
“闪蒸”废轮胎“秒变”石墨烯

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/13525.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

“闪蒸”废轮胎“秒变”石墨烯。废旧橡胶轮胎可以闪变石墨烯？一种点石成金的新工艺，让全球每年被废弃的8亿条轮胎有可能成为宝贝。

近日，美国莱斯大学教授James M.Tour团队在《碳》上发文称，他们进一步优化闪蒸加热工艺（FJH），可以从废旧橡胶轮胎中快速提取出石墨烯，并用于混凝土增强。这项工艺可瞬间达到3000度以上高温，实现炭黑、煤炭、焦炭、咖啡等石墨化。该团队去年就开发了闪蒸加热工艺，研究成果发表于《自然》。

利用闪蒸加热工艺制备石墨烯，是废旧橡胶再利用的另一个途径。但对于这种闪蒸石墨烯，是否真正能在多个领域应用，仍需产业界验证。南京大学物理学院教授高力波对《中国科学报》表示，一旦验证有效，该方法还可适用于其他废旧有机及高分子、高含碳量物质。

从石墨化到闪蒸

利用超高温环境将高碳含量材料变为石墨这一原理，对于从事材料制备研究的人来说并不陌生，即石墨化工艺。

该工艺是利用了碳原子的 sp^2 化学键，是碳材料所有化学键中最稳定的原理。高力波向《中国科学报》介绍道，在高温环境下，所有碳原子都倾向于转变成石墨结构。如金刚石材料，普通压强下高于2500℃就会转变成石墨结构。

实际上，无论是从原理上还是从实践中，高力波踏足碳材料研究领域时，就已获悉可将废旧轮胎等变成石墨结构的材料。但唯一难以突破的是，如何实现这种高温环境，即新型的制备工艺。

早在2011年，Tour就带领团队尝试利用各种高含碳量有机物，采用传统管式炉体进行石墨烯制备，炉体温度一般在1000~1200℃。然而，这种方法制备的石墨烯，尽管晶体质量较好，但产率较低，不能满足石墨烯在结构材料方面的应用。到2020年，Tour团队终于取得重大突破，即开发了闪蒸加热工艺。

由于石墨化后的产物大都是少数原子层，即5层以内居多，也可以称之为石墨烯。高力波说。

这种方法类似于30年前制备纳米碳材料的电弧法。他进一步介绍，电弧法电极材料通常是石墨，同样是通入脉冲电流，达到气化部分石墨电极的目的，一般电弧区的温度超过3000℃。采用这种方法，早期可有效制备富勒烯、碳纳米管。

值得一提的是，新型制备工艺的主要开发者Tour，则跟随富勒烯发现者之一、诺贝尔化学奖得主Richard Smalley从事过相关研究。

电弧法也报道过可制备石墨烯，只是产率较低。高力波说，相比于电弧法所需的真空环境，闪蒸加热工艺简化了反应环境，采用更简便的大气压环境，电极采用铜电极，反应原料放置在电极中央。

这种工艺也不难理解。如果使用过熨斗，那么就会看到焦耳加热的作用。中国科学院山西煤炭化学研究所研究员陈成猛在接受《中国科学报》采访时介绍，当电流通过导电材料如铁金属时，会迅速产生热量。研究人员将这种工艺获得的石墨烯命名为闪蒸石墨烯（FG），层层堆叠的闪蒸石墨烯表现出涡轮层堆叠。

不过，高力波同时强调，该工艺不适用于作为芯片级的高品质石墨烯薄膜样品的制备。

变废为宝的另一途径

Tour团队在《自然》中发布的研究成果，原料以粉体居多，意味着这些原料可以很容易在两个电极之间放置，且电极之间产生的火花可有效渗透粉体，达到均匀加热的目的。但此次他们在《碳》发布的研究成果中使用的原料则是废旧轮胎。

虽然废旧轮胎碳含量足够，但它们是块体，不易于变成粉体，即电火花不容易穿透轮胎。高力波分析道，对于碳化废旧轮胎，Tour团队优化的工艺主要是延长电火花的脉冲时间。对于粉体原料，该团队报道的脉冲时间一般在毫秒级，而对于废旧轮胎，则接近秒级。

