

人体步进摩擦的主要影响因素

贾利晓^{1,2,3}, 张永振², 李健¹, 牛永平², 孙乐民²

(1. 机械科学研究总院 武汉材料保护研究所, 湖北 武汉 430030;

2. 河南科技大学 材料摩擦学重点实验室, 河南 洛阳 471003;

3. 洛阳理工学院 机电工程系, 河南 洛阳 471023)

摘要: 人体步进摩擦是指在行走过程中, 人脚与地面之间产生的间歇性摩擦现象. 步进摩擦系数的大小直接关系到人体在行走过程中的安全性. 本文介绍了影响人体步进摩擦系数大小的主要因素, 包括材料、路面润滑状况、鞋底花纹、鞋跟形式与高度、人体步态参数等. 在文章的最后分析了目前研究中存在的问题, 进而指出了下一步的研究重点和目标.

关键词: 步进摩擦; 鞋底材料; 地板材料; 路面润滑状况; 鞋底花纹; 鞋跟形式与高度; 步态参数

中图分类号: TH117.1

文献标识码: A

文章编号: 1004 - 0595 (2009) 06 - 0627 - 07

行走是人们日常生活中最常见的运动, 在行走过程中, 人脚(鞋)与地构成一对摩擦副, 该摩擦副摩擦系数的大小与是否发生打滑和摔倒关系密切, 直接关系到人体在行走过程中的安全性. 据报道^[1]: 在美国, 由于滑跌摔伤造成的事故, 占工伤事故的 17%, 占公共场所事故的 18%, 占家庭事故的 20%. 每年因为滑跌摔伤而发生的伤亡事故大概有 $2.5 \times 10^5 \sim 3.0 \times 10^5$ 起, 其中死亡人数达到 1 200 ~ 1 600. 在英国, 滑跌摔伤事故占工伤事故的 20% (每年约 4 万起). 芬兰的制造业、建筑业和交通行业, 每年因为滑跌摔伤而造成的工伤事故, 分别占总工伤事故的 34%、28% 和 21%^[2]. 因此, 有必要深入研究鞋与地之间的摩擦学行为, 以寻求其内在规律, 进而达到更好地为人类服务的目的.

人体在行走过程中, 鞋与地之间的摩擦学行为不同于摩擦学领域内的生物摩擦学、仿生摩擦学和生态摩擦学^[3-5], 具有自身的特点. 它研究的是人体(脚)与外界环境(地)之间的摩擦学行为, 是不连续的摩擦现象, 每经历 1 个步态周期(同 1 只脚两次触地之间的时间间隔), 发生 2 次摩擦现象, 可以称为步进摩擦学. 步进摩擦的影响因素很多, 本文仅介绍几方面的主要影响因素.

1 鞋底材料、地板材料与路面润滑状况

Chang W R^[6]用销盘式试验机研究了地板的表面粗糙度和路面润滑状况对硫化橡胶(鞋材)瓷砖(地材)摩擦副摩擦系数的影响, 硫化橡胶为销试样, 瓷砖为盘试样. 通过改变销盘界面上的载荷和滑动速度(表 1)来模拟不同阶段人体的步态和步态变

表 1 试验中销/盘界面上的载荷与滑动速度

Table 1 Load and velocity used in the test

Test condition	Load/N	Velocity/(cm · s ⁻¹)
1	1.0	10
2	2.5	10
3	1.0	20
4	2.5	20
5	1.0	30
6	2.5	30

化, 采用 7 种喷砂工艺使瓷砖具有不同的表面粗糙度. 通过正交分析来确定喷砂工艺、路面润滑状况(路面上有甘油与水的混合物, 甘油的质量百分含量分别为 30%、70%、85% 和 99%)、滑动速度和接触载荷对摩擦系数的影响, 结果如图 1 所示. 由图可

收稿日期: 2009 - 02 - 11; 修回日期: 2009 - 06 - 22; 联系人: 张永振, e-mail: jiaok2001@163.com

基金项目: 国家 973 计划资助项目(2007CB607603); 国家自然科学基金项目(50975078); 河南省教育厅科研项目(2008A430006).

作者简介: 张永振(1963 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事材料摩擦学方面的研究.

