



寻材问料

筑起耐1200℃高温的电芯间隔热“防火墙”

◎本报记者 金凤

刚刚迎来新学期，南京工业大学沈晓冬教授团队就已忙得不可开交。大家扎在实验室里、盯在生产线上，专注于一种新材料的研究，希望能让其以更轻薄的“身材”和更低的成本，在耐受更高温度的同时又能隔热。

此前，该团队首创并量产的耐1200℃高温氧化硅气凝胶材料已成功应用于锂离子电池芯组间的隔热，为芯组筑起一道高性能“防火墙”。

气凝胶是一种三维网络结构的纳米材料，具有低密度、高比表面积和低热导率等优异性能。自诞生之日起，气凝胶便是“明星”材料，20世纪90年代起更享有“十大新材料之首”的美誉。

2000年起，沈晓冬团队开始研究氧化硅气凝胶。研究团队最初采取的制备方法，是使正硅酸四乙酯放入溶液中搅拌水解成的氧化硅水合粒子在静电作用的簇拥下凝胶。但氧化硅气凝胶高温结构稳定性不强，成为了摆在沈晓冬团队面前的难题。

为了提高氧化硅气凝胶材料的高温结构稳定性，沈晓冬提出了提高气凝胶骨架强度、用陶瓷纤维作为基材等新创意，但填充气凝胶纳米孔隙的酒精又拖了后腿。实验表明，纳米孔隙中饱含的酒精在制备过程中的分离干燥环节会产生巨大张力，而这会让气凝胶的网络结构面临崩塌的风险。

如何有效地保护气凝胶内部薄如蝉翼的网状结构？用气体填充，成为一个大胆的想法。

沈晓冬介绍，空气是热的不良导体，而气凝胶中的空气被网络撑住了“脚”，无法流动，因此氧化硅气凝胶的热导率更低，成了隔热“明星”。

干燥釜内的二氧化碳在超临界状态下会同时拥有液态和气态特征，气液界面消失就没有表面张力。于是，研究团队利用这一特点，在超临界状态下“秒”抽酒精，由空气代替酒精入驻气凝胶纳米孔隙，保护凝胶的网状结构。

“我们在动力电池每两个电芯组之间放入新研发的气凝胶材料，并通过引爆其中一块电芯，来考验在气凝胶保护下的其余四块测试电芯能否抵御高温失控的危险。”南京工业大学仲亚副教授介绍，经过多次试验，他们发现电芯被引爆后高达1200℃的火焰没有突破气凝胶所筑就的“防火墙”，祸及其他电芯。

气凝胶材料作为一种绿色环保新型材料，可广泛应用于石油化工、电力工业、井下作业、城镇热管和建筑节能等领域，深受市场欢迎。沈晓冬介绍，市场对动力电池和储能电池安全性要求的不断提升，也让这款新型气凝胶材料蕴含着巨大的社会经济效益。

超亲水纳米纤维油水分离膜可生物降解减少污染

科技日报（记者李丽云 通讯员张玉芹）9月10日，记者从哈尔滨工业大学获悉，该校威海校区海洋科学与技术学院中欧膜技术研究院马军院士团队，通过静电纺丝技术获得可生物降解的超亲水纳米纤维油水分离膜，突破了传统聚合物分离膜废弃后二次污染的瓶颈，成果日前发表在《科学进展》期刊上。

工业含油废水排放对生态系统和人类健康构成重大威胁，并严重破坏全球水—食物—能源链条。目前实现油水分离主要依靠超亲水有机高分子材料，在材料表面形成水化层，防止油通过。但是现有的油水分离膜中，超亲水膜材料大多来源于化石资源，膜废料常通过填埋或焚烧处置，管理不当会产生微塑料等二次污染，不利于生态环境的可持续发展。

此项研究中，团队利用可生物降解的超亲水膜静电纺丝的策略，制备出环境友好的超亲水聚乳酸纳米纤维膜。“该项策略使聚乳酸和聚氧化乙烯凝胶形成交联结构，通过控制静电纺丝参数并设计非对称结构，得到高渗透通量、高分离效率且可生物降解的超亲水聚乳酸纳米纤维膜，该膜分离效率超过99.6%。”论文第一作者、哈尔滨工业大学威海校区海洋科学与技术学院特聘教授程喜全告诉记者，该种膜在使用条件下性能稳定，在蛋白酶K处理下1周内可实现生物降解，为聚合物油水分离膜的制备提供了一条绿色低碳发展的新途径。

据介绍，该种膜的制备策略为新一代高性能聚合物膜提供了通用亲水改性方法，同时对含油废水的高效快速分离纯化提供了前瞻技术支持。

我学者研发出新型柔性声学超表面功能器件

科技日报（实习记者罗云鹏）9月10日，记者从中国科学院深圳先进技术研究院获悉，该院研究员郑海荣与华中科技大学教授祝雪峰、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一回波成像。

