

中国科学院院士赵天寿：

长时储能技术缺口依然较大

■本报记者 朱妍

长时储能市场越来越火。据咨询机构伍德麦肯兹统计，全球投运及在建的长时储能项目，价值已超过300亿美元。近三年投资的项目若全部建成投运，长时储能装机总量预计新增5700万千瓦，相当于2022年全球长时储能总装机规模的3倍左右。

在中国科学院院士、南方科技大学碳中和能源研究院院长赵天寿看来，即便如此火热，长时储能的发展依然不够。“构建面向碳中和的新型电力系统，需要大规模、高安全以及不同时间的储能技术，其中最缺的就是长时储能技术。”近日在第五届未来能源大会期间，他向记者阐述了自己的观点。长时储能已由“边缘”进入赛道中央，但目前，各细分技术均有自身局限，产业化发展面临不少挑战。

需求巨大

长时储能的走红不是偶然。赵天寿表示，在碳中和时代，新型电力系统需要不同时间的规模化、高安全储能技术。基于此，储能将成为保障能源安全的核心技术之一，整个产业本身就备受关注。

“风电、光伏发电技术发展很快，成本持续下降，但它们的特征是分散、间歇和不稳定。为保障电力系统稳定运行，有时不得不弃风弃光，抑制了风、光的实际利用水平。储能恰恰可以平滑能量波动，提升风、光实际利用率。”赵天寿表示，到实现碳中和之际，风、光等可再生能源占比预计从现在的4%升至60%，装机规模相应达到50亿千瓦。“按照20%-50%的配储策略，储能装机容量将达到10亿至25亿千瓦，这个量大大超过了目前的煤电装机总量。可以说，碳中和时代对储能的需求非常巨大。”

除了增量，“双碳”目标还对储能发展提出质的要求。“以新能源为主体的新型电力系统，对储能要求非常苛刻，包括高安全、高效率、低成本、规模化、长寿命，以及没有资源和地域限制等多个方面。”赵天寿强调，在不同

时间尺度下，风电光电均存在不稳定性。新能源渗透率快速提升，对储能进一步提出高要求，其中尤为需要长时储能。

赵天寿解释，风、光在新型电力系统中占主导，受到气候变化影响，能量输出存在长周期波动，很可能出现长时间间歇，与用能需求不匹配。“在数小时、数天甚至跨季节时间范围内，为避免发生供电间断，长时储能就显得很重要。比如《广东省推动新型储能产业高质量发展》等文件，现已明确要求开展长时储能关键技术攻关。”

技术缺口亟待补齐

从当前类型来看，主流储能技术包括抽水蓄能、压缩空气储能、电化学储能等不同路线。“然而，这些技术各有各的局限性，现阶段仍难大规模普及应用，尚无法满足所在领域的需求。”赵天寿坦言。

以最为成熟的抽水蓄能技术为例，其具备规模大、寿命长、能效高等优势，储能时长从小小时到天不等，早在2020年便已占到我国储能装机容量的90%。“但最大技术挑战是地域限制，风、光资源丰富的地方，不一定具备建设抽水蓄能的地理环境。而且，抽水蓄能电站建设周期较长，通常在6-8年，对环评要求也比较高。”赵天寿称。

另一种与抽水蓄能类似的方式——压缩空气储能，在规模、时长、寿命上的表现都很可观，应用场景丰富，但其所需的储气空间大，有待进一步降本提效。

“也有不受地域限制的储能技术，比如占据电化学储能主力的锂离子电池，能量密度高，响应速度快，效率也比较高。但是，锂离子电池的能量载体不像水和空气，它是不能流动的，属于固态活性材料，在储能市场上不够灵活，成本也有待降低。”赵天寿提醒，锂离子电池要想大规模发展，安全问题值得关注。“一是锂资源安全。要知道，锂电原料碳酸锂价格从2019年的5万元/吨，最高一度升至2022年的60万元/吨。二是大规模锂电储能电站的

安全性。以韩国为例，仅2017年到2022年1月，已有34个储能电站发生火灾，造成直接经济损失高达466亿韩元。”