知:甘油含量和滑动速度越高,摩擦副的摩擦系数越小;甘油含量越高,滑动速度和喷砂工艺对摩擦系数的影响越小.甘油含量相同时,载荷对摩擦系数的影响不明显;滑动速度越高,摩擦系数越小.

Li KW 等^[7]也研究了鞋底、地面材料与路面状况对摩擦系数的影响.所使用的鞋底材料有皮革、耐欧莱特、乙烯-醋酸乙烯酯(EVA)和发泡橡胶(BR)4种(无花纹),地板材料有乙烯基复合材料、花岗岩、水磨石和2种陶瓷材料,路面润滑状况包括干的、水润滑、水-去污剂混合物润滑以及食用油和机油润滑5种.研究结果表明:不同地板材料的摩擦

系数大小为:陶瓷 A > 陶瓷 B > 花岗岩 > 乙烯基复合材料 > 水磨石;不同鞋底材料的摩擦系数大小为:发泡橡胶 > 耐欧莱特 > 皮革 > EVA;不同路面润滑状况的摩擦系数大小为:干路面 > 湿路面 > 水-去污剂路面 > 2种油路面.因此,鞋底材料、地板材料和路面润滑状况都对摩擦系数有显著影响,且3种因素之间的相互作用对摩擦系数也有显著的影响.各因素交互作用的结果为:与干地板条件相比,地砖上覆盖任何一种液体都会使摩擦系数急剧减小;湿路面条件下,发泡橡胶在不同地板上的摩擦系数非常相近,对于其他3种鞋底材料,在不同地砖上的摩

