

橡胶鞋外底表面涂层剥离特征研究

刘珞晰, 罗亚平

(中国人民公安大学, 北京 100038)

摘要: **目的** 研究橡胶鞋外底表面涂层剥离特征及其在刑事侦查与鉴定中的价值。**方法** 用四氧化三铁粉末和自粘纸提取不同警用皮鞋外底若干天的鞋印, 观察其整体涂层剥离痕迹, 总结涂层剥离的形态种类。对各区域出现涂层剥离特征的鞋外底数量进行统计, 对不同鞋外底涂层最大剥离面积进行统计, 对不同鞋外底不同位置的涂层剥离特征的消失时间进行统计, 对仍然存在涂层剥离特征的鞋外底最大剥离面积进行统计。最后观察涂层剥离痕迹的变化规律。**结果** 涂层剥离特征反映为两种痕迹——涂层未脱落的涂层剥离痕迹与剥离的涂层本身形成的涂层剥离痕迹。雨水天气后的 0~2 d 以内, 涂层剥离程度较大的鞋外底数量最多。涂层的最大剥离面积集中在 $0.019\sim 1.451\text{ mm}^2$ 范围内, 仅有 9 只涂层喷涂较厚的鞋外底剥离的涂层面积较大。涂层剥离痕迹主要出现在外底中腰部位、外底掌后部位、外底前端部位和轻微擦划处。穿用一个月以后, 28 只鞋外底仍有涂层剥离特征, 其中包括 9 只喷涂较厚的鞋外底, 28 只鞋外底的最大剥离面积集中在 $0.204\sim 3.805\text{ mm}^2$ 范围内。外底前端部位的涂层最先停止剥离; 外底中腰部位的涂层, 其剥离特征持续的时间最久, 外底掌后部位次之, 最次为外底前端部位。涂层剥离痕迹的总体变化规律为由边缘向内部收缩并逐渐消失。**结论** 涂层剥离特征的反映性与鞋外底所喷涂层多少、水浸环境、客体粘附力, 以及客体表面几何形状与涂层剥离部位的结合能力相关。其特定性和稳定性与鞋外底所喷涂层多少、出现的位置等相关。涂层剥离特征对于刑事侦查与鉴定有一定的意义。

关键词: 涂层; 剥离; 橡胶鞋外底; 最大剥离面积; 痕迹

中图分类号: TG176.463 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2017)12-0168-07

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.12.027

Peeling Characteristics of Removed Coating on Rubber Outsole Surface

LIU Luo-xi, LUO Ya-ping

(People's Public Security University of China, Beijing 100038, China)

ABSTRACT: The work aims to study peeling characteristics of removed coating on rubber outsole surface and corresponding values in criminal investigation and identification. Footwear impression samples of 86 police shoes were collected every day with Fe_3O_4 powder and self-adhesive films in 27 days. Overall coating peeling pattern was observed and then the coating peeling forms were classified into different types. Following items were counted: outsoles with different parts showing peeling characteristics, maximum peeled area of different outsole coatings, disappearance time of coating peeling characteristics in different positions of the outsoles, and maximum peeled area of outsoles still showing coating peeling characteristics. Finally, change rule

收稿日期: 2017-06-04; 修订日期: 2017-10-29

Received: 2017-06-04; Revised: 2017-10-29

基金项目: 中国人民公安大学基本科研业务费项目 (2016JKF01102)

Fund: Supported by the Funding from People's Public Security University of China (2016JKF01102)

作者简介: 刘珞晰 (1992—), 女, 博士研究生, 主要研究方向为痕迹检验。

Biography: LIU Luo-xi (1992—), Female, Doctor, Research focus: impression evidence examination.

通讯作者: 罗亚平 (1965—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为痕迹检验。

Corresponding author: LUO Ya-ping (1965—), Female, Doctor, Professor, Research focus: impression evidence examination.

of coating peeling patterns was observed. Two different patterns were reflected in the coating peeling characteristics: coating peeling pattern of coating not being peeled and that generated by the peeled coating. Largest number of outsoles exhibited greatest degree of peeling in 0~2 days after recent rainy day. Maximum peeled area of the coating was mainly in the scope of $0.019\sim 1.451\text{ mm}^2$, only 9 outsoles painted thickly exhibited large area of peeled coating. Coating peeling patterns mainly appeared in arch part, posterior ball part, anterior part and slightly scratched part. After being worn for one month, 28 outsoles still exhibited coating peeling characteristics, including the above-mentioned 9 outsoles being painted thickly. The maximum peeled area of these 28 outsoles were mostly in the scope of $0.204\sim 3.805\text{ mm}^2$. Coating in the anterior part stopped peeling first. The coating peeling characteristics in arch part lasted for the longest time, followed by those in the posterior ball part, and those in the anterior part the shortest. The general change rule of coating peeling patterns was that they shrunk from edge to inside and disappeared gradually. The reflective ability of coating peeling characteristics depends on volume of coating painted on outsoles, water immersion environment, adhesive force of the object, geometry of object surface and binding capacity of peeled part. The specificity and stability of paint removing characteristic are related to volume of the painted coating and the part in which they appear. Coating peeling characteristics are of certain significance to criminal investigation and identification.

