

煤制油技术：把能源命脉攥在手里

■本报见习记者 李清波

日前，“400万吨/年煤间接液化成套技术创新开发及产业化”项目获得国家科学技术进步奖一等奖。

这一全球单体规模最大的400万吨/年煤间接液化项目是如何诞生的？自主核心技术高温浆态床费托合成工艺与催化剂难题又是如何攻克的？

项目第二完成人、中国科学院山西煤炭化学研究所（以下简称山西煤化所）研究员、中科合成油技术有限公司首席科学家李永旺领导并见证了二十多年来煤制油技术创新开发的全过程。

艰难追逐“人造石油”梦

2016年12月5日22时16分，神华宁煤400万吨/年煤制油工程I系列油品合成装置费托合成反应器开始投料，23时50分各项指标分析合格，煤制油全流程被打通。

在德国科学家费歇尔和托普森发现费托合成反应近百年后，我国完全掌握了百万吨级煤炭间接液化工程的工业核心技术，成为全世界少数掌握该技术的国家之一。

实际上，这项发达国家无不渴求的关键技术，在我国曾多次遭受冷遇，险些熄灭火种。

1953年，中国科学院煤炭研究室（山西煤化所前身）在成立的同时，就开展4500吨/年熔铁催化剂流化床合成油试验。但在这个关键时刻，大庆油田的发现让中国放弃了对“人造石油”的探索。

改革开放后不久，世界石油危机爆发，我国又很难再找到第二个大庆油田。富有远见的能源科学家再次将目光落在了煤制油上。

在鲍汉琛和张碧江两任所长的组织下，山西煤化所开始攻关煤炭间接液化的固定床两段法合成汽油工艺技术，研发持续了十余年后，于1993~1994年在山西晋城化肥厂完成了2000吨/年工业试验，产出90号汽油产品。但由于油价低迷、科研经费短缺、技术经济性差等原因，试验随后处于暂时停滞状态。

1997年冬天，李永旺被召回国。刚踏入国门的他就被山西煤化所时任所长钟炳急切地召集到办公室。“所有参加煤制油攻关的课题组都处于解散的边缘，你回来负责煤制油技术开发，人员随你调，队伍不能散。”钟炳这番话让李永旺不由得倒吸一口凉气。

李永旺首先把与合成油相关的5个课题组整合在一起，并决定在合成工艺的主攻方向作出重大转变，由原来的固定床费托合成工艺改变为更为先进的浆态床费托合成油工艺。

任务调头，困难加倍。1998年，实验室成功研制出高性能低温浆态床费托合成铁基催化剂，同时蜡催化剂分离技术也获得重大进展，浆态床煤制油工艺的技术经

新材料实现“外太空”制冷

■本报记者 李惠钰

电力装备散热、建筑制冷等室外应用对冷却的需求很高，然而，空调等传统制冷方法因消耗电力大，进一步加剧温室气体排放，因此很难满足行业需求。

如何实现超低能耗的冷却？科学家开始将目光聚焦在“辐射制冷”上。这种被动冷却技术可以反射阳光，并将热量散发到深空而无需消耗任何能源。

基于该技术，近日，上海交通大学电气材料与绝缘研究中心教授黄兴溢与该校密西根学院教授鲍华合作，开发出一种具有高热率的辐射制冷绝缘材料，这种材料具有高达98%的阳光反射率，可以实现全天辐射制冷效果，其高热率特性还可用于户外设备的高效热管理，有效降低器件、装备的工作温度。相关研究已发表于《先进功能材料》。

巨大冷源在外太空

辐射制冷是物体通过发射热辐射降低自身温度至环境温度以下的一种新型制冷技术。黄兴溢对《中国科学报》解释说，该技术主要利用了地球与外太空之间的大气辐射透明窗口。地球上物体的热辐射可以穿过该大气窗口，将热量直接发射到外太空。

“外太空是一个温度只有3开尔文的巨大冷源，通过与它进行直接换热，可以将地球上物体的温度降低到环境温度以下。”黄兴溢说。与传统制冷技术（如基于压缩机的主动制冷技术等）相比，辐射制冷技术是一种完全无能耗、无温室气体排放的被动制冷技术。

黄兴溢表示，传统制冷技术加剧了温室气体的排放，使地球整体温度升高，又进一步增加了制冷需求，形成恶性循环。总的来看，这些制冷系统自身反而会变成热源。而辐射制冷技术利用材料自发的热辐射进行制冷，不需要任何能量输入，是一种低碳环保、具有净制冷效果的技术。



