

## 李克文：将热伏技术推向规模发电

■本报记者 沈春蕾

“传统地热能发电通常是将热能转化为机械能，再转化为电能，而热能直接发电技术可将热能直接转换为电能，不仅适合于广泛的温度范围，温度可低至70℃，而且还具有不需要涡轮机等优点。”

近日，中国地质大学(北京)教授李克文向《中国科学报》介绍了其团队在地热发电领域取得的技术突破。热能直接发电被称之为热伏发电，李克文主要从事热伏发电，特别是油田中低温伴生地热开发与利用领域的研究。

在大量成功的室内实验的基础上，李克文带领团队在山西省等地联合当地企业开展了热伏发电技术的现场示范工程建设。“9月初的现场试验很成功。”他告诉记者，目前已经实现连续发电，发电功率在该领域达到国际领先水平，近期将实现一定规模发电。

## 地热资源开发需要多方支持

地热能是一种具有清洁、零碳排放属性的资源，在国际上被公认为“具有可持续发展意义的能源资源”。

我国高温地热的典型可利用区域位于西藏自治区，有各类地热显示区(点)600余处，高温地热资源占全国地热总量的80%。早在1977年，我国大陆第一台兆瓦级地热发电机组便在羊八井成功发电。

中国工程院院士多吉在羊八井工作长达30多年，他曾表示，20世纪70~80年代，我国地热利用跟国际水平是同步的，技术上不分上下，发电装机容量世界排名第8位，即使是在海拔4000多米的情况下都能发电，这在国际上都是处于先进水平的。

然而，从20世纪80年代后期开始，我国在地热开发利用上基本不再投入，并在相当长的一段时期内停止了相关的地热资源勘查与评价工作，导致现有地热资源量不是十分清楚，并且没有得到科学的规划与利用。

“十二五”期间，中国地质调查局曾对全国地热资源量进行初步评价，结果显示，我国地热资源年可开采量折合标准煤约26亿吨，年开采量仅相当于2100万吨标准煤。

沉寂多年的地热能开发利用终于迎来了春天。2017年初，由国家发展改革委、国土资源部及国家能源局共同编制的《地热能开发利用“十三五”规划》(以下简称《规划》)发布，这是我国首次发布地热能相关的全国规划。

《规划》提出，到2020年，我国地热能年利用总量相当于替代化石能源7000万吨标准煤，相应减排二氧化碳1.7亿吨，节能减排效果显著，同时地热能开发利用可为经济转型和新型城镇化建设增加新的有生力量。

## 园区

本报9月8日，2019欧亚经济综合园区发展论坛暨“一带一路”产业园区发展大会在西安举行，论坛以“开放合作、共建共赢”为主题，聚焦欧亚综合园区高质量发展与“一带一路”综合改革试验区建设。

在主旨演讲环节，中国国际经济交流中心副理事长韩文文建议，园区要在优化管理体制、优化激励机制，营造更加有利于产业发展、有利于带动地区经济发展的制度环境等方面不断地进行改革创新，培育形成提升对外开放和合作水平、提升经济发展质量和竞争力优势的势能和动能，把欧亚经济综合园区努力打造成为内陆型改革开放的新高地。

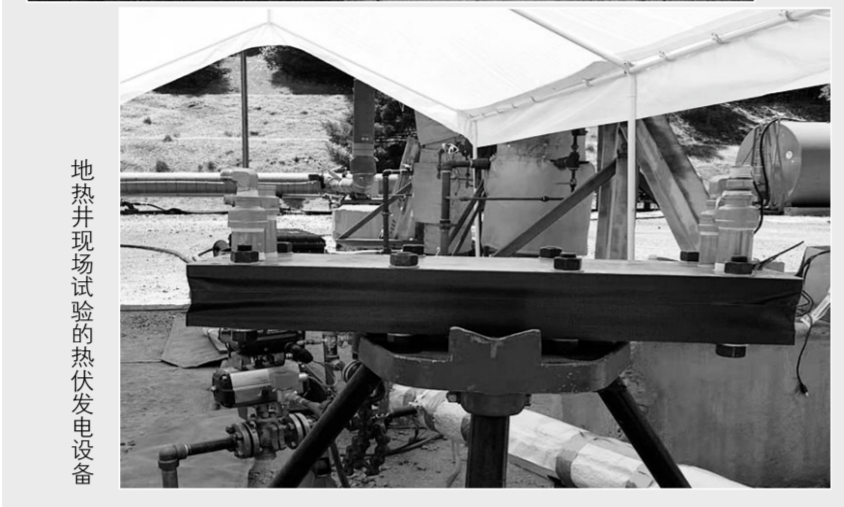
国家发展改革委区域开放司(国家推进“一带一路”建设工作领导小组办公室)副主任赵新勇对进一步推动“一带一路”建设高质量发展提出了八点建议，并表示国家发展改革委将积极支持陕西省打造内陆开放新高地和开发开放枢纽，鼓励西安等重点城市，加快建设国际门户枢纽城市。

