


[首页](#) [政务信息](#) [行业资讯](#) [社会服务](#)
[站内搜索](#) [搜索](#)
[办事大厅](#) | [消费者](#) | [零售客户](#) | [烟农](#) | [烟草企业](#) | [信息公开](#) | [信息公开目录](#) | [依申请公开](#) | [信息公开指南](#)

 当前位置 >> 科技信息 >> 卷烟工业 查看: [减小字体](#) [增大字体](#)
[卷烟工业](#)
[领导信箱](#)
ldxx@tobacco.gov.cn

[烟草论坛](#)
[留言板](#)
[电子邮件定制](#)
[短信互动](#)

2006-09-07

利用红外测温技术测定卷烟的燃烧温度

卷烟燃烧锥的温度是影响其主流和侧流烟气中化学成分及其含量进而影响卷烟品质最基本的特性参数之一,它直接影响着卷烟燃烧锥中的烟草成分的热解合成反应和各种挥发、半挥发成分向烟气中的输送量,也与烟气中有害成分的产生量有很大关联。如主流烟气中多种稠环芳烃的存在被认为主要是高温合成产生的,高温下 CO_2 能被 C 还原为 CO,降低燃烧温度可减少 CO 的释放大量^[1]。因此,调控卷烟的燃烧温度以减少烟气对吸烟者及环境的危害是一项有效的技术措施,而要对卷烟的燃烧温度进行调控,则必须建立快速、准确的卷烟测温方法。

卷烟燃烧温度的研究^[2]始于 20 世纪 50 年代末。由于卷烟内部烟丝分布的不均匀性和其疏松的结构,导致温度分布很不规则,加之卷烟在燃吸时气体流速很快,使得这方面的研究存在一定的难度。到了 20 世纪 60 ~ 70 年代,测量卷烟燃烧温度成为一个比较活跃的研究领域^[3-4],尤其是 BAKER^[5-6]在前人研究的基础上,利用热电偶测量气相温度和用红外传导纤维光学探针测量固相温度,描绘出燃烧着的卷烟在阴燃和抽吸时的温度分布。但由于早期的红外扫描仪分辨率较低,记录速度慢,对于观察卷烟抽吸时的动态温度变化还存在不足。近年来,随着红外扫描技术的发展,为观察卷烟的固相燃烧温度以及捕捉温度最高点提供了方便^[7-8]。为研究不同类型卷烟抽吸时最高温度的变化情况,利用高分辨率和可快速记录的 AGEMA SC3000 红外热像仪分别对单料烤烟、香料烟和白肋烟烟支的燃烧温度进行测量,并将该红外热像仪对卷烟燃烧锥的发射率进行重新校正。

国家烟草专卖局总机

010-63605000

新闻投稿热线:

010-63606303

010-63605947

010-63605142

cx-out@tobacco.gov.cn

1 材料与amp;方法

1.1 材料

(1)仪器设备:SM400型20通道吸烟机(英国FILTRONA公司);RM1单通道吸烟机(德国BORGWALT公司);AGEMA SC3000红外热像仪(美国FLIR公司);热重分析仪(美国PE公司);DX208-3-3型数据记录仪(日本YOKOGAWA公司);R型快速微型测温热电偶装置(自制,热电偶丝的直径为0.05mm,用外径0.3mm的石英玻璃管对两种金属丝进行绝缘,在1000℃时的精确度为 $\pm 2^\circ\text{C}$,响应时间为 $3.1^\circ\text{C}/\text{ms}$,可以精确灵敏地对卷烟燃烧时每一点的气相温度进行测量)。

(2)烟支样品的制备及处理:分别用2002年辽宁C2F烤烟、云南B2香料烟和湖北C2白肋烟制备成单料烟。各单料烟支的圆周均为24.5mm,长度(64+20)mm。烟支重量和吸阻的分选范围见表1。

