

手印痕迹检验司法鉴定技术分析

白丹¹ 郑晓涛²

1 深圳市公安局福田分局刑事侦查大队

2 广东省深圳市福田区公安司法鉴定中心

DOI:10.32629/jsse.v3i4.17847

[摘要] 手印痕迹作为司法鉴定中重要的物证类型,其检验技术体系持续完善。本文系统分析手印形态学基础和特征识别体系,阐述汗孔分布、乳突纹线等个体独有特征的证据价值。针对潜手印显现难题,探讨光学显现、物理吸附、化学反应技术的作用机理及应用。通过分析表明,碳点复合粉末显现率可达92.5%,金属镀膜技术有效提高粗糙表面手印提取完整度。深入研究荧光增强、光谱成像等增强技术,解决复杂背景干扰问题;检验标准化流程和误差控制机制建立,为鉴定结论的可靠性提供保障。手印痕迹检验技术向多模态融合、智能化分析方向发展,增强司法鉴定的科学性。

[关键词] 手印痕迹; 司法鉴定; 特征识别; 显现技术; 标准化流程

中图分类号: DF79 **文献标识码:** A

Analysis of Judicial Appraisal Technology for Handprint Trace Inspection

Dan Bai¹ Xiaotao Zheng²

1 Criminal Investigation Brigade, Futian Branch, Shenzhen Public Security Bureau

2 Public Security Judicial Expertise Center, Futian District, Shenzhen, Guangdong Province

[Abstract] Handprint marks, as an important type of physical evidence in judicial appraisal, have continuously improved their inspection technology system. This article systematically analyzes the morphological basis and feature recognition system of handprints, and elaborates on the evidential value of individual unique features such as sweat pore distribution and mastoid lines. Exploring the mechanisms and applications of optical visualization, physical adsorption, and chemical reaction technologies to address the challenges of latent fingerprint visualization. Through analysis, it is shown that the manifestation rate of carbon dot composite powder can reach 92.5%, and the metal coating technology effectively improves the integrity of rough surface fingerprint extraction. In depth research on fluorescence enhancement, spectral imaging and other enhancement technologies to solve the problem of complex background interference; Establish standardized inspection processes and error control mechanisms to provide assurance for the reliability of identification conclusions. The technology of fingerprint trace inspection is developing towards multimodal fusion and intelligent analysis, enhancing the scientific nature of judicial identification.

[Key words] handprint marks; Judicial appraisal; Feature recognition; Display technology; Standardized process

引言

手印痕迹鉴定是法庭科学体系的核心组成部分,通过对手印形态特征的系统分析,为司法活动提供关键证据支持。该技术以皮肤纹理学、痕迹力学为理论基础,依据个体手部乳突纹线排列模式的唯一性特征,实现人身同一认定。随着新材料、新工艺的广泛应用,潜手印显现面临客体适应性、环境干扰等新的技术挑战。当前手印检验技术呈现多模态融合发展趋势,传统物理化学显现方法、现代光学、数字技术进行相互结合,形成覆盖不同客体条件的全流程解决方案。基于此,本文从司法鉴定实践需求

出发,系统分析手印痕迹检验的技术原理及方法体系,重点探讨显现技术的作用,科学评估增强技术在复杂背景干扰下的性能表现。通过误差源分析和质量控制方法研究,构建完整的手印检验可靠性保障框架,为鉴定实践提供技术参考。

1 手印痕迹检验的理论基础

1.1 手印形态学基础

手印形态学特征体系构建在乳突纹线的稳定结构基础上,将其划分为总体特征和细节特征两个层级,并延伸至三级微观特征。总体特征注重研究宏观构型,包括纹型分类、纹线总体流

向、三角区、中心区等模式区的空间布局,被应用在初步筛查、类别归属等方面。细节特征则体现为纹线在微观尺度上的非连续性变异,依据国际通用标准归纳为起点、终点、分歧、结合、小钩、小眼、小桥、短棒、点状等九类基本形态,具有高度个体特异性和终身稳定性,构成同一认定的主要依据。在此基础上,汗孔在乳突纹线上的分布位置、形态、排列方式构成三级特征,虽然受到显现技术限制,但在高分辨率成像条件下可提供补充性识别信息。现代手印检验通过特征点精准标注、邻接关系建模、拓扑图谱构建,实现手印特征的结构化,不仅支撑人工比对的逻辑严谨性,也为自动指纹识别系统(AFIS)的特征提取、匹配算法、阈值设定提供理论基础,推动手印鉴定从经验判断向数据控制模式发展。

