

网站地图 (<http://www.imech.cas.cn/serv/wzdt/>) |

联系我们 ([http://www.imech.cas.cn/serv/lxfs/201212/t20121205\\_3698646.html](http://www.imech.cas.cn/serv/lxfs/201212/t20121205_3698646.html)) |

所内网 (<http://www.imech.cas.cn/serv/szxx/>) | 所内网 (<https://ioa.imech.ac.cn>) |



<http://english.imech.cas.cn/> | 中国科学院 <http://www.cas.cn/>

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

(<http://www.imech.cas.cn/>)

Search



当前位置：首页 (../..../..../) >> 科学传播 (../..../..../) >> 力学园地 (../..../) >> 释疑解惑 (../..../)

## 【释疑解惑】两张小小的塑料片是如何测脉搏的呢？

2022-09-23 16:26

【放大 缩小】

《力学园地》编辑部：

在你们的园地里，读到过一些介绍你们力学所在研制微传感器方面的文章，挺有意思的。还能再介绍一点你们在这方面的进展吗？当然，我们是外行，所以希望内容是“科普”性质的。谢谢！

一名退休老技术员

2022年6月10日

### 两张小小的塑料片是如何测脉搏的呢？

张懋熠

塑料在生活中随处可见，很多时候都被当作垃圾处理掉了。然而，把两张小小的塑料片稍作处理，就可以变废为宝了。这两张小小的塑料片甚至可以用来监测脉搏。要想知道两张小小的塑料片是怎样监测脉搏的，我们首先需要了解一下两个常见的物理现象：摩擦起电和静电感应。



图1 日常生活中的塑料袋（图片来源：网络）

“摩擦起电”是指这种现象：将两个不同的物体摩擦后，它们的表面会带电，一个带正电，另一个带负电。在日常生活中会有这样的经历：冬天的时候，我们的手经常会被电到，这就是由于摩擦起电导致的。因为在平日活动中，皮肤和衣服经常发生摩擦，使皮肤上带有很多的电荷。当手碰到金属时，手上聚集的电荷会瞬间击穿空气转移到金属上去。这时手便会有被电到的感觉。

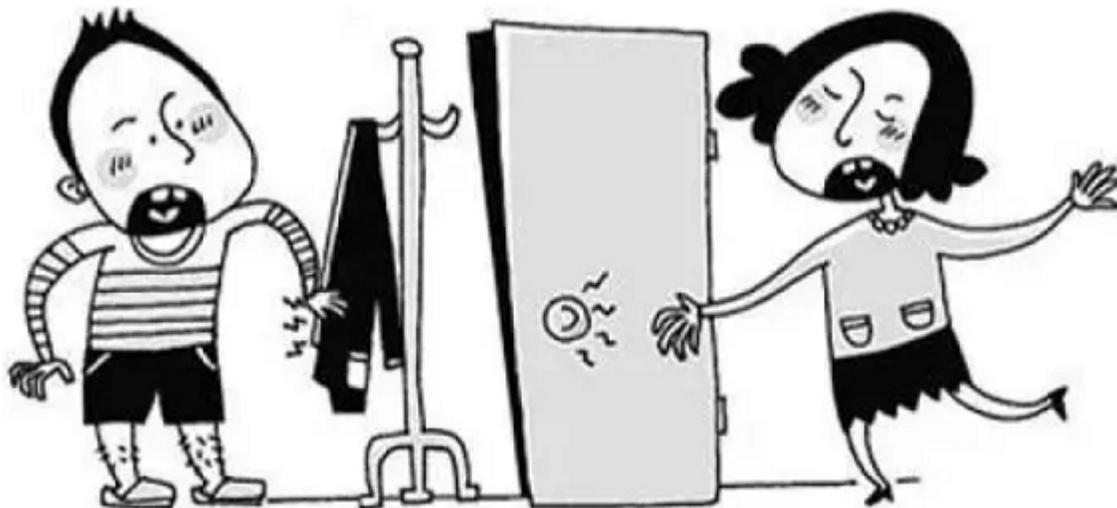


图2 冬天的时候手经常会被电到（图片来源：网络）

“静电感应”则是指另一种静电现象：在外电场的作用下，导体中电荷在导体中重新分布。比如，橡胶棒和毛皮摩擦后起电，橡胶棒会带负电。带负电的橡胶棒会产生一个电场，把它靠近导体时，根据同种电荷相斥、异种电荷相吸的原理，这个电场会让原本电中性的导体中的正负电荷重新分布：负电荷移至在远离橡胶棒的一端，正电荷移至靠近橡胶棒的一端。



