

# 具有杀菌除湿功能的自发电运动鞋

## 摘要

一款能够杀菌除臭除湿的环保运动鞋，所需要的能源由走路时的冲击驱动鞋内的微型发电机提供，环保无污染，使用方便，操作简单。采用脉冲电场（PEF）杀菌技术，耗能少，杀菌效果好。除此之外，还能利用储存的电进行除湿，提升整体效果。鞋体外独立的无线模块使所有的功能的都可通过遥控实现，同时可以实现无线充电。这种低碳、节能、健康和高性能的运动鞋十分符合现在社会对高科技含量运动装备的需求。

关键词：环保运动鞋；脉冲电场杀菌；遥控；无线充电

## 绪论

现在大学生都喜欢穿运动鞋，但是多多少少都会因此而引发脚臭的问题。但运动鞋通风透气性不佳，而脚掌是个多汗的环境，运动过多就会出大量的汗。除了会造成湿度的增加外，皮肤表面的 pH 值会产生变化，而且会放出二氧化碳气体，这样的环境最适合脚底某些细菌的生长。汗液里除含水分、盐分外，还含有乳酸及尿素，对细菌及霉菌的大量滋生繁殖非常有利，这样就造成足部皮肤细菌的成长，这些细菌可以分解皮肤的角质蛋白，及脚汗中的尿素、乳酸成分，形成含有臭味的各种代谢物，使穿运动鞋的人受到脚臭的困扰。

通常，我们会使用清水，清洁剂等对运动鞋进行彻底冲洗的方法对运动鞋除臭，这样的方法既耗时间，杀菌效果也不是很好，而且过度的清洗会对鞋的材质造成损伤，缩短运动鞋的寿命，所以我们思考设计一款可以杀菌除臭的运动鞋。

杀菌除臭的原理是高压脉冲电场杀菌，不使用任何化学药剂，所需电能由鞋内置的微型发电机提供，及环保又节能。电极将会夹在鞋体纤维中，不会影响到鞋的外观和穿着舒适度。在使用一段时间后，将鞋的内衬单独取出简单清洗即可。

杀菌除臭所需的电能由振动发电装置提供。该装置利用人走路时对鞋底的挤压发电，并将能量储存在鞋体内置蓄电池中，供杀菌除臭时使用。另外，还有加热除湿的功能，通过附着在鞋体纤维上的加热电阻实现，有利于保持鞋体干燥，既能减少细菌真菌的滋生，又能在天气较寒冷时保持舒适。内置的温度传感器可

控制加热温度以达到不同要求。

鞋体内整个系统有一个总开关在鞋体靠近脚踝处，鞋体外也有无线控制，操控上述功能的实现。总体上来看，可操控性强，低碳环保，延长了运动鞋的寿命，有益于穿鞋者的身体健康。

## 作品背景及创意来源

目前，能源紧缺已成为国际社会所关注的话题。为解决这一难题，各国多提出了很多新型发电装置的设想，发电鞋就是其中之一。但现有的技术或是发电效率较低，或是使用方法不适应日常生活，因此都没有投入商业生产。因此我们设想基于我们大学生的日常生活，设计一种基于运动鞋的发电鞋，在发电的基础上加入运动保护，杀菌除臭等新功能，解决一些生活中的常见问题。

## 发电鞋国内外研究现状及其优缺点分析

目前国外的微压力或振动发电技术发展得比较快。国外一些先进国家，如美国、日本和印度等的一些大学或企业，运用先进的电子技术和全新的发电方式，在振动发电技术方面起步较早，并已经设计出一些实验性质的产品。这些实验项目已从最早的机械连杆、压电陶瓷和电容储能，发展到后来的液压涡轮发电，到当前的逆向电润湿、无线充电等，系统重量越来越轻，体积越来越小。但由于成本等多方面问题没有得到推广。

