

## 化学成像技术在手印显现和增强中的应用

夏彬彬, 杨瑞琴\*, 王彦吉

中国人民公安大学, 北京 100038

**摘要** 化学成像技术结合光谱分析和成像技术从而同时获得物质的光谱和空间各点的组成和结构信息。振动光谱方法(红外和拉曼光谱)与成像相结合, 具有灵敏、快速、无损检验等优点, 能够为检验鉴定提供定性定量的准确信息, 近年来在物证鉴定领域获得了重要的应用。手印的显现和增强有多种方法, 化学成像技术作为一种潜力巨大的方法可以显现多种客体上的潜在手印而不需要任何前处理。该技术还可以增强用其他方法显现后的手印, 使之与背景形成较大反差。随着成像仪器的发展, 化学成像技术在手印显现领域的应用将会一步拓展。文章介绍了化学成像技术的基本原理和仪器, 综述了化学成像技术在潜在手印的显现和增强方面的具体应用, 展望了化学成像技术的发展前景。

**关键词** 化学成像; 光谱成像; 手印; 检验

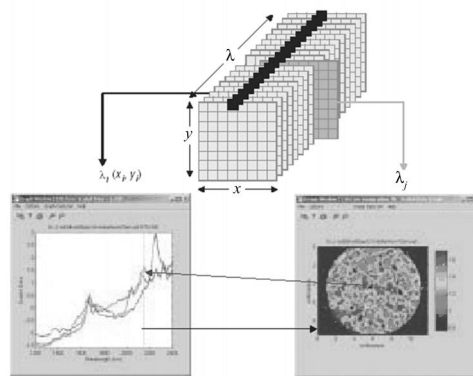
**中图分类号**: D918.9 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)05-1367-04

### 引言

化学成像(Chemical Imaging)是指结合了传统的成像技术和光谱技术而同时获得物质图像(空间信息)和光谱(化学信息)的技术<sup>[1,2]</sup>。通过将反映物质成分的光谱特征与成像显示相结合, 化学成像可以清晰直观地描述不同成分在物质中的分布情况。由于该技术的实验样本大多为固态, 制备简单, 不产生化学和生物污染, 且具有快速、灵敏、准确等诸多优点, 在化学、生物学和药学等领域已取得了重要的应用<sup>[3-5]</sup>。

化学成像是对样品的每一个空间点在多个离散或连续波长下扫描得到的, 它实际上是由三维数据阵(二维空间和一维波长)组成的, 称为超立方阵(Hypercube), 如图1所示<sup>[1]</sup>。这个超立方阵可看作是由一系列空间分辨光谱(称为像元, Pixel), 或是一系列光谱分辨图像(称为像平面, Image Plane)组成。选择一个独立像元就会得到样品所有空间点的连续光谱, 同样, 选择一个像平面就会得到样品所有空间点在某一特定波长下的强度响应, 即光谱图像。通过光谱图库检索或现代模式识别技术, 就可分辨出样品空间的组成分布信息, 并由彩色的视图直观清晰地表示出来, 即化学图像<sup>[6]</sup>。化学成像记录的光谱超立方阵包含了样本在多幅等间隔波长位置的窄波段单色光强度响应分布影像, 因此这种成

像技术也被称为多光谱成像或超光谱成像(Hyperspectral Imaging)<sup>[7]</sup>。



**Fig 1 Schematic representation of chemical imaging hypercube showing the relationship between spectral ( $\lambda$ ) and spatial ( $X, Y$ ) dimensions**

化学成像技术在法庭科学领域的应用起步较晚, 但美国、加拿大和澳大利亚等国的法庭工作者已经开始研究将化学成像技术应用于物证检验领域, 主要包括微量物证检验<sup>[8-10]</sup>、手印检验<sup>[11-16]</sup>和文件检验<sup>[17]</sup>等。同时, 国内公安部物证鉴定中心王桂强研究小组也对化学成像在物证检验中的应用做了初步研究<sup>[18-20]</sup>。本文就化学成像在手印检验中的应

