

卷烟烟气气溶胶颗粒实时观测分析

张晓凤¹, 戴亚², 徐铭熙¹, 梁臻盛¹

1 重庆工学院生物工程学院, 重庆市九龙坡区杨家坪兴胜路4号 重庆 400050;

2 川渝中烟工业公司, 成都 610066

摘要: 利用大气采样器、光学显微镜、CCD数码相机及图像处理系统设计了一套烟气气溶胶颗粒观测分析系统, 分析了观测系统和图像处理及统计分析系统方法的可靠性, 实现了烟气气溶胶颗粒的实时观测及其统计分析。试验结果表明, 主流烟气气溶胶颗粒平均粒径为 $0.8 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 之间, 颗粒密度在 $1.6 \times 10^7 \sim 2.9 \times 10^7$ 个/ cm^3 之间, 烟气气溶胶颗粒大小一定程度上与滤嘴的材料、长度、烟支长度等因素有关。此研究工作对卷烟降焦有指导意义。

关键词: 实时观测分析系统; 烟气气溶胶颗粒; 粒径测量

中图分类号: TS411.2 文献标识码: B 文章编号: 1004-5708(2007)06-0020-04

Analysis and real time observation on cigarette smoke aerosol particles

ZHANG Xiao-feng¹, DAI Ya², XU Ming-xi¹, LIANG Zhen-sheng¹

1 Bioengineering College, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China;

2 China Tobacco Chuanyu Industrial Corporation, Chengdu 610066, China

Abstract: In order to realize real time observation and statistics analysis of cigarette smoke aerosol particles, a system made of atmosphere sampling implement, microscope, CCD cameras, and image processing system was established and reliability of the system and statistics method were analyzed. Results showed that the size of smoke aerosol particles were to some extent dependent on butt length and cigarette type. The average size of mainstream smoke aerosol particles exhibited from $0.8 \mu\text{m}$ to $1.0 \mu\text{m}$ with concentration from 1.6×10^7 to 2.9×10^7 particles per cubic centimeter. This research was of significantce in guiding future research for tar reduction in cigarette.

Key words: real-time; observation and analysis system; smoke aerosol particles; diameter measurement

卷烟烟气气溶胶的形成是各种复杂化学、物理、生理和环境现象的连续与交叠过程, 全面和详尽地描述此过程尚有不少困难^[1-2]。卷烟烟气气溶胶颗粒粒径集中于 $0.1 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 之间^[1], 其颗粒大小、颗粒密度、分布状态等可对卷烟降焦有重要意义。烟气反映一支卷烟焦油量和滤嘴对焦油的截留情况, 气溶胶颗粒大小及分布范围可用多种技术测定, 传统重力沉降法^[1]、显微镜法^[3]无法实现烟气气溶胶实时检测, 需先采集烟气气溶胶颗粒再进行检测, 而在烟气气溶胶颗粒采

集过程中难免会发生颗粒间的碰撞、团聚、凝结等现象, 使烟气气溶胶颗粒大小和分布状态都发生形变, 影响测定结果的准确性。光散射法可直接用于烟气气溶胶颗粒的实时检测^[4-5], 但只能获得气溶胶颗粒的平均粒径, 难以得出粒径分布参数^[6]。

本文以大气采样器、光学通道、光学显微镜、CCD数码相机及图像处理系统等建立了一套烟气气溶胶颗粒实时观测分析系统, 避免传统检测方法采样时气溶胶颗粒易发生形变等问题, 实现了卷烟主流烟气气溶胶颗粒粒径大小、颗粒密度、分布状态的实时观测, 分析了不同滤嘴、烟支长度对这些参数的影响, 为卷烟烟气气溶胶颗粒大小及分布状态研究提供新途径。

作者简介: 张晓凤, 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 烟草化学,

Tel: 023-66594041, E-mail: zhangxiaofeng618@163.com

基金项目: 国家烟草专卖局项目(No. 110200401044)

收稿日期: 2006-11-29

1 试验部分

1.1 试验器材

COOLPIX 5200 CCD 数码相机(Nikon 公司, 520 万像素 1/1.8 英寸 CCD 传感器); TH-110B 型大气采样器(武汉天虹智能仪表厂); XSZ-G 型生物光学显微镜(重庆光电仪器有限公司); 自制光学通道; 试验所用卷烟的原料及材料均相同。

1.2 试验装置

自组装观测分析系统由观测系统和图象处理系统两部分组成。观测系统由大气采样器、光学通道、光学显微镜、CCD 数码相机组成, 见图 1, 光学显微镜观测点距卷烟接口 10 cm。

