



零碳智慧园区 2022白皮书

全国信标委智慧城市标准工作组

2022年1月





编写组

指导委员会

戴红 孙文龙 范科峰 钱恒 荣文戈 尹洪涛

编写组成员

王君波 张群 冯澄 庞松 杨光 张红卫 李腾
郑秋宏 彭革非 耿涛 张星 曾祥佳 邹健东 陈凌云
蒋磊 黄亚 黄家晖 毛荟慧 刘文 邓三 李竹青
张聪 王飞飞 邵鑫月 于淼 包哲静 沈红超 李赞
黄锐 王笑 刘丽芳 隋泽昱 周希炜 谷丽娟 朱统意

编写单位

新华三技术有限公司
中国电信股份有限公司北京研究院
中交机电工程局有限公司
杭州海康威视数字技术股份有限公司
光大节能照明（深圳）有限公司
北京清华同衡规划设计研究院有限公司
浙江大学
腾讯云计算（北京）有限责任公司
北京电信规划设计院有限公司
豪尔赛科技集团股份有限公司

中国电子技术标准化研究院
华为技术有限公司
上海逸迅信息科技有限公司
国网上海市电力公司浦东供电公司
北京五一视界数字孪生科技股份有限公司
青岛城市大脑投资开发股份有限公司
青岛海信网络科技股份有限公司
特斯联科技集团有限公司
上海万向区块链股份公司
北京百度网讯科技有限公司





前言

气候变化是一项跨越国界的全球性挑战。全球气候变化治理已经成为世界各国、各国际组织密切关注的问题。在《巴黎协定》的指导下，各国达成了将全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上2℃之内的共同目标，同时寻求将气温升幅控制在1.5℃以内的措施。为共同解决全球气候问题，彰显大国责任与担当，我国于2020年9月明确提出“碳达峰”与“碳中和”目标，“双碳”目标的提出将再次考验“中国速度”。

园区是产业集聚发展的核心单元，也是我国推进新型城镇化、实施制造强国战略最重要、最广泛的空间载体，成为我国实现“双碳”目标必须牵住的“牛鼻子”。作为先进要素高度集聚、创新活动蓬勃发展的产业活动主要载体，各类园区将在“双碳”战略实践中发挥至关重要的作用。

零碳园区建立在数字化全面赋能的智慧园区基础之上，数字化手段贯穿零碳园区建设和运营的全过程。数字化、智能化成为零碳园区的基本特征，因此零碳园区一定是智慧园区。零碳园区和零碳智慧园区为同一概念。

零碳智慧园区建设是复杂的系统性工程，需要在园区规划、建设、管理等全生命周期融入“碳中和”理念。零碳智慧园区的实现，离不开节能、减排、固碳、碳汇等多种手段的支撑。同时，需要通过产业低碳化发展、能源绿色化转型、设施集聚化共享、资源循环化利用、碳要素智慧化管理，以在园区内部达到碳排放与吸收自我平衡，实现生产、生态、生活深度融合。零碳智慧园区建设需要明确目标愿景和建设思路，构建零碳转型的能力保障，并依托关键技术和要素支撑，依据行之有效的路径持续推进。

关于零碳智慧园区的内涵、建设思路等，业界还未达成统一共识。为响应“双碳”战略，探索提出零碳智慧园区建设路径，依托全国信标委智慧城市标准工作组智慧园区专题组，新华三技术有限公司、中国电子技术标准化研究院联合相关单位编制形成《零碳智慧园区白皮书（2022版）》（简称“本白皮书”）。本白皮书基于各相关单位的实践经验以及业内相关研究成果，探索提出了零碳智慧园区内涵与架构、核心场景、建设路径等，并总结分析了不同类型园区典型实践案例的经验，为零碳智慧园区发展提出了具体建议。本白皮书为零碳智慧园区的建设提供了有价值的参考，将有助于推进“双碳”战略的实施。

目录 / CONTENT



第一章 机遇环境篇

▶ 新目标：“双碳”成为贯穿高质量发展的国家战略	03
“双碳”建设是双循环下高质量发展的必由之路	04
“双碳”建设是新型城镇化战略的重要落地延伸	04
“双碳”建设是全球共识下展现大国形象必由之举	05
“双碳”建设是践行创新驱动发展战略的关键步伐	05
▶ 新机遇：园区成为落实“双碳”战略的先锋和主力军	06
园区是产业活动主要载体，能够承担产业零碳升级重任	06
园区聚集先进要素，能够成为零碳突破点和标杆	07
园区积累绿色实践经验，进一步奠定建设零碳智慧园区基础	07
智慧园区广泛铺开，数字化全面赋能园区零碳进程	08
▶ 新格局：零碳智慧园区重塑城市高质量发展格局	08
零碳智慧园区助力产业蝶变升级	08
零碳智慧园区重塑区域发展格局	09
零碳智慧园区推进新型城镇化进程	09
零碳智慧园区助力描绘数字中国画卷	10
▶ 新挑战：零碳智慧园区亟需破解发展与碳约束的平衡难题	10
零碳智慧园区建设需要发展与碳约束之间的平衡	10
零碳智慧园区框架和建设路径尚不清晰	11
零碳智慧园区技术尚待进一步探索	11
▶ 新征程：零碳智慧园区关键发展趋势	12
环境演进：纲举目张，从政策单点布局到机制环境日益完备	12
生态演进：协力同心，从强约束推动到聚力共建共治共享	13
应用演进：利器善事，从简单工具包到场景深度实践方案	13
格局演进：百花齐放，从星火次第绽放到全面铺开排浪涌现	14
智慧演进：价值释放，从数据简单汇聚到深度赋能智慧应用	14



第二章 认知内涵篇

▶ 零碳智慧园区概念内涵	17
▶ 零碳智慧园区蓝图架构	19
▶ 建设零碳智慧园区的核心能力	20
能源转型	20
应用转型	22
数字化转型	25

▶ 零碳智慧园区分类及核心场景	27
生产制造型园区	27
物流仓储型园区	29
商务办公型园区	30
特色功能型园区	31
产城融合型园区	32

第三章 智慧实践篇

▶ 零碳智慧园区的建设原则	37
▶ 零碳智慧园区的建设路径	38
规划	38
建设	38
运营	39
▶ 零碳智慧园区实践案例	40
海信江门零碳智慧园区：顶设先行、智能增效	40
鄂尔多斯零碳产业园：因地制宜、能源革新	41
青岛中德生态园：三大领域、零碳社区	42
重庆AI city园区：零碳建筑、智慧节能	44
中国石化：联接赋能、智慧管控	45
上海桃浦智创城：数字孪生、精细管控	47
紫光萧山智能制造园区：“多流”服务、工业样板	48
华润百色田阳水泥生产园区：数据互联、智能制造	49
甘肃省通渭县“零碳乡村”：创新合作、阳光红利	50
柏林欧瑞府零碳智慧园区：绿色能源、零碳生态	52

第四章 发展建议篇

▶ 以蓝图架构为基础，构建零碳智慧园区标准体系	55
▶ 以技术为先锋，支撑园区零碳发展和核心竞争力提升	57
▶ 以试点为牵引，探索零碳智慧园区的技术方法和工作路径	58

结束语	59
-----	----

参考文献	60
------	----



第一章 机遇环境篇



新目标：“双碳”成为贯穿高质量发展的国家战略

2020年9月，在第75届联合国大会期间，中国提出将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，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3月，政府工作报告将“扎实做好碳达峰碳中和各项工作”列为重点工作之一，并指出将制定2030年前碳排放达峰行动方案，优化产业结构和能源结构，大力发展新能源。碳达峰碳中和（以下简称“双碳”）战略目标的提出将我国的绿色发展之路提升到新的高度，成为我国未来数十年内经济社会发展的主基调和基本国策。

碳达峰并不单指碳排放在某一年达到最大排放量，其是一个过程，指在某个时点达到峰值，即碳排放首先进入平台期并可能在一定范围内波动，然后进入平稳下降阶段。碳中和是指国家、区域、企业、团体或个人测算在一定时间内，直接或间接产生的温室气体排放总量，通过植树造林、节能减排等形式，抵消自身产生的二氧化碳排放量，实现二氧化碳“零排放”。

近年来，我国一直在寻求更具可持续性、包容性和韧性的经济增长方式，并具备了实现2030年前碳排放达峰的客观条件。在经济基础方面，2020年我国经济总量迈上百万亿元的大台阶，约占世界总量的17.39%，成为全世界唯一实现经济正增长的主要经济体，强大的国家综合实力为实现“双碳”目标奠定坚实经济基础。在技术支撑方面，我国具备强大的装备制造能力，掌握多项核心技术和关键产业链优势，依托国内超大规模市场，在发展清洁能源技术方面表现出巨大潜力。根据国家能源局相关统计数据，截至2020年底，中国清洁能源发电装机总规模达到9.3亿千瓦，清洁能源占总装机的比重达到42.4%，相比2012年增长14.6%，可再生能源的开发利用规模稳居世界第一。除此之外，我国在人工智能、能源互联网、清洁能源技术等领域均处于全球领先地位，为实现“双碳”目标奠定了技术基础。

时间	发文单位	会议或政策文件	主要内容
2020年12月		中央经济工作会议	将“做好碳达峰、碳中和工作”作为 2021年重点任务之一。我国二氧化碳排放力争2030年前达到峰值，力争2060年前实现碳中和。要抓紧制定2030年前碳排放达峰行动方案，支持有条件的地方率先达峰。
2020年12月	发改委	全国发展和改革工作会议	部署开展碳达峰、碳中和相关工作，完善能源消费双控制度，持续推进塑料污染全链条治理
2021年1月	发改委	《科学精准实施宏观政策 确保“十四五”开好局起好步》	继续打好污染防治攻坚战，实现减污降碳协同效应。实施“十四五”节能减排综合工作方案。提高水电、风电、光伏发电及氢能等清洁能源消费占比
2021年2月	生态环境部	《碳排放权交易管理办法（试行）》	规范全国碳排放配额分配和清缴，碳排放权登记、交易、结算，温室气体排放报告与核算等活动
2021年2月	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	健全绿色低碳循环发展的生产体系、流通体系、消费体系，加快基础设施绿色升级、构建市场导向的绿色技术创新体系、完善法律法规政策体系
2021年3月	国务院	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	明确“制定2030年前碳排放达峰行动方案”的工作任务。实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度，支持有条件的地方好重点行业、重点企业率先达到碳排放峰值
2021年5月	生态环境部	《碳排放权登记管理规则（试行）》 《碳排放权交易管理规则（试行）》 《碳排放权结算管理规则（试行）》	进一步规范全国碳排放权登记、交易、结算活动，保护全国碳排放权交易市场各方参与合法权益
2021年9月	生态环境部	《关于推进国家生态工业园区碳达峰碳中和相关工作的通知》	明确了优化能源结构和产业结构、推动低碳技术创新应用转化、构建双碳目标管理平台、强化绿色低碳理念宣传教育等四项重点任务

时间	发文单位	会议或政策文件	主要内容
2021年10月	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》	提出构建绿色低碳循环发展经济体系、提升能源利用效率、提高非化石能源消费比重、降低二氧化碳排放水平、提升生态系统碳汇能力等五方面主要目标，确保如期实现碳达峰、碳中和
2021年10月	国务院	《2030年前碳达峰行动方案》	到2025年，非化石能源消费比重达到20%左右，单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，为实现碳达峰奠定坚实基础

表1 我国“双碳”相关政策

实现“双碳”战略目标，需要对现行社会经济体系进行一场广泛而深刻的系统性变革。2021年10月，《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》和《2030年前碳达峰行动方案》两份关于“双碳”工作重要的政策文件相继印发，“双碳”“1+N”政策体系的顶层设计出炉，中央把“双碳”纳入经济社会发展和生态文明建设整体布局。各地方各部门也陆续明确“双碳”时间表和路线图，出台能源、工业、交通运输、城乡建设等分领域分行业碳达峰实施方案以及科技支撑等一系列保障方案，加速优化产业结构和能源结构。

“双碳”建设是双循环下高质量发展的必由之路

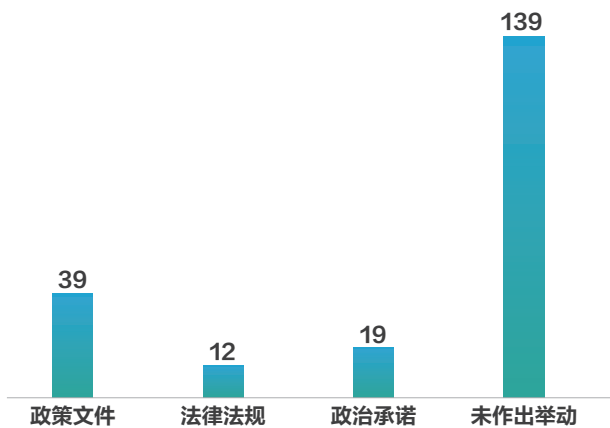
面对新冠疫情带来的持续性影响、未来国际形势的长期不确定性和由经济体制改革带来的高质量持续动力，打造国内国际双循环相互促进的格局成为我们的必然战略选择。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》（以下简称“十四五”规划）提出的“社会主义现代化”目标，强调“协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护”，加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局，走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路。高质量发展需要秉持经济发展、民生指向和系统平衡的发展观，实现从量变到质变的转型过程。这一转变使得经济运行更有效率、产业结构更加合理、企业提供的产品和服务具有更高品质，最终实现经济发展更可持续、生态环境更加绿色、社会分配更加公平。同时，我国作为全球最大的碳排放国家，能源结构长期以煤为主，油气对外依存度高，能源清洁低碳转型任务紧迫。“双碳”战略的提出和逐步落地实践，以强约束和明确目标倒逼产业转型升级，提高经济增长质量，加速我国能源转型和能源革命进程，助力打破“碳壁垒”，畅通国际大循环，有利于改善生态，创造绿色民生环境，为实现经济高质量发展和促进生态环境改善带来全新的机遇。

“双碳”建设是新型城镇化战略的重要落地延伸

党的十八大以来，国家一直提倡要建设新型城镇化，“十四五”规划提出的“美丽中国”建设目标，也包含了绿色低碳的诸多理念内容。目前，中国的城镇化还没有完成，仍处在塑形变化阶段。这个过程提供了贯彻新发展理念的空间，也提供了“双碳”应用的海量场景。未来，我们需要在新型城镇化推进过程中，更加明确“双碳”的战略目标，更加自觉地促进实现“双碳”。第七次全国人口普查数据显示，我国城镇常住人口为90199万人，占总人口比重为63.89%，近10年来，我国城镇化率每年大约提高1.421%。然而，随着城镇化进程的不断加快，资源环境和生态系统受到严重破坏，生活垃圾污染、汽车尾气排放污染、城镇发展沙尘污染等大量产生，经济增长与生态环境之间“相互制约”的矛盾一直是发展难题。唯有结合当地自然禀赋、经济社会发展基础以及地方比较优势，撬动低碳导向的城镇化高质量发展，才能真正实现落实新型城镇化战略。

“双碳”建设是全球共识下展现大国形象必由之举

在当前的国际经济社会发展趋势和政治格局背景下，我国主动顺应全球绿色低碳发展潮流，作出将实现“双碳”的庄严承诺，彰显了大国责任与担当。早在1998年，中国政府就已核准签署《京都议定书》，并通过切实落实减排政策、积极的国际沟通协作，逐步成为国际气候变化治理体系中的领导者。作为一个负责任的发展中大国，从“十一五”开始，我国就把节能降碳纳入国民经济和社会发展规划之中，积极推动产业结构调整、能源结构优化、重点行业能效提升，节能减排取得显著成效，为实现“双碳”目标奠定了实践基础。生态环境部表示，2020年我国实现了碳强度较2015年降低18.8%，比2005年降低48.4%，超过了向国际社会承诺的40%-45%的目标，基本扭转了碳排放快速增长的局面。2020年以来，我国不断加速应对气候变化、解决气候危机的责任和行动，党中央、国务院成立了“碳达峰碳中和工作领导小组”，组织制定“双碳”“1+N”政策体系；各部门陆续出台相应的政策措施，带动各领域有序开展产业绿色升级和低碳技术创新；重点行业企业主动研究绿色转型与脱碳降碳技术和措施；金融系统开启绿色投融资以服务于社会经济低碳转型；各学科专家学者高度重视碳中和基础科学研究工作，不断产出前沿科技成果，体现了我国在全球气候舞台上的领导力，并对全球和其他国家的气候行动带来了积极影响。



数据来源：<https://www.climatewatchdata.org/>

图1 全球“净零碳”目标发布情况

“双碳”建设是践行创新驱动发展战略的关键步伐

近年来，我国不断发展低碳技术，推动传统能源工业的科技革新，以科技创新支撑能源结构不断优化，在践行创新驱动发展战略方面迈出关键步伐。“十四五”规划提出，“坚持创新驱动发展，全面塑造发展新优势”“打好关键核心技术攻坚战，提高创新链整体效能”。在双碳建设的过程中，我国不断推广应用绿色低碳技术产品、强化绿色低碳管理能力建设、提升建筑绿色低碳运行水平，以科技创新为双碳建设提供强有力支撑。以煤炭工业为例，我国大力推广超临界、超超临界机组及热电联供技术，国家能源集团有98%的常规煤电机组实现超低排放，新建机组发电煤耗降至256g/千瓦时，为世界最低；发展融合了化工和电力两大行业特点的整体煤气化联合循环发电系统（IGCC），二氧化碳捕集成本较低，是当前国际上被验证的、能够工业化的、最洁净高效的燃煤发电技术。同时，负排技术的快速发展也为达成碳排放目标提供了有力支撑。我国首个百万吨级CCUS（Carbon Capture, Utilization, and Storage，碳捕集、利用与封存，以下简称CCUS）项目建设——齐鲁石化-胜利油田CCUS项目，于2021年7月开建，项目涵盖碳捕集、利用和封存3个环节，将每年减排二氧化碳100万吨，相当于植树近900万棵、近60万辆经济型轿车停开一年，可有力推进化石能源洁净化、洁净能源规模化、生产过程低碳化。

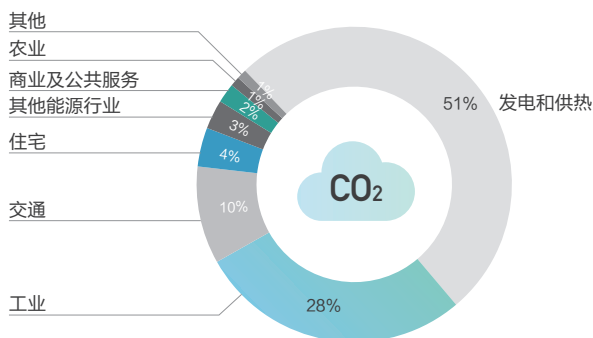
新机遇：园区成为落实“双碳”战略的先锋和主力军

根据中共中央、国务院印发《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》，推进“双碳”战略主要落地措施包括推动产业结构优化升级，大力发展低碳产业，加快形成绿色生产生活方式，加快构建清洁低碳安全高效能源体系，加快推进低碳交通运输体系建设，加强绿色低碳重大科技攻关和推广应用，持续巩固提升碳汇能力等。作为先进要素高度集聚、创新活动蓬勃、生产生活活动主要载体的各类型园区必将在“双碳”战略实践中发挥至关重要的作用，成为碳中和的先锋和主力军。

