实现全城无烟 地热大有可为

■本报记者 李惠钰

“我国城镇化建设正处于深入发展的关键期，推动新型城镇化要把生态文明理念全面融入城镇化发展过程中，地热能在城镇供暖清洁化转型中大有可为。

“雄县没有烟囱，你看，这里是无烟城。”中国石化绿源地热能开发有限公司技术总监孙彩霞骄傲地说。

出了北京五环，南行100多公里，便来到了河北雄县，在这里，地热能供暖已经覆盖了全县95%以上的建筑，彻底摆脱了冬季燃煤供暖带来的种种污染问题。地热能也成为雄安新区第一个得到确认的具体投资领域。

为促进地热能在城镇供暖清洁化转型中发挥更大的作用，中国工程院此前向相关机构报送了一份《关于营造良好发展环境壮大我国地热产业的建议》。近日，中国工程院院士、中国地源热泵产业联盟名誉理事长曹耀峰在“未来能源大会（FEC2019）暨第十五届中国能源战略投资论坛”上透露，国家能源局正在梳理整合各部委的意见，近期将对中国工程院进行答复。同时，国家能源局还正推进《地热管理办法》的制定工作，现已展开多轮实地调研。

“我国城镇化建设正处于深入发展的关键期，推动新型城镇化要把生态文明理念全面融入城镇化发展过程中，地热能在城镇供暖清洁化转型中大有可为。”曹耀峰强调说。

一批示范案例落地

在中国北方，每逢采暖季，空气质量会经历一番二氧化碳、二氧化硫、粉尘等燃煤排放物的“洗礼”，供暖行业污染“贡献”大已成为共识。而雄县这座“无烟城”因为地热能的利用，成功完成了供暖清洁化的转型。

雄县约六成土地蕴藏地热资源，一直吸引国内外能源专家前来考察。在雄县地热开采形成规模之初，中科院地质与地球物理研究所地热资源研究中心主任庞忠和就带领科研团队进入雄县，着重研究尾水回灌问题，用现场实验和数学模型技术，对地热储的温度分布、渗透性分布等指标提出专业化意见，以达到最优化可持续开发，支撑规模效益。

河北绿源地热能开发有限公司副总经理杨炳良是土生土长的雄县人。据他回忆，上世纪70年代，雄县便有地热供暖，但那时候大部分都是无序开采。但现在，“雄县模式”技术上的核心是“取热不取水”，从开采井将地热水抽出后，通过换热器取热，然后由回灌井将冷水重新注回地下水层。与此同时，另一套自来水循环系统将经过加热的水通过供暖管道送入千家万户，这样实现“采灌平衡”。

在良好的发展大形势下，除了“雄县样本”，我国也已经打造了一批地热能示范工程。曹耀峰举例说，世界园艺博览会三大主体建筑就采用“地热两能+水蓄能+常规能源调峰”的能源方案；即将通航的北京大兴国际机场则采用浅层地热能供暖制冷，建成后将是国内最大的单项地源热泵系统工程，供暖制冷规模250万平方米；北京副中心行政办公区一期工程采用以“浅层地热能为主，深层地热能为辅，其他清洁能源补充”的能源供给方案，为数百万平方米的建筑群供暖制冷。

加快资源勘查评价力度

“宜电则电、宜气则气、宜热则热、宜煤则煤”是去年国务院印发的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中提出的推进清洁取暖的四条原则。在曹耀峰看来，“总体思路中添加了‘宜热则热’，意味着经过一段时间实践论证，地热供暖得到了肯定认可，未来将取得更大规模的推广。”

相对于风能、太阳能等其他可再生资源而言，地热能更加稳定可靠，可作为基础能源，并参与调峰。但曹耀峰同时指出，地热能也属于能源矿产，但与煤炭、石油、天然气等能源矿产不同的是，其开发利用中，水是重要载体，因此还受《水法》的影响。“地热管理涉及自然资源、水利、能源等部委，目前管理分工尚不明确，以致政出多门，制约了地热产业的发展。”

