

氢能：在追赶中寻求突破

■本报记者 计红梅

“在全球氢能竞争中，我国尚未占据优势地位。核心技术能力、关键部件与装备等薄弱环节都亟待加强。”

7月30日，广州市人民政府新闻办公室召开第161场疫情防控复工复产新闻发布会，解读《广州市氢能产业发展规划》，同时还举行了广州市氢能专家委员会专家聘任仪式和广州市氢能产业发展联合会揭牌仪式，聘请中国科学院院士、中国科学院大连化学物理研究所研究员李灿为专家委员会主任。

实际上，截至目前，已有30多个省市出台了氢能发展规划，纷纷在氢能产业战略布局上抢占先机。对此，中国工程院院士、中国工程院能源与矿业工程学部主任苏义脑的评价是，“出现了明显的‘氢能热’”。

但是，即便如此，在全球氢能竞争中，我国也未占据优势地位。核心技术能力、关键部件与装备等薄弱环节都亟待加强。

与国际先进水平仍有较大差距

2019年，氢能首次写入政府工作报告。作为二次能源，氢能具有来源多样、终端零排、用途广泛等多重优势，在保障国家能源安全、改善大气环境质量、推进能源产业升级等方面具有重要意义。随着技术日趋成熟、成本大幅下降，氢能正迎来快速发展的战略机遇期。

在近日中国石化举办的氢能发展战略研讨会上，多位院士专家对氢能的未来给予了肯定。中国工程院院士、中国工程院原副院长干勇在视频连线中表示，保守估计，未来氢在我国终端能源体系中的占比将达10%，成为我国能源战略的重要组成部分。氢能将纳入我国终端能源体系，与电力协同互补，共同成为我国终端能源体系的消费主体，带动形成10万亿级的新兴产业。

干勇介绍，我国氢能发展目前主要以交通领域应用为牵引，产业链逐步延伸到制氢、储氢、运氢、加氢、燃料电池以及配套产业环节，逐步形成了京津冀、华东、华南、华中、华北、东北等六大产业集群。截至2020年2月，中国加氢站数量已达到64座。

不过，干勇也坦承，“国内氢能产业

整体发展水平仍离国际先进水平有较大差距，在核心材料、零部件、装备等方面还有许多问题亟待解决。”例如，膜电极是燃料电池最昂贵的部件，目前国内已制订了支持中长期膜电极计划，但仍有一些指标没有达到，投入也还不够，特别是大型企业的介入不够。

苏义脑透露，为应对我国氢能和燃料电池相关技术和产业发展中面临的挑战，中国工程院先后组织了多个专题咨询项目进行研究，包括“我国燃料电池技术发展现状暨面向2035年的重大战略研究”“中国氢能源与燃料电池发展战略研究”等。中国工程院能源与矿业工程学部也将氢能和燃料电池领域咨询和服务作为重要工作之一。

苏义脑表示，中国工程院多位院士分别牵头进行了氢能和燃料电池有关项目的研究，开展了卓有成效的工作。这些研究成果将为我国氢能和燃料电池相关技术产业发展的系统谋划和前瞻部署提供决策，也为氢能和燃料电池相关领域的基础研究部署和技术路线选择提供科学依据。

绿氢是未来趋势

“目前，世界主要发达国家均在大力发展氢能产业，制定氢能发展战略。”中国工程院院士、中国矿业大学教授彭苏萍说。

其中，欧洲正在加快商业化进程，基础设施网络规划完备；日本和韩国已将燃料电池汽车与发电装置推向市场，关键技术开发及产业装备制造也较为成熟；美国拥有完备的产业政策及路线图，加州等地区已初步形成基础设施网络。相比之下，我国氢能产业尚处于产业化探索期，顶层设计、关键技术、装备制造、政策标准都有待加强。

