大家

中国科学院院士、大连理工大学教授钟万勰——

用好数学工具 解决力学难题

□胡婧怡

人物小传

钟万勰，1934年生于上海，工程力学与计算力学专家，中国计算力学发展的奠基人之一。1993年当选中国科学院院士。首创“离散辛数学”方法，研究提出精细积分法、计算结构力学与最优控制的模拟关系、参变量变分原理等。曾获国际计算与实验科学工程大会（ICCES）终身成就奖，国家自然科学奖二等奖、何梁何利科学与技术进步奖、辽宁省自然科学奖一等奖，全国模范教师称号。

上课铃声响起，大连理工大学第一教学馆115教室，一位白发老者站起身来，将随身的拐杖放在一旁，一手撑着讲桌，一手握着翻页笔，声音洪亮、精神饱满。这是一堂运载工程与力学学部的研究生课程，学生们认真地听着眼前这位89岁老院士的讲解。“辛”，是很多力学问题基本方程的数学性质，求解时，保持方程的“辛”结构，可以稳定控制偏差。由钟万勰开创的“离散辛数学”，让“辛”从晦涩难懂的数学领域走入了应用力学的实践场景。

从发展中国的计算力学，到开创“离散辛数学”，再到讲授相关知识体系，钟万勰毕生的学术追求，就是要为我国的数学研究争得一席之地。

钟万勰教授指导学生团队

将算法语言转化为力学语言，开发结构分析计算程序，解决工程技术难题

1934年，钟万勰出生于上海，父亲钟兆琳是我国电机学的奠基人之一，从小开始，钟万勰就深受家庭氛围影响。

1952年，钟万勰考入同济大学桥梁与隧道工程专业，大学期间，他自学了《柯氏微积分学》、柯朗—希尔伯特《数学物理方法》、斯米尔诺夫《高等数学教程》。毕业前夕，他撰写的论文《弹性力学中的接触问题》被校长李国豪看中，推荐给中国力学学会。时任中国科学院力学所副所长钱伟长看后，请他给自己做助教。1959年，时任所长钱学森派钟万勰到中国科技大学担任理论力学课程的主讲教师。1962年，钟万勰来到了大连工学院（大连理工大学前身）。

20世纪70年代初，由于电子计算机的应用，国际上力学研究和应用发生了巨大变化，但我国在计算力学领域研究还是一片空白。时任中科院学部委员、大连工学院数理力学系教授的钱令希派出以钟万勰为骨干的团队，研发推广土木结构计算分析程序。这类程序设计，计算量巨大，以前都是手工计算，耗时长。如何将计算机算法语言应用到力学分析上，国内几乎没有资料可查。

当时，全上海仅有两台小型计算机可用，钟万勰只在每天晚上12点左右有10到15分钟的上机时间；为了准备存储用的纸带，需要在清晨6点前去“抢占”为数很少的穿孔机。就这样从头开始、废寝忘食，钟万勰将算法语言一点点转化为力学语言，开发出结构分析计算程序软件，填补了国内空白。

两台计算机内存非常小，为了解决大量的计算问题，钟万勰又将数学中的“群论”与结构力学相结合，实现了“小马拉大车”的效果。大连交通大学退休教授吴昌华回忆：“我用钟万勰结构分析程序算齿轮，14个齿，28个对称轴，按照群论理论，只要对二十八分之一的面积或者体积进行划分、求解，问题就全部解决了，效率太高了。”

1983年，钱令希让钟万勰带队，在渤海石油开发方面开发属于中国自己的通用分析程序。钟万勰带领团队仅用一年半时间，就做出了结构设计计算程序。“我们的头脑不比别人差，中国人挺直腰板自己干，一定行！”钟万勰说。

到20世纪80年代初，国内已经有几千个工程使用了钟万勰开发的软件，解决了大量工程中的技术难题，我国在计算力学领域与国际的差距逐渐缩小。

创建“离散辛数学”，让传统“辛”体系摆脱局限性，适应信息化数字化需要

1996年，钟万勰到国外讲学，他讲的“离散辛数学”，是对弹性力学求解“半逆法”的挑战，赢得了现场经久不息的掌声。有专家感叹：“弹性力学还可以这样改进！”

“辛”，代表了动力学能量传递过程中状态两端的一种对称结构，称为变分法和传递辛矩阵，动力学要求，能量从初始产生到完成传递，辛矩阵要达到能量守恒，这是控制学中最基本的问题。所谓“保辛”，就是系统的守恒。“半逆法”在数学求解上有一定成分的“凑”和“猜”，导致该理论一直不能被广泛应用。

