



气象“老兵”曾庆存： 为国为民为科学

□冯丽妃

莫斯科大学蹭课，拼命恶补，有时一页书琢磨很多天，才能硬着头皮“啃”下来。

基别尔感受到了曾庆存的学习劲头和迅速跟上的步伐，便给了他一个世界难题作为论文选题——应用斜压大气动力学原始方程组做数值天气预报。

所有的师兄都反对这一安排，担心研究不出来可能拿不到学位，而曾庆存这个“初生牛犊”却偏向虎山行。

没有前路可循，他就冥思苦想，吃饭、睡觉、走路都在想机理、找算法。计算机时间分配非常紧张，一个星期只有一小时使用窗口，他就抓紧时间验证。

1961年，经历了一年多的反复试验，曾庆存从分析大气运动规律的本质入手，想出了用不同计算方法分别计算不同过程的方法——半隐式差分法。计算机验证成功后，他高兴极了，立刻从机房冲了出去，想把这个消息告诉导师。但兴奋过度的他竟忘了穿大衣，因为失温，一头栽倒在莫斯科零下30度的天气里，不省人事。过路人看到了，急忙把他抬到医务室。

这个让曾庆存大病一场的算法，给出了世界上第一张求解原始方程组的天气预报图，为数值天气预报技术奠定了基础，至今仍被广泛应用。

那一年，曾庆存26岁。获得苏联科学院副博士学位的他，立即踏上了祖国大地。他在一首励志诗中写道：“温室栽培二十年，雄心初立志驱前。男儿若个真英俊，攀上珠峰踏北边。”

这条攀登之路，走得很艰辛。20世纪60年代，国内尚未有足够的电子计算机条件，回国后的曾庆存集中攻关大气和地球流体力学及数值天气预报中的基础理论问题。有人认为他“脱离实际”“走资本主义道路”，但他咬牙坚持，在大气和地球流体力学的物理、数学理论研究上做出开创性、系统性成果。

80年代初，随着长期天气预报对社会经济发展日益重要，世界气象组织将工作重心放到长期预报研究上。在此背景下，时任大气所所长曾庆存提出购买超级计算机。他认为我国在理论和计算方法上并不比国外差，制约发展水平的是计算机。

但当时我国基础研究处于困境境地，缺少必要的科研经费。曾庆存仍然坚持：“把裤子脱了去当，也要买计算机。”

为了这台计算机，他在赴美国访问时遍访友人，得到有用消息，最终购得一台。事实证明，这台计算机对数值天气预报的进一步发展极为重要。1982年，美国科学家提出能够在10年内实现1个月逐日数值天气预报，以此作为一

个月气候预报。曾庆存对此提出否定看法，并认为实现提前一个季度的气候预测是可能的。回国数年后，他带领团队得出的计算结果证明自己的想法是正确的。

在“攀珠峰”的道路上，曾庆存还提出了动力气象和地球流体力学的基础数理问题及其解决方向，在计算地球流体力学、气候系统模式设计和预测理论、相关遥感问题的理论化等方面作出了突出贡献，为数值天气预报奠定了理论基础。

因为成果突出，1980年，45岁的曾庆存当选中国科学院学部委员(院士)，2016年获第61届国际气象组织奖，2019年获国家最高科学技术奖。

许身科教以兴国

荣誉在身，曾庆存初心不改，仍在攀登。谈起科研创新的动力，他的回答很简短：“为国、为民、为科学。”

曾庆存出生在广东省阳江县一个贫农家庭。他曾光着脚板、穿着单衣，从广东考入北京大学。那时因为饥饿，18岁的他身高不到1米5，后来大学4年身高

才蹿到了1米7。“党和人民让我有饭吃、有学上，我就要好好做事情。”他说。他身体力行，忧国家之忧。21世纪前后，我国沙尘暴肆虐，给华北、西北、东北大地蒙上了一层厚厚的阴影。彼时，曾庆存刚做完手术，就加入了沙尘暴研究队伍。

沙尘暴究竟是怎么起来的？从卫星图像中很难得知原因。为了近距离观察这个对手，那时每当天气预报有沙尘暴，街上行人行色匆匆赶路时，曾庆存就会出门，到通州、密云、延庆等北京郊区野外等待沙尘暴到来。

“不入虎穴，焉得虎子？”他说。

结合实地观察和大气所325米气象铁塔的观测结果，他们发现，沙尘暴并非像想象的那样是随着大风漫天遍地卷起来的，而是和阵风关系密切。当阵风水平风速较大时，沙子会在地面滚动；当阵风变小时，沙子垂直速度反而会上升，造成扬尘。