园区是为了实现产业发展等功能性目标，由政府、企业或者其他组织机构创立的特殊区位结构。作为城市的基本单元，园区是最重要的人口和产业聚集区，是最主要的经济和社会活动承载的空间载体，是区域经济发展、产业转型升级、功能实现的重要空间集聚形式，担负着聚集创新资源、培育新兴产业、推动社会发展、支撑民生福祉等一系列的重要使命。《未来智慧园区白皮书》数据显示，90%以上城市居民工作生活在园区，80%以上的GDP和90%以上的创新在园区内产生，可以说“城市，除了马路都是园区”。园区形态多、数量大，依据承载的功能和场景的不同，包括制造园区、科创园区、物流仓储园区、研发基地、企业集团园区、创意园区、游乐园区、农业园区、林业发展区、旅游休憩海岛、综合商业区等各类产业园区，以及行政办公区、大学城和相对封闭的居住社区等各类生活园区。以产业园区为代表的各类型园区快速发展，已经成为推动我国工业化、城镇化发展和区域经济高质量发展的重要平台。园区作为城市的基础单元，连接个体、组织、城市、国家，园区的物理边界清晰，所有权明晰，运营和管理生态已经逐步建立，使园区成为“双碳”战略的最佳落脚点。园区通过自身的质量变革、效率变革和动力变革，率先实现零碳化，树立发展标杆，对于区域落实“双碳”战略，实现高质量发展具有重要的意义。

园区是产业活动主要载体，能够承担产业零碳升级重任

我国经济持续快速发展，同时也带来碳排放的增加。我国碳排放主要来自能源、工业、交通、建筑、农业五大部门，其中能源和工业部门碳排放占比超过80%。伴随着“企业入园”的趋势，国内大部分企业，尤其是生产制造企业大多都落户于各类工业园区和开发区，工业园区承担了密集的工业生产活动。根据国际能源署和清华大学环境学院相关研究数据，2015年中国工业园区碳排放占到全国的31%，并呈现持续攀升的势头，工业



数据来源：国际能源署

图2 中国各部门碳排放占比（2018年）

园区的减排已刻不容缓。能源、工业的碳排放生产活动主要发生在各种类型的工业园区，针对能源和生产流程的绿色化改造应用场景广阔，工业园区成为落实我国精准减排贯彻落实“双碳”战略目标的关键落脚点。除工业生产外，建筑、交通也是城市和园区的主要社会活动场景。园区是城市碳排放最集中的空间，也是城市实现“双碳”必须牵住的“牛鼻子”。

园区聚集先进要素，能够成为零碳突破点和标杆

园区是企业主体和产业要素集聚发展的核心单元，集聚产业、功能、创新、人力等各类资源要素，可以实现生产要素科学配置和产业链供应链的高效协同，辐射带动作用极强，能够成为零碳的突破点和标杆。在产业要素集聚方面，产业园区围绕一个主导优势产业来差异定位、协同发展、动态布局，关联功能区串点成链、聚链成圈，产业生态协同协作、相互成就，产业协同优势可以从整体规划零碳路径。在功能要素集聚方面，园区深入贯彻产城融合理念，实现基础设施、公共服务等功能体系的合理布局，辅以生态碳汇的整体规划，有效降低整体碳排放，同时园区宜居度得到大幅提升。在创新要素集聚方面，科技园区以高能级平台体系和高品质科创空间体系为主体，打造开放型创新功能平台，支撑园区内企业等主体推动低碳改进及碳中和相关科技创新。在机制要素集聚方面，园区可以通过灵活的机制激励内部主体实施低碳、零碳生产生活的积极性。在人力要素集聚方面，园区聚集高素质人才，并可以进一步打造“产-学-研-用”协同平台推动零碳产业发展。要素的高效集聚下，园区成为建设现代化产业体系和推动城市发展方式转变的重要结合点，是实施创新驱动发展战略的重要载体，有效支撑城市功能、持续提升城市能级。园区依托不同区域特点、不同主导产业，精准聚焦相关要素资源，通过差异化、精准化的低碳发展模式，成为零碳发展的突破点。

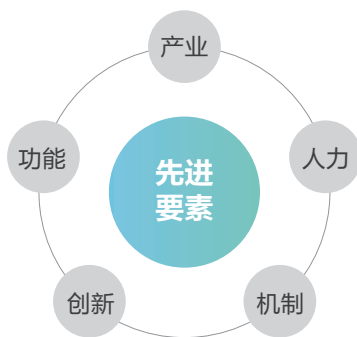


图3 园区聚集先进要素

园区积累绿色实践经验，进一步奠定建设零碳智慧园区基础

近年来，我国出台了一系列政策文件，积极推动园区绿色低碳转型，从生态示范工业园区、循环化改造示范园区，到低碳示范园区、绿色园区、近零碳园区等，积累了大量低碳发展经验和做法，涌现出一批绿色发展的新理念、新模式，为下一步发展零碳智慧园区提供了重要参考和支撑。2013年，工业和信息化部、国家发展改革委联合启动了国家低碳工业园区试点，以低碳工业园区试点为抓手，发挥产业集聚的辐射作用和工业绿色发展的引领作用，带动整个工业领域的绿色低碳转型，参与试点的工业园区探索形成了各具特色的低碳发展模式。2021年9月，第六届中国国际绿色创新发展大会推选出了12个“2021绿色低碳示范园区”，示范区作为低碳技术突破的创新平台、低碳产业集聚的核心区域以及低碳经济发展的示范基地，将持续引领园区的低碳化、零碳化进程，助力园区成为“双碳”战略落地的突破点。同时，国家积极推进各层级低碳试点体系，截至2021年，中国已经开展了6个低碳省（区）和81个低碳城市、51个低碳工业园区、400余个低碳社区和8个低碳城（镇）试点，形成了全方位、多层次的试点体系。而从试点城市的规划来看，其又进一步将低碳理念融入校园、社区、医院、工业园等，形成新时代绿色“连锁效应”。园区充分发挥自身改革试验田的作用，作为区域践行绿色发展理念的样板，持续提升当地宜居宜业的生态水平。



图4 低碳试点体系建设现状

智慧园区广泛铺开，数字化全面赋能园区零碳进程

智慧园区已在全国范围广泛铺开建设，成功标杆和成熟方案层出不穷，基于现有的园区数字化基础，贯彻碳中和理念、整合零碳应用已成为零碳智慧园区建设的主流方向。当前，经开区和高新区基于国家政策支持 and 资源聚集等优势，智慧园区建设力度大、建设水平也相对较高，在此基础上，部分经开区和高新区率先部署绿色转型工作，积极探索数字化赋能碳中和发展路径。例如上海张江高新区推进园区绿色低碳转型，开展绿色低碳创新技术示范应用；苏州工业园围绕产业体系现代化、生产方式绿色化、生活方式低碳化、绿色发展制度化推进绿色园区建设。此外，国内其他园区在已有信息基础设施的基础上重点推动5G网络部署，建设高质量数据中心，整合已有计算能力和存储能力，结合在边缘侧和云端的AI能力，为园区管理和生产智能化升级提供更加完善的解决方案，园区运营和服务基本上实现智能化、数字化，零碳智慧园区数字化基础逐渐成熟。

新格局：零碳智慧园区重塑城市高质量发展格局

经过30多年的持续发展，园区在中国经济发展中的引擎作用越来越突出。随着新型城镇化进程的深化，产城融合园区成为了践行新发展理念，打造宜居宜业城市空间的重要载体。而在“双碳”战略的推动下，零碳智慧园区更进一步成为发展战略科技力量、推进供给侧改革、引领产业转型升级、提升城镇化发展质量和构建高质量新发展格局的核心力量。

零碳智慧园区助力产业蝶变升级

在实现“双碳”目标的过程中，将形成强大的绿色低碳市场需求，使产业发展可以形成新动能，推动能源等国民经济核心产业数字化进程，并进一步赋能产业转型升级。一方面，零碳智慧园区建设催生绿色技术、绿色设备、绿色制造以及绿色服务，影响着新技术开发和新产品应用的发展方向，引领产业供给侧变革。园区零碳化建设加速节能环保低碳技术与产品的推广普及，加速“卡脖子”技术的突破。在新技术的带动下，产业核心基础零部件、关键基础元器件、先进基础的制造工艺和装备逐渐向低碳高效的方向升级发展，并进一步运用于工业生产全过程以及企业管理各环节，形成智能化发展的新业态和经营模式。另一方面，零碳智慧园区建设产生海量的园区、产业、企业等相关数据，通过对企业产品分布、经济指标等各项指标数据进行收集、比对、分析，促进园区精细化管理的同时，也为相关部门分析判断经济运行、产业布局提供决策依据，助力实现精准决策。此外，零碳智慧园区建设能够营造共同发展、合作共赢的产业环境，通过搭建政企沟通桥梁，形成智能化、规模化、集群化的产业发展平台，通过企业间资源整合以及政府合作共拓市场，进一步推动行业发展。

零碳智慧园区重塑区域发展格局

“双碳”战略与新型电力系统建设、“东数西算”等国家级战略的共同实施，将从更宏大的格局和更广阔的视野重塑区域产业发展格局，逐步形成经济提质增效与区域一体化发展协同共进的新局面。做好“双碳”工作，需要通过经济结构调整、产业调整、发展方式转型、能源转型等多方面共同完成，这对地方能源发展和经济转型提出了更高要求。各地借机逐步调整高耗能产业占比较大的现状，并加快发展战略性新兴产业、高技术产业、现代服务业等，以构建新发展格局。国家层面，按照空间、区位、能源和资源禀赋及产业布局，统筹优化不同地区的功能，通过明确能源供给地区与品种格局，确定能源跨区输送通道的分布，优化能源发展布局。同时，在做能源研究、能源开发、能源规划、能源转型的过程中，开始部署一部分地区率先进入碳中和，通过这些地区的经验，探索实现碳中和的路径，为全国碳中和积累经验。如长三角、京津冀、粤港澳大湾区等产业集聚程度高、经济发展基础好的区域应积极引领新兴产业高起点绿色发展，中部、黄河流域等能源资源密集型产业集聚、生态环境脆弱的区域统筹推进碳达峰、生态保护与经济高质量发展。从地区来看，各地加快优化市域空间格局，着眼融入新发展格局，推动土地、能耗等指标向重点区域倾斜，更好促进城市资源要素科学配置、合理流动。

零碳智慧园区推进新型城镇化进程

在“双碳”战略背景下，低碳、高质量的城镇化发展将成为发展趋势，产城融合、产业功能区、产业新城等相关理念与产业园区的绿色转型升级融合发展，助力打造低碳城镇化。新型城镇化重点任务指出，按照统筹规划、合理布局、分工协作、以大带小的原则，立足资源环境承载能力，推动城市群和都市圈健康发展，构建大中小城市和小城镇协调发展的城镇化空间格局。而园区将土地利用、城市功能、产业要素、政策环境高度耦合，成为城市拓宽产业空间，培育新型城镇化动力机制的主要抓手之一。一方面，从产业体系的角度将园区作为承接产业转移的载体，推进战略性新兴产业集聚、企业低碳化改造、低碳技术创新供给等，形成低碳绿色产业集群，增强园区的辐射带动作用 and 聚集人口的能力，为城镇化提供平台和空间，进一步提升产业竞争力。另一方面，园区零碳化有利于推进城市资源配置智能化，优化城市宜居环境、提升城市文化的传承和创新、增强市民的幸福感和城市的可持续发展；同时，园区零碳化作为低碳化的城镇化建设的组成部分，是推动实现能源供给低碳化、经济发展方式低碳化和居民生活方式低碳化的有效实践。



零碳智慧园区助力描绘数字中国画卷

零碳智慧园区在建设和实践过程中，数字化的产业、数字化的治理、数字化的生活和数字化的生态同步推进，助力数字中国实践落地。全球数字经济蓬勃发展，数字中国建设掀起新一波的浪潮，零碳智慧园区作为智慧城市发展的基本组成单元，是数字中国建设的重要落脚点和先锋，也是绿色建筑、智慧建筑的终端实现载体。在“双碳”背景下的零碳智慧园区与新一代信息与通信技术深度融合，通过园区内及时、互动、整合的信息感知、传递和处理，为管理者和用户提供智能化管理、高效运作、全方位服务的数字化生活和工作环境。同时，园区零碳化发展催生新模式、新业态创新发展，推动企业实现产业降本增效，提升综合竞争力，进一步推动产业向细化高质量发展，实现产业链价值链全面升级。此外，零碳智慧园区能够实现园区管理和城市管理的融合，通过实现碳排放智慧监测，构建碳管理综合监控平台等公共平台，从而整体实现城市和产业功能区碳中和的精细化管理、智慧化服务。零碳智慧园区上接“智慧城市”，下连“智慧社区”，成为“双碳”背景下数字中国践行落地的示范基地。

新挑战：零碳智慧园区亟需破解发展与碳约束的平衡难题

作为世界第一碳排放大国，我国要用不到10年时间实现“碳达峰”，再用30年左右时间实现碳中和，任务艰巨。而作为“双碳”战略的先行者，零碳智慧园区则需要相关体制机制环境尚未完善、框架和建设路径尚不清晰、相关技术条件仍不成熟的前提下，掌握好经济增长与碳约束之间的平衡，逐步探索“双碳”战略实践落地的现实路径。

零碳智慧园区建设需要发展与碳约束之间的平衡

我国提出的“两个一百年”的发展目标，要求到2030年GDP需要保持5%以上的增长，一次性能源需求保持2%的增长，无疑给实现“双碳”带来巨大挑战。作为世界第一工业大国，我国经济发展仍需要大量的能源消耗，碳排放量仍在增长。据英国石油公司（BP）数据，2020年，我国碳排放量达到98.99亿吨，同比增长0.6%，再创历史新高，占全球碳排放量的比重也提升至30.7%。由于能源结构不合理，化石能源占能源消费比例高达85%，脱碳压力巨大。同时，我国区域间发展不平衡现象明显，不同区域的发展程度不同，具有不同的资源禀赋，西部大开发、东北振兴和中部崛起等国家战略的实施均需要以产业发展作为基础引擎，也会带来相应的碳排放。在此背景下，园区作为我国发展高新技术产业和推进自主创新的核心载体，通过根据自身区位特点、发展阶段、产业特点、要素资源等方面，从融入全国大局考虑统筹规划，平衡区域发展与碳约束之间的关系，如何实现生态文明与科技创新、经济繁荣相协调相统一的可持续发展，便成为亟需破解的平衡难题。

零碳智慧园区框架和建设路径尚不清晰

长期以来，中国高度重视应对气候变化工作，通过推行绿色低碳生产生活方式、调整产业结构、优化能源结构、提高资源能源效率、加快推进全国碳市场建设等手段，资源能源效率得到大幅提高，能源结构不断优化，绿色低碳发展的格局初步显现。为响应国家“双碳”政策要求，促进经济社会发展全面绿色转型，我国各省市以低碳发展实践区和低碳社区为焦点，开展近零碳排放示范创建等零碳实践。但零碳智慧园区作为全新概念，相关释义和战略框架仍然处于持续的变化之中，整体框架尚未清晰明确。而且，零碳智慧园区的外部条件时刻变化，相关标准、法规、碳交易市场等环境尚待进一步完善，试点示范和推广应用较为贫乏。各地对于零碳智慧园区的认知大多停留在概念层面，对于如何建设零碳智慧园区，相关工作重点、实施步骤等把握并不清晰，难以真正从系统性、整体性考虑推动园区的转型升级，无法通过对能源、资源、基础设施、产业、生态环境、运行管理等指标进行分析，实现不同地点、行业、体系的园区绿色零碳发展。同时，资金引导、源头控制和技术指导等方式不够明确，对零碳智慧园区建设在顶层设计、能源结构、产业结构、基础设施、政策体制等方面的实现路径仍在探索中。

省市区	政策	概述
上海市	《上海市低碳示范创建工作方案》	持续推动上海低碳城市建设，加快推进低碳技术应用和机制创新，不断持续深化低碳示范创建，在已有工作基础上创新开展近零碳排放示范创建
浙江省	《关于加快推进绿色低碳工业园区工厂建设的通知》	加快构建绿色制造体系，深入推进绿色低碳工业园区、工厂建设，树立一批绿色低碳标杆，带动工业领域绿色低碳转型，推动浙江有序实现碳达峰碳中和目标
河南省	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》	科学编制各类产业园区发展规划，依法依规开展规划环境影响评价，严格准入标准，依据关联性构建循环产业链条。推进产业集聚区和产业集群循环化改造
武汉市	《武汉市推动降碳及发展低碳产业工作方案》	通过绿色升级、循环化改造、公共设施共建共享、能源梯级利用、资源循环利用和污染物集中安全处置等方式打造示范产业园区
广州市黄埔区	《广州市黄埔区广州开发区广州高新区促进绿色低碳发展办法》	贯彻落实绿色发展理念，推进区域循环经济发展，不断提升区域发展的质量和效益，建设国际化生态型创新城区

表2 各省市推进低碳试点示范工作

零碳智慧园区技术尚待进一步探索

我国积极推动节能减排和绿色低碳发展技术，近年来持续出台激励政策、部署科技计划项目并开展国际合作，同时调动财政和社会各方力量加大绿色低碳科技投入，已经在低碳乃至零碳关键技术理论研究与产业实践方面取得了快速进展。但由于基础相对薄弱，且“双碳”战略提出时间较短，当前技术积累与“双碳”战略目标之间仍然存在明显的缺口，现有低碳、零碳和负碳相关技术难以支撑我国到2060年实现碳中和。从基础研究的角度看，根据相关文献计量分析，在零碳、负碳关键技术领域，国际研究热度远远高于我国，我国的相关论文量虽有快速增长，但引用量较低，研究的数量和质量仍需进一步提升。从产业实践来看，各地的零碳智慧园区普遍集中在零碳技术的推广应用、新产品的开发、零碳成套设备的专业化生产等方面，但主要内容存在趋同中的小差异，普遍存在相互借鉴、相互模仿。此外，基于智慧园区的零碳智慧园区操作系统如何提供数据集成、消息集成、服务集成等多类标准化的集成方式，实现对能耗数据、储能、光伏等全量业务数据共享、融合联动，将双碳相关数据进行标准化加工处理等相关技术和对应解决方案仍需进一步探索。

