

## 数字电网

## 以数字电网助推能源技术革命与能源结构转型

■王成山

## 开栏语

在碳达峰、碳中和目标下，“十四五”期间我国电力系统将向高比例新能源接入、高比例电力电子设备接入，以及骨干电网与区域电网、局域网、微网协调发展的可持续综合能源电力发展模式转型。这意味着电力系统的核心——电网不仅要有“量”的增加，还要有“质”的变革。为此，作为关系国家能源安全和国民经济命脉的国有重点骨干企业，南方电网公司加快应用大云物移智链等新技术，推动传统电网数字化转型，加快构建以新能源为主体的新型电力系统，服务能源转型发展。

从本期开始，观察版开设“数字电网”栏目，集纳、刊登业内专家学者的建设性观点、见解，共同探讨数字电网如何更好地融入、推动新型电力系统建设，以飨读者。

对碳达峰、碳中和行动计划作出重要承诺，既彰显了我国主动承担国际责任的坚定决心，也提出了党和国家对我国能源体系转型的迫切要求。

电力是我国碳排放占比最大的单一行业，电力系统转型对实现我国双碳目标至关重要。中央财经委员会第九次会议指出，“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，要构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。进一步强调了电力系统在能源体系转型中的关键地位和重要作用。

全面落实党和国家的重大战略部署，通过新型电力系统建设助推我国能源技术和能源结构转型发展，已成为现阶段我国电力领域的重点任务。2019年，南方电网公司提出数字电网建设的战略部署，将数字电网定义为“以云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、区块链等新一代数字技术为核心驱动力，以数据为关键生产要素，以现代电力能源网络与新一代信息网络为基础，通过数字技术与能源企业业务、管理深度融合，不断提高数字化、网络化、智能化水平，而形成的新型能源生态系统”。该公司将数字电网作为下一阶段电网重点发展的新形态和新目标，利用先进数字技术提升电网灵活性、开放性、交互性等，使电网运行更加安全、可靠、绿色、高效和智能。

从技术特征来看，数字电网将充分利用小微传感、边缘计算、电力物联网、大数据挖掘等技术手段，构建具备云-边协同、海量数据处理、数据驱动分析、高度智能化决策等能力的电网平台。海量数据与广泛连接是数字电网的最基本特征，这构成了数字空间对物理系统感知和认识的基础；数据驱动是数字电网价值发挥的关键，使其能够不完全依赖电网模型，完成从“数据”到“知识”的提

炼和升华；跨域智能是数字电网的高级目标，能够透过数据关系发现电网整体的运行规律，推动电网智能运行。

## 数字电网将促进电力能源技术与先进数字化技术有机融合

由于上述特征，数字电网能够作为支撑我国新型能源体系建设的重要途径，具体表现在以下方面：

数字电网将给传统电力系统的理论技术体系与研究方法带来基础性变革。海量数据与广泛连接将使数字电网具有显著的信息物理融合特征，在数字空间中能够深层次呈现物理电网的复杂状态和行为，各种先进物理装备则赋予了电网更加强大的“软件定义”能力。这从根本上突破了传统电网的理论与技术基础，推动了对数字技术与电网深度融合后的基础理论创新和前沿方法探索。

同时，传统电力系统建立在经典机电理论和数学模型基础上，而新能源、电力电子设备大量接入后的数字电网具有明显的弱惯性特点，这些问题是传统电网中未曾考虑的，也是传统电力技术难以解决的。在关注复杂系统机理模型构建的同时，还要将侧重点转移到数据同步、挖掘和利用上来。

数字电网将给传统电网技术架构与技术模式带来颠覆性变化。数字化技术的全面应用将打破传统电网业务壁垒，加速电网技术体系融合。相较而言，传统电力系统的技术体系大多面向特定业务功能，各功能之间相互独立、信息割裂、协调困难。而在数字电网中，系统面临的不确定性将显著增加，新能源广泛接入、信息与能源深度耦合、用户差异化用能行为和能源需求等形成了海量主体、多时空尺度、超大规模的复杂系统问题。在数字空间中，既要满足复杂要素的关联分析，又要支撑多元业务的

有效协同，需要更加重视对全域数据网络与知识网络的系统性构建。

数字电网将全面构筑基于先进信息化与数字化技术的关键技术体系。先进传感测量是实现物理电网数字化的基础，是将物理过程转化为数字信号的电网“神经末梢”；边缘计算为数字电网的海量数据提供了针对性的利用方案，将实现灵活、高效的感知与控制，构成了数字电网的“低位神经中枢”；先进通信网络是支撑电网数据和信息在海量传感装置、智能终端、云-边平台等之间双向流动的必然保障，构成了数字电网的“神经通路”；数字平台是具备云资源存储、大数据处理、数据驱动分析等能力的强大硬件和软件平台，是数字电网核心功能与智能的实现基础；人工智能将支撑数字电网跨域智慧能力的构建，是数字电网的高级发展目标，构成了数字电网的“高位神经中枢”。这些先进技术的应用不仅将全面支撑数字电网关键技术体系构建，还可为数字化能源系统转型发展提供宝贵的技术范本。

