

# 大气压力对卷烟烟气分析结果的影响研究\*

唐纲岭 陈再根 孟红明 王惠平 李雪梅 杨益敏 王淑华 刘惠民

## 摘 要

选择不同焦油量、烟气烟碱量和一氧化碳量的 4 个卷烟样品,在 3 个不同海拔高度的实验室,按标准条件和非标准条件进行卷烟烟气分析。结果表明,海拔高度对焦油量和一氧化碳量的分析结果有明显的影响,对烟气烟碱量的分析结果无明显影响。还探讨了高海拔地区焦油量、烟气烟碱量和一氧化碳量分析结果的校正方法。

关键词: 大气压力 烟气分析 焦油 烟碱 一氧化碳

中图分类号: TS411.2 文献标识码: A 文章编号: 1004- 5708(2005)01- 0013- 05

卷烟烟气的形成是一个非常复杂的物理化学过程。卷烟的燃烧锥可以分成燃烧区和热解/蒸馏区两个部分。燃烧区的温度高达 700~ 900℃,甚至更高,在燃烧区产生的热量随气体进入到热解/蒸馏区,温度大致

在 200~ 400℃,在此形成大量的热解产物和带电离子,热解反应呈缺氧状态。抽吸中的卷烟示意图见图 1。

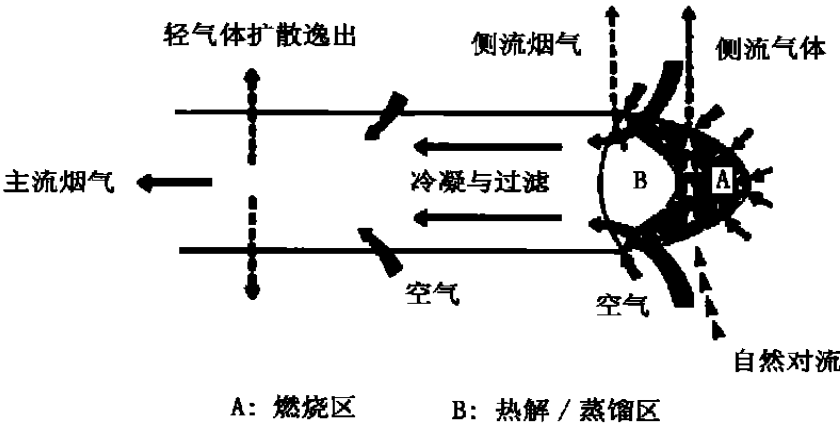


图 1 抽吸中的卷烟示意图

据报道,烟草和烟气的成分有 5000 多种,其中包括微量苯并(a)芘等有害的稠环芳烃。在热解/蒸馏区

产生的热解产物和汽化的烟草挥发性和半挥发性物质在随着气体沿烟草柱体通过烟支的过程中,温度迅速降低,汽化物质迅速达到饱和甚至过饱和,以灰分颗粒和分子离子为中心冷凝成为微小的液滴,成为气溶胶,液滴体积迅速增大。液滴颗粒之间的相互碰撞也造成颗粒体积的增大。液滴在随气流流经烟支的过程中,由于惯性作用,一部分颗粒碰撞在烟丝表面而被保留下来,形成烟丝对粒相物质的过滤作用,一部分颗粒随气体逃离烟蒂末端成为主流烟气的粒相物质。粒相物质

\* 唐纲岭,男,32岁,硕士,工程师,国家烟草质量监督检验中心,郑州高新技术产业开发区枫杨街 2 号,450001  
陈再根,刘惠民,通讯地址同第一作者  
孟红明,王惠平,李雪梅,杨益敏,王淑华,云南省烟草质量监督检验站,昆明,650104  
国家烟草专卖局基金资助项目(110200101059)  
收稿日期: 2004-02-10