国内在这种新式发电技术方面还处于设想，图纸阶段，无一能实际投入试验。而且我国目前在这方面的开发研究投入的力量仍显薄弱，整体水平不高，仍局限在单项技术的研究，实际的技术水平和科技成果转化应用水平还很低。

## 作品核心创意

### 1 创意产生过程

不久前，美国威斯康星大学研究人员为充分利用人体动能，开发了一种装置，放入鞋内，可以边走路边发电，给手机、MP3 等装置充电。看到这条报道时，与我们同宿舍的同学刚刚打完球回到寝室，正在脱鞋，于是我们萌生了在发电鞋的基础上加装消毒除臭装置，以彻底解决运动鞋异味这一严重环境问题的想法。

## 2 核心技术分析

### 2.1 发电部分：

该装置利用人走路时对鞋底的挤压发电，并将能量储存在鞋体内置蓄电池中，为使其同时具有落地缓冲的作用，在运动时减小对脚的冲击，我们参考了耐克运动鞋中的气垫，于是有了以下设想。

我们设想的发电部分由以下部分组成：

1. 气囊 2 个
2. 活塞，气缸 2 套
3. 齿轮齿条 2 套
4. 棘轮棘爪 2 套
5. 发电机与飞轮 1 套

布置情况如右图（图 1）所示。

工作原理：

该机构的工作过程分为两步

#### 1. 压缩做功过程

鞋底接触地面时会压缩气囊中的气体，使气压升高，从而推动活塞运动。

$$N/S_1 = \Delta p \quad F = \Delta p S_2$$

其中  $N$  为鞋对地面的压力； $S_1$  为气囊的受压面积；

$\Delta p$  为压强的变化量； $S_2$  为活塞的截面积； $F$  为活塞产生的推力

所以：  $F = N \times S_2/S_1$ ，又因为  $\Delta V = d_1 S_1 = k d_2 S_2$  ( $k = 1.3 \sim 1.5$ ) [1]

所以：  $W_N = kW_F$

活塞推动齿条运动，又带动齿轮转动，进而带动发电机转动产生电能。这个过程中能量转化的表达式为：

$$W_F = W_E + W_t + W_f + W_s$$

其中  $W_E$  为产生的电能； $W_t$  为回位弹簧储存的能量；

$W_f$  是飞轮存储的能量； $W_s$  为摩擦等造成的损失

经估算，能量转换率约为 10% 到 15%，例如一个人（75 公斤）下 5 层楼（20 米），重力做功约 14700 焦耳，这一发电装置可以将其中的 1470 到 2200 焦耳能量转换为电能。

#### 2. 回位过程

鞋底抬离地面时，回位弹簧释放其所储存的机械能，将活塞和齿条推回原位，为下一次做工做准备，如右图（图 2）。

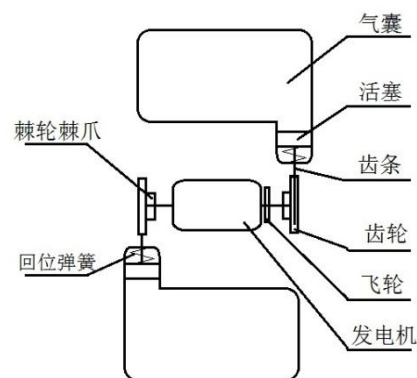


图 1

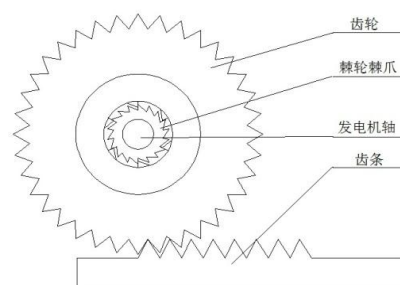


图 2

$$W_T = W'_s$$

这一过程中发电机轴在飞轮的惯性作用下继续旋转。

$$W_f = W'_E + W''_s$$

为保证回位时齿轮的倒转不影响到发电机，我们加入了棘轮棘爪装置，在活塞与齿条停止运动或回位时将发动机轴与齿轮分离。这一过程完成后，各机构将回到初始位置。

## 2.2 静电杀菌部分：

无论鞋子的构造如何，总会造成一定程度的空气堵塞，长此以往，鞋子内部很容易滋生大量的细菌和真菌，导致鞋子有强烈的异味，甚至造成人脚部的感染。针对以上问题，我们小组设想若能利用日常的发电，通过一系列的装置来达到除臭杀菌的效果。