新征程：零碳智慧园区呈现五大关键发展趋势

环境演进：纲举目张，从政策单点布局到机制环境日益完备

自“双碳”目标提出以来，我国减排政策力度不断加码，从国家到地方纷纷跟进细化政策，打出政策组合拳，机制环境日益完善。目前，我国相关部委均已就未来减排工作作出安排，方向较为明确，其中发改委提出从调整能源结构、产业结构转型、提升能源利用效率、低碳技术研发推广、健全低碳发展体制机制以及生态碳汇六大发力领域，为“双碳”工作作出了总体布局，可视为统领性安排。通过对各部委已发布的和在编的政策来看，能源和工业领域是政策主体和重点关注对象，能源部门能源转型以及工业部门钢铁减压的目标均十分明确。除了对能源和工业部门的直接调控之外，金融、生态、科技等领域也将成为主要发力方向，相关政策机制不断完善，为双碳目标的如期实现提供坚实保障。在金融领域，中国绿色金融体系建设自2016年后稳步发展，绿色债券发行量、绿色信贷存量全球领先，未来绿色金融体系以及绿色低碳市场的相关财税政策有望进一步完善。在科技领域，科技部将加大碳减排科技攻关。在生态领域，中国碳市场的覆盖范围将逐步扩大，通过发挥价格信号的引导作用，鼓励企业开展节能减排。碳排放统计核算工作组加快建立统一的碳排放统计核算体系，为制定减排政策和各类主体采取减排行动提供依据。

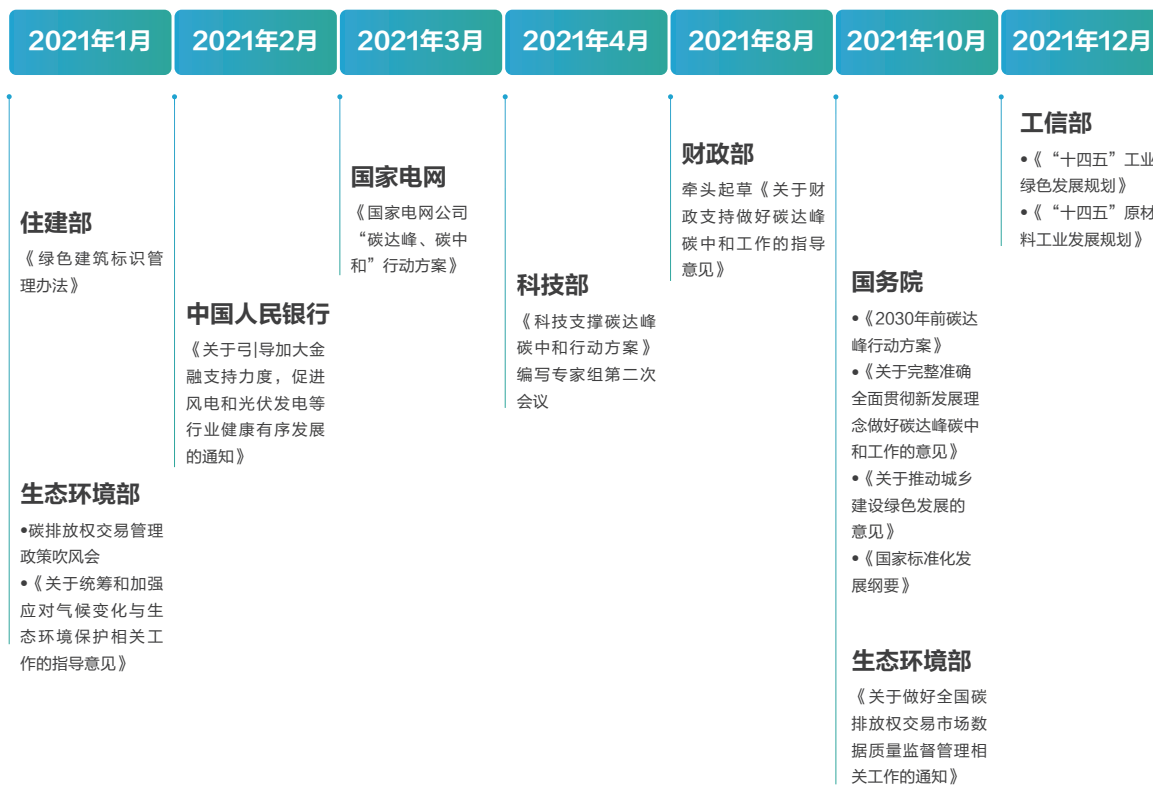


图5 国务院各部委及重要企业双碳相关政策会议

生态演进：协力同心，从强约束推动到聚力共建共治共享

随着零碳机制环境逐渐建立，零碳氛围开始形成，城市、园区、企业、居民将从零碳建设中获得有效激励，从被动接受逐步转变为主动参与、积极推进，在政府的引导下，合力共建低碳社会。政府作为低碳制度的供给者和制度执行情况的监管者，积极完善顶层设计、强化政策引导，统筹制定总体方案和具体措施，保障“双碳”工作稳妥推进。行业企业发挥实施主体作用，不断提高贯彻创新、协调、绿色、开放、共享新发展理念的能力和水平，落实高质量发展要求，加快传统产业改造升级和智能制造发展，聚焦“双碳”目标，构建节约高效的社会用能模式，加快工业绿色低碳转型。社会民众自觉开展绿色生活创建活动，倡导简约适度、绿色低碳生产生活方式，培育绿色、健康、安全消费习惯。2021年7月，首届中国碳中和图谱及零碳城市峰会上，部委智库及央企、地方政府共同发起“百城千企零碳行动”，共建高水平零碳企业、零碳智慧园区、零碳产业集群和零碳城市。未来，通过政府主导、政策引导、市场调节、企业率先、全社会共同参与，整体实施、持续推进、共建共治共享的“双碳”建设新格局将逐步形成。

应用演进：利器善事，从简单工具包到场景深度实践方案

碳账户、碳金融、碳信用、碳普惠等类型服务逐步落地，并沿场景深度整合为实践方案，面向企业和居民提供灵活方案+服务包，通过产品类型产品形式的不断丰富创新，全方位服务于生产生活生态，为双碳目标的实现提供长期、稳定、可靠的系统性支持。随着全国碳交易市场化运行，碳账户机制先行建立，通过明确各相关主体在减碳方面的责任，实现减碳责任分解落地，推动绿色转型取得实质性进展。在此背景下，各地根据自身情况建立碳账户体系，例如工业碳账户、农业碳中和账户、个人碳账户三大体系碳账户以及银行机构碳账户、银行员工碳账户、企业客户碳账户、个人碳账户四大领域碳账户等不同碳账户体系，以推动工业、企业、居民生活等重点领域绿色低碳转型。在个人碳账户体系基础上，个人碳账户建设将逐步深化，业务场景也将持续覆盖社会生活方方面面，例如用电用水、交通碳排、公益活动等，同时碳账户积分还将与银行贷款评级、个人碳信用等相结合，助力打造绿色信用体系。相应的，政府也将引导金融机构基于碳排放信息的金融产品和服务创新，加强对低碳、减碳、脱碳等领域的金融支持，为“双碳”工作向更深和更高层次迈进赋予动能。



格局演进：百花齐放，从星火次第绽放到全面铺开排浪涌现

全国范围内，各类特色突出差异化的零碳智慧园区实践不断落地，动态中优化经验总结，形成标杆模式，并全国范围内扩散推广。9月1日，生态环境部发布了《关于推进国家生态工业示范园区碳达峰碳中和相关工作的通知》，要求各园区将“双碳”作为国家生态工业示范园区建设的重要内容，形成“双碳”工作方案和实施路径，分阶段、有步骤地推动示范园区先于全社会在2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和。这表明，以生态工业园区为代表的工业园区逐渐成为实现“双碳”目标的精准抓手之一，开始探索零碳智慧园区建设路径，发挥促进减污降碳协同增效、推动区域绿色发展中的示范引领作用。自“十三五”规划首次提出“实施近零碳排放区示范工程”以来，我国多地积极开展试点示范工程建设工作，并且取得了显著成效，探索出了各具特色的经验模式和创新路径。例如广东作为全国低碳试点省，因地制宜开展零碳排放建设，目前已基本建立起城市、城镇、园区、社区、企业、产品等多层次的试点示范体系。伴随政策、技术、资金以及人才等多方面的驱动力不断加强，未来零碳智慧园区建设进程将持续加快，深化落地应用。

智慧演进：价值释放，从数据简单汇聚到深度赋能智慧应用

随着能源大数据中心不断建成投运，经济社会主要运行指标、碳排放量、气象等相关数据加快集成融合，逐步支撑“双碳”智慧研判及自主优化，助力政府科学决策、企业精益管理以及服务民众智慧用能。在供给侧，通过对发电及电网企业的二氧化碳排放量等数据集聚分析，能够为发电企业和电网企业控制与管理电厂、机组和设备的碳排放量提供准确的决策依据，并进一步基于数据开展损失电量细化分析，实现运行优化、智能监盘，提高发电效率。在需求侧，企业或园区等借助智能设备，实时掌握生产运营各环节碳排数据并进行碳排数据分析，识别全产业链范围内的减排机会，并制定相应运营优化举措，在减少碳排的同时实现精益运营。此外，通过对各区域、各行业乃至各企业的碳排放总量、单位GDP碳排放强度的测算及动态监测，实现碳足迹追踪、管控，有助于政府及监管机构等相关部门及时了解企业的碳排放情况与碳中和发展进程，辅助政府治理、科学决策、高效规划制定。在此基础上构建碳中和综合评估模型，进行碳排放与碳达峰趋势分析，实现对分领域、分区域、分行业等碳达峰进程的数智化研判分析，支撑政府精准管控。





第二章 认知内涵篇



零碳智慧园区概念内涵

近年来，我国出台了一系列政策文件，积极推动园区绿色低碳转型，绿色园区、生态工业园区、低碳园区、低碳工业园区、近零碳园区、零碳智慧园区等新概念、新模式不断出现。随着“双碳”战略的提出，相关概念认识持续深化，建设重点更加聚焦，标准愈发清晰。

绿色园区是以循环经济基本原理和工业生态学为理论指导，通过模拟自然系统的循环路径来建立产业系统中的循环途径。构建园区内物质流和能量流的生态产业链网关系，形成互惠共生的生态系统，从而实现整个园区内资源利用率最大化、废物排放量最小化，建立低碳、清洁、和谐社会环境关系的新型产业园区发展模式。

根据国家环境保护总局发布的《生态工业园区建设规划编制指南》：生态工业园区指依据清洁生产要求、循环经济理念和工业生态学原理而设计建立的一种新型工业园区。它通过物质流或能量流传递等方式把不同工厂或企业连接起来，形成共享资源和互换副产品的产业共生组合，使一家工厂的废弃物或副产品成为另一家工厂的原料或能源，模拟自然生态系统，在产业系统中建立“生产者—消费者—分解者”的循环途径，寻求物质闭环循环、能量多级利用和废物产生最小化。

ISC (Institute for Sustainable Communities, 可持续发展社区协会) 发布《低碳园区发展指南》，将低碳园区定义为：在满足社会经济环境协调发展的目标前提下，以系统产生最少的温室气体排放获得最大的社会经济产出，以实现土地、资源和能源的高效利用，以温室气体排放强度和总量作为核心管理目标的园区系统。

聚焦到碳排放目标，低碳工业园区是以降低碳排放强度为目标，以产业低碳化、能源低碳化、基础设施低碳化和运营低碳化为发展路径，以低碳技术创新与推广应用为支撑，以增强园区碳管理能力为手段的一种可持续的园区发展模式。

在此基础上，近零碳园区是在经济高质量发展、生态文明高水平建设的同时，通过能源、产业、建筑、交通、废弃物处理、生态等多领域技术措施的集成应用和管理机制的创新实践，实现区域内碳排放快速降低并趋近于零的园区空间，其经济增长由新兴低碳产业驱动，能源消费由先进近零碳能源供给，建筑交通需求由智慧低碳技术满足，持续演进并最终实现“碳源”与“碳汇”的平衡。

零碳智慧园区是指在园区规划、建设、管理、运营全方位系统性融入碳中和理念，依托零碳操作系统，以精准化核算规划碳中和目标设定和实践路径，以泛在化感知全面监测碳元素生成和消减过程，以数字化手段整合节能、减排、固碳、碳汇等碳中和措施，以智慧化管理实现产业低碳化发展、能源绿色化转型、设施集聚化共享、资源循环化利用，实现园区内部碳排放与吸收自我平衡，生产生态生活深度融合的新型产业园区。

综合梳理相关园区概念，结合业界对于零碳智慧园区的不同认知，我们认为零碳智慧园区是在“双碳”背景下，历经低碳、近零碳的动态演进以及规划、建设、运营一体化持续优化迭代，最终实现净零碳排放的一种园区发展模式。零碳智慧园区相较于近零碳园区要求更为苛刻，是指通过能源升级、产业转型等各种碳减排和碳中和措施，实现园区二氧化碳净排放量为零。零碳智慧园区对多元分布式能源体系进行升级，构建多能转换、多能互补、多网融合的综合协同能源网络，基于数字管理平台实现园区碳排放等数据的全融合，赋能园区全面减排，降低园区二氧化碳直接排放和间接排放量。同时结合碳捕捉、碳吸收、碳交易等方式抵消园区内剩余的二氧化碳，从而实现园区零碳排放。

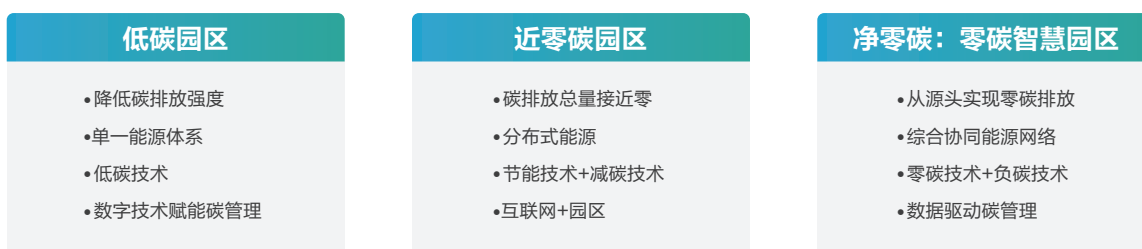


图6 零碳智慧园区发展阶段

实现园区碳中和，根本上应从控制碳排放和加大碳吸收两方面入手，同时建立碳交易市场，加强智慧管控。首先，控制碳源，从能源、生产、交通、建筑、生活等方面节能减排，优化产业生产模式、使用绿色可再生能源、发展低碳负碳技术、倡导低碳交通和低碳生活。其次，加大碳吸收，发展生态碳汇、碳捕捉与封存等技术。此外，建立碳交易市场，实现碳排放权优化配置，推动企业进行技术升级。同时，打造零碳操作系统，汇聚园区内水电、光伏、储能、充电桩等各类能源数据，实现园区能源智慧管控。



零碳智慧园区蓝图架构

园区形态功能各异，承载业务丰富多样，零碳落脚点也各不相同，我们通过系统梳理和高度抽象概括蓝图框架，明确零碳智慧园区的愿景和建设思路，以指引各类园区零碳化路径。零碳智慧园区蓝图框架，由愿景目标驱动、以建设理念为指导，依托园区碳中和模型，以三大核心能力转型为保障，以零碳操作系统为支撑，以物理空间和数字空间融合生态为承载。



图7 零碳智慧园区碳中和模型

零碳智慧园区顶层设计系统融入碳中和理念，愿景目标决定了园区的理想和前进方向，强调“数字融汇赋能”，落脚点为“高品质发展”，建设理念明确园区建设的原则和要求，强调创新成长、绿色高效和以人为本，兼顾绿色与发展、兼顾生产和生态的全面规划。零碳操作系统以数据打通园区核心生产要素各环节，对园区经济社会发展以及碳排放相关重点要素数据进行系统梳理和全量汇聚，建立园区碳排放指标体系和碳管控应用，为场景化业务应用提供通用的、可复制性的基础能力支撑。依托零碳操作系统的能源转型、应用转型和数字化转型三大核心能力转型保障零碳智慧园区建设目标顺利推进和愿景落地。核心要素全面塑造园区零碳化发展环境，支撑建设目标的推进。零碳智慧园区建设上联零碳智慧城市，下接零碳产业民生，通过物理空间“城市-园区-企业-人”和数字空间的深度融合互动，实践园区的零碳化高品质发展。



图8 零碳智慧园区蓝图架构

零碳操作系统以数据为核心生产要素，通过框架层、应用层、支撑层和物理层共同支撑零碳智慧园区建设，为零碳生产、零碳建筑、零碳交通等各类场景化应用提供通用的、可复制性的基础能力支撑，促进园区基于此操作系统开发碳排放、碳清洁能源等相关智慧应用，同时数字化赋能园区碳生命周期全程智慧监测与管理，实现园区内部管理者、经营者和消费者的全联接，从过程和终端两方面共同帮助园区实现零碳目标。

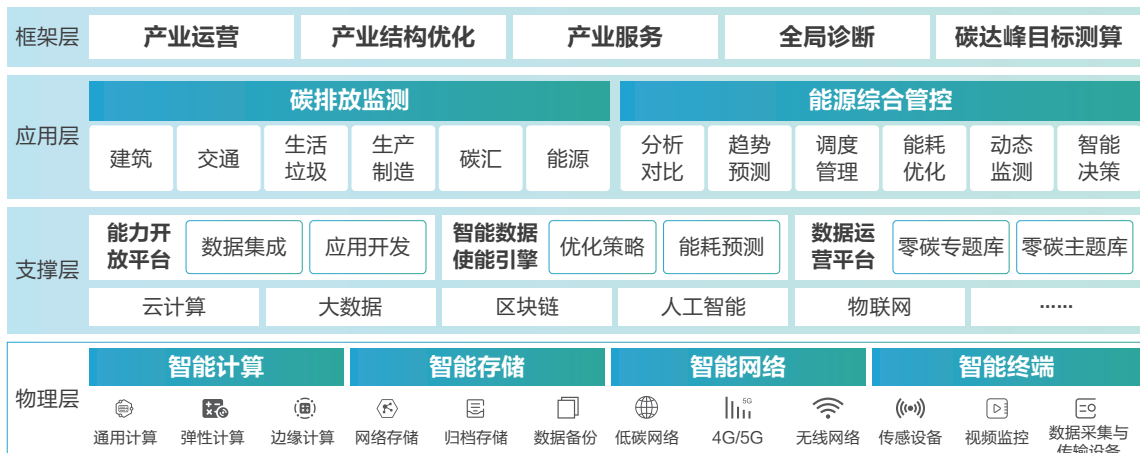


图9 零碳操作系统架构图

建设零碳智慧园区的核心能力

能源转型

目前，我国园区的供能以煤炭、天然气等化石燃料为主，通过能源转型，优化现有能源消费结构，提升现有能源梯级利用率，降低能源环节的碳排放成为零碳智慧园区建设的关键。零碳智慧园区能源转型重点从能源供给、能源综合管控两方面着手。