分别将 KNO_3 、草酸钾、柠檬酸钾溶于二次蒸馏水中,使钾离子的浓度为 $0.004\text{mol}/\text{mL}$,用微量注射器分别吸取 $50\mu\text{L}$ 钾盐溶液,均匀地注入烤烟试样烟支中,然后在温度(22 ± 1)℃、湿度(60 ± 2)%条件下平衡2d,备用。

表1 各单料烟支的重量和吸阻分选值

烟支类型	重量(g)	吸阻(Pa)
烤烟	0.969 ± 0.010	862 ± 50
香料烟	1.040 ± 0.010	890 ± 50
白肋烟	0.890 ± 0.010	880 ± 50

1.2 方法

1.2.1 卷烟燃烧锥表面发射率的测量

利用卷烟阴燃时气、固相温度保持平衡的原理,采用自制的快速微型测温热电偶装置^[9]测出气相的温度,作为红外热像仪所测到的某一小范围温度平均值的参考值,再按照斯蒂芬-波尔兹曼定律^[10]推算发射率。

1.2.2 固相温度的测量

目前我们建立的红外测温技术是仅用红外测温系统对卷烟第3口抽吸和阴燃的温度进行测量。该系统包括AGEMA SC3000红外热像仪、 $106\mu\text{m}$ 近摄镜头(34mm×25mm/110mm)和1台附有内置抓图板的电脑(Windows XP);用SM400型

20 通道吸烟机和 RM1 单通道吸烟机进行卷烟的抽吸。整个红外测温系统的记录速度为 50Hz (0.02s 记录 1 幅图);热像仪的空间分辨率为 1.1mrad;频谱范围 8~9 μm ;图形输出方式为 14bit 数码输出。热像仪和目标物的距离为 0.100m;环境和大气温度为(22 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$;相对湿度(60 \pm 2)%;红外探头的测温范围选择在 300~1500 $^{\circ}\text{C}$,精确度为 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 。

2 结果与讨论

2.1 卷烟燃烧锥表面的红外发射率

根据斯蒂芬-波尔兹曼定律,灰体的辐射力为:

$$M_g = \epsilon \sigma T_b^4 = \sigma T_g^4 \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad (1)$$

式中: σ ——斯蒂芬-波尔兹曼常数; ϵ ——发射率,在特定温度下物体的辐射力和黑体辐射力的比值。 ϵ 通常随波长和温度而变化,用热像仪获得的 ϵ 值是热像仪探测器敏感的红外波段内 ϵ_λ 的平均值。

图 1a 是和热电偶相接触点的卷烟燃烧锥燃烧过程的气相温度变化曲线。由图 1a 可以看出,烟支在阴燃状态(10:14:27)时,气、固两相温度达到平衡,可以认为每一点的气相温度和固相温度相等,此时的温度曲线比较平稳,所对应的气相温度为 609.3 $^{\circ}\text{C}$,即 $T_b = 609.3^{\circ}\text{C}$;而抽吸时温度急剧升高,抽吸快结束时温度又重新回落。从图 1b 的红外热图上找到卷烟和热电偶所接触的点,读出此点周围小范围内的平均值 $T_g = 581.3^{\circ}\text{C}$ (此时 ϵ 值设为 1,为热像仪测得的等效黑体温度)。把 T_b 和 T_g 代入公式(1),可得 ϵ 值为 0.88。

按照上述方法,依次对 3 种单料卷烟在 5 次不同阴燃时期的发射率进行了测定,取其平均值,结果见表 2。从表 2 可以看出,3 种不同类型单料卷烟抽吸时燃烧锥的红外发射率为 0.83~0.93,平均值为 0.87~0.88,彼此之间无明显差异。因此在实验中对各种卷烟进行测温时,确定的发射率均取相同值 0.88。

