

基于差分拉曼光谱对烟盒物证检验

姜红¹, 陆润洲¹, 段斌², 刘峰²

(1.中国人民公安大学 侦查学院, 北京 100038; 2.南京简智仪器设备有限公司, 南京 210049)

摘要: **目的** 为了探究一种基于光谱分析的检验方法, 以达到快速准确地区分检验烟盒物证的目的。**方法** 采用便携式差分拉曼光谱仪, 对39个不同的黄色烟盒样本进行测试, 取得各样本的差分拉曼光谱数据。根据烟盒填料种类对样本进行初步分类, 再结合化学计量学, 通过IBM SPSS Statistics 26.0软件, 在主成分分析法对数据进行降维的基础上, 对测量结果进行系统聚类 and K-Means 聚类。**结果** 39种样本依据填料种类可以区分为3类, 结合化学计量学可以更准确地区分为6类。**结论** 该方法无损检材、快捷准确, 且图谱不受荧光干扰, 结合化学计量学方法可以对烟盒样本进行分类检验, 此方法为公安机关在犯罪现场检验此类物证提供了依据。

关键词: 差分拉曼光谱; 烟盒; 主成分分析; 系统聚类; K-Means 聚类

中图分类号: O657.37 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)21-0079-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.21.011

Cigarette Case Evidence Based on Differential Raman Spectroscopy

JIANG Hong¹, LU Run-zhou¹, DUAN Bin², LIU Feng²

(1.College of Investigation, People's Public Security University of China, Beijing 100038, China;

2.Nanjing Jianzhi Instrument and Equipment Co., Ltd., Nanjing 210049, China)

ABSTRACT: The work aims to explore a test method based on spectral analysis to achieve rapid and accurate identification of cigarette case evidence. Thirty-nine different yellow cigarette cases were tested with portable differential Raman spectrometer. The differential Raman spectra data of each sample were obtained. The samples were preliminary classified according to the type of filler. On the basis of data dimension reduction through principal component analysis, the results were clustered by Hierarchical clustering and K-Means clustering with IBM SPSS Statistics 26.0 software. The 39 samples could be divided into 3 categories according to the type of filler. And they could be further divided into 6 categories in combination with chemometrics. The results show that the method is non-destructive, fast and accurate, and the spectrum is not affected by fluorescence interference. Combined with chemometrics method, the cigarette case samples can be classified and tested. This method provides a basis for public security organs to test such material evidence at the scene of crime.

KEY WORDS: differential Raman spectroscopy; cigarette case; principal component analysis; hierarchical clustering; K-Means clustering

收稿日期: 2021-02-02

基金项目: 中国人民公安大学 2021 年度基科费重点项目 (2021JKF212); 南京简智仪器设备有限公司技术合作项目 (20191218)

作者简介: 姜红 (1963—), 女, 中国人民公安大学教授, 主要研究方向为微量物证分析。

在法庭科学中,烟盒是犯罪现场经常出现的一类物证,但是在犯罪现场提取到的烟盒往往只是碎片或者表面有严重的磨损和污渍,从上面较难提取到有用的文字信息,但是烟盒的颜色多数情况下都可以识别出来。如果能够对同种颜色的烟盒实现快速的分类鉴别,可以给案件的侦破提供线索与突破口。

香烟包装纸的类型主要有白板纸、白卡纸、铜版纸和铝箔纸等^[1]。文中的研究对象为烟盒,也就是俗称的硬包香烟烟盒,生产用的主要纸张材料为白卡纸^[2]。对于纸类物证分类检验的方法包括X射线荧光光谱法^[3-5]、拉曼光谱法^[6-7]、傅里叶红外光谱法^[8]、扫描电镜法^[9]等。郭鹏等^[10]利用显微共聚焦激光拉曼光谱仪,分析了33个烟用内衬纸样品,实现了对不同品牌烟用内衬纸的区分,但是拉曼光谱存在易受荧光干扰和拉曼信号弱的问题,差分拉曼光谱技术克服了一般拉曼光谱技术受荧光干扰的问题,在2个有轻微偏移的不同波长的激发光下分别测试得到拉曼光谱,对得到的谱图进行处理即可得到纯净的拉曼光谱^[11]。

