

# 水凝胶基方型摩擦纳米发电机在公路运输监测中的应用

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.05.007

陈卓 王盛冀 邹健  
经鑫

湖南工业大学  
包装与材料工程学院  
湖南 株洲 412007

**摘要:** 为实时监测运输过程中产品振动状态,以自制的高强韧聚丙烯酰胺/海藻酸钠双网络(PAM/SA-DN)水凝胶作为电极,弹簧作为触发器,制备水凝胶基方型摩擦纳米发电机(S-TENG),并测试S-TENG在不同振动状态下的输出信号。实验结果表明,PAM/SA-DN水凝胶的拉伸强度达371.4 kPa,断裂伸长率为547%;当振动频率分别为0.5, 1.0, 2.0 Hz时,S-TENG输出4次峰值电压信号所需时间分别为8.0, 4.1, 2.1 s;当振幅从10 mm增加到30 mm,输出电压峰值从9.0 V增加到17.5 V。此外,搭建了相关试验平台以模拟汽车通过减速带时的场景。根据输出电压信号,可以实时准确地获取小汽车通过减速带的高度及数量信息。水凝胶基方型摩擦纳米发电机传感器在公路运输监测领域有着很好的应用潜力。

**关键词:** 公路运输监测;水凝胶;摩擦纳米发电机;振动状态

**中图分类号:** TM31

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2022)05-0042-07

**引文格式:** 陈卓,王盛冀,邹健,等.水凝胶基方型摩擦纳米发电机在公路运输监测中的应用[J].包装学报,2022,14(5):42-48.

## 1 研究背景

国家统计局数据显示,公路运输承担着我国70%以上的货运量。运输中受路况、天气气候等因素的影响,产品损坏是非常常见的现象,这不仅会造成巨大的经济损失,还会影响客户和物流商之间的关系。此外,物流商为了避免产品破损,往往对产品进行过度包装,而这又造成了不必要的资源浪费。因此,迫切需要开发一种经济、有效的方式来监测产品在公路运输中受到的振动和冲击,以便于指导运输包装设计。

摩擦纳米发电机(triboelectric nanogenerator, TENG)自2012年首次被报道以来,因其设计简单,能够从环境中收集能量,具有输出性能优异、集成度高等独特优势,而在自供电设备领域中引起了广泛关注<sup>[1-3]</sup>。TENG利用摩擦起电效应和静电感应效应的耦合把微小的机械能转换为电能,可作传感器来监测外界的机械运动<sup>[4]</sup>。相较于其他传感技术,TENG的显著优势在于不需要外部电源就可输出电信号。传统的TENG多以刚性材料作为电极,这极大限制了TENG的应用领域<sup>[5-6]</sup>。为了解决这一问题,科研人员开发

收稿日期:2022-07-11

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(2020JJ4266,2021JJ40177);湖南省教育厅科学研究基金资助项目(21B0530)

作者简介:陈卓(1999-),男,湖南株洲人,湖南工业大学硕士生,主要研究方向为水凝胶基柔性传感器的制备及应用,  
E-mail: cz100520@163.com

通信作者:经鑫(1987-),女,河南商丘人,湖南工业大学教授,博士,主要从事生物可降解材料及柔性纳米器件研究,  
E-mail: jingxin@hut.edu.cn

了许多柔性材料, 例如聚合物纳米纤维<sup>[7-8]</sup>、商业织物<sup>[9]</sup>、纸张<sup>[10]</sup>、泡沫<sup>[11]</sup>等, 来制造柔性 TENG。水凝胶作为一种重要的离子导体, 由于其拥有宽泛的适用性、高导电性、可拉伸性等优异性能, 而成为制备 TENG 柔性电极的理想材料<sup>[12-15]</sup>。Pu X. 等<sup>[16]</sup>利用含有氯化锂的聚丙烯酰胺 (polyacrylamide, PAM) 水凝胶作为电极, 制备了类皮肤摩擦纳米发电机。Xu W. 等<sup>[17]</sup>通过循环冻融法制备了聚乙烯醇 (poly(vinyl alcohol), PVA) 水凝胶, 并用聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 薄膜袋和镍织物封装, 用作 TENG 的电极。在负载电阻为 10 MΩ 时, 该 TENG (8 cm × 8 cm) 的输出电压峰值和输出电流峰值分别为 200 V 和 22.5 μA。

