

[综述·专论]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.05.019

# 卷烟滤嘴的过滤结构研究进展

吴君章<sup>1</sup>, 黄翼飞<sup>1</sup>, 曾劲松<sup>2\*</sup>, 唐大荣<sup>2</sup>

(1. 广东中烟工业有限责任公司, 广东 广州 510610;  
2. 华南理工大学轻工科学与工程学院, 广东 广州 510640)

**摘要:**目前卷烟滤嘴对主流烟气中的有害成分滤除效果不佳,提高滤嘴降焦减害效果以及改善吸烟口感成为研究的重点。笔者对卷烟滤嘴结构研究进展进行综述,分析了异型结构滤嘴通过改变主流烟气速度和行进路线,以及复合滤嘴结构利用多种滤材不同形式复合方式实现显著提高降焦减害效果,提出经过特殊设计能够实现自由改变通风度和焦油量,改善卷烟口感的新型结构滤嘴,通过结构模块化能够形成不同类型滤嘴,满足消费者多元化的需求。在保持卷烟口感前提下,环保滤材和具有优良降焦减害效果的滤嘴未来将会广泛应用到卷烟产品上。

**关键词:**卷烟滤嘴;滤嘴结构;过滤机理;通风度;焦油量

中图分类号:TS452 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)05-0086-05

## Filtration Structure Progress of Cigarette Filter

WU Junzhang<sup>1</sup>, HUANG Yifei<sup>1</sup>, ZENG Jinsong<sup>2\*</sup>, TANG Darong<sup>2</sup>

(1. China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510610, China;  
2. School of Light Industry and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In view of the current cigarette filter to filter the mainstream of harmful ingredients in the poor performance, in order to further improve the effect of reducing harm of the filter and improve the taste of smoking, research group summarized filtration structure progress of cigarette filter, analyzed the special filter structure by changing the mainstream smoke velocity and route and the composite filter structure by using a variety of different forms of composite filter to significantly improve the effect of reducing harm, the new structure filter was specially designed to realize the freedom to change the ventilation and tar content to improve the taste of cigarettes, through the modularization of the structure, different types of filter were formed to meet the diverse needs of consumers. In the premise of maintaining the taste of cigarettes, environmental filter material and excellent reduction effect of the filter will be widely used in the future of cigarette products.

**Keywords:** cigarette filter; filter structure; filtration mechanism; ventilation; tar content

吸烟造成的环境污染和健康危害是全世界面临的一个迫切改善的问题。卷烟烟气是由超过3 800种化合物组成的复杂体系,它是由气态中挥发性和半挥发性、蒸汽态及固态物质组成的复杂气溶胶,卷烟烟气含有各种有毒化合物和致癌物质,如尼古丁和焦油等<sup>[1]</sup>。为了降低烟草烟气中有毒成分,国内外科研人员从滤嘴结构和材料、主流烟气成分等方面对滤嘴展开了一系列研究。李艳平<sup>[2]</sup>等对不同结构滤嘴的烟碱截留效率进行分析,结果发现:在其他条件一样的情

况下,4种不同结构滤嘴的烟碱截留能力有:外置沟槽滤嘴>内置沟槽滤嘴≈普通滤嘴>空腔滤嘴。田保中<sup>[3]</sup>等研究了用蚕丝纤维制成的滤棒对卷烟主流烟气的影响,结果表明:蚕丝纤维在吸附过滤香烟主流烟气中醛类物质方面具有非常明显的效果。Yousef Molaeipour等<sup>[4]</sup>研究了含电纺丝纳米纤维添加剂的三元复合滤嘴,中段为纳米过滤介质,靠近烟丝端以及抽吸端为醋酸纤维滤棒,发现当纳米纤维的平均直径为280 nm时,滤嘴过滤效率从47.7%提高到71.6%,焦

