

红外热辐射技术显现潜指印的方法及装置研究

高飞¹, 蔡能斌², 黄晓春², 王长亮², 姜梅³, 赵雪珺^{2,4*}

¹上海市公安局科技处, 上海

²上海市现场物证重点实验室, 上海

³上海公安学院, 上海

⁴上海市刑事科学技术研究院, 上海

收稿日期: 2022年2月22日; 录用日期: 2022年3月21日; 发布日期: 2022年3月28日

摘要

本文研究红外热辐射技术、激光诱导荧光技术显现潜指印的方法, 并研制了相关装置, 包含智能化控制的红外辐射装置、激光诱导装置和成像装置, 为现场潜在汗液指印的显现提供新的技术支持。利用自主研发的“红外热辐射技术显现潜指印的专门装置”, 结合激光诱导荧光的方法, 对A4打印纸、出租车票、餐巾纸、牛皮纸、POS打印单、人民币及报纸等渗透性客体表面的潜在汗液指印进行显现实验, 实验结果在普通A4打印纸上检出率达95%; 在出租车票、POS打印单上检出率为80%; 在报纸、牛皮纸、餐巾纸上检出率为60%; 在人民币上检出率为40%。为渗透性客体表面的潜在汗液指印的显现实践提供了参考。

关键词

法庭科学, 红外热辐射, 激光诱导, 潜在指印

Research on Method and Device for Displaying Latent Fingerprint by Infrared Thermal Radiation Technology

Fei Gao¹, Nengbin Cai², Xiaochun Huang², Changliang Wang², Mei Jiang³, Xuejun Zhao^{2,4*}

¹Science and Technology Division of Shanghai Public Security Bureau, Shanghai

²Shanghai Key Laboratory of Crime Scene Evidence, Shanghai

³Shanghai Police College, Shanghai

⁴Shanghai Research Institute of Criminal Science and Technology, Shanghai

Received: Feb. 22nd, 2022; accepted: Mar. 21st, 2022; published: Mar. 28th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 高飞, 蔡能斌, 黄晓春, 王长亮, 姜梅, 赵雪珺. 红外热辐射技术显现潜指印的方法及装置研究[J]. 应用物理, 2022, 12(3): 167-173. DOI: 10.12677/app.2022.123019

Abstract

In this paper, infrared thermal radiation technology and laser-induced fluorescence technology are studied to display latent fingermarks, and relevant devices are developed, including intelligent control infrared radiation device, laser induction device and imaging device, to provide new technical support for the display of latent sweat fingermarks in the field. The self-developed "special device for displaying latent fingerprints with infrared thermal radiation technology" was used. Combined with laser induced fluorescence method, the latent sweat fingerprints on the surface of permeable objects such as A4 paper, taxi ticket, napkin, kraft paper, POS print sheet, RMB and newspaper were tested, and the detection rate on ordinary A4 paper was 95%. The detection rate of taxi tickets and POS printing forms is 80%. The detection rate was 60% on newspaper, kraft paper and napkin. The detection rate on RMB was 40%. It provides reference for the development of latent sweat fingerprints on the surface of permeable objects.

Keywords

Forensic Science, Infrared Thermal Radiation, Laser Induction, Potential Fingerprints

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

指纹是犯罪分子遗留在现场最直接的物证,对指纹有效识别是案件侦破和法庭诉讼的关键要素之一。指印显现一直是现场勘查技术人员研究的热点[1] [2] [3] [4] [5]。不同人的指印具有不同的特点,发现和提取犯罪嫌疑人遗留在现场的潜在指印是现场勘查的重点。由于提取手段不够丰富,发现现场潜在指印的方法仍较少,不能满足现场勘查和物证技术发展的要求。因此,加强和开展现场潜在指印提取关键技术和相关设备的研究,丰富显现和提取现场潜在指印的设备和技术方法,提高潜在物证的提取效率,防止证据灭失,为侦查破案提供技术支撑,成为打击罪犯和发展物证鉴定技术的迫切需要。潜在痕迹物证的发现和提取,有物理和化学方法两大类,物理方法主要有光学显现法和物理吸附法。化学方法主要采用试剂与未知潜在物证发生反应而显色。然而,化学方法对潜在痕迹物证有污染,从而影响后续的DNA鉴定。光学显现法与传统的物理吸附和化学反应生成有色纹线相比,光学显现法无需接触潜在痕迹物证,方便快捷。激光器的波长范围广,由于生物体液的吸收峰大都在蓝绿光和紫外区,所以国内外很多专家研究用于潜在物证显现的蓝绿光和紫外激光技术;激光显现潜在指纹技术具有操作简单、显现效果好等优点,自其应用以来,受到人们广泛关注[6] [7] [8] [9]。但渗透性客体上的潜在汗液指印的显现一直以来是刑事科学技术中的难点,例如纸张表面的汗液指印,纸张表面比较粗糙,容易对入射的激光产生漫反射,紫外反射成像难以显现;再者,汗液指印中99%是水,其他为蛋白质、氨基酸和无机化合物。虽然汗液物质的吸收波长在紫外区,直接通过荧光激发很难显现出潜在汗液指印。为此,我们利用纸张中含有荧光增白剂的特性,采用远红外热辐射对纸张表面的潜在汗液指印做预处理,之后利用激光诱导技术激发指印的荧光,使潜在汗液指印得以显现。本文拟探索红外热辐射技术、激光诱导荧光技术显现潜指印的方法,并研制相关装置,为现场潜在汗液指印的显现提供新的技术支撑。利用自主研发的“红外热辐射处理及光致发光指印显现仪”对A4打印纸、出租车票、餐巾纸、牛皮纸、POS单、人民币及报纸