国外的发展表明，氢的制备技术路线主要是发展绿氢，即利用可再生能源电解水，而高温蒸汽电解仍处于实验室研发阶段。



全国首座油氢合建站——佛山樟坑油氢合建站。

蒋莉敬摄

要作用。可再生能源发电电解水制氢是未来趋势，但先进电解制氢装备技术仍面临诸多挑战。”

衣宝廉表示，欧洲氢能战略的核心就是将可再生能源生产的氢大规模用于工业、交通、发电、建筑等部门。为此，欧盟委员会还专门成立了欧洲清洁氢能联盟，提振对清洁氢能的需求并促进投资。

在他看来，可再生能源发电电解水制氢可克服可再生能源的波动性、季节性，提高电网适应性，解决弃水、弃光、弃风的问题。氢能还可以替代石油用于汽车燃料、替代天然气用于燃气轮机发电、替代焦炭用于冶金工业。

他介绍说，目前主流的二类电解水制氢技术中，比较成功的是碱性水电解和纯水电解，而高温蒸汽电解仍处于实验室研发阶段。

重在做好示范推进

“我国当前的氢能产业发展还处于培育阶段，重点是要做好示范推进。”在苏义脑看来，引领国家氢能产业健康发展，需要中国石化这样的大型企业来承担相关示范任务。

中国工程院院士、中国石化集团公司董事长张玉卓介绍，近年来，中国石化着眼打造氢能产业链，加大布局力度。目前，中国石化每年氢气的产量超过300万吨，占全国氢气产量14%左右；建立了全球第二大交通能源基础设施

网络，拥有3万多座加油站，目前已建成若干油氢合建示范站。

“氢能发展前景十分光明，但氢能产业的发展方向如何选择、发展路径如何优化、发展时机如何把握，都需要深入研究和探索实践。”张玉卓说。

他表示，中国石化将持续加大氢能领域投资力度，以保障2022年北京冬奥会氢能供应为重要节点，力争在“十四五”期间形成一定规模的高纯氢产能，布局若干高速氢走廊，构建氢能产业链和关键材料自主核心技术体系及标准体系。

中国工程院能源与矿业工程学部副主任、国家能源集团科技委常务副主任顾大钊则透露，目前，国家能源集团风电和光伏发电装机规模超过3800万千瓦，水电装机超过1800万千瓦，拥有良好的可再生能源制氢基础。而煤制氢能力每年超过400万吨，可供4000万辆燃料电池乘用车用氢。在低成本低碳煤制氢方面，国家能源集团已成功示范了30万吨二氧化碳捕集和封存技术（CCS）项目，掌握了CCS的核心技术和装备，但因规模小，目前成本较高。

“未来10到20年将是我国氢能源与燃料电池产业发展的重要机遇期，需要紧密联系我国家能源发展的实际，助力实现氢能源与燃料电池高质量发展。”基于目前我国氢能产业的探索与实践，彭苏萍强调，我国应从战略、政策、技术、资金、国际合作等方面积极谋划，通过改革创新破解发展难题。

声音

中国是全球氢能利用的大国，目前已形成京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等多个氢能产业集群。

我国已制订《能源技术革命创新行动计划（2016—2030年）》，提出氢工业（氢的制取、储运及加氢站）、先进燃料电池、燃料电池分布式发电三大战略发展方向，以及大规模制氢技术、分布式制氢技术、氢气储运技术、氢气/空气聚合物电解质膜燃料电池（PEMFC）技术、甲醇/空气聚合物电解质膜燃料电池（MFC）技术和燃料电池分布式发电技术等6项创新行动。通过消纳弃水、弃风、弃光等富余新能源，减量替代煤、石油和天然气等化石燃料，加上煤炭的清洁高效利用，逐步降低成本，稳步提高安全性，通过“三大发展阶段”建立有利于氢能产业发展的支撑体系，建成全国性氢能供给和利用基础设施网络。

