可燃冰的前生与来世

□ 郑军卫

5月18日，国土资源部中国地质调查局对外宣布，我国正在南海北部神狐海域进行的可燃冰试采获得成功，标志着我国成为全球首个实现了在海域可燃冰试开采中获得连续稳定产气的国家。该消息一经公布即引发国内外媒体及各界人士的高度关注，被视为有可能改变未来能源供应和消费格局的重大成果。可燃冰究竟"何德何能"引起如此重视？其未来的开发前景又会如何？

天然气和水形成的冰状化合物

可燃冰，专业名称为天然气水合物（也有称甲烷水合物、天然气笼型化合物等），是在高压、低温环境下由天然气和水形成的似冰状的笼型结构化合物。因为其外观像冰，遇火即可燃烧，故俗称可燃冰。形成可燃冰的天然气成分主要为甲烷、乙烷、丙烷等烃类气体及氮气、二氧化碳、硫化氢等非烃气体，大多情况下以甲烷为主。目前在自然界中已发现的可燃冰有3种类型（I型、II型和H型），根据类型的不同，每单位体积的可燃冰分解后可释放出160～180单位体积的天然气。

全球分布广泛，资源潜力大

自然界中，可燃冰主要分布在海域的海底大陆斜坡、洋盆等深水区以及陆上的永久冻土区。据美国地质调查局（USGS）资料，截至2010年，已在全球230余处取得可燃冰样品或发现其存在的间接（如似海底反射层）证据。可燃冰97%分布在海域，3%分布在陆上，主要涉及：西太平洋海域的白令海、鄂霍次克海、千岛海沟、冲绳海槽、日本海、四国海槽、南海海槽、苏拉威西海、新西兰北岛；东太平洋海域的中美海槽、北加利福尼亚—俄勒冈滨外、秘鲁海槽；大西洋海域的美国东海岸外布莱克海台、墨西哥湾、加勒比海、南美东海岸外陆坡、非洲西海岸海域；印度洋的阿曼海湾；北极的巴伦支海和波弗特海；南极的罗斯海和威德尔海，以及黑海、里海和贝加尔湖等地区。美国学者Kvenvolden在结合前人的研究后认为，目前全球可燃冰中的甲烷资源量约为20×1016m^3（2万万亿立方米，约合当前全球天然气剩余储量1869万亿立方米的107倍），总碳量是当前已探明所有化石能源（煤、石油、天然气）总含碳量的两倍。人类若能对可燃冰实现规模化商业开采，将会对已有的能源结构产生变革性影响。

大国争相进行勘探开发探索

可燃冰广阔的资源前景，已引起世界各国特别是发达国家及能源短缺国家的高度重视。美国、日本、德国、加拿大、韩国、中国、印度、比利时等都制定了各自的天然气水合物研究开发计划并采取相应措施促进对天然气水合物的研究和资源调查与试开采试验。截至目前，全球已在6个地点进行了可燃冰试开采工作，分别是：俄罗斯西伯利亚麦索雅哈气田、加拿大马更些三角洲、美国阿拉斯加北部斜坡永久冻土带、日本爱知县东南部的南海海槽、美国墨西哥湾、中国南海神狐海域，其中仅麦索雅哈气田的可燃冰开采被认为是成功实现了冻土区可燃冰的商业开发。麦索雅哈气田由常规气藏和可燃冰藏两部分构成，在实际生产中使用共采模式，主要通过释压法对可燃冰进行开采。2002年，加拿大、日本、韩国、美国、印度等国在加拿大马更些三角洲开展了陆上可燃冰开采试验。2013年、2017年，日本先后2次在爱知县东南部的海槽尝试可燃冰试采，均因出砂问题被迫中止。2017年5月10日起，我国在南海神狐海域水深1266米海底以下203～277米的可燃冰藏实现连续187个小时的稳定产气，累计产气超过12万立方米，最高产量达3.5万立方米/天，平均日产1.6万立方米，其中甲烷含量最高达99.5%，成功实现海域可燃冰试采。

