

·环境矿物学·

矿物材料应用于香烟过滤嘴降害的研究 现状与展望

吴 敏 李胜荣

(中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学 地球科学与资源学院 北京 100083)

摘 要:总结了近几十年来包括活性炭、沸石、蒙脱石、海泡石、麦饭石、凹凸棒石、氧化铝、氢氧化钠、明矾、纳米材料等矿物材料作为卷烟滤嘴添加剂以去除烟气中有毒有害物质的研究和实验应用及效果。实验结果和市场调查表明,活性炭是减少卷烟危害最快、香烟市场应用增长最快的过滤嘴添加剂。从降低卷烟有害成分的比例和成本等综合因素来看,铝硅酸盐类滤嘴和多材料复合滤嘴亦有很好的应用前景和市场需求,应积极进行研制。

关键词:香烟降害,过滤嘴,矿物材料,添加剂

中图分类号:P579

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2007)02-0171-06

The present situation and prospects of the researches on the application of mineral materials to filters for removing harmful substances in cigarette smoke

WU Min and LI Sheng-rong

(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences; School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper has summarized the researches on the application of such mineral materials as activated carbon, zeolite, montmorillonite, sepiolite, medical stone, palygorskite, aluminum oxide, sodium hydrate, alumen and nanomaterials as cigarette tip additives to the removal of harmful components in cigarette smoke in the last decades. According to experimental results and market investigations, activated carbon seems to be the most effective cigarette tip additive and its market application has been growing very fast. An integrated consideration of the reduction of harmful substances and the manufacturing cost shows that the aluminum-silicate filter and multi-material filter also have very promising market application.

Key words: reducing harmful substances of cigarette smoke; cigarette filter; mineral materials; additive

自上世纪四五十年代尤其是七八十年代以来因吸烟或被动吸烟而导致肺癌及其他与吸烟有关的疾病死亡的人数越来越多,人们已开始逐渐认识到吸烟有害于健康。据世界卫生组织(WHO)的调查统计显示,仅在发展中国家,从1950~2000年,约有6200万人死于与吸烟有关的疾病,而且超过60%的

人死在中年期(35~69岁)(Richard *et al.*, 1994)。越来越多的科学研究证据和流行病学统计证明,吸烟对人类的健康是百害而无一利。香烟烟气中的主要成分焦油、烟碱(尼古丁)和一氧化碳(CO)等全都对人体有毒有害,其中焦油对人有致癌作用,香烟燃烧生成的CO使人缺氧,烟碱(尼古丁)则十分容易

使人产生依赖性(成瘾),还能麻痹人的呼吸中枢,引起人的心血管疾病等。另外,多环芳烃、亚硝酸等是卷烟烟气中最重要、数量最多的一类致癌物,在吸烟致癌方面起着主要作用(王连生等,1993)。2006年1月9日,世界卫生组织《烟草控制框架公约》在我国正式生效;5月29日,卫生部首次发布主题为“控烟与肺癌防治”的2006年《中国“吸烟与健康”报告》,明确告诉公众,吸烟对健康的危害是毋庸置疑的。但是基于已形成的香烟产业及其相关产业的巨大经济利益和庞大的已成瘾烟民的强烈需求,在全世界范围内(尤其是我国)短期内不可能从源头上(烟草种植、卷烟生产和销售)彻底禁止生产和销售香烟。据 Christian(2004)报道,仅我国目前就有烟民3.6亿,占全球烟民的1/4,每年的香烟消费量达2万亿支,政府每年在烟草方面的税收高达50亿美元以上。因此,在中短期内无法禁绝香烟的实际情况下,努力降低香烟吸食过程中的有害有毒成分成为迫不得已的改良手段,近几年来,已经出现一些与传统香烟大相径庭的香烟替代产品,如电子烟、口用烟、鼻用烟、液态香烟等无烟的低危害产品,但因种种原因还远远不能普及和为吸烟人群所接受。