等客体表面的潜在汗液指印进行显现，有效提取了该类客体表面的潜在指印。

本文主要研究红外热辐射技术和激光诱导荧光技术显现潜指印的方法及相关装置的研制。根据在渗透性客体纸张上汗液指印的显现需求，研制出基于红外热辐射的激光诱导荧光技术显现指印的新装置，包含：智能化控制的红外辐射装置、激光诱导装置和成像装置。利用该设备对潜在汗液指印进行预处理，激光光源系统对预处理后的潜在汗液激发荧光，从而对潜在指印进行显现。

2. 主要理论基础及技术原理

指纹，即表皮上突起的纹线，指纹人人皆有，却各不相同，故称其为“人体身份证”。留下印痕主要是由于在人的手指、手掌面的皮肤上，存在有大量的汗腺和皮脂腺，只要生命活动存在，就不断有汗液、皮脂液排除。因此，只要手指、手掌接触到物体表面，就会像原子印章一样自动留下印痕。汗液中98%~99%的成分主要是水，而NaCl所占有的比重约为300 mg/100ml，同时还包含其他物质，正常人每一时刻都能不知觉的从汗腺中分泌出汗液，当这些分泌出的汗液停留于非渗透性或渗透性纸张上时，都能产生一定的汗液痕迹。在这里，我们主要介绍渗透性纸张上的汗液的处理。

纸张的原料主要是植物纤维，原料中除含有纤维素、半纤维素、木素三大主要成分外，尚有其他含量较少的组分，如填充料树脂、色料、灰份等，此外还有硫酸钠等辅助成分。由于纤维是亲水物质，加上纤维之间的毛细孔吸收作用，使纸张具有过强的亲水性，容易在印刷过程中因吸水过多而变形和出现洇墨现象。此外，造纸领域中也常采用荧光增白剂起到提亮、增白作用。荧光增白剂是一种荧光染料，它的特性是能激发入射光线产生荧光，使所染物质获得类似萤石的闪闪发光的效应。本文利用了荧光增白剂可任意倍数溶于热水的特性，用红外热辐射对汗液指印进行预处理，来进行渗透性客体纸上的汗液指印显现。

3. 显现装置的研制

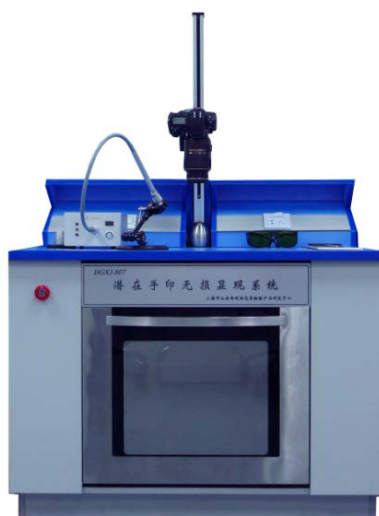


Figure 1. Laser induced fluorescence technology display device for infrared thermal radiation
图 1. 红外热辐射的激光诱导荧光技术显现装置

基于红外热辐射的激光诱导荧光技术研制的显现潜指印的装置，示意图见图 1，包括主台，主台上设有安装取证装置的倾斜台、对被检物进行红外热辐射处理台和激光等部分。主台由箱式机壳及台面组成，倾斜台是多功能辅助工作台，倾斜台的倾斜面与台面的夹角为 45°，倾斜台顶部安装数个万向臂，用