技术是关键，环境是制约

就目前已有资料而言，可燃冰开采方法主要有热激发法、减压法、化学试剂注入法、二氧化碳置换法、固体采掘法以及多种方式的组合方法。其中：热激发法就是通过向地下注入热水、地下电缆加热等方式将地下温度升高，使得可燃冰分解为天然气和水；减压法是通过降低井底可燃冰层的压力，破坏可燃冰稳定存在的压力环境，造成其分解；化学试剂注入法则是用化学物质打破地下可燃冰稳定保存的相平衡状态，达到使其分解的目的；二氧化碳置换法则是通过向地下注入二氧化碳来置换出可燃冰笼型结构中天然气分子；固体采掘法与前面几种方法明显不同，它不是将可燃冰以气体形态采取，而是以类似于煤矿开采的模式直接将可燃冰挖出来，再到地表进行运输或分解，这种方法仅适用于对埋深较浅的可燃冰进行开采。目前这些开采方法还存在效率低、成本高等问题，难以规模化应用。

可燃冰开采的难点，不仅在于从海底或冻土中把它们采出来，更在于实现有序、可控的开采，在开采过程中不发生大规模甲烷泄漏以及塌陷、滑坡等次生灾害问题。从国际大洋钻探计划以及一些国家的可燃冰计划所取得的可燃冰实际样品来看，其主要存在于地下岩石或海底未固结沉积物淤泥中。在岩石中，可燃冰可以以多种方式存在，占据大的岩石粒间孔隙；以球粒状散布于细粒岩石中，以固体形式填充在裂缝中以及大块固态可燃冰伴随少量沉积物。海底可燃冰开采过程中，应选择合适的井位和完善的施工方案，一旦钻孔密封性不好，大量海水灌入，可能造成更大范围内的可燃冰层失稳，出砂以及大量的温室气体逸出，甚至会引发海底滑坡和更大的灾害。

可燃冰成功试采意义重大

此次我国从南海神狐海域水深1266米海底以下的203～277米可燃冰矿藏中开采出天然气，既是对我国可燃冰开发技术与工艺的检验和可燃冰勘探开发理论认识的检验，也是对未来可能的接替能源进行的工业开发探索。通过此次可燃冰试采，一大批涉及可燃冰开发的地质勘探、钻井技术、开采工艺、试采平台等关键技术得到了突破和实践检验，为下一步相关技术的进一步发展和完善奠定了坚实的基础。近年来，美国能引领全球页岩气革命的重要原因之一，就是其掌握了一套以水平井和多段水力压裂为代表的成熟、有效的页岩气生产工艺，实现了低成本的商业开发。我国若能以此次试采为契机，继续加强可燃冰勘探开发理论研究、提升开发工艺水平并降低生产成本，必将在新一轮国际能源消费调整和能源技术转移中占据主动优势。同时，若可燃冰能成功实现商业开采，必将对我国的能源进口谈判、能源结构调整和国家能源安全等产生重大促进作用。

可燃冰开发前景广阔，但距商业开采还有较大距离

从目前研究资料来看，我国可燃冰主要分布在南海海域、东海海域、青藏高原冻土区以及东北冻土区。据中石油的预测，我国可燃冰所含天然气资源总量超过83万亿立方米，是当前剩余天然气可采储量3.8万亿立方米的21倍以上，若按照2015年1380亿立方米的年产量计算，可供开采600年以上。目前，我国整体能源结构仍以煤炭为主，其在一次能源结构中占比超过63%，而相对清洁的天然气不足6%，约30%的天然气需要通过进口来满足。随着可持续发展观、绿色发展观的深入人心，我国天然气的使用量将显著提升，对外进口需求也将明显增大。如果我国能实现海域天然气水合物的商业开采，将对推动能源生产和消费革命产生重要而深远的影响。