对此，他与多位院士联名建议，要借助国家实施机构改革的机遇，理顺管理体制，抓紧制定出台《中国地热资源勘探开发管理办法》，指定地热主管部门，明确管理分工，促使相关部门各司其职、协同管理。

除了加速营造地热产业良好的政策环境，曹耀峰还建议要加大地热资源勘查评价力度，特别是加大基础性地热勘查工作。一是加强大地热流测量工作，美国已经公开发表了1.7万多个大地热流数据，而中国大陆地区仅公开发表1230个；二是加大浅层地热资源勘查评价范围，抓紧开展县级及以下区域勘查评价工作；三是加大中深层地热资源勘查评价深度与精度，开展覆盖全国重点地区地热田的勘查工作。

不仅如此，曹耀峰还强调要对战略性替代资源干热岩重点关注、加速布局，并建议组织专家制定干热岩技术发展路线图，统一规划布局，建设数个干热岩勘查开发先导试验区。

曹耀峰透露，国家能源局已经组织国家地热能中心等单位，召开了数轮地热开发利用推进会议，研究部署壮大地热产业的系列方法举措。

地热能开采需审慎而行

尽管廉价、清洁、可持续等优势为地热能许下了美好未来，但仍有一部分人对它的开发持审慎态度。

韩国浦项市就曾在2017年发生过一起有记录以来破坏力最大的地震，并导致数十人受伤。对于地震引发的原因，韩国釜山大学地震学家Kwanghee Kim的解释是：“油井的高压水润滑了岩石中的一个未知断层，导致它滑动并引发地震。”

不过，中国能源研究会地热专业委会专家委员会主任郑克棪认为，“一般引发地震的都是干热岩开发，压裂过程注入大量高压水，使岩石裂开，发生三四级地震，常规地热开发是不会诱发地震的。”

中国地质大学能源学院教授李克文也对《中国科学报》表示，地热能开发如果不知道怎样控制有关参数和工况，可能会引起地震；对热储特性参数了解不充分，在压裂与开发过程中也可能会引起地震。不过，他认为一般情况下这种地震的震级比较小，而且是完全可以避免的，也不存在其他地质风险。

地热开发是否会引起地震，虽然在学术界存在一定的争论，不过在国内尚未有相关报道。天津地热勘查开发设计院高级工程师田光辉就表示，天津开发地热已经有几十年的历史了，目前尚未发现地热开发引起的地震。

不过，行业专家建议，在地热能开发之前，对地质环境进行监测尤为重要。要实现地热资源的综合高效利用，应遵循开发与保护并重的原则，制定科学的地热开发资源规划方案，对于布局不合理、不进行回灌的地热资源，应根据实际情况，因地制宜地进行改造。

能言快语

石油天然气仍是当今主体能源

■苏义脑

2012—2017年，新能源即非化石能源产量增幅达1.9%，煤炭、石油、天然气等化石能源的占比都产生了不同程度的下降，但总体上看，化石能源在世界能源格局中占比仍高达85.1%，油气占比在55%左右，仍然是当今世界的主体能源，仍有广阔的发展空间，这一趋势短期内不会改变。

专家预测，到2035年，全球一次能源需求将从目前的130亿吨油当量增至162亿吨油当量，石油和天然气占比分别为31%和27%，煤炭、石油、天然气仍占75%的高比例。即使到了2050年，化石能源在能源结构中仍将占三分之二，包括核能、水电以及风能、太阳能、生物质能、地热能等清洁能源在内的非化石能源占三分之一。

当前，在化石能源开发利用方面，煤炭正处于转型期、石油处于稳定期、天然气处于鼎盛期，而新能源则处于黄金期。

影响当前油价的基本因素有以下五个方面：经济形势、基本定位、供需关系、地缘政治和人为干预。本次始于2014年的原油下跌，在2016年1月20日降至最低27.7美元/桶，低到1.6升原油的价格相当于1升纯净水。石油工业进入寒冬期，国内外石油企业面临巨大考验，各大石油公司、技术服务公司遭受巨大打击。

