



东南大学长三角碳中和战略发展研究院
YANGTZE RIVER DELTA CARBON NEUTRALITY STRATEGY DEVELOPMENT INSTITUTE



ENERGY FOUNDATION
能源基金会

2023

“双碳”路上的苏州故事

“Dual Carbon” Efforts of Suzhou

中国城市碳中和发展报告

Report on Carbon Neutrality Progress of Chinese Cities



东南大学长三角碳中和战略发展研究院
YANGTZE RIVER DELTA CARBON NEUTRALITY STRATEGY DEVELOPMENT INSTITUTE

引言

地球进入“人类世”以来，我们人类的活动已经成为影响全球环境变化的主要驱动力，气候变化危机已然来临。2022年，世界气象组织全球气候状况报告指出，全球平均气温比1850年至1900年的平均气温高出约1.15°C，变暖仍在继续。联合国可持续发展目标将“确保人人获得可负担、可靠和可持续的现代能源”“采取紧急行动应对气候变化及其影响”作为其中两大目标。2021年《巴黎协定》全面实施，世界各国相继出台负担得起、可升级的气候变化解决方案，将确保过去几十年取得的进展不会因气候变化而停滞，并确保各国经济的健康和复原力，碳中和已成为实现可持续发展的全球共识。

中国作为全球最大的发展中国家，我们在积极主动地承担降碳减排责任。2020年9月，习近平主席在第七十五届联合国大会上向世界庄严承诺，中国的二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。2021年9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》正式印发，碳达峰碳中和上升为我们的国家战略。2022年，党的“二十大”报告指出要发展人与自然和谐共生的中国式现代化，切实增强转型变革的历史主动性。实现碳达峰、碳中和是在中国大地上进行的一场广泛而深刻的系统性变革，是中国推动经济高质量发展 and 生态文明建设的主动作为，也体现了我们在构建人类命运共同体中的大国担当。

我们苏州，位于中国东部沿海，是长江三角洲区域重要中心城市，既是享誉海内外的历史文化名城和江南鱼米之乡，也是具有较强国际竞争力的先进制造业、高新技术产业基地，被誉为中国“最强地级市”。2022年，我们的地区生产总值达2.4万亿元，常年稳居中国地级市之首；实现规模以上工业总产值4万亿以上，位居中国城市前列；是人口规模超千万的特大城市。在控制全球升温2.0°C乃至1.5°C背景下，我们正在探索如何实现发展的绿色转型，继而实现碳中和目标，并为此一直在付出努力和行动。苏州致力于在发展中推动碳减排、在转型中落实碳达峰、在创新中实现碳中和。成为中国落实“双碳”目标和探索可持续转型发展之路的先行城市，对于工业经济高度发达、可再生能源和碳汇资源匮乏的城市具有重大意义。

目录

我们苏州	1	我们如何让建筑和交通降碳？	18
走进我们苏州	1	让建筑净零碳	18
我们一直在行动	2	让交通更低碳	20
我们如何推动能源绿色转型？	3	我们如何提升绿色生活品质？	23
让区外绿电的比重越来越高	3	让农业更有机	23
让绿电自发的比例越来越高	3	让餐饮更绿色	25
让绿电智能消纳的水平越来越高	5	让村镇更低碳	27
让多能清洁补充的能力越来越强	6	让环境更宜居	28
让火电逐步迈向零碳	7		
我们如何促进产业绿色升级？	9	我们如何优化空间结构？	29
让高碳产业低碳化程度更高	10	让空间得以重塑	30
让产业用能电气化比率更高	10	让空间治理有效	31
让生产过程数字化水平更高	11	让城市更新更绿	32
让绿色产业融合化程度更高	11	让乡村回归本源	33
		让生态得到保育	34
我们如何打造低碳园区？	13	结 语	35
让能源结构更加清洁	13		
让基础设施更加集约	15		
让产业链条更加循环	15		
让低碳服务更加专业	16		

我们苏州

走进我们苏州

苏州，始建于公元前514年，东临上海、南接浙江、西抱太湖，北依长江，是全球罕见持续2500年繁荣历史的城市。我们素有“鱼米之乡”、“丝绸之府”、“人间天堂”的美誉，拥有长江、京杭运河等大小河道2万余条，太湖、阳澄湖等大小湖泊300多个，也被称为“东方威尼斯”。在中国691个城市中，我们苏州以不到中国0.1%的国土面积，创造了中国接近2%的GDP。

经济高地。2022年苏州全年实现地区生产总值约2.5万亿元，十年增加了1万亿元；人均GDP超过18万元。苏州下辖的昆山、张家港、常熟、太仓长期位居中国综合实力百强县前列，昆山连续18年位列第一。

文化古城。苏州基本保持着春秋时代的“水陆并行、河街相邻”的双棋盘格局，以“小桥流水、粉墙黛瓦、史迹名园”为独特风貌，是中国首批24个历史文化名城之一。苏州拥有昆曲、古琴、端午习俗、碧螺春等七项人类非物质文化遗产代表作，拙政园、留园等9座园林被联合国列入《世界文化遗产名录》。

工业重镇。苏州工业规模巨大，2022年的规模以上工业产值超过4万亿元。拥有超过16万家工业企业，覆盖联合国产业分类41个工业大类中的35个工业大类，约160个工业中类和500个工业小类，拥有电子信息、装备制造和先进材料3个“万亿”产业集群和若干个过“千亿”产业链。

开放前沿。苏州拥有57个国际友城、49个友好交流城市，每年接待中外游客超1亿人次。外商在苏州投资企业接近2万家，160家世界500强企业在苏州投资项目超450个。1994年，苏州开始与新加坡政府建设运营苏州工业园区，开创了中外经济技术互利合作的先河。

我们一直在行动

过去，我们争当代的探路者。苏州是中国高质量发展的排头兵，现代化建设的领头羊，数十年来在改革创新中争当表率。从农业文明到工业文明的时代变迁中，我们成功探索出了“苏南模式”⁽¹⁾，形成了“张家港精神”⁽²⁾、“昆山之路”⁽³⁾和“园区经验”⁽⁴⁾，为中国推进农村现代化、工业化和城镇化提供了宝贵经验和精神财富。生态文明时代的开启，也吹响了苏州迈向绿色转型新征程的号角。我们将继续发挥“为中国发展探路”的引领作用，探索出一条更有效率、更加公平、更可持续、更为安全的高质量发展之路。

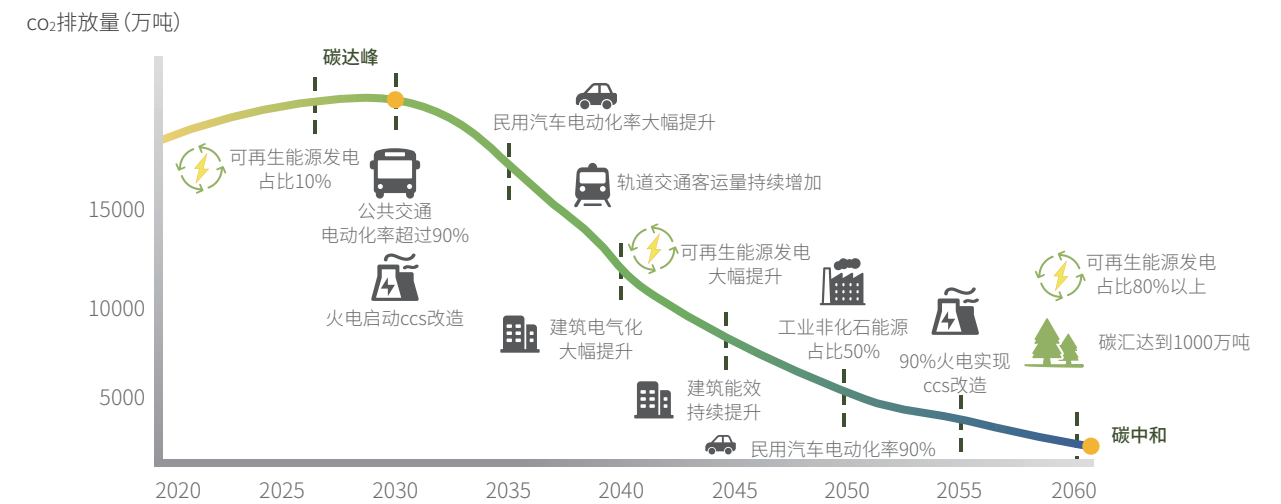
现在，我们争当转型的实践者。没有创新就实现不了碳中和，我们需要依靠新技术、新市场、新模式、新人才，通过能源结构、产业结构、空间结构、城市形态和治理结构的转型，从根本上转变“高投入、高消耗、高排放”的经济增长方式和空间开发模式，破解资源环境硬约束，释放强劲经济增长新动能。这也意味着我们将转变原有的生产生活方式，通过转型实现减碳，探索出一条创新驱动的绿色发展之路。

未来，我们争当挑战的破题者。危机中寻转机，危机中育新机，我们直面挑战。苏州碳排放总量大，近年来二氧化碳排放量约2亿吨；能源结构偏煤，化石能源消费超过90%，煤炭消费在化石能源消费中占比近60%；产业结构偏重，工业碳排放量在总排放量中占比超过

70%；城镇化与工业化的进程尚未完成，低碳转型必须保证经济持续增长和人民生活水平不断提升。这些挑战使得苏州没有国际上的同类城市范例可资借鉴。我们必须以新思路解新题、谋新篇、开新局，在“没有先例”⁽⁵⁾下做出成功案例。

目前，为了贯彻国家“1+N”的政策体系，我们制定了《苏州市低碳发展规划》《苏州市碳达峰行动方案》《苏州市能源发展“十四五”规划》等一系列文件和规范性指导意见，推动全市的碳达峰、碳中和工作。我们为构建绿色低碳循环的经济体系，开展了以下行动：构建绿色能源体系引领能源生产和利用方式革命；构建绿色低碳产业体系建设加快绿色产业变革；构建绿色技术体系推动绿色低碳科技突破；构建绿色消费体系形成绿色低碳高品质生活方式；构建绿色投资体系加大绿色低碳领域投资力度；构建绿色教育体系将绿色发展理念纳入覆盖公民教育体系；构建空间治理体系建设实现人与自然和谐共生。我们正在以一系列实际行动助力实现国家自主贡献目标。

把握时代脉搏，顺应时代潮流。我们正以时不我予的紧迫感，牢牢把握全球绿色发展机遇，主动引领能源革命、推动产业变革、突破关键技术、加大绿色投资、牵引绿色消费、形成治理优势，全面加快绿色发展，全力打造中国式现代化绿色发展的现实样板。