能源供给转型

园区通过整合能源投资和能源技术，构建以可再生能源为主的零碳能源系统，并配套智能电网等基础设施，有效地进行一体化的综合能源规划。电能相较于其他一次能源具有绿色、安全、环保、便捷等突出优势，构建以电力为主的能源消费，以及配套的综合能源（包括储能、充电桩等）服务，可以从整体上优化园区能源结构。结合园区用能特点，在终端能源消费环节推进“以电代煤”“以电代气”，在物流交通环节推进“以电代油”，能够从源头显著减少碳排放。在此基础上，光伏、风电、水电等清洁可再生能源的因地制宜布局，可以降低以火电为主的市电的使用，极大程度上提高了园区能源供应的清洁度。

关键技术：光伏

光伏发电技术是指利用半导体界面的光生伏特效应而将光能直接转变为电能的一种技术。光伏发电技术的关键元件是太阳能光伏电池，除此以外，逆变技术、并网技术、储能技术、智能监控技术等技术都关系到太阳能光伏发电系统应用与发展。我国在包括太阳能组件在内的光伏核心产业链上已经处于世界领先的位置。据国家能源局数据，2019年中国光伏总发电量2243亿kW·h，占全国总发电量的3.1%，光伏利用小时数1169h，标志着我国光伏发电发展到大规模、高比例、高质量跃升阶段。其中，晶硅太阳能是光伏产业的主流技术，2020年所占市场份额已达95.9%。产业园、物流园区的工业厂房屋顶一般具有闲置屋顶面积大、遮挡物少、自身用电量大的特点，对于建设自发自用为主的分布式小型光伏电站具有特别优势。在国家系列政策的推动下，整合工业园工商业屋顶和立面资源建设光伏屋顶电站已经成为园区实现碳中和的重要手段。

能源综合管控

由于风、光等清洁能源的随机性和波动性，园区难以保证能源供应的平衡与稳定，综合能源系统由此应运而生，并成为促进清洁能源消纳、增强能源梯级利用、提高能源使用效率、实现多种形式能源协调运行的重要解决方案，也成为零碳智慧园区能源转型的关键。作为满足终端客户多元化能源生产与消费的新型能源服务方式，综合能源系统依据能源互补理念构建，整合电力系统“发-输-配-用-储”的多个环节，覆盖多种类型的分布式能源，打通电、热、气多种能源子系统间，实现多种能源互补互济和多系统协调优化，有效提高园区能源利用效率和经济性。从能源传递链来看，零碳智慧园区综合能源系统存在“源-网-荷-储”多种协同互补路径，即源端互补、源网互补、网荷互补等多种互补模式以及相互之间的协调互补模式。

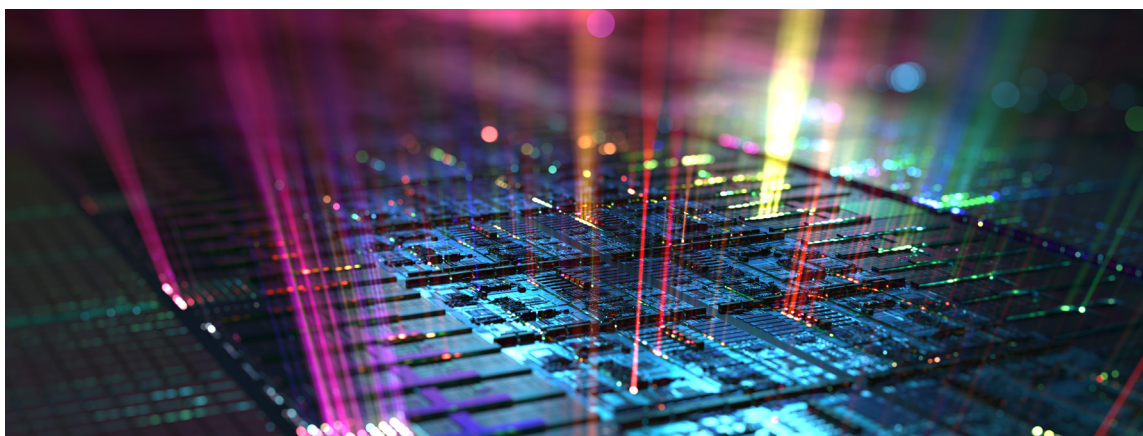
能源转换是综合能源系统的核心，包括能源生产端和消费端不同类型能源的转换（切换）以及不同承载方式的能源转换（变换）。在能源生产端，除了通常的利用发电机等技术手段将一次能源转换成电力二次能源外，还包括如电解水生成氢燃料，电热耦合互换等多种形式。在能源消费端，能源消费者可以根据效益最优的原则在多种可选能源中选择消费。

关键技术：氢储能

氢能在能源、交通、工业、建筑等领域具有广泛的应用前景，可以作为能源互联转化的重要媒介，推动能源清洁高效利用，实现大规模深度脱碳。氢储能指将氢气作为二次能源，在适宜的条件下将化石燃料、电能等能源转化为氢气储存，并在需要的时候通过燃料电池或其他反应转化为电能等能源的技术。对于风力、光伏等不稳定能源发电，氢储能是一个非常理想的解决方案。氢储能技术能够有效解决园区当前模式下的可再生能源发电并网问题，同时也可以将此过程中生产的氢气分配到交通等其他领域中直接利用，提高经济性。目前氢能系统的转换效率较低（电转氢效率多为60%~70%，氢转电最高效率约为60%），因此以电能系统、氢能系统及热能系统构成的储能模型为基础的微电网系统成为提高氢能系统效率的有效手段。通过氢燃料电池热电联供、区域电网调峰调频及建筑深度脱碳减排的应用，能够有效避免氢能系统的热能浪费并进一步提高氢能系统的效率，实现“冷-热-电-气”多能融合互补，提升园区能源效率和低碳化水平。

关键技术：微电网

微电网技术指使用分布式电源、储能装置、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等组成的小型发配电系统，是能够实现自我控制、保护和管理的自治系统，既可以与外部电网运行，也可以独立运行。园区的电力使用负荷大、强度高，对电能的质量要求高，因此整合太阳能、风能等分布式能源，建立楼宇级的综合能源微电网是园区实现碳中和的重要手段之一。能量平衡控制是微电网运行中最重要的问题，在微电网实际运行过程中，分布式电源种类和数量不断增加、大量柔性电力电子装置的出现将进一步增加微电网自身的复杂性，同时，并网模式下与配电网主网的协调互动又进一步增加了维持功率平衡的难度。为了精准高效地实现多能互补，需要高精度的发电和负荷预测技术，大数据、人工智能等数字技术的应用能够助力微电网建设从建模到预测再到优化的动态智能化系统，实现资产和能源使用效率的最大化。



应用转型

零碳智慧园区是一个整体性的概念，要实现园区碳中和的建设目标，必须对园区规划、空间布局、基础设施、生态环境、运行管理等进行系统性考虑，并将零碳理念落实到园区主要的碳排放场景中，统筹考虑企业生产、楼宇建筑、园区交通等各个方面的直接或间接碳排放，全面推动零碳生产、零碳建筑、零碳交通等应用场景转型。

零碳生产

在能源消费侧，能源总量和强度双控、降低高耗能制造业碳排放量、实现“绿色制造”是我国实现碳中和目标的关键一步，其中钢铁、化工、有色金属和建材等行业需要重点发力。高耗能工业园区实现低碳化乃至零碳化的主要途径包括：优化产业链布局以提升集群内循环效率，以园区或区域能源系统大循环视角进行产业链的聚集，通过园区内、产业集群内企业的生态共生，实现跨企业、跨行业的统筹规划和梯级利用；工艺优化以提升能源产出效率，积极推动工艺创新，针对不同行业的特点，加快低碳工艺的研发和推广应用；通过电气化以及清洁能源利用降低生产过程直接排放，推广风能、光能等清洁能源替代化石能源，利用柔性电力技术、储能技术等，推动园区建设绿色能源供应体系；利用负碳技术降低终端排放。

关键技术：氢还原

氢还原是指用氢替代碳作为还原剂，在高温下将金属氧化物还原以制取金属的方法，其还原产物为水，没有二氧化碳排放，并且与其他方法（如碳还原法、锌还原法等）相比，产品性质较易控制，纯度也较高，广泛用于钨、钼、钴、铁等金属粉末和锗、硅的生产。氢冶金技术主要的工艺路线有富氢还原高炉、气基直接还原竖炉等。富氢还原高炉工艺，以纯氢/富氢还原气部分代替煤或焦炭，通过风口喷吹入高炉，增加炉内煤气含氢量，强化氢在炉中上部参与间接还原，实现碳减排。气基直接还原竖炉工艺，把以高炉为基础的碳密集型炼钢工艺逐步转变为竖炉-电弧炉短流程工艺路线，实现钢铁流程革新和能源结构优化。作为冶金行业低碳化转型的重要途径，氢还原相关技术的研发近年来已经获得广泛关注，并且出现成熟的工业方案应用。

关键技术：CCUS

碳捕集、利用与封存（Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS）指将二氧化碳从排放源中分离后或直接加以利用或封存，以实现二氧化碳减排的技术过程，包括二氧化碳的捕集、运输、封存以及利用四个环节。在园区层面，鉴于生产工艺与新能源出力不连续性和不稳定性等原因，能源和生产环节无法实现完全的零碳排放，通过负碳技术等碳移除的手段，可以抵消部分化石能源的碳排放而实现碳中和。CCUS技术大部分仍处于技术原型阶段或者试点阶段，完全成熟且能够投入市场的技术相对较少。CCUS技术在天然气加工及化肥生产领域较为成熟，已经能够以较低的成本捕集二氧化碳；但是在一些缺乏其他减排措施、非常依赖CCUS技术的行业，例如水泥或钢铁制造业，相应的CCUS技术仍处在起步阶段。

零碳建筑

零碳建筑是在建筑全生命周期内，充分利用建筑本体节能措施和可再生能源资源，通过减少碳排放和增加碳汇实现净零碳排放的建筑，同时，还可以减少其他空气污染物，降低建筑运营成本，改善建筑内部环境，并提高建筑抵御气候变化的能力。根据世界绿色建筑协会相关数据，来自建筑物的温室气体排放占有所有温室气体排放的近40%，成为各种类型园区中的主要碳排放来源之一，并贯穿园区建设的全过程。其中来源于钢铁、水泥、玻璃等建筑材料的生产运输，以及现场施工过程的碳排放称为建筑的内含碳排放；来源于建筑运行阶段的碳排放，包括暖通空调、生活热水、照明及电梯、燃气等能源消耗产生的碳排放为建筑的运营碳排放。打造零碳建筑，在源头上实现全部能耗由场地产生的可再生能源提供，积极采用低排放水泥等绿色建筑建材，充分结合新设备、新技术对建筑内部环境进行节能改造，最大程度降低建筑供暖、空调、照明能耗。

关键技术：被动、主动建筑能效提升

零碳建筑的建设遵循“被动优先减少需求、主动优化提高能效”的理念，采用一体化设计方案，依托区域的资源禀赋实现碳中和。被动技术优先通过特殊的采光、保温等设计，营造适宜的微气候，使建筑能够充分利用光照、人体、电器散热以及自然风等实现或接近实现恒温、恒湿、恒氧、隔离雾霾的舒适条件。主动优化

在被动设计的基础上，强调可再生能源的应用，实现能耗效率与最佳室内气候之间的平衡，有效改善人们的健康水平和居住舒适度。“被动+主动”一体化是建筑场景的综合解决方案，是根据实际的需求场景对相关技术的整合，包括高性能围护结构技术、可控自然通风和采光技术、高效热电联产集中供暖、相变储能技术等一系列涵盖材料、设备、能源、数字系统等领域技术。

零碳交通

零碳交通指交通运输使用能源所产生的碳排放能够为零，或者其产生的碳排放能够被其他途径所吸收中和。常见的交通减排方式包括减少出行、改变出行方式以及使用零排放的交通工具、选择使用更加清洁的能源、提升交通工具能源使用效率、提升路网通行效率等。园区实现零碳交通，首先需要以新能源汽车为核心实现交通工具电气化，通过合理规划、有序建设充电站等配套设施，做好充电设施预留接口与停车场区域总体布局，以电能代替化石燃料实现交通过程的零碳排放。其次，优先发展园区公共交通，建设集约高效、智慧便捷的绿色公共交通体系，鼓励公共出行、共享出行等零碳排放出行方式。再次，园区需要完善智能交通体系，推动智能化交通管理和智能化交通服务以提升通行效率。最后，园区需要通过合理的规划布局、应用新型技术方案等方式避免和减少出行，提升出行效率等。

关键技术：充电桩

电动汽车充电桩是安装于公共建筑（公共楼宇、商场、公共停车场等）和居民小区停车场或充电站内，根据不同的电压等级为各种型号的电动汽车提供电力保障的充电设备。零碳智慧园区需要合理规划充电设施的位置与容量、优化充电设施的运行，加强对用电终端的监控管理，提高服务质量，降低能源消耗，以有力保障园区零碳交通的实现。在对充电桩位置与容量进行合理规划的基础上，零碳智慧园区对用电终端的监控管理系统也需要一并部署，推进充电桩与通信、云计算、智能电网、车联网等技术有机融合，利用大数据优化充电桩位置布局，合理安排充电时间，平滑电网负荷曲线，提高利用率。





数字化转型

云计算、移动互联网、大数据、区块链、5G等数字技术的融合发展，正在改变各产业链的管理、运行、生产、传输模式，促进绿色低碳转型，数字化赋能是建设零碳智慧园区的必由之路。首先，数字化提高经济社会效率：企业通过数字化转型提升管理效率和生产效率，园区通过数字化管理提高运行效率，从而减少碳排放。第二，数字化驱动技术创新：随着数字化、智能技术的辅助与规模效应的形成，驱动零碳、减碳、负碳技术的研发、推广及商业化应用，引领园区经济绿色低碳循环高质量发展。第三，数字化助力碳监测体系构建：构建碳监测体系是零碳智慧园区建设中重要一环，数字化技术可助力打造碳排放智能监测系统，实现对碳排放、碳减排实时“全景画像”。第四，数字化支撑碳核算体系运转：碳核算是一个多元主体的体系，涉及从中央到地方、从政府到企业等跨部门、跨层级、跨组织的社会行为主体，包含数据来源、测量方式、数据形式、数据质量、测量地域及时间范围等多样化因素，计算方式繁杂，数据量庞大。大数据、人工智能等数字技术的应用能够提高园区碳排放数据的准确性，有助于园区管理者通过在线监测的方式，更加精准地进行碳排放核算，支撑碳核算体系运转。第五，数字化实现碳生命周期全程智慧管理：园区作为城市的重要组成部分，依托“城市数字大脑”，将“双碳”作为一个关键模块纳入城市操作系统，汇聚重点企业、楼宇、园区的监测、污染、交通等多方数据，实现对园区碳排放的全生命周期智慧管理。此外，数字化联接园区和城市碳管控体系，数字化可实现园区内部管理者、经营者和消费者的全联接，同时联接城市碳管控体系。



图10 数字化赋能零碳智慧园区建设

基础设施数字化转型

零碳智慧园区从重视“传统基建”等硬环境到重视“新基建”等软环境，打造智慧消防、环境监测等数字设施，推动园区实现以数据为中心的数字化转型。布局以5G、人工智能、工业互联网、大数据中心为代表的新型基础设施，推进5G基站、物联网规模覆盖，提升园区基础实施运行效率和服务能力。工业互联网平台助力建立零碳相关产业上下游互通互联的数据通道，实现工业级网络体系优化。以新型数据中心为核心的智能算力生态体系全面提升信息基础设施的服务水平和普遍服务能力，满足园区企业对网络信息服务质量和容量的要求。对传统基础设施的数字化、智能化升级改造，能够全面提升园区运营的智慧水平，形成与数字经济和智慧社会发展需求相适应的新型融合基础设施体系。

关键技术：5G

以5G为代表的新一轮现代信息通信技术是实现“双碳”目标的助推器，在助力园区碳中和过程中具有不可替代的作用。首先，5G的高速率、低时延、大连接特性，能有效满足终端海量接入、信息交互频繁、控制向末梢延伸的业务发展态势，能够有效扩展电力系统监测控制的范围与能力。其次，5G作为园区最重要的基础设施，赋能零碳智慧园区数字化转型，提升园区运行效率，助力碳中和目标实现。最后，5G等数字技术在零碳智慧园区各环节的融合应用，能够实现生产变革，助力企业降本增效减排。

园区管控数字化转型

以丰富高效的核心服务，实现综合能源管理服务的快速上线和创新，对机电设备进行智能化监、管、控，使园区运行保障的安全性得到质的提升。依托集成管理平台，实时获取设备运行数据、环境状态数据等，实现资源环保、综合物业、项目管理等综合管理数字化。普及数字孪生技术应用，全面采集园区排放数据，让园区生产线与虚拟数字孪生系统高度融合，不断改进生产与制造流程。通过构绘产业链、供应链知识图谱，将不同类别的碳排放及碳制造基础数据进行知识分类和建模，加强知识提取、关系挖掘、多领域融合，构建知识服务平台，提高双链流程中各类问题的预见和解决能力。利用物联网、大数据和人工智能等技术，对入驻企业进行相关数据的跟踪、监测，实现园区在生活服务、医疗预约、餐饮服务、交通出行等方面的数字化转型，扩大信息共享范围，提升园区治理水平。

关键技术：数字孪生

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生通过信息链接，能够实现对物理世界镜像映射、全域呈现、动态仿真，达到虚实联动的效果，从而辅助完成各种研究和管控。数字孪生技术已经成为智慧园区的关键技术之一，并且被逐步应用到园区的碳管理之中，其中比较典型的应用为园区能源管理方案，通过数字孪生应用技术可以在全息镜像的展示环境下，实现园区能源系统的系统规划、智能诊断和远程维护等功能。

碳资产管理数字化转型

园区碳资产，是指在强制碳排放权交易机制或者自愿碳排放权的交易机制下，产生的可直接或间接影响碳排放配额、减排信用额及相关活动。碳资产既有作为环境资源资产的消耗性，也有金融资产的投资性。在碳交易体系下，企业园区由政府分配相应的碳排放权配额，园区通过能源转型升级而减少的碳排放量，或是因为零碳排或减排项目所产生的减排信用额，可在市场上进行流转交易，即可视作园区的碳资产。对碳资产进行合理的分配、利用、管理，以及在碳市场上的交易与投资，可以为园区的零碳运营提供更多灵活便捷的选项。建立有效的碳资产管理机制，在园区生产经营过程中，对直接和间接的碳排放进行统计分析和监测预测，优化低碳资产组合，辅以购买碳信用、植树造林等碳抵消措施，助力园区零碳智慧转型。