2.2 抽吸过程中燃烧锥外围固相温度的红外热图

图 2 是在标准抽吸条件下(35mL, 2s)红外热像仪拍到的卷烟燃烧锥外围的固相温度分布图。图中温度色标的下限为 231.8 $^{\circ}\text{C}$,是把红外热像仪的温度范围选择在 300~1500 $^{\circ}\text{C}$ 时红外热像仪附带的软件自动设定的色标下限;而色标的上限

温度是固定的,也可以根据温度的动态变化自动调整。为更直观地对温度的变化进行比较,本实验中色标的上限均设定为 999.9℃。

从图 2 可见,抽吸之前(阴燃状态),整个温度的分布比较均匀(图 2a)。抽吸到 0.5s 时,可明显看到燃烧线前的亮点(图 2b),这是由于卷烟抽吸时,燃烧线前面 1~2mm 处的空气阻力较小,因而大量的空气从此处进入,使得此点的燃烧最剧烈,燃烧温度最高;而在亮点周围出现了一部分变暗的区域,有人^[11]认为这是气相的温度,但我们认为应是已经燃烧过的、被大量空气流冷却的灰分,因为红外热像仪不能对气相物质进行拍摄。而对抽吸 0.5s 后短时间内的 3 幅红外热图进行比较(图 2b、图 2c、图 2d)可见,在短短的 0.02s 时间内,代表最高温的 SP01 这个标记位并不都处在同一位置上,而是有一定的位移。这个最高温是由于新的烟丝在富氧条件下的瞬时燃烧,同时从白色发亮区域的迅速扩散可以看出这个燃烧过程是非常迅速和短暂的,如果仪器的图像分辨率低或响应时间及记录速度慢一点,这种燃烧过程就会被忽略掉。当抽吸到 0.8s 时,随着空气流的不断进入,代表高温的白色发亮区域更加扩大(图 2e),主要是此时燃烧所产生的热量升高了整个燃烧锥的温度。到抽吸结束,卷烟的温度分布区域又重新恢复到阴燃时的均匀状态(图 2f),但此时的总体温度比抽吸前要略高一些,而且随着外围热源的推进,燃烧锥变长,燃烧线后移了约 2.5mm。

表 2 3 种单料烟燃吸时燃烧锥的红外发射率

卷烟类型	发射率					平均值
烤烟	0.84	0.88	0.83	0.89	0.93	0.87
香料烟	0.85	0.86	0.86	0.86	0.90	0.87
白肋烟	0.90	0.83	0.90	0.87	0.92	0.88

2.3 抽吸过程中最高温度的变化

图 2 的系列红外热图真实直观地动态记录了卷烟的燃烧过程,从这些红外热组图上可以方便地捕捉到卷烟抽吸过程中任意一点的温度值,为卷烟燃烧锥表面的燃烧温度测定提供了便捷的手段。从抽吸过程中每一幅热图中捕捉到的最高温度随时间的变化曲线可见(图 3),最高温度曲线中间不很平滑,有波动,温度的数值比以往报道^[6]的 900℃高得多,这个瞬时高温是其中某一小区

域受到高流量 O_2 而产生的瞬时燃烧,以前用灵敏度较差的仪器是观察不到这种现象的。由于主流烟气大部分是在抽吸时产生的,因此在分析主流烟气成分和卷烟燃烧温度的关系时,有必要对不同卷烟抽吸时的最高温度进行比较。