纵观近几十年来,包括我国在内的全球各大烟草集团、公司都在朝这个降害的方向努力,其中香烟降害最直接和最直观的手段就是香烟过滤嘴的改进。目前市场上的过滤嘴主要有4种类型:醋纤滤嘴、聚丙烯滤嘴、纯纤维素(pure cellulose)滤嘴(纸嘴)以及含有添加剂的滤嘴。醋纤滤嘴是世界滤材市场的主流,占有68%的市场份额;聚丙烯滤嘴则占有世界卷烟市场21%的市场份额(几乎全部都是中国使用);含有添加剂的滤嘴(活性炭滤嘴居多)占有10%的市场份额;纯纤维素滤嘴占有不到1%的市场份额。为了满足各国越来越严格的烟草法律要求和烟草商自身的利益,国内外科研人员为了开发出更具安全性的滤嘴做了大量的试验和研究,试图从卷烟烟气中除去更多的有害成分,而同时又不影响卷烟的烟味,但要做到两全其美比较困难。本文将对以矿物材料为添加剂的滤嘴的研究和应用现状进行分析,并对其前景进行展望。

1 各类矿物材料添加剂滤嘴的研究和应用

本文讨论的矿物材料除了一般概念上的晶体矿物材料(铝硅酸盐类为主)外,还泛指各种人工合成

及改型的新材料、纳米材料等。

1.1 活性炭滤嘴

从目前的情况来看,活性炭滤嘴是减少卷烟危害最快、香烟市场增长最快的滤嘴。活性炭可以选择性地滤除20多种烟气有害成分,包括甲醛、乙醛、重金属元素和放射性元素等,但不能显著地提高对烟气总粒相物(TPM)的过滤效率。活性炭的选择性滤除能力,取决于活性炭的种类和用量。卷烟滤嘴常用的是椰子壳活性炭。在用量一定的情况下,截留效率随着所用活性炭的比表面积和孔容的增大而增大。此外,滤嘴通风技术也能提高活性炭的滤除效率。从过滤特点上来说,它能除去其他滤嘴不能除去的烟气有害物。国外早在上世纪五六十年代开始研究和应用活性炭,并有很多有关活性炭添加到滤嘴的专利(Myauchim *et al.*, 1994; Arterbery *et al.*, 1994; Dieter and Hans-Peter, 2003)。国内对活性炭滤嘴的研究开始于上世纪90年代初,一些研究者采用活性炭粉、活性炭纤维素、进口滤棒等材料作为卷烟的过滤嘴,从不同的角度研究了活性炭滤嘴的作用和效果,并取得了一定的进展(浦跃朴等, 1991; 娄性义等, 1994; 刘颖涛等, 1996; 胡群等, 1999)。综合国内外的研究结果,表明活性炭滤嘴具有良好的整体降害效果,其降害作用可总结为(刘立全等, 2004):①可以选择性地降低卷烟烟气某些有害气相成分;②与纸滤嘴复合降焦效果最显著;③不降低卷烟烟气中的CO;④与其他添加剂合用,可以更有效地降低卷烟烟气气相有害成分;⑤确实降低了卷烟烟气的危害性。

1.2 尚在探索中的铝硅酸盐类滤嘴

目前已加入或尝试加入滤嘴中的铝硅酸盐类无机矿物材料主要有沸石、蒙脱石、海泡石、麦饭石、凹凸棒石等。这类矿物材料的微结构普遍具有较大的比表面积,并能优先吸附烟气中对健康有害的极性气体化合物,对能使卷烟烟味更浓的非极性气体化合物却吸附很少(在这方面比活性炭具有优越性)。

1.2.1 沸石

沸石的离子交换性能和分子筛功能早就为人们熟知,因此也最早被科研人员想到用于烟草降害。Meier等(1996)就沸石应用于香烟降害申请了专利,Meier和Siegman(1999)以及Shen等(2000)通过实验研究对比,证明在香烟中使用沸石材料能明显减少烟雾中致癌物质的产生,并指出催化裂解作用是减害的主要原理。朱建华等(2000, 2004)、恽之瑜

