

# 能-碳-数视角下的新型电力系统与新型能源体系关系



## ■ 碳视角——新型电力系统是新型能源体系节能减排、低碳发展的关键抓手

电力低碳化支撑非化石能源发展。新型电力系统具备高效消纳和调控非化石能源的能力,构建新型电力系统有利于加快能源生产环节的清洁代替,推动风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等开发,推动水电绿色发展,促进核电安全有序发展,推动生物质能合理利用,加快推进抽水蓄能和新型储能规模化应用,统筹推进氢能“制储输用”全链条发展,实现能源供给清洁化。

电力低碳化支撑能源消费清洁化。在电力低碳化带动下,新能源可靠支撑能力提升,逐步替代传统化石能源;煤电逐步向保障性、调节性电源转变,现役煤电机组节能升级和灵活性改造加快,推动煤炭消费减量步伐加速。在终端能源消费领域,通过电能的清洁和成本优势推动电气化率提升,替代散烧煤、燃油的能源消费方式;在无法电气化的领域,利用电解制取的绿氢和生物质燃料实现重载交通、部分航空航运和化工行业的零碳排放。

电力低碳化带动绿色低碳技术发展。电力系统低碳化发展带动新能源、化石能源高效利用、碳捕集与封存等低碳技术的创新突破和规模化应用。在能源生产环节,因能源供应安全、系统灵活调节需求等因素保留下来的化石能源,可通过碳捕集与封存技术来除碳;在能源消费环节,因生产工艺、原材料要求、动力需求等因素而无法开展电能、氢能替代的领域,可利用碳捕集来实现零碳排放。

电力低碳化带动节能增效服务发展。随着电力市场和绿电、绿证等市场机制的逐步完善,市场化电价形成机制也将逐步建立并完善,终端用户对用能品种、用能时段、能源效率、绿色属性等更为敏感,节能增效服务需求将增加,带动节能环保、清洁生产、清洁能源、生态环境、基础设施绿色升级等产业发展壮大,促进节能诊断、节能改造设计、能源托管、负荷聚合等新业态、新模式发展,推动提升新建能效水平。

## ■ 数字化视角——新型电力系统是新型能源体系数字化转型的重要引擎

电力数字化支撑多能协同互补。多能协同的前提是充分掌握不同能源品类的运行状态和调节特性,利

用电力系统中的微型传感器和物联网,可实现多种能源设备的实时运行数据采集,实现涵盖电、热、冷、气等多种能源综合建模分析、在线状态估计和能流分析,充分发挥不同能源品种的特点并实现优势互补,提升能源综合利用效率。

电力数字化支撑实现能源产供储销互动。在生产环节,集中式与分布式并举是当前能源发展的基本原则,数字化后的电力系统将在风光水火互济中发挥重要作用。在消费环节,运用数字技术提升对各类用能资源的时空调节能力尤为关键。在运输环节,需要数字技术提升感知、监测和控制能力。对于系统整体,产供协调、产销互动等多种交互方式需要通过数字化和市场化的有机结合加以解决。

电力数字化支撑实现多网融合互联。各类能源网络、交通网(车联网)、工业互联网等的融合需要以数据为纽带。微型传感、智能终端可为新型能源体系提供灵活、便捷、准确、高效的边缘感知和控制能力,形成覆盖多网融合互联的神经网络。电力物联网为新型能源体系超大规模信息接入和采集提供信息汇聚平台,为多网融合互联提供基础。

电力数字化支撑用能需求智控。未来传统能源比重逐步下降,而储能只能作为短时间尺度调节手段,系统的调节能力将难以满足负荷侧的刚性需求,必然对需求侧的灵活调节提出要求,包括在各种时间尺度的调节。利用先进的数字互联技术,搭建平台聚合储能系统、可控负荷、电动汽车、分布式新能源等不同类型的柔性资源参与系统调节,可实现经济用能、绿色用能、柔性用能。

