

行业洞察

# 算好全球合作降碳的责任与机遇账

■ 鲁刚 闫晓卿

当前,新冠肺炎疫情仍在肆虐,通胀压力持续上涨,产业链断裂和重构前景不明。在此背景下,《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方会议(COP26)通过多方协调达成了《格拉斯哥气候公约》,再次重申了《巴黎协定》的温控目标,同时中美共同发布了《中美关于在21世纪20年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》。由此可见,围绕降碳的竞合在全球政治经济格局重塑中的重要性正全面提升。

着眼于此,我国推进碳达峰、碳中和既要坚持发展权公平与安全降碳,走符合国情、能情的降碳道路,也要秉持人类命运共同体理念,积极推动各方共同释放碳中和的巨大合作潜力。

## 推动厘清“共同但有区别的责任”账

“南北合作”是应对气候变化的重要方式之一,以我国为代表的发展中国家应坚持“共同但有区别的责任”原则,厘清碳排放的历史责任公平和发展权公平等问题,保障本国合理的发展权。

目前我国人均碳排放与欧盟、日本接近,但人均历史累积碳排放远低于欧美等发达国家。近十年我国经济保持快速增长,随之而来的碳排放增长不可避免,年均增速约1.9%。同时,由于主要发达国家制造业外迁,碳排放总量均进入下降区间,过去十年年均降幅为0.7-3.4%。相关测算表明,2019年,中、美、欧盟、日本人均化石能源利用产生的二氧化碳排放分别为7吨、15吨、6.4吨、8.8吨,我国人均碳排放低于美国,和日本、欧盟基本相当。但从人均历史累积碳排放来看,从1965年算起,我国人均累积化石能源利用产生的二氧化碳排放量约147吨,仅为美国的1/6,欧盟和日本的1/3左右,碳排放的历史责任公平问题突出。

我国在全球产业链和供应链中始终处于关键位置,对外贸易规模和结构导致超大规模隐含能源净出口,碳排放随国际贸易进行了“隐形转移”,部分发展中国家也有类似问题。相关测算显示,上述隐含能源净出口约占我国能源消费总量的20-30%,若扣除此部分,2019年我国二氧化碳排放量将由96.6亿吨下降到67.6-77.3亿吨,人均二氧化碳排放量将由7吨下降到4.9-5.6吨。

## 我国碳减排难度大、等量碳排放承载发展空间小

统筹发展、减排和安全,要求我国必须立足发展实际,坚持先立后破,合理调控化石能源退出和新能源替代进程,这需要建设具有中国特色的对外能源话语体系,传播好中国声音,促使国际社会客观认识到等量降碳中国的压力更大、等量碳排放中国的发展空间更小的现实,要提供积极支持。

与主要发达国家自然碳达峰相比,我国主动实现碳达峰面临的降碳挑战更大。目前我国仍处于工业化进程中后期,第二产业单位增加值能耗较高,经济发展带来的碳排放增长不可

避免。而主要发达国家已走过高能耗、高碳排放的工业化阶段,现处于以第三产业为主的后工业化时期,能源消耗与碳排放低。以美国为代表的发达国家第三产业比重达70-80%左右,比我国高20-30个百分点,即使同为新兴国家的墨西哥、俄罗斯、巴西、南非,其第三产业也普遍高于我国10个百分点以上。

从资源禀赋来看,我国以煤炭为主的能源结构降碳挑战更大,承载的发展空间更小。各国均面临化石能源大强度替代带来的电力供应安全风险与成本上升等挑战,但由于我

国“富煤贫油少气”的资源禀赋,降碳难度更大。从燃烧综合热效率与单位热值碳排放来看,与石油85%、天然气90%相比,煤炭综合热效率约60%;作为碳氢化合物,石油单位热值碳排放是煤炭的70%,天然气单位热值碳排放是煤炭的50%。这意味着满足同等规模的能源需求,消耗的煤炭与排放的二氧化碳远高于石油、天然气,增加了碳中和的挑战。同时,这也意味着在同样的碳预算分配空间下,我国环境所能承载的经济发展空间小于油气资源丰富国家。

## 碳中和全球化合作潜力大

能源开发利用、煤电能耗和污染物排放控制,电网安全高效运行等领域的技术水平处于世界前列。

发挥我国超大规模统一市场的优势,在低碳产业培育、商业模式创新、绿色金融合作等方面积极为全球搭建合作平台。科技、产业和超大规模统一市场的有效结合是我国的突出优势之一,可为低碳技术成本快速下降和产业升级加速成型创造条件。同时,各国重视低碳经济和数字化赋能,着眼于“大云物移智链”等新技术在能源电力领域的跨界融合、应用场景挖掘和商业模式创新培育,而我国拥有海量的能源生产、消费数据,数字化优势突出。应以此为契机,培育壮大绿色金融全球合作,发挥好乘数效应。