从国际形势看，美国能源革命、页岩气开发和出口减少了油气的需求，西方因乌克兰问题与美俄博弈、制裁俄罗斯等国际事件，世界经济下行，油气供大于求、不减产等因素都对油价造成了影响。油价虽然会在某一时期剧烈震荡，但会存在一个基本价格，否则社会经济同样也会发生剧烈震荡。

从数学形式上看待油价增长趋势，合理的油价基线是一条斜率很小的直线，但实际上油价则是以基线为均值在合理的范围内进行上下波动。石油是当前以及相当一段时间内的主体能源，并因其不可再生性，其价值在逐渐增大，石油企业的成本和利润决定了基线不会过低。

从我国过去近十年的能源消耗占比来看，在未来的十余年中，我国能源需求还会继续增加，到2035年我国的一次能源需求将由目前30亿吨油当量增加至40亿吨油当量，并将于2040年达到峰值。

2017年由自然资源部发布的《全国石油天然气资源勘探开采情况通报》中指出，全国原油产量为1.92亿吨，而表观消费原油则达到6.1亿吨，其中原油的对外依存度达到60%以上。

在未来十余年间，我国油气资源在一次能源需求量中占比仍超过30%。但目前我国还未建立完备的油气战略储备体系，油气风险应对能力仍不充分。国内产量是油气安全的压舱石，需要依靠技术创新，加大国内石油勘探开发力度来解决。需求导向，创新驱动；工业牵头，装备先行；完善工程技术和勘探、开发共同构成石油工业上游三大支柱。优先发展钻完井技术，通过技术攻关，由构建一条传统意义上的油气通道向提高勘探成功率和开发采收率及油气产量进行转变。

国家应以“开源节流”为总方针，多策并举，保证油气供应，确保国家能源安全。开“供给侧”，采取发现新储量、提高采收率和单井产量、开发非常规油气以及海外油气等方针；节“需求侧”，在节约油气方面进行技术创新与管理创新，推动能源消费革命、能源供给革命、能源技术革命及能源体制革命。

现阶段油气工业发展应以“二保一扩一控”为总体思路，实施“油气自主战略”，将能源困局演化为推动国家发展、实现两个百年战略的重要支柱，推进油气自主战略的主要建设。通过稳油增气、优化布局、资源分享、互联互通以及多元供给等多种方式，达到发展可持续、资源可获得、市场可承受、风险可控制的主要目标。

（作者系中国工程院院士，本报记者廖洋，通讯员王大勇、战鑫杰据其在中国石油大学（华东）第39期“黄岛讲坛”上的报告《对我国油气形势的认识与思考》整理）

资讯

有机硅单体合成主—助催化剂协同机理研究获进展

本报讯（记者张思玮）日前，记者从中国科学院过程工程研究所获悉，该所研究员苏发兵团队和华东理工大学教授龚学庆团队合作，基于之前暴露特定晶面亚微米级Cu_2O晶体的工作基础，进一步将ZnO纳米颗粒沉积在上述晶体上，可控合成了具有丰富PN异质结构的ZnO/Cu_2O纳米复合材料，并将其作为模型催化体系应用于罗乔反应，在分子原子水平揭示了Cu_2O和ZnO的界面协同作用机制，相关成果发表在《催化杂志》。

因有机硅材料结合了硅的无机性能和有机材料的性能，使其广泛应用于社会生产生活的多个领域，比如航空航天、建筑、电子电气、纺织、汽车、机械、化工轻工、金属和油漆、医药医疗等。二甲基二氯硅烷（M2）作为合成有机硅材料用量最大的单体原料，在工业上是通过氯甲烷和硅粉在铜基催化材料作用下生产得到的，即上世纪40年代由Eugene G. Rochow发明的罗乔反应。

然而，该反应在得到M2的同时，还会产生大量副产物（约占产物含量的15%~20%），因此，提高M2的选择性和收率一直以来都是工业界和学术界长期关注的热点和难点。尽管已有的研究已经发现，在铜基催化剂中添加Zn基助剂可以提升M2的选择性和收率，同时工业上也采用Zn粉作为助催化剂使用，但由于该反应本身和催化剂结构的复杂性，其协同催化机制迄今为止仍不明晰。