综合对比各类主流技术，赵天寿呼吁，当前，长时储能技术仍有较大缺口，亟需着力补齐。

液流电池有望满足需求

电化学储能可否像抽水蓄能、压缩空气储能一样实现长时？这是赵天寿长期研究的课题。

他告诉记者，从原理上说，电化学长时储能需具备两个主要因素，即可流动的能量载体和相应的能量转换装置。前者可包括氢气、甲醇、氨等燃料以及电解液，后者涵盖电解池、燃料电池、液流电池等装置。“我认为，电化学流体电池易模块化、时长灵活、安全且无地域限制，适用于长时、大规模的储能，有望满足新型电力系统对储能提出的所有要求。”

记者了解到，在流体电池中，液流电池储能格外受到关注。它的能量储存在电池外面的电解液罐中，因此不存在安全问题，加上其扩展性较高，寿命是锂离子电池的3倍，所以被业内寄予厚望。对此，在《国家发展改革委 国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见》中亦有提及。该文件明确要求，实现液流电池等长时储能技术进入商业化发展初期。

“这其中，又数全钒液流电池发展最快，目前已进入商业化初期阶段了。”赵天寿进一步称，我国非常重视全钒液流电池发展，2019年装机规模刚刚20兆瓦，2020年已达到100兆瓦，装机量增长迅速。“但也不是没有短板，推广应用面临的最大问题是成本。从这个角度说，电堆和电解液占到储能系统成本的80%以上，我们一直致力于提升电池电流密度，或提升电解液利用率。比如，现在电解液利用率大约只有60%，相当于40%的钒没起到作用，因此要提高电流密度。突破技术瓶颈，是抢抓储能产业机会的关键。”

全国工程勘察设计大师、中国电建集团首席技术专家冯树荣：

龙头水库“布局一子带活全盘”

■本报记者 苏南

近两年，受气候影响，我国西南地区来水偏枯，加快建设调节性龙头水库的呼声再起。那么，具有调节性的龙头水库建设情况如何？业内缘何频频呼吁加快龙头水电站建设？列入国家“十四五”可再生能源发展规划》《“十四五”现代能源体系规划》《国家水网建设规划纲要》等重点加快推进项目的龙头水库开工建设的最大难点是什么？围绕水电行业关注的焦点问题，《中国能源报》记者专访了全国工程勘察设计大师、中国电建集团首席技术专家冯树荣。

我国尚有20多座龙头水库待建

中国能源报：为何要建设龙头水库？

冯树荣：龙头水库控制流域面积大，调节库容大，一般具有年调节或者多年调节能力，调度运行灵活，可实现年内、年际调节。对于多年调节水库，甚至可以实现跨年调蓄，将丰水年水量调节至枯水年使用。近两年，云南、四川等西南地区水电大省连续来水偏枯，电力供需明显偏紧，亟需通过建设流域控制性龙头水库解决“靠天吃饭”的情况。

国外许多河流得益于整体调蓄能力强的龙头水库，流域防洪、供水、航运、灌溉、生态环境保护、发电等功能得到了有效发挥。目前，国外总库容超过200亿立方米的特大型水库有24座，除了发电以外，还兼有防洪、供水、灌溉、航运、旅游和改善生态环境等综合效益。

比如胡佛水坝，是美国综合开发科罗拉多河水资源的一项关键性工程，具有防洪、灌溉、发电、航运、供水、旅游等综合效益。以防洪为例，将科罗拉多河洪峰流量由5670立方米/秒削减为1130立方米/秒，特大洪峰由8500立方米/秒削减为2129立方米/秒，显著提高下游防洪标准。发电方面，电站装机容量208万千瓦，发电及梯级补偿效益显著。灌溉方面，水库建坝后保证了加利福尼亚州和亚利桑那州沙漠地带70万公顷的土地获得可靠的灌溉水源。

中国能源报：我国龙头水库建设情况如何？

冯树荣：我国龙头水库建设较为缓慢，目前有20多座龙头水库待建。澜沧江上游西藏段龙头水库如美水电站今年刚刚核准开工，金沙江中游的龙头水库工程已纳入“十四五”规划，不过尚未明确建设时间表。而怒江中下游梯级规划龙头松塔水电站，澜沧江上游云南段龙头水库古水水电站、金沙江上游龙头水库岗托水电站等仍处于前期可研阶段。龙头水库是流域综合治理的“镇水重器”，建议加快前期工作及开发进程。