“这个难题，我也来碰一碰。”20世纪50年代，钟万勰就对“半逆法”产生了质疑。在之后的近40年时间里，钟万勰先后创立了“群论在结构力学中的应用”“极限分析中新上、下限定理”“参变量变分原理”“精细积分法”等独树一帜的计算力学理论与方法。他在分析动力学“辛”体系的基础上，从结构力学入手，引入状态向量的描述，进行区段离散分析，打通了分析动力学与分析结构力学之间的隔阂，实现数值计算。

1993年，《计算结构力学与最优控制》出版；1995年，《弹性力学求解新体系》出版——这是钟万勰一生40余部著作中最有分量的两部。钟万勰创建的“离散辛数学”，让传统“辛”体系摆脱了高深难懂、脱离工程实际的局限性，适应了信息化、数字化的时代需要。

“中国古代传统数学称为算术，讲究应用，是要实实在在地算出数值来的。”钟万勰骄傲地说：“当代的中国数学应该在国际学术界占有一席之地了！”

多年坚持授课，引导学生将科研目标瞄准解决实际问题

见到钟万勰时，他正在为刚出版的《辛数学及其工程应用》一书进行补充、修订。一个10平方米左右的房间里，写字台离床铺很近，他说，这是为了便于工作起居。“现在这本是研究生教材，我想再删减、补充一些内容，再出一本本科生教材。”钟万勰摘下眼镜，揉了揉双眼说。

钟万勰一直坚持为高年级本科生和研究生上课。一节课90分钟，每次上课前，他都吃得很少。“胃里没负担，好讲课。”腿脚不便，他就自带个“小墩子”，累了就坐下讲课。

“上课是为了保持研究状态，也希望能引导更多学生研究‘辛’的问题。”钟万勰说。

钟万勰潜心于理论研究，同时也关注如何将自己的研究与传统文化结合起来。近年来，他把“辛”体系按照祖冲之方法论进行归结，提炼中国古代数学，求解现代力学问题。“祖冲之计算圆周率的思路是割圆法，可推测为：平面上两点之间连接的短程线是直线，而约束只要在离散格点处满足即可。当前已经处于计算机、信息时代，看起来非常精美的图像，其实全是离散数值表达的，中国的算术传统优势在其中体现出来了。”钟万勰说。

即使他的结构计算理论已经被广泛应用于航空航天、土木建筑等许多领域，钟万勰仍觉得有遗憾：“当年我就没能把握住在高层建筑和内燃机设计方面的两次机会，还是推广应用做得不够好。”

“我们研究数学是为了应用，”钟万勰常教导学生要把论文写在祖国的大地上，“一定要把目标瞄准解决国计民生的实际问题！”

（据《人民日报》）

科技大观

随开采随捕获 规模化『开源』

将二氧化碳打入『冷宫』

□何 亮

近日，随着对讲机传来“启动”的指令，位于南海珠江口盆地的中国海油恩平15-1平台，响起设备轰鸣声，喷涂有蓝色“中国海油”字体的马达钻具开始缓慢下沉入海。恩平15-1平台正式开启二氧化碳回注井钻井作业。这是我国第一口海上二氧化碳回注井。为什么要将二氧化碳封存起来，封存二氧化碳的方法有哪些？

预计封存二氧化碳150万吨以上

恩平15-1平台是目前亚洲最大的海上石油生产平台，2022年12月7日投入使用。该平台搭载我国首套海上二氧化碳封存装置，模块重约750吨，核心设备包括二氧化碳压缩机橇、分子筛、冷却器等。

回注井投产后，恩平15-1平台将规模化向海底地层注入、封存伴随海上油气开采产生的二氧化碳，预计高峰阶段每年可封存二氧化碳30万吨，累计封存二氧化碳150万吨以上，相当于植树近1400万棵，或停开近100万辆轿车。

“恩平15-1油田是我国南海首个高含二氧化碳油田。”恩平15-1油田群开发项目组钻完井经理邓成辉表示，中国海油开展适应海上二氧化碳封存的地质油藏、钻完井和工程一体化关键技术研究，最终确定将二氧化碳封存在距离恩平15-1平台约3公里处的“穹顶”式地质构造中。

“该种地质构造仿佛是一个倒扣在地底下的‘巨碗’，具有强大的自然封闭性，能够长期稳定地罩住二氧化碳。该口井水垂比高达3.4，意味着在钻进过程中，垂直方向每向下增加1米的深度，水平方向就要前进3米以上。”邓成辉说。

