

数字技术赋能工业碳达峰碳中和 应用指南 V1.0

中国信息通信研究院产业与规划研究所
工业互联网产业联盟碳达峰碳中和工作组
2022 年 4 月

目 录

前 言 1

一、数字技术赋能工业双碳概述 1

二、5G 赋能方向及案例4

 （一）技术概览4

 （二）主要赋能方向 6

 1.支持新能源建设和并网 6

 2.助力钢铁行业改进流程 7

 3.赋能煤炭井下开采作业 7

 4.促进化工行业数字化和智能化 7

 5.助力碳排放量化、审计和交易 8

 （三）典型赋能应用 8

 1.鞍钢节能减排 5G 方案 8

 2.电力行业主要应用 9

三、卫星赋能方向及案例 9

 （一）技术概览9

 （二）主要赋能方向11

 1.工业碳源监测11

 2.工业碳汇监测11

 3. 城市工业碳源指数 12

 4. 城市工业碳汇贡献指数 12

(三) 典型赋能应用	13
1.空天地一体化碳监测与评估平台	13
2.中国省级工业二氧化碳排放监测	15
3.典型区域热源工业二氧化碳排放的卫星遥感监测	17
4.车辆网联联控系统	17
四、工业互联网赋能方向及案例	19
(一) 技术概览	19
(二) 主要赋能方向	21
1.碳排放量监测和预测	21
2.碳资产管理	21
3.碳计量管理	22
4.企业碳数据管理	22
(三) 典型赋能应用	22
1.数字技术赋能污水处理厂低碳运营方案	22
2.深圳华龙讯达木星数据采集平台	26
3.积微循环工业互联网平台项目	27
五、云计算赋能方向及案例	29
(一) 技术概览	29
(二) 主要赋能方向	31
1.为工业碳管理提供低成本高可用支撑平台	31
2.应对计算资源需求峰谷不定的工业场景	32
3.降低传统工业软件研发能耗成本	32

4.赋能工业数据中心节能减排	33
（三）典型赋能应用	34
1.腾讯云：零碳园区智慧能源生态平台	34
2.阿里云：数据中心能源与碳管理平台	38
3.华为云：PUE 优化平台 iCooling	39
六、大数据赋能方向及案例	40
（一）技术概览	40
（二）主要赋能方向	41
1.赋能生产制造全过程双碳管理	42
2.助力碳足迹分析管理	43
3.探索低能耗与低碳排的技术路线	43
（三）典型赋能应用	44
1. 基于工业大数据的离散制造企业碳排放核算与优化平台	44
2. 基于数字孪生和边缘侧智能控制策略的火电厂工业大数据平台	46
七、人工智能赋能方向及案例	48
（一）技术概览	48
（二）主要赋能方向	50
1.助力工业行业的双碳规划与节能降碳优化	50
2.助力能源结构转型	51
3.助力市场碳价预测	51

(三) 典型赋能应用	52
1. 阿里云碳眼及能耗宝平台	52
2. 中信戴卡、精诺瀚海、河北工大智能机加闭环解决方案	56
3. 中国移动“九天”人工智能平台	57
4. 浙达能源虚拟电厂实践	57
八、区块链赋能方向及案例	59
(一) 技术概览	59
(二) 主要赋能方向	61
1. 工业碳数据上链存证	61
2. 工业碳资产确权	61
3. 可信工业碳交易	62
4. 工业碳数据自动核算	62
5. 工业碳核查与监管高效协同	62
(三) 区块链+双碳的典型应用	63
1. 工业企业碳管家	63
2. 工业园区碳监测	65
九、工业软件赋能方向及案例	67
(一) 技术概览	67
(二) 主要赋能方向	70
1. 优化产品设计和生产工艺助力碳减排	70
2. 提升生产管控效率助力碳减排	70

3.提升供应链效率助力碳减排 71

（三）典型赋能应用 72

1.钢铁企业 CAE 仿真应用 72

2.燃煤电厂碳痕迹溯源管理平台 72

十、发展建议 74

（一）完善数字技术赋能工业推进制度 74

（二）加快数字技术赋能工业行业技术研发与突破 74

（三）构建数字技术赋能工业行业标准体系 74

（四）建设工业领域数字化碳管理平台 75

（五）加快推进工业领域碳资产交易 75

（六）加强数字技术赋能工业人才培养 75

（七）开展数字技术赋能工业试点示范 76

图目录

图 1 碳浓度值、碳排放总量区域估算 (N ₂ O)	14
图 2 碳浓度值、碳排放总量区域估算 (CO ₂)	14
图 3 空地一体化碳监测平台	15
图 4 ODIAC2019 (1km*1km) 年中国区二氧化碳浓度 分布图	16
图 5 2020 年中国在营高耗能工业热源空间分布图	16
图 6 全国重点营运车辆网联联控系统车辆分布图	18
图 7 数字化污水处理厂绿色建设示意图	23
图 8 污水处理厂信息数字化运营平台示例	25
图 9 智慧能源生态平台的整体架构	35
图 10 智慧能源生态平台解决方案集成	35
图 11 智慧能源生态平台四大功能	36
图 12 泰州海陵区零碳智慧园区驾驶舱	37
图 13 泰州海陵区能源管理总览	38
图 14 基于阿里云碳眼的辽宁沈抚双碳智慧运营平台	53
图 15 辽宁省沈抚新区双碳全貌	54
图 16 基于阿里云能耗宝的企业能耗与碳排管理系统	55
图 17 多智能技术融合的空调智慧节能技术架构	55

图 18 智能机加闭环解决方案 56

图 19 虚拟电厂系统架构 58

图 20 虚拟电厂平台 59

图 21 工业企业碳管家数据大屏 64

图 22 工业园区碳监测数据大屏 66

图 23 某燃煤发电厂碳痕迹溯源管理平台 73



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

前 言

党中央、国务院高度重视碳达峰、碳中和工作，习近平总书记指出“要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，拿出抓铁有痕的劲头，如期实现 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的目标”。2021 年 10 月，《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》发布。同月，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》。2021 年 11 月，工业和信息化部印发《“十四五”工业绿色发展规划》，针对工业领域提出加速生产方式数字化转型，利用数字技术赋能绿色制造。

本指南主要面向工业企业的管理者和技术骨干以及工业园区管理者。本指南内容包括 5G、卫星、工业互联网、云计算、大数据、人工智能、区块链、工业软件等主要数字技术介绍，上述数字技术赋能工业碳达峰碳中和的主要方向、已实施的典型案例，为工业领域碳达峰碳中和工作提供参考借鉴。

参编单位及人员名单

中国信息通信研究院：曹英、陈其云

航天科工集团：邢镔

重庆工业大数据创新中心有限公司：龙萍、成炜琳、胡小林

阿里云：邱剑、毛宏举、刘凯、黄夏、王小艳

腾讯云：王永霞、鲁静、李永韬、卫鹏、赵乔

华为：侯勇、鲁剑、张小军、刘冰、龚倩、黄清成、翟爽

中国科学院空天信息创新研究院：王大成、姚晓婧、孟瑜、池天河、马彩虹、焦越

中国移动研究院：朱笑稷、庄楠

中国移动政企公司：周茉

济南大陆机电股份：荆书典、徐传迎、李司慧、傅尔权、李明珊、吕峰、董广鹏

成渝（成都）信息通信研究院有限公司：唐波

北京云道智造科技有限公司：张放、张茜

杭州产链数字科技：李启雷、张瑛

河北工业大学：刘晶、季海鹏

银河航天：贺姝涵

泰伯研究院：王悦承

科促会碳中和工委：史寅虎

福建空天碳智慧科技有限公司：郑明月

北京航天航空大学：任毅龙

深圳华龙讯达信息技术股份有限公司：龙小昂、吕晓楠

北京万维物联科技发展有限公司：张森

浙江浙达能源科技有限公司：蒋雪冬、李晓波、徐晓波



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

我国力争 2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和，是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。这一目标的提出正深刻影响着我国经济大势和产业走向，改变着人们的生活。我国石油、化工、煤炭、钢铁、汽车、电力、环保、交通等行业，都宣布了各自的碳达峰碳中和计划或路线图，双碳工作要求正在逐渐变为具体行动。当前，数字技术贯穿于经济社会发展的各行业之中，双碳目标的实现离不开数字技术的应用，数字技术已发挥出赋能千行百业节能减排的重要作用，未来几十年内也必将扮演更加重要的角色。

一、数字技术赋能工业双碳概述

数字技术是与电子计算机相伴相生的科学技术，它能够将图像、文字、声音、视频等信息转化为可被电子计算机识别的数据，并对其进行运算、加工、存储、传送、还原和利用。5G 移动通信、物联网、云计算、大数据、人工智能和区块链等数字技术正深刻影响全球经济社会发展变革，也是工业节能降碳不可或缺的重要手段。

工业行业是碳排放大户。根据全球能源互联网发展合作组织《中国 2030 年碳达峰研究报告》，2019 年，中国全社会二氧化碳净排放量约 105 亿吨。从碳排放量看，能源生产与转换、工业、交通运输、建筑领域碳排放占全社会碳排放比重分别为 44%、34%、8%和 7%，共占 93%。

数字技术在工业节能降碳领域必将发挥重要作用。从数字技术赋能效果看，据全球电子可持续发展推进协会（GeSI）的研究，数字技术在未来十年内通过赋能其他行业可以减少全球碳排放的 20%，主要通过智慧能源、智慧制造等领域实现。由此可见，除能源领域外，工业领域是数字技术助力节能减排的主战场。

数字技术赋能工业双碳主要体现在三个方面：

一是促进工业生产绿色化。数字技术可为工业领域生产流通环节中的节能改造、节约用料、供需精准对接、物流线路优化、材料回收等提供有力支撑，全方位助力工业节能减排。例如，**工业互联网**感知层实时采集工业生产流程数据，企业可以根据实时的产线数据优化生产流程，减少能源损耗，提升产品质量。**人工智能**给材料工业带来包括研发模式的改变、生产组织方式的改变等，推动着材料工业生产工艺不断优化、生产效率不断提高、产品质量不断改进，实现材料工业领域更加节能和环保，助力绿色智能制造。**工业软件**优化产品设计方案以及整个过程的生产工艺，能够大幅提升能源效率，从源头减少碳排放。根据中国信通院对 1015 个工业互联网应用案例的统计，数字技术赋能工业节能减排主要侧重于生产过程管控，占比近 64%，其他方面包括赋能经营管理占比 9%，赋能运维服务占比 8%，赋能产品工艺研发占比 6%。

二是赋能工业领域碳管理。数字技术可用于工业领域碳管理，包括碳排放数据的精准采集监测、碳数据的核查分析、碳移除等，提高工业碳管理水平。例如，碳排放的监测和核算是非常重要的一环。基于**云计算、大数据**等数字技术，可实现在线实时监测，更加精确地进行碳排放核算。基于碳排放现状和目标，利用大数据可对工业碳达峰碳中和进程模拟预测。**工业互联网**标识解析技术为仪器仪表、计量器具和测量数据等提供唯一标识编码，依托唯一标识编码解决了碳管理领域中数据可靠性和数据溯源的关键问题。**卫星遥感**可以监测不同地区乃至具体工业园区的碳源和碳汇，动态呈现碳源和碳汇分布。

三是助力工业碳交易、碳金融发展。例如，通过**区块链**技术可以对各环节碳资产数据、碳配额交易数据等进行实时上链存证，实现多层次穿透式核查监管、在线跟踪溯源等。区块链技术同时可为碳资产交易及相关金融衍生产品提供有效的数据服务支撑。**人工智能**可运用在碳价预测方面，由于具有很强的学习能力和非线性映射能力，径向基神经网络、BP、LSSVM 等神经网络模型均得到了应用，提高碳价预测准确性。**云计算**基础设施可为碳管理分析提供算力和存储等基础支撑。大数据技术为碳金融产品设计、投放等提供算法支持。

数字技术对工业节能减排具有综合赋能效果。数字技术

已形成一个相对完整的生态体系，从数据的采集、存储、处理到应用，支撑起一个完整的产业链，构成了数字世界的基石，是数字社会孕育、发展和繁荣的重要保证。各类数字技术本身相互融合、相互助力，在赋能工业节能降碳方面也是共同发力，实现倍增效应。例如，云网边端协同可促进工业数据多级联动，依托 5G、NB-IoT、TSN、工业 PON 等网络联接方案，实现工业生产数字化、智能化、绿色化发展。

在赋能工业双碳的数字技术中，5G、卫星、工业互联网、云计算、大数据、人工智能、区块链、工业软件等是最重要的代表性技术，因此，以下重点围绕这些数字技术展开介绍。

二、5G 赋能方向及案例

（一）技术概览

5G 指第五代移动通信技术。从 20 世纪 80 年代的 1G 开始，移动通信技术基本保持了 10 年一代的发展规律，逐步演进到现在的 5G，5G 带来万物互联的智能时代。目前，中国已建成全球规模最大的 5G 网络。根据《2021 年通信业统计公报》，截至 2021 年底，我国累计建成并开通 5G 基站 142.5 万个，5G 用户 3.55 亿户，实现覆盖全国所有地级市城区、超过 98% 的县城城区和 80% 的乡镇镇区。

5G 移动通信网络主要包括无线接入网、核心网和承载网三部分。无线接入网负责将终端接入通信网络，对应于终端和基站部分，基站作为提供无线覆盖，连接无线终端和核

心网的关键设备，是 5G 网络的核心设备。核心网主要起运营支撑作用，负责处理终端用户的移动管理、会话管理以及服务管理等，位于基站和因特网之间。承载网主要负责数据传输，介于无线接入网和核心网之间，是为无线接入网和核心网提供网络连接的基础网络。无线接入网、核心网和承载网分工协作，共同构成了移动通信的管道。

国际电联定义了 5G 的三大应用场景：增强型移动宽带（eMBB）、海量机器类通信（mMTC）以及超低时延高可靠通信（uRLLC）。eMBB 针对的是大流量高速率的移动业务场景，mMTC 针对未来大规模的物联网业务，uRLLC 针对类似自动驾驶等场景的业务。5G 带来更快速率、更低功耗、更短延迟、更强稳定性，激发大量新业务如视频分辨率的大幅提升，沉浸式 AR/VR 体验，实时在线云游戏等，给消费者带来极致体验。5G 驱动行业数字化，催生更多行业应用，提升行业效率，促进节能减排。

5G 赋能行业双碳的关键技术有五个方面。一是用于边缘计算的 5G 高可靠专网。专网分广域专网和局域专网，广域专网不限定区域，局域专网限定区域覆盖，满足特定需求，常用于电力、制造、钢铁、石化、矿山、港口等场景，提高信息化，减少碳排。二是精准定位。通过米级的定位精度能力，用于办公园区的资产盘点、制造/钢铁/港口的快速找料及搬运等，减少人工和碳排。三是智能调度。5G 作为智能

化的通讯方式提高大量终端接入网络时的协同性、稳定性，取代更多人工，并在定位精度满足的情况下优化路径，降低碳排。四是碳排监测。5G 作为数字化的手段，通过大上行等能力，使能智能视频、回传等，用于碳排的可视化监控。五是远程操控。5G 具有稳定 ms 级低时延，99.999%可靠性的能力，在制造等使能工业控制的业务，可以精确可靠改进生产流程，实现少人化、远程化、低碳化。

