

碳索之路

破译声音镇痛的神经密码

「疗伤」的密码



中国科学院过程工程研究所研究员朱庆山站在格致论道的讲台上。中科院格致论道供图

中青报 中青网记者 张 渺

应对气候变化、保护地球家园，正在成为全人类共同关注的事。我国已宣布，将力争于2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和。这意味着，作为全世界最大的发展中国家，我国将用全球历史上最短的时间，完成全球最高的碳排放强度降幅。

鲜为人知的是，在这条碳索之路上，科学家们早就开启了各自的探索。

二氧化碳精算、工业减排、清洁煤炭、碳卫星监测、生态固碳、太阳能发电和二氧化碳制淀粉……在中国科学院格致论道近日举行的双碳专场讲座上，这些涉及了工程热物理、大气物理、地理、生物技术等不同学科的话题，出现在同一个屋檐下。

想要到2060年实现碳中和，第一个办法是减排，用可持续的能源来替代化肥和燃料。第二个办法是碳捕获、利用与封存，还有一种方法是利用陆地和海洋的碳汇。中国科学院院士朴世龙说。他的研究领域，包括陆地生态系统的碳循环、土地使用变化的气候反馈，等等。

中国科学院过程工程研究所研究员朱庆山主要从事流态化、过程强化、资源化工等方面的研究。他和他的团队正在跟鞍钢合作一个万吨级示范项目，这个备受国内外关注的项目将利用风电电解水制氢、流化床氢气直接还原炼铁这样一套工艺，探索中国工业的低碳重塑之路。

从碳卫星如何洞悉全球碳足迹，到太阳能光热发电在未来电网中的重要意义，从煤炭清洁燃烧与低碳利用的最新成果，到如何将大气中的二氧化碳变成人类所需的淀粉，不同的道路指向了同一个目标——碳中和、碳达峰。

摸清中国碳家底

（二氧化碳的排放）就像给地球穿了一件棉袄。朱庆山站在格致论道的讲台上，从二氧化碳开始讲起，所以我们要努力把地球的温度升高，控制在1.5摄氏度以内，它的核心实际上是控制二氧化碳的浓度。

他向大家科普，二氧化碳浓度之所以会上升，是因为人类排放的二氧化碳超过了人类所消耗的二氧化碳，要想不上升，排放和消耗必须相等。

这就是我们所说的碳中和。他解释。

投影上的示例一页一页翻过。朱庆山介绍，目前国内的碳排放大概是100亿吨，其中排在第一位的是电力。其次是工业，占了39%。工业再细分，可以大概分为钢铁、有色、化工、建材。炼铁的过程可以理解成把三氧化二铁里面的氧去掉，得到金属铁，传统的高炉炼铁方式是用碳跟氧结合，用朱庆山的话说，这个过程会产生二氧化碳。

有色、建材、化工等领域也是一样，制造氢气的过程会产生二氧化碳，碳酸钙分解会产生二氧化碳。当前的工业是通过化石能源来支撑的，提供能量的过程，同样会产生二氧化碳。

朱庆山设想的工业低碳重塑过程，就是从能源、原料到流程，都尽可能抹去二氧化碳的身影。

在科技部和基金委的支持下，我们国家过去几十年开展了大量的研究，也为我国达成碳中和目标、参与全球气候治理，提供了关键的科学支撑。朴世龙说。他在演讲中介绍了如何计算生态碳收支、摸清中国碳家底。



2022年5月，安徽定远 渔光互补 光伏发电助力碳达峰。

视觉中国供图

哪些硬核科技能派上用场

走在碳索之路上的另一位研究者，是中国科学院工程热物理研究所研究员吕清刚。作为中科院双碳战略行动计划首个先导专项“煤炭清洁燃烧与低碳利用”的专项负责人，吕清刚必须思考的问题是，如何突破煤炭的燃烧和利用技术门槛，保障我国能源和产业链的安全。

