



碳纳米管：《三体》中“纳米飞刃”的原型

◎本报记者 陈曦

近日，由刘慈欣小说改编的电视剧《三体》收官，不过《三体》的热度仍在延续。其中剧中有一种名为“纳米飞刃”的纳米材料，只有头发丝的十分之一粗细，肉眼看不见，但却可以切割钢铁和各种硬物，无坚不摧。别看“纳米飞刃”那么神奇，其实它的原型就是大名鼎鼎的碳纳米管。

制备完美碳纳米管条件严格

被誉为“二十世纪最神奇的纳米材料”之一的碳纳米管是材料大家族中的一员。

“碳纳米管就是管状的纳米级石墨晶体，分为单壁和多壁碳纳米管。”天津大学材料科学与工程学院纳米及复合材料研究所的沙军威副教授解释，碳原子以不同的排列方式形成各种材料，堆叠在一起就是石墨，剥离出来单层的二维材料就是石墨烯，而把石墨烯片层卷成管状就是碳纳米管。

“在《三体》中，‘纳米飞刃’切割硬物于无形体现了碳纳米管一个重要特性——轻质高强。”沙军威介绍，之所以这么细的碳纳米管能有如此高的强度，主要是碳纳米管由碳键组成的六元环结构完美连接，要想破坏掉碳纳米管，就必须让碳键发生断裂，这需要提供很高的能量才能实现。

正因如此，碳纳米管有着极高的拉伸强度、杨氏模量和断裂伸长率。碳纳米管的理论强度可以达到钢铁的100倍，同时碳纳米管的密度又非常低，只有钢的1/6。

“因此从理论上讲，‘纳米飞刃’是可以实现的。”沙军威说，不过在现实中，要做出“纳米飞刃”却很难。

难度主要体现在哪些方面？以目前的工艺水平，很难制造出长程完美的原子排列结构。“纳米飞刃”直径只有一纳米，但是长度确有一百米，别说100米，就算是只有1米，和直径相比，两者之间也相差了9个数量级。相当于一根1毫米粗的绳子要100万米长。而且要保证绳子不断，这就要求这100万米没有一个缺陷。

“目前在实验室制备碳纳米管使用的是化学气相沉积法。如果要获得完美的碳纳米管，需要有非常稳定的气流，不能有一点扰动，这也是非常难的。”沙军威表示，

仿生结构在内、“黄金薄膜”在外

给“兔毛”镀“金”，复合纤维隔热又耐用

◎洪恒飞 张若娴 本报记者 江耘

皮毛是哺乳动物适应环境温度的秘密武器。比如兔毛之类的天然纤维，具有优异的隔热性能、弹性和其他机械性能，其隔热功能主要来源于其特殊的空心结构或多孔结构。

2月27日，科技日报记者从浙江理工大学获悉，该校博雅琴教授团队通过静电纺丝和浸渍工艺，制备出具有仿兔毛单髓腔结构的二氧化硅/聚酰亚胺复合纳米纤维。实验证明，这一复合纤维制成的纤维膜克服了纯二氧化硅纤维膜拉伸强度低和耐用性较差的缺点，且质轻、可防火，具有广泛的应用前景。相关研究论文在线发表于国际期刊《复合材料B：工程》。

用二氧化硅仿出兔毛竹节结构

用光学显微镜观察兔毛，可见其内部呈规则的、竹节状的空心结构，结构内部密封了大量的静止空气，静止空气分子的自由运动受到限制，使得兔毛沿径向具有很低的导热系数。

“通过静电纺丝获得的二氧化硅纳米纤维，具有良好的隔热性能，在高温下稳定性好、无毒，制备原料也廉价。”论文通讯作者、浙江理工大学材料科学与工程学院副教授司银松介绍，“基于前期的研究，

我们想到在空心二氧化硅纳米纤维中再嵌入空心二氧化硅微粒，来模拟兔毛内部结构，进一步改善隔热性能，这要用到同轴静电纺丝技术。”

他解释道，同轴静电纺丝技术“粗中有细”，好比制作夹心棒，在两个内径不同但同轴的细管中分别注入芯层和壳层纺丝液，二者在喷头末端汇合，在电场力的作用下溶剂快速挥发，溶质逐渐被拉伸拉长成为纳米纤维。

聚乙烯醇(PVA)是纺纱工艺中的常见原料，其溶液有很好的黏接性和成膜性。此次研究中，该团队将PVA溶液和二氧化硅空心微粒作为芯层纺丝液，PVA与二氧化硅小分子溶液作为壳层纺丝液，经过同轴静电纺丝，再经过烘干、煅烧，就制成了内部呈竹节状空心结构的仿兔毛二氧化硅纳米纤维。

二氧化硅是陶瓷纤维的组成成分之一。该团队获得的仿兔毛二氧化硅纳米纤维属于无机陶瓷纳米纤维。无机陶瓷纳米纤维因其重量轻、不燃、耐火、耐腐蚀、隔热性能优异等特点，被认为是航空航天、建筑、工业管道、耐火服等领域极具潜力的隔热材料之一。然而，无机陶瓷纳米纤维普遍很脆，其薄膜的拉伸强度通常较低，这严重限制了其广泛应用。