图示：苏州市碳达峰碳中和路径示意图

1.“苏南模式”：是由社会学家费孝通在20世纪80年代初率先提出，指的是江苏南部的苏州、无锡、常州、南通等地农民依靠自己的力量，发展乡镇企业实现非农化发展的方式。
2.“张家港精神”：是1995年，中央宣传部、国务院办公厅联合在张家港市召开全国精神文明建设经验交流会上提出的“团结拼搏、负重奋进、自加压力、敢于争先”。
3.“昆山之路”：是1988年《人民日报》在头版评论中首次提出，以“艰苦创业、勇于创新、争先创优”为主要精神内涵。
4.“园区经验”：是1994年启动开发建设工业园区之初提出，以“借鉴、创新、圆融、共赢”为特质。
5.“没有先例”：是江苏省委十三届九次全会上提出：苏州要建设展现“强富美高”新图景的社会主义现代化强市，在“没有先例”的方面力争率先做出成功案例，在“普遍在做”的方面力争做得更好更快。



我们如何推动能源绿色转型？

构建绿色能源体系是实现“双碳”目标的核心。我们作为全球最大的工业城市之一，不仅能源消费总量大，能源消费结构高碳化特征亦十分突出，化石能源消费比重超过90%。化石能源消费成为我们碳排放的主要来源。随着经济社会发展，未来我们的能源需求仍将持续增长，而本地非化石能源资源短缺，缺乏大规模建设集中式光伏电站、大型水电站和大型风电场等的条件，给“双碳”目标下的苏州能源绿色转型带来巨大挑战。为此，我们正积极推动以绿色电力为核心、多种清洁能源为补充、化石能源脱碳利用为保障的能源绿色转型，打造具有苏州特色的能源绿色转型之路。

2022年，我们出台了《关于加快推进全市光伏发电开发利用的工作意见（试行）》，加大工业建筑、公共建筑光伏开发利用和创新光伏发电利用场景，提出“到2025年底，全市确保新增光伏装机并网容量2吉瓦，力争达到新增3吉瓦”。苏州各类市场主体也积极参与到光伏建设中，光伏建筑一体化等先进技术加快应用，我们的光伏装机容量迅速增长。2022年，我们新增光伏装机接近75万千瓦，同比增长超过120%；累计光伏装机容量约2.6吉瓦。2023年1-9月，新增光伏装机超过1吉瓦，同比增长超过110%；累计光伏装机容量约3.6吉瓦。



图示：龙腾特钢BIPV

让区外绿电的比重越来越高

苏州的绿色能源从哪里来？中国的太阳能、风能和水能等可再生能源资源位居全球前列，主要分布在西北、东北和西南地区，但能源消耗主要在东南沿海地区，绿色电力生产基地与用电负荷中心在空间上不匹配，为解决这一问题，依靠中国的制度优势，实行了跨区域的大协作、大调度，将西北、东北和西南地区的非化石能源电力输送到东南地区。近十年以来，我们苏州紧抓这个机遇，持续推动跨省市的电力调度和远距离输电线路建设，与送端省份沟通协作，引入区外绿色电力，先后接入三条特高压线路，极大提升了电力清洁化程度。目前，我们区外来电占比已接近50%，为提高非化石能源比重创造了重要条件。

让绿电自发的比例越来越高

提高绿电自发比例、增强区域供电安全是我们苏州迈向碳中和的重点。我们的屋顶资源很丰富，发展分布式可再生能源具有一定潜力，随着光伏技术不断发展，我们的绿电自发比例逐步提升。

特高压绿电输送工程

锦屏—苏南±800千伏特高压直流输电工程于2012年投产，将四川雅砻江下游水电送到苏州同里换流站，建成十年间累计向华东地区输送清洁电能3610亿千瓦时，相当于减少燃煤2亿吨左右，减排二氧化碳超过3亿吨。

白鹤滩—江苏±800千伏特高压直流工程于2022年7月竣工投产，是全球首个混合级联特高压直流工程，将四川金沙江水电送至苏州虞城换流站，支撑起苏州近三成的用电负荷需求，进一步提升了苏州的绿电占比。截至2023年9月，白鹤滩—江苏±800千伏特高压直流工程累计为苏州地区输送清洁电力超过200亿千瓦时，减排二氧化碳超过1600万吨。



图示：白鹤滩—江苏±800千伏特高压直流工程苏州虞城交换站 外景

龙腾特钢绿色码头

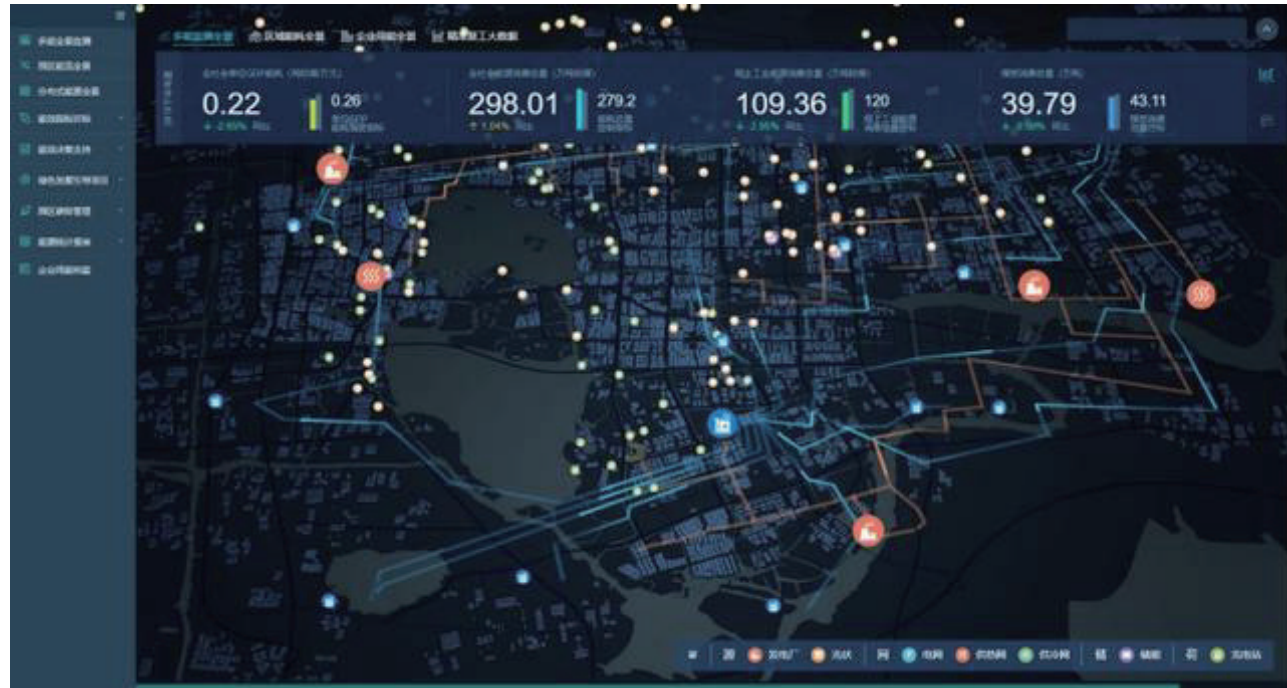
光伏建筑一体化（BIPV）是将光伏产品集成到建筑结构表面的技术。2021年，苏州常熟龙腾特钢开创性地在库场码头弧形屋顶上应用光伏建筑一体化技术，基本满足码头用电，获评四星级绿色港口。项目将防水支架和光伏组件结合，替代传统彩钢瓦作为弧顶屋顶的外层维护结构，是世界最大跨度的弧形网架结构光伏建筑一体化项目。项目光伏装机规模约5万千瓦，铺设单晶光伏板约7万块，覆盖屋顶面积超过17万平方米，最大跨度达到223米，最大棚顶垂直高度58米。项目每年可生产约4850万千瓦时清洁电力，减少碳排放约4万吨。



让绿电智能消纳的水平越来越高

展绿色能源给我们本地电网的调配、安全性带来压力,对此,我们着力推动电网的数字化进程,来解决绿电的消纳问题。我们加快打造了以电能为中心的综合能源网络,提高输电网的承载能力和灵活性,通过分布式微电网、光储直柔、需求响应、分布式能源、虚拟电厂、智能控制系统等关键技术,推动能源与现代信息技术的深度融合,让绿电智能消纳的水平越来越高。

目前,我们已建设完成了城市能源大数据中心、文昌智慧能源站、友好互动型电网侧储能电站集群、南部电网区域多元优化协调控制系统、适应大规模分布式光伏接入的吴江有源配电网等能源互联网重点工程,绿电智能消纳能力显著提升。在建设智能电网、打造新型电力系统、提升绿电消纳能力方面,我们苏州本地供电公司已经牵头制定国际标准1项、参与制定2项,参与制定国际标准3项、行业标准5项。



图示:工业园区能源大数据中心示意图

东吴黄金“光储直柔”⁶⁾新型建筑配电系统

苏州工业园区内的东吴黄金“光储直柔”项目是中国首座公共建筑“光储直柔”零碳更新示范。在建筑产能方面,项目充分开发办公与车间的屋顶光伏资源,总装机容量超过440kW,年发电量接近50万千瓦时,减排二氧化碳超过400吨;智能消纳方面,项目通过光伏与暖通空调系统协同优化,实现了新能源100%消纳;直流配电方面,项目应用直流配电网架,创新性研发了全直流空调系统,实现新风系统与制冷系统独立控制,

并采用直流磁悬浮冷机,节能率高达55%;柔性调控方面,项目具备可用虚拟储能容量约200kW/2MWh,通过参与电力系统需求响应及空调负荷柔性调控,实现了建筑集群虚拟电厂、负荷聚合等功能,提高了建筑负荷柔性调节能力和系统整体运行效能。该项目构建的直流配电系统和智慧楼宇系统,使电能利用率提高6%,减少了50%的配电变压器容量,实现了新能源100%消纳。

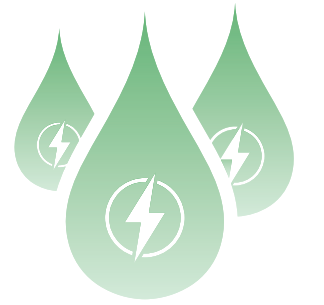


6. “光储直柔”是在建筑中以直流电为核心架构,连接分布式太阳能光伏、分布式储能和可调节负荷,通过用户侧柔性技术与电力系统进行交互的集成技术。

让多能清洁补充的能力越来越强

氢能、生物质能是可以储存与直接运输的清洁能源,对自然条件和国土空间需求较小,契合我们苏州的能源绿色转型需求。我们作为产业发达的工业城市,天然气管网全覆盖,工业副产氢以及生活垃圾等生物质能资源丰富,具备了氢能和生物质能开发利用的技术条件、资源条件和市场条件。我们将氢能、生物质能和已实现规模化利用的天然气作为清洁能源的重要补充,缓解了能源供给压力,全面推动能源绿色转型。

2018年以来,通过发布了《苏州市氢能产业发展指导意见(试行)》等若干政策文件,积极推进氢能基础设施建设,推动绿电与氢能联动发展,开展了中国第一批燃料电池汽车示范应用。目前,我们苏州已建成加氢站8座,投运超过300辆氢燃料电池车,并开通多条氢燃料电池公交线路,在交通领域率先推进了燃料脱碳。



