

卷烟主流烟气中氨捕集方法的改进

何育萍^{1,2}, 王大锋^{1,2}, 徐磊², 樊亚玲^{1,2}, 薛秀云³

- (1. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;
2. 陕西中烟工业有限责任公司 技术中心, 陕西 宝鸡 721000;
3. 山东中烟工业有限责任公司 技术中心, 山东 青岛 266101)

摘要:为了提高卷烟主流烟气中氨的测定效率,对现行标准 YC/T 377—2010 中氨的捕集方法进行改进,提出剑桥滤片收集卷烟主流烟气中氨的方法:将乙醇、甘油、0.20 mol/L 浓度的盐酸溶液按照 4:1:5 体积比配制滤片处理溶液,用装有经滤片处理液处理后的剑桥滤片的捕集器,在常规的卷烟抽吸中,实现卷烟主流烟气中氨的捕集.结果表明:剑桥滤片法的日内重复性的相对标准偏差 < 2.33%, 日间重复性的相对标准偏差 < 1.92%, 数据精密度良好;加标回收率 93% ~ 97%, 方法准确性较高;与 YC/T 377—2010 方法比对结果的相对标准偏差 < 4.38%, 二者结果一致.改进后的捕集方法程序简单、易于操作,可有效提高操作效率.

关键词:主流烟气;氨;捕集方法

中图分类号:TS45 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.2095-476X.2015.5/6.012

Improvement of collection method of ammonia in mainstream cigarette smoke

HE Yu-ping^{1,2}, WANG Da-feng^{1,2}, XU Lei², FAN Ya-ling^{1,2}, XUE Xiu-yun³

- (1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
2. Technology Center, China Tobacco Shaanxi Industrial Co., Ltd., Baoji 721000, China;
3. Technology Center, China Tobacco Shandong Industrial Co., Ltd., Qingdao 266101, China)

Abstract: In order to improve the determination efficiency of ammonia (NH_3) in mainstream cigarette smoke, the collection method described in the current standard (YC/T 377—2010) was improved. The Cambridge filter method was established; the mixed solution of ethanol, glycerol, 0.20 mol/L HCl ($V_{\text{ethanol}} : V_{\text{glycerol}} : V_{\text{HCl}} = 4 : 1 : 5$) was used to prepare the special filter. Cambridge filter trap filled by the special filter was used for collecting ammonia from cigarette mainstream smoke in the process of the conventional cigarette suction. The results showed that: the method achieved excellent reproducibility with inter-assay relative standard deviation of 2.33%, whilst the intra-assay deviation was 1.92%. The recovery was in the range of 93% to 97% and achieved high accuracy; With methods of YC/T 377—2010 the relative standard deviation (RSD) was less than 4.38%. The improved collection method with simple procedure and easy operation, could effectively improve the operating efficiency.

Key words: mainstream cigarette smoke; ammonia; collection method

收稿日期:2015-02-27

作者简介:何育萍(1974—),女,陕西省兴平市人,郑州轻工业学院硕士研究生,陕西中烟工业有限责任公司高级工程师,主要研究方向为烟草化学.

0 引言

氨是烟草中的天然成分,不仅会降低卷烟的感官品质,还会刺激人的呼吸系统,是烟气中 46 种 Hoffmann 有害成分之一,也是我国评价卷烟危害性的一项重要指标^[1-2]. 氨含量的准确测定可为评价卷烟质量和安全性提供数据参考. 卷烟烟气中氨的测定方法研究,始于 1960 年代,多是采用剑桥滤片和稀盐酸分别收集粒相和气相中的氨,然后使用分光光度法、容量法、电极法、离子色谱法等进行分析测定^[3-7]. 之后,离子色谱法在烟气氨测定中得到了广泛应用,YC/T 377—2010^[8]是现用的测定主流烟气中氨的标准方法,该方法也是利用剑桥滤片和稀盐酸溶液分别捕集烟气粒相和气相中的氨. 近几年,马雁军等从分离柱的使用、杂质的去除等方面对 YC/T 377—2010 进行了研究与改进,但这些改进均未涉及氨捕集方法的优化^[9-11],其不足主要表现在两个方面:1)操作程序繁杂:捕集阱的安装、清洗、装液、拆卸等程序多且比较费时. 以完成单批样品的气相中氨的捕集程序来计算用时,一般捕集阱(以单批 20 个计)的拆卸(5 min)、清洗(30 min)、加液(10 min)、安装(5 min),完成单批样品的气相捕集程序现有装置至少需用时约 50 min;2)现有装置为玻璃制品,若清洗、安装不慎,易造成装置的破碎和漏气,且阱内装有吸收氨的溶液易发生液体倒吸. 本文拟针对上述不足,进行优化研究,以期提高氨捕集的效率.