KEY WORDS: coating; peeling; rubber outsole; maximum peeled area; pattern

橡胶鞋外底作为橡胶制品的一种,有“喷霜”的特征^[1]。在外底成形之后喷涂一层涂层,是遮盖橡胶喷霜的方法之一^[2-3]。为了清除鞋外底表面的积污、油污和加工助剂等,在喷涂涂层之前需要喷涂表面处理剂^[4]。所喷涂的表面处理剂能够在鞋外底表面形成一层新的表面层,改变鞋外底的表面性质活性,使之与所使用的胶粘剂相匹配,提高剥离强度。鞋外底喷涂涂层所含有的聚氨酯胶粘剂也会提高其粘接强度^[5]。但是在因处理剂效果不足、涂层中聚氨酯胶黏剂品质欠佳等导致的涂层附着力不强或涂层的使用范围与鞋外底的美化与保护作用不符的情况下,橡胶外底在穿用过程中受到粘附、摩擦、发生弹性形变等可能会使涂层出现剥离的现象。涂层剥离并不影响鞋只的穿用,但出现涂层剥离现象的鞋外底遗留的鞋印可能会反映出涂层剥离的形态,而这些形态可以被侦查人员和技术人员加以利用。本文将反映这些涂层剥离形态的痕迹称为涂层剥离痕迹。本研究通过实验,分别对橡胶外底涂层剥离特征的反映性、特定性和稳定性进行了研究,以探究涂层剥离特征在刑事侦查与鉴定中的利用价值。

1 实验

本研究收集了中国人民公安大学本科新生 43 人的警用新皮鞋和 26 个穿用日的鞋印样本,即每天约 86 份鞋印样本,除去漏印的 53 份样本,共计 2269 份鞋印样本。此外,在大约 2、3、4、5、6 个月的穿用时长时收集新样本,用于观察涂层剥离痕迹的具体形态,探究其变化规律。

为完成样本的收集,用四氧化三铁粉末和自粘纸提取鞋印,具体操作如下:将皮鞋倒扣固定在鞋拐上^[6],

用磁性粉末刷(龙昊警用器材有限公司)在鞋外底均匀涂一层四氧化三铁粉末(D008,布兰特警用器材有限公司),随后轻轻拍掉鞋外底凹处遗留的多余的四氧化三铁粉末^[7]。将剪裁为 $33\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 的自粘纸(迪丝飞丝牌和桦艺联盟牌)的保护膜撕开,从鞋外底的趾区向跟区粘贴,确保鞋外底表面上每一处都与自粘纸接触后可撕下自粘纸,再用透明装订胶片(A4, 12.5c 和 15c,易利丰牌)覆盖在自粘纸上,剪掉露出的自粘纸后,标记好样本来源与日期^[8]。所有样本收集完毕后,使用扫描仪(HP Laser Jet Professional M136 MFP)以 1200dpi 的分辨率扫描保存,以便后期图像处理。

涂层剥离特征可以通过以上方法所收集的鞋印样本进行观察,见图 1(左图中圈出的部分为橡胶鞋外底的涂层剥离特征,右图中圈出的部分为该鞋相应部位的涂层剥离痕迹)。观察涂层剥离常见的出现位置,并对鞋外底各区域(外底前端部位、外底掌前部位、外底掌中部位、外底掌后部位、外底中腰部位、外底后掌部位和外底后端部位)^[9]出现涂层剥离特征的数量及其在鞋只总数所占比例进行统计。

对不同鞋外底的涂层剥离程度进行统计。本研究中,涂层剥离程度将用涂层的剥离面积进行描述^[10]。描述方法为:在同一鞋外底所有捺印样本中,人工挑选出相对较大的剥离涂层,使用(Fiji is Just)ImageJ 软件(版本 2.0.0)对涂层进行测量^[11](魔棒工具,容差为 20),见图 2,得到面积测量结果,选最大值作为该鞋外底的最大剥离面积。统计不同时间最大剥离面积出现的次数,以探寻涂层剥离程度的影响因素。统计最大剥离面积的分布状况,以研究涂层剥离程度对涂层剥离特征特定性的影响。