吕清刚探索的清洁煤炭之路，用一句话来描述是：如何让煤炭更清洁、更高效。

能不能让煤炭像气体燃料一样好用？吕清刚问自己。通过思考和研究，他和他的团队经过10余年的努力，做了上百次大型的试验，累计试验时长3000多小时，寻找一种让煤炭“更好烧”的办法：煤粉预热燃烧技术。如今，他们已经在工业锅炉上实现了应用。

在刚刚闭幕的第24届中国科协年会上，10个对产业发展具有引领作用的产业技术问题发布，其中包括了“碳中和背景下如何实现火电行业的低碳发展”。这正是吕清刚在谋求解决的问题。

现代化的燃煤发电厂在我们国家超过1000座，这种清洁高效的电厂，实现了氮氧化物、二氧化硫和粉尘等常规污染物超低排放，达到了世界先进的水平，但火电也是真正的碳排放大户。吕清刚说。目前，他们正在用预热燃烧技术解决火电支撑可再生能源并网发电，促进电力低碳。

他盼望到2060年，随着技术的发展和进步，电网能真正敞开怀抱，百分之百地接受可再生能源电力，不再有“弃风”“弃光”的现象，大幅降低二氧化碳的排放，实现碳中和这一目标。

要想实现碳中和，我们需要硬核的科技。这是朱庆山的感慨。

高手过招中的“剑走偏锋”

很长一段时间，科学家都在探索不用高炉炼铁的方法，提出了非高炉路线。我们流化床直接还原技术就是一个非高炉的方法。我们几代研究者，一直在做这方面的工作。朱庆山对中青报·中青网记者说。

在这条碳索的道路上，除了工业减排、清洁煤

炭的常规方式，科学技术的发展还展示出了超出许多人想象力的一面。比如，中国科学院天津工业生物技术研究所研究员蔡韬，就在格致论道的讲坛上，分享了如何将二氧化碳变成人类所需的淀粉。

这一技术就像是在一场关于碳的武林大会中，使出了“剑走偏锋”的一招。

二氧化碳和淀粉这两个词关联起来，听上去甚至有一点科幻。这条新闻去年年底就已经引发了大量关注，一度成为“热搜”词条。

据蔡韬解释，人工合成淀粉这个项目的初衷，就是把淀粉生产的农业化过程，变成一个工业化过程。人类用原始的双腿行走奔跑，速度的天花板可能是博尔特的百米9秒，我和他赛跑的话，结果不言而喻。但如果给我一匹快马、一辆跑车的话，我轻易就可以超过他，这就是范式改变所带来的魅力。蔡韬说。

蔡韬和团队成员希望，能用空气中的二氧化碳直接制造淀粉，他们给这个项目起了个名字，叫“凭空制造”。

对这个团队来说，思考原料来源的问题，相当于思考二氧化碳从哪里来。据蔡韬介绍，国家的热电厂、水泥厂等，每年固定排放的二氧化碳大约是40亿吨到50亿吨，我们可以很容易拿到高浓度的二氧化碳。

6年的时间，蔡韬和团队成员用33本实验记录，记下了他们在2000多个日夜里，对淀粉人工合成的追求和探索。其中有成功的喜悦，也有失败的沮丧。目标初步实现之后，很多人问他，你们合成的淀粉能吃吗？蔡韬承认，自己还不能回答这个问题，因为在实验室里合成出来的淀粉，大约只有1克左右。

我们不是不敢吃，是实在舍不得吃！他开玩笑地说。

接下来的工作是如何加速推进这个项目，解决其中许多基础的科学问题。蔡韬希望有一天，实验室里能够生产公斤级甚至吨级的淀粉。他承认，从实验室阶段到实现产业化应用，还需要面临很多困难和挑战。但这并不妨碍他去畅想这个技术在未来到底能对人类的生活产生哪些影响。