此项研究发现，ZnO/Cu_2O纳米复合材料比单一暴露特定晶面的亚微米级Cu_2O晶体均显示出更高的M2选择性和收率，其中$ZnO/Cu_2O\{100\}$复合材料的提升幅度最大，与$ZnO/Cu_2O\{111\}$和$ZnO/Cu_2O\{110\}$复合材料相比，ZnO/Cu2O {100}复合材料具有最高的M2选择性和收率。理论计算表明，ZnO和$Cu_2O\{100\}$形成的PN界面结构增强了价电子从Cu_2O向ZnO的转移能力，使得Cu_2O表面更显正电性，有利于反应物一氯甲烷的解离吸附，从而促进活性铜原子的产生和CuxSi活性相的形成。

研究人员表示，该工作不仅揭示了Cu/Zn主—助催化剂在微观尺度上的协同作用机制，而且提供了一种通过调控异质界面结构来提高反应选择性的策略，有助于新型铜基催化剂的研制及工业主—助催化剂的调控。

相关论文信息：https://doi.org/10.1016/j.jcat.2019.02.029

氢能给冬奥加油！

■本报见习记者 池涵

2022年的北京冬季奥运会在即，国家以此为契机全面推广氢燃料电池汽车，现已在张家口市全面布局氢能产业。国家能源集团也承接了科技部重点专项“大规模风/光互补制氢关键技术研究及示范”项目，为张家口冬奥赛区绿色氢能源提供来源支撑。

同为新能源汽车，氢燃料电池相对于锂离子电池虽然在续航里程、加氢时间方面具有一定优势，然而，氢能推广仍面临一些问题。那么，是否可以借冬奥的东风突破这一瓶颈呢？

全国氢能标委会委员、中国氢能源及燃料电池产业创新联盟专家委员会委员、国家能源集团北京低碳清洁能源研究院（以下简称“低碳院”）氢能技术开发部经理何广利告诉《中国科学报》，氢能产业推广主要有技术复杂、产业链长以及不成规模等问题。

北京低碳清洁能源研究院参与开发的江苏如皋加氢站。

技术复杂

何广利认为，氢燃料电池汽车相对锂离子电池有一定优势，首先从结构来说，氢燃料电池汽车更类似于传统的内燃机车，即能量储存和能量转化分开；其次，主流的锂离子电池汽车充电时间长，至少需要半个小时，而小轿车充氢目前只需要3~5分钟，大巴车也只需要10分钟，优势明显。此外，锂离子电池还存在低温环境容量下降的问题，这些问题在氢燃料电池汽车上都不需要担心。

然而，发展氢能的短板也很明显。何广利认为，发展氢燃料电池汽车的技术与配套设施体系要比锂电池汽车复杂得多。

单以低碳院所从事的加氢站技术为例，何广利介绍，该院为广东省佛山市南海区的加氢站提供的加氢机工作压力为35MPa，这样高的压力已经超过了此前所有普通化工行业用氢气的工作压力。

同时，为一个加氢站正常工作配备的配套设施繁多，包括压缩机、储氢容器、加氢机、站控系统等，各个设施之间又需要预留安全距离，导致占地面积扩大。

而且，要实现不超过3~5分钟的加氢时长，也要满足苛刻的技术条件，如相关设施的密切配合以实现加氢过程不超压、不超温、不过充等，这些要求都提高了加氢站的技术门槛。

产业链长

锂离子电池的另一个优势是产业链短，充电设施齐全。而氢气制取的主要方式包括煤制氢、工业副产氢、电解水等，制取设施往往远离加氢站，国内又不允许站内制氢，只能对氢气进行长途储运，提高了成本。

有人曾提出车上制氢的设想。何广利认为，这种思路需要解决一些技术问题：车上制氢对设备的重量和体积要求更加严格，而且行驶震动中的车上工况比固定设施更恶劣，对安全和寿命的要求也随之提高。

