

# 热电水凝胶：能用在机器里还能穿上身

热电水凝胶是一种具有优异热电性能的材料，被广泛应用于热电转换器件和热电散热器器件等。因其具有柔性可拉伸特性，通过人为设计可制备成软硬不同、薄厚不同、颜色不同的材料，甚至可以制作成与皮肤表面共形贴合的薄膜。

人类对热能的利用效率只有30%左右，大部分的热会以废热的形式在环境中耗散，其中2/3的废热温度低于200℃，有效回收低品位废热对可持续发展具有重要意义。

由于具有比电子热电材料高2至3个数量级的热电压，以准固态凝胶为代表的热电水凝胶等离子热电材料备受关注。

热电水凝胶材料具有哪些良好性能？未来还有哪些应用？

## 一种具有优异热电性能的材料

热电水凝胶是一种具有优异热电性能的材料，被广泛应用于热电转换器件和热电散热器器件等。因其具有柔性可拉伸特性，通过人为设计可制备成软硬不同、薄厚不同、颜色不同的材料，甚至可以制作成与皮肤表面共形贴合的薄膜。

太原理工大学电子信息与光学工程学院张虎林教授介绍，当把热电水凝胶材料置入有温度梯度的环境中，材料中氧化还原对的热伏效应会在材料两端形成电化学电位差。如果敷设上电极，器件两端就会产生电极电位差，即形成电压差。

热电水凝胶的制备方法多种多样，大致可以分为物理交联法和化学交联法两类，具体制备方法常见的有溶胶-凝胶法、电泳法、聚合法等。

太原理工大学硕士研究生杨航介绍，她所在的研究团队目前常用的制备方法为溶胶-凝胶法，即选择适当的溶剂，将所需的热电材料溶解其中，形成胶体溶液。在适当的条件下，通过热处理或者其他方法，将胶体溶液转化为热电水凝胶。

“聚合法也是一种化学方法，通过在单体溶液中加入交联剂、引发剂等化学试剂，使其发生自由基聚合反应而形成热电水凝胶。而电泳法则通过给胶体溶液通电，使其在外加电场的作用下发生聚合。”杨航说。

## 在日常生活中应用领域十分广泛

热电水凝胶材料在日常生活中有着很多应用案例，如热电发电机就是利用热电效应，将热能转化为电能的装置。在热电发电机中，热电水凝胶作为热电材料可以将废热转化为电能。

武汉大学刘抗研究员、胡雪蛟教授团队曾设计开发了一种智能热

电水凝胶，将该水凝胶薄膜贴覆于发热元件，一方面可直接将废热回收转化为电能，另一方面，水凝胶内部的水分会快速蒸发带走热量，降低器件温度。同时，当器件停止工作后，水凝胶薄膜又会从周围的空气中吸收水分，自发实现往复利用。

与此同时，热电水凝胶还可以应用于温度传感器中，用于测量温度。由于热电水凝胶的热电性能与温度密切相关，因此可以通过测量热电水凝胶的电压差来确定温度的变化。这种基于热电水凝胶的温度传感器具有响应速度快、精度高等优点。

结合热电水凝胶的特性，张虎林团队探索的利用热电水凝胶实现无源可穿戴运动监测，也是热电水凝胶具有前景的应用方向之一。

该团队研发的柔性可食用水凝胶敏感单元，可以用来监测婴儿身体表面的生物压力。“我们将传感器附着在婴儿衣物以及皮肤上，11个压强传感器分别覆盖在胸部、手、膝盖、脚、颈部、背部、手腕和臀部等重点部位。我们预先收集了特定运动模式的信号，例如翻身、抱婴儿、拍背和鼓掌，并基于这些信号特征开发深度学习算法，可以快速准确识别婴儿的活动状态。”张虎林介绍。

