

Design of Sole Power Generation Device Based on Mechanical Structure

Xinlong Wang, Haipeng You, Kwame Boakye Yiadom, Muhammad Yasir, Guan Zhao, Sheng Luo, Fuwei Jin

School of Mechanical and Electrical Engineering, Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang
Email: 00131010@wzu.edu.cn

Received: May 15th, 2019; accepted: May 30th, 2019; published: June 6th, 2019

Abstract

At present, the mobile phone battery is constantly increasing, but it will still appear on the road when the phone is out of power and no place to charge, so the idea of walking to generate electricity is proposed. Based on Faraday principle, the walking power generation device converts the mechanical energy generated by human walking into electrical energy by cutting magnetic induction line power generation device. The overall design scheme of the device is proposed and the key parts are designed. The SolidWorks software is used for 3D modeling, and the parts are produced and assembled by 3D printing technology. A two-hour walk has been tested to fully charge a smartphone for everyday use. The results show that the accumulated power of the device is considerable, and it can meet the demand of low carbon.

Keywords

Sole Power Generation, Mechanical Structure, Electromagnetic Induction

基于机械结构的鞋底发电装置设计

王鑫龙, 尤海鹏, Kwame Boakye Yiadom, Muhammad Yasir, 赵冠, 罗胜, 金富威

温州大学, 机电工程学院, 浙江 温州
Email: 00131010@wzu.edu.cn

收稿日期: 2019年5月15日; 录用日期: 2019年5月30日; 发布日期: 2019年6月6日

摘要

当前, 手机电池的电量不断增加, 但依然会出现在路上手机没电又没地方充电的情况, 因此提出了走

文章引用: 王鑫龙, 尤海鹏, Kwame Boakye Yiadom, Muhammad Yasir, 赵冠, 罗胜, 金富威. 基于机械结构的鞋底发电装置设计[J]. 电气工程, 2019, 7(2): 98-104. DOI: 10.12677/jee.2019.72011

路发电的构想。走路发电装置基于法拉第原理，通过切割磁感线发电装置将人体走路产生的机械能转化为电能。提出了装置的整体设计方案并设计了关键零部件，利用SolidWorks软件三维建模，通过3D打印技术制作出零件并组装。经过测试，走路2小时可为一部智能手机充满电，满足人们日常所需。该结果表明装置积累的电量较为可观，同时适应了低碳的需求，具有广阔的发展前景。

关键词

鞋底发电，机械结构，电磁感应

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当前人们的生产生活当中，手电筒、手机、助听器等低功耗产品正扮演着举足轻重的角色。虽然这些设备外形小巧，使用便捷且功能强大，但是续航能力差一直是它们的弱点，大大地限制了这些产品的适应性、灵活性、便携性等，也给人们带去诸多不便[1]。电池中的污染物，比如重金属等如果进入到环境中，也将会对自然环境造成巨大的危害。科研人员们研发的一种非常规自发电装置可以较好地解决这一问题。该装置通过收集环境中的能量，比如人体运动机械能，将其转换为电能为低功耗产品供电[2]。

