

活性炭在卷烟滤嘴中的应用研究综述

解晓翠, 常纪恒, 于川芳

(中国烟草总公司 郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001)

摘要:从活性炭性质、环境因素及活性炭与其他吸附剂的复配使用等方面综述了活性炭在卷烟滤嘴中应用的研究进展,并对应用前景进行了展望.已有研究表明:活性炭的表面结构特性和表面化学特性决定了其对卷烟烟气有吸附性能,吸附效果还受到抽吸条件和陈化储存条件影响,将活性炭与其他吸附剂联合使用可以更好地降低烟气中的有害成分.在此基础上提出,活性炭对烟气成分的选择性吸附是未来活性炭在卷烟滤嘴中应用的核心技术,活性炭的选择性可以通过改变其表面结构特性或表面化学性质的方法来实现.

关键词:活性炭;卷烟滤嘴;减害;吸附剂

中图分类号:TS426 **文献标志码:**A

Review of the application research of activated carbon in cigarette filter

XIE Xiao-cui, CHANG Ji-heng, YU Chuan-fang

(Zhengzhou Tobacco Research Inst., CNTC, Zhengzhou 450001, China)

Abstract:The research advance of activated carbon application in cigarette filter was reviewed from activated carbon property, environment factor and complex use of activated carbon with other adsorbent, its future application direction will be discussed. The research results showed that the physical and chemical surface properties of activated carbon decided its adsorption capacity for cigarette smoke, and it affected by smoking and storage condition. The complex use of activated carbon with other adsorbent could decrease harmful smoke component. Therefore, the selective removal of cigarette smoke will be thought as the core technology in the utilization of activated carbon in cigarette filters, which could be achieved by changing the physical structures or the surface chemical properties of activated carbon.

Key words: activated carbon; cigarette filter; harm reduction; adsorbent

0 引言

随着人们对吸烟与健康的关系问题的日益关注和《烟草控制框架公约》的实施,研发低危害卷烟已成为烟草行业谋求发展的必然趋势.在滤嘴中添加吸附剂是一种比较有效的减害降焦方法.活性炭

作为一种多孔性吸附材料,具有吸附容量大、加工性能优良和相对疏水性等优点,而且,作为一种天然材料,它资源丰富、价格低廉、生产工艺相对成熟,已成为卷烟制造商首选的添加剂.

第一支活性炭滤嘴卷烟是在1950年代由美国烟草业推出的,从那以后人们开展了大量的研究来

收稿日期:2011-09-28

作者简介:解晓翠(1985—),女,山东省青岛市人,中国烟草总公司郑州烟草研究院硕士研究生,主要研究方向为卷烟工艺和卷烟辅助材料.

优化活性炭对烟气化合物的吸附性能. 活性炭复合滤嘴在国外混合型卷烟中的应用已经比较成熟, 主要市场有日本、韩国、匈牙利、俄罗斯和委内瑞拉. 国内关于活性炭复合滤嘴卷烟的研究起步较晚, 始于1990年代.

烟气是烟草不完全燃烧而产生的一个极其复杂的动态化学体系. 在烟草和烟气中鉴定出了5 000多种化合物, 其中既有对卷烟的抽吸品质有重要贡献的香味成分, 也有引起卷烟不良吸味的化学成分, 还有一小部分具有纤毛毒性、促癌或者致癌作用的有害成分^[1]. 大量研究结果表明^[2-10], 含炭滤嘴可以比醋纤滤嘴更好地去除低沸点化合物, 在减少烟气有害成分、降低烟气生物活性和改善卷烟吸味等方面发挥着重要的作用. 本文拟对国内外近十几年的相关文献进行梳理, 概述活性炭对卷烟烟气的作用以及活性炭在卷烟应用中的研究进展.

1 活性炭吸附性能对烟气过滤效率的影响

活性炭对烟气的过滤特性可以用过滤效率来表示, 过滤效率指截留于活性炭中的物质量与每支烟的烟气物质量的百分比值. 活性炭对卷烟烟气的过滤主要是通过吸附作用来实现的; 在烟气这种特殊环境下, 活性炭对烟气的吸附主要是物理吸附, 这是由活性炭微孔上的表面冷凝引起的^[11-12]; 除了物理吸附以外, 化学吸附也发挥一定的作用. 活性炭的吸附性能主要是由表面结构特性和表面化学特性决定的^[13-15], 其中表面结构特性决定活性炭的物理吸附, 表面化学特性影响活性炭的化学吸附.

