

郭新月, 杨占平, 宋晓梅, 等. 加热不燃烧卷烟烟气降温技术研究进展 [J]. 中国烟草学报, 2020, 26 (3). GUO Xinyue, YANG Zhanping, SONG Xiaomei, et al. Research progress of cooling technology of heat-not-burn cigarette smoke[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26 (3). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2019.206

加热不燃烧卷烟烟气降温技术研究进展

郭新月¹, 杨占平², 宋晓梅², 徐阳^{1*}

1 生态纺织教育部重点实验室(江南大学), 纺织科学与工程学院, 江苏无锡滨湖区蠡湖街道1800号 214122;

2 南通醋酸纤维有限公司, 江苏南通钟秀中路109号 226008

摘 要: 加热不燃烧卷烟(加热烟草制品)以其抽吸质量与抽吸习惯与传统卷烟类似、释放有害成分少、无阴燃等特点而受到市场青睐。针对其入口烟气温度过高这一技术难题, 本文汇总与分析了近年来的加热不燃烧卷烟烟气降温技术相关专利, 总结了降温材料和降温结构的应用问题, 展望了加热不燃烧卷烟降温技术的发展方向。

关键词: 加热不燃烧卷烟; 烟气降温; 降温材料; 降温结构

传统卷烟点燃后最高温度近千摄氏度, 烟草高温燃烧裂解可释放出大量化学物质, 其中部分有害成分在人体内累积到一定程度会对人体健康造成损害, 因此, 其各类替代物, 如口含烟、嚼烟、电子雾化烟、加热不燃烧卷烟(heat-not-burn cigarette, HnB 卷烟)等新型烟草制品广泛出现在市场上。在各类新型烟草制品中, HnB 卷烟在抽吸质量与抽吸习惯上均接近传统卷烟。

由于以密闭加热代替燃烧使烟草成分蒸馏和裂解释放烟气, 且加热温度在 200℃~400℃, HnB 卷烟产生的有害成分减少、无阴燃, 有害成分释放量相对较低, 但与此同时其释放烟气量与烟气浓度较低。为满足吸烟者要求, 此类卷烟一般长度较短、烟气吸阻较低, 以改善入口烟气口感。文献表明传统卷烟烟气在被吸入消费者口腔之前经烟条与滤棒过滤后, 温度会有所下降, 但到达口腔的主流烟气温度仍能够达到 35℃~90℃^[1], 在抽吸接近结束的前 2~3 口抽吸时, 滤嘴端的烟气温度最高可达 70℃~80℃, 在深度抽吸模式下滤嘴端的烟气温度最高温度可达 100℃左右^[2], 无滤棒卷烟烟气主流温度

还要提高 28% 左右^[3], 消费者之所以未感觉灼热是因为烟气相对干燥, 而 HnB 卷烟产生的气溶胶虽然本身温度较低, 但由于加热温度低, 烟气含水量高, 且烟气通路缩短, 到达口腔的主流烟气感官温度还要高于传统卷烟^[4]。

调查显示, 与饮用常温茶(低于 60℃)的人群相比, 经常饮用热茶(60℃~64℃)及烫茶(高于 65℃)的人群患食道癌的风险分别增加 2.07 倍及 8.16 倍^[5]; 每饮用 1 mL 65℃ 的咖啡, 食道内平均温度可上升 0.381℃^[6]。一般情况下, 同一参比状态下, 同一物质固、液、气态热焓量依次增加^[7], 即其热能含量依次增加, 也即摄取同样温度的固、液、气体时, 人体的感官温度依次增加, 因此消费者吸食 HnB 卷烟时会有一定的灼热感, 且对消费者口腔黏度、气管粘膜等造成一定损伤, 卷烟抽吸后段由于烟气热交换时间的进一步缩短导致灼热感更甚, 影响卷烟抽吸品质。目前国内外在此方面进行了大量研究, 研究成果主要以专利的形式呈现, 其降温措施主要集中在添加降温材料和设计降温结构两方面。

基金项目: 国家青年自然科学基金项目(No.51603090); 2018 年江苏省研究生科研创新计划项目(No.KYCX18_1835)

作者简介: 郭新月(1996—), 在读硕士研究生, 研究方向为烟气快速降温材料制备及降温模型构建, Tel: 19121737059, Email: 18264392263@163.com

通信作者: 徐 阳(1964—), Tel: 13906185150, Email: zh3212@vip.sina.com

收稿日期: 2019-06-28; **网络出版日期:** 2020-03-24

1 添加降温材料

要实现 HnB 卷烟的烟气降温，最简单可行的方案是通过在卷烟过滤段添加降温材料，如吸热材料、储热材料、导热材料等，实现烟气热量的转移。

1.1 相变降温材料

相变降温是指利用相变材料处于高于其相变温度的环境中或与温度高于其相变温度的物体接触时，会吸收热量进行相态转变的特性，使高温环境或物体温度降低而自身温度接近等温的过程。

1.1.1 聚乳酸类相变降温材料

菲利普莫里斯生产公司（Philip Morris Products S.A.，下文简称 PMP 公司）最早提出利用表面褶皱的聚乳酸薄片作为气雾冷却元件，将其折叠聚集成多条纵向延伸的通道后包裹在包裹材料中形成柱状滤棒。一方面高温烟气在穿过聚乳酸聚合体会使其达到玻璃化转变温度，聚乳酸发生玻璃化转变吸热，消耗烟气热能；另一方面烟气中的水蒸汽经过聚乳酸聚合体会在其表面凝结，使烟气被干燥，感官温度较

湿润烟气低^[8-9]。经测试，该冷却元件可使入口烟气温度降低 14℃~23℃。由于卷曲的聚乳酸片材较为昂贵，PMP 公司又提出在 HnB 卷烟中加入了一段中空管替代部分聚乳酸冷却元件段，使卷烟总长不变^[10]。

在聚乳酸薄片的实际使用中，人们发现聚乳酸薄片与高温烟气接触发生玻璃态转变后会出现熔化粘结现象，最先接触烟气的薄片端黏连和塌陷严重，甚至堵塞纵向延伸的烟气通道，烟气不再流经聚乳酸薄片内部，降低了烟气与冷却元件的接触面积，导致烟气温度过高，吸阻过大、烟气浓度受到影响，消费者抽吸品质下降^[11]。为改善这一问题，可在聚乳酸薄片降温段纵向贯穿开孔，有利于薄膜熔融收缩后留下的空间和后段薄膜的孔形成烟气通道，保持烟气通道的顺畅性^[12]；还可通过在薄片表面（一面或两面）覆盖透气性和导热性良好的多孔支撑材料加以改善^[11]。