实验利用差分拉曼光谱技术采集39种烟盒样本的光谱数据,结合主成分分析、系统聚类和K-Means聚类对样本进行区分鉴别,为公安机关烟盒物证的快速鉴别提供一定的思路。

1 实验

1.1 实验仪器

主要的仪器为便携式差分拉曼光谱仪(SEDERS Portable-Base型),南京简智仪器设备有限公司。

1.2 实验条件

选用激发波长分别为784 nm和785 nm等2种激发光,激光功率为440 mW,积分时间为10 s,测试波数范围为180~2800 cm^{-1} 。

1.3 实验样本

不同品牌、不同系列的黄色或者是带有部分黄色的烟盒样本,一共39种,样本信息见表1。

1.4 实验方法

从39个烟盒样本上裁取1 cm×1 cm的黄色部分,用酒精棉球擦拭,晾干。在上述实验条件下用差分拉曼光谱仪分别对样本进行测定。

1.5 谱图预处理

利用BP(Back Propagation)神经网络技术,分离基线偏差和差分信号^[12],对784 nm和785 nm等2种激发光在同一条件下采集的拉曼谱图进行处理,以6号样本为例(见图1)。

表1 烟盒样本
Tab.1 Cigarette case samples

样本编号	品牌	系列
1 [#]	泰山	雪茄
2 [#]	黄鹤楼	天下名楼
3 [#]	芙蓉王	硬细支
4 [#]	好猫	长乐
5 [#]	黄金叶	黄金眼
6 [#]	南京	95至尊
7 [#]	南京	雨花石
8 [#]	南京	金陵十二钗烤烟
9 [#]	好猫	细支长乐
10 [#]	天子	金
11 [#]	龙烟	呈祥
12 [#]	黄山	徽商新概念
13 [#]	玉溪	细支壹零捌
14 [#]	黄山	大红方印
15 [#]	钻石	细支荷花
16 [#]	黄鹤楼	硬峡谷情
17 [#]	黄山	小红方印中支
18 [#]	红塔山	硬经典100
19 [#]	玉溪	硬
20 [#]	黄金叶	天叶
21 [#]	长白山	777
22 [#]	黄鹤楼	硬雅香金
23 [#]	黄金叶	金满堂
24 [#]	海外新牡丹	越南
25 [#]	钻石	鸿运
26 [#]	莲花	Lotus
27 [#]	龙烟	红松香
28 [#]	人民大会堂	御庭蘭香
29 [#]	ESSE	change double
30 [#]	南京	大观园
31 [#]	骆驼	八角硬黄
32 [#]	利群	长嘴
33 [#]	中华	双中支
34 [#]	金圣	滕王阁·紫光
35 [#]	红塔山	硬经典1956
36 [#]	黄鹤楼	硬峡谷柔情
37 [#]	兰州	硬珍品
38 [#]	兰州	细支珍品
39 [#]	万宝路	白金

