



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

冯如杯创意大赛论文

基于压电效应的走动加热保暖鞋

摘要

传统的保暖鞋只能通过隔热作用来保持脚部温暖，保暖效果有限，要使保暖鞋的保暖效果获得根本性的提高，保暖鞋自身发热是一个可行的方案。本文论述了一种通过压电效应，利用人行走的能量来使自身发热的保暖鞋的设想。某些晶体受到外力作用发生形变时，在它的某些表面上会出现电荷，这种效应称为压电效应。根据压电效应的原理，人行走时人与鞋之间的作用力可以产生电能，利用这些电能发热便能达到保暖的效果。而且这种保暖鞋产生的热量的来源是人行走时的能量，是可再生能源，不会对环境产生任何污染，符合当今社会低碳环保的理念。

关键词：保暖鞋，发热，压电效应，环保

Abstract

The traditional warm shoes can keep feet warm only through the thermal insulating effect, and therefore the warm effect is quite limited. To fundamentally improve the thermal effect of warm shoes, it is feasible to develop self-heating warm shoes. In this paper, we propose a new idea of warm shoes which make use of the walking energy to create heat through piezoelectric effect. The piezoelectric effect is a unique property of certain crystals where they will generate an electric field if subjected to physical stress. Based on the piezoelectric effect, electric energy will be produced with the use of the force between feet and shoes when people walk. Subsequently the electric energy can be further used to heat shoes. In addition, the energy used in the warm shoes originates from the walking. It is a renewable energy and does not produce any pollution to the environment, which is consistent with the concept of low-carbon environmental protection in modern society.

Key words: Warm shoes, heating, piezoelectric effect, environmental protection

目录

1 引言	1
2 创意来源.....	1
3 基本原理.....	1
3.1 压电效应	1
3.2 压电材料	2
3.2.1 压电陶瓷	2
3.2.2 聚偏氟乙烯（PVDF）	2
3.3 电热转换	3
4 项目方案.....	3
4.1 关键技术难点及解决办法	3
4.2 压电发电装置	3
4.3 发热装置	4
4.4 整体设计	4
5 可行性分析.....	5
5.1 技术原理可行性.....	5
5.2 效率.....	5
5.3 成本.....	7
5.4 舒适度.....	7
6.可能存在的问题及解决方案.....	8
6.1 防水问题	8
6.2 温度调节问题	8
6.3 理论与实际的偏差.....	8
7 创新点分析.....	8
7.1 使用方便	8
7.2 低碳环保	9
8 应用前景展望.....	9
致谢	10

[参考文献]	11
--------	----

1 引言

在寒冷的冬季，许多人的脚都容易冻伤，尤其是长期在室外工作、活动的人群，所以保暖特别重要。俗话说得好，“人从脚下寒”，对于人体来说，身体各个部位的耐寒能力不同，其中脚部的耐寒能力较低，所以脚的保暖尤其重要。人们很早就有了制造一种能自主发热的鞋的想法，现在也已经有了用充电电池作为能源发热的电加热鞋。但是电池的电量是有限的，供电时间不是很长，充电电池的充电次数也是有限的，一旦电池到达寿命，这种鞋就失效了。而且如果长时间在室外，充电也很不方便。如果有一种不需要充电而能自动加热的保暖鞋，那么这个问题就能得到解决，于是我们就有了这个走动加热保暖鞋的创意。

2 创意来源

当人们感到寒冷时，身体会不由自主地发抖，以此来产生热量维持体温，有时我们也会采取来回走动、跑跳等小规模的运动来发热保暖。于是我们就想到能不能将这些过程产生的机械能也转换为热能，来达到保暖的效果。而在人走路的过程中，脚部会对鞋底产生压力，于是我们就想到利用压电材料将行走过程中的能量转化为电能，再利用电阻发热达到保暖效果。

