Industrial Parks Towards Carbon Neutralization

作者：李莹，智涵祯，何泓，秦艳

编辑：王晋轩

本报告内容仅代表作者个人观点，并不代表
任何组织、机构、政府观点。



碳中和园区案例集

Industrial Parks Towards Carbon Neutralization

科城环境 COSHARE ENVIRONMENT

INSC Maker Sustainability Consulting

目录

前言 01

1碳中和园区 02

1.1 园区的低碳发展历程 02

1.2 相关概念 04

2碳中和园区体系 05

2.1园区温室气体核算体系 05

2.1.1核算范围 06

2.1.2核算排放源和气体种类确定 06

2.1.3核算方法 06

2.2园区碳中和领域 08

3碳中和园区案例 10

碳中和园区： 10

案例一：福建三峡海上风电国际产业园 10

案例二：金风科技亦庄智慧园区—中国首个可再生能源"碳中和"智慧园区 11

案例三：打造能源互联网生态圈—国网德州供电公司产业园区 12

3.1 零碳能源 13

案例四：氢能的规模化利用 13

案例五：清洁能源供给下的现代化农业"负碳"样板 14

案例六：能源管理商业模式 15

案例七：无锡红豆工业园综合能源服务项目 16

3.2 零碳建筑 17

案例八：香港"建造业零碳天地"—零碳建筑的前沿尝试 17

案例九：台北陶朱隐园——绿色装配式建筑新地标 19

案例十：既有设施零碳化改造方案——青岛奥帆中心零碳社区 20

3.3 零碳交通 21

案例十一：柏林欧瑞府零碳科技园—创新产业园区的低碳交通实践 21

3.4 低碳工业 22

案例十二：基于基础设施一体化的共生模式 22

案例十三：产业低碳升级—兰溪经济技术开发区 22

3.5 零废弃 23

案例十四：同煤集团塔山循环经济园区—延长煤炭产业链条 23

案例十五：迪士尼厨余垃圾发电——打造闭环生态系统 24

案例十六：卡伦堡生态园——打造共生的工业生态系统 24

案例十七：德国Höchst循环经济园 25

3.6 零碳管理 26

案例十八：苏州工业园区—低碳管理先行者 26

案例十九：天津经济技术开发区—低碳管理能力提升 27

3.7 CCUS 27

案例二十：英国Humber工业区 27

附录1：法律法规及政策标准文件 28

附录2：相关报告及工具包 30

附图3：园区碳中和策略 31

前言

工业园区是工业企业集聚发展的核心单元，目前，中国有各类产业园区15000 多个，园区产出对中国经济的贡献度达到 30% 以上[1]，做好碳达峰碳中和工作，工业园区必须做出贡献。相关研究显示，2015 年中国工业园区 CO_2 排放总量约为 28 亿吨，占全国总排放量的 31%[2]，是我国碳中和目标下减排的关键空间载体。清华大学环境学院陈吕军教授等认为，通过产业结构调整、能效提升、能源结构优化、碳捕集等减碳路径，预计2015—2050 年全国园区可减排 $CO_2$18 亿吨，在 2015 年基础上减排 60%以上。双碳目标下，不同类型、不同发展阶段的工业园区，应该如何科学、合理制定碳达峰、碳中和行动方案，防止运动式“减碳”，最终实现园区碳中和？山西科城环保产业协同创新研究院通过梳理碳中和园区相关概念、碳中和体系及国内外案例，编制《碳中和园区案例集》，以期为园区碳中和提供思路和方法。

科城环境
COSHARE ENVIRONMENT

山西科城环保产业协同创新研究院是一家独立的绿色发展研究机构和协同创新平台。自 2017 年成立以来，研究院面向碳达峰·碳中和、生态文明建设、生态环境保护的真实需求，致力于搭建“多元参与、市场主导、产业共生”的协同创新平台，打造政府信赖、企业依赖、社会认同的创新研发机构，推进绿色低碳领域技术创新体系建设、绿色低碳战略和环境管理咨询水平提升，推动绿色产业发展。

MSC
Maker Sustainability Consulting

MSC 是一家全球且独立的可持续发展咨询公司，将可持续发展的方法论，应用于战略与增长、管理与运营、品牌与营销、产品与创新和社会责任与公益，解决企业在运营过程中存在的各项挑战，并为其创造新的商业机遇。作为行业中的先驱者，MSC 已经帮助了包括可口可乐、百威英博、宝洁、强生、欧莱雅、国家电网、腾讯、阿里巴巴、快手、美团点评在内的 200 多家领先企业在这个商业社会中持续创造价值。

1. 陈吕军，做好碳达峰碳中和工作，工业园区必须做出贡献 . [EB/OL] 国家发展和改革委员会 .(2021-03-31)/ [2021-08-03].https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjyzy/fzxhjj/202103/t20210331_1271412.html?code=&state=123.
2. 郭扬 , 吕一铮 , 严坤 , 田金平 , 陈吕军 . 中国工业园区低碳发展路径研究 [J]. 中国环境管理 ,2021,13(1):49-58

1碳中和园区

1.1 园区的低碳发展历程

近年来，工业园区作为低碳转型的重要对象，经历了生态示范工业园区、循环化改造示范园区、低碳示范园区、绿色园区及近零碳园区等多个阶段，不同示范园区管理目标有所差异，但在此过程中积累了大量低碳发展经验和做法，为下一步发展碳中和园区提供了重要参考和支撑。

表 1 我国园区示范类型

工业园区类型	概念	侧重方向	发展状况	类型	推动主体	支持政策
循环化改造示范试点园区	以循环经济“减量化、再利用、资源化”为原则和优先序，转变经济发展方式，达到经济持续发展、资源高效利用、环境优美清洁、生态良性循环的效果。	实现资源高效利用、废物“零排放”	121家园区被列为国家循环改造示范试点园区[3]	过程导向	国家发展和改革委、财政部	专项资金支持
生态工业园区	通过物质、能量、信息等交流形成各成员相互受益的网络。使园区对外界的废物排放趋于零，最终实现经济、社会和环境的协调共进。	注重环境保护，园区主要产业形成集聚效应，具备较为显著的工业生态链条	93个园区开展了国家生态工业示范园区建设工作，其中55个园区通过了考核[3]	过程导向	原国家环保总局	鼓励各园区设立国家生态工业示范园区建设专项资金
低碳工业园区	以降低碳排放强度为目标，以产业低碳化、能源低碳化、基础设施低碳化和管理低碳化为发展路径，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。	以温室气体排放强度和总量为核心管理目标	67家园区入选低碳工业园区试点名单[3]	过程导向	工业和信息化部、国家发展和改革委员会	鼓励所在地工信、发改部门对园区相关资金、政策、项目等给予倾斜
绿色园区	企业绿色制造、园区智慧管理、环境宜业宜居的产业集聚区。	侧重产业生态链接和服务平台建设	111家园区入选绿色园区试点名单[3]	过程导向	工业和信息化部	资金补助
近零碳排放示范区	在经济高质量发展、生态文明高水平建设的同时，实现区域内碳排放趋近于零，经济增长由新兴低碳产业驱动，能源消费由先进净零碳能源供给，建筑交通需求由智慧低碳技术满足，最终实现源与汇的平衡。	实现区域内碳排放趋近于零	处于概念设计与规划建设阶段。	结果导向	国务院	开展地区统筹资金、人员、政策等对试点区域进行支持

3. 陈吕军 . 做好碳达峰碳中和工作，工业园区必须做出贡献 [N]. 中国环境报，2021-03-10（008）.

2012

《工业领域应对气候变化行动方案（2012-2020）年》工信部联节【2012】621 号

2013

《关于促进国家级经济技术开发区绿色、低碳、循环发展的实施意见》中华人民共和国商务部商资函【2013】913 号

2014

《国务院办公厅关于促进国家级经济技术开发区转型升级创新发展的若干意见》国办发【2014】54 号

2015

《商务部关于推进长江经济带国家级经济技术开发区紧密合作与协同发展的通知》商资函【2015】913 号

《国家生态工业示范区管理办法》《国家生态工业示范区标准》环发【2015】167 号公告 2015 年第 91 号

2016

《国务院办公厅关于完善国家级经济技术开发区考核制度促进创新驱动发展的指导意见》国办发【2016】14 号

《国务院关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知》国发【2016】61 号

2017

《国务院办公厅关于促进开发区改革和创新发展的若干意见》。国办发【2017】7 号

《国务院关于促进外资增长若干措施的通知》国发【2017】61 号

2019

《国务院办公厅关于推进国家级经济技术开发区创新提升打造改革开发新高地的意见》国办发【2019】11 号

2020

《国务院关于促进国家高新技术产业开发区高质量发展的若干意见》国发【2020】7 号

2021

《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》国发【2021】4 号

图 1 近年来中国政府发布的园区转型发展主要政策

目前，虽然我国尚未推出碳中和园区建设相关政策和标准，但全国多地在今年两会政府工作报告中不约而同的就碳中和或零碳园区作出重要表态，着力部署园区的碳中和之路。

1.2 相关概念

温室气体（GHG）

大气层中那些吸收和重新释放出红外辐射的自然和人为的气态成分。《中国气候变化第二次两年更新报告》明确：中国温室气体清单包括二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氧化亚氮（N_2O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化物（PFCs）和六氟化硫（SF_6）等六类。为了统一衡量这些气体排放对环境的影响，联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 提出了二氧化碳当量 (CO_2e) 这一概念。“碳中和”中的“碳”所指即为二氧化碳当量。

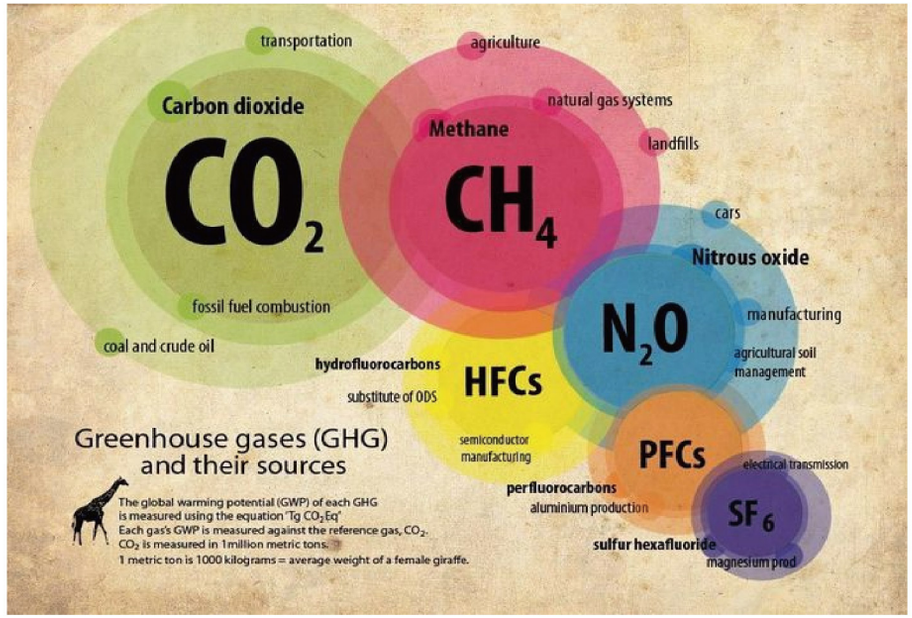


图 2 温室气体及其来源

碳排放

煤炭、石油、天然气等化石能源燃烧活动和工业生产过程以及土地利用变化与林业等活动产生的温室气体排放，也包括因使用外购的电力和热力等所导致的温室气体排放。

碳中和

IPCC 发布的《全球变暖 1.5° C》中，碳中和指规定时期内人为 CO_2 移除在全球范围抵消人为 CO_2 排放时，可实现 CO_2 净零排放。CO_2 净零排放也称之为碳中和。

在全球财富管理论坛 2021 北京峰会上，中国气候变化事务特使解振华表示 2030 年碳达峰是二氧化碳的达峰，2060 年前要实现碳中和包括全经济领域温室气体的排放，包括从二氧化碳到全部温室气体。

碳中和园区 / 零碳园区

在一定时间内，园区核算范围内直接或间接产生的温室气体排放总量，通过减源、增汇、负碳技术及管理创新等方式，以抵消自身产生的温室气体排放量，实现碳的“零排放”。因此，碳中和园区建设的核心是实现“产碳”和“消碳”之间的平衡。

碳汇

指通过植树造林、森林管理、植被恢复等措施，利用植物光合作用吸收大气中的二氧化碳，并将其固定在植被和土壤中，从而减少温室气体在大气中浓度的过程、活动或机制。[4]

4. 中国环境科学院 .《联合国气候变化框架公约》附件一国家碳汇量分析 [EB/OL] (2021-03-08)/[2021-08-03].http://www.craes.cn/glzc/202103/t20210308_823770.shtml

CCER

CCER 是国家核证自愿减排量（China Certified Emission Reduction）的缩写。它是指对我国境内特定项目的温室气体减排效果进行量化核证，并在国家温室气体自愿减排交易注册登记系统中登记的温室气体减排量。[5]