“在无机陶瓷纳米纤维中引入空心结构或多孔纳米颗粒，其制备的纤维膜可能会更脆。”司银松说，如何既提升无机陶瓷纳米纤维的隔热性，又不失柔韧性，是本

研究团队发现，仅需简单

浸渍，仿兔毛二氧化硅纳米纤维表面被附上聚酰亚胺薄层后，竹节状的空心结构可以使纤维内部保持大量的静止空气，有利于隔热；聚酰亚胺薄层则赋予了二氧化硅/聚酰亚胺复合纳米纤维良好的力学性能。

次研究的关键，颇具挑战性。

添加“多面手”材料提升力学性能

聚酰亚胺被称为高分子材料中的“多面手”，在航空、微电子、纳米、液晶、分离膜、激光等领域均有应用，其制成的薄膜有“黄金薄膜”之称。

司银松说，聚酰亚胺具有优异的热稳定性、耐化学性和优异的力学性能。理论上，竹节状空心结构和聚酰亚胺薄层的协同效应可以克服无机纳米纤维的脆性，同时不显著降低其整体热稳定性和隔热性能。

研究团队发现，仅需简单浸渍，仿兔

毛二氧化硅纳米纤维表面被附上聚酰亚胺薄层后，竹节状的空心结构可以使纤维内部保持大量的静止空气，有利于隔热；聚酰亚胺薄层则赋予了二氧化硅/聚酰亚胺复合纳米纤维良好的力学性能。

此外，二氧化硅/聚酰亚胺复合纳米纤维的导热系数远低于天然兔毛的导热系数，弯曲刚度则明显低于普通A4打印纸。

司银松表示，高精仪器、航天运输、消防安全等领域，普遍需要隔热、轻质、防火等综合性能更优的隔热材料，该研究得到的仿兔毛单髓腔结构的二氧化硅/聚酰亚胺复合纳米纤维在这些方面就具有很大优势。接下来，团队将提升这一复合纳米纤维的制备效率，结合减少能源浪费、防止热损伤、减轻设备重量/占用体积、提高穿戴舒适性等具体需求，逐步开展成果转化。

未来应用围绕三大性能展开

碳纳米管目前产业化应用最多的是作为锂离子电池的正极导电添加剂。碳纳米管和石墨烯导电添加剂相较于传统导电剂具有导电性能好、用量小的特点。

目前碳纳米管在这个行业的渗透率，也已经超过了20%。有业内人士统计，超过90%的中高端数码锂电池厂家已将碳纳米管作为导电添加剂用于电池生产，比如比亚迪、比克电池等。

据专业机构预测，3年后碳纳米管导电添加剂需求量将达到60万吨，市场规模超过35亿元，复合增长率超过40%。

“除了用于导电添加剂，未来碳纳米管会在很多领域大有作为，不过其主要应用离不开它最重要的三大性能。”沙军威介绍，首先就是轻质高强。像沙军威所在团队研发的碳纳米管增强铝基复合材料就可以应用在火箭等航天器上。“对于制造航天器的材料来说，最重要的就是轻质高强。铝比目前应用于航天器制造的钢和钛质量轻很多，但是硬度和强度不够，加入了碳纳米管，就可以实现轻质高强，发射成本会大幅下降。”沙军威表示。

由于碳纳米管具有良好的导电、导热性能，因此还可以把它添加到塑料、纺织材料中，美国莱斯大学研究人员就使用交织的碳纳米管纤维制作了一件可以作为心率监测器的衬衣。

此外，由于碳纳米管具有表面缺陷增强的反应活性，使得其在催化领域的应用也方兴未艾。“比如用碳纳米管作为催化剂电解水制氢，把二氧化碳转化为甲醇等有机物，都是目前研究的热门。”沙军威介绍。

寻材问料

既抑菌抗病毒，又提高舒适性 多层复合面料制成新型防护服

◎本报记者 张晔 通讯员 徐凌

闷热、不透气、舒适性差、一次性使用成本较高……大家印象中的“大白”防护服是不是这样的？

2月28日，科技日报记者从南通大学获悉，该校防护服研发学生团队研发出一种具备主动抗菌抗病毒功能的新型防护服。该防护服抑菌率高达99.99%以上，抗病毒活性率达到99.42%以上，可重复使用50次以上。

目前，市场主流的医用防护服面料普遍采用纺粘—熔喷—纺粘复合面料，这种面料有着对细菌的阻隔性、抗静水压力较强的优势，但同时存在着只具备被动阻隔防护功能、透气和透湿性能较差、不可重复使用、单次使用成本较高等不足。

南通大学防护服研发学生团队针对现有防护服的不足，用了近2年时间，研制出多层高导湿、可复用防护面料。该新型防护服面料由疏水防护层、抗菌隔绝层和舒适层复合而成。面料最外层为疏水防护层。该团队对涤纶织物进行有机硅疏水剂整理，通过常温常压等离子体刻蚀与诱导技术、高温焙烘处理，制得超疏水涤纶织物，实现了防水、自清洁功能。专业机构测试结果表明，该面料具有出色的耐洗涤牢度和耐磨擦牢度，为最终产品的可重复使用提供保障。

