

制造技术



卷烟燃烧锥形态参数测定及与燃烧速度间的关系

穆林¹, 惠建权¹, 陶世春¹, 刘舒畅¹, 梁森², 冯亚婕², 王建民^{2*}, 牛婷婷²

1 贵州中烟工业有限责任公司技术中心, 贵阳市小河区开发大道96号 550009;

2 郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 郑州高新技术产业开发区科学大道136号 450001

摘要: 为深入了解卷烟的燃烧性能, 建立了一种基于图像处理技术的卷烟燃烧锥长度、面积、偏离角等形态参数的测定方法, 通过 48 种卷烟样品自由燃烧速度及燃烧锥形态参数的测定, 研究了卷烟燃烧锥形态参数与自由燃烧速度间的关系。研究结果表明: (1) 48 种卷烟燃烧锥锥长、锥面积、偏离角的 RSD 分别介于 2.7%~10.1%、1.1%~10.1%、12.0%~78.3% 之间, 其中燃烧锥长度及面积的重复性较好, 依据测量结果区分样品间差异性的灵敏度较高。(2) 48 种卷烟的燃烧锥锥长、锥面积和偏离角分别介于 6.604~14.017mm、38.729~92.825mm²、2.778~7.636°之间, 不同牌号卷烟的三项燃烧锥形态参数均存在极显著差异性。(3) 卷烟自由燃烧速度与燃烧锥锥长和面积间均存在极显著正相关关系, 且两者之间存在交互作用。

关键词: 卷烟; 燃烧锥; 燃烧速度; 测定方法

引用本文: 穆林, 惠建权, 陶世春, 等. 卷烟燃烧锥形态参数测定及与燃烧速度间的关系 [J]. 中国烟草学报, 2019, 25 (1)

卷烟的燃烧是烟丝与卷烟纸配合完成并产生烟气的过程, 也是消费卷烟的过程, 这决定了卷烟燃烧性能的重要性。对卷烟燃烧性能的基本要求是不熄火, 而提高卷烟的自由燃烧速度、降低燃烧温度已然成为降焦减害的重要手段和卷烟燃烧性能研究的重要内容^[1-2]。随着卷烟包灰性能日益受到关注, 相关研究成果不断涌现^[3-6], 进一步丰富了卷烟燃烧性能的内涵、扩大了研究领域。

燃烧锥是卷烟燃烧过程中形成的碳化锥形体, 燃烧锥的形态, 如锥长、锥面积、倾斜度等是烟丝、卷烟纸、烟支卷制特性及燃烧过程综合作用的结果, 通过燃烧锥形态及其与燃烧性能间的关系研究, 则可能从新的视角探索影响卷烟燃烧性能的因素及规律性, 为全面优化卷烟燃烧性能提供更充分的依据。近年来, 国内围绕卷烟燃烧锥的研究已经取得了一些成果, 如李斌等^[7]开展了卷烟燃烧锥受力分析研究、并建立了落头倾向检测方法, 赵秋荣等^[8]研究了烟丝结构对卷烟燃烧锥掉落率的影响, 以上研究关注的重点是卷烟抽吸过程中的燃烧锥脱落, 即“掉火头”问题。在燃烧锥形态研究方面, 李斌、刘昌民、崔晓梦等^[9-11]在建立卷烟燃吸过程中温度分布检测系统基础上, 开

展了卷烟燃烧锥温度分布的表征方法、燃烧锥区域特征分析等方面的研究, 试图从温度变化角度表征燃烧锥的形态。此外, 刘峰、王琼等^[12-13]发明了用于测量燃烧锥锥长及碳线宽度的方法, 何沛^[14]等发明了一种卷烟燃烧锥截面积测量装置, 用于测定燃烧锥面积。

综上所述, 目前关于卷烟燃烧锥形态的研究主要集中在形态参数的测量及表征方面, 且未形成公认的标准化方法; 而关于不同卷烟燃烧锥形态参数间的差异性、影响因素, 以及燃烧锥形态与相关燃烧性能间关系方面的研究则少见报道。为此, 本文建立了一种基于图像处理技术的卷烟燃烧锥形态多指标综合测量方法, 对国内 40 余种不同牌号卷烟的燃烧锥形态参数进行了测量及统计分析, 并探讨了卷烟自由燃烧速度与燃烧锥形态参数间的关系。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