3 基本原理

总的原理是，以压电效应为基础，利用一套压电转换装置将人行走所消耗的一部分能量转化为电能，再设计相应的电路，利用电能产热。

3.1 压电效应

某些晶体受到外力作用发生形变时，在它的某些表面上会出现电荷，这种效应称为压电效应。晶体的这一特性称为压电性，具有压电效应的晶体称为压电晶体(如图 3-1)。

压电效应是可逆的，即晶体在外电场的作用下要发生形变，这种效应称为逆压电效应或反向压电效应。

实验证明，压电效应和反向压电效应都是线性的，即晶体表面出现电荷的多少和形变的大小成正比，当形变改变符号时，电荷也改变符号；在外电场作用下，晶体形变的

大小与电场强度成正比，当电场反向时，形变改变符号^[1]。

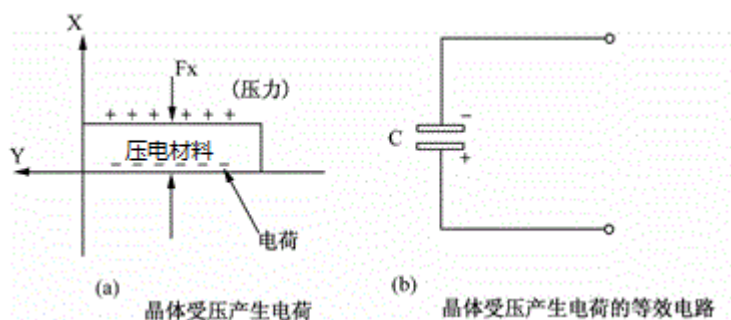


图 3-1

3.2 压电材料

压电材料是指具有压电效应的材料。由于压电材料具有力电耦合性能，属于功能材料，因而被广泛用于换能器，实现机械能与电能之间的相互转换。随着科学技术的发展，利用压电材料研制的器件在现代工业技术中占有重要的地位^[2]。

3.2.1 压电陶瓷

压电陶瓷自问世以来发展迅速，在当今压电材料中占有很大的比重。压电陶瓷比任何单晶材料更富多方面的适应性，能承受很大的应力，而且不受潮湿和其他大气条件的影响，这比一般人造单晶好得多。而且压电陶瓷制作方便，与绝缘陶瓷制法类似，几乎可以做成任何需要的形状和大小，而且可以自由选择极化方向。最重要的是，压电陶瓷具有优异的压电性能，还可以通过改变其化学组分及添加杂质来改变其各方面的性能，以适应不同的用途。压电陶瓷的种类有钛酸钡压电陶瓷、锆钛酸铅压电陶瓷、偏铌酸铅压电陶瓷、铌酸钾钠压电陶瓷、钛酸铅压电陶瓷等。同时压电陶瓷也具有易碎、柔性差、不耐机械冲击的缺点。

锆钛酸铅压电陶瓷（PZT）作为换能材料，它的压电效应显著，可以通过变更其化学组分在很大范围内调整其性能，以满足多种不同的需要^[1]。

3.2.2 聚偏氟乙烯（PVDF）

聚偏氟乙烯（Polyvinylidene fluoride，简称 PVDF）压电薄膜是本世纪 70 年代在日本问世的一种新型高分子压电材料，是一种柔软、质轻、高韧度塑料薄膜，可以根据需要制成各种形状、厚度的元件。这种压电材料克服了以前的压电材料的一些缺点，非常柔

软，又可以做得很薄，而且它具有大动态范围、高绝缘性、高机械强度和耐冲击、抗辐射、低噪声阻抗、压电系数大等特性^[1]。

3.3 电热转换

电能由压电装置产生，根据公式 $Q=I^2Rt$ ，利用电能可以使发热电阻发热。

4 项目方案

4.1 关键技术难点及解决办法

现在，电热转换发热的技术已经比较成熟了，该项目的关键在于怎样实现压电转换，使人行走的动能转化为电能。本项目采用了两种特性不同的压电材料，分别位于鞋底不同的受力部位，以充分发挥两种材料的不同优点，达到效率最大化。