Tour表示，全球每年丢弃的8亿条轮胎，大多被用作燃料或被磨碎用于其他用途，其中16%的轮胎被填埋。如果将一部分用于生产石墨烯，可使数百万轮胎得以有效利用。

就我国而言，根据公安部统计，2020年我国机动车保有量达3.72亿辆，其中汽车2.81亿辆。随着汽车产业快速发展，我国每年产生废旧轮胎约3亿多条，折合重量已突破1000万吨。由废旧轮胎导致的环境污染、资源浪费、安全隐患等问题愈发突出。

山东省工业和信息化研究院高级工程师潘劲松介绍，废旧轮胎综合利用方式包括旧轮胎翻新、生产再生橡胶、生产橡胶粉、热裂解等。

其实，废旧轮胎变石墨烯的研究成果也有报道。如在2019年，华中科技大学教授李会巧课题组与浙江农林大学教授孙庆丰课题组等合作，利用碱辅助诱导碳化将废旧轮胎转化为3D石墨烯，使用的方法是将传统的碱热处理温度从800 提升到1000 。

利用闪蒸加热工艺制备石墨烯，是将废旧橡胶轮胎再利用的另一个途径。高力波说。

然而，碳化废旧轮胎时，延长火花脉冲时间对于生产设备的改良、安全性的升级等，都需要较大改进。而在Tour团队最新研究成果中，只是报道了如果要石墨化橡胶轮胎，需要更长的电火花脉冲时间。

陈成猛关注的另一个问题是，每年废旧轮胎量十分巨大，能否实现低成本、高收率、大批量的转化，真正实现再生利用，是实验室技术走向产业应用必须要面对的问题。

应用前景被看好

无论原料是煤炭还是废旧橡胶轮胎，利用闪蒸加热工艺获得的石墨烯都是较高石墨结晶度的粉体石墨烯。这种石墨烯在导热、导电等方面，能够接近于本征石墨烯。其应用与目前采用化学剥离方法获得的石墨烯，具有相似的应用前景。高力波说。

他进一步解释道，目前制备石墨烯的方法即传统生产方法，主要对标在储能、导热等方面，应用的都是化学剥离法，石墨烯产物以粉体形式存在；对标在未来芯片领域应用的石墨烯，主要采用化学气相沉积法生长，碳化硅外延法也在同时推进。

研究证实，闪蒸石墨烯具有更优的导电性、导热性及力学增强效果，且工艺相对更加环保和低能耗。

如果通过这种方法制备的石墨烯具有新的品质特性，有更适合的应用场景，那么基于废旧橡胶轮胎生产的石墨烯将会展现出巨大的发展潜力。陈成猛告诉《中国科学报》。

他进一步向记者计算，1度电=1千瓦时=1000W*3600S=3600千焦耳，粗略估算1度电可合成500g石墨烯，按1度电0.53元计算，1公斤石墨烯电力成本低至1.06元，未来石墨烯可能比白菜还便宜。因此，该方法获得的石墨烯成本低廉，低到可以和塑料、金属、胶合板、混凝土和其他建筑材料进行复合，广泛用于复合材料。

最新论文也称，废旧轮胎转化成的石墨烯可用于增强混凝土力学性能。

混凝土是地球上最常用的资源之一，全世界每年生产约260亿吨混凝土，其排放的二氧化碳占全球排放总量的9%左右。如果在道路、建筑物和桥梁中使用较少的混凝土，那么就可以从一开始就消除一部分排放物。Tour表示。

早在石墨烯之前，碳纤维和碳纳米管都已报道过可以添加到混凝土中增加其韧性，并可增强其耐久性能。利用闪蒸加热工艺获得的石墨烯能够进一步增加混凝土的抗压性。高力波同时强调，最终效果或许还需要更多研究或工业界的标准化。（来源：中国科学报秦志伟）

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.03.020>

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-1938-0>

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：James M.Tour 来源：《自然》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发