收稿日期:2016-11-16;修回日期:2017-06-07

第一作者简介:吴君章(1983),男,广东梅州人,硕士,工程师,主要研究方向为烟草化学。E-mail:wujunzhang0116@163.com

油去除效率显著提高,而压降受影响较小。同时焦油尼古丁比降低。随着纳米纤维的平均直径增大,过滤效率急剧下降。随着对卷烟滤嘴不断深入研究,开发出口感饱满且降焦减害效果明显的滤嘴是科研人员研究的重大课题之一。

## 1 滤嘴对主流烟气的过滤机理

滤嘴在卷烟中至关重要,可以有效地滤除主流烟气中部分有害成分,如烟碱、焦油、CO、尼古丁和醛类物质等,甚至包括烟草中特有的亚硝胺。为实现对主流烟气降焦减害的处理,研究滤嘴对主流烟气的过滤机理是非常必要的。Keith<sup>[5-7]</sup>最先对滤嘴过滤机理进行了研究,结果表明惯性碰撞、扩散沉积和直接拦截是过滤烟气粒子的主要方式。Overton<sup>[8]</sup>研究了惯性碰撞、扩散沉积和直接拦截这3种过滤方式对烟气粒子截留的效率,结果显示,扩散沉积和直接拦截对烟气粒子的截留发挥着主要作用,而惯性碰撞的贡献率较小。

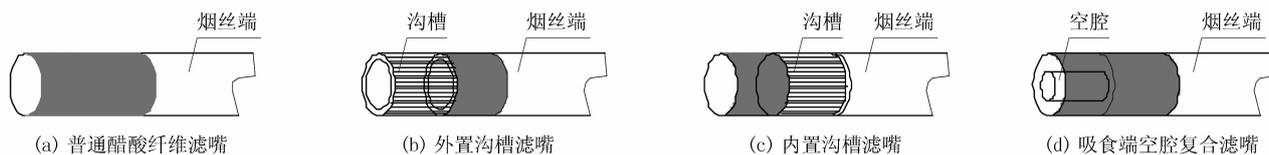


图1 滤嘴主要结构

Figure 1 Main structure of filter

### 2.1 普通单一滤嘴

普通单一滤嘴是最早发展起来的卷烟过滤嘴,有醋纤滤嘴、聚丙烯纤维滤嘴和纸滤嘴。

#### 2.1.1 醋纤滤嘴

醋酸纤维是以棉花纤维、木材纤维为原料乙酰化后再经纺丝工艺纺制得到的纤维。由于醋酸纤维具有无毒、无味,吸湿性好,抗静电等特性,且具有良好的弹性和尺寸稳定性,还能对某些物质有很好的吸附特性<sup>[11]</sup>。利用醋酸纤维制成的卷烟过滤嘴在保持口感的前提下还能除去烟气中某些有害成分。其主要缺点是成本较高,工艺比较复杂,且不能吸附烟气中其他有害物质如醛类化合物、苯和甲苯等。目前醋酸纤维滤嘴是卷烟厂商常用的滤嘴结构之一,在市场占有一定的份额,是大多数卷烟消费者可以接受的机械过滤嘴。

#### 2.1.2 聚丙烯纤维滤嘴

20世纪70年代末,欧美等国成功研发了以聚丙烯纤维为原材料的卷烟滤嘴。聚丙烯纤维性质比较稳定,在化学和物理性质方面有很多优点,其主要特点是回潮率低、强度高,化学性质稳定,熔点低。聚丙烯纤维滤嘴相对醋酸纤维滤嘴成本更低,而且能有效过滤

