

## 烟气与化学

## 降低卷烟烟气中有害成分的技术研究及应用\*

王彦亭 谢剑平 张虹 赵明月

## 摘要

吸烟与健康为全世界所关注,降低卷烟烟气有害成分释放量是烟草行业义不容辞的责任。中国是烟草大国,但降焦步伐明显滞后于西方发达国家,因此国家烟草专卖局将降焦减害作为应对 WTO 和 WHO 挑战,促使由“烟草大国”向“烟草强国”转变的重大战略任务。“降低卷烟烟气中有害成分的技术研究”项目开展了卷烟烟气中苯并[a]芘测定方法研究、卷烟烟气中亚硝胺测定方法研究、降低卷烟烟气中自由基含量的技术研究、应用纳米催化材料降低卷烟烟气中 CO 技术研究、降低卷烟侧流烟气的技术研究、应用神农萃取液降低卷烟危害的技术研究等多项研究。本文介绍了通过 3 年的研究工作,项目研究取得的重要结果和成果的应用情况。该项目的完成及各项成果的推广应用将显著降低我国卷烟烟气中的有害成分,提高卷烟的吸食安全性,增强国产卷烟在国内外市场上的竞争力。

关键词:卷烟烟气 烟草特有亚硝胺 苯并[a]芘 自由基 CO 焦油 侧流烟气

中图分类号:TS411.2 文献标识码:A 文章编号:1004-5708(2003)03-0001-07

吸烟与健康是烟草行业在前进过程中面临的主要挑战之一。烟草行业从 70 年代就开始重视吸烟与健康问题,80 年代以后更是把降低焦油等有害成分作为主要研究课题,进行了多方面的技术攻关,获得了重大进展。现在我国卷烟平均焦油释放量已从过去的 30 mg/支以上降到 16 mg/支以下。但是,卷烟的降焦工作是一项十分艰巨的工作,尤其是我国卷烟消费者习惯吸食烤烟型卷烟,降焦工作的难度更显突出。因此,降低卷烟烟气中某些有害成分的研究受到越来越多的关注。近年来,行业内外有关科研单位、烟草公司和企业已逐步投入人力和物力开展降低卷烟烟气中某些有害成分的研究。

目前,降低卷烟烟气中有害成分一般都是通过降低卷烟的焦油释放量来实现的。通常降低卷烟焦油释放量的方法有接装滤嘴和应用滤嘴通风稀释技术、使用高透气度和静燃速度快的卷烟纸、掺用烟草薄片、掺

用膨胀烟丝和膨胀梗丝等。通过采用接装滤嘴可以选择性地降低卷烟烟气中的酚类成分,一般可达 80%~90%。滤嘴通风稀释技术则可以有效地降低卷烟烟气中的 CO。对于卷烟烟气中的有害成分如稠环芳烃类、亚硝胺类、氮氧化物和自由基等物质,上述的方法均不能有效地进行选择性的滤除。

我国烟草行业开展的降焦工程,通过大力推广应用各项降焦技术,已使我国卷烟的平均焦油释放量有大幅度降低,而卷烟烟气中的有害成分也随之相应降低。但是当卷烟的焦油释放量降低到一定的水平后,卷烟的香味会受到很大的影响,这是制约我们采用降焦技术的重要因素之一。如果能够选择性地降低卷烟烟气中的有害成分,而卷烟烟气中的香味成分又能够损失较小,必将大大地提高卷烟的吸食安全性,这是烟草行业解决“吸烟与健康”问题的一条重要途径。

2000 年,国家烟草专卖局组织有关单位向国家经济贸易委员会提出了开展降低卷烟烟气中主要有害成分的技术研究和产品开发的项目申请,同年 7 月国家经济贸易委员会下达了技术创新项目《降低卷烟烟气中有害成分的技术研究》(国经贸技术[2000]490 号),国家烟草专卖局科教司下达了“关于转发国家经贸委《关于下达〈2000 年国家技术创新重点专项计划的通