综上, 本研究拟制备一种高强韧的聚丙烯酰胺 / 海藻酸钠双网络 (PAM/SA-DN) 水凝胶, 并将其作为 TENG 的电极材料, 组装水凝胶基方型摩擦纳米发电机 (S-TENG), 并通过搭建的模拟平台测试其检测振动和冲击的性能。通过氯化钠的盐析作用, 使海藻酸钠自缔合形成具有疏水糖环和亲水羟基的两亲性半刚性高分子链<sup>[18]</sup>, 再与聚丙烯酰胺网络形成半互穿网络结构, 然后通过  $\text{ZrOCl}_2$  溶液浸泡, 使得  $\text{Zr}^{4+}$  与海藻酸钠高分子链形成金属配位键, 得到物理交联的海藻酸钠网络。此外, 原位氧化聚合的刚性聚苯胺链会进一步提高水凝胶的导电性能以及力学强度。

## 2 实验部分

### 2.1 材料与设备

#### 1) 材料

丙烯酸酰胺 (acrylamide, AM), AR, 纯度为 99%; 氯化钠; N, N' - 亚甲基双丙烯酰胺 (N, N' - methylenebisacrylamide, MBAA), 纯度为 99%; 过硫酸铵 (ammonium persulphate, APS), AR, 纯度 >98%; 苯胺、盐酸, AR; 八水合氯化锆 ( $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), 纯度为 98%; 海藻酸钠 (sodium alginate, SA), AR, 均购于阿拉丁试剂有限公司。聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 硅胶弹性体, 道康宁公司。实验用水为去离子水。

#### 2) 设备

电子分析天平, ES1035A 型, 天津市德安特传感技术有限公司; 电化学工作站, CHI 760e 型, 上海辰华仪器有限公司; 超声波机, JP-100S 型, 深

圳市洁盟清洗设备有限公司; 真空干燥箱, DZF-6050 型, 上海捷呈实验仪器有限公司; 磁力搅拌器, MYP11-BA 型, 上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司; 电子万能试验机, EUT250 型, 深圳三思检测技术有限公司; 扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM), PW-100-515 型, 赛默飞世尔科技有限公司; 数字万用表, BK PRECISION 878B 型, 深圳市茂旭电子科技有限公司; 激振器 (SA-JZ005 型)、功率放大器 (SA-PA010 型), 无锡世教科技有限公司; 数字示波器, ZDS3034 Plus 型, 广州致远电子有限公司。

### 2.2 聚丙烯酰胺 / 聚苯胺 / 海藻酸钠 - 氯化锆水凝胶的制备

第一步: 制备聚丙烯酰胺 / 海藻酸钠 (PAM/SA) 水凝胶。先将质量分数为 3% 的氯化钠在 10 mL 去离子水中超声振荡 3 min, 使之完全溶解, 再加入质量分数为 1.5% 的海藻酸钠, 室温条件下以 50 r/min 的转速搅拌 4 h, 使其完全溶胀, 孵育过夜后, 加入质量分数为 12.5% 的丙烯酰胺, 冰浴条件下搅拌 30 min, 使其均匀分散, 然后加入质量分数为 1.7% 的过硫酸铵作为引发剂, 冰浴条件下搅拌 30 min, 加入 1% 的 N, N' - 亚甲基双丙烯酰胺作为交联剂, 冰浴条件下搅拌 10 min, 最后将溶液缓慢注入到培养皿中, 待其恢复到室温后, 进行脱气处理, 消除气泡, 密封后置于 75 °C 烘箱中交联 1 h。