张家港市氢能公交车与综合加能站

2018年起,张家港连续三年出台发展规划和支持政策,促进氢能源车辆购置应用和加氢站建设运营。张家港港城公交首次引入氢能公交,是中国率先实现氢能公交上线运营的公交企业。截止2022年,港城公交共计有60辆氢能源公交车上线运营,总行驶里程超过500万公里,累计减少二氧化碳排放超过4000吨,帮助市民实现绿色出行。2022年,苏州首座集加油、加氢、充电、便利店于一体的商用综合加能站在张家港朝阳投入运营。该加能站具备35MPa加氢能力,日加氢量能力达500公斤,可满足国产常规车型加注接口和压力,并且采用了双计量模式,可以实现公交、重卡等不同种类车辆的同步加氢。



图示:张家港氢能公交



生活垃圾处置是我们建设“无废城市”⁷⁾的重要环节。2022年,除可回收物以外,我们的日均垃圾处理需求超过1.7万吨,这些垃圾既是城市的污染源,也是重要的生物质能资源。通过加强垃圾分类管理和处理设施建设,缓解了垃圾处置压力,实现了生活垃圾的全量焚烧,入选联合国人居署智慧减废城市项目优秀案例。目前,我们苏州已建成垃圾焚烧发电设施8座,日处置能力接近2万吨,全年垃圾发电量超过10亿千瓦时,城乡生活垃圾无害化处理率达100%。

7. “无废城市”是以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念为引领,通过推动形成绿色发展方式和生活方式,持续推进固体废物源头减量和资源化利用,最大限度减少填埋量,将固体废物环境影响降至最低的城市发展模式。

七子山垃圾焚烧发电厂

在苏州垃圾处理模式从“填埋+焚烧”转化为“全量焚烧”后，每天有来自市区的6600吨其他垃圾被送进苏州吴中区七子山垃圾焚烧发电厂无害化处置。七子山垃圾焚烧发电厂设计垃圾日处理能力为3550吨，经过拆旧建新和提标改造后增长至6850吨，可以有效满足苏州城区的生活垃圾处理需求。七子山垃圾焚烧发电厂实现了从垃圾到绿电的无污染高效转化。垃圾焚烧后，渗滤液经过处理作为厂用水利用，炉渣制成砖块用于市政建设，烟气实现了“超净排放”。经过能效提升改造，该发电厂每焚烧1吨入厂垃圾，可发出绿电约660千瓦时，减排二氧化碳约500千克。



图示：七子山垃圾焚烧发电厂

天然气是高效替代煤炭的过渡性清洁能源，是实现燃料脱碳的重点。我们坚持集中式和分布式并举的天然气开发利用方式，积极推进天然气分布式能源和“煤改气”项目建设，按照“科学有序、适度从紧”的原则发展天然气发电项目。目前，已在医院、酒店、工厂、园区等多种应用场景开展了天然气分布式能源应用，实现了燃料的低碳供应。

让火电逐步迈向零碳

火电是目前我们本地电力生产的重要支柱，装机容量超过22吉瓦，约占全市总装机容量的90%。高比例、大规模的火电装机保障了苏州电力的稳定供应，但也导致了电力生产的高碳化。火电机组脱碳成为我们实现“双碳”目标的关键。

我们通过加强对煤电企业能耗和排放监控，促进煤电机组节能降碳改造。推广实施燃料替代，鼓励开展污泥掺烧和农林生物质耦合发电。推动传统火电转型升级，发展供热、供冷、可再生能源、储能等“发电+”多联产业。试点开展碳捕集项目，努力降低火电机组碳排放，正在让火电逐步迈向零碳。

华能太仓电厂减碳

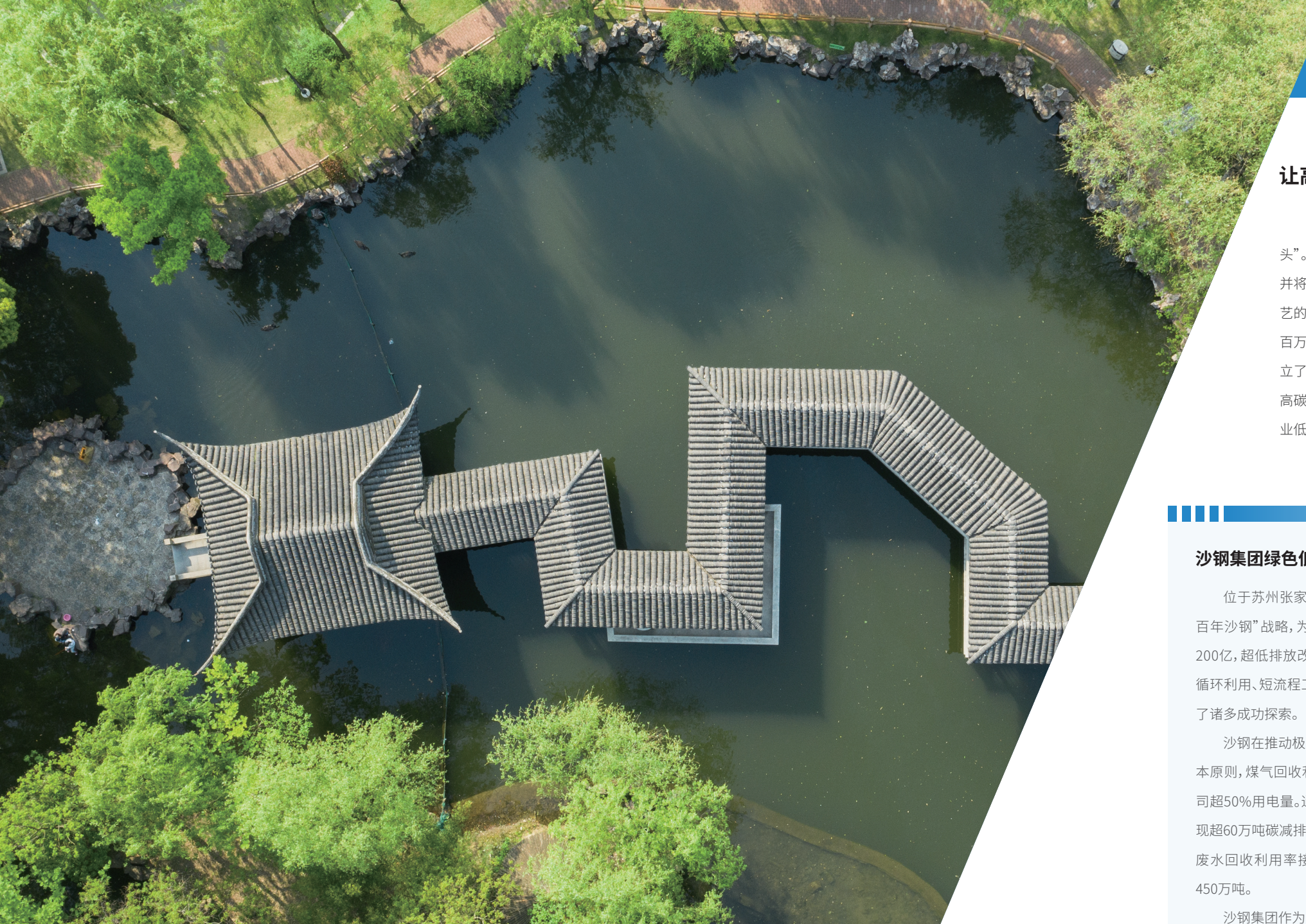
华能太仓电厂成立于1997年，是中国和新加坡两国政府合作开发建设的苏州工业园区的基础设施配套项目。作为一个建厂25年、不再“年轻”的传统火电企业，太仓电厂通过热电联产改造、开展“发电+光伏”模式和生物质耦合发电改造，实现了火电企业的全面低碳转型。2014年，太仓电厂热电联产改造完成，实现了煤炭的高效利用，拉开了低碳转型的序幕。

2016年开始，太仓电厂以新能源为转型重点，陆续在厂内建成50MW分布式光伏，为苏州绿电带来新动能。2018年，太仓电厂开展生物质耦合发电改造，处置掺烧污泥超过20万吨，满足了苏州的污泥处置需求。2022年，太仓电厂开展燃煤耦合污泥改造的二期工程，持续深化煤电机组的燃料脱碳程度。



当然，我们也深知未来随着苏州的发展，对能源的需求将会越来越大，特别是在本地非化石能源资源短缺的情况下，化石能源消费在一段时间内仍将占比较大。虽然我们已经开始通过调入区外绿电、提高绿电自发自用比例、实施绿电智能消纳、开展多能互补等方式推动能源的绿色化转型，但这仅仅是我们的初步探索。未来我们需要努力的地方还有很多，比如我们把大量的区外绿电调入苏州时，面临着电网调配能力的挑战以及重大的电力技术突破等。尽管困难重重，但我们通过研究，还是给自己设定了一些可再生能源装机和火电机组深度脱碳等预期目标，用我们的持续努力加快实现能源的绿色转型。





让高碳产业低碳化程度更高

钢铁等高碳产业在苏州的产业中规模大、占比高，推动此类高碳产业的低碳化是我们产业绿色转型的“硬骨头”。以钢铁产业为例，我们正在从三方面开展低碳探索：首先是极致能效的推广性应用，研发前沿节能低碳技术并将成熟技术推广至生产基地；其次是能源结构的绿色化调整，如使用氢能、生物质实现燃料替代；第三是生产工艺的革命性变革，如缩短生产流程，应用短流程炼钢工艺。我们拥有沙钢、永钢、龙腾特钢等若干个年产过千万吨、百万吨的钢铁集团，目前正在全力推动短流程炼钢的工艺改造，同时研发长寿命、高性能的绿色低碳钢铁产品，建立了废钢回收基地，通过铺设太阳能光伏设备，提高绿色能源使用比例，让高碳产业低碳化程度更高。此外，针对高碳产业低碳转型会导致企业面临生产成本的上升的问题，我们正在通过发展转型金融，引导金融资源向高碳行业低碳化转型倾斜，利用绿色信贷、绿色债券、绿色保险等金融产品撬动资金支持高碳产业低碳化发展。

沙钢集团绿色低碳发展

位于苏州张家港的沙钢集团贯彻“建设绿色钢城，打造百年沙钢”战略，为实现“双碳”目标，沙钢近年科研投入超200亿，超低排放改造总投资100亿，在极致能效、资源回收利用、短流程工艺改革、低碳绿色发电用电等方面作出了诸多成功探索。

沙钢在推动极致能效工程中，以资源回收循环利用为基本原则，煤气回收利用率高99.5%，利用煤气发电供应公司超50%用电量。通过回收煤焦油、粗苯等焦化副产品可实现超60万吨碳减排。以打造“无废集团”为目标，沙钢的钢渣、废水回收利用率接近100%，每年可减少二氧化碳排放约450万吨。

沙钢集团作为中国最大的电炉钢和优特钢生产企业，年钢产量800万吨，同时建立废钢消纳体系，着力打造“城市矿山”产业，结合短流程生产工艺每年消纳废钢超过500万吨。

沙钢已于2019年建成亚洲首条、世界第四条薄带铸轧产线，同时结合自主创新优化钢铁生产工艺技术，与传统热连轧相比，该技术可减少燃耗95%，水耗80%，电耗90%，二氧化碳减排量可达85%。

