

大家



中国科学院院士朱茂炎

给地球生命书写“远古家谱”

中国科学院院士、中国科学院南京地质古生物研究所研究员朱茂炎——

我是谁？我从哪里来？要到哪里去？人类对自身的终极追问，既是哲学问题，也是科学问题。中国科学院南京地质古生物研究所研究员朱茂炎所做的研究，就是用科学方法回答这些哲学问题。

办公室里，堆着一摞摞资料的桌面上，摆放着几块野外科考带回来的化石。这些外表不起眼的石头，记录着地球生命演化之谜。“我们的研究就像给地球生命书写‘远古家谱’，追踪生命如何从最简单的形态变得复杂多样。”朱茂炎说。

“沉下去之后，感觉问题越来越多”

朱茂炎与地质学的结缘，始于少年时代对大山的向往。有次放学和同学散步，看到长江南面的群山连绵起伏，他忍不住感慨：“要是能到那里爬爬山，该多带劲！”同学随口一句：“以后考大学学地质，搞地质的人天天爬山。”从那时起，学地质就像一颗种子，在他心里扎下了根。1981年，朱茂炎考入了长春地质学院（后并入吉林大学）地质学专业。

读完本科和硕士研究生后，朱茂炎来到中国科学院南京地质古生物研究所，跟随研究员陈均远攻读博士学位。1984年，中国古生物学家在云南澄江的帽天山发现了保存精美的寒武纪动物化石群——澄江动物群。当年，陈均远正致力于开展澄江动物群的化石发掘和研究工作。

朱茂炎说，在一次博士论文选题讨论中，陈均远建议他对澄江动物群化石的保存之谜开展研究。于是，朱茂炎动身前往澄江。

生物学界有个“达尔文之惑”：在拥有漫长历史的地球上，直到寒武纪，复杂多样的生命才开始出现。这一生命演化事件被称为“寒武纪生命大爆发”。在更古老的岩层中，却没有发现这些复杂动物演化的过渡型化石，这与“渐进演变”产生了矛盾。

20世纪80年代澄江动物群的发现，引起了科学界的关注，也将“达尔文之惑”再度推到了研究者面前。“澄江动物群是保存完整的寒武纪早期古生物化石群，共涵盖20多个门类、300余种化石，表明地球上所有的动物门类在当时都已出现了，尤其以软躯体动物化石的罕见保存为特色。”朱茂炎解释，软躯体动物很难形成化石，但澄江动物群因浅海里的泥沙搅动，快速被埋藏在细腻的泥内，在长期无氧环境下形成了矿物质“保护罩”。

此次澄江之行坚定了朱茂炎的科研选择。他决定将博士论文题目定为“澄江动物群的埋藏学”，自此投入对寒武纪生命大爆发的研究。朱茂炎说：“沉下去之后，感觉问题越来越多，瞄准问题研究，就能找到科研的乐趣。”

“野外科考就是背着馒头上山、背着石头下山”

直到今天，朱茂炎仍对1991年去云南的一次科考情景十分难忘。“坐一整天公共汽车到达偏远的目的地，好不容易才找到借宿的地方。”朱茂炎说，第二天清晨，他背着工具上山，寻找剖面 and 化石。人迹罕至的山区突降大雨，山路陡峭且湿滑难行，他累得腿肚子直发

料，只能手脚并用，紧紧抓住旁边的草木，才没有滑下悬崖。

“野外科考就是背着馒头上山、背着石头下山”，朱茂炎不觉得辛苦，每次发现化石，哪怕是小小的收获，他都乐在其中。

朱茂炎第一次尝到“登顶”的喜悦，是2005年他以第二作者的身份，在《科学》杂志发表了一篇论文。

此前，学界有个假说：地球曾经历“冰河时期”，就像一个雪球，赤道大洋都被冰封了；接着，又迎来“超级温室”时期。两个极端事件结束后，“生命大爆发”开始了。

朱茂炎和同行在湖北宜昌三峡地层中发现几层火山灰，证明“雪球事件”在华南和纳米比亚这两个处于不同纬度的大陆上同时结束，从而支持了这个假说的合理性。同时，他们还发现，海洋中发生过一次碳同位素负异常事件，认为当时的大洋氧化水平快速增加，成为导致“生命大爆发”的关键原因之一，为解开“达尔文之惑”提供了可能的解释。