可燃冰的开采除受技术和环境影响外，经济成本问题是另外一个制约商业化开发的重要因素。据美国估计，可燃冰的开采成本是每立方米200美元，约合每立方米天然气成本1.1美元，与当前国内不到人民币1元的常规天然气成本价相比，存在非常大的价格劣势。可燃冰开采技术和装备还待进一步突破。此外，将可燃冰天然气输送到用户的运输管网等基础设施还缺乏或很不健全，有待进一步发展建设和完善。虽然我国提出到2030年实现可燃冰的商业开采，但考虑到技术因素和经济因素的影响，保守估计商业开采可燃冰可能还需要10到20年时间。

科技与社会

我国机器人发展现状与思路

□ 何玉庆　梁　波

很久以来，"制造出像人一样的机器，从而将人类从繁重的劳动中解放出来"，就是人们的美好梦想：如古希腊诗人荷马的长篇叙事诗《伊利亚特》中冶炼之神海倍斯特司用黄金铸造的美丽侍女、中国西周时期能歌善舞的人造伶人、三国时期诸葛亮制作的木牛流马等等。虽然这些传说或记载的真实性不可考信，但人们对于"类人机器"的向往可见一斑。自上世纪六十年代第一台商业化的工业机器人诞生，经过半个多世纪的发展，机器人技术在制造业、服务业、军事等众多领域已经获得了广泛的应用，正以独特的方式影响着人类认识世界和改造世界的能力。

机器人概念和分类

机器人种类繁多，其概念内涵和外延均十分宽泛，并且应用场合多种多样，不同学科的研究人员，甚至不同领域的技术开发人员及用户，对"机器人是什么"这一基本问题有着各自不同的理解和认识。加之当前很多公司利用机器人行业的影响将很多不具备机器人本质特征的产品冠以机器人的名义推向市场，导致人们对于机器人概念的理解存在较大的模糊性。

联合国欧洲经济委员会、国际机器人联合会和国际标准化组织技术委员会给出的机器人定义是：一种能够执行某种任务的、两轴或者多轴可编程的、具有一定自主性（这里的自主性是指在没有人的干预情况下能够基于当前状态和感知执行特定任务的能力）的驱动机构。我国已故著名战略科学家、被称为"中国机器人之父"的蒋新松院士曾经给机器人下过一个定义：一种具有拟人功能的机械电子装置。这一概念高度概括了机器人的特征，至今对我们理解机器人系统仍然有极大的借鉴价值。综上，笔者认为能冠以机器人名称的系统或产品应具有以下两个基本特征：一是能够自动执行某个、某些或某类任务；二是具有通过编程改变功能的能力。

关于机器人的分类也存在一些不同的观点和看法。国际机器人联合会根据用途分为两大类：一是工业机器人；二是服务机器人，服务机器人又分为个人服务机器人和专业服务机器人。国内目前通常将机器人分为工业机器人、特种机器人和服务机器人。

中国机器人产业发展现状

第一，工业机器人产业初具规模。工业机器人作为制造业的重要基础装备，是衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志。早在"九五"期间，我国已经掌握了工业机器人的设计和集成技术，研制出弧焊机器人、点焊机器人、切割机器人、喷涂机器人、平面关节型装配机器人、直角坐标型装配机器人、移动搬运机器人、移动包装机器人等国产工业机器人系列产品，实现了批量化生产，迫使国外品牌产品降低了价格，培育了沈阳新松机器人公司等机器人企业，组织实施了100余项工业机器人应用示范工程，在汽车、摩托车、家电、烟草、化工、电器等行业推广应用机器人自动工作站和机器人自动化生产线，在提高产品质量，降低劳动成本，增强企业竞争力等方面发挥了重要作用。

最新的国际机器人联合会数据显示：2016年全球工业机器人销量约29万台，同比增长14%，其中中国工业机器人销量9万台，同比增长31%。而在2016年度中国机器人产业联盟公布的《2016年上半年工业机器人市场统计数据》显示：2016年上半年国内机器人企业累计销售19257台机器人，较上年增长37.7%，增速比上年同期加快10.2%，实际销量比上年增长70.8%。我国工业机器人市场规模已经位居世界第一，国产机器人产品占据了可观的市场份额，发展态势迅猛，初具规模。