为提高厂内自发低碳绿色发电量，沙钢开发了180兆瓦的CCPP高效资源综合利用发电机组项目，利用燃气蒸汽年增发电量超5亿千瓦时，减少25万吨二氧化碳排放。同时沙钢建成自发自用54兆瓦分布式光伏电站，可实现连续发电25年，全生命周期内可提供绿色电力超过12亿千瓦时，减少二氧化碳排放量超85万吨，20兆瓦的三期光伏发电项目仍在建设当中。沙钢集团牵头承担的国家“高端线材全流程智能制造新模式应用项目”可使生产效率提高超30%，单位产值能耗降低约20%，为钢铁行业节能减排、提质增效等提供强大技术支撑。

我们如何促进产业绿色升级？

我们苏州的工业规模大、门类全，作为制造业强市，工业碳排放量高居榜首。工业领域的脱碳是我们推动实现“双碳”目标的关键。面对城市定位和碳减排压力，我们开始对工业脱碳之路实行分类引导，正在推动高碳产业的低碳化、产业用能的电气化、生产过程的数字化、绿色产业的融合化，以此来促进产业的绿色升级。

让产业用能电气化比率更高

工业领域中的大量产业需要通过电气化实现低碳甚至零碳目标。我们出台了《苏州市能源发展“十四五”规划》鼓励有条件的煤电企业转型升级，耦合发展供热、供冷、可再生能源、储能等“发电+”业务。同时大力推广高温蒸汽热泵、蓄热锅炉等，灵活参与电网互动的电气化设备替代传统电气设备，成功构建了电、热、冷、气等多能高效互补的工业用能结构实现清洁替代，促进工业减碳。此外我们全面实施“以电代煤”等电能替代工程，拓展电能替代的广度和深度，陆续关停燃煤自备电厂，推动全市燃煤窑炉、锅炉实现“煤改电”，目前一些区域，如姑苏区、苏州工业园区已实现终端能源“无燃煤”。

让生产过程数字化水平更高

推动数字技术与产业的深度融合，开展“智改数转”⁸为产业能效提升、减污降碳赋能，促进产业从源头、过程到整体的全价值链节能减排。到目前为止，我们苏州已实施了两万个以上“智改数转”项目，规模以上工业企业智能化改造和数字化转型覆盖面超过90%，拥有14个国家级工业互联网“双跨”平台，4家国家级智能制造示范工厂。

盛泽镇纺织业的“智改数转”

位于苏州张家港的沙钢集团贯彻“建设绿色钢城，打造百年沙钢”战略，建有两座100吨顶装料电炉、三座100吨竖式电炉，年生产电炉钢500多万吨，是中国最大的电炉钢和优特钢生产企业。沙钢集团建立了废钢消纳体系，着力打造“城市矿山”产业，每年消纳废钢超过500万吨。沙钢于2019年建成中国首条、世界第四条CASTRIP产线，同时结合自主创新优化钢铁生产工艺技术，与传统热连轧相比，该技术单位燃耗减

少95%，水耗减少80%，电耗减少90%。为增加绿色能源使用比例，沙钢建成自发自用54兆瓦分布式光伏电站，可实现连续发电25年，全生命周期内可提供绿色电力超过12亿千瓦时，减少二氧化碳排放量超85万吨。牵头承担国家“高端线材全流程智能制造新模式应用项目”，生产效率提高超30%，单位产值能耗降低约20%，为钢铁行业节能减排、提质增效等提供强大技术支撑。



让绿色产业融合化程度更高

应对气候变化，传统生产生活方式和经济增长模式需要适应性转型，绿色新兴产业应运而生。今年3月我们发布了《苏州市新能源产业创新集群行动计划（2023-2025年）》，提出要构建光伏、风电、智能电网、动力电池及储能、氢能和智慧能源的“5+1”新能源产业创新集群融合发展体系。在张家港、常熟、太仓、昆山等地打造九大新能源产业园，相城区为推动绿色产业发展出台“十四五”能源互联网发展规划等。

碳中和服务业是绿色新兴产业不可或缺的重要组成部分，我们正在积极谋划、大力推动围绕碳中和的现代服务业发展，为企业低碳转型提供咨询、规划、技术、金融、法律、规则等专业化生产性服务，提供系统集成解决方案。为社会低碳发展提供教育、培训、消费等普惠性服务，提升全社会应对气候变化的能力，让全社会共享绿色发展成果。

绿色产业发展需要数字技术和零碳技术融合、制造业和服务业融合、生产供给和生活消费融合、国际和国内市场融合、科技创新和制度创新融合。我们正在推动先进制造业和现代服务业融合发展，开展了国家级“两业融合”试点，目前拥有省级以上“两业融合”试点企业64家、首批省“两业融合”发展标杆引领典型企业9家，并成功入选中国首批国家级服务型制造示范城市。

8. “智改数转”是智能化改造与数字化转型的简称，是指以数字化技术创新为驱动，促进新一代信息技术与先进制造业融合发展，全面提升企业在设计、生产、管理和服务等各环节的智能化水平。

绿色工厂、“近零碳”工厂培育

为推动苏州工业企业低碳发展，苏州在绿色工厂、“近零碳”工厂方面不断突破，2022年出台苏州市“近零碳”工厂评价指标体系（试行），培育“近零碳”工厂，推动绿色制造水平。2023年发布《苏州市绿色工厂创建实施方案（试行）》，同时制

定了苏州市绿色工厂评价体系，推动构建绿色制造体系，打造重点行业、特色产业的绿色示范引领，完善县、市、省、国家级绿色工厂梯度培育体系。



作为制造业强市，近年来我们一直在探索如何促进高碳行业的低碳化发展、使产业用电电气化和绿色化、提高生产过程的数字化水平、促进绿色产业的融合发展，尽管已经取得了一些成效，但要在全市范围内实现产业的绿色转型还面临诸多挑战。特别是如何处理好产业发展和低碳转型问题时，我们要给企业留足改错、纠错的时间和空间，重点支持企业的技术和设备的升级换代，面对企业研发、技术升级带来的成本上升问题，我们要更好地鼓励金融机构提供更多的金融产品服务企业融资需求，并给予他们一定的税收和财政支持。我们希望通过不懈努力，到2030年工业部门的煤炭消费量能够降至45%左右，2060年降至15%以下；到2050年，工业非化石能源占比能够达到50%以上。





我们如何 打造低碳园区？

园区是苏州改革开放的最大特色和重要实践，我们利用接近30家的园区创造了苏州70%以上的工业增加值。园区以制造业为主，工业企业聚集发展、成链发展，也是苏州最主要的碳源。新世纪以来，我们一直在推动园区能源结构清洁化、能源设施集约化、产业链条循环化和低碳服务专业化，全力推进零碳园区建设。

让能源结构更加清洁

能源结构清洁化是园区迈向零碳的关键。我们在园区通过实施分阶段“煤改气”⁹、“电代油”和提升自发“绿电”的比例等推动工业生产和社会生活的终端用能清洁化。“煤改气”方面，依托2004年“西气东输”¹⁰工程，园区开展了多项天然气热电联产工程，替代老式燃煤机组。“电代油”方面，我们在物流园区加快了港口岸电的配套基础设施建设，为电动船舶应用提供保障，2021年累计建成岸电设施近800套。提升自发“绿电”方面，在园区内对光伏资源进行梳理排查，按照“宜建尽建”的原则，推进分布式光伏、风电和储能建设，提高本地清洁能源比重。

9. “煤改气”工程：是中国推动能源结构调整，大气污染治理的重要抓手，指使用天然气替代燃煤锅炉、工业窑炉、燃煤设施用煤和散煤等。

10. “西气东输”工程：是中国距离最长的天然气管道，总里程超过2万千米，惠及中国西部、长三角、珠三角、华中及中原地区的400多个城市和5亿人口。

园区清洁能源替代

苏州工业园区1994年经国务院批准设立，是中国和新加坡两国政府间的重要合作项目。园区基本形成了“光伏-储能-充电桩-天然气分布式”区域能源互联网，实现了能效提升、多能协同、用能清洁化和能源管理高效化。工业园区建设了2个天然气热电联产中心（北部燃机、蓝天燃气）、3个区域能源中心（金鸡湖、工研院、尚美分布式能源站）、10个分布式能源（分布式光伏、天然气、储能、地源热、微风发电等），1个能源互联网平台（开放式能源互联网共享服务平台），需求管理1000辆电动汽车和1000家智能用户。通过对多种能源供应、储能和用户侧的智能调控、分析和优化运营，园区经济、安全地保障了用户的清洁用能。目前苏州工业园区拥有光伏、储能、分布式燃机、智慧平台等150多个能源互联网项目，累计并网、备案分布式光伏容量超170兆瓦，每年可减少碳排放近10万吨，备案充电桩（枪）约1500台，建成储能项目6个，推动园区能源利用效率超过60%，清洁能源使用比例超过80%。



图示：苏州工业园区屋顶光伏

在政策激励方面，苏州市工业园区在苏州市内率先出台了分布式光伏的资金保障，对符合补贴要求的建筑业主方按项目发电量补贴0.1元/千瓦时，对储能项目的项目投资方按项目发电量补贴0.3元/千瓦时等补贴方式，分布式光伏和储能项目还能享受到贷款支持。



苏州太仓耐克中国零碳智慧物流园，自2010年起建设分布式能源网络，推动风光热生物质一体化的综合利用。陆续建设了3.6兆瓦的分布式光伏，地深90米的地源热泵系统，100%全回收的餐厨废弃物沼气发电系统，2台单机容量为3兆瓦的低风速发电机组。采用“自发自用、余电上网”的模式，发电量70%用于日常生产，自发绿电占电力消费比重达到100%，成为中国首个“风光一体化”零碳智慧物流园。

图示：苏州太仓耐克中国零碳智慧物流园

让基础设施更加集约

我们的园区产业业态丰富,企业用能多样,由园区集中对区域内的能源(供电、供热、供冷等)、水务、废弃物处理等公共基础设施进行管理,可促进多种能源和资源的共享集成和高效利用。在推进能源梯级利用方面,园区以公私合营模式(PPP)打造了电、气、冷、热等多元化能源供应的基础设施,包括打造热电联产与燃气三联供项目,结合部分企业余热余压资源,开展集中供冷供热。在促进废弃物资源综合利用方面,园区集中建设了餐厨垃圾处理、垃圾焚烧发电、建筑垃圾综合消纳、污泥处理等基础设施,就地实现了污水、垃圾、固体废物等废弃物的处理处置及资源化利用。

园区区域能源站

月亮湾能源中心是苏州工业园区独墅湖科教创新区的大型“非电城市中央空调”。该能源中心占地1万平方米,为周边120万平方米的建筑提供了稳定的热能、冷能与电能供应,目前已投运超过十年。中心的供热管网覆盖科教创新区11平方公里,供冷管网覆盖月亮湾及周边区域,用户包括工业、办公、数据中心、酒店、商业等多种业态。通过电厂余热