30多年来，朱茂炎带领团队，勇敢攀登一座座科研高峰——

2020年，朱茂炎团队在澄江动物群中发现5亿多年前的麒麟虾化石，它嵌合了泛节肢动物和真节肢动物祖先类型的特征，是解关节肢动物起源之谜的过渡型物种；

2024年，团队成员苗兰云博士在华北燕山地区的地层中，发现了多细胞真核生物化石，将包括人类在内的大型复杂动物的“共同祖先”在地球上出现的时间往前推了约6亿年；

今年，团队与合作单位对湘西花垣生物群的发现研究，揭示了深海环境发生快速演化创新，维持较高的生物多样性……

朱茂炎认为，科研如爬山，不能想着“弯道超车”，要一步一个脚印。“我们所做的工作，看起来是点上突破，实则是一脉相承、系统推进。”朱茂炎说。

“要站在整个地球演化的高度来探讨生物演化的奥秘”

“地球生命演化是一个复杂的系统科学，涉及大气、海洋、地质，以及分子、基因、生态等不同学科；要站在整个地球演化的高度来探讨生物演化的奥秘。”朱茂炎主张通过国内外合作、多学科交叉的方式，集采众长开展研究。他经常组织国际学术交流会，发起国际合作计划，促进学科交叉、人才培养。

麒麟虾化石和花垣生物群相关论文的第一作者曾喆，在南京大学读大二时，就被朱茂炎吸收进课题组，周末跑野外、看标本，开展节肢动物化石研究。从进组开始，朱茂炎就要求他做好资料收集整理工作，建立节肢动物的化石性状数据库，以便从谱系关系而不是单一化石的角度来开展研究。

为了让更多人了解生命的起源和演化，关注古生物学研究的进展，朱茂炎经常四处奔走。

“我们利用一些活动机会，向地方政府建言献策；保护和发展是一体两面。守护好人类的共同财产，可以成为城市转型发展的资源。”朱茂炎说，通过大家的努力，野外科考得到了越来越多地方的理解支持。

1998年，科学家们在贵州瓮安磷矿采区埃迪卡拉纪地层中发现了大量距今6亿年的动物胚胎化石，这是全球研究动物起源和早期演化历史的一个重要窗口。朱茂炎心情很激动，想尽办法呼吁各界关注，最终使这一化石产地得到了有效保护。

朱茂炎还经常去学校，给中小學生做科普。他展示各类有趣的研究成果，在孩子们心中种下热爱科学、关心地球的种子。

“解开‘达尔文之惑’，我们这一代人做出了一点成绩，但还有许多未解之谜仍待探索，需要年轻人接力干下去。”朱茂炎说，团队目前正在推进3个方向的研究：继续深耕“寒武纪生命大爆发”，探索更早期的生命演化轨迹，开展生命起源和地外生命研究……攀登新的“高山”，他们一直在路上。

（文据《人民日报》2026年6月5日第6版，有删节；图据中国科学院大学网站）

核能发电：藏在“烧开水”里的硬核能量

核能发电：藏在“烧开水”里的硬核能量

我们日常用的手机、电脑，夏天离不开的空调，都靠电力驱动。在众多发电方式里，核能总披着神秘又危险的外衣：有人怕它像原子弹一样爆炸，也有人说它是低碳能源中的佼佼者。其实核电没那么高深，它的核心原理居然是“烧开水”，背后藏着不少有趣的科学知识。

铀原子“多米诺骨牌”：核能发电的核心秘密

核能来自金属铀-235，你可以把它想象成超高密度的“能量压缩饼干”：拳头大小的天然铀矿石，铀-235含量不到1%，加工后释放的能量却足以支撑一整个小镇好几年的照明。

很多人把核电站想得像原子弹一样危险，其实二者天差地别。核电站用的是低浓缩铀，铀-235浓度仅3%—5%；而原子弹需要90%以上的武器级高浓缩铀，还要搭配精密引爆结构才能爆炸。打个比方：低浓缩铀就像低度啤酒，根本点不着；高浓缩铀才是高纯度酒精，能被轻易点燃。因此核电站不会发生原子弹式的核爆炸。