\* 王彦亭,男,50 岁,研究员,国家烟草专卖局科技教育司,北京,100053

谢剑平,赵明月,郑州烟草研究院,郑州,450000

张虹,通讯地址同第一作者

本研究由国家经济贸易委员会和国家烟草专卖局资助

收稿日期:2003-06-27

知》的通知》”(国烟科技[2000]第69号),并将《降低卷烟烟气中有害成分的技术研究》列为国家烟草专卖局重点项目并给予资助,组织行业内外科研院所和大专院校及卷烟企业等有关单位联合攻关,进行重点技术的研究,旨在研究并提供一套全面降低我国卷烟烟气中有害成分的技术。研究工作由国家烟草专卖局科技教育司和郑州烟草研究院共同牵头,国家烟草专卖局科技教育司、郑州烟草研究院、北京卷烟厂、中国科学院兰州化学物理研究所、吉林省大方经贸有限公司、长沙卷烟厂、广东神农烟科技术有限公司、上海烟草(集团)公司和军事医学科学院等单位共同承担。整套技术研究在进行过程中划分为7个子项目。通过3年的各项技术研究,取得了多项创新成果。在卷烟烟气中苯并[ $\alpha$ ]芘的测定方法研究、卷烟烟气中亚硝胺的测定方法研究、降低卷烟烟气中自由基的技术研究、降低卷烟侧流烟气的技术研究、应用神农萃取液降低卷烟危害的技术研究方面取得重要进展,建立了重复性好、回收率高、具有国际先进水平的卷烟烟气中烟草特有亚硝胺、苯并[ $\alpha$ ]芘和自由基的测定方法,对国内外名牌卷烟中的烟草特有亚硝胺、苯并[ $\alpha$ ]芘和自由基进行了测定,对神农萃取液应用于卷烟中进行了系统的安全性毒理评价;研制开发了显著降低卷烟烟气有害成分的卷烟产品,如低侧流“白沙”牌卷烟,低烟草特有亚硝胺、苯并[ $\alpha$ ]芘和自由基的绿“双喜”牌卷烟,低自由基“中南海”牌卷烟和低焦油、低CO的“白沙”(和)牌卷烟;在应用纳米催化材料降低卷烟烟气中CO的技术研究和利用新型NaY分子筛降低卷烟烟气有害成分的技术研究方面取得重大突破性进展。采用含纳米贵金属催化材料的复合滤嘴对卷烟烟气中的CO消除最高可达到45%左右,其技术达到国际领先水平;采用改性Y型分子筛的复合滤嘴对卷烟烟气中的苯系物、苯并[ $\alpha$ ]芘和烟草特有亚硝胺达到25%以上,其技术达到国际先进水平;长沙卷烟厂研制了低侧流烤烟型卷烟“白沙”(低侧流),可降低侧流烟气60%;北京卷烟厂研制了低自由基混合型卷烟“中南海”(5mg),自由基同比降低40%以上;广东神农烟科技术有限公司研制的神农萃取液,能显著降低卷烟危害;长沙卷烟厂应用含纳米贵金属催化材料研制了低焦油和低CO烤烟型“和”牌卷烟,CO释放量为9.1mg/支;上海烟草(集团)公司采用综合的降焦减害技术已使卷烟烟气中的苯并[ $\alpha$ ]芘、烟草特有亚硝胺和自由基同比

降低20%左右,目前这些卷烟产品已经上市,并受到广大消费者的好评。

## 1 研究的主要内容

整个研究过程按两条思路进行。一是建立卷烟烟气中有害成分的分析测试技术,即建立卷烟烟气中苯并[ $\alpha$ ]芘、烟草特有亚硝胺和自由基的测定方法,为研究降低这些有害成分的技术奠定必要的基础;二是采用新技术和新材料研究降低卷烟烟气中上述有害成分及CO、焦油、酚类物质、挥发醛类物质、侧流烟气等的技术。研究内容分解到行业内外科研院所和企业进行攻关。在“卷烟烟气中苯并[ $\alpha$ ]芘的测定方法研究”中,由郑州烟草研究院负责系统研究卷烟烟气中苯并[ $\alpha$ ]芘的测定方法;对国内卷烟(重点是名优卷烟及市场份额较大的卷烟)及国外(主要是欧美国家及日本)名牌卷烟中的苯并[ $\alpha$ ]芘进行测定,分析比较我国卷烟产品与国外产品卷烟烟气中苯并[ $\alpha$ ]芘含量的差别;在“卷烟烟气中亚硝胺的测定方法研究”中,由郑州烟草研究院和上海烟草(集团)公司共同负责系统研究卷烟烟气中烟草特有亚硝胺的测定方法;对国内卷烟(重点是名优卷烟及市场份额较大的卷烟)及国外(主要是欧美国家及日本)名牌卷烟中4种烟草特有亚硝胺进行测定,了解国内卷烟中烟草特有亚硝胺的最高、最低和平均含量水平;分析国外主要产品烟草特有亚硝胺的含量水平;分析比较我国卷烟产品与国外产品中烟草特有亚硝胺含量的差别,上海烟草(集团)公司负责研制开发低害卷烟产品;在“降低卷烟烟气中自由基的技术研究”中,由北京卷烟厂和军事医学科学院共同负责系统研究卷烟烟气中自由基含量的测定方法;对国内卷烟(重点是名优卷烟及市场份额较大的卷烟)及国外(主要是欧美国家及日本)名牌卷烟中的自由基进行测定,分析比较我国卷烟产品与国外产品卷烟烟气中自由基含量的差别;通过开展自由基清除剂的选择、自由基清除机理的研究、自由基清除剂对卷烟烟气中自由基清除效果的试验、自由基清除剂使用的方法研究及有关生物毒性试验等,开展降低卷烟烟气中自由基含量的技术研究,研制低自由基卷烟产品;在“应用纳米催化材料降低卷烟烟气中CO的技术研究”中,由中国科学院兰州化学物理研究所和郑州烟草研究院共同负责系统研究含纳米贵金属催化材料降低CO的技术,通过纳米颗粒的筛选与合成、含纳米贵金属催化剂的

