

关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days

中华人民共和国广东省广州市广州市第六中学

GUANGZHOU / GUANGDONG PROVINCE / THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA /

GUANGZHOU NO.6 MIDDLE SCHOOL.

关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days

吴梓豪 付宇文

Zihao Wu Yuwen Fu

指导老师 璩斌

Supervisor / Bin Qu

2018/09/14

Version: 4.2

独立版权声明

本人郑重声明本论文为该课题小组成员在导师和教授指导下独立创作的研究成果。尽我所知, 本论文中除文中已经标明引用部分以外, 本论文不包含其他个人或团体已经发表或撰写的研究成果。对给予我们帮助的同志和其所做贡献均在文中做出明确说明并表示了致谢。

该课题组成员均拥有本论文的独立版权和解释权。其他任何人未经本人或其他成员同意, 不得印刷、出版、销售、传播本论文。一经发现, 我们将追究其法律责任。

若本论文有不实之处, 本人将承担一切相关责任。

课题负责人: 吴梓豪、付宇文

指导老师: 璩斌

论文标题：关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

摘要

下雨天后，在积水路面上行走或奔跑，很容易因为鞋头甩水现象的发生弄湿鞋子，而用 240fps 的高速摄像机拍摄人在积水路面行走的整个过程并进行拆帧分析，以此来获得鞋头附着水滴的运动轨迹，同时我们还对人行走时的步态进行分析，将其分为不同的时相并通过参考系变换及受力分析来解释此现象产生的原因，得出附着力是导致该现象产生的重要因素。

作为首个系统地解释鞋头甩水现象的课题，本文致力于给予该现象一个科学合理的解释，探究该现象发生的机理，希望以此可以得到一个切实有效的方法来解决此类现象对人类生活造成的不利影响。我们相信，随着人们共同的努力，人们可以在不久的将来解决因积水造成的鞋头甩水现象。

关键词：鞋头甩水，附着力，运动轨迹

Title: The Study on the mechanism of the forepart of the shoes throwing water when walking after rainy days

Abstract

After a rainy day, the air is moist and cool, and many people like to go out for a walk or run after a rainy day to relax their mood. But the only fly in the ointment was that water often builds up on uneven roads after rain so people often walk or run slowly to avoid water throwing to the forepart of the shoes which will wet out our shoes even our socks. Most of us know that it is uncomfortable to wear wet socks and wet shoes, therefore, people are always careful when walking on water.

In order to have a deeper understanding of the mechanism of the phenomenon of the forepart of the shoes throwing water when walking in rainy days, we used a high-speed camera of 240fps to film the whole process of human walking on the water-logged road and analyze it frame by frame to obtain the movement track of water droplets attached to the shoes. In addition, we analyzed the gait of people walking, divided it into different time phases, and analyzed the causes of this phenomenon through the transformation of reference system and the force situation. Finally, we found that the adhesion is an important factor leading to this phenomenon.

As the first subject to systematically explain the phenomenon, this paper aims to give a scientific and reasonable explanation to the phenomenon and explore the mechanism leading to the phenomenon. We hope that a practical and effective method can be obtained to deal with the adverse effects of such phenomena on human life. We believe that with the joint efforts of people, people will be able to avoid the phenomenon in the near future.

Key words: the Forepart of the Shoes Throwing Water; Adhesive Force; Movement Track.

物理量单位及符号

符号	意义	单位
H_w	水滴浸润高度	cm
L_l	大腿或小腿长度	cm
L_f	脚底板长度	cm
ω_0	站立相中脚跟离开地面的角速度	rad/s
ω_1	站立相中脚尖接近地面的角速度	rad/s
v_p	人行走的平均速度	m/s
v_f	站立相中脚跟离开地面的线速度	m/s
v_k	膝盖沿小腿方向的速度	m/s
v_d	摆动相中脚底板的速度	m/s
v_u	站立相中脚尖接近地面的线速度	m/s
v_x	鞋的速度	m/s
v_r	俯视图中左边水滴的速度	m/s
v_l	俯视图中右边水滴的速度	m/s
v_{r1}	鞋绕 r_1 的转动线速度	m/s
v_{r2}	鞋绕 r_2 的转动线速度	m/s
v_{r3}	鞋绕 r_3 的转动线速度	m/s
V	水的速度	m/s
G	水滴所受重力	$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$
V_w	水滴的体积	ml

关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究
The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days

F_f	水滴与鞋底之间的附着力	N
F_g	水滴所受离心力	N
F_c	水滴所受科里奥利力	N
r_1	鞋底弧面所在圆的半径	cm
r_2	鞋底直的部分的长度	cm
r_3	$r_1 - r_2$	cm
θ	水滴所受附着力和科里奥利力的夹角	rad
B	水滴速度方向和竖直方向的夹角	rad

目录

1 前言8

1.1 研究背景 8

1.2 国内外研究现状 8

1.3 研究意义 9

1.4 实验思路 9

1.4.1 简单理论模型的构建 9

1.4.2 步态分析 10

2 模型和理论分析 10

2.1 鞋头甩水基本模型 10

2.2 原因猜想与相应的基本模型构建 13

2.2.1 附着力的处理 13

3 实验验证 19

3.1 预设条件 19

3.1.1 主观近似条件 19

3.1.2 客观条件 19

3.2 测量水在鞋底面的最大附着力 19

3.2.1 雨水与红墨水的附着性质对比实验 19

3.2.2 测量鞋头上水滴所受附着力与接触面积的关系 20

3.3 获取水滴在鞋上的运动轨迹 20

3.4 脱离鞋面后的水滴回到鞋面的过程分析 21

4 结论与展望 22

5 参考文献 23

6 致谢 24

7 参赛情况 25

实验情况 26

1 前言

1.1 研究背景

说走就走,是人生最华美的奢侈,也是最灿烂的自由。随着人类智慧的开启,原始人类用双腿迈出了他们的第一步,鞋子也就应运而生了。

最初,原始人类把动物兽皮裹在脚上。再把毛皮割成皮条,将毛皮在足部捆扎,这样先人们创造了人类最原始的裹足皮鞋。随着人类智力和科技的不断进步,鞋子也在不断地改进中。到了今天,人们大都喜爱穿着休闲布鞋或运动跑鞋一类较为舒适的鞋子。而对于这一类鞋子,为了追求其透气程度,鞋头往往被设计为多孔的结构,可被水渗透,此时鞋头甩水现象造成的影响就很明显了。因此,人们在下雨天后行走在有积水的路面上时很容易发生鞋头甩水现象,导致鞋子浸湿,而浸湿的鞋袜穿起来会使人不适,这种情况是普遍存在的,人人都无法避免。

