



刘有成：中国自由基化学奠基人

□ 刘 培



归国科学家

刘有成（1920.11.6—2016.1.31），安徽舒城人，有机化学家，中国自由基化学奠基人。1942年毕业于国立中央大学，1945年赴英国利兹大学留学，1948年获利兹大学博士学位后赴美国西北大学和芝加哥大学深造。1954年底回国，1955年分配到兰州大学工作，历任化学系教授、系主任、校学术委员会主任等职。1980年当选中国科学院学部委员。1987年—1993年担任兰州大学应用有机化学国家重点实验室主任兼学术委员会主任。1994年调入中国科学技术大学工作。2008年当选为英国皇家化学会会士。2013年荣获中国化学会物理有机化学终身成就奖。

在10多年前的中国科学技术大学校园里，人们时常能看到一位满头银发、衣着整洁、精神矍铄、步履安详的老人，走在通往化学楼、图书馆或是学术报告厅的路上。这位见人总是微笑点头致意的可敬长者，就是我国著名有机化学家、教育家、中国科学院院士刘有成。

从英国到美国，师从的都是化学权威

1920年11月6日，刘有成出生于安徽省舒城县城冲乡一个清贫的书香世家。刘有成的求学之路历经坎坷。1937年12月13日侵华日军攻占南京，合肥告急，刘有成所在的庐州中学随即宣告解散，他被迫返回舒城老家。1938年初，安徽省在舒城中学校址成立省立第二临时中学。刘有成报名进入该校高中部继续学习。5月11日，日军逼近，舒城县城遭到轰炸。全校师生紧急动员，向大后方迁移。刘有成在兵荒马乱中踏上了颠沛流离的求学之路。刘有成看到飞上天去迎战的飞机由于装备差距过大而常常落败，心里特别难受，从此立下了读书报国、科学报国的志向。

1938年9月，刘有成顺利考入已迁至重庆的国立中央大学农业化学系。在中央大学，刘有成遇到了引导其入门化学的倪则垠和高济宇老师。二者都是留美归国的教授，课讲得十分精彩，激发了刘有成对化学的浓厚兴趣。

1944年，刘有成考取英国文化委员会研究生奖学金。1945年8月7日，他怀抱科学救国之梦，进入英国利兹大学学习。在利兹大学有机化学系，刘有成师从英国著名的生物甲基化专家查林杰教授学习生物化学，进行微生物化学方面的研究。毕业前夕，刘有成决定到美国继续深造。1948年12月，获得利兹大学博士学位的刘有成开启了在美深造的旅程。

刘有成在美国西北大学的合作导师是里格尔教授，里格尔教授学术成就很大，1970年曾担任美国化学会主席。经里格尔教授推荐，刘有成在1951年10月又转到芝加哥大学卡拉施教授处做博士后研究员。卡拉施是自由基化学的主要奠基人，他最出色的工作是自由基的加成和聚合。1942年

日本占领东南亚（世界橡胶的重要产地）后，合成橡胶工业成为生死攸关的问题，大大刺激了自由基化学的发展，相关研究领域不断扩充，从而确立了它在有机化学中的战略地位。

作为外国留学生，刘有成无法参与卡拉施教授手里与国防工业相关的应用方向课题。他做的是与四甲基戊烷有关的基础性研究，相继开展了格式试剂与二氧化钴的反应、过氧化氢分解的反应，以及气相溴化的反应和光反应等研究工作。刘有成发表的有关自由基重排反应的论文是国际上关于该问题的首次报道。

心系故土，终于回到祖国怀抱

在美期间的刘有成年富力强，精力充沛，先后加入了美国化学会、全美科学促进会等学术组织，开拓了视野。身在异国，心系故乡。刘有成到

美国不久便得知了新中国成立的喜讯，欣喜万分，但因有约在先，只好耐心把研究工作做完。1951年，刘有成着手办理回国手续，预订了10月份的回程船票。可是就在即将离开的前几天，他突然接到美国移民局的一封信，命令其不得擅自离开美国，并强调如果企图离开，将被罚5000美金甚至刑拘。这件事对刘有成冲击很大，他后来回忆说：“经过这件事以后，我的意志却更加地坚定了，不管怎样，我一定要争取回到祖国的怀抱。”

1954年日内瓦会议后，美国政府同意中国留美人员分批回国。刘有成得到消息后，立即辞掉工作。11月28日，他搭乘“威尔逊总统号”从旧金山启程回国。经过20多天的海上航行，于12月20日晚上到达香港。刘有成等人从九龙上岸后，连夜搭火车赶到深圳，第二天早晨抵达广州。离家多年的游子终于回到了祖国的怀抱。

建功大西北，多次登上世界学术讲坛

1955年2月，刘有成来到北京向高等教育部报到，高教部希望他到兰州大学工作。刘有成坚定服从祖国的需要，对此坦然接受。他说服在南京工作的爱人，带着儿子和岳母，一家老少四口从南京搭乘开往兰州的火车，加入到建设大西北的行列。

