

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.03.010

蒙脱石三元膨胀阻燃薄片的制备及 燃烧热解性能研究

Study of the preparation and thermal degradation and combustion
behavior of flame-retardant montmorillonite ternary coating on
reconstituted tobacco sheet

李东亮¹ 耿宗泽¹ 谭兰兰¹ 蔡芯玥¹

LI Dong-liang¹ GEN Zong-ze¹ TAN Lan-lan¹ CAI Xin-yue¹

邵宁² 侯丽² 屈亚晴² 朱晓兰²

SHAO Ning² HOU Li² QU Ya-qing² ZHU Xiao-lan²

(1. 四川中烟工业公司技术中心卷烟减害降焦四川省重点实验室, 四川 成都 610066;

2. 中国科学技术大学烟草与健康研究中心, 安徽 合肥 230052)

(1. Technology Center, China Tobacco Sichuan Industrial Co., Ltd., Key Laboratory for Harmful Components and Tar Reduction in Cigarette of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610066, China; 2. Research Center of Tobacco and Health, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230052, China)

摘要:采用基片涂载法制备蒙脱石—壳聚糖—聚磷酸铵三元膨胀阻燃薄片,研究三元膨胀阻燃材料对烟草薄片燃烧热解特性的影响。结果显示:蒙脱石三元阻燃薄片的总热释放量(降低率56.1%)和最大热释放速率(降低率42.8%)明显低于二元阻燃薄片和对照薄片,三元阻燃涂层促使薄片的热解温度向高温区移动,延缓了薄片主要成分的热解,最终850℃焦炭量显著增加。此外,对于三元阻燃薄片烟支,不仅感官评吸质量优于对照样,卷烟燃烧锥最高温度也下降了39.0℃。

关键词:烟草薄片;蒙脱石;热重红外联用;燃烧热解;膨胀阻燃

Abstract: Reconstituted tobacco sheet (RTS) was first modified by ternary intumescent flame retardant (IFR) coating, composed of chitosan (CS), ammonium polyphosphate (APP), and montmorillonite (MMT) by basepaper coating techniques. The effects of composite coating on the combustion behavior and thermal degradation of RTS were studied by micro-scale combustion calorimetry (MCC) and TG-FTIR. MCC experiments confirmed that the CS-APP-MMT-RTS exhibited a 56.1% reduction in total heat release and a 42.8% reduction in peak heat release rate, relative to the uncoated RTS. TG-FTIR results showed that CS-APP-MMT coating reduced the maximum mass loss rate and the release of harmful gaseous products at the stage of char decomposition. Moreover, for CS-APP-MMT-RTS cigarette, the highest temperature of burning cone decreased by 39.0℃, thus demonstrating the high reduction of temperature and flammability.

Keywords: reconstituted tobacco sheet; montmorillonite; TG-FTIR; combustion and thermal degradation; flame retardants

Keywords: reconstituted tobacco sheet; montmorillonite; TG-FTIR; combustion and thermal degradation; flame retardants

烟草薄片主要由低次烟叶、烟梗和烟末加入胶黏剂和其他添加剂等组成的再造烟叶,以薄片为原料添加至卷烟制造过程中,具有填充性好、成本低等优点,同时可以降低卷烟烟气中有害物质含量^[1]。随着对吸烟与健康问题的日益关注,卷烟消费者对卷烟的减害提出了更高的要求,烟气中主流烟气中有害物质如CO和低分子量羰基化合物等也受到严格的控制。研究^[2]表明卷烟的燃烧温度对卷烟烟气的组成有很大影响,燃烧峰值温度越低,烟气有害物质浓度越低。因此改变烟丝的配方和对烟丝进行处理,如在薄片生产过程中添加特定的食品添加剂,可以调节卷烟燃烧性能,降低卷烟的燃烧温度,还可以提高烟丝的填充能力,减少烟丝密度,从而改变烟丝的燃烧状态,

基金项目:四川中烟工业公司宽窄“润甜香”品类构建重大专项项目(编号:rtx201817)