“开源”成为当前技术研发热点

随着全球温度上升，极端天气、森林火灾、冰架垮塌等事件层出不穷，遏制气候变暖成为国际社会迫在眉睫的问题。二氧化碳是大气中主要的温室气体，被认为是遏制气候变暖的突破点。

2015年，《巴黎协定》就约定，各国的长期目标是将全球平均气温，较前工业化时期上升幅度控制在2℃以内，并尽力将其限制在1.5℃以内。以其目标上限2℃计算，全球碳排放允许的总量为1万亿吨。这是人类第一次清晰界定环境承受的极限边界。

经过政府间气候变化专门委员会（ICPP）测算，自19世纪工业革命以来，全世界累计排放已超过6000亿吨，超过该预算总额60%。这就意味着，如果不采取强力干涉措施，按照当前的排放速度，全球碳预算总额将在2045年耗尽。

“从逻辑上讲，减少空气中的二氧化碳要在‘节流’与‘开源’两个方向努力。”中海油研究总院新能源研究院低碳技术研究室主任于航表示，“节流”指的是减少排放输入，最大限度减少甚至替代煤炭、石油等化石燃料的使用，从而减少人类活动产生的二氧化碳；“开源”指的是增加消纳来路，尽最大可能提高环境和人工二氧化碳的固碳能力。

“目前，短时间内实现化石能源完全替代‘节流’困难重重，而将二氧化碳捕捉并长期封存起来的规模化‘开源’办法成为当前技术研发的热点。”于航说。

地下咸水层被视为二氧化碳长期封存的最优场地

简单理解，二氧化碳“封存”就是要找个“坑”，把二氧化碳埋起来，不让它逃进大气层里捣乱。

其实，封存二氧化碳也没什么特别，地下、水里都可以，关键是坑要挖得深，埋要埋得严实。于航介绍说，地质封存一般是将超临界状态的二氧化碳注入深层地质结构中进行封存。常见的适宜碳封存的地质结构包括油田、气田、咸水层、不可开采的煤矿等。比如，地下深部咸水层，因具有分布广泛、储存量大等特点，被视为二氧化碳长期封存的最优场地。

地质封存只是单纯的物理封存法，另一种矿物封存方式则需要经过一系列的化学反应，主要是二氧化碳与含镁和钙的矿物发生的放热反应，在催化剂的辅助下把气体二氧化碳转化成稳定的固体碳酸盐，主要是菱镁矿和方解石。于航表示，相比于地质封存，固态碳酸盐矿物质没有泄漏风险，可以永久封存二氧化碳且对环境无害。

在广袤的海洋，地质条件优越的海上盆地还有很多，而且远离人群聚集区域，实施二氧化碳封存或利用的安全性较高。于航告诉记者，中海油研究总院等科研单位，正在加大海上二氧化碳捕集利用及封存的关键技术科研攻关，推动海上规模化二氧化碳捕集封存项目的研究示范，真正释放海洋地质封存的潜力。

（据《科普时报》）

非遗传承

荣昌安陶 演绎山水气象

□影 子

“前山矿子后山炭，中间窑烧陶罐罐”，安昌民谣里的“陶罐罐”即荣昌安陶。中国“四大名陶”之一的荣昌安陶，因出产在安富镇，被称为“安陶”，有着“红如枣、薄如纸、亮如镜、声如磬”的美誉。安陶兴起于汉代，兴盛于唐宋，在明清时期闻名于世，距今已有2000多年历史，上个世纪70年代，荣昌安陶还曾被选为国礼，赠送给世界各国政要。今天，荣昌陶器制作技艺已列入国家级非物质文化遗产保护名录，成为重庆荣昌区重要的文化品牌。

“安富场，五里长，瓷窑里，烧酒坊，泥精壶壶排成行，烧酒滴滴巷子香……”这句流传了几百年的民谣，生动描绘了荣昌陶器生产的盛况，也暗藏着安陶小镇的前世今生。安陶小镇广场上，巨大的陶罐造型大门、烧制陶器的阶梯龙窑、沿路陶罐造型的路灯，处处都让人联想到陶器与小镇的密不可分。梁洪萍的“荣昌安陶”工作室就开在荣昌安陶博物馆对面，店门两侧摆放着大大小小的陶器。进入店内更让人眼前一亮，正中央是一个高两米多的巨大陶罐，周围的多宝格与博古架上，琳琅满目的陶艺产品，无一不精美。小巧玲珑的各色陶器，古拙素雅，清晰灵动，让人爱不释手。缸钵盘盏等陶制艺术品，造型优美典雅，色彩绚丽光洁，彰显着荣昌陶精美的古老技艺；壶罐坛碗等家用陶器，装饰古朴大方，美观适用却又展现着独具的烧陶风采。荣昌安陶让人心静陶然，真是造型美、雕刻美、釉色美、烧制美，处处皆美！