（二）主要赋能方向

5G 作为新型信息基础设施，正在融入千行百业，与社会经济各领域深度融合，助力全社会数智化转型，提高传统行业的能源使用效率，支撑整个社会的低碳化。在钢铁、煤矿开采、化工等各领域，各类 5G 应用在传统高耗能行业起到融合提效作用，助力生产运营关键环节的绿色低碳，切实发挥绿色 5G 社会价值。

1. 支持新能源建设和并网

依托 5G+工业互联网的技术能帮助具有广域性(偏远性)、强波动性、间歇性等特点的可再生能源企业（光伏、风电、水电）实现场站通信、进电能数据回传、设备监测、远程控制、智慧巡检、无人机巡检等建设，提升数据传输效率及设备运行状态，支持可再生能源的大规模建设。5G 技术可助力降低可再生能源大量并网对电力系统产生的冲击。通过搭建 5G 专网，推广 5G 电力通信终端、打造 5G 智能电网应用，

满足电力业务各个环节的安全性、可靠性和灵活性需求，实现负荷有效聚合、优化控制和管理，提升电力系统自预测、自响应和自愈能力，降低可再生能源大量并网产生的冲击，助力全社会碳达峰、碳中和实现。

2.助力钢铁行业改进流程

在钢铁领域，利用 5G 稳定低时延特点，满足远程控制的时延及业务可靠性要求，可改进钢铁生产流程，减少碳排放。依托 5G 技术，云端部署的能耗云平台通过对高能耗的钢铁企业的水、电、气、热进行全面监测，帮助企业实现用能安全及精细化管理。同时，平台可为废钢加工配送中心以及各大钢厂提供废钢智能判级等应用，促进钢铁类再生资源重复利用，助力钢铁行业完成碳达峰条件下的高质量发展。

3.赋能煤炭井下开采作业

5G 通信技术的高速率、低时延、大连接三大性能优势与煤炭行业智能化发展过程中对通信网络技术的需求相契合，完全覆盖井下通信技术发展和应用方向。5G 技术可应用于井下无人驾驶及智能运输、全矿井位置服务、设备远程操控、故障远程诊断、大宽带业务数据传输、煤矿机器人云端控制、全矿井安全监测信息采集、VR/AR 矿山等方面应用。

4.促进化工行业数字化和智能化

在化工领域，利用 5G 技术实现传感感知、实时检测、无人操控等功能，促进工业设备和设施的数字化。利用 5G

实现精准控制、互联互通、智能调度，助力高耗能设备的智能化。5G 技术助力石化炼化企业开展安全绿色园区建设，提升产业协同效能和整体效率，减少非集聚条件下物流和能源的碳消耗。

5.助力碳排放量化、审计和交易

依托 5G 网络，基于“碳排放”数据上云的方式打造全生命周期的碳排放量化、审计和交易体系。通过各类物联网前端感知手段和网络技术，实现企业能耗数据上云和碳排放数据采集，并在此基础上建立包括碳排放数据的量化统一、审计、模型分析以及碳汇交易体系和审计体系。

（三）典型赋能应用

1.鞍钢节能减排 5G 方案

中国移动通过独立建设 4.9GHz 频段的行业专网，基于 4.9G 基站设备、MEC 本地分流和网络切片技术，为鞍钢集团提供高安全性、高隔离度的定制化 5G“尊享”专网服务。在物理层面上，将钢铁生产网络与个人客户网络分开，为炼钢、带钢表面检测、电机管理、安全生产等应用提供灵活、可定制、可配置的网络：一是采用 4.9G 专用频段，增强在复杂工业场景下的抗干扰能力；二是利用业务切片，实现核心网、无线网、传输网的资源预留和资源隔离；三是 4.9G 网络能够实现更低时延的交互，更适用于低时延的场景，目前实测低时延可以小于 5ms。

2. 电力行业主要应用

5G 在电力行业主要有四大应用场景，分别为控制类业务、采集类业务、移动应用类业务、以及以多站融合为代表的电网新型业务。在控制类业务中，5G 技术将优化能源配置，避免大面积停电以影响企业和居民用电，同时也将满足配电网实时动态数据的在线监测应用。在采集类业务中，5G 将推动收集和提供整个系统的原始用电信息。在移动应用类业务中，5G 预防安全事故和环境污染，减少人工巡检工作量，在未来可进行简单的带电操作。在多站融合业务中，5G 技术将推进平台型、共享型企业建设。

三、卫星赋能方向及案例

（一）技术概览

卫星技术是国家综合国力的集中体现和重要标志，是推动国防建设、科技创新和经济社会发展的战略性领域。在赋能工业碳达峰碳中和方面，起主要作用的是卫星遥感技术。卫星遥感技术是从太空通过传感器探测和接收来自目标物体的信息，从而识别物体的属性及其空间分布等特征，通过遥感技术平台获取卫星数据并分析处理接收的信息的技术。

卫星遥感监测可以获得全球和区域的温室气体和陆地碳汇分布，具有稳定、长时间序列、广空间区域等优点，可弥补地基站点的不足，有助于提高对碳源汇和气候变化的认识。基于卫星对地观测技术进行双碳相关遥感信息产品的反

演，包括碳源（二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等）和碳汇（森林、草地、湿地、农田、海洋等）监测指标体系的建立和指标的精准量化，为碳交易宏观监测提供量化依据。

卫星遥感监测的关键是星载探测仪器以及遥感反演算法。随着探测仪技术和反演方法的不断改进，探测精度逐步提高。中国 2017 年发射了第一颗碳卫星（TanSat），搭载了 SCIAMACHY 探测仪，采用短波红外吸收带作为探测波段。国际上第一代碳监测卫星（1999 年至 2018 年）主要以技术验证和科学目标探索为主，第二代温室气体监测卫星（2019 年后）提高了观测空间和时间分辨率，如增加幅宽、增加跨轨方向的观测数据数量（ ≥ 200 km），利用地球静止轨道增加观测频率和数据覆盖率等。此外还可以通过采用主动激光探测器获得更高精度不受日照影响的廓线数据等。中科院大气物理所 2015 年提出的卫星遥感 CO₂ 反演算法（IAPCAS）是基于最优估计的全物理温室气体遥感算法。2018 年，我国发布 TanSat 第一张全球 CO₂ 分布图，利用碳柱浓度地面观测网络站点（TCCON）进行结果验证，显示分布图平均精度（温室气体浓度）达到 2.11ppm。近期，在对辐射光谱数据进行校正后，平均精度进一步提高。

我国需开展多卫星组网提高卫星全面监测能力。尽管新一代卫星探测能力得到了有效提高，但是任何单独一颗卫星都无法满足 CO₂ 和 CH₄ 全球探测的需求。开展多卫星组网观

测，形成全球质量统一、连续的温室气体观测数据集，全方位观测温室气体浓度和源汇的时空变化特征，是满足快速增长的全球业务化观测的有效途径。目前我国商业卫星公司正加紧碳星链发射，布局动态、精准监测全球碳排放能力设施。

卫星技术在产业领域的应用主要包括卫星通信、卫星导航、卫星遥感及综合应用等。赋能工业碳达峰碳中和主要通过卫星遥感技术实现，卫星遥感可以监测工业园区、城市、道路、区域等的碳源和碳汇的动态分布。2022年初，中科院空天信息创新研究院的技术团队，会同中国国际科技促进会碳中和工作委员会，自主研发算法用来反演高时空分辨率的碳中和相关指标，开发出基于卫星遥感的碳中和空天地一体化精准监测平台，并已经落地应用。

（二）主要赋能方向

1.工业碳源监测

在工业园区碳源监测方面，主被动卫星遥感观测大气二氧化碳都是基于碳分子在红外波段的光谱特性。红外吸收光谱反映红外辐射分子之间的相互作用，即分子由于吸收或反射而引起的振动和旋转状态变化。目前 GOSAT 卫星和 OCO-2 卫星所使用的反演算法都是利用近红外辐射光谱数据获得廓线浓度加权的柱二氧化碳干空气混合比 XCO_2 。

2.工业碳汇监测

在工业园区碳汇监测方面，遥感技术在获取大尺度陆表

参数等方面具有独特的优势，并且可以从遥感影像上直接获取到重要的生态学特征和生物生长参数，包含了植被面积、净初级生产力、净生态系统生产力等宏观参数，此外还可获取叶面积指数、冠层化学成分、冠层温度、气孔导度、光合有效辐射、植被吸收光有效辐射、冠层结构、土壤含水量、地表温度等参数。通过遥感反演获取这些物理参数，可直接作为陆地生态系统模型的驱动变量或参量，结合遥感影像上获取的土地覆盖度或植被现状动态信息进行碳汇的研究。

3. 城市工业碳源指数

以城市工业园区为单位，设定工业碳源监测边界，利用遥感技术和反演算法对工业园区进行整体碳源监测，实现碳源数据从浓度到总量的迭代，以此为基底构建城市工业碳源指数，客观、量化的体现工业碳源对城市外源空间碳排放总量的占比，形成新的城市碳排放与城市工业碳源的计量、统计和考核标准。

4. 城市工业碳汇贡献指数

利用卫星遥感技术对工业园区的碳汇监测应用，实现对碳汇项目边界的精准定位与界定，对单体碳汇项目类型、单体碳汇项目面积、单体项目固碳量、工业园区碳汇总量，形成精准、客观的数据集成和数据展现，以城市工业园区碳汇总量与城市碳汇总量的占比，形成城市工业碳汇贡献指数，为城市的绿色发展、城市工业碳汇考评、城市双碳达标提供

高质量的指标模型和评价标准。

（三）典型赋能应用

1.空天地一体化碳监测与评估平台

空天地一体化碳监测与评估平台主要包括温室气体监测、陆地碳汇监测、重点行业评估、重点区域监控、区域碳达峰指标/达标率、无人机巡查、地面传感器、警报预警、报表管理等模块。通过定量遥感技术，实现 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等大温室气体的遥感反演监测，实现碳浓度值、碳排放总量区域估算。结合微观尺度的地面传感器，碳监测仪器监测的全要素数据精准的同步显示到平台，可辅助微观尺度的碳目标达成的精准计算。综合宏观微观的多尺度监测手段，建立定量评估模型。基于时空动态碳数据集，实现碳监测与评估体系的多尺度、多维度、定量化挖掘分析。支持重点行业的评估、重点区域监控、碳达峰指标/达标率计算及警报预警，为区域碳监测与评估提供精准科学的决策依据。



图 1 碳浓度值、碳排放总量区域估算 (N₂O)



图 2 碳浓度值、碳排放总量区域估算 (CO₂)



图 3 空间地一体化碳监测平台

2.中国省级工业二氧化碳排放监测

依托空天院卫星数据接收地面站，牵头单位课题组收集全国范围碳排放卫星数据，研究工业二氧化碳识别模型，决模型框架的关键问题，构建中国区域高空间分辨率的工业二氧化碳排放集，提取中国省级工业二氧化碳排放值（季/年），并辅助地面统计数据，验证数据集的可靠性。

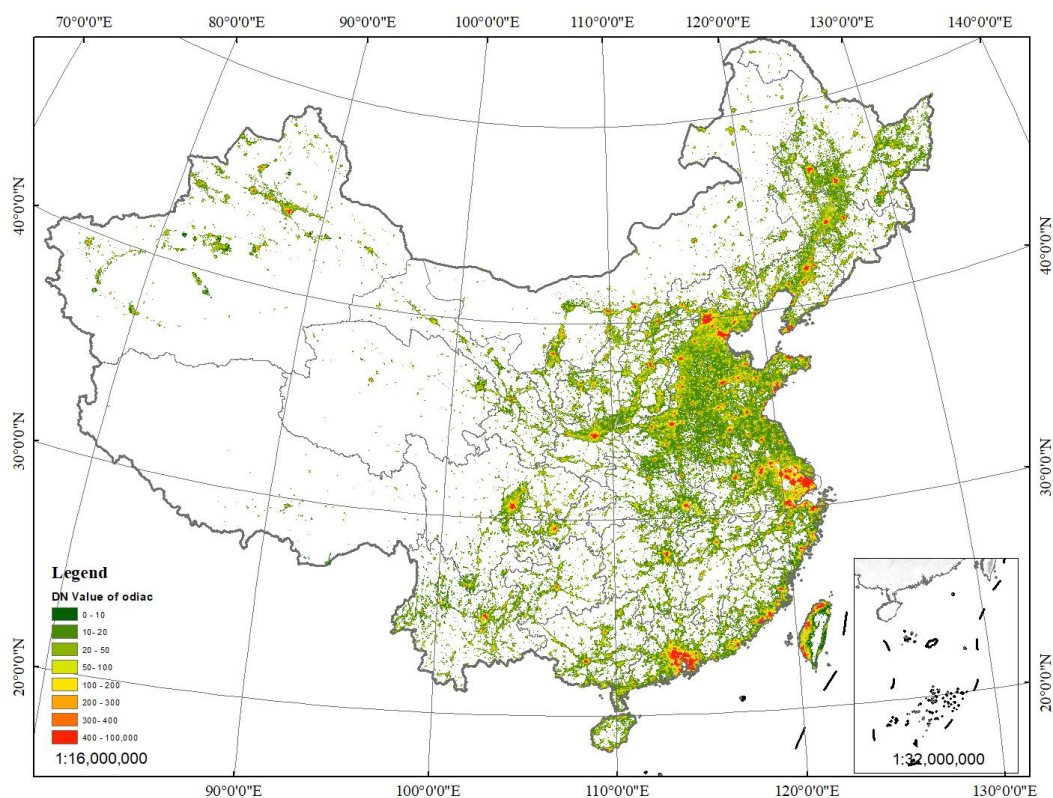


图 4 ODIAC2019 (1km*1km) 年中国区二氧化碳浓度分布图

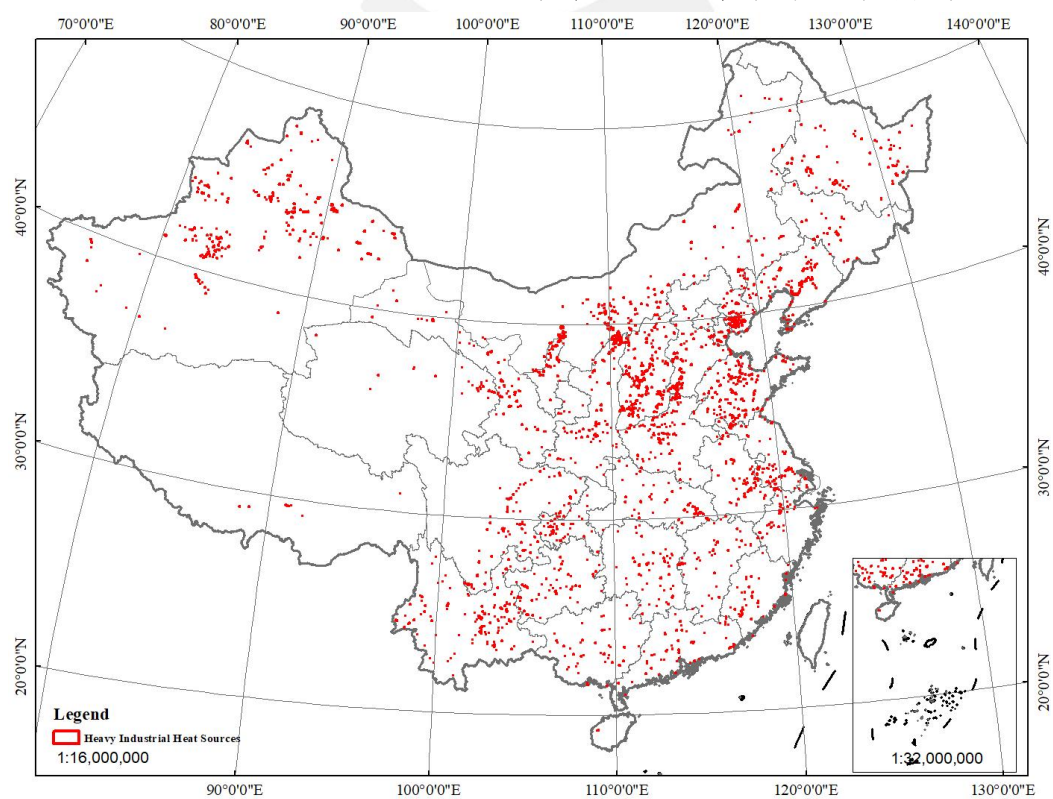


图 5 2020 年中国在营高耗能工业热源空间分布图

3.典型区域热源工业二氧化碳排放的卫星遥感监测

以京津冀、长三角两个经济示范区域作为项目的示范区域，搭建热源工业二氧化碳排放的卫星遥感监测的模型框架，解决模型框架的关键问题，收集区域长时序卫星数据，形成区域热源工业二氧化碳排放数据集，并估算京津冀/长三角区域热源工业的长时序二氧化碳排放值，结合地面统计数据，定性、定量化分析、区域热源工业二氧化碳排放时空变化趋势，同时完成热源工业识别和二氧化碳估算结果的验证。