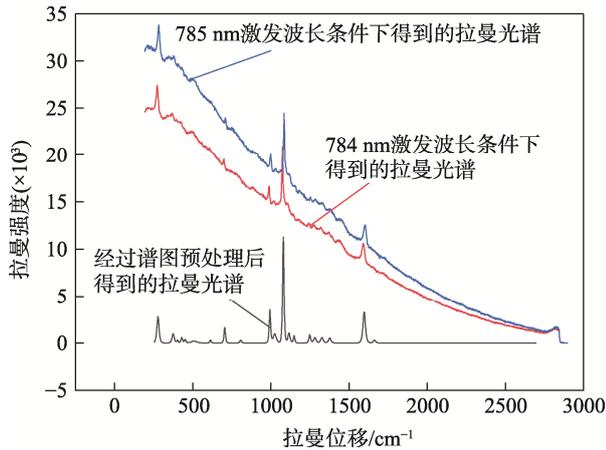


图 1 6 号样本的谱图预处理
Fig.1 Raman spectrum's pretreatment of sample 6

2 结果与分析

2.1 根据样本中的填料对烟盒样本进行分类

香烟烟盒所用的白卡纸，采用漂白硫酸盐木浆为原料，经过游离状打浆、施胶、加入填料、长网造

纸机上抄造、压光或压纹处理而制成。在生产过程中（见图 2）需要在高位箱的浆料中加入一定量的填料，调制性能合适的化学机械浆，以此来改善纸张的特性^[13-15]。

由于纸张的主要成分是纤维素^[16]，而纤维素的拉曼光谱图往往又难以区分，因此，通过对填料的检验，可以达到区分样本的目的^[17]。常见纸张填料的主要拉曼特征峰见表 2。

在烟盒所用的白卡纸的生产工艺中，在面、底浆料中也需要加入一定量的填料，其常用的填料有滑石粉、碳酸钙、硫酸钡、高岭土等。滑石粉可以节约成本和提高白卡纸的表面平滑度及光泽度，有利于面、底层微孔的形成，提高卡纸的疏松柔软性^[18]。碳酸钙能够显著提升白卡纸的光学性能，改善纸张成品印刷适应性以及平滑度^[19]。硫酸钡可以改善卡纸白度、平滑度等作用，并且可以改善纸张的抗老化性^[20]。在实际的生产过程中，为了考虑烟盒所用的白卡纸的结构强度、印刷效果、平滑度等因素，会根据实际需要加入某种填料或者多种填料的组合，以及不同的加料比^[21-22]，因此在测试得到的差分拉曼光谱图中，根据样本谱图中的特征峰判断其中的主要填料，可将 39 个烟盒样本分为 3 类，分类结果见表 3。

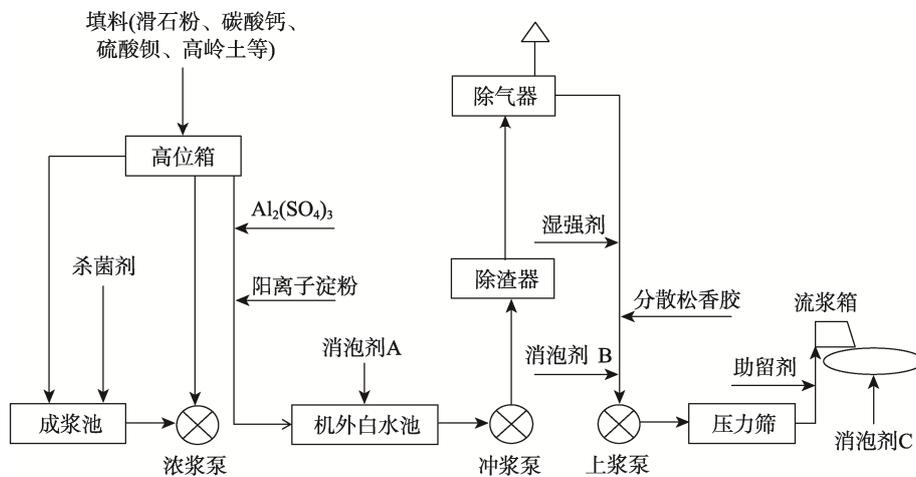


图 2 白卡纸生产工艺部分流程
Fig.2 Partial production process of white cardboard

表 2 纸张填料的拉曼特征峰
Tab.2 Raman characteristic peaks of paper fillers

填料名称	化学式	拉曼位移/cm ⁻¹
钛青蓝	C ₃₂ H ₁₀ CuN ₈	174, 257, 594, 680, 747, 831, 953, 1143, 1342
碳酸钙	CaCO ₃	153, 280, 711, 1085
硫酸钡	BaSO ₄	150, 277, 461, 619, 988, 1085, 1138
二氧化硅	SiO ₂	141, 203, 355, 393, 463, 637
高岭土	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	140, 393, 636
滑石粉	3MgO·4SiO ₂ ·H ₂ O	106, 192, 289, 360, 430, 464, 674, 790, 1048, 1096

表3 烟盒样本根据填料的分类
Tab.3 Classification of cigarette case samples according to fillers