高温浆态床合成油反应器工业装置。



李永旺（右四）和部分研究团队成员。



煤基合成油产品。山西煤化所供图

经济性瓶颈得到突破

李永旺仔细分析了从煤到成品油全流程工艺，认为如果浆态床费托合成能够在较高温度下进行，就能充分利用费托合成反应热，提高煤制油的整体能量利用效率。由此，他在国际上首次提出全新的高温浆态床费托合成油概念和工艺技术。

在合成油装置放大规模上，李永旺觉得，千吨级浆态床煤制油装置是具有代表性的最小规模，而这已是实验室小型装置的2000倍。要往前走，至少需要8000多万元的研发投入。这对他们来说几乎是天方夜谭。

煤制油走出实验室

在李永旺回国前，他的老师、化工专家Froment教授意味深长地说：“可以预见的是，10年内煤制油在中国可能会有大动作，而这个技术要想达到工业化，至少需要10年。回去吧，小伙子，我教给你的动力学与反应器知识也许会有用。”

“那时真是到了山穷水尽的地步，我们的科研经费也花得差不多了，眼看实验室就要赤字运行了。”2001年7月，苦于无工业中试阶段经费的李永旺与时任山西煤化所所长孙予汉向中科院汇报了煤制油技术的研发处境。之后，煤制油项目被列为首批启动的中科院知识创新工程重大项目，并得到3000万元经费支持，这也促进了科技部“863”计划“煤制油”重大项目的启动。

2002年9月，千吨级工业中试试验装置建成并试车成功。一石激起千层浪。煤制油中试装置成功出油的消息获得全行

业的高度关注，山西潞安集团、中国神华集团、徐州矿业集团等纷纷前来考察，要求投入资金进一步完善煤制油中试技术。

2006年2月，由山西煤化所、内蒙古伊泰集团、神华集团、山西潞安矿业集团、徐州矿业集团和连顺能源共同投资，成立中科合成油技术有限公司，之后在工程化实施过程中又相继成立中科合成油工程有限公司和中科合成油催化有限公司。

“一项技术必须经过‘实验室—工业中试—工业化示范—大规模工业化’这样一个过程。”李永旺对《中国科学报》说，煤制油是一项非常复杂的系统工程，涉及几百个专科、上千个节点，每一个点上都有对应的专门人员。而他所在的单位，掌握着成套的核心煤制油工艺和催化剂生产配方技术，一个人走了，不仅会导致技术外流，整个项目也得从头再来，损失无法估量。

李永旺将市场经济同国际上先进的奖励制度结合起来，研究出一套新型的奖励制度。从最初的三五个人到后来的1000多人，他的团队就像一块巨大的磁铁，不断将科研行业精英吸引到身边。2008年初，科技团队通过借贷方式投资拥有了公司部分股份，解决了科技人员的吸引、稳定和长期激励等问题。

股权激励就像化学反应中的催化剂，加快了科研成果转化的反应速度，为煤制油示范厂建设运行插上腾飞的翅膀。

百年梦终成现实

回国不到十年，李永旺已经按照与导师的约定，将煤制油技术向工业应用方面

推进了一大步。

2009年，春寒料峭的内蒙古鄂尔多斯草原上，我国第一个16万吨/年煤炭间接液化示范装置试车成功，乌黑的煤炭化作清澈的柴油喷涌而出。2011年开始建设世界单套最大规模400万吨/年煤制油商业示范装置；2016年建成并实现了一次性开车成功；2017年又相继建成投产了内蒙古伊泰杭锦旗120万吨/年和山西西奥安100万吨/年两个百万吨煤制油装置……

随着工厂规模越来越大，李永旺团队的关注点也发生了变化。“我们技术基本成熟，下一步就要向着大型综合一体化、产品多元化高值化方向发展，装置规模向500万吨级或1000万吨级的综合一体化方向发展，加快技术升级步伐，形成柴油—汽油—航油—润滑油—化学品联产成套新技术，争取2025年煤基合成油替代石油能力达到2000万吨以上。”

尽管技术突飞猛进，煤制油的外部环境却扑朔迷离。一方面煤炭和石油的价格始终影响着煤制油技术、工艺的发展速度；另一方面煤化工项目对二氧化碳减排的要求也越来越紧迫。

“煤制油在油价高时还有利润，油价低、煤价高时利润空间就小了。”谈到煤制油的外部环境时，李永旺对记者说，“现在全球能源价格体系比较混乱，不好预测，以前国际原油连续10年都在每桶100美元以上，最近几年下降到60美元左右，现在又涨到80多美元，但国内煤价又突然涨了二三倍，变化太大。”