4.车辆网联联控系统

基于车载终端同时利用遥感卫星技术实现对车辆的碳排放实时监测。北斗车载终端由主控制器 CPU、卫星信号接收机、GSM 无线通信模块、功能控制单元、碳排放传感器等组成，具有通信和定位双重功能。基于北斗的移动车载大气监测系统通过安装到营运车辆的车载专用颗粒物、氮氧化物等传感器，利用遥感卫星和 GPRS 网络经由北斗数据监测站将监测数据、车辆位置信息上传至物联网智慧化环保监测平台，从而接收、储存、处理数据，通过对这些数据的简单分析可以直接生成车辆行驶路线及可视化的大气污染云图，进而实现营运车辆低成本的碳源大数据实时高精度监测。

基于北斗赋能的车载终端对营运车辆碳源监测有两大突出优势。一是对于在移动信号无法覆盖的区域，借力北斗地基增强系统并使用北斗短报文功能也能回传监测数据，实

现极端条件下对车辆碳源的实时跟踪和有效监控。二是基于北斗的车辆智能终端具备时效性强和污染复现性强的特性，能够实现车道级动态监控和监控终端的时间同步，将以往的碳源监测细粒度提升至车道级甚至更高的水平，为精准碳排放治理提供科学依据。

联网联控系统的建设，实现了全国重点营运车辆碳排放动态数据的跨区域交换，为定性/定量分析营运车辆的碳排放时变趋势提供监管依据，同时为道路交通领域实现“双碳”目标提供有力支撑。



图 6 全国重点营运车辆联网联控系统车辆分布图

四、工业互联网赋能方向及案例

（一）技术概览

工业互联网作为全新工业生态、关键基础设施和新型应用模式，通过人、机、物的全面互联，实现全要素、全产业链、全价值链的全面连接，正在全球范围内不断颠覆传统制造模式、生产组织方式和产业形态，推动传统产业加快转型升级、新兴产业加速发展壮大。工业互联网通过与工业、能源、交通、农业等实体经济各领域的融合，为实体经济提供物理感知、网络连接和计算处理平台等新型通用基础设施支撑。促进各类资源要素优化和产业链协同，帮助各实体行业创新研发模式、优化生产流程。推动传动工业制造体系和服务体系再造，带动共享经济、平台经济、大数据分析应用等以更快速度、在更大范围、更深层次拓展，加速实体经济数字化转型进程。

工业互联网包含了网络、平台、安全三大体系。通过网络、平台、安全三大功能体系构建，工业互联网全面打通设备资产、生产系统、管理系统和供应链条，基于数据整合与分析实现 IT 与 OT 的融合和三大体系的贯通。

网络是基础。工业互联网网络体系包括网络互联、数据互通和标识解析三部分。网络互联，即通过有线、无线方式，将工业互联网体系相关的人机物料法环以及企业上下游、智能产品、用户等全要素连接，支撑业务发展的多要求数据转

发，实现端到端数据传输。数据互通，即实现数据和信息在各要素间、各系统间的无缝传递，使得异构系统在数据层面能相互“理解”，从而实现数据互操作与信息集成。标识解析提供标识数据采集、标签管理、标识注册、标识解析、数据处理和标识数据建模功能。

平台是中枢。工业互联网平台体系包括边缘层、PaaS 和应用层三个层级，相当于工业互联网的“操作系统”。边缘层提供海量工业数据接入、转换、数据预处理和边缘分析应用等功能。PaaS 层提供资源管理、工业数据与模型管理、工业建模分析和工业应用创新等功能。应用层提供工业创新应用、开发者社区、应用商店、应用二次开发集成等功能。

安全是保障。工业互联网安全体系涉及可靠性、保密性、完整性、可用性和隐私和数据保护。可靠性指工业互联网业务在一定时间内、一定条件下无故障地执行指定功能的能力或可能性。保密性指工业互联网业务中的信息按给定要求不泄漏给非授权的个人或企业加以利用的特性，即杜绝有用数据或信息泄漏给非授权个人或实体。完整性指工业互联网用户、进程或者硬件组件具有能验证所发送的信息的准确性，并且进程或硬件组件不会被以任何方式改变的特性。可用性指在某个考察时间，工业互联网业务能够正常运行的概率或时间占有率期望值，可用性是衡量工业互联网业务在投入使用后实际使用的效能。

（二）主要赋能方向

1.碳排放量监测和预测

以工业互联网技术为支撑，部署和应用各类智能传感器，可以帮助企业获取生产运营过程中的碳足迹信息、碳排放数据，实时开展在线监测，辅助节能减排决策及实施。感知设备主要由安装在企业气源排口的CO₂连续在线监测设备、厂界厂区内的CO₂监测设备、企业内网格化报警设备、气体流量监测设备、碳排放数据采集传输设备、动态管控监测设备等组成。可通过移动端识读标识或扫描标识二维码或输入标识编码查询能源消耗及排放物检测仪表的基本信息和全生命周期动态信息及能源测量、碳排放数据信息。根据企业工作过程、减排方法和需求，可预测未来的碳排放量，帮助企业更加准确的制定、调整 and 实现碳排放目标。

2.碳资产管理

依托工业互联网标识解析服务平台建设碳资产专项服务平台，基于标识代码和工业互联网平台可以精准管理物流、能源流、排放流数据，通过标识解析服务平台可以记录管理对象的动态信息，溯源相关碳资产数据，支持政府或行业实施碳达峰碳中和规划与目标。服务内容主要包括能源数据、排放数据采集、存储、分析、处理、评估、核算、标识编码、认证、碳资产管理等。

3.碳计量管理

碳数据来源于碳计量和测量。按照国家标准《计量器具识别编码》（GB/T 36377-2018）建设的工业互联网标识解析仪表平台，可为仪器仪表、计量器具和测量数据等提供标识编码，为企业能源消耗与碳排放数据管理提供解析服务。可为计量器具制造企业、使用单位、检校机构等提供计量器具全生命周期电子台账。对能源生产或消费企业使用的计量器具巡检/维修/保养进行管理，保障定期检定校准和设备完好正常使用，可确保测量数据的可靠可信。

4.企业碳数据管理

工业企业可按照国家标准《工业企业能源管控中心建设指南》（GB/T 40063-2021）构建企业能源管控中心，用于采集能源消耗量和碳排放量，并通过安全网关设备把碳数据传输到工业互联网服务平台上。对工业企业和主要用能设备安装能源及碳数据测量计量器具，建立基于企业内部工业控制网络对能源及碳数据实施计量的监控体系。通过对能源及碳数据测量计量器具进行实时在线的采集，获取分类、分项实时的能耗数据。建立数据交换融合接口，实现企业数据资源共享与信息融合，助力能源大数据的高效利用。

（三）典型赋能应用

1.数字技术赋能污水处理厂低碳运营方案

济南大陆机电股份有限公司组织实施的济南梅兰德水

质净化有限公司低碳运营方案，在建设污水处理厂基础设施的同时，规划建设基于工业互联网数字平台的优化控制系统，并在水处理工艺流程设施之上建设光伏发电工程实现自发自用余电上网，基于中水池部署中水源热泵机组为园区和周边提供冷热源，构建污水处理优化控制与光伏发电、中水源热泵一体化建设的低碳工厂。

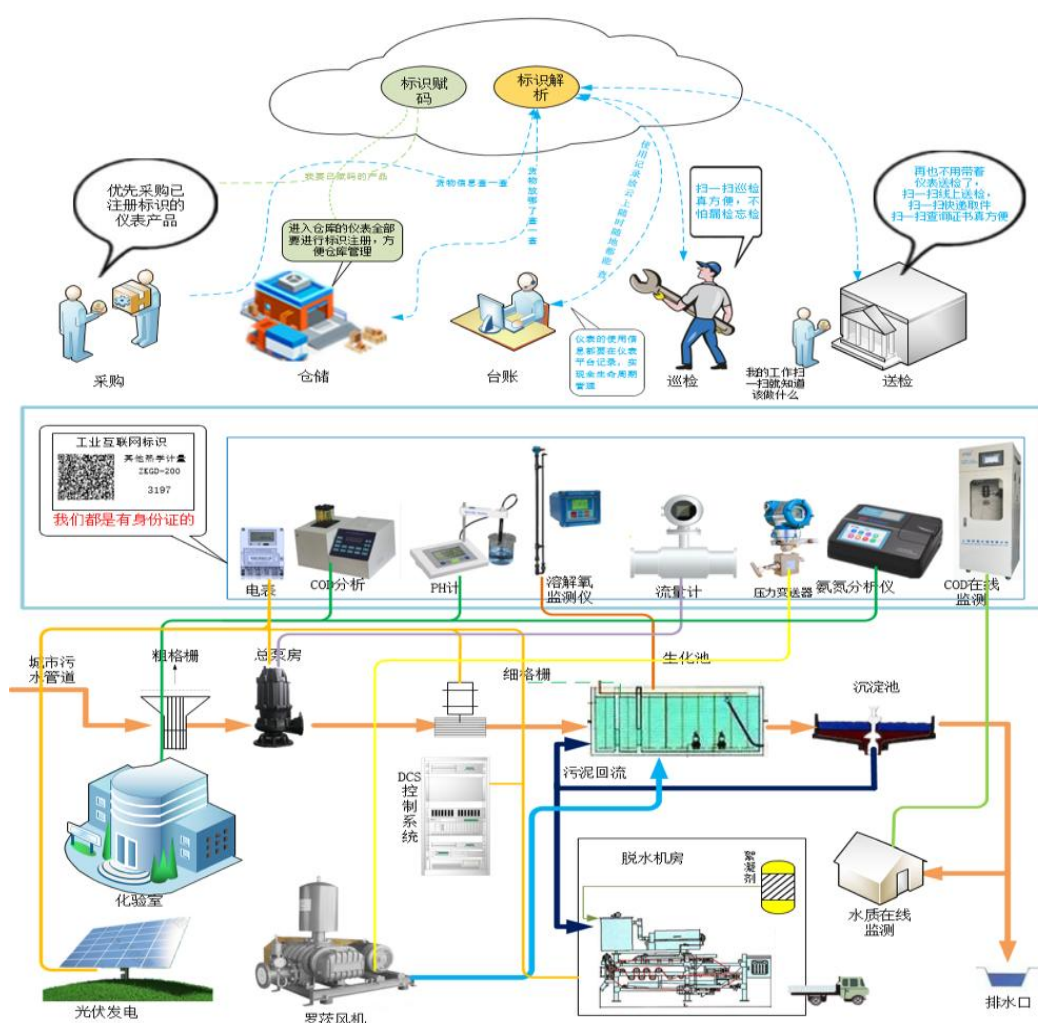


图 7 数字化污水处理厂绿色建设示意图

依托工业互联网标识解析体系，基于大陆通工业互联网仪表行业服务平台，通过对污水处理厂仪器仪表进行唯一性

赋码，建立仪表云台账，实现仪表巡检、维护与保养、在线检校和强检计量器具备案等功能，打造工业互联网典型应用场景，实现污水处理厂仪表全生命周期智能化控制。利用光伏发电和中水热能降低能源消耗，测量记录能源数据，建立可溯源的碳资产数据，建设数字化污水处理厂。

实现全工艺流程的自动化控制，特别是精确曝气和精准加药的优化控制。基于工业互联网标识解析污水处理厂信息化系统，可根据曝气池的需要量，合适的供给、分配气量，使曝气池的溶氧量尽可能接近预设的目标值，确保出水稳定，并以较小的能耗和运行成本来实现出水达标。从鼓风机到各个支管配气的全自动控制，使得出水水质更加稳定，有效降低处理单方水的鼓风机能耗，实现工艺运行的优化和节能降耗。通过监测进出水水质自动调整药剂比率，根据进出水总磷的监测值来调整铝盐除磷剂投加、铁盐除磷剂投加和碳源投加，根据进出水总氮的监测值来调整碳源投加，根据进出水余氯监测值来调整消毒剂投加，解决加药与出水水质达标滞后性的问题，节约药剂用量，降低污水处理成本。

加装光伏发电板，提高污水处理效率，提高土地开发利用成效。电能消耗是水处理厂直接生产成本的重要部分，在其大面积水处理池上面加装太阳能光伏板，对污水池形成遮挡能有效抑制池内水体藻类生长，还可以对占用土地二次开发利用。光伏电站所发电量基本被水处理厂用电负荷所消纳，

将清洁电能应用于给排水领域污染物的治理,符合“自发自用余电上网”模式。

提高中水循环利用效率,减少对大气及环境污染。污水处理厂出水可用于居民小区建筑中水,河流补充水、公园景观用水,还可用于市政道路冲洗与绿化用水。以中水作为热源,通过热泵机组将低品位水中难以直接利用的能源提取出来,供冬季供暖或夏季制冷使用,污水源热泵技术具有节水节能环保的特点,热泵机组一机两用,热量输出稳定,省去燃煤燃油燃气锅炉房系统,有较高的经济效益与社会价值。