第二步: 制备聚丙烯酰胺 / 聚苯胺 / 海藻酸钠 - 氯化锆 (PAM/PANI/SA- $\text{ZrOCl}_2$ ) 水凝胶。先将 0.04 mol 苯胺溶液加入至 20 mL 的盐酸溶液 (浓度为 1.2 mol/L) 中, 室温条件下搅拌至均匀分散, 再将制备好的 PAM/SA 水凝胶浸泡在上述溶液中 3 h, 使苯胺加载至水凝胶中, 然后取出水凝胶, 将其浸泡在过硫酸铵溶液中 6 h, 过硫酸铵与苯胺物质的量比为 1:1, 浸泡完毕后, 在去离子水中反复洗涤, 将未反应的单体和低聚合度的杂质除去, 最后将水凝胶在浓度为 0.3 mol/L 的八水合氯化锆溶液中分别浸泡 1, 3, 6, 12 h。所得样品命名为 PAM/PANI/SA- $\text{ZrOCl}_2$ -x, x 表示在八水合氯化锆溶液中不同的浸泡时间。

### 2.3 水凝胶基方型摩擦纳米发电机的制备

水凝胶基电极的制备: 成型硅胶中的基体 (甲基苯基硅氧烷) 和交联剂 (氰基聚硅氧烷) 以 1:1 的体积比混合, 并将其浇铸到聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 盘中以形成 1 mm 厚的薄层, 再放入烘箱中, 在

50 ℃下交联 15 min 以获得硅胶弹性体；然后将制备的 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-x 水凝胶（长 × 宽 × 高：40 mm × 40 mm × 1.5 mm）放置在弹性体表面，将导电胶带粘附在水凝胶与硅胶之间，用于与外部电路连接；最后向 PS 盘中添加硅胶预交联溶液，并置于 50 ℃烘箱中烘烤 30 min，使硅胶完全交联。

水凝胶基方型摩擦纳米发电机由空心长方体与矩形方块集成。空心长方体的大小为 6 cm × 6 cm × 5 cm，矩形方块的大小为 4 cm × 4 cm × 2 cm，弹簧高度为 4 cm。S-TENG 的组装步骤如下：先在空心长方体的顶面内部粘贴水凝胶基电极，再在矩形方块上方粘贴一层铝箔即为电极，并在其上方粘一层聚四氟乙烯（polytetrafluoroethylene, PTFE）薄膜即摩擦层，弹簧作为触发器与矩形方块相连，最后将空心长方体扣在矩形方块上，结构示意图及实物图如图 1 所示。

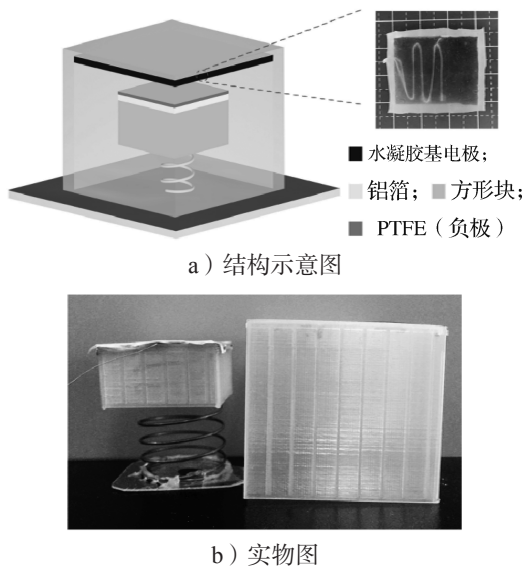


图 1 水凝胶基方型摩擦纳米发电机

Fig. 1 Hydrogel-based square triboelectric nanogenerator

## 2.4 水凝胶表征与测试

将水凝胶裁切成大小为 30 mm × 4 mm × 1 mm 的样品。采用 SEM 观察水凝胶的微观横截面形貌，扫描电压为 5 kV。测试前对冷冻干燥后的水凝胶横截面进行喷金处理 30 s，以增加样品导电性。利用电子万能试验机对样品进行拉伸测试。拉伸速率为 20 mm/min，并根据应力-应变曲线得到样品的拉伸强度以及断裂伸长率。循环拉伸测试时，应变为 300%，拉伸速率为 20 mm/min。