48 种不同中烟公司、不同档次的市售烤烟型卷烟样品, 长度均为 84mm, 圆周为 24.2~24.5mm 之间, 零售价格介于 5~100 元/包, 分别用 1#~48# 表

基金项目: 贵州中烟工业有限责任公司科技项目 (“贵烟”品牌卷烟燃烧性能评价体系研究及应用, GZZY/KJ/JS/2015BY013-2)

作者简介: 穆林 (1985—), 硕士, 工程师, 主要从事卷烟产品研发工作, Tel: 18185072077, Email: hao2nan@126.com

通讯作者: 王建民 (1963—), Tel: 13513803186, Email: wjm63@163.com

收稿日期: 2018-05-19; **网络出版日期:** 2018-12-07

示, 其中 1#~27# 属于一类烟, 28#~34# 属于二类烟, 35#~46# 为三类烟, 47#、48# 为四类烟。

主要实验仪器包括烟支燃烧性能测试箱 (自制); KBF240 恒温恒湿箱 (德国 Binder 公司); 佳能 EOS70D 数码相机。图片处理软件为 ImageJ、Adobe Photoshop CC 2105; 数据处理与分析软件为 Spss 17.0。

1.2 实验方法

1.2.1 卷烟燃烧锥形态参数测定方法

卷烟燃烧锥形态参数的测定主要包括样品准备、燃烧锥制作、锥形态图片获取及参数测定四个部分。

(1) 样品准备

随机选取待测样品 15 支, 每 3 支为一组分为 5 组, 置于温度 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(60 \pm 2)\%$ 的恒温恒湿箱中平衡 48h 备用。在距离接装纸 5mm、10mm 位置处分别划线作为标记, 其中 5mm 位置用作图片分析时的标尺距离, 10mm 位置为烟支燃烧高度标记。

(2) 燃烧锥制作

点燃烟支并竖直放置于卷烟燃烧性能测试箱内的烟支架上, 待烟支静燃至距离接装纸 10mm 处时立即使用试管从烟支燃烧端往下盖住卷烟, 使其与外部空气隔绝, 从烟支架上取下已熄灭的烟支, 使用吸耳球轻轻、匀速吹去燃烧锥表面的烟灰, 待到没有浮灰落下时视为卷烟燃烧锥已制作好。

(3) 锥形态图片采集

将制作好的燃烧锥重新置于烟支架上, 采用数码相机拍照, 测试箱内照明条件良好。相机镜头距离烟支架距离为 215mm, 参数设定为: 感光度 400, 对焦 500, 光圈 5.6, 照明条件为白炽灯, 曝光模式选择 AV (光圈优先自动曝光), 单点伺服对焦。

(4) 燃烧锥形态参数测定

启动 ImageJ 软件并打开图片, 采用标尺工具设定比例尺, 即测量标记距离 (5mm) 的像素长度, 进而通过像素比转换为实际长度; 使用长度测量工具测定燃烧锥锥长 L ; 选用角度测量工具以烟支外轮廓的两侧为切边、锥面外边缘的两边为临边测量燃烧锥的左右边角, 并计算角差, 用以表征卷烟燃烧锥的偏离程度, 以下称作偏离角 $\alpha^{[15]}$, 如图 1 所示。

启动 Photoshop 软件打开图片, 选用标尺工具测量标记位置距离的像素长度, 记为 X , 使用“魔法棒”功能调节容差并扣除图片背景, 选用“磁性套索”工具截选锥形态, 点击“记录测量”得到卷烟燃烧锥像素面积 (如图 2), 记为 Y , 运用公式 (1) 计算得到燃烧锥实际面积 M 。

$$M = Y \div \left(\frac{X}{5} \right)^2 \quad (1)$$

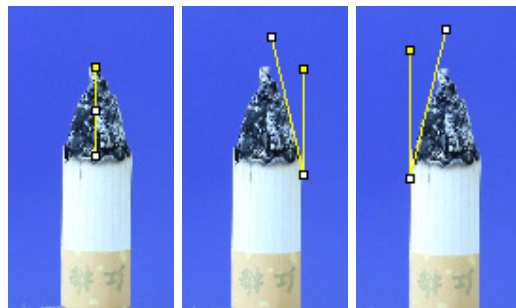
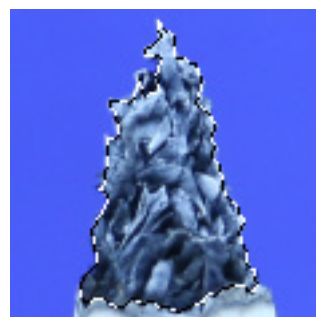