CCUS

二氧化碳（CO_2）捕集利用与封存（CCUS）是指将 CO_2 从工业过程、能源利用或大气中分离出来，直接加以利用或注入地层以实现永久减排的过程。CCUS 在二氧化碳捕集与封存（CCS）的基础上增加了“利用（Utilization）”，这一理念是随着 CCS 技术的发展和对 CCS 技术认识的不断深化。CCUS 按技术流程分为捕集、输送、利用与封存等环节。[6]

负排放

负排放指的是从大气中完全清除二氧化碳的活动，两项关键的负排放技术包括结合 CCS 的生物能（BECCS）和结合碳封存的直接空气捕集（DACCS）。[7]

2碳中和园区体系

2.1 园区温室气体核算体系

正如财务核算与报告，碳排放核算将影响园区碳排放水平的评估和减排策略的制定，因此园区应首先明确碳核算范围、排放源及核算监测方法。

步骤：核算范围——识别涵盖的温室气体排放源类别及气体种类——选择相应的温室气体排放量计算公式——制定监测计划（智能搜集 + 人工填报）

重点关注：园区是一个有机生命体，碳排放规模及重要排放源并非衡量不变，需要关注动态平衡和边界的定期更新。

案例：大众作为全球性汽车制造商，在编制其温室清单时意识到公司的排放源构成在过去七年中发生了重大变化。在 1996 年被视为在企业层面不重要的生产过程排放，目前几乎占到工厂温室气体排放总量的 20%。园区作为制造、居住、商业等混合经济区，随着入住企业、园区功能、核算因子、低碳技术水平等因素的变化，重要排放源可能发生较大变化，须定期评估排放源，以长期保持排放清单的完整性。[8]

5. 生态环境部 .《碳排放权交易管理办法（试行）》[EB/OL]（2020-12-31）/[2021-08-03].http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content_5577360.htm.
6. 生态环境部环境规划院 et al.，中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2021）——中国 CCUS 路径研究 [R]：1
7. 全球碳捕集与封存研究院 . 全球碳捕集与封存现状 2020[R]：62-63
8.wbcsd，世界资源研究院，中国情结发展机制基金管理中心，温室气体核算体系 - 企业核算与报告标准（修订版）[R]，经济科学出版社，2011，9

2.1.1 核算范围

根据 GHG Protocal 的“范围系”，从价值链角度出发，园区碳排放范围可划分为三类：

范围一：园区运营范围内的所有直接温室气体排放。

范围二：园区外购电力所产生的间接排放，也包括蒸汽、加热、冷气等。

范围三：因园区活动产生的所有其他间接排放，包括供应链 / 价值链上下游可能产生的所有排放，比如原材料的采掘、生产和运输，产品和服务的使用等。

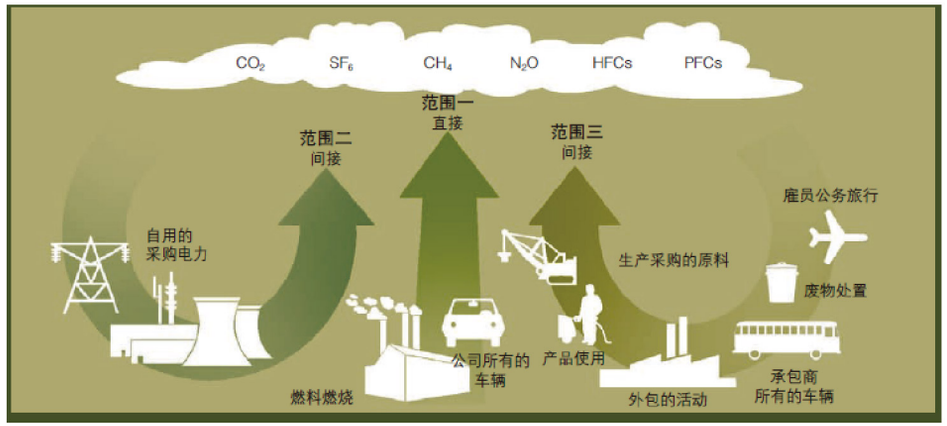


图 3 价值链上的范围与排放概览 [8]

大量研究表明，比起直接碳排放，由原料、交通运输、能源开采等上游生产引起的隐含碳排放占园区整体碳排放比例较大。因此范围三更能全面反映园区生命周期的碳足迹。但由于数据获得困难，当前大部分企业 / 园区碳核算多限于范围一和范围二。

重点关注：投资者可能会把企业上游或下游运营中显著的间接排放视为需要管理和减少的负担。仅关注企业自身运营的直接排放，可能会漏掉重大的温室气体排放风险和减排机会，因此园区应鼓励入园企业将上下游链显著碳排放源纳入核算范围。

2.1.2 核算排放源和气体种类确定

园区碳排放源可按照两种类型分类：

类型 I：基于排放部门，包括工业生产、农产品生产、能源供应、建筑和基础设施、交通运输、废弃物处理、景观碳汇。

类型 II：基于排放过程，包括一次能源燃烧、二次能源使用、其他化学过程（焚烧、填埋、污水处理过程）、碳汇。

类型 II 可看作类型 I 中每一项的分类统计单元。

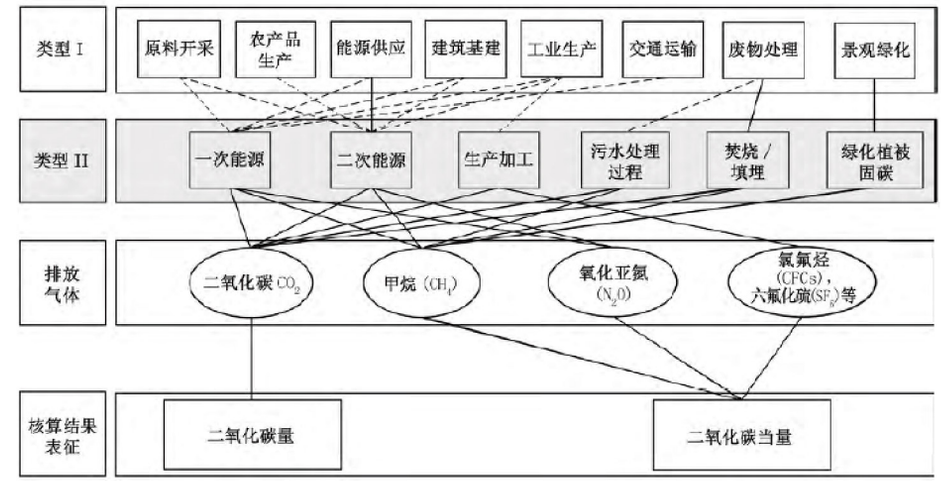


图 4 碳排放源类型、排放气体及核算结果表征 [9]

2.1.3 核算方法

国家尚未出台针对园区的碳核查方法和标准，目前园区碳核查多需借鉴其他尺度（企业价值链、城市或国家）的文件或园区碳核查研究文献。同时，越来越多的研究机构和咨询机构都在针对产品 / 企业 / 园区建立自动化核算系统，通过智慧网路系统实现园区碳核查的实时监测与评估。

9. 陈彬，杨维思，产业园区碳排放核算方法研究［J］，中国人口 · 资源与环境，2017，27 (3) : 1 -10 .

表 2 国内外碳排放核算方法

发布组织及年份	名称	使用范围
2006 ISO	ISO14064 温室气体管理规范	政府、市场和其他利益相关者
2009 BSI	碳中和承诺新标准（PAS2060）	产品全生命周期
2011WRI et al.	温室气体核算体系：企业核算与报告标准（修订版）	企业
2011 WRI et al.	温室气体核算体系：企业价值链（Scope3）核算与报告标准	企业价值链
2011 ISO	ISO14067 产品碳足迹国际标准	企业产品
2011 北京大学	中国低碳园区的系统测算技术与评估体系	园区
2013-2016国家发改委	24个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南	工业企业
2017-2020 欧盟	EU-ETS（欧盟碳交易市场）MRV （碳排放监测、报告、核查体系）制度	工业企业
2018 ISO	ISO14064 温室气体管理规范：2018	政府、市场和其他利益相关者
2015-2018 中国标准化研究院	12个行业及通用工业企业温室气体核算与报告要求	工业企业
2019 IPCC	2006年IPCC国家温室气体清单指南 2019修订版	政府、市场和其他利益相关者
2019碳核算金融联盟（PCAF）	金融业温室气体核算与报告指南	金融行业
2020 生态环境部	企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施（征求意见稿）	企业
2021北京市市场监督管理局	7个行业二氧化碳排放核算和报告要求	行业企业

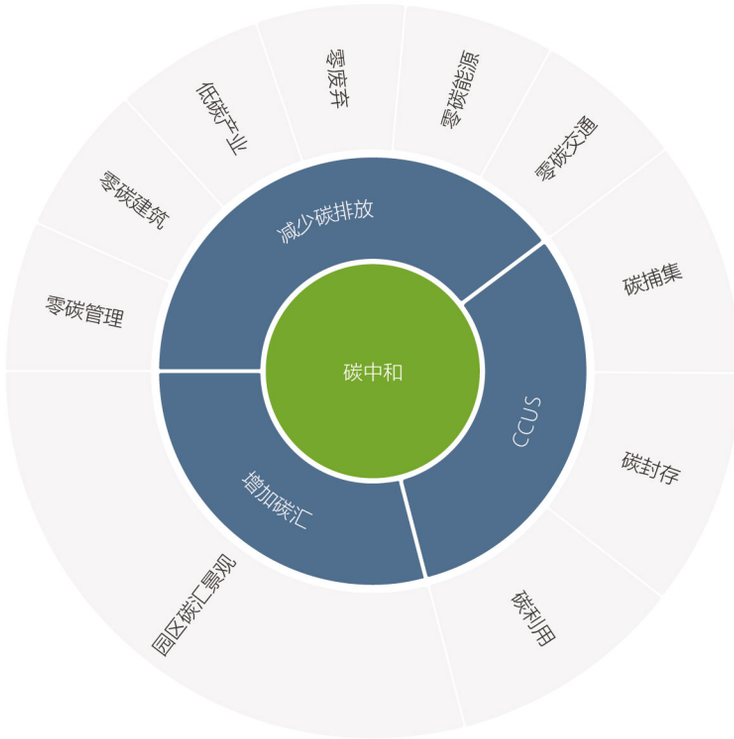


图 5 园区碳中和领域

2.2 园区碳中和领域

主动措施：一是尽最大可能减少生产和生活活动中的温室气体排放，采取节能减排等措施；二是将生产和生活活动中产生的如二氧化碳等温室气体消除掉或收集起来，包括增加碳汇和使用 CCUS（二氧化碳捕集、利用与封存）等。

被动措施：在实施以上内部措施仍无法抵消自身产生的二氧化碳或温室气体排放量的情况下，可通过购买 CCER 对园区生产生活总温室气体排放量进行核销。

碳中和公式：碳排放 - 碳汇 -CCUS= 认购 CCER

园区温室气体排放主要包括工业生产、能源供应、建筑和基础设施、交通运输、废弃物处理、景观碳汇等排放部门，因此，碳中和园区的建设需要紧密围绕零碳管理、零碳能源、低碳产业、零碳建筑、零碳交通、CCUS、零废弃、碳汇景观等 7 个领域展开。

零碳管理

- 零碳目标：梳理低碳信息（法律法规、TCFD 建议[10]、ISO&IPCC&GHG 政策文件、国内外低碳园区案例），确定园区碳排放核算方法和范围，设定合理的减排目标和碳中和策略。
- 零碳制度：设置零碳委员会，定期评估园区低碳绩效，确定改善方案；制定严格的园区低碳生产和入园标准，对生产型、能源型、废弃物处置型、生活型等不同类别项目分别实施碳管理，对高碳落后产能和企业进行强制性淘汰，对节能减排、低碳技术研发项目给与激励奖励；组织建立园区零碳运营绩效评价体系。
- 零碳服务：低碳采购；帮助园区企业开展碳盘查，识别低碳转型潜力、参与碳排放权交易，进行碳资产管理；引入第三方管理，如合同能源服务、环境托管服务；建立园区碳排放平台，实现减排效果的可测量、可报告、可核查（MRV）及可视化；打造园区零碳文化，组织园区零碳发展的宣传、交流和培训；提供共享服务。

10.TCFD(Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, 气候相关财务信息披露工作组) 建议指气候相关财务信息披露工作组通过制定统一的气候变化相关信息披露框架，帮助投资者、贷款人和保险公司合理地评估气候变化相关风险及机遇，以做出更明智的财务决策。

零碳能源

- 能效提升：低碳原料选采与使用；应用节能技术，提高能源产出率。
- 零碳能源结构：建立以非化石能源为主的能源系统，包括最大限度的利用可再生能源和外购绿电。
- 智慧能源管理：构建多类型能源互联网路，实现能耗监测、用能分析、能效评估、智能运维等。