关键技术：碳监测与碳核算

园区要顺利推进能源低碳转型与电力碳减排，前提是做好碳排放监测与核算。碳监测结合大气中温室气体浓度监测数据和同化反演模式计算温室气体排放量，碳核算基于活动水平和排放因子的乘积计算温室气体排放量，前者可以推动完善核算体系，支撑排放因子本地化更新，也可以对核算结果进行校核。通过监测与核算园区内的直接碳排放活动，如化石燃料燃烧和移动源燃烧（交通等），以及间接碳排放活动，如电力消耗、热力消耗等，获取园区各途径碳排放的事实与数据，制定针对性策略，才能最终推动园区零碳智慧转型。区块链技术的透明连接、价值可信、不可篡改及信息可追溯等特性可完美解决碳排放计量数据不准确、碳排放核算体系不完善、信息不对称及数据不可追溯的难题，有效助力碳交易机制的建立。

零碳智慧园区分类及核心场景

依据产业结构、功能类型、碳排放场景等因素将园区划分为生产制造型园区、物流仓储型园区、商务办公型园区、特色功能型园区和产城融合型园区五大类。本章结合零碳智慧园区碳中和模型分析了不同类型园区碳排放典型场景。

生产制造型园区

生产制造型园区是指以生产制造为主体的园区，主要建筑多以车间、厂房为主。工业制造业一直是我国碳排放的主要来源之一，工业领域也是我国实现“双碳”的关键领域。其碳排放来源主要在生产制造环节，其次是建筑能源和交通物流。随着新一代信息技术和制造业的深度融合，我国智能制造发展取得明显成效，在典型行业不断探索、逐步形成了一些可复制推广的智能制造新模式，为深入推进绿色发展奠定了一定的基础。

典型碳排放场景

● 能源

生产制造型园区能源碳排放主要包括化石燃料燃烧碳排、外购电、热间接碳排以及工业过程碳排等。其中煤炭碳排主要来源于火力发电以及钢铁生产等，汽柴油碳排主要来源于用于生产运输的火车、汽车等交通燃料，电力碳排主要来源于园区空调系统、照明耗电、电热水器和电梯等综合服务系统以及工业用电，燃气碳排主要来源于供暖、生活热水、工艺等。

● 生产

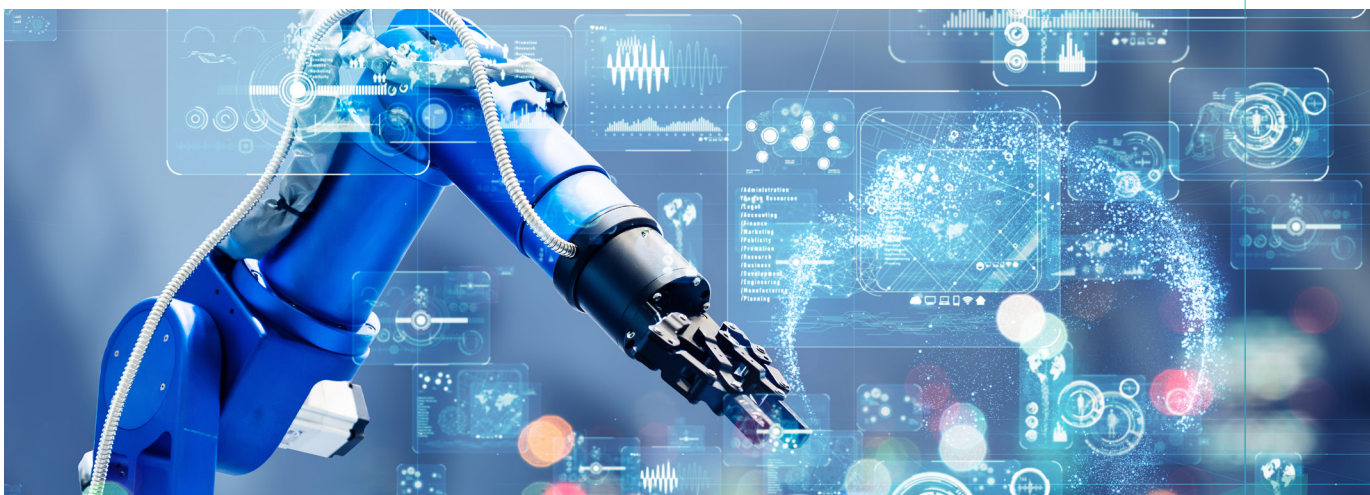
生产制造型园区生产碳排放主要来源于化学、金属、电子等工业过程，以及废弃物排放。一方面是燃料燃烧产生的碳排放，包括煤炭、汽油等各种燃料燃烧，火电、水电、风电、光伏等发电的碳排放，氢燃料、e-fuel（合成燃料）等替代燃料的碳排放等；另一方面是工艺过程中特定的化学反应产生的碳排放，如水泥玻璃生产过程中石灰石分解散逸、金属冶炼、合成气变换制氢等。

● 交通

生产制造型园区交通碳排放主要来自产品及原材料等在道路、轨道、管网、航运、船运等过程中的运输排放，也包括园区内人员流动乘用交通工具带来的碳排。一般来说，园区内货车、私家车的排放比重较大，出租车、公共汽车、摩托车的排放比重相对较小。不同园区受用地布局、出行结构、交通路网、出行意识等因素影响，具体交通碳排放来源也会有所不同。

● 建筑

生产制造型园区建筑碳排放主要包括园区内建筑所用建材生产运输和水泥生产工艺过程中产生的直接碳排，同时还包括车间、厂房、仓库等建筑在供电、供暖等过程中造成的间接碳排。其中，由于建筑的电力热力供应造成的间接碳排放是建筑相关碳排放的主要部分。



优化方案

由于生产制造型园区碳排放主要来源于生产制造过程中，一般以优化能源供给和能源综合管控两方面为主来降低碳排放，通过能源转型，提升现有能源梯级利用率，从源头尽力实现零碳能源。在能源方面，园区应以调整工业能源结构为主，降低石油、煤炭等化石能源比重，提高可再生能源占比，逐步降低煤炭等使用规模，推广煤炭高效清洁利用技术。建设企业能源综合管理平台，提高重点用能企业的能源效率，加强强制性能效标准管理。在生产方面，推进园区内电力、钢铁、化工等高耗能产业节能，并推进重点行业低碳技术研发应用，发展新能源、新材料、节能环保、现代服务业等低碳高附加值产业，加速产业结构优化升级。在交通方面，优化交通运输方式，在货物和人员运输等领域实现新能源替代或运输方式优化，完成充电场站、智慧站台建设布局，构建设施完善、智慧高效、绿色低碳的交通体系。在建筑方面，充分应用产能、储能、控能、用能、节能新技术对既有车间、厂房进行节能诊断和优化改造，降低采暖、空调、热水供应、照明、电器等方面的能耗，减少二氧化碳的排放量。

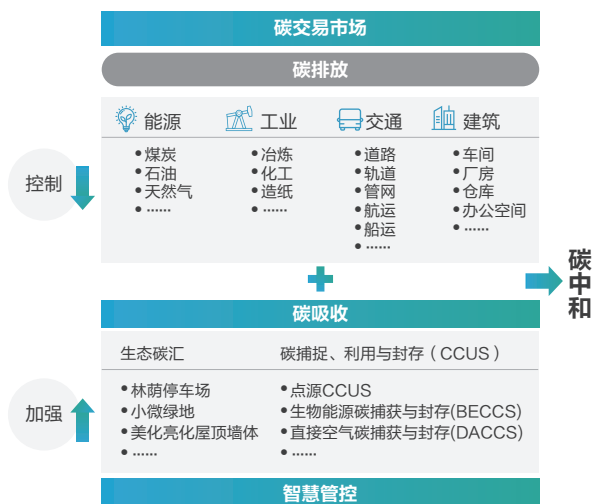


图11 生产制造型园区与碳中和模型对应

物流仓储型园区

物流仓储型园区是指衔接多种运输方式，成规模并且具备物流运输、货物仓储等多种功能的空间聚集体，包括物流中心、配送中心、运输枢纽设施、运输组织及管理中心和物流信息中心，以及适应城市物流管理与运作需要的物流基础设施。其建筑多以仓库为主，行业涵盖现代物流和交通运输二类生产性服务行业，具有综合各种物流方式和物流形态的作用，可以全面处理储存、包装、装卸、流通加工、配送等作业方式以及不同作业方式之间的相互转换。

典型碳排放场景

• 交通

物流仓储型园区交通碳排放主要来自于运输、装卸、分拣、配送等环节中，道路、轨道、航运、船运等物流造成的大量碳排放。园区内仓储与配送的物流作业中，以柴油、汽油等为燃料的内燃叉车使用范围遍及各个环节，叉车使用产生的碳排放是园区交通碳排的主要来源之一。同时，园区对外物流涉及的长途运输过程中也会产生碳排，主要包括公路运输、航空运输以及铁路运输等。

● 建筑

物流仓储型园区建筑碳排放主要包括仓库、配送中心等基础设施产生的大量碳排，其中仓储、冷库等建筑供电、供暖、制冷等方面造成的碳排放比重最大。除二氧化碳排放外，建筑运行阶段使用的制冷产品，如冷机、空调、冰箱所使用的制冷剂泄露后会成为导致气温上升的温室气体，因此物流仓储型园区建筑运行阶段还会带来这部分非二氧化碳温室气体排放。

优化方案

物流仓储型园区应从过程阶段降低碳排放，对机电设备、交通叉车等进行智能化监、管、控，以智慧管控实现园区数字化转型。在交通方面，物流仓储型园区应加强综合交通规划，统筹各种运输方式高效衔接，发展多式联运。积极运用信息化手段，打造智慧交通，实现动态调控交通流量，降低车辆空载率，提高路网效率。利用现代信息技术对物流运输全过程信息进行采集、汇总、分类、跟踪、查询等处理，实现对货物流动过程的控制，从而降低运营成本、提高效益。在建筑方面，应以智慧物流为抓手，应用新技术与新装备，对物流园区老旧仓库、配送中心、加工车间、配载场、办公楼等建筑进行绿色化、信息化改造。园区的暖通空调设备等配套设施改用可再生或清洁能源供热系统、热泵供冷供热技术等。采用给排水循环系统、循环雨水进行绿色灌溉等，充分循环利用水资源，实现资源再生利用。

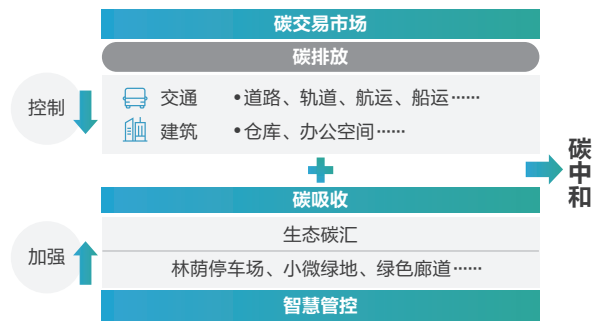


图12 物流仓储型园区与碳中和模型对应

商务办公型园区

商务办公型园区以商务办公功能为主，吸引中小企业及大型企业功能单元入驻，形成一定的产业集群和规模效应，形态包括办公区、商务独栋、研发中心、商场、会展、文化中心等，并提供工作、就餐、休息、培训、娱乐、健身、医疗、展示等诸多空间，打造实用、经济、绿色、美观的办公空间。

典型碳排放场景

● 建筑

商务办公型园区建筑碳排放主要包括写字楼、商场、场馆、宾馆等建筑供电、供暖造成的碳排放，其中空调系统是办公类建筑的耗能大户。随着现代化大楼的发展，办公型园区的全年空调能耗大、新风摄取困难、供冷期延长等问题愈发明显，过渡季节新风不能完全解决室内负荷，且办公人员密度大、办公设备多，建筑能耗增长较快。

► 认知内涵篇

● 交通

商务办公型园区交通碳排放主要包括园区内道路交通产生的碳排放。园区内人群在通勤过程中公交、出租车、轨道交通等接驳交通产生的碳排以及园区内居民私家车用气、用电产生的碳排放，同时还包括交通物流产生的碳排。

优化方案

商务办公型园区应从源头和过程两方面把控，通过结合新设备、新技术对建筑内部环境进行节能改造，实现建筑空调、照明的能耗降低，并在物流交通环节推进“以电代油”，推动零碳建筑和零碳交通转型。建筑方面以消除建筑的运行碳排放为主，在建筑材料制造、建筑规划设计、施工建造、使用以及废弃拆除的整个生命周期内，充分应用低碳技术、低碳材料、低碳设备，并充分利用可再生能源，降低能耗，减少二氧化碳的排放量。为空调冷热源、输配系统和照明系统等设置自动监控系统，对园区用电、用水、用气及集中能源供应进行分项计量，实现数据支撑低碳能效运行管理。交通方面以技术赋能交通，完善新能源汽车充电基础设施建设和运营，通勤巴士全部使用清洁能源或者新增新能源车辆，投入使用共享单车，提供拼车、顺风车、专车、租车、上下班车等服务。利用现代信息技术提供身份信息快速识别、刷脸实名认证、车位按需预约等服务，开通便捷停车、寻车、线上缴费业务等，实现智慧出行，绿色停车。



图13 商务办公型园区与碳中和模型对应

特色功能型园区

特色功能型园区包括校园、医院、景区、场馆等专业化场景的园区，面向师生、医患、游客等群体提供不同服务，分别承载教育、医疗、旅游、文化等多种功能，业态丰富。特色功能型园区作为保障民生的公共基础设施，是城市重点用能单位，节能降碳空间巨大，通过开展节能减排行动，加强节能管理，促进合理用能，提供能源利用效率，助力节约型社会建设。

典型碳排放场景

● 建筑

特色功能型园区建筑碳排放主要包括空调能耗、照明能耗、供热供冷能耗以及电梯、办公、社交、消防等能耗。除此之外，还包括医院提供诊疗服务的医疗设备能耗、学校提供科研教学的实验设备能耗、场馆提供文体活动的电声设备能耗、景区提供游览观赏的娱乐设施能耗。建筑用能复杂，涉及能源种类多，业务部门广，用能时间各不相同，因此不同场景下不同系统耗能各有侧重。

● 交通

特色功能型园区交通碳排放主要来自园区内交通产生的直接碳排放以及通勤、就诊、旅游等活动过程中人群出行间接产生的碳排放。园区对外交通方面，由于园区人流、车流等较大，容易导致交通拥挤，增加交通压力。园区内交通路网方面，园区交通路网没有形成严格意义上的内部和外部道路体系，道路利用率低，车辆空载率低，运营管理效率低，导致碳排放量较大。

● 生活

特色功能型园区生活碳排放主要来自包括食堂、餐馆等生活场景中的废弃物排放。其中厨余垃圾中的碳均为生物源碳，其转化生成的二氧化碳并不记入碳排放，因此主要是垃圾处理的碳排放，来自于收运处理过程中消耗外部能量、物质引起的间接碳排放。除此之外，还包括处理医疗废弃物时产生的碳排放以及可能因处理不当导致其腐败分解时释放的有害气体。

优化方案

特色功能型园区应从过程和终端两方面推动实现零碳排放，在获取园区各途径碳排放的事件与数据后，统筹考虑楼宇建筑、园区交通等各个方面的直接或间接碳排放，制定针对性策略。推广使用节能设备和技术，充分利用智能水电气管控系统、智慧供热与清洁供暖、空调整能改造等低碳技术与设备，提高资源利用率，实现能源节约、降低损耗。加强碳排放综合管理，搭建综合能源管理平台，实时监测园区在水、电、气、综合能耗等运行总体情况，对空调、锅炉、电梯等大型重点用能设备的能耗数据进行分析，为园区管理者及时了解园区经济运行状态提供精准信息，支撑科学化管理和调整减排路径。推进园区数字化转型，打造智慧停车场，通过对车辆出入和场内车辆的动态和静态的综合管理，对园区的车流和人流积极引导，方便快捷地解决停车问题，实现停车场运行的高效化、节能化、环保化。



图14 特色功能型园区与碳中和模型对应

产城融合型园区

产城融合型园区是中国经济发展的主要承载平台，在传统产业发展的基础上，以具有区域特征的特色产业为支柱，聚焦市民短期、重复、特色需求，汇聚市政、交通和社区等功能，充分满足居民物质和精神生活需求，以实现推动居民生活、生态环保、产业融合发展的功能复合型园区空间。产城融合型园区包括经济技术开发区、高新技术开发区、特色小镇、产业新城等。

典型碳排放场景

● 能源

产城融合型园区能源碳排放主要包括生产生活过程中燃烧煤炭、燃气、用电等。其中电力消耗主要来源于园区空调系统、照明耗电、电热水器和电梯等综合服务系统以及工业用电，燃气消耗主要来源于供暖、生活热水、工艺和炊事等，煤炭消耗主要来源于火力发电以及钢铁生产等，汽油消耗主要来源于园区公交车、私家车等交通燃料。

● 生产

产城融合型园区生产碳排放主要包括化学、钢铁、电子等工业过程以及农业生产过程中产生的碳排放。工业生产过程中碳排放主要来自于产品制造、原料供应（选择、运输和储存）以及所售成品的加工和使用；农业生产过程中的碳排放主要来自于与人类密切相关的种植业和养殖业，包括化肥的使用、农药的使用、农膜产品的使用以及农作物秸秆的燃烧等直接排放和间接排放。

● 建筑

产城融合型园区建筑碳排放来源主要包括车间、厂房、农舍、居民住宅等建筑照明、供暖、通风、空调、净化、制冷等过程，涉及风机、水泵、空气压缩机、制冷机、电动阀门、各类电机及设备、控制装备、锅炉、热交换机组等设备。还包括商业楼宇中IT计算、通信和日常办公设备能耗，以及用于提供政务服务、民生服务、治安管理等政府机关单位建筑能耗。



● 交通

产城融合型园区交通碳排放主要包括园区内道路交通产生的碳排放以及园区外园区群众通勤产生的碳排放。一方面是使用非可再生能源生产（即非绿电）的电能所产生的碳排放，例如轨道交通、新能源车、非机动车等。另一方面是消耗汽柴油等传统化石能源所产生的碳排放，例如出租车、网约车、通勤巴士、货车、私家车、小客车等。

● 生活

产城融合型园区生活碳排放主要包括居民生活过程中用电、用水、生活垃圾处理等产生的碳排放。用电方面，碳排放主要来自于生活照明、做饭、洗衣、娱乐等活动，涵盖空调、灯泡、热水器、冰箱、微波炉、洗衣机、电视、电脑、手机等设备。用水方面，碳排放主要来自于饮用、洗澡、洗车以及洗衣、做饭、洒扫等家务。生活垃圾方面，碳排放主要来自于一次性碗筷餐具的使用、塑料袋和包装产品的使用、生活垃圾处理。

● 碳汇

产城融合型园区聚集生产生活生态功能，具有发展植物碳汇减少碳排放量的潜力。园区因自身地形地貌以及原生植被不同，植物碳汇能力表现各异。一般园区通过加强屋顶墙体、道路等公共空间美化亮化，建设“口袋公园”、林荫停车场及小微绿地，实现立体绿化；大型园区通过植树造林，建设绿色廊道，增加森林覆盖率；少数有条件的园区依托既有水系营造蓝绿交织的空间形态。