此外,重力沉降、热扩散和涡旋扩散等截留机理也有一定的作用<sup>[9]</sup>。

## 2 滤嘴结构发展

自20世纪30年代卷烟滤嘴出现以来,科研人员通过大量的试验探究,不断开发在保持卷烟口感的基础上又能发挥降焦减害效果的滤嘴<sup>[10]</sup>。为进一步实现降焦减害,不断改进滤嘴结构,异型结构和复合结构等特殊滤嘴出现在市场上。目前,常用的滤嘴主要有以下几种结构:①普通醋纤滤嘴;②外置沟槽滤嘴;③内置沟槽滤嘴;④吸食端空腔复合滤嘴。如图1所示,普通醋酸纤维滤嘴结构简单,无毒、无味,具有良好的弹性和热稳定性,因而被大众广泛接受。外置及内置沟槽滤嘴中的特殊压纹沟槽能够改变烟气在滤嘴中的行进路线,对烟气颗粒物有很好的过滤作用。吸食端空腔复合滤嘴,在满足口感要求的同时发挥降焦减害的作用。

烟气中某些有害物质如焦油、烟碱和一氧化碳等。但聚丙烯纤维作为滤嘴材料有滤嘴接装率低、气阻小、成棒率低等特点,并且聚丙烯纤维滤嘴抽吸口感不及醋酸纤维滤嘴,伴有酸味。目前,聚丙烯纤维滤嘴主要应用于中低端卷烟<sup>[12]</sup>。为了改善聚丙烯纤维滤嘴降焦减害性能,近年来相继推出改性聚丙烯纤维滤嘴,其降焦减害能力提高,抽吸口感也有改善。

#### 2.1.3 纸滤嘴

20世纪20年代纸滤嘴在英国烟草市场兴起。纸滤嘴是使用较早的卷烟滤嘴之一,采用的材料一般为干法膨化工艺的膨化纸和湿法成形的皱纹纸,其优点是成本较低,相比于醋酸纤维有更强的生物降解性,且过滤卷烟烟气中的有害成分如焦油、烟碱的能力更强。但纸滤嘴缺点也同样明显,主要表现为材质硬度小、质地软,导致抽吸过程易发生热塌陷,使得滤嘴变形,造成吸阻变大从而吸食困难。相对醋酸纤维滤嘴良好的抽吸口感,纸滤嘴抽吸过程中口感干涩,有“纸的味道”<sup>[13]</sup>。纸滤嘴在现今的卷烟市场慢慢处于边缘化。

## 2.2 特殊滤嘴

随着时代发展以及消费者对吸烟健康要求越来越

高,传统的单一结构滤嘴已经无法满足消费者的要求。特殊卷烟滤嘴的研究为满足降焦减害以及保持卷烟口味的要求提供了新的思路,成为了现今科研人员又一重要课题。

### 2.2.1 异型结构滤嘴

异型结构滤嘴具有独特结构设计能够显著改变烟气流动的速度和行进路线,大大提高了烟气中焦油、烟碱等有害成分的截留效率,实现了降焦减害的目的。异型结构滤嘴有沟槽滤嘴、空腔滤嘴等<sup>[14]</sup>。

#### 1) 沟槽滤嘴

盛培秀<sup>[15]</sup>研究了卷烟沟槽纸与沟槽结构对焦油滤除的影响,结果表明:沟槽结构一定程度上改变了烟气流行进路线,提高了焦油滤除效率,对烟气降焦减害作用明显。并比较了不同形状的沟槽滤嘴过滤效率,发现矩形沟槽、三角形沟槽和梯形沟槽滤嘴与普通醋纤滤嘴相比,其卷烟主流烟气中的总颗粒物都有所降低且梯形沟槽滤嘴效果最好。李海锋<sup>[16]</sup>等研究了通过打孔接装纸和沟槽滤棒的配伍性,可以全面有效的降低烟气中焦油、烟碱及一氧化碳量。曾立和吴飞<sup>[17]</sup>发明的调控式微孔沟槽滤嘴可以根据不同卷烟设计的要求对微孔状态或沟槽的状态进行调试,使滤嘴具备了新的气体通透方式,有益于卷烟降焦减害的吸食品质和安全性要求。为了进一步提高卷烟降焦减害的效果,科研人员研制出了改进结构的沟槽滤嘴,如截点式沟槽、间断式沟槽(如图2所示)、网格沟槽、V型沟槽和斜纹沟槽(如图3所示)等<sup>[18-21]</sup>。另外,通过对滤嘴进行通风打孔处理能进一步地稀释降低烟气中的有害成分。胡素霞等<sup>[22]</sup>制备了一种通风稀释沟槽滤嘴(如图4所示),其结构简单,不增加成本,在水松纸和沟槽纸上打通风孔,能提高过滤稀释及通风效果,能显著降低烟气中焦油及其它有害成分。