然而,在下雨天后活动的人数不仅不会减少,反而会增加,不少人会出来散散步或者是处理因下雨而耽误的事情。如此一来,鞋头甩水现象造成的影响范围将会扩大,影响的效果也会增强。因此,我们必须合理恰当地解决这个问题,而对下雨天后鞋头甩水现象的机理探究就是我们的必经之路。

但是,根据我们得到的资料来看,目前没有任何研究人员或组织对这一现象进行过专门的研究,大部分都是一些关于步态分析或者是关于水性质的研究。因此大部分的人都只是依靠自己的经验及知识来理解鞋头甩水现象,并不能得知其全面具体的机理,所以我们的研究就具有重大的意义了。

目前我们主要是用 240fps 的高速摄像机拍摄人在积水路面行走的整个过程并进行拆帧分析,以此来获得鞋头附着水滴的运动轨迹,同时我们还对人行走时的步态进行分析,将其分为不同的时相并通过参考系变换及受力情况来分析此现象产生的机理。

本文致力于给予该现象一个科学合理的解释,并探究清楚导致该现象发生的机理,希望可以让人们对下雨天后鞋头甩水现象有更加深入的了解,并给予其他研究人员一些启发,同时也是为将来解决下雨天后鞋头甩水问题打下一定的基础。我们相信,随着科技的进步和人们的共同努力,人们一定可以找到一个切实有效的方法来解决此类现象对人类生活造成的不利影响。

1.2 国内外研究现状

我们在各大网站、杂志和图书馆上查询到的资料中,物理和化学范围内的对水滴的表面性质的探究已经非常成熟,在农业和工程方面,水的表面张力可以用于提高器械的工作效率,生活中的大部分日常用品都需要水来构成,可以说,水的运用已经渗透到我们生活中的各个角落;在世界范围内对人的步态分析也已经非常成熟,在运动康复医学领域,步态分析可以作为病情诊断和康复评定的有效手段;在人体姿态控制方面,比如义肢的设计与开发,可作为协助设计、测试义肢或者辅具(外骨骼矫形器)适应性好巧的辅助手段^{[1][3]};步态分析技术还可被用于开发沉浸式虚拟现实应用^[4];在个人导航方面,通过对行人下肢运动轨迹信息的连续测算可实现自容式,不依赖外部信号的行人定位,作为在室内等密闭环境(无法使用GPS信号)下的重要补充定位手段^{[5][7]};在身份识别与安全领域,步态信息也可作为对人们身份的鉴别,正如每个人都有独一无二的指纹和虹膜,同样地,每个人也都有独一无二的

步行习惯。当然不同人之间的步态特征差异可能很大,也可能很细微,但是我们的经验能够使我们在较远的距离之外根据人的行走特征辨别出熟悉的人^{[8][10]}。但关于对雨后鞋头甩水现象的系统研究却几乎没有,对此现象人们可能只能凭经验说个大概,无法做出科学的解释,所以我们的这项研究可能是全国乃至世界上第一次专门对下雨天鞋头甩水现象的机理进行探究。

1.3 研究意义

鞋子的发展历史可是说是伴随着整个人类的发展史。然而在这过程中,虽然人类在不断的改进鞋子,但鞋子的弊端也是不断地更迭,其中雨后的甩水现象从鞋子的出现开始就一直困扰着人类(除了部分的好湿癖患者)。然而这也是人类一直以来无法彻底解决的问题。

每到雨天,人们更愿意待在室内,以其他的运动方式来代替户外运动。原因既是雨天的活动范围有限,为了身体健康着想而待在室内;还有一个重要的原因是雨天后在户外活动,极易引起鞋头甩水现象,而一定程度的甩水还会浸湿鞋袜。近视的鞋子对大部分人来说是难以接受的。而这就是人们如此抗拒雨天出门的原因。

但对此现象的发生,人们采用最多的应对方法是规避,所以至今,大部分人对于此现象发生的原因都还只停留在生活经验,无法给出做一个最合理最科学的解释。为了让更多的人了解此现象发生的原因,并希望通过对此现象的探究,让鞋子的设计从中获取灵感和借鉴,设计出可以防止甩水的鞋子,让世界上的更多人免受鞋头甩水带来的不适。本文将对该现象发生的原因作出探究。

1.4 实验思路

1.4.1 简单理论模型的构建

①通过单水滴实验来近似测量水滴在鞋底面的最大附着力

为了对下雨天后人们在积水路面行走时发生的鞋头甩水现象有进一步的认识,我们用高速摄像机对鞋子从积水路面抬起过程中鞋底面水的分布情况进行拍摄,通过肉眼观察以及对拍摄视频进行拆帧分析,我们发现水在鞋子抬起过程中会由本来附着在鞋表面的一层水膜聚集成一滴滴分散的水滴,并滴落下。

根据此现象,我们对单滴附着在鞋底面的水滴进行受力分析,为了得出鞋底面对水滴的最大附着力,我们使用 1ml 的注射器吸满经稀释后的红墨水,再将红墨水缓慢地注射到鞋子的底面的某一位点,使其在鞋子底面聚集成水滴,随着更多墨水的注入,水滴逐渐变大,一直注入至水滴滴落,在此情况下,注入的墨水的重力就近似等同于鞋底面对水的最大附着力,此实验在 2.2.1 中进行详细说明。

②通过高速摄像机截取甩水的过程,通过拆帧获取水滴的运动轨迹

为了分析鞋头甩水的原因,我们需要获取鞋头甩水中水滴运动的全过程,因此我们使用了 240fps 的高速摄像机进行我们的实验对象在深度雨后积水上行走的过程进行拍摄,并通过 Adobe photoshop Cs6 进行拆帧处理,对获取的图像集中的能获取清楚的水滴进行跟踪描点,获取它们的运动轨迹,并通过该运动轨迹来分析造成该现象的原因。

1.4.2 步态分析

步行是人类日常的不可或缺的活动之一, 包含了大量的运动学信息, 这种看似简单却蕴含复杂运动学、动力学和生物力学的运动过程, 要求肌肉系统, 骨骼系统以及神经系统的高度协调。人的步态是一个具有规律性和周期性的运动过程, 通过分析一个步态过程中的各种步态参数就可以在很短的一个步态周期中获取到非常对的信息。在步态检测仪问世前, 人们大多通过目测来获取步态过程中的信息, 这需要观测者具有大量的经验, 才能在观测后给出一个相对可靠的信息。而在步态检测仪问世之后, 人类可以通过该途径获得更直观、更精确、更全面的数据, 步态分析技术的崛起, 在医学领域和运动学领域上都大有成就。而当步态分析在各种高新领域上的运用时, 并没有多少人能把步态分析运用于更生活化的事情上。^[11]而本文将通过视频拍摄并对其进行拆帧处理来获取必要的与鞋头甩水现象相关的数据。

2 模型和理论分析

2.1 鞋头甩水基本模型

下雨天后行进过程中的鞋头甩水现象是常见的, 下雨天后在路面有积水的情况下行走, 鞋底面与水接触, 我们用 Microsoft Visio document 构建简单模型如图 2-1