图 1 锥长、锥角测量示例图

Fig.1 Sample graph of cone length and cone angle measurement



44.558mm²

图 2 锥面积测量示例图

Fig.2 Sample graph of cone area

1.2.2 卷烟燃烧速度测定方法

参照文献 [16-17], 采用棉线法进行卷烟自由燃烧速度测定, 实验开始前将烟样于恒温恒湿箱中平衡 48h。各牌号随机选取 16 支, 取 16 支测定结果的平均值表示牌号卷烟自由燃烧速度 V 。

1.3 统计方法

运用正态性检验 (Kolmogorov-Smirnov)、单因素方差分析、LSD 及 SNK 多重比较、多元回归等方法对测量结果进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同卷烟燃烧锥形态参数及自由燃烧速度的描述统计

1#~48# 卷烟的燃烧锥形态参数及自由燃烧速度测定结果与描述统计结果如表 1 所示。①锥长、锥面积、偏离角及自由燃烧速度的 Kolmogorov-Smirnov 检验结果均不显著 (p 值分别为 0.228、0.182、0.115、0.688), 表明四项指标均呈随机、正态分布。②不同卷烟的燃烧锥锥长介于 6.604~14.017mm 间, 平均

为 9.243mm；锥面积介于 38.729~92.825mm² 间，平均为 48.870mm²；偏离角介于 2.778~7.636°间，平均为 4.574°；自由燃烧速度介于 4.405~6.377mm·min⁻¹ 间，平均为 5.146 mm·min⁻¹。

对 48 种不同牌号卷烟的燃烧锥形态各参数进行单因素方差分析，结果表明，锥长、锥面积及偏离角均呈极显著差异性（*p* 值分别为 0.000、0.000 和 0.002）。

表 1 卷烟燃烧锥形态参数及自由燃烧速度测定结果
Tab 1.Determination results of burning cone shape parameters and free burning rate of cigarette

样品编号	锥长 /mm		锥面积 /mm ²		偏离角 /°		燃烧速度 /mm·min ⁻¹	
	均值	RSD/%	均值	RSD/%	均值	RSD/%	均值	RSD/%
1#	10.208	8.8	52.506	8.8	3.935	59.9	4.947	4.1
2#	7.886	8.9	39.690	9.1	2.778	59.0	4.512	3.6
3#	7.458	8.0	43.034	4.2	6.203	31.3	4.405	3.8
4#	8.698	3.9	49.441	6.4	7.636	21.4	4.787	4.0
5#	6.604	10.1	38.729	7.7	5.689	66.1	4.570	5.1
6#	7.698	5.9	42.862	3.7	5.422	28.8	4.978	5.0
7#	9.875	3.5	53.739	5.4	5.043	34.5	5.646	4.8
8#	8.250	3.7	43.321	8.0	4.047	22.4	5.076	7.6
9#	8.969	5.3	45.687	4.7	3.440	52.4	4.489	5.0
10#	8.889	5.0	47.709	5.7	6.730	25.5	4.671	5.3
11#	9.167	4.3	44.047	2.3	4.982	35.0	4.835	5.4
12#	10.302	7.8	55.793	10.1	4.381	57.8	5.536	5.7
13#	8.050	2.7	45.902	6.2	6.004	53.1	5.024	5.3
14#	9.465	6.9	48.023	4.2	5.455	69.9	5.658	4.7
15#	9.688	6.2	52.991	6.9	4.383	40.2	5.306	3.5
16#	9.425	5.2	44.722	4.0	5.332	46.9	4.906	5.0
17#	9.153	7.6	45.643	7.8	3.502	33.5	4.850	5.8
18#	9.359	6.9	45.484	5.7	2.995	46.6	5.598	4.3
19#	14.017	7.1	92.825	5.2	4.036	36.4	6.025	6.5
20#	8.204	5.6	40.068	5.7	4.088	45.1	4.626	3.6
21#	9.315	4.5	44.308	7.6	3.123	53.7	4.896	3.3
22#	9.530	3.0	48.837	5.4	4.335	43.2	5.305	4.7
23#	9.507	5.8	50.253	5.9	3.048	47.1	5.228	4.5
24#	9.956	4.1	57.315	7.2	3.886	44.5	4.631	3.5
25#	9.333	4.2	45.787	5.5	4.273	42.8	4.901	5.1
26#	8.667	7.6	42.943	6.8	5.243	36.0	4.819	3.4

