

五部委联合发文

天然气储备库建设扩容提速

■本报记者 程唯珈

从用煤时代到用气时代，转型进展之迅速令人感叹。天然气在国家能源产销量中的占比快速提升，重要性已不言而喻。

但与此同时，国内天然气行业的崛起却缺少了时间、经验、基础设施方面的积淀，储气基础设施建设滞后、储备能力不足、价格机制不完善等问题凸显，成为当下制约天然气安全稳定供应和行业健康发展的突出短板。

近日，国家发展改革委、财政部、自然资源部、住房和城乡建设部、能源局等 5 部门联合印发《关于加快推进天然气储备能力建设的实施意见》(以下简称《实施意见》)，进一步加快推进储气基础设施建设，提升天然气储备能力。

“作为天然气产业链中的重要一环，储气库起着不可替代的作用。”中国工程院院士、中国科学院武汉岩土力学研究所研究员杨春和认为，《实施意见》在推进储气库建设的内容上更加细化，是一项兼顾政治、民生和保障的政策。

如何统筹规划储气建设？

《实施意见》指出，要优化储气设施规划建设布局，引导峰谷差大、需求增长快的地区适当提高建设目标，建立完善统一规范的设计、建设、验收、运行、退役等行业标准体系。“我国储气设施起步虽然比较晚，但是发展迅速。”杨春和告诉《中国科学报》，总体看，国家对石油央企储气设施投资建设的进度应该是满意的。

当前，国内已建成储气库共 13 座，中国石油负责建设和运行其中 10 座储气库。2019 年 1 月，中国石油明确，至 2030 年，中国石油将扩容 10 座储气库(群)，新建 23 座储气库。

在杨春和看来，政策指出建立以地下储气库和沿海液化天然气(LNG)接收站为主、重点地区内陆集约规模化 LNG 储罐为辅、管网互联互通为支撑的多层次储气系统等举措，表明了国家加大储气库基础设施建设的决心，有利于储气设施的统筹规划和建设，也有利于保障后续运营安全。

不过，由于受到选址资源稀缺、建设技术要求高等瓶颈的制约，想要建设多层次的储气系统并非易事。

杨春和介绍，目前我国天然气储库主要由三部分组成：北方地区的枯竭油气藏储库、南方的盐穴储库和在各地分散的液化天然气储库。

以作为天然气消费主体的南方地区为例，缺乏其他大规模储气的深部地质，地下储库仅能在盐岩地层中，建设难度大。“主要因



作为天然气产业链中的重要一环，储气库起着不可替代的作用。

为用于建设盐穴储库的深部盐岩地层的构造比较复杂。”

原来，我国盐层属于层状结构，盐层厚度小，不溶夹层多，给盐穴的密闭性和力学稳定性带来了一些不确定性。此外，对比国外一般都是建在巨厚盐丘之中，我国若想在层状盐岩中建库，将面临建设速度慢、成腔率低等系列技术难题，必须加强应用基础科技攻关。

此外，枯竭油气藏型储库的选址也面临诸多困难。中西部地区大型气藏库源区埋藏深、构造复杂；东北中小型气藏库源区断裂多、密封性差；东部沿海地区则缺乏油气藏目标。地质条件差使得钻井难度加大，且中国缺乏高压大型注采核心技术与装备，注气压缩机仍依赖进口，这些因素都给储气库建设带来了严峻的挑战。

“要加大科研力度，对新一轮储气库选址及建设进行重新评价，开展复杂类型储气库建库技术攻关。”杨春和建议，国家在“十四五”规划的科技攻关项目里，应该加大对枯竭油气藏储库和盐穴储库的基础性和应用技术性研究的投入。

商业化运营由谁买单？

早前，在西气东输、川气东送、陕气进京

等天然气管道系统建设中配套建设储气库，这一时期地下储气库的储气调峰成本通过管输费回收。但是，由于保供对象、调峰责任不明晰，上下游均缺乏建设储气库的积极性。

“事实上，建储气库对于很多企业来说，不是一个赚钱的买卖，因为它的效益不是立竿见影的。”中国科学院武汉岩土力学研究所研究员李银平告诉《中国科学报》，尽管有政策推进、企业建设，但目前中国的储气设施，大部分依赖于中国石油和中国石化两大“巨头”的建设。