图1 涂层剥离特征与涂层剥离痕迹

Fig.1 Coating peeling characteristics and coating peeling pattern

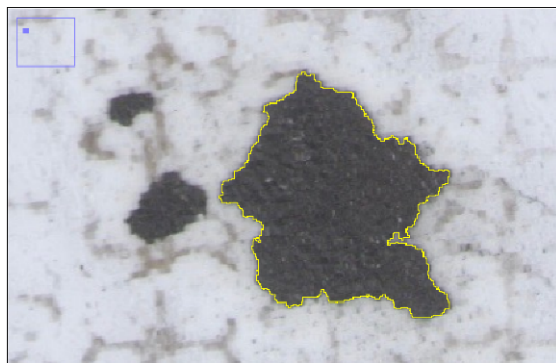


图2 (Fiji is Just) ImageJ 测量最大剥离面积

Fig.2 Maximum peeled area measured with (Fiji is Just) ImageJ

对不同鞋外底不同位置涂层剥离特征的消失时间进行统计,对仍然存在涂层剥离特征的鞋外底最大剥离面积进行统计,以研究各位置的涂层剥离特征的稳定性。对于涂层剥离痕迹变化规律的研究,具体方法为:以016号被试右鞋鞋外底中腰部位为例,先将外底中腰部位调正、裁剪为适当尺寸的长方形,随后使用(Fiji is Just) ImageJ 软件(版本2.0.0)的选择

工具,创建能将该图片分为“米”字形的图层,然后测量中心到不同线在该方向上与涂层剥离痕迹的交点的距离,分别记为1、2、3、4、5、6、7、8,见图3。再对8个点的数值变化进行统计,以描述涂层剥离痕迹随时间的变化。

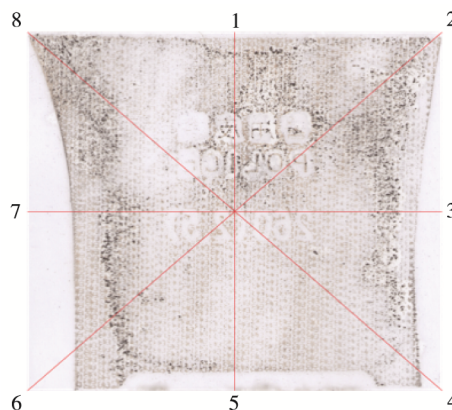


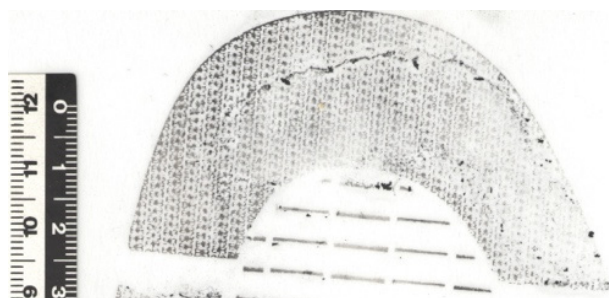
图3 测量涂层剥离痕迹变化的方法

Fig.3 Measurement method for changes in coating peeling pattern

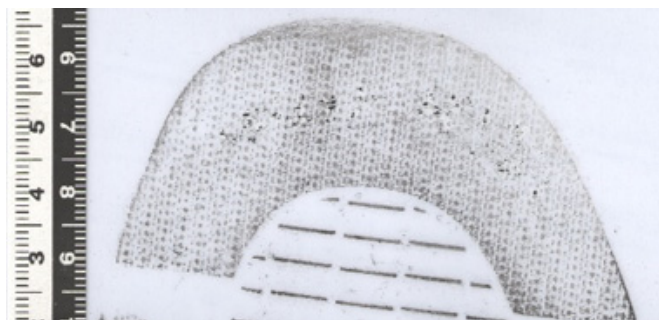
2 实验结果

对涂层剥离特征反映性的观察显示,涂层剥离特征可以反映为两种痕迹:一种是涂层剥离却未完全脱落而反映留在鞋外底上的花纹缺失的涂层剥离形态(仅出现一次);另一种是完全剥离的涂层本身形成的轮廓。两种涂层剥离痕迹对比见图4。涂层剥离特征的反映性还可能随其他因素(例如时间)变化。对于各样本收集日期出现最大剥离面积的鞋外底数量的统计表明,最大剥离面积出现在前3天的次数较多,其次是10月10、11、20日,见图5。