在中国科学院地理科学与资源研究所研究员、“一带一路”战略研究中心主任刘卫东看来，要从全方位对外开放的视角或者双向开放的视角，通过走出去和引进来紧密结合，不断提高创新能力，促进自身产业的转型升级和竞争力的提高。

此次论坛上，国务院发展研究中心研究员赵晋平发布了《欧亚经济综合园区发展报告》，中国开发区协会副秘书长王磊发布“一带一路”产业园区发展联盟宣言。现场还签订一批涉及电竞娱乐、创意设计、文化艺术品贸易、体育赛事、文化旅游等行业的项目。(沈春蕾)



利用工业余热进行现场试验的热伏发电设备



地热井现场试验的热伏发电设备

同时，李克文也提醒道：“尽管当前地热能开发利用正处于‘天时地利人和’的绝佳时期，但发展不可能一蹴而就，还需要政府的主导、资金的投入、技术的支撑以及监管体系的完善等多方面支持。”

## 中低温地热发电是个突破口

当前，我国在高温地热前期勘探、钻井方面存在较多技术瓶颈，比如勘探方面面临如何确定地热靶区的问题。李克文表示，常用的地热勘探技术有相当一部分来自油气勘探领域，值得注意的是，地热勘探与油气勘探尽管有不少相同之处，但也有不少理论和技术的差别。

他指出：“高温钻井技术近几年来有比较大的进展，但是高成本仍然是一个主要问题，钻井成本约占地热开发成本的60%以上。”

针对目前我国已经探明的高温地热资源比较少的现状，李克文团队在长期的实地研究中发现，其实不一定

非要在高温领域“死磕”，可以将重点转移至中低温地热的开发与利用，尤其是中低温发电，先对这部分资源进行开发利用。

他介绍道：“利用油田伴生中低温地热发电，是地热能资源开发利用的一个突破口，这是因为地热发电所需要的主要基础设施，比如井、公路、输电线路等，废弃井或者废弃油田都已经具备，这就可以大幅度降低油田区地热发电的成本。”

综合近年来的探索，李克文团队还发现，我国可供发电的地热资源，尤其是油田伴生中低温地热发电资源非常丰富，仅我国某中小型油田可供发电的中低温(90~150℃)地热资源就拥有2000兆瓦以上规模的发电能力。“我国已有的废弃石油井可能接近或超过10万口，只需对其中的部分井加以改造，即可用于地热能开发利用，甚至实现‘油热联产’，让废弃井起死回生。”

为了推进热伏发电在中低温地热能领域的应用，李克文团队的思路是先

地上、后地下，先余热、后地热，也就是说先在地面利用工业余热来验证热伏发电的可行性，然后再将其应用到中低温地热发电领域。

如今，李克文团队已经掌握了多项热伏发电的核心技术，“至少在热伏发电领域，我们不会被国外技术卡脖子”。

## 出谋划策助力“零碳中国”

为了推动我国地热能的高效开发与利用，李克文早在2010年就发起并组织“中深层地热资源高效开发与利用国际会议”，希望就地热资源的高效开发利用方法以及国内外地热勘探开发新技术进行研讨，为共同推动我国地热资源走向规模化开发与利用出谋划策。