续表 1

样品编号	锥长/mm		锥面积/mm ²		偏离角/°		燃烧速度/mm·min ⁻¹	
	均值	RSD/%	均值	RSD/%	均值	RSD/%	均值	RSD/%
27#	9.163	9.4	44.876	8.7	4.041	55.6	4.420	3.6
28#	7.406	8.6	42.521	1.1	6.873	53.5	4.593	4.5
29#	9.302	7.7	45.894	6.6	3.195	47.0	5.175	4.0
30#	9.365	7.1	48.792	6.5	4.400	27.7	4.838	5.7
31#	9.343	8.1	47.911	5.2	4.711	41.2	5.364	3.6
32#	10.708	3.4	52.278	5.9	6.946	26.7	5.130	3.9
33#	9.573	5.5	54.343	6.5	3.401	53.2	5.221	5.3
34#	10.768	7.0	52.852	3.8	3.980	46.6	5.584	5.4
35#	8.927	8.2	49.810	4.1	4.425	39.6	5.628	4.1
36#	8.552	4.1	45.824	5.2	4.687	56.0	4.999	4.5
37#	8.719	8.4	47.770	5.5	5.844	43.7	5.279	5.2
38#	8.292	7.8	43.022	7.4	4.731	29.7	4.946	4.9
39#	9.656	4.8	54.429	5.8	4.127	32.2	5.236	3.9
40#	9.240	3.4	46.318	3.7	3.353	12.0	4.924	4.5
41#	8.758	5.0	47.592	2.8	5.708	46.4	5.494	6.1
42#	9.555	5.7	56.551	3.5	4.409	73.0	5.697	6.2
43#	9.916	4.8	50.303	6.2	4.311	39.5	6.290	5.1
44#	9.972	7.7	51.744	8.9	4.441	49.5	5.346	4.8
45#	9.232	5.2	43.939	6.6	3.869	40.0	4.915	3.1
46#	9.806	6.8	54.460	9.0	3.889	42.9	5.721	4.9
47#	9.972	6.1	48.753	7.0	4.119	78.3	6.377	7.1
48#	9.768	3.9	54.114	7.2	4.103	39.2	5.620	5.6
最小值	6.604	2.7	38.729	1.1	2.778	12.0	4.405	3.1
最大值	14.017	10.1	92.825	10.1	7.636	78.3	6.377	7.6
平均值	9.243	6.07	48.870	5.99	4.574	43.89	5.146	4.76
极差	7.413	--	54.096	--	4.858	--	1.972	--
RSD/%	11.94	--	16.30	--	24.37	--	9.10	--

2.2 卷烟燃烧锥形态测定方法的重复性及灵敏度

2.2.1 方法的重复性

如表 1 所示, 48 种卷烟燃烧锥锥长的 RSD 介于 2.7%~10.1% 间, 平均值为 6.07%; 锥面积的 RSD 介于 1.1%~10.1% 间, 平均值为 5.99%; 偏离角的 RSD 介于 12.0%~78.3% 间, 平均值为 43.89%。锥长及锥面积两项指标的平均 RSD 均明显低于对应指标的样品间 RSD, 说明利用所建方法测定这两项指标时, 测量结果的重复性较好, 而不同样品的 RSD 的差异较大, 主要是由样品自身的均匀程度不同造成的。燃烧锥偏离角的平均 RSD 明显高于该指标的样品间 RSD, 说明利用所建方法测定该项指标时, 测量结果的重复性较差。