作为各烟草公司相变降温材料的首选，各类形态的聚乳酸材料均可用于 HnB 卷烟的烟气降温，表 1 列举了使用聚乳酸作为降温材料的相关专利及其降温效果。

表 1 使用聚乳酸作为降温材料的相关专利及其降温效果

Tab.1 Related patents on the use of poly (lactic acid) as cooling materials and its cooling effect

降温材料	降温幅度 /℃	参考文献
聚乳酸 / 铝箔复合薄膜	>25	[13]
聚乳酸实心几何体	≥ 11	[14]
聚乳酸颗粒	≤ 14.7	[15]
聚乳酸颗粒	20	[16]
聚乳酸涂料	14~18	[17]
含纵向直通通孔的聚乳酸 / 聚乙烯复合柱体	-	[18]
表面垂直负载聚乳酸附膜的聚乳酸薄膜	16~18	[19]
聚乳酸丝束	-	[20]
聚乳酸颗粒	-	[21]
锯齿状聚乳酸折叠薄膜	-	[22]
若干条形聚乳酸薄膜收拢成的束状聚乳酸	-	[23]
表面粘贴有纵向直通沟槽的聚乳酸薄膜的聚乳酸丝束	10~20	[24]
聚乳酸丝束编织管	-	[25]

1.1.2 聚乙二醇类相变降温材料

除聚乳酸材料外，聚乙二醇也是 HnB 卷烟中使用频率较高的一类相变材料，可将低、中、高分子量聚乙二醇以一定比例混合后再与香味物质混合，喷洒在滤嘴丝束上得到缓释香味的降温滤棒^[26-27]；或将聚乙二醇与丙二醇、十六醇混合后制成颗粒态、圆形

带状或涂料态吸热凝胶添加到滤棒中，可以降低烟气温度 1℃~8℃^[1]；还可将聚乙二醇与十六醇、烟用香味物质制成热感缓释凝胶涂布在用于卷制纸管最内层纸的内表面上，再与其他未涂布热感缓释凝胶的纸张以螺旋方式粘结、卷制成纸管，可降低烟气温度 1℃~7℃^[28]。在上述研究的基础上，专利^[29-30]进一

步发现当混合聚乙二醇相变材料中含低分子量聚乙二醇、中等分子量聚乙二醇和高分子量聚乙二醇中的至少两种时降温效果较好, 可将满足上述分子量条件的聚乙二醇混合后涂覆在表面(一面或两面)有褶皱形纹路的纸张或纸张材料制成的圆管或实心棒上, 用成型纸包裹后形成降温元件。

1.1.3 水合盐类相变降温材料

结晶水合盐是一类常见的无机低温固-液相变材料, 也可用于 HnB 卷烟的烟气降温, 常用十水硫酸钠、十水四硼酸钠、七水合硫酸亚铁、十二水合硫酸铝钾、十二水磷酸氢二钠、七水合硫酸镁、五水合硫酸铜中的一种或几种混合^[31-35], 可将其浸渍到膨胀石

墨中, 经干燥、结晶后添加到滤棒的靠烟丝端和/或靠近滤棒中间位置或者将其混合到整个滤棒的纤维束中^[31], 也可将其加热熔融后直接喷洒或浸泡在卷烟过滤嘴的滤棒上^[32], 或将其添加到纸浆浆液中得到含有结晶水化合物的原纸, 原纸折叠或卷制形成纵向贯穿的通道, 成型纸包裹后形成卷烟降温段^[34], 还可通过溶液浸没法、涂布法、喷淋法、粉末胶黏法中的一种将其负载到纸质载体上, 可将烟气温度降低 10℃ 以上^[35]。

1.1.4 其他类型相变降温材料

表 2 列举了除上述材料外, 还可用于 HnB 卷烟烟气降温的相变材料及其降温效果。

表 2 可用于 HnB 卷烟烟气降温的其他相变材料及其降温效果

Tab. 2 Other phase-change materials used for smoke cooling of heat-not-burn cigarette and their cooling effects

降温材料	入口烟气温度/℃	参考文献
C19~C21 直链烷烃/膨胀石墨和(或)多孔硅胶	35	[36]
低沸点香料	-	[20, 37]
胶粘剂	45	[38]
香紫苏醇升华材料	-	[39]
混合热致相变凝胶	-	[40]

1.2 水性降温材料

液态水的比热容为 4.2×10^3 (J/kg·℃), 是一种天然高效的储热材料, 因此蒸发降温是一种较为有效和廉价的方法, 主要是利用水分的蒸发吸热达到降温的目的, 一般需通过特定手段将液态水进行封装后在 HnB 卷烟中作为降温材料使用, 防止打湿卷烟、导致卷烟发霉等; 此外, 有一类化学物质溶于水时会发生吸热反应, 主要是铵盐和硝酸盐类物质, 如硝酸铵、硝酸钠、亚硝酸钠等, 可利用这一特性进一步强化 HnB 卷烟的烟气降温。表 3 列举了使用水性降温材料的相关专利及其降温效果。

2 降温结构设计

除通过在 HnB 卷烟中添加可以吸热、储热、导热的添加物以达到降低烟气温度的目的外, 还可结合卷烟结构的调整加强烟气降温效果, 如利用空腔缓冲储热、加长烟气通道、加强烟气与外界环境的热交换等。

2.1 空腔降温结构

理论上烟气的流通过程就是自然冷却的过程, 即便不采取其他降温措施, 只要距离够长, 中空空腔也能实现降温的目的, 此外, 中空空腔结合通风气孔使用, 能够进一步加快气溶胶冷却速率, 提高入口烟气舒适度。专利^[51]在烟丝段与醋纤段之间设置由耐热