涂层剥离特征的特性主要体现在涂层剥离的位置和程度。涂层剥离特征主要出现在外底中腰部位、外底掌后部位和外底前端部位,各部位出现涂层剥离特征的具体情况见表1。此外涂层剥离特征还会出现在存在轻微擦划的位置。



a 涂层未脱落的涂层剥离痕迹



b 剥离涂层本身形成的涂层剥离痕迹

图4 涂层未脱落的涂层剥离痕迹与剥离的涂层本身形成的涂层剥离痕迹的对比

Fig.4 Coating peeling pattern of coating not being peeled (a) and that generated by peeled coating (b)

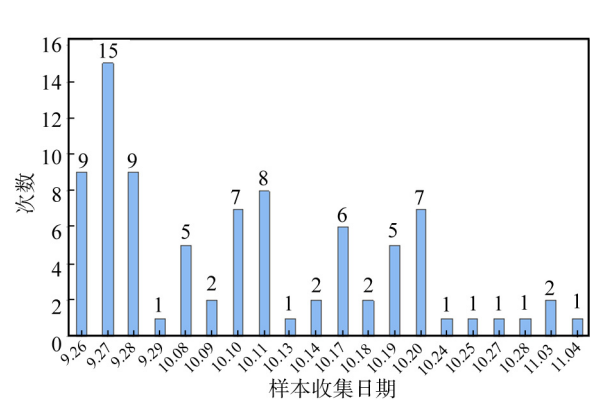


图 5 各样本收集日期出现最大剥离面积的鞋外底数量
Fig.5 Number of outsoles exhibiting maximum peeled area as of different sampling date

表 1 各部位出现涂层剥离特征的鞋外底数量及其所占比例
Tab.1 Number of outsoles exhibiting coating peeling characteristics in each part and corresponding proportion

区域	数量	概率/%
外底前端部位	53	61.63
外底掌前部位	22	25.58
外底掌中部位	9	10.47
外底掌后部位	67	77.91
外底中腰部位	86	100
外底后掌部位	19	22.09
外底后端部位	14	16.28

对最大剥离面积的观察和统计见图 6, 86 只鞋外底呈现出不同程度的涂层剥离现象。其中, 大部分鞋外底的最大剥离面积集中在 $0.019\sim1.451\text{ mm}^2$, 仅有 9 只喷涂较厚的鞋外底剥离的涂层块面积较大, 属于严重的涂层剥离现象。

外底掌前部位、外底掌中部位、外底掌后部位和外底后端部位的涂层剥离痕迹一般仅出现 1~2 d。统计出现频率较高的外底前端部位、外底掌后部位和外底中腰部位涂层剥离痕迹消失的时间可知(图 7, 其中横线为总数), 有 28 只鞋在穿用一个月后依然存

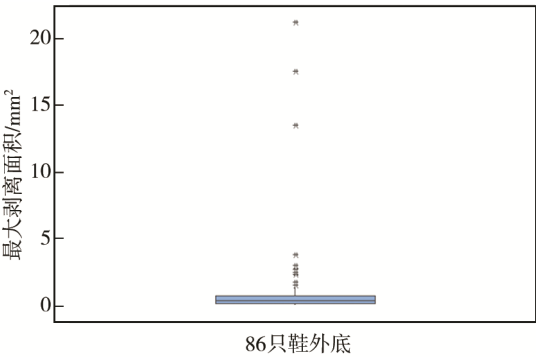


图 6 不同鞋外底最大剥离面积的分布
Fig.6 Distribution of maximum peeled area on different outsoles

在涂层剥离特征, 其他鞋印中涂层剥离特征不再出现。28 只鞋外底的最大剥离面积集中在 $0.0204\sim3.805\text{ mm}^2$, 分布见图 8。其中, 9 个最大剥离面积出现异常值, 即涂层剥离最严重的 9 个鞋外底都包含在内。同时, 图 7 显示, 26 天后, 外底中腰部位不再出现涂层剥离特征的外底数量占外底中腰部位出现涂层剥离特征总数(86 只)的 67.4%, 外底掌后部位不再出现涂层剥离特征的外底数量占外底掌后部位出现涂层剥离特征总数(67 只)的 89.6%; 25 天后, 外底前端部位不再出现涂层剥离特征的外底数量占外底前端部位出现涂层剥离特征总数(53 只)的 90.6%; 6 只鞋外底的前端部位从第 3 天开始不再出现涂层剥离特征。因此, 外底前端部位的涂层最先开始不再剥离, 而外底中腰部位的涂层剥离特征持续的时间更久, 外底掌后部位次之, 最次为外底前端部位。

以 016 号同学的右鞋外底为例, 对外底中腰部位中点到涂层痕迹 8 个点的测量结果, 见图 9(痕迹轮廓不明显的样本没有计入统计), 根据分析可得出结论: 中点到涂层剥离痕迹的 8 个点的距离随时间的推移越来越小, 说明涂层剥离痕迹的总体变化规律为由边缘向内部收缩并逐渐消失, 具体形态如图 10—11。