电力数字化支撑能源碳排放统计核算。依托电力行业与能源活动、经济生产消费之间的关联性,构建电-能-碳分析模型,发挥电力大数据实时性强、准确度高、分辨率高和采集范围广等优势,可实现碳排放精准分析与动态监测,支撑能源领域全尺度范围的碳排放统计核算。

(作者均供职于南方电网能源发展研究院有限责任公司)



## ■ 雷成 梁宇 聂金峰 刘平 韩明宇

近日召开的中央全面深化改革委员会第二次会议强调,要立足我国生态文明建设已进入以降碳为重点战略方向的关键时期,完善能源消耗总量和强度调控,逐步转向碳排放总量和强度双控制度;要深化电力体制改革,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,更好推动能源生产和消费革命,保障国家能源安全。面向“双碳”目标,新型能源体系与新型电力系统,融入绿色低碳的核心动因与数字化转型的关键途径,形成能-碳-数协同发展模式。科学把握新型能源体系与新型电力系统在能量、碳排放、数字化方面的内在关系,对于推动能源革命、落实“双碳”战略、融入数字中国具有重要意义。

## ■ 能量视角——新型电力系统是新型能源体系优化配置资源的枢纽平台

电力是可再生能源最为便捷高效的利用方式。为有效应对全球气候变化、实现能源可持续发展,可再生能源将逐步成为未来主要的一次能源。风、光等可再生能源能量密度低、资源分散,具有波动性和间歇性,转

化为高品质的电能是其最为便捷高效的利用方式。电力在未来清洁低碳能源体系中的占比将大幅提升。

电力是最重要的能源消费方式。经济平稳向好叠加人民生活水平持续提升,为电力需求增长提供强劲动力。同时,随着电气化进程加快,工业、建筑、交通三大领域终端用能电气化水平将大幅提升。此外,电制氢技术及产业发展,可进一步新增用电潜力,推动电力需求持续稳步增长。

电力是多能互补能源系统的核心。热、电等多种能源的互补运行,将为能源系统提供更多的灵活性和更高的利用效率。电网统筹电、热、冷、气、氢等用能需求,发挥风能、太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势,提高能源综合利用效率,是多能互补能源系统的核心。

电力是引领能源资源优化配置的枢纽。我国东中部和南方地区用电需求约占70%,是耗能中心区域,但70%的水力资源集中在四川、云南、西藏等西南地区,80%以上的陆上风能和太阳能资源分布在西部北部地区,经济和能源存在逆向分布。电力通过安全可靠的特高压输电线路连接西南水电基地、西部北部新能源基地和东中南部负荷中心,推动送受端协调发展,提升能源资源优化配置能力,发挥核心枢纽作用,预计到2025年,西电东送能力将达到3.6亿千瓦以上。

# 新型电力市场亟需建立多元协同风控机制

## ■ 陈皓勇 肖东亮

随着新型电力系统建设和电力体制改革的持续推进,我国能源清洁低碳转型和电力市场建设都取得了显著进展;但与此同时,新能源占比逐渐提高的新型电力市场也面临着电价、新能源出力、极端天气事件、交易主体策略性行为、市场政策调整、线路设备故障等多重随机性因素的叠加影响,各市场主体面对的风险水平持续攀升,电力市场风险评估与风险控制的挑战日趋复杂严峻。2023年2月24日,中国电机工程学会新型电力系统风险控制与安全保障专业委员会成立大会暨首届工作会议在京召开,其中涉及到的电能供应安全、极端事件与弹性以及机制与政策方面的议题均与电力市场风险控制密切相关。针对含有高比例新能源的新型电力市场,如何建立有效的风险控制机制,帮助各类电力交易主体有效规避不同场景下的市场风险,保障电力市场的平稳运营,亟需进一步探讨。