## 数字电网将为我国能源结构转型提供坚实的物理基础

在能源生产环节，数字电网将显著提升新能源发电的可见、可控能力和消纳利用水平。多模态的传感测量数据将有效拓展传统运行监测的功能与性能，使电网具备对新能源的全面感知能力，满足新能源发电实时状态监测、精准功率预测等需求；边缘计算、物联网等技术将支撑电网形成对新能源更加完备的掌控能力，实现自动功率控制、快速频率响应，保证新能源“友好接入”；依托大数据、云计算、人工智能等技术，电网将具备对新能源更加智能的调度决策能力，支撑海量新能源发电设备作为主力电源参与电力系统调控，为清洁低碳的电能

生产奠定技术基础。

在能源供给环节，泛布全网的传感终端将显著提升电网透明化水平，全域覆盖的信息通信网络将支撑海量物联终端形成广泛连接，支撑实现系统层面电网状态、设备状态、管理状态的全景透明。以此为基础，通过系统层面的智能化协调调度，将大幅提升电力系统发、输、变、配、用各环节的运行效率，支撑新能源充分消纳和高效利用；通过基于电网全域数据的分析和智能诊断，能够及时发现电网薄弱环节和运行风险，提供具有前瞻性的态势判断和运行决策，保障高比例新能源接入后的系统运行安全；依托数字电网拓展的价值服务体系，可促进电网与上下游产业和用户的灵活互动，推动形成数字电网支撑下的智慧能源价值外延，有助于构建更高效、更绿色、更经济的新能源生态。

在能源消费环节，数字电网将构建起更加灵活和柔性的用户能源供给平台。既能有效满足用户清洁化、个性化、便捷化的能源需求，还能支撑更富针对性的能源服务策略以及能源交易、能效管理等增值服务，促进分布式电源、电动汽车、电能替代、供需互动等新型能源服务发展，支撑用户侧能源消费体验与利用效率的大幅提升。

总体来看，数字电网是我国能源技术革命与能源结构转型中的“先导者”与“生力军”，其建设既是当前我国经济社会发展的迫切需求，也是在能源领域落实数字中国重大战略的关键举措。以数字电网的建设为契机，全面贯彻数字能源新发展理念，促进我国能源产业转型升级，推动能源产业变革，对碳达峰碳中和、建设美丽中国、构建清洁低碳安全高效的新型能源体系均具有重要意义。

(作者系天津大学教授、智能电网教育部重点实验室主任)

## 行业前沿

## 综合能源服务需要系统性商业模式创新

■吴潇雨 代红才

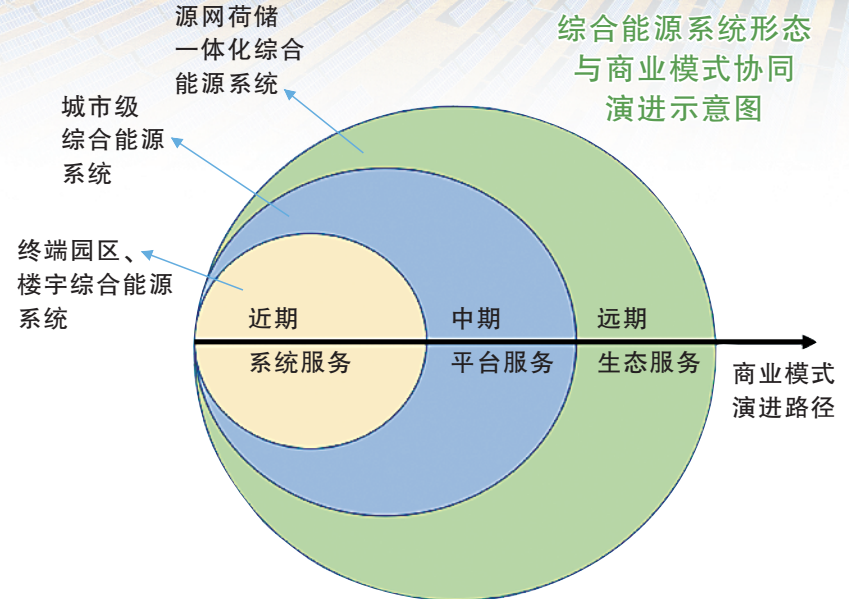


综合能源系统发展需要创新能源发展模式，特别是创新商业模式。当前，综合能源系统发展模式还存在以下问题：从产业链条来看，综合能源系统具备长产业链、强专业化特征，绝大部分服务尚难以具备全链

条服务能力以支撑综合能源系统的构建；从投资运营来看，综合能源系统重资产驱动的产业特征制约了大量轻资产能源服务商参与；从数字化程度来看，能源流与信息流未实现深度融合并产生价值，依托数字