第二，特种机器人从无到有，已经逐步形成产业化态势。进入二十一世纪后，我国先后研制出一大批特种机器人并得到应用，如，辅助骨外科手术机器人和脑外科机器人成功用于临床手术，低空飞行机器人在南极科考中得到应用，微小型探雷扫雷机器人参加了国际维和扫雷行动，空中搜索探测机器人、废墟搜救机器人等地震搜救机器人成功问世，细胞注射微操作机器人已应用于动物克隆实验，国内首台腹腔微创外科手术机器人进行了动物试验并通过了鉴定，反恐排爆机器人已经批量装备公安和武警部队，水下机器人在海底资源勘探、北极科考等领域获得了成功应用。

近年来，一些特种机器人陆续开始进入市场，并且形成一定的产业化规模。如反恐排爆机器人已经装备我国公安部多个机构，并且随我国维和工兵分队远赴黎巴嫩参与维和使命；工业级飞行机器人（无人机）是近些年涌现出来的一个新的装备，其在农业、电力、公安等领域已经获得了应用，显示出了极大的市场前景。国内特种机器人产业化态势已经形成。

完善我国机器人技术、产业发展的政策支持

大力支持机器人关键零部件制造水平提升，摆脱机器人相关基础工业薄弱局面。目前我国自主研发的机器人产品中，减速器、伺服电机等核心器件依赖进口的现象仍未根本改变。在2016年工信部等单位联合印发的《机器人产业发展规划（2016—2020年）》中对该问题予以明确，并提出了发展规划。应尽快选择支持重点单位，开展基础研发工作，但在具体执行过程中要注意：既要避免重复投入，也要避免低水平的恶性竞争。

抓住特种机器人和服务机器人发展的黄金机遇，提升我国机器人技术与产品自主研发水平。相对于工业机器人来说，特种机器人和服务机器人尚处于市场化的初期，国外尚没有商业巨头出现，但由于应用场景广泛，市场潜力巨大，人们对相关产品的预期极高，背后隐藏着巨大的产业化商机。我们应抓住机遇，大力发展智能性与自主性、环境感知与路径规划、导航定位与控制、人机交互和多机协调与合作等核心技术，抢占先机。

在推动技术发展的同时，要注重政府引导作用，通过制度创新形成良好的发展环境。与机器人发展水平最高的日、美、德三国相比，我国机器人在技术和产业发展上均存在差距。技术差距的内在原因是制度、政策、环境和人才，产业差距的主要原因是机器人关键核心技术水平低、缺乏统一的顶层设计与规划以及企业相关人才严重不足。因此，国家应有长期的政策和规划作保证，从战略上完善顶层设计，加强政策引导，以行业需求引领机器人技术发展，避免分散封闭、简单重复、小而全且经费导向碎片化等倾向。

目前我国正处于经济转型的关键时期，"注重新技术研发、抓住新市场机遇"是提升我国经济活力的重要抓手之一。相信随着相关制度的完善、投入的持续增加，在不久的将来，我国必将在世界机器人舞台上占有一席之地。

当代世界科技

创新型经济　助力科技强国建设

□ 李　万

下一代基因组等颠覆性技术拥有影响经济的巨大潜力

创新型经济，简言之，是创新发挥主导作用的经济形态；在这种经济形态中，能够持续涌现出引致新一轮经济繁荣的颠覆性技术群和产业群。

发展创新型经济的总体战略考虑

——世界眼光，大国担当。着眼全球人类命运共同体建设，积极促进新一轮全球化，向世界提供与大国地位相称的科技创新公共产品，发展能参与甚至主导全球创新竞赛的创新型国家企业，支撑和构造新的价值网络，促进新产业向全球扩展。