当前,由于气候、政策、新能源、负荷等各类风险因素的交织耦合,电力市场的风险传导机理日趋复杂,各类电力市场风险事件也接连不断。这意味着,当前的风险控制机制仍需进一步探索或优化。2021年2月中旬,美国得克萨斯州经历了一次极端寒潮,用电需求攀升叠加风力发电和火力发电减少,造成约400万家庭在严寒中失去了电力供应,德州电力市场批发电价一度突破1万美元/兆瓦时,按当时汇率计算,约为65元/千瓦时。受此影响,得克萨斯州规模最大、建立时间最长的电力合作公司——布拉索斯电力合作公司,欠下了18亿美元的电力采购账单,并最终因无力偿债而递交了破产申请。2022年,由于疫情、俄乌冲突以及极端气候影响,全球能源与电力市场危机频现。由于俄罗斯输送的天然气量急剧下降,欧洲天然气价格飙升,

电力产能也进入紧张期并推高电价,电力现货市场均价一度超过300欧元/兆瓦时。当地时间2022年6月8日,欧盟委员会主席冯德莱恩在欧洲议会表示,电力市场需要进行重大改革,电力价格边际成本定价方法不符合实际。2023年5月1日20时至2日17时,我国山东电力实时市场出现连续21小时的负电价,刷新长周期现货试运行负电价时长纪录。这意味着,各类发电商在销售电力时不仅无法获得收入,反而要支付给用电侧费用以激励其消纳多余电力,这加大了发电侧主体面临的风险水平和风险防控难度,导致各类发电机组,尤其是新能源发电机组在电力市场中的整体收益下降甚至亏损。

综上所述,考虑到新型电力市场风险形成机理的复杂性与风险应对手段的多样性,有必要考虑不同的行业领域、电力资源类型和体制机制,建立多元协同的电力市场风险控制机制。具体来讲,市场电价、新能源发电量、电力负荷可能受到天气状况、发电机运行特性、市场政策等多重不确定因素的叠加影响。因此,需要全面考虑各类风险因子,充分利用各类技术与管理手段,实现更为有效的风险预判与风险控制。以美国德州寒潮导致的电力危机为例,如果可以实现对极端天气事件的准确预测,相关电价风险的评估将更加可靠。对于电力合作公司而言,可以有效防范现货电价飙升风险的重要手段包括积极参与电力期货交易进行套期保值,以及投资建设自备电厂、储能等灵活性资源向用户提供电力。在我国,尽管山东电力现货市场负电价持续的时间较长,但由于国内市场主体已将大部分电量价格通过中长期合同提前锁定,中长期交易总量远超实时市场中以负电价结算的电量,因此,负电价并未明显影响到实际的电力零售端,也并未产生显著的电力市场风险。

基于以上分析,为了保障新型电力市

场的平稳运行,可以尝试从跨越多行业领域、完善多价值定价、考虑多交易品种、整合多类型电力资源四个维度,建立多元协同的电力市场风险控制机制。

在行业领域层面,建议建立跨学科跨行业的协同风险控制机制。电力市场风险评估往往同时涉及气象学、电力系统、金融和法律等多个学科。这是因为,新能源发电量和市场电价这类天气敏感型因素均属于新型电力市场交易中的显著风险因子,而电力交易领域的投资组合优化与风险管理的理论基础则属于经典的金融投资理论。2022年,中国气象局先后印发《提升气候资源保护利用能力的指导意见》和《风能太阳能资源气象业务能力提升行动计划(2021—2025年)》,明确到2025年全面提升风能太阳能监测精密、预报精准、服务精细能力,这些措施可以为电力市场中新能源发电量风险的评估建立良好的信息基础。此外,在电力市场报价方面,电力交易员往往需要从金融领域的投资组合理论中汲取风险建模与风险管理知识。因此,在行业层面,电力企业可以与气象机构、金融机构密切合作,在信息和技术层面开展精细化的协同风险评估与协同风险控制。市场中的各类决策主体需要同时掌握电力领域、气象领域和金融领域的基础知识,以提升对于极端天气事件和电力市场价格的敏感度,进而帮助其在电力交易过程中更为及时、有效、全面地规避损失。此外,在电力体制改革过程中,电力企业的合规管理面临复杂的新形势和法律风险,需要和司法部门合作,提升依法合规管理水平。

