

传统资源型产业园区“碳中和”实现路径研究

——以山西省应县经济开发区为例

□ 潘悦, 朱雪莹, 程超, 孙丛毅

【摘要】传统资源型产业园区普遍存在“高排放”与“低碳转型”的博弈困境, 响应并落实“双碳”战略目标是园区高质量发展的必经之路。界定传统资源型产业园区的概念及其实现“碳中和”的重点与难点, 基于对国内外产业园区的生态化、低碳发展经验研究, 综合运用综合评价法、熵权法和能源参数模型等方法, 提出构建传统资源型产业园区“碳中和”评价体系与“碳中和”实现路径, 路径包含3个方面: 采用绿色低碳发展模式、开展产业集聚及生态产业链设计、优化绿色建设方式, 并以山西省应县经济开发区为例进行实证研究。

【关键词】产业园区; 传统资源型; 碳中和; “双碳”战略

【文章编号】1006-0022(2023)06-0099-07 **【中图分类号】**TU984 **【文献标识码】**B

【引文格式】潘悦, 朱雪莹, 程超, 等. 传统资源型产业园区“碳中和”实现路径研究: 以山西省应县经济开发区为例[J]. 规划师, 2023(6): 99-105.

Realizing "Carbon Neutrality" in Traditional Resource-based Industrial Parks: The Case of Economic Development Zone in Ying County, Shanxi Province/PAN Yue, ZHU Xueying, CHENG Chao, SUN Congyi

Abstract Traditional resource-based industrial parks generally face the contradiction between "high emissions" and "low-carbon transformation", and it is necessary for the parks to implement "carbon peaking and carbon neutrality" strategy goals. The concept of traditional resource-based industrial parks is defined, and the key points and difficulties in realizing "carbon neutrality" are studied. Based on the research of the ecological and low-carbon development experience of industrial parks at home and abroad, and using the methods of comprehensive evaluation, entropy weight, and energy parameter modelling, the "carbon neutrality" evaluation system and path framework of traditional resource-based industrial parks are proposed, which includes formulating a green and low-carbon development model, carry out industrial agglomeration and ecological industry chain design, and optimizing green construction methods. The methods are practiced in the case of the economic development zone of Ying county in Shanxi province.

Key words industrial park; traditional resource-based; carbon neutrality; "carbon peaking and carbon neutrality" strategy

0 引言

为应对温室气体过度排放引起的全球气候变暖, 我国在第75届联合国大会上提出了在2030年前实现“碳达峰”, 2060年前实现“碳中和”的宏大目标^[1]。这一战略目标为我国未来经济发展的高度与生态环境整治的力度定下了标准, 成为全国各地各个领域发展的方向指南。高能耗、高污染、高排放的传统资源型产业园区不仅是我国工业经济产值的主要贡献者, 还是实现“碳中和”目标的重点攻坚对象。目前, 我国学界对传统资源型产业园区的低碳研究主要集中在研究对象、评价方法、规划策略等方面, 关于如何实现“碳中和”的规划路径及其治理手段研究仍处于初始阶段^[2]。

源型产业园区的低碳研究主要集中在研究对象、评价方法、规划策略等方面, 关于如何实现“碳中和”的规划路径及其治理手段研究仍处于初始阶段^[2]。

1 传统资源型产业园区概念辨析、低碳转型相关政策与国内外实践

1.1 概念界定与相关政策梳理

1.1.1 传统资源型产业园区界定与概念辨析

资源型产业是以自然资源开发利用为基础, 以消

【基金项目】 国家自然科学基金项目(52278076)、武汉工程大学第十三届研究生教育创新基金项目(cx2021145)

【作者简介】 潘悦, 华中科技大学公共管理学院博士后, 武汉工程大学城乡规划系教授。

朱雪莹, 武汉工程大学城乡规划系硕士研究生。

程超, 通信作者, 注册城乡规划师, 华中师范大学公共管理学院博士研究生。

孙丛毅, 武汉工程大学城乡规划系硕士研究生。

耗资源促进生产加工为纽带,实现自身发展的劳动密集型产业^[3],典型代表行业主要有钢铁冶炼、纺织服装、汽车制造、机械制造、煤炭矿采业、代加工等。根据 CEAD 数据,我国不同行业及其生产环节的碳排放强度可分为轻碳排放、中碳排放和重碳排放 3 个级别^[4],而传统资源型产业园区在加工、生产环节普遍表现出中、高碳排放强度和高耗能特征。

