科学家揭示能承受3.9万倍自重压力的铁甲虫结构，有助于新型复合材料研发

都说蟑螂是杀不死的小强，现在，昆虫界真正顽强的角色出现了，它看上去是个“武装色霸气”，又黑又硬的家伙。形如其名，这是一只恶魔铁甲虫，生活在美国西海岸干旱地区，虽然不会飞，但它以其硬壳著称，受到外力刺激还会装死，最长自然寿命可达八年。

它在遭到人类踩踏乃至汽车碾压后，仍能幸存下来，密实的外壳使它能支撑 149 牛顿的力，大约等于 15 千克施压，食肉动物或者鸟类面对它都无从下嘴，不仅磕牙影响口感，而且吞下去就像生咽了一颗石头子。

如果换算成一个人类，这只昆虫的抗压性相当于往一个重 200 磅（90 千克）的人身上放两架飞机的重量而不被压死，在压力实验中，科学家们发现，它可以承受大约 3.9 万倍于自身体重的压力。

仅 2 厘米长的恶魔铁甲虫就像一个六条腿的小坦克，不得不让科学家们好奇，到底什么原因让它如此顽强？

刚柔并济的装甲结构

日前，加州大学分校材料科学家大卫·基萨卢斯（David Kisailus）领导团队，通过用 CT 扫描、显微镜图像、三维打印模型和计算机模拟分析铁甲虫装甲，终于揭示了其高强度的秘密，相关论文发表在《自然》杂志上。

“我们印象深刻。尤其是了解到这种甲虫外壳不包含任何特殊矿物质，只是有机成分构成时。”大卫·基萨卢斯说道。

天然材料，例如，在骨骼、牙齿和贝壳中发现的材料，通常具有特殊的机械性能，能以传统工程材料无法达到的方式将强度、韧性和自愈能力等性能结合起来。

这些优异的性能部分归因于材料的层次，更重要的是，不同尺度的材料之间的契合结构导致了协同强韧化机制。因此，许多人都致力于发展受自然启发的层次结构复合材料。

在对恶魔铁甲虫的研究中，科学家发现其外壳角质层中，也是由比较常见的多糖 α－甲壳素的分子与蛋白质结合形成纤维，纤维聚集成扭曲的螺旋状排列，这种扭曲排列的纤维堆积，使角质层具有多层微观结构，形成一定的坚固性和能量吸收。

但甲壳质角质层的成分性质，仍不足以解释其超级抗压的特性。因为科学家在两个钢结构压力器之间，压扁了好几个它的同类，惊奇地发现恶魔铁甲虫最难压扁，它的身体在 149 N 的最大外力下才发生断裂，平均压力载荷为 133±16 N，约为其自身体重的 3.9 万倍，这大约是潜在捕食者所产生的咬合力的 10 倍，甚至能顶弯针头，而它的几个相似同类，只能承受小于 68N 的平均峰值。

成年人拇指和食指按在一起产生的力约为 43.0±18.4N，我们能轻松地捏死一些甲虫，除了恶魔铁甲虫。

如果这些甲虫的外壳材质差不多，那其他能解释的原因，便是由材料构成的抗压结构不同了。于是，科学家对恶魔铁甲虫的身体进行了横切面分析，显微镜下，秘密终于揭晓。

在这个昆虫小坦克体内，两方面关键的微观特征帮助其承受了强大挤压力。第一方面，是其外骨骼的上半部分和下半部分之间的一系列连接，在边缘上有一些凸脊锁契合在一起，而且接触面呈现出三种不同类型的侧向支撑，将腹侧角质层连接到鞘翅上：叉指式、闭锁式和独立式。叉指关节在压缩下表现最坚硬、最结实，而闭锁和独立式的支撑使外骨骼在压缩时可以发生一些形变，缓冲压力。

第二个关键特征，是其背部刚柔并济的接头或缝合结构，其沿甲虫背部中线延伸，连接起左侧和右侧厚实的装甲。科学家将这里的一系列凸起物，称为“刀片”，它们可以像拼图玩具一样装配在一起，将两侧紧密相连。而且这些刀片包含由蛋白质粘合在一起的组织层，具有较高的抗损伤性以及自我修复性。