蒸汽回收实现了能源梯级利用,采用蒸汽、天然气双备份模式,使用智能化群控系统和EMC能源管理系统。减少空调装机超20%,能源综合利用率达70%以上,平均每年节约1.65万千瓦电力容量和400万元的运行维护费用,累计减碳量超8万吨。



让产业链条更加循环

园区产业集聚度高、关联性强、废弃物集中多样,是最具条件实现产业链循环发展的载体。我们的园区致力于依产业链构建循环链,强化企业上下游产品间的联系、实现能源的综合化利用、废弃物的资源化处置。目前正在十个市辖区县形成了若干个特色产业园,电子信息、装备制造、新材料、生物医药、新能源、现代物流、数字文化创意、数字金融等特色园区在中国具有重要地位。

循环经济产业园

吴江纺织循环经济产业园,位于吴江区盛泽镇西南部,总面积约6平方公里,是以“产业有序集中、土地集约使用、装备技术先进、基础设施共享、资源循环利用”为标准建设的特色纺织循环经济示范园。吴江区分散的30多家印染企业分批入驻吴江纺织循环经济产业园后,由园区统一规划、统一管理,实现了“集中供水、集中回用、集中供热、集中治污”。园区还为印染企业统一提供了市政服务,统筹配套相应的职工生活服务区,实现公共服务基础设施共享共建。入园企业工业增加值年均提高约15%以上,水循环利用率约40%,建设用地节约30%,万元工业增加值能耗下降10%。

扬子江冶金工业园位于张家港市,是首批国家产业园

区循环经济试点,规划控制面积36.8平方公里,核心产业以钢铁冶金等为主,拥有沙钢集团等核心冶炼企业。园区内,沙钢集团建成了全球最大转底炉循环利用含铁锌尘泥示范工程,可有效回收冶金固废中的铁、锌等有色金属,年实现二氧化碳减排10万吨;建成了年钢渣处理能力330万吨固废利用项目,实现钢渣100%综合利用,产品可替代部分水泥。作为全国最大电炉钢生产基地,沙钢成立了废钢的专门化分拣中心、区域集散交易市场和综合利用处理基地,消纳社会废钢资源。在余热回收利用方面,沙钢建设40公里外供蒸汽管网,对周边60多家企业集中供热,年供应蒸汽60万吨以上,减少燃煤7万吨。



让低碳服务更加专业

为企业提供规范化、法治化、国际化的专业服务是中国设立园区的初衷,我们的园区在专业化服务方面一直走在前列,尤以苏州工业园区为标杆。应对气候变化产生了碳交易、碳核算、碳普惠、碳足迹、碳标识、碳盘查等一系列国际新规则,苏州工业园区率先开展培训、认证、普惠、核算、交易等,为企业提供减碳、零碳的解决方案。

近年来,我们成立了长三角碳中和战略发展(苏州)研究院、长三角国际绿色发展联盟、苏州长三角数字低碳创新研究中心等一批专业的服务机构,引入能源基金会、中美绿色基金、新加坡MVGX集团等国际机构,开展了集产业低碳发展规划、技术创新、技术咨询和人才培养为一体的专业化低碳服务,为零碳园区建设提供智力保障。我们还成立了“绿色低碳转型金融服务中心”和“绿色低碳金融实验室”,在产业绿色低碳转型发展、绿色产品创设、人才培养等领域为企业提供绿色金融服务。

建设碳普惠平台

碳普惠平台是中国首个市场化碳普惠交易体系,2022年在苏州工业园区正式启用,以为企业提供转化服务为切入点,以分布式光伏为核心,为园区内的中小微

企业提供家门口的碳减排量认证和交易服务围绕碳减排量的认证、交易与使用,打造园区碳普惠体系,建立起一套区域级的市场化自愿减排交易体系。



我们通过调整能源结构、提高基础设施集约利用程度、强化产业链条循环和提升低碳专业服务等一系列举措,在推动低碳园区建设中取得了一些成绩。未来我们还需要针对不同类型的园区制定差异化的低碳或零碳园区建设方案、行动计划,大规模推动市域范围内园区的绿色发展。我们坚信,未来苏州的园区都会是低碳园区,部分园区甚至会成为零碳园区。





我们如何让建筑和交通降碳？

建筑和交通是城市碳排放较高的两个领域，因而是实现碳中和目标的关键因素。我们正在围绕建筑的全生命周期打造零碳建筑，围绕绿色交通网络、低碳出行等建设低碳交通，全面推动建筑和交通部门节能降碳。

让建筑净零碳

据江苏省统计局2021年公布的江苏十三个省辖市在建筑生命周期建造、运行、拆除三个阶段的碳排放量，我们苏州的碳排放量为1400万吨，位居江苏省之首，推动建筑零碳化任务艰巨。目前，我们开始探索从建筑全生命周期出发，聚焦建造过程减碳、建筑用能低碳、建筑垃圾循环、建筑运行产能，推动减碳与产能双向协同，实现建筑零碳化发展。

零碳5A级写字楼

坐落于姑苏金鸡湖畔的协鑫广场，是协鑫集团在苏州湖东CBD倾力打造的高端精品综合体。大厦总建筑面积25.4万平方米，其中写字楼建筑面积5.7万平方米，2022年用电量约373万千瓦时，蒸汽消耗量约1800吨。通过应用新技术节能降耗、绿电采购等综合措施，协鑫广场得以抵消2022年检测周期内该建筑产生的2674吨



图示：协鑫广场写字楼

碳排放，成为真正的零碳大厦。在此期间，协鑫综合能源基于专业、高效的能源管理数字化平台，调度挖掘写字楼节能降耗改造潜力；利用大数据系统实时监测各类设备的用能数据，对比历史数据进行智能优化调整，实现能源消耗的最优模型。与此同时，公司对大厦的冷水机组实施基于恒温差变流量的优化运行控制策略，对冷却水泵实施节能变频技术改造，制冷辅机系统由此可节省约30%的耗电量。

建造过程减碳。建造过程包括建筑用材和建筑施工，其碳排放占建筑三个阶段碳排放的20-30%。国际经验表明装配式建筑在保证建筑室内舒适性性能的同时，大幅度降低建筑热负荷，全生命周期可降低碳排放40%以上。近年来，我们大力发展装配式建筑和绿色建筑，降低建筑过程的碳排放。目前我们的新开工装配式建筑面积已占新开工建筑面积的45%以上，绿色建筑已突破1亿平方米。



图示：第二工人文化宫外景

大型装配式建筑

装配式建筑全生命周期可降低碳排放40%以上，主要包括混凝土结构、钢结构、木结构三种类型。位于相城区的第二工人文化宫即为大型公共钢结构装配式建筑，文化宫的总建筑面积为8.1万平方米，涵盖体育健身、文化艺术、教育培训、职工服务和商业配套五大功能板块。该建筑摒弃传统的用钢结构直接替换混凝土结构的做法，以建筑功能为核心、以结构布置为基础、以工业化围护和内装部品为支撑，整体提升钢结构的使用功能，在保持建筑美感的同时注入绿色低碳理念。

建筑用能低碳。建筑用能碳排放占建筑三个阶段碳排放的45-60%。新世纪以来,我们一直把建筑节能作为建筑业绿色发展的重点,制定了相关的法规和政策文件,大力推动超低能耗或被动式建筑。2008年出台《苏州市民用建筑节能管理办法》,2010年设立《苏州市建筑节能引导资金》,均为中国城市首创。

同里湖嘉苑居民住宅改建

位于同里湖嘉苑居民住宅改建为苏州市典型的被动式低能耗建筑项目,是住房和城乡建设部科技与产业化发展中心和德国能源署在中国联合提供全过程质量控制的第一个既有建筑改造类项目。改造过程中,通过性能化设计的方法,优化围护结构的保温、隔热和遮阳性能,加装高效全热回收新风系统,改造后的建筑最大程度地减少供暖和制冷的能源需求,实现终端能源需求 $39.7 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$,总一次能源需求 $119 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$,可再生利用和可再循环材料利用率达到8.1%。节能率达90%。



图示:同里湖嘉苑低能耗住宅

建筑运行产能。建筑运行产能是未来建筑业走向零碳的必由之路,也是自发绿电的重要来源。我们抓住应用场景丰富与创新这一重要结合点,为光伏在建筑领域的增量市场出台了前瞻性政策文件,大力推动BIPV(光伏建筑一体化)在建筑领域的广泛应用,要求新建2万平方米以上的公共建筑优先采用BIPV;年综合能耗3000吨标煤(当量值)以上或年用电量1000万千瓦时以上的工业企业安装屋顶光伏发电设施,对新建屋顶面积3000平方米以上的工业建筑同步设计和建设光伏发电设施。预计到2025年,我们的光伏装机并网容量累计可达4500MW。

光伏建筑一体化-固德威智慧能源大厦

苏州高新区的固德威,为全球领先的新能源企业,其总部基地建筑采用三大可再生能源应用系统:太阳能光伏发电系统(BIPV和BAPV)、太阳能生活热水系统、地源热泵系统,形成一体化设计,成为江苏省绿色建筑品质提升项目(可再生能源建筑综合应用示范类型)。

项目光伏发电提供用电比例约28%,光伏总装机容量超780千瓦,年发绿电约49万千瓦时,相当于每年节约标煤约157吨,减排二氧化碳约346吨。同时,项目太阳能热水提供的生活热水比例约22.7%,太阳能提供的热量约487GJ,相当于每年节约标煤约16.6吨,减排二氧化碳36.6吨;采用节能高效地源热泵系统,地源热泵提供的冷量所占比例36.1%,提供的热量所占比例54%,相当于每年节约标煤约118.6吨,减排二氧化碳约261吨,再加上智能调控的高效LED照明,建筑物本体节能效果超30%,综合节能效果超过50%,兼顾了节能与产能。



图示:固德威智慧能源大厦

建筑垃圾循环。建筑全生命周期的末端,需要对建筑废弃物进行资源化处理,力争资源节约和低碳发展的双赢。近年来,我们按照“资源化利用、无害化处理、产业化发展”的思路打造完善建筑垃圾治理体系,有效提升了城市建筑垃圾处置、管理和资源化利用水平。据测算,目前苏州建筑垃圾资源化利用率达75%,城市建筑垃圾总消纳能力已超过了建筑垃圾的年产生量^[11]。

建筑垃圾资源化

3D打印建筑的使命之一为建筑垃圾资源化。早在2015年,苏州盈创科技公司打印出了位于工业园区的全球首栋6层楼建筑,该房屋以每天打印一层,每两天安装一层的建造方式,耗时半个月完成,突破了3D打印技术不能打印高层楼宇的世界性技术难关。该3D打印建筑的“油墨”来源包括工业垃圾、尾矿以及建筑垃圾。同期,盈创还采用内外装饰一体化打印的方式,在苏州打印了全球首幢3D打印别墅,层高3层、面积为1100平方米,实现建造成本下降50%。