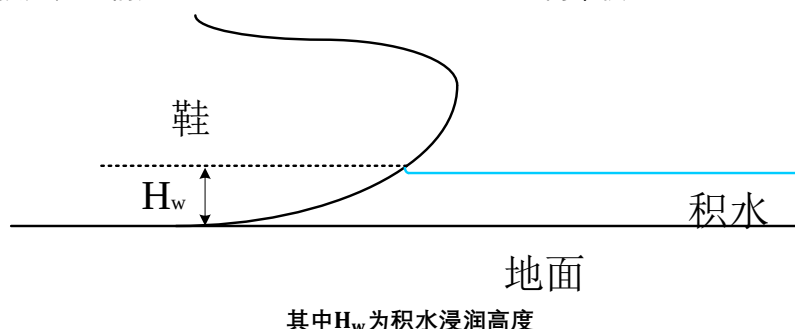


图 2-1

积水在行走过程中会甩到鞋面上浸湿鞋面如图

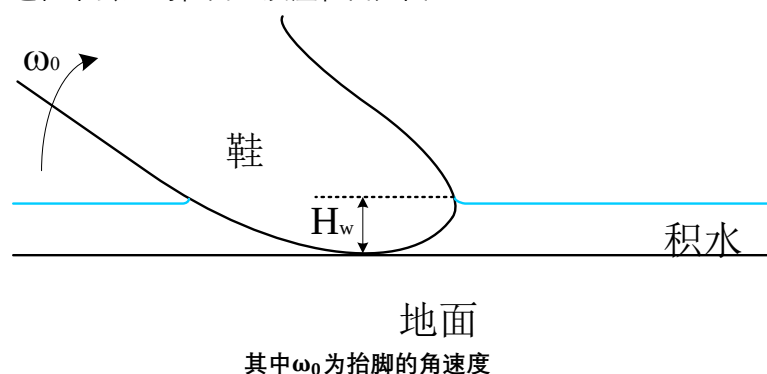
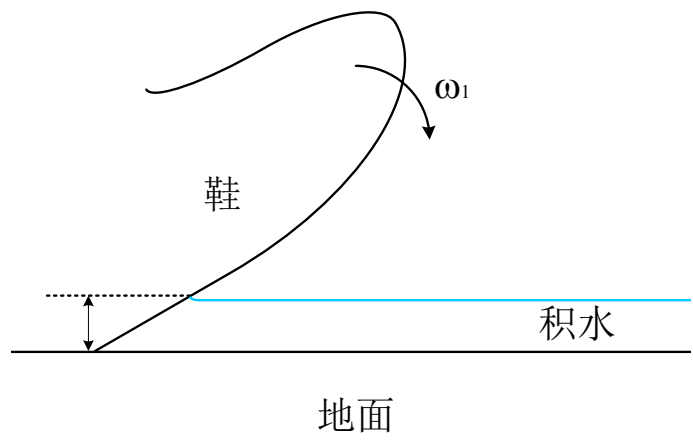


图 2-2 (a) 脚跟离地相示意图



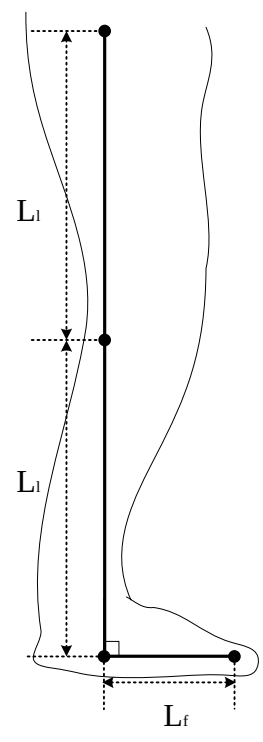
其中 ω_1 为脚尖落脚的角速度

图 2-2 (b) 脚尖落地相示意图

在正常的步行运动中四个时相是按照固定的顺序而变化，本文中定义的序列为：

完全站立相 $\Rightarrow$ 脚跟离地相 $\Rightarrow$ 摆动相 $\Rightarrow$ 脚跟击地相^[12]

健康成年人在步行时会按照这个顺序进行周期性循环每一个时相所占比例也符合统计规律^{[13][14]}。一般来说，四个步态时相在时间长度上的比例摆动相约占 40%，支撑相（包括脚跟击地，完全站立和脚跟离地）占比 60%。在本文中，本文将完全站立相和脚跟离地相合并，将摆动相分为膝盖向前相和小腿摆动相基于视频拍摄，我们对人的脚近似模拟为三段可绕端点做圆周转动的线段如图 2-3



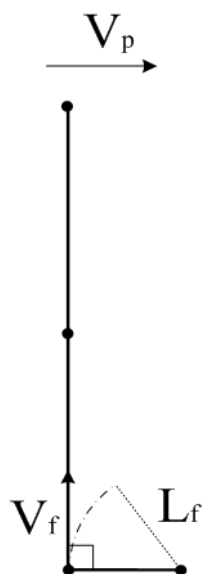
其中 L_f 为脚板 (foot) 长,假设大腿长和小腿长相等，都为 L_1

图 2-3 人脚简化示意图

关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days

我们对人的行走过程用高速摄像机进行拍摄, 并用 Photoshop Cs6 进行拆帧处理, 将人的一只脚的进行步态分析如图 2-4, 并与已知结论进行对比:



其中 v_p 为人的行走速度 v_f 为脚跟离地线速度 v_k 为膝盖速度

图 2-4 (a)

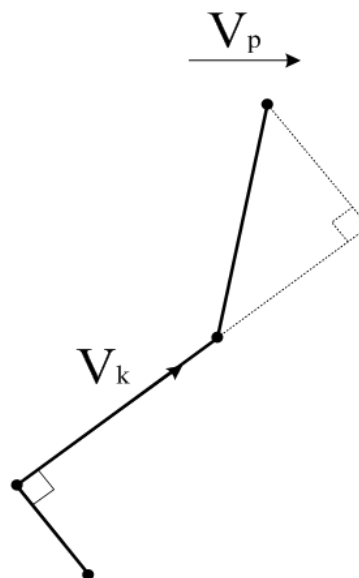
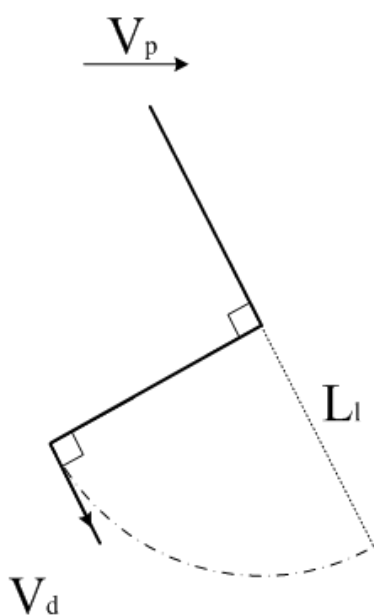