收稿日期: 2009-06-28, 修订日期: 2009-09-29

基金项目: 北京市教育委员会共建项目(JD100410669)资助

作者简介: 夏彬彬, 1983年生, 中国人民公安大学博士生 e-mail: xiabb05@163.com

\*通讯联系人 e-mail: rqyang66@yahoo.com.cn

用进行了综述。

## 1 化学成像仪器分类

不同领域、不同部门使用的化学成像仪器有所不同,有些研究机构自行设计开发化学成像装置,还有一部分单位购买带有完整系统的商用仪器。总体而言,化学成像仪器主要由照明光源、光学成像系统、分光系统和检测器以及计算机等构成。图 2 是化学成像仪器组成示意图。

化学成像技术的分类方法很多<sup>[21, 22]</sup>,基于不同的分子光谱技术,化学成像仪可以分为紫外/可见化学成像、荧光

化学成像<sup>[23]</sup>、近红外化学成像、中红外化学成像<sup>[24]</sup>、拉曼化学成像<sup>[25]</sup>。表 1 所示为根据成像系统构成的差异对不同成像仪器进行的比较。

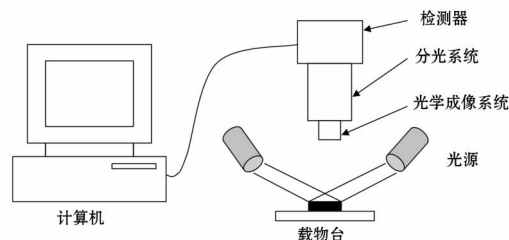


Fig 2 Typical components of a chemical imaging system

Table 1 Components of different chemical imaging instruments

	波长范围/ nm	光源	光学成像系统	成像分光器件	检测器
可见	400 ~ 700	卤钨灯	显微镜、大口径镜头	液晶调谐滤波器(LCTF)	CCD
荧光	400 ~ 700	氙灯、多波段光源	显微镜、大口径镜头	液晶调谐滤波器(LCTF)	CCD
近红外	700 ~ 2 500	石英灯、卤素灯	显微镜、大口径镜头、望远镜	液晶调谐滤波器(LCTF) 声光调谐滤波器(AOTF)	红外焦平面阵列(FPA)
中红外	2 500 ~ 25 000	碳硅棒、高压汞灯	显微镜、大口径镜头	迈克尔逊干涉仪	红外焦平面阵列(FPA)
拉曼	2 500 ~ 25 000	激光器(532 或 785 nm)	显微镜、光纤内窥镜	液晶调谐滤波器(LCTF)	CCD

在手印鉴定领域中,可见化学成像和红外化学成像是比较常用的方法。前者主要记录物体在各个选定波长的发射光亮度分布,通过选择合适的照明配光方法,获得能够最有效反映有用特征形态细节的光谱影像集<sup>[7]</sup>。

红外化学成像主要基于物质的分子对红外辐射的吸收而建立起来的,目前使用较多的仪器主要是傅里叶变换型(FTIR)。FTIR 没有色散元件,核心部分为迈克尔逊干涉仪,它将光源来的信号以干涉图的形式送往计算机进行傅里叶变换数学处理,最后将干涉图还原成光谱图<sup>[26, 27]</sup>。在中红外吸收区域,FTIR 化学成像不仅可以得到物质的特征吸收光谱,而且还实现了红外光谱的面扫描,使扫描速率和灵敏度得到很大提高。

## 2 数据处理

化学成像的数据量很大,一个样品的光谱图像总共有近百万个数据点。从这样一个信息密集的数据阵中挖掘出有用的信息,即由光谱成像转变为真正意义上的化学成像,需要利用化学计量学方法,如数据处理和模式识别等。光谱图像数据处理通常由以下 3 部分组成:数据预处理、聚类和识别、数据化学可视化和统计分析。在这 3 个过程中,主要使用的化学计量学方法包括单变量线性回归、多元线性回归(MLR)、主成分分析(PCA)、最小二乘拟合等(PLS)和神经网络(ANN)。商品化的化学成像仪器大都配有图像数据处理软件,包含了多种分析方法,用户可以方便地进行操作。