当用一定的力挤压甲虫时，每个“刀片”层之间的蛋白质胶中会形成微小的裂纹，但是科学家表示，那些小的裂纹，类似于可自愈的“骨折”，这些刀片能够有效吸收冲击而不会完全折断，保护体内的软组织。

研究人员认为，上层坚固而具有的交叉状支撑物的坚固结构，可用于保护甲虫的重要器官不被压碎；在上下链接部分，柔顺的闭锁式和独立式的支撑物则允许外骨骼变形，类似于可调高低的底盘“悬架”一样，从而使甲虫能够挤入岩石或树皮的缝隙中。

类似的变形适应能力，可启发设计一些可伸缩变形的机器人，这种机器人可以挤进狭小的空间并在其中移动，可以用来在灾后倒塌的建筑物中搜寻幸存者。恶魔铁甲虫功能多样的支撑结构，也可能给装甲车辆提供新设计思路。

在宏观尺度上，外骨骼特殊结合方式产生了不同的侧向支撑，也形成了保护重要器官的刚性梯度，并在整个身体上均匀分布载荷。

甲虫外壳与材料工程学

研究人员效仿这种方式，顺带研究了“刀片”的几何结构在数量、微观特征等方面如何影响缝合线的机械性能，他们使用 3D 打印模型来进行计算模拟和机械测试。结果发现，与其他陆生甲虫常见的半球形连接结构相比，恶魔铁甲虫具备的椭圆形“刀片”缝合结构更坚硬和牢固。

而且，在这项实验中，由两个“刀片”组成的 3D 打印缝合结构，可以兼顾柔性与刚性，而带有四个“刀片”的缝合线在断裂前应力分布、刚度和峰值载荷似乎最大，因此，缝合结构的优化，需要涉及到韧性、刚度和抗断裂性的多维权衡。

对于恶魔铁甲虫来说，不得不感叹，小小的身体里，自然进化的结果是如此伟大，放弃飞行能力的它，让自身装甲的进化强于大多数同类。

由于缺乏逃离升天的能力，这种沙漠昆虫具有极强的抗冲击性和抗挤压性，且兼顾复杂和灵活的身体结构调整。

延伸到工程结构领域，目前连接塑料和金属等不同材料仍然是一个挑战。机械紧固、常规焊接和粘合是目前比较常用的操作方式，但这些方法中的每一种都有其自身的问题，例如在环境暴露下形成应力集中或退化，进而很快降低强度并导致过早失效。

恶魔铁甲虫的身体构造会带来新的启发，一些仿生设计其实已经在发生。2016 年，美国国防承包商 BAE Systems 宣布了一种新型的可弯曲悬架系统，其灵感来便自于一种甲虫，它可以使军用车辆能够经受住地雷爆炸的袭击。

此外，在飞机的发动机涡扇结构中，金属和复合材料通过机械紧固件连接在一起，这些紧固件不仅增加了重量，也引入了可能导致破裂和腐蚀的应力。

基于这项甲虫研究，研究人员构建了一系列具有椭圆几何和层压微观结构的仿生复合材料，并将其与标准航空紧固件（例如，用于连接铝－碳复合结构的 Hi-Lok 紧固件）进行了比较。

结果发现，从恶魔铁甲虫身上汲取到的结构“专利”，缝合线的复合材料叶片比当下工程紧固件性能（约 18±0.73 MPa）略强，约为 19±1.08 MPa，不过这种直接效仿的复合材料叶片内，层压微观结构还是表现出了渐进的失效，所以仍有待优化。