作者简介:李东亮,男,四川中烟工业公司研究员,博士。

通信作者:朱晓兰(1972—),女,中国科学技术大学副研究员,博士。E-mail:zx18906@ustc.edu.cn

谭兰兰(1977—),女,四川中烟工业公司高级工程师,硕士。E-mail:lucya37@163.com

收稿日期:2019-12-19

降低卷烟燃烧热释放和烟气中有害物的含量,达到降焦减害的目的^[3-4]。

膨胀阻燃技术是20世纪90年代中期发展起来的新型阻燃技术^[5],主要通过材料的表面形成多孔膨胀炭层阻燃,在塑料、纺织、食品和材料等行业都具有十分广阔的发展前景^[6-7]。磷氮类阻燃剂主要由3部分组成:炭源、酸源和气源,最常见的就是含氮阻燃剂,其中聚磷酸铵(APP)可以兼做气源和酸源,APP受热会分解为磷酸,与多糖分子中的羟基反应,使基体炭化形成炭化层,可以阻止热量的传递,并且APP分解成的聚磷酸呈玻璃状起到隔绝氧气的作用,使燃烧的基体得到抑制直至熄灭。这种多糖大分子和APP联用的环保型阻燃材料阻燃时低烟,低毒,不产生腐蚀性气体,吸湿性小,热稳定性高,是一种无卤素的性能优良阻燃剂,已开始受到广泛关注^[8]。近年来纳米材料的兴起促进了纳米复合有机无机杂化材料阻燃方面的研究以及阻燃高分子材料研究领域的发展。研究^[9-10]表明,纳米复合材料因纳米效应而具有优异的热性能、力学性能以及电性能等,具有阻燃协同特性的纳米材料,同阻燃剂联合使用后,可以产生显著的协同阻燃效应,提高阻燃效率,降低材料的火灾危害。其中,天然蒙脱石(MMT)具有纳米片层结构,解离后比表面积非常大,具有丰富的吸附水、结构水。有研究^[11]表明,少量MMT的添加在燃烧过程中可以在聚合物表面形成保护炭层,形成阻燃所需的阻隔性能,从而降低燃烧降解产物的释放和材料表面热量的传递。但这些研究基本都局限于高分子材料方面,在烟用薄片方面Zhou等^[12]曾开展单独添加APP的阻燃分析,笔者所地项目组^[13]也曾研究过钾盐壳聚糖在烟用薄片中的燃烧热解特性,但这些研究或存在阻燃效果不佳或有感官评吸质量不好等问题。

试验拟以烟草薄片为基体,将蒙脱石与天然高分子壳聚糖(CS)及APP阻燃体系结合,研究蒙脱石作为协效剂制备的三元复合阻燃体系薄片的燃烧热解性能及其阻燃机理,以期降低卷烟的燃烧温度和有害物生成量。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

烟草薄片(使用造纸法生产而成,基片取自河南中烟有限责任公司许昌薄片厂);四川中烟工业公司;

壳聚糖(CS):黏度50~800 mPa·s,江苏南通兴成生物制品厂;

可溶性APP: $n \leq 20$,山东昶盛阻燃新材料有限公司;

蒙脱石(MMT):K-10型,上海阿拉丁生化科技有限公司。

1.1.2 主要仪器

电子天平:AB104-N型,上海第二天平仪器厂;

微燃烧量热仪:MCC-2型,美国哥马克公司;

转盘式吸烟机:RM200A型,德国Borgwaldt KC公司;

热重/差热综合热分析仪:TGA-Q5000型,美国TA仪器公司;

微细热电偶:0.254 mm K型,美国Omega公司;

傅里叶变换红外光谱仪:6700 FTIR型,美国尼高力公司。

1.2 方法

1.2.1 蒙脱石三元阻燃薄片的制备 先称取一定量的基片,由基片量根据行业浓缩液涂布率经验公式[式(1)]计算所需的烟草浆料液**b**,再由此计算出所需的APP(0.01**b**)和CS(0.01**b**)的量,溶解制成体积和黏度合适的溶液。依次将APP溶液和CS溶液加入至烟草浆料液中,每步搅拌均匀最后超声使研磨好的MMT粉末(0.02**b**)在浆料液稀释体系中(总溶剂量为1.3**b** mL)充分分散。用毛刷将制备好的烟草浆料液均匀涂载在基片表面,在40℃下干燥2 h,全部涂载完毕后在22℃,60%相对湿度下至少平衡48 h。由等体积浓度烟草浆料液直接涂载基片制得的纯薄片样品为对照样品(RTS)。将烟草薄片样品制成一系列具有相同设计特征的卷烟样品,用于卷烟主流烟气感官分析和燃烧锥特征分析。在微量燃烧量热和热重红外分析时,将烟草薄片样品粉碎过80目筛。