2.2.2 区分样品间差异性的灵敏度

不同牌号间的单因素方差分析结果似乎说明, 利用所建方法的测定结果区分不同样品间的差异性时, 三项指标均具有较高的灵敏度, 但进一步分析发现并非如此。采用 LSD 多重比较法进行样品间的两两比较、并统计达到显著差异的样品间的最小均值

差, 结果如表 2 所示, ①达到极显著差异 ($p<0.01$) 的样品间锥长、锥面积、偏离角的最小均值差分别为 0.597mm、4.154mm² 和 2.209°, 分别占三项指标 48 种样品间极差的 8.05、7.68 和 45.47%; ②达到显著差异 ($p<0.05$) 的样品间锥长、锥面积、偏离角的最小均值差分别为 0.442mm、2.689mm² 和 1.830°, 分别占三项指标 48 种样品间极差的 5.96、4.97 和 37.67%。最小均值差越小、一定程度说明方法的灵敏度越高, 用三项指标的最小均值差除以各自的极差以消除量纲的影响后可以看出, 利用本方法测量结果区分不同样品的锥长和锥面积时的灵敏度明显高于偏离角。另外, 由 SNK 多重比较结果可以更直观的看出(见表 3), 48 种样品按照锥长和锥面积的差异性分别被分成了 15 个组别, 而偏离角仅被分成了 2 个组别, 且其中只有 2# 和 4# 样品表现为显著差异, 其余牌号均无显著性差异。可见, 所建方法用于区分样品间燃烧锥锥长及锥面积时具有较高的灵敏度, 而区分偏离角时的灵敏度较差, 这主要是因为偏离角测量结果的重复性较差造成的。

表 2 锥形态各参数均值差及显著性结果

Tab.2 The result of the mean difference of the shape parameters of the burning cone

参数	最小均值差	最小均值差 / 极差 (%)	P 值
锥长 /mm	0.597	8.05	0.010
	0.442	5.96	0.048
锥面积 /mm ²	4.154	7.68	0.000
	2.689	4.97	0.021
偏离角 /°	2.209	45.47	0.007
	1.830	37.67	0.021

表 3 燃烧锥各参数的 SNK 多重比较结果^①

Tab.3 SNK multiple comparison results of various shape parameters of the burning cone

[illegible]

续表 3

锥高子组															锥面积子组															偏离角子组				
样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	样品	1	2
38		+	+	+	+	+	+	+								8	+	+	+	+	+	+									17	+	+	
36			+	+	+	+	+	+	+							45	+	+	+	+	+	+	+								45	+	+	
26			+	+	+	+	+	+	+	+						11	+	+	+	+	+	+	+								24	+	+	
4			+	+	+	+	+	+	+	+	+					21	+	+	+	+	+	+	+								46	+	+	
37			+	+	+	+	+	+	+	+	+					16	+	+	+	+	+	+	+								1	+	+	
41			+	+	+	+	+	+	+	+	+					27	+	+	+	+	+	+	+								34	+	+	
10				+	+	+	+	+	+	+	+					18		+	+	+	+	+	+	+							19	+	+	
35				+	+	+	+	+	+	+	+					17		+	+	+	+	+	+	+							8	+	+	
9				+	+	+	+	+	+	+	+	+				9		+	+	+	+	+	+	+							20	+	+	
17					+	+	+	+	+	+	+	+	+			25		+	+	+	+	+	+	+							48	+	+	
27					+	+	+	+	+	+	+	+	+			36		+	+	+	+	+	+	+							47	+	+	
11					+	+	+	+	+	+	+	+	+			29		+	+	+	+	+	+	+							39	+	+	
45						+	+	+	+	+	+	+	+			13		+	+	+	+	+	+	+							25	+	+	
40							+	+	+	+	+	+	+	+		40			+	+	+	+	+	+	+						43	+	+	
29							+	+	+	+	+	+	+			41				+	+	+	+	+	+	+					22	+	+	
21							+	+	+	+	+	+	+			37				+	+	+	+	+	+	+	+				12	+	+	
25							+	+	+	+	+	+	+			31				+	+	+	+	+	+	+	+				15	+	+	
31							+	+	+	+	+	+	+			14				+	+	+	+	+	+	+	+	+			30	+	+	
18							+	+	+	+	+	+	+			47				+	+	+	+	+	+	+	+	+			42	+	+	
30							+	+	+	+	+	+	+			30				+	+	+	+	+	+	+	+	+			35	+	+	
16							+	+	+	+	+	+	+			22				+	+	+	+	+	+	+	+	+			44	+	+	
14								+	+	+	+	+	+			4					+	+	+	+	+	+	+	+			36	+	+	
23									+	+	+	+	+			10						+	+	+	+	+	+	+			31	+	+	
22									+	+	+	+	+			35						+	+	+	+	+	+	+			38	+	+	
42										+	+	+	+			23							+	+	+	+	+				27	+	+	
33										+	+	+	+			43							+	+	+	+	+				11	+	+	
39										+	+	+	+	+		44								+	+	+	+	+	+	+	7	+	+	
15										+	+	+	+	+		32								+	+	+	+	+	+		26	+	+	
48										+	+	+	+	+		1								+	+	+	+	+	+		16	+	+	
46										+	+	+	+	+		34										+	+	+	+		6	+	+	
7											+	+	+	+		15										+	+	+	+		14	+	+	
43											+	+	+	+		7									+	+	+	+			5	+	+	
24												+	+	+		48											+	+	+		41	+	+	
44											+	+	+	+		33												+	+		37	+	+	
47											+	+	+	+		39												+	+	+	13	+	+	
1												+	+	+		46												+	+	+	3	+	+	
12													+	+		12												+	+	+	10	+	+	
32														+		42														+	28	+	+	
34														+		24													+		32	+	+	
19															+	19														+	4			