#### 2) 空腔滤嘴

韩勇<sup>[23]</sup>等发明了一种中空异型滤嘴,其中空滤芯使滤嘴有一段规则的空腔,形成一个低压通道,能够显著提高对烟气中焦油的过滤效率。王诗太<sup>[24]</sup>等制备的异型结构卷烟滤嘴(如图5所示),其圆柱形异构基棒轴心为柱状空腔,外围等间距分布有3~8个圆弧形凹槽。能够有效地改变烟气流动路径,从而改变烟气过滤效率,与普通的沟槽或醋纤棒相比,具有较低的一氧化碳焦油比。刘鑫<sup>[25]</sup>等开发的全中空式过滤嘴卷烟,结构简单,抽吸时吸阻小,能够有效地减少焦油和二氧化碳的释放量。

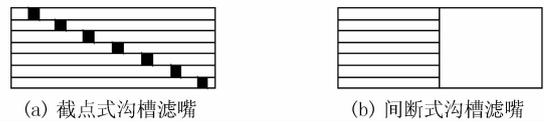


图2 截点式和间断式沟槽滤嘴平面图

Figure 2 Plane graph of cut-off and intermittent groove filter

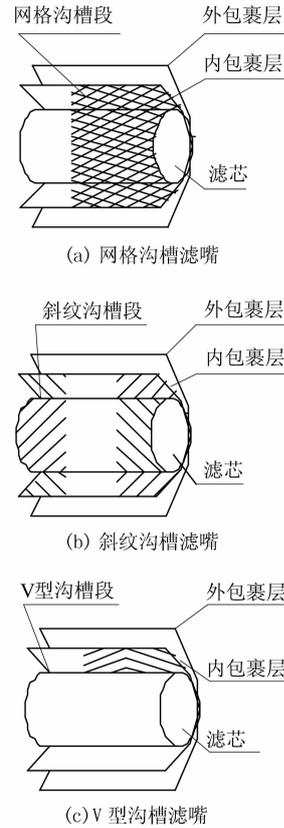


图3 网格沟槽、斜纹沟槽和V型沟槽滤嘴结构示意图

Figure 3 Diagram of grid groove, twill groove and V-shaped groove filter structure