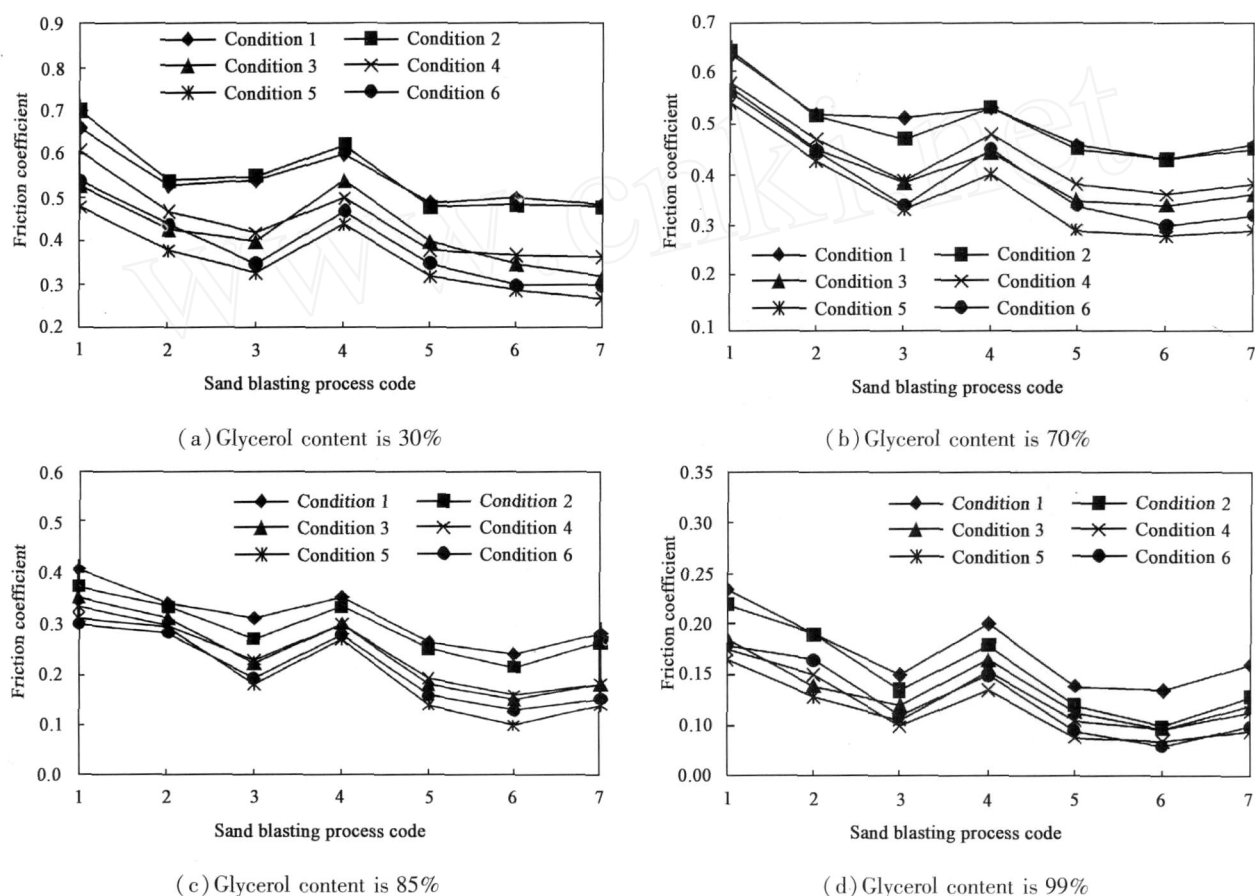


Fig. 1 COF between shoe and floor at different test conditions

图 1 不同试验条件下鞋/地摩擦系数

擦系数差别较大;发泡橡胶在干路面上的摩擦系数远高于其他3种鞋材.

Li KW^[8]等研究了皮革、橡胶和聚氯乙烯(PVC)鞋材在水磨石、陶瓷和大铺地砖3种地材上,在干、湿和覆砂3种路面条件下的摩擦系数.结果表明:试验中所使用的全部鞋地组合在干路面上的摩擦系数几乎都显著高于其在湿路面上的摩擦系数;80%左右的鞋地组合在湿路面上的摩擦系数显著

高于其在覆砂路面上的摩擦系数,说明在硬的光滑路面上,覆盖砂子比覆盖水使摩擦副的摩擦系数减小得更多,更加不利于人体的安全行走.当3种地板材料与同种鞋底材料构成摩擦副时,大铺地砖的摩擦系数最大;当3种鞋材与同种地板材料构成摩擦副时,橡胶的摩擦系数最大.

杜少勋和吴洁^[9]采用热塑性橡胶(TPR)作为运动鞋大底材料,研究了路面润滑状况与运动鞋大底

花纹对步进摩擦系数的影响. 试验所用的路面材料包括木板、水泥和大理石,鞋底花纹形式包括二方连续花纹、四方连续花纹和止滑块花纹. 研究结果表明:同种花纹的鞋底在大理石路面上摩擦系数最大,木板路面上次之,水泥路面上最小;在不同的路面上,各种花纹鞋底的摩擦系数也不相同. 具体表现为:在大理石路面上,有二方连续花纹鞋底的摩擦系数最大,有止滑块花纹鞋底的摩擦系数最小,而有四方连续花纹鞋底居中;在木板路面上,有二方连续花纹鞋底的摩擦系数最大,有止滑块花纹鞋底的摩擦系数最小,而有四方连续花纹鞋底居中;在水泥路面上,有二方连续花纹鞋底的摩擦系数最大,有四方连续花纹鞋底的摩擦系数最小,而有止滑块花纹鞋底居中.

陈钊钰^[10]研究了鞋底材料、地板材料和路面润滑状况对步进摩擦的影响,试验用地板材料有玻璃板、家庭用瓷砖、水泥和大理石,鞋底材料有橡胶、EVA、聚氨酯(PU)和TPR. 研究结果表明:鞋底材料、地板材料、路面污染状况和鞋底花纹的沟槽宽度都显著影响人体步进摩擦系数的大小. 4种鞋材与玻璃路面构成摩擦副时,橡胶鞋材的摩擦系数最大;当橡胶鞋材与4种地材构成摩擦副时,水泥路面的摩擦系数最大;各种鞋材在干路面上的摩擦系数都远大于其在湿路面上的摩擦系数.

文献[11-12]研究了橡胶、EVA、PU和TPR这4种鞋材与玻璃构成摩擦副时的摩擦系数,结果表明:在试验所用的4种鞋底材料中,橡胶/玻璃的摩擦系数最大,而TPR/玻璃的摩擦系数最小.