“地热能开发利用技术产业化应用最大的问题是前期的高成本和不可预见性，因为现场条件和实验室条件不一样，实验室里的新技术在没有形成规模化产业前，成本肯定居高不下。但是，规模化以后成本将大幅度下降。”李克文透露，团队目前已经签订多份热伏发电技术的合同，分别来自河南、山西等地。

8月16日，北京市地勘院、地热院等单位前往中国地质大学(北京)，调研李克文团队研发的中低温热伏发电技术，一致认为该技术对于具有丰富中低温地热资源的京津冀地区乃至全国，具有较好的推广应用前景。

在最近举办的地热能高层论坛上，李克文作了题为《地热能与太阳能的深度互补》的报告。他认为，通过地热能与太阳能的深度互补，可以实现建筑物的零碳化，助力“零碳中国”的实现。

李克文建议组织创建一个“零碳中国”计划，为此他率先进行了一些初步的研究。与此同时，他还带领团队在热伏发电等技术的基础上开始了零碳别墅的现场试验。

近几年来，为了解决雾霾等环境问题，我国先后尝试了煤改电、煤改气(天然气)，但是，现在看来这些办法都没有达到理想预期。此前，包括李克文在内的不少地热专家建议煤改地热，并指出这是完全可能实现的。

“利用地热能不仅可以供暖，而且还可以制冷。”李克文表示，如果全国的供暖制冷都采用地热能，那么，就实现了“近零碳中国”的目标。

对于“零碳中国”的实现，李克文充满信心并透露其将在2020年世界地大会上宣读的论文的部分结论：“到2050年左右，我国用清洁能源替代全部能源需求，实现‘零碳中国’或者‘近零碳中国’是有可能的。当然，这需要国家和各级政府政策等方面的大力支持。”

## 看台

栏目主持：雨田

## 沈阳 国际肥料中心落户中科院沈阳生态所

9月4日~8日，第26届国际肥料科学中心年会暨学术交流会在德国布伦瑞克召开，会议由国际肥料科学中心(CIEC)主办、德国联邦农业研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所(以下简称沈阳生态所)共同承办。

会上，现任主席埃尔德·施努格先生宣布国际肥料科学中心总部从即日起由德国迁移到中国，沈阳生态所为该中心挂靠单位。同时，大会宣布中科院沈阳分院党组书记、副院长姬兰柱任国际肥料科学中心第六届主席，并向其颁发该中心的标志——金钥匙和证书。这是国际肥料科学中心自1933年成立86年以来，首次由亚洲人出任主席一职，标志着中国已经成为国际肥料科学研究的新中心，中科院将引领世界新型肥料学科的最前沿。

大会期间研究确定了2020年和2021年将分别在希腊雅典和爱沙尼亚塔林召开国际肥料科学中心年会和分中心年会。

据悉，国际肥料科学中心成立于1933年，是肥料领域历史最悠久的非营利性国际科学联合会。该中心于2016年在中国设立了总部以外的最大分支机构——亚洲分中心，挂靠于沈阳生态所。

## 江西 7家高新区获批建设国家自创区

近日，国务院批复同意南昌、新余、景德镇、鹰潭、抚州、吉安、赣州等7家国家高新区建设国家自主创新示范区，享受国家自主创新示范区相关政策。这也成为2009年3月启动中关村国家自主创新示范区建设以来，获批建设的第21家国家自主创新示范区。

批复要求，充分发挥江西省区位优势、资源优势、人才优势和产业技术优势，探索适合地区特点的创新道路、创新模式和体制机制，努力把南昌、新余、景德镇、鹰潭、抚州、吉安、赣州高新区建设成为产业技术创新示范区、绿色发展引领区、开放协调发展先行区、创新政策和体制机制改革试验区，打造长江经济带经济与生态联动发展的创新高地。

国务院在批复中同意南昌、新余、景德镇、鹰潭、抚州、吉安、

赣州高新区享受国家自主创新示范区相关政策，同时结合自身实际，不断深化简政放权、放管结合、优化服务改革，积极开展科技体制改革和机制创新，加强资源优化整合，在优势特色产业培育、高水平科技创新基地建设、科技投融资体系构建、人才引进培养、科技成果转化、知识产权协同保护、科技精准扶贫、协同开放创新等方面探索示范，努力创造出可复制、可推广的经验。