## 3 在手印检验中的应用

手印检验是应用成像技术最为成熟的学科之一,化学成像技术检验手印等痕迹物证从研究内容到研究方向都有着广

阔的发展空间。目前法庭科学工作者主要研究了应用化学成像方法增强化学试剂显现后的微弱手印,消除手印纹线复杂背景影响等内容,并积极尝试了在不破坏检材的情况下,应用化学成像拍照常见客体上遗留的汗潜手印。化学成像检验技术已经日益得到手印鉴定学科专家学者的认可,并已应用在一些实际案例中。

Exline 等<sup>[11]</sup>首次公开提出将化学成像技术应用于法庭科学的构想,并使用可见吸收/荧光化学成像系统来增强经过茚三酮、DFO、“502”胶以及发光染料处理后的手印,结果均优于常规照相方法,表明该技术在法庭科学中的潜在优势;此外,可见吸收化学成像还成功显现出了遗留在纸张上的未经任何处理的潜手印。

2005 年该研究小组再次使用可见吸收/荧光化学成像系统来显现和增强潜手印<sup>[12]</sup>。他们将化学成像仪所记录的经化学方法处理过的澳元纸币上的手印、包装袋上的手印以及纸张上未经处理过的汗潜手印图片效果与传统照相方法所得出的图片相比较,结果发现化学成像可以显现更好的纹线细节特征。此外,研究者还对标准的测试程序进行了探讨与评价。

Tahtouh 等<sup>[13]</sup>利用红外傅里叶变换化学成像分别对玻璃、钞票等不同客体上的汗液手印进行了比较实验,并结合红外吸收谱图分析,首次从物质化学组分的角度提出了遗留有手印的客体中是否含有 C—N 和 C—H 将对成像效果具有一定影响的新观点。该研究表明红外化学成像可以根据 C=O 的伸缩振动( $1\ 760\text{ cm}^{-1}$ )成功显现出遗留在澳元上的经“502”胶熏显后的手印(如图 3 所示),为解决复杂客体上的手印显现提供了新思路。

2007 年 Tahtouh 等<sup>[14]</sup>再次运用傅里叶变换红外化学成像系统显现和增强聚合物钞票、各种纸张、铝制饮料罐表面的潜在手印。他们使用系统化的方法对仪器参数进行优化以

提高空间分辨率和手印图像质量。这种方法相对传统方法，效率更高。能够处理的背景客体种类更加广泛，得到的影像效果更好，

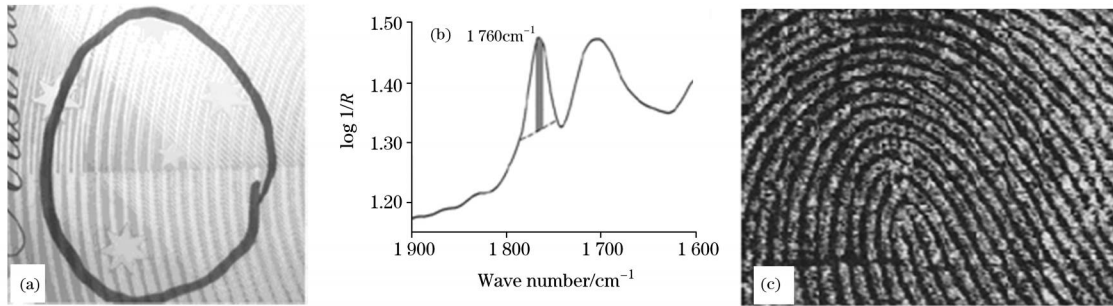


Fig 3 Ethyl cyanoacrylate fumed mark on \$5 note

- (a) : White light photograph of ethyl cyanoacrylate fumed mark on \$5 note ;  
 (b) : Infrared spectrum of fingerprint ridge showing peak area at  $1760\text{ cm}^{-1}$  used to generate image ;  
 (c) : Monochrome representation of infrared chemical image

