

# 基于电荷交互运输的摩擦静电驱动直流发电系统

朱建雄, 张志胜, 夏志杰

(东南大学机械工程学院 南京 210089)

**摘要:** 相比交流电, 直流发电系统对物联网 (IoT) 和电子器件更为重要, 直流发电系统可直接用来驱动电子器件工作。受水车运输水启发, 利用电荷运输和双交叉摩擦电纳米发电机开发了一种直流纳米发电机。该发电机通过纳米材料的极性反转作为电荷发生与传输载体, 通过负和正材料之间滑动, 实现电荷的排斥与吸引的单向放电, 从而形成稳定的直流输出。与空气击穿机制相比, 本直流发电系统很容易获得稳定直流输出电压, 可以为执行器和电子器件稳定高效供电。

**关键词:** 直流发电; 高压静电; 电荷传输; 电子器件

## Direct Current System Based on Charge Interaction Transportation from Triboelectric

Zhu Jianxiong, Zhang Zhisheng, Xia Zhijie

(Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210089, China)

**Abstract :** Compared to Alternative Current (AC), Direct Current (DC) systems are more important for the Internet of Things (IoT) and electronic devices. AC can directly drive electronic devices to operate. Inspired by the transport of water by water tankers, a DC nanogenerator has been developed using charge transport and double cross friction electric nanogenerators. The DC generator uses the polarity reversal of nanomaterials as a carrier for charge generation and transmission, and achieves unidirectional discharge of charge repulsion and attraction through sliding between negative and positive materials, thereby forming a stable DC output. Compared with the air breakdown mechanism, this DC system is easy to obtain stable DC output voltage and can be used as a power supply device for actuators and electronic device.

**Keywords:** Direct Current system; High voltage; Charge transfer; Electronic devices

## 1 研究背景

自然界中几乎所有振动发电都产生交流电(AC), 但产生的交流电不适合直接用于物联

网和电子器件。大部分产生的交流电都需要通过电子电路进行转换变成直流电给与电子器件供电。通常，传统意义的电池作为直流电源被广泛使用，但潜在风险问题包括环境污染和更换电池等复杂手续。因此，通过自然界的振动的直流发电（DC）系统成为有广泛应用潜力的巨大需求。摩擦电纳米发电机(TENG)最早在 2012 年提出并被证明是一种有效将机械能转化为电能方法。一般来说，通过两种不同极性材料摩擦起电，利用并收集相关的电荷可以很好作为发电能量源。摩擦发电的优势是产生的电压高，可以很好驱动相关电子器件，此外，摩擦电的材料选择很广，有广泛且价格便宜的场景应用需求。为了实现机械振动的直流输出，几乎所有摩擦发电需要桥式整流器与辅助电子单元来实现稳定的直流输出，但其输出直流电效率低。

为了实现稳定高效的直流输出，受启发于水车，我们提出了一种直流双交 (DC-DTENG) 机制的直流发电系统。该发电系统通过摩擦极性材料实现电荷从低电位到高电位的有效传输，然后通过静电力的排斥与吸引，实现直流发电。本系统 DC-DTENG 的性能可以实现传感，电池充电以及电子器件直接应用，具有广泛的物联网应用需求。

## 2 研究内容

基于振动的摩擦发电或其它机制的发电变成直流输出，需要桥式整流器和辅助电子组合。电子元件将降低系统发电效率。受水车输水启发，开发出从低电位到高电位的直流发电系统实现直流电的输出。具体来说是电荷单向流动的电流系统，该系统包括摩擦电材料及其电荷运输部件。其中，电荷运输的摩擦极性材料和超正介电材料滑动，导致圆盘载流子和固定层摩擦产生电荷。通过旋转滑动，载流子上电荷从低电位连续单向传输到高电位输出，输出机制是同性电荷排斥力（图 1）。

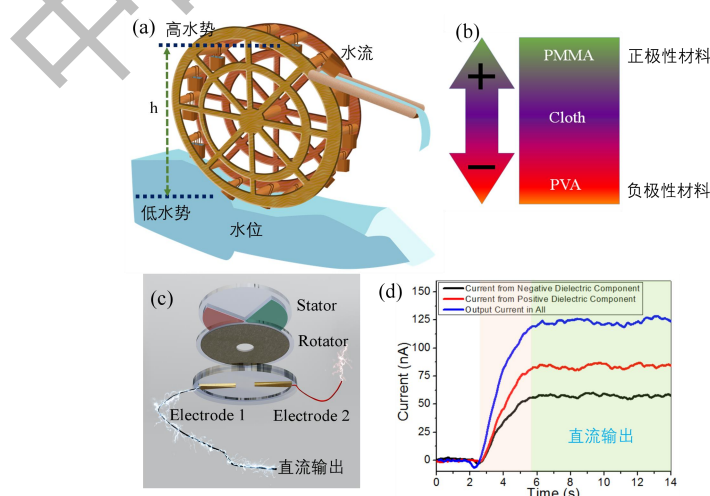


图 1 基于电荷交互运输的摩擦静电驱动式直流发电系统及其输出电流

本方案的 DC-DTENG 工作机理如图 2 所示。中性蓝色材料电荷与正负性材料摩擦时，表面产生对应正负电荷，随着蓝色材料移动，相关正负电荷到达下一个同性材料导致电荷排斥放电。由于三种不同的极性材料的排列顺序和电荷传递，电荷会被排斥放电实现直流输出。DC-DTENG 直流输出依赖于移动速度，为了更好揭示转速与其输出电性能的物理关系，实验结果发现，运输速度越快，在获得的累积电荷越多。

