黑煤堆里的绿色能源革命

本报记者 余惠敏 郭静原

前沿技术

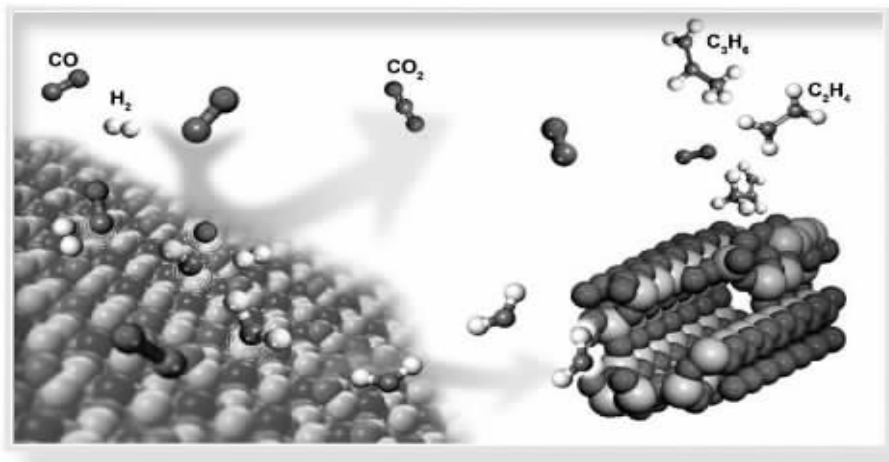
煤化工能不能少用水甚至不用水进行炼制？近日，中国科学家们打破传统费托(F-T)反应过程的束缚，为煤气化直接制烯烃研究求得新解。

3月4日，美国《科学》(Science)杂志发表中科院大连化物所包信和院士及潘秀莲研究员领导的团队的研究成果，他们创造性地采用一种新型复合催化剂，将合成气直接转化，高选择性地一步反应获得低碳烯烃，这一新过程成为近年来煤化工领域的重大突破。新成果的发布也被业界誉为“煤转化领域里程碑式的重大突破”。《科学》杂志同期刊发了以“令人惊奇的选择性”为题的专家评述文章，认为该过程未来在工业上将具有巨大的竞争力。

乙烯、丙烯等低碳烯烃是重要的化工原料，是现代化学工业的基石，如航天飞机的建造、日常生活用品所用的塑料等生产都要以低碳烯烃为原料。

在传统技术中，烯烃生产严重依赖石油资源，而面对石油资源日益短缺、环境污染日益加重的今天，引导新能源与可再生能源的高效利用和发展成为关键，新过程的发现为我国集约发展、绿色发展的“能源革命”提供了科学的技术支撑。

图为包信和在中科院物理所介绍研究成果。 本报记者 郭静原摄



CO活化和中间体偶联等两种催化活性中心有效分离反应过程示意图。(资料图片)

不可替代的“圣经”

“科学研究取得现在的成果，感受最深的就是不容易。传统方式都是在做金属催化剂，或是在此基础上的改良，而我们决心探索一条非常规的技术路线。”项目研究员潘秀莲如此感慨道。

科研人员口中的“不容易”，是因为费托合成过程几乎被奉为煤化工领域的“圣经”。

所谓煤化工，就是把煤转化为气体、液体和固体燃料以及化学品的过程。

早在1923年，由德国科学家Fischer(费舍尔)和Tropsch(托普希)发明的煤经合成气生产高碳化学品和液体燃料的费托过程问世，并于第二次世界大战期间投入大规模生产。自此，逾半个世纪的煤化工产业拉开大幕。

传统的费托过程采用金属作为催化剂。合成气中的CO分子在金属催化剂表面被活化解离成C原子和O原子，C原子和O原子与吸附在催化剂表面的氢发生反应，形成亚甲基(CH2)中间体，同时放出水分子。亚甲基中间体通过迁移插入反应，在催化剂表面进行自由聚合，生成含不同碳原子数的烃类产物。