所以，在考虑应用之前，科研人员仍需对层压结构和刀片契合进行进一步评估，例如，表征其在压缩、弯曲和扭转下的性能，并发现它们随着时间推移是如何变得疲劳的。

下一步仍需通过多尺度建模和实验来探索，使用人工智能和机器学习等方法可能会加快应用试验，让这些结构方式与目前可用的材料结合，形成更高的工程机械性能。

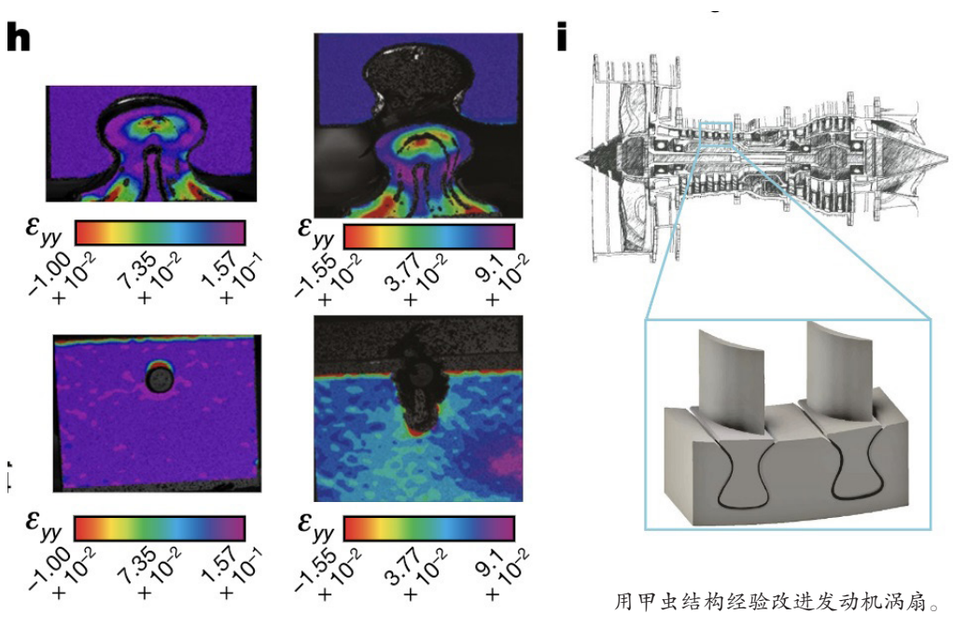
自然进化中蕴藏无限灵感

论文作者之一，大卫·基萨卢斯在采访中补充说：“鉴于大自然生物在数亿年的时间里一直在做优化和进化实验，人类拥有足够的资源为下一代材料和结构设计提供灵感。”“这项研究将生物学、物理学、力学和材料科学等领域的知识与工程应用联系起来，这些新发现通常是我们看不到的。”

伦敦自然历史博物馆的甲虫策展人马克斯·巴克莱（Max Barclay）是一位甲虫专家。他认为，尽管许多甲虫都可以逃脱威胁，但这种不会飞的恶魔铁甲虫必须靠坚强才能生存。大多数甲虫只能活几周，但恶魔铁甲虫却能活七到八年。

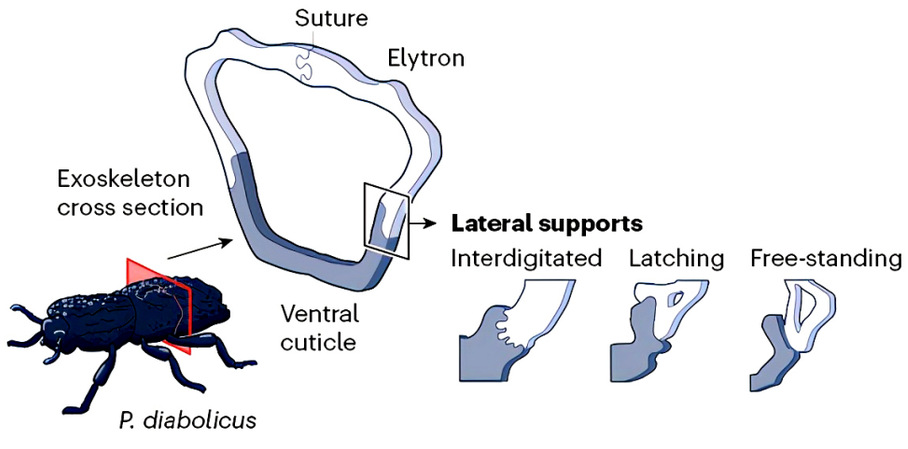
“这种甲虫和其他甲虫一样在地球上生活了上千年，因此它们必须掌握其他短命同类所不具备的特殊方式，来保护自己免受灭顶之灾。”

人类再一次向大自然拜师学艺，对于恶魔铁甲虫“装甲套件”的研究成果，可能会激发新的、更坚固的设计方案，除了改进装甲车和飞机，也有望用在未来新一代防弹衣、建筑、桥梁等设计上。（麻省）