硬质材料制成的中空缓冲段用于烟气降温, 也可在其上靠近嘴端一侧及对应位置外包成型纸上均设置沿圆周分布的通孔, 进一步强化冷却过程^[52]; 专利^[53]在分流段与嘴端间设置空腔混合室, 并设置通风气孔, 使高温烟气进入口腔前进行充分混合稀释, 达到降温目的; 专利^[54]同样在烟草段与过滤段之间设置有由热塑塑料围成的横截面积小于两端的冷却段, 一方面用于冷却烟气, 另一方面也可通过缩小烟气通道增加烟草段的使用时间; 也可在卷烟结构中采用双空腔结构^[12, 37, 55], 配合高透或打孔成型纸, 提高环境空气与高温烟气之间的接触。此外, 还可采用纵向含多条直通通道的多空腔降温结构, 如专利^[56]在有一定刚度实心柱体内形成从中心向径向扩散的沿轴向基本平行的大部分具有六边形或大体六边形截面形状的通孔或在柱状棒内插入彼此平行纵向延伸贯穿的中空管; 专利^[18]采用空腔段与多空腔段配合使用, 其结构如图 1 所示。另外, 还可通过在空腔内加入气流挡板, 加强烟气的碰撞与热量损失, 从而达到降低烟气温度的目的, 如专利^[57]在垂直于空腔轴向设截流隔板, 隔板上设节流通孔, 其结构如图 2 所示, 高温烟气通过空腔时, 在各区域内形成缓冲扩散与节流压降, 可实现分段式节流降温的目的; 专利^[58]将隔板数量减小至两个, 且设置在空腔两端。

表 3 使用水性降温材料的相关专利及其降温效果

Tab.3 Related patents on the use of water-based materials as cooling materials and their cooling effect

降温材料	降温原理	参考文献
含水热敏胶囊	胶囊遇热破裂释放液态水，蒸发降温	[16]
分子囊化保湿剂涂层	涂覆在卷烟纸表面，可降低烟气灼热感与刺激性	[41]
封存纯净水、食盐水等的螺旋线状毛细管道	毛细管道外为烟气通道，烟气流经时与毛细管道内封存液体换热降温	[42]
封存在内层脆性保护膜和外层柔性多孔保护膜内的高吸水性材料	使用前通过揉捏滤嘴使内层脆性膜破裂，卷烟烟气透过外层保护膜与内芯接触降温	[43]
吸附一定倍率饱和盐溶液的高分子吸水树脂	高温烟气通过时高分子吸水树脂内部水分蒸发，吸热降温	[44]
遇水吸热盐类化合物（硝酸铵、氯化铵等）与液态水	盐类化合物装在外层封闭软质塑料管内，液态水装在其内两端封闭的玻璃薄管内，使用前通过折弯使玻璃薄管破裂，水分流出与盐类化合物混合吸热，降低烟气温度	[45-46]
NH_4NO_3 或 NH_4Cl 或 NH_4Cl 和 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 混合物颗粒或粉末与液态水	液态水填充在双层爆珠最内层，爆珠内层膜与外层膜之间包裹有所述颗粒或粉末，吸烟前通过挤压使爆珠内层膜破裂，内外层之间的化学物质遇水发生吸热反应，使卷烟烟气温度降低	[47]
封装在易碎胶囊中的低沸点冷却液，如乙醇等	利用冷却液蒸发的显热降温，泄露的冷却液可被周围填充的吸湿性与湿强度良好的褶皱卷烟滤纸吸收	[48]
尿素和水	液态水封装在易碎明胶化合物胶囊中，胶囊外层为被高抗破裂弹性橡胶载体封装的尿素，抽吸时捏破内层封装，二者相遇发生吸热反应，降低烟气温度	[49]
储存水或葡萄糖的液冷通道	烟气通过储存有水或葡萄糖的曲折通道后进行换热降温	[50]

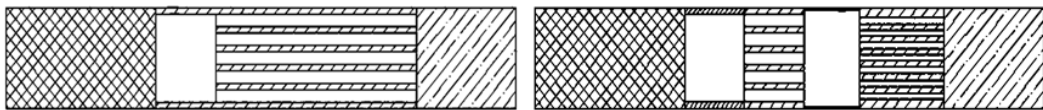


图 1 空腔 / 多空腔复合降温结构^[18]

Fig.1 The compound cooling structure of cavity/multiple cavity^[18]

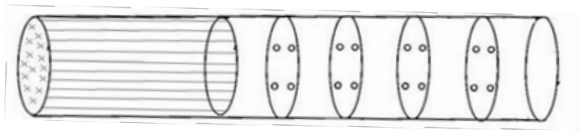


图 2 含通孔的截流隔板降温结构^[57]

Fig.2 The cooling structure of intercepting partition with through-hole^[57]

2.2 加长烟气通道

仅通过空腔虽然在一定程度上也能实现 HnB 卷烟烟气降温的目的，但降温效率有待增强，且其有效降温是建立在空腔达到一定长度的基础上，而这会导致卷烟总长过度延长，进而带来烟气浓度的下降，影响抽吸感受等问题，因此要在卷烟总长一定的前提下

加长烟气通道，同时可进一步通过降温材料的配合，实现降温幅度的提高、降温速度的加快。

日本烟草公司采用平行于横截面盘绕的螺旋形弯曲通道作为烟气冷却通道，其俯视图如图 3 所示，划线处为烟气流通路径，通道表面还设有周期性隆起的突出部，更有利于烟气碰撞换热，加大烟气降温幅度^[59]。

韩国烟草人参公社采用纤维束编织管降温结构,其结构如图4所示,编织管至少含一个纵向直通通道,可用于填充纤维束、直径适宜的另一纤维编织管或卷曲的相变纤维材料片,强化烟气冷却效果。该编织管结构可以使高温烟气在纤维丝之间流动,并可随纤维束的编织结构形成旋风状,加长烟气的流通路径、增加烟气在冷却结构中的停留时间,优化烟气降温效果^[25]。

还可通过使烟气在一定长度内来回弯折流动的方式加长烟气通道,如在空腔内设置多个上下交错平行排列的气流隔板^[60](如图5所示),可降低入口烟气的温度至低于45℃,或直接通过注塑成型的方式将降温元件加工成交错弯折结构(如图6所示),弯折处可采用直角结构(如图6(a)所示),也可采用圆角结构(如图6(b)所示))^[18]。

专利^[61]中采用的降温元件为内设三个及以上奇数个子腔体的管状结构,每个子腔体内设有多个交错分布的平行折流件,N个子腔体首尾依次连通,组成一个整体折流通道,其结构如图7所示。