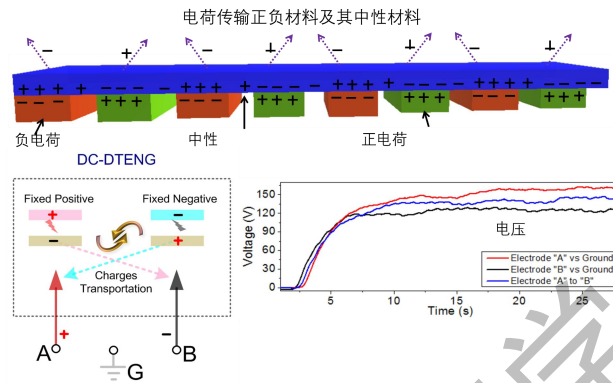


图 2 电荷产生与运输机理及其直流输出

DC-DTENG 的直流输出强烈依赖于转子和两个定子之间的相对旋转。为了揭示转速与其输出电性能的物理关系，图 3a 为 DC-DTENG 的测点(电极“a”对地和电极“B”对地)示意图。实验发现，从电极“A”获得的电荷是电极“B”的 1.2 倍。原因是负材料 PVC 和正材料 PMMA 差异。“中间材料”布料从负材料 PVC 中获得的电荷比从正材料 PMMA 中损失的电荷多。不同的曲线值意味着不同的旋转，具有良好的恢复性能。总的来说，旋转速度更快，输出电荷也更高。当在 DC-DTENG 上施加不同的外部负载，连续输出的直流电压与电流如图 3c 所示。

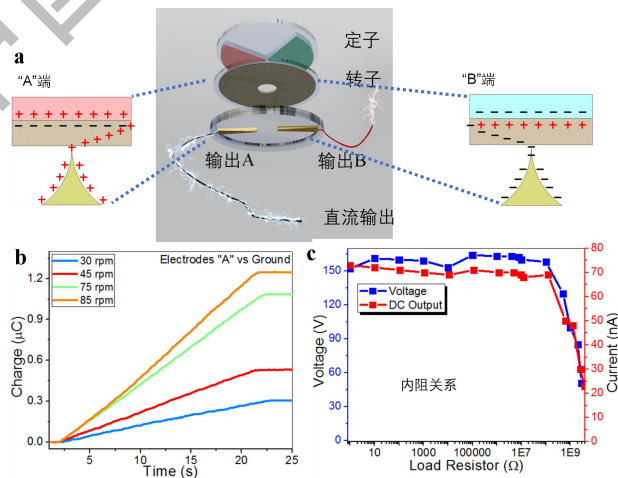


图 3 直流电输出及其系统性能

### 3 结论

提出了一种摩擦电机系统实现直流电输出,它利用双交叉的摩擦发电和电荷传输来实现电荷传输,该系统可为物联网及相关电子器件供电。具体来说,基于摩擦极性反转材料作为电荷输运载体,在负和正介电材料之间滑动,将电荷连续单向输运和排斥放电到电极上。最后,我们发现由于电荷输运和斥力放电,DC-DTENG的直流输出电压比传统空气击穿高5倍电荷放电输出。

### 参考文献

- [1] C. He, C. Han, G. Gu, T. Jiang, B. Chen, Z. Gao, Z.L. Wang, Hourglass triboelectric nanogenerator as a “direct current” power source, *Advanced Energy Materials* 7 (2017) 1700644.
- [2] J. Luo, L. Xu, W. Tang, T. Jiang, F.R. Fan, Y. Pang, L. Chen, Y. Zhang, Z.L. Wang, Direct-current triboelectric nanogenerator realized by air breakdown induced ionized air channel, *Advanced Energy Materials* 8 (2018) 1800889.
- [3] D. Liu, X. Yin, H. Guo, L. Zhou, X. Li, C. Zhang, J. Wang, Z.L. Wang, A constant current triboelectric nanogenerator arising from electrostatic breakdown, *Sci. Adv.* 5 (2019) 6437.
- [4] H. Zou, Y. Zhang, L. Guo, P. Wang, X. He, G. Dai, H. Zheng, C. Chen, A. Wang, C. Xu, Z.L. Wang, Quantifying the triboelectric series, *Nat. Commun.* 10 (2019) 1427.
- [5] J. Zhu, X. Liu, Q. Shi, T. He, Z. Sun, X. Guo, W. Liu, O. Sulaiman, B. Dong, C. Lee, Development trends and perspectives of future sensors and MEMS/NEMS, *Micromachines*, 11 (2020) 541.
- [6] J. Zhu, X. Y. Guo, D. H. Meng, M. Choi, I. Park, R. Huang, W. X. Song, A flexible comb electrode triboelectric-electret nanogenerator with separated microfibers for self-powered position, motion direction and acceleration tracking sensor, *Journal of Materials Chemistry A* 6 (2018) 16548-16555.