

安全鞋外底耐磨性能测试方法的研究

张成森, 常征*, 张东海, 张国富, 孙玉华

(潍坊市产品质量检验研究院, 潍坊 261031)

摘要:目的 对安全鞋外底的耐磨性能展开有效测试,旨在提升其使用寿命与安全性。**方法** 选用橡胶材质、聚氨酯材质两种安全鞋外底作为样品,使用旋转辊筒式耐磨试验机开展磨损测试试验,对其磨损量数据展开一定记录与分析,对两种材质的安全鞋外底耐磨性能进行对比。**结果** 不同材质外底的耐磨性能存在显著差异,聚氨酯材质外底可在特定测试条件下表现出较好的耐磨性能。**结论** 在统一的耐磨性能测试标准下选用合适的耐磨性能测试方法,能够对安全鞋外底耐磨性能展开有效评估,为安全鞋的质量控制和产品研发提供有力依据。

关键词: 安全鞋; 外底; 耐磨性能

0 引言

安全鞋作为脚部重要的防护装备,在工业生产、建筑施工、矿山开采等众多领域具有重要作用,其外底与地面接触,承受人体质量、行走摩擦力以及各种复杂工况,需重点关注其耐磨性能的测试。若安全鞋外底耐磨性能不佳,不仅会削弱鞋底的防滑效果,增加劳动者滑倒和摔伤的风险,还会因无法有效抵御外界物体的穿刺、撞击等,进一步提高足部受伤的可能性。现有的安全鞋外底耐磨性能测试方法和标准存在一定局限性,容易对测试结果的可比性和权威性产生负面影响^[1]。本文探讨了橡胶材质、聚氨酯材质两种安全鞋外底的耐磨性能测试方法,可为安全鞋的质量控制和性能提升提供一定支持。

1 材料与方法

1.1 样品选取

以市场上常见的两种材质外底为例,比如橡胶材质、聚氨酯材质(图1),每种材质准备5个尺寸相同的试样,样品尺寸为长×宽×厚为100 mm×50 mm×10 mm,样品均取自不同生产批次的安全鞋产品,其制备均需以相关标准标准为依据,使其具有代表性^[2]。

1.2 耐磨性检测标准

多项国家标准对安全鞋外底耐磨性能作出明确规定,比如中国国家标准化管理委员会发布的GB 21148—2020《足部防护 安全鞋》标准^[3],在其5.7.3节耐磨性条款中

对安全鞋外底耐磨性能的测试方法和评定标准进行规定。此外,德国工业标准化组织^[4]发布的DIN磨耗法可分为旋转试样法和非旋转试样法,通过测量试样的质量损失来评估耐磨性能。本次研究以国家质检总局发布的GB/T 9867—2008^[5]为依据,选用DIN磨耗试验机(图2)展开磨损性能检测工作。

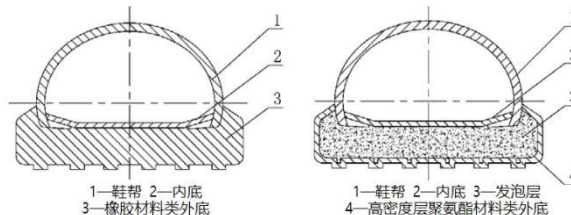


图1 橡胶材质、聚氨酯材质样品

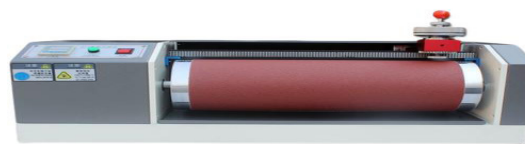


图2 DIN磨耗试验机

1.3 仪器设备

本次研究选用旋转辊筒式耐磨试验机作为主要仪器,主要由驱动装置、辊筒、试样夹具和磨损量测量装置等部分组成。辊筒表面一般覆盖有标准砂纸,对实际穿着安全鞋所接触的粗糙地面进行模拟^[6]。驱动系统可对控制辊筒的转速和转动方向进行稳定控制,并由试样夹具做好外底