以中国石油西南油气田公司将在川渝地区新建的 8 座储气库为例，210 亿立方米的调峰能力意味着有超过 300 亿立方米的储备能力，需要的投资达到 210 亿元人民币之巨。同时，建设周期长，从选址、评价到建成投运往往需要若干年。

业内普遍认为，天然气行业尚未实现市场化定价，调峰价格并未明显区分，经济价值不能完全体现，商业立法没有到位，不利于调动建库积极性。

但是，此次《实施意见》的出台给诸多企业服下了“定心丸”。政策指出，建立健全运营模式，推行独立运营模式，健全投资回报价格机制，完善终端销售价格疏导渠道。

同时，从支持力度上看，《实施意见》也提出加大土地、财税、金融、投资等政策支持力度，激

煤液化残渣应用“钱景”看好

柔性多孔纳米炭纤维无纺布制备获进展

■本报记者 崔雪芹

近日，中国科学院炭材料重点实验室主任宋燕研究员团队在柔性多孔纳米炭纤维无纺布制备及应用基础研究方面取得多项重要进展。成果论文已发表于《美国化学会可持续发展与工程》(能源与燃料)等杂志。

自 2011 年起，宋燕团队就开展柔性纳米炭纤维无纺布的制备及结构调控，利用静电纺丝、固化和炭化处理，成功制备出多孔纳米炭纤维无纺布，这也成为他们工作的一大特色。而从煤直接液化残渣或者煤焦油残渣(即煤沥青)中生产高附加值的柔性纳米炭纤维无纺布，更是该团队的一个独创成果。

多孔纳米炭纤维无纺布制备技术难度较大，产业界对成本的要求也较高。“他们现在基础研究的水平，基本上和国际是同步的。”华东理工大学教授凌立成对《中国科学报》评价道。

一则报道带来的启示

在宋燕看来，当初选择从事煤直接液化残渣制备柔性多孔纳米炭纤维无纺布的工作，是个偶然事件。当年，一则报道给了她极大的启发。

原神华集团(现更名为国家能源投资集团有限责任公司)建设了百万吨级的煤直接液化示范工程。该项目每产出 100 万吨油品，伴随生成 70 万吨左右的煤直接液化残渣，而煤直接液化残渣其实是一种危废品。

该报道让宋燕眼前一亮。她调研文献后发现，煤直接液化残渣常见的处理方式就是和煤调配成水煤浆作为汽化炉的燃料，或者送入电厂进行掺烧。但是，这种方式并没有将煤直接液化残渣中的高附加值潜力真正发挥出来。

因为煤直接液化残渣包括重质油、沥青烯、前沥青烯以及更高分子量的稠环芳烃和残渣(包括未反应的煤和矿物质)等物质，而其中沥青烯和前沥青烯是生产各种炭材料的优良前驱体。

宋燕继而想到，如果能对煤液化残渣中的沥青烯类物质进行综合利用，是否就等同于延长了煤直接液化过程的产业链？

“我们中国科学院炭材料重点实验室以这种富碳原料制备各种各样的炭材料方面，是

有一定的基础和优势的。”宋燕有这样的自信。

她本人前期也在相关科研项目的支持下，开展了多孔柔性纳米炭纤维无纺布的制备，比如利用酚醛树脂为碳源，经过静电纺丝、固化和碳化处理，制得比较面积较高且具有层次孔结构的柔性纳米炭纤维无纺布。

宋燕考虑到，煤液化残渣中的沥青烯类物质与热固性酚醛树脂分子结构相类似，都是以苯环为基本结构单元的稠环结构，因此，团队就开展了以煤直接液化残渣中沥青烯类物质为碳源，制备柔性多孔纳米炭纤维无纺布领域的探索性研究。