## 2.5 S-TENG 振动传感性能测试

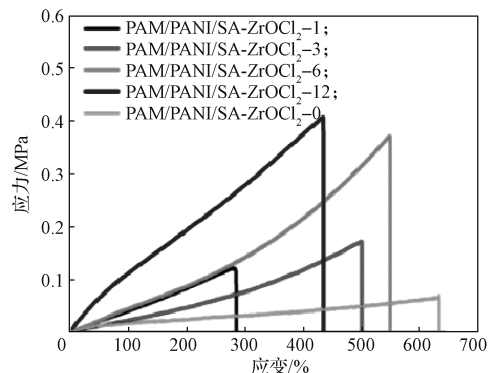
测试环境为标准大气压，温度为 20~25 ℃，相

对湿度为 35%~45%。将 S-TENG 安装在模态激振器上，通过模态激振器模拟公路运输过程中器件所受的振动，用数字示波器与 S-TENG 相连测定输出电压。

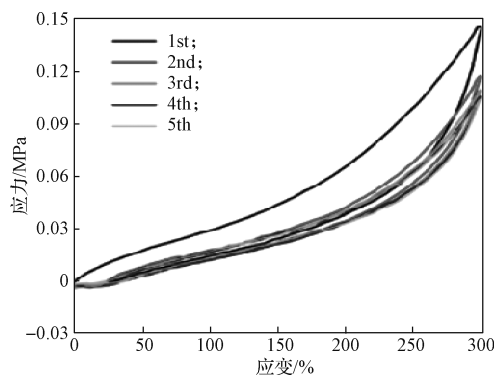
## 3 结果与讨论

### 3.1 水凝胶力学性能

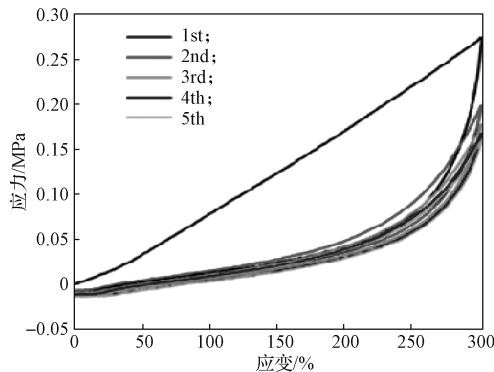
本研究对 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-x 样品进行拉伸测试实验和循环拉伸测试实验，并通过计算得到样品的拉伸强度与断裂伸长率，结果如图 2 所示。



a) 不同水凝胶样品的拉伸强度与断裂伸长率图



b) PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶的循环拉伸曲线



c) PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-12 水凝胶的循环拉伸曲线

图 2 水凝胶的力学性能测试结果

Fig. 2 Mechanical properties of hydrogels



彩图

由图 2a 可知, 1) 与 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-0 水凝胶相比, PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-1 水凝胶的拉伸强度从 71.2 kPa 增加到 121.6 kPa, 断裂伸长率从 633% 降至 283%。造成这种现象的原因是: 在 ZrOCl<sub>2</sub> 浸泡液中 Zr<sup>4+</sup> 与海藻酸钠分子链形成金属配位键, 从而在水凝胶体系中形成第二个物理交联网络, 这提升了水凝胶的拉伸强度; 浸泡过程中 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-1 水凝胶内部自由水含量增加, 出现溶胀现象, 导致水凝胶内部的海藻酸钠与聚丙烯酰胺之间的半互穿网络遭到破坏。此外, 浸泡时间太短导致物理交联网络不均匀。因此断裂伸长率出现下降。2) 随着在 ZrOCl<sub>2</sub> 溶液中浸泡时间的增加, Zr<sup>4+</sup> 与海藻酸钠分子链之间的交联网络变得均匀。PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶的拉伸强度达 371.4 kPa, 断裂伸长率为 547%; PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-12 水凝胶的拉伸强度为 407.7 kPa, 断裂伸长率为 433%。浸泡超过 6 h 后, 断裂伸长率有所降低, 这是由交联点密度过大导致的。