1.1 活性炭结构特性对吸附的影响

活性炭的结构特性主要是指比表面积、孔容、孔径、粒度、孔径大小和分布等, 其中比表面积和孔容主要影响活性炭的吸附容量, 孔径分布和粒度主要影响传质速度. 贾伟萍^[16]实验测定了6种结构特性不同的果壳基活性炭对烟气常规成分过滤效率的影响, 发现活性炭的过滤效率主要与活性炭的比表面积有关: 比表面积越大, 过滤效率越高. 在比表面积相近时, 孔径分布对过滤效率的影响较为突出, 烟碱和总粒相物的过滤效率随活性炭微孔含量的增加呈先增加后减小的趋势, 水分的过滤效率随活性炭微孔率的增加而增大. 这与A. Tokida等^[17-18]研究的碳纤维孔结构对烟气过滤效率的影响有所

不同. A. Tokida考察碳纤维对烟气常规成分、半挥发性成分和气相成分的过滤效率时发现, 在碳纤维对烟气的吸附中孔径分布较比表面积发挥着更重要的作用, 随孔径的增大, 焦油和总粒相物的过滤效率增大, 水分的过滤效率减小. 二者的差异可能是因为传质方式不同引起的: 活性炭中, 吸附质分子要经过长距离的大孔、中孔的过渡才能到达微孔, 在微孔中发生吸附; 而碳纤维中的微孔多位于表面, 可直接面对吸附质分子, 因而扩散速度比活性炭颗粒中的更快.

为了使活性炭的过滤效率达到最大, P. Branton^[19]研究了活性炭比表面积、孔径分布和苯吸附的突破曲线. 结果表明: 活性炭对烟气有害成分的过滤效率, 可以通过调整微孔和大中孔的含量以实现最大化. 物理吸附能力随微孔孔容、突破点和过渡孔数量的增加而增大.

T. Sasaki等^[20]通过实验与理论推导相结合的方式, 找到了烟气中挥发性有机物吸附效率与DR等温吸附方程中吸附常数(与活性炭微孔孔容、孔径尺寸和化合物性质有关)之间的关系, 并给出了预测不同化合物过滤效率的公式.

活性炭的结构特性可以通过改变活化条件(如活化剂种类、活化时间、活化温度等)来控制. D. K. Ko等^[21]分别用水蒸气活化法和氯化锌活化法制作了不同结构的活性炭, 发现水蒸气活化制得的活性炭微孔含量更高, 对主流烟气的相化合物的过滤效率也更高; 以氯化锌活化法制得的活性炭含有大量的中孔, 对主流烟气中半挥发性化合物如苯酚等, 有更高的吸附效率.

1.2 活性炭化学改性对吸附的影响

除了物理吸附以外, 化学吸附在活性炭中也起着重要作用, 它通过改变活性炭的表面化学性质来实现. 活性炭表面化学性质改性方法有表面氧化法、表面还原法、负载原子和化合物法、酸碱法等^[15]. 表面氧化法可以提高酸性基团的含量, 可以增强对极性物质的吸附能力. 用还原剂对表面官能团进行还原改性, 可以提高碱性基团的相对含量, 增强表面的非极性, 从而提高活性炭对非极性物质的吸附能力. 通过表面负载原子和化合物, 可以提高与吸附质的结合力, 增强活性炭的吸附能力. 用酸、碱等物质处理活性炭, 可以根据实际需要调整活性炭表面的官能团至所需要的数量.

活性炭在表面改性的同时,不仅伴随着表面化学结构的变化,其比表面积、孔容以及孔径分布等也会发生改变.袁淑霞等^[22]对活性炭进行HCl酸洗和H₂O₂,HNO₃氧化处理,然后进行孔结构表征,考察了不同改性方式对滤嘴吸附性能的影响.结果表明,活性炭经酸洗后,因灰分和杂质减少,比表面积增加,总孔容和微孔孔容基本维持不变;活性炭经氧化改性后,因生成的氧化物堵塞微孔,比表面积、总孔容、微孔孔容减小.2种处理方式都使活性炭表面酸性增强,滤嘴对香烟主流烟气的吸附能力提高,且表面酸性越强,滤嘴的吸附能力越高. Byeo-ung-ku Kim 等^[23]对活性炭纤维的表面进行HNO₃酸化处理,引入羟基、酚醛基等含氧官能团,使炭表面酸性增加.结果表明,由于生成的化合物堵塞孔道,碳纤维的比表面积和总孔容下降了,但是对丙胺的过滤效率增加了.用XPS(X射线电子光谱)检测碳纤维表面酸处理前后和吸附前后化学组成的变化,发现碳纤维经过酸处理,表面部分碳—碳键断裂,有碳—氢键生成;丙胺是通过与羟基、酚醛基等官能团形成氢键作用而被物理吸附的.