美国法庭科学家 Crane 等<sup>[15]</sup>运用傅里叶变换红外化学成像系统显现非渗透性客体(易拉罐和黑塑料袋)和渗透性客体(香烟纸、美元、贺卡)上的手印。多种分析手段诸如谱带强度、主成分分析以及二阶导数谱带强度等也被用于改善图像质量。他们在研究贺卡上的手印的同时，还在手印残留物上发现了一根纤维，如图 4 所示。

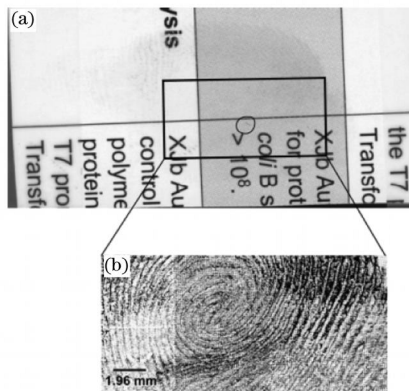


Fig 4 Postcard with latent print

- (a) : Scanned image of postcard. Note the fiber on the postcard, denoted by the circle; (b) : Infrared image of outlined area obtained by PCA

Ricci 等<sup>[16]</sup>研究了用两种明胶从各种表面上(门把手、弯曲的玻璃表面、电脑屏幕等)提取手印后再用 ATR-FTIR 对其进行化学成像，通过调整 ATR 的入射角度以减少背景的

干扰，有效地分析了该手印残留物的化学组成。

在国外研究机构提出将化学成像技术应用于物证检验领域之初，我国的法庭科学专家也开始了这方面的探索。公安部物证鉴定中心王桂强研究小组<sup>[18]</sup>对化学成像技术显现加强手印进行了初步研究，主要包括微弱茚三酮手印的加强，DFO 手印的加强，血手印的显现和加强和红色印油手印的加强。

#### 4 仪器发展和应用前景

由于化学成像技术结合了光谱和图像两种技术，在许多工业领域已被广泛应用。化学成像技术的发展趋势主要包括以下方面。

(1) 随着焦平面阵列检测器、可调谐滤光器和计算机等技术的发展，未来的化学成像仪器在灵敏度和扫描速度方面会有较大提高；一些高性能化学计量学算法的出现，也将会显著提高成像数据的处理速度；同时，各种新材料的应用导致新的化学成像仪器体积更小、成本更低。

(2) 各种物质光谱特性的研究将越来越深入，需要建立大量标准光谱特征数据库。标准光谱库可以减少数据处理过程中人为操作所产生的误差概率，使分析过程更加客观，处理结果实现可重复性，数据统计规范化、自动化。

(3) 化学成像技术在手印检验以及其他物证鉴定领域中已经占有重要地位，因此化学成像仪器操作的标准化和规范化是刑事科学技术人员的下一步工作目标。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] Gowen A A, O'Donnell C P, Cullen P J, et al. Eur. J. Pharm. Biopharm., 2008, 69: 10.
- [ 2 ] ZHANG Xiaoxing, LUO Shan (张小星, 罗山). Laser & Optoelectronics Progress (激光与光电子学进展), 1996, (7): 25.
- [ 3 ] Gendrin C, Roggo Y, Collet C. J. Pharm. Biomed. Anal., 2008, 48: 533.
- [ 4 ] Lewis E N, Schoppelrei J, Lee E. Spectrosc. Mag., 2004, 4: 26.
- [ 5 ] Lopes M B, Wolff J C. Anal. Chimica Acta, 2009, 633: 149.
- [ 6 ] CHU Xiaoli, LU Wan-zhen (褚小立, 陆婉珍). Analytical Instrumentation (分析仪器), 2008, (4): 1.