“此时，催化剂表面形成了一个开放的平台，可以两个碳原子碰撞结合在一起，也可以三个碳原子，有时甚至上百个。两个碳原子碰撞并结合就生成乙烯或乙烷，三个碳原子生成丙烯或丙烷，但这个表面反应是无法控制的。”包信和解释说，整个反应烃类产物的碳原子数分布广，也导致目标产物的选择性偏低。

同时，反应过程中需要依靠氢气来移去金属催化剂表面CO解离生成的O原子，这些宝贵的氢气正是通过高水耗、高能耗的水煤气变换获取，还要释放出大量的CO2。

煤经费托过程制烯烃的水耗需求主要包括两类，一类是生产工艺中用于原料清洗和过程冷却的用水，这类水有部分通常可以通过工艺改革回收利用，另一类则是催化反应的化学过程中必须用到的水。

据统计，根据工艺和装置水平的不同，一般来说，在理想状态下采用传统的费托方法，生产1吨液体燃料就需要耗费5至6吨水。

尽管费托过程并不完美，除了产生大量的二氧化碳外，还消耗大量的水，且产物选择性差，后续处理仍需消耗大量的能量。然而，各国的研发与改良一路遭遇瓶颈，成效甚微，该过程也因此被国际能源和化工界一直沿用，并认为不可替代。

3.0版本的升级换代

如今，费托合成过程已然被中科院大连化物所的包信和团队颠覆。中科院大连化物所所长张涛院士表示，继石油制烯烃和甲醇制烯烃两种模式后，煤气化直接制烯烃的新过程将是绿色、高效制备低碳烯烃技术的3.0版本。

这一回，中国科学家改用部分还原的复合氧化物作为催化剂，可将煤气化产生的合成气（纯化后CO和H2的混合气体）直接转化。创造性地将氧化物催化剂与分子筛复合，巧妙实现了CO活化和中间体偶联等两种催化活性中心的有效分离。

与传统费托技术不同的是，因氧缺陷位而产生的亚甲基自由基，不会在催化剂表面停留或发生表面聚合反应，而是迅速进入分子筛孔道，在孔道限域环境中进行择形偶联反应，形成目标产物——低碳烯烃。

“新过程将催化剂表面‘漫无目的、无拘无束’生长的‘自由基’控制在这个分子筛所构建的‘笼’中，通过限制其行为，才有最终的定向生成，大大提高了产物的选择性。”包信和说。

研究人员通过对分子筛孔道和酸性质的调控，进而实现产物分子的可控调变，破解了传统催化反应中活性与选择性此长彼消的“跷跷板”难题，为高效催化剂和催化反应过程的设计提供了指南。

包信和介绍，当CO单程转化率为17%时，低碳烃类产物的选择性可高达94%，其中，乙烯、丙烯和丁烯等低碳烯烃的选择性大于80%，打破了传统费托合成过程中低碳烃选择性最高为58%的极限。

目标产物的选择性得到提高，新发现的煤气化直接制烯烃过程明显简化了工艺路线，缩短了反应流程，降低能耗的同时，也就意味着二氧化碳排放的减少，避免了结构废水的产生。

而耗水量大一直是制约地方煤化工发展久治不愈的“顽疾”，煤化工产业想要办得长久，就不得不“逐水而居”。但我国的煤炭资源主要集中在干旱、半干旱的中西部地区，水资源匮乏，不少煤化工企业正饱受缺水的困扰，常常出现煤化工企业与农业或其他工业争水的现象。

“经过评估，新过程有望节约反应过程中水耗的1/3左右。”包信和说，在摒弃了高耗能和高耗水的水煤气变换反应后，团队以CO替代氢气来消除烃类产物形成中多余的氧原子，在反应结构上不再需要水循环作用，从原理上开创了一条低耗水进行煤转化的崭新途径，成功地回答了煤化工“能不能少用水甚至不用水进行炼制”的难题。