我们了解到脉冲电场(Pulsed Electric Fields, PEF)处理是一种新型的非热食品杀菌技术，它是以较高的电场强度(10-50kV/cm)、较短的脉冲宽度(0-100 μs)和较高的脉冲频率(0-2000Hz)对液体、半固体食品进行处理[2]，但目前PEF对微生物的作用机理尚不完全清楚，多数学者认为PEF是通过外部电场与微生物细胞膜直接作用，从而破坏细胞膜的结构，形成“电穿孔”而导致微生物灭活。因其所需能量少，不需要任何化学药剂而且杀菌效果好，因此我们设想将其应用于运动鞋除臭杀菌方面。

电穿孔现象及相关推导：

**电穿孔现象**是指细胞暴露在PEF作用下出现的细胞膜失稳并在细胞膜上形成小孔的现象。细胞质膜通透性大幅增加，胞内的渗透压高于细胞外，最终导致细胞膜的破损。其基本原理如下：

设细胞为球形，其所处外电场诱导的膜电位可由下式表示：

$$V_a = 1.5rE \cos\theta / [1 + (\omega t)^2]^{1/2} \quad \text{-----}$$

(1)

式中， $r$  是细胞的半径， $E$  是外加电场强度， $\theta$  是电场方向与指定点法线之间的夹角， $\omega$  是外加交流电场的角频率， $t$  是细胞膜电介质的弛豫时间常数。

当外加交流电场频率足够低， $\omega t \leq 1$  时，或者外加电场为直流电场时，则(1)式可简化为：

$$V_d = 1.5rE \cos\theta \quad \text{-----}$$

(2)

对于细胞的两个极点， $\theta = 0$  或  $\theta = 180$ ，则外加电场诱导的膜电位可进一步化简为：

$$V_{dp} = 1.5rE \quad \text{-----}$$

(3)

随着外加电场强度的增大，在细胞膜上诱导的膜电位也随之增大。当增大到一定程度，即  $V = V_{cr}$  时，则细胞膜将出现电穿孔现象。随着外加电场强度的继续增大，细胞膜上的电致孔洞增多、孔径增大。当外加电场强度过大，细胞膜孔过多、

过大而难于封闭，将导致细胞内外物质泄漏甚至死亡。

应用设想：正常穿鞋时脚只接触鞋垫和内衬，所以我们设想将杀菌除臭功能安装到可拆卸的内衬中。具体设想如下：内衬主要分为三层（如图 3），第一层，即与脚接触的一层为普通织物，保证鞋的舒适性；第二层是杀菌层，将电极制成线形，与其他纤维一起纺织制作成织物（如图 4），电极与电路的杀菌控制模块（详见下文）相连，产生杀菌所需的脉冲电场；最外层为加热除湿层，主要由有弹性的护垫和电阻丝组成，起到加热除湿的作用。

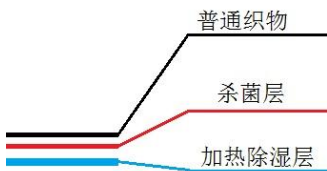


图 3

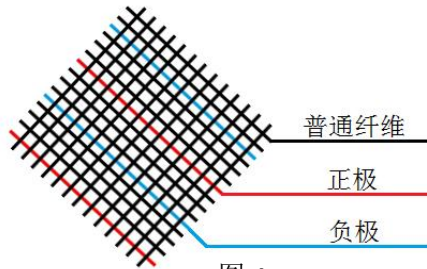


图 4

### 2.3 电路及控制部分

考虑到一双鞋有两只，我们原本的设想将整个电路部分分拆为互补的两个分电路以减少零件数量，简化系统结构，但两只鞋之间的连接问题无法解决。所以我们最终决定采用较为保守的方案：两只鞋各携带一套完全一样的分系统，集成在一块小型电路板上设置在鞋子的中间，发电机上方（图 5）即以下方案。