优化方案

产城融合型园区应从源头、过程、终端三方面综合降低碳排，兼顾绿色与发展、生产和生态，引领园区经济绿色低碳循环高质量发展。推动能源清洁低碳安全高效利用，引导非化石能源消费和分布式能源发展，提高能源利用效率，减少碳排放总量和单位排放量。有条件的可开展屋顶分布式光伏开发，推行清洁取暖和合同能源管理。加强生产的全过程控制，尽可能地使用清洁能源和原料，并通过建立完善的环境管理体系，提高资源的循环利用效率。促进工业、建筑、交通等领域低碳转型，坚决遏制“两高”项目盲目发展。大力发展绿色建筑，推广装配式建筑、节能门窗和绿色建材，减少建筑物建造和使用过程能耗，并积极推进绿色施工。推进生态农业和清洁工业的发展，减少生活垃圾产生量。



图15 产城融合型园区与碳中和模型对应

零碳智慧园区的建设原则

坚持政府引导，多方参与。充分发挥政府引导作用，强化政策支持和制度保障。强化企业主体作用，通过良性的反馈机制推动企业建设积极性。鼓励社会多方参与，明确各方责任，实现项目共建、资源共享。促进资源要素自由流动、高效配置，通过有效协同创造良好经济效益和社会效益。

坚持总体规划，统筹发展。强化顶层设计，做好上下衔接，统筹规划全局。围绕零碳智慧园区蓝图，将零碳智慧园区建设与当地经济社会发展等规划和发展需求结合起来，统筹平衡降碳与发展，审慎分析研判整体和局部、发展和减排、产业发展和社会生活、发展和安全的关系，做到“双碳”并行、一体推进。

坚持试点引领，循序渐进。鼓励先行先试，强化试点推进，示范引领建设。优选低碳发展基础较好、资源禀赋较优越的园区开展零碳智慧园区试点，推动近零碳技术产品系统集成应用，积极探索符合其发展需求的管理机制创新，并以试点为载体构建产业转型升级新模式，多领域多层次推动零碳智慧园区建设。

坚持技术赋能，机制灵活。激发创新活力，营造良好环境，推动高效发展。加快人才培养、绿色低碳技术创新和成果转化，探索理论创新、制度创新、文化创新和业态创新，全面提高原始创新能力、集成创新能力和引进消化吸收再创新能力，提升园区经济发展质量和水平。

坚持产城融合，绿色发展。推进产城融合，优化产业布局，践行绿色发展。以融合生态为指引推进产城融合，促进新型工业化和新型城镇化良性互动，实现资源共建共享。以低碳经济、绿色经济新理念统领产业发展，加强资源集约利用，同时积极引入低耗能、低排放的新兴产业，推动产业结构向低能耗、低污染、低排放方向发展。



零碳智慧园区的建设路径

规划

诊断规划：对于现有园区的零碳化改造，需要针对现有产业结构，构建碳核算模型，进行全量碳数据汇总，确定零碳目标和线路图。首先，对全园区碳排放基础数据进行全面摸底，做好碳排放数据统计和核查等基础工作，深入了解自身的碳排放情况。其次，在园区碳排放统计和核查的基础上，推进“碳达峰”测算，科学估算碳达峰目标值和达峰期限。梳理出潜在的减排途径，并对不同减排途径的减排潜力、减排成本和减排效益等进行详细评估和测算。最后，根据碳达峰目标值和测算结果，结合自身具备的能源转型、应用转型、数字化转型三大核心能力，科学选择碳中和路径，明确减排目标、重点任务、重点措施等事项，并制定分年度、分领域的详细减排时间表，形成精细化的碳排放控制计划和实施方案，以确保减排目标切实可行。

顶设先行：对于新建园区，在园区定位、产业选择、空间布局等层面依据碳中和理念与数字融汇赋能的城市高质量发展空间的愿景目标统筹规划，基于创新成长、绿色高效、以人为本的建设理念，进行一体化的零碳智慧园区建设规划。首先，根据诊断结果，坚持绿色、低碳、循环发展的原则，研究制定园区碳排放碳达峰行动方案，按照“规划、建设、运营”的基本思路，参照零碳智慧园区蓝图有计划有安排地推进零碳智慧园区建设，完善园区零碳发展顶层设计。其次，全面考虑零碳能源体系、零碳建筑体系和零碳交通体系的布局，因地制宜规划园区可再生能源（风电、光伏、地热等）区域，充分利用已有规划设计蓝图布局新能源发电以及能源存储转化系统，合理规划充电桩和新能源车位。最后，充分发挥园区管委会的公共服务职能，强化零碳发展的资金支持力度，多渠道统筹资源，探索引入社会资本，建立稳定的资金投入机制，为园区建设提供资金保障。

建设

产业优化：优化产业结构，加快推广普及碳应用，促进产业链优化，并结合实际情况设定产业优化方案，淘汰一批，改造一批，引进一批。一方面，在原有园区产业基础上，鼓励产业与城市融合发展，淘汰落后产能，促进第三产业发展，推动建立低能耗、低污染、低排放的新型产业集聚区。另一方面，推动园区企业利用低碳设备、低碳技术及低碳材料进行技术改造、装备升级，提高能源利用率，进一步实现园区高耗能行业转型升级。此外，在招商过程中，避免引入高耗能、高污染、高碳排放项目和企业进入园区，同时也加大对新能源、高新技术产业、节能环保等新兴产业的引进力度，从源头上筑起绿色低碳发展屏障。

机制引导：通过建立相关组织机制，创新碳排放激励机制等，完善园区低碳管理机制，并积极探索建立园区零碳建设的长效机制与政策措施，为实现节能减排、低碳发展提供制度保障。一方面，建立健全专

项工作推进机制，制定相关督查考核办法，常态化开展阶段绩效评估，将低碳责任与成效明确到个人，对完成目标任务的责任主体予以奖励，对未完成目标任务的责任主体追究责任。另一方面，鼓励园区企业积极参与碳市场交易，积极融入全国碳市场建设与运行。制定财税激励政策，综合考虑能源、环境和碳税的协同配置，引导形成园区低碳发展长效机制。

零碳改造：根据园区碳排放碳达峰行动方案，完善空间布局，加强低碳基础设施建设，对园区用水、用电、用气等基础设施建设实施低碳化、智能化改造。一方面，推广新能源和可再生能源使用，鼓励在建筑、生活设施中使用可再生能源利用设施，包括如分布式光伏发电系统、风光互补路灯、智能充电桩等。另一方面，对园区采暖、空调、热水供应、照明、电器等基础设施进行节能改造，提高能源利用效率。此外，加强园区数字化改造，建设碳监测体系，建立能源消耗和碳排放统计监测平台，加强对园区工业、建筑、交通用电等基础数据统计，建立并完善企业碳排放数据管理和分析系统，支撑园区管理者科学规划、精准部署。

运营

数字赋能：通过智慧园区体系，对园区内水电、光伏、储能等各类能源数据进行全面管理及趋势分析，整合碳管理模块，建设零碳操作系统。基于零碳操作系统，利用大数据、云计算、边缘计算和物联网等技术对采集数据进行聚类、清洗和分析，建立企业范围内的资源-能源平衡模型，并设定评价指标体系，结合统计分析、动态优化、预测预警、反馈控制等功能，实现企业能源信息化集中控制、设备节能精细化管理和能源系统化管理，降低设备运行成本，提升能源利用效率。

要素配置：强化要素支撑，对接配置相关土地、机制、金融、技术、人力、数据等资源要素，建设包括园区企业、园区管理机构、政府主管部门分层次、多角度的监管体系，实现多元化、信息化监测模式。建设能源与碳排放信息管理平台，积极推动与园区绿色金融综合服务平台、招商引资服务平台等互联互通，建立低碳企业库、低碳项目库、低碳人才库和政策工具库等专题数据库，加强企业碳排放统计监测及服务能力，实现对园区碳排放及用能的综合分析和实时监控，提升碳排放管理信息化水平。



图16 零碳智慧园区建设路径

零碳智慧园区实践案例

海信江门零碳智慧园区：顶设先行、智能增效

海信（广东）信息产业园位于广东省江门市蓬江区，是集多媒体、家电、通信以及相关配套产业链产品于一体的综合性生产制造型工业园区。作为蓬江区新一代电子信息产业龙头企业，海信江门园区主要通过能源转型以及应用转型推进园区低碳化改造和产业升级，打造零碳智慧园区。在能源转型方面，园区搭建能源管理平台，通过信息化节能实现智慧能源管理。在应用转型方面，园区一方面通过打造零碳建筑，对空调通风、集中供暖等系统进行节能改造，另一方面通过全方位、多层次实施生产过程节能措施，对生产设备进行智能化改造，打造零碳生产，降低单位生产值的能源消耗，实现园区绿色发展。

强化布局优化，有计划有目标地推进零碳智慧园区建设

海信信息产业园综合考量自身基本情况，参考研究先进节能标准规范、技术，科学选择建设路径，有计划有目标地推进零碳智慧园区建设。在规划阶段，充分分析园区地理信息、区位信息、自然资源等，充分考虑对自然资源的广泛使用便利，对建筑物类型、高度、朝向等进行科学设计、合理建设。在建设阶段，对既有建筑顶层、墙壁、建筑空调通风、集中供暖进行系统化节能改造；对新建建筑联合专业机构进行全方位绿色节能设计，打造近零建筑排放示范点。在运营阶段，对生产制造过程进行数字化建设，对重点能耗设备进行节能改造，对过程余热进行回收，对生产过程废料进行重复利用、绿色回收。海信信息产业园从产业生产、基础设施、公共服务、固碳能力等方面，系统地推进零碳智慧园区建设，目前已取得阶段性成果。



搭建能源管理平台，通过信息化节能实现智慧能源管理

海信信息产业园加强建设能源管理平台及系统，确保车间、厂房等次级用能单位、主要用能设备或环节的能源消耗实现全部监测并有效识别节能空间，通过平台对标重点耗能单元能效水平，识别并改进短板，实现智慧能源管理。同时，针对可控的能源消耗，通过搭建控制系统实现能源消耗的远程控制、自动控制及其他控制模式，并应用检漏仪等专业设备，及时解决日常能源消耗的“跑冒滴漏”。此外，还推行用能预算管理，强化固定资产投资项目节能审查，对项目用能和碳排放情况进行综合评价，从源头推进节能降碳，并完善能源计量体系，采用认证手段提升节能管理水平。海信信息产业园加强园区碳排放的动态监测和管理，对零碳改造及成效及时进行评估，并及时应对零碳改造过程中出现的新情况、新问题，实现数据驱动能源综合管理。

全方位、多层次实施生产过程节能措施，持续提升制造效率

海信信息产业园对生产制造产线的设备进行自动化、智能化改造，将生产过程中的重点耗能单元进行数字化改造，降低单位生产值的能源消耗，提升制造效率。生产制造产线的重点设备方面，持续推进TPM，通过一保、二保、预防性的维修、备件的管理、维护/保养维修能力的提升减少设备的停机时间、减少委外维修的内容和项目，提高设备的稼动率及单位时间的产出，使设备始终处于理想的运行状况。生产过程中的重点耗能单元方面，研究洁净厂房、采暖制冷、电/火焰加热系统等设备或系统构成及用能原理，通过先行先试节能技术以及研究应用智能控制技术，推进重点能耗设备节能，实现生产过程低碳化。

鄂尔多斯零碳产业园：因地制宜、能源革新

鄂尔多斯零碳产业园位于蒙苏经济开发区江苏产业园，拥有丰富的能源、化工、建材等资源，通过强化创新支撑引领，将绿色能源的生产和使用有机结合，发展零碳工业，打造零碳生产制造产业园样板。鄂尔多斯零碳产业园基于当地丰富的可再生能源资源和智能电网系统，推动能源转型，加快构建以“风光氢储车”为核心的绿色能源供应体系，实现了高比例、低成本、充足的可再生能源生产与使用。同时，配合数字化基础设施，推动零碳产业及电解铝、绿氢制钢、绿色化工等技术的发展和应用，构建以零碳能源为基础的“零碳新工业”创新体系。

搭建新型电力系统，实现100%零碳能源供给

作为全球首个零碳产业园，园区中80%的能源直接来自风电、光伏和储能，另外20%的能源基于智能物联网的优化，将会通过“在电力生产过多时出售给电网，需要从电网取回”的合作模式，实现100%的零碳能源供给。目前鄂尔多斯零碳产业园已建成一座占地面积约400亩、一期10GWh产能的现代化动力电池工厂，根据规划，二期总产能将提高到20GWh，每年将为超过3万台电动重卡提供高安全性、高能量密度、高耐久性和高性价比的动力电池，还可为风光储应用提供超10GWh储能电池，支持风光储氢等综合智慧能源示范项目，解决可再生能源消纳难题，大规模降低电力成本。

构建“绿色能源+交通+化工”零碳新工业体系，驱动工业制造业绿色升级

鄂尔多斯零碳产业园将绿色能源的生产和使用有机结合，创新能源生产和使用分离的工厂模式，构建了“绿色能源+交通+化工”初级零碳新工业体系，驱动产业园蓬勃发展。绿色能源方面，零碳产业园内发展绿电制氢产业，将应用于绿氢制钢、绿氢煤化工、生物合成等下游产业，减少鄂尔多斯化工行业的煤炭消耗量。交通方面，园区选择“动力电池+汽车行业”作为零碳产业园破局之举，引入全球最大的商用车生产商一汽解放，以及广东凯金新能源科技股份有限公司、内蒙古圣钒科技新能源有限责任公司等正负极材料、隔膜、电解液的制造商，通过风电、光伏与动力电池和电动汽车结合，开启绿色工业革命。化工方面，园区通过绿电制氢、生物合成技术将取代使用化石原料的传统化工，生产出零碳并可回收的材料。

以“能碳双控”平台为数字基座，实现零碳管理闭环

鄂尔多斯零碳产业园以“能源双控”平台为数字基座，支撑碳排和能耗指标的可跟踪、可分析、可视化，统一管理碳数据、碳指标以及能耗数据指标，实现碳排放和能耗等重要指标的实时监测、及时预警和优化闭环，并能够为园区生产的产品打上“零碳标签”。“能碳双控”平台可以将新能源产生的绿色发电量计算清楚，并将其从能耗总量中剔除。园区通过管理平台进行数据采集跟监控，将能量的生产、消耗、使用和能效分析结合在一起，并通过可视化展示，直观反映出能源的利用效率，提高用户能源数据的可追溯能力。通过对获取的数据进行处理分析，实现企业能源信息化集中监控、设备节能精细化管理、能源系统化管理等，有效降低能源损失，提高能源转化效率。

青岛中德生态园：三大领域、零碳社区

青岛中德生态园位于中国第九个国家级新区——青岛西海岸新区，规划面积11.6平方公里，拓展区29平方公里，远期规划面积66平方公里，是由中德两国政府建设的首个可持续发展示范合作项目。中德生态园围绕生态标准的制定和应用、低碳产业的配置和发展、绿色生态城市建设与推广“三大领域”，建立零碳试验区指标体系，形成可复制、可推广的产城融合型零碳社区建设模式，力争率先打造零碳试验区、碳中和灯塔基地。在具体实施过程中，园区通过构建多元化清洁能源供给体系，推动能源转型。同时打造零碳建筑，发展被动式超低能耗和装配式建筑，实现100%绿色施工、绿色建筑。此外，推进园区管控数字化转型，建设零碳操作系统，实现数据支撑园区碳排放监测和管理。

建立以生态保护为导向的生态指标体系，统领区域绿色生态发展

中德生态园坚持以标准立园，做到标准先行。园区率先建立以生态保护为导向的40项生态指标体系，并结合实践升级为全国首个2030可持续发展指标体系，纳入了商务部《国家级经开区国际合作生态园工作指南》，并获得德国TUV-NORD认证。同时，中德生态园引入德国GMP、欧博迈亚、同济大学、清华大学等10余家国内外顶尖机构参与规划设计，编制了完善的绿色规划体系，做到总规、控规、专项规划编制“多层次协同”，国民经济、土地利用、城市规划“三规融合”。

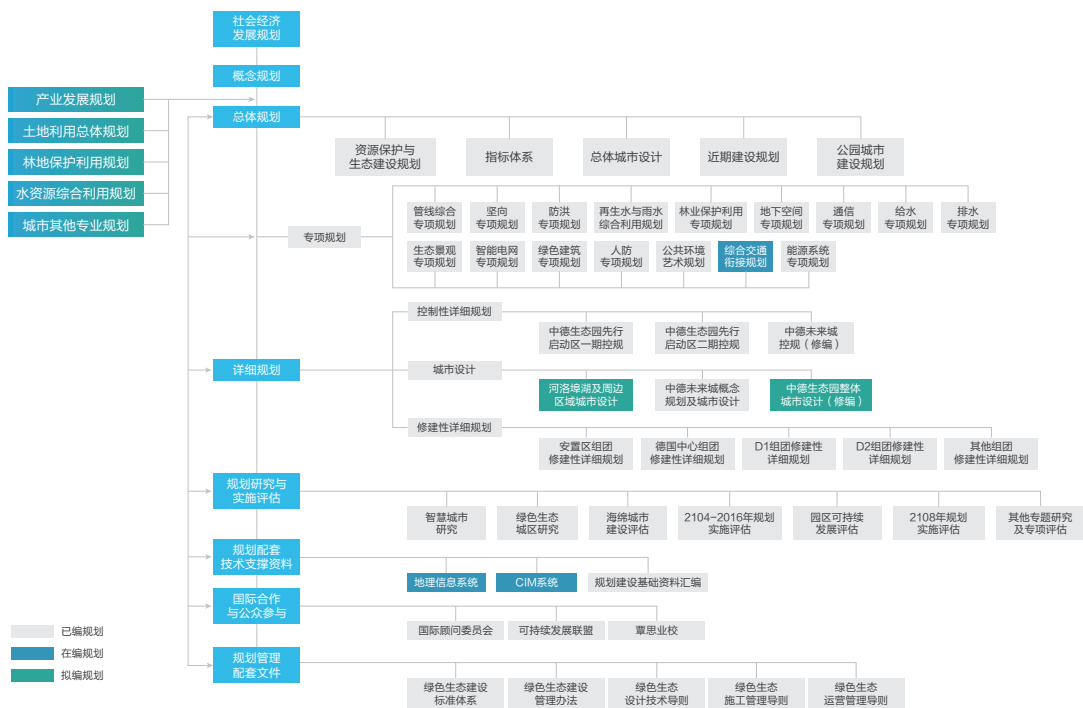


图17 中德生态园顶层规划架构

构建多元化清洁能源供给体系，打造青岛市“非煤化”试点区域

在用能耗能方面，中德生态园坚持新能源，重点发展太阳能、风能、地热能、空气能等可再生能源，作为青岛市首个“非煤化”试点区域之一，构建多元化清洁能源供给体系，并实施泛能网技术，运行山东省首例泛能网联网，分布式光伏装机规模达16兆瓦，供能面积近100万平方米。另外，中德生态园打造“智能绿塔”模式，采用新型太阳能光伏板作为外层幕墙，通过光伏电池板的使用，为建筑及其用户的用电需求提供支持，将获取的能量暂时保存在建筑内的高效锂离子电池中，平衡社区内的载荷电流，减轻国家电网的顶峰负荷。