等(2002)在实验室内试制出含有沸石添加剂的新型香烟,并详细介绍了沸石对于亚硝胺的选择性强吸附的原理。周仕禄等(2004)通过实验重点研究了小微孔沸石对卷烟烟气中多环芳烃(PAHs)-苯并[a]芘[H_aP]、苊(Flu)和蒽(Ant)等的去除,结合量子化学计算推测了卷烟烟气PAHs中具有代表性的强致癌物 H_aP 在微孔沸石上的去除机理。李绍民(1999)、李绍民等(2003)将用铜离子改性的NaY-1型沸石分子筛加入滤嘴(40 mg/支)中,卷烟焦油降低36%。胡有持等(2002)进一步的对李绍民的NaY分子筛进行应用实验研究的结果表明,与对照卷烟相比,试验卷烟降低焦油幅度至少达23%以上,苯系物降低幅度达35%以上, H_aP 降低25%以上,尤其是对烟草特有的亚硝胺(TSNA)具有显著性降低(28.6%~72.0%)。

1.2.2 蒙脱石

闫景辉等(1998)利用电子自旋共振法(ESR)测定了卷烟烟雾焦油中自由基的含量,同时测定了用蒙脱石制成的复合滤嘴的卷烟烟雾焦油中的自由基,其含量下降(32±3)%;惠博然等(1995)的实验结果显示,蒙脱石对强极性有毒卷烟烟气物质的吸附量较大,而对非极性的香味物质吸附很少,他们用蒙脱石制成的复合滤嘴降焦达21%,降烟碱9%。

1.2.3 海泡石

海泡石作为吸附剂、净化剂很久以来就应用于食品、烟草工业,不过其在香烟滤嘴上的应用主要是作为香烟加香成分的载体。董有等(1993)研制的加海泡石的纸-醋纤二复合滤嘴卷烟的焦油和烟碱比单段醋纤滤嘴卷烟分别降低19%和28%,且其香味、杂气、刺激性和余味均与普通醋纤滤嘴卷烟接近。惠博然等(1995)的实验结果显示:用海泡石制备的复合滤嘴降焦19%,降烟碱28%。张高科等(1997)首次将活化海泡石用于醋酸纤维卷烟过滤嘴以及纸质卷烟过滤嘴的制造,使焦油含量下降40.5%和42.6%,且海泡石纸质滤嘴成本为醋酸纤维滤嘴的1/4,同时指出海泡石的添加量很关键,加入量少则降低焦油含量效果不明显,加入量过大则吸滤阻力增大,同时烟的味道会变得过淡,海泡石纸质滤嘴中海泡石最佳添加量为纸浆量的10%~25%。

1.2.4 麦饭石

于建军等(1999)的研究结果表明,麦饭石滤嘴对卷烟主流烟气TPM的过滤效率>(50%麦饭石

+30%提纯膨润土+20%膨化蛭石)>提纯膨润土>活性炭,且麦饭石与活性炭的差异十分显著。高文全等(1999)用麦饭石和茶多酚作添加剂制成的ML-60型复合滤嘴,在不影响卷烟吸味和常规指标的情况下,可使卷烟烟气中的自由基由对照的 $(2.2 \pm 0.2) \times 10^{14}$ 个/支降低至 $(1.4 \pm 0.1) \times 10^{14}$ 个/支,并使焦油降低24.6%。

1.2.5 凹凸棒石

张国生等(1994)、陈天虎(1999)对凹凸棒石复合分子筛净化气体的效果和凹凸棒石吸附性能应用的制约因素进行了研究,得出在多数情况下,凹凸棒石对吸附质的吸附不是内表面吸附,而是外表面吸附,并且外表面吸附是胶体和离子交换吸附。李东亮等(2003)进行了凹凸棒石在卷烟滤嘴中的添加应用实验,结果表明,在醋酸纤维滤棒中添加凹凸棒石吸附剂,能使焦油降低1.4 mg/支,一氧化碳降低1.1 mg/支,而烟碱量保持不变,且卷烟的内在质量不受影响,能够保持卷烟原有的吸味风格。

1.3 氧化物和氢氧化物类滤嘴

早在上世纪70年代,Litzinger和Elmer Francis(1976)就申请了以多孔氧化铝为载体的选择性过滤气相有害物质的专利,赵素琴等(1996)以水玻璃、氢氧化钠和氢氧化铝为原料在一定温度和压力下制备的滤嘴吸附剂,可使卷烟烟气中的乙醛、丙烯醛、苯、甲苯和二甲苯降低40%~50%以上,焦油和烟碱分别降低30%~46%和28%~48%。