$$b = 1.5a + 0.5, \quad (1)$$

式中:

b——浓缩的烟草浆料液量,g;

a——基片取样量,g。

1.2.2 微燃烧量热分析 采用微燃烧量热仪分析薄片样品的燃烧性能。称取4~6 mg样品,在纯氮气气氛中热解,裂解池以30℃/min的升温速率从100℃升至650℃,热解产物在80 mL/min氮气下与20 mL/min氧气混合,进入900℃燃烧池中燃烧。

1.2.3 热重—红外分析 称取20 mg样品放入氧化铝坩埚中,在30℃/min升温速率下,10%氧气气氛中由30℃加热至850℃。载气流速为60 mL/min,传输线和红外气体池温度分别保持在225,230℃。傅里叶变换红外光谱仪在连续扫描模式下工作,扫描范围4 000~500 cm⁻¹,分辨率4 cm⁻¹。所有样品在相应条件下测试3次,数据结果取平均值使用。

1.2.4 卷烟燃烧锥温度场测试 改性薄片和对照薄片卷烟采用ISO标准抽吸模式(抽吸容量35 mL,抽吸间隔60 s,抽吸持续2 s),进行燃速测试及燃烧温度场测试。试验中采用微细热电偶进行温度场测试检测卷烟燃烧锥内部气相温度,具体检测及数据前处理参考文献[14]。

2 结果与讨论

2.1 蒙脱石三元阻燃薄片的热解性能分析

采用微燃烧量热分析薄片样品的燃烧性能,比较了对照薄片,APP-CS 阻燃薄片(质量百分比 1:1)和 APP-CS-MMT 阻燃薄片(质量百分比 1:1:2)的燃烧行为,其热释放速率曲线如图 1 所示,薄片的热解过程可主要分为 3 个阶段,分别为 150~280,280~410,410~650 °C^[12]。对照薄片在约 150 °C 开始分解,随着热释放曲线在 150~280 °C 范围内上升,薄片中小分子挥发性化合物开始分解形成可燃烧气体(如乙醛和丙酮)。由于纤维素、半纤维素木质素和果胶等成分的进一步热解,曲线迅速上升并在 339 °C 达到最大热释放速率(143.9 W/g)。曲线在 410 °C 前持续下降并形成焦炭。由于焦炭的热降解,在 410~490 °C 出现平缓的第二峰值。热释放曲线在 650 °C 结束,可燃性气体停止产生。在整个放热过程中,在 300~410 °C 发生纤维素等大分子主要成分的热解,产生大量可燃烧气体^[15]。

对于复合薄片,热释放曲线变化趋势类似,但在整个温度范围内,阻燃薄片的热释放曲线始终保持低于对照薄片,表明在薄片上加入二元和三元涂层限制了热量的释放。其中,蒙脱石三元阻燃薄片总热释放量和最大热释放速率分别降低 56.1% 和 42.8%,远低于对照薄片和二元阻燃薄片。此外,对于三元阻燃薄片,最大热释放温度比对照薄片高 6.8 °C,说明三元阻燃薄片(CS-APP-MMT-RTS)中 MMT 具有纳米片层结构,在受热过程中 MMT 分子形成的十六烷基季铵二聚体的热解,解离后比表面积非常大,在黏土晶格中形成的强质子催化位点和 Lewis 位点促进了有效焦炭层的形成^[11],在燃烧过程中可以在聚合物表面形成保护炭层,从而形成阻燃所需的阻隔性能,降低了燃烧降解产物的释放和材料表面热量的传递,显示出了 MMT 和 CS-APP 的协同效应,进一步增强了涂层的抑制作用,而且使可燃气体的释放向高温区