多次实验发现,瞬时最高温度较高的烟支(图 4 中的 a 曲线),其最高温随抽吸时间的面积也大(图 4 左侧),2s 抽吸时间内的平均温度也高(图 4 右侧)。而对抽吸时红外热图中最高温度所在点周围一定区域内的温度取平均值时发现,所取的范围越大,其平均值越小,且在抽吸阶段的瞬时最高温较高时,其相同面积区域内的平均温度也高一些(图 5),证明瞬时高温与平均温度之间有良好的相关性。从图 3 还可发现,最高温的曲线形状和抽吸曲线有些相似,可见抽吸流速的变化,能改变单位时间内进入燃烧锥的空气,相应地改变烟丝的燃烧状态,因而产生了不同的燃烧温度。由此可以看出,瞬时高温不是完全随机、毫无规律的,它能够反映出该烟支的燃烧状态。虽然最高抽吸温度和进入燃烧锥的空气流量有良好的相关性,但空气流量不是唯一的决定因素,因为烟支间的差异(如填充值等)也会影响氧气流分布,导致最高抽吸温度产生比较大的差异。因此,比较不同类型卷烟抽吸时燃烧温度的差异,需要对其进行多次测量后取其平均值。实验中,分别对同一种样烟的抽吸最高温度进行 3 个系列的测量,每个系列取 10 次测量数据。从图 6 可见,虽然每个系列中的 10 次测量结果偏差较大,但 3 个系列平均值的重复性较理想。因此本实验中的抽吸最高温度都是取 10 次结果的平均值。

2.4 不同类型单料烟的固相抽吸最高温度

利用红外热像仪拍到的固相抽吸最高温度可以方便地对不同类型的卷烟进行比较。从表 3 可以看出,烤烟的燃烧温度较高,香料烟和白肋烟的

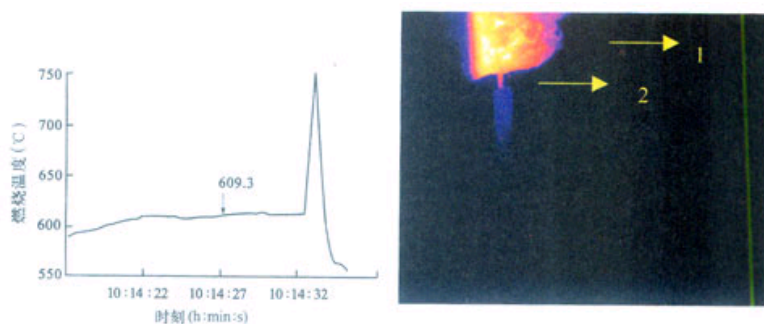
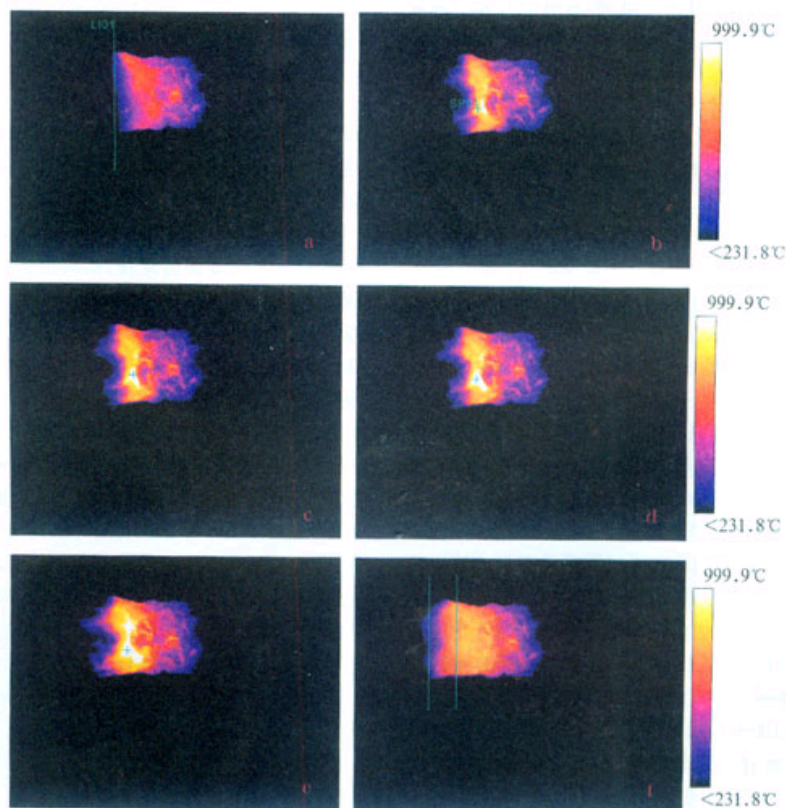


