

中国工程院院士谢克昌:

## 构建现代能源体系 推进能源强国建设

■本报记者 姚金楠 朱妍

党的二十大报告提出,深入推进能源革命,加强煤炭清洁高效利用,加大油气资源勘探开发和增储上产力度,加快规划建设新型能源体系,统筹水电开发和生态保护,积极安全有序发展核电,加强能源产供储销体系建设,确保能源安全。

在去年的政府工作报告中,“推进能源清洁高效利用和技术研发,加快建设新型能源体系,提升可再生能源占比”被列入重点工作。

新型能源体系如何理解、怎么构建?目前我们已具备哪些基础,尚有哪些工作待完善?围绕这些焦点问题,中国工程院院士、原副院长谢克昌向《中国能源报》记者阐释了他的观点。

## 开展科学评价,充分认清现状

“2022年发布的《‘十四五’现代能源体系规划》强调指出,加快构建现代能源体系是保障国家能源安全,力争如期实现碳达峰、碳中和的内在要求,也是推动实现经济社会高质量发展的重要支撑。”谢克昌认为,从全国视角来看,具体包括坚持节能优先,及时修订提升能效标准,压减不合理能源需求;做好资源和产能储备,在释放优质产能的同时,科学划定煤炭产能红线;建设全国统一能源大市场,全方位加快能源应急储备能力建设;做好技术储备,大力支持能源领域科技创新等多项工作。

一系列复杂的工作如何有序推进?在谢克昌看来,科学认清现状是当务之急。“围绕能源体系建设,我们怎么做?目前已经发展到什么阶段了?不同省份搞得怎么样?总体在国际上又属于什么水平?为了弄清楚现状,开展现代能源体系指数评价,对于规划建设新型能源体系有着重要作用。《‘十四五’现代能源体系规划》第九章也明确提出,加强对本规划实施的组织、协调和督导,建立健全规划实施监测评估、考核监督机制。”

谢克昌介绍,围绕“清洁、低碳、安全、高效”四个维度,中国工程院根据能源经济学、环境经济学等理论,采用系统分析法中的序关系分析法构建能源体系指标体系,并采用问卷调查方式确定指标权重,确定了清洁能源消费总量占比、二氧化碳人均排放量、石油储量比、GDP单位能源消耗等26项指标,可为新型能源体系建设进程评估提供科学参考。

“能源革命和实现‘双碳’目标都是渐进过程,二者紧密关联,最终实现能源领域需求合理化、开发绿色化、供应多元化、调配智能化、利用高效化,建成能



谢克昌

源强国。在此过程中,保障能源安全既是前提又是基础,还需全面协调经济、社会、环境、气候等多方面关系。”谢克昌称。

## 坚持节能优先,筑牢安全基石

对照评价指标,如何进一步提升能源体系建设发展水平?谢克昌给出建议——

“节能是第一能源,首先是坚持节能优先。”谢克昌坦言,现阶段,我国能耗强度依然偏高,若能下降到世界平均水平,可节能量约为1.58×10<sup>9</sup>标准煤当量,减少排放近4×10<sup>9</sup>吨CO<sub>2</sub>。“以工业产值能耗强度为例,一方面要进行产业转型,另一方面必须挖潜能效潜力,及时修订和实施更高能效的能耗标准并强制性实施,及时修订颁布细分产品的能耗标准,加速淘汰高能耗设备,精准推进节能降耗。”

其次,立足以煤为主的基本国情,做好资源和产能储备是重中之重。“我们常说富煤、贫油、少气的资源禀赋,富煤实际只是相对概念。我国煤炭总储量虽然位于世界第三,但人均储备量并不算高。这就要求我们加快地质勘探,摸清家底,开展科学评估,在释放优质产能的同时,按照不同需求分级划定煤炭产能红线,让煤炭在极端情况下也能产得出、供得上、稳得住。”

以此为基础,再围绕全国统一能源大市场建设,全方位加快能源应急储备能力建设。例如,加快油气储备能力建设,提升石油储备达到120天进口量水平,加快储气库建设步伐,形成兼具“保底”和“调节”功能的实物储备;金融信贷和能源统计政策齐发力,加快推进煤炭领域国家重大示范工程和战略基地建设等。

做好技术储备亦不可忽视。“加强研发平台建设,持续提升科技创新能力。”谢克昌举例,当前亟待突破煤炭清洁高效利用瓶颈技术,切实做到“清洁高效利用的煤炭也是清洁能源”;聚焦大规模高比例可再生能源开发利用,加强化石能源和可再生能源的耦合利用,巩固非化石能源领域技术装备优势,持续提升可再生能源开发利用的技术水平和经济性;开展新型储能关键技术集中攻关,推动储能成本持续下降和规模化应用。