图示:3D打印苏式园林



11. 苏州市人民政府-非正规堆放点完成治理装修垃圾处置终端投运

让交通更低碳

交通碳排放量约占我们苏州碳排放总量7%。随着新能源交通工具的发展,低碳交通的路径日益清晰,我们顺势而为,正在推进网络绿色化、出行低碳化、服务数字化、设施均衡化。

网络绿色化。交通网络的绿色化是实现低碳交通的基础。我们苏州水网密布、人口密集、路网纵横,秉持宜水则水、宜铁则铁、宜轨则轨、宜公则公、宜步则步等理念,构建绿色交通网络,形成了城区以公共交通、轨道交通为核心,新能源交通工具为辅助,区域铁路、水运、公路组合的综合交通运输网络。目前,轨交线网运营总里程超1300万公里,累计运送乘客超28亿人次,预计到2028年,地铁将开通330公里的城轨线和132公里的市域线。

出行低碳化。我们是中国汽车普及率最高的城市之一。近年来,机动车保有量已达到521万辆。随着新能源汽车的生产和快速发展,我们大力推动新能源汽车的使用。截止2022年,新能源汽车新增23.3万辆,增幅达101%,新能源公交车比例达80%,两年内力争达100%;在优化慢行交通系统服务中完善了步行道和非机动车道建设,建立连续通达的慢行绿道网络,古城区的绿色出行比例已超过75%;公共交通站点500米覆盖率近70%,城市万人公共交通工具保有量达30标台;构建了以轨道交通和地面公交为主体,新能源民用及出租车为补充的城市零碳出行体系。



图示:苏州共享单车

市区共享单车

自2010年开始,苏州有了公共自行车的身影。目前,市区已有近十万辆“小绿车”保障着市民绿色出行需求。按照苏州市委市政府部署,市区范围内将陆续完成6.8万辆共享单车的投放使用。10年间,苏州共享单车共实现减碳210万吨。



服务数字化。保持交通道路畅通,促进各类运输方式有效衔接,是提升运输效率的关键。大数据、云计算则是支撑其实现的最佳手段。我们苏州公交依托大数据,对乘客的出行需求、流向等进行分析,探索公交多样化服务,打造了86条特色功能线路。同时通过视频辅助、数据监控等智能化手段,提升了道路交通突发事件处置效率,某长假期间故障处置30分钟到达率达98%以上,60分钟通行率接近100%。

智慧交通管理系统建设

苏州狮山路智慧交通系统跨规划、交警、交通、城管多部门数据融合、应用融合,成为智慧道路应用的典范项目。利用大数据智能交通管理系统提升管理效能,已基本实现426个路口的信号联网控制和配时优化,41条线路的绿波信号协调控制。该系统目前已接入80个公共、商业停车场,45000个泊位;建成停车诱导发布系统,可实现停车导航、无感支付、车位预约等功能;完成了14个公共停车场的道闸升级更新。该项目的数字化服务加强了能源高效利用和数据、技术的创新赋能效用。



设施均衡化。新能源汽车的普及使用,离不开充换电设施的建设和发展。我们以充换电的设施均衡化布局为原则,稳步适当推进充换电设施建设。目前布局的公共充电站平均服务半径2公里,两年内实现平均服务半径缩减至1.2公里以内,其中核心区缩减至1公里以内,其他区域缩减至1.5公里以内。到2025年,新建122座专用换电站,其中市区75座、张家港市6座、常熟市12座、太仓市18座、昆山市11座。



全国第一艘换电船舶首航

2022年10月,苏州电投产融启源芯动力与江苏远洋联合研发的全国首艘120标箱纯电动集装箱船“江远百合”号,缓缓驶离“天下第一码头”——长江太仓港码头,标志着江苏开启了内河运输的“电动时代”。江远百合号为纯电动驱动双推进电机集装箱船,船总长79.92米、船宽12.66米,换电船舶采用以20英尺标准集装箱为成组单元的高度集成、大容量、可移动的通用模块化电源系统,航速17公里/小时,续航

续航力可达220km,同时采用“即插即拔”式换电模式,单次换电作业时间仅需20分钟,比传统加油速度更快。目前,“江远百合”号换电船舶已投入太仓港至京杭运河苏州工业园区港80公里航段运营,预计每年可替代燃油500吨,减少碳排放1520吨,运营成本大大降低的同时,对长江大保护、绿色航运发展有着极为重要的示范效应。



图示:“江远百合”号

我们在建筑方面围绕建筑的全生命周期进行了低碳探索,在交通方面围绕交通网络、居民出行、交通服务和设施展开了低碳探索,很显然我们的零碳建筑和低碳交通探索已经走在了中国大部分城市的前列,但同时我们也面临许多挑战。以零碳建筑的设计为例,如何让建筑变得更加智能、智慧,如何创造更多新技术在零碳建筑中的应用场景。此外,未来的建筑材料会有什么变革或创新,对零碳建筑的影响如何,这都是未来我们需要考虑的问题。面对未知的挑战,我们将全力以赴。在交通领域,我们计划在2030年以前以碳排放达峰为主要目标,力争将碳排放峰值控制在1350万吨以内;2030-2045年,主要目标是实现快速降碳,计划在2030年实现公共交通电动化率能达到90%以上,2035年民用汽车电动化率大幅提升,2040年轨道交通客运量持续增加,碳排放降至750万吨以下;2045-2060年,主要目标是深度脱碳,在2050年民用汽车电动化率希望能够达到90%,2060年完成交通领域的“碳中和”目标。在建筑领域,2040年,新建建筑均应用可再生能源,规模化利用光伏和低品位热源,建筑电气化程度提升至75%左右;到2060年,建筑完全实现电气化。

我们如何提升绿色生活品质？

城乡绿色生活关键在于转变生活生产方式，重点是生态农业减碳、餐饮绿色化和低碳村镇建设等。我们通过推广绿色生活方式，开展农村环境生态化治理、基础设施绿色化改造、广泛应用自然农法种养技术、发展绿色餐饮等，提升城乡绿色生活品质。

让农业更有机

我们一直在推动农业有机绿色化和低碳化发展，将生态农业技术、现代先进装备、绿色低碳理念等引入农业发展的实践主体，使我们的生态文明建设和高质量发展走在江苏乃至中国前列。

农业有机绿色化。我们积极发展绿色食品、有机农产品和农产品地理标志，绿色有机地标农产品全面加快发展速度、总量规模迅速扩大。2021年绿色优质农产品比重达69.4%，累计培育农产品区域公用品牌28个，拥有农产品地理标志15个。全国绿色食品原料标准化生产基地、省级绿色优质农产品基地、有机农产品生产基地总数达79个，绿色食品产地环境面积104万亩，占食用农产品耕地面积的61.5%。积极践行绿色低碳发展理念，形成了一批成熟可借鉴的绿色生态农业典型，5家建设主体入选全国首批132家生态农场名单，入选数量位列全国地级市前列。

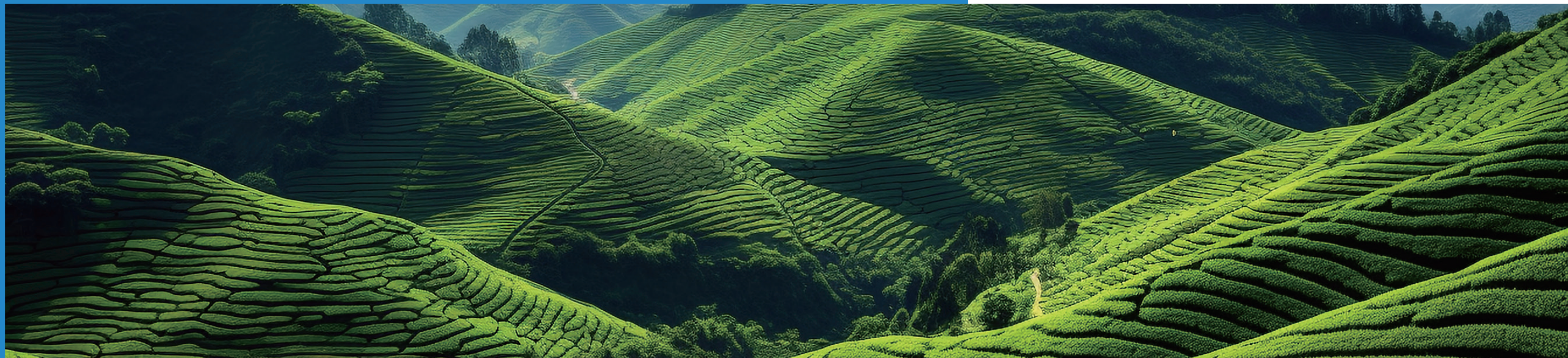
推进现代农业低碳化。注重农文旅绿色低碳融合发展，我们在太湖生态岛实施的农文旅绿色低碳融合发展示范项目入选国家《第二批生态环境导向的开发（EOD）模式试点》名单。实施了农业绿色发展行动，开展低碳农业试点示范，推广农业循环生产方式；积极研发生物质炭土壤固碳技术，示范推广种地养地和综合治理相结合的耕地轮作换茬与休耕培肥模式，保持农田土壤生态系统的长期固碳能力；强化高捕碳固碳作物种类筛选，实施作物品种替代；持续推进化肥使用减量增效，有效减少和控制农业污染，发挥农业系统固碳减排潜力。

常熟海明现代农业零碳农产品

常熟海明农业成立于2002年，位于常熟市梅李镇，致力于打造从田间到餐桌全产业链服务的健康农产品企业。通过打造内循环型有机生态农场，在保护生态环境的同时，利用良好的土地资源为人类生产健康的蔬菜及农产品，同时引导消费者关注生态环境。目前，海明农业在全国主要蔬菜产区已经形成24000亩合作基地，在企业所在地常熟市梅李镇拥有2800亩生产基地。企业经过从成立至今二十多年的努力，已经由绿色蔬菜生产基地转变成为获得国家环保部有机食品生产基地认证的生态有机农场，所生产的产品获得国环有机认证机构的有机食品认证。2022年6月，苏州常熟市梅李镇海明长江基地700亩农产品获得零碳农产品认证，包括青菜、辣椒、茄子、番茄、娃娃菜等产品。海明农业是全国5家企业获得首批零碳农产品认证的唯一苏州企业。海明农业已连续15年获得有机种植认证，已有42个产品获得了中国有机产品认证，这些拥有“零碳认证”的有机蔬菜将通过盒马全国门店，端上广大市民的餐桌。



图示：海明零碳农产品证书





让餐饮更绿色

餐饮业的低碳发展,关乎绿色消费方式的形成。据欧盟委员会统计,人类饮食排放的温室气体占全球温室气体总量的18%。绿色餐饮既要求食物本身的天然与营养,还要求食物生产和消费过程的低碳环保。苏州从食物源头、加工、消耗环节推行全过程绿色化,从餐饮产品和服务生产的源头减少能源消费,降低碳排放。

源头有机。我们从1990年开始发展绿色食品,据农产品质量安全监管处统计,目前我们共有绿色食品企业273家、产品648个;有机食品企业88家,有机农产品394个。绿色有机食品的生产过程禁止使用化肥农药,这有助于改良土壤,提升土壤固碳能力,增加了食品生产源头的固碳量。

加工低碳。我们通过在餐饮行业集中安装和使用油烟净化机、节能灶炉、中央调光系统等节能减排设备建设“全电厨房”,降低生产能耗,提升能源使用效率,实现食品加工环节清洁化、绿色化、低碳化。