专利^[62]将HnB卷烟的滤嘴加工成螺旋形空心管,其空腔为螺旋形烟气流道,使烟气能在其内螺旋流动,增长烟气流道、快速降低烟气温度;或滤嘴采用多孔柱状材料加工成的实心螺旋形结构,且螺旋形结构表面经热塑处理或其他处理,使其表面除螺旋形流道外的部分均不透气,螺旋形结构表面的烟气只能沿螺旋流动,增长烟气流道、快速降低烟气温度。

专利^[63]将滤棒包卷纸经加温、压皱、成型工艺后在其表面形成一种凸凹的褶皱,使高温烟气的流动路线由原来的直线型转变成曲折波浪型,加长烟气流通道,降低烟气的温度。

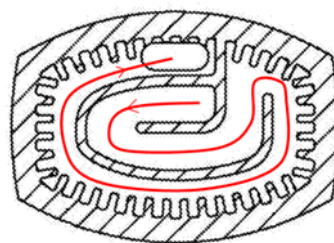


图3 螺旋烟气通道降温结构^[59]

Fig. 3 The cooling structure of spiral flue gas passage^[59]

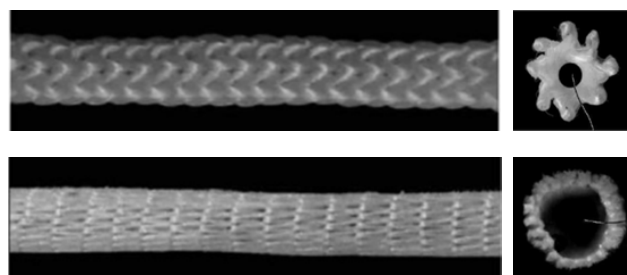


图4 纤维束编织管降温结构^[25]

Fig. 4 Cooling structure of fiber bundle braided tube^[25]

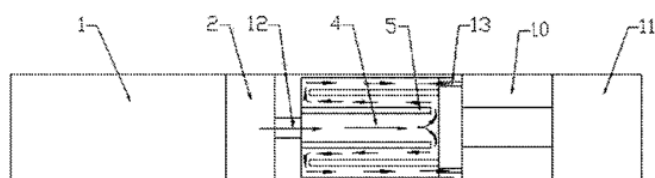
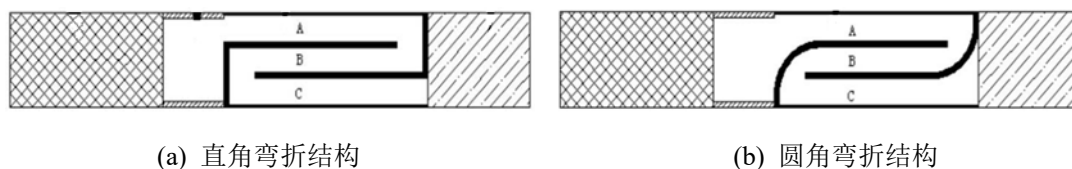


图5 平行交错气流隔板降温结构^[60]

Fig. 5 The cooling structure of parallel staggered flow baffles^[60]



(a) 直角弯折结构

(b) 圆角弯折结构

图6 注塑成型弯折烟气通道降温结构^[18]

Fig. 6 The cooling structure of injection molding bending flue gas passage^[18]

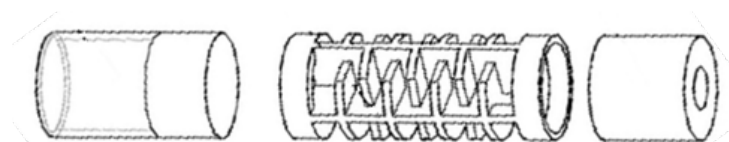


图7 多腔体折流烟气通道降温结构^[61]

Fig. 7 The cooling structure of multi-cavity baffling flue gas passage^[61]

2.3 文丘里管降温结构

文丘里管是指沿纵向横截面积由大变小再变大的管状体,也可将其应用于 HnB 卷烟的烟气降温领域,一方面高温烟气在流通过程中依次经历由粗变细再变粗的过程时,将先后经过压缩和膨胀两个状态实现冷却,另一方面烟气在通道由细变粗的瞬间会形成较强的负压,如果与高透或打孔成型纸配合,将有利于外界冷空气进入与烟气混合稀释降温^[64]。专利^[64-67]提出了如下几种文丘里管降温结构,如图 8(a)、(b)、(c)、(d)所示。图 8(b)将 HnB 卷烟中用于形成文丘里管的三段直径不同的空管简化为尖端相对的两段锥形空管^[65];图 8(c)中由于文丘里管的负压作用,烟气流出小直径气流隧道段时在空腔段内汇聚紊流且与外界进行充分的热量交换,小直径气流隧道段本身也可构成文丘里管结构,加剧气流流动过程中体积的变化及负压作用,加强降温效果,可降低烟气温度 6~8℃^[66];图 8(d)将过滤段远离嘴端一侧设为中空段,与前道一同构成文丘里管,达到降温效果的同时减少

了过滤材料的用量,可将烟气温度降低到 39℃ 以下^[67]。专利^[68]同样通过在冷却段周向设置锥形通风孔,利用文丘里效应加速气体流动,促使冷却段形成涡流,进而实现降温的目的。

3 多种降温方式复合

添加降温材料和降温结构设计作为降低 HnB 卷烟烟气入口温度的两大技术突破点常常复合使用,且卷烟中也可含多种降温材料或降温结构。如将聚乙二醇复合相变材料溶液喷洒到聚乳酸丝束上得到降温滤棒^[27];弯折通道之前加入空腔段对高温烟气进行缓冲、汇聚和初步降温^[18];在降温材料段两侧设置双中空嘴棒结构^[12, 37, 55],让嘴棒在两次抽吸的间隔时间内与环境冷空气及降温材料进行充分接触等。此外,上述降温结构中的各管材、隔板、通道壁材等均可采用降温材料构造或表面涂覆降温材料来加速烟气冷却过程,以期达到降温效果的优化。