近年来，在我国经济发展进入“新常态”、由高速增长阶段转向高质量发展阶段的背景下，国家高新区作为区域创新驱动发展示范区、高质量发展先行区，在支撑区域经济发展、优化创新创业环境、提升自主创新能力、促进体制机制改革、培育新兴产业方面取得显著成绩，并成为建设国家自创区的重要支撑。

## 厦门 新加坡(创士锋)科技园签约落户

近日，新加坡(创士锋)科技园正式签约落户厦门火炬高新区，该项目由火炬高新区管委会与湖里区政府共同引进，是实施“大招商、招大商、招好商”战略招接的又一硕果，也是厦门市对接国际高水平创新资源迈出的重要一步。

据了解，新加坡(创士锋)科技园项目运营方创士锋(厦门)企业管理有限公司(以下简称厦门创士锋)，由新加坡创士锋和佳士科技共同组建，是一家采用科创共建模式的新型孵化器。新加坡(创士锋)科技园将建立并长期维持一条以新加坡为枢纽，连接中国、通向国际的高科技创新资源渠道，引导创士锋在新加坡投资孵化“高技术、高成长、高附加值”企业项目落户厦门。

按计划，厦门创士锋的发展分为“两步走”，前期引入成熟的新加坡创业项目，以厦门为基地拓展中国市场；后期将瞄准更多国际技术领域，链接新加坡创新资源，在厦孵化培育一批优质创新项目，并与厦门的产业链上下游企业联动，力促厦门实体产业发展。昨日的签约仪式上，医院安全项目JCS Biotech、工业物联网安全项目新科技成为首批入驻新加坡(创士锋)科技园的项目。

## 视点

## 解读深圳创新的路径

■周路明



周路明

“中国的创新模式一直存在不同的门派，‘成果转化’派应该是创新领域的武当、少林，很长时间里中国科技资源配置和政策设计的逻辑框架基本上源于成果转化。”

深圳用了40年时间从一个小渔村转变成国际知名的创新之都，在中外创新史上都堪称是一个奇迹，但这个奇迹背后的原因和深圳创新的路径方法却一直没有得到正确的解读。主流的创新理论家们总是用“成果转化”的套路来说深圳的事儿。所谓“成果转化”模式是美国硅谷套路的变种：国家把创新资源投入到大学和科研机构实验室里，弄出一些以专利等知识产权为表现形式的成果，然后通过向产业推销技术实现技术成果向生产力的转化。当然，理论家们总会加上政府高瞻远瞩、科学规划之类的

说辞，因此成果转化的解读方式很容易被各级政府接受，但这不是深圳创新模式的真相。

中国的创新模式一直存在不同的门派，“成果转化”派应该是创新领域的武当、少林，很长时间里中国科技资源配置和政策设计的逻辑框架基本上源于成果转化。深圳一开始就避开了成果转化的模式，因为深圳既不是权力中心也不是科技资源的中心，当初中央给深圳的定位是改革开放的窗口，并不曾奢望深圳成为一个创新的城市，然而深圳正是在实现改革开放两大目标的过程中锻造出了不一样的产业技术创新能力。

一是市场化的进程成为深圳创新的原动力。20世纪80年代初中央设立经济特区的目的是希望通过改革开放在这些区域率先建立市场经济的框架体系，围绕建立市场经济体系的改革开放使得“市场化”的进程贯穿于深圳40年发展的全过程。

“市场化”进程能够成为深圳创新的主导因素，关键在于中国创新实践的特殊背景：发达国家是在既有的市场经济体系下开展创新，它们只需要把技术本身做好，市场经济体系会很顺畅地帮助企业完成商业化的过程。中国的情况完全不一样，它是在计划经济向市场经济转轨的过程中开展创新的实践，消除阻碍创新的制度因素要比技术实现本身重要得多。