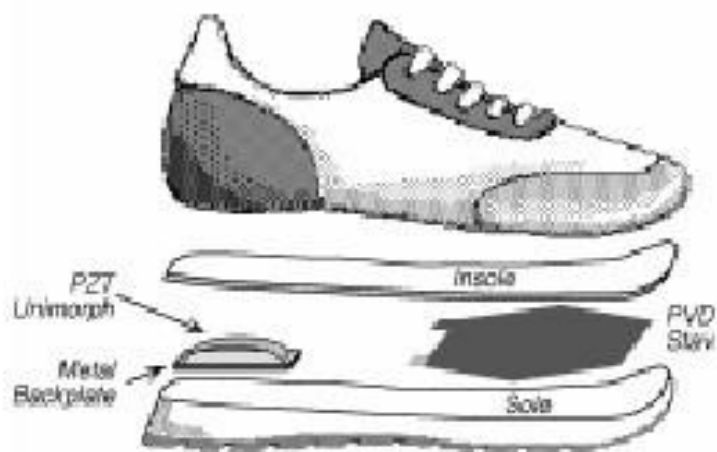
4.2 压电发电装置

当人行走时，脚着地的瞬间会产生一个瞬时加速度，根据动量定理 $Ft=mv_2-mv_1$ ，人的脚底会受到一个冲击力，由牛顿第三定律知鞋底会受到一个大小相等方向相反的冲击力，从而产生形变，当脚抬起时，鞋底回复原状，但其恢复力远没有其所受到的冲击力大，这样，就会有部分能量损失。如果在鞋底安置一个压电转换装置，将这部分损失的能量收集起来，通过压电效应转化为电能，同时在鞋内放置一个小型电路，将产生的电能转化为热能，那么这种鞋就能具有保暖的效果^[3]。

在人走路时，鞋底有两个主要受力部位，分别是脚跟和前脚掌，若在这两个部位分别放入合适的压电材料，那么就可以通过压电效应将人走动产生的能量转换为电能，从而为保暖鞋发热提供能源。（如图 4-1）

铅钛酸铅压电陶瓷（PZT）作为换能材料，它的压电效应显著，效率较高，形变较小，适合放在鞋底的脚跟部。

聚偏氟乙烯（PVDF）作为一种新型高分子压电材料，非常柔软，又可以做得很薄，而且它具有大的动态范围，适合放在前脚掌的底部，收集脚前底部弯曲所损失的能量。

图 4-1^[3]

4.3 发热装置

在鞋垫之中植入发热芯片，发热芯片是由导电油墨经金属载流条经印刷、热压在两层绝缘防水高分子薄膜之间制成的纯电阻发热体^[6]，通过微型电路与压电发电装置相连，并在电路中安装可以在鞋的外部控制电路通断的小型开关。

考虑到一般情况下人的脚趾最容易冻伤，所以在热量的分配上，应该重点保护脚趾，使脚趾处得到更多热量，这可以通过合理安排电阻片在鞋垫中的布局来解决。

4.4 整体设计

如图 4-1，发热芯片植入鞋垫之中，压电发电装置位于鞋垫和鞋底之间，整个装置（包括内含发热芯片的鞋垫和压电发电装置）的上下都由一层导热防水高分子薄膜覆盖，整体电路示意图如图 4-2 所示。



图 4-2

5 可行性分析

5.1 技术原理可行性

压电材料自从问世以来发展迅猛，其中这种保暖鞋使用的压电材料是锆钛酸铅压电陶瓷（PZT）和聚偏氟乙烯（PVDF），世界上许多研究所都对这两种材料做了大量研究，且取得了许多可喜的成果，如果将其利用到这项技术上来，以现在的科学技术水平来说，理论上是可行的。

另外，利用电能发热这一技术已经非常成熟，在理论和实际上都基本不存在问题。

5.2 效率

体重为 50 千克的人以每秒两步的速度行走时产生的能量是相当可观的。而且如果采用合适的材料，发热保暖鞋对于功率的需求会很小。尽管行走不像人呼吸那样是一种连续的运动，但可以选择把能量贮存起来，这样人体行走时的能量就可通过压电发电方式收集起来。