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

主要材料:某年烟气监控卷烟 A.

主要试剂:盐酸(36%~38%)、乙醇、甘油,均为分析纯,国药集团化学试剂有限责任公司产;NH₄⁺标准溶液(1 000 μg/mL),国家标准物质研究中心产.

主要仪器:pB-10 PH 计,ME414S 电子天平

(感量 0.000 1 g),德国 Sartorius 产;ICS-3000 离子色谱仪, Dionex Ion Pac CS16 阳离子分析柱(5 mm×250 mm),Dionex Ion Pac CG16 阳离子保护柱(3 mm×50 mm),美国 Dionex 公司产;SM450 吸烟机,英国斯茹林 Cerulean 公司产;HY-8 回旋振荡器,常州国华电器有限公司产.

1.2 样品前处理

1.2.1 萃取液的制备 用盐酸和去离子水配制 0.01 mol/L 的盐酸溶液.

1.2.2 滤片处理液的配制 按照 4:1:5 的体积比,分别准确移取乙醇、甘油和 0.20 mol/L 盐酸溶液混合均匀.

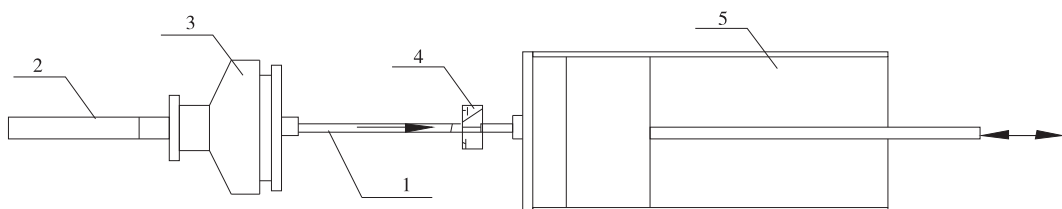
1.2.3 氨捕集滤片的制备 将一张 44 mm 的剑桥滤片,放入直径大于滤片的玻璃皿中,移取 2.0 mL 滤片处理液均匀滴在滤片上,待液体全部被吸收且滤片被完全浸润后,将滤片放置于温度(22±1)℃,湿度(60±3)%的恒温恒湿环境中 2 h 以上即可使用.

1.2.4 氨的捕集 将处理过的剑桥滤片和一张普通滤片装在常规捕集器中(见图 1),确定抽吸通道不漏气,并测试吸烟机抽吸容量满足标准 GB/T 19609 的要求后,在 GB/T 16447 规定的环境条件下随机选取平衡后的牌号 A 的卷烟样品 4 支,用符合 GB/T 16450 规定的常规吸烟机按照 GB/T 19609 抽吸条件进行抽吸,在卷烟抽吸的同时对主流烟气中的氨进行捕集,完成单批样品的氨的捕集程序最多用时 10 min.

捕集完毕后,打开捕集器,取出滤片放入 50 mL 锥形瓶中,加入 20 mL 萃取液,震荡 40 min,得到卷烟主流烟气中的氨(气相中氨和粒相中氨)的萃取液,准确移取 5 mL 萃取液,用 0.01 mol/L 的盐酸溶液定容至 25 mL,制得待测样品.

