

电力市场和碳市场是支撑我国“双碳”目标的两个关键性政策工具，电碳市场的协同主要是市场机制和市场主体层面的协同。

电碳市场协同： 夯实数据基础，打通市场连接

文 / 赵俊华

在成熟的市场体系下，碳市场和电力市场互为因果，碳价影响发电企业成本，发电企业生产也影响碳排放量。目前大量市场主体同时参与电力市场与碳市场交易，系统研究分析两个市场之间的交互影响，以及两个市场的协同策略是实现“双碳”目标刻不容缓的任务。

能源电力市场与物理的电力系统两者紧密融合。由于减排实际上增加了实体经济的成本，碳市场和电力市场在同时也作用于实体经济，这就决定了电碳市场协同策略研究需要基于一个非常复杂的经济和技术系统。

需建仿真模型，重在机制与主体

研究电力市场与碳市场的协同，需要将信息物理社会系统内的相关因素组合起来，构建综合考虑电力市场、碳市场和实体经济复杂交互影响的仿真模型框架。信息物理社会系统包括以下四个方面。一是能源电力系统，各种类型的发电形式、终端用能都包含其中。二是信息因素，涵盖跨域信息采集、多种类型市场状态的辨识、市场相关的月度指标、监管服务决策等内容。三是非能源的物理系统，工商业二氧化碳的排放只是整个

社会二氧化碳变化的一部分，林业等碳增汇方式吸收的二氧化碳也会导致社会整体的二氧化碳含量变化。四是社会因素，包括社会经济的发展状况、相关政策以及市场监管决策等。

电碳市场协同的模型框架有多个层次。首先是市场监管层面，既包括电力市场的监管者，也包括碳市场的监管者。其次是市场层面，碳市场不仅有碳排放权交易市场，还有碳抵消市场；电力市场则包括中长期市场和现货市场，还包括绿证绿电等比较特殊的市场。再次是市场主体层面，一是传统电力企业，比如燃煤发电、燃



碳排放计量是包括碳市场、电力市场在内的与“碳”相关工作的基础。实现电碳市场协同，准确有效的碳计量不可或缺。

气发电企业；二是可再生能源发电企业，包括风能、太阳能、水能和生物质能等发电企业。最后是电网层面，电网在整个模型框架中起着非常重要的作用，不仅是能量交换的媒介，也是整个电力行业的信息枢纽。

电碳市场的协同主要是市场机制和市场主体层面的协同。在市场机制层面，因为碳市场与电力市场间存在非常复杂的交互影响的关系，如果两个市场分别完全独立地制定政策，可能会出现政策效果相互抵消的情况；若两个市场能够有效协调，就能避免

出现一加一小于二的情况。在市场主层面，目前电力行业的主体中有一部分既参与电力市场也参与碳市场，如何协调其在两个市场的决策行为就变得非常重要。

碳计量是基础，碳卫星值得关注

碳排放计量是包括碳市场、电力市场在内的与“碳”相关工作的基础。实现电碳市场协同，准确有效的碳计量不可或缺。在获得较为准确的碳计量数据后，才能构建电碳市场的协同仿真模型，这也是后续进行电碳

市场协同研究的基础。

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在1996年就提出了要进行碳计量工作，此后各类国际组织曾多次更新相关的二氧化碳排放计量的方法论。按照IPCC的标准，二氧化碳排放大体上可以分成三类，也就是范围一、范围二、范围三排放。范围一排放是指直接来自企业及其控制实体的排放；范围二排放是企业由购买的能源（包括电力、蒸汽、加热和冷却）产生的间接排放；范围三排放是指企业价值链中发生的所有间接排放（不包括在范围二中）。以苹果公司为例，由于其生产环节均为外包，自身没有生产环节，因此范围一和范围二的排放量很低，但它的上游代工工厂在制造过程中碳排放很高，所以苹果公司范围三的排放量就非常高。

目前，一般的碳计量方式大多是利用各种技术手段去估算不同企业主体的二氧化碳排放量。实现企业碳排放数据实时计量，将为企业开展碳交易、碳核查、碳足迹、碳认证、碳规划等工作奠定良好基础，目前主要有以下两种方法。

其一是基于内部加装设备实现实时碳计量监测。通过在企业内部安装监测装置，基于电力行业和实时的高频智能电表的数据，结合非侵入式负荷算法和超分配力感知技术，通过数据处理，识别出企业所有的不同类型设备及设备在不同时段的工况，最后再结合这些设备直接和间接的排放因

子，计算企业的总体排放，对企业进行实时二氧化碳排放监测。

其二是基于碳卫星对区域性的二氧化碳排放进行监测。由于卫星遥感具有高精度、大范围和能够重复观测等优点，基于温室气体卫星遥感探测网络现在正在逐步成为国际认可的新一代碳监测方法。近期国际卫星对地观测委员会明确指出，将在2025年建立卫星星座业务以支撑2028年全球碳盘点。近期我国发射了第二颗高精度的碳卫星——陆地生态系统碳监测卫星“句芒号”。