低碳产业

- 产业低碳改造：推动园区企业实施清洁生产改造，强化绿色设计，推动绿色产品生产。
- 低碳绿色产业聚集：导入绿色低碳产业。
- 共生产业构建：构建园区产业共生系统，加快产业链延伸聚集。
- 引入低碳技术 / 碳金融服务产业：引入低碳技术企业，建立低碳实验室，促进技术供需双方沟通与合作；引入碳中和服务机构，帮助园内产业开展碳资产交易和管理。

零碳建筑

- 精益施工：就地取材，减少因为建筑材料运输产生的碳足迹；工业废弃物应用于建筑材料；地基建设时采用均衡的挖填设计施工，挖掘出的土方用于建设园区绿化等。
- 提升容积率：提升园区容积率，加大土地集约利用水平，降低单位面积温室气体排放强度。
- 建筑规划与空间布局：通过规划不同功能房间的朝向，最大程度的利用自然通风和自然采光，营造适宜的建筑内部微气候，实现建筑内环境的自调节功能。[11]
- 绿色建筑：通过优化维护结构、可再生能源利用、节能产品应用、人工智能、数据挖掘的智慧运维技术利用等，构建零能耗建筑。

零废弃

- 材料和能源的回收利用
- 水重复利用
- 污染物集中处置

碳汇景观

- 优选固碳植物
- 立体绿化
- 小气候景观

碳捕捉、利用及封存（CCUS）

CCUS 技术是园区碳中和抵消无法消减的碳排放的托底技术保障，是钢铁水泥等难以减排行业低碳转型的可行技术选择。目前我国 CCUS 技术整体处于工业示范阶段，现有示范项目规模较小。但随着相关政策、技术、市场的不断推动，CCUS 与工业园区配套发展可期。现国内外主要的 CCUS 产业模式如下：[12]

CU 型：产业环节组合为捕集—利用，即对排放的 CO_2 进行捕集，其捕集的 CO2 直接利用于化学品、制冷、饮料等；

CTUS 型：产业环节组合为捕集—运输—利用 + 埋存，如美国在 Oklahoma 运行中的 Enid 化肥项目，捕集量约为 0.68 亿 t/a，采用陆陆管道运输模式，用于 CO_2 驱油；

CTS 型：捕集—运输—埋存，如挪威在北海已运行的 Sleipner CO_2 注入盐水层项目。目前，世界上大规模综合性项目中，美国、加拿大及中东地区以 CTUS-EOR 产业模式为主，欧洲及澳大利亚—新西兰则以 CTS- 盐水层及废弃油气田模式居多。

11. 陈俊亦 et al.，零碳建筑技术路线研究——以保定市某幼儿园为例 [J]，河北工业科技 ,2019，36 (6) : 396-402
12. 全国能源信息平台 . 碳中和 CCUS 产业模式及成本分析 [EB/OL]. (2021-06-01) /[2021-08.11]. https://3g.163.com/dy/article/GBD1S3UH05509P99.html.

3碳中和园区案例

案例一：福建三峡海上风电国际产业园[13]

（零碳管理、零碳能源、低碳产业）

福建三峡海上风电国际产业园引进了金风科技、东方电气、叶片生产商 LM、江苏中车、中水电四局等多家海上风电产业知名企业，形成了风机、电机、叶片、构筑件等完整的风能产业链。园区按照充分利用当地优越的风光资源，发展绿色、清洁能源，积极推进智能微网建设，强化福建发展海上风电的优势，最终走向碳中和。

（1）清洁能源利用

福建三峡海上风电国际产业园拥有亚洲单机容量最大的 10 兆瓦海上风电机组。成功发运的 10 兆瓦海上风电机组在年平均 10 米 / 秒风速条件下，一台机组每年可输出 4000 万度清洁电能，可减少燃煤消耗 1.3 万吨，减少二氧化碳排放 3.5 万吨，同时大幅降低海上风电度电成本。

此外，依靠优越的太阳能资源，园区形成风机、屋顶光伏、储能装置的多能互补。园区同时发展能源管理系统、水蓄冷等技术，打造智能型微电网，进一步提升能源使用效率。

（2）发展配套产业链，完善低碳服务

福建三峡海上风电国际产业园紧紧围绕产业链配套，积极引进海底电缆、电器设备等海上风电配套企业，进一步完善上下游产业链。目前，产业园正在积极推进我国首个大容量海上风电检测中心落户园区，进一步完善产业园功能定位。2020 年，产业园还引进三峡新能源学院入驻。截至 2021 年 4 月，学院已为园区和企业相关负责人开展了 3 期业务培训，有力推动海上风电“产学研”融合，使福清进一步迈向高端海上风电产业链聚集地。

根据核查报告，2020 年该园区内所有风电产业工厂、入驻服务企业及产业园运营公司生产运营范围内所产生的 7719 吨二氧化碳当量，园区通过使用等量中国核证自愿减排量（CCER）进行抵消，并由北京绿色交易所监督注销，最终实现碳中和。



13. 中国新闻网 . 全国首个“碳中和”工业园区落地福建三峡海上风电国际产业园率先实现“碳中和”[EB/OL]. (2021-05-29)/ [2021-08-03]. http://www.fj.chinanews.com/news/fj_ttgz/2021/2021-05-29/485086.html.

案例二：金风科技亦庄智慧园区—中国首个可再生能源“碳中和”智慧园区（零碳管理、零碳能源、低碳产业）

金风科技亦庄智慧园区始建于 2010 年，建筑面积超过 9 万平方米，包括智能微网、节能模块、智能水务、园区智慧运维、智慧农业及智慧健康六大模块。购买中国核证减排量（CCER）核销所排放全部温室气体后，园区于 2020 年实现碳中和。

（1）清洁能源利用

在清洁能源利用方面，金风科技亦庄智慧园区打造了以风电为核心的智慧能源系统。园区配置两台总容量 4.8MW 的风电机组和总容量超过 1MW 的光伏发电设备，实现清洁能源的就地采集和消纳；一台 600kW 和两台 65kW 的微燃机，使用天然气发电，使园区实现了冷热电三联供，系统产生的能量就地消纳，冷、热水可直接用于楼宇供热和冷却系统；包括全钒液流储能、锂电池，以及超级电容器等在内的储能装置，用于系统的削峰填谷，平滑功率波动，大大提升园区供电质量；选用 500kW 柴油发电机，用于模拟海岛型微电网的项目运行。2020 年，园区可再生能源发电比例高达近 50%。[14]

（2）智慧能源管理

金风科技作为清洁能源领域领跑者，拥有先进的智能微网技术，在园区中发挥了协同高效供给和智能调度的作用。它承接了包括风电、光伏、储能和微燃机组成的综合能源供给，依托“网 - 源 - 储 - 荷”的有机协调，可靠、智能地满足了园区办公楼、研发中心、餐厅、智能制造工厂等多种不同负荷的需求，有效提升能源应用效率。

在此基础上，各类节能措施进一步优化了园区的能效表现，并有力降低了企业的用能成本。例如，园区夜晚利用低谷电价，将能量以低温冷水或热水的形式蓄存起来，并在白天的用电高峰释放，实现“移峰填谷”，有效削减了电价高峰负荷并降低能源费用支出。除此之外，园区内随处可见建筑节能、空压机节能、电机节能、精确曝气节能等多样化的节能措施，进一步实现全细节的节能减排。[15]



14. 中国电力网 . 四问“碳中和”智慧园区 [EB/OL]. (2021-03-05)/ [2021-08-03].http://www.chinapower.com.cn/flfd/hyyw/20210306/55985.html.

15. 中国日报 . 金风科技：做真正适合中国的智慧园区 .[EB/OL]. (2019-09-05)/ [2021-08-03]. https://caijing.chinadaily.com.cn/a/201909/05/WS5d709ecea31099ab995de23b.html.

案例三：打造能源互联网生态圈—国网德州供电公司产业园区[16]

（零碳管理、零碳能源）

国网德洲供电公司携手山东电工电气集团、国网新能源云公司，通过园区“源网荷储”部分自主中和后，其余排放通过天津排放权交易所购买等量中国核证自愿减排量（CCER）进行核销，实现 2021 年度第一季度园区碳中和。

（一）能源互联网生态圈

园区主要由分布式光伏、电化学储能、供冷供热、“源网荷储”能量管理系统和供电服务智慧大数据平台组成。园区新建 820 千瓦屋顶光伏，实现光伏全容量并网，配备 500 千瓦 /500 千瓦时储能系统，选用磷酸铁锂提供园区满负荷 1 小时供电服务；建立空气源热泵系统，可满足园区物资监测大厅供冷供热需求；“源网荷储”能量管理系统统一接入智能低压设备、电气及环境传感器等信息，依托供电服务智慧大数据功能，开发建设“源网荷储”可视化系统，实时监控配变、分布式电源、储能、用电负荷等各类设备运行状态，确保“微电网”安全、稳定、经济运行。

（二）新能源云碳中和支撑服务平台

园区依托“新能源云碳中和支撑服务平台”，在能源生产侧，为减排企业提供自愿减排服务，实现“可测、可信、可溯、可知、可控”；在能源消费侧，为控排企业提供碳排放监测、碳配额管理、碳交易服务，支持政府开展碳排放监管和碳中和监测，实现碳监测、盘查、报告、认证全流程上链存证。目前，国网德州供电公司产业园区利用“新能源云碳中和支撑服务平台”已实现排放数据在线盘查与碳中和数字评估。



16. 中国发展网 . 山东首个碳中和园区亮相德州 [EB/OL].（2021-07-07）/ [2021-08-03]. http://www.chinadevelopment.com.cn/news/ny/2021/07/1733810.shtml.

3.1 零碳能源

案例四：氢能的规模化利用

随着电网系统的低碳化，煤炭、天然气和石油的直接使用成为了工业二氧化碳的主要来源。对于钢铁、水泥、制造等重点用能产业，氢能成为实现零碳能源的最后一步。我国由于煤炭资源比较丰富，煤制氢技术路线制得的氢，占全国氢气产能 60% 以上。[17] 以化石能源为原料，通过蒸汽甲烷重整或自热重整等方法制造的氢气称为“灰氢”，灰氢的成本较低，但是碳强度较高，因此，英国一些园区采取在甲烷重整与自热重整制氢过程中增加碳捕捉和贮存环节（CCS），使“灰氢”转为“蓝氢”，降低碳排放（参见案例十七）。但氢能的开发需要园区所在区域政府整体的规划和行动，配套建设二氧化碳、氢气的输送管道和储存设施。

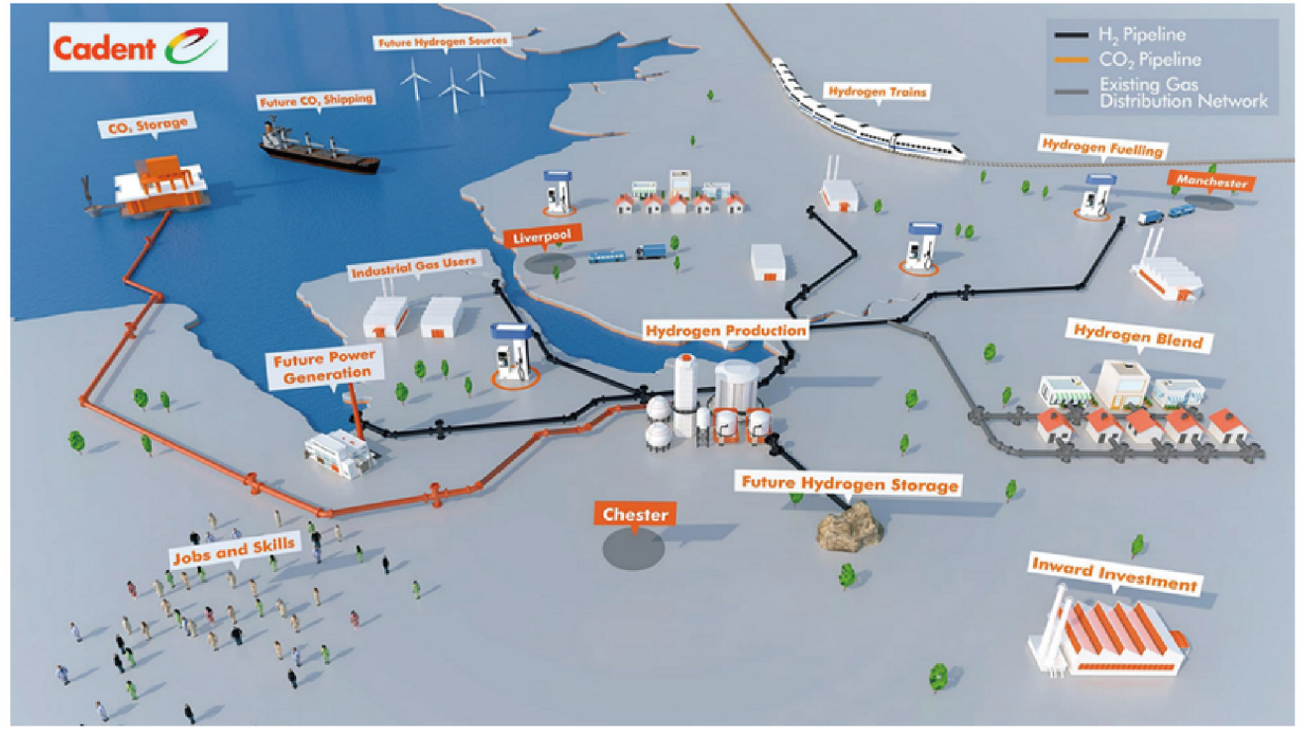


图 6 氢气 - 二氧化碳捕捉系统设计[18]

17. 国联证券 . 氢能源行业深度报告：“氢能时代”大幕拉开 [EB/OL].（2020-12-17）/ [2021-08-04].http://www.itdcw.com/news/finance/analyst/121G1DN2020.html#.