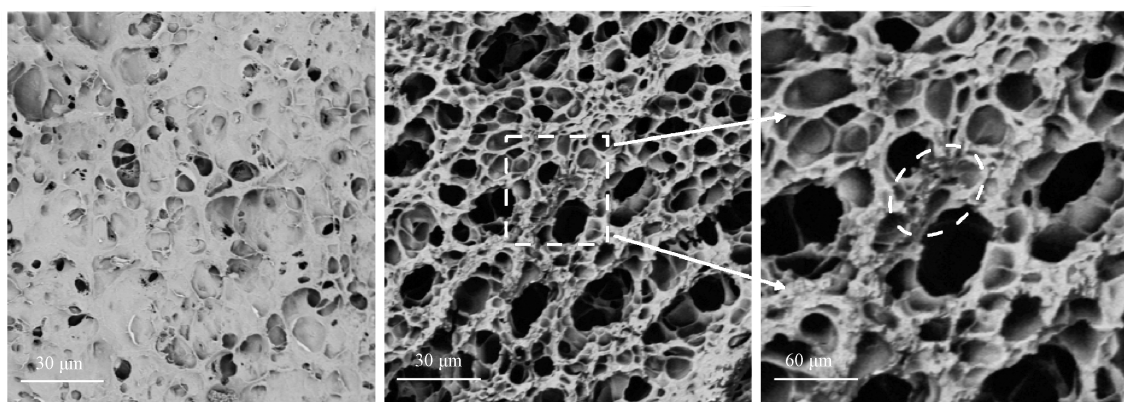
对比图 2b 和图 2c 可以看出, PAM/PANI/SA-

ZrOCl<sub>2</sub>-12 水凝胶比 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶在第一个循环具有更大的滞后环, 这表明 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-12 水凝胶有更多的金属配位键发生了断裂, 耗散了拉伸过程中的能量。值得注意的是, 两者在第一个循环中出现明显的滞后现象, 剩余的循环曲线皆具有较高的重合度, 这表明水凝胶样品在循环拉伸中展现出了优良的弹性和机械稳定性。综合考虑拉伸强度、断裂伸长率和迟滞行为后, 选取 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 作为 T-ENG 的电极材料。

### 3.2 水凝胶的微观形貌

冷冻干燥后的纯 PAM 水凝胶和 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶的微观形貌如图 3 所示。

由图 3 可知, PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶的孔洞数量明显增加, 且孔洞的直径更大。这可能是由于海藻酸钠分子链与 Zr<sup>4+</sup> 形成金属配位键, 从而形成了第二个物理交联网络, 进而与聚丙烯酰胺网络构成互穿网络结构。此外, 许多原位氧化聚合的聚苯胺附着在孔壁的褶皱和凸起处 (见图 3c 圆圈处), 这可以改善水凝胶的导电性和传感性能。



a) 纯 PAM 水凝胶

b) PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶

c) 局部放大图

图 3 纯 PAM 水凝胶和 PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 水凝胶的 SEM 图

Fig. 3 SEM image of pure PAM hydrogel and PAM/PANI/SA-ZrOCl<sub>2</sub>-6 hydrogel

### 3.3 S-TENG 振动传感性能

模态激振器的振动幅度设定为 20 mm。实际运输过程中不会产生较高的振动频率, 因此调整输入模态激振器的电流时, 控制振动频率的范围在 0.5 ~ 2.0 Hz 之间。不同振动频率下, S-TENG 输出的开路电压信号如图 4a~c 所示。由图可知, S-TENG 输出的开路电压信号出现的次数随着振动频率的增加而增加。振动频率为 0.5, 1.0, 2.0 Hz 时, 收集四个峰值开路电压信号所需时间分别为 8.0, 4.1, 2.1 s 左右。这说

明在 S-TENG 中, PTFE 薄膜与硅胶每发生一次接触均会产生电压, 通过分析电压出现的频率可实现振动频率的监测。振动频率从 0.5 Hz 逐渐增大到 2.0 Hz 时, S-TENG 的开路电压峰值基本保持不变, 维持在 12.5 V 左右。这是因为开路电压峰值只与转移电荷密度、电极分离距离有关, 前者与电极材料有关, 后者因只有振动频率改变, 振幅未变, 故 S-TENG 的输出电压未发生变化。

此外, 本研究还测试了振动频率为 1.0 Hz 时,

S-TENG 对不同振幅 (10, 20, 30 mm) 的响应, 测试结果如图 4d~f 所示。由图可知, 随着振幅的增大, S-TENG 的开路电压峰值逐渐增大, 分别为 -9.0, -13.0, -17.5 V 左右。其原因可能是: 振幅增大会