扣除水分和烟碱即为焦油

卷烟燃烧产生的稠环芳烃等有害物质存在于焦油之中。由于稠环芳烃的测定步骤繁多,分析效率低,无法在实际执行中得到广泛应用。相比之下,焦油测定则比较简单快速,因此国际上通行用焦油量的高低作为评价卷烟的安全性的指标之一。

卷烟焦油量的测定结果受抽吸条件和抽吸环境的影响。抽吸容量、抽吸频率、抽吸持续时间等抽吸参数和温湿度等环境条件,能够准确控制或易于控制,而大气压力的大小难于控制或者说无法控制,但大气压力的较大差异无疑会对卷烟的燃烧产生影响,相应地对分析结果造成一定的影响。在参加国际国内一些共同试验研究过程中,以及在日常的卷烟产品质量监督检验工作中,均发现云南地区实验室卷烟焦油量和烟气一氧化碳量的测定结果与其它地区实验室存在明显差异。

卷烟焦油量、烟气烟碱量和烟气一氧化碳量是卷烟最为重要的3个烟气指标。我国《卷烟》国家标准已经对卷烟焦油量、烟气烟碱量提出控制要求,也即将对烟气一氧化碳量提出控制要求。欧盟要求在2004年开始控制上述3个指标的最高限量。如何解决不同地区测试结果的差异,对于卷烟产品质量监督和卷烟生产企业内部的质量控制都是非常重要的。因此有必要进行针对性的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品和仪器设备

供试样品包括:样品A,盒标焦油量8mg;样品B,盒标焦油量12mg;样品C,盒标焦油量15mg;样品D,2000年全国卷烟烟气分析监测卷烟。实验用仪器有:常用仪器及SM435型、SM400型20孔道直线型吸烟机(英国Filtrona公司);HP6890气相色谱仪(美国Agilent公司)。

### 1.2 测定项目和方法

测定项目为:卷烟焦油量、烟气烟碱量、烟气一氧化碳量。

依据的标准方法:GB/T16447-1996,烟草和烟草制品,调节和测试的大气环境;GB/T16450-1996,常规分析用吸烟机,定义和标准条件;YC/T29-1996,卷烟,用常规分析用吸烟机测定总粒相物和焦油;YC/T30-1996,卷烟,烟气气相中一氧化碳的测定—非散射红外

法;YC/T156-2001,卷烟烟气总粒相物中烟碱的测定—气相色谱法;YC/T157-2001,卷烟烟气总粒相物中水分的测定—气相色谱法。

### 1.3 试验地点与抽吸方案

测定地点为郑州,国家烟草质量监督检验中心(简称郑州),海拔高度26m;贵阳,贵阳卷烟厂质量监督检测站(简称贵阳),海拔高度960m;昆明,云南省烟草质量监督检测站(简称昆明),海拔高度1890m。三地基本代表了我国烟草实验室一般、中、高海拔高度。郑州大气压力一般为100kPa左右,基本为1个标准大气压,符合标准中(96±10)kPa的大气压力要求;贵阳大气压力一般为88kPa,小于1个标准大气压,接近标准要求的下限(86kPa);昆明海拔最高,大气压力一般为81kPa,超出标准要求的范围。

具体方法是:分别改变抽吸容量、抽吸频率和抽吸持续时间进行实验。改变某一参数时,其它条件保持符合所列标准方法的条件。抽吸容量分别为:29 32 35 38和41mL;抽吸频率分别为:50 60 70 80 90s;抽吸持续时间分别为:1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4s。共计进行30轮实验,每轮次同时抽吸A B C D 4个卷烟样品,每牌号每轮次在4个孔道上抽吸,每孔道5支,共计抽吸20支卷烟,平均值作为1个实验结果。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同海拔高度(大气压力)烟气指标分析结果差异的原因