图3 静电感应现象图示（图片来源：作者自绘）

如果想使用两张不同塑料片来测量脉搏的话，它们的电特性要有所不同。这样摩擦之后，得电荷能力强的塑料片上会带负电，得电荷能力弱的塑料片上会带正电。当然，我们还需要分别在塑料片背后贴上一块金属片，并将两个金属片用导线连接起来，这两个电极片便由两个导体合成了一个导体。这样就构成一个“摩擦纳米发电机”了，它的工作原理在图4中给出。当两个塑料片紧密接触时，两个塑料片的电场互相抵消了，金属片1和2不带电。因为金属片1和2属于一个导体，导体在不运动的情况下各处电势相等，所以此时金属片1和2电势相等，电路中没有电流流过。当两个塑料片分开时，金属片1远离塑料片2（带负电荷），由于离塑料片2（带负电荷）越远的地方，电势越高，所以金属片1的电势增高，导致金属片1的电势大于金属片2。自由电子（即负电荷）会从电势低的地方流向电势高的地方，因此自由电子从金属片2流向金属片1，以平衡电势。此时的电流方向是从金属片1到金属片2。当两个塑料片分离到最大距离停下不运动时，由于已经有足够多的自由电子流向金属片1，此时上下金属片的电势相等，电路中不再有电流流过。当塑料片1和2之间的距离减小时，由于金属片1离塑料片2（带负电荷）越来越近，所以金属片1的电势降低。因为金属片1在距离减小之前和金属片2的电势相等，所以现在金属片2的电势大于金属片1。因此自由电子从金属片1流向金属片2，导致电流反向。当两个塑料片重新接触不动时，电场再次抵消，金属片1和2的电势再次相等。这就是接触分离式摩擦纳米发电机的工作原理。

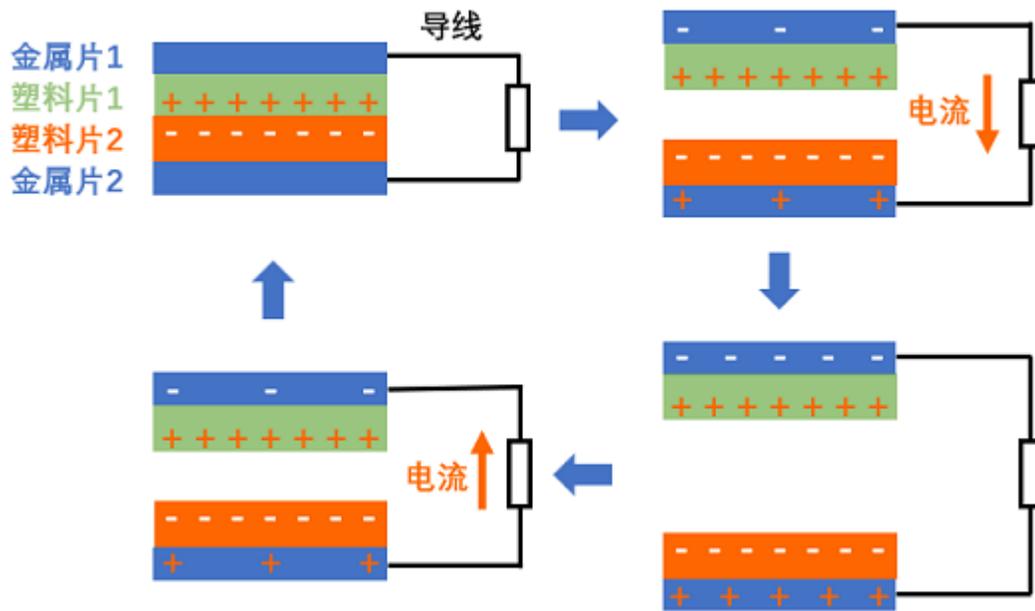


图4 接触分离式摩擦纳米发电机工作原理（图片来源：作者自绘）

摩擦纳米发电机是由王中林院士在2012年发明的。基于摩擦起电和静电感应的摩擦纳米发电机可以将机械能转换为电能。经过这些年的发展，摩擦纳米发电机在机械能收集和自供电传感方面获得了广泛的应用。