根据 CSDN 上的一位会员 lzyblog 的文章论述，对于身高 1.8m，体重 70kg 的男性，若迈步时两腿前后迈开的角度为 44° ，那么每走一步损失的能量为 50J，每秒两步的速度计算，每秒损失的能量是 100J（如表 1^[4]）；对于身高 1.5m，体重 45kg 的女性，若迈步时两腿前后迈开的角度为 59° ，那么每走一步损失的能量为 50J(如表 2^[4])。以每秒两步的速度计算，每秒损失的能量是 100J。

表 1

高为 H(m)	质量 m (kg)	每步损失能量 C(焦耳)	θ (度)
1.8	70	1	6
1.8	70	50	44
1.8	70	100	61
1.8	70	150	72
1.8	70	200	81
1.8	70	250	89
1.8	70	300	95
1.8	70	350	100
1.8	70	400	105
1.8	70	450	109
1.8	70	500	112
1.8	70	550	115
1.8	70	600	118
1.8	70	650	121
1.8	70	700	123
1.8	70	750	126
1.8	70	800	128
1.8	70	850	130
1.8	70	900	131
1.8	70	950	133
1.8	70	1000	135

表 2

高为 H(m)	质量 m (kg)	每步损失能量 C(焦耳)	θ (度)
1.5	45	1	9
1.5	45	50	59
1.5	45	100	79
1.5	45	150	92
1.5	45	200	102
1.5	45	250	110
1.5	45	300	116
1.5	45	350	121
1.5	45	400	126

1.5	45	450	129
1.5	45	500	132
1.5	45	550	135
1.5	45	600	138
1.5	45	650	140
1.5	45	700	142
1.5	45	750	144
1.5	45	800	145
1.5	45	850	147
1.5	45	900	148
1.5	45	950	150
1.5	45	1000	151

参考市面上的充电保暖鞋,其功率在 1~3W 之间就可以使鞋内温度保持在 25~30℃,也就表明,压电材料的压电转换效率只需要达到 1~3%就可以满足要求。这说明走动加热保暖鞋对压电材料的压电转换效率要求并不大,一般的压电材料都可以达到这个效率。

5.3 成本

随着现代科技的进步,压电材料已经在人们生活的各个领域得到了广泛应用,而且价格也比较低廉,例如打火机、音响等。而且现在制备锆钛酸铅压电陶瓷(PZT)和聚偏氟乙烯(PVDF)的技术已经比较成熟,制成一双走动加热保暖鞋,其成本不会太高。

5.4 舒适度

作为一双鞋,除了保暖以外,还必须使脚部感到舒适,由于这种走动加热保暖鞋采用的压电材料柔性比较好,如果再另外多垫上一层鞋垫,穿起来和普通的鞋子基本没有区别。而且这种保暖鞋还具有传统保暖鞋所没有的优点,那就是轻便。为了达到良好的保暖效果,传统的保暖鞋一般都很厚,也比较重,这就会对行动造成一定的不便。而本文论述的这种保暖鞋由于能够自身加热,对厚度要求不高,再加上不需要电源,压电和加热的部分都只占整个鞋重量的一小部分,所以这种保暖鞋可以做得比较轻便。这样人们穿上它行走、运动都十分方便,尤其能给测绘、登山等户外工作或活动的人员带来很大的便利。

6.可能存在的问题及解决方案

6.1 防水问题

问题：由于该保暖鞋有内置电路，所以可能因为进水而导致电路短路。

可行的解决方案：通过将整个装置由防水薄膜覆盖就可以达到很好的防水效果，而且多数防水薄膜都具有很好的导热性能。此外，还可以在整个鞋身中使用防水材料，以达到更好的防水效果。就目前的技术来看，这种防水方案是可行的。