分类	填料	样本编号
I	碳酸钙	3~7, 9~12, 14, 15, 16, 21, 23, 25, 27, 28, 29, 39
II	滑石粉	1, 2, 8, 13, 17, 19, 20, 22, 24, 26, 30, 31, 33—38
III	滑石粉+硫酸钡	18, 32

第I类样本以5号样本为例(见图3),其拉曼光谱特征峰为279, 343, 376, 432, 612, 651, 705, 994, 1025, 1081, 1116, 1146, 1251, 1282, 1310, 1336, 1394, 1519, 1595 cm^{-1} 。I类样本的拉曼特征峰说明碳酸钙是该类样本的主要填料成分。

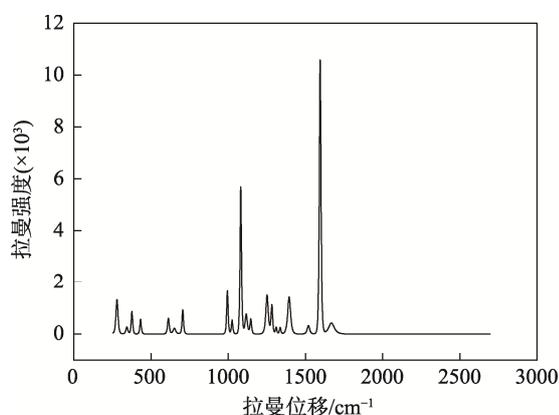


图3 5号烟盒样本的差分拉曼光谱
Fig.3 Differential Raman spectrogram of sample 5

第II类样本以30号样本为例(见图4),其拉曼光谱特征峰为319, 357, 442, 607, 675, 761, 946, 995, 1035, 1104, 1139, 1185, 1215, 1301, 1337, 1447, 1526, 1599, 1733, 1895, 2330, 2620 cm^{-1} 。II类样本的拉曼特征峰说明滑石粉是该类样本的主要填料成分。

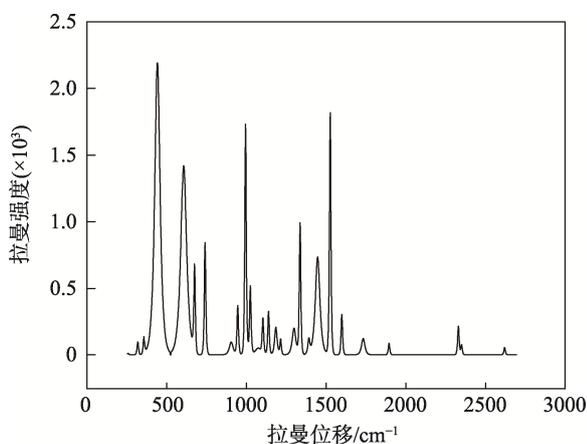


图4 30号烟盒样本的差分拉曼光谱
Fig.4 Differential Raman spectrogram of sample 30

第III类样本以18号样本为例(见图5),其拉曼光谱特征峰为303, 346, 376, 432, 454, 513, 569, 621, 664, 849, 892, 923, 963, 990, 1028, 1088, 1117, 1148, 1198, 1259, 1376, 1466, 1546, 1602, 1657, 1853, 2104 cm^{-1} 。III类样本的拉曼特征峰说明滑石粉和硫酸钡是该类样本的主要填料成分。