图1 与热电偶相接触点的卷烟气相燃烧温度变化曲线



a. 抽吸前 b. 抽吸 0.5s c. 抽吸 0.52s d. 抽吸了 0.54s e. 抽吸 0.8s f. 抽吸结束后
Li01 和 Li02 分别代表抽吸前和抽吸刚结束时燃烧线的位置 SP01 为最高温度点

图2 卷烟抽吸过程中的红外热组图

燃烧温度较低。按照“有机钾”概念[有机钾 = 钾的总量 - ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$)]^[12], 只有与有机酸结合 (NO_3^- 除外)的钾才能对烟草的燃烧性产生积极的促进作用, 从而降低卷烟的燃烧温度, 对这几种烟草的总钾、氯离子、硫酸根离子的质量百分比进行了测量, 并根据公式(2)进行了有机钾含量的计

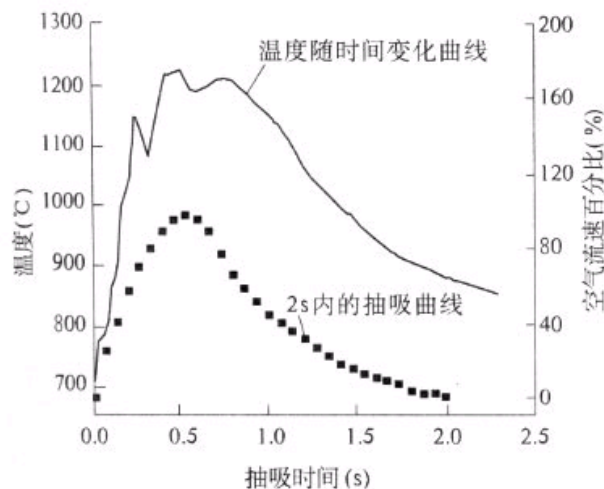
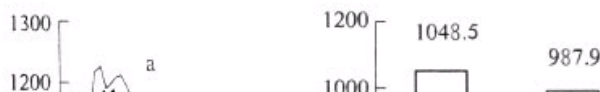


图3 卷烟抽吸时最高温度和时间的关系



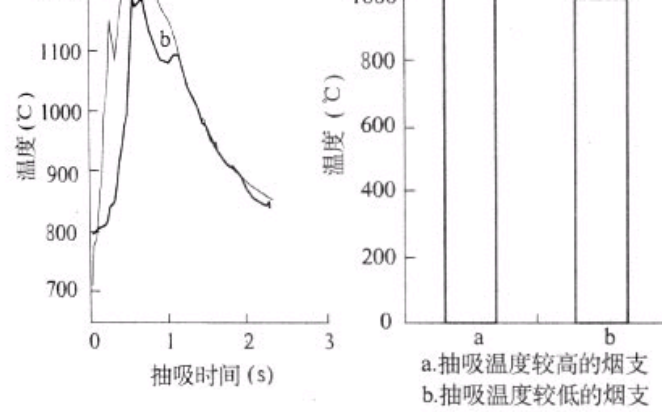


图4 不同烟支抽吸最高温度随时间的变化
(左)及2s内最高温度的平均值(右)