——愿景引领，战略预见。引导国际潮流，开展战略性引领型创新预见，构筑科技创新促进未来新发展的积极愿景，积极应对少就业型增长和创新带来的社会摩擦，为新产品、新模式、新业态和新产业做好前瞻性预估、预判和预案。

——创新生态，双轮驱动。营造世界范围内具有独特领先优势的"创新热带雨林"，促进一大批世界级创新型企业家涌现。在"全球创新生态圈"中，加快迈向"创新生态链"的顶端。围绕产权保护、成果转化、创业促进、财税优惠、需求侧创新政策等推进体制机制创新，充分发挥市场决定作用、社会支撑作用，持续提升创新治理能力，建设高效的创新型政府。

在战略方向的把握上，应将重点放在"智""能""制造"上。

智：人工智能增强人类智慧。包括智能增强的泛在网络，如智能互联网，物联网（IoT）、能源互联网等；智能增强的人体机能，如个体计量、脑机交互、远程手术、器官再生、肌体增强等；智能增强的生态再造，如生态环境监控，宜居微生态的创建与演化等。

能：能源变革带来泛在充电。包括氢联结的可再生能源，如风、光、潮汐等与氢的转化储运联结、微小燃气轮机、高温超导等；分布式与普惠型电力，如可发电可充电的自动化公路、无线与隔空充电等、新型储能电池等；光与聚变能的突破性开发应用，如中低温核聚变、光能应用、光合生产以及高效清洁化石能源等。

制造：灵巧生产满足个性需求。包括新型制造技术，如柔性化生产、众包式设计、3D/4D打印、智能物流、透明化制造等；新物质创制，如高性能充电材料、新型半导体材料、二维材料、一维材料等；新型交通工具装备与基础设施，如真空管道高速列车、自动驾驶汽车等；通用航空与新型航天器，如中低空无人运载器、新能源飞机、低成本火箭等；生物医药，如基因编辑的噬菌体、精准医疗、个性化医疗等；船舶与海洋工程，如水下无人机、海底观测网、深海潜水器和空间站等。

加快发展创新型经济的对策建议

大胆实施更具世界引领性的原始创新。面向世界科技创新强国建设宏伟目标，应用导向、超前部署，在人工智能、量子计算与通信、未来新型智能高速交通装备、生物医药、航天航空、地球深部等领域启动实施新一轮重大专项。在脑与认知、生命科学、新物质创制、新型能源等领域，以提高全人类福祉为理念，汇聚全球顶尖科学家群体，发起国际大科学计划。

增强创新资本放大科技创新财富效应。持续做大做强科技金融，鼓励区块链等金融科技的探索发展。实施最严格的知识产权保护，支持高水平、国际化的知识产权服务组织的集群化发展，促进技术交易和知识产权交易发展，持续累积创新资本。研究成果转化收益税收优惠政策，切实保证科技创新人才"名利双收"。持续提高公众科技素养和创新风险及好奇意识，使全社会形成尊崇创业、鼓励创新、宽容失败、热恋创新的风尚，使我国成为与世界同步甚至引领未来的新产品、新模式、新服务、新商业的试验场、示范地和领先应用国度。

强化集聚英才的文化创新和组织创新。持续增强文化自信和创新自信，树立关切全人类福祉和未来命运的大国胸襟与气度，营造更加开放多元包容的创新文化氛围，在全世界范围内吸引卓越人才。充分运用网络技术、认知盈余等，积极推动体现即需即用、动态组合等特点的新型研发组织、新型社会组织、新型服务组织和新型生产组织的涌现和发展，使我国成为未来经济组织与管理"新主张"的重要诞生地之一。

探索推进创新型经济发展先行区实践。在若干科技创新中心城市和区域，结合全创改、自贸区、自主创新示范区等的探索与拓展，将城区、社区、街区、园区等多区融合，结合全球化创业，鼓励和支持"科技创造未来产业示范性企业"的发展，打造具有全球影响力的未来城市、未来科技、未来产业、未来生活的应用示范引领区，使我国若干区域成为发展创新型经济的世界级领先市场。

科技战略

打印本版图片