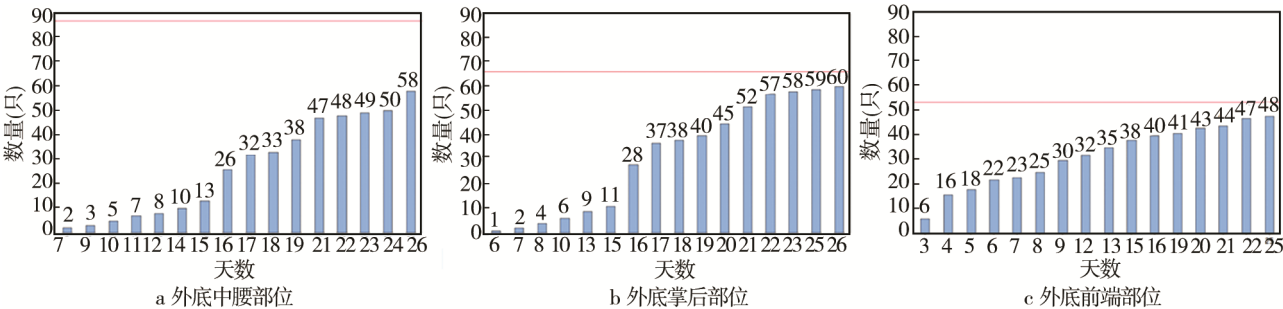


图 7 不同天数各部位涂层剥离特征消失的外底数量
Fig.7 Number of outsoles no longer exhibiting coating peeling characteristics in various part in different days: (a) arch part; (b) posterior ball part; (c) anterior part

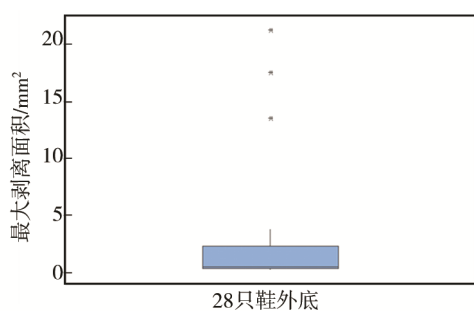


图8 一个月后依然存在涂层剥离痕迹的鞋外底的最大剥离面积分布

Fig.8 Distribution of maximum peeled area on outsoles still showing coating peeling patterns after 1 month

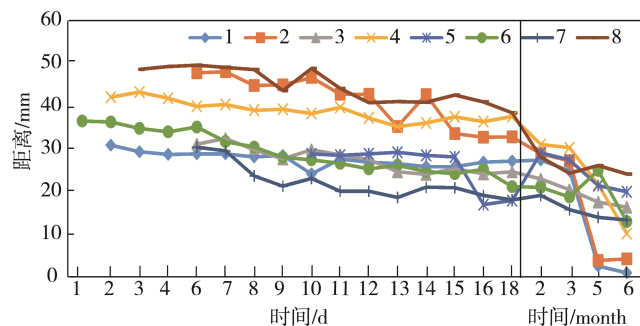


图9 外底中腰部位中点到涂层剥离痕迹8个点的距离随时间变化(样本组016R)

Fig.9 Changes of distance from arch part center to 8 points showing coating peeling patterns as a function of time (sample group 016R)