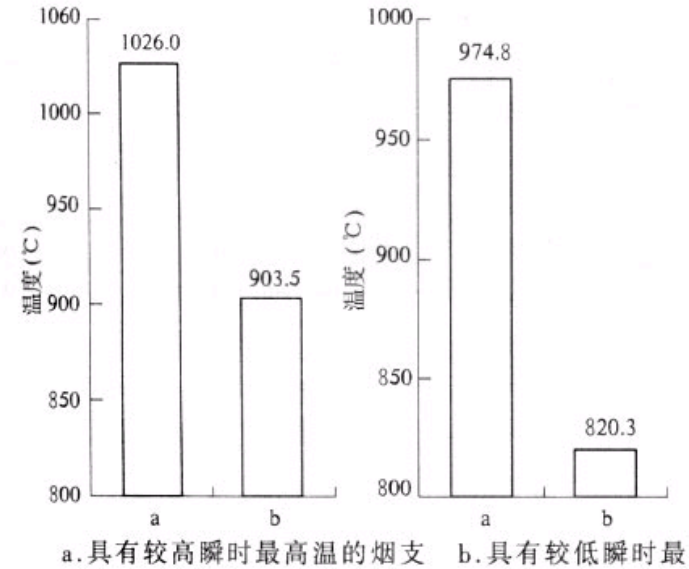


图5 红外热图中最高温周围2mm直径(左)和
3mm直径(右)圆形区域内的平均温度

算,其中 M_{K^+} 、 M_{Cl^-} 、 $M_{SO_4^{2-}}$ 分别为 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的摩尔质量。

$$\text{有机钾} = \left[\frac{K^+}{M_{K^+}} - \left(\frac{Cl^-}{M_{Cl^-}} + 0.5 \frac{SO_4^{2-}}{M_{SO_4^{2-}}} \right) \right] \times M_{K^+} \times 100\% \quad (2)$$

由表3可见,烤烟的有机钾含量最低,而白肋烟最高,正好说明了固相抽吸最高温度的变化趋势。

2.5 外加钾盐对固相抽吸最高温度的影响

大量的研究^[11-16]结果表明,钾盐可以作为助燃剂添加在烟草中。YAMAMOTO等^[13]发现,在卷烟中加入苹果酸钾及硝酸钾后,卷烟的焦油量、烟碱量和CO量都有所降低,而且用热电偶测到的燃烧温度也有所降低;LIU等^[11]也发现,加入几种有机钾盐后,卷烟的外围平均抽吸温度有所下降。我们利用几种常见的有机钾盐,观察了在烤烟型卷烟中分别加入不同钾盐后固相抽吸最高温

度的变化情况(图7)。由图7可见,添加柠檬酸钾的降温效果最好,添加硝酸钾和草酸钾也能在一定程度上起到降低卷烟燃烧温度的作用。

从差热分析(DTA)的结果(图8)看,加入柠檬酸钾后,原先在400~450℃之间由于烟草的集中燃烧所产生的剧烈放热峰减弱;在550~600℃范围产生一组峰。同样,加入草酸钾和硝酸钾的DTA曲线也有类似的变化。由此可见,在卷烟中加入钾盐后,同样的燃烧反应所产生的热量不是集中瞬间释放,而是逐步释放,因此观察到的红外热像仪的抽吸最高温度也有所降低。

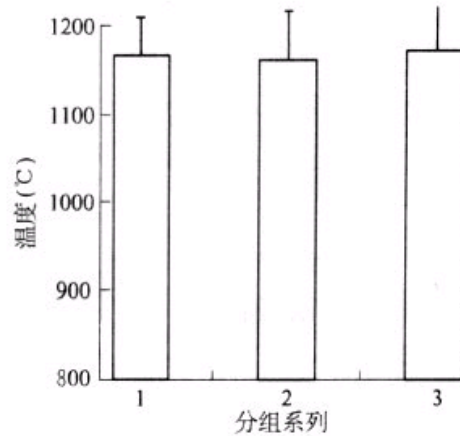
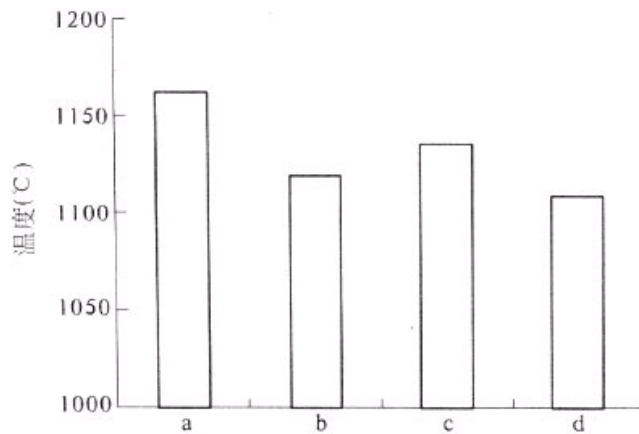