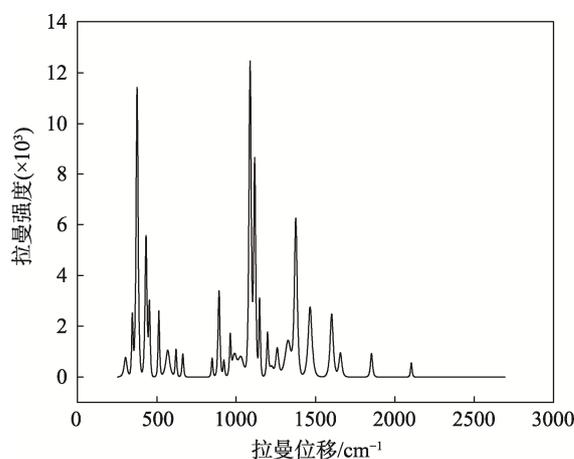


图5 18号烟盒样本的差分拉曼光谱
Fig.5 Differential Raman spectrogram of sample 18

2.2 主成分分析法

采用谱图分析的方法只能将样本分为3类,并且在分类结果中I和II 2类样本数量依然较多。为了实现对于烟盒样本更为精确的分类,通过IBM SPSS Statistics 26.0软件进一步对数据进行分类处理。由于拉曼光谱数据信息量庞大,因此使用主成分分析法对数据降维,将拉曼数据降维成新的少数综合变量数据。通过数据处理提取到26个主成分,每个主成分的特征值均大于1,且累计贡献率为99.161%,大于85%(见表4),即通过主成分分析法将2408维数据降低到26维^[23-24]。

2.3 系统聚类法

在主成分分析法对数据进行降维的基础上,用系统聚类法分别对于I和II 2类烟盒样本分别进行处理,以实现更为精确的分类。以I类样本为例,计算个体间距离的方法选择平方欧氏距离,度量类间亲疏程度的方法选择瓦尔德法,I类烟盒样本聚类结果的谱系见图6^[25-26]。

表 4 总方差解释
Tab.4 Total variance interpretation

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比/%	累计方差贡献率/%	总计	方差百分比/%	累计方差贡献率/%
1	610.234	26.954	26.954	610.234	26.954	26.954
2	290.041	12.811	39.765	290.041	12.811	39.765
...
25	6.102	0.27	98.952	6.102	0.27	98.952
26	4.729	0.209	99.161	4.729	0.209	99.161

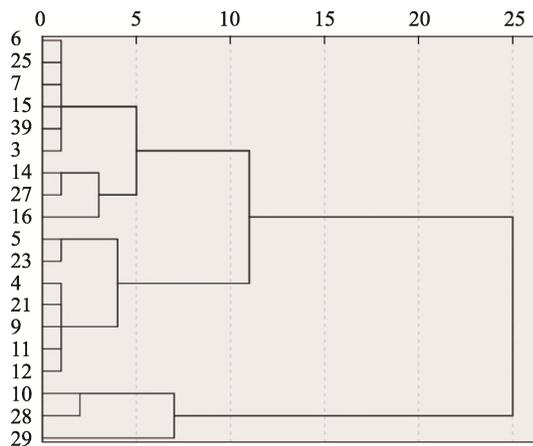


图 6 样本聚类谱系
Fig.6 Pedigree of sample cluster

以类别数量为横坐标，以聚合系数为纵坐标，绘制折线图，见图 7。根据图 7 可知，当类别数为 3 时，折线的下降趋势变缓，故可将类别数设定为 3，即 I 类样本可以被进一步分为 3 类^[27]。同理，可将 II 类样本进一步分为 2 类。最终分类结果见表 5，样本被分为 6 类。

2.4 K-Means 聚类法

利用 K-Means 聚类分析进一步地对数据进行处理，以验证系统聚类的结果，选择聚类数为 6，对测试结果进行分类，结果（见表 6）证实通过系统聚类将 39 个样本分为 6 类较为准确^[28-29]。

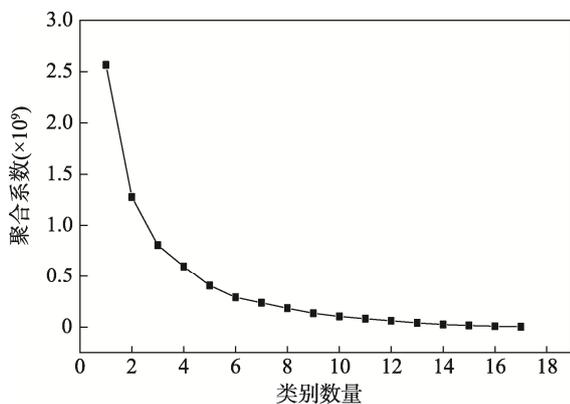


图 7 聚合系数
Fig.7 Line chart of clustering coefficients

表 5 样本系统聚类的分类结果
Tab.5 Classification results of samples using hierarchical clustering

