014	0.040 014	0.482		-0.625	0.196
湿度	0.077	-0.089 01	-0.012 01	-0.443	-0.625		-0.088
大气压	0.304	0.014 896	0.318 896	-0.059	0.196	-0.088	

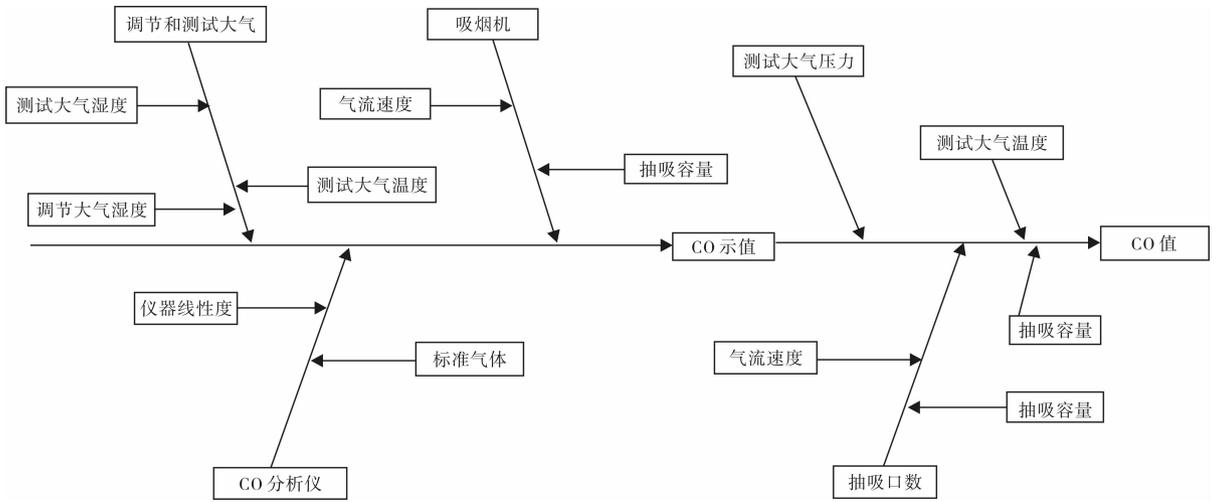


图 1 CO 测量不确定度来源

采用 10 次重复测量 CO 的平均值作为测量结果的最佳估计值,则有

$$u_1(CO) = 0.065 6 \text{ mg}$$

**2.2.1 CO 示值  $C$  的不确定度** 标准要求范围内调节大气、测试大气及吸烟机工作参数的波动所引入的不确定度  $u_1(C)$ .

1) 调节大气湿度. 当相对湿度从 70% 变化到 50% 所产生的 CO 变化量为 0.08 mg. 相对湿度的允差为  $\pm 3\%$ , 所以由相对湿度的变化引入的最大允许误差  $a = 0.012 \text{ mg}$ . 由于相对湿度变化引入的不确定度概率分布为均匀分布,则

$$u_{1-1}(C) = \delta_{c_{CH}} = 0.006 9 \text{ mg}$$

2) 测试大气温度. 测试大气温度从 20 °C 变化到 24 °C 所产生的 CO 示值变化量为 0.03 mg. 测试大气温度的允差为  $\pm 2 \text{ °C}$ , 所以由测试大气温度的变化引入的最大允许误差  $a = 0.015 \text{ mg}$ . 由于温度引入的不确定度概率分布为 U 型分布,则

$$u_{1-2}(C)' = \delta_{c_{TT}} = 0.010 6 \text{ mg}$$

但是,通过数理分析发现,环境温度对卷烟燃烧生成的烟气 CO 有一定的影响,直接作用系数为 0.038,间接作用系数为 0.002 014,总作用系数  $r_1$  为 0.040 014. 所以综合考虑,测试大气温度引入的不确定度应为

$$u_{1-2}(C) = u_{1-2}(C)' \times (1 - r_1) = 0.010 2 \text{ mg}$$

3) 测试大气湿度. 相对湿度从 70% 变化到 50% 所产生的 CO 变化量为 0.18 mg, 测试大气湿度的允差为  $\pm 5\%$ , 所以由相对湿度的变化引入的最大允许误差  $a = 0.045 \text{ mg}$ . 由于相对湿度变化引入的不确定度概率分布为均匀分布, 则