用甲虫结构经验改进发动机涡扇。

甲虫结构曾被用于装甲车设计。



铁甲虫主要身体部位坚固的接头和接口。

国际运输业萧条 影响气象预报准确性

新冠疫情大流行导致的数月封锁阻碍了国际旅行。科学家们说，这可能会带来意料之外的牺牲：天气和气候预报的准确性。正常情况下，每天有几十万架飞机和轮船在地球上交错穿梭，或接送乘客，或运输货物。

其中，许多船只都配备了灵敏的仪器。从气温、海温到风速、湿度，它们可以收集有关其周围环境的各种科学信息。科学家们经常利用这些数据来支撑天气预报和气候预测模型。但是，全球旅行业的萎缩引发了研究人员的担忧，他们担心自己的预测可能会受到影响。

发表在《地球物理研究通讯》（Geophysical Research Letters）上的一项新研究表明，全球航空旅行人数的缩减已经造成了损失。该研究评估了今年 3 月至 5 月全球天气预报的准确性，这一时期也正是世界上大部分地区新冠疫情的高峰期。然后，它将其与 2017 年、2018 年和 2019 年同期的天气预报，以及今年 2 月（大流行病发生之前）的天气预报进行了对比。研究结果表明，疫情发生后，世界上大部分地区天气预报的准确率都降低了。

该研究的作者、英国兰卡斯特大学（Lancaster University）的 Ying Chen 认为，这是一个值得关注的问题。如果天气预报出错，带来的不只是不方便。例如，农民需要依靠准确的预报来保护自己的庄稼。公共事业企业则通过天气预报的温度来估计一天的耗电量。热浪来袭，随着人们打开空调，电力需求往往会急剧上升。

Chen 说，如果公共事业公司无法准确平衡发电量与用电量，就可能会影响电网的稳定性。这项新研究并未证实出行限制导致了预报准确率降低。但 Chen 证明航空运输量的下降是原因之一。

首先，北半球预报精度的差异比南半球更明显。Chen 说，北半球的预报往往更依赖飞机收集的数据。但显然，西欧是例外。研究表明，欧洲的预报并没有像北半球其他地区那样受到影响。

Chen 认为，这可能是因为欧洲拥有发达的固定气象观测站网络，它能不断收集科学家通常需要从飞机上获得的同类数据。Chen 认为这经验值得借鉴：改善整个北半球的地面气象站网络，可能有助于减轻未来全球灾害背景下航空旅行减少对气象预报的准确性带来的影响。而与此同时，还有其他方法可以收集类似数据。例如，当飞机停飞时，气象气球可以起到类似的作用。Chen 说：“这也的确有助于改善疫情期间数据匮乏的局面。”

受到冲击的不仅仅是飞机采集的数据。由联合国发起的海洋观测组织“全球海洋观测系统”（Global Ocean Observing System）最近发布的一项调查表明，这次新冠疫情期间有些海洋观测计划也受到了影响。

报告指出，“顺路观测船计划”（Ship of Opportunity Programme）的数据减少了约 90%，该计划旨在从世界各地的商业和其他非科学用船只上收集海洋测量数据；类似项目，例如，“自动化船载高空探测计划”（Automated Shipboard Aerological Programme）收集到的气象数据减少了 10%~15%。

船上观测数据的减少本身并不是灾难性的。科学家们在海洋上建立了浮标网络，并从中收集了大量的海洋数据。这些浮标上安装了仪器，能不断地将信息传回陆地。但是，即使是这样的自动化系统也需要更新和维护。而当远洋船只越来越少，它们可能无法得到照料。

全球海洋观测系统报告指出，Argo 网络（世界上最大、最重要的自动海洋传感器系统）最近报告的数据减少了 10%。目前还不清楚这在多大程度上归咎于疫情影响及其相关事件造成的破坏。但报告认为这个问题值得关注。

Argo 网络的运行和维护依赖于船舶根据所需部署和替换浮标。报告指出，通常情况下，为了保持更新，该网络每月需要部署约 80 个浮标；但在 5 月份，只能部署 10 个浮标。

报告警告说，尽管目前还不清楚这些情况是否会持续下去，但如果真是如此，那么到今年年底，网络可能会萎缩 10%~15%。这类海洋观测不仅为短期的天气预报提供信息，而且还被用于长期监测气候变化。