18. WSP. WSP to play lead role in designing new hydrogen pipeline [EB/OL]（2019-11-28）/ [2021-03-08].https://www.wsp.com/en-GB/news/2019/wsp-to-play-lead-role-in-designing-new-hydrogen-pipeline.

案例五：清洁能源供给下的现代化农业“负碳”样板

倡导乡村清洁用能、推动区域绿色低碳发展，浙江首个农业开发区——平湖农业经济开发区和国网平湖市供电公司 6 月 3 日签署战略合作协议，共同打造“负碳”农业硅谷战略联盟。根据测算，智慧能源站一期工程每年将为该企业提供清洁能源 34.6 万千瓦时，相当于实现减碳 170.6 吨。未来，扩大氢能发电、光伏发电和储能建设规模后，“植物工场”白天可完全使用氢能或光伏发电的电量，晚上使用白天储存的电量，全天候以清洁零碳的氢能或光伏发电的用电模式替代原有模式，相当于全年消纳二氧化碳 6370 吨，实现用电零排放。再加上“植物工场”利用碳捕集技术，为植物生长光合作用提供二氧化碳，年消耗二氧化碳可达 36 吨，即不仅不排放碳而且还消耗碳，真正实现“负碳”。[19]

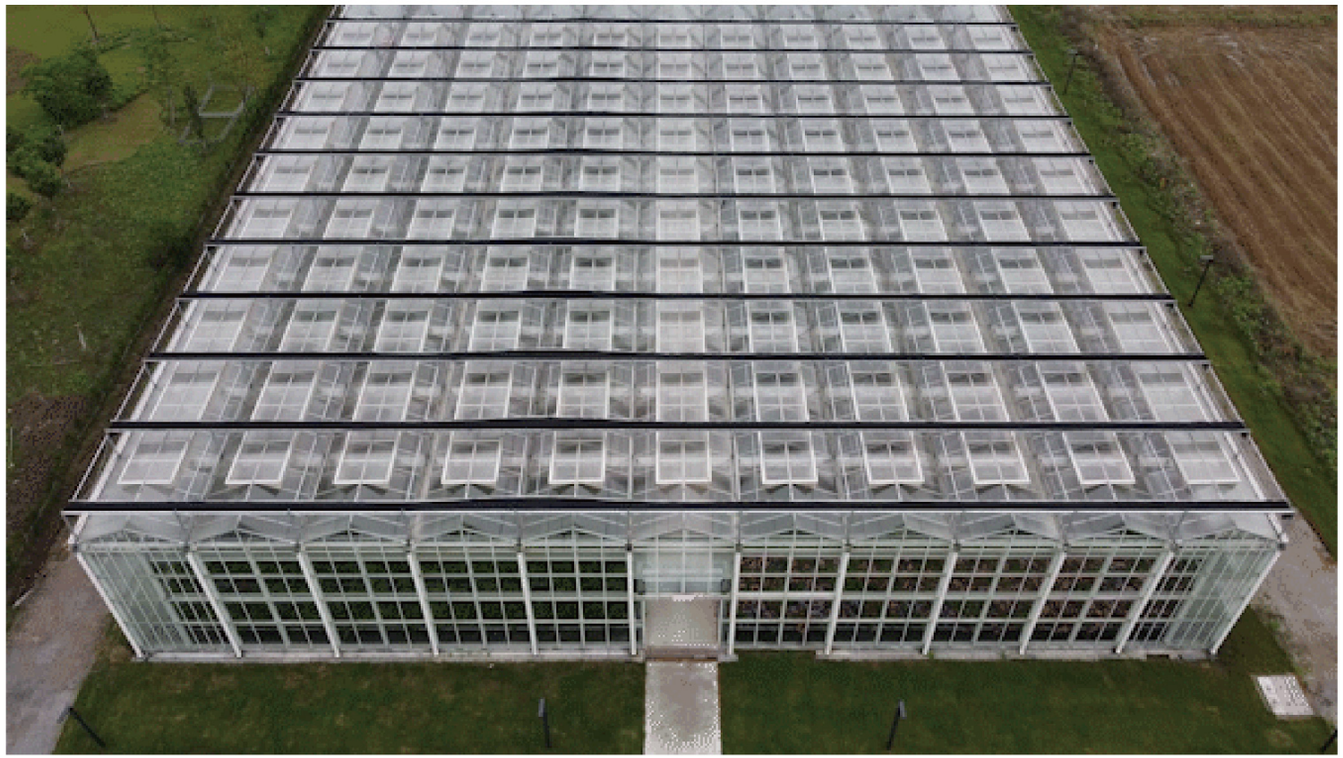


图 7 东郁果业

19. 浙电 e 家 . 看过来！这里有现代化农业“负碳”样板［EB/OL］（2021-06-21）/ [2021-08-03]https://mp.weixin.qq.com/s/Jpd5elom_BszDLwDQSrp2A

案例六：能源管理商业模式

为细化能源管理，全球许多工业园区和企业引进第三方能源管理机构，以达到提升能效、减少能源使用、进一步降低企业成本的目的。具体来看，全球工业园区的做法主要有以下三种。[20]

1. 能源绩效合同管理

主要针对需求侧进行管理，使项目节省的成本超过融资要求。能源绩效合同管理包含一系列服务，包括终端能源设备的工程设计、规划、建造、运营和维护，以及项目融资等。

2. 能源供给合同管理

主要针对供给侧进行管理，节能服务公司为园区提供一系列能源获取与分配相关的技术与资金支持，包括电力、蒸汽等低成本、高效、可靠、清洁的能源供应，从而帮助用户提高能源使用效率，改善能源结构。

3. 一体式能源管理

即能源绩效合同管理与能源供给合同管理相结合的一体式能源管理模式，既在用户端采取提升能效措施，又在供给端着力发展低成本、稳定的清洁能源供应，以同步减少能源需求。

其中，能源绩效合同管理是当前国内的主流能源管理模式，共分为节能效益分享型、节能量保证型和能源费用托管型合同管理模式。[21]

表 3 三种合同能源管理主要模式 [22]

合同模式	节能效益分享型	节能量保证型	能源费用托管型
服务模式	合同期内，节能服务公司承担项目的融资工作、节能改造方案的设计、节能设备的采购，对客户企业进行节能改造。合同期满之后，项目移交客户企业接管节能设备的运行维护。	项目的融资由客户企业承担；节能公司提供节能改造全过程服务，并承诺节能改造后预期节能量和节能收益。合同期满后，若实际节能量达到承诺节能比例，客户企业向节能服务公司付能源服务费用；若未达到，节能公司对客户企业进行补偿。	节能公司承担项目的资金筹措和具体实施。项目合同期内，节能服务公司负责客户企业的能源系统管理、运行维护以及升级改造，客户企业按照合同约定支付能源托管和机电运维费用。
发展趋势	主流	快速增长	占比较少
融资主体	节能服务公司	客户企业	节能服务公司
收益分配	合同期内按约定比例分配	节能服务公司获得服务费用；客户企业享有节能全部收益	节能服务公司享有全部或部分收益
节能服务公司风险	节能效果风险；融资风险	节能效果风险	节能效果风险；融资风险
用能单位风险	几乎为零	融资风险	几乎为零
典型应用领域	公共建筑/商业建筑	公共建筑/商业建筑	热电联产项目/商业建筑
适用客户企业	中小型用能企业	资金充足的中型用能企业	大型用能企业

20.Circular Economy in Industrial Parks: Technologies for Competitiveness [R] Washington DC: World Bank Group, 2021-04: 65

21. 北极星环保网 .【解读】合同能源管理的三大典型模式 [EB/OL].（2016-05-18）/ [2021-08-06].https://huanbao.bjx.com.cn/news/20160518/734346.shtml.

22. 李怡飞 . 节能效益分享型合同能源管理项目收益分配研究 [D]. 北京交通大学 ,2019.

23. 杨丹 . 能源托管型合同能源管理实施模式研究 [J]. 价值工程 ,2019,38(31):107-108.

案例七：无锡红豆工业园综合能源服务项目[24] [25]

无锡红豆工业园区内企业共 100 余家，涉及服装、制药、橡胶等行业，用能需求量大。能源改造之前，尽管红豆工业园区建有变电站、热电厂、分布式光伏发电、储能系统等完善的电力设施，但因缺少整体的用能规划、及时的数据采集、互联的管理系统，园区难以实现能源利用信息化管理。后经国网无锡供电公司的综合能源服务改造，园区能效得到大幅提升。

（1）发展智慧能源管理平台

国网无锡供电公司为园区打造“能源管家”一体化能源管理服务平台，一方面帮助园区在原有热电自备机组基础上，建设屋顶光伏、储能电站等，进一步形成完备的水、电、热、光、储多种能源机构的用能模式；另一方面开展信息采集，于园区电网、储能、光伏、热电厂、用户端等处共接入测点 13563 个，用以收集分析网络气象、园区用电设施反馈、用电负荷特性等各类数据信息，不仅可实现多能源设备实时监测，还能对企业发电及用电负荷做出短期预测，提出最优调配方案，从而实现节本降耗。

（2）灵活采用多种能源管理商业模式

红豆工业园区采用了灵活多样的合同能源管理模式。一方面，园区采用节能分享型合同能源管理，降低前期能源改造的投资，在此过程中，园区和国网无锡供电公司共享节能收益；另一方面，园区通过能源托管型管理，依托国网无锡供电公司搭建的能源管控平台，进一步整体提升园区能效水平，以节省的能源费用支付能源托管服务费。

此外，园区还在综合能源管控系统中设置交易结算模块，探索红豆园区内部开展售电市场化交易机制，尝试通过市场化用电交易方式、价格调整用户生产计划，调动用户调整生产用能的积极性，进而达到园区用能整体成本最优的目标。据测算，实施综合能源服务后，红豆工业园区年度节能折合标准煤可达 7364 吨，减排二氧化碳可达 1.9 万吨。



24. 北极星输配电网 . 案例解析 | 园区级综合能源服务项目成效调查 [EB/OL]. (2020-02-14)/[2021-08-11].https://shupeidian.bjx.com.cn/html/20200214/1043122.shtml.

25. 北极星输配电网 . 工业园区成综合能源服务主战场 [EB/OL]. (2020-02-12)/ [2021-08-11]. https://shoudian.bjx.com.cn/html/20200212/1042373.shtml.

3.2 零碳建筑

建筑碳排放一般分为直接碳排放、间接碳排放和隐含碳排放三种，其中隐含碳排放为建材生产和运输、建造施工过程中的碳排放。

直接碳排放的消减：提高建筑终端用能产品的能效水平，包括在已建成的建筑中考虑利用人工智能、数据挖掘的智慧运维技术来降低建筑使用过程中的能耗；绿色建筑；利用房屋结构设计降低用能负荷；屋顶光伏；建筑物绿化。

间接碳排放的消减：提高建筑电气化水平、提高清洁能源、可再生能源供能 / 供热比例、工业余热利用；

隐含碳排放的消减：低碳建材、精益制造、容积率。



案例八：香港“建造业零碳天地”—零碳建筑的前沿尝试

“建造业零碳天地”是采用绿色建筑实现零碳的典型案例。其通过太阳能光伏板，及利用废置食用油制成生物燃料的三联供系统，产生可再生能源。“建造业零碳天地”不仅实现碳中和，而且具有输出剩余能源的能力，超越一般“零碳建筑”的定义，可抵消其建筑过程和主要结构材料的内含碳。[26]

(1) 精益施工

“建造业零碳天地”从规划设计阶段便开始采用节能减排的施工方法。选取建筑材料时，尽可能就地取材，减少因为建筑材料运输产生的碳足迹；在地基建设时采用均衡的挖填设计施工，挖掘出的土方用于建设都市原生林。都市原生林面积约 2，000 平方米，其中包括 40 多种共 135 棵原生树，可为野生物种提供食物和生活场所。

场地设计及建筑广泛采用了木材、金属、钛砖和玻璃等循环再用材，使用低碳排放的主要建筑用料如混凝土、砖石和木材等。绿色家居舒适的内部装饰使用可持续材料如竹地板、由香蕉树纤维组织制成的木皮等。

建筑周围的路面采用环保铺路砖，钛砖有去除空气中污染物的作用，从而减缓空气污染。回收工地拆卸的建筑废料作石笼围墙的内部核心，用作以保留园境区范围的泥土。

(2) 建筑规划与空间布局

“建造业零碳天地”最大化地利用自然条件，尽可能减少能源消耗，较采用同类建筑节省多达 20% 的能源。

26. 建造业零碳天地 . 建造业零碳天地 - 设计策略 [EB/OL]. [2021-08-03]https://zcp.cic.hk/chi/active-systems.