九年磨一剑的坚持

当从事费托过程制烯烃(FTTO)研究20多年的德国巴斯夫(BASF)公司专家Schwab(施瓦布)博士了解到新过程的基本情况后，不禁问道：“这个点子为什么不是我们先想到的？”

包信和不无自豪地表示：“你们想到的点子已经很多了，也该轮到我们了。”

说这话的底气恰恰来自于一个优秀的研究团队日复一日的坚守和中国科研能力的显著提高。

“从开始立项研究到现在已有9年多时间，这期间有关项目进展的文章我们一篇都没发，而是一直闷头做实验。”包信和说。

为了找到合适的配比，实验过程由化学成分组成到制备需要经历一系列复杂的程序，这项研究一做就是9年，这份坚持也深刻反映出中国科学家们对国家能源形势的关注与考量。

中石油经济技术研究院最新发布的2016年度《国内外油气行业发展报告》显示，2015年，我国石油净进口量3.28亿吨，增长6.4%，我国石油消费持续中低速增长，对外依存度首破60%。

“除美国和中东以外，国内外大都采用石油生产烯烃，但我国石油能源供给严重不足，才有目前超60%以上的石油需要依靠进口的局面，因此，中国科学家要不断充实现有的技术储备，以维持国家能源的巨大需求。”包信和说。

中国国情是富煤缺油，2030年前我国还将继续“以煤为主”。因此，要推动煤炭的清洁化利用，坚持以绿色低碳的能源发展方向，把能源技术及其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点。

谈及本项目的研究初衷时，包信和认为，从源头创新，彻底改变传统过程，从本质上降低水资源消耗、降低二氧化碳排放，是中国碳基能源转化利用和环境优化的必由之路。

“科技要为国家的‘能源革命’提供支撑。未来，我们将力争尽快实现工业示范和产业化，努力将这一原创成果转变为真正的生产力。”包信和表示，经认真评估和协商，目前中科院大连化物所已与国内外重要的化工企业达成初步协议，着手在催化剂制备和工艺过程开发等方面合作，共谋煤化工产业的高效、可持续发展。

科海风云

人机

让人

周子英

“阿尔法围棋”(AlphaGo)与韩国棋手李世石的对弈，特别是人工智能的卓越表现，似乎在验证着许多顶级科学家和科技巨头对人工智能发展的担忧。

人工智能会对人类的生存构成威胁吗？比如将其用于武器，超过它们某个“技术奇点”之后产生“智能爆炸”效应，让机器能不断地自我完善，超越人脑的智力，从而脱离人类控制？

应该说，任何技术本身都不带道德标签。技术的“好”与“坏”，全在于人类如何使用和管理。而对人工智能失控的过分警示，掩盖了它们可能带给人类的帮助。人工智能的算法让计算机能从自己过去的经验、数据中直接学习，这在许多任务类型中都是通用的。

1997年，IBM公司的超级电脑“深蓝”在一场著名的人机对弈中击败了当时具有统治地位的国际象棋大师加里·卡斯帕罗夫。当电脑又赢得了几场比赛后，人类选手基本上对这种比赛失去了兴趣。你或许会认为这就是故事的结局，但卡斯帕罗夫意识到，如果他也能像“深蓝”一样即时访问包含先前所有棋局中棋路的大规模数据库，将会表现得更好。

如果人工智能选手使用数据库工具被认为是公平的，那么人类为什么不能使用呢？为了实现用数据库加强人类大师心智的想法，卡斯帕罗夫率先提出了“人加机器”(manplus-machine)的概念，即在比赛中用人工智能增强国际象棋选手水平，而不是让双方互相对抗。