1.4 纳米材料类

近几年出现的矿物纳米材料也有望用于降低香烟中的有害成分。张悠金等(2001)采用干法和湿法分别将纳米材料 Al_2O_3 、 SiO_2 和 TiO_2 加到卷烟滤嘴中,结果表明:干法(加入2.0~10.0 mg/支)可使卷烟烟气焦油和烟碱各降低4.2%~45.3%和1.7%~28.4%,而湿法则几乎没有效果。谢笑天等(2002)将具有过滤和吸附性能的纳米粉末(粒径约为25~45 nm)涂布在醋酸纤维丝束(16~18 mg/支滤嘴)上,降焦量达到4.4 mg/支。吕功煊等(2003)利用常温多相催化氧化一氧化碳为二氧化碳的原理,在国际上首次研制出了适合于烟草工业应用的含纳米贵金属(铂、金、银、钯等)催化材料和二元复合滤棒,进行了降低卷烟烟气中CO的实验研究,使用该种滤棒后,与对照卷烟相比,使普通卷烟的CO释放量可降低26.9%,低侧流卷烟的CO释放量可降低45.4%。不过,香烟抽吸期间,滤嘴中的纳米

材料是否脱落进入主流烟气(即吸入口腔和肺中的烟气)中,至今尚无研究,全球范围内对纳米颗粒进入人体和大脑的病理研究才刚起步。

1.5 其他材料

通过专利检索可以发现还有很多材料经实验证明可去除香烟烟气的相应有毒有害物质,例如金属氧化物、明矾、碳酸钠(钾)、偏磷酸钠(钾)、碳酸钠微晶、碱性高价铁化合物等(Rainer and Bailey, 1981; Lee and Harris, 1990, 1992; Hsu *et al.*, 1991; Sora, 1997)。另外值得关注的是荷兰大学的研究人员Win(2002)找到一种降害效果特别显著的有机固体泡沫(NP),他们的实验结果表明:将这种由合成的有机共聚物构成的网状结构的固体泡沫(NP)添加到卷烟滤嘴中,在标准检测条件下,15 mg和30 mg NP/支滤嘴卷烟的焦油分别比普通醋酸纤维滤嘴卷烟(对照)低2倍和7倍,16种PAHs分别比对照卷烟低3倍和15倍,30 mg NP/支滤嘴卷烟烟气中的6种致癌性PAHs的量低于检测限($<0.05 \mu\text{g}/\text{支}$ 卷烟),而对照卷烟烟气中致癌性PAHs的量约为 $2.1 \mu\text{g}/\text{支}$,在4倍于美国联邦贸易委员会(FTC)标准抽吸频率条件下,15 mg NP/支滤嘴卷烟烟气中的焦油量比对照低5倍,NP滤嘴卷烟烟气的毒性显著低于对照,燃烧NP释放出气体的有害性远比燃烧醋酸纤维释放的气体的低,15 mg NP/支滤嘴的吸阻与对照滤嘴相同,30 mg NP/支滤嘴的吸阻比对照滤嘴约高30%,15 mg和30 mg NP/支滤嘴卷烟烟气中的烟碱量分别比对照低6倍和28倍,而NP材料本身的一般毒性和特殊毒性均可忽略不计。从他们实验的结果来看,过滤效果让人振奋,只是不知这种NP材料制造成本如何及该泡沫物质长期使用对人体的安全性及吸烟人群接受程度。

2 总结和展望

综上所述,随着人们健康意识的增强及全球性反烟运动的壮大,发达国家正逐渐将烟草产业的重心转移到发展中国家,我国的烟草行业要生存和发展,必须要更有效地降低香烟燃吸的有害成分,尤其是要通过过滤嘴来大大减少香烟中的有害物质,在全球《烟草控制框架公约》下,生产出更具竞争力的产品来。就降害滤嘴而言,目前全世界大规模商品化的只有活性炭滤嘴,而且主要集中在海外市场。因此,当前我国除了要大力发展活性炭滤嘴的低焦