导致弹簧的压缩量增大, 促使两电极间的最大分离距离变大; 振幅增大还会导致电极间的接触压力增大, 促使接触面积增大, 从而获得更大的转移电荷密度。

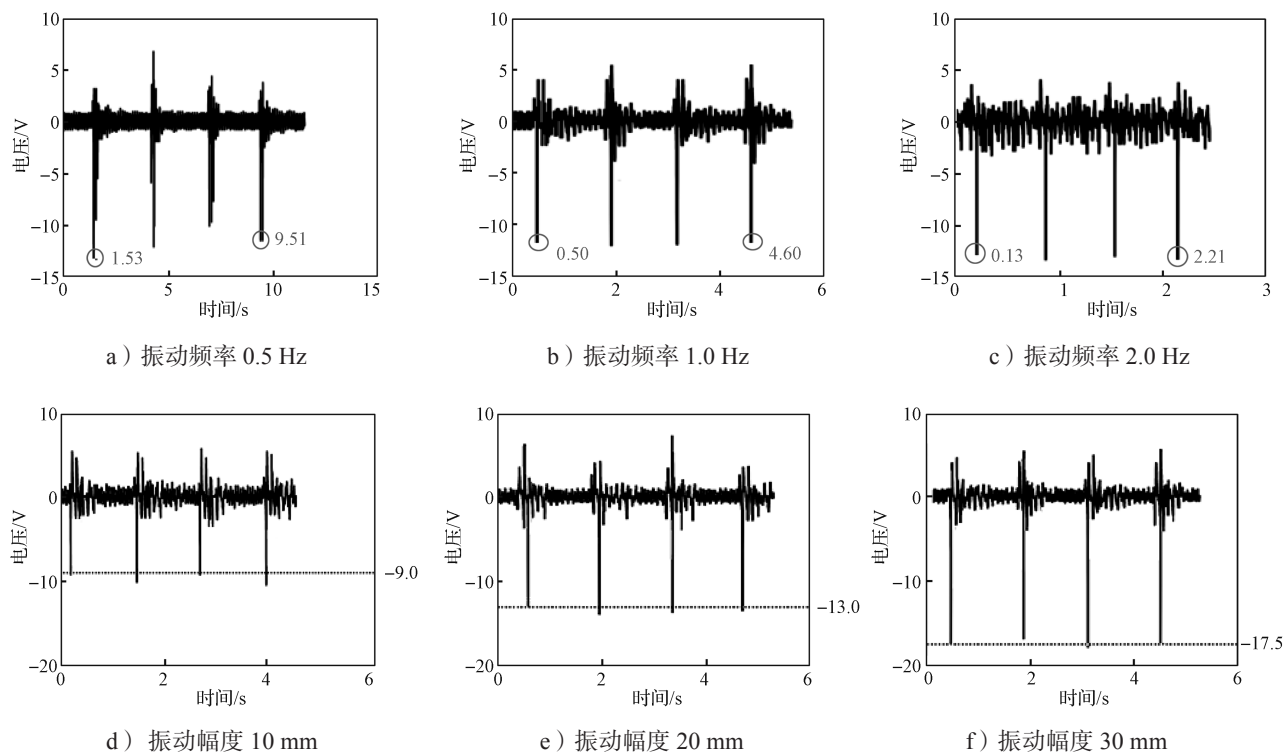


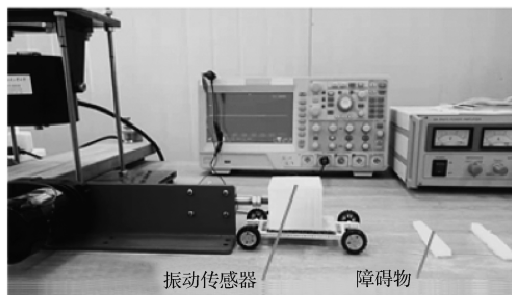
图 4 S-TENG 传感性能测试结果

Fig. 4 Sensing performance test of S-TENG

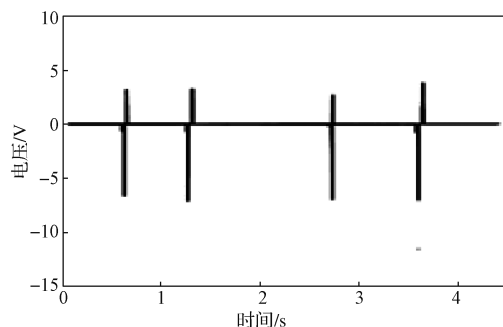
### 3.4 S-TENG 在包装运输中的应用

将设计的 S-TENG 安装在小车上, 以直线往复电机作为动力源, 推动小车向行驶。为模拟公路运输过程中货车通过减速带的场景, 在小车行驶道路上设置了一定数量的泡棉障碍物, 如图 5a 所示。图 5b 显示了小车在经过两条泡棉时的开路电压峰值

变化情况。当小车的前轮通过第一条泡棉时, S-TENG 在振动的作用下两电极发生第一次接触分离, 产生 6 V 左右的开路电压峰值, 随后小车继续向前行驶, 当后轮经过泡棉时, 两电极发生第二次接触分离, 产生第二个电信号。小车通过两条泡棉后, 采集到 4 个开路电压峰值, 这与小车的振动情况相符。



a) 模拟平台



b) S-TENG 的输出信号

图 5 模拟平台及测试结果

Fig. 5 Simulation platform and test results

## 4 结论

本研究通过氯化钠对海藻酸钠的盐析作用以及海藻酸钠分子链与  $Zr^{4+}$  形成的金属配位键, 制备了一种高强韧的聚丙烯酰胺/海藻酸钠双网络水凝胶, 再用硅胶封装作为电极, 组装成水凝胶基方型摩擦纳米发电机 (S-TENG)。在 0.5, 1.0, 2.0 Hz 的低频振动条件下, S-TENG 的输出信号与外界振动频率具有高度的一致性。此外, 在 1.0 Hz 振动下, 当振幅从 10 mm 增加到 30 mm 时, S-TENG 输出的开路电压峰值相应的从 9.0 V 增加到 17.5 V。模拟货车经过减速带的实验结果表明, 根据 S-TENG 输出的电信号可以得到货车经过减速带的振动情况。可见, S-TENG 在包装运输监测领域具有广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] WANG J Y, DING W B, PAN L, et al. Self-Powered Wind Sensor System for Detecting Wind Speed and Direction Based on a Triboelectric Nanogenerator[J]. ACS Nano, 2018, 12(4): 3954-3963.
- [2] WANG S J, JING X, MI H Y, et al. Development and Applications of Hydrogel-Based Triboelectric Nanogenerators: A Mini-Review[J]. Polymers, 2022, 14(7): 1452.
- [3] XU L, JIANG T, LIN P, et al. Coupled Triboelectric Nanogenerator Networks for Efficient Water Wave Energy Harvesting[J]. ACS Nano, 2018, 12(2): 1849-1858.
- [4] 杨平, 汪鹏飞. 基于 PDMS 薄膜的高性能摩擦纳米发电机研究[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50(2): 89-92.  
YANG Ping, WANG Pengfei. Study on the High Output Performance of PDMS Film Based Triboelectric Nanogenerator[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2021, 50(2): 88-92.
- [5] CHORTOS A, LIU J, BAO Z N. Pursuing Prosthetic Electronic Skin[J]. Nature Materials, 2016, 15(9): 937-950.
- [6] ROGERS J A, SOMEYA T, HUANG Y G. Materials and Mechanics for Stretchable Electronics[J]. Science, 2010, 327(5973): 1603-1607.
- [7] CHEON S, KANG H, KIM H, et al. High-Performance Triboelectric Nanogenerators Based on Electrospun Polyvinylidene Fluoride-Silver Nanowire Composite Nanofibers[J]. Advanced Functional Materials, 2018, 28(2): 1703778.