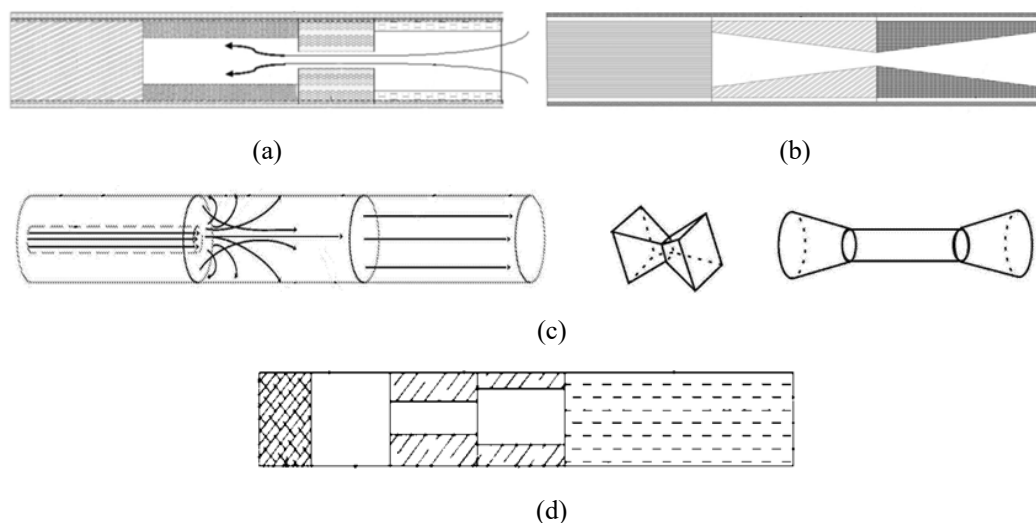


图 8 文丘里管降温结构^[64-67]

Fig. 8 Cooling structure of Venturi tube^[64-67]

4 结论与展望

本文对近年来 HnB 卷烟烟气降温技术相关专利进行了汇总与分析,目前的降温措施主要集中在添加吸热降温材料和设计降温结构两方面,基本能满足降温需求,但仍有一定的提升空间,未来可从以下几个方面进行深入研究,进一步提高降温幅度及效率。

首先,目前使用较为成熟的降温材料主要为聚乳酸,且主要利用其玻璃化转变过程吸热降温,一方面

成本较高,另一方面对其相变潜热造成一定的浪费,未来可加大对低成本、高吸热效率、安全环保无污染降温材料的开发。此外,应注意降温材料与消费者的接触安全性问题,对其进行安全有效的封装。

其次,本文提及的降温结构大多是较为复杂的复合结构,可对其进行进一步简化达到所需的降温效果,同时为实现理论技术的实际转化,还需进一步考虑降温结构的可实现性与可操作性。

最后, 本文资料来源多为国内外烟草企业专利, 除少数降温措施外, 大多缺乏市场实际应用与实践, 且专利中涉及到的参数及优化调整也较少, 未来需针对上述降温措施的实际应用效果进行模拟和表征, 针对重要参数进行必要的测试与优化, 如降温材料添加量(若为复合降温材料还需探讨其配比等)、降温模型轮廓数值(长度、厚度、数量等), 切实做好专利的实际技术转化。