图 2-4 (b)



其中 v_d 为脚掌摆动线速度, v_l 为大腿根摆动线速度, v_u 为脚尖落地线速度

图 2-4 (c)

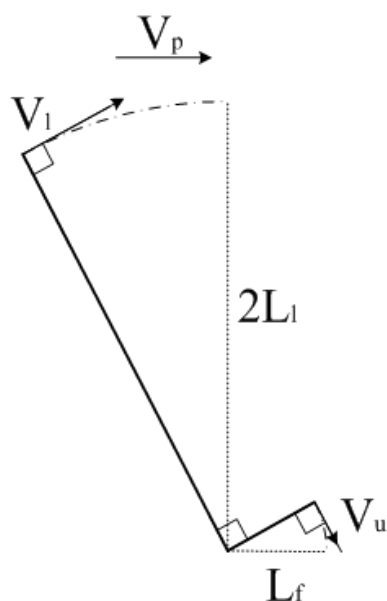


图 2-4 (d)

图 2-4 人行走时四个步态时相的模拟图

且我们在 PhotoshopCs6 中对步态进行拆帧分析还可以得到以上四个阶段所用的时间及其比例如图 2-5:

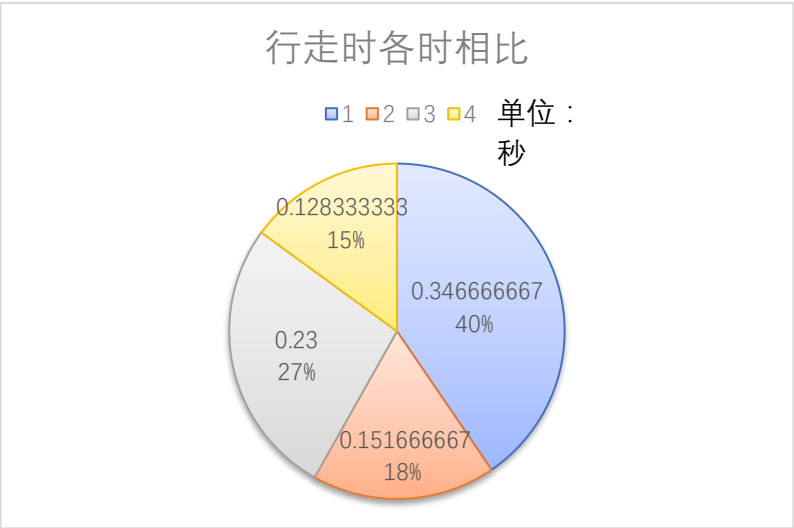


图 2-5 行走时各时相比

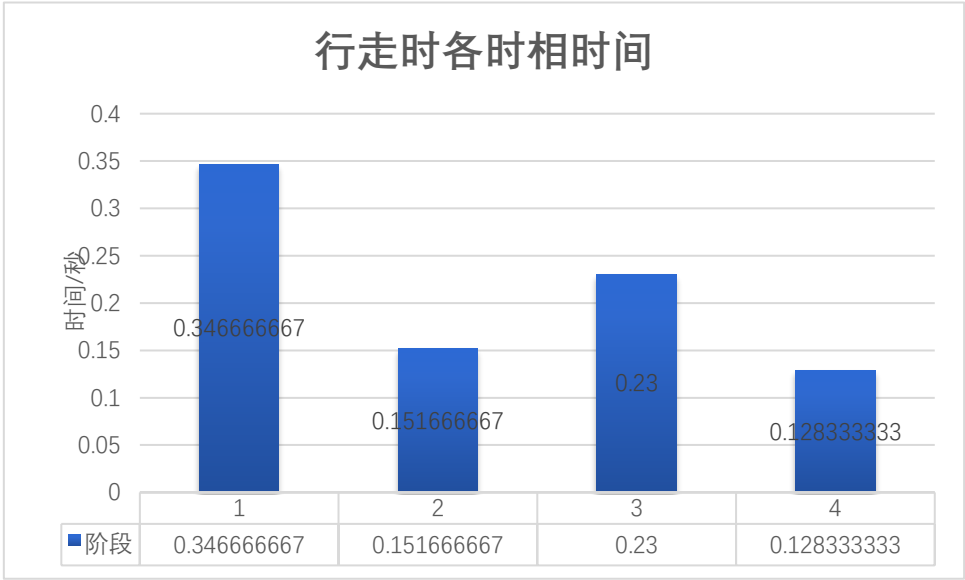


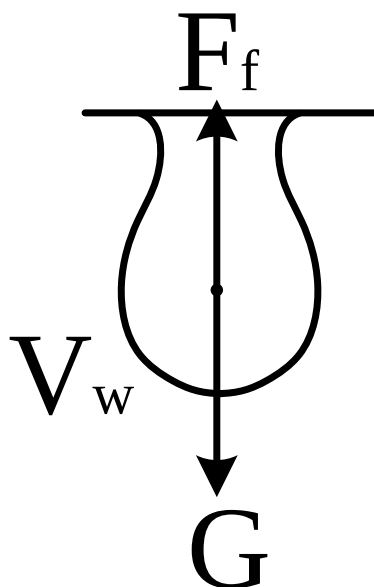
图 2-5 行走时各时相时间

所得结果符合前文所述的人的步态的基本规律。

2.2 原因猜想与相应的基本模型构建

2.2.1 附着力的处理

在本实验中，我们在图 2-6 的情况下使得重力等于最大附着力。



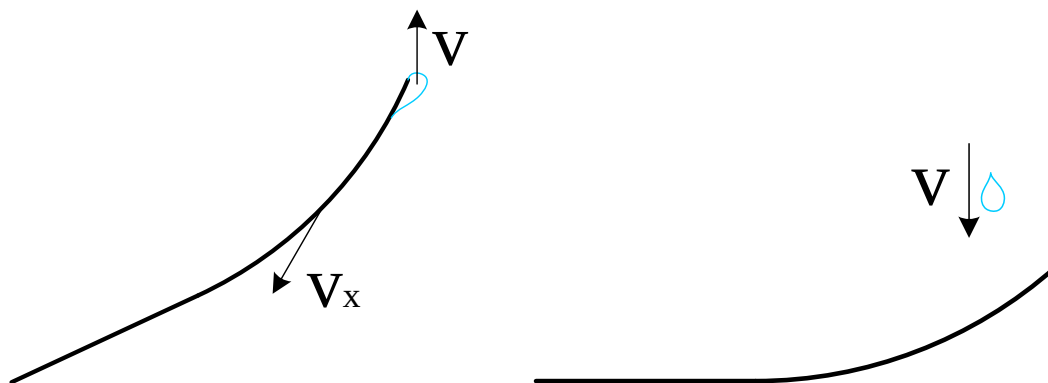
其中 F_f 为水滴与鞋底之间的附着力, V_w 为水滴的体积, G 为水滴所受重力