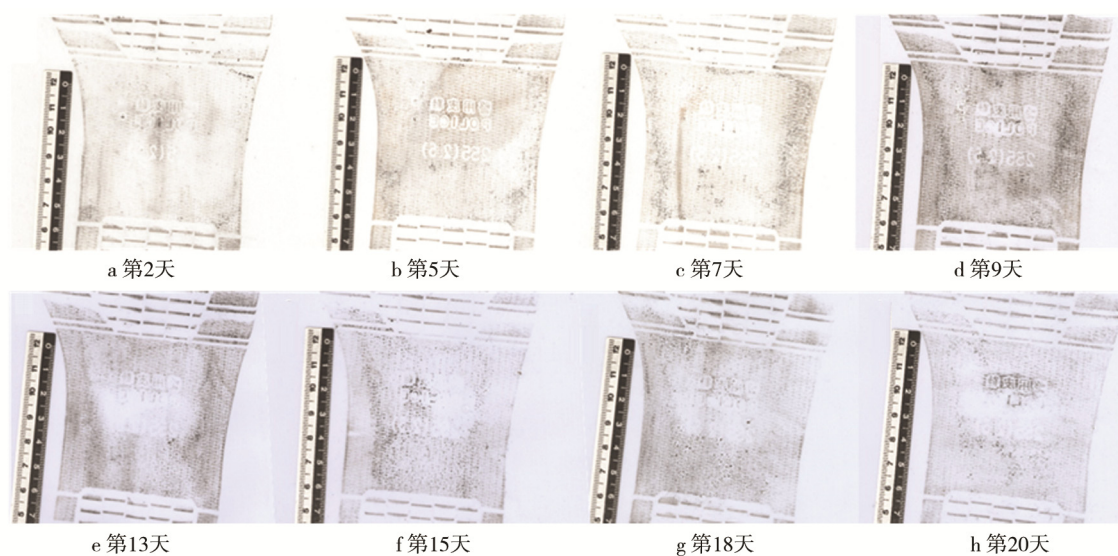


图10 中腰部位涂层剥离痕迹的变化(样本组002R)

Fig.10 Changes of coating peeling patterns in arch part (sample group 002R): (a) 2nd day, (b) 5th day, (c) 7th day, (d) 9th day, (e) 13th day, (f) 15th day, (g) 18th day, (h) 20th day

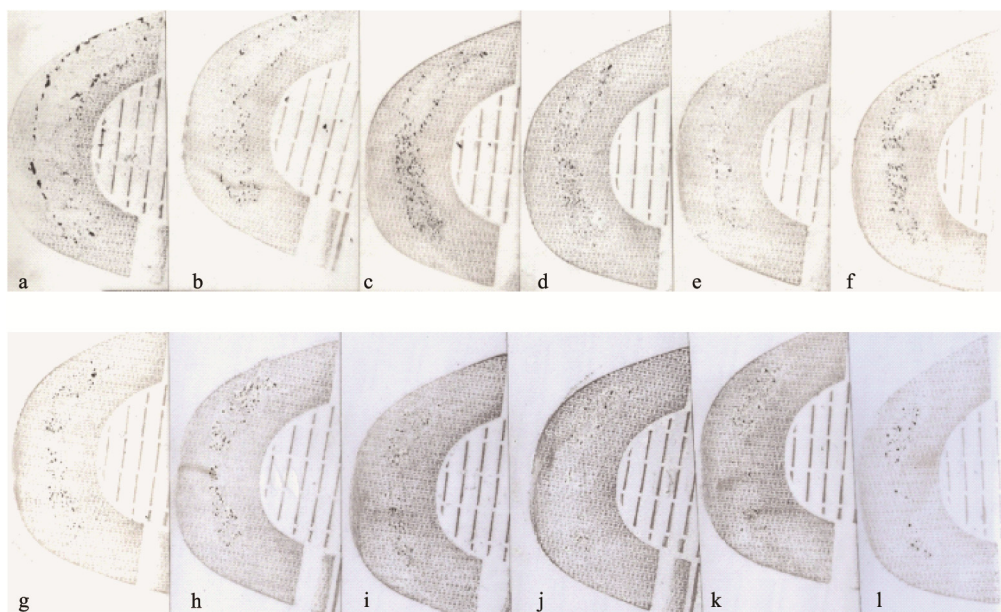


图11 外底前端部位涂层剥离痕迹的变化(样本组018R)(从a到l分别为穿用1—12天的样本)

Fig.11 Changes of coating peeling patterns in anterior part (sample group 018R)(a-l are the samples from day 1 to day 12)

3 分析与讨论

涂层剥离的程度不同和涂层剥离痕迹出现两种形态的主要原因是涂层喷涂厚度不同。在对生产该批次警用皮鞋外底厂家调研后,得知涂层的喷涂全程为人工操作,表面处理剂、外底正面及外底侧面分别由三名工人喷涂,故喷涂厚度有一定的随机性。当涂层厚度增加时,内聚力增大,而附着力不会增大,于是内聚力与附着力的比例发生变化,从而减小了附着力,即涂层厚度的增加会导致内聚力与附着力的比例发生不利于附着力的变化^[12]。因此,涂层喷涂厚度的随机性导致涂层出现不同程度的剥离。涂层剥离程度较严重的鞋外底,在涂层未脱落的情况下,涂层剥离形态在鞋印中有时反映为鞋底花纹被大块剥离的涂层遮盖,造成花纹缺失。其他喷涂适当或涂层剥离不严重的鞋外底,涂层剥离特征不如喷涂较厚的鞋外底明显,表现为剥离涂层本身形成的轮廓。