移民、环境制约龙头水库建设

中国能源报：我国龙头水库建设缘何缓慢？

冯树荣：我国龙头水库建设缓慢的因素众多，主要是三个方面：一是短期经济性较差，开发主体投资龙头水库的积极性不高；二是龙头水库对下游梯级发电补偿效益返还机制尚未明确，电价机制尚需理顺；三是移民征地问题严重制约龙头水库建设。尤其是移民征地，随着目前水电移民标准不断提高，移民已经向提高移民生产生活水平、新型城镇化规划、促进区域经济发展的角度转变，给移民规划设计工作带来新的挑战。

中国能源报：您刚才提到龙头水库，曾经历了漫长的勘察、规划，在您看来，其迟迟未开工的原因是什么？

冯树荣：龙头水库迟迟未开工的焦点是移民问题。龙头水库位于云南省西北部，坝址位于金沙江中游虎跳峡河段，左岸为迪庆州香格里拉市，右岸为丽江市。其建设征地涉及云南、四川2省3市，涉及移民人口10万人，各类土地56.8万亩，影响等级公路500多公里。

经过多年勘察测绘，我们发现龙头水库移民安置环境容量充足，龙头水电站处于地形条件较好的河段，库区移民安置条件较好，优于已建成的乌东德、白鹤滩水电站库区。龙头水库周围适宜建房的用地面积近7万亩，可完全满足移民建房用地需求。中南勘测设计院筛选了67个安置点，可安置移民25万多人，目前初步确定了22个安置点，可安置移民11万人。

经过勘察设计，移民基本生活保障可长效化，移民生产就业安置可产业化，库区基础设施可一体化，最终实现移民整体安置效果现代化。设计者选择宜居之地打造特色小镇，不仅能改善人居环境，还能推动丽江市城镇化建设。按照规划，将打造冷都—虎跳峡—永壳滩和产业开发中心、石鼓—雄古纳西文化经济中心、塔城—其宗—上江藏文化经济中心，以中心带片区，多点辐射，构建全域共建、全域共融、全域共享的库区全域旅游发展新格局。

中国能源报：如何考量龙头水库建设中涉及的景区等难题？

冯树荣：龙头水库建设区域确实存在多处环境敏感区，不过，均对工程建设不形成制约。龙头水电站用地范围涉及玉龙雪山国家级风景名胜景区、玉龙雪山省级自然保护区、哈巴雪山省级自然保护区、生态保护红线等环境敏感区。据我了解，建设单位正在组织编制相关专

题报告，报主管部门审批许可。

工程建设运行对虎跳峡峡谷景观有一定影响，考虑从坝体的形态、线形、色彩、质感与自然景观的相融性方面作优化设计，通过合理布置施工场地、采取整固全覆盖等保护措施，保护虎跳峡景点；另外，可将一条发电尾水洞布置在虎跳峡上游，形成泄放生态景观流量，既降低汛期淹没虎跳石的机率，又改善枯水期的景观效果。总之，既可以实现虎跳峡峡谷自然景观最大限度保留，又可以实现上虎跳峡口铁路、公路特大桥以及水电大坝等现代文明与峡谷自然景观的高度融合。

龙头水库调蓄，全流域受益

中国能源报：龙头水库建设有哪些积极意义？

冯树荣：龙头水库工程是实现金沙江清洁能源基地高质量发展的关键工程，其开发可发挥重大综合利用效益，实现金沙江清洁能源基地提质增效，保障长江流域水安全与生态安全，促进长江经济带和云南省经济社会发展及库区移民致富。

龙头水电站地处金沙江及长江干流一系列大型和巨型水电站的“龙头”，对提高金沙江及长江干流水电能源基地的整体质量和经济性具有重要作用，有“布局一子带活全盘”的意义，一库调蓄，全流域受益。龙头水库供电范围涉及华东、华中、华南等10余个省市。

龙头水电站及中下游梯级电站共利用水头约1800米，龙头水库一方水可发4.2千瓦时电，一库水储能900多亿千瓦时，相当于三峡工程一年发电量，在遭遇枯水年份或特殊情况时，可以发挥重要的能源战略储备作用。