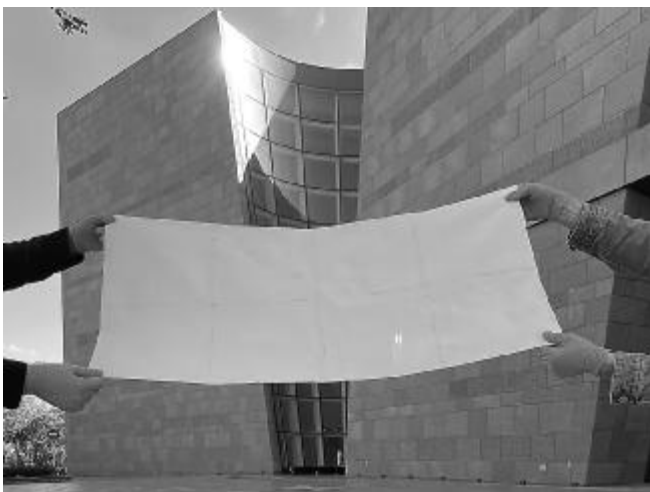
为了抑制煤价、油价波动对企业造成的风险，只能通过技术创新，要把技术做精做细，提高经济效益，而创新则是技术发展的源头和不竭动力。

李永旺表示，该团队目前正在延伸产品链上下功夫，深加工生产高值的特种燃料、润滑油、溶剂油、高熔点费托蜡，如晋安除生产柴油、石脑油、LPG外，还生产出高值的太行牌润滑油、系列牌号的高熔点费托蜡等产品；伊泰也生产出了C6-C8的单质正烷烃溶剂油。

“在未来新上的煤制油项目上，我们将进一步提高其能源综合利用效率，将减排技术与煤制油技术相耦合，尽最大努力减排二氧化碳，同时满足国家对油气的重大核心需求。”李永旺说。

对于煤制油未来前景，他认为，在短中期我国油气短缺的局面较难改变，煤制油满足国家油气的核心需求是第一位的，煤制油至少在二三十年内仍会发挥重要的作用。

放眼长远，李永旺提出了一套发展思路——技术研发重点将逐步由制油为主转变为高值化学品和材料为主，并进一步加大低质褐煤、生物质、有机垃圾等含碳资源的能源转化，以实现新的技术革命。



高热率辐射制冷绝缘材料。黄兴溢供图

“跨越近两个数量级调控辐射制冷材料的阳光反射率与红外发射率本就是一件极具挑战性的事情，我们期望材料在维持这两个光学性能的同时，还具有高热率，这就需要苛刻的光—热协同设计，对材料的筛选及其结构设计提出了极高的要求。”黄兴溢说。

据介绍，研究人员还进行了计算机模拟辅助的材料筛选与设计、大规模材料制备及其微观结构表征、72小时辐射制冷实验、户外长时间管理实验以及有关材料实际应用性能的一些测试，如户外老化、绝缘性、耐热性、阻燃性等。

上海交通大学电子信息与电气工程学院副院长尹毅评价道，该研究通过计算机模拟辅助，设计、制备了具有高热率的辐射制冷绝缘材料，打破了传统辐射制冷材料实现高阳光反射率与高热率的制约，极大拓展了辐射制冷材料的应用领域，为进一步推动辐射制冷技术在户外电力设备、电子器件中的热管理应用做出了开创性贡献。

进一步拓宽应用场景

据黄兴溢介绍，目前，他们已经在实验室制备出数米长的材料。此外，该材料制备工艺简单，不需要对现有工业化设备进行任何改造，就可以进行大规模加工制备。

“对于产业化开发，该材料目前还需

本报讯（记者李惠钰）近日，国际氢能委员会联合麦肯锡咨询公司发布《净零氢报告》（以下简称《报告》）。《报告》指出，氢在实现净零排放、将全球变暖限制在1.5℃方面起着核心作用，到2050年可累计减少800亿吨二氧化碳排放，占所需总减排量的20%。

《报告》分析认为，到2050年，中国将成为全球最大的氢市场，其次是欧洲和北美，这3个区域共占全球氢需求的60%左右。

《报告》提出了一条在2050年实现净零排放的现实可行的路径，并研究了清洁氢从现在到2050年能源转型过程中能够发挥的作用。其中，不仅列出了氢气潜在的长期作用，还描述了未来10年所需采取的措施，从而帮助实现2050年净零目标。

在应用端，氢对于工业（如作为钢铁及化工原料）、远距离交通运输（如作为重型卡车、长途客车及火车燃料）、国际航运（如作为海运及航空燃料）、供热（如高品位工业热能）和发电（如调峰发电和备用电源）的脱碳至关重要。