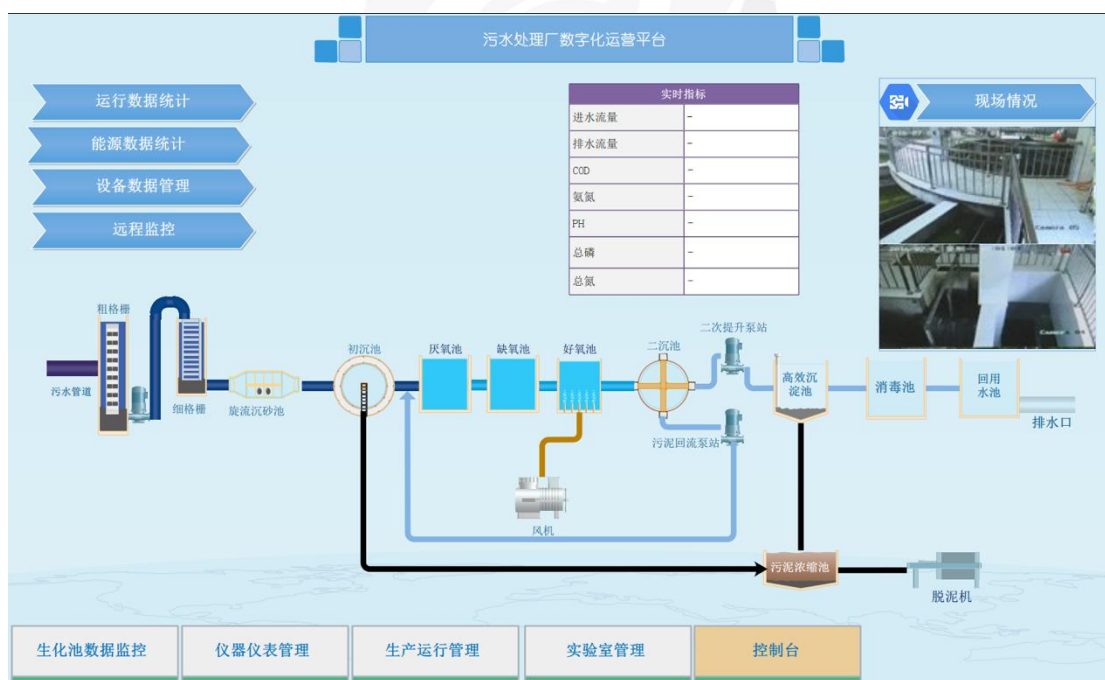


图 8 污水处理厂信息数字化运营平台示例

通过应用能源管理服务,对厂区总用电量、各环节至各设备用电量的进行实时把控,有效建立客观的以数据为依据的能源消耗评价体系,提高了能源管理的效率,及时了解真

实的能耗情况并协助公司管理者制订能源管理措施和考核办法，实现能源绩效管理、综合分析等自动化和无纸化，做到了向能源管理要效益。

2.深圳华龙讯达木星数据采集平台

木星数据采集平台是华龙讯达基于工业互联网平台架构的数据采集、数据传输、数据存储、数据管理和监控的一体化运行平台。华龙讯达通过搭建木星数据采集平台对新能源装备企业生产现场“人机料法环”各类数据的全面采集和深度分析，实现锂电池从原辅料、参数、过程、工艺、质量、批次、在线、离线、人员、状态等多维度管控。

可视化帮助企业实现透明化管理。通过建设虚拟仿真系统对产线、车间模拟，实现对整个生产过程的实时管控。通过对生产过程中出现的设备故障或产品质量问题等异常情况及时报警，提醒管理人员提前处理，有效减少停机时间、提高决策效率。通过构建 3D 可视化工厂，整合企业内关键数据，集成各个信息系统，实现企业生产过程的透明管理。

通过精准数据采集提高管理效率。通过对现场进行精准数据采集，及时了解生产最新进展，实现对生产过程的有效管控，提高企业生产效率。及时掌握生产成本情况，为节能降耗决策提供依据，实现精益的企业管理，提高管理效率。

通过边缘计算帮助提升企业竞争力。通过边缘计算，在网络边缘侧分析、处理数据，将 OT 与 IT 融合，形成数据驱

动的分布式智能控制。以分布式信息处理的方式实现数据采集的智能和边缘端自治，并与云计算结合，通过交互协作，实现系统整体智能化，有效提升企业竞争力。

搭建基于 CPS 的锂电设备数字化运营管理工业互联网平台，通过“数据驱动”提升综合管理和运营体系服务与监管的能力。基于物联网和移动互联搭建的“人”和“物”全面互联的基础上，通过云计算和大数据实现无处不在的分析服务，支撑企业建立以数据为驱动的运营与管理模式。有效提升企业的能源使用效率，助力企业节能降耗，为能源管理工作打好基础。某企业在使用深圳华龙讯达木星数据采集平台后，实现了锂电池生产装备的智能化升级，缩短了生产周期，降低了数据输入时间，有效提高产品质量。

3.积微循环工业互联网平台项目

提高废钢用量是目前钢铁行业实现“碳达峰、碳中和”目标相对更有效、操作性较强的抓手。由成渝（成都）信息通信研究院有限公司为成都积微物联集团股份有限公司着力打造的积微再生项目通过工业互联网、物联网感知等多技术结合建成一个标准化废旧资源管理及处置的基地及系统，从社会上收集各种废旧钢铁资源，通过标准化加工分检后作为原料提供给钢厂炼钢，省去烧结、炼铁等铁前工序，可指数级减少能耗和污染物排放。

积微再生项目线下基于成熟的产业园模式建设再生资

源基地，实现再生资源的回收、运输、分拣、加工、仓储等服务。线上基于产业互联网模式建设再生资源平台，实现产废单位、需废钢厂、经销商、服务提供商等各方对于再生资源交易相关的在线下单、支付、发货、收货、结算等全流程“一体化”服务。

在交易方面，通过线上扩充交易品类、链接丰富的线下产业链服务，建立多元化交易服务，增强用户粘性，增加活跃用户数量，为线下引流。线下扩建基地，增强区域回收能力，为线上提供更丰富的再生资源种类、增值服务。工业互联网平台有效推动虚拟、实体产业链相互促进，相辅相成。

在加工仓储方面，通过线上针对特定的再生资源加工订单连通线下基地缩短供应链环节，实现全环节数字化、可视化，为线下提升效率，降低管理、运营成本。通过线下标准化仓储加工业务处理能力，服务线上多样化仓储加工需求，以及通过线下基地自动化、智能化建设升级，链接线上可提供监管、增值服务数据，吸引线上用户更多的业务订单。

在物流运输方面，积极循环工业互联网平台接入第三方物流平台，为线下基地提供物流订单，通过大数据推荐最优物流方案，为线下基地指定最优物流线路；线下以基地、园区辐射区域建立核心客户的物流专线，提升服务能力效率，并与线上平台合作搭建覆盖主要地区、业务的物流中心增强线上线下核心竞争力。

五、云计算赋能方向及案例

（一）技术概览

云计算（Cloud Computing）是一种通过网络统一组织和灵活调用各种 ICT 信息资源，实现大规模计算的信息处理方式。云计算利用分布式计算和虚拟资源管理等技术，通过网络将分散的 ICT 资源（包括计算与存储、应用运行平台、软件等）集中起来形成共享的资源池，并以动态按需和可度量的方式向用户提供服务。用户可以使用各种形式的终端(如 PC、平板电脑、智能手机甚至智能电视等)通过网络获取 ICT 资源服务。

云计算的架构自下而上分别为 IaaS（基础设施即服务）、PaaS（平台即服务）和 SaaS（软件即服务）。随着云计算的发展，当前已呈现出“一切皆服务”(XaaS)的趋势，即未来任何企业技术需求，都可通过服务的方式满足，随时随地像用水和电一样，按需获得云上数字技术服务。人工智能、大数据、区块链、物联网、工业软件等先进技术都可以在任何时间地点以云服务的方式提供给用户。基于云服务上的数字技术，为各行业向低碳转型发展快速赋能，助力绿色低碳技术与应用创新，成为各行各业节能降碳、绿色发展的首选。

云原生、浸没式液冷、分布式等云计算新技术，为云计算赋能工业双碳提供强有力支撑。云原生是一种新型技术体系，开发者无需考虑底层技术即可实现快速部署、按需伸缩、

不停机交付等。云原生的代表技术包括容器、服务网格、微服务、不可变基础设施和声明式 API，容器、微服务、DevOps 三大云原生核心技术已成熟并被市场采纳。企业可将生产制造应用快速构建和部署到与硬件解耦的平台上，使资源可调度粒度更细，实现更敏捷、更高效的生产制造。浸没液冷数据中心是从服务器到基础设施的一体化重构，服务器去除风扇并浸泡在不导电的液体中，冷却液吸收 IT 设备的热量升温后循环经热交换设施传热给冷却系统，IT 设备放置在密闭容器而消除温度、湿度、振动、灰尘对 IT 设备的影响。云厂商通过更高效低耗的硬件服务器和虚拟机调度技术、云服务优化算法，帮助降低算力集群的能源消耗与碳排放。分布式云是云计算部署的新形态，逻辑上是一朵云，实现各业务系统基于内网互通，能提供一致的运行环境实现高效的业务复制和迭代，提供一套统一的管理体系帮助企业全局统一治理和分权分域局部自治，能将云基础设施和服务延伸到业务所需的各类位置，如可将云的智能技术推送到业务现场，支撑智能质检等场景。

云计算本身就比传统 IT 架构具有更高的节能作用。埃森哲《数据中心效率、可再生能源和碳补偿投资最佳实践》报告引用了一项针对微软的研究，通过比较客户传统 IT 数据中心和微软云数据中心提供三种微软业务应用程序（Exchange、SharePoint 和 Dynamic CRM）对环境的影响。

该研究发现，微软基于云的运营对于小型应用（每 100 个用户）减少碳排放量 90%或以上，对于中等规模应用（每 1000 名用户）减少碳排放量 60%至 90%，对于大型应用（每 10000 用户）减少碳排放量 30%到 60%。

（二）主要赋能方向

1.为工业碳管理提供低成本高可用支撑平台

云计算为碳数据应用与管理提供低成本、高可用、高扩展的算力和存储环境。云计算根据碳数据计算和存储资源的需求情况进行动态弹性管理，能够提供碳数据应用与管理所需要的规模级数据存储和计算功能，最大限度提升物理资源的复用价值，有效降低运行成本。云计算可实现 99.9%的高可用计算性能，以实现实时计算和安全保障，最大限度避免因电路故障或其它故障导致服务停止运行等问题。

云计算技术助力大中型工业企业建立覆盖生产、运营等各环节的企业级能耗和排放管理平台。能强化能源消耗、碳排放数据的规范性有效性，增强企业在运行成本控制、环保效益提高、能源效率提升等方面的数据分析能力。推动工业企业形成全流程、全产业链、全生命周期的能耗和碳排放管理体系。

云计算助力工业行业建设能源消耗、碳排放、社会赋能等行业级碳管理平台。推进企业与行业碳管理大数据平台对接，提升数据信息的统计、监测、分析和核查水平，探索构

建行业绿色低碳发展的专业化精细化监管指数。

2.应对计算资源需求峰谷不定的工业场景

工业制造上广泛存在着工业仿真等对计算资源需求波峰波谷特性的场景，如汽车的碰撞仿真、流体仿真、结构仿真等。这些场景的峰值的资源需求超出平时所需资源数倍，如果企业均按业务峰值需求建设资源池，将形成重资产及闲时资源的巨大浪费。自建机房从项目招投标，到系统安装部署，再到顺利上线，耗费长达数月时间，建设周期长；机房、供电、制冷、消防、系统管理费用等占运营成本较高。随着业务的不定量增长，传统数据中心建设难以满足业务发展要求。基于云服务的伸缩、计算资源即开即用、按需租用等特性，工业企业可以根据业务负载需求进行自动的弹性申请和释放，灵活应对业务对计算资源的诉求，减少不必要的重资产投入，避免重复建设和设备空转，降低能耗和碳排放，并缩短产品上市周期，提升企业产能和效益。

3.降低传统工业软件研发能耗成本

工业软件的核心是工业知识长期积累、沉淀并在应用中迭代的模型化、软件化产物。我国工业企业虽然也掌握了一定程度的工业知识，但由于缺乏合适的平台、工具去实现从“工业知识”到“工业模型”及“工业软件”的沉淀，从而多采用项目级的定制交付，没有实现产品化。

我国数字化服务企业纷纷打造云端开发环境，可为工业

企业提供一站式开发运维能力。当前，数字化服务企业提供全代码、轻代码和低代码等各种开发模式，支持多种主流开发语言，内置上万代码检查规则，并支持千万级 TPS 自动化测试并发请求。在开发环境中提供一站式的工业智能业务开发工具链，包括数据集管理、工艺机理/算法管理、模型开发流水线、模型交付流水线、可视化展现等一系列能力，提升工业智能业务的开发和交付效率。通过构建开发者社区，吸引专业技术服务商和第三方开发者基于云上平台进行工业 APP 创新。云计算能帮助面向软件全生命周期，打通需求、开发、测试、部署、维护等全流程，也能够灵活满足工业用户个性化定制需求，并通过云上多地域协同研发，带来工业软件在软件工程设计人力成本上、能耗成本上的大幅节省。

4.赋能工业数据中心节能减排

数据中心云化、集约化、绿色化发展，是工业低碳发展的重要基础。数据中心是产业数字化转型基础设施的主要载体，据国家能源局数据，2020 年，我国数据中心用电量已占全社会用电量的 2%。老旧小散传统数据中心呈现资源利用率低、能效低、安全性低的三低特征，而云计算通过以下几个方面降低碳排放：用电和散热效率的提升、硬件效率上的提升、软件工程设计在能耗上的节省、云原生架构在计算效率上的提升、云计算中心集中使用新能源和硬件的材料循环等。2020 年，埃森哲《The green behind the cloud》报告显示，

从企业本地部署的 IT 基础设施转向云的迁移,通过以上六个方面的改变,平均可使碳排放降低 84%。推进云计算替代传统 IT 基础设施,本身就是全社会减碳增效的重要手段。

(三) 典型赋能应用

1.腾讯云：零碳园区智慧能源生态平台

2021 年,腾讯云与港华能源投资有限公司就“零碳园区智慧能源生态平台”达成合作,基于腾讯云综能工场打造数字化能源解决方案,助力园区和用能企业实现“双碳”目标。该平台落地江苏省泰州市海陵区,平台针对碳管理、能耗监测等核心难点,支持智能化的能源数据管理、分析、预测和优化,实现碳排放一目了然、碳管理精准高效。该平台还能灵活扩展出能效管理、能源交易、碳交易等应用,帮助工业园区加速建设“零碳园区”。

智慧能源生态平台以云平台、物联网技术为基础,通过数据采集系统、自动化统计管理和数量处理引擎、智能算法和预测技术,打造智慧综合能源的技术平台和业务生态。



图 9 智慧能源生态平台的整体架构

平台具有安全、可靠、绿色、高效、智能、开放的特点，针对供能、用能、聚合等不同场景提供全系列解决方案。智慧能源生态平台解决方案体系如下图所示。



图 10 智慧能源生态平台解决方案集成

平台具有监控、分析、预测、优化四大功能。监控即“拍片”，通过平台的综合展示界面、多站协同集控、APP 实时交互等功能实现综能信息实时掌握、全景感知。分析即“会诊”，通过平台的快速洞察问题、精准推送需求、全链多维追溯等

功能实现综能状态全面洞察、多维分析。预测即“模拟”，通过平台的发电能力预测、用电需求预测、市场价格预测等功能实现综能交易模拟仿真、精准预测。优化即“抓药”，通过平台的能效管理寻优、能源交易寻优、碳额交易寻优等功能实现综能智能寻优、按需调配。智慧能源生态平台四大功能如图所示。