梁洪萍文静秀雅，衣着大方，容貌可人，正在和父亲梁先才（荣昌陶国家级非遗代表性传承人）一起研究工艺，看到访客进门，她热情地介绍起荣昌陶艺来。在梁洪萍看来，最能代表荣昌安陶的，那一定是他们的“泡菜坛”。喜食酸辣的西南地区，家家户户都有这件相同的宝贝，这个看似朴实无华的食物容器，却成为了千百年来人们共同的记忆纽带。“我们的荣昌安陶，是中国四大名陶之一，其中又以烧制泡菜坛子最为有名。”梁洪萍使劲搓了搓手上粘着的陶土，戏称说粘在手上就舍不得落下来，对出产在本地的陶土，她颇为自豪，之所以荣昌陶器和江苏宜兴紫砂陶、云南建水陶、广西钦州坭兴陶合称中国“四大名陶”，也正是因为安富丰富的陶土资源，仅鸦屿山脉一线，就有一条长约20余公里、宽2.5—4.5公里的优质陶土矿带，总储量达亿吨。由这种质地细腻的红、白矿泥炼制而成的荣昌安陶，胎薄质坚，可塑性强，烧失率低，因而享有“泥精”的美誉，做成的陶器就是他们口中的“泥精货”。梁洪萍说，在久远的历史中，最初陶器的发明就是为了满足人民的日常生活需求，古时巴人善于酿酒、腌制，荣昌的泡菜坛既美观耐看又优质实用，泡出来的菜不生花、不串味、不变味，口感清脆，所以这门技艺才能历经悠悠岁月，依然保留至今。

泡菜坛看似寻常，但其制作技艺却并不简单。一个烧制精美的泡菜坛，要经过选泥、醒泥、揉泥、制坯、晾晒、修坯、刻花、上釉、打磨、装窑、烧制、出窑等二十余道工序才能完成，可以说最能代表荣昌安陶的制作技艺高度。在梁洪萍的工作室里，除了能观赏到精品陶器，还能现场观摩工匠们拉坯、粘接、雕刻花，在陶器行业流行机械化批量生产的今天，这样的场景着实少见。梁洪萍有她自己的想法，作为非遗传承人，无论时代怎样改变，她都愿意坚持守护好荣昌安陶的“魂”，用传统的技法做好每一件产品。

在安陶小镇的大门上，文化学者冯骥才先生题有这样的对联：“一炉窑火印千秋，双色泥陶福万代。”创意地运用红、白两色泥产生的装饰效果，是荣昌安陶的刻花装饰特有的一种风格。梁洪萍就是在这方面大做文章，红泥和白泥半成品坯上采用相反的泥料化妆土，刻画图案，形式多为二方连续纹样，有折带纹、水波纹、回纹等几何纹，还有龙纹、凤纹、缠枝纹等抽象图案或装饰性图案，纹样多吸取自然界各种优美的形象，富有装饰趣味，呈现出的特征是图案多样、流畅、饱满，且含有吉祥、丰收、喜庆之意，与当地民风民俗及现实生活中的人物、动物、花草等相关。他们设计的仿唐卷草纹图案，就是根据当地民间图案不断美化与提升，让图案与陶器完美融合，达到源于生活，又高于生活的艺术表达，最为当地民众认可。

梁洪萍手下诞生的陶艺作品，宛若一个陶艺王国，成竹在胸的拉坯神韵，鬼斧神工的雕刻运笔，斑斓变幻的神奇釉色，丰富多彩的曼妙器皿，处处令人心动。在荣昌安陶里，最具特色的是绞泥工艺制作的器物。在梁洪萍桌上，就摆着几件刚完成的绞泥作品，器物上红与白优美地融合在一起，有着行云流水的自然纹理，十分耐人寻味。梁洪萍说，绞泥工艺，就是将白泥适量地融入红泥中，混合后再手工拉坯成型。这种器物烧成后不但图案自然天成，而且每件都是独一无二，天然去雕饰，轻盈而飘逸，既有挥洒自如的动感，亦有空灵纯净的静谧。

当陶土千锤百炼成为泥精，当指尖创造出万千器皿，荣昌安陶，这泥与火相生的结晶，这心与手相融的宝器，在妙手飞扬间，演绎山水气象，流淌岁月芬芳，走向四方天下传扬。