油香烟外,还应积极研制低成本、具有选择性降害效果的铝硅酸盐类滤嘴及其他材料滤嘴(生物类、有机类、纳米材料类),特别是具有综合性降害效果的多材料复合滤嘴。

另外根据中国科学院生物物理研究所赵保路教授领衔的课题组最近几年来的研究结果(Liu *et al.*, 2003, 2006; Liu and Zhao, 2004; Xie *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006),证明烟碱(尼古丁)本身非但几乎没有神经毒性,还可防治帕金森氏病和老年痴呆症。基于对尼古丁这种生理行为的新认识,笔者认为:①有可能充分利用上述许多矿物材料的选择性吸附、交换、催化的功能(诸如对蒙脱石、沸石、麦饭石之类的铝硅酸盐类矿物进行改性),结合已有的各种对香烟燃吸产生的烟气的成分分析,把烟气中的主要有害物质成分及赋存形式与矿物材料可选择性吸附转换的物质成分及赋存状态联系起来对比分析,找出两者之间的结合点,最终将焦油、CO、PAHs、TSNA等有害物质降低为零,同时根据需求保持一定量的尼古丁。②充分开发利用诸如海泡石之类矿物材料的载体功能,除了为卷烟增加香气外,甚至可以考虑将治病、保健的药物成分有效地加入复合滤嘴,使香烟成为有益而低害的公共消费品,甚至是某些呼吸道、肺部疾病的治病良方,这样进一步就有可能形成医疗、保健、药品行业与烟草行业的结合交叉,形成独具竞争力的新经济增长点。

另外值得一提的是,香烟过滤嘴降害只能针对主流烟气中的有害物质,其实侧流烟气(即未经吸烟者吸入口腔直接排放到空气中的烟气,也叫阴燃烟气)一样也含有大量有毒物质,对不吸烟人群和环境的危害也不容忽视。对侧流烟气的降害控制主要要靠对烟叶本身的改进、制造过程中烘烤、微波处理等工艺的改进以及将降害改良添加剂混入烟丝中的方法来实现。

References

- Arterbery C W, Callahan W T, Keritsis G D, *et al.* 1994. Concentric smoking filter having cellulose acetate tow periphery and carbon-particle-loaded web filtercord [P]. US Patent : 5365951.
- Chen Tianhu. 1999. Study on restriction factors of adsorptivity of palygorskite [J]. *Geology of Anhui*. 3 : 48~52 (in Chinese with English abstract).
- Dieter M and Hans-petter B. 2003. Filter material for reducing harmful substances in tobacco smoke [P]. US Patent : 6591839.