发展被动式超低能耗和装配式建筑，100%实施绿色施工、绿色建筑

中德生态园在房屋建筑方面，引进德国DGNB可持续评价标准体系，大力发展被动式超低能耗和装配式建筑，获得亚洲首个德国DGNB区域金奖认证。园区内的被动房累计建设40万平方米，装配式建筑占新建民用建筑比例50%以上，成为亚洲获德国PHI认证的最大体量公共建筑。被动房在学校、酒店、办公、住宅等多类型建筑全面示范应用，初步建立起设计、监理、关键设备制造、鉴定认证于一体的全产业链，年节约一次能源消耗130万千瓦时，减少CO2排放量664吨。

建设一个园区零碳操作系统，发挥数据要素倍增效应

中德生态园以能源低碳作为切入点，结合大数据、AI、人工智能、知识图谱等新一代信息技术，打造覆盖数据采集、转换、清洗直至数据建模等全过程的“双碳”操作系统，构建形成区域“碳家底”资源池和“双碳”智慧大脑模型库，为“双碳”应用场景提供丰富的模型工具。另外，园区内的数据中心以双碳指标体系为基础，兼容数据填报、数据导入、系统对接、爬虫采集等多种数据来源，构建了包含数据集成、数据治理、智慧双碳算法模型库及大数据分析的双碳数据体系，实现了数据管理的灵活性和多功能性。

重庆AI city园区：零碳建筑、智慧节能

重庆AI city园区聚集国内外头部科技企业，聚焦人工智能、5G、工业互联网、大数据中心、智能制造、新消费、新金融7大产业，以办公场景为主，通过“产业聚集，以产促城，智能提升”协同发展，构建“国内顶尖的科技创新示范区和未来智慧新城典范”。重庆AI city园区主要通过打造零碳建筑推动园区应用转型，实现园区能源自给，减少园区碳排放。此外，园区积极构建“智能大脑”，推动园区管控数字化转型，实现了智慧化节能化管理运营，并刷新“最完整的5G城市智能生态、首个机器人友好园区、最大的步入式屋顶花园、碳中和低能耗社区”等多项纪录，成为重庆高新区内零碳智慧园区建设典范。

大力推进建筑节能，碳中和理念贯彻建筑全生命周期

重庆AI city园区的核心碳排放场景主要集中在建设过程中以及运营过程中，因此园区在推进零碳智慧园区建设中，利用AI、大数据等技术，大力推进建筑全生命周期节能减排，以提升效率带动碳减排。AI city的建筑在设计之初就将碳中和理念贯穿其中，设计灵感取自喀斯特“山谷”地貌形态。首先，在项目建设过程中，运用人工智能技术和大数据对地形地貌进行科学计算，选择对生态影响最小标准面来施工，使挖方填方尽量保持平衡，以此减少16.75%的碳排放。其次，秉承“生态节能”理念，打破传统厂房形式，将建筑切割成为富有渗透性的结构，用自然改变建筑光热环境，使建筑综合受光率达到83.79%，从而降低照明风暖等能源消耗。此外，在碳汇方面，构建全覆盖立体绿化建筑，将绿色植物种植在建筑物屋顶，实现人居环境与自然环境的相互融合，减少了72.93%的碳排放。

践行零排放使命，打造光电建筑实现园区能源自给

重庆AI city园区通过在建筑之间分散式部署智慧杆塔、智能座椅，在建筑屋顶铺设光伏，实现园区能源自给，从而减少建筑碳排放。智慧杆塔集智能照明、环境监测、绿色能源、设施监管等功能于一身。一方面自带光伏，能够执行公共智能照明并充当汽车充电桩、USB手机充电装置给园区用户电动汽车和手

机充电，实现绿色能源供给，降低碳排放。另一方面以时间段、光线、人流量等数据为依据，远程智能调节路灯开关、明暗，通过智能设施监管优化能源配置，降低能耗。此外，智慧杆塔更是作为环境数据的采集端，实时监测噪音、温度、湿度、气压、风速、风向、PM2.5、CO等环境数据，实现环境实时监测、环境污染监测，支撑园区管理者及时合理调整改善园区环境。而智能座椅同样自带光伏，能够实现感应充电功能。另外，建筑采用节能环保材料并铺设屋顶光伏，提升园区能源自给率。

“智能大脑”覆盖园区全链条，实现智慧化节能化管理运营

重庆AI city园区通过智慧化管理平台将内部各个系统集成起来进行数据集中监测和管理，建立全面感知、随需应变的智慧园区环境，从而形成统一的智慧管理体系，实现智慧化节能化管理运营。园区应用“智能大脑”ABAS BI超级楼控系统和相应的“神经末梢”智能传感器，全面兼容暖通、空调、照明、给排水、变配电监控、火灾报警、通行与停车管理等各子系统，集成为信息枢纽，形成可视化的数据，实现智能诊断、智能响应、智能控制，从而节约能耗60%、节约人工50%。同时，在园区管理服务方面与上级相关部门、入驻企业等加强交流，基于AIoT全园区能耗数据监控平台，针对园区内高耗能、高风险企业进行定向精准可视化监管，实时了解企业水、电、气等能耗使用情况以及碳排放情况，辅助决策支撑。园区通过云+AIoT技术组合方式，支撑全链式智能服务和管控，实现园区和楼宇的节能减排，助力智慧园区和智慧楼宇的数字化建设和运营。

中国石化：联接赋能、智慧管控

中国石化作为“世界一流绿色低碳城市型炼化示范企业建设试点”的重点企业，从勘探、开发、生产、储运、加工等多个方面推进生产制造型园区数字化转型。中国石化基于5G如翼定制网模式打造智能石化工厂，将新一代信息技术与石化工业生产过程深度融合，提高了劳动生产率的同时也提升了本质安全环保水平。具体表现在，通过搭建一体化应急指挥中心，实现生产运营业务协同、高效指挥，园区集约化、一体化生产管控能力显著提升。通过利用物联网、三维模型和地理信息技术等，对全厂污染排放点和职业危害监测点进行实时动态监控和预警，实现“三废”达标排放，园区预测预警能力、本质安全环保水平显著提高。

以5G如翼定制网模式打造智能石化工厂

石化产业生产链长、涉及面广。从产业链来看，石化行业主要有勘探、开发、生产三个环节，中游主要是进行石油、天然气的储运，下游主要是石油的加工和销售，主要包括炼油、化工、销售等。中国石化依托中国电信，以5G如翼定制网模式，通过网络切片+MEC+UPF下沉到企业，形成一套支持5G与工业互联网融合应用的石油化工企业整体解决方案。



图18 智能工厂整体解决方案架构图

搭建5G+生产应急智能指挥系统强化园区管理

园区管理方面，中国石化利用5G建设园区一张网，搭建5G+生产应急智能指挥系统，将全厂生产现场可燃及有毒有害气体监测报警、工业视频监控、火灾报警进行集中管理与一体化联动，加强对现场突发事故的发现与监控能力，减少应急处置环节和响应时间。在环保管理环节，利用走航车搭载的秒级多组分走航监测系统，规划定期走航任务，对厂区VOCs网格边界污染物组份进行ppb级高精度分析，结合GPS/北斗定位数据，按照米级空间精度快速建立厂区大气VOCs污染时空“画像”，通过5G专网实时回传监测数据，发现异常状况并实时告警，快速高效实现定期自查，降低人工成本。

5G+AI+AGV助力生产管控智能存储等多个环节

生产管控环节，基于生产数据识别模型及规则，中国石化通过部署5G物联，对生产运行实时信息进行AI运算，有效提升生产调度指挥人员从生产动态、设备状态、安全环保、产品质量、视频等海量数据中快速获取有效信息能力，实时掌控当前生产动态。从事后应急、事中发现的传统管控模式向事前预测、主动应对的智能模式转变。在供应链管理环节，建立在5G+AGV技术基础之上的智能仓储作业实现全自动化仓储运作，对货物的出、入库进行合理的控制，提升仓储效率，减低仓储能耗。

利用新一代信息技术大力提高能效实现节能减排

目前，基于5G+云+AI，中国石化已实现生产运行优化、安全环保管控、设备智能维护和数字化设备监测，生产模式升级，生产效率和管理效能加速提升。在包括工艺优化、物料管理、生产调度、环境监测、环保风险分析、蒸汽动力优化、车间用电等多方面，均实现节电减排，节省燃料的减排贡献，预计到2030年燃料消耗可节省5%，到2050年可节省14%。

上海桃浦智创城：数字孪生、精细管控

桃浦智创城作为上海建设具有全球影响力的科技创新中心的重要承载区，位于上海市普陀区，以“科创、智能、智造一体化”的目标定位，积极打造“上海市转型发展的示范区、西北中心城区的新地标、产城融合发展的新亮点、上海科技创新中心的重要承载区”。智创城依托大数据与人工智能技术，以数字化转型为主，能源转型为辅，共同引领园区经济绿色低碳循环高质量发展。数字化转型方面，智创城基于自身先进的物联网平台，聚力打造集约、高效的智慧园区管理体系，推进相关战略性新兴产业发展以及城市数字化建设，助力上海科创中心建设和长三角更高质量发展；能源转型方面，智创城利用智慧能源管理系统，增强能源梯级利用，提高能源使用效率，有效提高了园区能源利用效率和经济性。

智慧化运维打破数据孤岛，实现数据共享

桃浦智创城以建筑能源数字孪生、设备设施数字孪生、能源系统AI智能优化控制管理“三理”联动，通过报表可视化、数据图像化、信息挖掘等技术呈现不同形式的能源数据，为企业提供决策支持，减少不必要运营成本。同时，通过监测室内环境的反馈数据，如环境温湿度、CO₂浓度、甲醛浓度、PM2.5等，自动控制系统运行模式，提高室内空气质量及用户舒适度。并通过AI智能调节功能，帮助运维人员自动调整系统运行模式，减少运维人员数量、工作负荷，提高工作效率。

能源精细化管理改善能耗高、能效低问题

能耗高、能效低是园区能源管理普遍存在的问题，桃浦智创城利用智慧能源管理系统，对建筑能源与建筑环境实行智能化管理。根据建筑功能组织架构，进行建筑能源精细化模块式管理，如能源看板、能耗管理、能效管理、警报管理、报表管理、系统设置及建筑动态数据监测、能耗预测等，通过安装智能电表，实现能耗数据的实时采集、存储及管理，响应人员在后台可随时查看不同时间段的用电量，提高能源管理工作效率，减少能源浪费问题。

智能AI优化控制有效提高系统运行效率

桃浦智创城基于能源系统历史运行大数据，利用机器学习技术，建立优化算法模型，并通过强化学习，生成系统AI智能优化算法，当建筑处于不同的环境状态时，系统自动感知建筑环境，同时自动判断并决策系统优化控制参数。如员工早上进入办公区，打开空调后设备开始运行，系统自动优化调整，有效提高了系统运行效率，减少系统用能成本，并提升了建筑内部各区域的环境空气质量。

紫光萧山智能制造园区：“多流”服务、工业样板

紫光萧山智能制造园区位于萧山湘湖未来智造小镇启动区块，规划用地面积57.35亩，规划总建筑面积9.8万平方米。在“双碳”战略目标要求下，紫光集团从能源转型、应用转型和数字化转型三方面全面推进零碳智慧园区建设，积极探索具有自身特色的“双碳”路径。能源转型方面，不断推进光伏工程，并利用新能源技术和储能技术，实现能源效益最大化；应用转型方面，对园区内的建筑、交通等方面系统梳理，全面推动零碳生产、零碳建筑、零碳交通等应用场景转型；数字化转型方面，紫光智造园区结合自身数字平台构建园区双碳数据底座，提供覆盖园区数据流、信息流、碳流的“多流”全链条服务，打造国内领先的工业4.0样板点，最终实现“智能工厂”解决方案的产品化。

以数据作为核心生产要素打通各环节，创造性提出“1+4”建设方案

针对自身园区特色，紫光萧山智能制造园区提出了“1+4”的设计理念，即1个零碳智慧园区操作系统和“源、探、管、服”4大模块。将零碳智慧园区操作系统作为园区零碳大脑，以信息流牵引能量流和碳排，数据作为双碳核心生产要素打通各环节，为场景化业务应用提供通用的、可复制性的基础能力支撑，快速构建各种碳中和应用。

1+4，即一个零碳操作系统做数据枢纽，“源-探-管-服”覆盖全链条服务
数据流将引领和优化能量流、业务流，数据作为核心生产要素打通各环节



图19 紫光萧山智能制造园区设计理念

利用新能源技术和储能技术，改善园区碳排放现状并减少能源支出

新能源方面，紫光萧山智能制造园区实施光伏工程，根据工厂可用屋顶面积进行屋顶光伏铺设，实现电力自发自用，并利用余电上网，使屋顶利用率最大化。储能方面，园区合理利用峰谷差价，降低园区能源支出，反哺国网源荷均衡，实现工厂能源经济效益最大化，同时结合能源技术，使得能源经济效益最大化。

进行全量碳数据汇总，助力智能园区后续产业链优化

紫光萧山智能制造园区对园区内的建筑、空调系统、电气系统、给排水系统、用能设备、交通、充电桩、道路照明、绿化碳汇等碳排放重点要素进行全面梳理，进行全量碳数据汇总，构建碳排放数据分析体系和碳排放核算方法，提出将各领域碳排放导入碳排放管理平台的数字化标准导则，为后续产业链优化提供方法支持和体系框架。

借助绿洲·能源管理平台，实现各类能源数据全面管理及趋势分析

紫光萧山智能制造园区针对园区内水电、光伏、储能等各种分布式电源的运行特点、负荷变化情况等，制定不同运行策略优化协调各分布式电源的运行，并对依托零碳操作系统的历史能源使用数据实现用能策略优化。同时，基于用能的历史数据、用能场景和天气气候，园区借助绿洲·能源管理平台，优化迭代算法，实现用能策略优化，动态调整园区室内空调和照明用量，供需匹配。

产学研赋能园区零碳咨询能力，助力构建园区双碳数字化体系

紫光萧山智能制造园区搭建自身园区碳数据治理平台，定义“双碳”行业套件，构建绿洲的碳主题库，完善碳数据整体分析和管理能力。同时，园区通过新华三集团的零碳咨询能力助力“双碳”数字化体系建设，如园区碳核算、场景化碳减排、碳中和路径规划等，并联合浙江大学共同申报相关研究课题，进行基于碳数据算法优化迭代相关研究工作，以自身园区为试验田，赋能园区用碳策略调整，助产提效。

华润百色田阳水泥生产园区：数据互联、智能制造

华润百色田阳水泥生产园区立足于产业数字化转型，打造5G与发展需求相适应的新型融合基础设施体系，通过建设5G专网为水泥行业提供定制化的网络能力，并结合定制化的数据中台和工业互联网平台，实现生产过程视觉分析、数据采集、人员管理、设备管理、计划管理、运行管理、安全管理、危险区域巡检和AR远程维护等，降低劳动力成本，减少人为的安全隐患，推动5G在工业互联网领域应用的商用步伐，打造生态智能化水泥制造企业。

以5G比邻定制网模式构建生产运营平台

水泥生产过程中原料分解产生的温室气体排在占比最大，占比63.01%，其次是化石燃料燃烧产生的温室气体排放，占比31.57%。而有别于发电和供热、交通运输等碳排放大户的碳中和可以通过清洁能源替代实现，水泥行业的碳中和面临两大难题：一是水泥在生产环节中原料受热分解天然会产生CO₂排放，难以根本性遏制；二是水泥作为高耗能行业对原燃料价格敏感，我国能源禀赋为富煤贫油少气，很难脱离对煤炭的依赖。华润百色田阳水泥生产园区依托中国电信，以5G比邻定制网模式通过构建数字化工厂和MOM生产运营平台，承载智能管理系统、集成先进控制，融合制造资源、数据资源、技术资源，实现“安全、环保、优质、高效、低耗”的目标。



图表20 华润百色田阳水泥生产园区整体解决方案示意图

打造数据中台实现能源效率提升降低成本

华润百色田阳水泥生产园区通过打造的数据中台，对产线各类设备进行5G监控与分析，实现能源精准计量、能耗统计、用能分析等，找到能耗异常原因，降低原料研磨、预分解炉、水泥车间用电水平，提升能源利用效率，降低整体能耗成本。同时，实施矿山运输5G远程/无人驾驶，实现了车辆在厂内物流的智能管理，减少车辆等待时间，减少仓储空间及能耗，基地智能物流发运能力提升34.2%，煤渣车间效率提升29%。

5G+人工智能实现自动检测，减少能源消耗

生产方面，华润百色田阳水泥生产园区利用机器视觉训练算法，实现料口堵料识别、皮带损伤识别、冒灰扬尘识别等重污染环境自动监测功能，下料口断料检测准确率达到93.5%，皮带跑偏分析准确率达到92.3%，降低劳动力成本，减少资源消耗。并开启5G无人机巡检，实现厂区范围内规范化、常态化的空中安保巡视和设备点巡检，代替人员巡检，效率提升41%。

甘肃省通渭县“零碳乡村”：创新合作、阳光红利

甘肃省通渭县从能源转型和应用转型两方面打造“零碳乡村”，积极响应国家能源局“千项万村沐光行动”号召，先行开展“中国零碳乡村”示范项目试点工作。能源方面，通渭县作为全国光伏扶贫试点县，引进正泰在平襄镇孟河村开展分布式光伏整村建设试点，建设“零碳乡村”清洁能源综合示范项目，打造零碳清洁能源综合示范乡村，推动新能源产业科学发展；应用转型方面，通渭县以数字化、智能化技术驱动零碳应用，为农民增加增收创收渠道，助力“双碳”目标实现和乡村振兴战略实施。

创新合作开发模式助力乡村振兴

正泰通过合作开发模式，即正泰提供设备、设计、安装、管理、运营、维护等全周期综合能源服务，农户出屋顶合作开发建设光伏电站，20年合同期内每年能够为孟河村老百姓增加收入5.3万元，为农户增加增收创收渠道，助力乡村振兴。同时，正泰还在光伏电站所在县设立综合能源服务站，通过光伏产业投资帮助当地农民解决就业问题、实现农村闲置劳动力资源的盘活。通过此种合作方式，企业获得了相对合理的收益，同时也带动了更多社会资本加入乡村振兴行动中。近年来，在浙江能源监管办协调下，浙江正泰、浙江芯能、浙江鸿禧等光伏企业在孟河村捐赠建设149.5kW光伏扶贫电站项目，电站建成后资产全部归孟河村村集体所有，光伏发电采用“全额上网”模式，可实现收益约7万元，为脱贫成果与乡村振兴有效对接提供有力保障。