1.3 方法

采用 YC/T 377—2010 方法对待测样品中的氨的含量进行定量测定.



1.卷烟 2.抽吸通道 3.常规捕集器(装有处理后滤片) 4.阀门 5.针筒

图 1 烟气中总氨捕集器的示意图

2 结果与讨论

2.1 氨捕集滤片的处理方法

2.1.1 助挥发剂、水分调节剂和酸类型的确定 若直接采用酸的水溶液制备捕集氨的剑桥滤片,则难以掌握合适的溶液加入量.加液量大的话,滤片太湿,吸烟过程阻力大,抽吸曲线严重右移,不能达到理想的抽吸状态;若加液量过小,滤片没有完全润湿,捕集效率下降,还会导致捕集液在滤片上不均匀,吸烟过程中烟气从阻力小的地方通过,烟气通过滤片不均匀,实验重复性不好,而且滤片要达到适用的湿度,需要很长的平衡时间.

为了解决上述问题,经查阅资料^[12],确定在酸液中加入乙醇作为助挥发剂,甘油为水分调节剂,选择与 YC/T 377—2010 方法一致的盐酸为吸收酸.对加入滤片处理液的体积、加入方式和平衡时间进行优化.在滤片平衡过程中,乙醇挥发且有利于滤片上溶液的均匀,带走部分水分,使得滤片不至于太湿,同时使滤片的气体透过性良好,由于酸在水中才有利于氨的吸收,甘油作为水分调节剂可使滤片保持一定的湿度.

2.1.2 滤片处理液加入量的确定 选择以 1 mL, 2 mL, 3 mL 为滤片处理液加液量,以滤片浸润性、加液均匀性能为衡量指标进行最佳加液量试验,试验结果见表 1.

表 1 滤片浸润性和加液均匀性试验结果

加液体积/mL	浸润性能	加液均匀性
1	部分浸润	不均匀
2	全部浸润,未溢出	均匀
3	全部浸润,溢出	均匀

由表 1 可知,确定滤片处理液加液量为 2 mL,同时确定滤片处理条件为:在恒温恒湿环境中放置 2 h^[13],这个条件适于滤片的浸润和方便操作.

2.1.3 滤片处理液配制比例的确定 以 0.01 mol/L 的盐酸溶液^[3]为酸液,按照乙醇、甘油、酸液的配制比例范围为:乙醇体积(8—1):1:盐酸溶液体积(1—8),在恒温恒湿环境中,平衡不同时间后滤片中液体含量的变化见表 2.

由表 2 可见,随着滤片放置时间的推移,滤片上液体的含量逐渐减少, $V_{乙醇}:V_{甘油}:V_{酸液}$ 为 4:1:5, 5:1:4 时的液体含量较其他方式稳定,24 h 时基本稳定在 47.0% 左右,其液体含量较其他配比高出将近 1%,在保证滤片不太湿的同时,水分含量越高

表 2 不同比例制备的滤片
在不同平衡时间内的滤片中液体含量 %

序号	处理液配制比例 $V_{乙醇}:V_{甘油}:V_{酸液}$	不同平衡时间/h					
		1	2	3	4	5	24
1	8:1:1	76.5	58.9	48.6	44.4	43.9	46.5
2	7:1:2	79.9	69.6	62.5	53.3	44.9	46.6
3	6:1:3	80.1	72.3	64.3	55.2	45.8	46.6
4	5:1:4	80.7	74.4	67.7	58.5	47.6	47.5
5	4:1:5	81.8	77.1	71.8	64.5	53.3	47.5
6	3:1:6	83.0	79.6	76.0	70.5	60.4	47.0
7	2:1:7	83.9	81.3	78.5	83.8	66.2	42.3
8	1:1:8	84.4	82.1	79.1	74.4	66.0	43.6

越有利于氨的吸收,所以初步选择这两种比例进行后续氨捕集量实验.