图 11 智慧能源生态平台四大功能

平台可为能碳监管部门提供可靠的能源数据基础系统，助力城市能源成体系化监管平台的搭建。通过平台的监管与分析功能，实现对所辖园区及企业安全生产和排放情况的事实了解，透视企业能源消耗情况与企业经营状况。根据园区产业结构、产业规模、产业透视、项目投资潜力等指标综合分析，及时发现薄弱产业，辅助园区精准招商和项目引资。

通过平台监管、分析、预测功能，可协助监管部门对城市碳排放进行监测、监管，对碳达峰、碳中和进行预测，预防风险与执行难度从而辅助政府部门进行决策和及时调整。

通过平台优化功能，可规划能源与碳排放路径，制定有针对性的碳管方案，在实现“双碳”目标的同时不影响经济发展。

针对能碳使用部门的平台服务有能效服务、碳服务、增值及辅助服务等。平台可为企业提供标准化运营管理服务、可视化能源监控服务、能效管理服务、工业节能和建筑节能服务。根据企业产能和市场情况分析企业能源消耗趋势，根据企业碳排放情况，计算企业碳排放等级，得出其碳排放趋势和减碳潜力，并为主体企业提供减碳建议。依托计量、通信、控制及预测等技术，具备对多种分布式能源进行协调优化的能力，使得分布式能源客户能够参与碳交易、绿电交易及电力辅助服务等市场，从而最大化客户资产的商业价值，同时助力电力系统的绿色转型和稳定发展。



图 12 泰州海陵区零碳智慧园区驾驶舱



图 13 泰州海陵区能源管理总览

2. 阿里云：数据中心能源与碳管理平台

云数据中心的能源和碳管理工作专业度高、数据量大、涉及面广，为高效管理带来巨大挑战。阿里云数据中心能源与碳管理平台（内部称法拉第系统）通过 IoT、大数据、AI 等技术，可准确预测年度、月度用电量，更好开展中长期清洁能源交易。同时在新电力系统及电力现货市场背景下，开发集成了首个用户侧电力现货交易管理系统，通过更精确预测日前负荷与实时负荷，与间歇性、波动性新能源负荷相匹配，助力新能源消纳。平台实现了数据中心电力容量、电费、电价、电力交易、节能减排等全量能源信息实时在线。在能源管理基础上，联合第三方权威认证机构确定数据中心碳盘查方案，将不同碳排放源、排放因子、碳排放逻辑及数据中心实际运行数据等统一纳入平台，将碳盘查、“碳中和”

工作线上化，碳盘查及碳减排全量数据实时在线，一键生成碳盘查、碳中和报告，引导用户使用低碳绿色数据中心。平台实现了“量价费碳”四位一体和实时联动，实现了全球、国家、城市、机房、服务器等多维度能源与碳的数字化、智能化管理。

3.华为云：PUE 优化平台 iCooling

华为发挥数字技术领域优势，加速能源数字化，推动产业数据中心绿色发展。随着数据中心建设硬件节能越来越受限，华为投入大量人力开发数据中心内部 PUE 持续优化的软件平台和智能算法，希望用智能化算法的手段挖掘更多的节能空间。华为自研开发的 PUE 优化平台为 iCooling 和 CloudOpera，主要应用在数据中心的智能化节能系统，按照“看、诊、调、优”的思路实现数据中心端到端的节能综合解决方案，打造零碳数据中心，赋能于工业领域数字技术应用。

基于 AI 的 iCooling 能效优化技术，在同等硬件条件下，可降低制冷系统能耗；并通过匹配 AI 智能算法，实现间接蒸发冷却系统全自动巡检及故障预测，降低运维人力投入。其中基于 DNN 深度神经网络的 AI 算法调节，自动调节制冷系统运行状态，可降低数据中心 PUE，大幅节省能源支出；PUE 智能节能支持水冷冷冻水、风冷冷冻水、AHU、末端空调（行级、房间级、风墙等）等制冷场景的节能调优。利用 AI 技术优化制冷系统控制策略，对数据中心的室外温湿度、

IT 设备能耗、制冷系统（冷站、空调等）能耗和状态进行分析并建立相关数学模型，提升能源使用效率。

以“贵安华为云数据中心”为例，为降低数据中心散热能耗，华为云使用 AHU 散热技术将贵州得天独厚的自然冷源优势最大化利用。同时为降低数据中心用电能耗，华为云还借用先进 AI 技术，通过 iCooling 对数据中心能效进行调优，可降低能耗，避免了电信基站、数据中心、站点数量激增可能带去的高电能消耗，对于减少碳排放有着重要意义。

六、大数据赋能方向及案例

（一）技术概览

伴随着时代背景下数据特征的不断演变以及数据价值释放需求的不断增加，大数据技术已逐步演进为针对大数据的多重数据特征，围绕数据存储、处理计算的基础技术，同配套的数据治理、数据分析应用、数据安全流动等助力数据价值释放的周边技术组合起来形成的整套技术生态。

大数据技术体系可以归纳总结为基础技术、数据管理技术、数据分析应用技术、数据安全流通技术四大方向。每个方向大数据技术的产生都有其独特的背景。基础技术包括流计算、图计算、分布式协调系统、集群管理及调度系统、工作流管理等。数据管理类技术包括元数据管理、数据集成、数据建模等。数据分析应用技术包括数据可视化、深度学习、数据挖掘平台等。数据安全流通技术包括隐私计算、数据脱

敏、身份认证等。

大数据完整生命周期技术覆盖从采集、传输到应用、治理的全过程。大数据的采集处于第一个环节，常见的数据采集方式包括系统日志采集、网络数据采集、设备数据采集。采集的数据通过数据通道被传输存储，数据传输包含消息队列、数据同步、数据订阅、序列化等技术。数据组织集成包括数据存储、数据计算、数据仓库、数据挖掘等关键技术。数据治理包括元数据管理、主数据管理、数据安全等技术等。在大数据战略从顶层设计到底层实现的“落地”过程中，治理是基础，技术是承载，分析是手段，应用是目的。

大数据技术与实体经济深度融合，不断产生新业态新模式。大数据产业主体从“硬”设施向“软”服务转变的态势将更加明显，面向政务、金融、电信、医疗、工业等领域的大数据服务实现倍增创新。大数据与特定场景的结合度日益深化，电信、互联网、金融等重点领域优秀大数据产品和解决方案加速涌现，精准营销、智能推介等应用日益成熟，应用成熟度和商业化程度将持续升级。驱动工业网络化协同、个性化定制、智能化生产等新业态新模式快速发展。

（二）主要赋能方向

在制造业中，工业大数据赋能构建智慧工厂、智能联网产品运维服务和绿色制造。在电力行业中，工业大数据助力广域电网测量 WAMS、能源装备的远程运维、新能源分析与

优化以及停电预测和过载预警等。在碳移除方面，大数据技术提升生态固碳效率；在碳管理方面，碳核算监测、碳交易、碳金融等也离不开大数据技术。

工业大数据平台为工业升级转型注入巨大活力。大数据技术与新一代信息通信技术的融合发展驱动制造业迈向转型升级的数据驱动新阶段，这是新的技术条件下制造业生产全流程、全产业链、产品全生命周期的数据可获取、可分析、可执行的必然结果，也是制造业隐性知识显性化不断取得突破的内在要求。工业大数据平台是“云、移、物、大、智”深度融合的体现，使得产品与生产设备之间、不同的生产设备之间以及数字世界和物理世界之间能够互联，可以打破传统工业生产中企业、地域、操作习惯、生产经验等多重限制，快速高效完成工业操作制度的决策、工业大数据的云端数学建模计算、工业信息和标准的快速获取、工业问题的互动咨询。依托平台能提供工业大数据咨询与实施服务，涵盖能效管理、环保监测、资产管理、安全生产、设备生命周期管理、经营管理分析等领域，强化工业与大数据深度紧密融合。

1. 赋能生产制造全过程双碳管理

数字化赋能工业双碳的每个关键过程都离不开数据的作用，利用大数据技术全面、多维度量化能耗、碳排放全过程，通过全面连接数据驱动和全局优化，研发设计更低能耗的技术产品，优化生产制造工艺流程，提升双碳实时决策水

平。在以保障产品质量，生产效率等要求下，在工艺过程碳排放仿真与优化环节中引入碳约束，并在新的工艺研发时实现碳排放仿真，指导新工艺设计，实现产品碳排放量的最优。通过有效打通库存、制造、物流、质检、人员等各个生产环节产生的数据、分析及使用，提高信息传递效率和精准度，精准管控生产效率，及时通过数据、模型发现能耗碳排的各类异常，解决可能存在的缺陷，有效降低由于不确定性因素导致的各种风险。

2.助力碳足迹分析管理

碳足迹是以生命周期评价方法评估研究对象在其生命周期中直接或间接产生的温室气体排放，对于同一对象而言，碳足迹的核算难度和范围要大于碳排放，其核算结果包含着碳排放的信息。通过构建基于原材料物料碳、能源碳、工艺碳数据的工艺和设备的排放模型，利用大数据技术对数据实时处理，实现对设备、产品、产线、区域碳排放的精确核算。实时监控碳排放，及时发现高碳排放环节，精确核算碳排放监测对象。

3.探索低能耗与低碳排的技术路线

工业大数据平台最大化收集、分析、利用数据，探索面向特定生产环节低能耗与低碳排的技术路线。综合应用 5G、物联网、大数据技术，实现物质流、能量流、数据自动感知与自动采集、异构数据自动集成，实现数据存储。利用大数

据、人工智能技术把机理建模和数据建模技术相结合，建设能量流驱动物质流、物质流产生或影响能量流的动态关联模型，搭建能源管控系统，将配电系统、空压系统、制冷系统、纯水系统等设备接入，通过能源数据计入和统计分析，推动设备能源台账管理、设备异常状态报警、设备状态在线监测、设备能效分析等，实现能源监测从经验判定向智能监测升级，减少设备运转过程中的跑冒滴漏、降低空载率、节约设备能源消耗。利用大数据技术对获取的碳排放数据的统计和分析，构建设备碳效率、单件产品碳排放等衡量指标，发现高碳排放环节，为企业降碳决策提供数据支撑，使碳排放单元效率最大化。

（三）典型赋能应用

1. 基于工业大数据的离散制造企业碳排放核算与优化平台

随着我国双碳目标的正式提出，碳约束时代正式来临，生产过程中的碳排放成为制造企业必须考虑的因素。如何清晰掌握企业制造全生命周期的碳排放，并提出有效的减碳策略，成为企业亟需解决的问题。以压铸行业为例，重庆工业大数据创新中心建设了基于工业大数据的离散制造企业碳排放核算与优化平台。

搭建云边端一体化架构。将生产现场数据传输至边缘服务器进行数据筛选和数据清洗，实现能源碳排放、物料碳排

放、工艺碳排放、产量碳效率、利润碳效率和质量碳效率等数据采集，边缘端具有断点续传、分布式计算等功能。指标识别、模型加载、行业专家知识系统、机理模型存储于云端，基于海量数据进行机理模型计算、分析及生产优化，并将计算结果返回至终端，实现碳排放参数和生产参数的识别、碳效率评估、碳效率优化、执行控制以及与其他生产系统的交互。在终端进行评估与优化结果的可视化展示，为制造车间设备管理人员、现场管理人员、生产管理者以及决策者在考虑实现“双碳”目标时提供生产指导参考。

实现碳排放监测和核算，并为企业在碳约束下的工艺优化提供决策支撑。针对制造车间碳排放源的多样性、复杂性和广域分布性等特点，采用物联网无线通信技术，实现设备的碳排放数据采集与智能分析。通过建设“双碳”大数据分析中心，开发制造车间网络化管控云平台，实现制造车间碳排放、碳效率实时监测。通过构建碳排放机理模型，结合数字孪生、大数据技术，帮助企业获取设备、工艺、产品、企业的碳排放数据。根据工业企业在生产过程中碳排放核算及优化存在的难点痛点，有针对性的制定了相应解决方案。

运用大数据、专家经验训练模型，深度学习优化工艺参数，实现制造车间“双碳”目标的完整解决方案。获取设备、产线、车间和企业的碳排放与碳效率数据，从静态到动态，从数字计算到可视化，对企业制造全生命周期内的原材料物

料碳、能源碳、工艺碳相关数据全面感知。碳排放核算与优化平台帮助企业实现碳排放监测和核算，助力企业低碳管理。本项目适用于工业企业内的流程型与离散型行业，涵盖行业内大多数企业，通用性强，覆盖面广。

2. 基于数字孪生和边缘侧智能控制策略的火电厂工业大数据平台

电力工业在推动经济发展中起着举足轻重的作用，针对燃煤发电厂发电效率低下、能源消耗居高以及碳排放管控难等问题，重庆工业大数据创新中心提出建设低碳导向的基于数字孪生和边缘侧智能控制策略的火电厂工业大数据平台。

基于物联网、边缘计算、大数据分析等技术，建立适合火力发电厂的低碳排放、高发电效率的大数据生产分析模型。构建生产过程全要素的生产优化模型，对实际生产过程中的关键设备进行灵活管控，形成一套完整的解决方案，提高发电效率、建立低碳排放、高发电效率的大数据生产分析模型，供发电公司决策。通过共同研究低碳导向的基于数字孪生和边缘侧智能控制策略的火电厂工业互联网平台开发和应用，在不改变电厂原有设施条件下，优化操作流程，打造符合当地企业需要、具备可扩展性的解决方案，帮助能源企业实现降低能源消耗、提升使用效率、减少污染排放。

结合大数据技术、数字孪生技术建立火力发电的全流程模型，构建燃煤发电厂全流程数字孪生体系。燃煤发电厂的

发电流程即三大系统——燃烧系统、热力系统和电气系统的数字孪生模型，包含从煤炭入厂运输、磨粉、锅炉、脱硝脱硫、除尘到水、余热循环利用，以及关于设备性能计算、故障预测及运行优化中的各种复杂条件，在系统中预建立一个存储大量性能计算和优化模型的数据库，将分析结果作为数字孪生系统的参数调整依据，从而去优化电厂生产。

数据分析处理技术在监测数据中获取有效信息，支持现场规模数据的采集、处理和交换，提高整个系统的稳定性。

燃煤发电厂设备规模大，生产数据量大，数据交换频繁，数据实时性、安全性、稳定性要求高。燃煤发电厂中工业设备上大量传感器产生的数据量大、特征维度高、数据关系复杂，难以建立设备故障检测模型。为此，采用基于边缘智能的复杂动态燃煤发电厂设备故障检测方法，设计基于实时数据的模型更新方法，使其适应设备状态变化，提高模型准确性。

基于大数据采集技术的能源互联系统总体解决方案，为建设示范电厂提供可靠的模型分析。建立基于火力发电厂的低碳排放模型、高效发电模型等，实现电厂全流程实时互联、运行实时管控、能源均衡管理。以既有模型和算法为基础，针对国内燃煤火电机组的具体特点和性能要求，建立能充分反映机组动静态特性的机理模型和大数据驱动模型，用以在线计算和评估机组的安全裕度、清洁与经济运行区间，实现机组全工况运行模式的优化，为机组的稳定灵活、清洁经济