于固定照相机和滤光片。远红外处理台，是抽屉式结构的中空台，其内安放带有潜在汗液指印纸张，远红外波长范围为 $8.5\sim 10\ \mu\text{m}$ 。激光置于机壳内部的制成板上，与远红外发生器连接，从主台的台面上设置激光出光孔，通过光导管对置于远红外处理台中的检材进行照射，通过照相机及滤光片对指印纹线发出的荧光进行拍照显现。激光的波长在 $445\ \text{nm}$ 左右，激发的荧光在 $565\ \text{nm}$ 左右。对于几种常见的渗透性客体如餐巾纸和牛皮纸等，指印显现仪中都设有对应的参数档位。

4. 实验验证

4.1. 材料与方法

4.1.1. 样本

采用 A4 打印纸、出租车票、餐巾纸、牛皮纸、POS 单、人民币及报纸为承载客体，分别按捺汗液指纹各 20 个。汗液指印：手指洗干净后，用塑料袋包裹手 15 分钟后，捺印。

4.1.2. 实验器材

红外热辐射的激光诱导荧光技术显现装置、照相机、 $565\ \text{nm}$ 滤光镜。

4.1.3. 实验方法

以紫外激光器输出的中心波长为 $445\ \text{nm}$ 的光作为光源分别照射检材，通过波长为 $565\ \text{nm}$ 的滤光镜进行滤光，利用 Canon 相机分别接受检材上纹线发出的荧光，示意图见图 2。

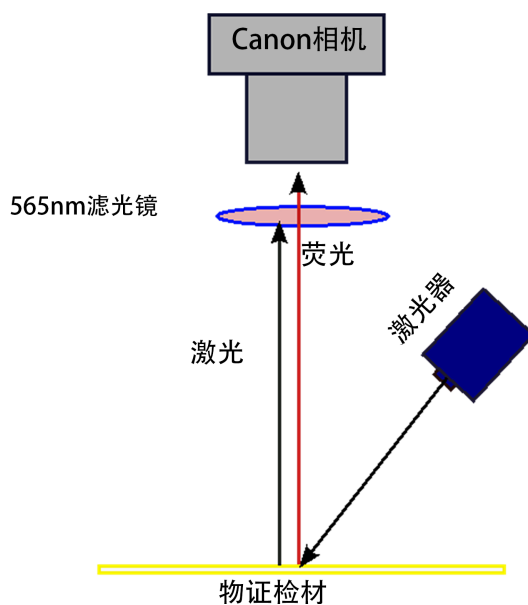


Figure 2. Schematic diagram of potential perspiration of paper by photofluorescence

图 2. 光致荧光显现纸张潜在汗液示意图

4.2. 实验结果

4.2.1. 不同客体指纹显现结果

指纹检测结果如表 1 所示：在普通 A4 打印纸上检出清晰汗液指印 18 枚、少量纹线的 1 枚，检测率达 95%；在出租车票上检出清晰汗液指印 8 枚、少量纹线的 8 枚，检测率达 80%；在 POS 打印单上检出清晰汗液指印各 7 枚、少量纹线的 9 枚，检测率达 80%；在报纸上检出清晰汗液指印 7 枚、少量纹线的

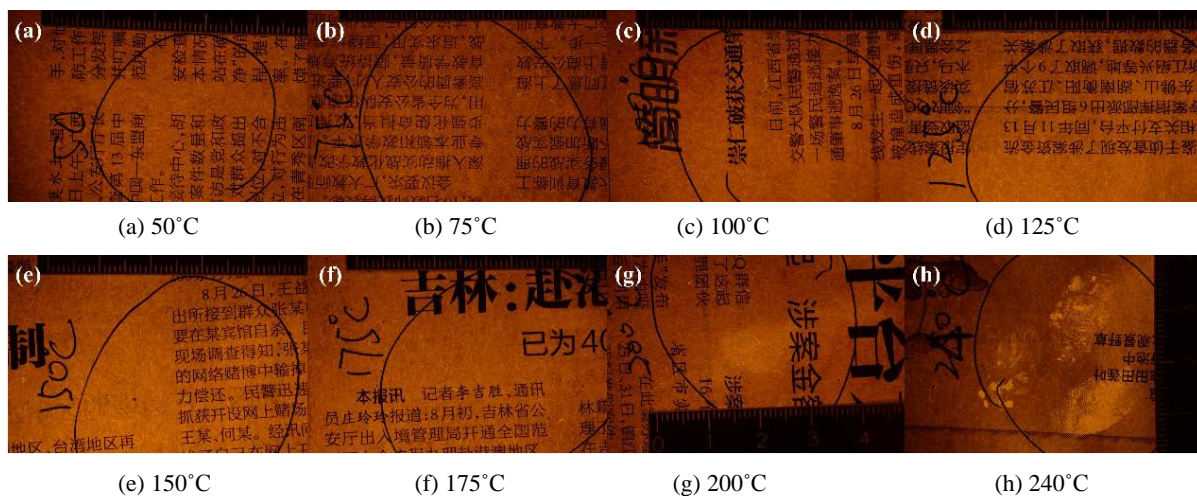
Table 1. Fingerprint detection results**表 1.** 指纹检测结果