20世纪50年代兰州生活和工作条件都很艰苦，城市建设比较落后，饮水需从黄河打来，放进水缸经明矾澄清后才能喝，出门有时候得乘马拉车。在艰苦的环境中，刘有成白手起家，创建了国内第一个自由基化学研究小组。为了配合兰州化工厂和兰州炼油厂的石油科研需求，刘有成开展了石油化学专门化教育，招收学生，培养急需人才。他自编教材，登台授课，为第一班学生讲授《有机物化学

结构理论》和《石油化学》。1957年，刘有成被任命为兰州大学化学系主任，并加入了中国共产党。

在科学的春天里，刘有成迅速重整旗鼓，全面开展科研和教学工作，在自由基化学、单电子转移反应、辅酶NADH模型还原反应机理等研究领域，取得了一系列原创性科研成果，相继荣获甘肃省科技成果一等奖（1981年）、国家自然科学基金三等奖（1982年）和国家教育委员会科技进步奖一等奖（1987年、1995年）等奖项。同时，他还先后担任第六届全国人大代表、国务院学位委员会第二届和第三届学科评议组成员，参与了大量的学术咨询和服务工作，为国家的科学技术和高等教育事业出谋划策，作出了应有贡献。

为了与国内外同行建立学术交流，在20世纪八九十年代，刘有成积极参加各种国内外学术会议，向学界同行介绍兰州大学有机化学的科研成果，

扩大影响。1985年，刘有成与加拿大皇后大学化学系尹国声教授合作，在兰州大学成功举办了“国际自由基化学研讨会”，为发展自由基化学的国际交流与合作打开了局面。这次会议也成为中国自由基化学发展的新起点。

兰州大学的有机化学学科拥有天然有机、物理有机、有机分析和有机合成四个研究方向，分别由朱子清、刘有成、陈耀祖和黄文魁教授带领各自的科研团队，齐头并进地发展。在他们的共同努力下，1983年兰州大学有机化学被评定为国家重点学科，当时全国高校中享此殊荣的仅兰州大学、北京大学和南开大学三家。1985年，国家计划委员会决定在高校和研究所建立首批若干所国家重点实验室，兰州大学的应用有机化学国家重点实验室（现为功能有机分子化学国家重点实验室）名列其中。刘有成担任实验室首任主任兼学术委员会主任，为实验室的建设和发展作出了重要贡献。

古稀之年，开创事业新程

1994年孟春，74岁的刘有成告别工作了39年的兰州大学，叶落归根，加盟中国科学技术大学。虽已至古稀之年，他并不是想着到中国科学技术大学养老，而是开创了一番崭新的事业。那时中国科学技术大学的有机化学方向只有一个教研室，课程很少，没有专业学生。刘有成到来后着手补起有机化学这块短板。他除了继续加强教学工作，更重要的是迅速建立起学术团队，开展科学研究，由此带动了中国科学技术大学有机化学的快速发展；1998年有机化学获得了化学一级学科博士学位授予权，2002年被评为安徽省重点学科，2007年被评为国家重点学科。

作为化学教育家，刘有成从兰州大学到中国科学技术大学，登台执教半个世纪，培养了60多位硕、博士研究生，其中多位成长为国内外有机化学界的杰出学者，可谓桃李满天下。刘有成近百年的人生道路是和民族命运息息相关、荣辱与共的，他坚定不移的爱国情怀、求真务实的工作态度和勇于创新、乐于奉献的科学精神，堪称典范。

天然气：紧俏背后的战略机遇

□ 邹才能

2021年冬天，欧洲天然气价格一路狂飙，尤其是进入12月之后，涨势更猛。天然气价格持续上涨，给欧洲带来一系列冲击。天然气供应紧张并不仅仅出现在欧洲。在中东，由于燃料短缺，有“中东小巴黎”之称的黎巴嫩已遭遇全国性的大规模停电。在亚洲，韩国、日本、印度等国家掀起天然气抢购潮，助推天然气价格进一步上涨，亚洲天然气价格重要指标JKM曾一天上涨42%，创12年来最大涨幅。

邹才能，石油天然气地质学家。1963年9月生于重庆，1987年毕业于西南石油学院。2017年当选为中国科学院院士。他的研究引领支撑大型岩性地层油气田、页岩油气、致密油气等重大发现。他创建了非常规油气地质学理论，推动我国油气勘探从常规向非常规战略转变与突破。他带领团队承担了多个国家油气科技攻关项目，在能源资源领域有突出贡献。曾获国家科技进步奖一等奖、二等奖，李四光地质科学奖。

天然气价格为什么能成为2021年除新冠肺炎疫情之外最受关注的重要事件？天然气供应紧张的局面，会不会由国外波及到国内？在居民生活用气与工业生产需求的双重叠加下，我国的天然气够不够用？如何才能保证我们的能源安全？