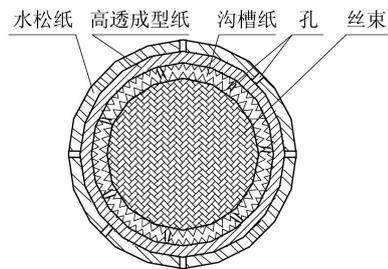


图4 通风稀释滤嘴剖视结构示意图

Figure 4 Section structure of ventilation dilution filter

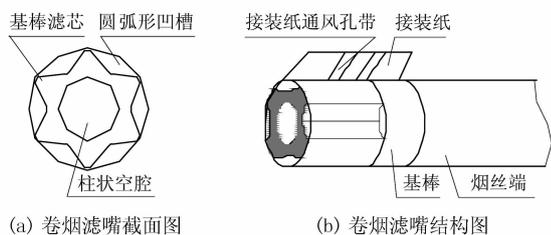


图5 卷烟滤嘴截面图及其结构图

Figure 5 Diagram of cigarette filter cross section and structure

### 2.2.2 复合结构滤嘴

复合结构滤嘴一般包括异型结构复合滤嘴,异型结构和其他滤材复合的滤嘴,不同滤材的二元、多元复合滤嘴以及多种滤材混合滤嘴。复合结构滤嘴能够有效减少焦油释放量,能够针对性地吸收烟气中的有害成分<sup>[25]</sup>。2002年布朗-威廉姆森公司<sup>[26]</sup>推出了三复合活性炭滤嘴,能有效地吸附烟气中挥发性的有害成分,大大降低烟气中的有害物质,但不能滤除一氧化碳。林健等<sup>[27]</sup>制备的同轴芯沟槽滤嘴,具有较好的降焦减害以及滤除一氧化碳效果。黄彪等<sup>[28]</sup>将纸、醋纤及活性炭吸附剂等多种滤材制成多元复合滤嘴,可以很好地提高焦油的滤除效率,更多地吸附烟气中的有害成分。陈潜等<sup>[29]</sup>制备了一种醋酸纤维与纸质木浆纤维混合成型的同芯滤棒,该滤棒吸附性能强于普通醋纤滤棒,具有更好的降焦减害效果。

### 2.3 新型滤嘴结构

目前,生产工艺相对简单,造价低的特殊滤嘴因其突出的降焦减害的效果,在国内外卷烟市场中备受青睐。不过随着制备工艺水平的提高,越来越多新型滤嘴结构出现在卷烟市场,赋予滤嘴不同的功效。周均等<sup>[30]</sup>发明了一种新型结构卷烟滤嘴(如图6所示),其吸收纤维纸和多层的棒状滤芯交替层叠,整个卷烟滤嘴棒犹如多层套管,使得抽吸口感更加醇厚丰满,显著提高了滤嘴的过滤效率。陈俊松等<sup>[31]</sup>提出了一种调节改变卷烟口感的卷烟,吸食过程拧一下滤嘴,空气从滤嘴包装纸裁切线进入,从而达到调节口感的作用。高占勇等<sup>[32]</sup>发明了一种结构模块化的卷烟滤嘴(如图7所示),该滤嘴内部为镂空设置,结构模块化将滤嘴分为若干结构单元,根据消费者吸食口味的差异,自由组合形成不同类型的滤嘴,满足消费者多元化的消费要求。Brown S E等<sup>[33]</sup>发明了非多孔微毛细管的滤嘴(如图8所示),能有效地降低一氧化碳量,微毛细管直径的改变能够调节焦油递送量,以增强吸烟体验。

Itabashi K等<sup>[34]</sup>发明了带有凹凸结构的空腔型滤嘴(如图9所示),能抑制过滤嘴外观的劣化,空腔内加入类似活性炭颗粒物能达到有效降焦减害的效果。胡素霞等<sup>[35]</sup>发明一种带镂空图案的卷烟滤嘴棒,该滤嘴棒不仅具有对烟气的过滤性能,还具有很强的防伪功能,能保护企业和消费者双方的权益不受侵害。为了能够迎合消费者口味的变化,一些改进的滤嘴纷纷上市,如自由选择通风度滤嘴及调节焦油量的滤嘴等<sup>[36-37]</sup>。