客体种类	指印数量	汗液指纹		
		纹线清晰	少量纹线	没有纹线
A4 打印纸	20	18	1	1
出租车票	20	8	8	4
餐巾纸	20	5	7	8
牛皮纸	20	6	6	8
POS 打印单	20	7	9	4
人民币	20	3	5	12
报纸	20	7	5	8
硬币	10	0	0	0
皮革	10	0	0	0
棉布	10	0	0	0
木块	10	0	0	0

5 枚, 检测率达 60%; 在牛皮纸上检出清晰汗液指印 6 枚、少量纹线的 6 枚, 检测率达 60%; 在餐巾纸上检出清晰汗液指印 5 枚、少量纹线的 7 枚, 检测率达 60%; 在人民币上检出清晰汗液指印 3 枚、少量纹线的 5 枚, 检测率为 40%; 此外, 在金属、皮革、棉布、木块上未检出指印。

4.2.2. 不同温度指纹显现结果

对报纸客体上的潜在汗液指印在不同温度下远红外热辐射相同时间进行了实验, 时间设定为 2 min, 温度分别设置为 50℃、75℃、100℃、125℃、150℃、175℃及 200℃。

**Figure 3.** Results of latent sweat fingerprints on the surface of newspaper object at different temperatures**图 3.** 不同温度下的报纸客体表面的潜在汗液指印显现结果

如图 3 所示, 实验结果表明温度在 50℃~175℃范围内, 报纸客体上的潜在汗液指印未能显现, 当温度达到 200℃时, 汗液指印在紫外激光的激发下通过荧光显现出来。图 4 中给出的是牛皮纸客体表面在温度为 220℃和 240℃, 加热 2 min, 潜在汗液指印的显现情况。因为牛皮纸相对普通纸张厚些, 加热温

度也需有所提升，对于牛皮纸比较难显现客体上的潜在汗液指印通过这种方法可以很清晰显现出来。

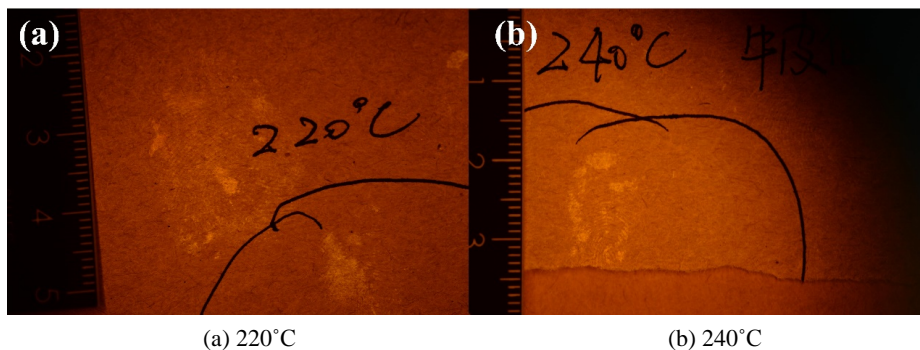


Figure 4. Latent sweat fingerprints on the surface of kraft paper object at different temperatures
图 4. 不同温度下的牛皮纸客体表面的潜在汗液指印显现结果

图 5 中给出的是 A4 纸张客体表面在温度为 180°C、200°C 和 220°C，加热 2 min，潜在汗液指印的显现情况。对于 A4 纸张客体在 180°C 时，潜在汗液指印有所显现，当温度达到 200°C 时，指印显现效果最好，继续升温指印亮度有所减弱。