研制与性能评价、滤棒的成形及卷烟应用试验、卷烟焦油释放量和 CO 及其它有害成分的分析,建立利用载有含纳米贵金属催化材料的二元复合滤嘴降低卷烟烟气中 CO 的技术;在“利用改性 Y 型分子筛降低卷烟烟气有害成分的技术研究”中,由吉林省大方经贸有限公司和郑州烟草研究院共同负责系统研究改性 Y 型分子筛降低卷烟烟气有害成分的技术,通过 Y 型分子筛的筛选与改性、滤棒的成形及卷烟应用试验、卷烟焦油释放量、苯系物、亚硝胺、稠环芳烃、挥发醛类、酚类物质等有害成分的分析,建立利用载有改性 Y 型分子筛材料的二元复合滤嘴降低卷烟烟气中有害成分的技术;在“降低卷烟侧流烟气的技术研究”中,长沙卷烟厂负责系统地研究卷烟纸中填料种类和含量、助燃剂和烟灰烧结剂种类及用量、卷烟纸定量和透气度对侧流烟气释放量的影响,形成一整套降低卷烟侧流烟气的技术,开发出低侧流卷烟产品,郑州烟草研究院负责对研制的低侧流卷烟进行卷烟侧流烟气测定、主流烟气和侧流烟气对比分析;在“应用神农萃取液降低卷烟危害的技术研究”中,广东神农烟科技术有限公司负责研制神农萃取液,军事医学科学院负责用细胞生物学的方法系统地比较添加神农萃取液的“五叶神”卷烟与同品牌空白烟对外培养细胞的存活分数、膜结构与功能、基因突变、氧化应激和细胞转化的影响,评价神农萃取液在降低卷烟危害、提高卷烟安全性方面的作用。

## 2 研究成果

### 2.1 卷烟烟气中苯并[a]芘测定方法研究

2.1.1 建立了一套重复性好、回收率高,具有国际先进水平的卷烟烟气中苯并[a]芘的测定方法。对液相色谱法测定卷烟烟气中的苯并[a]芘与气-质联用法测定卷烟烟气中的苯并[a]芘在重复性、回收率、检测限、分析程序、测定结果等方面进行了分析比较,研究结果表明气-质联用法较液相色谱法更适合于测定卷烟主流烟气中的稠环芳烃,具有操作简便快捷,回收率高,灵敏度高,重复性好,定量准确等特点。该方法是在综合考察国内外稠环芳烃测定方法的优缺点的基础上,进行大量的试验研究并加以改进形成的。在 2002 年 7 月北京举行的学术研讨会上,受到行业外稠环芳烃方面研究专家的高度评价。该方法也符合 CORESTA 组织关于苯并[a]芘测定方法的最新提议,即希望在测定

卷烟烟气中苯并[a]芘方面应研究采用 GC/MS(SIM)方法,取代使用已久的 HPLC 方法。本项目建立的方法符合 CORESTA 组织的要求,并可以尽快向 CORESTA 组织提出方法建议,使我国在国际标准方面以更积极的姿态、更有利的地位参与国际标准的制修订工作,显示我国对国际烟草业所做的贡献。在项目的研究中,同时确定了最佳的分析卷烟烟气中苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽条件。