技术激发的模式创新路径还不明晰。

未来，随着能源信息技术进步、体制机制壁垒破除及市场机制完善，综合能源商业模式创新发展将经历从系统服务到平台服务再到生态服务三个阶段。



## 系统服务阶段重在打造集成式、一体化解决方案

近期聚焦系统服务，推动服务模式从专注单一环节、单一领域向提供全环节、全周期一站式系统服务转变。这一阶段商业模式发展关键在于针对项目投资-建设-运营全生命周期中的模式创新问题给出系统性解决方案，支撑终端用户侧综合能源系统构建，商业模式创新主要体现在服务形态、组织形式、运作方式三方面：

服务形态上，单体式向集成式发展。单体模式专注于在细分领域提供单一的解决方案，如分布式光伏、余热压利用等，无法支撑构建综合能源系统这一涉及多环节、长产业链的复杂系统，因此需要向集成模式发展。主要有存量市场轻资产集成

式和增量市场重资产集成式两种典型模式，其中，存量市场主要基于现有能源系统，重在运营管理集成，如配置智慧能源管控系统，实现协调优化运营；增量市场主要是打破行业壁垒，重在规划设计、投资建设、运营管理各环节集成。

组织形式上，从相对独立向分工协作发展。在体制机制壁垒、技术环节壁垒无法破除的阶段，混合所有制是实现分工协作的核心模式，有助于汇聚各方优势力量，加快项目落地。通过联合行业龙头企业、金融机构、业主方等，以项目公司为主要载体，面向投资风险大、技术复杂度高的综合能源项目开展合作，采用“资产所有多元化+

运营维护专业化”方式，实现多方共赢。

运作方式上，从关注短周期投资建设(BT/BOT)趋向于全生命周期的投资建设运营(BOO)。综合能源项目的BT模式或BOT模式均是以投资为核心并关注投资收益，到期需要移交资产。然而，这种赚取投资收益的模式并不适合综合能源系统长远发展。从用户角度来看，面对这一涉及电热冷气的复杂物理系统，其本身因专业知识所难以实现全环节的运营维护。从能源服务商角度来看，以合同能源管理模式提供贯穿投资建设运用全生命周期的服务能够持续获得运营收入，同时增强用户粘性。

## 平台服务阶段重在提供通用化、标准化服务

中期聚焦平台服务，以平台实现更大范围的资源汇聚、信息共享，提供通用化、标准化服务。在项目服务发展到一定程度后，随项目散点分布的综合能源系统将形成一个个离散的数据、价值、资源孤岛。在这一阶段，随着互联网技术发展和平台模式兴起，通过数据链串联起这些孤岛并构建综合能源服务平台，实现信息、资源共享和优化，并与智慧城市平台等理念融合协同，将有力支撑城市级大区域综合能源

系统构建。该阶段商业模式将围绕平台重点开展模型算法、运维金融、交易撮合与征信三类通用化、标准化服务：

模型算法服务。通过对海量综合能源系统项目的数据沉淀和特征挖掘，形成强大的资源库，进一步提供平台操作系统，支撑以综合能源系统相关软件研发为主的企业开发相关模型算法，如综合能源系统规划软件、运行优化算法、能量管理算法等。

运维金融服务。通过平台汇聚运维、金融等相关资源，为大量聚焦细分领域、具有专业技术优势的企业提供项目落地支撑，推动产业链上下游协同发展。

交易撮合和征信服务。通过数据和信息资源储备挖掘实现智能推送、信用评级等服务。让客户结合服务商信用评级等显性化指标，全面了解服务商服务能力。让服务商对客户支付能力等有整体了解，能够放心开展合同能源管理等长期服务。

## 生态服务阶段重在实现广泛价值创造

远期聚焦生态服务，构建以平台为基础设施和底层规则的生态系统，形成综合能源产业协同网络。在平台服务发展到一定阶段后，随着数据、方案沉淀的规模、量级逐步上升，以及线上+线下服务体系成熟，平台已成为底层规则的基础载体。同时，体制、行业、市场壁垒在这一阶段已基本破除，综合能源系统商业模式进入生态服务阶段，即各方主体无障碍高效对接，新兴商业模式交替涌现，将有力支撑贯通源-网-荷-储全环节的综合能源系统构建。

以云平台、大数据、微服务为代表的知识型服务。随着业务场景增加及服务商和用户需求多元化，市场对云平台、大数据、微

服务的需求将日益增长。知识服务生态通过开发“平台即服务”(PaaS)平台，提供APP开发环境、组件化的应用程序接口、建模引擎等服务，支持各类市场主体开发和共享APP，实现知识复用。典型业务场景包括APP商店服务、开源社区服务等。

市场机制完善催生多能源市场交易服务。随着多能源品种统一的市场交易机制完善，多种能源之间缺乏价值转换媒介和机制的问题将得以改善，跨品种能源的分布式交易、现货交易、用能权交易、碳排放权交易等服务形式相继涌现，支撑综合能源系统运营主体通过参与市场交易拓展收益渠道。

(作者供职于国网能源研究院有限公司)