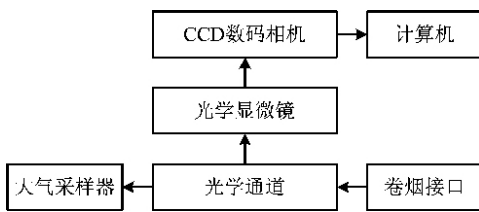


图 1 观测系统结构示意图

试验设计光学通道为 $2.5\text{ cm} \times 0.5\text{ cm} \times 0.2\text{ cm}$, 容积为 0.25 cm^3 。以载玻片为基底, 两侧有 0.2 cm 高支撑架, 粘结基底和支撑架, 再覆上盖玻片, 密封通道边缘, 其结构见图 2。采样时盖玻片内表面均匀涂一薄层甘油, 以固定沉降的烟气颗粒和减小部分沉降颗粒扩散产生的变形。

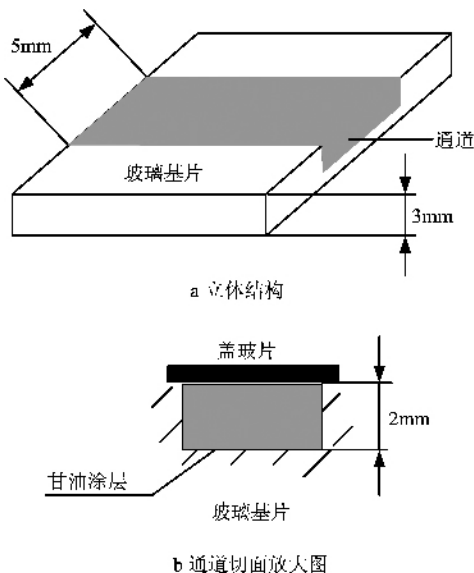


图 2 光学通道结构示意图

1.3 采样操作条件

显微镜放大倍数为 16×40 倍, CCD 数码相机采用 3 倍光学变焦时, 放大倍数约为 1920 倍, CCD 视场范围为 $133\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ 。在烟支长度(即采样点距滤嘴的距离) 分别为 50 mm 、 35 mm 、 20 mm 时开始采样, 大气采样器流速为 1 L/min , 使用 CCD 数码相机(快门速度 $1/2000\text{ s}$, AV[Motion JPEG] 视频格式 30 帧/s , 尺寸为 640×480 像素) 捕捉光学通道内主流烟烟气溶胶颗粒的状态。

1.4 图像处理与统计分析

烟烟气溶胶颗粒图像首先通过图像二值化法与轮廓追踪得到烟烟气溶胶颗粒闭合边缘的二值图像, 再利用图像统计软件统计分析出颗粒粒径及面积等参数, 得到卷烟烟烟气溶胶颗粒大小、颗粒密度和分布状态。工作流程如下:

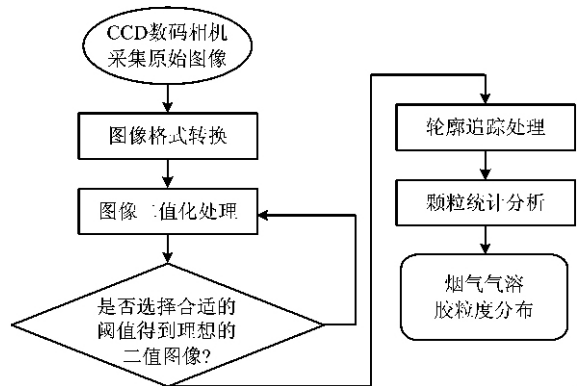


图 3 图像处理工作流程图

为验证图象处理系统的可靠性, 采用上述图象处理和统计分析程序, 以孔径为 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 的商品核孔膜为标准样品, 验证图像处理系统方法的可靠性。

2 结果及讨论

2.1 光学通道的设计

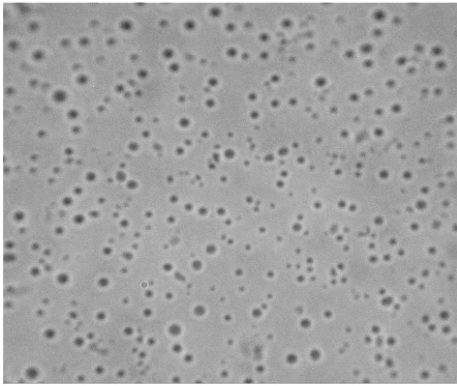
光学通道体积大小影响气溶胶颗粒间碰撞、团聚、沉降等, 对气溶胶颗粒大小有影响, 因此设计光学通道主要考虑: 便于卷烟烟气的通过, 便于显微镜的观察, 尽量减少烟烟气溶胶颗粒在光学通道内发生碰撞、团聚、凝结、沉降等问题。