从4个样品在标准抽吸参数下(抽吸容量35mL,抽吸频率60s,抽吸持续时间2s)的分析结果来看,郑州、贵阳、昆明三地的焦油量、烟气一氧化碳量测试结果存在比较明显的差异,以高海拔地区的焦油量、烟气一氧化碳量偏低;但烟气烟碱量分析结果的差异没有规律,可以认为大气压力对烟气烟碱量没有明显的影响(图2图3图4)。

造成这种结果的原因是:随着海拔高度的增加,空气变得稀薄,每口抽吸所吸入的氧气量减少,导致燃烧消耗的烟丝量减少,燃烧温度降低,热解、蒸馏作用减弱,热解、蒸馏产物减少;其次,随着大气压力的降低,气体密度下降,导致每口抽吸的物质质量减少;另外,低的大气压力也不利于汽化物质的凝结,烟气的过饱和程度也有所降低。这三种因素综合作用,导致高海拔地区实验室焦油量分析结果偏低。同样由于高海拔地区

空气稀薄,卷烟燃烧温度低,燃烧锥内部缺氧燃烧的程度减弱,不完全燃烧产物一氧化碳的产生量减少,导致高海拔地区实验室一氧化碳分析结果偏低。

另外,由于高海拔地区每口抽吸所吸入的氧气量少,燃烧温度低,不利于从烟丝中蒸馏出烟碱,但大气压力低同时又有利于烟碱这样的半挥发物质挥发。两种因素综合作用的结果,导致不同海拔高度地区实验室的烟气烟碱量分析结果无明显差异。

总之,海拔高度的改变导致形成烟气气溶胶的物理、化学和环境条件的改变。可以说,数据差异的原因是多方面的,是非常复杂的,是多种物理的、化学的、环境因素综合作用的结果。

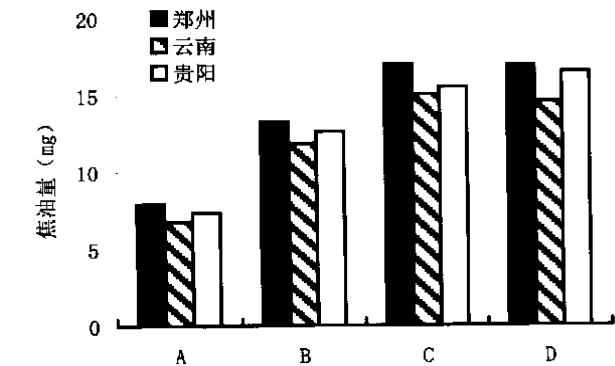


图 2 不同地区焦油量分析结果比较

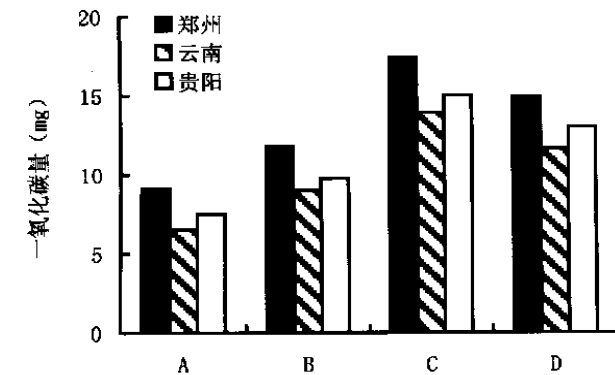


图 3 不同地区一氧化碳量分析结果比较

2.2 高海拔地区烟气分析结果的校正

要解决不同海拔高度地区实验室焦油量、一氧化碳量分析结果的差异,有两个可能的办法:一是调整高海拔地区实验室卷烟的标准抽吸参数,从而改变卷烟

的燃烧状态和气溶胶的形成条件,将分析结果调整为与标准大气压力地区实验室一致;二是高海拔地区实验室仍维持标准的抽吸参数,通过不同焦油量卷烟样品的对比实验建立回归方程,用回归方程校正高海拔地区实验室的烟气分析结果。