2 路面坡度

Li KW^[13]等使用耐欧莱特、BR和EVA鞋底材料,使用钢、陶瓷和水磨石地板材料,在干路面和甘

油润滑路面2种条件下,测量了水平面和10°坡道路面的摩擦系数,并通过正交试验和方差分析得出水平面上摩擦系数(COF)与坡道上摩擦系数(μ)之间的关系:

$$COF = (\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3) \cdot$$

$$(\beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6) (\beta_7 x_7 + \beta_8 x_8) \mu$$

其中, $x_1 \sim x_3$ 是鞋材变量, $x_4 \sim x_6$ 是地材变量, x_7, x_8 是路面条件变量, $\beta_1 \sim \beta_8$ 是回归系数. 由于回归系数总是大于1,所以水平路面上的摩擦系数总是大于坡道上的摩擦系数.

文献[14-15]也研究了路面坡度对步进摩擦的影响,结果表明:路面坡度越大,人体行走时的摩擦系数也越大;在上坡和下坡时,安全行走不打滑所需要的摩擦系数都随坡度角的增加而增大.

3 鞋底花纹

3.1 花纹形式

罗向东^[16-17]等采用不同花纹的同质橡胶鞋底作为研究对象,使用水泥、柏油、大理石模拟路面,用GT-7102-BC型计算机系统鞋底止滑试验机研究了鞋底花纹形式(图2)对步进摩擦系数的影响,结果表明:当不同花纹的鞋底与同种路面构成摩擦副时,折线纹的摩擦系数高于横条纹和纵条纹的摩擦系数;密波浪纹的摩擦系数高于疏波浪纹的摩擦系数. 在柏油路面和水泥路面上,方块形花纹的摩擦系数高于小圆点花纹的摩擦系数,而在大理石路面上,小圆点花纹的摩擦系数反而高于方块形花纹的摩擦系数.

3.2 花纹宽度

Li KW和Chen CJ^[18]使用BrungraberMark止滑试验机研究了不同鞋底材料在不同地面条件下,鞋底花纹宽度(图2)对步进摩擦系数的影响,并

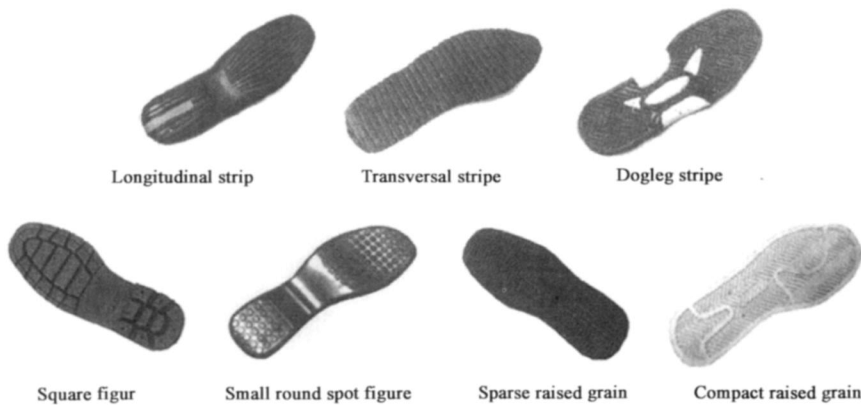


Fig 2 Groove patterns of shoe soles

图 2 鞋底花纹形式

根据试验结果建立了一个描述摩擦系数与花纹宽度之间关系的回归模型. 试验中所使用的鞋材有耐欧莱特、皮革、BR 和 EVA 4 种, 花纹深度均为 0.7 cm, 花纹宽度分别为 0.0, 0.3, 0.6, 0.9 和 1.2 cm. 地板材料有水磨石、钢和乙烯 3 种, 路面润滑状况包括水润滑、水 - 去污剂混合润滑和油润滑 3 种, 其中油润滑又包括刷油和注油 2 种.

通过正交试验和方差分析, 作者建立了在不同鞋底材料、地板材料、路面润滑状况条件下, 摩擦系数与花纹宽度之间关系的线性回归模型:

$$\text{COF} = 0.404x_1 - 0.504x_3 + 3.529x_4 + 1.996x_5 - 0.675x_7 - 0.894x_8 + 0.0287x_9$$

式中, $x_1 \sim x_3$ 是鞋材变量, $x_4 \sim x_6$ 是路面润滑状况变量, x_7, x_8 是地板材料变量, x_9 是鞋底花纹宽度.

由该回归模型可见, 鞋底花纹宽度 (x_9) 越大, 摩擦系数也越大. 同时, 摩擦系数的大小也与路面润滑状况、鞋底材料和地板材料有很大关系. 也就是说, 摩擦副的组成不同, 则摩擦系数也会有很大区别, 这一点与摩擦学的基本原理是一致的.