2.1.2 对国内外名牌卷烟烟气中苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽进行了测定,获得了国内外卷烟烟气中苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽含量的最新数据。采用气-质联用法对 79 个牌号不同类型的国内外商品卷烟样品主流烟气中 3 种有代表性的稠环芳烃:苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽进行了系统的分析测定,其中国产烤烟型卷烟 54 种,混合型卷烟 13 种,进口烤烟型卷烟 2 种,混合型卷烟 10 种。分析结果表明:国内与国外混合型卷烟烟气中 3 种稠环芳烃的含量差异不大,国内烤烟型卷烟烟气中 3 种稠环芳烃的含量明显高于混合型卷烟,这主要是因为烤烟型卷烟的总粒相物和焦油较高的缘故。

2.1.3 发现了卷烟烟气中苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽的相关关系。对 79 个牌号不同类型的国内外商品卷烟样品主流烟气中 3 种有代表性的稠环芳烃:苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽进行的分析测定结果表明:无论何种类型的卷烟,其烟气中苯并[a]芘、苯并[a]蒽和蒽 3 者含量之间总是存在着明显的线性相关关系,即只要对卷烟烟气中的苯并[a]芘进行测定,便可预测卷烟烟气中苯并[a]蒽和蒽的含量水平。

### 2.2 卷烟烟气中亚硝胺测定方法研究

2.2.1 建立了一套重复性好、回收率高,具有国际先进水平的卷烟烟气中烟草特有亚硝胺的测定方法。对于现有的 TSNA<sub>s</sub> 的收集分析方法进行了全面评价和对比研究,对比了不同仪器设备、不同收集措施、不同预分离条件、不同色谱分析条件和不同 TEA 条件对分析结果的影响。对采用配有氮磷检测器的气相色谱法(GC-NPD)和气相色谱-热能分析联用法(GC-TEA)测定卷烟烟气中的 TSNA<sub>s</sub> 进行了比较。最终建立了使用经抗坏血酸处理的玻璃纤维滤片收集卷烟烟气总粒相物,用二氯甲烷萃取粒相物中的 TSNA<sub>s</sub>,浓缩萃取液,经碱性氧化铝层析柱纯化,通过 GC-TEA 定量检测 TSNA<sub>s</sub> 含量的分析方法。该方法是在综合考察国内外 TSNA<sub>s</sub> 测定方法优缺点的基础上,进行

大量的试验研究并加以改进形成的。在2002年7月北京举行的学术研讨会上,受到行业外亚硝胺方面研究专家的高度评价。该检测方法设计合理,稳定性和重复性好、准确性和精确性高,具有较好的可操作性和推广性。本项目建立的方法符合 CORESTA 组织的要求,并可以尽快向 CORESTA 组织提出方法建议,使我国在国际标准方面以更积极的姿态、更有利的地位参与国际标准的制修订工作,显示我国对国际烟草业所做的贡献。

**2.2.2** 对国内外名牌卷烟烟气中4种烟草中特有的亚硝胺进行了测定,获得了国内外卷烟烟气中烟草特有亚硝胺含量的最新数据。对国内外不同类型98种卷烟样品主流烟气中的TSNAs进行了系统的分析测定。分析结果表明:混合型卷烟烟气中TSNAs的含量显著高于烤烟型卷烟烟气中TSNAs,国外混合型卷烟烟气中NNK的含量高于国内混合型卷烟。在卷烟配方中减少晾晒烟用量可以显著降低烟气中TSNAs的水平。这些研究结果为制定我国卷烟烟气中TSNAs含量的技术壁垒提供了可靠的技术基础。

**2.2.3** 发现了国内外混合型卷烟烟气中NAT与NAB含量之间的相关关系。对国内外混合型卷烟烟气中NAT和NAB测定结果表明:混合型卷烟烟气中NAT与NAB含量之间存在着明显的线形相关关系,而其它TSNAs之间没有这种明显的相关关系。即只要对混合型卷烟中卷烟烟气中的NAT进行测定,便可预测含量更低的NAB含量水平。