- [ 7 ] WANG Gui-qiang(王桂强). Criminal Technology(刑事技术), 2004, (1): 7.
- [ 8 ] Flynn K, O Leary R, Roux C, et al. J. Forensic. Sci., 2006, 51(3): 586.
- [ 9 ] Wolfe J, Exline D L. J. Forensic. Sci., 2003, 48(5): 1.
- [10] Flynn K, O Leary R, Lennard C, et al. J. Forensic Sci., 2005, 50(4): 1.
- [11] Exline D L, Wallace C, Roux C, et al. J. Forensic Sci., 2003, 48(5): 1.
- [12] Payne G, Reedy B, Lennard C, et al. Forensic Sci. Int., 2005, 150: 33.
- [13] Tahtouh M, Kalman J R, Roux C, et al. J. Forensic Sci., 2005, 50(1): 64.
- [14] Tahtouh M, Despland P, Shimmon R, et al. J. Forensic Sci., 2007, 52(5): 1089.
- [15] Crane N J, Bartick E G, Perlman R S, et al. J. Forensic Sci., 2007, 52(1): 48.
- [16] Ricci C, Bleay S, Kazarian S G. Anal. Chem., 2007, 79(15): 5771.
- [17] Tran C D, Cui Y, Smirnov S. Anal. Chem., 1998, 70(22): 4701.
- [18] HUANG Wei, WANG Gui-qiang(黄 威, 王桂强). Criminal Technology(刑事技术), 2006, (2): 3.
- [19] ZHANG Peng, WANG Gui-qiang, HUANG Wei, et al(张 鹏, 王桂强, 黄 威, 等). Criminal Technology(刑事技术), 2008, (2): 3.
- [20] HUANG Wei, WANG Gui-qiang, XU Xiao-jing, et al(黄 威, 王桂强, 许小京, 等). Chinese Journal of Forensic Science(中国司法鉴定), 2008, (4): 35.
- [21] XIAO Song-shan, FAN Shi-fu, LI Yun, et al(肖松山, 范世福, 李 昀, 等). Modern Instruments(现代仪器), 2003, 9(5): 5.
- [22] LI Yun, FAN Shi-fu, XIAO Song-shan, et al(李 昀, 范世福, 肖松山, 等). Spectronic Instruments & Analysis(光谱学仪器与分析), 2002, (3): 28.
- [23] CHAO Ke-fu, ZHANG You-lin, KONG Xiang-gui, et al(朝克夫, 张友林, 孔祥贵, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(7): 1603.
- [24] LIANG Jian-gong, HAN He-you(梁建功, 韩鹤友). Chinese Journal of Analytical Chemistry(分析化学), 2008, 36(12): 1699.
- [25] HUANG Qiao-song, YU Zhao-xian, LI Jing, et al(黄乔松, 于肇贤, 李 静, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2009, 29(2): 451.
- [26] LI Zhan-long, ZHOU Mi, ZUO Jian, et al(李占龙, 周 密, 左 剑, 等). Chinese Journal of Analytical Chemistry(分析化学), 2007, 35(11): 1636.
- [27] LI Mei-chao, HU Jia-qi, LIU Yan-na, et al(李美超, 胡佳琦, 刘艳娜, 等). Chemical Journal of Chinese Universities(高等学校化学学报), 2008, 29(8): 1544.

## The Application of Chemical Imaging to Detection and Enhancement of Latent Fingerprints

XIA Bin-bin, YANG Rui-qin\*, WANG Yan-ji  
Chinese People's Public Security University, Beijing 100038, China

**Abstract** Chemical imaging (CI) integrates conventional imaging and spectroscopy to attain both spectral and spatial components and structural information from an object simultaneously. Vibrational spectroscopic methods, such as infrared and Raman spectroscopy, combined with imaging are particularly useful. In recent years, CI has found important application in the field of forensic science due to its advantage of highly sensitive, rapid, non-destructive features and it can provide qualitative and quantitative information about specimen at one time. There are many methods for detection and enhancement of latent fingerprints. CI is an emerging platform technology with great potential to visualize latent fingerprints on many objects without any pre-treatment. CI can enhance the quality of the fingerprints developed by conventional methods, then form larger contrast with the background. With the advancement of instruments, the application of CI in the field of fingerprint detection will be more widely used. This paper provides an overview of the principal and classification of CI instrumentation, and reviews the application of CI to detection and enhancement of latent fingerprints. Finally, the direction of CI technology development is viewed.

**Keywords** Chemical imaging; Spectral imaging; Fingerprint; Examination

(Received Jun. 28, 2009; accepted Sep. 29, 2009)

\*Corresponding author