面料中间层为抗菌隔绝层。该团队首先利用化学原位还原法，通过调控硝酸银浓度、聚氨酯用量和反应温度，在水性聚氨酯体系中制备出粒径10纳米左右、高效稳定的纳米银抗菌剂，该抗菌剂可实现低负载量、高抑菌率。随后，该团队通过多喷头静电纺丝技术，将抗菌剂加入纺丝液，制成高导湿抗菌抗病毒PU隔膜膜，其在实现物理阻隔的同时具有主动抗菌抗病毒的功能，进一步增强了防护服自身的防护性能。

面料的最内层为舒适层。该团队在复合面料内层又贴合了一层经编网眼布，对中间的隔绝层进行保护，防止其受到刮擦，同时进一步提高穿着舒适性。

综合考虑最终产品的防护性能及穿着舒适性，该团队采用点胶复合技术，反复优化上胶量、涂层压力、复合压力、熟化温度等工艺，最终实现三层结构的高度复合，同时保证了各层结构功能的完整性，达到了一体化设计的目的。

专业测试结果表明：复合之后的防护面料在过滤效率、抗渗水性、抗合成血液穿透性、断裂强力、透湿性、防水性、静电衰减性和抗菌性方面都表现出了优良的性能。同时，在通过不同消毒剂对防护服进行多次清洗处理后，防护面料各方面性能变化微小，表现出优异的可重复使用性。

目前，该团队的相关研究成果已发表于《染整技术》《印染助剂》等杂志，并获多项专利。

高结晶度、高稳定性、高导电性 三维有序大孔框架材料成功制备

◎本报记者 陈曦 通讯员 张华

2月28日，科技日报记者从天津大学获悉，该校“英才计划”特聘研究员吉科猛团队以金属盐和有机胺晶为原料模板，开发出了一种以石墨烯型碳、金属纳米晶等为基本功能单元构筑而成的高结晶度、高稳定性、高导电性三维有序大孔框架材料(以下简称OMGCs)。相关研究成果发表在国际综合性期刊《细胞报告物质科学》上。

制备流程既简单又高效

有序纳米多孔功能材料，例如微孔的沸石和介孔的二氧化硅分子筛、金属—有机框架材料和共价有机框架材料，具有发达的孔道结构、较大的比表面积、较小的材料密度等优异的物理化学特性，在吸附、分离、传感器、离子交换、负载催化、药物输送、电磁防护、环境治理、电化学能量存储和转化等诸多领域都有着广泛应用。然而，孔径分布窄(小于50纳米)、结晶度低、热稳定性和导电性差等缺陷却在很大程度上限制了当前这些功能材料在更大范围的应用。

为了解决这一难题，吉科猛团队研发了OMGCs。OMGCs的整个制备工艺流程十分简单高效。只需将浸渍有金属盐凝胶的胶晶模板置于氩气或氮气等保护气中进行一步焙烧，即可制得块体或粉体形状的OMGCs产物。焙烧时间可以短至几分钟，焙烧温度更是可以低至300—400摄氏度，远低于以目前催化工艺制备石墨烯型碳所需的近千摄氏度高温。

“OMGCs之所以能够在如此低的温度下形成，可以用一种特别的基于金属盐晶体的‘原子浇铸’机制进行解释。”吉科猛说，当所使用的金属盐具有足够大的晶格间距时，构成胶晶模板的高分子聚合物就能够在其发生玻璃化转变时，借助其碳原子而整齐地吸附在金属盐的这些晶面上，在其达到热解温度后便可以释放这些碳原子从而形成目标石墨烯型碳。

也正是由于低温段所形成的石墨烯型碳对结构的稳固作用，OMGCs才得以形成最终的高度规整、有序的蜂巢形貌。

可应用于多个领域

通过上述制备技术，只需对焙烧温度、焙烧时间、胶晶模板的微粒尺寸、金属盐的种类等进行简单调整，便可实现对OMGCs的灵活调控。所制得的OMGCs不仅具有精致可控的层级纳米多孔结构，还具有丰富可调的纳米晶物质组成。

“之前也有不少关于三维有序多孔炭材料的研究报道，但是可以发现它们基本为非晶态或者石墨化程度非常低，而OMGCs的创制就像是把土坯房升级成了钢筋混凝土构造，其功能性因此也大大增强。”吉科猛进一步介绍，“比如，在电化学储能应用方面，将基于硝酸镍金属盐制备的OMGCs用作锂离子电池负极时，即使不使用额外的导电剂与集流体，其仍可展现出3倍于当下商用石墨负极(理论比容量:372毫安时/克)的超高比容量以及几十倍快的充电速率，具有非常好的应用前景。”

不同制备条件下获得的OMGCs还呈现出了黄、绿、蓝等不同的结构色彩。基于这一特别的光子晶体特征，该种材料还可以用作光子产业的基础材料，同时在光学涂层、柔性显示、机械传感、防伪材料、集成光学元件、光子晶体光纤等相关领域也具有一定的应用前景。