在进一步研究中，他们发现，我国并非沙尘的输出国，而是输入国。沙尘暴的源头是北非大沙漠和中东地区，西风将沙子带到中亚、阿拉伯地区，并传到中国。这有力驳斥了国外认为中国经济发展造成环境破坏的论断。

曾庆存还为我国气象事业培育了一批优秀学者。他博学多才，带出的学生各有所长，如中国科学院院士王会军侧重大气科学研究，中国科学院院士穆穆和戴永久侧重有关数学的研究。此外，还有很多学生扎根物理学、力学、控制论和环境科学等领域。无论学生选择哪个方向，他都会因材施教。

谈起如何指导学生做好的研究，曾庆存表示：“最重要的是个人的出发点，回答为谁服务的问题。同时，在方法上，要实事求是，勤于实践。科学研究生涯往往困难重重，甚至看似是无路可通的。这需要勇气、信心和毅力，锲而不舍后，必定会找到解决办法。”

在曾庆存看来，当前基础研究人才的培养过于急功近利，特别是以在国外期刊发表文章为评价人才成长的标准，很不好。“搞科学研究基础要打稳，在国家需要的地方下功夫。科技界和产业界对人才的培养应该更耐心一点，不能跟风。”他说。

(据《中国科学报》，有删节)



气象学是一门关乎百姓日常生活和社会稳定的重要科学。它不仅能为人们提供更准确的天气预报，还在灾害管理、资源规划和环境保护方面发挥着关键作用。作为一名气象学领域的“老兵”，中国科学院院士、国家最高科学技术奖获得者曾庆存用一生执着，为数值天气预报和气象卫星遥感作出了开创性和基础性贡献。

“此身未是枯朽材”

即将成为“90后”的曾庆存生活很简单。每天早上6点左右起床，做操、吃饭，接下来主要精力都放在工作上，工作内容之一就是使中国地球系统模式加速走向国际最前沿。

20世纪90年代末，曾庆存提出构建中国自主创新的地球系统模式。简而言之，就是把地球系统“搬进计算机”。江河湖海、山川冰石、葳蕤草木、飞禽走兽……纷繁万物分属大气圈、水圈、冰冻圈、岩石圈、生物圈五大圈层。各圈层如何遵循大自然精妙的规律运转？曾庆存希望用数学物理公式将其定量地表述出来，并将各个圈层的变化规律进行耦合，从而推演地球不同圈层的变化，进行针对性的“地球实验”，以重现过去、模拟现在、预测未来。

在曾庆存的提议和组织下，我国重大科技基础设施项目“地球系统数值模拟装置”在2018年启动。这个跨学科项目由中国科学院大气物理研究所(以下简称“大气所”)牵头，国内多家科研机构与高校参与。目前，该项目已在北京怀柔科学城建成面向地球科学的超巨型计算机——大国重器“震”，并在2023年11月发布了

我国首个具有自主知识产权的“完整”地球系统模式CAS-ESM2.0。

由于地球系统模式的复杂性，目前绝大多数国家开发的都是单一气候系统模式。CAS-ESM2.0则集成了大气环流(包括高层大气)、海洋环流(包括洋冰)、陆面过程、植被动力学过程、气溶胶和大气化学等8个分系统模式，使中国成为世界上少数具有地球复杂巨系统综合模拟能力的国家。

CAS-ESM2.0可以为天气预报以及气候和环境预测提供支撑，为防灾减灾、生态环境治理以及应对气候变化的国家战略制定提供决策依据和科技支撑。曾庆存希望继续推动该模型走向国际。

他在诗中写道：“劈面狂吼欲倒栽，此身未是枯朽材。酣战寒风浑乐事，直摧冬尽接春来。”

“雄心初立志驱前”

其实，在20多岁时，曾庆存就已经是国际气象学界一颗冉冉升起的新星了。

1952年，曾庆存考取北京大学物理系。新中国成立之初，急需气象科学人才，他被调到了气象学专业。

风云变幻莫测，1954年秋天，一场晚霜把河南40%的麦苗冻死了，严重影响了当年的粮食产量。这让曾庆存暗自坚定了目标：把传统望天看云的经验预测变成真正的气象科学预测。