类别数	聚合系数
I	3, 6, 7, 14, 15, 16, 25, 27, 39
II	4, 5, 9, 11, 12, 21, 23
III	10, 28, 29
IV	13, 17, 19, 20, 31, 35, 36
V	1, 2, 8, 22, 24, 26, 30, 33, 34, 37, 38
VI	18, 32

表 6 样本 K-Means 聚类的分类结果
Tab.6 K-Means clustering classification results of samples

样本编号	聚类结果	样本编号	聚类结果
1	1	21	2
2	1	22	1
3	3	23	2
4	2	24	1
5	2	25	3
6	3	26	1
7	3	27	3
8	1	28	2
9	2	29	2
10	2	30	1
11	2	31	5
12	2	32	6
13	5	33	1
14	3	34	1
15	3	35	5
16	3	36	5
17	5	37	1
18	6	38	1
19	5	39	3
20	5		

3 结语

利用差分拉曼光谱技术, 检验不同品牌、不同系列的黄色烟盒样本, 此方法快速准确。根据纸张中填料特征峰对测试结果进行分析, 可以初步将样本分为3类; 用主成分分析法对测试得到的拉曼光谱数据进行处理, 实现对数据的降维; 使用系统聚类法, 可以将39种样本分为6类; 使用K-Means聚类分析法, 对系统聚类的结果进行进一步的验证, 证实了其分类结果较为准确的。此方法快速准确, 对于犯罪现场提取到的烟盒物证, 可以迅速地对其进行分类鉴定, 为以后公安机关办理案件和法庭科学中烟盒物证的检验提供帮助。

参考文献:

- [1] 王伟欣. 烟包常用纸张的种类和特性[J]. 印刷杂志, 2005(6): 23—26.
WANG Wei-xin. Types and Characteristics of Paper Commonly Used in Cigarette Cases[J]. Printing Field, 2005(6): 23—26.
- [2] 赵德清, 杨汝男, 李清伟. 烟包用涂布白卡纸国内发展概况[J]. 上海造纸, 2007(1): 33—38.
ZHAO De-qing, YANG Ru-nan, PING Qing-wei. Coated White Cardboard Used in Cigarette Packaging[J]. East China Pulp & Paper Industry, 2007(1): 33—38.
- [3] 陈壮, 姜红, 李春宇, 等. X射线荧光光谱法检验一次性纸杯的研究[J]. 中华纸业, 2018, 39(22): 32—36.
CHEN Zhuang, JIANG Hong, LI Chun-yu, et al. A Study on Disposable Paper Cups Tested by X-ray Fluorescence Spectroscopy[J]. China Pulp & Paper Industry, 2018, 39(22): 32—36.
- [4] 郭鹏, 姜红. X射线荧光光谱法检验烟用内衬纸[J]. 中华纸业, 2015, 36(18): 32—35.
GUO Peng, JIANG Hong. A Study on Analysis of Inner Liner for Cigarette by XRF[J]. China Pulp & Paper Industry, 2015, 36(18): 32—35.
- [5] 李春宇, 刘金坤, 姜红, 等. 基于支持向量机算法的X射线荧光光谱纸张灰烬识别研究[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(3): 358—364.
LI Chun-yu, LIU Jin-kun, JIANG Hong, et al. Study on the Identification of X-ray Fluorescent Spectral Paper Ashes Based on Support Vector Machine Algorithm[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(3): 358—364.
- [6] 张进, 姜红, 刘峰, 等. 差分喇曼光谱结合化学计量学检验烟用内衬纸[J/OL]. 激光技术: 1—13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1125.TN.20200718.1741.004.html>.
ZHANG Jin, JIANG Hong, LIU Feng, et al. Differential Raman Spectroscopy Combined with Stoichiometry for Inspection of Cigarette Liner[J/OL]. Laser Technology: 1—13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1125.TN.20200718.1741.004.html>.
- [7] 付钧泽, 姜红, 刘峰, 等. 差分拉曼光谱结合系统聚类检验香烟水松纸[J]. 化学研究与应用, 2020, 32(11): 1973—1978.
FU Jun-ze, JIANG Hong, LIU Feng, et al. Discrimination of Cigarette Tipping Paper by Differential Raman Spectroscopy Combined with System Clustering[J]. Chemical Research and Application, 2020, 32(11): 1973—1978.
- [8] 付钧泽, 姜红, 陈煜太, 等. 傅里叶变换红外光谱法检验香烟水松纸的研究[J]. 中华纸业, 2017, 38(20): 43—48.
FU Jun-ze, JIANG Hong, CHEN Yu-tai, et al. A Study on Test of Tipping Paper with Fourier Transform Infrared Spectroscopy[J]. China Pulp & Paper Industry, 2017, 38(20): 43—48.
- [9] 付钧泽, 姜红, 李欣睿, 等. 扫描电镜/能谱法检验香烟水松纸的研究[J]. 黑龙江造纸, 2017, 45(3): 10—19.
FU Jun-ze, JIANG Hong, LI Xin-rui, et al. A Study on Discrimination of Cigarette Tipping Paper by SEM/EDS[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2017, 45(3): 10—19.
- [10] 郭鹏, 姜红. 拉曼光谱检验烟用内衬纸的研究[J]. 中华纸业, 2016, 37(12): 53—58.
GUO Peng, JIANG Hong. A Study on Analysis of Inner Liner for Cigarette by Raman[J]. China Pulp & Paper Industry, 2016, 37(12): 53—58.
- [11] 张进, 姜红, 刘峰, 等. 差分喇曼光谱结合化学计量学检验烟用内衬纸[J]. 激光技术, 2021, 45(1): 61—66.
ZHANG Jin, JIANG Hong, LIU Feng, et al. Differential Raman Spectroscopy Combined with Stoichiometry for Inspection of Cigarette Liner[J]. Laser Technology, 2021, 45(1): 61—66.
- [12] 方刚, 殷磊, 刘峰, 等. 基于差分喇曼技术在抑制荧光中的应用研究[J]. 激光技术, 2019, 43(3): 359—362.
FANG Gang, YIN Lei, LIU Feng, et al. Application of Differential Raman Technology In Fluorescence Suppression[J]. Laser Technology, 2019, 43(3): 359—362.
- [13] 张德涛, 谢伟, 齐东升. 白卡纸专用消泡剂与抄纸系统的关联性研究[J]. 造纸化学品, 2009, 21(S1): 29—34.
ZHANG De-tao, XIE Wei, QI Dong-sheng. Research on Correlation Between Special Defoamer for White Cardboard and Paper Making System[J]. Paper Chemicals, 2009, 21(S1): 29—34.
- [14] 杨伯钧. 白卡纸的品质功能和制造技术[J]. 纸和造纸, 2005(5): 5—9.
YANG Bo-jun. Quality Function and Manufacturing