1.2 手印痕迹的证据价值评估

手印痕迹的证据价值依据其在人身同一认定中的高度特异性,其科学基础来自柯克同一认定理论,“客体只能和其自身同一”,强调个体特征组合的不可复制性。乳突纹线细节特征在空间分布、数量、形态上的随机组合,构成个体识别的生物学前提。证据价值评估需要综合特征点数量、质量、拓分布规律,依据国际通行标准,当比对区域包含12个以上高质量细节特征且无本质性差异时,错误匹配概率直接降低为 10^{-9} 量级,满足法庭科学对“排除合理怀疑”的证明要求。鉴定结论的证明力不仅取决于特征稀有度,还依赖检验过程对《法庭科学指纹鉴定规范》等技术标准的严格遵循,包括检材处理合规性、比对方法科学性、结论表述严谨性。在司法实践中,手印证据需要结合提取程序合法性、保管链完整性、鉴定资质有效性进行综合审查,提高其作为直接证据的可采性,充分体现科学鉴定和法律适用的有机统一。

1.3 司法鉴定的法律规范框架

手印痕迹司法鉴定严格遵循以《司法鉴定程序通则》为主体的法律规范体系,构建覆盖检材提取、样本采集、保管流转、检验分析、结论出具的全流程质量控制链条。鉴定机构必须依法取得司法鉴定许可证,并具备中国计量认证(CMA)资质,保证其技术能力符合法定要求;鉴定人则应持有有效执业资格证书上岗,履行独立、客观、公正的法定义务,检验方法优先采用《法庭科学指纹鉴定技术规范》(GA/T 144)等国家所确认的技术路径;积极引入新型显现技术时,需要完成方法学验证,包括重复性、再现性、灵敏度、特异性评估,并经同行专家评议,才能在鉴定中应用。

2 手印痕迹检验技术方法分析

2.1 潜手印显现技术

潜手印显现技术依据作用机理划分为光学、物理、化学等类型,各类方法在适用客体、灵敏度、操作特性上呈现较强的差异性。光学显现依赖手印残留物在反射、吸收、荧光特性上的差异,通过多波段光源(MWS)、紫外反射、激光激发实现无损可视化,适合非吸湿性光滑表面,具有操作简便、分辨力高、成本低廉等应用优势。物理显现利用汗液或油脂残留物的粘附性,采用传统粉末、磁性粉末、碳点复合粉末进行刷显;其中碳点

复合粉末通过将高量子产率碳点设置二氧化硅核壳结构,有效抑制荧光聚集淬灭,大幅度提高在复杂背景下的信噪比。化学显现则基于氨基酸、脂质等成分、茚三酮、1,8-二氮杂芴-9-酮(DFO)等试剂的特异性反应,生成荧光产物,尤其适用于纸张、木材等多孔渗透性客体。

为了系统评估各类技术性能,构建多维对比指标体系(见表1)。真空金属镀膜技术采用磁控溅射沉积纳米金,借助表面等离子共振效应,进一步增强纹线和背景反差,在老化客体上手印完整度提升约40%,但具有设备投入大、操作复杂等问题。荧光标记技术通过共价键合荧光探针,实现高灵敏度检测,被应用到深色背景,但成本较高。综合来看,技术选型需结合客体材质、环境条件、后续DNA提取等需求,全面推行“分层递进、多法联用”策略,通过最大化潜手印信息来提高提取效果,为法庭科学提供高质量物证支撑。

表1 不同潜手印显现技术性能对比

技术类型	适用客体	灵敏度	分辨力	操作复杂性	成本效益
多波段光源	非吸湿性光滑表面	中等	高	低	高
碳点复合粉末	非渗透性/深色客体	高	中高	中	中
真空金属镀膜	粗糙/老化复杂表面	高	高	高	低
茚三酮显现	纸张、木材等多孔材料	中高	中	中	高
荧光标记技术	深色或低反差背景	高	高	中高	中

2.2 手印增强与识别技术

在低对比度场景下,手印增强技术有助于提高纹线可辨识度。荧光增强策略利用5(6)-羧基荧光素二乙酸琥珀酰亚胺酯(CFSE)等荧光探针,和手印残留蛋白质中的伯氨基发生特异性共价结合,形成稳定酰胺键,激发后发射510-550nm绿色荧光,大幅度加强信噪比。高光谱成像技术则通过采集400-1000nm连续光谱波段数据,结合主成分分析,有效分析手印纹线和背景的光谱响应差异,实现非接触式增强。针对部分缺失手印,基于U-Net架构的深度学习分割模型可自动提取乳突纹线拓扑结构,其编码器-解码器结构融合多尺度特征,准确率达92%以上,为后续特征标注和自动比对提供高质量输入。

金属镀膜作为物理增强的重要分支,依据沉积机制分为电镀、化学镀、真空镀三类(见表2)。电镀依赖外加电场控制金属离子在导电基底还原沉积,工艺成熟但仅限金属客体;化学镀通过钯催化引发自催化氧化还原反应,在塑料、陶瓷等非导电表面形成均匀镍磷,适用性广且分辨率较高;真空镀采用磁控溅射等物理气相沉积方式,在低真空环境中进行原子级金属溅射,对复杂纹理、老化、潮湿表面均具有良好的适应性,纹线细节保留完整,但设备成本、操作门槛相对较高。通过分析上述三类技术,其在镀层均匀性、客体兼容性、分辨率上具有不同优势,工作人员要依据现场物证特性择优选择,最大化提取潜手印信息。