### 2.3 降低卷烟烟气中自由基含量的技术研究

**2.3.1** 建立了一套重复性好、准确度高,具有国际先进水平的卷烟烟气中自由基的测定方法。进行了气相自由基自旋捕捉剂的选择试验、自旋捕捉剂的溶剂选择试验、气相自由基自旋捕捉液的浓度和用量选择试验、ESR信号稳定性及控制方法试验、气相自由基检测标准样品的选择及自由基浓度的确定试验、气相自由基检测方法的评价试验、固相自由基ESR检测试验条件选择试验、低温冷凝法捕捉固相自由基ESR检测试验、用剑桥滤片直接收集固相自由基ESR检测试验、固相自由基检测标准样品的选择及自由基浓度的确定试验、固相自由基的稳定性试验、不同牌号不同批次滤片的自由基捕集率试验和固相自由基检测方法的评价试验等。建立了一套卷烟烟气中气相自由基和固相自由基的检测方法。

**2.3.2** 首次系统地研究了降低卷烟烟气中自由基含量的工艺和技术。确定了SRM为自由基清除剂,选用了不同浓度的SRM溶液处理活性炭,干燥后制成醋纤活性炭复合滤嘴再制成卷烟和将不同浓度的SRM溶液加入增塑剂制成醋纤活性炭复合滤嘴再制成卷烟2种工艺路线,对卷烟烟气自由基达到了有效的清除。研制的活性炭复合滤嘴卷烟烟气气相自由基较对照卷烟降低了41.2%,即卷烟烟气气相自由基的清除率达到41.2%,最高时可达65%;进行了优化自由基清除剂配方的工作,确定用1.50%的SRM溶液加入增塑剂制成醋纤活性炭复合滤嘴再制成卷烟的工艺方法生产低自由基低焦油5mg中南海卷烟,其烟气气相自由基清除率一般可稳定达到41.2%。

**2.3.3** 系统地进行了低自由基卷烟及其对照样品的生物学评价。进行了急性中毒试验、生殖毒性试验、免疫功能试验、致突变性试验等,所检测的各项功能性指标均表明,低自由基卷烟的毒性明显低于同品牌的普通卷烟。

### 2.4 应用纳米催化材料降低卷烟烟气中CO技术研究

**2.4.1** 系统地研究并制备了用于降低卷烟烟气CO的纳米催化材料,对研制的催化材料在模拟吸烟流量条件下的催化性能稳定性进行了考察。尝试了多种材料制备方法如共沉淀法、沉积-沉淀法、浸渍法以及多种活性组分如Au、Pt制备催化剂。当纳米材料通过共沉淀法制备时,能够获得高分散的结果,Au为较佳的活性组分。系统地研究了焙烧温度和活性组分担载量对纳米催化材料催化性能的影响。研究表明,较佳的焙烧温度为400℃,活性组分担载量为1.8wt%。在合成、筛选纳米材料工作的基础上,对研制的催化材料在模拟吸烟流量条件下的催化性能稳定性进行了考察,结果表明,催化剂经过近150h的催化反应,仍然能够在室温条件下将模拟装置中100%的CO消除。

**2.4.2** 系统地研究了纳米催化材料工艺添加方式、工艺参数对降低卷烟烟气中CO的影响。尝试了将纳米催化材料添加到烟丝中、三元纳米催化材料复合滤棒和二元纳米催化材料复合滤棒3种工艺添加方式,确定了二元复合滤棒是适合于降低卷烟烟气中CO的工艺添加方式。研究了纳米催化材料粒度和添加量对降低卷烟烟气中CO的影响,确定了较佳的纳米催化材料工艺参数,较佳的纳米催化材料粒度为50~80目,

添加量为 35mg/10mm。选择了一种助剂,应用于纳米催化材料中,对降低卷烟烟气中的 CO 有明显的促进作用。最终确定的纳米催化材料使复合滤棒成型机在额定车速下能满负荷生产,制作的复合滤棒与醋酸纤维滤棒一样,在高速卷接机组上都具有良好的耐机械加工性能。

**2.4.3** 探索出了降低卷烟烟气中 CO 的一条新途径,采用的纳米催化材料降低卷烟烟气中 CO 的水平处于国际领先水平。经过大量的试验研究,最终确定了较佳的纳米催化材料。纳米催化材料制备的二元复合滤棒具有比较明显的降低 CO 的效果,普通试验卷烟烟气中 CO 释放量降低了 26.9%,而对于高 CO 释放量的低侧流卷烟,试验卷烟烟气中 CO 释放量可降低 45.4%,并且卷烟感官质量基本保持不变。

**2.4.4** 成功开发出了低焦油、低 CO 烤烟型卷烟。应用该技术,与长沙卷烟厂共同研制开发了“和”牌卷烟,焦油释放量为 10.0mg/支,烟碱释放量为 0.93mg/支,CO 释放量为 9.1mg/支,完全符合欧盟对低释放量卷烟的规定。

