

加快构建新型电力系统 夯实能源强国建设根基

——《新型电力系统建设“十五五”规划》解读

■王永利

电力是经济社会运行的重要基础,也是能源绿色低碳转型的关键载体。“十五五”时期,我国能源电力发展进入结构加快调整、系统深刻重塑、供需关系加速变化的新阶段。近日,国家发展改革委、国家能源局印发《新型电力系统建设“十五五”规划》(以下简称《规划》),系统部署未来五年建设目标和重点任务,对统筹能源安全保障和绿色低碳转型、推动电力行业高质量发展具有重要指导意义。《规划》贯通电源、电网、负荷、储能、市场、技术和安全治理各环节,标志着新型电力系统建设进入系统集成、整体提质的攻坚阶段。

■突出电力先行,科学锚定新型电力系统建设阶段目标

一是强化战略引领,彰显电力先行的基础支撑作用。《规划》把“统筹发展和安全、坚持电力先行”贯穿始终,提出加快构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统,全面支撑新型能源体系和能源强国建设。这一部署进一步明确新型电力系统的战略定位:既要适应新能源大规模高比例发展,加快能源绿色转型,也要保障经济社会持续增长和新质生产力发展带来的刚性用电需求,以适度超前的电力发展支撑现代化建设。

二是强化目标牵引,明确新型电力系

统建设阶段目标。《规划》围绕2030年初步建成新型电力系统,构建覆盖绿色低碳、电力供应、电网发展、系统调节、电力市场和民生服务等领域的发展目标。到2030年,全国电力总装机达到54亿千瓦,非化石能源发电装机占比达到65%、发电量占比达到50%,电能占终端能源消费比重达到35%;全国电力供应充裕度保持在1.1以上,省间电力互济能力达到1.2亿千瓦。新的目标更加突出清洁程度、可靠水平、调节能力和协同效率,推动电力发展由规模扩张向质量效益和系统能力并重转变。

■统筹绿色转型与安全保供,加快构建多元协同电力供给格局

一是统筹新能源开发消纳,推动绿色电力供给提质增效。《规划》更加突出开发规模、消纳条件与系统承载能力协同匹配,根据资源条件、电网框架、调节能力和负荷增长等因素,分地区分档确定新能源利用率指导目标,全国新能源利用率保持在90%左右,并建立“规划—建设—并网—消纳”全周期监测预警机制。新能源发展将更加注重因地制宜、分类施策,由单纯追求规模向统筹开发强度、系统成本与消纳效率转变。同步推进绿电直连、智能微电网、零碳园区等新业态,形成大基地外送与就近消纳并举、集中式与分布式协同发展的新格局。

二是优化多元电源功能定位,夯实安全可靠电力供应基础。《规划》坚持风光水

核多能并举,强化各类电源互补协同。常规水电突出顶峰、调节和稳定支撑,核电积极安全有序发展,光热、生物质、地热和海洋能等多元补充;煤电进一步向清洁高效、支撑调节和兜底保障转型,通过宽负荷高效改造、灵活性改造以及与新能源耦合发展,提高系统调峰和应急保障能力。电源结构调整由能源品种简单替代转向功能协同重塑,以新能源扩大绿色增量,以稳定可控电源增强安全支撑,在转型中筑牢保供底线。

三是构建主配微协同新型电网,提升大范围资源优化配置能力。《规划》提出推动电网由传统单向输电网络向多层级协同、多要素互动的资源配置平台转变。到2030年,“西电东送”规模超过4.2亿千瓦,配电网支撑9亿千瓦分布式新能源接入,同时加强区域主网架、海上输电网络、坚强韧性配电系统和智能微电网建设。主网强骨架、畅通道、促互济,配网补短板、提承载、强韧性,微电网促自治、强互动、增消纳,形成大范围资源统筹配置与局部灵活平衡相结合的新型电网形态。

■强化源网荷储协同互动,全面提升电力系统灵活调节韧性

一是完善多元调节资源体系,增强系统灵活平衡能力。随着新能源占比持续提升,电力系统运行由以电量平衡为主向电力平衡、灵活调节和安全稳定并重转变。《规划》统筹抽水蓄能、新型储能、煤电灵活

性等调节资源,到2030年全国抽水蓄能装机达到1.6亿千瓦左右,新型储能达到3亿千瓦,其中可承担顶峰保供作用的电网侧独立新型储能达到1.4亿千瓦,现役煤电机组灵活性改造应改尽改。多类调节资源协同配置,将推动系统调节由传统电源单一承担向多元资源共同支撑转变。