本版图片由视觉中国提供

具有较高的热电压 可制成与皮肤表面共形贴合的薄膜

热电水凝胶：能用在机器里还能穿上身

◎本报记者 韩荣

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？带着这些问题，记者采访了相关专家。

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，广泛应用于热电转换器件和热电散热器等。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势差。如果敷设上电极，器件两端就会产生电极电势差，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，她所在的研发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。而电泳法则是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。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电池学强

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，凝胶部分由聚乙炔醇、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。下层为聚乙炔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热导率。“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。

给杨木重组木穿上疏水“防护衣”

◎本报记者 赵汉斌

在金属材料领域，超疏水金属表面早已取得成功。然而在工程木质材料领域，要想在重组木表面构建超疏水功能，长期以来是一个巨大挑战。

受黑莓果实表面形态及其多级结构的启发，近日西南林业大学高伟教授团队成功制备出杨木重组木新材料，并赋予其超强抗紫外线、超疏水和疏水自恢复功能，进一步拓展了重组木质材料的应用领域。

在重组木表面构建超疏水功能难度大

已有研究证实，不进行表面化学修

饰，就可在金属表面构建出微米级分级结构，实现金属表面的超疏水改性；金属表面也可直接通过氧化反应生成金属氧化物，再联合结构调控技术即可制备出无低表面能物质参与的超疏水表面。

但要实现重组木表面超疏水，却并非易事。1973年，澳大利亚科学家约翰·道格拉斯·科尔曼第一次提出“重组木”的概念，即“不打乱纤维的排列方向，保留木材的基本特性，进而重新组成具有木骨架那样强度的产品”。高伟告诉记者，相比超疏水金属表面，在重组木表面构筑纳米的粗糙结构具有更大挑战。一是重组木表面密度更高、初始粗糙度更低，难以用喷涂等常规加工方法在其表面构筑超疏水功能；二是常规户外木器涂料用于重组木表面涂饰后，在遭受温湿度变化、紫外线长时间照射

时，会发生保护功能的永久性丧失。

“重组木材料主要是以人工林木材、竹材和灌木等生物质资源为原材料，采用纤维定向分离技术制备重组单元，经树脂浸渍、干燥和成形压制而成的一种材料。”参与项目实验工作的西南林业大学硕士研究生姜海秋介绍。

近年来，高伟团队聚焦木质先进功能材料基础研究和应用开发，在实木锯材、工程木质复合材料表面超疏水、自清洁、抗紫外线、抗老化等先进功能材料方面展开了系列研究。团队通过研发创新，目前已形成疏水多功能改性重组竹、重组木两大类系列产品。

杨木重组木在木结构及户外建筑等领域使用广泛，但杨木会因水分变化而出现各种问题，导致其物理力学性能降低。“在杨木重组木表面成功构筑超疏水功能，赋予木材抗污、抗紫外线、自清洁等功能的同时，还可对其他工程木质材料超疏水改性研究提供理论和技术参考。”高伟说。

作为室外用材可延长建筑使用寿命

自然界中，黑莓果实由许多小单果聚生而成，每一粒小单果包裹一颗种子，果实在成熟后圆润饱满，耐紫外线照射、不易积水、不易“招惹”真菌，看起来颗粒分明，黑亮诱人。

受黑莓果实实貌及多级结构启发，高伟团队在不使用低表面能物质改性的情

况下，在杨木重组木表面原位合成全黑莓状或黑莓和八面体混合结构，以及部分规则簇状结构的铜化合物纳米颗粒。在显微镜下看，如同给杨木重组木穿上一件缀满黑莓成熟果实的外衣，首次在杨木重组木上实现了超疏水和自恢复功能。

“这种‘穿上新衣’的杨木重组木新材料，暴露在紫外线下1920小时后，仍保持着超疏水状态。此外，在超疏水功能丧失后，通过简单的加热处理或大气环境放置即可恢复超疏水功能。”西南林业大学汤正捷博士说。

在西南林业大学木质先进功能材料创新研究团队实验室，记者看到用细流水轻轻一冲，即可将超疏水杨木重组木表面的尘垢全部带走；将其置于墨汁等污水中，取出后表面洁净如初。

“该材料具有极强的拒水性，因此作为室外用材可延长建筑的使用寿命。”姜海秋介绍。此外，超强的抗紫外线性能，使其长时间暴露在恶劣环境中仍能避免因光照老化引起的物理力学性能的降低，同时该材料还具有防污、防腐、防霉等功能。为此，这种重组木制品可作为建筑材料，广泛应用于景观木结构建筑、木质护栏、木质栈道、户外木地板、建筑外墙等。”

“最为难得的是，制备超疏水杨木重组木的方法简单、成本低，在进一步优化工艺流程后，即可实现规模化生产。”高伟说，该杨木重组木新材料所用制备方法及技术同样可应用于其他基材表面，具备一定的普适性，整体技术具有产业化应用前景。



工人为公园内的木质栈道做防腐处理。