## 2.5 利用新型 NaY 分子筛降低卷烟烟气中的有害成分

**2.5.1** 首次将改性型沸石分子筛用于卷烟产品的降焦减害试验,并取得突破性研究成果。按硅铝比 4.5~5.0:1 改性制作了 NaY 型分子筛,筛选出了一种优良的 NaY 型分子筛的机械强度改进剂,提高了 NaY 型分子筛的机械强度。进行了复合滤棒及卷烟的应用试验研究。研究表明,NaY 型分子筛不仅能在保持卷烟风格基本不变的情况下显著降低卷烟烟气的焦油量,而且对卷烟烟气中的 PAHs、酚类物质和 TSNA<sub>s</sub> 等有害成分均具有良好的选择性过滤作用。

**2.5.2** 成功地对 NaY 型分子筛进行了改性,解决了复合滤棒成型过程中“扬尘”等困扰工业化生产应用的难题。通过大量的研究工作,研制了优良的 NaY 型分子筛的机械强度改性剂。当改性剂 2# 在分子筛中的使用量为 8% 左右时,不仅具有良好的机械强度,使复合滤棒成型机在额定车速下能满负荷生产,而且使 NaY 型分子筛仍保持较高的降焦减害效果,彻底解决了在该项目研究实施过程中,一直困扰我们的工业化生产应用难题。试验表明,NaY 型分子筛复合滤棒和常规的 CA 滤棒一样,在高速卷接机组上都具有良好的耐机械加工性能。

**2.5.3** 系统地研究了改性 Y 型分子筛制作的复合滤嘴卷烟对卷烟烟气 PAHs、酚类物质和 TSNA<sub>s</sub> 等有害成分滤除的效果。研究表明,改性 Y 型分子筛不仅能在保持卷烟风格基本不变的情况下显著降低卷烟烟气的焦油量,而且对卷烟烟气中的 PAHs、酚类物质和 TSNA<sub>s</sub> 等有害成分均具有良好的选择性过滤作用。研究表明,与对照卷烟相比,改性 Y 型分子筛不仅能在保持卷烟风格基本不变的情况下显著降低卷烟烟气的焦油量,而且对卷烟烟气中的 PAHs、酚类物质和 TSNA<sub>s</sub> 等有害成分均具有良好的选择性过滤作用。

## 2.6 降低卷烟侧流烟气的技术研究

**2.6.1** 对传统卷烟纸进行改性,加入一种改变卷烟纸燃烧性的助剂,一种高比表面积的无机填料,提高定量,减少烟气的逸出。在卷烟纸中加入了一种可改变卷烟纸燃烧性的助剂,这种助剂由一个优选的配方构成,试验了这种有机助燃剂在卷烟纸中不同添加比例时的使用效果,当这种助剂的添加量为成品纸的 6% 时,侧流烟气的降低率达到 18%;在卷烟纸中加入了几种其他类型的无机填料,如比表面积大的含镁物质,其中包括采用多种工艺手段制备而来的多种形态的镁的氧化物、氢氧化物,如氧化镁粉末,氢氧化镁粉末或新鲜制备的氢氧化镁。如当氢氧化镁的添加量为成品纸的 10% 时,侧流烟气的降低率则可达到 32%。

**2.6.2** 对降低卷烟侧流烟气的其他技术进行了系统的研究。研究了卷烟纸有机助燃剂、卷烟纸的定量和透气度、烟灰烧结剂、膨胀烟丝、烟丝助燃剂等对卷烟侧流烟气的影响,这些技术手段对卷烟的侧流烟气均有不同程度的降低。

**2.6.3** 在国内首次成功研制低侧流卷烟,与普通卷烟相比,研制的低侧流卷烟降低侧流烟气达 60%,减少了卷烟燃烧过程中对环境的烟气排放量。在保证卷烟主流烟气烟香优雅,余味舒适等卷烟风格的基础上,综合运用添加一定量的烟丝助燃剂、在叶组配方中使用膨胀烟丝、在卷烟纸中加入一定量的有机助燃剂、大比表面积无机填料和烟灰烧结剂、适当提高卷烟纸定量、卷烟辅料和助剂的改变、调整叶组配方和香精香料配方等各项技术手段,成功研制出低侧流卷烟。该低侧流卷烟既能显著降低侧流烟气量,又具有吸味优雅的一流品质,烟灰连续完整呈筒状,侧流烟气可显著降低达 60% 以上,既可以满足吸烟者的嗜好,又大大减少了对