参考文献

- [1] 杨涛, 周瑾, 方舟, 等. 一种能够降低卷烟主流烟气温度的卷烟滤棒: 201710191528.5[P]. 2017-03-28.
YANG Tao, ZHOU Jin, FANG Zhou, et al. A cigarette filter rod that can reduce the temperature of the mainstream smoke of cigarette: 201710191528.5[P]. 2017-03-28.
- [2] 曹建国, 杨占平, 苏凯, 等. 一种能降低卷烟烟气温度的颗粒及其制备方法和应用: 201910157268.9[P]. 2019-03-01.
CAO Jianguo, YANG Zhanping, SU Kai, et al. A particle which can reduce the temperature of cigarette smoke and a preparation method and application thereof: 201910157268.9[P]. 2019-03-01.
- [3] 刘熙. 消费者吸烟行为的卷烟感官质量评价研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(18):10995-10997.
LIU Xi. Study on cigarette organoleptic quality evaluation based on the behavior of consumers [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(18):10995-10997.
- [4] Zuber G, Meyer C, Sanna D, et al. Aerosol-generating article having an aerosol-cooling element: US201214378466 [P]. 2012-12-28.
- [5] Islami F, Pourshams A, Nasrollahzadeh D, et al. Tea drinking habits and oesophageal cancer in a high risk area in northern Iran: population based case-control study[J]. British Medical Journal, 2009, 338(7699): b929(p1-8).
- [6] De Jong U W, Day N E, Mounier-Kuhn P L, et al. The relationship between the ingestion of hot coffee and intraoesophageal temperature[J]. Gut, 1972, 13(1): 24-30.
- [7] 迈尔斯, 塞德尔. 化学工程与计算机计算导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 1982: 368.
Myers AL, Seider WD. Introduction to Chemical Engineering and Computer Calculations [M]. Beijing: Chemical Industry Press Co., Ltd, 1982: 368.
- [8] Zuber G, Meyer C, Louvet A, et al. Aerosol-generating article for use with an aerosol-generating device: US14362768 [P]. 2012-12-28.
- [9] Mitrev P, Badertscher T. Smoking article for use with an internal heating element: US14408132 [P]. 2013-06-20.
- [10] Minzoni M. Aerosol-generating article and method for manufacturing Aerosol-generating articles: WO2016EP64363 [P]. 2016-06-22.
- [11] 刘冰, 陈义坤, 柯炜昌, 等. 一种改进的降温滤棒以及含有该滤棒的低温卷烟: 201810637872.7[P]. 2018-06-20.
LIU Bing, CHEN Yikun, KE Weichang, et al. An improved cooling filter rod and a low-temperature cigarette containing the filter rod: 201810637872.7[P]. 2018-06-20.
- [12] 柯炜昌, 陈义坤, 刘华臣, 等. 一种电加热低温卷烟烟气温降嘴棒: 201721683861.X[P]. 2017-12-06.
HE Weichang, CHEN Yikun, LIU Huachen, et al. An electric heating low-temperature cigarette smoke cooling filter stick: 201721683861.X[P]. 2017-12-06.
- [13] 王勤龙, 杨涛, 沈彦文, 等. 一种气雾冷却复合材料及其制备方法与其用途: 201710769458.7[P]. 2017-08-31.
WANG Qinlong, YANG Tao, SHEN Yanwen, et al. An aerosol cooling composite material and its preparation and application: 201710769458.7[P]. 2017-08-31.
- [14] 杨涛, 范馨雷, 杨紫刚. 一种用于加热不燃烧烟草制品的调温滤棒: 201810919116.3[P]. 2018-08-14.
YANG Tao, FAN Xinlei, YANG Zigang. A temperature regulating filter rod for heat-not-burn cigarette: 201810919116.3[P]. 2018-08-14.
- [15] 杨紫刚, 杨涛, 周瑾, 等. 一种加热不燃烧烟草制品的降温颗粒段: 201811476757.2[P]. 2018-12-05.
YANG Zigang, YANG Tao, ZHOU Jin, et al. A cooling particle segment used in heat-not-burn cigarette: 201811476757.2[P]. 2018-12-05.
- [16] 柯炜昌, 黄龙, 刘冰, 等. 一体式低温卷烟降温嘴棒: 201811128515.4[P]. 2018-09-27.
KE Weichang, HUANG Long, LIU Bing, et al. One-piece cryogenic cigarette cooling rod: 201811128515.4[P]. 2018-09-27.
- [17] 刘华臣, 陈义坤, 柯炜昌, 等. 具有降低烟气温度和防止嘴棒热塌陷的低温卷烟: 201710381745.0[P]. 2017-05-26.
LIU Huachen, CHEN Yikun, HE Weichang, et al. A low-temperature cigarette has the advantages of reducing flue gas temperature and preventing heat collapse of the rod: 201710381745.0[P]. 2017-05-26.
- [18] 刘华臣, 刘磊, 陈义坤, 等. 一种具有降温段的低温卷烟: 201810016128.5[P]. 2018-01-08.
LIU Huachen, LIU Lei, CHEN Yikun, et al. A low-temperature cigarette with a cooling section: 201810016128.5[P]. 2018-01-08.
- [19] 柯炜昌, 刘冰, 黄龙, 等. 一种有附膜的低温卷烟内覆膜降温嘴棒: 201811129855.9[P]. 2018-09-27.
KE Weichang, LIU Bing, HUANG Long, et al. An inner film-covered cryogenic cigarette cooling rod: 201811129855.9[P]. 2018-09-27.
- [20] 陈义坤, 柯炜昌, 刘磊, 等. 一种同心圆结构的低温卷烟降温嘴棒: 201820811981.1[P]. 2018-05-25.
CHEN Yikun, KE Weichang, LIU Lei, et al. A concentric circle structure cryogenic cigarette cooling rod: 201820811981.1[P]. 2018-05-25.
- [21] 汤建国, 雷萍, 韩敬美, 等. 一种增香降温基棒: 201710785910.9 [P]. 2017-09-04.
TANG Jianguo, LEI Ping, HAN Jingmei, et al. A rod with the use of aromatizing and cooling the flue gas: 201710785910.9[P]. 2017-09-04.
- [22] 雷萍, 汤建国, 尚善斋, 等. 一种降温增香薄膜聚拢基棒: 201710785572.9[P]. 2017-09-04.
LEI Ping, TANG Jianguo, SHANG Shanzhai, et al. A membrane gathering rod with the use of aromatizing and cooling the flue gas: 201710785572.9[P]. 2017-09-04.
- [23] 许泽明. 烟气降温嘴棒及包括有该嘴棒的新型低温加热不燃烧卷烟: 201811152722.3[P]. 2018-09-29.
XU Zeming. A flue gas cooling rod and a novel cryogenic heat-not-burn cigarette including it: 201811152722.3[P]. 2018-09-29.
- [24] 陈水平, 胡旺顺, 杨涛. 一种PLA降温滤棒及其制备方法: 201811558872.4[P]. 2018-12-19.
CHEN Shuiping, HU Wangshun, YANG Tao, et al. A poly (lactic acid) cooling rod and its preparation: 201811558872.4[P]. 2018-12-19.
- [25] 韩大男, 李长昱, 韩政昊, 等. 气溶胶产生物品: 201721768581.9[P]. 2017-12-18.