## 分区域分类指导,杜绝“一刀切”

在全国视角下,不同地区各有差异。“我国的人均地区生产总值呈现出东部高、西部低的特点,较高省份的经济发展已基本与能源脱钩,资源富集地、老工业基地的地区生产总值能耗却明显偏高,能耗强度与单位地区生产总值碳排放的相关度很强。”谢克昌表示,考虑到我国区域能源生产与消费依旧存在不平衡、不充分,推进新型能源体系建设绝不能“一刀切”。

结合地区实际,谢克昌向记者列举了不同思路——对于资源富集地,依托新一轮西部大开发战略,可规划打造绿色可持续的国家能源安全保障基地。对此,需加强能源资源勘探、科学开发和清洁高效利用,有序开发风光资源,延伸国际能源合作领域筑牢中国西部桥头堡,夯实国家能源安全保障支柱;统筹铁路、电网和油气管网建设,优化煤、油、气、电输配网络,强化国家能源安全保障基地功能建设;坚持生态优先,筑牢西部生态屏障。

对于走在前列的长三角区域,建议以现代能源大系统建设为重点,能源基础网络建设和装备发展为抓手推进创新发展。依托一体化发展优势,建立集成优化、区域联动、智能调控的能源系统,推动区域创新发展。同时,发挥科技创新资源优势,着力突破能源装备制造领域“卡脖子”技术,打造长三角现代化能源大系统建设先行示范区,建立健全利益协调和补偿机制,提升长三角能源安全保障能力。

“中部省份所处的位置,决定其一定要发挥枢纽区位优势。比如,依托西气东输、西电东送、北能南运,重点打造国家级能源综合枢纽,联动保障国家能源安全;加强能源网络和储能设施建设,建立多能互补的能源系统;继续推进国家能源原材料基地和制造业基地建设,催生发展新动能,推动区域经济绿色低碳发展。”谢克昌强调,明确区域能源发展的定位和思路,分类指导是关键。

## 新型电力系统技术创新联盟专栏③

## 配电网数字化转型潜力十足

——访中国电科院副总工程师、配电技术中心主任盛万兴

■本报记者 董梓童 苏南

配电网是连接能源生产和消费、电网和用户双向交互的终端平台,具有电能配送、源荷平衡、多能互补等核心功能。随着新型电力系统加快构建,我国新能源装机规模快速增长及绿电渗透率不断增长,给配电网安全运行带来了巨大挑战。

当前,在分布式可再生能源场站和新能源汽车爆发式增长的背景下,配电网改造升级势在必行,智能化、数字化将成为未来配电网发展的重要方向。那么,新形势给配电网带来哪些新挑战?又给行业提出哪些新要求?目前我国现代智慧配电网的建设进度如何?带着这些问题,记者近日采访了中国电科院院士、副总工程师、配电技术中心主任盛万兴。

## 配电网建设运营环境愈发复杂

中国能源报:新型电力系统建设过程中,配电网将迎来哪些新变化?

盛万兴:“双碳”目标下,大规模分布式电源、充电桩等用户侧设备接入配电网,尤其是随着新型电力系统加快建设,我国配电网将在形态上呈现出分布式电源、脉冲型负荷、电力电子设备高比例接入的特点,在数量上呈现出电源、负荷、时空状态不确定性的特点。在系统层面,由于大量分布式资源接入,配电网将由单一的电能配电网网络演化为多能互补配置平台,呈现出网络结构复杂、运行工况复杂、运营环境复杂的特点。作为电力供应、能源转型、资源配置的关键平台,配电网数字化转型成为必然,将实现政府、电网、用户多主体共赢,提升其获得感与价值。

对政府而言,数字化配电网能提升关键基础设施升级,实现电、热、冷、气等多种能源协同互济,保障能源电力安全稳定优质供应,不断提升能源系统的整体利用效率,支撑经济社会高质量发展。

对电网而言,通过电网物理系统与数字基础设施融合,可以提升配电网的弹性韧性,不断开放电网资源平台,支撑多元化源荷灵活接入,促进高渗透率分布式清洁能源就地消纳,实现电网价值挖掘、平台业务拓展和品牌信誉提升。

对用户而言,依托数字化技术形成电网和用户的双向互动平台,可以拓展微电网、储能、虚拟电厂等开放共享的共享化新业态,提供优质的综合能源服务、电动汽车服务,有效提升民生供电保障能力,满足多元化、互动化、个性化用能需求。

## 建设现代智慧新型配电网势在必行

中国能源报:如何看待配电网数字化转型这一新

目标?