被动吸烟者的危害。

**2.6.4** 在国内首次对研制的低侧流卷烟中的重要化学成分进行了系统的分析测定,分析对比了普通卷烟和低侧流卷烟中各种化学成分在卷烟主流烟气和侧流烟气中的分配比率。对研制的卷烟主流烟气与侧流烟气中的半挥发性成分进行了系统的分析测定。卷烟主流烟气总粒相物采用标准方法捕集;卷烟侧流烟气总粒相物采用可收集卷烟侧流烟气的吸烟机和鱼尾瓶装置来收集。采用同时蒸馏萃取前处理分离方法和气相色谱、气-质联用分析技术对总粒相物中的半挥发性成分进行了分析,定性分析了主流烟气和侧流烟气中的87种组分;采用内标法对45种组分的含量进行了定量分析,测定了45种组分在卷烟侧流烟气与主流烟气中的分配比,分析结果表明:卷烟主流烟气和侧流烟气中半挥发性成分种类基本相同,普通卷烟侧流烟气中半挥发性成分的总量明显高于主流烟气,大多数半挥发性成分的侧流烟气含量高于主流烟气;低侧流卷烟中的侧流烟气半挥发性成分总量明显低于主流烟气,证实了低侧流卷烟能减少对环境的烟气释放量。

## 2.7 应用神农提取液降低卷烟危害的技术研究

**2.7.1** 运用我国传统中医药学理论,结合现代先进的提取、分离技术,研制开发出了一种应用于卷烟工业的新型天然植物提取液——神农萃取液,并将神农萃取液成功地应用于“五叶神”卷烟中。对具有清热平喘止咳以及具有抗诱变及自由基清除功能的中草药进行了筛选,其中有菊花、金银花、大青叶、穿心莲、大蒜、北杏、胡萝卜素、黄芩、熊果酸等中药提取物,最后确定了几种有效的中草药提取物,进行优化组合,配制成“神农萃取液”卷烟添加剂。神农萃取液的主要成分为草珊瑚、总香豆素以及多酚类化合物等多种有益人体健康的物质。其有效成分的沸点在150~280℃之间,容易气化随烟气进入呼吸道。在色香味方面能与烟丝充分协调,吸后余味舒适,有明显的回甜味。

**2.7.2** 神农萃取液添加在卷烟中,对有效成分的转移输送量和转移率进行了测定,测定结果表明,有效成分的转移输送量达到5 $\mu\text{g}$ /支左右,转移率达到28%以上。利用HPLC方法对神农萃取液、添加神农萃取液的卷烟烟丝和卷烟烟气中有效成分总香豆素进行了分析测定,结果表明:卷烟烟丝总香豆素的含量为18.55 $\mu\text{g}$ /支,卷烟烟气中总香豆素的含量为5.22 $\mu\text{g}$ /支,转移率为28.14%。

**2.7.3** 对神农萃取液及添加神农萃取液卷烟的危害性进行了系统的生物学评价。研究表明,神农萃取液对挥发性亚硝胺及烟草特有亚硝胺合成有明显阻断作用,对苯并[ $\alpha$ ]芘的致突变性有显著的抑制作用,神农萃取液在高于应用浓度1000倍时,动物和体外细胞试验均未观察到毒性作用,表明神农萃取液安全无毒。在此基础上,对神农萃取液应用于卷烟产品及其降低卷烟危害的作用进行了研究。烟气化学分析和生物学评价结果表明,与未添加神农萃取液的对照卷烟比较,能显著缓解吸烟所致咳嗽、气喘、痰多等不良反应,明显降低呼吸道的发病率;自由基水平减少20%以上;小鼠的急性毒性反应明显减轻,表现在动物的活存时间延长1倍以上,致死吸烟量显著增加;显著抑制卷烟TPM所致姐妹染色体交换和骨髓微核发生率;使卷烟烟气所致SHE和BEAS-2B细胞半数死亡的剂量分别增加到1.7和4倍,诱发细胞产生的ROS的水平明显降低,表现在细胞内 $\text{H}_2\text{O}_2$ 和 $\text{O}_2^-$ 水平显著减少;卷烟烟气诱发的细胞氧化、细胞膜损伤、染色体基因突变和细胞转化作用明显降低。以上研究结果表明,应用神农萃取液可显著降低卷烟危害性,明显提高卷烟的安全性。