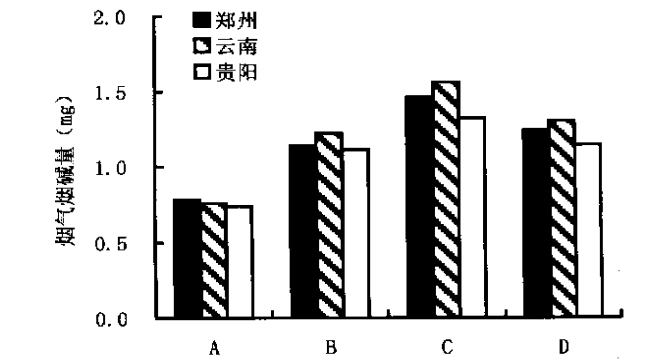


图 4 不同地区烟气烟碱量分析结果比较

2.2.1 通过调整标准抽吸参数校正结果 保持抽吸持续时间 2.0s 不变,分别改变贵阳 昆明两地卷烟的抽吸容量和抽吸频率,将测试结果与郑州在抽吸容量 35mL 抽吸频率 60s 的标准抽吸条件下所得结果进行比较。应用灰色关联统计分析方法,分别找出贵阳 昆明各种条件与郑州标准条件下所得焦油量、烟气烟碱量和烟气一氧化碳量的相似性,并按照相似性由好到差的顺序排列,最相似者给 1 分,第二相似者给 2 分,依此类推。将 A B C D 4 个样品得分相加,按分数由小到大排序,得分最少者表示由 4 个样品综合评价此条件下所得烟气分析结果与郑州标准条件下的结果最相似,得分多者表示不相似。

统计处理结果表明,在 25 种实验条件中,对于贵阳,抽吸容量 38mL 抽吸频率 60s 的抽吸参数与郑州所得结果最为相似,抽吸容量 25mL 抽吸频率 90s 最不相似;对于昆明,抽吸容量 41mL 抽吸频率 60s 的抽吸条件与郑州最为相似,抽吸容量 29mL 抽吸频率 90s 最不相似。

贵阳、昆明调整后的抽吸参数与郑州标准抽吸条件见表 1。贵阳抽吸容量 38mL 抽吸频率 60s 所得结果、昆明抽吸容量 41mL 抽吸频率 60s 所得结果与郑州标准抽吸条件所得结果见表 2。从表 2 可以看到,贵

阳与郑州结果相比,焦油量相对偏差最小为+ 0.47%,最大为+ 4.01%,均比郑州系统偏高,但比较接近;烟气烟碱量则有高有低,最大负相对偏差- 2.42%,最大正相对偏差+ 2.74%,两地数据非常吻合;但是烟气一氧化碳量均系统呈现负偏差,最小为- 3.07%,最大为- 7.04%,两地数据吻合性较差。昆明与郑州结果相比,焦油量相对偏差最小为+ 1.35%,最大为+ 3.36%,均呈现正偏差,但比较接近;烟气烟碱量均比郑州显著偏高,最大相对偏差+ 12.90%,最小相对偏差也达+ 9.63%,吻合性很差;烟气一氧化碳量均呈现负偏差,最小为- 3.82%,最大为- 8.11%,两地数据吻合性也比较差。

综上所述,抽吸参数的调整对于焦油量、烟气烟碱

量和烟气一氧化碳量的影响是不同的。调整高海拔地区实验室卷烟的抽吸参数,有可能将焦油量、烟气烟碱量和烟气一氧化碳量 3个指标中的 1个或 2个调整为标准大气条件下的分析结果,但要同时将 3个烟气指标调整一致,同时兼顾,从上述试验结果来看是不可能的,而且海拔越高,调整后数据的差异就越大。