不同处理方式对卷烟吸味特征的影响也不同.邱晔等^[24]对韩国进口的卷烟滤嘴专用活性炭进行了一些必要的理化测试,尝试用不同的改性方式对该活性炭进行处理,发现活性炭在添加到滤嘴之前经过酸洗、氨洗、有机溶剂清洗、强氧化剂处理和壳聚糖处理等不同方式改性后,均不同程度地提高了活性炭的吸附性能.酸洗可进一步提高烟气的细腻感、降低卷烟刺激性(此种方式处理的活性炭适合烤烟型卷烟使用);而氨洗则增强了烟香中烘烤香和白肋烟烟香,烟香浓度也有一定提高(适合混合型卷烟特征);至于有机溶剂、强氧化剂和壳聚糖等处理方式则对卷烟的吸味产生了负面影响.

活性炭在卷烟中的应用主要是在卷烟滤嘴中的应用,以上研究都是将活性炭添加到滤嘴中进行的.也有人将它进行改性后添加到烟草薄片,如Hongmei Fan 等^[25]将均匀沉淀法制备的铁/椰壳炭,通过制浆环节,添加到烟草薄片,制备了含有铁/椰壳炭的烟草薄片.结果证明,这种含有铁/椰壳炭的烟草薄片可以有效地降低焦油的含量,并且降低焦油的能力与沉积液的pH有关,pH=12条件下沉积制得的铁/椰壳炭的降焦效果优于pH=5条件下沉积制得的铁/椰壳炭.

1.3 活性炭其他性质对吸附的影响

活性炭对卷烟烟气的过滤除了受到上述因素的影响外,还与很多其他因素有关,如活性炭的原材料、pH、水分、用量和在滤嘴中的添加位置等.

活性炭来源广泛,如木材、果壳和煤.联合国食品与农业组织/世界卫生组织食品添加剂规格项目PAO/WHO明确了烟用活性炭的原料来源,指出:烟用活性炭主要是椰壳活性炭、杏壳活性炭.目前使用较多效果较好的是椰壳炭^[18,26].

文献[27-29]的研究结果表明,随着活性炭pH的增大,复合滤嘴对焦油及CO的吸附能力增强,但活性炭的pH不是越高越好,随pH增大,喉部刺激性增大;活性炭中水分含量对过滤效率无明显影响,但适当增加水分含量能够改善卷烟的感官品质.

A. D. McCormack 等^[30]测试了4种活性炭添加位置不同的复合滤嘴对卷烟烟气的过滤.结果表明,复合方式不同,活性炭的过滤效率有微小的差异.相对于添加量来说,添加位置对过滤效率的影响不显著.4种复合方式中,三元复合与二元复合、片嘴棒、吸附线嘴棒相比,对烟气过滤效率的差异较大,产生这种现象的原因可能是在其他3种复合方式滤嘴的制作过程中,醋酸甘油酯与活性炭的接触更密切.

2 影响活性炭对烟气吸附效果的其他因素

活性炭对烟气的过滤主要是在卷烟的抽吸过程中发生的,因而活性炭的过滤行为受卷烟抽吸方式和抽吸环境的影响.此外,卷烟产品不可能一生产就全都立刻消费,在存储过程中,活性炭不可避免地要接触到一些挥发性物质(如烟草挥发物、增塑剂及其水解产物乙酸),活性炭对这些物质的吸附可能会影响其对卷烟烟气的过滤.

2.1 抽吸条件对过滤效率的影响

M. J. Taylor 等^[31-32]比较了标准抽吸和深度抽吸2种抽吸方式下活性炭对烟气的过滤行为.结果表明,与标准抽吸相比,深度抽吸抽吸容量大,烟气在滤嘴中的停留时间短,活性炭对烟气的截留量大,但是过滤效率低.要达到相同的过滤效率,不同的抽吸系统所需要的活性炭的用量不同,深度抽吸需要的活性炭的量更多.需要增加的活性炭的量与

化合物的挥发性有关:化合物的挥发性越高,需要增加的活性炭量越多;挥发性越低,需要增加的活性炭量越少.环境湿度对活性炭过滤效率的影响因活性炭孔结构的不同而不同^[19].