3.3 花纹方向

Li KW^[19] 等使用水磨石、钢和乙烯地材、耐欧莱特、海绵胶和乙烯 - 醋酸乙烯酯鞋材, 在水润滑、水 - 去污剂混合润滑和油润滑 3 种路面条件下研究了花纹方向 (图 3) 对步进摩擦的影响. 所用鞋底花纹的深度都是 0.6 cm, 花纹方向有 3 种: 0°、45° 和 90°. 结果表明: 花纹方向为 0° 和 45° 时, 摩擦系数较大. 同时, 该摩擦系数的大小也受到鞋底材料、地板材料和路面润滑状况的影响.

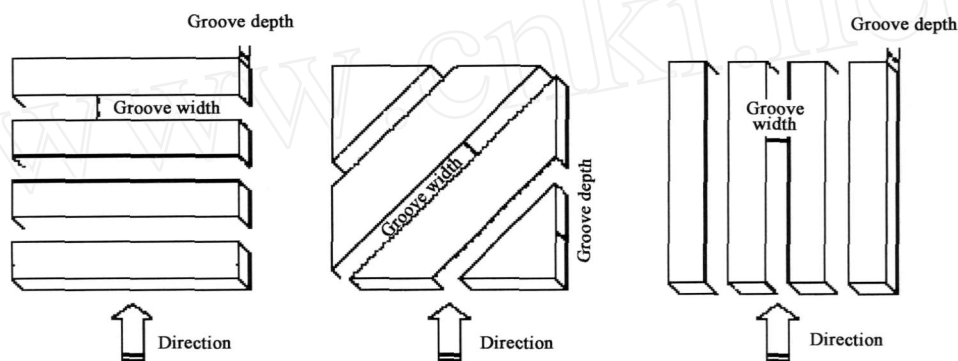


Fig 3 Groove width, depth and orientation of shoe sole

图 3 鞋底花纹的宽度、深度和方向

3.4 花纹深度

文献 [20] 使用水磨石、钢和乙烯地板材料, 使用耐欧莱特鞋底材料研究了花纹深度对步进摩擦系数的影响. 试验所用鞋底的花纹深度分别为 1、2、3、4、5 mm, 花纹宽度分别为 3 和 9 mm, 路面润滑状况有水润滑、水 - 去污剂混合润滑和油润滑 3 种. 试验结果如图 4 所示, 由图可知: 花纹深度越大, 摩擦系数越大; 钢地板、水润滑条件下的摩擦系数最大, 油润滑条件下的摩擦系数最小, 水 - 去污剂润滑条件下的摩擦系数居中, 此结果说明路面上有油比有水更能使人体行走时的摩擦系数减小.

罗向东^[21] 也研究了鞋底花纹深度对步进摩擦的影响, 结果表明: 在光滑的干路面上, 花纹深度为 2.3 mm 时摩擦系数最大; 在光滑的湿态路面上, 花纹深度为 1 mm 时摩擦系数最大; 在粗糙的干、湿态路面上, 花纹深度为 3 mm 时摩擦系数最大.

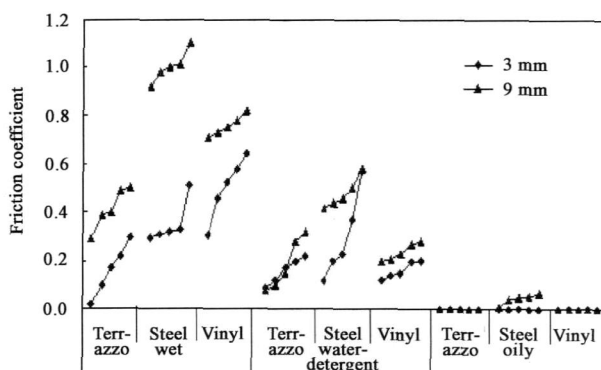


Fig 4 Relationship between COF and groove depth at different conditions

图 4 不同条件下摩擦系数与花纹深度的关系

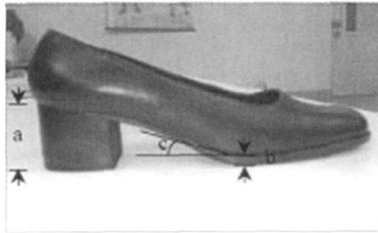
4 鞋跟形式与高度

Li KW^[22] 研究了 4 种常见女鞋 - 独立高跟橡胶

底、坡跟聚氨脂底、平跟 TPU 底劳保鞋和平跟 PVC 底休闲鞋 (图 5) 在不同路面上的摩擦系数, 结果表明: 独立高跟橡胶底鞋的摩擦系数最小, 坡跟聚氨脂底鞋的摩擦系数最大, 2 种平跟鞋的摩擦系数居中。