- Dong You and Ma Jincheng. 1993. Experiments on application of sepiolite (which provenance is southwest He nan Province) into cigarette filter [J]. Tobacco Science & Technology 28 : 8~11 (in Chinese).
- Gao Wenquan Jin Chenghong Zheng Yingguang *et al.* 1999. Research by ESR to ascertain the components in reducing the tar and free radical of cigarette smoke [J]. Tobacco Science & Technology , (2) : 25~26 (in Chinese).
- Hsu Chi-Hsueh ,Yang Wenli ,Chang Shien-Yu , *et al.* 1991. Filter and method of treating tobacco smoke to reduce materials harmful to health [P]. US Patent 5048546.
- Hu Qun , Ma Jing and Liu Zhihua. 1999. The Research of Activated carbon filtercore designed for low tar cigarette [J]. Tobacco Science Research 67~69 (in Chinese).
- Hu Youchi ,Zhao Mingyue ,Li Shaomin ,*et al.* 2002. Reducing the harmful smoke components by using new NaY type molecular sieve [A]. The Proceedings of the Third Plenum of the Fourth Council and 2002 Academic Annual Meeting of the China Tobacco Society [C], 140~148 (in Chinese).
- Hui Boran ,Tao Yongji and Du Qing. 1995. The Research of Smectite Cigarette Filtration Material [J]. J. Chagchun Inst. Opt. & Fine Mech. , (2) 27~31 (in Chinese with English abstract).
- Lee B M and Harris J E. 1990. Tobacco smoke filters and process for production thereof [P]. US Patent 4964426.
- Lee B M and Harris J E. 1992. Process for the production of tobacco smoke filters [P]. US Patent 5150723.
- Li Dongliang ,Wang Yutang ,Fan Jie , *et al.* 2003. Experiments on application of palygorskite adsorbent into Cigarette Filter [J]. Tobacco Science & Technology , (4) : 6~8 (in Chinese with English abstract).
- Li Shaomin. 1999. Removal of harmful components in cigarette smoke [A]. State Tobacco Monopoly Administration ,China Tobacco Society *et al.* International Seminar Memoir on Technology of Tar Reducing in Cigarette Smoke [C]. 98~99 (in Chinese).
- Li Shaomin ,Hu Youchi ,Zhao Mingyue ,*et al.* 2003. Studies on the removal of harmful smoke components by using dual-filter with improved Y type molecular sieve [J]. Acta Tabacaria Sinica 30 (3) : 28~39 (in Chinese with English abstract).
- Litzinger Elmer Francis. 1976. Selective gas phase filter material [P]. US Patent : RE28858.
- Liu Liquan ,Li Weina ,Wang Yuexia , *et al.* 2004. Progress in Special Cigarette Filter [J]. Tobacco Science & Technology , 3 : 17~24 (in Chinese with English abstract).
- Liu Q ,Tao Y and Zhao B. 2003. ESR Study on Scavenging Effect of Nicotine on Free Radicals [J]. Applied Magnetic Resonance , 24 : 105~112.
- Liu Qiang ,Zhang Jie ,Zhu Hua , *et al.* 2006. Dissecting the Signalling Pathway of Nicotine-Mediated Neuroprotection in a Mouse Alzheimer Disease Model [J]. FASEB J (in press).
- Liu Qiang and Zhao Baolu. 2004. Nicotine attenuates β -amyloid peptide-induced neurotoxicity, free radical and calcium accumulation in hippocampal neuronal cultures [J]. British Journal of Pharmacology , 141 : 746~754.
- Liu Yingtao ,Yin Hongyue and Wang Junru. 1996. Application and research of activated carbon cellulose-A new filler for cigarette filter [J]. Chemical Engineer (6) : 49~50 (in Chinese).
- Lou Xingyi ,Pan Xusen and Li Wenzhen. 1994. Preliminary study on cigarette filtration materials by carbon paper [J]. Tobacco Science & Technology , (2) : 7~9 (in Chinese).
- Lü Gongxuan ,Nie Cong ,Zhao Mingyue *et al.* 2003. Studies on the removal of carbon monoxide in cigarette smoke by using dual-filters contained nano-catalyst materials [A]. Shanghai Tobacco Society Proseminar of 2003 Harmonious Development of Tobacco Production and Human Health and Environment Protection [C] (in Chinese).
- Meier W M and Siegmann K. 1999. Significant reduction of carcinogenic compounds in tobacco smoke by the use of zeolite catalyst [J]. Micropr Mesopr Mater. , 33 : 307~310.
- Meier W M , Wild J and Scanlan F. 1996. Tobacco smoking article containing zeolite sorbent or zeolite like molecular sieve [P]. EP : 740907.
- Myauchi M ,Myake A and Nakanishi Y. 1994. Activated carbon in preparation of cigarette filter [P]. Japan Patent 304626.
- Peto R ,Lopez A D ,Boreham J , *et al.* 1994. Mortality from Smoking in Developed Countries ,1950~2000 [M]. Oxford : UK. Oxford University Press ,101~103.
- Pu Yaopu and Yin Lihong. 1991. Studies on genetic toxicity out of cigarette smoke [J]. Chinese Journal of Public Health , 10 (6) : 356~360 (in Chinese).
- Rainer N B and Bailey C V. 1981. Cigarette filter material comprising compounds of iron in high oxidation states [P]. US Patent : 4246910.
- Rommel C. 2004. The Chinese tobacco industry [J]. Tobacco Journal International 25 Oct.
- Shen B , Ma L L , Zhu J H , *et al.* 2000. Decomposition of N-nitrosamines over zeolite [J]. Chem. Lett. , 4 : 380~381.
- Sora K. 1997. Coffee tobacco and metal oxide filter [P]. JP patent : 336245.
- Wang Liansheng ,Kong Lingren ,Han Shuokui , *et al.* 1993. Organic Carcinogen [M]. Beijing : China Environmental Science Press ,114~118 (in Chinese).
- Wim H R. 2002. Building on polymers [J]. Tobacco Journal International (1) : 57~60.
- Xie Xiaotian ,Zheng Ping ,Wang Jian , *et al.* 2002. Studies on reducing cigarette tar by applying nano adsorbent [J]. Yunnan Chemical Technology , (3) : 1~3 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yu-Xiang ,Bezard E and Zhao Bao-Lu. 2005. Investigating the Receptor-independent Neuroprotective Mechanisms of Nicotine in Mitochondria [J]. Journal of Biological Chemistry , 280 (37) : 32 405~32 412.
- Yan Jinghui ,Yu Wei ,Hui Boran , *et al.* 1998. Development of montmorillonite for clearing radical action in cigarette smoke [J]. Chinese Chemical Society , 11 : 39~41 (in Chinese).
- Yu Jianjun ,Li Guodong ,Chen Yanxia , *et al.* 1999. Studies on filtra-