注：① “+” 表示对应样品所在的子组；相同子组内的样品差异不显著 ($p>0.05$)

综上所述，所建方法在测量卷烟燃烧锥锥长和锥面积时，具有较好的重复性，利用测量结果区分样品间差异性时具有较高的灵敏度。

2.3 卷烟燃烧锥形态参数与自由燃烧速度间的相关性

各项指标间的简单相关分析结果见表4，自由燃烧速度与锥长、锥面积均呈极显著的正相关关系。这可能是因为燃烧锥越长、面积越大，与空气的接触面积就越大、阴燃时的氧气供应更充足所致。

以自由燃烧速度为因变量，锥长(L)和锥面积(M)为自变量进行多元回归分析，结果见表5、6。
①自由燃烧速度与锥长和锥面积均呈极显著的二次方关系，且两者间存在极显著的交互作用。
②回归方程的复相关系数为0.751，大于自由燃烧速度与锥长和锥面积各自的简单相关系数；且由标准化回归系数的绝对值可以看出，两者间交互作用的影响最大，其次是锥面积和锥长。可见，自由燃烧速度是锥长和锥面积综合作用的结果，而考虑到燃烧锥过长有可能增加“掉火头”倾向，通过控制锥长、增大锥面积来提升卷烟的自由燃烧速度或许是更好的选择。
③回归方程的决定系数只有0.564，说明除了燃烧锥形态之外，还存在影响自由燃烧速度的其它关键因素，如烟丝自身燃烧性、烟支卷制特性等。

综上所述，通过增加燃烧锥锥长或锥面积有利于提高自由燃烧速度、减少抽吸口数，进而达到降焦减害的目的。因此，有必要进一步开展卷烟燃烧锥形态及影响因素研究。

表4 燃烧锥形态与自由燃烧速度相关关系^②

Tab.4 Correlation between burning cone shape parameters and free burning rate

	锥长	锥面积	偏离角	自由燃烧速度
锥长	1	0.868**	-0.292**	0.589**
锥面积		1	-0.116	0.533**
偏离角			1	-0.170
自由燃烧速度				1

注：② “**”为极显著 ($p<0.01$)

表5 多元回归分析结果

Tab.5 Results of multiple regression analysis

模型	非标准化系数		标准化系数	T 值	P 值
	B	标准误	β		
常数项	3.731	0.228		16.387	0.000
L^2	-0.201	0.054	-11.266	-3.733	0.001
M^2	-0.007	0.002	-17.624	-3.857	0.000
$M*L$	0.077	0.020	28.790	3.901	0.000