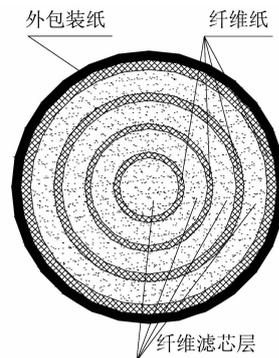


图6 滤嘴结构剖视图

Figure 6 Section structure of filter

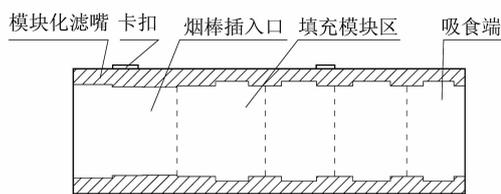


图7 结构模块化滤嘴结构示意图

Figure 7 Diagram of modular filter structure

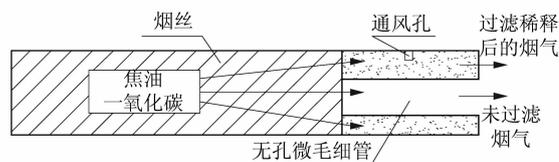


图8 非多孔微毛细管卷烟滤嘴侧视图

Figure 8 Side view of non micro capillary cigarette filter

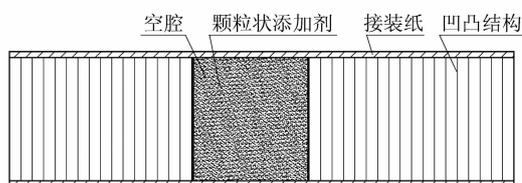


图9 带有凹凸结构的空腔型滤嘴结构示意图

Figure 9 Diagram of cavity filter with concavo-convex structure

### 3 结语

卷烟滤嘴是卷烟产品设计中的一个重要部分,在实现卷烟降焦减害中起到重要作用。烟草行业科技人员对卷烟滤嘴技术的研究从来没有停止,随着人们生活水平的不断提高,吸烟与健康,吸烟与环境等问题越来越受到广大消费者的重视,同时也是对烟草行业一种严峻的考验。进一步的研究应加大力度开发新型滤材和吸附材料及优异结构的滤嘴,将卷烟滤嘴功效与口感及成本等结合起来,研发出降焦减害效果更优的新型滤嘴,在保持卷烟本身口感的前提下具有更加优异过滤效果。