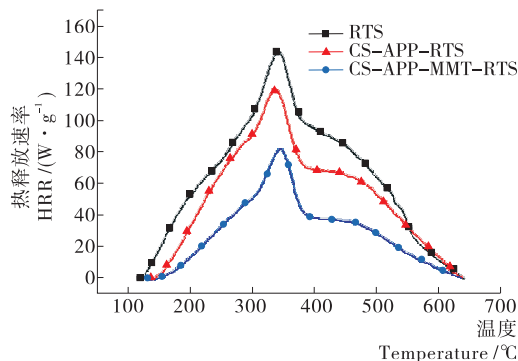


图 1 三元蒙脱石阻燃材料对热释放速率的影响
Figure 1 The effect of trinary CS-APP-MMT-RTS (1:1:2) versus HRR curves

域移动,延迟了复合薄片的热解过程。

2.2 蒙脱石三元阻燃薄片的热解性能分析

比较了对照薄片、二元 APP-CS 薄片(质量百分比 1:1)和三元 APP-CS-MMT 薄片(质量百分比 1:1:2)在 10% 氧气气氛下的热解过程。图 2 为 3 种薄片样品的 TG 和 DTG 曲线,相应的参数见表 1。如图 2(b)所示,对照薄片的热解过程包含 5 个质量损失阶段^[13]:① 在 130 °C 以下是自由水和挥发性物质的去除,损失 5% 的质量;② 在 130~210 °C 发生的是还原糖的初始降解;③ 210~370 °C 则是薄片的主要成分如纤维素、半纤维素、木质素和果胶等大分子的分解形成焦炭的过程,这两个阶段造成接近 50% 质量损失;④ 在 370~510 °C 的质量损失主要是由焦炭的热分解引起的,质量损失约占 25%;⑤ 在 570~730 °C 阶段发生裂解炭和 CaCO₃ 等无机盐的分解^[16],损失约 5% 的质量,在 850 °C 还剩余约 15%~20% 的残渣。

如表 1 所示,虽然阻燃薄片的热解温度 T_{max1} 与对照烟草薄片相差不多,但 $T_{-50\%}$ 以及 T_{max2} 均明显高于对照烟草薄片,说明添加阻燃材料后,高温下,APP 迅速分解生成聚磷酸,

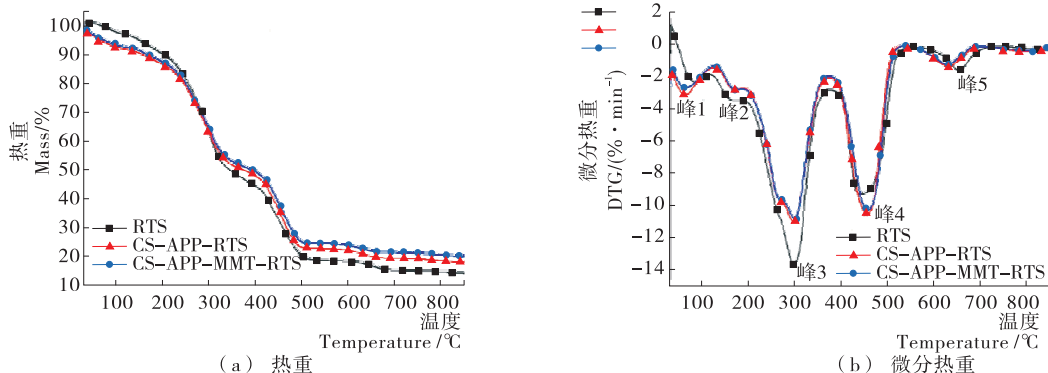


图 2 对照薄片、阻燃复合薄片的热重和微分热重曲线

Figure 2 TG and DTG curves of RTS, CS-APP-RTS and CS-APP-MMT-RTS (1:1:2)

产生大量气体,可以稀释氧气浓度,起到阻燃烧作用。此外,聚磷酸还是强脱水剂,可使炭源脱水炭化在薄片表面形成焦炭。而纳米结构的蒙脱石受热解离后比表面积非常大,可以阻隔前期热解形成的焦炭层与氧气的接触,阻碍了薄片的进一步热解,使其热解向高温区移动,热稳定性更好^[17]。在焦炭形成阶段(210~370 °C),二元和三元阻燃薄片的最大热失重速率 DTG_1 分别下降了 11.1% 和 10.9%,显著低于对照薄片(13.8%),表明阻燃材料主要通过提高膨胀炭层的稳定性来实现。在焦炭的热解阶段