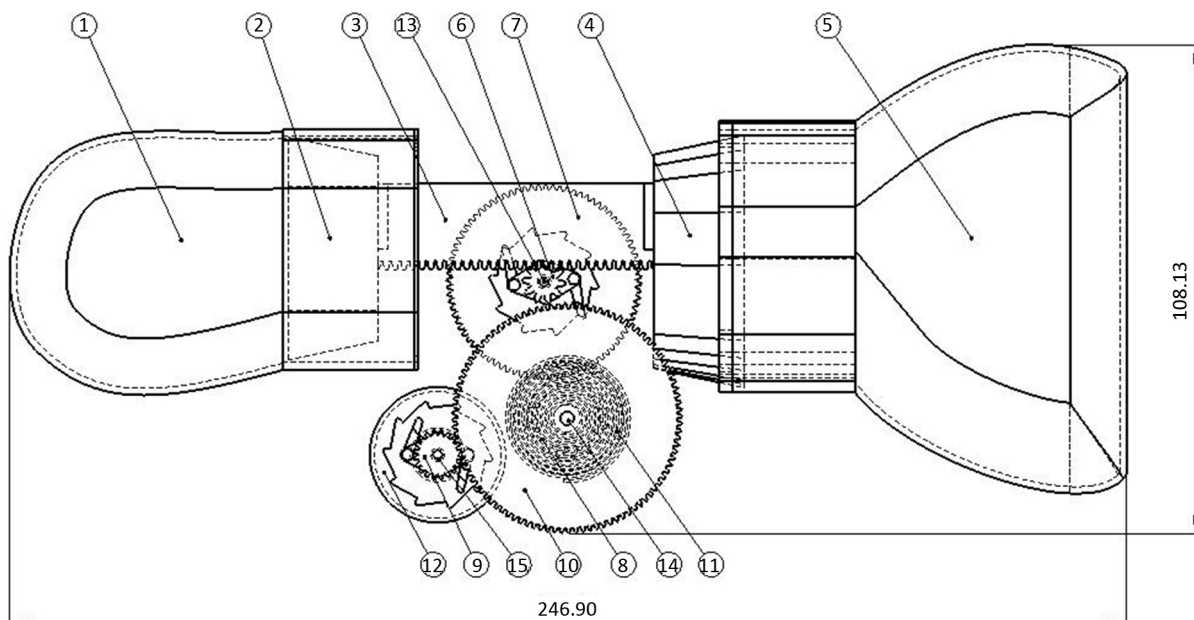
目前，对振动能微型非常规发电机的研究主要有三个方面：压电式、静电式和电磁式。美国研究人员充分利用人体动能，开发一种装置，放入鞋内，边走路边发电，他们这种技术的原理是逆向电润湿，让微型液滴流动的能量转化为电能。日本电信电话公司正在研制一种发电鞋，它的原理是在鞋内装上水和小型发电机。人们穿着这种鞋子行走，鞋底产生的压力使水流流动，带动发电机发电。在振动能非常规发电机研究的三个方向上，各国科研人员们研究最多的还是压电式这一类。这一类设计的核心是压电材料，当对压电材料施加压力的时候，在它的两端会产生电压。再通过设计相应的结构，将它的电压转换成可使用的电流。比如就有科研人员将压电发电设备放在人的鞋垫里，利用了走路时对鞋垫踩压的压力使其发电。

在国内对这种鞋子的研究还不是很普遍，有一种方法是利用压电陶瓷来发电，但由于受压电材料发电能力的限制，将这部分电荷收集、储存起来用作驱动微功率电器的电源一直很少，而且压电材料发电能力十分有限[3]。本文采用电磁式振动自发电装置，将机械能转换为电能[4] [5]，解决了压电材料发电能力的限制问题，并将其应用到鞋子中，令使用者在平常走路时就能给装置内部的微电池充电。

2. 鞋底发电装置整体设计

2.1. 整体设计方案

鞋底发电装置，包括前气囊、后气囊和传送机构。气囊外形参考李贞[6]对男鞋的设计，前气囊后侧设有前滑块空间，前滑块设在前滑块空间内，后气囊后侧设有后滑块空间，后滑块设在后滑块空间内，前滑块与后滑块之间通过中间齿条连接，中间齿条与第一齿轮相啮合设置，第一齿轮与第一轴相连，第一齿轮与第一棘轮的轮齿互相啮合，整体设计如图1所示。



①为气囊，②为滑块，③为齿条，④为滑块，⑤为气囊，⑥为齿轮，⑦为棘轮，⑧为齿轮，⑨为增速齿轮，⑩为增速齿轮，⑪为发条盒，⑫为棘轮，⑬为轴，⑭为轴，⑮为轴

Figure 1. Overall design

图 1. 整体设计图

2.2. 运行原理

当人静止站立的时候气囊处于平衡状态；当人开始走路或者跑步时，脚后跟先离地，这时全部的压力都在前脚掌，气囊①和⑤产生压力差，气囊⑤处的压力大于气囊①从而促使齿条③向后移动，带动齿轮⑥顺时针旋转，与齿轮⑥一体的棘爪片跟着齿轮⑥同方向转动，由于旋转的离心力甩出棘爪片上的棘爪与棘轮⑦的轮齿啮合，带动棘轮⑦顺时针旋转。