2.2 陈化储存对过滤效率的影响

M. J. Taylor 等^[33-37]系统分析了存储过程中活性炭复合滤嘴吸附活性的影响因素.结果表明,活性炭吸附活性主要受复合滤嘴存储方式、存储温度及存储时间的影响:存储时间越长、存储温度越高,活性炭复合滤嘴降低烟气化合物的能力越差.以滤棒形式储存优于以卷烟形式储存.此外,复合滤嘴过滤效率还受增塑剂用量及其水解产物的量的影响.一般来讲,增塑剂及其水解产物的量与活性炭的用量相比越高,活性炭失活得越厉害,这种影响因化合物性质、活性炭的初始活性和活性炭用量的不同而不同.存储过程中,难挥发的化合物的过滤效率降低得小;挥发性好的化合物的过滤效率降低得大.

G. Peters 等^[38]考察了室温条件下,卷烟设计参数(卷烟类型、滤嘴设计和卷烟焦油量)对活性炭滤嘴陈化的影响.结果表明不同卷烟设计参数下,陈化对活性炭复合滤嘴过滤效率的影响无明显差异.他们进一步验证了存储条件对活性炭活性的影响,指出,在活性炭的用量够多、环境中可接触的挥发性化合物很少和存储温度不是太高的存储条件下,在至少6个月的时间内,活性炭可以维持足够高的活性.此外,活性炭的含水量不能太低,否则在存储过程中会从烟支中快速吸收水分,引起烟支干燥.

3 活性炭与其他吸附剂联合使用

一种吸附剂往往只对特定的几种或者几类化合物具有较好的选择性去除作用,仅凭一种单功能添加剂难以满足全面减害的需求.特殊滤嘴已由一种添加剂单种功能向多种添加剂多功能的方向发展^[39],将活性炭与其他吸附剂组合使用可以更好地降低烟气有害成分.

M. S. Pokrajac 等^[40]将天然分子筛与活性炭联合使用,考察了二者不同添加比例对烟气过滤效果的影响.结果表明,综合考虑过滤效率和卷烟感官品质,50%天然分子筛与50%活性炭是最佳组合.

邱晔等^[41]将黏土矿物 Y20, YG12 与活性炭复配后添加到卷烟滤嘴中,发现黏土矿物的添加有利

于改善三元复合纯活性炭滤嘴卷烟的抽吸品质,并提高滤嘴对主流烟气的过滤效率,进一步降低卷烟焦油释放量;当活性炭、MY20 和 YG12 的配比为 1:1:4 时,卷烟的评吸效果最佳.

4 活性炭作为载体在卷烟滤嘴中的应用

活性炭复合滤嘴在国外混合型卷烟中的应用已经比较成熟.一些世界知名品牌都使用了活性炭滤嘴.活性炭滤嘴在中式卷烟中的应用还处于探索阶段,在国内只有少数品牌使用了活性炭复合滤嘴.希腊黄金滤嘴公司开发了一种新型生物复合滤嘴,该滤嘴由3部分组成:唇端是普通醋酸纤维滤嘴,接近烟丝的一端是醋酸纤维中加入活性炭的滤嘴,中间是一个空腔,装满了渗透过血红蛋白的活性炭.其主要原理是利用血红蛋白的大环状结构做主剂,利用其结构中的 Fe^{3+} , Fe^{2+} , $-\text{SH}$, $-\text{NH}$ 与烟气中的挥发性、半挥发性有害成分发生反应,从而使它们被过滤掉^[42].

詹望成等^[43]研究了不同的活性炭载体对 Pd-Cu/活性炭催化剂在消除卷烟主流烟气中 CO 活性的影响.结果表明,催化剂对 CO 氧化反应的活性顺序为:椰壳活性炭为载体的催化剂 < 木质活性炭为载体的催化剂 < 超级活性炭为载体的催化剂.并且活性炭载体对催化剂反应诱导期也存在显著的影响.产生这种现象的原因可能是不同活性炭载体表面含氧官能团含量不同,导致催化剂表面 Pd 和 Cu 的存在状态不同.

5 问题与展望

活性炭复合滤嘴卷烟在传统的非活性炭滤嘴市场上推广的障碍之一是它对卷烟口味的影响.烟气气相化合物和粒相中的半挥发性化合物对卷烟的香、吃味有重要的作用,活性炭对气相和半挥发的大量过滤,在减少烟气有害成分的同时,也造成一些自然香气物质的减少,导致香气量不足.对挥发性成分的选择性过滤将是未来活性炭在卷烟滤嘴中应用的核心技术.