当摩擦纳米发电机应用于自供电脉搏传感器时，脉搏跳动就是机械能的来源。然而，脉搏的跳动很微小，摩擦纳米发电机能捕捉到的机械能很小因而产生的电流（或者说电信号）也很小。在有的情况下，电信号甚至会完全淹没在测量电表的背景噪音中。那么怎么样才能让摩擦纳米发电机输出的信号变大呢？研究者想过很多让输出信号变大的办法，最常见的是对塑料片的表面进行微处理，以此来增加表面的电荷量。除了这些方法外，还可以通过力学结构设计来增大信号。

研究表明，摩擦纳米发电机的信号与接触分离的速度是正相关的。换句话说，速度越快，信号就越大。我们知道，一种最简单的力学机械——杠杆是做旋转运动的，转动角速度用 $\omega$ 表示（参见图5所示）。近臂端（臂长为 $l_0$ ）的线速度用 $v_0$ 表示，远臂端（臂长为 $l_1$ ）的线速度用 $v_1$ 表示。这两个速度之比就是臂长之比。大家也许知道，古希腊物理学家阿基米德有句名言：“给我一个支点，我能翘起整个地球。”其实，杠杆不仅能够翘起整个地球，还能够放大速度。因为端点的线速度等于角速度和臂长（旋转半径）的乘积。所以，为摩擦纳米发电机添加一个杠杆结构，就可以让摩擦纳米发电机输出的信号变大。

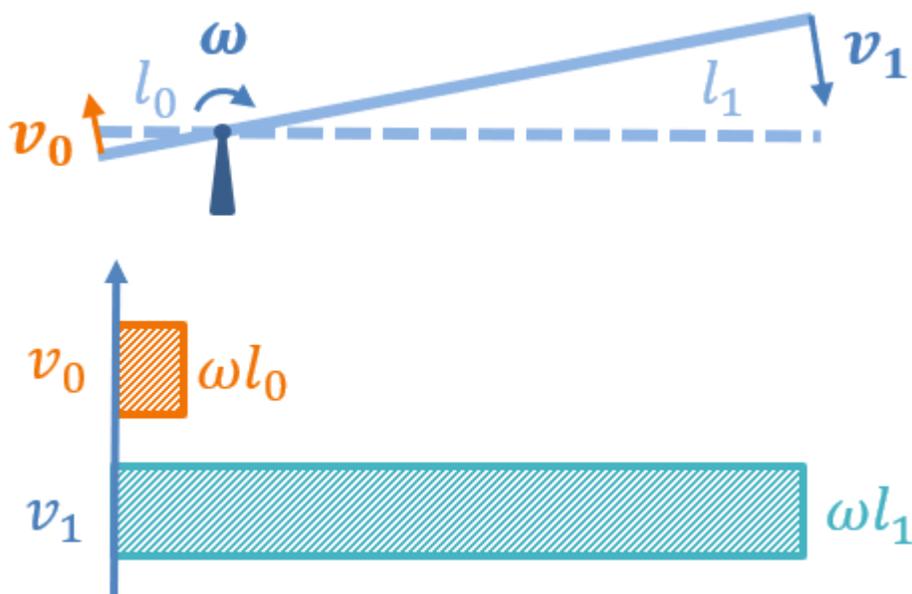


图5 力学杠杆原理（图片来源：作者自绘）

如图6所示，杠杆的近臂端用来接收机械运动的，摩擦纳米发电机被放在远臂端用来输出电信号。这里选用的塑料片尺寸是25毫米×25毫米。由于是旋转运动，为了保证两个塑料片能很好的接触，上塑料片被设计成了下弯的弧形。因为上塑料片很薄很软，所以需要稍硬一些的聚酰亚胺薄膜作为衬底将其撑成弧形。在图6中还能看到杠杆上安放了弹簧，弹簧的作用是提供回弹力。