图 2-6 单水滴静止在水平鞋底示意图

那么我们可以得到

$$F_f = G \quad (2.1)$$

在行走过程中的摆动相末期（脚跟击地前），人脚的速度方向突变导致运动中的水滴
 (1) 脱离附着力的约束往上或往外甩，并有一部分会因为人脚对脚跟的圆周运动而水滴大部分在空中做竖直上抛运动而落回鞋面，如图 2-7；



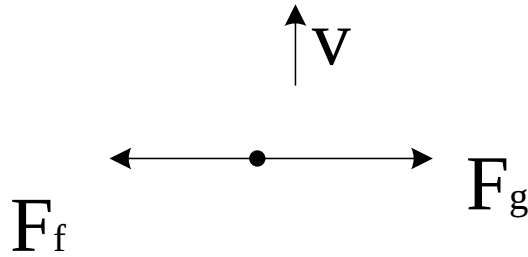
其中 v 为水滴的速度, v_x 为鞋的速度

图 2-7 (a)

图 2-7 (b)

图 2-7 甩水现象的猜想模拟示意图 (1)

水滴顺着鞋底面的轨迹运动，当脚的运动方向突变时，水会脱离鞋面而以与鞋头相切的速度脱离鞋面，在水滴脱离鞋底的瞬间，以鞋为参考系，对水滴进行受力分析我们可以得到：



其中 F_g 为水滴所受惯性离心力

图 2-8 水滴脱离鞋底瞬间受力示意图

且满足关系

$$F_g = F_f + \rho_w V_w a_2 \quad (2.2)$$

其中离心力 F_g 与水滴的速度 v 满足

$$F_g = \frac{mv^2}{r_1} \quad (2.3)$$

而水滴的速度又与行走时的各步态参数有关系, 若

$$\rho_w V_w a_2 = 0 \quad (2.4)$$

水滴以与鞋头相切的速度脱离, 若

$$\rho_w V_w a_2 > 0 \quad (2.5)$$

则水滴向鞋头外脱离。

(2) 因为附着力的约束而使部分的水滴沿着鞋底面一直运动到鞋面。

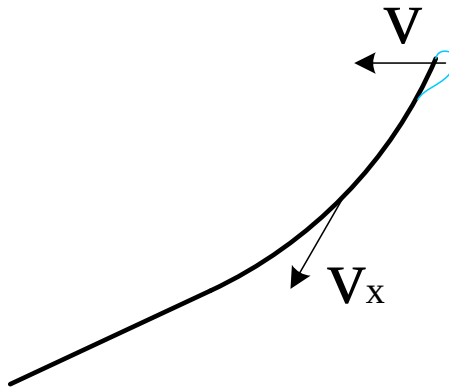
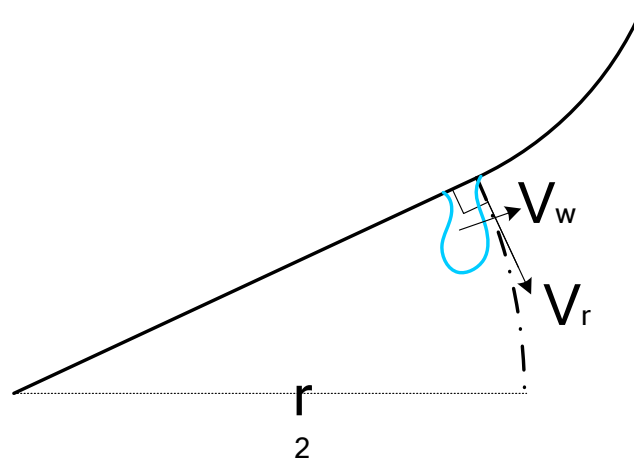


图 2-9 甩水现象的猜想模拟示意图 (2)

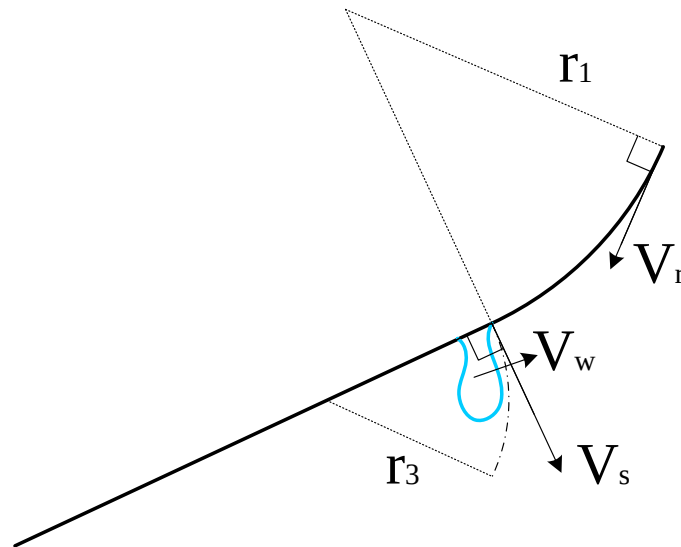
我们让鞋底面前端近似为一段圆弧, 由步态分析我们可以知道最后的阶段中脚尖相对于脚跟做圆周运动那么我们可以得到:



其中 r_2 为鞋底直的部分的长度, v_{r_2} 为鞋绕 r_2 的转动线速度

图 2-10 脚尖落地相中水滴和水的相对运动趋势示意图

在此运动过程中, 我们可以把该运动分解成鞋头弧面相对于它的圆心做圆周运动和鞋头弧面做轨迹与外切与内切的圆周运动, 即:



其中 r_1 为鞋头弧面所在的圆的半径, v_{r_1} 为鞋头弧面绕它的圆心做圆周运动的线速度, v_s 为鞋绕 r_3 做圆周运动的线速度

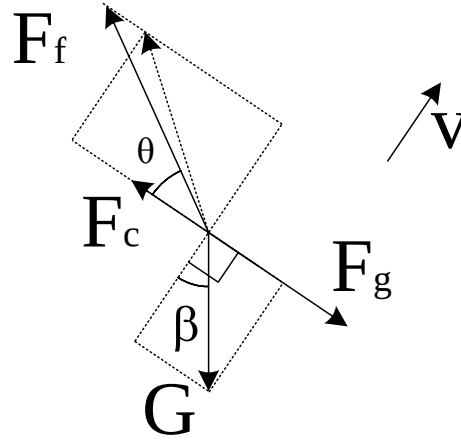
图 2-11 脚尖落地相中对鞋子运动轨迹的分解示意图

其中 r_3 满足

$$r_3 = r_2 - r_1 \quad (2.6)$$

当自由水运动到最大高度时, 一部分水因为惯性离心力而被甩出鞋面, 而剩下的水则顺着鞋底运动到鞋面上即引起鞋头甩水现象。

水滴在相对于弧面作有心的圆周运动, 当水滴在鞋底的弧面上运动时, 我们可以得到:



其中 θ 为附着力与科里奥利力的夹角, β 为重力和速度方向的夹角, F_c 为科里奥利力, T 为支持力, a 为水的加速度

图 2-12 水滴相对于鞋底弧面作有心的圆周运动的受力分析

其中我们已知附着力大小, 加速度大小, 忽略摩擦力 f , 我们可以通过上图得到

$$\begin{cases} F_f \cdot \sin \theta = G \cdot \cos \beta + \rho_w V_w a_1 \\ F_f \cdot \cos \theta + F_c = F_g \end{cases} \quad (2.7)$$

且 F_c 和 F_g 满足关系

$$\begin{cases} F_c = -2\rho_w V_w \omega v \\ F_g = -\frac{\rho_w V_w v^2}{r_1} \end{cases} \quad (2.8)$$

则我们可以知道此时附着力的角度 θ 满足

$$\theta = \arccos \frac{F_g - F_c}{F_f} \quad (2.9)$$

当水滴运动到鞋底面顶端而浸湿鞋面时, 在附着力的作用下加速度方向突变, 此时我们可以得到

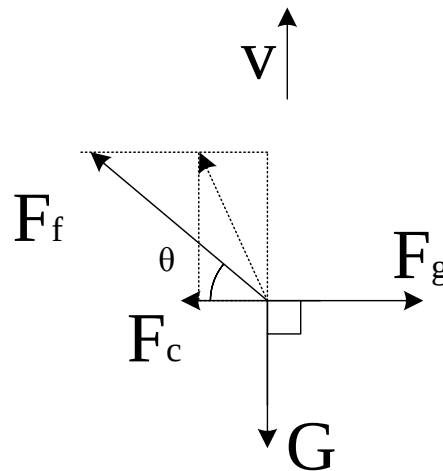


图 2-13 水滴运动到鞋底面顶端时水滴的受力分析

同样地, 我们可以得到关系:

关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days

$$\begin{cases} F_f \cdot \sin\theta = G \\ F_f \cdot \cos\theta + F_c = F_g + \rho_{\text{水}} V_w a_1 \end{cases} \quad (2.10)$$

则我们可以知道此时附着力的角度 θ 满足

$$\theta = \arcsin \frac{G}{F_f} \quad (2.11)$$

则我们可以知道只受附着力影响的水滴的运动轨迹和剔除掉附着力后的运动轨迹.

3 实验验证

3.1 预设条件

3.1.1 主观近似条件

- (1) 忽略水与地面的摩擦;
- (2) 近似认为水中没有杂质;
- (3) 整个过场中人的行进速度为匀速;

3.1.2 客观条件

人的行走尽管因人而异, 但都具有一定的规律性。我们知道, 人的步态会符合以下动力学和生理学特征^[15]:

- (1) 合理的步长、步宽、步频;
- (2) 最省力的姿态;
- (3) 稳定地控制肢体前向运动的速度和平稳性, 有足够的肌力转化为机械能;
- (4) 在摆动相下肢具有充足的驱动力、合适的摆动相比比例, 同时具备的下肢地面廓清和下一次脚跟击地姿态调整能力。

3.2 测量水在鞋底面的最大附着力

3.2.1 雨水与红墨水的附着性质对比实验

我们用同样的两支医用 1ml 针管在纸面上分别缓慢地注射二十滴英雄牌 Q31/0114000281C015 红墨水和雨水。反复进行该实验五次。获得表一的数据:

表一: 雨水与红墨水的附着性质对比

红墨水体积/ml	清水体积/ml
0.141	0.138
0.141	0.138
0.139	0.14

由此我们可以近似认为水与红墨水的附着性质相同。

3.2.2 测量鞋头上水滴所受附着力与接触面积的关系

我们用医用 $0.5\text{mm} \times 20\text{mm}$ TWLB 的针管, 在鞋底面缓慢地注射英雄牌红墨水直至形成水滴, 并在水滴恰好滴落时记录此时所用的液体的体积和与鞋面的接触面积, 反复进行该实验 10 次, 获得图 3-1 数据:

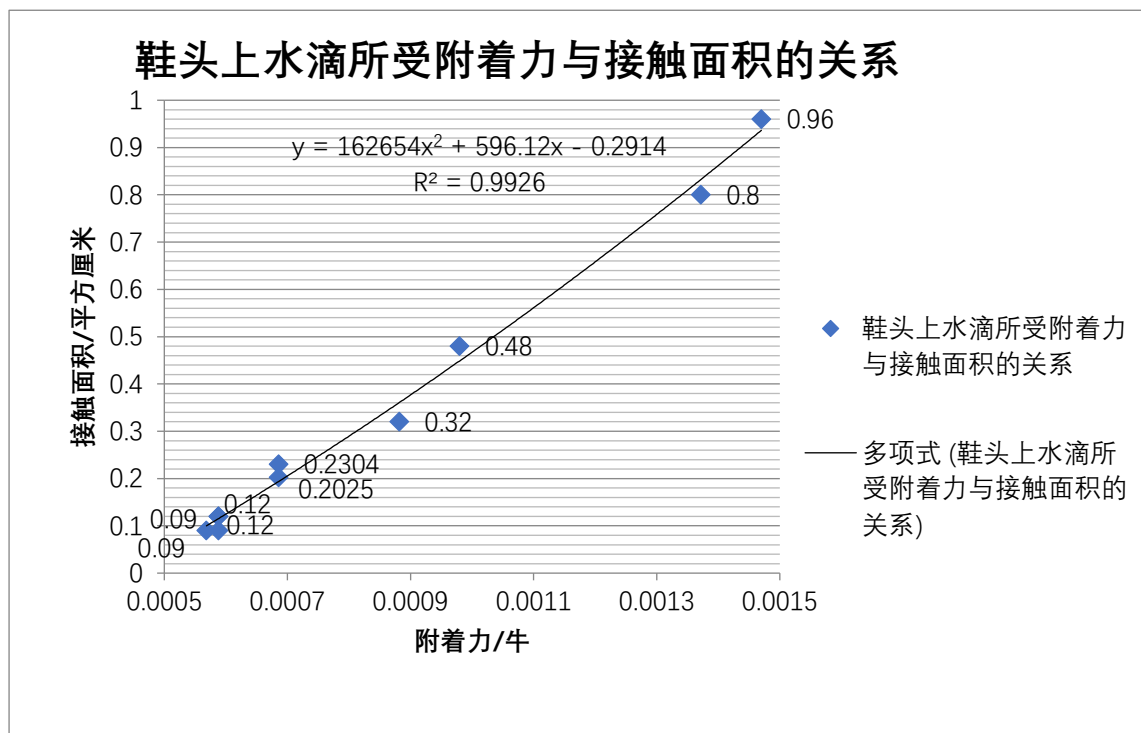


图 3-1 : 鞋头上水滴所受附着力与接触面积的关系

且在实验中当我们不移动针筒时, 水滴大小恒为 0.06ml 我们可以得到

$$F_f = \rho_{\text{水}} g V_w \quad (3.1)$$

其中 $\rho_{\text{水}}$ 为水的密度, V_w 为水的速度, g 为重力加速度, 取 9.8m/s^2

即水滴在鞋上的最大附着力大小为 0.0006 N

3.3 获取水滴在鞋上的运动轨迹

我们在平直的有 1ml 深度积水的瓷砖路面上以一定的速度行走 10 步, 用高速摄像机进行拍摄, 并用 Photoshop Cs6 对此视频进行拆帧分析, 对鞋面上的能拍摄清楚完整运动过程的水滴进行轨迹刻画, 获得一步中的以下轨迹路线:

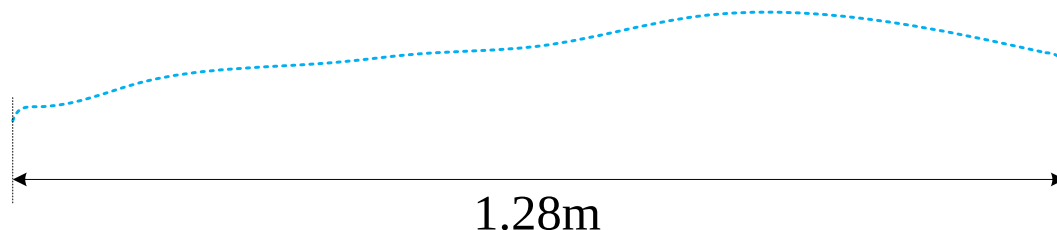


图 3-2 水滴运动轨迹示意图

由图我们可以知道水滴高度发生了变化, 即发生了鞋头甩水现象。为了知道两种甩水的方式的比例, 我们用正常的步态进行行走, 并在人的正前方和侧面进行拍摄的方法, 对获取的视频进行拆帧处理, 我们发现甩水方式的比例与人的行走速度的关系如表二:

表二: 甩水方式的比例与人的行走速度的关系

受鞋约束的水: 脱离鞋的水	人的行走速度 km/h
1:6	3.63
1:6	4.02
1:5	3.24

即我们可以知道大部分的水都是通过水滴脱离鞋面后又回到鞋面造成的。该过程的分析可以用 2.2 中的分析模拟。

3.4 脱离鞋面后的水滴回到鞋面的过程分析

通过视频拆帧我们可以发现, 由于鞋头呈尖状, 所以在水滴脱离鞋面的瞬间, 鞋头两侧水滴的速度方向是相交的

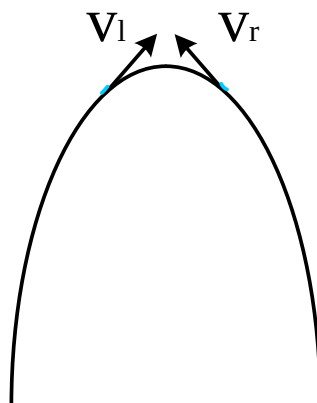


图 3-3 水滴脱离鞋面的瞬间的运动趋势俯视图

所以水滴在鞋的上方发生碰撞, 并溅射到鞋面上, 造成了鞋头甩水现象的发生。

4 结论与展望

在前文的论述中我们知道, 当人在雨后行走时, 鞋底的水滴先受鞋底的约束, 相对于鞋作圆周运动, 后脱离鞋的约束, 沿着鞋头的角度相对地面作类似的斜抛运动, 因为鞋头的形状呈椭圆形, 两侧线条向内收拢, 导致鞋头两侧已甩出的水滴碰撞在一起, 最后溅湿鞋头。这就是鞋头甩水现象发生的过程。

根据我们对鞋头甩水现象的掌握情况来看, 我们的课题是第一个系统地对下雨天后鞋头甩水现象机理进行探究的课题, 此前大多数人对于此现象的发生都只有较为浅显的理解。本文通过合理的假设结合已有理论知识对此现象进行了深入的探究, 并设计了合理有效的实验加以佐证, 旨在给出关于下雨天后鞋头甩水现象发生原因的科学合理的解释, 让人们能对此现象有更进一步的认知, 从而能够对预防该现象的发生采取更科学的办法。此外, 本文所得出的结论对其他从事相关研究的人员有一定的参考价值。

甚至基于该机理, 人们可以对鞋子进行科学合理的改造, 将下雨天后鞋头甩水现象的发生对人们生活造成的不利影响降到最低。

5 参考文献

- [1] VENEMANJ, KRUIDHOF R, HEKMAN E E G, et al. Design and Evaluation of the LOPES Exoskeleton Robot for Interactive Gait Rehabilitation[J]. IEEE Transactions on Neural Syatem and Rehabilitation Engineering, 2007, 15(3) : 379-386
- [2] 胡雪艳, 恽晓平, 郭忠武. 正常成人步态特征研究[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 12(10): 855-858
- [3] JUNG J Y, HEO W, YANG H, et al. A Neural Network-Based Gait Phase Classification Method Using Sensors Equipped on Lower Limb Exoskeleton Robots[J]. Sensors, 2015, 15(11): 27738-27759
- [4] SAMARAWEEERA G, GUO R, QUARLES J. Latency and avatars in Virtual Environments and the effects on gait for persons with mobility impairments[C]// Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interface. 2013: 23-30
- [5] WANG Z L, XHSO H Y, QIU S, et al. Stance phase detection for ZUPT-aided foot-mounted pedestrain navigation system[j]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2015, 20(6): 3170—3181.
- [6] ZHAO H, WANG Z, GAO Q, et al. Smooth estimation of human foot motion for zero-velocity-update-aided interial pedestrian navigation system[j]. Sensor review, 2015, 35(4): 389-400.
- [7] MENG X, ZHANG Z Q, WU J K, et al. Self-contained pedestrain tracking during nomal walking using an inertial/magnetic sensor module[j]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2014, 61(3): 892-899.
- [8] ABDOLMALEKI A, LAU N, REIS L P, et al. Contextual policy search for generalizing a parameterized biped walking controller[C]// Proceedings of IEEE International conference on Autonomous Robot Systems and competition. 2015: 17-22.
- [9] ZHANG Z, TROJE N F. View-independent person identification from human gait[J]. Neurocomputing, 2005, 69(1-3): 250-256.
- [10] SPEAGER S, ZAZULA D. A cumulant-based method for gait identification using accelerometer data with principal component analysis and support vector machine[J]. WSEAS Transactions on signal Processing, 2009, 5(11): 369-378.
- [11] 仇森. 人体步态分析的多传感器数据融合研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016: 1
- [12] NGUYEN L V, LA H M, DUONG T H. Dynamic human gait phase detection algorithm[C]// Proceedings of The ISSAT International Conference on Modeling of Complex Systems and Environments(MCSE). 2015: 2-7
- [13] YUN X, CALUSDIAN J, BACHMANN E R, et al. Estimation of human foot motion during normal walking using inertial and magnetic sensor measurement[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2012, 61(7): 2059-2072
- [14] PAPPASI P I, POPOVIC M R, KELLER T, et al. A reliable gait phase detection system[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2001, 9(2): 113-125
- [15] SHIOZAWA N, ARIMA S, MAKIKAWA M. Virtual walkway system and prediction of gait mode transition for the control of the gait simulator. [C]// International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2004: (2) 669-702