发电的核心是核裂变链式反应，原理和多米诺骨牌很像：用一颗中子撞击铀-235原子，原子核会分裂成两个小原子，同时释放2—3颗新中子和大量热量。新中子继续撞击周边铀原子，让反应持续进行，源源不断释放热量。

后续发电过程和火电几乎一致：用热量把水烧开，产生高压蒸汽推动汽轮机旋转，带动发电机发电。二者唯一的区别就是“热源”不同——火电烧煤炭，核电靠核裂变放热。核燃料能量密度是煤炭的几百万倍，一根小小的燃料棒，就能支撑核电站连续运行一年多。

目前商用核电站主要有两种技术路线。

压水堆：双回路设计。一回路由高压水吸收堆芯热量后保持液态，通过蒸汽发生器间接加热二回路水产生蒸汽，驱动汽轮机发电。带放射性的一回路与发电侧完全隔离，安全性更强。

沸水堆：单回路设计。冷却水直接在堆芯内沸腾汽化，蒸汽经净化后直接驱动汽轮机发电。省去蒸汽发生器，结构更简单，但蒸汽带有微量放射性，发电侧需

配套辐射防护。

层层设防的“安全堡垒”：核电站的防护有多强

很多人担心放射性物质泄漏，其实，现代压水堆有四道安全屏障，就像给放射性物质套了四层“密封盒”：从固化裂变产物的陶瓷燃料芯块，到密封燃料的锆合金包壳，再到厚重的反应堆压力容器，最后是1.5米厚的钢筋混凝土安全壳，层层包裹，牢牢锁住放射性物质。

此外，核电安全技术也在事故复盘与技术迭代中持续升级，每一次严重事故的教训，都推动着全球核电安全标准实现阶梯式跃升。1979年美国三哩岛事故首次暴露了堆芯损伤风险，推动行业完善了事故应急响应规程，增设了堆芯状态诊断系统，进一步夯实了纵深防御的设计理念；1986年苏联切尔诺贝利事故暴露出堆型设计缺陷与管理体系漏洞，倒逼全球建立了统一的国际核安全监管框架，彻底淘汰了无安全壳包容的石墨水冷堆型，全面强化了反应堆的固有安全性；2011年日本福岛事故由超设计基准的地震与海啸叠加引发，让全球核行业将极端自然灾害纳入安全标准，重点补强了应对纳入了安全标准，重点补强了第二代核能技术安全水平提升了一个数量级，真正实现了从“被动应对事故”到“主动预防事故”的本质安全跨越。福岛核事故发生后，全球核电站都加装了非能动安全系统。这套系统不用外接电源和主动水泵，完全靠重力、自然循环等物理规律带走堆芯热量，就算全厂断电也能自动降温，相当于给核电站装了“不用插电的自动灭火器”。

大家关心的核废料也有成熟处理方案。反应堆卸出的乏燃料，还剩约95%的可利用资源，通过后处理技术可提取铀、钚重新制成燃料，大幅提升资源利用率。剩余高放射性废物会被玻璃固化封装，埋入地下几百米的稳

定岩层中，和人类环境永久隔绝，就像放进了地下“永久保险柜”。

有意思的是，核工业产物早已走进生活：家里的烟雾报警器里，就有微量放射性同位素镅-241，它正是核燃料后处理的产物，默默守护着居家安全。

全球核电大盘点：中国核电有多厉害

截至2025年底，全球31个国家拥有在运核电站，全年核能总发电量达2.677万亿千瓦时。受风电、光伏等新能源快速扩张影响，核电占全球总发电量比重约9%，但绝对发电量仍在持续增长。

各国核电发展路线差异很大：法国70%的电力来自核电，是全球核电依赖度最高的国家；美国以94台机组保持装机规模全球第一，近年来也在推动核电复兴；德国、比利时等国则在逐步关停核电。与此同时，十余个国家正在规划建设首座核电站，核电正重新成为全球能源的热门选择。

我国核电起步不算早，但发展速度飞快。截至2025年底，我国在运核电机组59台，总装机约6226万千瓦，规模稳居全球第二；在建机组35台，在建规模已连续19年位居全球第一。仅2025年，我国就核准了10台新机组，连续四年保持稳定建设节奏。