以二氧化碳为原料，可以生产淀粉，也可以生产各种各样的化学品，这样就能建立一条以二氧化碳为原料的、新的工业路线。蔡韬说。

碳中和需要年轻人去实现

2020年9月，中国政府在第75届联合国大会上提出，我国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。2021年2月，国务院印发《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，7月，教育部也印发了《高等学校碳中和科技创新行动计划》。

随之而来的是，双碳一词持续走热，不但成为去年的全国两会热词，也是2021年度中国媒体十大流行语之一，今年618，碳中和也成了电商平台热点主题之一，某电商平台的消费者购买标有“绿色商品”的产品，或在购买商品时选择简单包装，就能获得“绿动乐园”的小红花，用来兑换环保商品或参与公益。

作为最年轻的新晋两院院士，朴世龙常年在互联网上进行“碳”的科普，讨论陆地生态系统碳汇功能，及其在碳中和目标中的作用。

据朴世龙介绍，目前我国的森林覆盖率已经由20世纪80年代初的12%，提高到目前的23.04%，森林蓄积量提高到175.6亿立方米。全国城市建成区绿化覆盖率，也由10.1%提高到41.11%。我国森林资源中幼龄林面积，占森林面积的61%，中幼龄林处于高生长阶段，具有较高的固碳速率和较大的碳汇增长潜力。

他也试着强调，生态系统就像一个容器，现在正在被不断地装满。如果有一天这个容器装满了，有可能再也装不下。碳汇也是类似的过程。

在他看来，构建一个天空地一体化的生物生态系统和碳汇的管理系统，是非常有必要的。

碳中和跟我有什么关系？朱庆山看到过一些人提出这样的疑问。他的答案是，碳中和跟每个人息息相关，每个人都应该关注碳中和。

他计算了一下，等到碳达峰实现的时候，他已经退休了。而碳中和实现的时候，现在刚刚大学毕业的那些学生，到时候可能也该退休了。但在他的设想中，这条碳索之路，未来几十年也许会产生一些新的赛道，带来新的机遇。

这些需要年轻人去抓住，去实现。朱庆山说。

科学闪光者

张弛：从捕蜻蜓到给国产大飞机造翅膀

作者 称号，有媒体称他的成长关键词为“梦想的力量”。

一架纸飞机，是他梦想的起点。要想让纸飞机飞得又高又远，张弛在小时候摸索了一套方法，两侧纸张保持对称，纸片表面保持光滑，减少空气的阻力。

薄薄的一张纸，经过简单翻折，对准一个方向稍稍用力，也可以实现对天空与飞行最质朴的想象与期许。张弛说。

2011年，他选择回国加入中国商飞北研中心。回来之前，一位新加坡的朋友对他说：“我从心底里羡慕你。他一听很疑惑。朋友解释因为中国可以建造自己的大飞机，而很多国家没有基础设施和市场环境足够支撑一个伟大的事业。受到激励，张弛进一步下定决心，要回来参与我们中国自己的飞机事业。

在梦幻工作室，一架架名为“灵雀”的技术验证机从这里起飞。张弛和一群青年工程师开始了验证机的项目。他们在想，如何用无人机技术或者是航模技术完成飞机的起飞。如何用工程师的模拟测试工程代替飞行员的飞行测试。

最开始一间小办公室里，几个年轻人一下了班就拿着木头打磨零件。在一次实验中，他们对200多个部件展开切割和组装，作业了26个小时，完成了验证机“铁鸟”的调试。2013年11月18日，灵雀飞上了蓝天，在天空盘旋了5圈之后平稳落地。

灵雀上天只是第一步，张弛的蓝图是让验证机探索出无人驾驶飞机的技术。他们大胆地采用了3D打印的方式，制造出一架完整飞机。但在当时，3D打印技术并不成熟，无法打印出大体积的飞机，在材料制作上出现了机身变形和重量不达标等问题。张弛带着团队思考如何优化验证机部件的分解，最终在3D打印机里实现了生产。