(370~510 °C),由于前期生成的更多的焦炭层,阻燃薄片的 DTG_2 比对照薄片样品要高。此外,三元阻燃烟草薄片在 850 °C 残留质量比也显著高于二元和对照烟草薄片(增加率 > 20%),表明烟草薄片表面加入三元阻燃材料涂层能够促使烟草薄片的热解过程向高温区移动,从而有效延缓烟草薄片主要成分的热解。从对照薄片到二元和三元阻燃薄片, $T_{-50\%}$ 和残余质量的逐渐增加证明了样品的热稳定性和涂层的阻燃性逐渐提高。这些结果与微燃烧量热实验结果非常一致。

表 1 对照薄片和蒙脱石阻燃薄片样品的热解参数[†]

Table 1 Characteristic pyrolysis parameters of RTS and CS-APP-RTS and CS-APP-MMT-RTS (1 : 1 : 2)

样品	$T_{max1}/^{\circ}\text{C}$	$DTG_1/(\% \cdot \text{min}^{-1})$	$T_{-50\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{max2}/^{\circ}\text{C}$	$DTG_2/(\% \cdot \text{min}^{-1})$	$M/\%$
RTS	297.9	13.8	350.2	442.1	-9.3	14.1
CS-APP-RTS	297.5	11.1	375.9	456.4	-10.6	17.9
CS-AP-MMT-RTS	299.3	10.9	393.9	457.7	-10.3	20.1

[†] $T_{-50\%}$ 为 50% 质量损失温度; T_{max1} 、 T_{max2} 分别为 DTG 曲线中的峰 3 和 4 的峰值温度; DTG_1 、 DTG_2 分别为 DTG 曲线中的峰 3 和 4 的热失重速率; M 为 850 °C 时薄片的质量(以初始温度时质量为 100% 计)。

2.3 蒙脱石三元阻燃薄片样品热解气相产物分析

图 3 为对照薄片和阻燃薄片在 T_2 (如表 1 所示) 处的热解产物的 FTIR 光谱。3 728 cm^{-1} 处的峰可归因于水蒸气的 O—H 的伸缩振动,在 3 000~2 800 cm^{-1} 处的宽峰表示烷烃的存在,3 017 cm^{-1} 处的尖峰属于 —C—H 的伸缩振动峰,证明了烯烃的存在。此外,1 600~1 450 cm^{-1} 处的峰可归因于芳香碳的存在,位于 2 400~2 220 cm^{-1} 和 669 cm^{-1} 处的尖峰可归因于 CO_2 的伸缩振动和变形振动,2 182, 2 110 cm^{-1} 处的峰与 CO 相关。位于 1 850~1 630 cm^{-1} 的吸收带是由于 C—O 基团的羰基化合物,包括乙醛、丙酮和酸等。962 cm^{-1} 处的峰确定了 NH_3 的存在。因此,上述分析表明,薄片热降解过程中的主要气相产物是烷烃、烯烃、 H_2O 、 CO_2 、CO、 NH_3 、羰基化合物(甲醛乙醛和丙酮)和芳香族化合物(苯酚和多环芳烃)^[18-19]。虽然加入 CS-APP 和 CS-APP-MMT 阻燃涂层不会改变这些气相产物的热解趋势,改性后薄片的光谱具有类似的峰形,但与对照薄片相比,阻燃薄片的 H_2O 、CO、 CO_2 和羰基化合物的强度均有不同程度的降低,多数峰的强度也变得更弱,尤其是在 3 728, 3 017, 962 cm^{-1} ,体现了改性涂层对薄片热解的抑制作用。

根据每种气相产物的特征 FTIR 吸收分析了薄片热解过程中 H_2O 、CO、 CO_2 、羰基化合物和 NH_3 的相对含量,其积分结果见表 2。结果显示对于 H_2O 、CO、 CO_2 和 NH_3 ,阻燃涂层主要减少了这些气相产物在焦炭分解阶段的释放,表明可以通过抑制焦炭的降解来延缓薄片的热解。