活性炭对卷烟口味的改变是可以克服的.活性炭的吸附性能是可以调整的,如采用氧化改性、还原改性、酸碱改性、离子体改性、金属负载改性和电化学改性等可以改变活性炭的表面化学特性.通过

加大活性炭基础研究,结合卷烟配方的调整和加香加料技术,有针对性地对活性炭进行改性,找到适合卷烟烟气的具有特定孔结构和表面化学性质的活性炭,将活性炭与其他吸附剂合理地复配使用,将对活性炭在卷烟滤嘴中的应用具有重大的意义。

参考文献:

- [1] 谢剑平. 烟草与烟气化学成分[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [2] Scherer G, Hagedorn H W, Urban M, et al. Influence of smoking charcoal filter tipped cigarettes on the uptake of benzene and 1,3-butadiene[C]//Coresta Presentation, Stratford-upon-Avon:[s. n.], 2005.
- [3] Shin Han-Jae, Sohn Hyung-Ok, Han Jung-Ho, et al. Effect of cigarette filters on the in vitro toxicity of mainstream smoke[C]//Coresta Presentation, Stratford-upon-Avon:[s. n.], 2005.
- [4] 许保鑫, 李中昌, 缪明明, 等. 活性炭复合滤嘴吸附性能的热脱附研究[J]. 分析实验室, 2007, 26(10): 45.
- [5] Hasegawa T, Suzuki A, Yamashita Y. Construction of a numerical model for benzene adsorption by charcoal filters[C]//Coresta Presentation, Shanghai:[s. n.], 2008.
- [6] Wiczorek R. In vitro tests with fresh cigarette smoke—Effect charcoal filters/whole smoke/vapour phase mutagenicity-genotoxicity[C]//Coresta Presentation, Shanghai:[s. n.], 2008.
- [7] Shin Han-Jae, Yoo Ji-Hye, Sohn Hyung-Ok, et al. Effect of new charcoal filter on the in vitro pulmonary toxicity induced from cigarette mainstream smoke[C]//Coresta Presentation, Aix en Provence:[s. n.], 2009.
- [8] Wiczorek R. Comparison of in vitro smoke toxicity of novel charcoal filter cigarettes and benchmark cigarettes from the UK market[C]//Coresta Presentation, Aix en Provence:[s. n.], 2009.
- [9] 王理珉, 胡群, 马静, 等. 活性炭复合嘴棒的功能和应用[J]. 烟草科学研究, 2003(2): 50.
- [10] 胡群, 马静, 刘志华, 等. 活性炭在低焦油卷烟滤嘴设计中的研究[J]. 烟草科学研究, 1999(1): 67.
- [11] Hasegawa T, Sasaki T, Atobe L, et al. Review and future prospects of charcoal filters for cigarettes[C]//Coresta Presentation, Paris:[s. n.], 2006.
- [12] Taylor M J, Walker J. The adsorption of various smoke compounds by activated carbon[C]//Coresta Presentation, Jeju:[s. n.], 2007.
- [13] 韩严和, 全燮, 薛大明, 等. 活性炭改性研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(1): 33.
- [14] 王鹏, 张海禄. 表面化学改性吸附用活性炭的研究进展[J]. 炭素技术, 2003(3): 23.
- [15] 李素琼, 黄彪. 活性炭表面改性研究进展[C]//中国林学会木材科学分会第十二次学术研讨会会议论文集, 福州:[s. n.], 2010: 398-402.
- [16] 贾伟萍. 活性炭孔结构对主流烟气气相物过滤效率的影响[D]. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 2010.
- [17] Tokida A, Toda T, Maeda K, et al. Selective removal of semivolatile components of cigarette smoke by activated carbon fibers[J]. Seni-Gakkaishi, 1985(12): 539.
- [18] Tokida A, Toda T, Maeda K, et al. Selective adsorption of the vapor phase components of cigarette smoke by activated carbon fibers[J]. Seni-Gakkaishi, 1986(8): 435.
- [19] Branton P. The role of carbon structure on cigarette smoke vapour phase toxicant reduction[C]//Coresta Presentation, Edinburgh:[s. n.], 2010.
- [20] Sasaki T, Yamashita Y. The effects of activated carbon characteristics on adsorption efficiency for VOCs in cigarette smoke[C]//Coresta Presentation, Jeju:[s. n.], 2007.
- [21] Ko Dong-Kyun, Shin Chang-Ho, Jang Hang-Hyun, et al. Physical properties of carbon prepared from a coconut shell by steam activation and chemical activation and the influence of prepared and activated carbon on the delivery of mainstream smoke[C]//Coresta Presentation, Jeju:[s. n.], 2007.
- [22] 袁淑霞, 吕春祥, 李永红, 等. 活性炭改性对滤嘴吸附性能的影响[J]. 太原理工大学学报, 2007, 38(6): 509.
- [23] Kim Byeoung-Ku, Kwak Dae-Keun, Ra Do-Young. Adsorption behavior of propylamine on activated carbon fiber surfaces as induced by oxygen functional complexes[C]//Coresta Presentation, Jeju:[s. n.], 2007.
- [24] 邱晔, 惠娟, 彭金辉. 烟用活性炭及其改性处理对卷烟主流烟气的影响[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2006, 31(5): 82.
- [25] Fan Hongmei, Lou Jianfu, Jin Yong, et al. Preparation of Fe/Coconut carbon reconstituted tobacco and its application in tar reduction[C]//Coresta Presentation, Kyoto:[s. n.], 2004.
- [26] Thompson N C, Taylor M J. The influence of pre-cursor materials on the properties of various activated carbons[C]//Coresta Presentation, Paris:[s. n.], 2006.
- [27] 冉国莹, 王华, 王建民. 活性炭部分指标对烟气中低分子醛酮类物质含量的影响[J]. 应用化工, 2010, 39