二是激活需求侧资源调节潜力,拓展供需双向互动空间。《规划》提出,到2030年需求侧削峰能力占最大负荷比重超过5%,虚拟电厂最大调节能力超过5000万千瓦,车网互动聚合可调充电规模达到5000万千瓦。通过完善负荷管理、市场交易、接入调用和技术标准,引导分布式电源、可调节负荷、充电设施等分散资源聚合参与削峰填谷和市场交易,将海量小微资源转化为可观、可测、可调、可控的系统能力。随着智能有序充电和双向充放电规模化应用,电动汽车将加快转变为重要移动储能资源。

三是提升终端电气化和绿电消费水平,夯实供需协同转型基础。《规划》推动工业、交通、建筑、农业和居民生活等领域扩大电能替代,支持零碳园区、工业绿色微电网等模式发展,到2030年电能占终端能源消费比重达到35%。政策导向从保障新能源“发得出、送得走”进一步延伸到推动绿电“用得好、用得足”,通过价格机制、数字技术和新型业态增强用户主动响应能力,促进负荷曲线优化和绿色消费扩容,使需求侧加快成为系统平衡的重要参与者。

■坚持改革创新协同发力,夯实新型电力系统长效发展基础

一是强化科技创新赋能,培育电力领域新质生产力。《规划》部署新型电力系统核心技术与装备攻关,推动人工智能赋能电力行业全环节、全流程数字化智能化升级,加快核心体系建设。面向新能源高比例接入、交直流混联、主配微协同等新形态,深化系统规划、稳定机理、仿真分析、构网技术和先进输电技术研究,推动科技创新由单点突破向基础研究、技术攻关、装备研制、示范应用全链条跃升,为系统安全稳定运行和产业自主可控提供支撑。

二是深化电力市场机制改革,提升资源优化配置效率。《规划》提出到2030年市场交易电量占比达到70%,跨省跨区交易电量达到2万亿千瓦时,持续完善全国统一电力市场机制,推进现货、中长期、辅助服务和容量机制协同建设。随着新能源、储能、虚拟电厂、可调负荷等新型主体加快入市,电能量价值、调节价值和容量价值将得到更加充分体现,有利于形成与新型电力系统运行特征相适应的价格信号和收益机制,引导各类资源按照系统需求优化投资和运行。

三是健全电力安全治理体系,守牢新型电力系统安全底线。《规划》贯通电源、电网、负荷、储能各环节风险管控,加强电力安全运行和涉网安全管理,健全应急指挥、预警响应和工程质量监管机制,推动构建多元化黑启动电源体系和各层级电网快速恢复方案。面对运行主体多元、控制链条复杂的新特征,安全治理将从传统设备和运行安全进一步拓展到涉网安全、网络安全和全链条韧性治理,以制度、技术和能力建设共同防范系统性风险。

四是拓展跨领域融合应用,放大电力赋能现代产业体系效应。《规划》提出促进电力与算力、电热、电氢、交通等领域协同发展。通过电算协同、绿电直连、源网荷储一体化以及交通能源基础设施共建共享,推动能源资源、数字基础设施和产业布局协同优化。电力系统由能源供给平台向产业协同平台延伸,将更好支撑算力基础设施、绿色氢氨醇、交通电气化等新领域发展,为经济社会绿色转型和新质生产力培育拓展空间。

“十五五”是新型电力系统建设承前启后的关键五年。《规划》以2030年初步建成目标,统筹绿色低碳与安全充裕,贯通源网荷储各环节,协同推进技术创新、市场改革和安全治理。随着重点任务和重大工程加快落地,清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统将加快形成,为建设新型能源体系和能源强国、推进中国式现代化提供坚强电力保障。(作者系华北电力大学经济与管理学院教授、华北电力大学能源互联网研究中心副主任)

从“十五五”规划看能源供给侧五大战略性新兴产业业务

■苗中泉

“十五五”是我国建设新型能源体系、迈向能源强国的关键阶段。关于新型能源体系、新型电力系统、可再生能源、煤炭工业发展等“十五五”专项规划相继出台。研读规划文件,结合能源行业发展情况、前沿技术创新与产业化进展等多因素分析,能源供给侧的清洁转型始终处于基础性地位,值得重点关注的战略性新兴产业大体集中在五大方面。