Manning D P 和 Jones C^[23] 研究了 6 种不同高度

的鞋跟在干、湿抛光地板上的摩擦系数, 结果表明: 在干的未打蜡醋酸乙烯酯表面上, 各鞋跟具有相同的摩擦系数且最高; 在湿的未打蜡醋酸乙烯酯表面上, 鞋跟越高, 摩擦系数越小; 在干、湿打蜡的醋酸乙烯酯表面上, 高跟鞋的摩擦系数区别不大, 且都较



(a) Raised heel shoe with rubber sole



(b) High heel shoe with PU sole



(c) Flat - soled work shoe with TPU sole



(d) Flat - soled casual shoe with PVC sole

Fig. 5 Four kinds of female shoes used in the test

图 5 试验用的 4 种女鞋

小, 而平跟鞋的摩擦系数较大。

5 人体步态参数

步态是指人体在推进中从失去平衡到恢复平衡的向前移动过程. 步速和步长是人体步态的 2 个重要参数. 文献 [24] 研究了在不同材质的地板上, 3 种步速 (1.5 m/s 慢、1.8 m/s 中、2.1 m/s 快) 对步进摩擦的影响, 结果表明: 行走速度对摩擦系数没有明显影响。

文献 [14] 研究了步速和步长对步进摩擦的影响, 结果表明: 在水平路面上, 摩擦系数随步长的增加而增大, 而步速对摩擦系数基本没有影响; 在倾斜路面上行走相较于在水平路面上行走产生更小的摩擦系数。

6 结束语

关于人体行走过程中步进摩擦的研究文献虽然较多, 但仍然存在一些不足之处, 主要表现在以下几个方面:

首先, 目前对步进摩擦所做的研究大多是从提高鞋子性能的角度出发来进行研究的, 基本上没有

看到从摩擦学的角度来研究步进摩擦问题的文献, 这就使得对该问题的研究片面化. 例如, 文献中基本没有关于步进摩擦机理的研究内容, 而且所使用的测量仪器也不统一. 文献 [6] 等使用销盘试验机来模拟人体行走步态, 文献 [18 - 20] 等使用 Brungraber Mark II 止滑仪, 文献 [14, 24] 等使用生物力学测力台, 还有使用其他测量仪器^[23]的. 不同的测量仪器所测得的结果之间存在偏差, 所得到的结论之间的可比性较小. 如果将用于步进摩擦测量的仪器标准化, 就能够很好地解决这个问题。

其次, 在研究文献中, 大多使用 Brungraber Mark 止滑仪或生物力学测力台作为测量仪器. 但这 2 种仪器与人体步进摩擦的实际状况存在差异. 在使用 Brungraber Mark 止滑仪作为测量仪器时, 鞋底试样与地板呈完全接触状态, 仪器测量的是发生打滑的临界状态下的摩擦系数. 人体在实际行走过程中, 脚的各个部位与地面之间接触状态各不相同, 相互作用力的大小和方向也不相同, 因而摩擦副不同部位的摩擦磨损状况也不同. 比如, 脚与地面接触的过程中, 脚跟先触地, 承受较大的作用力, 然后逐渐过渡到脚掌和脚趾部位, 而脚心在行走过程中与地

面不发生接触.因此,单纯地使用平鞋底试样与地面完全接触,并不能真正反应人体行走过程中的实际摩擦情况.在使用生物力学测力台进行测量时,将人脚看做一个整体,测量的是宏观作用力.而人体在行走过程中,脚掌各部位的力分布不均匀,人的体态也有所不同,这就使得步进摩擦呈现出多样性.