实际上，煤焦化过程产生的煤焦油中也含有大量的残渣(即煤沥青，约占煤焦油含量的 50%)，宋燕团队从利用煤焦油沥青也成功制备出了柔性多孔纳米炭纤维无纺布。

让残渣具有高附加值

凌立成在评价该项成果的贡献时认为，该技术对我国沥青碳纤维的生产有很强的学术和工程化价值。

沥青基碳纤维技术难度比较大，国际上除了日本大阪煤气公司实现了每年几百吨的量产以外，其他国家和地区都没有实现量产。而我国是一个焦炭生产大国，拥有大量的煤焦油残渣资源。但目前煤沥青多数是用作防水涂层、建筑材料、道路铺设等，这些利用方式都很粗放，并没有体现出煤沥青真正的价值。

该项目通过分离煤液化或煤焦油残渣中一些适于静电纺丝的沥青烯类物质作为原料，制备多孔纳米炭纤维无纺布，是一种趋势性的技术。国外，尤其是韩国虽然也开展过类似的工作，但由于种种原因并没有坚持下去。

谈及宋燕团队的成果，炭纤维制备技术国家工程实验室主任吕春祥认为，该技术既有一定的理论创新，又有潜在的应用价值。

吕春祥称，借鉴沥青炭纤维工艺制备多孔纳米碳纤维无纺布，沥青烯和前沥青烯原料分子量较低，有利于静电纺丝。后期通过对氧化碳化工艺的优化，能使低分子量的稠环芳烃进一步芳构化，易于形成类石墨结构的碳纤维。

“采用沥青烯和前沥青烯原料作为碳源，碳得率适中，既可以保证氧化炭化后形成连续的纤维，又可以形成合适的亚微纳米

励企业加速补足储气基础设施建设短板，促进储气能力快速提升，目标导向非常明确。

“这意味着我国将着力培育储气调峰服务市场机制，推动天然气资源在各供气主体间实现灵活、高效调配。”杨春和说。

国家发展改革委有关负责人表示，储气设施建成后，可实现淡季低价储存、旺季入市销售，在保障国内供气安全的同时，促进削峰填谷，平抑企业旺季气源采购价格。“初步测算，因建设储气设施增加的用气成本，远低于因缺乏储气设施带来价格大幅波动增加的用气成本，也只有实现多赢，储气服务市场才有存在和发展空间。”

政策落实谁来抓？

近年来，国家出台一系列政策、办法，全力做好天然气基础设施建设和运营管理工作，规范天然气储气调峰领域行为，推动各类主体的调峰责任落到实处。

譬如，2014 年 3 月国家发展改革委印发的《天然气基础设施建设与运营管理办法》及 2017 年 7 月国家发展改革委等 13 个部门联合印发的《加快推进天然气利用的意见》中，均明确各方在建立综合储气调峰和应急保障体系中应尽的责任。

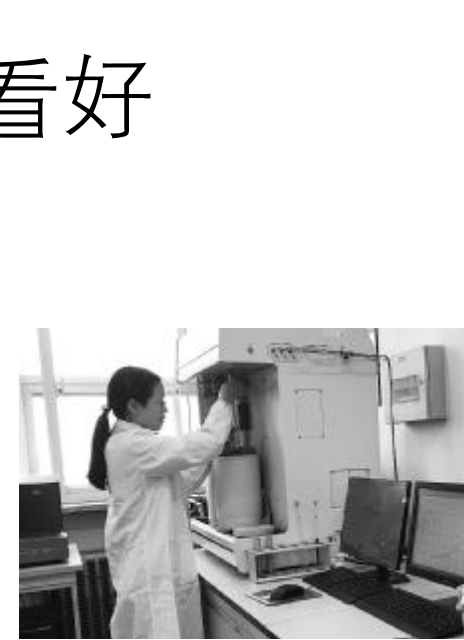
此次《实施意见》里，对于落实主体责任方面，提出加强储气能力建设跟踪检查，制定储气能力建设任务目标考核制度。对于相关责任的督促与落实，也明确提出了相应的负责部门。

一位匿名业内人士告诉《中国科学报》，政策的出发点很好，也足够到位，但是重点在于落实。

“从意识里就需要把关，否则政策在执行过程中能够起多大作用？现在建设主体是中国石油和中国石化，它们基本占据了市场的百分之七八十。当然，其他省市也在陆续成立相关企业。但是，它们可能还是以利益优先，并不考虑保障天然气供应。”