零碳天地主立面朝向东南，可更有效利用夏季的盛行风。在建筑内部，零碳天地采用对流通风设计，可减低香港潮湿天气带来的影响，为建筑物使用者打造更舒适的环境。

建筑物屋顶中心设有“捕风器”和地中预冷管，前者借由屋顶通风口较室内大的风力，将空气由上而下引进室内，令室内保持清凉；后者在制冷机操作时，提供自然预冷的空气，减少制冷时的能源负荷和使用量。



图 8 地中预冷管 [27]

在光线利用方面，零碳天地将建筑的东南和西北立面安装了反光板，不仅能为近窗位置遮阳，还能将日光反射至离窗户较远的地方。此外，在建筑物中心的屋顶装有导光管，可透过圆顶采集日光，用作照明室内较暗的位置。

零碳天地本身还采取一系列隔热措施，如可反射热能的可调节式窗帘、隔热屋顶、高性能玻璃幕墙、遮阳设施等，减低使用空调和照明系统的需要，较同类建筑节省多达 20% 的能源。

在生态与水循环系统方面，建筑内的环保厕所采用低流量洁具、中水回收系统、厕所水循环再用处理系统、无水小便斗等，可大幅减少用水量。建筑中的原生植物配有雨水收集及节水型灌溉系统，以减少灌溉用水。人工湿地系统的地下水流与景观植物结合，透过植物的根茎处理洗盥废水和雨水。

（3）使用可再生能源

零碳天地通过太阳能光伏板，及利用废置食用油制成生物燃料的三联供系统，产生可再生能源。



图 9 导光管 [28]

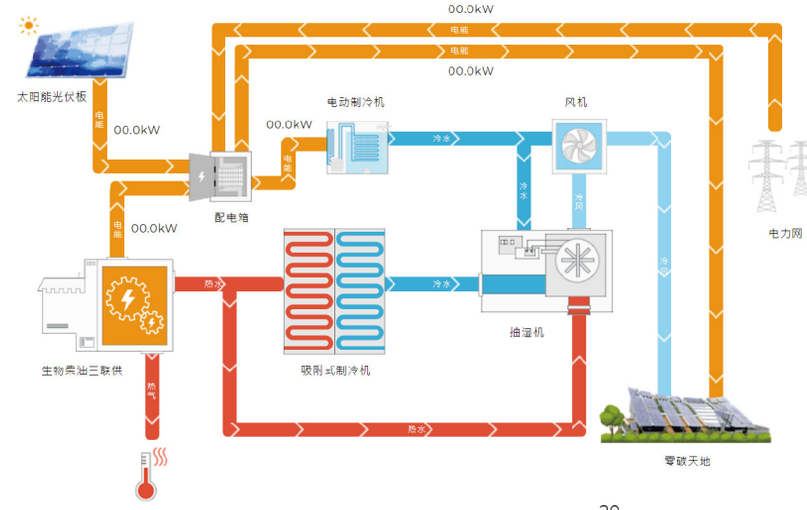


图 10 建造业零碳天地能源系统 [29]

27. 建造业零碳天地 . 设计策略 - 被动式设计 .[EB/OL]. [2021-08-12]. https://zcp.cic.hk/chi/passive-design
28. 建造业零碳天地 . 设计策略 - 被动式设计 .[EB/OL]. [2021-08-12]. https://zcp.cic.hk/chi/passive-design
29. 建造业零碳天地 . 零碳建筑如何运作？ [EB/OL]. [2021-08-12]. https://zcp.cic.hk/chi/how-the-building-works

案例九：台北陶朱隐园——绿色装配式建筑新地标[30]

具有钢结构和预制部品部件、在工地拼装而成的建筑，即为装配式建筑。装配式建筑具有成品性、批量化、易操作、工期短、可复制等优点，是建筑学朝着工业化科技化发展的重要方向。同时，装配式建筑也因其绿色、节能和环保等特性，在城市建设中广受青睐，并得到政策的大力扶持。研究表明，装配式建筑的碳排放比传统现浇建筑减少 472.23kg/m^2, 使碳排放量减少 30%-40%，减排效果显著。[31]

位于台北的陶朱隐园则是装配式建筑的典型案例。陶朱隐园是台湾新兴的建筑地标，全部采用钢结构设计，复层楼板区预先以钢筋混凝土制成，现场拼装。陶朱隐园的钢结构具有高延展性、高抗震级别、高防火性能，能够兼顾安全、防灾、环保、科技，以延长的使用寿命落实建筑绿色环保理念。



图 11 台北“陶朱隐园”[32]

陶朱隐园外墙设有保温层，具有良好的保温隔热性能，夏天可降低冷气消耗、冬天可降低对暖气消耗。同时，保温材料具有较好的吸声功能，可减少外界噪音，为室内提供安静的环境。

此外，陶朱隐园的外观如同一座垂直森林，向外界传递“城市之树”的生态理念，并成旋转造型，因而每一户都有可向上无限延伸的大露台，用于种植乔木、灌木等。建筑不仅选择适合本地生长环境的树种，还为增加吸碳量，挑选多种固碳量高的乔木进行栽种。陶朱隐园植物覆盖率高达 246%，二氧化碳年吸收量高达 130 吨。

30. 陶朱隐园 . 设计理念 [EB/OL].[2021-08-09]. http://www.tao-zhu.com.tw/TA_tao-2-cn.html
31. 齐宝库 , 朱娅 , 马博 , 刘帅 . 装配式建筑综合效益分析方法研究 [J]. 施工技术 ,2016,45(04):39-43.
32. 陶朱隐园 . 设计理念 [EB/OL].[2021-08-09]. http://www.tao-zhu.com.tw/TA_tao-2-cn.html

案例十：既有设施零碳化改造方案——青岛奥帆中心零碳社区[33]

青岛奥帆中心零碳社区能源系统深度利用项目是由青岛能源集团与青岛旅游集团携手共建的区域能源项目。利用区域范围内现有、更新和新建的能源转换与利用设备和系统，使各建筑在长期使用过程中，由能源消耗导致的直接碳排放减少，最终实现碳排放强度的下降。

(1) 优化能源结构

青岛奥帆中心零碳社区建立在原有奥帆中心基础上，利用海水源热泵、污水源热泵、风力发电、太阳能光伏发热等清洁能源，对区域范围内 10 座建筑进行一系列能源系统的能效提升改造，奥帆中心零碳社区以详实的调研数据为基础，因地制宜地进行系统更新改造。

此外，奥帆中心还通过城市余热废热的回收利用，为周边楼宇提供区域供热，面积达 2 万平方米。升级后的能源站设备实现了对每栋建筑的能源按需控制，主要升级设备有自控系统、计量系统及其附属管道等。

据计算，园区能源改造项目建成后，能耗降低可达 20% 以上，每年直接减少碳排放可达 8663 吨，相当于种植 173.3 万棵树，有望为零碳城市发展提供可复制、可参考的建设路径。

(2) 智慧能源管理

奥帆中心零碳社区还采用智慧能源管理方式。改造时，利用无人机对奥帆中心实景进行拍摄，完成三维实景精细建模，然后依托大数据、互联网等手段，通过建设区域能源控制平台实施能耗监测、智慧管控，并进行实时大数据分析及可视化展示，从而打造智慧能源控制系统，实现新基建实施清洁能源多能互补及智慧运维。奥帆中心零碳社区能源系统深度利用项目成功中标住房和城乡建设部、联合国开发计划署、全球环境基金“中国公共建筑能效提升项目”2020 年第二批子项目暨“公共建筑能效提升技术示范子项目”，并获联合国开发计划署赠款。

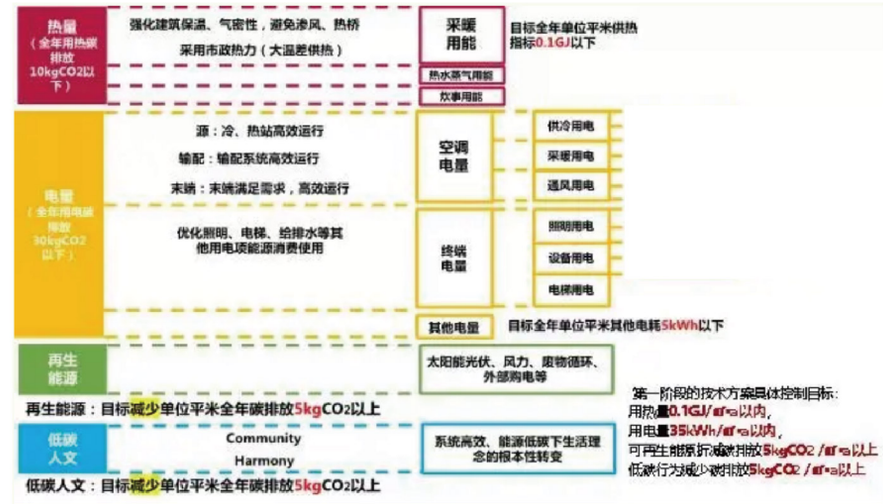


图 12 奥帆中心零碳社区节能改造方案

33. 青岛住房和城乡建设 . 青岛奥帆中心零碳社区——节能低碳技术示范子项目 .[EB/OL].（2021-02-26）/ [2021-08-03]. https://mp.weixin.qq.com/s?subscene=23&__biz=MzIwOTcwMzc2NQ==&mid=2247500400&idx=4&sn=95f4e5417b588caf75a2e4c1e0780637&chksm=976d444aa01acd5c7ffeb28fa388dedadeca49318802d69e94e42446538c2c9e9bec2f302bf3&scene=7&key=4a9928985a55f86b7fef9f73845afeb5b28391b3138a59ad9ac71734defdaf5b4d288b37df8f3032d9000aedc8ead688aa2ee485238f873d4132e850ef65e63a56f2fa593e333996d3e60d6bfebcb9ce9eeba76bb698ec9a06bce13423e11e7b9c942b5ed4d5788a59bc3f5bc99a61731b6b4542f1c84c8241a3e3a428e7d115.&ascene=0&uin=MTI3NDA5MTc0MA%3D%3D&devicetype=Windows+7&version=62090523&lang=zh_CN&exportkey=AUX4guiRqX0nJgq4SNnKPOQ%3D&pass_ticket=OzE8gmS6UlaKD068xg8QrZiCfLxOpTIJXm5QU%2F1gCF59GxFmR9strUh%2B6KRE4aNj&wx_header=0&winzoom=1

3.3 零碳交通

案例十一：柏林欧瑞府零碳科技园—创新产业园区的低碳交通实践[34]

柏林欧瑞府零碳科技园占地 5.5 公顷，有 25 幢建筑，有 150 余家公司和研究机构、近 3500 人入驻。一百多年前，这里是煤气站，拥有当时最前沿的能源技术；在全球零碳转型的今天，园区与施耐德电气联手设计零碳能源发展图景，将零碳能源与技术有机融合，继续引领时代发展潮流。其中，园区内倡导的低碳交通是其一大亮点。



图 13 欧瑞府零碳科技园地图

欧瑞府零碳科技园仅允许使用清洁能源的电动汽车、自行车、行人和应急车辆驶入。带有内燃机、使用传统能源的车辆则不可进入园区，需停放在园区外部停车区域。对于送货车辆，园区设置了专用送货区，以便货车完成装载、卸货等操作。

在自行车使用方面，园区建设有专用的自行车地下车库，并在各个建筑物入口处设置自行车停放点。为方便公众使用自行车前往，一些建筑内部还设有更衣室和淋浴间。

在电动汽车使用方面，园区内设置有德国最大的特斯拉电动汽车租赁中心。充电桩采用简约式设计，省去多余部件，只留下必要的插座，以减少用地，进一步节省空间。充电桩可实现智能充电，充电的时段与功率智能调控，将电网的灵活性发挥至最大化。电动汽车充电桩全部采用清洁能源供电，从根源减少碳排放。

园区还完成了无人驾驶汽车的探索。园区内提供无人驾驶电动小巴士“Olli”，在方便人员出行的同时，黄色小车也成为园区内一道靓丽风景线。同时，园区还配置自动街道清扫车，车辆可在摄像头、传感器和激光扫描仪的帮助下导航。

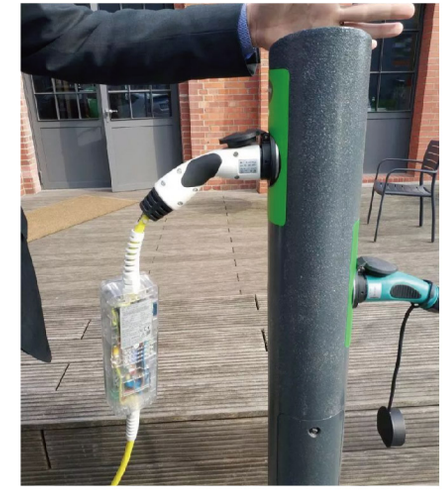


图 14 简约设计的电动汽车充电桩

34. 搜狐网 . 从欧洲首个零碳园区到 100 个零碳城市，施耐德电气的零碳进阶之路 .[EB/OL]. (2021-05-31) / [2021-08-03]. https://www.sohu.com/a/469608521_120163098.