## 3 研究成果的应用

利用降低卷烟烟气自由基技术研制生产的5mg中南海低自由基卷烟自2000年底上市以来,销售势头看好。2001年试销,就售出2200大箱,工业毛利达890余万元,商业毛利达2700余万元。今年,5mg中南海低自由基卷烟销售量大幅度增长,到9月底,销售了2600余大箱,工业毛利达1000余万元,商业毛利3200余万元。由于SRM价格不高,用量少,工艺添加简单,基本上不增加工艺成本,5mg中南海低自由基卷烟相对于不加SRM的5mg中南海卷烟每大箱成本只增加28元。

利用降低卷烟侧流烟气技术研制生产的低侧流烟气白沙卷烟,2001年和2002年销售近4万多箱,创利税4亿多元。

上海烟草(集团)公司采用综合的降焦减害技术研制开发的绿“双喜”烤烟型卷烟,2002年5月1日上市至2002年10月,共销售3349大箱,销售税金1142万元,销售利润765万元,销售利税合计1907万元,销售利润率达24%。

广东梅州卷烟厂应用神农萃取液于卷烟生产,研制开发出高档次的“五叶神”牌低危害卷烟,2001年,产品销售达10000大箱;2002年产品销售达25000大箱。

长沙卷烟厂利用含纳米贵金属催化材料降低CO的技术,研制开发出了低焦油、低CO的“白沙”(和)牌卷烟。该产品是我国第一个低焦油、低CO烤烟型卷烟,焦油释放量和CO释放量均低于10mg,同时保持了烟香高雅、余味舒适的高档烟的品质。2002年将销售300箱,实现销售收入513万元,利税397万元,2003年计划生产超过10000箱,实现销售收入2亿元,利税1.5亿元。

#### 4 结束语

吸烟与健康是一个全社会关注的问题,是烟草行

业必须面对并且需要认真解决的问题。烟草行业的决策者正是出于这些考虑,从保护消费者身体健康的角度出发,大力支持、鼓励烟草卷烟生产企业不断采用新的降焦减害技术,提高吸烟的安全性。

本研究建立了具有国际先进水平的卷烟烟气中苯并[ $\alpha$ ]芘、TSNAs和自由基分析检测方法,系统研究了降低卷烟烟气中自由基的技术、应用纳米催化材料降低卷烟烟气中CO的技术、利用新型NaY分子筛降低卷烟烟气有害成分的技术、降低卷烟侧流烟气的技术和应用神农萃取液降低卷烟危害的技术,这些具有国际领先水平的创新性研究成果,可以显著地降低卷烟烟气中的苯并[ $\alpha$ ]芘、TSNAs、自由基和CO等,而又保持卷烟的原有风格基本不变,使消费者既能满足消费,又尽量减少身体受到损害,必将产生良好的社会影响,成为卷烟产品未来发展的趋势。

### Studies on technologies of removal of harmful components in cigarette smoke

Wang Yanting<sup>1</sup> Xie Jianping<sup>2</sup> Zhang Hong<sup>1</sup> Zhao Mingyue<sup>2</sup>

1 State Tobacco Monopoly Administration, Beijing 100053

2 Zhengzhou Tobacco Research Institute, Zhengzhou 450000

#### Abstract

Smoking and health is always the focus topic in the world. Tobacco industry takes this topic on its obligatory duty all along. Reducing tar and removing harmful components of cigarette smoke is the most important task of the State Tobacco Monopoly Administration (STMA) of China. In the research project "Studies on technologies of removal of harmful components in cigarette smoke", some new technologies, methods and materials were developed. Several researches on technologies of reducing sidestream smoke of cigarettes, removing tar, CO, tobacco-specific N-nitrosoamines, benzo(a)pyrene, phenols and free radicals of mainstream smoke of cigarettes were explored. The methods of determination of Tobacco Specific N-Nitrosoamines, benzo(a)pyrene, benzo(a)anthracene and cyrene in Total Particulate Matter, free radicals in cigarette smoke were systemically investigated. After three years research work, some important achievements were attained and several cigarette products were developed. It could be concluded that the harmful constituents of cigarette smoke in China would be remarkably reduced in the future.

**Key words:** Cigarette smoke Tobacco-specific N-nitrosoamines Benzo(a)pyrene Free radicals Carbon monoxide Tar Sidestream smoke