6 致谢

通过这一阶段的努力, 我的论文《关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究》终于完稿了。本论文是在导师璩斌老师的悉心指导下完成的, 导师渊博的专业知识, 严谨的治学态度, 精益求精的工作作风, 诲人不倦的高尚师德, 严以律己、宽以待人的崇高风范, 朴实无华、平易近人的人格魅力对我影响深远。不仅使我们树立了远大的学术目标、掌握了基本的研究方法, 还使我们明白了许多待人接物与为人处事的道理。本论文从选题到完成, 每一步都倾注了导师大量的心血。在此, 谨向导师表示崇高的敬意和衷心的感谢!

本论文的顺利完成, 离不开各位老师、同学和朋友的关心和帮助。但是我们也要感谢家长们在背后的默默支持, 他们不仅仅在经济与精神上提供帮助, 在研究方法上也给予了我们丰富的经验, 使我们的探究过程少走了许多弯路。

最后, 谢谢评阅老师们的辛苦工作, 并再次衷心地感谢我的家人, 朋友, 同学, 是他们的支持和鼓励让我能够顺利地地完成此论文。

路还长, 唯勤勉前行。

7 参赛情况

参赛队员：吴梓豪;付宇文

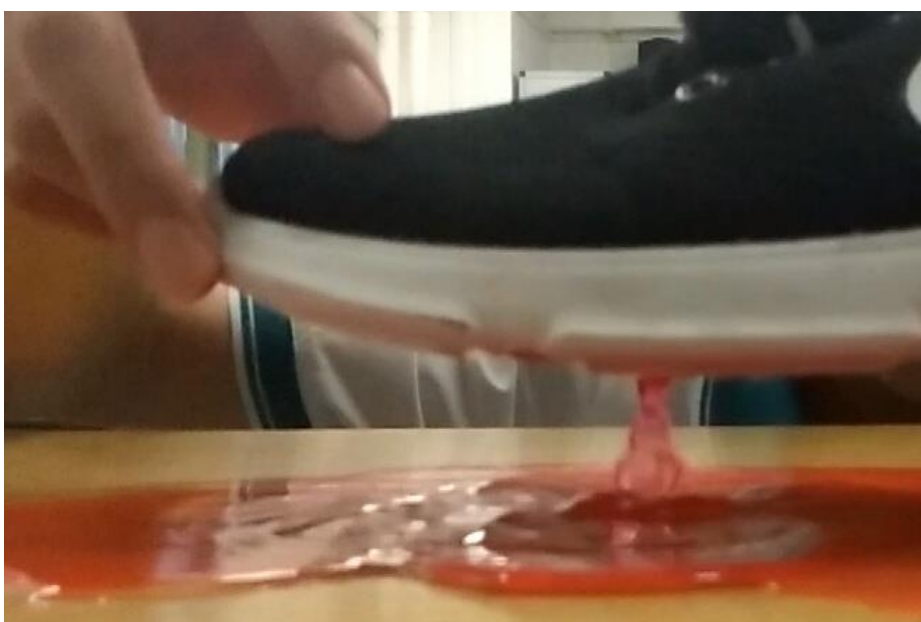
指导老师：璩斌

二零一八年九月十四日

关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

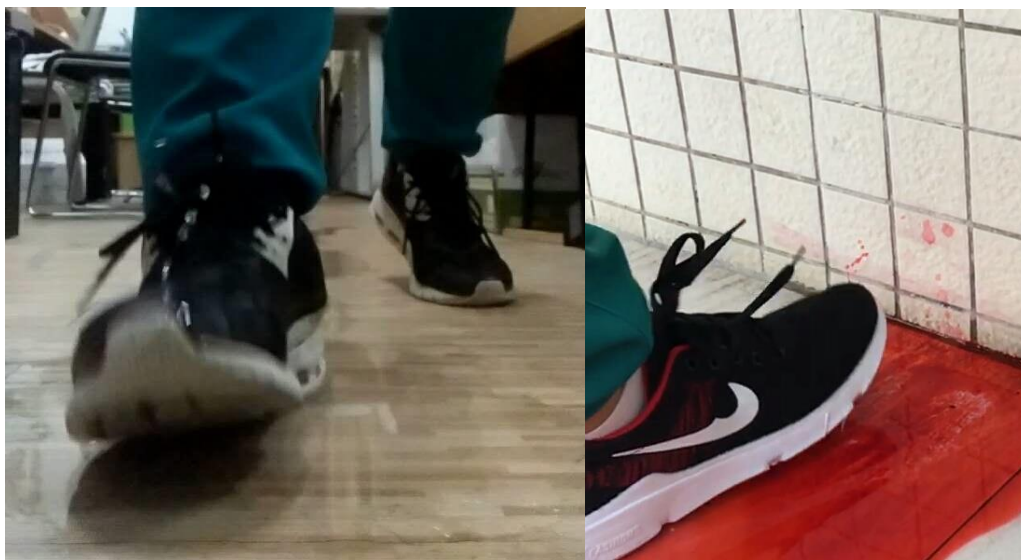
The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days

实验情况



关于下雨天后行走时鞋头甩水现象的机理探究

The Study on the Mechanism of the Forepart of the Shoes Throwing Water when Walking after Rainy Days



本文中的实验数据均由实际实验所得，详情可参考已上传的相关文件：

[20180823 慢动作步态分析.mp4](#)

[20180823 正常步态分析.mp4](#)

[20180824 滴水 1.mp4](#)

[20180824 滴水 2.mp4](#)

[20180824 滴水 3.mp4](#)

[video_20180909_165257.mp4](#)

[甩水 1.mp4](#)

[甩水 2.mp4](#)

[水滴积聚 1.mp4](#)

[水滴积聚 2.mp4](#)

[水滴空中轨迹.MOV](#)

[水滴空中轨迹 \(2\) .MOV](#)

[文件夹 轨迹前期](#)

[文件夹 甩水](#)