二元 CS-APP 阻燃薄片的羰基化合物的产量减少了

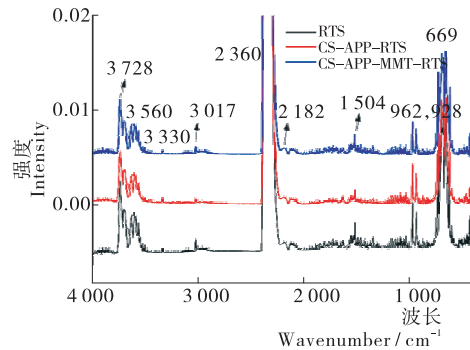


图 3 薄片样品的热解产物的 FTIR 光谱

Figure 3 FTIR spectrum of pyrolysis products for RTS, CS-APP-RTS (1 : 1) and CS-APP-MMT-RTS (1 : 1 : 5) at T_2 of the degradation

21.86%,而其他化合物均出现增加,其中 NH_3 的量增加了 5.67%。虽然 APP-CS 二元涂层可以延缓薄片的热分解,但不可燃气体 CO_2 和 H_2O 的总释放量却略有增加。添加含氮化合物 APP 导致 NH_3 显著增加^[12]。而三元 CS-APP-MMT 阻燃薄片 MMT 的加入使大多数气相产物都出现了不同程度的降低,尤其是羰基化合物总释放量减少了 41.4%。APP-CS-MMT 对于烟草薄片的改性,使其具有更大的比表面积,对于吸附水和小分子挥发性的滞留能力减弱,阻燃剂部分抑制糖类的热解,提升了形成焦炭的热稳定性,使得羰基化合物释放量大幅降低。

2.4 蒙脱石三元阻燃薄片烟支的燃烧锥温度场分析

为验证蒙脱石三元阻燃薄片的降低燃烧温度效果,将对照薄片和阻燃薄片制成了烟支,并进行了燃烧锥温度

表 2 薄片样品热解气相产物 CO₂、H₂O、CO、羰基化合物和 NH₃ 的积分面积

Table 2 Integral Areas of H₂O, CO, CO₂, carbonyl compounds and NH₃

化合物	RTS 面积	CS-APP-RTS		CS-APP-MMT-RTS	
		面积	降低量/%	面积	降低量/%
CO ₂	23.58	25.10	-6.45	21.74	7.80
H ₂ O	1.60	1.67	-4.36	1.21	24.40
CO	0.25	0.24	2.91	0.24	4.00
羰基化合物	1.16	0.91	21.60	0.68	41.40
NH ₃	0.20	0.21	-5.67	0.16	20.00

场测试。图 4 是 4 种薄片卷制成的卷烟样品抽吸前后燃烧锥横截面温度分布情况。燃烧锥平均体积、最大燃烧速率和燃烧锥特征温度及最高温度等参数如表 3 所示。燃烧锥特征温度 ($T_{0.5}$) 是指燃烧锥内部某温度以上累积体积占燃烧锥体积 (即全部 200 °C 以上累积体积) 50% 时的温度, 通常与 T_{max} 一起表征材料的燃烧特性^[20]。开始抽吸时 ($t=0$ s), 3 种薄片的高温区面积较小, 但阻燃薄片由于 CS-APP 和 MMT 的加入面积更低, 中心区最高温度也低于对照。随后, 燃烧锥体积和温度迅速增大, 1.0 s 时达到接近最大值。与对照薄片相比, 阻燃薄片的 $T_{0.5}$ 和 T_{max} 呈现出相同的下降趋势, T_{max} 由对照薄片的 796.0 °C 降至二元阻燃薄片 767.2 °C 和三元阻燃薄片 757.0 °C。同样地, 在 2 s 的抽吸过程中, 最高燃烧速率也呈现出大幅度降低的趋势, 由对照的 2.57 mm/s 降至 2.53 mm/s。