运行提供在线指导，为电厂高效运维管理提供数据支撑。

节约火电发电煤炭消耗量。通过优化能耗提高同等烧煤发电效率，在电厂应用全流程建模技术、多源异构数据特征信息提取技术，能为增效减排目标提供强有力的支持。通过具体落地实施和解决方案的验证来进行支撑，先建立一个电厂示范，共同以低碳为导向，将工业互联网平台与火电厂能源管控与优化相结合，逐步提高能源使用效率，减少污染排放，优化为更为环保的火电厂。

七、人工智能赋能方向及案例

（一）技术概览

1956 年，人工智能（AI）的概念在美国的达特茅斯会议中首次被提出，现已逐步形成一个新兴产业。人工智能是指利用机器学习和数据分析，对人的意识和思维过程进行模拟、延伸和拓展，赋予机器类人的能力。其发展经历了初期将逻辑推理能力赋予计算机系统，以专家系统为代表的将知识学习能力赋予计算机本身，到现在的利用机器学习的手段从大量的数据中学习算法并实现机器在语音识别、图像视觉领域的重大突破。

人工智能的核心是机器学习特别是深度学习。机器学习是研究怎样使用计算机模拟或实现人类学习活动的科学。深度学习与传统机器学习算法的区别在于其可自动提取出特征来进行学习从而避免人工干预。当神经网络计算的层数达

到或超过三层时，即可视为深度学习。学习算法主要分为监督学习和无监督学习，在监督学习中需要给算法提供一个带有“标签”的数据集，算法根据从该训练数据集中学习到的内容并将学习能力泛化，从而对未见过的数据也能给出相对比较正确的判断和答案；而在无监督学习中，计算机需要在没有“标签”的情况下推断数据中的模式，从而在新的数据集中也能找出合理的结构并做出判断。

计算机视觉和自然语言处理是人工智能的两个重要应用领域。计算机视觉应用旨在赋予计算机发现、观测和理解图片和视频的能力，常见应用包括图像分类、目标检测、目标追踪、基于内容的图像检索等。自然语言处理主要是让机器理解人类的语言，智能音箱、机器翻译、搜索、自动摘要、文本分类、观点提取等应用都涉及到自然语言处理相关技术。

人工智能在数字政府、智慧金融、智能制造领域广为应用。政府可以对重点区域进行全天 24 小时智能监控、智能预警，可通过对违规数据的智能分析快速有效的帮助有关部门执法。金融机构应用人工智能技术提供金融知识智能机器人、智能投资顾问、智能推荐等多种服务，通过对大量的社交、线上购物、交易、新闻舆情等数据进行分析，提升抗风险能力并合理匹配资金需求。人工智能技术在制造业产业链各个环节发挥重要作用，通过对工厂整个生产过程的数据进行智能分析，不断地优化生产方案，还可基于自然语言处理

技术分析工人检修报告，基于机器视觉技术对产品进行缺陷自动检测等。

（二）主要赋能方向

1.助力工业行业的双碳规划与节能降碳优化

在工业制造领域，参与相关方包括政策制定部门、行业协会、大型工业产业集群或园区、重点排放工业企业等。对于双碳政策制定部门来说，需要从宏观角度、自上而下、因地制宜的制定当地重点工业行业的双碳发展路径。在尽可能充分收集历史多源、多类型数据情况下，大数据驱动的人工智能算法可以和“能源-经济-环境”等传统机理分析模型相融合，自动给出碳达峰推演、碳减排路径规划与碳中和投资决策等结果，助力区域工业实现高质量绿色转型。

从企业全生命周期管理来看，双碳涵盖了工业研发、生产工艺、装备集成、运营管理、营销物流、报废回收等过程。重点控排企业因碳配额逐年递减，面临较大节能减排转型压力。在研发阶段，特别是新材料、新医药领域，可以借助人工智能辅助设计、知识挖掘与发现等技术，帮助研发工程师发现更节能、更低碳的新分子结构。在生产工艺环节，可以借助机器视觉技术发现瑕疵，降低次品率。在装备集成环节，基于预测和优化技术实现用能优化、高效率的排程排产。在运营、物流等阶段，基于深度学习的供需预测技术，优化供应链效率，减少不必要的浪费。

2.助力能源结构转型

能源是现代发展的基础，通过开发可再生能源解决能源和环境问题已成为全球共识，建设新能源比例不断提升的新型电力系统势在必行。但由于可再生能源具有间歇性、分散性和波动性，给传统电网的安全和可靠供应带来了极大的挑战。如何借助人工智能技术，对新型电力系统供需两侧的不确定性进行预测，并优化源网荷储各环节之间的效率，实现“安全-经济-低碳”最优，是助力能源结构迈向绿色清洁的必经之路。构建新型电力系统，基于深度学习技术对负荷进行预测，从而建立精准的负荷模型，其中工业负荷占比高，是实现精确负荷预测的关键；将气象环境机理与数据驱动的算法相结合，对风光等新能源出力进行精准预测，是确定电力能源供应资源量的关键；借助机器视觉、知识图谱、人机交互等技术，辅助电力能源设备的智能巡视，降低故障异常所带来的经济损失；借助运筹优化与强化学习技术，对源网荷储的全过程“安全-经济-低碳”协同控制与优化，具有重要意义。

3.助力市场碳价预测

对碳排放权交易价格进行预测，是碳市场交易的重要环节。对于参与碳交易的控排型工业企业来说，可靠碳价预测有助于规避碳价格波动风险，有助于企业进行碳市场管理，也可以辅助碳市场交易的投资者优化投资策略，激励更多参

与者加入到碳交易生态中，促进整个经济社会的绿色低碳意识与积极性。由于碳价格具有高度的非线性、复杂性，受到能源价格、气候变化、宏观经济、市场参与者行为、政策因素等多方面因素的影响，传统的碳价格预测模型不能很好克服碳价格高度非线性带来的预测难题，预测精度还不能满足人们的预测需求。需要综合数据驱动的方法与知识经验的方法，如可采用数据重构、知识嵌入、遗传算法和深度神经网络设计等混合算法的思想，构建碳价的鲁棒预测模型。

（三）典型赋能应用

1. 阿里云碳眼及能耗宝平台

阿里云研发了面向政府、自上而下进行双碳数字化监管的智慧运营平台“碳眼”；以及企业自下而上，进行节能降碳优化的智慧能碳管理平台“能耗宝”。在辽宁省沈抚改革创新示范区进行了“G&B”的双向互动探索。该示范区位于沈阳、抚顺两市之间，地处东北亚中心及东北老工业基地的核心区域。沈抚改革创新示范区聚焦“实现高质量发展”和“发挥示范引领作用”，全力打造三区一引擎发展目标，确立以新一代信息技术为支撑的数字经济、信息技术应用及装备、人工智能和智能制造、生命健康、新材料和氢能、现代服务业六大主导产业，全力建设创新能力强、开放程度高、营商环境好、生态环境优的宜居、宜业、宜游、宜创沈抚示范区。

面向工业园区管委会，阿里云碳眼融合了数字化、智能

化与机理分析技术，为运营主体提供双碳智慧运营的平台工具。在阿里云（辽宁）双碳赋能中心及生态园区，通过“数字+降碳”模式，将多方数据打通，全面整合电力、水务、燃气、政府、社会等多方系统平台数据，提供双碳能源互联网平台、节能减排服务平台、双碳清洁发展服务平台、双碳运营中心、双碳金融电商服务平台等。

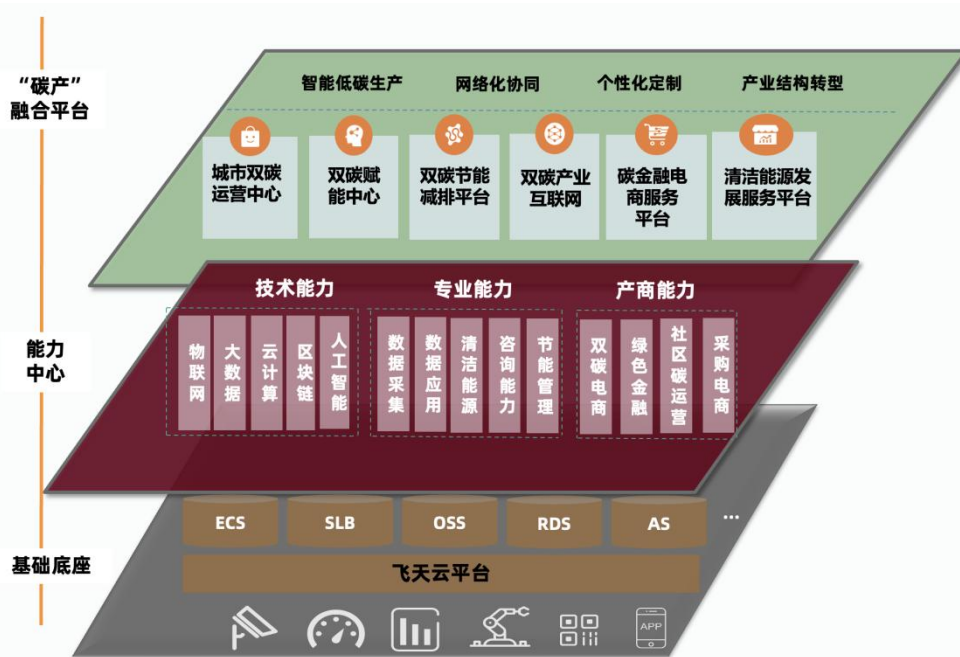


图 14 基于阿里云碳眼的辽宁沈抚双碳智慧运营平台

碳眼能够支撑区域级的数据接入、配额监视、高排企业监测、碳排放数字化核算、能源-经济-低碳的综合分析、典型工业行业的碳达峰推演、重点工业行业的碳减排路径优化、减污降碳协同优化等。其中，基于图计算的碳排放深度追踪分析算法，帮助政府针对对重点行业、企业、环节进行碳追踪，精准施政。碳眼将优化算法与机理分析相融合的减碳施政工具箱，助力管理人员进行实时动态沙盘推演，实现双碳

数字化智能化运营。



图 15 辽宁省沈抚新区双碳全貌

阿里云能耗宝能帮助企业快速盘查能耗分布、碳排放量、清洁能源碳减排量等数据，为企业提能碳监测、能碳评估及能碳预测等功能。截至 2022 年 3 月，已经有 700 多家企业通过阿里云能耗宝接入到双碳数字化平台中，应对碳排放合规、碳资产运营和优化等问题。此外，针对目前碳排放数据稀缺、普遍质量不高的问题，碳眼结合无监督学习的深度学习技术，分别利用 LSTM、VAE 以及 GAN 网络解决企业上报数据异常检测问题，解决有监督学习方法异常检测要耗费大量人力、时间标注数据等问题。

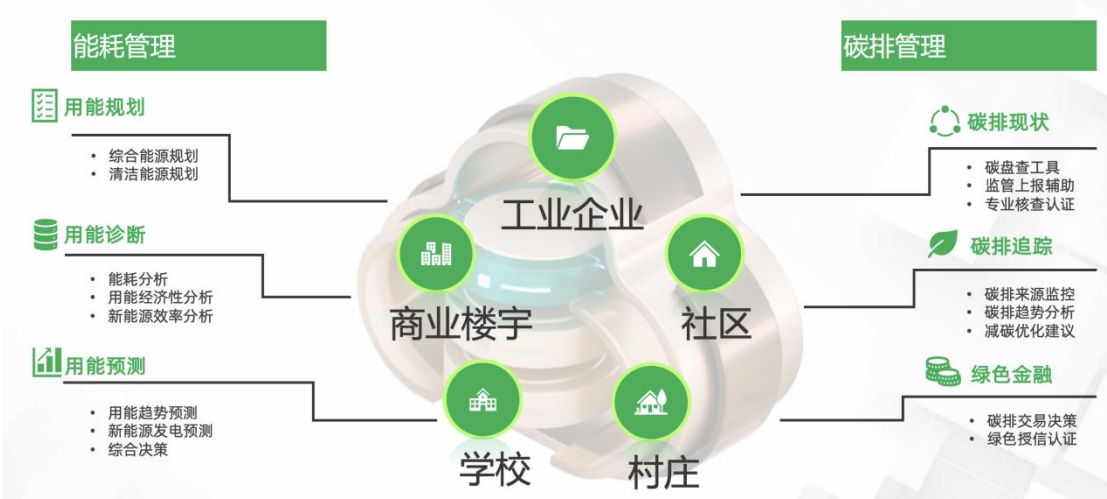


图 16 基于阿里云能耗宝的企业能耗与碳排管理系统

针对区域内的工业空调，能耗宝提供云-边-端的智能架构，接入空调群的数据，将机器学习预测算法、模型预测控制算法和暖通机理模型进行有机融合，在满足生产与生活要求的前提下，对空调设备进行智慧节能控制，实现精准节能降碳。

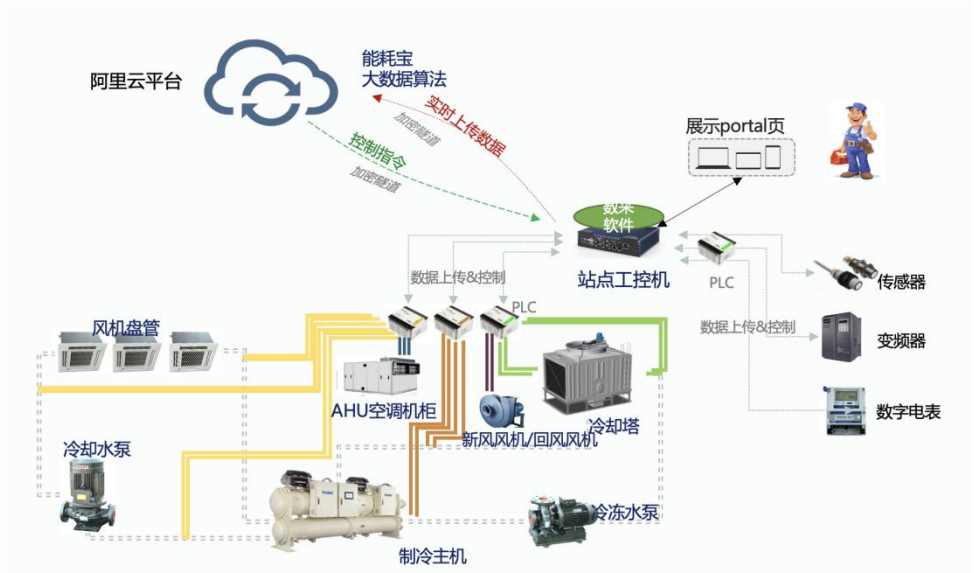


图 17 多智能技术融合的空调智慧节能技术架构

2. 中信戴卡、精诺瀚海、河北工大智能机加闭环解决方案

天津开发区精诺瀚海数据科技有限公司与中信戴卡股份有限公司、河北工业大学联合研发了以知识图谱为核心的智能机加闭环解决方案。该方案实现了铝合金车轮全尺寸在线敏捷测量，建立了尺寸数据、刀具调整、工件形状位置和加工工艺参数的关联数据模型，将检测数据发送至关联数据模型，通过 AI 模型计算出调刀方案，并发送给机床执行。