- HAN Danan, LI Changyu, HAN Zhenghao, et al. Aerosol-generating article: 201721768581.9[P]. 2017-12-18.
- [26] 杨紫刚, 陈小东, 范馨雷. 一种缓释香味滤棒及其制备方法: 201610789606.7[P]. 2016-08-31.
YANG Zigang, CHEN Xiaodong, FAN Xinlei. A sustained-release fragrance rod and its preparation: 201610789606.7[P]. 2016-08-31.
- [27] 杨涛, 杨紫刚, 范馨雷, 等. 一种用于降低烟气温度低吸阻聚乳酸丝束滤棒的制备方法: 201810352351.7[P]. 2018-04-19.
YANG Tao, YANG Zigang, FAN Xinlei, et al. A low suction resistance poly (lactic acid) tow filter rod that used in reducing the temperature of flue gas and its preparation: 201810352351.7[P]. 2018-04-19.
- [28] 王珍, 杨涛, 沈彦文, 等. j 烟气温度和释放香味的纸管及其用途: 201711427033.4[P]. 2017-12-26.
WANG Zhen, YAG Tao, SHEN Yanwen, et al. A paper tube with the functions of reducing the temperature of flue gas and releasing fragrance and its application: 201711427033.4[P]. 2017-12-26.
- [29] 罗玮, 钟科军, 杜文, 等. 一种降温嘴棒及卷烟: 201810970483.6[P]. 2018-08-24.
LUO Wei, ZHONG Kejun, DU Wen, et al. A cooling rod and a cigarette: 201810970483.6[P]. 2018-08-24.
- [30] 罗玮, 谢国勇, 任建新, 等. 一种降温嘴棒及加热不燃烧卷烟: 201811532411.X[P]. 2018-12-14.
LUO Wei, XIE Guoyong, REN Jianxin, et al. A cooling rod and a heat-not-burn cigarette: 201811532411.X[P]. 2018-12-14.
- [31] 谢国勇, 赵海红, 陈秋平, 等. 一种可控控卷烟滤嘴烟气温度的复合相变材料及其制备方法和应用: 201410474687.2[P]. 2014-09-17.
XIE Guoyong, ZHAO Haihong, CHEN Qiuping, et al. A composite phase change material which can regulate the temperature of flue gas and its preparation and application: 201410474687.2[P]. 2014-09-17.
- [32] 彭新辉, 刘金云, 杨华武, 等. 一种卷烟过滤嘴及卷烟: 201510045745.4[P]. 2015-01-29.
PENG Xinhui, LIU Jinyun, YAG Huawu, et al. A cigarette filter rod and a cigarette: 201510045745.4[P]. 2015-01-29.
- [33] 杨华武, 黎艳玲, 庾苏行, 等. 十二水磷酸氢二钠在降低主流烟气温度中的应用及添加有十二水磷酸氢二钠的卷烟滤嘴: 201611106193.4[P]. 2016-12-05.
YANG Huawu, LI Yanling, TUO suxing, et al. The application of disodium hydrogen phosphate dodecahydrate in reducing the temperature of mainstream smoke and a cigarette filter rod with disodium hydrogen phosphate dodecahydrate: 201611106193.4[P]. 2016-12-05.
- [34] 赵国玲, 龚淑果, 尹新强, 等. 一种降温嘴棒、制备方法及加热不燃烧卷烟: 201910015639.X[P]. 2019-01-08.
ZHAO Guoling, GONG Shuguo, YIN Xinqiang, et al. A cigarette cooling rod and its preparation and a heat-not-burn cigarette: 201910015639.X[P]. 2019-01-08.
- [35] 龚淑果, 赵国玲, 易建华, 等. 一种降温嘴棒及加热不燃烧卷烟、应用: 201910015651.0[P]. 2019-01-08.
GONG Shuguo, ZHAO Guoling, YI Jianhua, et al. A cigarette cooling rod and a heat-not-burn cigarette and its application: 201910015651.0[P]. 2019-01-08.
- [36] 谢国勇, 赵海红, 陈秋平, 等. 一种可控控卷烟滤嘴烟气温度的有机/无机复合相变材料及其制备方法和应用: 201410624331.2[P]. 2014-11-06.
XIE Guoyong, ZHAO Haihong, CHEN Qiuping, et al. An organic/inorganic composite phase change material which can regulate the temperature of flue gas and its preparation and application: 201410624331.2[P]. 2014-11-06.
- [37] 柯炜昌, 刘华臣, 陈义坤, 等. 一种具有降低烟气温度和增香功能的低温卷烟: 201710486129.1[P]. 2017-06-23.
KE Weichang, LIU Huachen, CHEN Yikun, et al. A cryogenic cigarette with the functions of cooling and aromatizing the flue gas: 201710486129.1[P]. 2017-06-23.
- [38] 黄小军, 吴慧敏, 黄赋, 等. 一种基于中空纤维的快速吸热过滤器及其应用: 201810451924.1[P]. 2018-05-12.
HUANG Xiaojun, WU Huimin, HUANG Fu, et al. A rapid heat absorption filter based on hollow fibers and its application: 201810451924.1[P]. 2018-05-12.
- [39] 陈毕峰, 陈慷磊. 一种卷烟嘴棒及其制造方法: 201711465015.5[P]. 2017-12-28.
CHEN Bifeng, CHEN Kanglei. A cigarette filter rod and its preparation: 201711465015.5[P]. 2017-12-28.
- [40] 戴丽君, 郑彬, 林强, 等. 加热不燃烧卷烟的卷烟嘴棒和加热不燃烧卷烟: 201810594622.X[P]. 2018-06-11.
DAI Lijun, ZHENG Bin, LIN Qiang, et al. A cigarette filter rod within heat-not-burn cigarette and a heat-not-burn cigarette: 201810594622.X[P]. 2018-06-11.
- [41] 余振华, 詹建波, 余耀, 等. 一种具有保湿功能卷烟纸及其制备方法: 201710365732.4[P]. 2017-05-17.
YU Zhenhua, ZHAN Jianbo, YU Yao, et al. A kind of cigarette paper with moisture function and its preparation: 201710365732.4[P]. 2017-05-17.
- [42] 詹建波, 岳保山, 王涛, 等. 一种可换热的复合滤棒: 201710947645.X[P]. 2017-10-12.
ZHAN Jianbo, YUE Baoshan, WANG Tao, et al. A heat exchangeable composite filter rod: 201710947645.X[P]. 2017-10-12.
- [43] 黎明. 一种可降低香烟烟气温度的过滤嘴及其制作方法: 201811124392.7[P]. 2018-09-26.
LI Ming. A cigarette filter rod with the function of cooling the flue gas and its preparation: 201811124392.7[P]. 2018-09-26.
- [44] 姜发堂, 詹建波, 喻森. 一种卷烟制品的保润降温过滤嘴棒及其制备方法: 201811519760.8[P]. 2018-12-12.
JIANG Fatang, ZHAN Jianbo, YU Cen. A cigarette filter rod with the functions of moisturizing and cooling the flue gas and its preparation: 201811519760.8[P]. 2018-12-12.
- [45] 刘冰, 刘祥浩, 李冉, 等. 可用于卷烟凉爽烟气的烟嘴: 201320391932.4[P]. 2013-07-03.
LIU Bing, LIU Xianghao, LI Ran, et al. A cigarette holder that can cool the cigarette smoke: 201320391932.4[P]. 2013-07-03.
- [46] 刘冰, 岳海波, 刘祥浩, 等. 可降低烟气温度的新型卷烟: 201320392031.7[P]. 2013-07-03.
LIU Bing, YUE Haibo, LIU Xianghao, et al. A novel cigarette with the function of cooling the flue gas: 201320392031.7[P]. 2013-07-03.
- [47] 盛小贺, 杨剑锋, 杨玉才, 等. 一种加热不燃烧烟草制品降温段及其降温方法: 201811178045.2[P]. 2018-10-10.
SHENG Xiaohu, YANG Jianfeng, YANG Yucai, et al. The cooling section within heat-not-burn cigarette and a cooling method thereof: 201811178045.2[P]. 2018-10-10.
- [48] Harlow E S, Flint J R. Method of cooling cigarette smoke: USD3547130[P]. 1968-02-12.
- [49] Prendergast H. Smoking article filter: PCT/GB2012/052089[P]. 2012-08-24.
- [50] Tabatznik, R A, Reiner D, Steven H. Smoking device: 05/855923[P]. 1977-11-30.