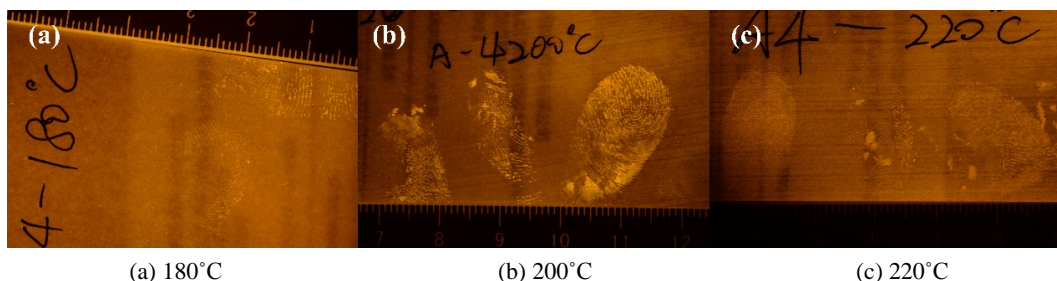


Figure 5. Latent sweat fingerprints on the surface of A4 paper object at different temperatures
图 5. 不同温度下的 A4 纸客体表面的潜在汗液指印显现结果

5. 实验结果分析

硬币、皮革、棉布及木块四种客体因为表面不含有荧光增白剂，通过此种方法未能显现出潜在汗液指印。A4 纸张客体上的汗液指印经过远红外热辐射后，可以清晰地看到摁有指印的区域呈现微黄色，这是由于纸张上的荧光增白剂在有汗液区域进行了再溶解的一个过程，荧光增白剂是一种微黄色的颗粒，指印区域呈现的微黄色就是荧光增白剂的颜色。

温度过低时，汗液水分在远红外热辐射下，有汗液水分区域中荧光增白剂的再溶解程度相对低，当用紫外激光照射时不足以激发出荧光，难以将潜在汗液指印显现出来。当温度达到一定时，汗液中溶解的荧光增白剂逐渐增多，浓度增大，用紫外光照射时，将荧光增白剂的荧光激发出来，从而对潜在汗液指印进行显现。

6. 结论

用上述自主研发的远红外热辐射装置来对检材进行预处理，通过激发出荧光的方法显现不同类型的渗透性客体纸张上的潜在汗液指印。通过结合汗液指印含水量多、纸张中的荧光增白剂任意倍数溶于热水、经过远红外热辐射加热等特性，将渗透性客体纸张表面的汗液指印有效显现出来。实验证明红外热辐射技术处理不同纸张上不同遗留时间的汗潜指纹均有良好的显现效果，高于直接采用激光照射的检出

率。除了明显提升渗透性客体检出率外,该方法还具有高效、无毒害、无损耗等优点,显现后的汗潜指纹荧光效果可以持续数月,红外热辐射技术突出的优点在刑侦领域上有较好的应用前景和价值。

参考文献

- [1] 刘嘉扬. 磁性稀土金属有机骨架纳米材料在指印显现领域可行性初探[J]. 警察技术, 2021(3): 50-53.
- [2] 黄锐, 彭安. 荧光可调铜纳米簇对潜指印的可视化识别[J]. 中国科学: 化学, 2019, 49(12): 1454-1462.
- [3] 肖露. 利用便携仿生熏显器显现指印最佳操作方法研究[J]. 广东公安科技, 2019, 27(2): 30-33.
- [4] 黄锐, 何怡. 磁性荧光银纳米簇的绿色合成及其对汗潜指印的可视化显现[J]. 刑事技术, 2019, 44(3): 213-218.
- [5] 杨玉柱, 周丽娟, 侯雨石. 热敏纸潜在指印显现仪的设计与应用[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2019, 25(2): 1-4.
- [6] 凌丽青, 黄立华, 郭凯, 胡敬佩, 黄惠杰. 基于紫外光诱导荧光的渗透性纸张上微量物证检测技术研究[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(1): 165-173.
- [7] 蔡能斌, 麻军伟. 266 nm 紫外激光反射成像显现潜在指印的研究与应用[J]. 警察技术, 2012(1): 36-38.
- [8] 李红霞, 钮洁青, 黄云刚, 毛林杰, 陈敬蓉. 紫外激光无损检测潜在指印技术研究[J]. 激光与光电子学进展, 2011, 48(9): 132-136.
- [9] 徐秀明. 生物物证激光发现仪应用于汗潜指纹的显现[J]. 辽宁警察学院学报, 2018, 20(1): 58-61.