龙头水库防洪与发电协调性好，7月初可预防防洪库容130亿立方米，7月至8月水库主动蓄水，减少进入金沙江下游梯级水库和三峡水库的洪水，配合三峡水库运用，有效减少长江中下游成灾洪水和分洪损失。2008年国务院批复的《长江流域防洪规划》，要求金沙江中下游预留220亿-249亿立方米防洪库容，没有龙头水库，难以实现这一目标。

中南勘测设计研究院曾做过测算，龙头龙头水库建设投资可拉动云南省GDP约3000亿元。工程建设期间共贡献地方税费186亿元，运行期每年贡献地方税费22亿元。以建设期为例，每年可提供1.7万个就业岗位；移民人均每年可获得的逐年补偿收入近6000元。所以，为早日发挥工程的巨大综合效益，建议各方合力推进龙头工程前期工作进程，尽早开工建设。

“我国工业用能比例高、单位产品能耗较高，其中化工对能源、资源、环保、先进材料和国防工业等都发挥了重要作用，对国民经济总产值的贡献约占1/6，但是碳排放也很高，一个年处理4000万吨原油的石化炼化企业年排放二氧化碳高达4200万吨。因此，炼化和煤化工必须加快低碳转型，推动绿色低碳技术实现重大突破，抓紧部署低碳前沿技术研究。”在近日由中国石油和化学工业联合会、内蒙古自治区工信厅等主办的2023中国能源“金三角”化工园区协同发展会议上，中国科学院院士费维扬指出。

作为我国现代煤化工产业发展的集聚高地，以内蒙古鄂尔多斯、宁夏宁东、陕西榆林为核心的能源“金三角”区域肩负着推动和引领我国煤化工行业低碳转型的重任。如何推动煤化工行业的绿色低碳发展，构建区域协同发展新格局，成为本次会议探讨的重点话题。

形成最大煤化工产业集群

据了解，为推动现代煤化工产业创新发展，拓展石油化工原料来源，加强科学规划，做好产业布局，早在2017年，国家发改委、工信部就印发了《现代煤化工产业创新发展布局方案》，强调我国现代煤化工产业创新发展布局的必要性和重要性，并规划布局了内蒙古鄂尔多斯、陕西榆林、宁夏宁东、新疆准东4个现代煤化工产业示范区。

其中，以内蒙古鄂尔多斯、宁夏宁东、陕西榆林为核心区域的能源“金三角”地区，是我国现代煤化工产业发展的集聚高地。

中国石油和化学工业联合会化工园区工作委员会秘书长杨挺在会上指出，能源“金三角”区域内具有丰富的煤炭、石油、天然气、盐等资源，是全国罕见的能源富集区，已探明化石能源储量达20102亿吨标准煤，约占全国已探明储量的47.2%，同时还具有丰富的光能、风能等资源。在丰富的煤炭资源支撑下，目前能源“金三角”地区分布了一大批煤化工产业项目，成为中国规模最大的煤化工产业集群。

“能源‘金三角’地区能源资源富集，产业基础较好，加快推动能源‘金三角’化工园区协同发展，促进区域产业互动、互融、互补，对保障国家能源安全、产业安全，促进黄河流域生态保护和高质量发展具有重要意义。”内蒙古自治区工信厅副厅长张广收表示。

需做出更高附加值的新产品

在保障国家能源安全上，以能源“金三角”为代表的煤化工产业的重要性不言而喻。但在当前碳达峰碳中和目标背景下，煤化工产业也面临着较大的转型压力。

“现代煤化工产业无论是煤气化领域、净化合成领域，还是能源利用、废水处理领域，以及二氧化碳捕集和资源化利用等方面，都取得了一系列创新突破。但与新发展阶段对煤化工高质量发展的高标准和新要求相比，与‘双碳’战略对煤化工产业提出的新挑战相比，与煤化工产业高端化、多元化、低碳化矛盾突出和面临的水资源制约、环境承载力受限的现状相比，煤化工领域实施重大技术装备攻关工程、加快产业技术优化升级、推进原始创新和集成创新的任务还很艰巨。”中国石油和化学工业联合会副会长傅向升指出。