- [51] 余其昌, 赵瑞峰, 李峰, 等. 一种低吸阻低截留非燃烧卷烟及其配合使用的发热装置: 201820038449.0[P]. 2018-01-10.
YU Qichang, ZHAO ruifeng, LI Feng, et al. A low suction resistance and low intercept heat-not-burn cigarette and the heating device used together: 201820038449.0[P]. 2018-01-10.
- [52] 赵瑞峰, 李峰, 胡静, 等. 一种低吸阻低截留非燃烧卷烟: 201820039410.0[P]. 2018-01-10.
ZHAO Ruifeng, LI Feng, HU Jing, et al. A low suction resistance and low intercept heat-not-burn cigarette: 201820039410.0[P]. 2018-01-10.
- [53] Saygili A M, Silvestrini P C. A cartridge assembly with ventilation airflow: EP2018/068708 [P]. 2018-07-10.
- [54] Kaj K, Vesa K, Eero H. Smoking article: US12/863686[P]: 2008-01-22.
- [55] 汤建国, 覃志宏, 韩金江, 等. 一种具有降温 and 保香功能的新型低温加热不燃烧卷烟: 201711332181.8[P]. 2017-12-13.
TANG Jianguo, QIN Zhihong, HAN Jinjiang, et al. A novel cryogenic heat-not-burn cigarette with the functions of cooling and incense retention: 201711332181.8[P]. 2017-12-13.
- [56] England W. Aerosol-cooling element and arrangements for use with apparatus for heating a smokable material: US15307074 [P]. 2015-04-30.
- [57] 谭海风, 金勇, 范红梅, 等. 一种超低吸附型降温功能复合滤棒: 201820988160.5[P]. 2018-06-26.
TAN Haifeng, JIN Yong, FAN Hongmei, et al. An ultra-low adsorption cooling compound filter rod: 201820988160.5[P]. 2018-06-26.
- [58] 罗玮, 秦亮生, 钟科军, 等. 卷烟用降温嘴棒及其应用: 201810486813.4[P]. 2018-05-21.
LUO Wei, QIN Liangsheng, ZHONG Kejun, et al. A cooling rod used in cigarette and its application: 201810486813.4[P]. 2018-05-21.
- [59] Golovanova T, Parsons C R, Orth M, et al. An aerosol generating device: WOEP2016/080604 [P]. 2016-12-12.
- [60] 刘华臣, 陈义坤, 柯炜昌, 等. 一种可降低烟气温度和提高吸味的新型卷烟: 201610246284.1[P]. 2016-04-20.
LIU Huachen, CHEN Yikun, KE Weichang, et al. A novel cigarette with the functions of cooling and aromatizing the flue gas: 201610246284.1[P]. 2016-04-20.
- [61] 罗玮, 郭小义, 钟科军, 等. 一种卷烟用降温嘴棒及应用: 201810704517.7[P]. 2018-07-02.
LUO Wei, GUO Xiaoyi, ZHONG Kejun, et al. A cooling rod used in cigarette and its application: 201810704517.7[P]. 2018-07-02.
- [62] 郭洪礼, 潘俊霖. 具有过滤结构的加热不燃烧香烟: 201810079528.0[P]. 2018-01-26.
GUO Hongli, PAN Junlin. A heat-not-burn cigarette with filtration: 201810079528.0[P]. 2018-01-26.
- [63] 胡宏旗, 王成虎, 石传胜, 等. 一种加热不燃烧卷烟降温嘴棒的生产工艺: 201810982869.9[P]. 2018-08-27.
HU Hongqi, WANG Chenghu, SHI Chuansheng, et al. The manufacture of a cooling rod within heat-not-burn cigarette: 201810982869.9[P]. 2018-08-27.
- [64] 汤建国, 尚善斋, 陈永宽, 等. 一种用于加热不燃烧型卷烟的复合嘴棒: 201510358035.7[P]. 2015-06-25.
TANG Jianguo, SHANG Shanzhai, CHEN Yongkuan, et al. A compound rod used in heat-not-burn cigarette: 201510358035.7[P]. 2015-06-25.
- [65] 尚善斋, 袁大林, 汤建国, 等. 一种三元复合嘴棒: 201510357205.X[P]. 2015-06-25.
SHANG Shanzhai, YUAN Dalin, TANG Jianguo, et al. A triple compound filter rod: 201510357205.X[P]. 2015-06-25.
- [66] 何沛, 刘志华, 向能军, 等. 一种含气流隧道的三段式卷烟滤嘴: 201710811863.0[P]. 2018-09-11.
HE Pei, LIU Zhihua, XIANG Nengjun, et al. A three-fragment cigarette filter rod with air tunnel: 201710811863.0[P]. 2018-09-11.
- [67] 王汝, 汤建国, 尚善斋, 等. 一种用于加热不燃烧卷烟的新型烟支: 201711361202.9[P]. 2018-12-18.
WANG Ru, TANG Jianguo, SHANG Shaizhai, et al. A novel cigarette used in heat-not-burn cigarette: 201711361202.9[P]. 2018-12-18.
- [68] Флавьен Дюбьеф. Aerosol generating device with air ventilation nozzles: RU2014127684A [P]. 2011-12-08.

Research progress of cooling technology of heat-not-burn cigarette smoke

GUO Xinyue¹, YANG Zhanping², SONG Xiaomei², XU Yang^{1*}

1 Key Laboratory of Eco-Textiles (Jiangnan University), Ministry of Education, School of Textiles and Clothing, Wuxi 214122, China;

2 Nantong Cellulose Fibers Co., Ltd., Nantong 226008, China

Abstract: Heat-not-burn cigarette is favored by market for release of less harmful components, no smoldering compared with traditional cigarette while maintaining similar smoking quality and smoking habits. Aiming at the technical problem that the inlet flue gas temperature is too high, this paper reviews the related patents on heat-not-burn cigarettes smoke cooling technology in recent years, and summarizes the application problems of cooling materials and structures. On this basis, development direction of heat-not-burn cigarettes cooling technology is prospected.

Keywords: heat-not-burn cigarette; flue gas cooling; cooling materials; cooling structure

*Corresponding author. Email: zh3212@vip.sina.com