秉持人类命运共同体理念,我国应着力推动内需市场和产能等向话语优势延伸,坚持保障合理的发展权,促进碳中和多边合作,推动构建绿色低碳全球能源治理格局。我国是全球最大的能源生产国和消费国,要抓住与各方的利益契合点,积极融入主要国际组织,提升议题设置和应对能力。同时,更加重视“软实力”提升,通过全球领导人气候峰会、“一带一路”国际合作高峰论坛和亚洲基础设施投资银行(AIIB)等平台,主动参与构建以我国为主导的地区和全球多边协调组织,更加重视能源电力技术标准、碳交易规则、纠纷解决机制等碳中和公共产品的供给。

(作者均供职于国网能源研究院有限公司)

数字电网

# 如何精准刻画新型电力系统?

■ 黄文琦 孙凌云 吴飞

电力系统是现代最重要、最庞大、最复杂的人造系统之一,它将风、光、水、煤、核、石油和生物质能等一次能源转换为便于使用的电能,支撑人类生产生活用能需求。长期以来,电力系统的运行规律可视为构建在一系列物理机理的基础上,即采用微分代数方程组等函数将一种物质转换为另外一种物质并进行优化传输,这是一种知识的函数表达和映射过程。

随着全球进入数字化时代,以及构建新型电力系统的要求,传统的知识函数表达和映射难以精准、充分刻画电力系统运行的复杂规律。近几年,基于数据驱动的机器学习方法在电力系统运营维护中发挥了一定作用,但也存在局限,缺乏数据驱动和知识引导相结合的人工智能模型,致使难以利用电力系统知识增强机器的学习能力。因此,需构建电力系统多重知识表达体系,刻画不同侧面属性及其关联,有机协调“知识指导的演绎”“数据驱动和知识引导相结合的归纳”“物理建模的规划”等理论模型和方法,建立从数据到知识、决策的电力系统学习模型,保障电力系统安全、可靠、绿色、高效、智能运行。

### 传统的知识表达难以满足新型电力系统分析、调控等要求

随着以新能源为主体的新型电力系统加快构建,大规模新能源并网和电力市场开放后,电力系统形态将发生变化,电力网络、信息网络和社会网络间的耦合关联性将显著增强,同时呈现非线性、强随机、快时变的复杂巨系统特点。在这种情况下,单纯的离线建模和仿真难以满足复杂电网实时运行分析与精准前瞻调控的要求,同时直接运用传统的调控模型与算法体系也面临电力系统海量资源的分散分离和构成耦合及最优快速决策等挑战。

因此,构建新型电力系统在源、网、荷、储等环节均面临一些亟需解决的问题。其中,在源侧,需提供更灵活的接入技术和接

口方法,保障高比例新能源消纳;在网侧,需建设更快速的计算能力和调控手段,适应电力系统高比例电力电子化趋势;在负荷侧,需挖掘更柔性的互动技术和沟通渠道,充分调动需求侧参与电力系统调节的积极性;在储侧,需实现更高效的动态平衡和优化调剂,提高电力系统稳定控制水平。

面对上述挑战,融合多重知识表达的电网数字电网可提供核心的技术路径,并进一步发挥电网资源配置平台和电碳经济服务平台的作用。

### 数字电网的数据量测、智能算法及算力等助建新型电力系统

数字电网支撑构建新型电力系统的作用主要体现在以下方面:

**数据及其量测。**在万物互联时代,无数据不决策、无数据不运营,充分进行数据采集和处理,是保障大规模新能源并网和消纳的基本条件。也就是说,数据成为确保电力系统可观、可测、可控的首要因素,也是电网指挥体系和决策中枢的关键组成。

因此,新型电力系统全面可观必须建立在充足和有效的量测基础上,而数字电网具备广泛的数据获取和处理能力,通过海量传感器可以准确掌握电力系统的物理结构,洞悉各组成单元及整体的性能、运行方式、实时状态、运行效率、健康状态和环保水平。