近期（到2030年），以煤制气为代表的化石基氢能产业发展取得重大突破，初步完成产业链示范。目前需要加快我国煤炭地下气化制氢资源评价、经济高效产氢配套系列技术攻关与现场试验，以及超深层、超临界水气化制氢技术储备，特别是对高效产氢机理进行深化研究，加强对地质评价、工程工艺、监测控制、安全环保等系列技术，以及高温高压井下工具及高强度防腐管材等重大装备的研制攻关。

全国煤炭地下气化潜力巨大，仅鄂尔多斯盆地埋深介于1000—2000米的煤炭资源量就达1.3×10¹²吨，保守估算可气化采出氢气约10×10¹²立方米（相当于9×10⁸吨）。应当按照浅层（地层压力低于10兆帕）、中深层（地层压力介于10—22兆帕）和超深层、超临界水（地层压力超过22兆帕）3个层次来布局我国煤炭地下气化产业发展，并优选鄂尔多斯、二连、准噶尔等盆地开展现场试验研究。

中期（2035—2050年），氢能产业成为我国新的经济增长点和新能源战略的重要组成部分；打造新材料、储能和氢能产业链；加大石墨烯、纳米超材料等新材料的超前储备。通过自主、合作、技术购买、优质企业并购等多种方式，研发和大规模生产高标准、高性能车用、船用等电池，与主要汽车厂商合作或参股推动标准化电池在交通领域的规模利用。发挥企业加油站布局优势，建设大型仓储式充电站，快速建立新能源汽车高效充电网络，抢占交通领域能源革命

的先机。发挥石油管道布局优势，发展弃风、弃光、弃水低成本电解制氢、天然气管网输氢、掺氢天然气、液化氢、加氢站等业务。

远期（2050—2100年），氢能成为我国能源消费结构的重要组成部分，依靠新能源等实现国家“能源自主”。中国“能源自主”概念是指通过中国新能源生产革命，实现能源生产基本自给和消费安全。

2017年，我国一次能源产量中，煤炭占70%、石油占8%、天然气占5%、新能源占17%。中国煤炭资源丰富但油气相对不足的先天禀赋条件，决定了能源生产和消费必须具有中国特色，构成“一大三小”（煤炭大，石油、天然气、新能源小）的中国能源结构。太阳能、风能产量的增长率最快，水电、核电产量的占比最高，氢能、储能、新材料、新能源最具颠覆性，应加快煤炭清洁化利用、使新能源“两个规模”提前到来，减少油气在我国能源利用路径中的时间跨度与安全压力。中国“能源自主”的前提条件是新能源占主体地位。

我国需要谋划加快实现常规—非常规油气的“生产革命”、煤炭发展的“清洁革命”和新能源发展的“速度革命”，力争2050年前后实现能源结构从“一大三小”向煤炭、油气、新能源“三足鼎立”的能源结构转型，届时煤炭约占一次能源消费比例40%、油气占30%、新能源占30%。

到2100年前后，有可能依靠新能源等实现国家“能源自主”。化石能源占一次能源消费结构的比例下降至30%，非化石能源占到70%，实现二者的地位转换。

（作者系中国科学院院士）

实现「能源自主」下的氢能战略

■邹才能

资讯

中俄东线天然气管道工程开工

本报讯7月28日，世界上最长的管道穿江工程——中俄东线天然气管道南段长江盾构穿越工程开工，这标志着中俄东线油气管道南段建设正式启动。据悉，该南段工程起自河北省廊坊市永清县，终点位于上海市白鹤镇，管道全长1509公里，新建管道1243公里，利用已建管道266公里。

中俄东线天然气管道是中国目前口径最大、压力最高的长距离天然气输送管道，途经中国境内9个省市区，全长5111公里，按照北、中、南三段分期建设。目前，北段（黑河—长岭）已于2019年12月投产供气，中段（长岭—永清）工程正在全面施工中，计划今年年底建成。

长江盾构穿越项目是中俄东线南段的关键控制性工程，该工程也是目前世界油气管道领域单次掘进距离最长、埋深最深、水压最高、直径最大的管道穿江盾构工程。南段工程计划在2025年6月建成