最后,步进摩擦是一种普遍存在的现象,不仅存在于人体在静止路面上行走的过程中,而且存在于人体在运动器件,如轮船、军舰的甲板上行走的过程中.目前关于步进摩擦所进行的研究,不论是模拟人体行走,还是实际人体行走,都是在行走路面固定不动的状态下进行摩擦系数测量,这就使得该问题的研究具有一定的局限性.

根据上述的研究中存在的问题,今后应将研究重点放在以下几个方面:模拟人脚与地面的实际接触状态,建立二者之间的接触模型,分析摩擦副不同部位的接触状态和摩擦磨损特性.进行一些反映个体特征的研究,譬如将一些小型的测力传感器置于鞋内,通过测量脚底不同部位的三维力,计算出局部摩擦系数,从而确定人脚不同部位的摩擦学特性.为了较全面地研究人体步进摩擦现象,河南科技大学材料摩擦学重点实验室拟引进一套在路面运动状态下进行鞋/地摩擦系数测量的装置,该装置可输出任意组合的六自由度运动方式,来模拟人体在各种运动器件上的行走,进而测量人体在路面运动条件下的步进摩擦系数,以使步进摩擦的研究更加完善和全面.

参考文献:

- [1] Chioua S S, Bhattacharyaa A, Laia F C, *et al* Effects of environmental and job - task factors on workers' gait characteristics on slippery surfaces [J]. *Occupational Ergonomics*, 2002/ 2003, (3) : 209 - 223.
- [2] Hanson P J, Redfem S M, Mazumdar M. Predicting slips and falls considering required and available friction [J]. *Ergonomics*, 1999, 42 (12) : 1 619 - 1 633.
- [3] 葛世荣,王成焘. 人体生物摩擦学的研究现状与展望 [J]. *摩擦学学报*, 2005, 25 (2) : 186 - 191.
- Ge S R, Wang C T. State - of - the - art and prospect of biotribology in human body [J]. *Tribology*, 2005, 25 (2) : 186 - 191.
- [4] 戴振东,佟金,任露泉. 仿生摩擦学研究及发展 [J]. *科学通报*, 2006, 51 (20) : 2 353 - 2 359.
- Dai Z D, Tong J, Ren L Q. Research and development of bionic tribology [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51 (20) : 2 353 - 2 359.
- [5] 张嗣伟. 关于我国摩擦学发展方向的探讨 [J]. *摩擦学学报*, 2001, 21 (5) : 321 - 323.
- Zhang S W. An Approach to the developing ways of tribology in china [J]. *Tribology*, 2001, 21 (5) : 321 - 323.
- [6] Chang W R. The Effects of surface roughness and contaminants on the dynamic friction between Porcelain tile and vulcanized rubber [J]. *Safety Science*, 2002, 40: 477 - 591.
- [7] Li K W, Chang W R, Leamon T B, *et al* Floor slipperiness measurement: friction coefficient, roughness of floors, and subjective perception under spillage conditions [J]. *Safety Science*, 2004, 42: 547 - 565.
- [8] Li K W, Hsu Y W, Chang W R, *et al* Friction measurements on three commonly used floors on a college campus under dry, wet and sand - covered conditions [J]. *Safety Science*, 2007, 45 (9) : 980 - 992.
- [9] 杜少勋,吴洁. 地面状况与运动鞋大底花纹功能关系的研究 [J]. *陕西科技大学学报*, 2004, 22 (3) : 169 - 174.
- Du S X, Wu J. Study on the function relationship of the ground condition and the outsole patten of sports shoes [J]. *Journal of Shanxi University of Science and Technology*, 2004, 22 (3) : 169 - 174.
- [10] 陈钊钰. 温度、鞋底花纹和路面介质对鞋子止滑性能影响的研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2006: 23 - 65.
- Chen Zhaoyu. Research on the effect of sole tread, contaminations and temperature on footwear slip - resistance [D]. Xi'an: Shanxi University of Science and Technology, 2006: 23 - 65.
- [11] 陈钊钰,杨承杰,丁绍兰. 温度和材料对鞋底防滑性能影响的研究 [J]. *中国皮革*, 2006, 21: 126 - 129.
- Chen Z Y, Yang C J, Ding S L. Effect of temperature and material on the slip - resistance of shoe soles [J]. *China Leather*, 2006; 21: 126 - 129.
- [12] 彭文利,蒙桂利,陈钊钰等. 温度和材料对鞋底止滑性能的影响 [J]. *皮革科学与工程*, 2006, 16 (4) : 68 - 73.
- Peng W L, Meng G L, Chen Z Y, *et al* Effect of temperature and material on the slip - resistance of shoe soles [J]. *Leather Science and Engineering*, 2006, 16 (4) : 68 - 73.
- [13] Li K W, Chang W R, Lin C H, *et al* Relationship between the measured friction coefficients of floors on a horizontal surface and on a 10 ° ramp [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2006, 36: 705 - 711.
- [14] Yamaguchi T, Hokkirigawa K. "Walking - mode maps" based on slip/non - slip criteria [J]. *Industrial Health*, 2008, 46: 23 - 31.
- [15] Hanson J P, Redfem M S, Mazumdar M. Predicting slips and falls considering required and available friction [J]. *Ergonomics*, 1999, 42: 1 619 - 1 633.
- [16] 罗向东,弓太生,杨敏贞. 鞋底花纹与止滑性能间的关系初探 (1) [J]. *中国皮革*, 2004, (8) : 154 - 155.
- Luo X D, Gong T S, Yang M Z. Primer discussion to the relationship between slip - resistance and the groove patten of shoe sole (one) [J]. *China Leather*, 2004, (8) : 154 - 155.
- [17] 罗向东,弓太生,杨敏贞. 鞋底花纹与止滑性能间的关系初