第一作者: 张成森,研究方向为质量体系及管理、实验室建设、产品认证许可、工业产品相关的法律法规及标准制定。

* 通信作者: 常征,高级工程师,研究方向为实验室建设、橡塑产品、鞋类产品、铝合金制品产品质量与检验检测。

E-mail: 164323760@qq.com

样品的牢固固定, 使其与辊筒表面保持充分接触, 并且要产生相对运动。磨损量测量装置的精度需达到 0.01 mg, 对样品磨损前后的质量变化进行准确测量。除了耐磨试验机, 采用高精度的电子天平对试样测试前后的质量变化进行称量, 将精度控制在 0.01 g^[7]。此外, 用游标卡尺对试样的厚度变化进行测量, 精度控制在 0.02 mm。

1.4 试验参数

本次试验中, 辊筒直径设置为 200 mm, 长度控制在 400 mm, 转速控制在 100 r/min 范围, 测试时间控制在 60 min。每次测试时, 还需向辊筒表面均匀喷洒 50 g 石英砂磨料。在对每个试样进行测试之前, 需将其置于温度 23 °C、相对湿度 50% 的环境当中, 放置 24 h 后, 使其达到温湿度平衡, 降低环境因素对测试结果产生的影响^[8]。

1.5 试验方案

首先是试验预处理。用酒精擦拭制备好的安全鞋外底试样, 有效去除表面的灰尘和杂质^[9]。接着, 用游标卡尺测量每个试样厚度, 并用电子天平准确称量样品质量, 记录初始数据。对于橡胶外底而言, 其试样形状对外底耐磨性没有太大影响。但对于聚氨酯材料类外底来说, 其试样形状的差异会对其耐磨性能测试结果产生一定影响。因此, 需在试验前对试样进行预磨处理, 让试样与辊筒上的砂纸保持完全贴合, 以免影响到试验结果。其次是安装试样。对耐磨机器进行启动时, 需在试验前保持磨轮空转 5 min, 并在此过程中仔细检查机器磨轮频率、时间显示等运行状况, 判断其是否处于正常状态。接着, 将试样牢固地安装到耐磨机的夹具上, 让试样与辊筒表面保持紧密接触, 并且要保证其安装位置准确无误。此外, 要对试样的磨耗部位进行合理调整, 使其达到水平状态, 让磨轮与试样轻轻接触^[10]。然后是开展测试工作, 将耐磨试验机启动之后, 设置辊筒转速为 60 r/min, 以此模拟实际使用过程中鞋底所面临的不同摩擦方向, 让辊筒的转动方向在顺时针和逆时针之间交替进行。每个样品的测试时间统一设置为 60 min, 并在测试过程中间隔 10 min 暂停一次试验机, 利用此种阶段性暂定的方式, 提升测试结果的准确性。同时, 使用毛刷对样品表面和辊筒表面的磨损碎屑进行清理, 有效清除摩擦过程中产生的磨损碎屑, 以免碎屑堆积在样品或辊筒表面, 对测试结果产生不良影响; 最后是数据测量, 完成耐磨测试后, 需将试验机及时关闭, 将样品从机器上取下来之后, 再次置于特定的环境条件中, 温度控制在 23 °C, 相对湿度控制在 50%, 静置 24 h。接着, 用游标卡尺测量试样磨损后的厚度, 用电子天平称量其质量, 有效计算每个试样的厚度损失, 单位为 mg, 将其作为评估耐磨性能的重要指标。

2 结果与分析

2.1 磨损量分析

经过耐磨测试得出, 橡胶与聚氨酯两种材质外底样品的磨损量数据如表 1 所示, 聚氨酯外底磨损量和平均磨损量均比橡胶外底小, 说明聚氨酯材质耐磨性能较好。因为聚氨酯通常具有更高的硬度和弹性模量, 可对摩擦和形变进行抵抗, 而橡胶容易在反复受压或摩擦的过程中发生材料疲劳和剥落问题。