据何广利介绍，目前全国建成的加氢站大约在25个左右，2018年全国氢燃料电池车销量约为1500辆。

而且，在已建成的加氢站中证件齐全、满足商业运营需求的不到10个，很多加氢站没有储氢设施，加氢时快时慢，取决于前端压力，无法应对客流高峰。

何广利认为，加氢站盈利的前提是氢气到站价格在30元/公斤的条件，售价50~55元/公斤，负荷率达到80%以上。以目前的技术及市场条件来看，新建成的加氢站2~3年内无法盈利。

不再遥远

为应对挑战，低碳院加大研发力度，申请和授权了国家发明专利和PCT专利30余项。

何广利介绍，加氢过程是放热过程，快速充氢会导致系统温度快速升高，此时需要降低压差，或改变氢气流速。

低碳院所开发的加氢技术能够根据升温曲线制订最优的加氢策略，在不超温的前提下，组合恒压与恒流加氢过程，以最快的速度加满氢气。

截至目前，低碳院已为广东省佛山市以及江苏省如皋市的加氢站提供了其自主研发的加氢站控制系统和加氢机系统。

如今冬奥在即，为扶持氢燃料电池产业，国家也出台了一系列政策。在《工信部新能源汽车路线图》中，氢燃料电池汽车作为七大领域之一，给出了未来的发展路线图。

最近工信部和国家能源局频频调研，专家表示，在国家的巨大扶持下，加之冬奥的助推，氢能作为一款绿色、经济、实用的主要生活能源，离我们已经不远了。

百叶窗

神奇细菌可在室温下将甲烷转换为甲醇

甲烷氧化菌能够从环境中清除甲烷，并将其转化为可用燃料，这种细菌究竟是如何自然地进行这样的复杂的反应是一个未解谜团。日前，美国西北大学一支跨学科研究小组发现，负责甲烷—甲醇转换的酶物质在一个包含仅1个铜离子的位置发生催化反应。相关研究成果发表在《科学》上。

这项最新发现将引导科学家设计新型人造催化剂，它能将甲烷转化为易于使用的甲醇，其机理与甲烷氧化菌相同。研究报告合著作者、西北大学温伯格艺术科学学院温伯格家族特聘生命科学教授Amy C. Rosenzweig说：“几十年以来，负责催化作用的金属离子的性质和结构很难确定，目前我们的研究为进一步理解细菌如何将甲烷转化为甲醇实现了一次重大飞跃。”

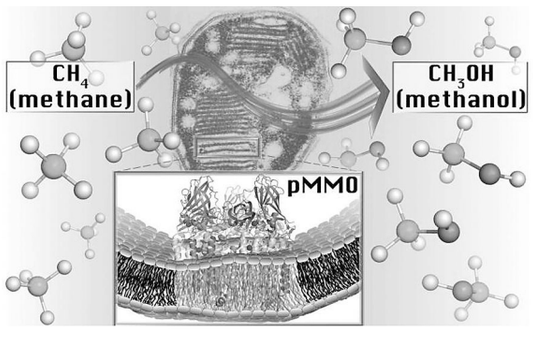
该研究报告另一位合著作者、西北大学温伯格艺术科学学院化学教授Brian M. Hoffman说：“通过识别涉及该复杂反应的关键铜离子类型，将为我们确定大自然如何进行最具挑战性的复杂反应奠定基础。”

研究人员称，通过氧化甲烷并将其转换为甲醇，甲烷氧化菌的作用令人惊奇，它不仅从环境中消除有害的甲烷温室气体，而且还将其转换成为一种易于使用、可持续性汽车燃料。

当前甲烷—甲醇反应工业催化过程需要巨大压力和极高温度，温度需要达到1300摄氏度以上。相比之下，甲烷氧化菌在室温条件下就可以“免费反应”。

研究报告第一作者、西北大学研究生Matthew O. Ross说：“虽然铜离子所在位置能够催化人造材料中甲烷—甲醇转化进程，但是在自然环境中铜离子位置的甲烷—甲醇催化过程是前所未有的。如果我们能够全面理解在室温条件下如何实现甲烷—甲醇转化，就能进一步优化改良当前的催化剂。” **（刘奕洋）**

相关论文信息：DOI:10.1126/science.aav2572



负责甲烷—甲醇转换的酶物质在一个包含仅1个铜离子的位置发生催化反应。