- [8] FENG P Y, XIA Z K, SUN B B, et al. Enhancing the Performance of Fabric-Based Triboelectric Nanogenerators by Structural and Chemical Modification[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2021, 13(14): 16916-16927.
- [9] 徐红霞. 一种摩擦纳米发电机及其制备方法[J]. 中华纸业, 2021, 42(24): 55-58.  
XU Hongxia. Friction Nano Generator and Preparation Method Thereof[J]. China Pulp & Paper Industry, 2021, 42(24): 55-58.
- [10] WU C X, KIMA T W, SUNG S, et al. Ultrasoft and Cuttable Paper-Based Triboelectric Nanogenerators for Mechanical Energy Harvesting[J]. Nano Energy, 2018, 44: 279-287.
- [11] WU M, GAO Z, YAO K, et al. Thin, Soft, Skin-Integrated Foam-Based Triboelectric Nanogenerators for Tactile Sensing and Energy Harvesting[J]. Materials Today Energy, 2021, 20: 100657.
- [12] GUAN Q B, LIN G H, GONG Y Z, et al. Highly Efficient Self-Healable and Dual Responsive Hydrogel-Based Deformable Triboelectric Nanogenerators for Wearable Electronics[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2019, 7(23): 13948-13955.
- [13] LEE Y, CHA S H, KIM Y W, et al. Transparent and Attachable Ionic Communicators Based on Self-Cleanable Triboelectric Nanogenerators[J]. Nature Communications, 2018, 9: 1804.
- [14] 谢智晖, 马振萍, 夏志柯, 等. 一种抗冻、可拉伸有机水凝胶的制备及在柔性应变传感器中的应用[J]. 包装学报, 2021, 13(6): 73-80.  
XIE Zhihui, MA Zhenping, XIA Zhike, et al. Fabrication of a Freezing-Tolerant and Stretchable Composite Organohydrogel for Flexible Strain Sensors[J]. Packaging Journal, 2021, 13(6): 73-80.
- [15] 陈卓, 马振萍, 经鑫. 锯齿状水凝胶传感器的制备及传感性能[J]. 包装学报, 2021, 13(2): 81-88.  
CHEN Zhuo, MA Zhenping, JING Xin. Preparation and Sensing Performance of Zigzag Hydrogel Sensors[J]. Packaging Journal, 2021, 13(2): 81-88.
- [16] PU X, LIU M M, CHEN X Y, et al. Ultrastretchable, Transparent Triboelectric Nanogenerator as Electronic Skin for Biomechanical Energy Harvesting and Tactile Sensing[J]. Science Advances, 2017, 3(5): e1700015.
- [17] XU W, HUANG L B, WONG M C, et al. Environmentally Friendly Hydrogel-Based Triboelectric Nanogenerators for Versatile Energy Harvesting and Self-Powered Sensors[J]. Advanced Energy Materials, 2017, 7(1): 1601529.