- Technology of White Cardboard[J]. Paper and Paper Making, 2005(5): 5—9.
- [15] 董和滨, 张美云, 魏晓芬. 基于互穿网络化机浆作为芯层的白卡纸生产工艺探讨[J]. 黑龙江造纸, 2011, 39(1): 26—29.
DONG He-bin, ZHANG Mei-yun, WEI Xiao-fen. The Production Technology of Ivory Board Based on Interpenetrating Network Papermaking[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2011, 39(1): 26—29.
- [16] 马建锋, 杨淑敏, 田根林, 等. 拉曼光谱在天然纤维素结构研究中的应用进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(6): 1734—1739.
MA Jian-feng, YANG Shu-ming, TIAN Gen-lin, et al. Study on the Application of Raman Spectroscopy to the Research on Natural Cellulose Structure[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(6): 1734—1739.
- [17] 朱晓晗, 姜红. 常用纸张填料的光谱分析[J]. 中华纸业, 2020, 41(14): 27—30.
ZHU Xiao-han, JIANG Hong. Spectral Analysis of Common Paper Fillers[J]. China Pulp & Paper Industry, 2020, 41(14): 27—30.
- [18] 蓝成钦, 宁春英. 高配比竹浆生产白卡纸[J]. 广西轻工业, 2003(3): 27—30.
LAN Cheng-qin, NING Chun-ying. Production of White Cardboard with High Proportion Bamboo Pulp[J]. Light Industry Science and Technology, 2003(3): 27—30.
- [19] 王莎. 沉淀碳酸钙填料的改性及其在造纸中的应用研究[J]. 华东纸业, 2020, 50(3): 1—3.
WANG Sha. Modification of Precipitated Calcium Carbonate Filler and Its Application in Papermaking[J]. East China Pulp & Paper Industry, 2020, 50(3): 1—3.
- [20] 万丽, 李媛媛, 戴红旗. 几种填料的物理特性及其在造纸中的应用比较[J]. 中国造纸学报, 2011, 26(2): 29—32.
WAN Li, LI Yuan-yuan, DAI Hong-qi. Papermaking Fillers: Its Physical Characteristics and Application[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2011, 26(2): 29—32.
- [21] 叶一心. 涂布白卡纸的生产工艺及质量[J]. 湖南造纸, 2003(4): 14—15.
YE Yi-xin. Production Process and Quality of Coated White Cardboard[J]. Papermaking Equipment & Materials, 2003(4): 14—15.
- [22] 朱勇强. 造纸填料的功能与生产中的合理选用[J]. 上海造纸, 2005(3): 44—48.
ZHU Yong-qiang. The Function of Filler and the Reasonable Choice for Papermaking[J]. East China Pulp & Paper Industry, 2005(3): 44—48.
- [23] DIBAL P Y, ONWUKA E N, AGAJO J, et al. Wide-band Spectrum Sensing in Cognitive Radio Using Discrete Wavelet Packet Transform and Principal Component Analysis[J]. Physical Communication, 2020, 38: 100918.
- [24] 朱晓晗, 胡越宁, 何歆沂, 等. 基于主成分分析法对一次性纸杯的拉曼光谱检验研究[J]. 中国造纸, 2020, 39(9): 38—42.
ZHU Xiao-han, HU Yue-ning, HE Xin-yi, et al. Detection of Disposable Paper Cup by Raman Spectroscopy and PCA[J]. China Pulp & Paper, 2020, 39(9): 38—42.
- [25] 张进, 姜红, 刘峰, 等. 鞋底材料的差分拉曼光谱可视化快速鉴别[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(8): 469—475.
ZHANG Jin, JIANG Hong, LIU Feng, et al. Differential Raman Spectroscopy Visualization and Rapid Identification of Shoe Sole Materials[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(8): 469—475.
- [26] 姜红, 马泉, 李飞, 等. 基于判别分析与 ANN 的药品铝塑包装泡罩 XRF 分析[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 189—193.
JIANG Hong, MA Xiao, LI Fei, et al. XRF Analysis of Pharmaceutical Aluminum-Plastic Packaging Blister Based on Discriminant Analysis and ANN[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 189—193.
- [27] 张妮妮, 孙胜娟, 张永健. 未确知聚类在专利质量评价中的应用[J]. 现代电子技术, 2020, 43(8): 143—146.
ZHANG Ni-ni, SUN Sheng-juan, ZHANG Yong-jian. Application of Unascertained Clustering in Patent Quality Evaluation[J]. Modern Electronics Technique, 2020, 43(8): 143—146.
- [28] 吴凤慧, 成颖, 郑彦宁, 等. K-means 算法研究综述[J]. 现代图书情报技术, 2011(5): 28—35.
WU Su-hui, CHENG Ying, ZHENG Yan-ning, et al. Survey on K-means Algorithm[J]. Data Analysis and Knowledge Discovery, 2011(5): 28—35.
- [29] 姜红, 朱晓晗, 何歆沂, 等. 差分拉曼光谱法对塑料瓶的鉴别分析[J]. 中国测试, 2020, 46(8): 76—79.
JIANG Hong, ZHU Xiao-han, HE Xin-yi, et al. Differential Raman Analysis of Plastic Bottles[J]. China Measurement & Test, 2020, 46(8): 76—79.