1957年，曾庆存被选派至苏联科学院，师从国际著名气象学家基别尔，研究数值天气预报。他回忆，那段时间特别苦，为了补数学、物理理论知识短板，他要到

「眼镜儿」也能上太空

□顾静怡

7800米/秒，运行过程中没有拐弯、刹车、停车、倒车，但每一个环节都面临着巨大的风险。试想，坐着“轰隆隆”的火箭一路风驰电掣进入太空，又全程“电闪雷鸣”冲击大气层返回地球，如果这时航天员突然冒出一句：“我的眼镜怎么不见了？”那画面简直让人觉得惊悚。因此，航天员想要轻松自如地驾驭飞船，除了要有过硬的身体素质之外，对视力的高要求完全是合理的。不过，凡事总是在不断变化的。随着航天工程的发展，航天员的分工越来越细化，科学实验也越来越专业，所以航天员都需要驾驶载人飞船这一要求也发生了变化，戴着眼镜的载荷专家上太空也就颠覆了人们以往的认知。

其实，我们现在看到的载荷专家上太空并不是新鲜事了。世界上第一位有效载荷专家是苏联的费奥克蒂斯托夫，他是一位航天设计师。1964年，费奥克蒂斯托夫参加了“上升1号”宇宙飞船的实际飞行考察；世界上第一位真正的载荷专家是美国航天员施密特，他是一位经验丰富的地质学家，1972年他参加“阿波罗17号”登月飞行，实地考察了月球，收集了月球标本。当然，地质学家的背景使他明显优于职业航天员；2016年，国际空间站第一次进行了太空DNA测序实验，这个实验也是载荷专家凯特·鲁宾斯操作的，他毕业于斯坦福大学医学院生物化学系及微生物学与免疫学系，是一位癌症生物学家。

载荷专家专门从事科学、医学、工程等领域的研究工作，是有特殊专长的科学家，他们会在太空进行各项专门科学实验和探测。准确地说，他们是参与空间实验操作的航天员，不是“专职航天员”。不过，载荷专家在空间科学与应用任务中发挥了重要作用，是空间实验操作中不可缺少的组成部分。

知道了上太空的“眼镜儿”的真实身份，相信怀揣航天梦的“眼镜儿”们一定会铆足了劲儿好好学习，争取有朝一日以载荷专家的身份戴着圆自己的航天梦。



年少时很多人都有过成为宇航员的梦想。可遗憾的是，宇航员要求的“千里眼”让一个个戴眼镜的梦想者感到了无法逾越的距离。柳暗花明的是，在神舟十六号载人飞船航天员集体亮相中，大家猛然发现：其中有一位“眼镜儿”！“眼镜儿”也能上太空！一个怀揣航天梦的“眼镜儿”们开心得手舞足蹈。不过，开心归开心，值得说明的是：神舟十六号载人飞船航天员中的“眼镜儿”可不是一般的“眼镜儿”，他是载荷专家，是具有特殊专长的科学家。载荷专家主要负责空间科学实验载荷的在轨操作，对视力没有过高的要求，也允许佩戴眼镜。很多人提出疑问：在以前的认知中，戴眼镜的人是无法从事航空航天工作的，为什么现在“眼镜儿”却能飞上天？事实上，宇宙载人飞船的设计和普通载具的设计完全不同。可以闭上眼睛想象一下：飞船在太空中的运行速度约

酶工程技术： 提升食物品质 守护“舌尖健康”

□陈曦

随着人民生活质量的提高，餐桌上的食品种类也日益丰富。回味无穷的美酒，入口即化的红烧肉、松软有嚼劲的大馒头、清爽解腻的酸奶……佳肴之所以如此美味，其中少不了食品酶的助力。食品酶的创制离不开酶工程技术。作为一种生物技术，酶工程技术具有高效、安全、绿色的特点。它不仅食品加工中有着广泛的应用，也有助于从根本上保障食品品质，守护“舌尖上的健康”。

酶技术让食品口感越来越好

酶是一个十分庞大的家族，全球已报道发现的酶的种类有3000多种。“酶是一种生物催化剂，是生物体产生的具有生物催化功能的物质。”天津科技大学生物工程学院教授刘逸寒介绍，酶分子结构是以氨基酸链为基础的。它本质上属于蛋白质，在加快新陈代谢、促进化学反应等方面发挥着巨大作用。

基于酶的反应原理，可以把酶分为氧化还原酶、转移酶、水解酶、裂合酶、异构酶、连接酶、转位酶等类别。它们在生物体内具有不同的生理功能。而每一类酶又分为若干种，比如水解酶可分为蛋白酶、糖酶、酯酶等。其中，蛋白酶可以将不同种类的蛋白质水解成小分子的肽、氨基酸等物质，从而促进生物体的蛋白质代谢和新陈代谢。

与其他催化剂相比，酶催化具有多重优点，如反应条件温和、反应效率高、底物专一性强、节省能源、环境友好等。但是，酶并不好驾驭。它在催化作用中容易受到一些因素的影响，导致蛋白质结构发生变化，活性消失。“这就需要通过酶工程技术，