在市场设计层面,建议建立多价值融合的新型电力市场定价机制。电价形成机制是电力市场建设的关键,因此,首先要尊重作为市场经济基本规律的价值规律。不合理的能源价格体系将扭曲不同种类能源产品之间的比价关系,难以

实现对不同种类能源的高效配置,无法保证能源结构优化及健康可持续发展。当前世界各国电力市场频繁出现负电价,为市场主体带来难以预测的风险,即为化石能源时代的电力市场定价机制无法适应新能源大规模接入的情形有关。电力市场是独一无二的人为设计的市场,在新能源大规模接入的背景下,电能除了容量价值、电量价值,还具有灵活性、安全性和弹性价值等多种不同价值,必须在价格上得到合理反应。新型电力市场定价机制的设计需要建立在对新型电力系统运行特性深入认识的基础上,并紧密结合相关经济学理论。

在交易机制层面,建议建立多交易品种组合的风险管理手段。电力市场设计者需要完善涵盖中长期市场、辅助服务市场、容量市场、灵活性资源市场等多交易品种的市场建设,在充分体现电能的多维价值、发挥不同电力资源功能作用的同时,为各类市场主体提供多样化的风险管理渠道。此外,面对当前剧烈波动的电力现货市场价格,电力市场成员迫切需要通过管理电价波动风险的金融工具,同时也希望能够掌握未来购售电价的变化范围,以合理安排购售电计划。电力金融产品即为具有这种风险管理功能的工具之一。中共中央、国务院于2015年3月15日发布的《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》中提出,条件成熟时,探索开展容量市场、电力期货和衍生品等交易,并探索在全国建立统一的电力期货、衍生品市场。2021年4月19日,广州期货交易所经中国证监会批准成立,并计划研发电力期货产品,帮助电力交易主体规避电价风险,促进粤港澳大湾区乃至全国的绿色金融发展。在以上背景下,结合我国电力市场实际情况,积极探索开发电力期货、电力期权等电力金融产品的设计和交易,可以进一步完善我国电力主体的风险管理体系。

在交易主体层面,建议建立多种电力资源互补的风险防控措施。为了应对风电、光伏等间歇性新能源出力的不确定性,各类交易主体需要充分利用水电、煤电、天然气、储能、需求响应等多种灵活性资源,协同参与电能量与辅助服务市场的交易,在保障电力市场供需稳定的同时,也可以从整体上实现多类型资源的联合成本疏导和风险管控。2022年5月,国家发改委、能源局联合印发《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》,鼓励煤电企业与新能源企业开展一体化、实质性联营,其本质也是通过煤电和新能源的优势互补与相互带动,充分发挥煤电促进可再生能源消纳的支撑调节作用,降低电力市场的风险水平。2023年5月19日,国家发改委发布《电力需求侧管理办法(征求意见稿)》,提出要支持各类电力需求侧管理服务机构整合优化可调节负荷、新型储能、分布式电源、电动汽车、空调负荷等需求侧资源,以负荷聚合商或虚拟电厂等形式参与需求响应,创新用电服务模式,培育用电服务新业态。其中,负荷聚合商和虚拟电厂可以通过整合多类型的电力资源,聚沙成塔,助力电力市场的高效协同风险防控。

7月11日,中央全面深化改革委员会第二次会议审议通过了《关于建设更高水平开放型经济新体制促进构建新发展格局的意见》。会议强调,要科学合理设计新型电力系统建设路径,在新能源安全可靠替代的基础上,有计划分步骤逐步降低传统能源比重。要健全适应新型电力系统的体制机制,推动加强电力技术创新、市场机制创新、商业模式创新。要推动有效市场同有为政府更好结合,不断完善政策体系,做好电力基本公共服务供给。会议精神为建立新型电力市场的多元协同风险控制机制明确了方向。

(作者均供职于华南理工大学电力经济与电力市场研究所)