图 5

#### （1）组成

这里电路的主要作用是将发电机产生的电能存储到蓄电池中，并使其他功能正常工作。所以这里的电路主要分为 2 个部分：

1. 储能部分，将发电机产生的电流整流，滤波，稳压后输出，并在发电机不工作时将电路与发电机断开；
2. 工作部分，包括将电压大幅升高后供给消毒功能的升压电路，和工作在低压下的加热，控制电路，无线输电和通讯电路。

#### （2）工作原理及过程

##### 1. 储能部分：

为尽量减少有限的电能电路中的损失，提高电能的利用率，我们将正常充电电路中的稳压部分取消，将滤波部分尽量简单化，设计了以下电路（图 6）：

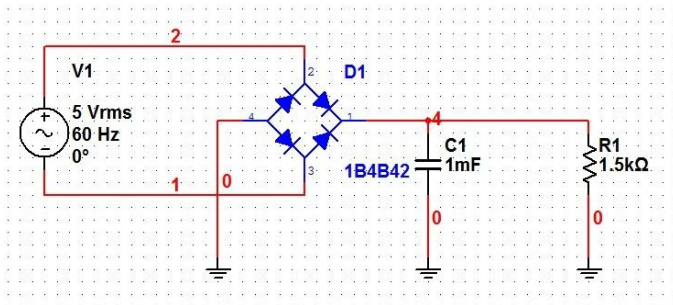
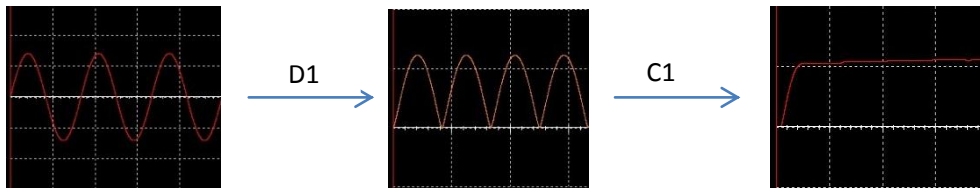


图 6

其中 V1 为发电机（以交流电源代替），D1 为整流桥，C1 为滤波电容，R1 为负载（3）



此处 D1 同时具有防止电流回流至发电机的作用。

## 2. 工作部分：

我们设想的工作部分主要由以下几个模块组成：

1. 内部控制：根据不同情况控制各功能的运作；
2. 传感器模块：将所需要的信息上传到内部控制；
3. 杀菌控制模块：产生高压高频电脉冲供杀菌除湿部分使用；
4. 加热除湿控制模块：根据不同情况控制加热电阻的功率；
5. 无线模块：以无线电波的形式将电能输出，与外界(手机等)交换信息；
6. 总开关：控制所有工作部分的总开关，同时作为安全开关。