- [18] ZHANG X, SHENG N, WANG L, et al.  
Supramolecular Nanofibrillar Hydrogels as Highly  
Stretchable, Elastic and Sensitive Ionic Sensors [J].

Materials Horizons, 2019, 6(2): 326–333.

(责任编辑: 邓 彬)

## Application of Hydrogel-Based Square Triboelectric Nanogenerator in Road Transportation Monitoring

CHEN Zhuo, WANG Shengji, ZOU Jian, JING Xin

( College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China )

**Abstract:** In order to real-time monitor the vibration state of the products during transportation, a hydrogel-based square triboelectric nanogenerator (S-TENG) was prepared using self-made high-strength and strong polyacrylamide/sodium alginate dual-network (PAM/SA-DN) hydrogel as electrode and a spring as trigger, and the output signal of S-TENG under different vibration states was tested. The experimental results show that the tensile strength of PAM/SA-DN hydrogel was up to 371.4 kPa, with the elongation at break of 547%. When the vibration frequency was 0.5 Hz, 1.0 Hz and 2.0 Hz, the required time for the S-TENG to output the peak voltage was 8.0 s, 4.1 s and 2.1 s, respectively. When the vibration amplitude was increased from 10 mm to 30 mm, the peak output voltage was increased from 9.0 V to 17.5 V. In addition, a platform was built to simulate the scenario of a car passing through speed bumps. The height and number data of the speed bumps were accurately obtained according to the output voltage signal. Therefore, the S-TENG has promising application potential in road transportation monitoring.

**Keywords:** road transportation monitoring; hydrogel; triboelectric nanogenerator; vibration state