2.2 自组装检测系统性能分析

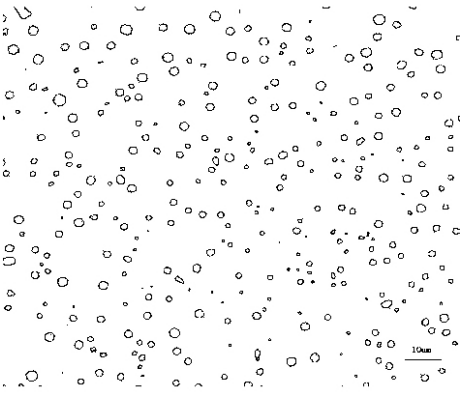
2.2.1 观测系统

在自组装观测系统上, 按 1.3 所述的操作条件, 观测通过 20 mm 醋纤滤嘴主流烟烟气溶胶颗粒图像, 得

图4中(a)图,图中实心黑点为烟气气溶胶颗粒。



a 烟气气溶胶颗粒图



b 轮廓追踪后的二值化图

图4 烟气气溶胶颗粒图

2.2.2 图像处理系统

观测系统获得的图像,经图像处理和统计分析可获得气溶胶颗粒粒径大小、颗粒密度和分布状态等信息。图5为核孔膜的扫描电镜(Scanning Electron Microscope SEM)图,经图像处理及统计分析,得到核孔膜平均孔径为 $0.2021\ \mu\text{m}$,孔数目为46个。图像处理结果与孔径实际大小相吻合,但孔径数目与实际出入较大,这是由于图中不同孔的亮度不同,在进行二值化处理和轮廓追踪处理时,亮度低的孔往往被忽略了,对最终统计结果有影响。因此孔的亮度对统计分析结果有影响,但在同一观测条件下,所得图片就有可比性,可基本保证图像处理及统计分析结果的可靠性。

由上述结果可知,自组装的观测系统是可行的,所采用的图象处理和统计分析方法是正确可靠的,能用于烟气气溶胶颗粒分布状态的观测研究。将图4中a图进行二值化处理和轮廓追踪处理,得到图4中b图,然后对二值化图像进行统计分析,得到烟气气溶胶颗粒大小及分布范围。

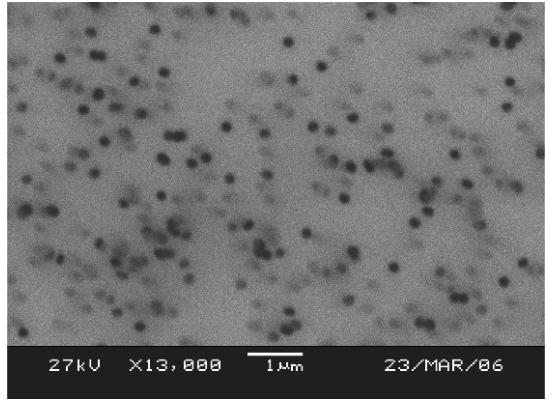


图5 0.2 μm 核孔膜的 SEM 图

2.3 样品分析结果

2.3.1 卷烟烟气气溶胶颗粒粒径分布

自组装观测系统上 20 mm 醋纤滤嘴的卷烟,烟支长 20 mm,采集主流烟气气溶胶颗粒的分布状态图,经图像处理和统计分析,得到主流烟气气溶胶颗粒粒度分布范围,如图6。图中主流烟气气溶胶颗粒分布于 $0.1\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 之间,但由于光学显微镜的局限性,无法观测小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的颗粒,其中 $1.2\ \mu\text{m}$ 左右颗粒所占比例最大。

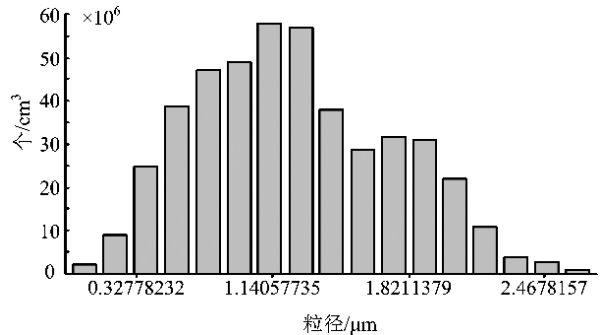


图6 烟气气溶胶颗粒分布图

2.3.2 不同滤嘴对烟气气溶胶颗粒粒径的影响

自组装观测系统上,取材质相同,滤嘴长度分别为 20 mm 醋纤、30 mm 醋纤和 20 mm 丙纤,烟支长度分别为 50 mm、35 mm、20 mm 的卷烟,实时观测主流烟气气溶胶颗粒,共得烟气气溶胶颗粒图片 334 张,其中,醋纤 20 mm 150 张,醋纤 30 mm 121 张,丙纤 20 mm 63 张,每种条件测定结果随机抽取 10 张图片进行图像处理和统计分析,结果见表 1。