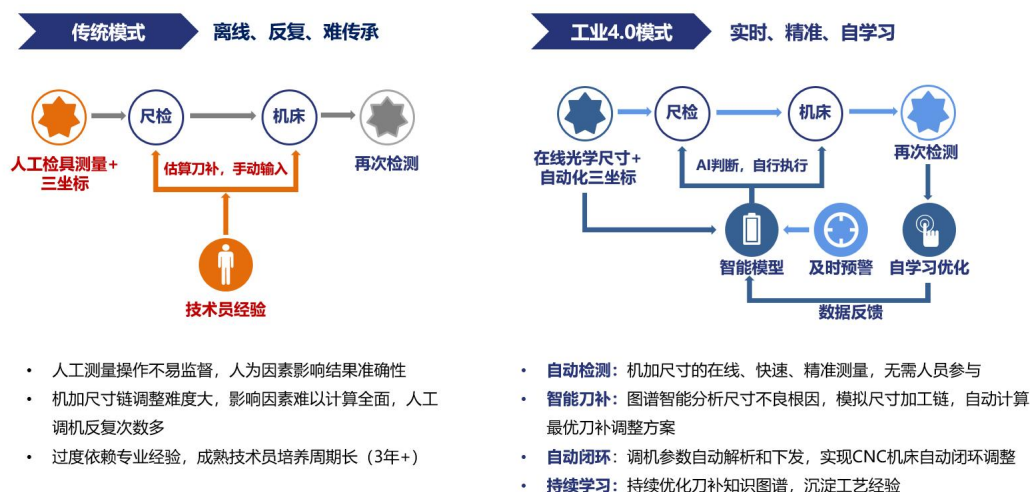


图 18 智能机加闭环解决方案

方案解决了传统制造存在的刚性生产、经验式工艺、人工离线检测和高能耗等难以克服的问题，实现了自检测、自反馈、自调整的智能化加工联动和闭环调整系统，同时建立了故障自动诊断、极限监控专家系统，实现了无停机自适应加工和刀具自动补偿，改善了机加工中断调机环节，解决了尺寸波动难以控制的难题，提高能源使用效率，减少了瑕疵

品，从而实现节能减排，使得生产向自动化、柔性化、数字化、智能化和节能化的发展方向转变。

3. 中国移动“九天”人工智能平台

中国移动“九天”人工智能平台提供从基础设施到核心能力的开放服务，累计孵化应用近百项、服务用户超9亿，成为推动5G+AI规模化应用的“引擎”。

通过云数融合、云网融合、云边融合、云智融合打造开放的人工智能平台，为用户提供机器学习等一系列人工智能服务，面向金融、交通、教育、工业、医疗、农业等垂直行业，为产业提供行业人工智能解决方案。强化人工智能与医疗、教育、交通、环保、应急指挥等社会治理各方面的深度融合，消除数字壁垒和信息孤岛，使社会治理更加科学高效、人们生活更加智能便捷。凭借高可靠、低时延特征，5G也将整合工业生产各领域离散网络，推动AI深度融入制造业全流程、全环节，大幅提升传统产业的生产效率。

4. 浙达能源虚拟电厂实践

虚拟电厂（Virtual Power Plant，VPP）是一种将分布式多类型能源资源聚合管理运行的电源协调管理系统模式，通过先进的信息通信技术和新一代智能控制系统，实现分布式电源（风电、光伏、冷热电联产、生物质发电等）、储能系统、可控负荷（工业、商业建筑楼宇、居民社区等）、电动汽车、微电网等分布式能源资源的聚合和协调优化，把多类

型、多能流、多主体资源以电为中心相聚合，实现电源侧的多能互补、负荷侧的柔性互动，可以作为一个特殊电厂参与电力市场和辅助服务市场运营，实现资源优化利用，提升资源利用率和系统灵活性，实现能源流、业务流、数据流“三流合一”，真正形成能源“互联”和高效运行。



图 19 虚拟电厂系统架构

核心技术方面，虚拟电厂通过整合机制将分布式可控资源纳入电网调度运行体系，基于人工智能的算法进行日前和日内供需资源的预测，并基于此进行智能调度，实现电网的电力电量平衡。在日内滚动调度层面，针对可再生能源波动问题，采用计及随机响应的价格敏感型柔性负荷经济安全优化调度策略。在实时调度层面，针对负荷的无序响应可能会劣化系统运行而导致潮流越限问题，采用计及安全约束的价格敏感型柔性负荷与储能资源联合实时调度策略。在整体调

控运行层面，以引导海量分布的负荷侧资源及储能资源参与调控运行为目的，建立基于多代理的柔性负荷互动响应框架，采用多时间尺度协调调度的源网荷储联合调度模型。

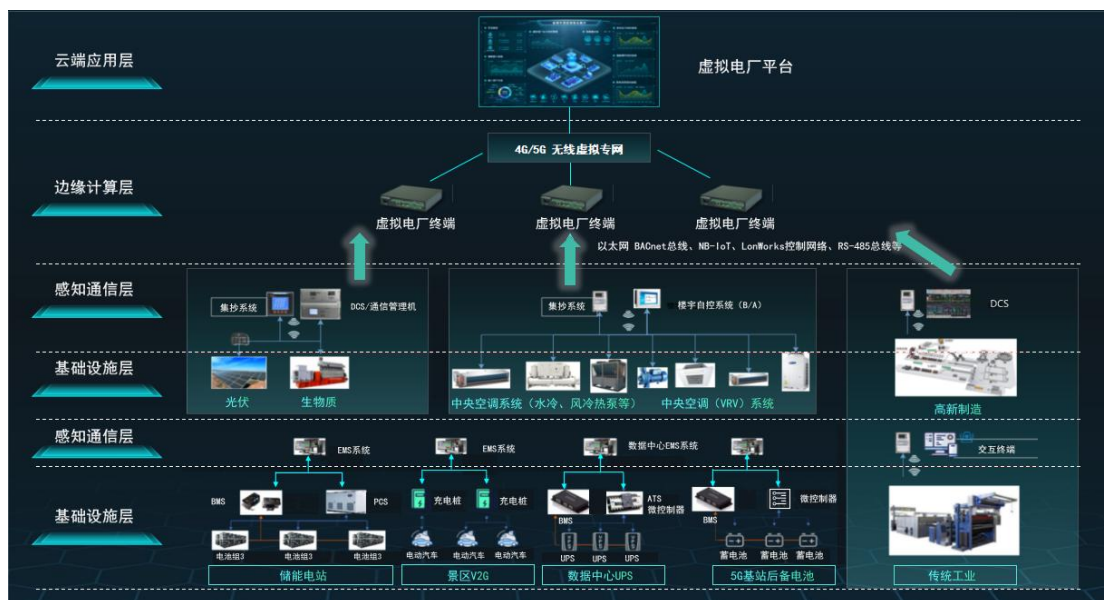


图 20 虚拟电厂平台

通过光伏、生物质等分布式清洁能源，用户侧储能、电动汽车、5G 基站等储能资源，以及水泥、钢铁、商业楼宇、高新制造等可调负荷资源中的一种或多种资源，可不受空间限制进行聚合，形成可支撑全网或局部电网的“零碳”虚拟电厂，工业企业积极参与电力需求响应或电力辅助服务，提升能源效率、降低碳排放量。

八、区块链赋能方向及案例

（一）技术概览

区块链技术是利用块链式数据结构验证与存储数据，利用分布式节点共识算法生成和更新数据，利用密码学的方式

保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约，编程和操作数据的全新的分布式基础架构与计算范式。区块链技术本质上是一个去中心化的数据库，是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式，基于这些技术，帮助实现数据的去中心化、安全共享、不可篡改和可追溯等应用特性。

区块链的核心技术包括分布式账本、智能合约等。分布式记账技术是分布在多个节点或计算设备上的数据库，每个节点都可以复制并保存一个分类账、进行独立更新，分类账不由任何中央机构维护，由每个节点独立构建和记录。共识机制是通过特殊节点的投票，在很短的时间内完成对交易的验证和确认；对一笔交易，如果利益不相干的若干个节点能够达成共识，即可认为全网对此也能够达成共识，共识算法是保证区块链平台各节点账本数据一致的关键。区块链系统集成了对称加密、非对称加密及哈希算法的优点，并使用数字签名技术来保证交易的安全。**P2P**网络即对等计算机网络，是一种在对等者（**Peer**）之间分配任务和工作负载的分布式应用架构，是节点之间共识和信息传递的通道，也是区块链的网络基础。智能合约是一种旨在以信息化方式传播、验证或执行合同的计算机协议，是可以自动化执行预先定义规则和条款的一段计算机程序代码，广义上的智能合约包含编程语言、编译器、虚拟机、事件、状态机、容错机制等。隐私

保护主要在用户身份和交易信息两个层面，在保证区块链共识机制的前提下尽可能隐藏数据信息，方式主要包括分区共识、隐私交易、加密上链、合约访问控制等。

（二）主要赋能方向

1. 工业碳数据上链存证

区块链不可篡改、全程可溯的技术特性，能够有效支撑工业碳数据全生命周期的可信记录，以及碳排放全要素的可信流转，提供可靠的市场环境和监管环境。通过对工业碳排放、碳资产、碳配额交易等数据实时上链存证，支持在线跟踪溯源，避免关键数据造假和被篡改。结合区块链和物联网技术，有效保证工业碳数据源头的真实可信，为政府制定低碳发展战略和向企业进行碳配额分配提供重要依据。

2. 工业碳资产确权

区块链的可追溯性使得工业碳资产数据从采集、监测、交易以及计算分析的每一步记录都可以留存在区块链上，让数据获得强信任背书。通过区块链技术把工业碳资产数据变成受保护的虚拟资产，每笔交易和数据都有确权证书，而未经许可的盗卖没有确权证书，或者证书与区块链确权不匹配，从而帮助企业、第三方核查机构或政府部门安全获取碳排放原始数据和记录。区块链技术使得工业碳资产确权得到保证，强化数据以及数据访问权的资产属性，提高数据价值。

3. 可信工业碳交易

区块链适应工业碳交易分类处理商业数据的保密性与环境数据的公开性要求，基于区块链打造可信工业碳交易模式，碳排放权可在链上完成交易。通过对工业碳资产和碳排放权进行实时透明且不可篡改的碳资产管理，实现碳交易从配额下发到排放权获取，再到交易、流通、核销、统计等各个环节的全过程数据均在链上存储和共享，保证交易的真实可信，增强工业碳交易市场活力，推动工业碳排放权交易市场有序发展，降低交易成本。对于碳排放权交易市场来说，也可以考虑借助区块链技术将碳排放权体现为数字凭证，更有利于交易流通。

4. 工业碳数据自动核算

区块链智能合约技术可以提供一种高度信任的环境，允许在没有第三方的情况下进行自动封闭执行。依据工业碳排放核算报告指南，借助智能合约技术将工业碳排放数据核算方法进行代码化，通过调用合约、配置计算模型，按照参与者预先设定的合约内容和触发条件自动执行碳排放数据的核算，无需人工干预，有效避免人为因素和外部因素的干扰，减少核算误差，提高数据分析结果和数据挖掘的准确性。

5. 工业碳核查与监管高效协同

区块链技术能够帮助政府部门实时高效开展碳排放核查和监管工作，有效优化资源配置，调整低碳发展策略。通

过在政府部门、工业企业、核查机构等多方部署区块链节点，实现多方数据在链上安全共享。区块链可为工业企业碳排放核算、报送、履约等环节提供技术支持渠道，协助第三方核查机构在链上快速核查企业碳排放数据和记录，确保数据的真实性，核查机构出具的核查报告也可以通过区块链分布式账本同步反馈给企业和政府部门。

（三）区块链+双碳的典型应用

1. 工业企业碳管家

2021年9月，宁波市海曙区“工业碳管家”平台上线。目前，该平台已完成对全区750家规上工业企业的碳排放数据监测全覆盖，并录入了2018年至2021年四年的数据。该平台以碳排企业产业地图为基础，为海曙构建起一个涵盖企业煤、油、水、气、电等多维能源数据的综合性管理服务平台。

平台采用企业报送、系统对接等多种方式集成本区域现有规上工业企业用能数据。工业企业按规定进行申报，提交碳排放数据及采购发票、贸易合同、统计台账等证明材料，根据企业申报数据，通过与政府相关数据及第三方核查报告进行交叉验证，核验报送数据真实性。基于国家发改委及生态环境部建立的碳核算标准规范，建立碳排核算模型，进行区域工业企业碳排数据的概算和多维度数据分析与展示，关键碳排放数据加密存储、上链存证，实现数据的准确采集和可信追溯。



图 21 工业企业碳管家数据大屏

平台涵盖企业碳排概览、行业碳排分析、绿色制造企业、重点高排放企业、数据管理、用户中心、碳排因子库管理等功能模块。分析企业及区域碳排总量、亩均碳排放总量、单位工业增加值碳排放总量，三个碳排指标分高、中、低三色展示，分别表示高、中、低碳排。

此外，平台通过建模搭建了数据大屏，形成统一的碳排放监督管理视图，动态展示年度碳排、碳排年度趋势、碳排来源分布、企业碳排概览、绿色制造企业，以及企业详细信息、地理位置、土地数据、增加值数据等数据指标。基于排放量数据参数进行下一年度碳排放量预测，以及对工业企业碳排放量低于或超过规定的阈值、碳排放量或排放强度较历史同期出现异常等情况进行预警。

区块链技术使区域碳排放家底更具准确性和可信度。基

于区块链价值可信、不可篡改及信息可追溯等技术特性，该平台在解决碳排放数据“难监测、难核算、难追溯”等问题的同时，还可通过对碳排放数据的监测、汇总、分析和报告，帮助政府掌握区域碳排放数据和碳排放结构，为区域实现低碳发展提供量化决策依据及管理建议，对政府推进传统制造业改造提升、优化区域产业结构具有重要价值。对企业而言，通过构建企业碳账户，可以提升企业节能减排和绿色低碳发展意识，亦能享受绿色产业政策和绿色金融政策。

2. 工业园区碳监测

“正泰物联网工业园区碳监测平台”在正泰（乐清）物联网传感器工业园部署应用。基于区块链、智能物联网等技术，实现工业园区能耗数据的实时监测和数据安全共享，并进行碳排放数据的自动核算，通过汇总、分析和报告摸清工业园区整体碳排放能源结构与园区内 14 栋楼宇、10 余家企业碳排放情况，实现碳资产清晰、碳管控到位。通过碳普惠激励机制倡导工业园区绿色低碳行为，低碳行为核算量化为减排量，抵消碳排放量，助力工业园区实现碳中和。



图 22 工业园区碳监测数据大屏

碳监测系统中碳排数据采集方式包括核算法和在线监测法。基于数据安全、数据隐私、数据获取复杂等因素考虑，数据获取方式设计以企业申报和园区设备采集为主，智能电表、智能水表和智能燃气表可采集工业园区内企业净购入的水、热力、电力数据，工业企业生产过程中化石燃料使用等信息数据申报遵循“企业一套表”制度，实现“原始记录、统计台账、统计报表”的数据收集流程，利用区块链技术，将报送单位的数据自下而上共享协同至监测平台，避免企业重复收集和填报统计资料，便于对数据进行统一管理。

区块链技术信息完整透明的特征，能公开有效监督碳信息及数据的真实及时性。能解决年度为工业企业额度分配和清缴难以监督的问题，合规高效实现 CCER（国家核证自愿减排量）与碳排放权的抵消，提高市场活跃度。能利用区块