尽管国内关于无源可穿戴运动监测研究还相对较少，但热电水凝胶材料可以直接贴合于皮肤或衣物，敏感单元可大可小，为无源可穿戴运动监测提供了无限可能。

南开大学马儒军教授课题组就曾设计了一种基于拉伸诱导结晶和热电化学效应的高热电性能的强韧可拉伸热电水凝胶，该项研究克服了传统准固态热电池力学强度低的限制，同时优化了热电性能，为设计具备高效热电转换以及灵活可靠的可穿戴电子设备提供了可行方案。

谈及热电水凝胶材料的发展，张虎林表示信心满满。“未来我们将立足于现有的研究成果，结合自身专业特长，不断提升信号转换稳定性，开发更适合的信号处理算法，发

展一系列无源智能可穿戴器件。相信实现产业化就在不久的将来。”张虎林说。

## 链接

### 新型凝胶可实现光、热、电的转换

日前，太原理工大学电子信息与光学工程学院张虎林教授团队制备了一种光驱动柔性热电水凝胶，凝胶部分由聚乙烯醇、聚二甲基硅氧烷聚合物网络与二价铁离子/三价铁离子氧化还原对组成。该成果发表在《化学工程学报》上。

团队人员在传统热电水凝胶材料的基础上，制备了一种光驱动柔性热电水凝胶贴片。该成果采用了双层结构，上面一层由聚二甲基硅氧烷聚合物组成，并掺入二氧化硅包覆的金纳米颗粒，利用局域表面等离子体共振效应实现光热转换。下层为聚乙烯醇网络与二价铁离子/三价铁离子氧化还原对组成的薄膜，并掺入聚二甲基硅氧烷聚合物颗粒来降低电导率。“可见光的波长大概为400纳米到800纳米，当聚二甲基硅氧烷聚合物网络中的金纳米颗粒表面电子整体振动频率与可见光大致匹配，可以和可见光之间发生共振并吸收光子能量，实现光到热的转换。”张虎林解释。

张虎林介绍，热电水凝胶材料除有机框架之外，70%以上都由水组成。在北方等地区，因为干燥的气候条件很容易使热电水凝胶材料失水，从而影响其热电转化效率。

“保证水分不流失，是提升热电水凝胶性能稳定性的关键。”张虎林表示，目前国内从事热电水凝胶材料研究的团队相对较少，可借鉴经验相对不足。在这项研究中，团队历经几个月的摸索，通过调整材料内在物理化学结构，以及在外部封装防止水分蒸发两种方式，降低了材料的失水率。（韩荣）

## 我国学者研发出新型柔性声学超表面功能器件

日前，据中国科学院深圳先进技术研究院消息，该院研究员郑海荣与华中科技大学教授祝雪丰、杨光等合作，研发出新型柔性声学超表面功能器件，该器件在高/超分辨医学成像、精准操控给药和可穿戴器件等领域具有重要应用前景。相关成果发表在《自然·通讯》上。

“以往声学超表面结构通常是刚性且固定的，厚度在0.001-0.1米量级，而且这些超表面的工作频率通常比较低，高频高性能应用受限。”郑海荣介绍，当超表面的工作媒介为水等液体介质时，不可避免的固液耦合引起的结构振动，还会导致所设计的声学超表面器件失效等。

据了解，该新型柔性声学超表面功能器件基于二氧化硅纳米颗粒修饰的细菌——纤维素柔性超表面元材料研发，使得器件有超疏水性，能够有效防止水滴在其表面停留。同时器件还有稳定性，纳米级的二氧化硅颗粒与细菌——纤维素结合，形成具有三维结构的纤维网络，其机械加工性能精度可达约10微米。

此外，得益于该种超表面元材料的超声绝缘性，研究者们还设计制造出超薄、超轻的芯片级声学器件。如非局域全息超透镜和三维成像超透镜，实现了复杂全息声场和远场高分辨三维超声脉冲——回波成像。（罗云鹏）