我国核电站大多分布在东部沿海8个省份的25座基地，从辽宁徐大堡到广东陆丰，形成了沿海核电产业带。2025年我国核能发电量超4600亿千瓦时，约占全国总发电量的5%，位列全球第二。

在“双碳”目标下，核电的价值愈加凸显。它是少数能24小时稳定供电的低碳能源，不受天气影响，可与风电、光伏形成互补，让电网更稳定。未来我国会在保障安全的前提下，有序发展核电，探索更多民用场景。

核电从来不是“洪水猛兽”，而是人类利用自然规律的智慧结晶。从微小的铀原子到点亮千家万户的电灯，“烧开水”的简单逻辑背后，是一代代科研人对安全与效率的不懈追求。了解核电你会发现，科技的魅力，就在于把看似强大的力量，变成守护日常生活的可靠能量。

非遗传承

千髹万琢 漆耀天府

成都漆艺的基因图谱与时代新貌

高敏 尹利萍

生命(漆塑) 尹利萍

四川自古盛产生漆和朱砂，为成都漆艺的发展提供了得天独厚的条件。成都漆艺又称“卤漆”，发轫于商周，兴盛于汉唐，绵延至明清，以精美华丽、富贵典雅、光泽细润、图彩绚丽著称。

融合了“三雕一刻”等多种装饰技法的成都漆艺，充分展现了中国古代工艺术术的卓越成就。回望历史，一件件传世漆艺珍品沉淀千年底蕴，尽显匠心风华。如成都金沙遗址出土的漆器残片，在跨越三千余年历史长河后仍旧纹饰斑斓；长沙马王堆汉墓出土的漆器，距今已有两千多年历史，其中部分器身可见“成市草”戳记，表明其是由成都官府作坊所制。2006年，成都漆艺被列入首批国家级非物质文化遗产名录，如今更在新一代非遗传承人的坚守与耕耘中焕发新的光彩。

◆ 溯脉寻源

长久以来，成都漆艺坚持采用纯天然材料，保持古法手工制作。一件作品通常需经数十道工序，历时数月甚至数年方可完成。

成都漆艺的制作一般要历经制漆、制胎、批灰、髹漆、装饰、打磨、揩清等步骤。匠人首先将生漆过滤，而后根据其品质精制成底漆、髹涂漆，以及绿、红、黄、黑等各种色漆。胎体大多是以木材经车旋、卷制等工艺制作而成，也可采用丝绸、苎麻等织物，甚至是金属、琉璃、陶瓷、皮革等材料，故有“万物皆可髹”之说。胎体成型后于其上揉漆，再以大漆调和瓦灰、黏土等进行裱布，经三灰三磨等几十道工序，使其表面平整。待髹涂大漆后，漆层坚硬耐磨，可起到防腐、防水、抗腐蚀的作用。

成都漆艺的装饰技法颇多。其中，素髹强调删繁就简，只留漆色之美；彩绘包括描金、描银、描彩等，追求华美绚丽的艺术风格；堆漆是将漆灰或漆液层层堆积，待其干燥后形成立体浮雕之形；撒绘则指将不同粗细的色漆粉撒于器物表面，形成区别于画笔绘制的独特艺术效果。

“三雕一刻”是成都漆艺最具代表性的装饰工艺，即雕花填彩、雕漆隐花、雕银丝光 and 拉刀针刻四种技法。

雕花填彩讲求用刀的轻重缓急之变，其精妙之处在于匠人需以雕刀削刮掉厚度约0.5毫米的漆膜而不伤底灰，再用色漆嵌填数次直至平整，打磨揩清。雕漆隐花的工艺特点是“浑然一体”，其雕刻步骤与雕花填彩相似，区别是在雕好的纹饰上髹金底漆，贴金银箔后再罩透明漆，而后打磨揩清。雕银丝光与《髹饰录》中记载的“嵌银”工艺类似，不同之处在于可用锡片或其他金属片替代银片，其特点是在已髹雕好的纹样上用针划笔钹划刻线，使金属材料的光泽与漆面色彩交相辉映。拉刀针刻技艺源于汉代锥刻工艺，其特点是在已揩清的黑漆或色漆表面用针尖镌刻纹饰，依靠点