他建议，国家可设置专职部门牵头实施。“国家管网应起带头作用。”

“按照明确的目标任务”，到 2020 年底前供气企业、燃气企业和地方政府要分别形成年销售或消费气量 10%、5%和 3 天的储气能力建设目标。但从实际情况看，目前储气能力建设进展整体偏慢，特别是燃气企业和地方政府储气能力建设进度明显滞后。”国家发展改革委有关负责人表示，因此国家强调用气峰谷差大的地区应加快建设目标，并提供投资补助。



宋燕在做实验。

尺度的孔隙，使得多孔炭纤维既可以赋予一定的强度，满足柔性电极的力学性能和柔性的要求，又有合理的孔容和孔结构，满足能量储存释放的要求。”吕春祥说。

应用途径广泛

“我国是煤化工大国，煤液化、煤焦化、煤气化是煤除了燃烧以外的主要利用方式。以煤焦化或煤液化过程的残渣为原料制备炭纤维无纺布，为煤焦化和煤液化过程残渣的高附加值应用开辟了“一个崭新的道路。”谈及炭纤维无纺布的应用，凌立成告诉记者。

“这种无纺布柔性好、孔隙发达，目前我们仅探索了其在超级电容器、锂离子电池等能量存储方面的应用，其实它在吸附分离、生物医药等方面也有较广阔的应用前景。”宋燕说。

凌立成表示，炭纤维无纺布除了应用于能量存储方面，还可以作为保温隔热材料、抗烧蚀热防护材料等。

“我现在很关心它的成本。成本和规模有关系。规模上去了，市场就上去了，成本就下来了。”凌立成表示，他的团队也在根据宋燕的实验结果进行一些重复性的实验。

“常规多孔炭纤维制备需要很复杂的工艺，该技术大大简化了多孔炭纤维制备的步骤，容易实现规模化量产，估计未来产品的成本也会大大下降。所以对该技术的应用前景我是看好的。”吕春祥补充道。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05210>
<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b03637>

■视点

发展低碳化、数字化、智能化、可持续发展的能源系统已经成为全球共识和目标。随着分布式能源渗透率的逐步提高和电子设备直流负荷的快速增长，配用电系统中的多元源荷呈现出非线性、随机性、强耦合等特征。

分布式直流型电源和终端直流负载直接相连，可省去大量电力电子转换装置，减少损耗，提高电网供电效率和经济性。同时，直流供电用电避免了交流电网固有的同步和稳定性问题，有功和无功功率可快速且独立解耦。

值得关注的是，在过去 30 年里，电子和通信技术已经渗透到我们生活的方方面面。随着数字化转型，直流负荷还将大幅度增长。此外，各种因素正在推动全球能源系统转向资源——市场混合形式。未来电网将出现不同能源的组合，电能消费者和生产者将频繁转换，因此，新一代低压直流供电用电系统的研究十分必要。

新一代 LVDC 供用电系统

新一代低压直流(LVDC)供用电系统是发、储、用一体化的全直流生态供用电系统，由可再生能源、直流供电网络、储能装置、直流负荷组成，具有安全可靠、经济高效、绿色低碳、开放互动等特性。该系统主要运行模式有两种。

一是全直流生态模式，即发、储、用一体化的全直流生态供用电系统，将颠覆目前自上而下的能源输配格局，形成自下而上、自愈自平衡的网格化能源生态。在低压用户的全直流生态系统中，通过屋顶光伏等新能源发电技术生产电能，利用储能技术在满足用户自身需求的前提下，并网发电，充分发挥用户多余电能的价值。还可通过区块链直接实现点对点的电能交易，构成产、销、储、用一体化的运行模式。

二是交流电源转换的直流共母线低压直流供用电系统，主要应用于可再生能源有限而直流负荷需求更大的场景。此场景需要交流电经 AC/DC 变换后作为供电电源，再经共直流母线配合储能装置向负荷直接供电。