- (4):549.
- [28] 王华,王建民. 活性炭部分指标对卷烟感官和烟气成分的影响[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版, 2009,24(4):24.
- [29] 李中昌,陆舍铭,孟昭宇. 复合嘴棒中活性炭碘值和pH值对卷烟产品影响研究[J]. 云南化工,2007,34(4):28.
- [30] McCormack A D, Taylor M J. The effect of position of carbon granules within a cigarette filter on vapour phase retention [C]//Coresta Presentation, Edinburgh: [s. n.], 2010.
- [31] Taylor M J. The effect of different smoking regimes on the performance of different weights and activities of carbon in cigarette filters [C]//Coresta Presentation, Shanghai: [s. n.], 2008.
- [32] McCormack A D, Taylor M J. Superslim carbon filters-effect of carbon weight and smoking regimes [C]//Coresta Presentation, Aix en Provence: [s. n.], 2009.
- [33] Taylor M J, Walker J. The influence of age and storage conditions on the activity of carbon in cigarette filters [C]//Coresta Presentation, Stratford-upon-Avon: [s. n.], 2005.
- [34] Walker J, Taylor M J. Some factors affecting the activity of carbon in cigarette filters [C]//Coresta Presentation, Paris: [s. n.], 2006.
- [35] Ko Dongkyun, Lim Heejin, Shin Changho, et al. The influence of triacetin contents on the physical properties of carbon dual filter and on the delivery of mainstream smoke [C]//Coresta Presentation, Paris: [s. n.], 2006.
- [36] Walker J, Taylor M J. The activity of different carbon weights in a cigarette filter and the effects of triacetin [C]//Coresta Presentation, Jeju: [s. n.], 2007.
- [37] Taylor M J, Walker J. The adsorption of various smoke compounds by activated carbon [C]//Coresta Presentation, Jeju: [s. n.], 2007.
- [38] Peters G, Mueller C, Walker J. The influence of cigarette design on the ageing of carbon filters [C]//Coresta Presentation, Jeju: [s. n.], 2007.
- [39] 刘立全,李维娜,王月侠,等. 特殊滤嘴研究进展[J]. 烟草科技,2004(3):17.
- [40] Pokrajac M S, Jordil Y, Mueller J. Study on effective reduction of hazardous components in tobacco smoke using the natural zeolite [C]//Coresta Presentation, Kyoto: [s. n.], 2004.
- [41] 邱哗,王建,胡群,等. 卷烟滤嘴复配添加剂对卷烟品质及主流烟气影响初探 [C]//中国烟草学会工业专业委员会烟草化学学术研讨会论文集,海口: [s. n.], 2004.
- [42] 深圳烟草厂技术中心. 应用含血红蛋白的生物滤嘴开发低焦低危害卷烟新产品 [EB/OL] (2003-08-29) [2011-07-27]. <http://www.tobaccochina.com/tech/data/20038/w829143738.htm>.
- [43] 詹望成,周国俊,储国海,等. 载体对 Pd-Cu/活性炭催化剂在消除卷烟主流烟气中 CO 活性的影响 [J]. 物理化学学报,2011(3):705.