表 1 贵阳、昆明调整后的抽吸参数与郑州标准抽吸条件

| 地点 | 抽吸参数 |      |        |
|----|------|------|--------|
|    | 抽吸容量 | 抽吸频率 | 抽吸持续时间 |
| 郑州 | 35mL | 60s  | 2.0s   |
| 贵阳 | 38mL | 60s  | 2.0s   |
| 昆明 | 41mL | 60s  | 2.0s   |

表 2 贵阳、昆明调整抽吸参数的结果与郑州标准抽吸条件的结果比较

| 样品<br>编号 | 实验<br>地点 | 抽吸<br>时间<br>(s) | 抽吸<br>口数<br>(口/皮) | 焦油量         |             | 烟气烟碱量       |             | 烟气一氧化碳量     |             |
|----------|----------|-----------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|          |          |                 |                   | 测定值<br>(mg) | 相对偏差<br>(%) | 测定值<br>(mg) | 相对偏差<br>(%) | 测定值<br>(mg) | 相对偏差<br>(%) |
| A        | 贵阳       | 2271            | 7.57              | 8.03        | + 1.52      | 0.77        | - 1.28      | 8.84        | - 3.07      |
|          | 郑州       | 2226            | 7.42              | 7.91        | -           | 0.78        | -           | 9.12        | -           |
|          | 昆明       | 2412            | 8.04              | 8.16        | + 3.16      | 0.86        | + 10.26     | 8.76        | - 3.95      |
| B        | 贵阳       | 2526            | 8.42              | 13.34       | + 0.53      | 1.16        | + 1.75      | 10.96       | - 7.04      |
|          | 郑州       | 2352            | 7.84              | 13.27       | -           | 1.14        | -           | 11.79       | -           |
|          | 昆明       | 2502            | 8.34              | 13.59       | + 2.41      | 1.25        | + 9.65      | 11.20       | - 5.00      |
| C        | 贵阳       | 2646            | 8.82              | 17.07       | + 0.47      | 1.50        | + 2.74      | 16.36       | - 5.93      |
|          | 郑州       | 2508            | 8.36              | 16.99       | -           | 1.46        | -           | 17.39       | -           |
|          | 昆明       | 2475            | 8.25              | 17.22       | + 1.35      | 1.64        | + 12.33     | 15.98       | - 8.11      |
| D        | 贵阳       | 2811            | 9.37              | 17.65       | + 4.01      | 1.21        | - 2.42      | 14.44       | - 3.15      |
|          | 郑州       | 2715            | 9.05              | 16.97       | -           | 1.24        | -           | 14.91       | -           |
|          | 昆明       | 2916            | 9.72              | 17.54       | + 3.36      | 1.40        | + 12.90     | 14.34       | - 3.82      |

2.2.2 建立回归方程校正结果 郑州、贵阳和昆明三地均采用标准的抽吸条件进行主流烟气分析,通过 4个样品的分析结果建立回归方程,校正贵阳、昆明的分析结果至郑州标准大气压力条件下的值。表 3为根据 3个实验室的分析结果建立的焦油量和烟气一氧化碳量的回归方程。表 4表 5分别为按照回归方程计算出的校正值。

表 4显示,运用回归方程,贵阳焦油量校正值与郑州的分析结果相对偏差最小的为 0.14%,最大的为- 3.59%;昆明焦油量校正值与郑州的分析结果相对

偏差最小的为 0.94%,最大的为 2.19%。两地运用回归方程校正与郑州标准条件下所得焦油量结果均非常吻合。

表 3 焦油量和烟气一氧化碳量回归方程

| 成分    | 地点 | 回归方程               | R <sup>2</sup> |
|-------|----|--------------------|----------------|
| 焦油量   | 贵阳 | Y= 1.0408X+ 0.2628 | 0.9891         |
|       | 昆明 | Y= 1.1278X+ 0.2061 | 0.9956         |
| 一氧化碳量 | 贵阳 | Y= 1.0794X+ 1.0806 | 0.9973         |
|       | 昆明 | Y= 1.1284X+ 1.7198 | 0.9999         |