张家港市“全电厨房”

张家港大力推广“全电厨房”改造,有效规避餐饮企业燃气管道老化、接口松动等安全隐患,解决传统明火厨房采用炉灶粗放式燃烧作业、高碳排放、高耗能、高污染等问题。厨房环境从“烟熏火燎”转向绿色清洁。“全电厨房”建设周

期短,受场地环境限制少,100平方米的“全电厨房”,建设总周期不超过一周,节约了建造成本。通过测算,相比于传统的燃气灶具,“全电厨房”减少碳排放30%以上,年运行总费用节约14%-22%。



用餐光盘。据统计,每浪费1千克大米,相当于排放0.8千克的二氧化碳,中国每年因食物浪费产生的温室气体排放量约为11亿吨,如果不浪费食物,可减少多达11%的碳排放。为深入贯彻《反食品浪费法》,我们积极营造“节约光荣、反对浪费”的良好氛围,并积极推行“小份菜”“半份菜”“网络点餐明示食品重量”等,提供多规格菜品。推进“光盘行动”制止餐饮浪费倡议书强调,全体餐饮行业从业者应向广大市民积极倡导科学饮食方式,坚持身体力行,反对铺张浪费,树立良好家教家风,带动家人、朋友自觉养成“文明健康膳食”习惯,减少家庭厨余垃圾,共同创造文明、健康的生活方式¹²⁾。

12. 苏州市人民政府-苏州市市场监管局等联合发出倡议:推进“光盘行动”制止餐饮浪费

废物循环。餐饮文化丰富的中国,面临着更多来自厨余垃圾的压力。我们综合考虑“资源化”利用以及“低碳处理”的双重要求,正在实施“清废行动”,积极开展餐厨垃圾无害化、减量化处理和资源化利用,构建起厨余垃圾循环使用体系。2010年起便开始对餐厨垃圾和农贸市场有机垃圾进行专项分流,建设了一批处置设施,包括集中厌氧处置设施、分散式就地处置设施和好氧堆肥设施。2023年,我们的餐厨垃圾分出率为28%,日分量超2100吨,已建成运行的餐厨垃圾处理设施259座,日处理能力达5400吨以上。

江苏苏州吴中区环太湖城乡有机废弃物处理中心

苏州吴中区临湖镇城乡有机废弃物处理利用示范中心为全国首个城乡有机废弃物处理利用中心,现已建成并投入运营。处理中心针对不同的有机废弃物(餐厨垃圾、园林废弃物、太湖水草、芦苇、蓝藻、河道淤泥、水稻秸秆)进行原料配比,添加高效复合微生物菌剂,采用连续生物干化+好

氧发酵工艺,7天完成制肥,年产固体有机肥5000吨,可实现6000亩土地绿色生产。按照环太湖地区每年5000万吨有机废弃物估算,处理中心每年可产出1800万吨有机肥,供给土壤有机质约600万吨,预计覆盖1800万亩耕地绿色生产,可每年固定碳量约2500万吨,减少碳排放约500万吨。



图示:吴中区有机循环研究院

让村镇更低碳

聚焦碳中和目标,我们通过基础设施与建筑建设绿色化改造、清洁能源利用、资源循环节约利用等,推广绿色生活方式,打造低碳村镇。

乡村建筑低碳化。我们鼓励使用绿色建筑材料,推进装配式建筑技术在乡村建筑中的应用,提高建筑节能、节材、节水、节能的水平,通过绿色农房建设,降低建筑能源消耗与碳排放。在昆山我们通过回收利用村内老砖、老瓦、石磨等废弃建筑材料对村庄部分道路进行下垫面自然化改造,防止乡村地面硬化,促进低碳村庄建设。



图示:高新区通安镇树山村

微环境改造绿色化。通过合理布局林带、河道植物带、道路景观带与绿道等,充分利用闲地荒地、沿路河沟、庭院空隙开展绿化美化,提升乡村碳汇能力。目前我们的村庄绿化覆盖面积22万亩、村庄绿化覆盖率30%以上,共建设省级绿美村庄超600个。

资源利用循环化。开展农村生活污水治理、畜禽养殖粪污治理、农村生活垃圾资源化利用等,是低碳村镇的重要内容。我们通过推动种养结合,高效利用畜禽粪便产生的甲烷、氧化亚氮等气体,开展畜禽排泄物定点定量定时农牧对接、推广应用有机肥进行生态消纳,目前畜禽粪污综合利用率达99%以上。通过推广动力式或微动力污水处理装置,建设生态污水处理池等,将农村污水通过深度脱磷、脱氮后,回用于农田灌溉或进入河道自然净化。推进生活垃圾袋装化、分类化收集和处置,实行生活垃圾、餐厨垃圾等有机物循环化利用。我们建设了镇、村两级有机垃圾资源化处置站240个,日处理能力达到700余吨。目前我市域内的行政村已全部实现生活垃圾分类处理,分类达标率达到95%左右。

能源利用绿色化。我们鼓励生物质能、太阳能、风能等技术在农村居住、日常生活、出行等方面的应用。通过布局分布式光伏、风力发电设施等,提高农村自发电使用比例,促进电气化在农村生产生活领域的应用。通过使用太阳能热水器、太阳能灶具、沼气等,提高乡村用能绿色化、低碳化水平。

生活方式绿色化。我们通过开展乡村生态文明宣传和科普活动,提高公众的生态道德素质和理念,引导村民选择低污染、低消耗的绿色产品,减少塑料制品的使用,倡导绿色、节俭的生活方式,打造低碳乡村。

让环境更宜居

水、大气是人类赖以生存的自然资源。为了推进城市宜居环境的建设,我们统筹开展了水资源、大气环境以及生态环境治理。对市域内的湖泊、河流等水体开展了一系列水环境治理,使得水生态环境质量持续提升,国省考断面水质优III比例五年来提高28%,地表水水功能区水质达标率100%。2022年,长江苏州段和太湖苏州域水质均达到或优于III类标准[2022年苏州市生态环境状况公报],2023年苏州市内水质优II比例位居江苏省第一。

盛泽湖水环境治理

盛泽镇既是全国闻名的纺织业重镇,也是湖荡密布、河港纵横的水乡古镇,盛泽湖位于盛泽镇内。当前,盛泽汇聚了5000余家纺织生产企业、7000多家纺织商贸公司,形成了千亿级纺织产业基地和贸易市场,给盛泽湖水环境治理带来了压力。但近年来,苏州狠抓水环境治理,全力打造盛泽湖生态美丽河湖样板,从现状水环境看,盛泽湖目前湖泊水质突出,达到III类水质。

图示:盛泽湖景象



温室气体与大气污染物排放同根同源,气候变化与大气污染之间存在明确的相互作用关系,并且都对人民健康等产生负面影响。在大气环境方面,我们在中国发起“反污染战争”七年期间经历了重大转变:PM2.5浓度由2013年的57微克每立方米下降至2022年的28微克每立方米,下降幅度达50%,目前空气质量已连续两年达到国家空气质量二级标准6。城市水环境与大气环境质量的提高大幅提升了居民的获得感,在绿色发展理念及低碳路径选择作用下,成为了享誉全球的生态宜居城市。

人民始终是我们一切工作的中心,提高城乡居民的绿色生活水平,也是我们在探索实现碳中和路上要完成的重要内容。对此,我们从有机农业、绿色餐饮、低碳村庄、宜居环境出发,力争为人民提供更美好的生活。我们深知城乡绿色低碳发展要破除“先城后乡,先工后农”的思维,但是由于城乡发展状况差异较大,居民日常生活行为覆盖面广,碳排放总量和压力较大,因此我们在推进绿色低碳生活方式的进程中也面临诸多挑战,未来还需要对居民的日常生活进行科学指导,并激励各类主体参与到城乡绿色生活建设中,缩小城市与乡村绿色低碳发展的差距,让生活在这片土地上的人民共同奔赴美好幸福的生活。



我们如何优化空间结构？

空间，是承载碳源和碳汇的基本载体。我们通过持续推进碳源控制、碳汇建设与碳平衡，努力去营造集约高效的生产空间、宜居适度的生活空间、山清水秀的生态空间，力争构建起安全和谐、富有竞争力和可持续发展的国土空间格局，通过提高空间治理能力，来全面保障碳中和目标实现。

让空间得以重塑

我们的空间结构具有明显的时代特征，与经济发展阶段休戚相关。改革开放初期，我们为了解决农村剩余劳动力出路，瞄准短缺经济的市场空隙，大力发展乡镇工业，形成“离土不离乡^[13]”的生产和就业模式，也形成了“村村点火，户户冒烟”^[14]的破碎化空间格局，导致碳汇空间被占用和生态功能下降，同时分散化的乡村工业也导致碳源分散，高碳排放难以管控。到1990年代，我们又紧抓国际制造业转移和浦东开发开放的战略机遇，大力发展开放型经济，建设了一批开发区，城市周边绿色开敞空间和碳汇空间被占用，城市也成为最为集聚的碳源。随着国家生态文明建设、资源宏观调控、乡村振兴战略等实施，加之“双碳”目标的新要求，我们的空间结构出现三种重塑趋势：