## 以黑玉米芯为原料提取高纯度花青素

日前，据东北林业大学消息，该校化学化工与资源利用学院史宝利教授团队在用黑玉米芯为原料提取花青素研究方面取得重大进展，提取花青素粉末最高纯度达到77%。

玉米是全世界种植面积最广、产量最大的粮食作物之一。黑玉米因其籽粒角质层中含有花青素而显现紫黑色或乌黑色，在我国黑龙江、吉林、辽宁、山东、山西等省份均有种植，每年有大量黑玉米芯作为农业废弃物被丢弃。

花青素具有抗氧化、维持视力健康等多种功效。此前花青素多从蓝莓等浆果中提取，提取成本高、纯度较低、价格高。为了变废为宝，打造附加值高的绿色产品，史宝利团队经过四年研发，利用多种膜分离组合技术，成功从黑玉米芯中提取出花青素。团队提取的花青素粉末中，花青素平均纯度为66%，最高纯度达到77%。此前，商业销售花青素粉末纯度一般在20%-40%。

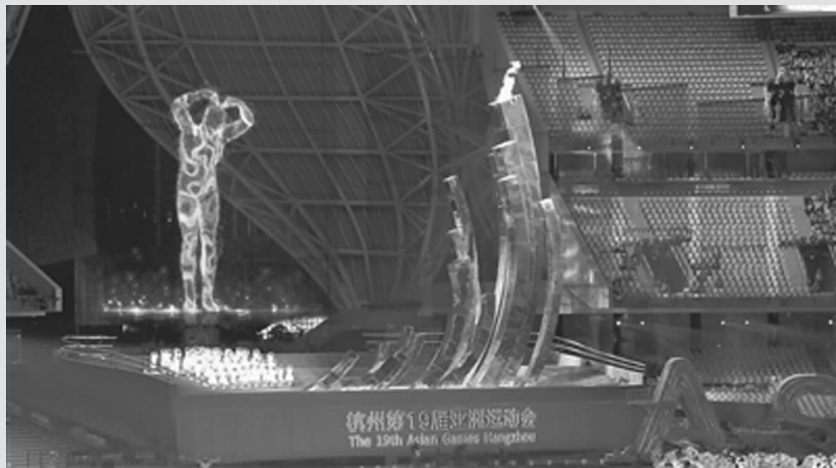
史宝利介绍，研究团队自主设计了超滤膜分离装置等多台设备，并建立了中试生产线，技术提取成本低、产品纯度高。目前除高纯度花青素粉末外，团队还开发出花青素胶囊、片剂、果冻等下游产品。（李丽云）

## 机器人出马 电网检修更安全、更高效

据国网海东供电公司消息，日前，在青海省海东市互助土族自治县10千伏互五路20号杆处，国网海东供电公司配电带电作业班运用配网带电作业机器人顺利完成带电剪除废旧引线作业。这是该公司首次开展配网带电作业机器人作业项目，标志着海东电网10千伏带电作业进入了智能化时代。

配网带电作业机器人集成了智能感知、图像识别等先进技术，可通过机械臂完成导线展开剥皮、安装接地环及断、接引线等复杂动作，能替代人工在各类环境下进行配网不停电作业，具有智能化、效率高、扩展性强和安全可靠等特点。相较于传统的带电作业模式，配网带电作业机器人作业时工作人员只需要在地面，通过操作平板电脑即可实现远程控制。

“带电作业机器人的使用，实现了带电作业工人与高压电的零接触，在保障安全作业的同时，减少了每次外出作业人员数量，节省了人力成本，让配网带电作业更具安全性、通用性。”海东供电公司输配电运检中心主任徐尚通介绍。（张蕴 李永鹏 马正龙）



## 第十九届亚洲运动会在杭州圆满闭幕

10月8日晚，第十九届亚运会闭幕仪式在杭州奥体中心体育场举行。

图为主火炬熄灭仪式上，数字火炬手——“弄潮儿”现身并向全场观众比爱心。

周维海 摄