涂层的附着力也会影响涂层的剥离程度。在潮湿的环境中,尤其是在高湿度的环境中,涂层的附着力会被削弱。在水的作用下,涂层会发生溶胀,水溶性组分从中溶解,从而使附着情况恶化^[12]。基于该理论,前述在不同日期内出现最大剥离面积的鞋外底分布情况,可能是因为鞋外底表面涂层受到雨水天气的影响。根据北京市大兴区天气记录,在实验期间,9月26日、10月15日、10月19—21日和10月27日曾有过雨水天气。为研究水浸对橡胶鞋外底表面涂层的影响,我们统计了雨水天气后的不同相隔时间出现最大剥离面积的鞋外底数量(图12),发现雨后2d内出现最大剥离面积的概率最大,因此,水浸环境对涂层剥离程度有一定的影响,水浸环境下的涂层剥离特征在鞋印中能够得到更明显的反映。

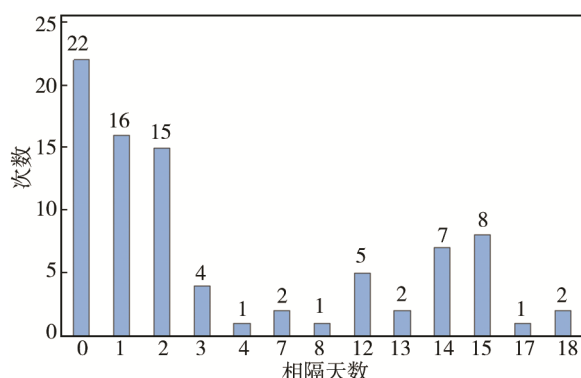


图 12 雨水天气后不同天数出现最大剥离面积的鞋外底数量

Fig.12 Number of outsoles exhibiting the maximum peeled area after different days from recent rainy day

涂层剥离形态得到反映的数量还取决于痕迹所留客体的粘附力大小^[13]。虽然本研究中涂层剥离痕迹

所留的客体为有粘附力的自粘纸,但也出现了涂层未脱落时留下的涂层剥离痕迹,故在无粘附力的客体表面上,涂层剥离特征也可能留下涂层未脱落的涂层剥离痕迹。

值得注意的是,由于涂层剥离特征多见于与地面不常接触的部位,所以在严格水平的平面上可能不会经常遇到。本研究使用自粘纸人工捺印倒扣皮鞋的方法来反映整个鞋外底的形貌特征,是比较理想的状态,故欲发现适当反映的涂层剥离痕迹,需要在表面几何形状与涂层剥离部位结合能力强的客体上寻找。此外,橡胶鞋外底经过一段时间的穿用、磨损后,会出现 Schallamach 磨损纹路^[14-15],这些纹路中可能会嵌入剥离涂层,容易被错认成涂层剥离痕迹,影响检验鉴定人员的判断。区分涂层是否是转移来的一种方法是:涂层剥离不会改变鞋底花纹,所以在鞋底花纹发生改变处的剥离涂层应该为转移而来。

从以上讨论中可见涂层剥离特征具有一定的反映性,而涂层剥离特征的特定性可以由出现涂层剥离现象的位置和程度体现。首先,涂层在不同位置出现剥离特征的概率不同,不常出现涂层剥离位置(例如外底掌中部位)的涂层剥离特征,其特定性大于常出现位置的涂层剥离特征。第二,涂层剥离特征还可能出现在外底轻微擦划处。反映擦划情况的涂层剥离特征具有较强的特定性,在检材与样本收集时间间隔较短的情况下,对于鞋只的同一认定有一定意义。同时,反映擦划情况的涂层剥离特征常出现在外底中腰部位,一定程度上可以用于分析穿鞋人的行走习惯(穿鞋人在上下楼梯时可能有用鞋弓磕碰楼梯的习惯)。第三,虽然橡胶外底出现涂层剥离是常见现象,但是不同的鞋厂、批次、美化工艺会使涂层的剥离情况不尽相同。因此在实际案件中,如果遇到寻找涂层剥离鞋只鞋源时,可以通过了解该鞋厂和批次的美化工艺来排除错误的鞋源。第四,涂层剥离特征的特定性还可以由最大剥离面积统计中的异常值体现。涂层剥离程度的不同主要是因为涂层的喷涂由人工完成,喷涂厚度无法保证相等,涂层喷涂过厚、剥离十分严重的情况(最大剥离面积统计中的异常值)属于少数,具有一定特定性。

除反映性与特定性以外,涂层剥离特征还具有一定的稳定性。穿用一个月后依然存在涂层剥离现象的 28 只鞋外底,它们最大剥离面积的正常值范围远远超过所有 86 只鞋外底的最大剥离面积的正常值,且涂层剥离最严重的 9 只鞋外底全部包含在内。这说明喷涂的涂层越厚,涂层剥离持续的时间越长。鞋外底不同部位的涂层被磨损的先后顺序和速度也不同:常与地面接触的部位最先磨损,很快磨光;不常与地面接触的部位随后磨损,涂层剥离速度较慢。外底中腰部位的涂层剥离特征相对稳定,因为中腰部位与地面