用 0.01 mol/L 的盐酸溶液,按照上述两种配制比例处理滤片后,恒温恒湿环境中放置 2 h 后,进行抽吸容量和氨捕集量试验,试验结果见表 3 和表 4.

表 3 两种配制比例处理滤片放置
不同时间后抽吸容量 mL

滤片放置时间/h	标准方法	处理液配制比例	
		$V_{乙醇}:V_{甘油}:V_{酸液}$	
		4:1:5	5:1:4
2	35.0	35.0	35.0
3	34.7	35.0	34.9
5	34.7	35.0	34.8
7	35.0	35.3	35.3

表 4 0.01 mol/L 的盐酸溶液配制的滤片处理液处理
滤片后的氨捕集量试验结果 $\mu\text{g}\cdot\text{支}^{-1}$

方法	氨含量	粒相中 氨含量	气相中 氨含量
标准方法	12.44	12.06	0.38
4:1:5	12.76	11.70	1.06
5:1:4	12.19	11.43	0.76

由表 3 可知,两种滤片配制方式,在 2 h 后抽吸时,吸烟机的抽吸容量均在 (35.0 ± 0.3) mL 范围内,符合 GB/T 16450—2004 吸烟机标准抽吸条件要求.

由表 4 结果可知,4:1:5 比例的氨捕集量最高(12.76 $\mu\text{g}/\text{支}$),则以 4:1:5 配比处理滤片处理液来进行后续试验.

2.1.4 处理后滤片的酸性 分别以 0.01 mol/L, 0.05 mol/L, 0.10 mol/L, 0.20 mol/L 浓度的盐酸溶液,按照上述 $V_{乙醇}:V_{甘油}:V_{酸液}=4:1:5$ 的配制方式处理滤片,随时间的推移,测定其滤片的 pH 值

(将滤片放入 50 mL 锥形瓶中,加入 25 mL 去离子水放置 10 min 后,用 pH 计测定). 试验结果见表 5.

表 5 不同时间不同浓度盐酸处理滤片 pH 值的变化

时间/h	0.01 mol/L	0.05 mol/L	0.10 mol/L	0.20 mol/L
0	6.7	5.7	4.7	4.2
2	7.3	6.4	4.9	4.4
3	7.2	6.7	4.9	4.3
5	7.0	7.0	5.0	4.2
20	7.8	7.9	6.1	4.2
24	7.7	7.7	6.3	4.4
27	7.4	7.6	6.4	4.3
44	8.1	8.1	7.7	4.4
48	8.1	8.4	7.4	4.2

由表 5 可以看出,4 种浓度的盐酸溶液处理的滤片(除 0.20 mol/L 外)的 pH 值大多随时间逐渐增大,酸性呈减弱趋势,而 0.20 mol/L 的 pH 值基本稳定在 4.3 左右,0.20 mol/L 盐酸溶液处理的滤片酸性最强且稳定,其捕集氨的能力是最强、最稳定的.

2.1.5 酸液浓度的确定和方法捕集效率试验 分别以 0.01 mol/L, 0.05 mol/L, 0.10 mol/L, 0.20 mol/L 浓度的盐酸溶液,按照上述 $V_{乙醇} : V_{甘油} : V_{酸液} = 4 : 1 : 5$ 的配制方式处理滤片,对捕集方法进行氨捕集量的试验和氨吸收效率试验.

在常规捕集器内装上处理好的滤片,可在其后再加装一张普通滤片,以防止液体进入抽取通道然后在其后串联上吸收瓶(内装 0.01 mol/L 盐酸吸收液),测试方法的捕集效率,结果见表 6.

从表 6 可以看出:0.10 mol/L, 0.20 mol/L 浓度的盐酸的氨含量较大,吸收效率较高,分别为 98%, 99%. 结合表 5, 后者滤片的 pH 值均稳定在 4.3 左右,可判定以该浓度的盐酸溶液配制的滤片处理液处理后的滤片的捕集氨的能力稳定. 由此可确定用 0.20 mol/L 浓度的盐酸来处理吸收滤片的溶液.