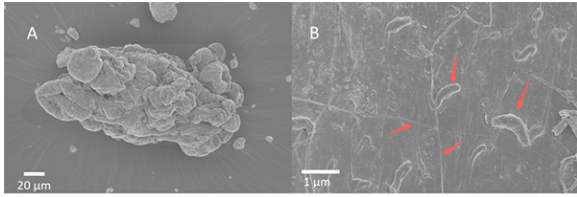
表 1 两种材质外底样品的磨损量数据

| 外底材质 | 样品编号 | 初始质量 /g | 最终质量 /g | 磨损量 /mg | 平均磨损量 /mg |
|------|------|---------|---------|---------|-----------|
| 橡胶 | 1 | 35.12 | 34.89 | 230 | 238 |
| | 2 | 35.13 | 34.88 | 250 | |
| | 3 | 35.23 | 34.89 | 250 | |
| | 4 | 35.21 | 35.02 | 190 | |
| | 5 | 35.22 | 34.95 | 270 | |
| 聚氨酯 | 1 | 32.14 | 31.98 | 160 | 184 |
| | 2 | 32.15 | 31.97 | 180 | |
| | 3 | 32.13 | 31.94 | 190 | |
| | 4 | 32.17 | 31.95 | 220 | |
| | 5 | 32.16 | 31.99 | 170 | |

2.2 磨损形貌分析

从材料磨损特征来看, 橡胶具有良好的弹性与柔韧性, 一旦受到磨损影响后, 其表面会呈现出粗糙现象, 可见清晰的划痕与撕裂痕迹。因为橡胶的分子链会在摩擦作用的影响下发生断裂, 其外底表面呈现出不规则的破损状况。特别是在动态疲劳磨损的条件下, 甚至能观察到裂纹逐渐产生并不断扩展的现象, 并且会产生相互连接的表现, 进而形成较大的破损。聚氨酯具有较高的硬度和强度, 显示出较好的耐磨性能。通过观察扫描电子显微镜 (SEM) 图像可知, 其磨损表面呈现出相对光滑的现象, 划痕和撕裂痕迹的数量都比较少 [图 3(A)]。因为聚氨酯具有稳定的分子结构, 可承受较大的摩擦力。但聚氨酯外底受到较大冲击力或者长时间摩擦时, 也会出现局部磨损和破损, 主要表现为表面的小坑洼或细微裂纹; 从磨损颗粒情况来看, 橡胶磨损后容易产生大量磨损颗粒, 并且颗粒大小各异、形状不规则, 可在 SEM 图像中观察到颗粒附着在磨损表面或者散落在周围 [图 3(B)], 其表现与橡胶分子链断裂后形成的小碎片状颗粒有关。聚氨酯产生的磨损颗粒相对较少, 并且其颗粒通常较为细小, 因为其分子结构稳定, 不易被破坏, 即便磨损, 其所产生的颗粒呈现出数量少且尺寸小的表现; 从微观结构特点来看, 橡胶具有疏松的网络状结构, 此种结构会在磨损过程中逐渐被

破坏, 其分子链之间的交联点也会逐渐减少, 导致橡胶性能下降。聚氨酯具有致密的微观结构, 其分子链之间的交联程度处于较高水平, 此种致密的结构能够帮助聚氨酯更好地抵抗磨损, 强化其耐磨性能。



注: A——磨损表面; B——颗粒放大图。

图3 电子显微镜下的聚氨酯图示

2.3 环境因素影响分析

安全鞋外底的耐磨性能不仅与材料自身的特性存在密

切联系, 环境条件也会对其造成明显影响。为对试验结果的普遍适用性进行有效提升, 需对温度、湿度带来的影响展开重点分析。在本次研究中, 可在保持相同参数的前提下, 设置差异化的温度和相对湿度。温度分别设定为低温(10 °C)、标准(23 °C)、高温(50 °C), 相对湿度分别设定为干燥(30%)、标准(50%)和高湿(80%), 对每组条件展开3次重复试验。试验结果显示(表2), 低温干燥的环境中的橡胶外底磨损量较大, 平均达到267 mg, 高温高湿环境中的磨损量较低, 可降低到210 mg, 说明橡胶在低温环境中弹性降低、脆性增大。低温干燥和高温高湿环境下的聚氨酯外底磨损量较小, 展现出更强的稳定性, 说明聚氨酯外底可在不同环境下呈现出更为稳定的性能, 可为安全鞋在不同作业环境的材料选择提供一定参考。