接触不多, 主要依靠弹性形变来剥离该部位的涂层。因此涂层剥离痕迹可用于推测鞋只的穿用时长: 外底中腰部以外的涂层剥离特征一般存在于穿用时间较短的鞋中, 所以如果检材中外底中腰以外的部分出现涂层剥离痕迹, 那么鞋只应当较新。

4 结论

1) 鞋外底涂层剥离特征的反映性与涂层厚度、水浸环境、客体粘附力, 以及客体表面几何形状与涂层剥离部位的结合能力相关。

2) 不常出现涂层剥离的部位、涂层较厚的鞋外底和受轻微擦划破坏部位的涂层剥离特征的特性较强。

3) 涂层较厚的鞋外底和不常接触地面的部位的涂层剥离特征稳定, 并由边缘向内部收缩, 逐渐消失。

参考文献:

- [1] 刘生辉, 魏伯荣. 橡胶制品喷霜的产生原因及解决措施[J]. 橡胶工业, 2006, 53(8): 488-490.
LIU Sheng-hui, WEI Bo-rong. Reasons and Solutions for the Blooming of Rubber Materials[J]. China Rubber Industry, 2006, 53(8): 488-490.
- [2] 张正中. 谈新型喷漆外底及生产技术[J]. 西部皮革, 1994(2): 20-21.
ZHANG Zheng-zhong. On Novel Spray-painted Outsoles and Its Productive Technology[J]. West Leather, 1994(2): 20-21.
- [3] FREAKLEY P K, BHALA M J. Effect of a Coating Material on Antiozonant Blooming in Natural Rubber Compounds[J]. Kautschuk Und Gummi Kunststoffe, 2000, 53(4): 224-227.
- [4] 詹中贤, 唐亚夫, 曲少伟, 等. 橡胶鞋底表面处理剂的研制[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2003, 1(2): 12-14.
ZHAN Zhong-xian, TANG Ya-fu, QU Shao-wei, et al. Preparation of Surface Treating Agent for Rubber Shoe Sole[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2003, 1(2): 12-14.
- [5] 詹中贤, 朱长春, 牛杰峰. 鞋底喷漆用聚氨酯胶粘剂的研制[J]. 中国胶粘剂, 2007, 16(2): 27-29.
ZHAN Zhong-xian, ZHU Chang-chun, NIU Jie-feng. Development of Polyurethane Adhesive for Spray-paint of Shoes[J]. China Adhesives, 2007, 16(2): 27-29.
- [6] BODZIAK W J. Forensic Footwear Evidence[J]. Crc Press, 2015, 26: 558.
- [7] SPEIR J A, RICHETELLI N, FAGERT M, et al. Quantifying Randomly Acquired Characteristics on Outsoles in terms of Shape and Position[J]. Forensic Science International, 2016, 266: 399-411.
- [8] DAVIS R J, KEELEY A. Feathering of Footwear[J]. Science & Justice, 2000, 40(4): 273-276.
- [9] 刘文. 中国刑事科学技术大全, 痕迹检验[M]. 北京: 中国人民公安大学出版社, 2004.
LIU Wen. Encyclopedia of Forensic Science in China: Im-pression Evidence Examination[M]. Beijing: PHC-PPSU, 2004.
- [10] 孟慧杰. 喷漆机器人喷漆工艺分析及满意优化研究[D]. 南宁: 广西大学, 2009.
MENG Hui-jie. A Study on Technology and Satisfying Optimization of Robotic Painting[D]. Nanning: Guangxi University, 2009.
- [11] DAI Zhi-cong, DU Dao-lin, SI Chun-can, et al. A Method to Exactly Measure the Morphological Quantity of Leaf Using Scanner and Image J Software[J]. Guihaia, 2009, 56: 342-347.
- [12] 陈山南. 涂层附着力的影响因素[J]. 涂层工业, 1983(1): 21-25.
CHEN Shan-nan. Factors Influencing Adhesion of Coating[J]. Paint & Coating Industry, 1983(1): 21-25.
- [13] 李学军. 物证论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2010.
LI Xue-jun. On Physical Evidence[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2010.
- [14] SCHALLAMACH A. Friction and Abrasion of Rubber[J]. Wear, 1958, 1(5): 384-417.
- [15] SCHALLAMACH A. A Theory of Dynamic Rubber Friction[J]. Wear, 1963, 6(5): 375-382.