为了更好地把握材料的强度，他们想出了一个办法，用局部试片来完成材料强度的检测，对结构做了更轻量化处理，搭建了不同于传统飞机的结构模型，提升了飞机的性能。2018年7月8日，中国第一架全3D打印的混合翼身融合验证机“灵雀D”验证机成功首飞，名为“信天翁”。

正是由于“梦想的力量”，梦幻实验室20多架验证机“灵雀”诞生于此，完成了对概念设计、初步设计再到验证试飞等飞行任务，借助于虚拟飞行技术，他们可以让飞机在计算机系统里“飞”起来。

我们就是这样一步步地成长，让飞机从物理世界走向了数字世界。张弛说。

从小时候的捉蝴蝶、捕蜻蜓、放风筝，到现在成为中国商飞北研中心项目预研总师，张弛的梦想都与“飞”有关。

在跟热爱航空的孩子们打交道时，张弛常会被小朋友们的表现惊讶到。例如遇到了航模挂到树上的情况，孩子们爬树的动作麻利，会拿起鱼

竿去勾回来。他们在做科学实验时，竟然会遇到刚度、颤振、安定性的问题，有时稀奇古怪的提问，甚至会难倒这名航空科技工作者。但他常常乐此不疲。

张弛的“飞机梦”也鼓励了更多年轻人。在2018年创业界的“2050大会”上，北师大二附中航模社的孩子制作的“纸飞机”，在会场飞行盘旋，引来观众的惊叹。张弛志愿担任这支航模社团团队的航空专业顾问、校外指导教师。起初主办方担心安全，不允许飞行展示。在多方沟通之后，主办方放了步，只要连续30圈试飞不出现问题，就允许展示飞行。

孩子们带着这架2.4米长的航模飞机，一点点地琢磨飞机内部的细节，调整飞机的重心和内部强度，试验飞机飞行之中遇到的转弯等问题，在试飞3000多次后，最终通过考核，并实现在云栖厅的展示飞行。那时埋下的这颗航空梦种子，如今也发芽了，有的孩子上大学时就选了和航空有关的专业。

青年要有梦想，不要忘记梦想是什么；要实干，踏踏实实去实现梦想；要有情怀，放弃逐利的思维。张弛说。

2017年，在飞往长沙的EU6667成都航空飞机上，张弛征求了航空公司的同意，带着108朵的玫瑰花，向喜出望外的女朋友求婚：“你愿意嫁给我吗？”这架国产ARJ21新支线飞机见证了他的梦想与爱情。他向爱人和更多人证明：国产大飞机的未来同样值得期待。



张弛 北京科协供图

中青报 中青网见习记者 杨 洁

小时候，张弛爱在乡间小路上捉蜻蜓，观察它们在大风吹动、人类捕捉时如何保持稳定的飞行。在他眼中，飞机给予人类一双“翅膀”，赐予人类一种新的超能力。

如今已是项目预研总师的张弛，在中国商用飞机有限责任公司北京民用飞机技术研究中心（以下简称“中国商飞北研中心”）工作，从事研发中国的大飞机，飞行器总体设计等项目的研究，要成为那个造“翅膀”的人。今年6月，张弛在北京市宣传部、市科协等部门组织开展的遴选活动中，获得了2022年北京“最美科技工

中青报 中青网记者 王海涵 王 磊

声音何以“疗伤”？年轻的科研人员创新思路，建立小鼠模型寻找答案。

日前，中国科学技术大学生命科学与医学部张智教授课题组、美国国立卫生研究院刘元渊教授课题组及安徽医科大学陶文娟副教授课题组合作，在国际学术期刊《科学》发表论文，揭示了声音镇痛的关键因素及神经机制。

早在1960年，《科学》杂志就发表过论文，发现在牙科手术过程中，音乐能调控病人的情绪。

半个多世纪以来，科学家都是以人类为研究对象，陆续发现各种类型音乐可有效缓解疼痛，这些声音包括风吹树林、海浪声，甚至是手术电钻噪音。研究者认为，是声音的某些特质或是环境因素，发挥了缓解疼痛的作用。