的疏密排布和线的转折变化来组织画面，而后戥金或戥彩。

20世纪70年代，长沙马王堆汉墓出土文物轰动国内外，其中一件云纹漆钫造型古朴、纹饰华丽，成为出土漆器中的珍品。成都漆艺国家级代表性传承人宋西平以该件云纹漆钫为灵感创作了一对“雕漆隐花云气纹漆钫”，作品运用了雕漆隐花工艺，胎体做好后首先髹漆数遍，待其具有一定厚度再在漆面上进行云纹雕刻，并在雕好的纹饰中填漆、贴金银箔。待漆干后，再髹涂透明漆数遍，打磨揩清直至漆面光亮、有透手感。近观之下，这对漆钫呈现出红润的玛瑙色，精美云纹在漆下浮动欲飞，呈现出流光溢彩的视觉效果。

由漆艺家曾庆华、周玉华设计，中国工艺美术大师杨莉制作的漆屏《文君听琴》，则运用了拉刀针刻技艺。创作时先以上等细木制胎，三灰三磨做漆灰底，髹以多层黑漆，经层层精细研磨、揩清，让漆面光亮照人，再脱稿拉线，以粗、中、细三种拉刀拉出人物线条。接下来以细针刻画人物鬓发、衣物纹饰及背景，最后填白漆于线内，擦净黑漆部分再揩清。画面中两位身着华服的女子姿态优雅、头饰精致，黑白色调简约大气，蕴含深邃韵味。

◆ 拓境创新

随着时代的发展和艺术理念的不断更新，成都漆艺在坚守传统精髓的同时不断探索新路。

在表现形式上，匠人们积极尝试将成都漆艺的传统技法融入漆画、漆塑等的创作，题材上则跳出古典纹样的固有框架，融入自然山水、都市风貌、民俗生活等元素，力求拓展成都漆艺的表达维度。

青年漆艺创作者周容的漆画作品《秋天的童话》表现了秋日里的白桦林。作品以实木板为底胎，裱布加固，再以传统髹涂工艺做底。画面主体的白桦林，以蛋壳镶嵌工艺表现树干，凸显其斑驳的肌理。背景则采用暖色系漆粉配以金银粉撒绘，再用透明漆层层髹涂，精细打磨，使其形成空间层次，营造出静谧而富有诗意的氛围。

由成都漆艺国家级非遗传承人尹利萍创作的大漆雕塑《生命》，其造型灵感源于植物的萌芽形态，旨在表现和赞美生命的顽强。作品整体以传统脱胎工艺制作底胎，以大漆作黏合剂，将粗细不同的苎麻层层裱褙，令胎体坚硬且轻盈。之后髹涂数遍底灰于胎体之上，打磨平整，再髹涂底漆。雕塑表层以犀皮漆工艺营造肌理感，再于其上以石青、石绿等矿物颜料调和大漆髹涂，贴金箔，如此数十遍。最后镶嵌夜光螺钿点缀，外罩透明漆。近百遍的髹涂与打磨，赋予漆塑作品斑斓的色彩与丰富的质感变化，使之具有强烈的视觉冲击力，展现出传统漆艺在当代艺术创作中的无限可能。

此外，为了让传统漆艺回归现代生活，艺术家与设计师们积极探索大漆材料在服饰、文创及家居用品等领域的运用。如陈阳设计的婚鞋“凤栖梧桐”是传统雕漆工艺在婚庆用品上的探索实践；范柳设计的漆艺茶具“海上生明月”融合了大漆与玻璃材料，兼具传统韵味与现代美感；张丹设计的首饰盒“冬·眠”采用脱胎工艺，器型简约、质感细腻，彰显出大漆材料的本色之美。

成都漆艺是中国漆艺的重要组成部分，它既是成都当地民风的鲜活见证，也是一代代匠人智慧的凝结。从古老器物到当代用具，一件件漆艺作品或精美华丽，或质朴厚重，在传承与创新间绵延古韵，绽放新辉。

（文图据《光明日报》2026年5月17日第9版，有删节）