- tion effect of filter made of different absorb materials on the component of cigarette smoke [J]. Acta Agriculturae Universitatis Henanensis, 33(4):392~394(in Chinese with English abstract).
- Yun Zhiyu, Xu Yang, Zhu Jianhua, *et al.* 2002. Removal of N-nitrosamine from cigarette smoke by zeolite [J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 19(3):276~279(in Chinese with English abstract).
- Zhang Gaoke and Cui Guozhi. 1997. Manufacture of sepiolite filter for cigarette [J]. Geology of Building Materials, 1:33~35(in Chinese).
- Zhang Guosheng, Chen Tianhu and Fan Wenyuan. 1994. Research of reducing poisonous smoke by using palygorskite molecular sieve [J]. Environmental Engineering, 12(4):24~28(in Chinese).
- Zhang Jie, Liu Qiang, Liu Nianqing, *et al.* 2006. Nicotine reduces β -amyloidosis by regulating metal homeostasis [J]. FASEB J., 20: 1212~1214.
- Zhang Youjin, Yang Jun, Li Wan, *et al.* 2001. The study of reducing poisonous components in cigarette smoke by using nanophase materials [J]. Chemical Research and Application (6):709~711(in Chinese with English abstract).
- Zhao Suqin, Wang Ronghui, Qin Wenquan, *et al.* 1996. Application and manufacture of selective adsorbent for cigarette smoke TPM [J]. Tobacco Science & Technology, (2):23~25(in Chinese).
- Zhou Shilu, Xiao Xiezhong, Yun Zhiyu, *et al.* 2004. Mechanism studies on Removal of benz[a]pyrene (B[a]P) in Cigarette Smoke by Micropore Zeolite [A]. China Tobacco Society. Proceedings of 2004 Academic Annual Meeting of the China Tobacco Society [C]. 123~131(in Chinese with English abstract).
- Zhu Jianhua, Shen Bing, Wang Ying, *et al.* 2000. Intensely selective adsorption of Nitrosamines by Zeolites [J]. Chinese Science Bulletin, 45(19):2017~2019(in Chinese).
- Zhu Jianhua, Xu Yang, Wang Ying, *et al.* 2004. Adsorption and Catalytic Degradation of Nitrosamines by Zeolites and Molecular Sieves [J]. Acta Phys. Chim. Sin., 20:946~952(in Chinese with English abstract).