如今，这种比赛被称为自由式国际象棋比赛，它们和混合武术对抗赛相似，选手们可以使用任何他们想用的作战技巧。你可以在没有协助的情况下比赛；也可以成为极其聪明的国际象棋电脑的傀儡，仅仅按照它的指示移动棋子；或是当一个卡斯帕罗夫提倡的“半人马”型选手，也就是人类和人工智能结合的赛博格(Cyborg)。这种选手会听取那些人工智能提出的走棋建议，偶尔也会否决他们，颇似我们开车时使用GPS智能导航的情景。对任何模式选手开放的2014年自由式国际象棋对抗锦标赛上，纯粹使用人工智能国际象棋引擎的选手赢得了42场比赛，而“半人马”型选手则赢得了53场。当今世界上最优秀的国际象棋选手队伍，是由一个人类团队和几个不同的国际象棋程序组成的。

还有让人更意外的事情。人工智能的出现并未削弱纯人类国际象棋选手的水平，反而在廉价且超级智能的国际象棋软件激励下，下国际象棋的人数、锦标赛的数量以及选手的水平都达到了历史之最。如今，与“深蓝”首次战胜卡斯帕罗夫时相比，拥有国际象棋大师头衔的人数至少翻了一番。现今排名第一的人类国际象棋选手马格努斯·卡尔森就曾和人工智能一起训练，被认为是所有人类国际象棋选手中最接近电脑的一个。他还是有史以来评分最高的人类国际象棋大师。

上述国际象棋选手的成长带给我们的启示是，既然人工智能可以帮助人类成为更优秀的国际象棋选手，那么合理地推测，它也能帮助我们成为更优秀的飞行员、医生、法官、教师。

科海万象

空间天气预报：为地球保驾护航

本报记者 陈 颐

收听、收看天气预报在大家生活中必不可少，却很少有人会收听、收看空间天气，甚至不知道还有空间天气这样的科学研究。1989年，由一次太阳爆发引发的磁暴引发变电站故障，导致加拿大魁北克省和美国部分地区停电9小时，影响600万人。太阳爆发引起的磁暴还会干扰卫星通信，甚至瞬间致使GPS全球定位系统精度降低、电视直播信号中断、卫星仪器失灵等。这些现象被称为“空间天气”。

空间物理对多数人而言遥远又陌生，但其应用的空间天气预测意义重大。北京大学地球与空间科学学院研究员王玲华每天的工作就是和“空间天气”打交道，研究太阳高能粒子的发生和传播，预报空间天气，为卫星及宇航员的安全护航。

王玲华曾师从著名空间物理学家，在美国加州大学伯克利分校空间科学实验室钻研多年。2012年，在我国“千人计划”的推动下，王玲华选择回国继续她在空间物理学上的探索。

广袤宇宙中，99%的物质都以等离子态存在，高能粒子是其中最具能量和影响力的一种。如同生物学家对生命起源永不休止的追寻一样，对于空间物理学者而言，高能粒子的起源、加速与传播是他们探索的经典谜题，小居里夫妇正是因为发现了高能粒子源的人工放射性而获得诺贝尔奖。王玲华痴迷于空间物理的探索。

她用通俗易懂的语言向记者介绍空间物理学的作用：地球到太阳的距离乘以134倍，这是目前卫星所能探测到的最远距离，也是空间物理的研究范畴。虽然极端空间天气数十年不遇，但它给地球人带来的损失往往不可估量。通过研究太阳高能粒子的活动，可以预报空间天气，就好比雷雨天气的预报对飞机安全起降尤为重要，空间物理学家所提供的预报将为卫星和宇航员的安全提供保障。“当发生大磁暴时，必须推迟卫星发射，重调窗口期，否则可能会导致发射失败。如果长期暴露在高能粒子的环境中，宇航员的身体健康可能受到严重威胁。”王玲华说。

王玲华徜徉在空间物理的研究中，这与她从小爱思考的天性有关，自然界的众多奇妙现象让她很早就对物理问题情有独钟。“大学三年级分专业时，我最终在固体地球、大气、天文、空间物理中作出了选择。现在看来，当初的选择是正确的。”王玲华说。