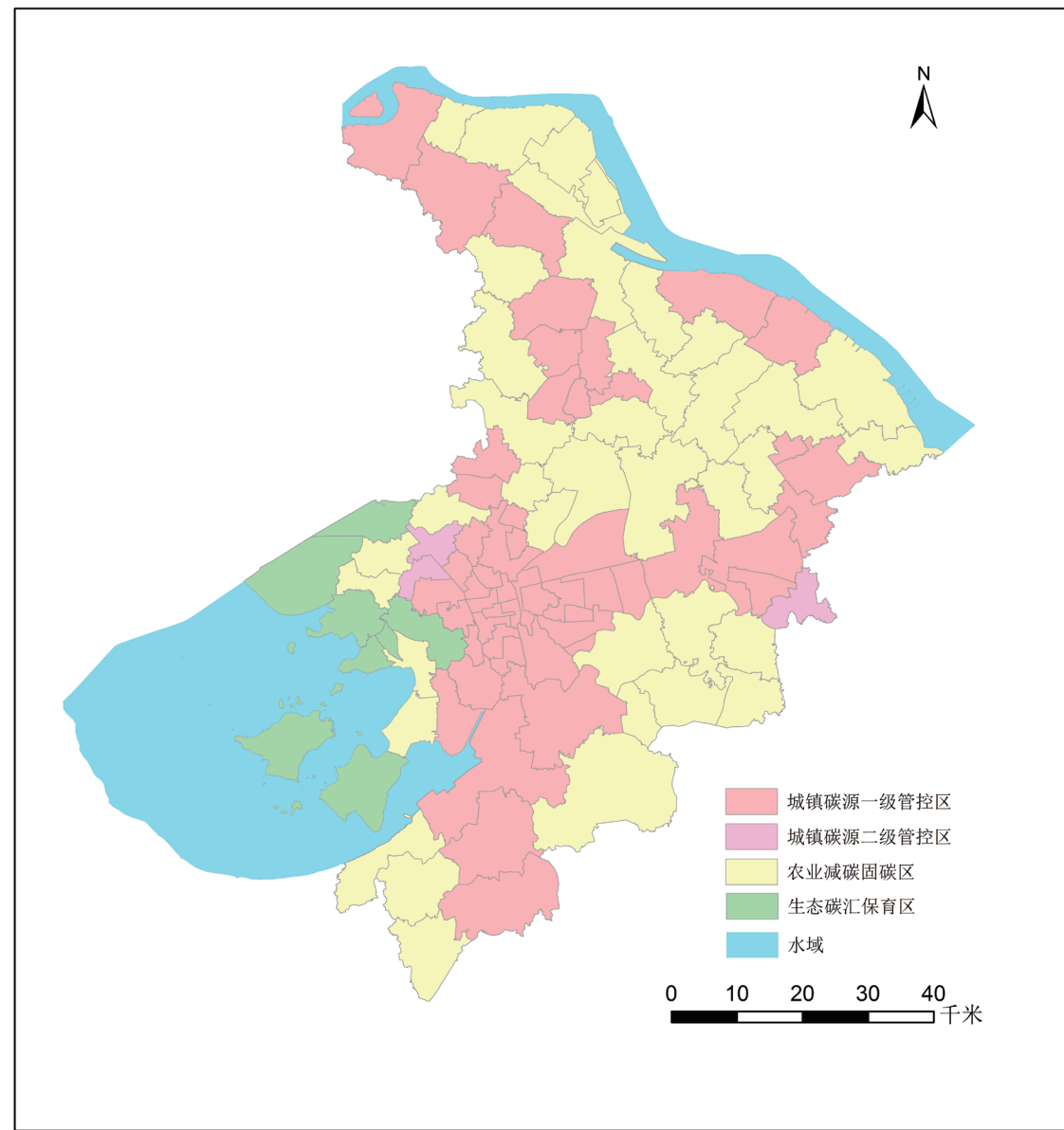
1. 城镇农业生态三类空间结构更为清晰，严格控制城镇规模和开发边界，推动城市存量发展，保有更多的农业和生态空间；
2. 中心城市由单中心向多中心拓展，使得城市周边的农业空间更加成片开敞，提高了碳汇空间的保有量，也有助于城市中心高碳排放的空间疏解；
3. 乡村分散化建设退出和标准化厂房建设，使乡村恢复传统空间肌理和生态服务功能，碳汇能力增强。

13.“离土不离乡”是：中国改革开放后，农村剩余劳动力通过在本地兴办的各种企业的就业等途径，实现其从农业部门向非农产业转移的状况和形式。

14.“村村点火，户户冒烟”是指改革开放初期，由于国家政策的支持，大量乡镇企业兴起，然而由于缺乏合理规划和有效管理，造成“村村点火，处处冒烟”的现象，实际上是一种农村工业化局面。

让空间治理有效

我们率先在中国探索构建空间治理体系，强化空间保护开发的顶层设计和统筹谋划，夯实绿色发展的空间治理基础。早在2005年，我们就提出优化开发区、重点开发区、限制开发区和禁止开发区4类主体功能区划分方案，出台了依据主体功能的建设用地指标配置、产业准入标准、投资和财税政策、生态空间管控、领导干部考核等一系列空间治理政策，严格划定城镇开发边界、永久基本农田红线和生态保护红线“三条底线”，促进城镇集约高效开发，保护农业和生态空间的碳汇功能。近年来，结合“双碳”目标要求，我们又提出了碳达峰碳中和空间功能分区的设想，在苏州全域划分城镇碳源管控区、农业减碳固碳区和生态碳汇保育区，针对性提出“双碳”路径及相应的配套政策，这项工作也是走在中国城市前列。



图示：碳达峰碳中和主体功能区

让城市更新更绿

适应气候变化，城市空间组织将迈向管理可控、安全韧性、城绿相融。我们的城市发展由“增量扩张”向“存量挖掘”转变，开展城市更新成为存量发展时期的必然选择。我们通过实施“城绿相融”工程^[16]，升级城市绿地、城市公园、湿地公园和森林公园，推广阳台、屋顶绿化，持续推动老城添绿、新区建绿等，提升地区的碳汇培育能力和生态功能。城市更新更多考虑居民意愿，包括对高品质居住环境、绿色低碳生活的追求等，并在部分地区开展了低碳社区的建设。此外，城市更新中我们努力推动多方合作，共促低碳建设。通过与社会资本合作，促使生态修复与低碳建设财政资金、社会化绿色基金等在一定空间范围内有效配合，提升片区的碳汇培育能力并降低更新改造进程中的高碳排放，实现生态功能的保护和提升。



图示：苏州工业园区森鹿公园

金鸡小区低碳化改造

金鸡小区位于苏州姑苏区金鸡路，是一座70年代建成的住宅小区。由于年代久远，建筑物和管道设施老化，居民生活和工作环境受到严重影响。苏州政府与居民代表共同商讨制定了绿色环保方案，进行小区低碳化改造更新，具体措施包括：

- (1) 建筑外墙保温隔热：对小区的建筑外墙进行改造，增加保温隔热层，防止室内温度变化带来的能源损失问题。
- (2) 升级能源管理：对老旧的电器设备进行更新和升级，引入节能控制系统，建立中央供暖系统，节约小区的能源消耗。

引入节能控制系统，建立中央供暖系统，节约小区的能源消耗。

(3) 加强绿化环保：增加绿化面积和绿色设施，提高小区环境质量和居住舒适性。

(4) 开展社区培训：开展环保培训和宣传，提高居民环保意识和参与度。通过改造，该小区减少了较多的能源消耗，环保水平得以提升，居住舒适度也得到了显著提高，成为了苏州绿色住宅改造的典范之一。



16. “城绿相融”工程是指在城市建设过程中，通过见缝插绿、全民植绿、规范管绿、规划扩绿等绿化建设行动，实现城市与绿色的完美融合。



图示：吴中区越溪街道旺山村

让乡村回归本源

乡村是重要的碳汇空间，在碳中和目标要求下，推动其回归生态、农业和文化三大本源。我们通过实施优质粮油、高效园艺、特种水产、生态林地“四个百万亩”工程，乡村农业生态空间持续扩大，生态服务功能不断提升，碳汇能力增强。发扬农耕文化应时、取宜、守则、和谐的优秀内涵，因地制宜利用本土的、独创的耕作技术和实践经验，推进农业生态发展，维护农业生态系统平衡和耕作土壤健康，降低农业的碳足迹。借鉴传统乡村营建智慧，引导开展乡村微设计、微改造、微建设，用好乡土建设材料，推动分布式可再生能源广泛应用，使新建民居、公共建筑与村庄环境“天人合一”⁽¹⁷⁾。

17. “天人合一”是中国古代哲学中关于自然和人类关系的一种学说，主要指人和自然的和谐统一关系。

让生态得到保育

我们的生态空间规模小、价值高、碳汇提升潜力大。近年来，通过实施山水林田湖草综合治理，加大对生态空间的修复和保护。2016-2020年，划定生态保护空间面积近3260平方公里，占苏州国土面积的37%以上，完成成片造林4.5万亩，新增长江生态景观防护林近9000亩，陆地森林覆盖率超过30%。实施乡村标准化厂房建设工程，腾出发展空间50平方公里以上，其中复耕复绿面积近8平方公里。结合交通、水利等重大工程建设，采用集中取土新建人工湖泊、湿地、森林，增加生态保育空间，增强碳汇能力。



图示：苏州暨阳湖

为了实现碳中和目标，我们实施了一系列的空间结构优化举措，包括进行空间重塑，开展空间治理等。在城市，我们进行了绿色更新；在乡村，我们促进了乡村本源的回归，让更多的生态空间得到保育。近两年，我们提出了碳中和空间功能分区，针对这种空间分区，我们未来如何去具体实施，还面临很多未知的挑战，需要动态识别碳风险地区，并将碳风险变化作为国土空间动态调整的依据之一。同时，将碳中和目标融入国土空间法律、法规、技术标准体系中，促进碳排放约束指标和阈值纳入国土空间管制中，让空间更合理布局，保有更多的高质量碳汇空间，预计到2030年，苏州的碳汇总量超过800万吨，2060年碳汇总量超过1000万吨，全面保障碳中和目标的实现。

暨阳湖建设工程

暨阳湖生态旅游度假区位于苏州张家港市南部，原为未利用土地。2000年修建江苏沿江高速公路时需大量取土，张家港采用在此地集中取土的方式，既保障了高速公路的用地需求，又规划建设了暨阳湖生态旅游度假区，该旅游区总面积为200公顷左右，拥有人工湿地20公顷，湖体水域66公顷，野生岛4公顷，800米运河以及立体景观绿化带，绿地率达90%以上，成为重要的碳汇空间。从2001年规划建设至今，先后建成螺洲岛、镜湖、濒水度假区、湿地和欢乐世界等景点向游客开放，成为具有城市生态修复、资源保护、旅游观光等多种功能的人工湖泊型城市湿地公园，荣获了“国家生态公园（试点）”、“国家级AAAA景区”等称号。

结语

我们苏州正在全力推动绿色发展, 尽管实现碳中和目标任务艰巨, 但我们一直在努力探索和付诸行动。能源基金会委托长东南大学三角碳中和战略发展研究院开展了《苏州市碳排放达峰目标及碳中和路径研究》, 取得了初步研究成果。随着经济社会发展和技术进步, 我们的“双碳”路径会进行适应性调适, 今后每五年对《苏州市碳排放达峰目标及碳中和路径研究》进行一次评估和调整。

应对气候变化是中国高质量发展的应有之义, 既关乎中国人民对美好生活的期待, 也关系到全人类的发展。在全球应对气候变化的持续进程中, 在中国碳中和的宏伟画卷里。我们苏州将切实贯彻落实国家低碳发展“1+N”政策体系, 围绕能源、产业、技术、投资、消费、教育和空间治理等方面, 构建绿色发展体系, 将碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局, 以降碳为生态文明建设的重点战略方向, 全面促进经济社会发展的绿色转型, 努力建设人与自然和谐共生的中国式现代化的苏州图景。

中国将持续推动《联合国气候变化框架公约》及其《巴黎协定》的全面平衡有效持续实施, 我们将脚踏实地助力中国国家自主贡献目标的实现, 为推动构建人类命运共同体做出更大努力和贡献, 让人类生活的地球家园更加美好。

致谢

感谢苏州市人民政府和苏州市发展和改革委员会的指导与支持。

本研究也获得了专家团队给予的建议与指导, 专家团队包括: 杨伟民、邹骥、徐林、杨庆育、葛长伟、袁喜禄、孙志高、朱法华、周南、刘明君、苗莉、陈雯、董煜、邱林, 在此表示由衷的谢意。

本报告由能源基金会支持, 项目支持团队的成员: 王志高、林微微、史胜南。

报告项目团队成员: 朱晓明、孙伟、陈时熠、王培红、傅尧、仲思颖、周政、李臻、郑小玲、蔡亮、赵东亮、梁媛。