然后棘轮⑦外部的齿与齿轮⑧啮合，带动齿轮⑧逆时针转动。因为齿轮⑧与发条盒以及齿轮⑩同轴，所以发条盒里面的涡卷弹簧卷紧，与此同时齿轮⑩带动齿轮⑨高速转动，跟棘轮⑦一样，与齿轮⑨一体的棘爪片带动棘爪与棘轮⑫啮合顺时针高速转动。

棘轮⑫下面是永磁体，永磁体高速转动，下方的线圈切割磁感线产生电流。当整只脚离开地面时，气囊①和⑤都不受力，但此时气囊①中的压力大于气囊⑤，促使齿条向前移动，使齿条复位，此时涡簧失去了阻碍它释放变形能的力，于是涡簧马上释放变形能带动轴②高速转动，由于棘轮⑫的单向运动作用，它并不会对轴⑭的转动产生阻碍。齿轮⑩同样在轴⑭的带动下旋转带动齿轮⑨持续发电。当脚着地时，前脚掌先落地，与起步时原理一样，带动发电机发电。

3. 鞋底发电装置关键零部件设计

3.1. 齿轮齿条设计

齿轮模数取 $m = 0.8$ ，齿数 $z = 10$ ，压力角 $\alpha = 20^\circ$ 。

分度圆直径：

$$d = mz = 0.8 \times 10 = 8 \text{ mm} \tag{1}$$

齿顶圆直径：

$$D_a = m(z + 2) = 0.8 \times 12 = 9.6 \text{ mm} \quad (2)$$

齿距:

$$p = \pi m = 3.14 \times 0.8 = 2.512 \text{ mm} \quad (3)$$

齿轮中心到齿条中心线距离:

$$H = \frac{d}{2} + xm = 4.56 \text{ mm} \quad (4)$$

式中 x 为变位系数 $x = 0.7$ 。

齿条模数取 0.8, 压力角 $\alpha = 20^\circ$, 厚度 $h = 8 \text{ mm}$ 。断面形状选择三角形, 选取齿数 $z = 12$, 螺旋角 $\beta = 8^\circ$ 。

则端面模数:

$$m_t = \frac{m}{\cos \beta} = \frac{0.8}{\cos 8^\circ} \approx 0.81 \text{ mm} \quad (5)$$

法面齿距:

$$P_n = \pi m_n = 3.14 \times 0.81 = 2.54 \text{ mm} \quad (6)$$

齿顶高:

$$h_a = m_n (h_{an}^* + x_n) = 0.81 \times (1 + 0.7) = 1.377 \text{ mm} \quad (7)$$

式中 h_{an}^* 为顶高系数, $h_{an}^* = 1$ 。

齿轮齿条结构如图 2 所示。

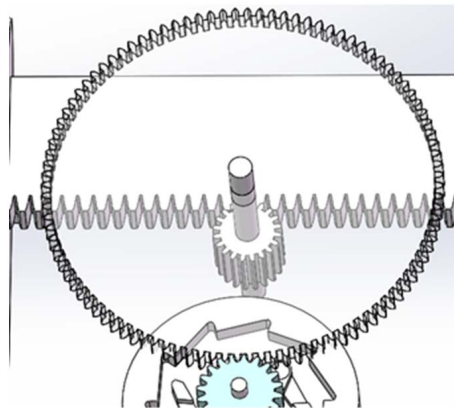


Figure 2. Rack and pinion structure
图 2. 齿轮齿条结构图

3.2. 增速齿轮组设计

涡簧释放变形能转换为转矩和转速, 而增速齿轮组的作用就是在相同的变形能释放下, 减小转矩, 增大转速, 带动微型发电机的转子高速转动, 切割磁感线产生电流。

本文设计的是一级增速齿轮组, 就是利用两个直齿圆柱齿轮组成大传动比的增速机构, 使从动轮的角速度远远大于主动轮的角速度。

设计增速齿轮组传动比 $i_{67} = 7$, 主从动轮模数 $m = 0.5$, 主动轮厚度 $h_6 = 2 \text{ mm}$, 从动轮 $h_7 = 3 \text{ mm}$ 。