“阳光红利”持续释放，助力实现孟河村碳中和

“零碳乡村”清洁能源综合示范项目年发电量相当于目前孟河村年用电量的3-4倍，25年内可节约标准煤700万吨，减少二氧化碳排放1944吨，助力实现孟河村的碳中和，成为真正意义上的“中国零碳乡村”。该示范项目包括户用分布式光伏电站、共建屋顶光伏和光储充一体化停车棚三部分，总装机1357千瓦，总投资约600万元。其中，利用农户屋顶和庭院建设户用分布式光伏电站100户1121千瓦、利用孟河村村委会和“陇上孟河”电商办公用房以及徐川初级中学屋顶安装公建屋顶光伏电站212千瓦、在村民活动广场建设BIPV光储充一体化停车棚24千瓦并配套建设充电桩和储能设施。项目建成后，每年发绿电223万度，前20年每年为孟河村群众增加收入5.3万元，25年可增收400万元，20年合同期满后，光伏电站免费移交给农户继续发挥效益，让孟河村源源不断释放“阳光红利”，实现产业助力乡村振兴。



柏林欧瑞府零碳智慧园区：绿色能源、零碳生态

柏林欧瑞府零碳科技园位于柏林市区西南方位，占地5.5公顷，有25幢建筑，150家创新型企业，近3500人入驻。欧瑞府零碳智慧园区作为欧洲的首个零碳智慧园区，以能源转型赋能零碳智慧园区建设，实现了从百年前的煤气厂向零碳智慧园区转变，2014年就实现了德国联邦政府制定的2050年二氧化碳减排的气候保护目标，从源头打造零碳能源，形成了围绕新能源和低碳技术的完整产业生态圈，继续引领时代发展潮流。

以智能化能源管理系统满足供暖用电等各类应用场景

欧瑞府零碳智慧园区通过施耐德电气与合作伙伴联合设计的零碳方案，完成了向零碳的转变。如园区内的水塔咖啡馆，配备了智能化的能源管理系统，利用小型热电联供能源中心完成供暖、制冷和供电，由勃兰登堡州农业垃圾制成的沼气，通过天然气管网输送到园区能源中心，每年可燃烧发电2兆瓦时，足以满足1300户家庭用电需求。发电余热则能将水加热至90摄氏度，通过2.5公里的供热管线满足园区取暖需求。

最大比例使用可再生能源，蓄力构建绿色低碳安全高效的能源体系

绿色能源方面，欧瑞府零碳智慧园区可再生能源比例极高，打造了可再生能源供电示范项目。园区中心的电动车充电站，通过在顶棚上覆盖光伏板，产生了清洁电力，再改造成集分布式供能、本地用能、能源存储于一体的智能电网系统，为园区170余个电动车充电桩提供能源。同时，高达1.9兆瓦时的电池储能系统，由奥迪公司回收的二手汽车电池组成，实现了资源可持续利用。

创新利用藻类生物反应器，助力智能园区环境转变

欧瑞府零碳智慧园区内部建筑外壁通过悬挂大片的藻类生物反应器，借用光合作用，每年可生产藻类200千克，每千克藻类可吸收2千克二氧化碳，并清除有害的二氧化氮等废气。净化空气的同时，藻类还可被提取加工成绿色粉末，作为营养添加剂用于化妆品和食品工业。通过这些基于清洁能源、人工智能的技术实践，欧瑞府零碳智慧园区稳达德国与欧盟的2050气候目标，园区80%至95%的能源可从可再生能源中获得，并且验证了经济的可行性，为全世界零碳智慧园区打造了标杆，成为德国能源转型的创意灵感的象征。





第四章 发展建议篇



► 发展建议篇

园区作为落实双碳战略的先锋和主力军，如何通过自身的质量变革、效率变革和动力变革，树立发展标杆，对于区域落实“双碳”战略、实现高质量发展具有重要的意义。

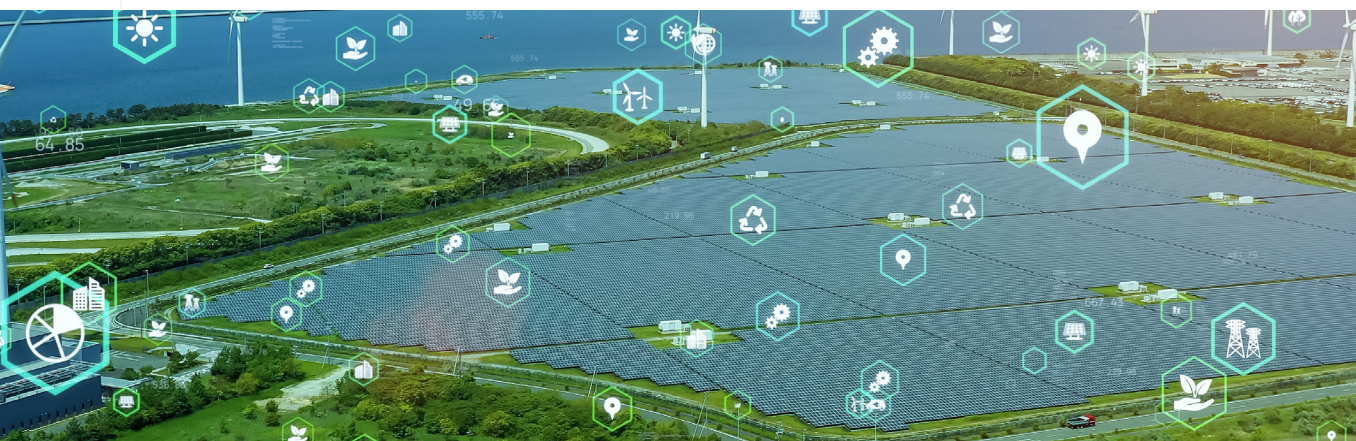
以蓝图架构为基础，构建零碳智慧园区标准体系

标准是经济活动和社会发展的技术支撑，是国家治理体系和治理能力现代化的基础性制度，零碳标准化建设，是调整产业结构、优化能源结构、提高能源资源利用效率、推动绿色低碳科技创新和提升碳汇能力的重要技术支撑，建立内部结构有序化、合理化、有效化的零碳智慧园区标准体系是有效开展零碳智慧园区建设的前提条件。2021年10月10日，中共中央、国务院印发了《国家标准化发展纲要》，其中第四项任务提到要完善绿色发展标准化保障，包括建立健全“双碳”标准、持续优化生态系统建设和保护标准、筑牢绿色生产标准基础等。加速推进零碳智慧园区标准体系建设，为园区碳中和工作实现科学建设提供重要基础，有利于加快经济发展方式转变和经济结构的调整，促进绿色经济的有效发展，推动“双碳”战略目标的实现。

国内和国际多个标准组织或行业协会在园区的循环经济、数字化建设等方向上开展了部分标准的研制工作，相关标准为零碳智慧园区标准化工作提供了有力的支撑。

2021年9月，全国信息技术标准化技术委员会智慧城市标准工作组智慧园区专题组（以下简称“标准组”）召开会议，启动零碳智慧园区标准研制，推动零碳智慧园区标准化进程。本白皮书是2022年首份针对零碳智慧园区的研究报告，深入研究了零碳智慧园区的蓝图架构、核心能力、分类方法等理论内容，刻画了零碳智慧园区的发展背景，明确了零碳智慧园区的概念内涵，指出了零碳智慧园区的建设路径，并提供了零碳智慧园区标准体系架构图，为制定零碳智慧园区相关标准奠定了基础，也为零碳智慧园区的落地建设指明方向。

零碳智慧园区标准体系框架依据国务院《2030年前碳达峰行动方案》的指示精神，以《国家标准化发展纲要》为指导，重视与现行国家标准和行业标准的相互衔接，兼顾与智慧城市的联接和共振，注重标准体系



的科学性和结构化。依据本白皮书的蓝图架构，零碳智慧园区标准体系主要由总体标准、基础设施、零碳规划、零碳能源、零碳生产、零碳建筑、零碳交通、零碳操作系统8个方面组成，贯穿园区从规划、建设到运营的全生命周期，涵盖园区从规划布局到建设生产，以及生活零碳化管理和零碳智慧运营等多个方面。

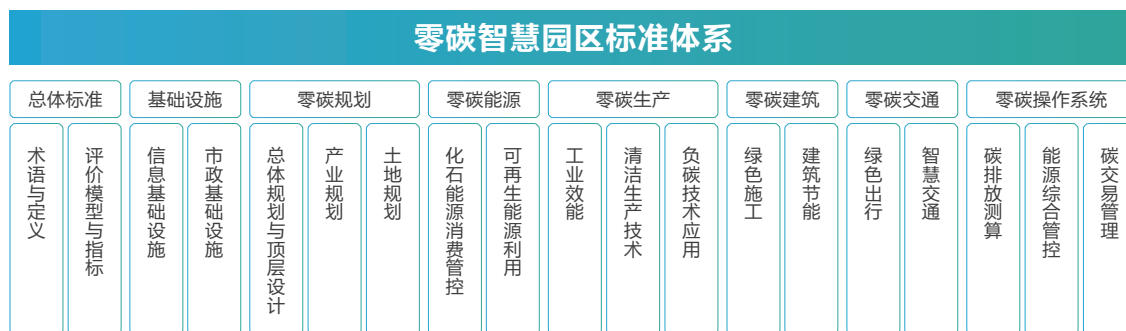


图21 零碳智慧园区标准体系框架

总体标准：是零碳智慧园区的基础性、总体性、框架性标准，包括术语与定义、评价模型及指标等。

基础设施：涵盖零碳智慧园区的信息基础设施和市政基础设施，其中信息基础设施包含园区基础网络、物联网终端、数字应用系统等；市政基础设施包含水基础设施、照明基础设施、道路交通基础设施等。

零碳规划：零碳规划涵盖园区总体规划与顶层设计、产业规划和土地规划布局等内容，涵盖包括建筑容积率等空间指标、单位土地平均产值等经济指标、绿化碳汇等环保指标等方面内容。

零碳能源：零碳能源由化石能源消费管控和可再生能源利用两部分组成。其中化石能源消费包括以电代煤、以电代气、以电代油等方面标准，可再生能源利用包括氢能、风能、太阳能、生物质能等方面标准。

零碳生产：零碳生产包含工业效能评估和提升、清洁生产技术和负碳技术应用。其中涉及工业效能评估相关标准，氢还原、CCUS等技术应用，以及零碳产业集聚等方面内容。

零碳建筑：零碳建筑由绿色施工和建筑节能两部分组成。涵盖建设和运营全周期，包括节能材料应用、可再生资源与建筑一体化，以及照明、供暖、供水等系统零碳改造等方面内容。

零碳交通：零碳交通由绿色交通和绿色出行两方面组成，其中包含交通工具电气化、智能交通系统建设等方面内容。

零碳操作系统：零碳操作系统包括碳排放监测与核算、能源综合管控、碳交易管理等方面内容。其中碳排放监测与核算包括碳核算体系、环境监测系统建设和能耗监测系统建设等；能源综合管控基于智能数据使能引擎构建数据运营平台；碳交易管理包括碳排放权配额与分配权管理、与碳交易平台的对接与交互等。

以技术为先锋，支撑园区零碳发展和核心竞争力提升

科技创新是“双碳”目标实现的重要保障，也是零碳智慧园区建设的核心内容，国家各部门以及各省市密集出台“双碳”有关政策，都对科技支撑提出明确的要求。2021年1月，生态环境部在《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》中明确提出“强化创新引领，推动试点示范统筹融合”，强调气候变化领域科技创新的能力建设、支持力度等。地方政府出台的“双碳”政策规划，也都把科技创新作为支撑碳中和目标实现的重要组成部分。深入分析科技需求、明确技术发展路径，调动各方力量实现重点技术突破，对零碳智慧园区建设和双碳战略目标的实现具有重要意义。

推进技术创新，实现零碳智慧园区创新技术的有效供给，需要依照零碳智慧园区蓝图，重点进行以下方向的技术部署。一是重点突破零碳能源技术，尤其是零碳电力技术。围绕能源生产方式深度脱碳，坚定推进清洁能源对化石能源的替代，研发推广大规模低成本储能技术，加速发展智能电网技术，构建水、风、光等资源协调利用的能源供给体系，推动工业制造、交通、建筑的电气化进程，加速推进多来源供电-终端用电智能匹配的技术体系。二是要重点突破负碳技术的研发以及商业化，继续通过政策支持、资金驱动的方式推动CCUS技术突破，并充分调动各方力量，通过试点示范探索CCUS项目商业模式。三是要积极推动信息技术、低碳技术、能源技术在园区场景下的耦合应用，以数字技术为纽带实现能源零碳转型、终端应用零碳转型技术单元的集成耦合，以智慧化的平台实现高效管控，最大限度挖掘相应技术的减排潜力。

要实现零碳智慧园区技术的创新突破，需要全面调动产学研用各方力量，打造良好的创新及转化机制，同时持续推动创新人才培养。首先，需要建设一批新型协同创新平台，企业、高校和科研机构应共同推进碳中和相关基础科学与应用科学研究合作，加大产学研用结合力度，加速技术攻关，提高科技成果转化应用效率。其次，坚持以企业为主体的低碳创新发展，进一步深化制度改革，激活企业的创新热情，围绕碳中和产业发展进一步营造创新创造的良好环境。最后，要加强创新人才培养，积极与全国知名院校和科研院所开展合作，加强碳交易领域交易平台、碳资产管理机构、大型能源企业之间的合作互动，通过定期实习、联合培养、定向就业等方式推进碳中和人才培养提质行动。

以试点为牵引，探索零碳智慧园区的技术方法和工作路径

习近平总书记强调，要牢固树立改革全局观，顶层设计要立足全局，基层探索要观照全局，大胆探索，积极作为，发挥好试点对全局性改革的示范、突破、带动作用。先进行局部试点探索，待取得经验和达成共识后，再把试点的做法推广，这是我国经济体制改革的特殊方式，也是园区推进低碳、近零碳、零碳发展路径的必由之路。2021年9月，生态环境部发布了《关于推进国家生态工业示范园区“双碳”相关工作的通知》，要求各园区将“双碳”作为国家生态工业示范园区建设的重要内容，形成“双碳”工作方案和实施路径，分阶段、有步骤地推动示范园区先于全社会在2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和。2021年10月，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》中强调“开展碳达峰试点园区建设”。各地也纷纷推出相应的政策推进“双碳”园区的试点推广工作，早在2017年广东就出台《广东省近零碳排放区示范工程实施方案》，在城镇、建筑、交通、城市和农村社区、园区、企业等六个领域，探索开展试点工作，四川、湖北、江苏、黑龙江等省份也陆续颁布相关政策明确开展近零碳、零碳智慧园区试点工作。

无论是国家、区域还是园区层面，在推进零碳智慧园区试点方面都面临着一系列的挑战，包括如何设定建设目标、如何保障试点工作的顺利推进，以及如何实现从点到线再到面的有效推广。切实有效推进零碳智慧园区试点工作，需要从机制体制以及工具方法两个方向上努力。在机制体制方面，一要完善配套政策，国家和各地区需要整合现有政策对试点园区进行集中支持，并补充政策短板，重点围绕园区能力建设、边际成本较高但具有显著示范价值的重大项目或技术应用进行支持。二要搭建知识经验交流平台，形成试点经验传播和成果转化的机制氛围，充分发挥政府、行业协会、标准化技术委员会、三方智库等组织的横向整合能力，提高沟通效率，促进成果转化和知识传播，实现从点到线再到面的牵引转化。在工具方法层面，首先需要做好园区各类碳排放监测与核算的方法论体系，建立并持续完善园区能源统计体系和碳排放统计体系，针对不同类型园区做好分类指导工作，研究确定园区碳排放核算主体范围、温室气体种类和能源利用类型，确保园区的碳排放目标能切实落地。其次需要重点构建和推广园区零碳操作系统，并通过数字化的手段实现零碳智慧园区与智慧城市之间的连接和共振，通过数字化工具推进经验的积累和提升。

▶ 结束语

本白皮书论述在“双碳”背景下零碳智慧园区的建设机遇、挑战和趋势，明确零碳智慧园区概念和内涵，系统梳理和高度抽象概括蓝图框架，并在此基础上，结合具体实践案例，针对不同减排场景打造不同的优化方案，为不同形态功能的园区提供有价值的参考和建议。此外，本白皮书结合当前零碳智慧园区发展现状，认为零碳智慧园区标准体系建设意义深远，通过研究相关标准化工作现状，提出对于零碳智慧园区标准体系构建的思考，意在“抛砖引玉”，为智慧园区标准化工作推进提供支撑。

实现“零碳中国”，需要未来数十年持之以恒的关键举措与实际行动。在“双碳”目标提出的背景下，园区作为城市的基本单元可通过在供应、监测、管理、服务上的示范效用带动整体经济的低碳高效发展，是降低能耗、精准减排的关键落脚点。智慧园区之后，绿色、智慧、安全和低碳成为未来园区发展的新形态，零碳智慧园区建设势在必行。

零碳智慧园区建设作为一项系统性工程，从规划、设计、落地到运行涉及多项举措，面临诸多挑战。面对新征程，我们愿与业内同仁一道，将本白皮书以及后续推进的零碳智慧园区标准体系作为理论先导，躬身实践推进零碳智慧园区建设，助力“双碳”战略目标的实践落地。

参考文献

国家环境保护总局	2007	《生态工业园区建设规划编制指南》
可持续发展社区协会	2012	《低碳园区发展指南》
世界资源研究所	2015	《巴黎协定指导长期减排目标的术语表》
政府间气候变化委员会	2018	《1.5°C特别报告》
华为&埃森哲	2020	《未来智慧园区白皮书》
中国科技产业化促进会	2020	《智慧零碳工业园区设计和评价技术指南》（征求意见稿）
普华永道	2020	《智慧城市中的数字孪生》
国家统计局	2021	《2020年国民经济和社会发展统计公报》
国家统计局	2021	《第七次全国人口普查公报》
生态环境部	2021	《中国应对气候变化的政策与行动2020年度报告》
清华大学环境学院	2021	《基于2°C温控目标的中国工业园区低碳发展战略研究》
华为&德勤	2021	《全球能源转型及零碳发展白皮书》
联合国全球契约组织	2021	《企业碳中和路径图》
埃森哲	2021	《产业集群携手合作，实现净零排放》
能源转型委员会	2021	《碳中和目标下的中国钢铁零碳之路》
生态环境部环境规划院	2021	《中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2021）》
能源转型委员会	2021	《中国2050：一个全面实现现代化国家的零碳图景》
世界资源研究所	2021	《城市的交通“净零”排放：路径分析方法、关键举措和对策建议》
普华永道	2021	《碳资产白皮书》

版权声明

本白皮书版权属于全国信标委智慧城市标准工作组。凡转载或引用本文的观点、数据，请注明“来源：全国信标委智慧城市标准工作组”。



全国信标委智慧城市标准工作组
Working Group on Smart City Standards
秘书处：中国电子技术标准化研究院
邮箱：zhcs@cesi.cn
电话：010-64102869