$$u_{1-3}(C)' = \delta_{CTH} = 0.026 0 \text{ mg}$$

但是, 通过数理分析发现, 环境湿度对卷烟燃吸生成的烟气 CO 有一定的影响, 直接作用系数为 0.077, 间接作用系数为  $-0.089 01$ , 总作用系数  $r_h$  为  $-0.012 01$ . 所以综合考虑, 测试大气湿度引入的不确定度应为

$$u_{1-3}(C) = u_{1-3}(C)' \times (1 - r_h) = 0.026 3 \text{ mg}$$

4) 抽吸容量. 吸烟机抽吸容量从 33 mL 变化到 37 mL 所产生的 CO 变化量为 0.23 mg. 抽吸容量的允差为  $\pm 0.30 \text{ mL}$ , 所以由抽吸容量变化引入的 CO 最大允差为 0.017 2 mg. 由于抽吸容量引入的不确定度概率分布为均匀分布, 则

$$u_{1-4}(C) = \delta_{CPV} = 0.009 9 \text{ mg}$$

5) 气流速度. 气流速度从 161 mm/s 变化到 266 mm/s 所产生的 CO 变化量为 0.09 mg. 气流速度的允差为  $\pm 50 \text{ mm/s}$ , 所以由气流速度变化引入的 CO 最大允差为 0.045 mg. 由于气流速度引入的不确定度概率分布为均匀分布, 则

$$u_{1-5}(C)' = \delta_{CAF} = 0.026 0 \text{ mg}$$

但是, 通过数理分析发现, 环境风速对卷烟燃吸生成的烟气 CO 有一定的影响, 直接作用系数为  $-0.023$ , 间接作用系数为 0.000 46, 总作用系数  $r_f$  为  $-0.022 54$ . 所以综合考虑, 测试气流速度引入的不确定度应为

$$u_{1-5}(C) = u_{1-5}(C)' \times (1 - r_f) = 0.026 6 \text{ mg}$$

6)  $u_1(C)$  的合成. 由于  $u_1(C)$  的各个分量之间无相关性, 因而得出

$$u_1(C) = \sqrt{u_{1-1}^2 + u_{1-2}^2 + u_{1-3}^2 + u_{1-4}^2 + u_{1-5}^2} = 0.040 6 \text{ mg}$$

7) 标准气体引入的不确定度. CO 气体标准物质的定值相对扩展不确定度为 2%, 包含因子  $k = 2$ . 按浓度 3.986% 计算, 则标准气体引入的标准不确定度为

$$u_2(C) = 3.986\% \times 0.01 \text{ mg} = 0.000 4 \text{ mg}$$

8) 仪器线性度引入的不确定度  $u_3(C) = u(\delta_{CL})$

$$u_3(C) = \frac{0.01 \times X}{\sqrt{3}} = 0.005 77X =$$

$$0.005 77 \times 3.35 \text{ mg} = 0.019 3 \text{ mg}$$

9) CO 示值不确定度的合成. 按  $u(C)$  的各分量相互之间不相关考虑, 则得到

$$u(C) = \bar{c} \times u_r(C) = \bar{c} \times \sqrt{\frac{u_1(C)^2}{\bar{c}^2} + u_{2r}(C)^2 + \frac{u_3(C)^2}{\bar{c}^2}} = 0.056 1 \text{ mg}$$

**2.2.2 抽吸口数  $N$  的不确定度** 1) 抽吸容量. 吸烟机抽吸容量从 33 mL 变化到 37 mL 所产生的 CO 变化量为 0.24 mg. 抽吸容量的允差为  $\pm 0.30 \text{ mL}$ , 所以由抽吸容量变化引入的最大允许误差为 0.018 mg. 由于抽吸容量引入的不确定度概率分布为均匀分布, 则

$$u_{1-1}(N) = \delta_{NPV} = 0.010 4 \text{ mg}$$

2) 气流速度. 气流速度从 161 mm/s 变化到 266 mm/s 所产生的抽吸口数变化量为 0.32 mg. 气流速度的允差为  $\pm 50 \text{ mm/s}$ , 所以由气流速度变化引入的最大允差为 0.15 mg. 由于气流速度引入的不确定度概率分布为均匀分布, 则