盛万兴:在能源转型和数字化转型的双重背景下,配电网数字化转型势在必行,建设现代智慧配电网是支撑转型的重要实践。我国配电网体量巨大、分布广泛、差异显著,现代智慧配电网是实现多能耦合互补、多元聚合互动的平台,被看作是支撑新型能源体系建设的重要环节,是新型电力系统建设的主战场和“双碳”目标实现的关键。

现代智慧配电网建设提出以来得到业界的积极响应,不同专家从功能、形态、实现路径和发展目标等方面进行了解析。综合来看,可将现代智慧配电网视为新型电力系统的配电网形态(新型配电网),通过“大云物移智”等现代信息通信技术与配电网深度融合,以数字化、智能化、智慧化赋能新型配电网,实现安全可靠、经济高效、清洁低碳的现代配电网发展目标。

其中,“现代”是配电网中国式现代化下的新要素、新业态及新经济发展的必然演进,是传统配电网升级的客观需求,是迈向国际领先配电网的本质要求,重点强调配电网管理体系、服务能力、网架结构、设施装备、技术水平“现代化”。“智慧”是现代配电网满足电力安全保障、能源绿色转型、资源优化配置的必然选择,是配电网升级的主观要求和内生动力,重点实现配电网运行监控、商业运营、多能互补、灵活互动的“智慧化”。

中国能源报:上述目标给电力行业提出了哪些新挑战,需重点关注哪些技术领域?

盛万兴:大规模分布式电源、充电桩等用户侧设备接入配电网,从根本上打破了传统电网单向、确定、封闭的系统结构和运行方式,实现电网和用户互动协同,这既有客观需求,又有内在复杂性。国际上普遍认为,突破电网和用户的资源协同与互操作技



盛万兴

术是关键。

我国在“十四五”首批国家重点研发计划“储能与智能电网技术”专项中设立了“配电网业务资源协同及互操作关键技术”项目,重点围绕数据互操作、设备灵活接入、业务高效协同三大技术开展攻关,主要包括:突破源、网、荷数据共享机制与安全交互方法,实现跨业务、跨应用、跨角色的数据互操作;突破终端设备统一信息模型及安全接入机制,实现设备即插即用;突破多业务资源并发优化调控与安全防护关键技术,实现供用电资源高效协同与互动。

## 需搭建多方协同互动的生态体系

中国能源报:目前我国配电网数字化转型探索实践进程如何,有何优势?

盛万兴:创建现代智慧配电网是一个复杂的系统工程,比以往任何时候都需要技术融合创新、资源高效协同、运营模式变革,特别是工程应用与基础前瞻技术的融合、供需多方协同互动生态体系的建设、生产方式和商业模式的变革,从而实现价值链传递和多主体共赢。

其中,在技术创新方面,不仅要重视工程应用技术,也要重视与基础前瞻技术的融合,重点突破源荷预测跟踪、交流直混组合网、虚拟电厂调度、充放电功率调节、能量路由、资源协同、智能运维、高性能通信、智慧服务、信息安全、智慧能源仿真等技术,构建“智能电网-物联网-智慧服务”的技术体系。

在资源协同方面,重点实现供用电系统感知透明化、业务融合高效化、运营管控智慧化、资源配置平台化,搭建供需多方协同互动的生态体系。在运营模式方面,探索构建市场主体多元、交易品种多样、服务种类丰富的运营体系,推动生产方式和商业模式变革。

我国配电网物联网建设为创建现代智慧配电网打下了坚实的基础。配电网物联网旨在提高电网的可观可测可控水平,提升信息数据集成与应用能力。国家电网公司从2017年就率先开展了配电网物联网研究,从“云-管-边-端”体系架构,远程-本地通信协议、软硬件功能模块、信息安全防护等方面进行了系统深入的探索实践,破解了配电网透明感知与物联、软硬件解耦设计、跨系统跨应用数据融合等关键问题,开发了智能配变终端等系列成果。据统计,截至2022年底,国家电网公司研发的智能配变终端已部署100余万台,开发的故障定位分析、电能质量分析、供电可靠性分析、配变运行状态监测等软件APP实现了规模化应用,推动了配电网数字化转型。



## 尹沿技

氢能是可持续发展最具潜力的二次清洁能源,根据制氢工艺所产生的碳排放程度,可分为灰氢、蓝氢、绿氢。灰氢成本较低但污染较大,绿氢通过使用可再生能源电解水制取的氢气,满足“双碳”要求,是未来的发展方向。