表2 金属镀膜技术分类与特性

技术类型	原理机制	镀层均匀性	适用客体	分辨率	设备要求
电镀技术	电化学沉积	中等	导电材料	中	低
化学镀	自催化氧化还原反应	高	非金属材料	中高	中
真空镀	物理气相沉积 (PVD)	高	通用型(含复杂表面)	高	高

2.3 检验流程标准化与质量控制技术

手印痕迹检验的标准化流程严格划分为检材保全、预处理、显现增强、特征提取、结论论证递进阶段,构成闭环式技术操作体系。检材保全阶段通过高分辨率摄影、三维扫描等非接触手段固定原始状态,同步记录提取时间、环境参数、操作人员信息,建立完整证据保管链,防止物证污染或信息丢失^[1]。预处理依据客体材质(渗透性/非渗透性)、遗留时长、环境暴露程度,科学筛选显现技术路径,避免方法误用产生的纹线结构破坏。同时,在增强环节引入标准指纹卡、人工汗液模拟样本等标准物质,定期校验试剂灵敏度、设备分辨率、操作一致性,确保方法有效性处于受控状态。

质量控制体系注重研究误差源头治理,重点防控特征误判、系统偏差、操作失误风险,全面推行双盲检验机制,即检验人和复核人独立作业、互不知晓对方结论,结合三级审核制度,大幅度提高结论客观性。此外,通过参与国家级能力验证计划、引入ISO/IEC 17025质量管理体系、定期开展新技术培训,持续优化检验能力,加强手印鉴定意见在法庭证据体系中具备高度的科学性^[2]。

3 手印检验技术面临的挑战与应对策略

当前手印检验技术面临的挑战主要集中在复杂背景干扰和新型客体适应性不足。火场环境中,血迹手印因高温产生的蛋白质变性、凝固,并叠加烟尘颗粒覆盖,致使茚三酮、DFO等常规化学试剂难以有效反应,传统粉末法也由于低对比度失效。对此,采用梯度式烟尘清除技术先行去除表层污染物,再结合荧光标记抗体针对性识别变性血红蛋白,可有效恢复纹线连续性。尤其在潮湿环境下,汗液成分由于水分扩散而稀释,乳突纹线边界模糊,传统显现易造成“晕染”效应,并积极引入含双醛基的纳米级交联剂,可在手印残留物和基底之间形成共价网络结构,实现

水分驱替和有机成分原位固化,大幅度提高成像分辨率。

新型材料客体进一步加剧检验难度。由于疏水性高分子表面能低,导致汗液附着量不足,物理吸附效率低下。通过功能化修饰粉末表面,引入氨基、羧基等极性基团,可调控粉末-客体界面相互作用,进一步增强微量残留物的选择性捕获能力^[3]。同时,柔性包装材料在提取过程中容易发生非刚性形变,造成手印几何畸变,严重影响特征比对准确性。对此,基于激光扫描获取三维点云数据,结合非刚性配准、薄板样条(TPS)形变校正算法,可逆向重建原始二维投影,恢复纹线真实走向^[4]。

4 结语

手印痕迹检验司法鉴定技术形成完整的方法系统,形态学基础研究确认手印特征的唯一性,为同一认定提供科学依据。显现增强技术针对不同客体条件形成多模式解决方案,碳点复合粉末、金属镀膜等新型材料可大幅度提高潜手印提取能力。在未来技术发展中,应注重多模态融合,积极引进多光谱成像、质谱成像等技术,提供手印化学成分的空间分布信息,实现无损检验。人工智能技术通过深度学习模型实现特征自动识别,有效提升分析效率。技术标准化与质量控制体系建设仍然是目前急需解决的工作,需要通过参考物质、验证程序、能力测试,全面提高鉴定结论的科学价值。

【参考文献】

- [1]梁文龙,潘锦斌.关于手印痕迹检验刑事科学技术的探讨[J].中国公共安全,2025(1):172-174.
- [2]张晓亮.刑事侦查中手印痕迹检验技术作用[J].法制博览,2021(14):185-186.
- [3]唐露.手印痕迹检验司法鉴定技术[J].楚天法治,2021(15):166-167.
- [4]闫自强,徐海龙,张晓梅,等.应用刑侦痕迹图像复原及鉴定系统校正手印照片畸变探究[J].中国公共安全,2023(3):67-71.

作者简介:

白丹(1980--),女,汉族,辽宁省沈阳市人,痕迹检验专业,警务技术一级主管,研究方向为痕迹检验及手印鉴定方向。

郑晓涛(1984--),男,汉族,内蒙古阿拉善盟人,大学本科,副高级警务技术任职资格,副科级警官,研究方向:利用刑事技术痕迹专业相关知识和经验,对犯罪现场进行重建。