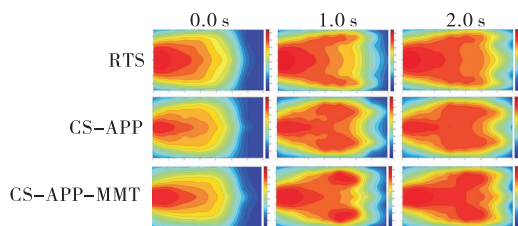


图 4 对照薄片、阻燃复合薄片卷烟抽吸 2 s 内的温度轮廓图

Figure 4 The temperature contour maps of cigarettes burning cone for RTS and modified RTS during 2 s puff

2.5 蒙脱石三元阻燃材料对感官评吸的影响

为评估阻燃材料的添加对卷烟香气的影响, 手工打烟制备了基质涂载法对照薄片、二元薄片和蒙脱石三元阻燃复合薄片烟支, 由中烟公司技术中心评委们对这些薄片烟支样品进行对比评析, 采用感官描述的方式进行评价, 具体详见表 4, 蒙脱石三元阻燃复合薄片感官评吸质量优于对照薄片和二元复合薄片, 在保持原有香气质的基础上香气质有所提升, 最好适当减轻杂气。因此可以考虑进一步工业应用。

表 3 对照薄片、阻燃复合薄片卷烟的燃烧锥特征参数[†]

Table 3 Characteristic parameters of burning cone of cigarettes made from RTS and modified RTS

样品	$T_{max}/^{\circ}\text{C}$	$T_{0.5}/^{\circ}\text{C}$	V_0/mm^3	$\nu/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$
RTS	796.0	551.0	639.5	2.57
CS-APP	767.2	523.1	631.5	2.61
CS-APP-MMT	757.0	523.8	628.7	2.53

[†] T_{max} 为燃烧锥最高温度; $T_{0.5}$ 为 V_0 为 50% $\sum V_{T>200}$ 时温度; V_0 为燃烧锥平均体积; ν 为最大瞬时燃烧速率。

3 结论

研究了 CS-APP-MMT 三元阻燃薄片的制备及其燃烧热解性能, 结果显示: 与对照薄片相比, 阻燃改性薄片的热解过程向高温区移动, 延缓了薄片的进一步燃烧, 在 CS、APP 和 MMT 比例为 1 : 1 : 2 时, 三元涂层具有相对较好的阻燃性能, 最大热释放速率和总热释放量分别降

表 4 基片涂载法薄片感官评价

Table 4 Sensory evaluation table of RTS and modified RTS

编号	薄片样品	感官描述
0#	RTS(烟草草料涂载)	香气质较好(木香), 香气量稍弱, 香气清晰, 有木质杂气, 甜感明显, 有润感, 刺激小, 口腔灼烧感不明显
1#	CS-APP-RTS	与 0# 相比, 香气质下降, 口腔杂味和残留(涩感)增大, 刺激稍增加, 灼烧感增加, 甜感减弱, 不如 0#
2#	CS-APP-MMT-RTS	与 0# 相比, 香气质基本保持, 香气透发, 香气量增加, 香气较厚实, 杂气减弱, 甜感有, 灼烧感不明显, 刺激稍增大, 比 0# 总体质量有所提升

低了42.8%和56.1%。热重—红外结果显示CS-APP二元涂层提高焦炭的稳定性来延缓薄片的热解过程,三元(CS-APP-MMT)涂层中MMT的加入有效地隔绝了焦炭层与氧气的接触,使焦炭更加稳定。而且,阻燃涂层的存在显著降低了薄片热解过程中羰基化合物的含量(41.4%)。感官评吸及燃烧锥温度场特征分析表明三元阻燃膨胀涂层使燃烧锥最高温度下降了39℃,说明蒙脱石三元阻燃薄片保持原有香气质的同时具有良好的降温减害效果。