2.2 方法评价

2.2.1 空白试验 按照 1.2 操作制备空白样品,抽

表 6 不同浓度盐酸溶液对全滤片法的氨捕集量及捕集效率

盐酸浓度 (mol · L ⁻¹)	氨含量 (ug · 支 ⁻¹)	吸收瓶氨量 (ug · 支 ⁻¹)	氨总量合计 (ug · 支 ⁻¹)	滤片吸收气 相氨的效率/%
0.01	12.03	0.58	12.61	95
0.05	12.17	0.56	12.73	96
0.10	12.35	0.27	12.62	98
0.20	12.61	0.07	12.68	99

吸时卷烟不点燃. 平行测定 3 次,结果未检出氨离子.

2.2.2 比对试验 为了评价剑桥滤片法的捕集效果,将其与 YC/T 377—2010 方法进行比对,测定结果见表 7.

捕集方法	表 7 捕集方法氨的测定值			μg/支
	氨粒相部分 平均值	氨气相部分 平均值	氨总量 平均值	
标准方法	11.78	0.24	12.02	0.13
剑桥滤片法	—	—	12.10	

注:由于剑桥滤片法实现了主流烟气中粒相和气相中氨的同时捕集,所以表中没有粒相和气相部分氨含量的数值.

由表 7 可知,剑桥滤片法与标准方法的相对标准偏差 < 1%,说明其与标准方法的一致性较好.

2.2.3 精密度的 为测试本捕集方法的日内重复性和日间重现性,用同一卷烟按照 1.2 的步骤操作,每日测试 5 轮,分 5 d 测定,求日内和日间的平均值、标准偏差、相对标准偏差表征. 试验数据见表 8.

剑桥滤片法的日内重复性的相对标准偏差 < 3%, 日间重复性的相对标准偏差 < 2%, 具有良好的重复性和重现性,数据精密性良好.

2.2.4 加标回收率 剑桥滤片法回收率试验采用基质加标法,将标样加在萃取液中:分别配置 0.01 mol/L HCl(未加标)作为空白萃取液,0.1 μg/mL NH₄⁺ 和 0.01 mol/L HCl, 0.5 μg/mL NH₄⁺ 和 0.01 mol/L HCl, 1.0 μg/mL NH₄⁺ 和 0.01 mol/L HCl 溶液作为加标萃取液,完全按照捕集方法操作,测得空白、低、中、高 4 个加标水平下的氨含量. 每个水平平行测定 3 个样品,取平均值进行加标回收率的计算,测试结果见表 9. 回收率的计算公式如下:

$$\text{回收率} = (\text{加标测定平均值} - \text{未加标测定平均值}) / \text{加标量} \times 100\%$$

从表 9 可以看出,剑桥滤片法的回收率在 93% ~ 97%,说明方法的准确性较高.

2.3 样品普查

采用 YC/T 377—2010 行业标准与改进后的剑桥滤片法分别对 32 种市售的主要卷烟品牌的主流烟气中氨含量进行测定,结果见表 10.

从测试结果可看出,剑桥滤片法与 YC/T 377—2010 的相对偏差 < 4.38%,两种方法测定结果一致.

3 结论

本文对现行标准 YC/T377—2010 中氨的捕集

表8 精密度测定结果

实验次数	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	日间平均值	日间标偏	日间相对标偏/%
1	12.93	12.41	12.12	12.56	12.31	12.47	0.30	2.44
2	12.35	12.25	12.89	12.13	12.38	12.40	0.29	2.32
3	12.76	12.14	12.47	12.61	12.47	12.49	0.23	1.82
4	12.37	12.83	12.59	12.75	12.91	12.69	0.21	1.71
5	12.61	12.57	12.74	12.49	12.30	12.54	0.16	1.30
平均值	12.60	12.44	12.56	12.51	12.47	12.52	0.24	1.92
日内标准偏差	0.250	0.272	0.293	0.232	0.253	—	—	—
日内相对标准偏差/%	1.98	2.19	2.33	1.85	2.03	—	—	—
总平均值						12.52		
日间平均标偏						0.24		
日间平均相对标准偏差/%						1.92		