从目前开始到2030年的10年间，加速扩大氢规模是最终实现2050年净零目标的关键。为此，到2030年全球需部署7500万吨清洁氢。其供应可以取代用于氨、甲醇和化工炼化的2500万吨灰氢，地面运输的500亿升柴油以及钢铁生产的6000万吨煤炭。

与此同时，规模化是降低氢成本的关键。为了以最优的成本满足以上需求，需部署200~250吉瓦电解槽，300~400吉瓦可再生能源装机以及4500万~5500万吨低氢氢生产设施。

《报告》指出，实现这些目标需要政府和企业共同努力，如强有力的政策（颁布相关法令及合适的碳定价）、大规模基础设施的建设以及尽量减少初始投资的风险。预计到2030年，使用清洁氢每年将减少约7.3亿吨二氧化碳。

此外，虽然目前氢投资势头强劲，但与净零目标仍有很大差

到2025年 氢能可累计减排800亿吨

距。为实现目标，《报告》指出，到2030年需扩大投资至7000亿美元，其中3000亿美元用于氢供应，2000亿美元用于基础设施建设，2000亿美元用于应用端。因此，当前投资缺口高达5400亿美元。

过去一年中，随着氢在各领域的应用情况及涉氢项目的快速增长，越来越多的国家和地区逐渐认可了氢对脱碳的重要性。然而，当前所做的仍然远远不够，如果要在2050年将全球变暖限制在1.5~1.8℃，需要以5倍的速度加快氢项目部署才能实现目标。

为此，《报告》呼吁从3个方面采取措施和行动，才能发挥氢的减排潜力：在各领域刺激氢的应用需求、发展基础设施确保氢的终端使用、加速氢的规模化部署以使其具有成本竞争力。

资讯

1至10月北京新增光伏发电容量7.7万千瓦

本报讯《中国科学报》近日从北京市发展改革委获悉，近年来北京大力推进绿色低碳智慧转型，用好用足光伏支持政策，大力推进“阳光商业、阳光园区、阳光惠民、阳光农业、阳光基础设施、阳光公共机构”工程，取得了显著效益。

今年，北京市光伏发电并网项目较多，其中规模较大的包括北京汽车股份有限公司北京分公司分布式光伏发电项目、北京大兴国际机场航站区停车楼屋顶分布式光伏发电项目、药谷一号综合智慧能源项目一期工程等。

大兴国际机场停车楼屋顶光伏发电系统项目位于北京大兴区中关村科技园大兴生物医药基地中心，利用药谷一号产业园区建筑屋顶进行开发建设。总装机容量1.4兆瓦，按照“自发自用、余电上网”方式进行建设，以4个并网网点就近接入园区配电室400V低压母线段上。

据统计，今年1至10月，北京市新增光伏发电容量7.7万千瓦，累计容量达69.2万千瓦，占可再生能源发电总容量比重达30%。（郑金武）

碳中和与能源创新发展论坛召开

本报讯近日，碳中和与能源创新发展论坛暨中国石油大学（北京）经济管理学院建院65周年庆祝活动在线上召开。论坛以“迈向‘双碳’：影响与行动”为主题，旨在探讨实现“双碳”的目标、能源绿色低碳转型与能源高质量发展等焦点问题。

中国石油大学（北京）校长吴小林在致辞中指出，中国石油大学（北京）聚焦碳达峰、碳中和、碳中和的工程技术难题，加快培养面向能源前沿领域的交叉复合型创新人才。学校在经济管理学院增设“能源系统与碳管理”二级学科，成立碳中和与能源创新发展研究院，积极探索碳中和与能源创新发展领域的高校特色智库建设。

中国石油大学（北京）经济管理学院院长唐旭表示，在

双碳背景下，经济管理学院集中优势打造具有鲜明特色和品牌影响力的高校特色高端智库，服务国家、部委、行业与企业，并将持续对外公开发布成果。成果包括以中国油气石油生产碳排放强度指数为代表的4份“指数”研究成果；以“双碳”目标下中国减排政策效果评估为代表的5份“双碳”研究成果；以新时代中国能源安全评价体系研究为代表的4份专题研究类成果。

此外，本次论坛还组织召开了经济管理学院第一届校友联谊会、产学研合作推进“能源与金融”创新发展——白浮泉金融讲堂特别会议两个特色论坛，并设“数字驱动的能源低碳转型”“企业创新与低碳管理”两个学术分论坛。（陈彬）