基片涂载法制备的蒙脱石三元阻燃薄片具有较好的阻燃效果,可以降低卷烟燃烧温度和烟气中的部分有害物质含量,但工业应用还需要结合薄片的造纸法生产工艺及材料的溶解性能,具体制备方法还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 王迅键, 钟芳, 陈茂深, 等. 烟草薄片平衡含水率影响因素探究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 189-194.
- [2] 谢国勇, 李斌, 银董红, 等. 卷烟燃吸温度分布与主流烟气中7种有害成分释放量的关系[J]. 烟草科技, 2013(11): 67-72.
- [3] CHEN Mao-shen, SHE Shi-ke, XU Zhi-qiang, et al. Effect of exogenous softwood on thermal decomposition of reconstituted tobacco sheet[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014, 117(2): 893-900.
- [4] 周顺, 王孝峰, 宁敏, 等. 钾盐对烟草燃烧热解特性的作用机制[J]. 烟草科技, 2016, 49(11): 33-41.
- [5] TANG Gang, DENG Dan, CHEN Jun, et al. The influence of organo-modified sepiolite on the flame-retardant and thermal properties of intumescent flame-retardant polylactide composites [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 130(2): 763-772.
- [6] WAND Na, WU Yu-hu, MI Long, et al. The influence of expandable graphite on double-layered microcapsules in intumescent flame-retardant natural rubber composites [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2016, 123(2): 1 239-1 251.
- [7] 葛维娟, 张金凯, 马丽, 等. 成炭剂及其膨胀阻燃体系的研究进展[J]. 塑料科技, 2014, 42(12): 119-125.
- [8] RIMEZ B, RAHIER H, BIESEMANS M, et al. Flame retardancy and degradation mechanism of poly(vinyl acetate) in combination with intumescent flame retardants I: Ammonium poly(phosphate) [J]. Polymer Degradation and Stability, 2015, 121: 321-330.
- [9] HOLDER K M, HUFF M E, COSIO M N, et al. Intumescent multilayer thin film deposited on claybased nanobrick wall to produce self extinguishing flame retardant polyurethane [J]. Journal of Material Science, 2015, 50(6): 2 451-2 458.
- [10] DAS K, MAITI S, LIU D. Morphological, mechanical and thermal study of ZnO nanoparticle reinforced chitosan based transparent biocomposite films [J]. Journal of the Institution of Engineers, 2014, 95(1): 35-41.
- [11] WANG Yu-hai, ZHANG Song, WU Xiao-man, et al. Effect of montmorillonite on the flame-resistant and mechanical properties of intumescent flame-retardant poly(butylene succinate) composites [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 128(2): 1 417-1 427.
- [12] ZHOU Shun, NING Min, XU Ying-bo, et al. Thermal degradation and combustion behavior of reconstituted tobacco sheet treated with ammonium polyphosphate [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2013, 100(3): 223-229.
- [13] SHAO Ning, XUE Fang, HOU Li, et al. Effects of ternary potassium containing intumescent flame retardant coating on the combustion and thermal degradation properties of reconstituted tobacco sheet [J]. Thermochimica Acta, 2019, DOI: org/10.1016/j.tca.2019.178310.
- [14] 刘民昌, 李斌, 银董红, 等. 基于费马点平移原理的卷烟静燃温度数据前处理方法[J]. 烟草科技, 2012(6): 20-23.
- [15] 王程辉, 周顺, 徐迎波, 等. 再造烟叶丝、膨胀烟丝和膨胀梗丝的燃烧特性[J]. 烟草科技, 2013(1): 5-9.
- [16] 马鹏飞, 李巧灵, 林凯, 等. 加热非燃烧烟草薄片的热解特性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 71-74.
- [17] LI Yu-chin, YANG You-hao, KIM Y S, et al. DNA-based nanocomposite biocoatings for fire-retarding polyurethane foam [J]. Green Materials, 2014, DOI: org/10.1680/gmat.14.00003.
- [18] LIU Yun, WANG Quan-quan, JIANG Zhi-ming, et al. Effect of chitosan on the retardancy and thermal degradation properties of coated cotton fabrics with sodium phytate and APTES by LBL assembly [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2018, 135(2): 289-298.
- [19] DING Meng-meng, WEI Bin, ZHANG Zhao, et al. Effect of potassium organic and inorganic salts on thermal decomposition of reconstituted tobacco sheet [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 129(2): 975-984.
- [20] 崔晓梦, 于川芳, 李海杰, 等. 基于卷烟温度检测技术的瞬时燃烧速率表征及燃烧锥区域特征分析[J]. 烟草科技, 2017(3): 73-79.