天然气的地位更加突显

天然气是目前最清洁的化石能源，也是全球能源战略竞争的焦点。天然气主要分为常规天然气和非常规天然气。常规天然气聚集在圈闭中，开采方式相对简单；而非常规天然气呈大面积“连续型”分散分布，开采难度要大很多。这其中，页岩气就是典型代表，它们大量储存在页岩的纳米级孔隙中。页岩气资源十分丰富，美国就是依靠先进的页岩气开采技术，成为全球页岩气开发的领跑者。与煤炭、石油等传统化石能源和风、光等新能源相比，天然气虽然也属于化石能源，但天然气洁净低碳环保，燃烧时产生的二氧化碳远少于其他化石燃料，能在很大程度上改善环境质量。

此外，天然气在生活使用及安全利用上也具有显著优势。它无毒、易散发，比空气轻，一旦泄漏，会立即向上扩散，不易积聚形成爆炸性气体。因此，在全球主要经济体都致力于实现碳排放目标的大背景下，天然气的地位更加突显。非常规天然气的发现和开采，给全球能源行业供需格

局、开采方式、技术创新等方面，带来全方位的重大转变。

始于20世纪90年代末的页岩气革命，实际上是美国以一种经济高效的方式实现对页岩气的大规模商业开发，从而改善美国能源供需结构，提高能源自给水平的过程。据美国能源部估算，美国国内页岩气技术可采资源总量约为25万亿立方米。一场页岩气革命，不仅使美国基本实现了“能源独立”，也深刻改变了全球能源供应格局与地缘政治形势。1981年美国发现了第一个页岩气田——巴奈特页岩气田。我国页岩气实际上真正开启只有10年左右，2008年有一口井是十分重要的。这个井是一口150米的浅层取芯井，叫长芯1井，这个井花费很少，井深很浅，但是意义重大，这150米揭开了我们现在川南五峰—龙马溪组页岩气真正的面纱。所以我们后来可以进一步来推出和确定，在北面和东面有埋藏更深的页岩气的目的层，这个区域现在实现了工业性的大规模开发。

要找一个气田大概需要3到10年，这还算比较快的。新疆塔里木盆地库车克拉2井场，是中国天然气工业一个具有里程碑意义的大气田。这个气田是2004年投产的，到目前累计了1270亿立方米，可以供1亿家庭使用10年，就是因为有了克拉2井场，我国才开始西气东输工程。克拉2井场发现以后，科技工作者加大了科技创新的力度，2020年的产量达到了243亿立方米，发展速



度很快，还获得了国家科技进步奖两个一等奖。

我们还有一项革命性的、颠覆性的技术，叫作地下旋转地质导向系统技术。这项技术以前主要由国外斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯三大公司所掌握，这项技术是对中国封锁的，它只来服务，有时服务一次需要几百万人民币。我们通过搞自主研发完全突破了这项技术，目前国产化率可以达到95%以上，我们的作业费降低了30%，并且可以自主可控。这项技术的发展对中国意义非常重大，达到了国际先进水平。

如何保障国家能源安全

我国是天然气生产大国，同时也是天然气消费大国。从能源需求和能源安全的角度来说，无论是常规储藏的天然气还是非常规储藏的天然气，都需要更多地开发。

我们要生产一些气，还要进口一些气，怎么能够保障我国的应急所需？就需要建地下储气库。中国的储气库地下条件非常复杂，由于喜马拉雅山构造运动碰撞以后，造成我们整个国家地下地质构造条件非常不好，就像一个大的盘子，摔到地下以后摔碎了，使得我们建库、找库很复杂，非常地难。我们地面条件也很差，地下又很破碎，埋藏又深，所以中国建储气库应该说是世界级难题。目前全国建成的储气库是28座，调峰能力达

到165亿立方米。中国石油集团建了23座，调峰能力达到了138亿立方米，中国石油集团是储气库的创新者，也是主要的建设者。我们预测到2035年，如果我们天然气消费量要到6500亿立方米左右，要从百亿立方米级的储气库建成千亿立方米的储气库，才能保证我国天然气用气的安全和国家能源安全，这也是夯实我国能源安全的底气。

天然气要为碳中和发挥作用

国家能源局发布的《中国天然气发展报告（2021）》显示，2020年，中国天然气消费量3280亿立方米。这么多天然气，要穿越960万平方公里的国土，输送到千家万户，工程规模有多大？面对双碳目标的征程，如何让天然气发挥更大作用？

在碳中和目标下，天然气迎来了一个战略性的大发展，碳减排是大势所趋，碳中和也成为全球的共识。碳中和就是碳在规定的时间内二氧化碳人为移除和它的排放要抵消，也就是净零排放。中国主动采取了减排二氧化碳的重大战略举措。2020年中国二氧化碳排放大概不到100亿吨，居世界第一，但是中国历年来人均累计二氧化碳排放量只有不到158吨，跟发达国家相比低很多，远低于世界二氧化碳人均排放量的平均水平210吨。

我国人均天然气消费不足，全球人均消费超过500立方米，我国人均才234立方米。最高的是俄罗斯，人均2800立方米，美国人均超过了2500立方米，应该说中国人均天然气消费是很低的。

在碳中和目标下，天然气的定位



学习时报与央视中国经济大讲堂合办



更多精彩内容扫码看视频