$$u_{1-2}(N) = \delta_{NAF} = 0.086 6 \text{ mg}$$

3)  $u(N)$  的合成. 由于  $u(N)$  的各个分量之间无相关性, 因而得出

$$u(N) = \sqrt{u_{1-1}^2 + u_{1-2}^2} = 0.087 2 \text{ mg}$$

**2.2.3 抽吸容量引入的不确定度** 按标准要求, 抽吸容量的允差为  $\pm 0.30 \text{ mL}$ , 考虑为矩形分布, 则

$$u_3(CO) = 0.173 2 \text{ mg}$$

**2.2.4 大气压力  $p$  引入的不确定度** 通过计量检定, 给出大气压力计的最大允差 0.01 kPa. 按照大气压力为 101 kPa 和矩形分布估计, 则

$$u_4(CO)' = 0.005 8 \text{ mg}$$

但是, 通过数理分析发现, 环境大气压力对卷烟燃吸生成的烟气 CO 有一定的影响, 直接作用系数为 0.304, 间接作用系数为 0.014 896, 总作用系数  $r_p$  为 0.318 896. 所以综合考虑, 测试气流速度引入的不确定度应为:

$$u_4(CO) = u_4(CO)' \times (1 - r_p) = 0.004 0 \text{ mg}$$

**2.2.5 温度示值  $T$  引入的不确定度** 计量检定给出温度显示仪最大允差为 0.1  $^{\circ}\text{C}$ , 按测试温度 22  $^{\circ}\text{C}$  和矩形分布估计, 则

$$u_5(CO) = 0.057 7 \text{ mg}$$

**2.2.6 合成标准不确定度** 若忽略各不确定度分量之间的相关性, 则

$$u_c(CO) = CO \times$$

$$\sqrt{u_r^2(CO) + u_r^2(N) + u_{3r}^2(CO) + u_{4r}^2(CO) + u_{5r}^2(CO)}$$

$$= 0.20 \text{ mg}$$

**2.2.7 扩展不确定度** 取包含因子  $k=2$ , 则扩展不确定度为

$$U = ku_c = 0.40 \text{ mg}$$

由于用于不确定度评定的卷烟为同一批次, 其CO量可由重复性测定的平均值为  $8.26 \text{ mg}$ , 所以本次CO量测定结果为  $8.26 \pm 0.40 \text{ mg}$ , 实验室环节影响CO量测定结果的变化范围为  $\pm 4.84\%$ 。

### 3 结论

运用SPSS V18.0软件, 对2009年度亚洲烟气分析合作试验的数据进行相关性分析, 得出各指标间的相关系数, 进一步对测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度4个主要环境因素与主流烟气CO含量进行相关分析和回归分析, 在此基础上进行了这4个主要环境因素与主流烟气CO含量的通径分析, 应用数理分析结果, 对实验室卷烟主流烟气中CO测量不确定度进行了评价。结果表明: 1) 测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度4个主要环境因素与主流烟气CO含量存在一定相关性。2) 通径分析表明, 测试大气温度、测试大气湿度、测试大气压力和气流速度4个主要环境因素对主流烟气CO含量存在直接作用和间接作用, 其中, 环境温度对CO量的直接作用系数为0.038, 间接作用系数为0.002 014, 总作用系数  $r_t$  为0.040 014; 环境湿度对CO量的直接作用系数为0.077, 间接作用系数为-0.089 01, 总作用系数  $r_h$

为-0.012 01; 环境风速对CO量的直接作用系数为-0.023, 间接作用系数为0.000 46, 总作用系数  $r_f$  为-0.022 54; 环境大气压力对CO量的直接作用系数为0.304, 间接作用系数为0.014 896, 总作用系数  $r_p$  为0.318 896。3) 忽略各不确定度分量之间的相关性, 实验室卷烟主流烟气中CO测量不确定度为  $\pm 0.40 \text{ mg}$ 。

### 参考文献:

- [1] 聂一平. 影响卷烟中一氧化碳量的几种因素[J]. 烟草科技, 1999(2): 26.
- [2] Rostami A A, Hajaligol M R, Li P, et al. Formation and reduction of carbon monoxide in a burning cigarette[J]. Beiträger zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research, 2003(7): 439.
- [3] 杨琴, 彭忠, 郑利锋. 卷烟主流烟气中一氧化碳测量不确定度的评定[J]. 现代测量与实验室管理, 2004(6): 37.
- [4] GB/T 16447—2004, 烟草和烟草制品调节和测试的大气环境[S].
- [5] GB/T 23356—2009, 卷烟·烟气气相中一氧化碳的测定·非散射红外法[S].
- [6] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在Excel和SPSS中的实现[J]. 农业网络信息, 2007(3): 109.
- [7] 刘丁伟, 胡建军, 熊燕, 等. 总粒相物与烟支重量、吸阻和抽吸口数的相关分析、通径分析[J]. 烟草科技, 2005(8): 3.
- [8] JJF(烟草)1—2007, 卷烟主流烟气中烟碱、焦油和一氧化碳测量不确定度评定指南[S].