中俄东线天然气管道南段长江盾构穿越工程开工现场

投产，预计每年可供应长三角地区189亿立方米天然气，将有效提高长三角地区天然气管网的应急保障能力。

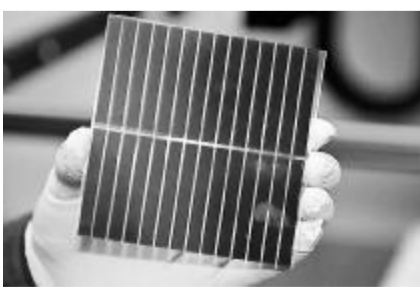
另外，与燃煤相比，中俄东线南段管道贯通后所提供的清洁天然气，可减少二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、粉尘等的排放量，有效改善长三角地区大气环境、减少环境污染。（盛夏）

全无机钙钛矿电池光电转换效率达16.1%

本报讯近日，香港城市大学新研发的全无机钙钛矿电池的光电转换效率达到16.1%，而获中国计量科学研究院认证的效率亦高达15.6%。香港城市大学学务副校长兼化学及材料科学讲座教授任广禹指出，这次研究成果的突破在于找到了简单方法，用于制造光电转换效率与稳定性兼具的全无机钙钛矿电池。

据悉，香港城市大学的研究团队近年来一直在探索提高全无机钙钛矿光电转换效率的方法。他们在制备钙钛矿的过程中添加了特制的小分子6T1C-4F，以减少表面或晶界的缺陷。研究结果发现，开路电压从1.10V显著提高到1.16V，且填充因子及短路电流在添加6T1C-4F作钝化后都有所改善。

研究结果还显示，在连续照射350小时后，电池的能量转化效率只下降了约15%。这说明添加6T1C-4F以钝化钙钛矿的表面，不仅能保护钙钛矿的表面免受



“倒装式”结构设计的全无机钙钛矿电池

湿气、氧气和光线的侵蚀，而且结晶的颗粒增大了，能有效减少晶界缺陷及电流流失，使得全无机钙钛矿电池的光电转换效率和稳定性均有所提高。

据任广禹介绍，这款全无机钙钛矿电池的结构设计是“倒装式”，适合制成叠层太阳能电池。其特色是能够同时吸收不同光谱的阳光，因此研究预测，其光电能量转换率未来有望超过30%。（李惠钰）

风电扩张遭遇“原料危机”

■池涵

钕、镨、镝三种元素作为钕铁硼永磁体的关键原料，被大量用于风机中的发电转子结构。近年来，随着风电日益成为各国能源转型战略的重要组成部分，这些关键原料的供应及其与风电发展之间的关联，备受业内关注。

近日，山东大学蓝绿发展研究院联合中国科学院城市环境研究所、清华大学、伦敦大学学院、上海交通大学和华中科技大学等国内外多家学术机构，在《Cell》子刊《One Earth》上发表文章，针对不同气候目标下钕、镨、镝等稀土元素的资源供应与风电可持续发展需求的关系进行了最新研究。

研究发现，当前上述关键原料的产能已无法满足全球风力发电的需求，材料的循环利用、提高使用效率、扩大生产以及革新风机技术等，将在一定程度上缓解原料供应短缺的难题。

关键原材料需求或增长

山东大学博士生彭焜告诉《中国科学报》，钕、镨、镝是风机中常用的关键原材料，可以使得风力发电机的发电效率提升15%—30%，并且能够减少发电机的体积，从而降低风电行业运行的维护成本。

不仅如此，使用这类元素的风机还具有优秀的电气性能，结构简单、稳定，极大地减少了维修频率，并且能够适应不同的发电工况，有利于风电的大规模发展。

据了解，钕、镨、镝总质量约占永磁体质量的30%，其中钕元素含量最高，占永磁体中同族元素总添加量的70%以上。

国际能源署和国际风能协会预测，未来30年，全球风电行业对于钕、镨、镝三种金属的累计需求量约为46万~90万吨。而在当前的生产水平下，这三种金属未来30年内累计供应量只有63万吨。