3.4 低碳工业

案例十二：基于基础设施一体化的共生模式

园区建立基础设施之间的共生关系，可以同时解决能源、水和温室气体等问题。如通过在园区内污水处理设施和能源设施之间建立水能结合点，将来自污水处理设施的流出物和污泥在能源设施中重复使用，以节省淡水提取、减少化石燃料的燃烧，同时也可以减少温室气体排放。

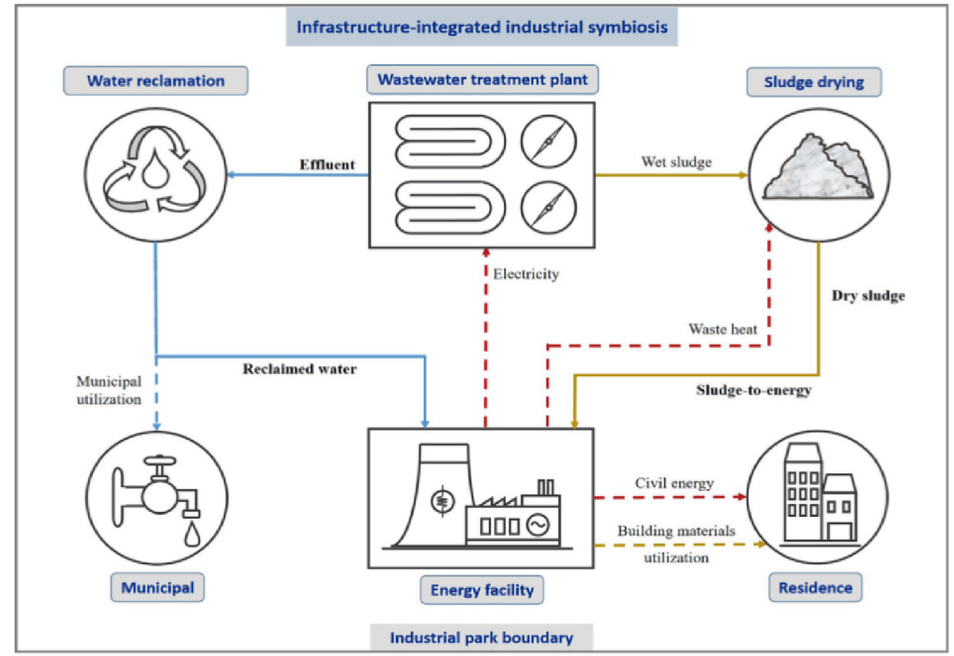


图 16 基于建设设施的园区共生系统[35]

案例十三：产业低碳升级—兰溪经济技术开发区

2014 年 4 月，兰溪市提出要新建零排放、资源高度利用的“碳中和循环经济产业园”，该项目被列为浙江首批碳中和园区规划建设项目之一。“碳中和循环经济产业园”位于老工业园区内的原丰登化工地块，曾被认定为高耗能、高污染的“低效用地”，亟待转型升级。

（一）产业低碳转型

2001 年浙江康恩贝集团将丰登化工整体收购，丰登也从化工品生产企业转型升级成为化工危废处理企业，同时改名为凤登。依靠自主研发的“水煤浆汽化及高温熔融协同处置废物关键技术”，凤登化工充分利用上游化工、制药企业在生产过程中产生的危险固体废弃物，高浓度废弃、氨氮废水等原料，产生出大量碳酸氢氨、液氨、氨水、硼氢化钾等工业原料以及氢气、蒸汽等能源，产生的大量碳酸氢铵供给下游企业，作为锂电池生产过程中的重要原材料，液氨、氨水、硼氢化钾将作为上游化工企业的原材料被重新利用。

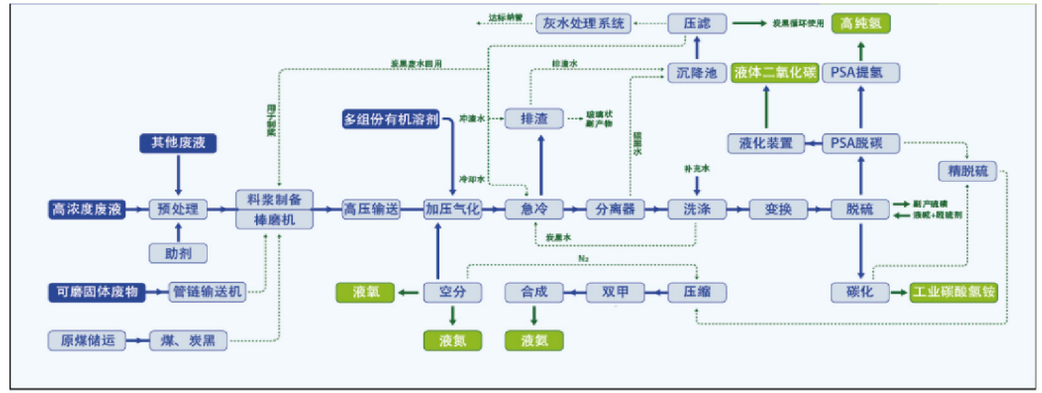


图 17 水煤浆气化及高温融熔协同处置技术示意图[36]

35.Wanqiu Hu et al. Energy and water saving potentials in industrial parks by an infrastructure-integrated symbiotic model, Resources, Conservation and Recycling, Volume 161, 2020,

36. 中国环境报 . 工业废液变身再生原料—凤登环保助力绍兴“无废城市”建设［EB/OL］.（2020-09-22）/[2021-08-03].https://www.cenews.com.cn/pollution_ctr/xydt/202009/t20200922_959311.html.

（二）零碳策略

2020 年，凤登公司利用新技术产出了 7000 万方氢气（绿氢）和 500 万方蒸汽，氢气燃烧后所产生的水蒸气可以和蒸汽一起用作动力或用作余热发电。经测算，如将产出的氢气和蒸汽完全利用，园区还有 28 兆瓦的用能缺口需要外部能源供给。因此，园区决定利用近千亩的土地和平整的厂房屋顶发展分布式光伏发电。届时光伏发电产生的电能除满足园区使用外，年均还可向外界输送电能 5000 万千瓦时。

园区还与国网兰溪市供电公司签订了“多重耦合能源合同管理模式”。凤登公司可以在用能高峰时期选择向供电公司“零息贷款”一部分电能，等到企业生产出蒸汽或者氢气时，再通过发电的形式，将暂时用不掉的能源转化成电能重新并网，把之前所借电量还清。同时，园区内的其他企业也可以在供电公司的指导下，向凤登公司购买“氢电”和“汽电”，实现清洁能源的就地消纳。供电公司还将给园区内的每个企业建立“碳账户”，碳账户将通过智能服务凭条，实时采集厂区、流水线和设备等能耗数据，开展碳排放监测核算、用能环节、能源自给能力、能耗强度、能效水平的分析，实现对企业碳排放达标、电气化率、清洁化率、度电经济进行能效体检。供电公司将根据“碳账户”提供的数据，对企业进行评级，并联合政府部门根据评级制定惠企政策力度的大小。

3.5 零废弃

案例十四：同煤集团塔山循环经济园区—延长煤炭产业链条[37]

同煤集团塔山工业园位于山西省大同市，拥有世界上最大的单井口井工矿井——塔山煤矿，年产量可达 1500 万吨。在煤矿开采基础上，塔山工业园延伸“煤——电——建材”、“煤炭——化工”两条产业链，将 21 个项目有序链接，上游企业的废弃物和副产品成为下游企业的原材料，形成资源——产品——废弃物——再生资源反馈式循环经济模式。2011 年，园区被确定为“中国循环经济典型模式案例”、“国家首批矿产资源综合利用示范基地”。

(1) 延长产业链条

为进一步提高煤炭附加值，塔山循环经济园区推动煤炭资源的深度转化，积极培育现代煤化工产业。目前，已投资建成了产量为 10 万吨 / 年的煤基活性炭项目和产量为 60 万吨 / 年的煤制甲醇项目。当前，园区还在通过建设烯烃项目，进一步延伸甲醇产业链。 3 个煤化工项目全部投产后可转化煤炭约 500 万 t/a，使得煤炭作为工业原料得到了更为充分、有效的利用。

(2) 固体废物资源化利用

塔山煤矿开采和利用中产生的副产品包括煤矸石、粉煤灰等。当前，塔山工业园区主要采用煤矸石制砖、粉煤灰制砖的手段，不仅较好地解决了 90% 废弃物堆放和填埋所引起的环境问题，也创造了不菲的经济价值。

此外，塔山煤矿的煤矸石中富含极具经济价值的高岭岩，经筛选、磨细、干燥、锻烧和改性后，得到的高岭土可广泛用于橡胶、涂料、造纸、电缆、化妆品、陶瓷以及医药等领域及行业，从而形成“煤矸石 - 高岭岩 - 高岭土”市场产业链。经测算，这一项目直接创效可达亿元。

(3) 废水处理

塔山工业园的生产过程中产生大量矿井水、工业污水和生活污水。矿井水进入矿井水处理站，经过化学混凝处理，用于选煤厂生产补水和井下洒水。工业污水和生活污水进入污水处理厂，处理后的水质达到国家 A 级排放标准，全部回收复用，可用于电厂冷却水、矿区生活、消防及绿化浇灌。选煤过程中产生的煤泥水及厂房内产生的各种废水，进入高效浓缩机进行沉淀，处理后的水返回主厂房循环使用，可用于绿化和消防，形成废水 - 净化 - 工业用水 - 生活用水产业链，实现污水闭路循环，提高水资源的综合利用率。

37. 李洁 . 塔山循环经济园区产业链构建及启示 [J]. 中国煤炭 ,2021,47(02):83-88.

案例十五：迪士尼厨余垃圾发电——打造闭环生态系统[38]

迪士尼作为全球知名游乐园，全年游客量占据全球主题公园集团游客量排行榜榜首。巨大的游客量不仅为迪士尼带来了人气与收益，也为它带来了繁重的垃圾处理压力。

针对游客就餐而产生的大量厨余垃圾处理，美国奥兰多迪士尼乐园选择与其临近的清洁技术初创公司 Harvest Power 进行合作，以“将浪费转为财富”为目标，将其部分餐厅所产生的包括油脂、剩菜等在内的厨余垃圾加以厌氧消化处理，用以生产沼气（即二氧化碳和甲烷的混合物），并进一步进行发电。据了解，通过厨余垃圾处理，Harvest Power 可每日发电 5.4 MW，用于供给迪士尼乐园部分电力，并售往弗洛里达州中部以谋取收益。针对剩余的产品残渣，Harvest Power 选择将其加工成化肥并进行售卖以谋取进一步收益。



案例十六：卡伦堡生态园——打造共生的工业生态系统

1959 年，丹麦油气集团在卡伦堡建设煤电厂。为了向欧洲中心地带输送电力，丹麦油气集团需燃烧大量煤炭，同时带来严重的空气污染。为改善空气质量，1972 年，油气集团与一家建材厂签订余热利用协议，之后逐渐与制药厂、炼油厂、石膏板生产厂、地方政府、其他类型产业等签订相关协议，使得其所在园区逐步发展为一个包含三十余条生态产业链的循环型产业园区，成为了世界上最生态的工业园区之一。

具体来看，卡伦堡生态园以发电、炼油、制药、石膏四大产业为核心，依据其实际副产品处理需求及生产原料需求建立园区企业准入标准，拟定收受条约，对园区进行自我管理，不仅大大提高了物质代谢与能量流动效率，也降低了政府管理成本。此外，其清洁生产与公共开放也拉近了与居民及政府关系，实现了企业、政府、公众有机产业链的建设。

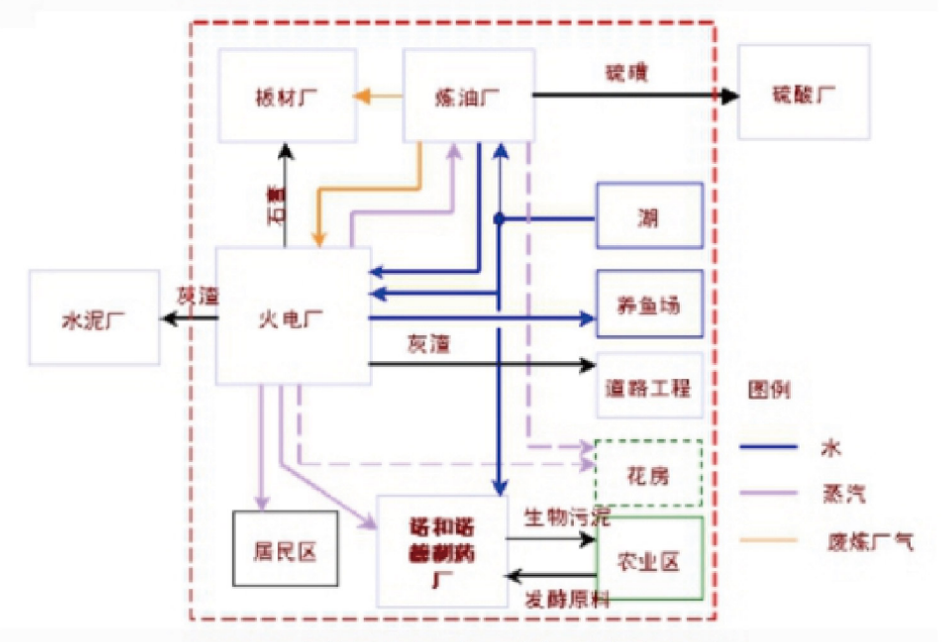


图 18 卡伦堡生态工业园企业内部运行机制

38.Waste Management World. Disney to Use Harvest Powers New 5.4 MW Food Waste to Biogas AD Plant in Florida. [EB/OL]. (2014-02-28)/ [2021-08-03]. https://waste-management-world.com/a/disney-to-use-harvest-powers-new-54-mw-food-waste-to-biogas-ad-plant-in-florida..