设计主动齿轮⑥分度圆直径 $d_6 = 67 \text{ mm}$, 从动轮 $d_7 = 10 \text{ mm}$, 根据公式计算齿数:

$$d = mz \quad (8)$$

求得主动轮齿数 $z_6 = 136$ ，从动轮 $z_7 = 20$ 。

3.3. 棘轮棘爪设计

棘轮棘爪结构的主要作用是将主动件的运动转化为从动棘轮的单向间歇运动。在本设计中两处使用了这个结构，棘轮 I 的作用是为了使涡簧释放变形能时不受棘轮 I 外齿的干扰。棘轮 II 的作用是为了使发电机转子，也就是棘轮单向转动，避免逆向转动损失动能。

棘轮 I 与棘轮 II 的内部齿型模数等数据都是相同的，区别在于棘轮 I 的外部设置成齿轮的结构。

3.3.1. 棘轮轮齿模数齿数的确定

在本课题的设计中，取棘轮轮齿的齿数 $z = 10$ ， $m = 2.5$ 。

根据公式：

$$m = \frac{d_a}{z} \quad (9)$$

得到棘轮直径 $d_a = 25 \text{ mm}$ 。

根据公式：

$$h = 0.75m \quad (10)$$

得到棘轮齿高 $h = 1.875 \text{ mm}$ 。

根据公式：

$$d_f = d_a - 2h = d_a - 1.5m \quad (11)$$

得到棘轮根圆直径 $d_f = 21.35 \text{ mm}$ 。

取棘轮齿槽夹角： $\theta = 60^\circ$ 。

取棘轮齿槽圆角半径取 $r = 1.5 \text{ mm}$ 。

棘轮尺寸如图 3 所示。

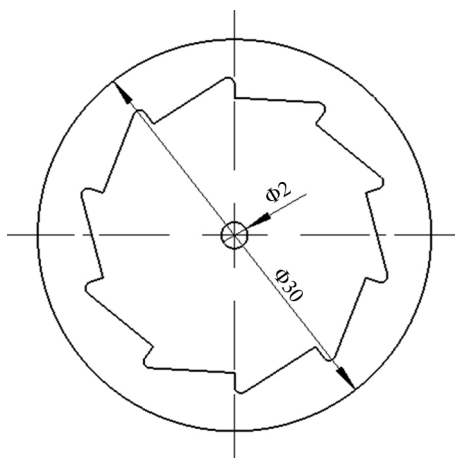


Figure 3. Ratchet size chart
图 3. 棘轮尺寸图

3.3.2. 棘爪设计

当 $m < 3$ ，根据公式求棘爪工作长度：

$$l = \pi m \quad (12)$$

得到棘爪工作长度 $l = 7.85 \text{ mm}$ 。

棘爪高度:

$$h_1 = h + (2-3)m \quad (13)$$

$h_1 = 3.875 \text{ mm}$ 。

棘爪尖顶圆角半径一般取 $r_1 = 2 \text{ mm}$ 。

棘爪底长度:

$$a_1 = (0.8-1)m \quad (14)$$

$a_1 = 2.5 \text{ mm}$ 。

棘爪板尺寸如图 4 所示。

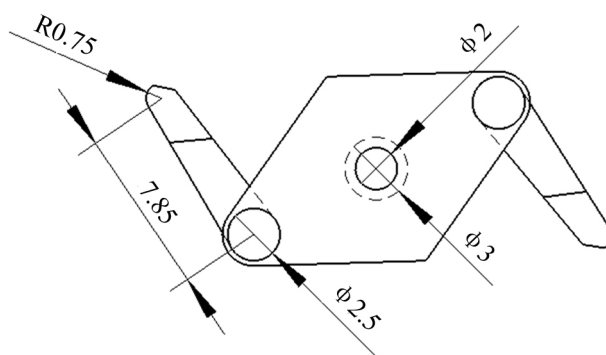


Figure 4. Pitch board size chart

图 4. 棘爪板尺寸图

4. 测试

实物模型通过 3D 打印技术将 SolidWorks 建模的各个零件进行打印然后进行组装,实物如图 5 所示, 电池充电特性曲线如图 6 所示。



Figure 5. Device physical map

图 5. 装置实物图

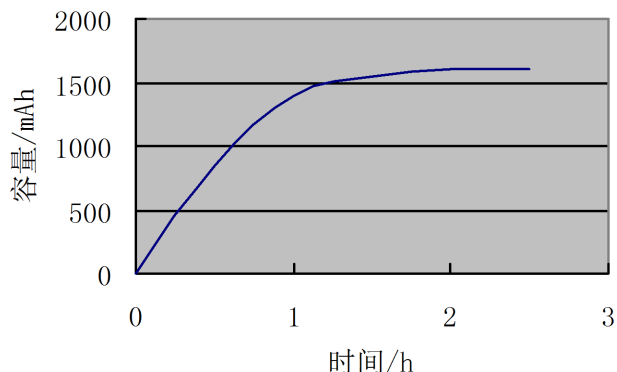


Figure 6. Battery charging characteristics

图 6. 电池充电特性曲线

装置组装后进行测试，将装置安装在志愿者的鞋底上，让其以低强度的正常速度走路，并携带手机用于计步。2 小时后实验结束，此时发电装置的微电池已充满电，手机显示志愿者在 2 小时内走了 13,102 步，即每个发电装置平均每小时运动 3275.5 次。一只鞋底的储蓄电量为 1600 mAh，一双的储蓄电量则为 3200 mAh，输入可充电电池的电压为 6 V，电流为 1 A，可为一部智能手机充满一次电，满足人们日常所需。

同时人体在行走或奔跑时，脚掌和脚后跟之间会产生较大的作用力，而相应地，发电装置在工作过程中会阻力，一定程度上可以防止脚部肌肉损伤，并且增加了人体的运动量，锻炼了人的脚部肌肉。

5. 总结

本文对电磁式发电装置发电原理进行研究分析，利用走路时对鞋底的压力，使发电装置前后气囊产生压力差，令永磁体旋转运动，切割磁感线产生电流，并将电储存在微电池中为微电子设备供电。结果表明，虽然发电装置输出的电流很小，但经过累积后的电量还是可观的。当前该装置还存在着体积较大的问题，在之后的研究中，可以进一步缩小尺寸，使装置更加轻便，同时进行优化设计，使其更加符合人体工程学。发电装置能为无线设备供电，同时适应了低碳的需求，安全无污染，对环境友好，具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 刘思言. 可穿戴智能设备引领未来终端市场诸多关键技术仍待突破[J]. 世界电信, 2013(12): 38-42.
- [2] 王强, 骆英, 顾建祖. 基于压电材料的振动能量获取技术的研究[J]. 电子元件与材料, 2008, 27(3): 46-50.
- [3] 曾平, 佟刚, 程光明, 杨志刚, 唐可洪. 压电发电能量储存方法的初步研究[J]. 压电与声光, 2008, 30(2): 231-232.
- [4] 陈龙, 余俊杰, 周攀. 基于电磁感应的踏板发电装置的设计与制作[J]. 节能, 2017, 36(1): 69-71.
- [5] 陈龙, 余俊杰, 王逸飞. 踏板发电装置的节能量计算及效益分析[J]. 节能, 2017, 36(7): 64-66.
- [6] 李贞. 对男鞋公式化作图的可行性探讨[J]. 温州职业技术学院学报, 2006, 6(3): 42-44.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jee@hanspub.org