图6 抽吸高温度的10次平均平行结果

表3 不同类型单料烟燃烧温度和有机钾含量的比较

卷烟类型	固相抽吸最高温度(°C)	K ⁺ (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ²⁻ (%)	有机钾(%)
烤烟	1162	1.9	0.3	1.91	1.2
香料烟	1114	2.3	0.4	1.47	1.6
白肋烟	1081	4.1	0.3	1.80	3.4



a. 未加添加剂 b. 加硝酸钾 c. 加草酸钾 d. 加柠檬酸钾

图7 烤烟型卷烟中加入不同钾盐后固相抽吸最高温度的变化

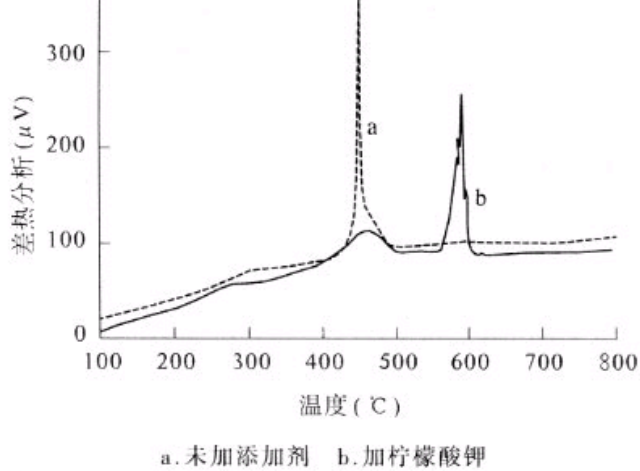


图 8 烤烟型卷烟添加柠檬酸钾前后的 DTA 曲线对比

3 结论

(1) 红外热像仪具有高分辨率和高速记录的特点,能够对卷烟燃烧锥外围的固相燃烧温度进行实时、准确地测量。不同类型卷烟之间燃烧锥表面的发射率测定结果相差不大,其平均值为 0.88。

(2) 卷烟燃烧过程中存在瞬时最高温,这个瞬时最高温基本上能够反映出卷烟燃烧锥的实际温度,与抽吸时空气的流量有直接联系。受多种因素的影响,不同烟支的最高抽吸温度变化较大。实验证明,测量同一类型的不同烟支,取 10 次测量结果的平均值,具有较好的重复性。

(3) 通过比较不同类型烟叶的最高抽吸温度发现,白肋烟的抽吸温度较低;烤烟的抽吸温度较高,这可能是由于白肋烟的钾含量较高造成的。

(4) 在卷烟中加入有机钾盐能够降低烟支的燃烧温度。DTA 的结果表明,加入有机钾盐后,同样的燃烧反应所产生的热量不是集中瞬间释放,而是逐步释放,所观察到的红外热像仪的抽吸最高温度也有所降低。

(上海烟草(集团)公司技术中心 复旦大学化学系
郑赛晶 顾文博 张建平 刘百战 张祥民)
(摘自《烟草科技》2006年第7期)



主管: 国家烟草专卖局办公室
地址: 中国北京西城区月坛南街55号(100045)
建议使用: 800*600分辨率以上, IE5.0以上浏览器
未经许可, 本网站包括图像、图标、文字在内的所有数据不得转载

主办: 国家烟草专卖局信息中心
备案序号: 京ICP备05033420号