现有研究证实，脑区可能参与到音乐诱发的镇痛效应。但一直以来，声音可以减轻疼痛的关键因素，以及声音如何影响我们的大脑从而减轻疼痛的神经机制，尚不清楚。本文所述论文第一作者、中国科大生命科学与医学部特任副研究员周文杰博士说。

该研究历时3年多完成，经历了一番紧张而艰难的攻关，离不开课题组年轻人的付出和努力。课题组25人，大部分是博士研究生或博士刚毕业的年轻人。

这次研究的思路源于2019年的一次“闲聊”。周文杰长期研究疼痛和情绪相互调控机制，当时，他和一位研究听觉系统的同事讨论问题，脑中突然闪过一个想法：能否在调控疼痛的研究中引入音乐元素。

课题组摸索了小半年，请教询问国内外听觉专家，确定了建立声音镇痛的小鼠模型这一方向和目标。

之后，课题组进行大量尝试和探索，每天泡在实验室里，和仪器、设备打交道，查看相关文献。他们往往是早8点半之前到，晚上10点以后才离开。

研究人员首先给瓜子发炎的小鼠播放3种不同类型的声音，分别是舒缓的音乐、不协调的音符及白噪音。结果显示，这3种声音在低强度（大约是耳语水平）播放时，都能有效缓解小鼠的疼痛，而在高强度播放时，则无明显的镇痛效果。

有研究据说认为，声音的镇痛效果可能与治疗环境密切相关。因此，研究人员又将小鼠放置在不同强度背景声音的环境中，结果发现，高出环境噪音约5分贝的声音能够有效缓解小鼠的疼痛。经过4个月努力，研究人员将声音的强度与环境因素有机结合，建立了声音镇痛的小鼠模型。

我们低声耳语和大声争吵时，给人带来的体验是完全不同的，在嘈杂环境中不得提高音量来交流。因此我们开创性地提出了播放声音强度和环境中各种噪音之间的强度差异，对缓解疼痛至关重要。周文杰说。

那么，声音发挥镇痛作用的神经机制又是什么？

听皮层是声音处理的最高级大脑中枢，会对听到的声音进行精细分析。研究人员利用病毒作为神经示踪剂，对小鼠的听皮层输出进行全脑追踪，发现了听皮层神经元大量投射到躯体感觉丘脑，并发现低强度的声音能够抑制这种投射。

结果表明，低强度的声音通过抑制听皮层到躯体感觉丘脑的神经投射，进而起到缓解疼痛的作用。周文杰说。

周文杰的导师张智教授要求课题组要“眼见为实”，用多种方法进行实验结果验证。为此，课题组又想出实时监测小鼠脑袋里神经元在听声时活动变化的验证方法。

为了直观看到神经元在听声音时的变化机制，课题组建立了在体电生理记录，并摸索和建立了深部钙成像技术体系。通俗地说，就是让小鼠在自由活动的环境中听音乐，通过仪器，实时观察小鼠脑内神经元在听声音时更细节性的放电活动和变化。

与此同时，课题组不断变换可能出现的实验条件，探究声音的频率、播放时间、强度等影响因素在声音镇痛中的作用。

周文杰回忆，研究论文修改截止日期和爱人预产期在同一周，此时，课题还需要补充大量的实验，处在紧要关头，他牺牲了大量陪伴家人的时间。

文章发表时，《科学》杂志给出高度评价：通过创建一个研究机制基础的模型，为音乐/声音引发镇痛或者缓解疼痛的深入研究开辟了新的方向。目前在国内，使用声音或音乐用于治疗疼痛的应用尚未广泛推广。周文杰说，未来，计划找到新的突破点，研究声音旋律的差异对声音镇痛神经机制的影响，也希望加快成果的临床应用转化。