- 探(2)[J]. 中国皮革, 2004(110): 117 - 119.
- Luo X D, Gong T S, Yang M Z. Primer discussion to the relationship between slip - resistance and the groove pattern of shoe sole (two) [J]. China Leather, 2004(10): 117 - 119.
- [18] Li K W, Chen C J. Measurement of floor slipperiness using footwear pads with various tread groove width design [J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2005, 22 (5): 408 - 418.
- [19] Li K W, Chen C J, Lin C H, *et al* Relationship between measured friction coefficients and two tread groove design parameters for footwear pads [J]. Tsinghua Science and Technology, 2006, 11 (6): 712 - 719.
- [20] Li K W, Wu H H, Lin Y C. The effect of shoe sole tread groove depth on the friction coefficient with different tread groove widths, floors and contaminants [J]. Applied Ergonomics, 2006, 37: 743 - 748.
- [21] 罗向东. 鞋底花纹的设计与鞋底止滑性能的研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2004.
- Luo X D. Research on the groove design and slip - resistance property of shoe sole [D]. Xi'an : Shanxi University of Science and Technolgh, 2004.
- [22] Li K W. An ergonomic assessment of four female shoes: friction coefficients of the soles on the floors and electromyographic activities in the shank when walking [J]. Journal of Chinese Institute of Industrial Engineers, 2003, 20(5): 472 - 480.
- [23] Manning D P, Jones C. High heels and polished floors: the ultimate challenge in research on slip - resistance [J]. Safety Science, 1995, 19: 19 - 29.
- [24] Didomenico A, McGorry R W, Chang C C. Association of subjective ratings of slipperiness to heel displacement following contact with the floor [J]. Applied Ergonomics, 2007, 38(5): 533 - 539.

Major Factors Influencing the Step Friction Coefficient of Human

JIA Li - xiao^{1,2,3}, ZHANG Yong - zhen², LI Jian¹, NIU Yong - ping², SUN Le - min²

(1. Wuhan Research Institute of Materials Protect,

China Academy of Machinery Science and Technology, Wuhan 430030, China

2. Key Laboratory of Materials Tribology, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China

3. Department of Mechanical & electrical Engineering, Luoyang Institute of Science & Technology, Luoyang 471023, China)

Abstract: Step friction of human is a phenomenon of interval friction between foot and floor when persons are walking. The coefficient of friction is directly related to human's safety. Major factors influencing coefficient of friction between shoe and floor were formulated. The factors including materials, lubricating status of floor, groove of shoe soles, form and height of heels and gait parameters etc. The problem in the current research was analyzed. Finally, the research focus and aim in the future were presented.

Key words: step friction, shoe sole materials, floor materials, lubricative status of floor, groove of shoe soles, form and high of heels, gait parameter

Author: Zhang Yong - zhen, male, born in 1963, Professor, e - mail: yzzhang@mail haust.edu.cn