在清华大学鄂尔多斯煤化工与新能源化工技术创新实验室主任魏飞看来，地处西部的能源“金三角”区域，如何摆脱化石能源的燃料特征并把有限的化石能源做成材料，是很重要的问题。

“化石能源的使用会带来一系列环境问题，但还有一个更麻烦的问题，就是我们的煤化工产业，在做材料的时候，流程太短。比如我们煤制烯烃已经做得很好了，在能源‘金三角’地区发展很快，但在高端产品里面，很多我们都还做不了。”魏飞表示，“这就造成我们煤化工的效益很差，同时也会使煤化工单位产品GDP的二氧化碳排放很高，大概比石油化工高出5倍。怎样用科技的手段，把工艺过程的效率提高，使煤化工领域有更多的新产品、更高的附加值，这是很重要的事。”

区域协同推动园区提质增效

在与会专家看来，能源“金三角”地区相连，资源相近，产业基础和区位优势突出，加快推动区域产业协同发展，有利于积极融入新发展格局，更好地落实黄河流域生态保护和高质量发展等国家战略。

针对如何进一步加强能源“金三角”化工园区协同发展，张广收提出了四项倡议：“一是建立健全区域协同发展新机制。不断推动区域协调发展，上下游一体化发展，专业化特色化发展。二是建立区域化工产业联盟。围绕化工产业和化工园区开展合作对接，加强绿色、低碳技术合作与交流。三是构建区域协作共享生态体系。支持区域内共建产业园区、跨区域推动上下游原料产品互供，构建循环互供、优势互补、高质量发展的能源‘金三角’产业生态。四是搭建区域合作平台。推动技术、人才、资本、数据等要素资源有序流动。”

据介绍，当前鄂尔多斯以科技创新为抓手，加快推动煤化工产业升级。与清华大学合作建设鄂尔多斯实验室，绿色液体燃料、二氧化碳一步法制烯烃等先进技术落地实施，创新潜力加速释放。

在大会上，中国石油和化学工业联合会宁东能源化工基地、榆林高新技术产业开发区、内蒙古鄂尔多斯苏里格经济开发区等12家能源“金三角”地区重点化工园区，共同签署发布了“建设世界级现代煤化工产业集群的宣言”，将通过加强规划引导，加大创新力度，提升智能化水平，推进低碳发展四大举措，构建优势互补的现代煤化工产业集群，打造全球领先的现代煤化工产业科技创新高地，建设高质量发展的世界级能源化工基地。

上接1版

李宝森介绍，本届全球能源互联网大会具有以下特点：一是日程新颖丰富。在为期3天的会议设置了1场院士论坛、1场全体会议、12场平行主题论坛和1场大型展览，旨在通过“综合+专题”的模式，分享发展经验，推动技术创新、搭建合作平台。二是嘉宾阵容强大。大会邀请中国及有关国家政府部门、联合国机构、重要国际组织和企业负责人以及国际知名专家学者约600位代表参加。据初步统计，目前有来自近30个国家的约200位嘉宾将出席大会并发表演讲。三是成果务实丰硕。大会期间将发布《全球能源互联网报告2023》《中国清洁能源基地化开发研究》《全球能源电力绿色转型创新实践案例2023》3项合作型最新研究成果，形成《新型电力系统中的综合能源关键技术论文集》。合作组织还将与有关

能源「金三角」引领煤化工绿色发展

■本报记者 李玲

国家政府部门、国际组织签署多项合作协议。四是国际社会广泛参与。全体大会和主题论坛主要由来自能源、电力、气候、环境、金融、科技等领域的30多家国际组织、企业机构、高校共同举办。五是展示发展前沿。大会设置了2000平米展区，综合运用实体展板、电子沙盘、实物模型等展陈手段，多元视角呈现全球能源互联网前沿技术、高端装备、工程项目等情况，充分展示能源电力企业在促进世界能源绿色低碳转型、高质量共建“一带一路”等方面的发展成就。

合作组织成立以来，已成功举办五届全球能源互联网大会，在联合国气候变化大会、生物多样性大会、可持续发展高级别政治论坛等全球性大会举办数十场主题活动，来自100多个国家的上万名嘉宾出席会议，联合国秘书长、多国政要、重要国际组织负责人发表致辞数十次，合作组织的会议品牌价值和影响力快速提升。（路行）