二是将创新从科研活动转变为经济活动。创新本质上是一种经济活动，从1912年熊彼特第一次定义创新到

今天，国际范围内都确认创新讨论的是一个经济学问题。但这样一个简单的认知直到今天在中国仍然被大多数人无视。

长期以来，人们将科研当作最高级的创新，甚至将科研等同于创新，这种认知对中国科技资源的配置方式和评价方式产生了深刻的影响，结果是来自于高度行政化科研系统的专家掌握了创新的话语权、资源配置权、创新活动的评价权。中国所谓科技、经济两张皮的问题很大程度上在于我们对创新的认知出现了偏差。深圳在市场化进程当中很好地解决了这个问题，一方面是因为深圳不存在一个游离于经济系统之外的科研系统，这使得它的选择变得比较简单，资源配置和政策设计都围绕市场主体进行，企业很自然地成为创新的主体，企业家成为创新的组织者和领导者，科研成为创新的一个配合的环节而不是支配的环节。

可以说深圳创新秘诀里很重要的一条在于：深圳是中国第一个把创新从纯科研的活动转变成为经济活动的城市，这使得创新投入产出的效率出现了极大的改善。

三是制度创新优于技术实现。中国的创新实践的特殊性除了前面提到的我们是在两种体制转轨的过程中推进创新之外，还有一个不同于发达国家的，我们大多数情况下是处在跟、模仿的阶段，这意味着中国企业介入的行业，发达国家已经完成了知识产权的布局，我们不得不从产业链

的末端开始逐步提升。在这种背景下，政府的制度创新和管理创新都比技术实现来得更为迫切。

在制度创新方面，深圳政府有优异的成绩，尤其是在20世纪80年代末和整个90年代。深圳曾经拥有了一支稳定的技术管理队伍，这些人对市场经济的规则存有敬畏之心，对按照经济规律组织创新有深刻的认识，采用问题导向的方式不断为高科技产业发展提供新的政策设计、体制机制解决方案。从1987年深圳颁布18号文《深圳市人民政府关于鼓励科技人员兴办民间科技企业的暂行规定》，成为引爆“孔雀东南飞”的导火索；到1999年为了解决技术供给不足的问题，深圳创办高技术市场模式，为深圳高科技产业资源整合提供了重要的平台。这些工作对高科技产业发展的作用绝不是一两个技术突破能够比拟。

制度创新驱动技术创新是深圳能够贡献给中国科技产业的重要经验，可惜这部分工作未能得到系统的总结，包括深圳自己也经常表错武功，落入所谓成果转化的俗套。这些年来，随着公务员规范方式的一些变化，深圳没有形成新形势下制度创新的方式，逐渐陷入“安全生产模式”，让不断发展的创新实践去适应既有的规则，这一点尤其令人遗憾，如果深圳不能延续制度创新的传统对中国创新发展是一个重大损失。

四是在开放的环境中学习创新。经济特区的地位让深圳企业最先与国际市场和跨国公司开展合作，在这个过程中深圳企业获得了两方面的机会：一方面是在国际交流中学习了组织管理创新的知识。另一方面是深圳技术公司深度地融入了国际产业生态，成为全球高科技供应链中不可或缺的一环。

五是需求导向的创新路径。美国硅谷通过斯坦福实验室引领的创新是全世界公认的最高境界，很长时间创新是美国人在定义，这个定义影响了中国数十年，直到今天依然被视为主流的创新模式(成果转化)。但中国的科研系统与美国不是一回事，行政化的科研板块与市场化的企业联结存在诸多难以逾越的障碍，使得转化变成了一件极为低效率的事情。深圳因为没有传统的科研系统存在，创新被作为经济活动安排在企业中进行，自然而然地走上了市场驱动、需求导向的创新路径。

30年前，为了解决所谓科技、经济两张皮的问题，国家启动了科研机构改革的工程。时至今日，中国科研系统在资源配置、科技评价、政策制定方面比30年前拥有了更大话语权，但观念、方法等方面都没有真正准备好成为中国产业核心技术的供给者，在这种情况下，应该如何实现产业的转型升级，希望深圳经验能够给我们提供部分答案。

(作者单位：深圳市源创力离岸创新中心，本报记者沈春蕾整理)