目前,全球及中国绿氢在氢能占比中,均不到1%,主要由于绿氢成本高于灰氢成本。未来,随着风电光伏与电解水制氢结合以及电解槽性价比逐步提升,制氢成本有望进一步下降。根据测算,理想情况下绿氢成本可达到5.8元/kg,低于灰氢成本。

当前,主流电解水制氢技术包括碱性水电解(ALK)、质子交换膜电解(PEM)、高温固体氧化物电解(SOEC)、固体聚合物电解质膜电解(AEM)四种。电解槽的性能与整个制氢系统的制氢效率有着直接的关系,在能耗、安全性方面也有十分重要的影响,所以,电解槽是电解水流程的核心。

在电解水制氢的成本中,设备成本占了14%。电解水制氢系统由电解槽及辅助系统组成,其中,电解槽是电解反应发生的主要场所,辅助系统则包括电力转换、水循环、气体分离、气体提纯等模块。从成本构成来看,电解槽在制氢系统总成本中的占比约为50%,设备在单位时间内的产量越大,电解槽所占整个设备制造成本的比例就越高,所以,电解槽的成本会直接影响制氢系统的产品价格。电解槽的成本是电解水制氢系统生产成本的核心。

对于碱性电解槽在新能源发电系统中的应用,目前国内部分碱性电解槽厂商将提高电流密度、采取热启动作为解决碱性电解槽响应速度的重要方式。有示范项目利用多种混合储能方式进行平抑波动,优化运行。利用碱性电解槽可以适应高功率和功率快速调节运行工况但无法长时间处于低功率工况运行的特点,在混合储能系统协同运行中,通过设计使其在高功率和快速功率调节工况中运行,同时,为了保持运行安全性和稳定性,尽量避免其在低功率工况下运行。

随着产业的进一步发展,未来应用场景将不断拓宽,大型化、低成本、低能耗是产业发展共识。需要大规模制氢产能的化工冶金领域将持续采用碱性电解槽制氢,而在分布式能源场景中,如现场制氢加氢站这种氢能产量较小的场景,PEM电解槽将具有独特优势。

相比于碱性电解槽,PEM电解槽由于设备成本过高,制氢成本相对较高。未来,随着氢能行业的发展,氢气需求的增加以及技术的进步,会带来PEM电解槽成本的下降。叠加可再生能源电力成本的下降和产氢数量增加的因素,如果考虑土地成本,PEM电解槽更加紧凑,同等规模下PEM占地面积几乎为碱性装置的一半,在土地昂贵的地区PEM电解槽优势更加明显。此外,结合其效率高、能耗低、响应快、负载高等优势,预计PEM未来发展空间大。

根据高工锂电的数据,2022年全球电解槽市场出货量达到1GW,其中,中国电解槽总出货量超过800MW,同比增长129%以上,全球占比超过80%。碱性电解槽设备凭借运行稳定、售价低廉等优点,成为市场的主流选择。

根据BloombergNEF的数据,2023年中国电解槽出货量将持续保持高速增长,出货量有望达到1.4-2.1GW,占全球出货量的60%以上,同比增加75%-163%。

当前,伴随电解水制氢性价比逐步凸显,推动电解槽需求提升。

一是电解槽工作时间不断延长:通过延长电解槽工作时间可生产更多绿氢,从而摊薄其固定成本,根据测算,当电解槽工作时长从2000小时提升至4000小时后氢气成本有望降低4.6%。二是电解槽能量转换效率不断提升:目前行业主流的碱性电解槽能量转换效率较低仅为60%-75%,成为阻碍电解水行业发展的一大难题,质子交换膜电解槽和固体氧化物电解槽可将能量转换效率提升至75%-85%,有望进一步降低制氢成本。三是电解槽耗电量逐步下降:电解水的主要成本来源于电费,降低电耗一直是困扰行业多年的难题。未来,随着电解槽技术的不断迭代,耗电量有望继续下降。理想情况下,制氢成本可下降80%,达到5.8元/kg,低于煤炭9.9元/吨的制氢成本。

随着绿氢性价比提升及政策驱动,预计2025年、2030年全球绿氢需求量将分别达到1583万吨、4727万吨;2025年、2030年全球绿氢占比将分别达到15%、38%。受益于下游绿氢市场需求旺盛,电解槽出货量有望在未来几年迎来爆发期,2023年、2025年电解槽市场规模将分别达到1872亿元、5280亿元。

未来,伴随电解槽产品不断升级,单台设备投资额有望持续下降。电解槽技术的进步将掀起绿色氢能浪潮。

(作者系华安证券分析师)

## 电解槽新技术掀起氢能浪潮