严重的数据中断情况可能会降低海洋天气预报的准确性，包括船只在危险海域航行时所使用的天气预报。它们还可能导致长期数据集出现空白，而科学家需要用这些数据集来监测和研究全球变暖的影响。不过，目前还不清楚这是否已经带来什么严重的副作用。

虽然该报告警告说，数据的持续中断可能会成为天气和气候预报所面临的更大问题，但报告也指出，迄今为止，全球海洋观测系统已经显示出它能够适应与疫情有关的停飞停航所带来的直接影响。

这主要是因为 Argo 等自动系统还在传来数据。NOAA 海洋观测和监测部门主任 David Legler 说：“大多数情况下，数据的损失不算大，所以我们看到所有类型的更广泛分析结果都未受损。”

但是他补充说，有些特定领域的研究可能会受到干扰。研究海洋和大气之间二氧化碳交换的科学家非常依赖从研究船上获得观测结果。Legler 说：“因此，在海洋的大部分地区，由于无法长期进行这些测量，我们的记录很可能会出现空白。目前还不确定这会有什么影响。”（Chelsea Harvey）

Nu Quantum公司利用石墨烯和层状材料加速量子通信技术开发

自 2018 年年底涉足石墨烯开始，Nu Quantum 公司最近成为了欧盟资助的石墨烯旗舰计划的成员。这家初创公司是从石墨烯旗舰计划合作伙伴英国剑桥大学卡文迪许实验室（Cavendish Laboratory）衍生出来的，专门研究单光子源量子技术，该技术旨在创造难以攻破的加密密钥。

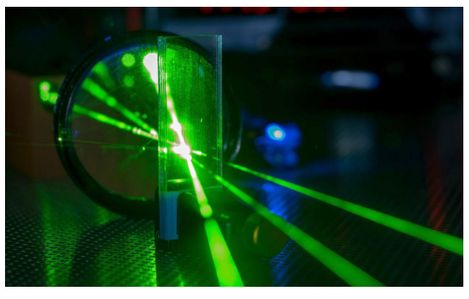
Nu Quantum 公司的设备利用光子的量子特性，即光的单个粒子特性。与其他需要冷却至绝对零度左右才能稳定实现的量子技术不同，Nu Quantum 公司提供的组件在室温下即可工作，可在大量的商业场景中实现应用。

Nu Quantum 公司目前正在开发三种技术。这其中有两个是组件；一个单光子发射器和一个光子检测器。第三个是结合两个组件以创建量子随机数生成器的系统。

安全系统依赖于加密密钥，在传统方式中，它们是由可预测的算法产生的。量子密匙生成利用量子粒子（如光子）的行为来创建完全随机数字序列，从而产生不可破解的密码。

该初创公司的目标是在创建更复杂的量子光子通信系统前，首先在室温条件下实现最高效率的光子发射和探测。Nu Quantum 公司目前正在与电信和太空通信公司进行试点项目。

Nu Quantum 公司在其设备中使用石墨烯和其他基于层状材料的技术。这些材料的单原子层超薄特性对于获得量子光源、粒子



控制以及效率、灵活性、尺寸、重量和功率要求至关重要。

石墨烯是理想材料，它有助于提高组件的效率。Nu quantum 公司已与石墨烯旗舰计划的合作伙伴开展了紧密合作，并且在最近以成员身份加入该计划。

Nu quantum 公司工程师表示，要确认新设备是否真正具有量子性可能很困难。通过从一开始就使用单个量子，然后使用 Nu quantum 公司算法仔细处理数据，Nu quantum 公司确认创造了明确的量子技术。

Nu quantum 公司表示，目前致力于量子网络安全，但其长期愿景是扩展到量子技术的其他方面，包括传感器和计算等。

2018 年进行了 65 万英镑的种子轮融资后，Nu Quantum 公司最近获得了 360 万英镑的政府经资，目前正在筹集总价值数百万英镑的种子轮融资，由不同的风险投资公司支持。Nu Quantum 公司计划在 2021 年推出其随机数发生器。（陈济桁）

地址：北京市东城区交道口南大街 67 号（100712） 社长：孙伟 总编：魏轶群 总编室主任：吴斌斌 58354180 广告 / 发行部：58354176 传真：58354167 投稿邮箱：news@cannews.com.cn 每周二、五出版 全年定价 288 元 广告经营许可证：京东工商广字第 0113 号 中国青年报印刷厂印刷