由表 1 可得,材质相同,同一滤嘴,不同采样点,烟支长度越长,烟气气溶胶颗粒密度越小,平均粒径越

小。说明未燃烧的烟丝对烟气气溶胶颗粒有一定的截留作用,随着烟丝燃烧的进行,滤嘴对烟气气溶胶颗粒的截留作用在逐渐降低。

20 mm 醋纤滤嘴与 30 mm 醋纤滤嘴相比,相同采样点,烟支长度分别为 50 mm、35 mm、20 mm 时,经 20 mm 醋纤滤嘴过滤后的烟气气溶胶颗粒密度较 30 mm 醋纤滤嘴过滤后的大,平均粒径较 30 mm 醋纤滤嘴的大,说明材质相同的情况下,30 mm 醋纤滤嘴对烟气气溶胶颗粒的截留较 20 mm 醋纤滤嘴效果好。

对不同材质 20 mm 醋纤和 20 mm 丙纤滤嘴,烟支长 20 mm 时,醋纤滤嘴过滤后的烟气气溶胶颗粒密度较丙纤滤嘴小,平均粒径较丙纤滤嘴的小,说明相同长度滤嘴,醋纤材质较丙纤材质的过滤效果好。

表 1 不同滤嘴和烟支长度的烟气气溶胶颗粒分布状态

滤嘴规格	烟支长度/mm	颗粒密度/(个/cm ³)	平均粒径/ μm
醋纤 20mm	50 mm	2.5×10^7	0.8716
	35 mm	2.6×10^7	0.9481
	20 mm	2.8×10^7	1.0076
醋纤 30mm	50 mm	1.6×10^7	0.8445
	35 mm	1.8×10^7	0.9327
	20 mm	2.2×10^7	1.0031
丙纤 20mm	20 mm	2.9×10^7	1.0407

烟气气溶胶颗粒的直径和密度大小具体与烟气收集方式、陈化时间密切相关。卷烟烟气一般通过吸烟机产生和收集,本试验采用大气取样法,利用大气采样器收集烟气的。由于自制的管道相对较长,烟气到达光学通路前有一定陈化时间,烟气陈化时,颗粒直径增大,密度减小,所以本文所得到的粒子直径比 Richard Baker 报道的数据(0.1 ~ 1.0 μm)大,而颗粒密度比 Richard Baker 报道的数据($10^9 \sim 10^{10}$ 个/cm³)^[2]根据

理论推测,如果适当缩小装置中的管路长度,相关数据将有可能趋同。

3 结论

用光学通道、光学显微镜、大气采样器、CCD 数码相机及图像处理系统等建立了一套卷烟烟气气溶胶颗粒观测系统,实现了粒径大于 0.1 μm 烟气气溶胶颗粒的实时观测,分析得到主流烟气气溶胶颗粒粒径、颗粒密度、分布状态,比较了不同滤嘴棒的卷烟对烟气气溶胶颗粒的截留情况。试验结果表明,主流烟气气溶胶颗粒平均粒径在 0.8 ~ 1.0 μm 之间,颗粒密度在 $1.6 \times 10^7 \sim 2.9 \times 10^7$ 个/cm³ 之间,烟气气溶胶颗粒粒径、颗粒密度、分布状态与烟支长度、滤嘴棒类型和长度等因素有关,为卷烟降焦工程烟气气溶胶颗粒的研究提供新的方法。

参考文献

- [1] 张岩磊,谢文浩,戴亚. 卷烟降焦工程[M]. 北京:中国轻工业出版社,2000:8-17.
- [2] 金闻博,李承忠,戴亚,等. 烟气胶体化学[M]. 合肥:安徽教育出版社,1990:71-73.
- [3] Carter W L, Hasegawa I. Fixation of tobacco smoke aerosols for size distribution studies[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1975, 53(1):134-141.
- [4] Finnigan J A, Jacobs D J, Marsden J C. A laser light scattering photometer[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1971, 3(1):102-108.
- [5] Yoshiaki Ishizu, Takashi Okada. Determination of particle size distribution of small aerosol particles of unknown refractive index by a light-scattering method[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1978, 66(2):234-239.
- [6] 胡松青,李琳,郭祀远,等. 现代颗粒粒度测量技术[J]. 现代化工,2002,22(1):58-61.