案例十七：德国 Höchst 循环经济园[39]

Höchst 循环经济工业园位于德国法兰克福，始建于 1863 年，后经改造，成为一个创新化学和制药基地，吸引了约 90 家企业入驻。园区拥有一套完善的废弃物回收、污水处理、沼气发电的设施，并提供全生命周期的评估与管理。通过该设施的使用，园区内污水、污泥得到有效的回收利用和处理，污泥年处理能力达到 31 万吨；该设施还可实现热电联产，为园区内提供清洁、可再生的电力和热力，并且向园区外部输出沼气资源。此外，园区还在为初创科技公司提供场地支持，鼓励在现有资源和废弃物处置的基础上发展创新科技。

在建设整套系统前，园区需要进行一系列的准备工作，包括从源头收集废弃物、提前测试系统消纳能力、管理废弃物处理流程（废物消纳产生沼气用于热电联产、废渣用于焚烧和压缩、废液送往水处理站），以及为园区内企业分配能源、蒸汽和生物甲烷。

Höchst 工业园的废弃物回收处置系统使园区内企业的用能成本降低，从而间接降低生产成本，使企业更具竞争力，同时减少环境和碳足迹。

此外，园区也在积极发展同政府、周边地区的伙伴关系，并探索园区边界之外的废弃物协同处置路径，从而获得质量和数量更加稳定的废弃物原材料，以确保和扩大可再生能源的规模。

同时，园区也进行了一系列制度方面的探索，一方面出台相应激励政策，鼓励园区内企业回收废弃物及使用清洁能源的行为，促进其循环化、清洁化改造；另一方面，园区还推进政府在废弃物处置方面的立法和标准制定，例如对于先进者和反面典型的奖惩措施，从而将激励循环经济管理方式的推广与应用。

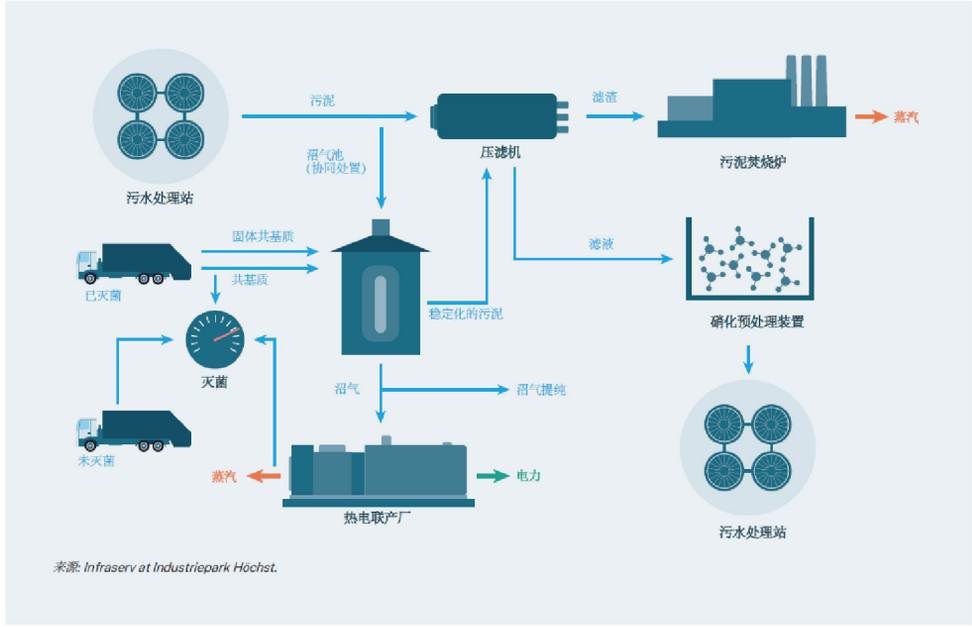


图 19 园区沼气发电流程图

39.Circular Economy in Industrial Parks: Technologies for Competitiveness [R] Washington DC: World Bank Group, 2021-04: 65

3.6 零碳管理

案例十八：苏州工业园区—低碳管理先行者

早在 1994 年 2 月批准成立，是国家级经济技术开发区、国家级高新技术产业开发区，多年来一直被誉为中国改革开放的重要窗口与国际合作的成功案例。园区自开发建设以来，就坚持走环保优先、绿色发展道路，园区环境也不断提升。自 2008 年起，苏州工业园区先后被评为国家生态工业示范园区、国家低碳工业园区试点园区、国家循环经济试点园区、国家绿色园区等。在低碳管理方面，苏州工业园区探索出一套行之有效的独特法则。

（1）产业低碳化转型

苏州工业园区以产业低碳化作为低碳建设的重点，通过能效评估、节能改造、能源管理等手段，加快工业企业低碳转型。在制造业企业能效水平评估工作方面，园区完成包括对企业、行业和园区三个层面能效水平的综合性评估分析报告；在低碳改造方面，园区推动重点用能企业开展清洁生产审核、完成能源管理体系建设、企业节能低碳化改造项目申报等；在考核评估方面，园区推行温室气体排放报告制度、开展重点用能单位节能低碳考核工作，制订相应的考核管理办法和相应的评分标准。

（2）实行低碳考核

园区制定了《苏州工业园区节能降耗、低碳发展行动计划》、《苏州工业园区节能循环低碳发展专项引导资金管理办法》等政策，将各项节能低碳管理的具体工作分解落实到各责任单位。实施问责和表彰奖励制度，对在节能目标责任考核中等次为“完成”或“超额完成”的单位给予通报表扬，在年度单位和个人评先中优先考虑。

（3）发展“低碳节能贷”等融资创新

园区制定发布了《苏州工业园区“低碳节能服务贷”风险补偿资金管理办法》，在江苏省范围内首创了总额为一千万元的“低碳节能贷”风险补偿资金池，通过银行信贷资金放大，可为园区低碳节能服务单位提供最高达一亿的银行信贷支持，解决了一直困扰低碳节能服务企业发展“融资难”的问题。[40]

（4）调动公众参与

在公民参与、打造社群方面，苏州工业园区也探索出一套环境社会治理的“苏州模式”。多年来，园区不仅大力推进生态环境教育，推广倡导建设绿色低碳社区，利用“跳蚤市场”、“邻里互助广场”、“无车日接力”等活动推动公民了解低碳、参与环保，并且还在全国制定了首个绿色低碳社区评价标准，率先成立社区环境管理自治机构。[41]



40. 绿色制造数据库 . 国家低碳工业园区典型案例之四：苏州工业园区 [EB/OL]. (2017-06-14)/ [2021-08-03].http://www.gmpsp.org.cn/portal/article/index/id/620/cid/29.html.

41. 苏州工业园区管委会 . 走最绿的路 , 建最美的城——苏州工业园区绿色发展 25 周年纪实 .[EB/OL]（2019-04-12）/ [2021-08-03].

案例十九：天津经济技术开发区—低碳管理能力提升

天津开发区通过大力推动园区内能耗在 1000 吨标煤以上的企业自主编制企业碳盘查报告，并帮助企业发现低碳发展潜力，不断提升园区低碳发展的水平。开发区还与内重点用能单位签订技节能目标责任书，对符合园区节能降耗鼓励名录的节能项目予以鼓励。此外，园区搭建了低碳发展信息交流平台，定期发布节能低碳技术解决案例，提供清洁能源及技术转移交流合作平台，促进园区拓展与清洁技术相关的对外合作伙伴关系。

3.7 CCUS

案例二十：英国 Humber 工业区[42]

位于英国的 Humber 零碳工业集群由英国 SSE 电力公司等十余家工业公司共同发起，致力于发展氢能 + 碳补集与封存（CCS），于 2040 年前实现碳中和。

研究表明，单独建立 CCS 系统成本高昂；而作为氢能配套设施建设，不仅成本降低，也能为未来氢能产业发展提供辅助保障。[43]同时，布局氢能也是助力能源转型、走向碳中和的有力举措。零碳 Humber 工业园将建立整套 CO_2 运输管道及氢气储运设施，帮助园区内各个工业相继实现碳减排，从而加快园区整体碳中和进程。此外，新建的氢能管道将连接起一系列氢能基础设施，如氢气加注、储运站等。氢能的广泛使用也将带动原材料氢的需求增长，也为园区外部氢能布局提供便利。

英国国家电网风险投资公司正在设计和研发 CO_2 和氢气运输管网，并串联起碳排放密集型工业园和氢能基础设施。园区通过管道从工业现场大规模收集 CO_2，在专门的站点进行压缩，最终输送至北海南部海底永久存储。

园区还利用 BECCS 技术，即利用生物能源进行小规模碳捕集和固定。据估计，该技术将在 2020 年实现规模化生产，应用 BECCS 的电厂成为世界上第一个负碳排放电厂。BECCS 的负碳排放效果将抵消园区内难以减碳的工业排放，从而助力园区更快实现碳减排。

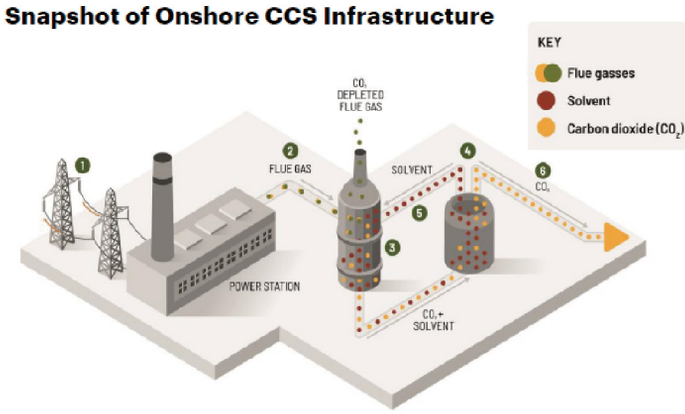


图 20 工业园 CCS 流程[44]

1. 发电并网
2. 含二氧化碳的烟气由发电过程分离、冷却及处置
3. 利用溶剂从吸收塔烟气中提取 CO_2，排放剩余不含 CO_2 的烟气
4. 锅炉加热含 CO_2 的溶剂，使 CO_2 溢出并分离
5. 回收溶剂碳捕集系统进行再利用
6. 管道运输 CO_2 至北海，并永久储存

据估计，该项目最终将提供 33000 个就业岗位，吸引约 40 亿英镑的投资，并可以每年减少 1000 万吨的碳排放。

42. 二氧化碳捕集与封存技术国家地方联合工程研究中心 . 英国政府资助开发“CCS+ 制氢产业集群” - 二氧化碳捕集与封存技术国家地方联合工程研究中心 [EB/OL]. (2020-04-24)/ [2021-08-03].https://ccus.nwu.edu.cn/info/1011/1338.htm.

43.Christopher J. 2020. The value of hydrogen and carbon capture,storage and utilisation in decarbonising energy: Insights from integrated valuechain optimization[J]. Applied Energy. 2020(257): 113936.