先进核能技术与核聚变前沿创新

在新型能源体系和新型电力系统框架下,核电主要承担基荷保障和灵活调节的双重功能。“十五五”时期,核电的发展主流是三代压水堆技术,而战略性新兴产业的重点则是以高温气冷堆为代表的第四代核电技术、小型模块化反应堆技术SMR、与可控核聚变相关的前沿创新业务。

其中,高温气冷堆以氦气代替水作为一回路循环介质,即便在极端事故工况下也不会发生堆芯融化,安全性强。该技术应用场景灵活,商业化前景广阔。2023年12月,中国华能山东石岛湾高温气冷堆核电站示范工程投入商业运行,成为全球首座商运的第四代核电站。“十五五”时期,这一技术路线不仅将在国内得到积极推进,且有望获得可观的国际市场。持续优化相关产业链环节的成本控制,稳定提升关键设备和高水平工程人才供给水平,是该技术方向亟需突破的环节。

小型模块化反应堆技术SMR是当前全球核电领域竞争最激烈的技术路线之一。该技术采用一体化设计和非能动安全系统、工厂预制的模块化设备,项目占地小、选址灵活,工程周期短,供电稳定性强,特别适合电网薄弱地区及数据中心、算力中心等场景。2025年12月,中国“玲龙一号”陆上商用小型模块化反应堆完成非核蒸汽启动测试,有望在今年成为全球首座实现商运的陆上SMR。目前该技术路线在经济可行性方面尚存较大困难,需要持续优化。

可控核聚变在“十五五”时期或成为技术突破较密集、产业发展空间最大的方向之一。目前美国已经实现可控核聚变实验装置的正能量输出,我国依托全超导托卡马克装置“东方超环”(EAST)、新一代托卡马克装置“中国环流三号”等装置并行推进,科研创新与工程建设“双轮驱动”。2025年5月,我国启动紧凑型聚变能实验装置(BEST)建设项目,预计2030年前后

实现演示发电。“十五五”将是我国可控核聚变突破关键技术、做好示范项目各项准备工作的攻坚阶段。持续强化基础研究创新,加快工程验证平台建设,是该领域的发展重点。

深远海风电与海上新能源基地建设

“十四五”时期,我国风电产业实现从“跟跑”到“并跑”“领跑”的跨越。面向“十五五”,风电产业的增量突破方向,将集中在深远海风电业务上。

深远海风电一般界定为离岸30公里以上、水深50米以上海域的风电集群,其风资源更优,发电出力更稳,对海岸线景观和渔业影响更小。从能源系统看,深远海风电提供了解决陆上风光资源与以沿海发达经济地区为主的用电负荷中心空间错位问题的新思路。从产业角度看,深远海风电的技术路线从近海风电的“固定桩基”转向“漂浮式基础”,发电机组功率更大,依赖柔性直流输电技术向外送出,将带动产业链上下游发展出五大新的细分增长点:一是漂浮式基础与浮式海工产业,主要由船舶、海工类企业横向延伸,我国已建成全球首条超大型海上风电浮式基础专业化生产线,适配15—25兆瓦超大型风机建设需求。二是深海系泊系统,拉动R5/R6级深海系泊链持续发展,带动特种冶金和深海疲劳验证等高端科技领域向纵深突破。三是柔性直流动态海缆及送出系统,驱动大长度耐压工艺和深海耐扭转设计技术持续创新。四是大容量漂浮式整机系统,推动海况耦合仿真、抗台风机型设计、浮体一体化建造能力向“无人区”突进。五是深远海工程施工与运维产业,涉及船舶、油气、海工类企业跨界参与深远海风电项目,从事设备安装调试、运维检测等工作。此外,深远海风电的产业带动效应还体现在与其他产业的融合延伸上。例如,与海洋牧场结合,既能够实现海域空间资源的立体复式利用,更有望带动风机基础与养殖网箱等融合技术和产业的创新发展,实现“海上发电、水下养鱼”“风电直供渔场、渔业反哺风电”,经济与生态双赢。同时还能带动人工智能、勘察设计、检测认证、海洋工程、现代物流、金融租赁等生产性服务业协同发展,成为我国海洋经济的重要组成部分。