表9 各加标水平的氨含量及

样品序号	加标回收率			
	未加标	0.1	0.5	1.0
1 [#]	0.421 8	0.517 3	0.899 4	1.307 2
2 [#]	0.431 2	0.496 2	0.901 5	1.372 4
3 [#]	0.401 6	0.521 9	0.904 7	1.394 6
平均值	0.418 2	0.511 8	0.901 9	1.358 1
回收率/%	—	93.6	96.7	93.9

表10 卷烟氨含量检测结果 $\mu\text{g}/\text{支}$

序号	YC/T 377—2010	剑桥滤片法	相对标准偏差/%
1	7.54	7.62	1.06
2	7.14	7.06	-1.13
3	8.77	8.82	0.57
4	6.37	6.41	0.63
5	8.53	8.34	-2.25
6	7.16	7.02	-1.97
7	8.44	8.69	2.92
8	8.40	8.67	3.16
9	8.07	8.16	1.11
10	7.14	7.36	3.03
11	8.68	8.82	1.60
12	6.46	6.59	1.99
13	7.85	7.83	-0.26
14	4.59	4.68	1.94
15	4.49	4.52	0.67
16	4.64	4.73	1.92
17	5.45	5.66	3.78
18	7.04	7.05	0.14
19	9.87	9.72	-1.53
20	6.50	6.57	1.07
21	6.57	6.45	-1.84
22	5.31	5.28	-0.57
23	8.60	8.75	1.73
24	5.62	5.84	3.84
25	7.75	7.6	-1.95
26	10.01	10.25	2.37
27	7.00	7.28	3.92
28	6.03	6.30	4.38
29	5.56	5.80	4.23
30	8.25	8.45	2.40
31	6.18	6.36	2.87
32	12.61	12.75	1.10

方法进行了改进,提出了剑桥滤片收集卷烟主流烟气中氨的方法.得到如下结论.

1)将试剂乙醇、甘油和0.02 mol/L 盐酸溶液按照5:1:4的体积比混合均匀配制成滤片吸收液;用装有经滤片处理液处理后的剑桥滤片的捕集器,在常规的卷烟抽吸中,实现卷烟主流烟气中氨的捕集.结果表明:剑桥滤片法的日内重复性的相对标准偏差 $<2.33\%$,日间重复性的相对标准偏差 $<1.92\%$,数据精密度良好;加标回收率 $93\% \sim 97\%$,故方法准确性较高;与YC/T 377—2010方法比对结果的相对标准偏差 $<4.38\%$,二者结果一致.

2)该法单批样品捕集程序用时10 min,较YC/T 377—2010方法操作简便,工作效率提高4~5倍.

参考文献:

- [1] Hoffmann D, Hoffmann I. Chemistry and toxicology[J]. Smoking and Tobacco Control Monograph, 1998(2):4297.
- [2] 谢剑平,刘惠民,朱茂祥,等. 卷烟烟气危害性指数研究[J]. 烟草科技,2009(2):6.
- [3] Collins P F, Lawrence W W, Williams J F. An automated procedure for the determination of ammonia in tobacco [J]. Beitrge zur Tabakforschung, 1972(8):166.