#### 参考文献:

- [1] SMITH C J, FISCHER T J. Particulate and vapor phase constituents of cigarette mainstream smoke and risk of myocardial interaction [J]. *Atherosclerosis*, 2001, 158(2): 257 - 267.
- [2] 李艳平, 文建辉, 彭斌, 等. 不同结构滤嘴的烟碱截留效率和空间分布模式[J]. *烟草科技*, 2013, 46(2): 57 - 61.
- [3] TIAN Baozhong, CHEN Ping, CHEN Jian, et al. Blocking and filter effect of Bombyx mori silkworm silk fiber filter tips against mainstream smoke of cigarettes [J]. *Materials and design*, 2009, 30(6): 2289 - 2294.
- [4] BAHRAMI H. Filtration performance of cigarette filter tip containing electrospun nanofibrous filter [J]. *Journal of industrial textiles*, 2014, 45(2): 187 - 198.
- [5] KEITH C H. The filtration of smoke particles-A theoretical development [C]//22nd Tobacco Chemists' Research Conference. Richmond, VA, America: Tobacco Literature Service, 1968.
- [6] KEITH C H. The particulate removal efficiency of cellulose acetate filters [C]//24th Tobacco Chemists' Research Conference. Montreal: Tobacco Literature Service, 1970.
- [7] KEITH C H. Physical mechanisms of smoke filtration [J]. *Recent advance of tobacco science*, 1978, 4: 25 - 45.
- [8] OVERTON R. Filtration of cigarette smoke; relative contributions of inertial impaction, diffusional deposition, and direct interception [J]. *Beitrag zur tabakforschung*, 1973, 7(3): 117 - 120.
- [9] 贾伟萍. 活性炭孔结构对主流烟气粒相物过滤效率的影响[D]. 郑州: 郑州烟草研究院, 2010: 7 - 10.
- [10] 喻昕, 刘建福, 刘德华. 卷烟滤嘴过滤效率研究概述[J]. *烟草科技*, 2003, 36(1): 9 - 13.
- [11] 马君志, 葛红, 穆晓梅. 醋酸纤维工业的发展现状[J]. *上海纺织科技*, 2006, 34(9): 15 - 17.
- [12] 王爱萍, 高玉杰. 卷烟过滤嘴材料[J]. *天津造纸*, 2005, 27(2): 14 - 16.
- [13] 黄小雷, 刘文, 陈雪峰, 等. 纸质滤嘴棒的研究进展[J]. *中国造纸*, 2013, 32(11): 58 - 61.
- [14] 金勇, 王诗太, 李克, 等. 卷烟滤嘴在降焦减害中的研究进展[J]. *烟草科技*, 2016, 49(11): 98 - 106.
- [15] 盛培秀. 沟槽醋酸纤维滤嘴的开发[J]. *烟草科技*, 2004, 37(4): 17 - 19.
- [16] 李海锋, 汤德芳, 王辉. 沟槽滤嘴对中式低焦油卷烟主流烟气的影响[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(28): 14022 - 14024.
- [17] 曾立, 吴飞. 调控式微孔沟槽滤嘴: CN200610010840. 1 [P]. 2006-09-27.
- [18] 王毅, 白红军, 蒋连华, 等. 截点式沟槽滤嘴棒: CN03216552. 8 [P]. 2004-07-07.
- [19] 东传斌, 朱红, 金钟国, 等. 网格沟槽滤棒: CN201320200660. 5 [P]. 2013-10-09.
- [20] 东传斌, 朱红, 金钟国, 等. 双斜纹沟槽滤棒: CN201320200663. 9 [P]. 2013-09-04.
- [21] 东传斌, 朱红, 金钟国, 等. V形纹沟槽滤棒: CN201320200662. 4 [P]. 2013-09-04.
- [22] 胡素霞, 程占刚, 叶明樵, 等. 通风稀释沟槽滤嘴棒: CN200820066360. 1 [P]. 2009-01-21.
- [23] 韩勇, 邓勇, 费翔, 等. 中空异型滤棒: CN20102018353. 2 [P]. 2010-05-11.
- [24] 王诗太, 金勇, 钟科军, 等. 一种异型结构卷烟滤嘴: CN201310404211. 7 [P]. 2014-01-01.
- [25] 刘鑫, 张耀华, 程炳发. 全中空式过滤嘴卷烟: CN201220290967. 4 [P]. 2012-06-22.
- [26] SHEPHERD R J K. New responses to a changing commercial climate [J]. *Tobacco journal international*, 2002(1): 54 - 56.
- [27] 林健, 盛培秀, 唐荣成, 等. 同轴芯沟槽联合功能滤棒: CN200920041455. 9 [P]. 2013-09-25.
- [28] 黄彪, 林健, 盛培秀, 等. 多元复合滤嘴及多元复合滤棒: CN201120292080. 4 [P]. 2012-06-20.
- [29] 陈潜, 谭新良, 金云, 等. 一种丝束与纸混合成型的同心滤棒: CN201210155525. 3 [P]. 2012-09-19.
- [30] 周均, 肖世新. 一种新型结构的卷烟滤嘴: CN200520015729. 2 [P]. 2006-11-22.
- [31] 陈俊松, 陆俊平, 马晓伟, 等. 一种改进的卷烟滤嘴: CN201620249658. 0 [P]. 2016-08-24.
- [32] 高占勇, 王慧, 华一崑, 等. 一种结构模块化的卷烟滤嘴: CN201620230982. 8 [P]. 2016-09-07.
- [33] BROWN S E, SANCHEZ L A. Smoking article such as cigarette, has filter segment comprising tubular filter structure which surrounds non-porous microcapillary tube centered axially within filter structure: US2016165950-A1 [P]. 2016-06-16.
- [34] ITABASHI K, KATO K, HAMAMOTO N. Filter of cavity filling type used for filling cavity between filter segments with particulate-form additive for cigarette, has uneven structure that is formed in outer peripheral surface of left and right filter segments: WO2016151681-A1 [P]. 2016-09-26.
- [35] 胡素霞, 王建新, 叶明樵, 等. 带镂空图案的卷烟滤嘴棒: CN200920086480. 2 [P]. 2010-07-28.
- [36] 向能军, 刘强, 刘志华, 等. 一种可以自由选择通风度的卷烟滤嘴: CN201610228042. X [P]. 2016-07-20.
- [37] 何沛, 王昆森, 刘春波, 等. 一种可以调节焦油量的伸缩卷烟滤嘴: CN201520814544. 1 [P]. 2016-03-23.