但“十五五”深远海风电业务也面临三个关键问题:一是大功率海上机组的抗台风、耐盐雾腐蚀能力仍需持续提升,涉及基础海洋化学、材料科学的创新突破。二是柔性直流输电技术在深远海长距离送出方面的成本效益比仍待优化,规模化应用的

经济拐点尚未显现。三是相关体制性障碍有待清除。特别是深远海风电与海洋生态保护、航道规划、军事用海等多重海域功能之间协调不畅,行政审批流程复杂,周期冗长,亟需通过深化改革加以克服。

集中式清洁能源基地的多能互补升级

“十四五”时期,我国分别开工建设九大集中式清洁能源基地,同时分批次规划建设“沙戈荒”风光大基地。这些基地是推动中国成为全球最大新能源装机国家的“基本盘”,也是我国能源清洁转型的“生力军”。从能源系统的安全稳定运行而言,这些集中式能源基地以水、风、光为主,存在发电间接性和波动性等天然缺陷,对电力系统安全稳定运行造成不可忽视的冲击。同时,以某一类或几类能源为主的发电结构也使得集中式能源基地无法实现不同能源品种在时空尺度上的有机互补,拉低整体资源利用效率,并影响其经济性。

“十五五”时期,解决这一问题的关键,是推动单一集中式清洁能源基地向多能互补能源基地升级转型。技术上,因地制宜推动集中式能源基地内和符合经济距离要求的临近基地间协调布局“风光水火储”多品类组合业务,通过水、火等传统基荷电源的灵活性可调节出力平抑风光的间歇性波动,同时以多元储能进一步填补短时功率缺口,实现多层次能源品种的协同互补。系统上,根据不同能源品类的出力特性创新调度算法,建立实时监测与协调系统,增强多能互补场景下的弹性调度能力。此外,还需深化体制机制改革,推动“水火风光核”等项目规划与建设协同发展,确立与各类能源在新型能源体系中的角色地位相匹配、充分满足其成本收益可持续发展的要求的价格体系,完善各类能源市场化交易机制,避免可能存在的“搭便车”问题,确保“立”与“破”有机统一。

通过科学设计、技术创新和制度优化,集中式清洁能源基地将升级为多能互补基地、转型为新型电力系统可靠运行的“压舱石”和“稳定器”。在电源侧即实现相当程度的自平衡,降低对电网侧调节资源的依赖程度,并在一定程度上缓解能源清洁转型进程中电力电网系统所面临的高比例风光资源接入和高比例电力电子元器件部署的冲击,进而推动我国电力系统实现稳安重构。

煤电清洁转型和灵活性改造

当前,我国煤电正经历深刻的历史性角色转变。从新型电力系统的运行机理

看,在未来相当长的一段时间内,煤电仍是不可或缺的组成部分。“十五五”时期,现役煤电机组的主要任务是继续通过“三改联动”,实现从基荷电源向支撑调节性电源转变,为间歇性和波动性显著的可再生能源提供兜底保障和快速调节能力,进一步凸显其“压舱石”作用。

从具体技术路径看,煤电清洁灵活改造涉及至少五个细分方向:一是脱硝系统改造,依靠宽负荷脱硝技术满足机组超低负荷下的氮氧化物排放要求。二是低压缸零出力或微出力改造,满足供热工况下机组的深度调峰需求。三是控制逻辑优化改造,满足超低负荷下机组协调运行及快速升降负荷需求。四是锅炉燃烧系统改造,保证机组在超低负荷下的稳定燃烧。五是复合型改造,即综合采用三种以上前述技术实行组合式改造。我国目前已经攻克涵盖高效清洁、灵活调节与智能运行的新一代煤电升级改造技术,大型煤电机组深度调峰技术成果也于2025年底通过权威鉴定。“十五五”时期,这些技术和装备将得到进一步发展应用。

但制约煤电成功转型的体制机制性因素,远比技术本身更为复杂。一是地区间差异显著,各地煤电改造需结合机组年龄、规模、经济性等情况因地制宜,稳妥推进,不可“一刀切”。二是改造后的煤电机组发电小时数进一步下降,发电收益或持续萎缩,煤电企业可能滑入“改造越多、亏损越大”的陷阱。三是电力市场价格机制不完善,容量补偿、辅助服务市场建设尚处于起步阶段,煤电提供系统调节服务的价值难以得到充分反映,无法激励相关企业主动完成升级改造。如何建立合理的成本疏导和价格补偿机制,是关乎煤电转型成功与否的关键。