表6 回归模型概述表

Tab.6 The overview table of regression model

相关系数	决定系数	调整决定系数	估计值标准误
0.751	0.564	0.532	0.275

3 结论

(1) 建立了一种基于图像处理技术的卷烟燃烧锥锥长、锥面积和偏离角等形态参数的测定方法，该方法测量燃烧锥长度和面积时的重复性较好、区分样品间差异性的灵敏度较高。

(2) 对48种不同牌号卷烟的燃烧锥形态参数进行了测量和统计分析，结果表明，锥长、锥面积和偏离角三项指标分别介于6.604~14.017mm、38.729~92.825mm²、2.778~7.636°之间。方差分析结果表明不同牌号卷烟的燃烧锥形态存在极显著差异性。

(3) 燃烧锥锥长和锥面积与卷烟自由燃烧速度间存在极显著相关关系，随着锥长和锥面积增大，自由燃烧速度加快。

参考文献

[1] 王建民, 闫克玉, 姚光明, 等. 卷烟燃烧性与助燃剂用量间的关系研究[J]. 烟草科技, 2000(6): 10-11.
WANG Jianmin, YAN Keyu, YAO Guangming, et al. Relationship between cigarette combustibility and dosage of burning accelerant[J]. Tobacco Science & Technology, 2000(6): 10-11.
[2] 程传玲. 卷烟烟气化学[M]. 河南人民出版社, 2013.
CHENG Chuanling. Cigarette smoke chemistry[J]. Henan people's Publishing House, 2013: 5-9.
[3] 叶灵, 李超, 焦俊, 等. 卷烟燃烧锥保持性测试仪的设计及应用[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(23): 58-60.
YE Ling, LI Chao, JIAO Jun, et al. Design and Application of the Test Apparatus for the Cigarette Combustion Cone[J]. Hubei