表 4  焦油量回归校正值

| 样品编号 | 贵阳       |          |          |          | 昆明       |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      | 原始值 (mg) | 校正值 (mg) | 郑州值 (mg) | 相对偏差 (%) | 原始值 (mg) | 校正值 (mg) | 郑州值 (mg) | 相对偏差 (%) |
| A    | 7.36     | 7.92     | 7.91     | 0.14     | 6.75     | 7.82     | 7.91     | - 1.14   |
| B    | 12.62    | 13.40    | 13.27    | 0.98     | 11.84    | 13.56    | 13.27    | 2.19     |
| C    | 15.49    | 16.38    | 16.99    | - 3.59   | 15.02    | 17.15    | 16.99    | 0.94     |
| D    | 16.50    | 17.44    | 16.97    | 2.77     | 14.55    | 16.62    | 16.97    | - 2.06   |

表 5  一氧化碳量回归校正值

| 样品编号 | 贵阳       |          |          |          | 昆明       |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      | 原始值 (mg) | 校正值 (mg) | 郑州值 (mg) | 相对偏差 (%) | 原始值 (mg) | 校正值 (mg) | 郑州值 (mg) | 相对偏差 (%) |
| A    | 7.52     | 9.20     | 9.12     | 0.88     | 6.54     | 9.10     | 9.12     | - 0.22   |
| B    | 9.74     | 11.59    | 11.79    | - 1.70   | 8.97     | 11.84    | 11.79    | 0.42     |
| C    | 13.02    | 15.13    | 14.91    | 1.48     | 11.65    | 14.87    | 14.91    | - 0.27   |
| D    | 15.01    | 17.28    | 17.39    | - 0.63   | 13.90    | 17.40    | 17.39    | 0.06     |

表 5显示 ,运用回归方程 ,贵阳一氧化碳量校正  
与郑州标准条件下的分析结果相对偏差最小为  
- 0.63% ,最大为 - 1.70% ;昆明一氧化碳量校正  
与郑州标准条件下的分析结果相对偏差最小为  
0.06% ,最大为 0.42%。两地一氧化碳量校正  
与郑州标准条件下的值也都非常吻合。

因此 ,高海拔地区实验室按照标准抽吸参数抽  
吸卷烟 ,然后采用回归方程校正焦油量和烟气  
一氧化碳量是一个可行的方法

3  结论

在本项研究选定的 3个海拔高度下 ,高海拔造成  
焦油量和烟气一氧化碳量分析结果偏低 ;但不  
同海拔高度对烟气烟碱量无明显影响

高海拔地区实验室焦油量、烟气烟碱量和烟  
气一氧化碳量分析结果的校正方法表明 ,将标  
准抽吸条件下得到的分析结果采用回归方程校  
正是可行的方法。而调整抽吸参数不能将 3个  
烟气指标同时校正一致 ,是不可行的

Studies on the effects of atmospheric pressure for the results of smoking analysis

Tang Gangling<sup>1</sup>  Chen Zaigen<sup>1</sup>  Meng Hongming<sup>2</sup>  Wang Huiping<sup>2</sup>  
Li Xuemei<sup>2</sup>  Yang Yimin<sup>2</sup>  Wang Shuhua<sup>2</sup>  Liu Huimin<sup>1</sup>

1 China National Tobacco Quality Supervise& Test Center, Zhengzhou 450000  
2 Yunnan Tobacco Quality Supervise& Test Station, Kunming 650104

Abstract

Tar, nicotine and CO were measured at different atmospheric pressures according to the ISO standard and nonstandard conditions. The results indicate that atmospheric pressure has apparent influence on Tar and CO yield, but no influence on nicotine. Correction methods of tar, nicotine and CO for high altitude laboratory were studied.

**Key words**  Atmospheric pressure  Smoking analysis  Tar  Nicotine  Carbon monoxide