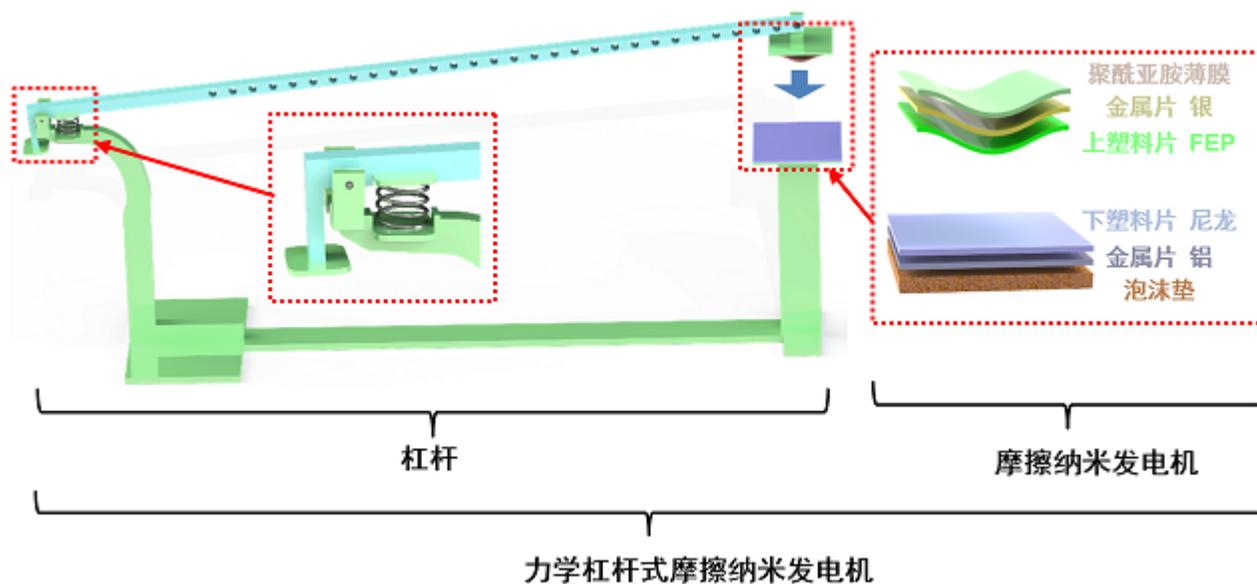


图6 力学杠杆式摩擦纳米发电机结构示意图

为了验证这个新构思的可行性，开展了实验研究。其中，通过线性马达给力学杠杆式摩擦纳米发电机施加机械运动，测量改变力学杠杆的臂长之比（或者称“放大倍数”）所导致的输出信号的变化。实验结果表明：当放大倍数从22倍增大到50倍时，力学杠杆式摩擦纳米发电机的电压信号大小从91伏增加到232伏，最大功率从83微