- [4] Howell J H, Boltz D F. Indirect spectrophotometric determination of ammonia [J]. *Analytical Chemistry*, 1964, 36 (9): 1798.
- [5] Caballo-López A, Luque de Castro M D. Continuous ultrasound-assisted extraction coupled to flow injection pervaporation, derivatization, and spectrophotometric detection for the determination of ammonia in cigarettes [J]. *Anal Chem*, 2006, 78: 2296.
- [6] Weatherburn M W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia [J]. *Anal Chem*, 1967, 39 (8): 970.
- [7] Sloan C H, Morie G P. Determination of ammonia in tobacco and tobacco smoke with an ammonia electrode [J]. *Anal Chem Acta*, 1974, 69(1): 243.
- [8] YC/T 377—2010, 卷烟·主流烟气中氨的测定·离子色谱法[S].
- [9] 马雁军, 易小丽, 李娜, 等. 改进的离子色谱法用于卷烟主流烟气中氨的测定[J]. *中国烟草学报*, 2012, 18 (4): 1.
- [10] 王颖, 张威, 胡清源, 等. 卷烟主流烟气中氨的测定方法的改进及不同抽吸模式下氨释放量的比较[J]. *烟草科技*, 2012(7): 51.
- [11] 施文庄, 马青, 曾静. 离子色谱法测定主流烟气中氨的方法改进[J]. *烟草科技*, 2012(10): 41.
- [12] 李静, 施超欧, 应叶, 等. 离子色谱法测定博物馆室内空气氨的含量[J]. *理化检验·化学分册*, 2010, 46: 28.
- [13] 马莉, 马雁军, 王建平, 等. 连续流动法测定卷烟主流烟气中氢氰酸方法的改进[C]//上海市烟草专卖局2009年度获奖论文集(工程技术类), 2009: 3-19.

(上接第57页)

- [2] 孙霞, 孙文强. 造纸法烟草薄片的研究现状及应用展望[J]. *华东纸业*, 2010, 41(4): 34.
- [3] 闫克玉. 卷烟烟气化学[M]. 郑州: 郑州大学出版社, 2002.
- [4] Baker R R, Coburn S, Liu C. The pyrolytic formation of formaldehyde from sugars and tobacco [J]. *J Anal Appl Pyrol*, 2006, 77: 12.
- [5] Baker R R, Coburn S, Liu C, et al. Pyrolysis of saccharide tobacco ingredients: a TGA-FTIR investigation [J]. *J Anal Appl Pyrol*, 2005, 74: 171.
- [6] Baker R R, Coburn S, Liu C. The pyrolytic of tobacco ingredients [J]. *J Anal Appl Pyrol*, 2006, 77: 12.
- [7] 张优茂, 李旭华, 黄翼飞, 等. 卷烟燃烧峰值温度对主流烟气CO释放量的影响[J]. *中国造纸*, 2011, 30 (9): 39.
- [8] 宋振兴, 李元实, 乔跃辉, 等. 降低卷烟主流烟气中CO的研究进展[J]. *郑州轻工业学院学报: 自然科学版*, 2011, 26(6): 41.
- [9] 邱晔, 王建, 卢伟. 国内外造纸法烟草薄片的烟气主要有害物质释放量研究及其烟气危害性评估[J]. *现代科学仪器*, 2010(3): 85.
- [10] 邱晔, 卢伟, 王建, 等. 造纸法烟草薄片对卷烟CO释放量影响研究[J]. *云南大学学报*, 2010, 32(S1): 130.
- [11] 邱晔, 孔宁川, 卢伟, 等. 降低造纸法再造烟叶CO释放量的方法: CN102018273A[P]. 2011-04-20.
- [12] 殷艳飞, 王浩雅, 向海英, 等. 造纸法再造烟叶对卷烟CO释放量影响的研究进展[J]. *中国造纸学报*, 2013 (2): 56.
- [13] 李成刚, 王爱霞, 王红霞. 碳酸钙加入量对造纸法再造烟叶物理质量的影响[J]. *生物技术世界*, 2012 (5): 39.
- [14] 贺磊, 吴立群, 刘攀, 等. 造纸法再造烟叶表面涂布碳酸钙工艺[J]. *烟草科技*, 2013(12): 5.
- [15] 曾健, 陈克复, 谢剑平, 等. 碳酸钙对造纸法再造烟叶片基的影响[J]. *烟草科技*, 2013(10): 5.