44.Industrial Clusters: Working together to achieve net zero. [R] Accenture. 2021：29

附录 1：法律法规及政策标准文件

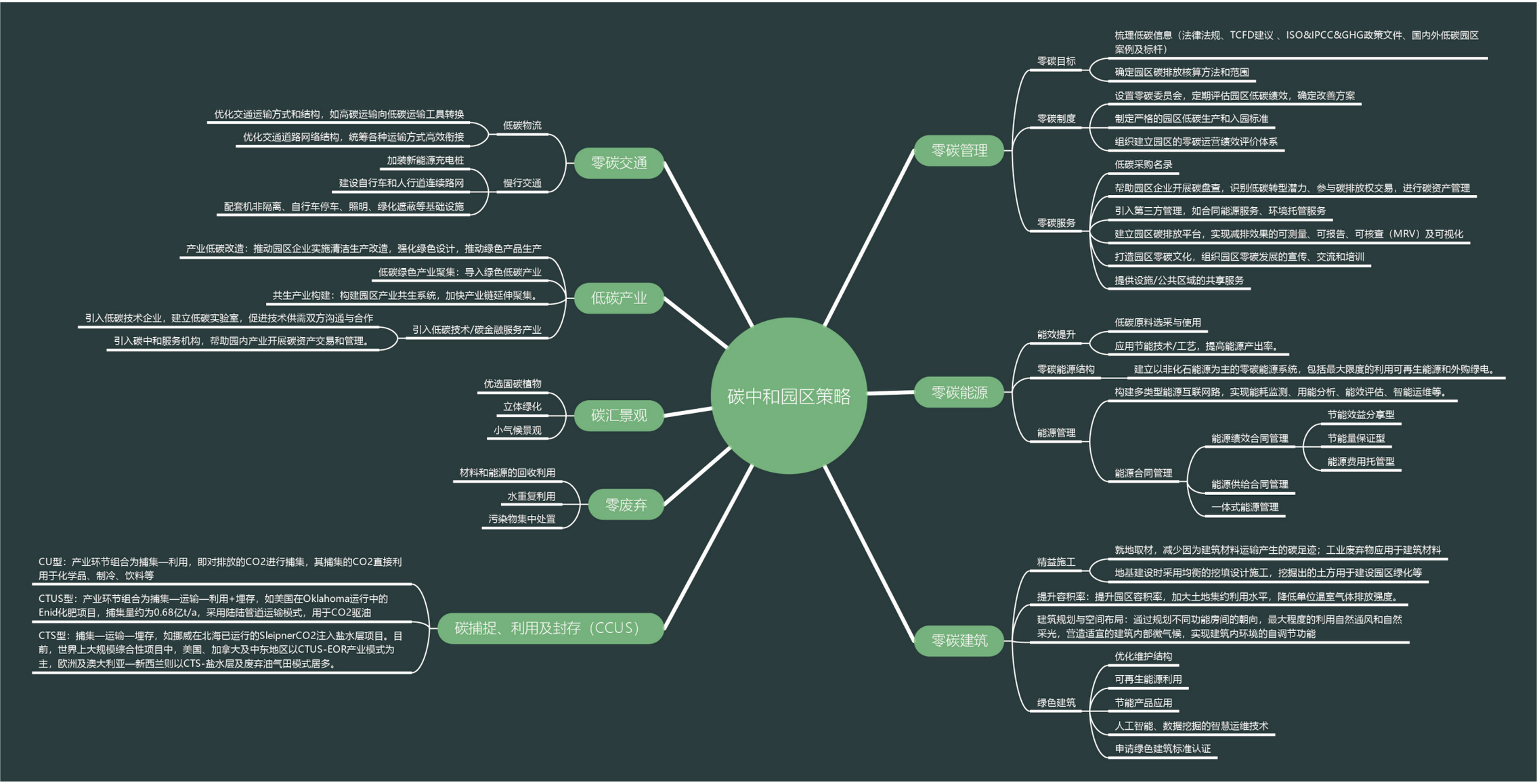
政策名称	发布机构
国家政策	
《工业领域应对气候变化行动方案（2012 - 2020年）》（工信部联节〔2012〕621号）	工业和信息化部
《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》（发改气候〔2012〕1668号）	发展改革委
《工业和信息化部 发展改革委关于组织开展国家低碳工业园区试点工作的通知》（工信部联节〔2013〕408号）	工业和信息化部、发展改革委
《“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知》（国发〔2016〕61号）	国务院
《城市适应气候变化行动方案》（发改气候〔2016〕245号）	发展改革委住、房城乡建设部
《智能光伏产业发展行动计划》（工信部联电子〔2018〕68号）	工业和信息化部、住房和城乡建设部、交通运输部、农业农村部、国家能源局、国务院扶贫办
《大型活动碳中和实施指南（试行）》（公告 2019年 第19号）	生态环境部
《工业领域电力需求侧管理工作指南》（工信部运行〔2019〕145号）	工业和信息化部
《绿色产业指导目录（2019 年版）》（发改环资〔2019〕293号）	发展改革委、工业和信息化部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、中国人民银行、国家能源局
《国务院关于促进国家高新技术产业开发区高质量发展的若干意见》（国发〔2020〕7号）	国务院
《关于营造更好发展环境支持民营节能环保企业健康发展的实施意见》（发改环资〔2020〕790号）	发展改革委
《2019-2020 年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案（发电行业）》（国环规气候〔2020〕3号）	生态环境部
《关于促进应对气候变化投融资的指导意见》（环气候〔2020〕57号）	生态环境部、国家发展和改革委员会、中国人民银行、中国银行保险监督管理委员会、中国证券监督管理委员会
《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》	——
《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》（环综合〔2021〕4号）	生态环境部

地方政策	
《北京市装配式建筑、绿色建筑、绿色生态示范区项目市级奖励资金管理暂行办法》（京建法〔2020〕4号）	北京市住房和城乡建设委员会
北京市《园区低碳运行管理通则》（DB11/T 1531-2018）	北京市质量技术监督局
《上海市建筑节能和绿色建筑示范项目专项扶持办法》（沪住建规范联〔2020〕2 号）	上海市住房城乡建设管理委、上海市发展改革委、上海市财政局
《上海市工业节能和合同能源管理项目专项扶持办法》（沪经信法〔2017〕220号）	上海市经济和信息化委员会
（沪发改环资〔2021〕77号）	上海市发展和改革委员会
《浙江省应对气候变化“十四五”规划》（浙发改规划〔2021〕215号）	浙江省发展和改革委员会、浙江省生态环境厅
《关于完善重庆市绿色建筑项目资金补助有关事项的通知》（渝建发〔2017〕30号）	重庆市城乡建设委员会、重庆市财政局
《山东省省级建筑节能与绿色建筑发展专项资金管理办法》（鲁财建〔2016〕6号）	山东省财政厅、山东省住房和城乡建设厅
《江苏省绿色建筑发展专项资金管理办法》（苏财规〔2019〕14号）	江苏省财政厅、江苏省住房城乡建设厅
《吉林省建筑节能奖补资金管理办法》（吉财建〔2021〕514号）	吉林省财政厅、吉林省住房和城乡建设厅
《确保完成“十四五”能耗双控目标任务的若干保障措施》（内发改环资字〔2021〕209号）	内蒙古自治区发展和改革委员会、内蒙古自治区工业和信息化厅、内蒙古自治区能源局
《低碳工业园区评价指南》SZDB/Z308-2018	深圳市市场监督管理局
《关于印发山西转型综改示范区绿色建筑扶持办法(试行)的通知》（SFQG-2019-03）	山西转型综合改革示范区管理委员会
《关于印发山西转型综改示范区装配式建筑扶持办法（试行）的通知》（SFQG-2019-04 ）	山西转型综合改革示范区管理委员会
《战略性新兴产业电价机制实施方案》	山西省能源局、山西省工业和信息化部等四部
《山西省风电装备制造业发展三年行动计划（2020-2022年）》（晋工信装备字〔2020〕216号）	山西省工业和信息化厅
《山西省光伏制造业发展三年行动计划（2020-2022年）》（发布时间：2020.12.11）	山西省工业和信息化厅

附录 2：相关报告及工具包

工具名称及发布组织	工具类型	使用范围
TCFD：气候相关财务揭露建议	报告	企业及相关利益方
国务院：《新时代的中国能源发展白皮书》	报告	国家、城市
发展和改革委员会：《国家重点推广的低碳技术目录》	技术目录	园区、企业
中国质量认证中心：广东省近零碳排放区示范工程关键性支撑研究报告	报告	园区、企业
蔚蓝地图：中国企业温室气体排放核算平台	网站平台	行业企业
可持续发展社区协会：低碳园区发展指南	指南	园区及政府
清华大学气候变化与可持续发展研究院：应对气候变化的基于自然的解决方案全球案例	案例	国家、城市、企业
联合国全球契约组织：企业碳中和路径图——落实巴黎协定和联合国可持续发展目标之路	报告	行业企业
国家工业和信息化部：国家低碳工业园区典型案例	案例	园区
ISO：50001	标准	园区、企业
中国科技产业化促进会：《智慧零碳工业园区设计和评价技术指南》	指南	园区
世界银行：Circular Economy in Industrial Parks: Technologies for Competitiveness	报告	园区
贝丁顿：BedZED: Toolkit Part IIA practical guide to producing affordablecarbon neutral developments	报告	园区
世界经济论坛：Net Zero Carbon Cities:An Integrated Approach	报告	城市、企业
Scottish Power: Zero Carbon Communities	报告	城市、社区
世界经济论坛：Net Zero Carbon Cities:An Integrated Approach	报告	园区、企业
全球碳捕集与封存研究院：全球碳捕集与封存现状2020	报告	城市、园区、企业
生态环境部环境规划院：中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2021）—中国CCUS路径研究	报告	国家、城市、企业
科技部：《中国碳捕集利用与封存技术发展路线图（2019 版》	报告	国家、城市
PKPM：MOOSAS软件	软件	园区、企业
落基山研究所：近零碳排放示范区—政策路线图与案例分析研究报告	报告	国家、城市、园区

附图 3: 园区碳中和策略


碳中和园区策略
零碳管理
零碳目标
梳理低碳信息（法律法规、TCFD建议 、ISO&IPCC&GHG政策文件、国内外低碳园区案例及标杆）
确定园区碳排放核算方法和范围
零碳制度
设置零碳委员会，定期评估园区低碳绩效，确定改善方案
制定严格的园区低碳生产和入园标准
组织建立园区的零碳运营绩效评价体系
零碳服务
低碳采购名录
帮助园区企业开展碳盘查，识别低碳转型潜力、参与碳排放权交易，进行碳资产管理
引入第三方管理，如合同能源服务、环境托管服务
建立园区碳排放平台，实现减排效果的可测量、可报告、可核查（MRV）及可视化
打造园区零碳文化，组织园区零碳发展的宣传、交流和培训
提供设施/公共区域的共享服务
零碳能源
能效提升
低碳原料选采与使用
应用节能技术/工艺，提高能源产出率。
零碳能源结构
建立以非化石能源为主的零碳能源系统，包括最大限度的利用可再生能源和外购绿电。
能源管理
构建多类型能源互联网路，实现能耗监测、用能分析、能效评估、智能运维等。
能源合同管理
能源绩效合同管理
节能效益分享型
节能量保证型
能源费用托管型
能源供给合同管理
一体式能源管理
零碳建筑
精益施工
就地取材，减少因为建筑材料运输产生的碳足迹；工业废弃物应用于建筑材料
地基建设时采用均衡的挖填设计施工，挖掘出的土方用于建设园区绿化等
提升容积率：提升园区容积率，加大土地集约利用水平，降低单位温室气体排放强度。
建筑规划与空间布局：通过规划不同功能房间的朝向，最大程度的利用自然通风和自然采光，营造适宜的建筑内部微气候，实现建筑内环境的自调节功能
绿色建筑
优化维护结构
可再生能源利用
节能产品应用
人工智能、数据挖掘的智慧运维技术
申请绿色建筑标准认证
碳捕捉、利用及封存（CCUS）
CU型：产业环节组合为捕集—利用，即对排放的CO2进行捕集，其捕集的CO2直接利用于化学品、制冷、饮料等
CTUS型：产业环节组合为捕集—运输—利用+埋存，如美国在Oklahoma运行中的Enid化肥项目，捕集量约为0.68亿t/a，采用陆陆管道运输模式，用于CO2驱油
CTS型：捕集—运输—埋存，如挪威在北海已运行的SleipnerCO2注入盐水层项目。目前，世界上大规模综合性项目中，美国、加拿大及中东地区以CTUS-EOR产业模式为主，欧洲及澳大利亚—新西兰则以CTS-盐水层及废弃油气田模式居多。
零废弃
材料和能源的回收利用
水重复利用
污染物集中处置
碳汇景观
优选固碳植物
立体绿化
小气候景观
低碳产业
产业低碳改造：推动园区企业实施清洁生产改造，强化绿色设计，推动绿色产品生产
低碳绿色产业聚集：导入绿色低碳产业
共生产业构建：构建园区产业共生系统，加快产业链延伸聚集。
引入低碳技术/碳金融服务产业
引入低碳技术企业，建立低碳实验室，促进技术供需双方沟通与合作
引入碳中和服务机构，帮助园内产业开展碳资产交易和管理。
零碳交通
低碳物流
优化交通运输方式和结构，如高碳运输向低碳运输工具转换
优化交通道路网络结构，统筹各种运输方式高效衔接
慢行交通
加装新能源充电桩
建设自行车和人行道连续路网
配套机非隔离、自行车停车、照明、绿化遮蔽等基础设施

Industrial Parks Towards Carbon Neutralization

科城环境
COSHARE ENVIRONMENT

Maker Sustainability Consulting