瓦增加到1031微瓦。

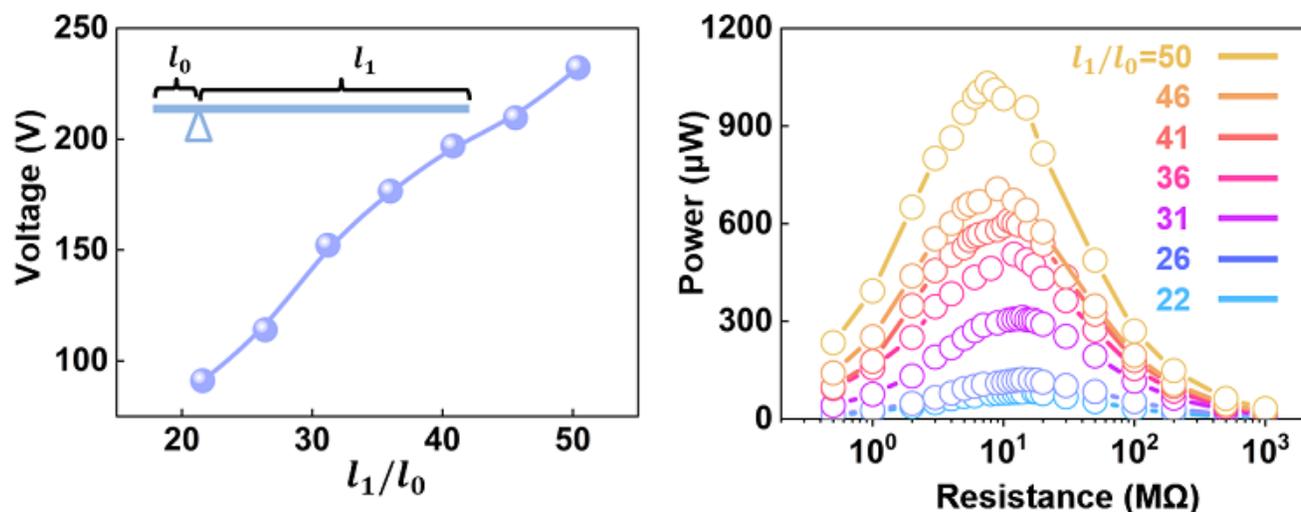


图7 力学杠杆式摩擦纳米发电机输出的电压和功率

图8示出了力学杠杆式摩擦纳米发电机应用于脉搏测量时的实景图片以及示波器的输出曲线。这里，手臂是放在杠杆的近臂端，端面紧贴在动脉血管上；置于远臂端处的摩擦纳米发电机输出的脉搏电信号达到了12.3伏。这个信号值远高于其他研究者的结果。图8还给出了本项工作和其他12篇文献工作的比较，其中前人得到的输出信号最高值为3.5伏。

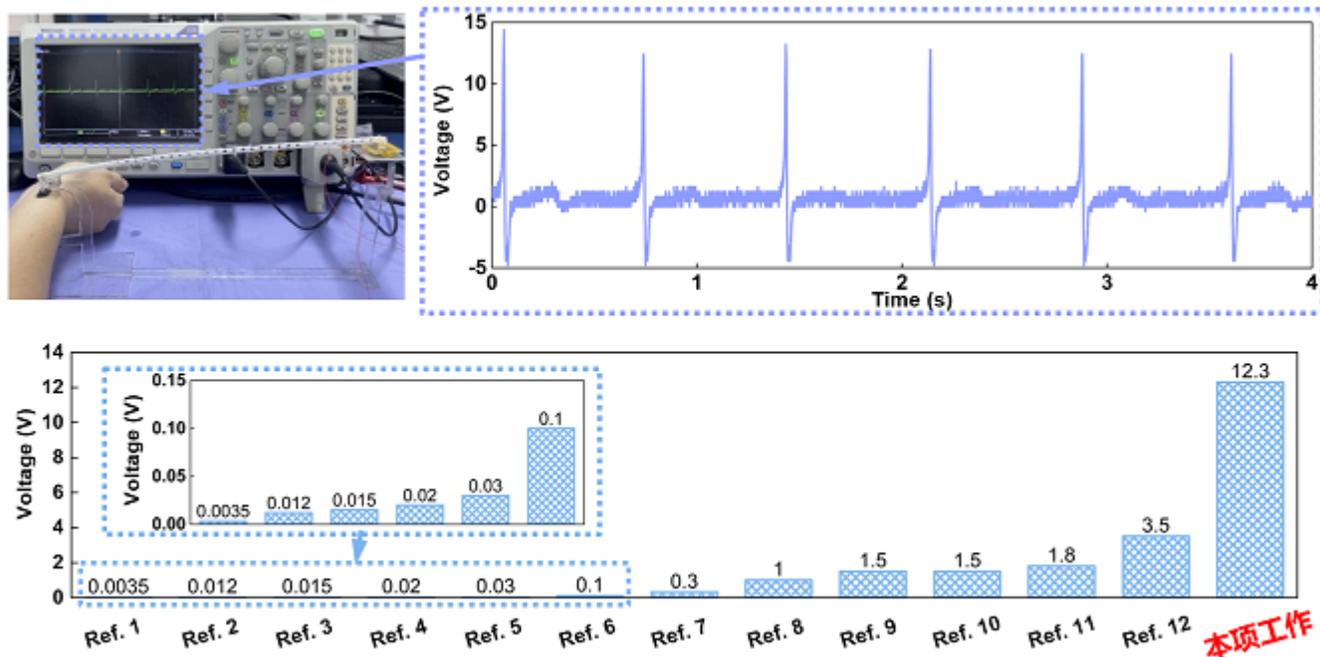


图8 力学杠杆式摩擦纳米发电机的脉搏测量

这里介绍的研究工作由中科院的力学所和纳米能源与系统研究所的研究人员合作完成。成果发表在国际权威期刊Nano Energy上，全文链接如下：<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107159>。



中国科学院 (http://www.cas.cn)  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

中国科学院力学研究所 版权所有 京ICP备05002803号 京公网安备110402500049

地址：北京市北四环西路15号 邮编：100190

(http://bszs.conac.cn/sitename?method=show&id=081D2D6355AD574EE053022819ACCBA7)