“值得注意的是，新能源汽车、高铁、工业机器人等战略性新兴产业也需要大量此类元素。”山东大学蓝绿发展研究院研究员李佳硕告诉记者，“目前产出的这些元素流向风电行业的比例约为10%，假设该比例不变，未来30年内钕、镨、镝同族元素的产能要扩张7—14倍，才能满足风电行业对此类重要元素的需求。受生产技术和环境保护政策的限制，这很难实现。”

当然，风电也可能面临其他原材料供应的限制。据悉，聚氨酯泡沫作为风电叶片的关键原材料，由于主产地意大利新冠肺炎疫情的加剧，导致供应链被打乱，这也对风电的发展造成影响。

“储量丰富”但非“产能充足”

中国科学院城市环境研究所汪鹏博士告诉《中国科学报》，全球钕、镨、镝等稀土元素储量较为丰富，并在世界范围内广泛分布，均高于目前的需求。但其生产供应的产能却十分有限。

虽然中国目前供应了全球近80%的稀土元素，但中国的储量也只有全球储量的36%。而且，这些元素在开采冶炼过程中会产生大量废水、废气以及放射性物质，对环境影响很大。出于环境保护和生产成本的压力，一些国家限制了对稀土的开采，低价从中国购置并储备稀土资源，增大了全球钕、镨、镝等元素供应的压力。

“从这个角度来讲，中国实际上是以消耗重要稀土资源和付出巨大环境治理成本为代价，为全球提供了物美价廉的原料，为全球的能源清洁化做出了重大贡献。”汪鹏说。

据汪鹏介绍，目前我国采用年度生产配额制度来规划这类元素的开采和冶炼分离总量。而在这类元素全球需求量不断上涨的趋势下，



关键原料的产能已无法满足全球风力发电的需求。

世界各国纷纷加强对其资源的勘查和开采力度，全球形成多元供应格局已定。比如，美国最近宣布对本国分离企业进行资金赞助，试图重建其稀土供应链。

李佳硕认为，虽然钕、镨、镝等元素全球储量丰富，但是全球供应要从“储量丰富”转为“产能充足”，还存在很多挑战。首先，这类元素的开采和生产对环境的影响较大，其生产过程的清洁化水平在很大程度上决定了供应水平。其次，国际贸易纠纷也对此类元素全球供应链的安全、稳定、可持续发展造成极大影响。

摆脱原料困局

彭焜提出，可以从稀土回收和替代的角度来减轻稀土产能压力。前提是一些技术难题和成本可以得到有效解决。

他表示，稀土在风机中属于微量添加金属，回收技术难度大，目前回收率不足1%，且回收成本高昂。而且，当前的稀土风机替代技术虽然在尽量摆脱对于稀土的依赖，但是这些技

术的性能和经济性都远不如稀土风机技术，难以推广。

李佳硕认为，风电作为发展最快的一种可再生能源，清洁低碳，是落实气候变化行动、实现全球温控目标的重要手段。

目前风电行业除了面临重要元素供应短缺风险，还面临供电稳定性和电网消纳能力等问题。为此，国家出台了上网电价补贴、优化平价上网投资环境、全额收购等政策予以支持。

风电产业也被纳入了“十三五”规划。据汪鹏介绍，“十三五”规划设定的风电目标为，到2020年底，风电累计并网装机容量确保达到2.1亿千瓦。

李佳硕认为，未来风电作为重要的可再生能源，一方面，将会沿着当前的发展态势加速增长；另一方面，也会在空间上由陆地向海洋维度发展。

大力发展可再生能源，实现电力系统脱碳，被认为是应对气候变化的重要途径之一。研究人员期待，高速发展的风能产业摆脱原料困局，实现可持续发展。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.onear.2020.06.009>