- 烟气中的有害成分 [A]. 中国烟草学会 2002 年学术年会论文集 (上册) [C], 140~148.
- 惠博然, 陶永吉, 杜清. 1995. 蒙脱石卷烟过滤材料的研制 [J]. 长春光学精密机械学院学报, 2:27~31.
- 李东亮, 王玉堂, 樊杰, 等. 2003. 凹凸棒石在卷烟滤嘴中的应用实验 [J]. 烟草科技, 4:6~8.
- 李绍民. 1999. 卷烟中有害健康物质的祛除 [A]. 国家烟草专卖局外事司, 科教司, 中国烟草学会, 等. 卷烟降焦技术国际研讨会论文集 [C]. 98~99.
- 李绍民, 胡有持, 赵明月, 等. 2003. 利用改性 Y 型分子筛降低卷烟烟气中的有害成分 [J]. 中国烟草学报, 9(3):28~39.
- 刘立全, 李维娜, 王月侠, 等. 2004. 特殊滤嘴研究进展 [J]. 烟草科技, 3:17~24.
- 刘颖涛, 尹宏越, 王俊茹. 1996. 烟嘴中一种新的填充物——活性炭纤维素的应用研究 [J]. 化学工程师, 6:49~50.
- 娄性义, 潘绪森, 李文珍. 1994. 用炭纸做卷烟复合滤嘴材料的初步研究 [J]. 烟草科技, 2:7~9.
- 吕功煊, 葛聪, 赵明月, 等. 2003. 应用含纳米贵金属催化材料降低卷烟烟气中 CO 技术研究 [A]. 上海烟草学会. 2003 年烟草生产与人体健康和环境保护协调发展研讨会暨中外烟草环保科技展示会法规、专题报告论文集 [C].
- 清跃朴, 尹立红. 1991. 香烟烟气致遗传毒性的研究 [J]. 中国公共卫生学报, 10(6):356~360.
- 王连生, 孔令仁, 韩朔暎, 等. 1993. 致癌有机物 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 114~118.
- 谢笑天, 郑萍, 王建, 等. 2002. 纳米吸附剂在卷烟降焦中的应用研究 [J]. 云南化工, 3:1~3.
- 闫景辉, 于薇, 惠博然, 等. 1998. 蒙脱石对卷烟烟雾中自由基清除作用的研究 [J]. 化学通报, 11:39~41.
- 于建军, 李国栋, 陈彦霞, 等. 1999. 不同吸附材料滤嘴对卷烟烟气成分过滤效果的影响 [J]. 河南农业大学学报, 33(4):392~394.
- 恽之瑜, 徐杨, 朱建华, 等. 2002. 沸石在去除卷烟烟气中亚硝胺的应用 [J]. 应用化学, 19(3):276~279.
- 张高科, 崔国治. 1997. 海泡石型卷烟过滤嘴的研制 [J]. 建材地质, 1:33~35.
- 张国生, 陈天虎, 范文元. 1994. 凹凸棒石复合分子筛净化气体的研究 [J]. 环境工程, 12(4):24~28.
- 张悠金, 杨俊, 李婉, 等. 2001. 纳米材料降低卷烟烟气粒相有害成分的研究 [J]. 化学研究与应用, 6:709~711.
- 赵素琴, 汪荣慧, 秦文全, 等. 1996. 卷烟烟总粒相物选择性吸附剂的研制与应用 [J]. 烟草科技, 2:23~25.
- 周仕禄, 肖协忠, 恽之瑜, 等. 2004. 微孔沸石对卷烟烟气中苯并 [a] 芘去除的机理研究 [A]. 中国烟草学会. 中国烟草学会 2004 年学术年会论文集 [C].
- 朱建华, 沈彬, 王英, 等. 2000. 沸石对于亚硝胺的选择性强吸附 [J]. 科学通报, 45(19):2017~2019.
- 朱建华, 徐杨, 王英, 等. 2004. 沸石分子筛吸附和催化降解亚硝胺 [J]. 物理化学学报, 20:946~952.

附中文参考文献

- 陈天虎. 1999. 凹凸棒石吸附性能应用的制约因素 [J]. 安徽地质, 3:48~52.
- 董有, 马进城. 1993. 豫西南海泡石卷烟过滤嘴的实验 [J]. 烟草科技, 2:8~11.
- 高文全, 金承红, 郑莹光. 1999. 降低吸烟过程中焦油及自由基成分 ESR 的研究 [J]. 烟草科技, 2:25~26.
- 胡群, 马静, 刘志华. 1999. 活性炭在低焦油卷烟滤嘴设计中的研究 [J]. 烟草科学研究, 6:7~69.
- 胡有持, 赵明月, 李绍民, 等. 2002. 利用新型 NaY 分子筛降低卷烟