6.2 温度调节问题

问题:如果人通过不断行走做功，会不会使鞋内温度升得过高？

可行的解决方案:一般来说，这种小型的压电装置的效率不会太高，随着产热功率的增大，散热速度也会加快，达到产热和散热平衡时，温度也不会太高。另外，由于开关的存在，如果温度过高，也可以通过开关手动调节温度。不过这些都只是理论上的定性分析，对于真实使用时，可能会出现一些意外情况，所以可以考虑在开关处加一个由热敏电阻制成的小型温控装置，在温度过高时自动断开开关，防止鞋内温度过高。另外，还可以在鞋内加一个电能收集的装置，就像电源充电一样，收集压电效应产生的电能，那么就这种保暖鞋就可以根据需要灵活地选择是否进行加热保暖。

6.3 理论与实际的偏差

总的来说，这种保暖鞋的构想还只是停留在理论的层面上，没有对其的各种参数做定量分析，在理论与实际之间可能存在一定的偏差。如果要将这个构想应用到实践中，还需要进行大量的实验，通过实验获得的数据进行不断改进和修正。

7 创新点分析

7.1 使用方便

目前市面上有一种充电的保暖鞋，但这种鞋一般只适合在室内使用，且使用一段时

间后就需要充电。而本文论述的这种走动加热保暖鞋无需充电，可以随时随地使用，尤其适合在户外使用，方便可靠。

7.2 低碳环保

这种走动加热保暖鞋完全不需要充电，直接将人行走的动能转换为电能，再利用电能发热，利用的是可再生能源，绿色环保，符合当今社会低碳环保的理念。

8 应用前景展望

这种鞋方便舒适，而且有节能环保的特点，可以提供给需要长时间在寒冷的户外工作的人员使用，例如考古、天文、地质勘探、野外测绘等方面的工作人员。此外，对于登山、探险等户外活动的爱好者来说，这种走动加热保暖鞋也是不错的选择。

另外，这种走动加热保暖鞋还具有很大的改进潜力。目前，随着有关压电效应和压电材料方面的理论与技术的迅速发展，越来越多的具有各种优良特性的压电材料相继问世。如果将未来的新型压电材料应用在这种走动加热保暖鞋上，压电转换的效率很可能会大大提高，还可能具有一些新的功能与特性。

致谢

首先要感谢的是我们的指导老师，本文是在指导老师的悉心指导下完成的。指导老师不仅给了我们很大的帮助，其严谨认真的态度和渊博的学识也给我们留下了很深的印象。我们的辅导员也耐心地听取了我们的设计思路，给我们提了几点很好的意见。借此机会，我们要对指导老师和辅导员表示衷心的感谢。

在本课题研究的初期阶段，几位学长学姐给我们传授了许多宝贵的经验，使我们受到了很大的启发，在此，我向他们表示诚挚的谢意。

最后，我还要感谢我的朋友们，他们在精神上给了我支持与鼓励，使我拥有不断前进的动力。

[参考文献]

- [1] 栾桂冬, 张金铎, 王仁乾. 压电换能器和换能器阵 (上册) [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- [2] 李邓化, 居伟骏, 贾美娟, 许晓飞. 新型压电复合换能器及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] 闫世伟. 压电发电装置实验设计与应用研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2005.
- [4] 网页 <http://blog.csdn.net/lzyblog/article/details/1436605>
- [5] 宋道仁, 肖鸣山. 压电效应及其应用[M]. 北京: 科学普及出版社, 1987.
- [6] 范重山, 方婷, 周素静. 电加热鞋的研发及应用[J]. 中国皮革, 2011, (08).
- [7] 许小红, 武海顺. 压电薄膜的制备、结构与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] 唐可洪, 阚君武, 任玉, 王淑云, 朱国仁, 邵承会. 压电发电装置的功率分析与试验[J]. 吉林大学学报 (工学版), 2009, (6).
- [9] Shenck, N. S, Paradiso, J.A. Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics[J]. IEEE Micro, 2001, 21 (3): 30-42.
- [10] 艾明晶. 大学计算机基础实验教程 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.