链智能合约技术建立碳排放核算模型，有效解决工业企业数量大、排放核算成本高等问题。区块链集体维护数据且匿名交易、隐私安全，可实现工业园区内企业间碳排放权的可信交易，盘活区域内各企业碳资产，促进园区碳资产价值的高效流动。

九、工业软件赋能方向及案例

（一）技术概览

工业软件（Industrial Software）是指在工业领域里应用的软件，是工业技术、专业知识、生产流程的程序化封装与复用。通过指令和程序，工业软件可以将跨学科的工业知识、科学算法和物理机理固化封装，进而支撑产品研发、生产管理和运营维护过程，乃至产品生命周期全过程。工业软件可操作或驱动各类设备仪器，并进行逻辑控制，堪称现代工业的大脑和灵魂。根据业务流程，工业软件可以划分为：研发设计软件（CAD、CAE、CAM、EDA 等）、生产调度和过程控制软件（DCS、SCADA、PLC、MES 等）、运营管理软件（ERP、SCM、HRM 等）。

研发设计类工业软件根植于物理机理和数学原理等基础学科，是与学科和专业关联性强的基础性工业软件，是工业软件中的核心。例如 CAE 仿真软件（即 Computer Aided Engineering，计算机辅助工程）可通过完成数值模拟实验，得到相应的理论或工程问题的数值解，从而直观或反映客观

物理规律或工业产品的系统行为或过程，并可通过结果分析与设计优化，进一步完善产品的性能或品质。CAE 仿真软件已经覆盖制造业的产品论证、设计、生产、销售、服务等各个环节，广泛应用于机理研究、产品设计、技术方案验证、试验结果分析、故障归零、生产过程、装配、工艺、质量、检验等产品的全生命周期。EDA (electronic design automation, 电子设计自动化) 工具可以实现电路设计、版图设计、版图验证、性能分析等工作的计算机自动处理，技术核心内容包括数字系统的设计流程、印刷电路板图设计、可编程逻辑器件及设计方法、硬件描述语言 VHDL、EDA 开发工具等内容。

生产调度和过程控制类工业软件主要用于提高制造过程的管控水平，改进生产流程，提高设备效率和利用率，是工业数据沉淀的重要环节。例如云化 SCADA 平台通过采集工业现场的各种数据，以图形、动画等方式进行可视化，利用生产运行数据反向影响控制指令，实现对工业现场设备的远程监控、远程运维及统计报表等功能。云化 SCADA 平台可为设备提供可靠的设备连接通信能力，可实现工程数据、图形画面、用户应用三级组态，对下实现数据集中管理支持多协议适配，对上可提供高质量的实时数据、历史数据、归集数据并提供可视化规则引擎；支持动态数据流转、数据共享等，可在物联网应用和物联网设备之间搭建高效、稳定、安全的应用平台。

经营管理类工业软件主要用于提升企业的管理水平和运营效率。例如 ERP（企业资源计划）是指企业管理日常业务活动的软件，功能包括会计、采购、项目管理、风险管理和合规以及供应链运营。完整的 ERP 套件还包括企业绩效管理、帮助计划、预算、预测和报告组织财务结果的软件。ERP 软件将大量业务流程联系在一起，并支持业务间的数据流，通过从多个来源收集企业的共享交易数据，能够消除数据重复并通过单一事实来源提供数据的问题。企业碳排放痕迹管理软件，基于设备唯一标识、计量器具唯一标识、数据流标识和碳排放因子四个核心要素构建碳排放、碳中和计算方法与溯源模型，可实现碳排放、碳中和的准确计算和可信溯源。设备唯一标识、计量器具唯一标识根据工业互联网标识解析体系编码规范统一制定。数据流标识与产生数据的主体对象标识、测量工具标识紧密相关。用边缘技术实现能源消费、碳排放、碳中和数据采集与核算，采用云计算技术实现碳排放、碳中和的辅助核查与能效分析。

国外工业软件经历了几十年的发展，前期通过政府军工项目驱动，国家大量资金投入；中期采取完全商业企业运作的模式；后期不断转变为商业化运作，并购、上市等资本经营方式进入，促成了工业软件软件的蓬勃发展。目前，美国、德国、法国、瑞典等国家工业软件企业实力雄厚，基本垄断全球工业软件市场。与此同时，我国正大力发展工业软件，

提升国际竞争力，保障产业链供应链的安全与韧性。

（二）主要赋能方向

1. 优化产品设计和生产工艺助力碳减排

碳排放量与产品设计、工艺路线及加工过程关系密切，因此优化产品设计方案以及整个过程的生产工艺，能够大幅提升能源效率，从源头减少碳排放。应用研发设计类工业软件（CAD、CAE 等）的三维建模、数值模拟仿真等功能，能够在产品设计的构思阶段，根据可持续性指标进行智能化设计，提前考虑与原材料及碳足迹相关的社会和经济影响，选择更高效、更环保的产品设计方案，最大限度减少材料和能源浪费。同时利用该类软件，能够有效测试产品设计的强度和耐用性，减少多次物理实验造成的能源和材料消耗，确保组件结构和材料的更改不会导致质量故障，保障产品设计的安全性。在工艺流程优化中应用该类工业软件，能够实现工艺参数动态调优，实现对产品变形、温度场及应力场的有效预测，并通过策略性改变工艺参数和条件优化结果值，助力制造业高耗能企业实施技术改进和优化配置，减少由于工艺不成熟、需要通过反复实验的方法制定工艺流程而造成的人力和资源浪费，有效降低材料碳排放和设备能源碳排放。

2. 提升生产管控效率助力碳减排

某些行业的制造过程属于能源密集型生产，例如从原材

料中制造或提炼金属的过程，除了在产线实施节能措施，通过整合监控、可视化和管理软件以及连接设备资源，也能够有效降低碳排放。应用生产调度和过程控制类工业软件（DCS、SCADA、PLC、MES 等）软件，能够简化、整合和优化分散的资产，实现数据采集、设备控制、测量、参数调节以及各类信号报警等各项功能。同时，通过收集和控制能源数据，从能源消耗追踪开始，使用历史查看器、统计和曲线绘图仪，实时测量能源消耗，将数据记录并汇总到数据库中以供后续分析，并借助人工智能启动功耗预测，实现能源效率优化和碳排降低。从人员操作角度，基于云的生产管控软件能够提供 SaaS 服务模型、成熟的用户管理界面和能源管理系统，降低管理现场服务器的复杂性和能耗，操作员能够收集和控制能源数据、分析能耗并及时优化能源效率策略。同时，通过远程定位资产，即时访问实时数据可减少差旅成本、节省时间并帮助员工专注于增值业务。

3. 提升供应链效率助力碳减排

供应链通常涉及制造、包装、储存和分销等多个环节，较为复杂且容易发生中断。如果供应商急于满足准时交货要求，但与全球贸易伙伴沟通不畅，可能会引发低效的物流活动，增加供应链碳足迹，造成资源浪费和不必要的碳排放。目前，造成供应链企业高碳排的主要原因是过度生产或过度购买库存，应用经营管理类工业软件（ERP、SCM 等），可

对库存和订单流动进行全面管控，有助于制造商整合订单，减少效率低下的发货。利用该类工业软件的敏捷需求预测、自动化高效分析功能，能够预测、评估和监控供应链各环节，减少人工工作的不确定性，消除一次性事件的影响，改善供应链协作和效率，减少材料或产品的总运输里程，有效降低碳减排。

（三）典型赋能应用

1. 钢铁企业 CAE 仿真应用

某钢铁企业通过软硬件改造，构建数字孪生体，整合炼铁各生产单元，包括配矿、焦化、烧结、球团和高炉等工序的原料数据、设备数据、模型数据、仪表数据、业务数据等，结合生产工艺，打造统一平台进行数据治理。该平台嵌入云道智造 Simdroid 仿真软件，通过高炉设备提供的物料参数建立对应仿真模型，模拟高炉物料的收入与支出平衡情况、热量收入与支出分布，以料批、天、月为单位三个频次进行计算统计，及时调整入炉、出炉物料数量，调节高炉炉温，实现热平衡，减少额外能源消耗。目前该平台已为国内外 300 多座炼铁高炉提供数字化智能化服务，有效指导现场生产，降低碳排放。

2. 燃煤电厂碳痕迹溯源管理平台

济南大陆机电股份有限公司为某燃煤电厂构建碳排放痕迹溯源管理平台，包括八项数据和六项功能，满足发电企

业精细化碳排放溯源管理、能源消耗管理、碳减排管理的需求。八项数据包括能耗数据、排烟数据、碳排放数据、可再生能源冲抵碳数据、碳汇冲抵碳数据、节能减排数据、能源购入数据、能源产出数据。六项功能包括碳排放核算、碳排放溯源、碳配额管理、CCER 管理、能耗核算、能效分析。

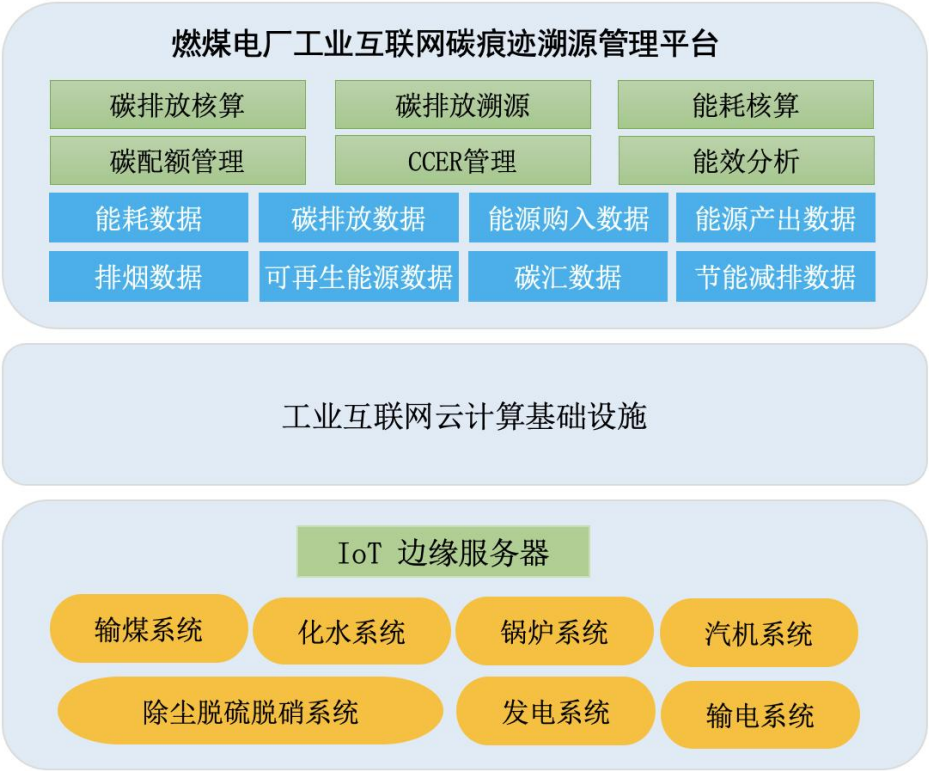


图 23 某燃煤发电厂碳痕迹溯源管理平台

碳痕迹溯源管理软件同样适用于太阳光伏电站、水电站等可再生能源采集和检测，通过 CCER 交易为高耗能企业提供减碳支持。在八项数据的基础上增加非能源产出数据采集，变成能耗数据、排烟数据、碳排放数据、可再生能源冲抵碳数据、碳汇冲抵碳数据、节能减排数据、能源购入数据、能源产出数据、非能源产出数据等九项数据采集、检测，可适

用于石化、化工、钢铁、建材等非电力高耗能企业的碳痕迹溯源管理。

十、发展建议

（一）完善数字技术赋能工业推进制度

制定和发布数字技术赋能工业行业指导文件，开展顶层设计，细化国家有关数字技术赋能工业行业的各项要求，形成工业领域落实碳达峰碳中和任务长效机制。积极利用国家在工业转型升级、技术改造等方面的财政资金，提升重点工业行业数字化水平。鼓励金融机构为企业数字技术赋能工业项目建设提供多样化投融资支持。鼓励地方政府将数字技术赋能工业行业纳入地方工业主管部门绩效考核范围。

（二）加快数字技术赋能工业行业技术研发与突破

支持工业领域数字技术研发与实验室建设。支持物联网计量、工业标识解析、碳采集与监测、碳捕集与封存等技术突破。利用工业互联网标识技术实现光伏发电减排量数据可追溯性，建设标识编码、标识载体和数据管理应用设施。加快工业上云行动，持续升级云网端和边缘设备等基础设施。

（三）构建数字技术赋能工业行业标准体系

加快建立健全工业行业数字化改造、数据采集、数据接口、碳监测平台建设、碳核查、碳计量等标准，形成统一的数字技术赋能工业行业标准体系，确保不同平台的兼容性。对标数字技术赋能工业行业国际标准，积极推动我国相关标

准的落地和实施。推动在国际组织中由我国牵头制定更多数字技术赋能工业行业相关国际标准。

（四）建设工业领域数字化碳管理平台

建设覆盖原材料、装备制造、消费品、电子信息、能源等领域的全行业数字化双碳管理平台，以数据接口形式对接企业建设的碳管理平台，实时监测企业直接和间接碳排放数据。率先连接工业领域央企、国企碳管理平台，逐步推广至民营工业企业，率先覆盖规上企业，逐步探索延伸到规下企业。摸清“碳家底”，建立全行业碳基础数据库。依托全行业数字化碳管理平台数据，为碳监测、碳核查、碳排放配额发放提供基础依据。支持企业建立企业级碳资产管理平台，力企业实现碳资产效益最大化，为行业数字化碳管理奠定基础助。

（五）加快推进工业领域碳资产交易

积极推进将有色、钢铁、水泥、化工、电解铝、造纸等重点行业纳入全国碳排放权交易市场，成熟一个纳入一个。促进工业领域碳资产交易，鼓励工业企业充分利用各类碳基金、碳资产质押贷款、碳保险等碳金融服务。推动 CCER 项目备案与交易市场重启，提高全社会减排效率，助力国家“双碳”目标落地。

（六）加强数字技术赋能工业人才培养

通过开展现场培训、网络培训等手段，加强对碳排放管

理人员、核查人员、企业碳资产管理负责人的数字技术培训，强化主管部门、重点企业、第三方机构的数字化碳管理意识和能力。为企业开展数字化碳管理的诊断和评价工作，引导企业贯彻执行碳排放核算和碳排放限额等相关标准，推动数字技术应用于企业碳管理的各个环节，助力企业实现数字化降碳。

（七）开展数字技术赋能工业试点示范

落实“十四五”园区循环化改造要求，鼓励可再生能源利用，打造数字化碳管理示范园区，开展工业企业数字化碳管理优秀案例评选，为碳管理示范园区和优秀企业提供补贴和奖励。通过示范标杆的建立，推动数字技术在双碳领域的推广应用。以园区产业集群为载体，开展数字技术企业与园区高耗能企业的需求对接会。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

联系我们

中国信息通信研究院产业与规划研究所

地址：北京市西城区南礼士路甲 36 号，100037

邮箱：chenqiyun@caict.ac.cn