凭借一系列备受瞩目的突破性成果，王玲华被公认为国际空间物理研究领域里最杰出的青年女性科学家之一。其中，最受瞩目的成果当属她发现在平静时期日球层中存在一种未知的高能粒子成分——“晕外电子”。这个发现为空间高能粒子物理的研究开辟出新的方向，对探索日球层的基本物理过程具有重大意义。

王玲华在办公室。 陈 颐供图

在孜孜不倦的探索下，王玲华还找到了利用新型半导体仪器进行中性原子成像的空间探测新方法。这种方法能够对来自地球磁层环电流的低能中性原子进行高分辨率的成像观测，获得了多项有关磁层粒子加速的首次观测结果。她说：“高能粒子通量增加会造成卫星通信失灵、手机不通、电视转播中断等现象。但这个物理过程是如何发生的？通过观察地球磁层中性原子的整体成像分布，我们就可以了解地球空间中高能粒子如何产生，以及能量如何转化。”得益于此，伯克利空间科学实验室专门开展了一项新的空间探测计划——“Cinema”近地轨道小卫星项目。

自谦不善言谈的王玲华下一个兴奋点将会在2018年，那时，欧洲航天局将发射一颗名为“太阳轨道器”的科学卫星；美国宇航局将发射一颗名为“太阳探测附加任务”的科学卫星，它们将以前所未有的近距离飞越太阳。“没有什么事情，会比更深入地潜进太阳大气层搜集高能粒子的第一手资料更让我兴奋。”王玲华说。

“基础研究就像一块基石，有足够实力的国家才会重视对此投入，我国的科研条件并不比国外差。”王玲华说，一颗观测卫星需要十几亿元的投入，我国正加大投入力度。“现在的工作是基于国外的卫星数据开展的，如果我国有更多的卫星进行观测，我们会有更准确的预报。”王玲华说。

结合自身成长的经历，王玲华倡导从学生的兴趣出发，让那些有能力、有志向做科研的人留下来，一起发现空间物理学中未被人类探知的美。在王玲华看来，宇宙不仅是规律的集合，更是生命与美的起源和归宿。“我非常享受科学研究的过程。一个新发现或一个新成果所带来的兴奋不言而喻，科学家大概都是自娱自乐型的吧。”王玲华对科研充满挚爱。

中山大学力推“天琴计划”——自主开展引力波探测

本报讯 记者庞彩霞报道：自美国科学家宣布发现引力波以来，中国本土引力波探测工程——中山大学“天琴计划”备受关注。“未来引力波的探测，中国应该有一席之地，要有本土引力波探测平台和天文台。我们计划用15至20年发射卫星上天。”近日，在中山大学举行的推进实施“天琴计划”研讨会上，中山大学校长罗俊如是说。

对于引力波的探测，全球现有LISA或eLISA计划。我国科学家曾先后提出ASTROD和ALIA空间引力波探测计划。

“天琴计划”由中山大学校长、中国科学院院士罗俊教授团队领衔，其引力实验室被外国专家称为“世界的引力中心”，完成了“天琴计划”一些关键技术的储备。天琴计划以我国的技术能力实际和未来几十年的发展前景为出发点，提出我国自主开展空间引力波探测的可行性方案。根据计划，天琴将像LISA一样，采用三颗相同的卫星构成一个等边三角形阵列。三颗卫星在太空中的分列图类似乐器竖琴，故命名为“天琴计划”。

据了解，“天琴计划”不仅仅是基础研究，其发展起来的关键技术可用于很多领域，如精确测量地球重力场，使人类更加深刻地了解地球资源的分布和变化。又如精确测量距离，大到两颗卫星之间的距离，小到一个原子尺度的变化，都可以精确测算出来。“天琴计划”将成为中方牵头的国际合作项目。目前，LISA计划课题组的几位核心成员非常愿意开展合作，俄罗斯莫斯科大学几位教授已经参与合作。

本版编辑 郎 冰 闫 静
联系邮箱 jjrbxzh@163.com