表2 不同环境条件下两种材质外底的平均磨损量对比

| 环境条件 | 温度 /°C | 相对湿度 /% | 橡胶平均磨损量 /mg | 聚氨酯平均磨损量 /mg |
|--------|--------|---------|-------------|--------------|
| 低温干燥 | 10 | 30 | 267 | 181 |
| 常温标准湿度 | 23 | 50 | 238 | 183 |
| 高温高湿 | 50 | 80 | 210 | 185 |

3 讨论与结论

安全鞋外底的耐磨性能会对安全鞋的使用寿命与穿着安全产生直接影响。本次研究使用的辊筒式耐磨测试方法具有高度的模拟真实性, 可对安全鞋在实际使用场景下的磨损状况进行有效测试, 通过对试样的磨损量损失情况与磨损形貌展开分析, 能够获得一定数据, 为全鞋外底的耐磨性能评估提供有效保障。本次研究主要是对两种材质的安全鞋外底耐磨性能进行评估, 结果显示聚氨酯外底耐磨性能明显优于橡胶外底, 其平均磨损量为184 mg, 说明在本次研究所涉及到的条件中, 聚氨酯外底的耐磨性能最佳, 天然橡胶外底的耐磨性能则较差。从磨损形貌可看出, 其结果与磨损量数据呈现出高度一致, 二者得到相互验证, 再次说明两种材质外底在耐磨性能方面存在明显的差异。从不同环境影响分析可看出, 安全鞋外底材料的选择需充分结合实际使用环境进行综合考虑, 特别是低温或者高湿的工作条件, 要选择性能更加稳定的材料。尽管当前的研究取得一定成果, 为安全鞋生产企业的质量控制以及产品研发提供重要的参考依据, 有助于提高安全鞋的整体质量和性能水平, 但安全鞋的工作环境具有复杂性和多样性, 仍存在一些未被完全考虑到的因素。未来, 要对测试工况的范围进行拓展, 综合考虑更多不同的实际情况, 让测试方法更加全面和准确。

参考文献

- [1] 周佳奕, 冯璐芬, 杨春艳, 等. 安全鞋抗穿刺性能的综合分析与建议[J]. 纺织检测与标准, 2025, 11(1): 25-29.
- [2] 常征, 张东海. 安全防护鞋产品质量存在的问题及解决对策[J]. 鞋类工艺与设计, 2024, 4(24): 3-5.
- [3] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 足部防护安全鞋: GB 21148—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [4] 德国标准化学会. 橡胶和弹性体的试验. 磨损性测定: DIN 53516: 1987[S]. 柏林: 德国标准化学会, 1987.
- [5] 国家质检总局. 硫化橡胶或热塑性橡胶耐磨性能的测定(旋转辊筒式磨耗机法): GB/T 9867—2008[S/OL]. 2008 [2024-12-05]. <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetail?id=71F772D77255D3A7E05397BE0A0AB82A>.
- [6] 常征, 张东海. 安全鞋品质检测与监管抽查联动机制构建与实践研究[J]. 鞋类工艺与设计, 2024, 4(4): 3-5.
- [7] 夏蕊, 王丽果, 吴婷, 等. 安全鞋用软质防刺中底研究概况[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(2): 1-6.
- [8] 郭彩霞. 玄武岩纤维增强环氧树脂复合材料安全鞋包头的制备及其性能[J]. 中国个体防护装备, 2022, (6): 4-7.
- [9] 李闯闯, 贾永超. 保护足趾安全(防护)鞋主要检测指标分析与产品质量提升建议[J]. 西部皮革, 2022, 44(21): 28-31.
- [10] 李志华, 朱丽晶. 顺势而为共谱安全鞋行业新篇章[J]. 劳动保护, 2022, (11): 74-75.