- Agricultural Sciences, 2016,55(23): 58-60.
- [4] 周顺, 王孝峰, 何庆, 等. 烟草及烟草制品燃烧 & 热解检测分析技术研究进展 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23(2): 130-136.
ZHOU Shun, WANG Xiaofeng, HE Qing, et al. Research progress of combustion and pyrolysis detection and analysis technology for tobacco and tobacco products[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(2): 130-136.
- [5] 王道宽, 连芬燕, 刘雯, 等. 卷烟包灰性能的影响因素 [J]. 烟草科技, 2013,4-6.
WANG Daokuan, LIAN Fenyan, LIU Wen, et al. Factors Affecting Ash Integration of Burning Cigarette[J]. Tobacco Science & Technology, 2013,4-6.
- [6] 于龙国. 卷烟纸相关因素对卷烟包灰性影响分析 [J]. 中华纸业, 2015,36(6): 38-40.
YU Longguo. An analysis on the effect of relative factors of ash packing performance of cigarette paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2015,36(6): 38-40.
- [7] 李斌, 马新玲, 刘向珍, 等. 卷烟燃烧锥受力分析与落头倾向检测方法 [J]. 烟草科技, 2014(1): 12-15.
LI Bin, MA Xinling, LIU Xiangzhen, et al. Mechanical Analysis of Hot C oal of C igarettes and its Fallout Propensity Measurement[J]. Tobacco Science & Technology, 2014(1): 12-15.
- [8] 赵秋荣, 吴迪, 李立群, 等. 烟丝结构对卷烟燃烧锥掉落率的影响分析 [J]. 农产品加工, 2017(1): 40-43.
ZHAO Qiurong, WU Di, LI Liqun, et al. Analysis of the Influence of the Structure of Cigarette on the Cigarette Discharge[J]. Farm Products Processing, 2017(1): 40-43.
- [9] 李斌, 刘民昌, 银董红, 等. 卷烟燃吸过程中温度分布检测系统的开发及应用 [J]. 烟草科技, 2013(2): 24-26.
LI Bin, LIU Minchang, YIN Donghong, et al. Development and Application of System for Measuring Temperature Distribution in Cigarette Burning Cone During Smoking[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(2): 24-26.
- [10] 刘民昌, 李斌, 银董红, 等. 卷烟燃烧锥温度分布的表征方法 [J]. 烟草科技, 2012(12): 9-12.
LIU Minchang, LI Bin, YIN Donghong, et al. Characterization of Temperature Distribution in Cigarette Burning Cone[J]. Tobacco Science & Technology, 2012(12): 9-12.
- [11] 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, 50(3): 73-79.
CUI Xiaomeng, YU Chuanfang, LI Haijie, et al. Characterization of instantaneous burning rate and analysis of regional characters in burning cone based on cigarette temperature measurement technology[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(3): 73-79.
- [12] 刘峰, 董浩, 邢军, 等. 卷烟燃烧锥测量仪: 中国, CN201212803Y [P]. 2009-03-25.
LIU Feng, DONG Hao, XING Jun, et al. A cone measuring instrument for cigarette burning: China, CN201212803Y [P]. 2009-03-25.
- [13] 王琼, 董浩, 刘峰, 等. 一种卷烟燃烧锥形态尺寸测定方法: 中国, CN101769733A [P]. 2017-07-07.
WANG Qiong, DONG Hao, LIU Feng, et al. A method for measuring size of cigarette combustion cone shape:China, CN101769733A [P]. 2017-07-07.
- [14] 何沛, 刘春波, 申钦鹏, 等. 一种卷烟燃烧锥截面面积测量装置: 中国, CN203837666U [P]. 2014-09-17.
HE Pei, LIU Chunbo, SHEN Qinpeng, et al. A device for measuring the cone section area of cigarette combustion:China, CN203837666U [P]. 2014-09-17.
- [15] 余婷婷, 詹建波, 程量, 等. 纵向抗张能量吸收对卷烟纸包灰性能的影响 [J]. 材料导报: 纳米与新材料专辑, 2017(1): 384-387.
YU Tingting, ZHAN Jianbo, CHENG Liang, et al. Effect of longitudinal Tensile energy absorption on Ash Integration of Cigarette Paper[J]. Materials Review: Nanoscale and new materials album, 2017(1): 384-387.
- [16] 沈慧, 姚鹤鸣, 鲍雪芬. 卷烟燃烧速度测定方法优化 [C]//. 上海烟草系统 2003 年度优秀学术论文集. 2003.
SHEN HUI, YAO Heming, BAO Xuefen. Optimization of the method for determining the burning rate of cigarettes[C]//. Shanghai tobacco system. 2003.
- [17] 黄维裴. 烟草和烟草制品一卷烟一自由燃烧速度的测定 [J]. 烟草科技, 1981(2):55-58.
HUANG Weifei. Tobacco and tobacco products - cigarettes - Determination of free burning rate[J]. Tobacco Science & Technology, 1981(2):55-58.

Shape parameters of cigarette burning cone and their relationships with burning rate

MU Lin¹, HUI Jianquan¹, TAO Shichun¹, LIU Shuchang¹, LIANG Miao², FENG Yajie², WANG Jianmin^{2*}, NIU Tingting²

¹ Technology Center, China Tobacco Guizhou Industrial Co., Ltd., Guiyang 550009, China;

² College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

Abstract: To understand combustion performance of cigarette, a method for determining shape parameters such as length, area and deviation angle of burning cones was established based on image processing technology. Through the determination of free burning rate and shape parameters of burning cone of 48 kinds of cigarette samples, the relationship between shape parameter of burning cone of cigarette and free burning rate was studied. Results showed that: (1) The RSD of cone length, cone area and deviation angle of 48 cigarettes ranged from 2.7% to 10.1%, 1.1% to 10.1%, and 12.0% to 78.3%, and the reproducibility of cone length and cone area was better. The sensitivity in distinguishing difference between samples was higher according to the measurement results. (2) Cone length, cone area and deviation angle of the 48 cigarettes were between 6.604~14.017mm, 38.729~92.825mm² and 2.778~7.636, respectively. There were extremely significant differences in three cone shape parameters among different brands of cigarettes. (3) There was a significant positive correlation between free burning rate of cigarettes and cone length and area of burning.

Keywords: cigarette; burning cone; burning rate; determination method

Citation: MU Lin, HUI Jianquan, TAO Shichun, et al. Shape parameters of cigarette burning cone and their relationships with burning rate [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(1)

*Corresponding author. Email: wjm63@163.com