
银杏树下找美景？看科学家如何将其变“宝藏”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/21069.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！

银杏树下找美景?看科学家如何将其变“宝藏”

。秋日里，金黄的银杏美不胜收，殊不知，它们也是科学家眼中的宝藏。

北京航空航天大学化学学院教授程群峰团队研究发现，银杏果壳的石细胞具有独特的互锁结构，为未来制备复杂的、力学性能各向同性的仿生纳米复合材料提供启示。相关研究成果于11月28日在线发表于美国《国家科学院院刊》。

坚硬是相对的

鲍鱼壳、骨骼、木材等通常很坚硬，作为天然材料，它们被认为具有优异的力学性能，尤其是断裂韧性，原因是在断裂过程中，裂纹往往会产生偏转或桥接的现象，裂纹在材料中扩展的阻力更大。

举个例子，叠放在一起的两张A4纸，很轻易就能把它们分开，若两张纸用胶水粘或书钉钉在一起，中间的阻力其中就包括桥接力。论文通讯作者程群峰告诉《中国科学报》。

不过，这些天然材料的坚硬是相对的，即仅在一个方向上具有高断裂韧性。比如：木材和骨骼裂纹沿纵向方向的断裂韧性远小于横向方向，而鲍鱼壳往往在纵向方向表现出更加优异的断裂韧性。

航空航天装备所用的碳纤维复合材料通常也是如此。事实上，金属材料在各个方向均具有高断裂韧性，但其密度大等缺陷也是显而易见的。

天然材料中是否存在，像金属一样各向同性的高韧性材料呢?程群峰说。

选择植物果壳，因植物种子壳可以保护胚胎免受损伤，作为天然且完美的屏障，它刚柔并济。

已有研究表明，果壳结构是多层次的：包括器官、组织、细胞、亚细胞、纤维.....且强韧的力学性能与此结构有关。比如，核桃壳和开心果壳的石细胞边缘呈锯齿状，被称为三维拼图石细胞;又如，巴西坚果微结构中含有大量纤维。

尽管研究者们意识到果壳存在多级次结构，但总体研究只是在单一尺度上(如在细胞层次，纤维层次等)解析了坚果壳的微观结构与性能的关系，关于坚果壳的跨尺度三维微观结构及结构性能

关系有待进一步研究。程群峰说。

银杏壳独特的互锁结构

研究人员尝试了许多植物果壳，最终发现银杏果壳或许是理想的材料，这一结果令人兴奋。而北京随处可见的银杏果树也给他们提供了丰富的研究原材料。

天然材料的内部微观结构决定了其优异的力学性能。

研究人员首先详细解析了银杏果壳的内部微观结构，发现银杏果壳具有典型的多级次微纳米复合结构，尤其是银杏果壳的石细胞具有独特的互锁结构。

互锁结构犹如螺钉螺帽配合一般。

程群峰介绍，银杏果壳外形似纺锤，通过大量具有厚细胞壁的多边形石细胞紧密地结合在一起形成。石细胞的内部次生壁中是半径约为1.2微米的细长管道，即纹孔。纹孔是中空的管状结构。纹孔从细胞中部的空腔延伸至胞间层，与相邻石细胞的纹孔形成纹孔对。纤维沿着纹孔径向方向取向，绕着纹孔缠绕，这种独特的纹孔对结构将相邻的细胞壁互锁在一起，我们称之为螺钉互锁结构。

研究人员还通过扫描电镜-拉伸台联用的原位测试系统发现，银杏果壳还存在一种独特的纹孔诱导裂纹扩展机制，纹孔会诱导裂纹进入到石细胞的内部，撕裂内部层状的石细胞;或者顺着纹孔直接贯穿整个石细胞使得裂纹进入到石细胞中央的空腔，进一步通过有限元模拟也证实了这一增强机制。

银杏果壳的独特结构使它在各个方向上裂纹扩展时的断裂韧性基本一致。程群峰说，相比于不同方向断裂韧性相差10-20倍的木材等各向异性的材料来说，银杏果壳显示出各向同性的特点。同时，4个方向的裂纹扩展均存在裂纹偏转和桥接、纤维拔出等保持坚固的机制。

此外，研究还发现，银杏最高的断裂韧性，甚至与鲍鱼壳、昆虫表皮以及其他人造壳材料接近。这一独特结构，为科学家设计各向同性的块体材料提供了新的仿生启示。

10年磨得新发现

这一研究历经近10年，先后经历了3届博士生。

2010年，在中科院院士、北京航空航天大学化学学院院长江雷的引荐下，程群峰加入化学学院，从事高分子纳米复合材料研究工作。2013年，程群峰在美国参加学术会议期间，一直以来强调师法自然研究的江雷关注到了坚果果壳，便给他发了一条信息：可以考虑一下天然果壳的力学性能。

回国后，程群峰很快就组织学生系统调研了诸多天然果壳材料，虽发现了很多有趣的结果，但在材料结构解析以及性能表征方面未取得理想结果。

刚开始由于认识较浅，一味跟着文献做，往往很难有新发现。江老师鼓励并启发我们，要学会看到现象背后的本质，看到别人看不到的东西。程群峰说。

程群峰转变思路，对已有的天然结构材料，做了大量比较后才有了新发现，大部分具有奇特结构的材料，往往在某一个方向上的力学性能很优异，但是在其他方向上却不很理想。

自然界是一个和谐的系统，他们思考：既然存在各向异性的天然材料，那么必然存在各向同性的天然材料。程群峰再次燃起了信心，系统表征了银杏果壳的微观结构及其各向同性的断裂韧性，结果让他们十分振奋。

2019年，程群峰团队便已完成了论文。然而，少有人关注的植物与材料的跨学科领域，审稿人提出了严苛的问题，经过补充实验、反复修改，历经3年终得以发表。

科学发现只是第一步，他们的研究还在继续。程群峰说，目前还停留在对天然材料本征性能和结构的发现上，下一步，将考虑利用仿生启示，努力构筑具有新颖性能的块体结构材料，应用在生活的方方面面，改变传统材料设计的规则，发展结构功能一体化材料新颖的设计思路，创制更轻、更强、更韧的新一代结构材料。(来源：中国科学报 韩扬眉)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1073/pnas.2211458119>

作者：程群峰等 来源：《国家科学院院刊》

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](https://www.iikx.com)转发