对酶进行分离、提纯、固化以及加工改造，使酶能够充分发挥快速、高效、特异的催化功能，更好地帮助人类生产各种产品，或促进某些生化反应过程进行，从而达到预定的目的。”中国科学院天津工业生物技术研究所研究员孙媛霞说。

随着现代生物化工技术的发展和进步，以及人们对基因工程、细胞工程的研究不断深入，酶的工业化量产不断取得突破性进展。与此同时，酶工程技术也在食品工业、轻工业以及医药工业等领域中发挥着重要作用。“特别是在食品领域。我们常用的食品酶包括蛋白酶、脂肪酶及糖苷酶等。如今，食品酶早已悄悄走进了千家万户。”孙媛霞说，比如用于制作奶酪和酸奶的凝乳酶、增加肉的鲜嫩程度的木瓜蛋白酶、提升面包口感的木聚糖酶，以及降低果汁饮料黏稠度的果胶酶等。

食品酶研究走向智能高效

“酶工程技术在食品工业中的应用越来越广，离不开这项技术创新研究的快速推进。”天津科技大学党委副书记、校长路福平认为，近年来，随着计算机技术的快速发展，分子模拟和人工智能技术在食品酶研发中发挥了不同程度的作用。这些技术主要用于催化机理解析、高效酶分子理性设计以及新酶挖掘三个方面。

利用分子模拟技术，科研人员可以更直观地观察到食品酶分子的三维构象，从而进一步加深对食品酶催化机制的了解，并指导食品酶分子的高效理性设计。路福平举例说，为了提高反应速率，工业生产中经常需要食

品酶具有耐高温的特性。利用计算机模拟和大数据分析，寻找食品酶的活性位点和影响酶热稳定性的关键氨基酸残基，科研人员就可以进一步对其进行理性设计，从而获得耐高温的酶分子。同样的，还可获得耐碱性、耐酸性以及催化效率提升的新型酶分子。

除了对已有食品酶进行改造，随着生物数据库的指数级增长，计算机模拟技术在筛选及挖掘新型食品酶分子方面同样具有竞争力。“我们现在获取和已知的酶只是冰山一角。自然界中的酶太多了，靠人工从微生物、动植物里筛选，远远不能满足酶工程发展的技术需求。”孙媛霞说，现在通过基因组数据分析，科研人员可以快速挖掘和发现有用的酶基因片段。

有了基因片段，还需要合成各种酶。“这个过程可以依赖现有的人工智能技术，先预测酶蛋白的3D结构，而后进行精准设计，再通过酶工程手段结合高通量筛选平台对酶蛋白分子进行改造，最终实现新型食品酶的创制与开发，以适应各类食品加工行业的需求。”孙媛霞进一步解释。

技术发展和应用转化面临挑战

目前，食品安全国家标准《食品添加剂使用标准》(GB 2760-2014)批准使用的酶制剂，可应用于植物提取、蛋白水解、油脂加工和淀粉加工等食品生产的多个环节。“食品酶技术已应用在淀粉制品制造、调味品制造、酒和饮料制造、乳制品制造、烘焙食品制造、食品添加剂制造等领域。”刘逸寒介绍，食品酶的催化，创造了食品的不同形

态、味道及色泽，提升了食品的功能、营养及品质。

据了解，食品酶在改善食品的物质特性，提高食品的风味和营养价值，稳定有效成分和食品体系，降低食品安全风险，简化加工工艺等方面发挥着越来越重要的作用。而且，一般加工后都会将酶灭活。失去活性的酶将作为一种蛋白被分解，不会给食品带来安全风险。

随着人们对食品的健康、营养以及安全性要求的提高，食品酶也面临着更大的挑战。虽然有了创新技术的加持，但是真正用于工业生产的食品酶制剂还不足百种。

“制约酶工程技术转化应用最主要的原因，就是食品酶对安全性的要求很高。”孙媛霞说，世界各国及国际组织对食品酶的管理模式，主要分为食品添加剂或加工助剂模式。这两种模式均要求对未列入使用名单的食品酶制剂进行安全性评价。

食品酶制剂安全性评价主要包括来源安全和生产加工过程安全两类。因此，食品酶的“门槛”非常高：要具有非致病性，不产生毒素、抗生素和激素等物质；需进行致敏性、致癌性和致畸性测试等生物分析并满足相关要求。

“针对种类繁多的食品加工底物和加工过程条件，如何能够精准开发基于应用效果和场景的多酶协同作用的复合酶制剂，从而‘量身定制’出可以满足食品加工业个性化、多样化、精细化需求的酶制剂产品，也是目前酶技术发展和应用转化中的难点。”刘逸寒补充说。

(据《科技日报》，有删节)