这些模块之间的关系如下图所示（图 7）：

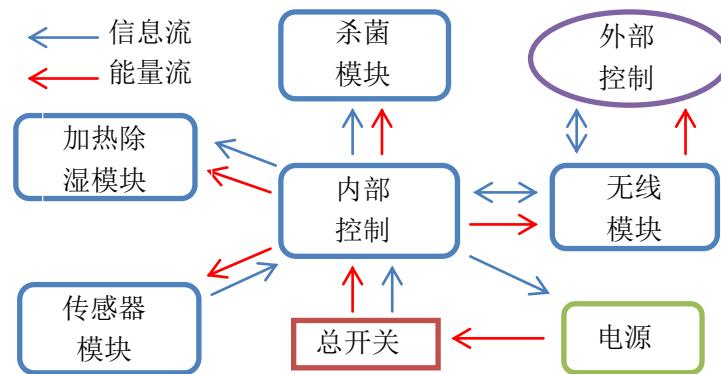


图 7

以下是各模块的详细介绍：

### 1. 内部控制：

内部控制的主要部件为单片机，内部预存多套程序以适应不同工作。需要调整工作模式时，内部控制模块经无线模块从外部控制接受信息，切换到不同模式运行或改变程序中的一些数值，如温度等。

内部控制的程序应包括以下部分：

1. 控制系统，协调各程序的运行；
2. 信息接收，接受传感器模块的信号，以及无线模块的外部控制信号并进行分析，引导控制系统进行调整；
3. 供电控制，分析控制系统提供的电压数据后选择发电机供电或由电池供电，以及在电源电压过低时自动停止工作；  
以上为内置控制模块中始终在运行的部分。
4. 温度控制，分析控制系统提供的温度数据后输出温度调整信号，控制鞋内的温度和湿度；
5. 消毒控制，分析控制系统提供的压力数据后，在脚离开鞋时，即压力传感器的信号消失一段时间后，自动开启消毒功能，一定时间后自动关闭。



以上为内置控制模块中选择运行的部分。

## 2. 传感器模块：

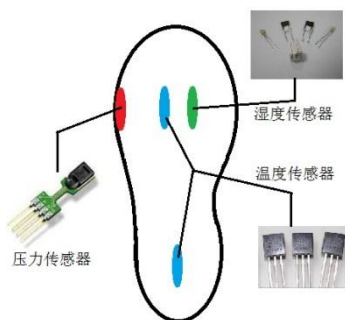


图 8

传感器模块主要包括压力传感器，电压传感器，温度传感器和湿度传感器。具体设置情况如下（图 8）：压力传感器设置在脚的侧面，以防止久坐（如上课）时误启动杀菌功能。温度和湿度传感器设置在脚底，因为脚底的数据可以较好的反映鞋内的情况。这三种不同类型的传感器将鞋子内部的情况转换为信号，传输到内部控制，从而实现鞋内情况的及时监控和调整。

## 3. 无线模块：

我们认为没有人愿意把自己的手机和鞋子用 USB 线连起来，因此为代现在为其他设备充电所需要的连接线缆，我们设想的无线模块包括无线充电和近场通讯（NFC）技术实现电能的传输和信号的发送和接受，这两项技术现在虽然不是很成熟，但已经有厂商开发出了实验性的产品（如图 9），将来的应用范围会很广。



图 9

## 4. 加热除湿控制模块：

加热除湿控制模块的主要零件是三极管开关，可以利用三极管在线性工作区工作时的放大作用，通过调节控制电流来控制通过加热电阻的电流大小，以调节发热功率及温度。

## 5. 杀菌控制模块：

杀菌控制模块的主要功能主要是将电池的直流电经过高频震荡后，再经过升压产生高压脉冲，结合杀菌部分产生高压脉冲电场。其主要部件为高频震荡器和高频变压器。

## 6. 总开关：

总开关控制所有功能的运行与关闭，同时又作为系统的安全开关。这要求这一部件有较高的可靠性，易于操作且能防止误触。因此我们选用了最简单的开关之一，钮子开关（图 10），并将其放置在鞋的表面，靠近脚踝处。



图 10

## 参考文献：

- [1]主编 李笑 副主编 吴冉全 主审 官忠范 《液压与气压传动》国防工业出版社 2007.9
- [2]孙学兵 方胜 陆守道 高压脉冲电场杀菌技术研究进展 《食品科学》2001,Vol.22.No.8
- [3]杨欣 莱·诺克斯 王玉凤 刘湘黔 《电子设计从零开始（第2版）》清华大学出版社 2010,10