**智能算法及算力的综合应用。**面向特定领域的智能算法与异构算力的有机融合,是电网适应新形态和满足规划、运行、管理新要求的重要手段。

相比传统的电力系统,新型电力系统的动态行为更加复杂,对计算的准确性和快速性要求更高。其中,以新能源为主体意味着双高(高比例新能源、高电力电子设备)特点明显,由于状态改变时序短、序列信号频段分布广、影响动态过程变量混杂,用传统的以固定参数为核心的静态模型进行描述和求解较困难。因此,需建立适应大规模、强随机性系统的高性能仿真计算能力。

同时,新型电力系统节点规模和可控变量的数量急剧增大,对仿真计算的规模化能力要求更高。因此,需总结梳理电力系统仿真方法,应用大数据、人工智能等新技术,寻求适应电力系统新形态下的有效、准确的计算理论、方法。

**快速协同。**新型电力系统对快速协同能力提出了更高要求,随着电网上下游主体互动加强,电网管理内容和形式将发生变化。因此,需把握数据主线,通过提升数字化运营系统的灵活性和开放性,实现规划建设、物资供应、安全生产、资产财务等全链条感知和全面贯通,提升业务效率,促进管理变革。

目前,数字电网已具备海量多源数据获取的能力和量测体系等基础。近几年,数字电网建设基于数据,运用神经网络等数据驱动算法工具,并通过算法和应用创新实现对新型电力系统的初步探索,并在一些点上取得进展。但是,电力系统运行规律难以依靠单纯的数据驱动方法进行描述或解释,同时拥有数据、算力、算法的人工智能模型也难以支撑科学决策,迫切需要领域知识进行指引。

在常年观测、归纳和演绎的基础上,电力行业积累了丰富的经验、规则和知识,能够描述电力基础设施外形结构、系统电气量状态变化、拓扑连接关系等。可将这些知识融入人工智能算法模型,形成数据驱动、知识引导和物理建模的新型智能算法,并用知识表达来刻画数据蕴含的规律,进而形成人机协同模式。

### 数字电网知识表达包括形象、函数、语言、深度神经网络

如前所述,新型电力系统的高维、动态、不确定性给电网安全稳定运行带来了巨大挑战,传统方法难以精准、完整刻画和实时掌控,而数字电网的多重知识表达能实现新型电力系统可观、可测、可控。

通过数字电网的多重知识表达,可提取物理电网的特征规律,精准描述物理电网的设备形态、系统运行的发展趋势及人、

物的关联关系,实现对物理电网最优的决策控制。具体而言,可在中国工程院院士潘云鹤提出的AI 2.0知识三种表达(知识的形象表达、知识的言语表达、知识的深度神经网络表达)的基础上,面向数字电网支撑的新型电力系统进行具象化丰富。因此,新型电力系统多重知识表达主要涵盖以下内容:

**数字电网知识的形象表达。**电力系统拥有源、网、荷、储等多个环节庞大的基础设施,可对电力基础设施和设备部件进行三维数字化描述,再利用电网场景分布的海量多源、多模态感知数据(包括视觉、电气量、非电气量等数据),实现传感器在电网场景的时空刻画,支撑数字电网智能化展示、呈现、引导和互动,推动构建新型电力系统。

**数字电网知识的函数表达。**传统电力系统的物理机理分析需要完备的数学理论体系验证与表达,即严密的物理建模手段,如基于发电、负荷、参数等信息进行电力系统的稳态和暂态计算、安全校核、稳定性分析及电力市场建设等。

**数字电网知识的语言表达。**电力系统运行的规范、标准、步骤等业务逻辑需要语

言文字及建立在其上的知识图谱进行表达,如电力行业的政策要求、电力系统的调度规程、电网设备的运维手册、电力营销的业务流程等。

**数字电网知识的深度神经网络表达。**针对电力系统随机性高、场景复杂、物理机理难以描述等问题,需要通过数据驱动训练学习得到的深度神经网络权重和链接线路进行表达,如新能源出力预测、设备缺陷识别等。

其中,数字电网知识的形象表达主要应用于描述物理电网的设备形态;数字电网知识的函数表达主要应用于描述电力系统电气量、非电气量等数据时序变化的物理规律;数字电网知识的语言表达主要应用于描述电力系统人、机、物的关联关系;数字电网知识的深度神经网络表达是一种有效的数据驱动工具,对上述三类应用实现补充和支撑,进而形成数据驱动、知识引导和物理建模相统一的人工智能模型。

(黄文琦系南网数字电网研究院人工智能与智能软件团队负责人;孙凌云系浙江大学计算机学院副院长;吴飞系浙江大学计算机学院教授)