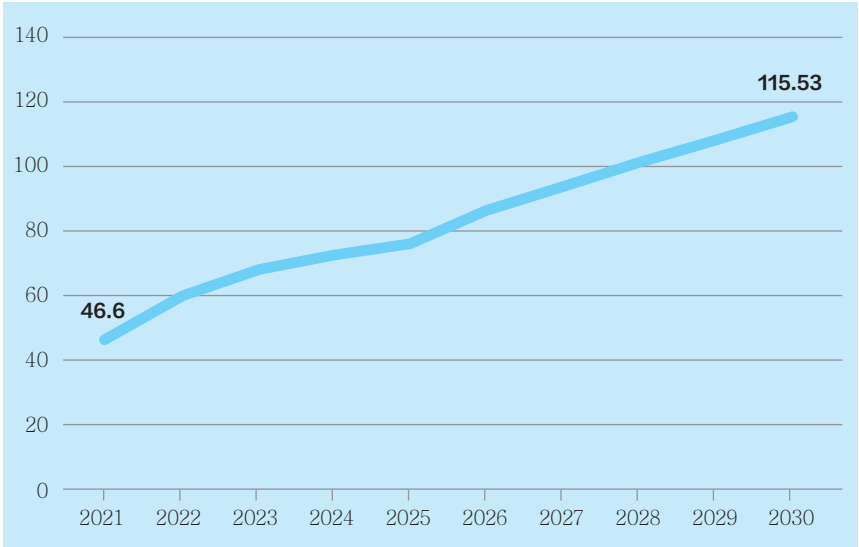
香港中文大学（深圳）团队推出世界首个基于碳卫星估算碳排放人工智能模型。该研究首次尝试使用数据驱动的机器学习方法来实现基于碳卫星数据的高精度碳计量——融合了碳卫星所测得的碳浓度数据、全球气象数据以及由烟气排放连续监测系统（CEMS）记录的电厂位置和实际碳排放数据得到的多模态数据，设计了对该数据的先进自监督深度神经网络算法，用其准确感知电厂的实际碳排放量。

该研究数据基于美国的轨道碳观测卫星—2（OCO—2）的L2级数据，此碳卫星空间分辨率高达1.29千米×2.25千米，时间分辨率为16天。该方法具有良好的延展性，可以很方便地额外加入可能有效的信息。未来拟加入更多的数据（如地形、压强、温度、其他污染物、是否城区等），以及融合多个碳卫星探测的浓度数据以

虽然基于碳卫星探测的原始数据可以准确反向推演出大气中温室气体的浓度，但是如何准确提取由于人类活动所产生的排放数据仍然是一个挑战。

我国各年平均碳价仿真结果

年平均碳价（元/吨）



>> 信息来源：作者提供

进一步提升碳感知精度。

虽然基于碳卫星探测的原始数据可以准确反向推演出大气中温室气体的浓度，但是如何准确提取由于人类活动所产生的排放数据仍然是一个挑战。传统研究基于大气物理模型对温室气体的扩散建立羽流模型，但当前此类方法精度还不足以支撑准确的碳感知。

市场需进一步连通，数据是重点

当前电碳市场间尚未打通，新能源企业在参与碳市场的同时，也可以参与绿电交易，这在客观上造成了同一个新能源的项目得到重复补贴的可能。此外，绿电市场的减排效果没有得到生态环境部门的认证，也阻碍了

绿电市场的进一步发展。如何认定绿电减排效益，以抵消相关企业的碳减排责任，仍有机制性问题亟待解决。

电碳市场如何实现协同，两者之间相互连通的问题特别值得关注。两个市场间的数据整合利用是当下电碳市场协同的重点。

目前电碳市场协同研究在数据上主要面临两个问题。一是数据质量问题，电力行业的数据和碳卫星的数据都存在一定的误差，可以在数据整理过程中通过数据之间的交叉验证来提升数据质量。二是数据匹配问题，不同来源的数据在时间和空间上可能是不匹配的，比如，电力行业的数据是以分钟为单位，而碳卫星的数据频率很低。下一步，需要深入研究空间和时间上并非完全匹配的数据如何实现融合问题。

数据的重要性日益凸显。电力市场的各类数据，例如各电厂的发电量数据、各用户的用电量数据、电网的运行数据等，均可用于计算电力行业的各类排放因子，也可用于测算不同主体之间的碳排放量，并作为碳市场配额发放的依据。此外，其他的“配角数据”，比如传感器和卫星收集的数据，以及各类市场主体在电力市场和碳市场中的交易行为数据，在电碳市场协同中也有着重要的价值，应给予足够重视。

（作者系香港中文大学深圳理工学院新能源科学与工程专业主任、深圳高等金融研究院能源市场能源金融实验室主任）