广阔的应用场景

数据中心、电动汽车、建筑终端、智能家居等“新基建”项目市场巨大，耗能逐年增长，数字基建、公共服务基建为 LVDC 供用电系统提供了广阔的市场和用武之地。

随着通信行业中移动数据的需求量急速增长，5G 技术由于其数据传输速度效率高而得到快速开发，未来能源物联网同样需要依托快速高效的海量数据传输。因此，数据中心 24 小时处于运行状态，成为耗能巨兽。值得注意的是，数据中心的设备均为直流负荷，而 LVDC 供用电系统可为数据中心直接提供电力，免去了传统的不间断电源(UPS)系统 DC / AC、AC / DC 两级变换环节，电路结构得以简化且降低了损耗，提高了效率。可以预见的是，未来 LVDC 供用电系统在通信行业，尤其是数据中心的发展过程中，具有迫切的发展需求。

如今，电动汽车逐步替代燃油汽车成为趋势。目前，电动汽车充电有交流充电桩(慢充)和直流式充电桩(快充)两种形式。其中，直流充电由于电压、电流调节能力强，可提供足够的充电功率，可满足“快充”的要求，将得到大力发展。未来新一代 LVDC 系统的发展不仅能高效容纳大量直流电动汽车充电桩，还可通过物联网技术实现电动汽车的智能管理，具有广阔的市场。

与此同时，推动建筑物不断迈向零能耗乃至零能耗已成为国际趋势，新一代 LVDC 供用电系统也完全顺应了这一方向。据了解，我国未来 700 亿建筑面积中，可以安装太阳能光伏的表面超过 100 亿平方米，每年可发电约 2 万亿千瓦时，可满足建筑的大部分用电需求。LVDC 技术将推动建筑物不断迈向零能耗乃至负能耗，而建筑领域相关标准的制定和执行也将为 LVDC 供用电系统的发展提供有力保障。

另外，智能家居可实现智能管控、能源可视，提高供电质量与用户体验的纯直流水家电也将引领家电产业的发展方向。目前，智能家电已经形成产品，家用电器基本实现全直流覆盖，价格与交流产品相当，而随着需求量增加价格仍有下降空间。低压直流供用电系统不仅首次投入的成本可降低，且减少了逆变环节，降低功率损耗，全生命周期运维费用也会降低。如果安装用户侧储能设备，用户可根据自身能源系统的特点和能耗情况来控制储能设备的运行，既降低费用，利用柔性负载特性匹配分时电价获益，又有利用电网削峰填谷。

建议纳入“十四五”规划

目前直流供电技术暂不会取代交流供电技术，但如果在“新基建”项目采用新一代 LVDC 供用电系统，将具有一定竞争力，有望颠覆传统供电形式。为此，笔者建议在我国“十四五”能源规划中将“集成分布式光伏+低压直流电源+储能”的新型供用电模式”纳入考虑。

首先，加强统筹规划和顶层设计，建议综合差异化、定制化、灵活性、柔性需求等，以全社会经济效益提高为目标，以共商机制促进融合，在集成光伏建筑一体化、低碳绿色建筑、5G 通信电源、农村再电气化、智能家居等领域，规划方向、制定路线图。

其次，从国家政策层面，以共建机制促进多元化运营，以共赢的市场化机制让“新基建”赋能经济，逐步建立完善公平可行的市场机制，发挥政府财政资金引导和补短板、最大化发挥投资带动作用(并不是单纯经济补贴)。另外，建议分布式能源市场从农村开始，鼓励社会资本投资，建立机制引导推动。

在技术方面，建议跳出高压直流和传统交流技术惯性思维的限制，从“网思维”向“系统思维”，从“物理学思维”向“生物学思维”转变，从单纯技术观念向全社会经济开阔视野，把技术视野下的“硬件组合”和经济社会以及人文相关的“软件组合”相结合，追求适应、联系、共生。

最后，建议鼓励支持创新示范应用，以共享方式试点示范推进新基建发展。鼓励支持地方政府和相关企业开展具有示范性并可真正复制的模块化设计、工程等。

(作者系山东大学特聘教授)

未来供用电系统：新一代低压直流

■马钊



中科炼化港口