传统的资源型产业园区以资源型产业为主导类型,经济效益与环境效益较低,单向产业链的空间集聚特征明显^[5],园区的高消耗、低利用、乱排放运行方式往往伴随着产量过剩、产能不足、产业链条较短及更新迭代慢等现象。将“节能减排”作为园区转型升级的总体目标,实质是推进园区科技创新并优化产业结构与空间建设方式,以应对当下高能源消耗与高排放的现实困境。

1.1.2 传统资源型产业园区低碳转型发展的相关政策

2005 年,《巴黎协定》提出全球应对气候变化的初步安排;2007 年,在印度尼西亚巴厘岛举行的联合国气候变化大会通过了“巴厘路线图”,促进全球达成“零碳行动”共识;2021 年,不丹和苏里南已率先完成“碳中和”任务,各国在促进环境可持续发展上也均有所行动。为响应全球“双碳”目标,我国重塑了“低碳生态”发展理念的顶层设计,并相继颁布绿色低碳循环的相关政策,现已形成囊括低碳概念、循环经济、产业体系、节能排放等内容的相关政策。我国各级政府为落实中央部署要求,制定了实现碳排放达峰的具体行动计划,建设了多批试点分类探索传统产业园区的绿色发展模式,可视为我国工业领域顺应低碳发展和实现零碳排放的具体举措。

1.2 国内外产业园区“碳中和”实践经验研究

1.2.1 国外产业园区低碳转型发展经验与策略研究

世界各国产业园区实现绿色转型的

成功经验对指导我国传统资源型产业园区实现“碳中和”发展具有重要的借鉴意义,其经验可归纳为 5 个方面:优化建设主体关系、优化产业体系、深化技术改革、构建循环经济、加强清洁能源使用。具体包括:丹麦卡伦堡绿色产业基于生态产业化理念,采用产业共生循环优化手段,在园区内部通过构建废弃物和水循环利用体系形成了五大集团之间的低碳合作模式,被公认为是国外最早的工业园共生体绿色发展模式;美国以马里兰州、弗吉尼亚州、得克萨斯州和田纳西州为试点建立了 20 个生态园区,构建资源循环再利用的企业互嵌式发展模式;英国成立了国际产业共生公司,国家承担了共生型产业项目的管理、运营和全球推广孵化的职责,“氢能源利用+循环产业链”的模式广受推崇;日本建立了 26 个生态城,侧重通过静脉产业的多方向建设来实现零

排放;韩国出台了国家生态工业园的示范项目计划。见表 1。

1.2.2 国内产业园区低碳转型发展经验与策略研究

“双碳”背景下,各地通过打造低碳产业园、生态工业园、节能示范园区等,多方面反映了我国对低碳园区建设的实践探索^[6]。我国学者对园区低碳发展的研究成果体现在 3 个方面:一是以园区为对象,探讨不同低碳转型的实践举措和模式路径,研究园区循环产业链和绿色运营模式等;二是从技术方法和评估保障入手,研究低碳发展自评机制、校核评价体系及软件技术方法,并对评价体系进行可行性论证^[7];三是基于多视角的耦合关系,对城市与产业、低碳与经济等不同导向的多元价值目标对象^[8]进行综合性考虑,探究从低碳到零碳园区的发展模式及其规划方法。

表 1 国外生态工业园模式构建对比

国家	代表园区	参与主体	主导模式	主要路径
丹麦	卡伦堡生态工业园	企业主导 + 政府保障	废弃物的循环利用与水循环利用,在园区内部形成低碳合作的发展模式	共生产业链条优化:炼油、火电和酶制剂等多家企业整合与产业链条的共生化;通过物质资源要素交换,完善共生网络
加拿大	伯恩赛德生态工业园	企业主导 + 政府保障	构建循环经济体系和共生网络关系,整合不同行业传统产业升级模式	清洁生产中心 + 共生网络:不同行业企业进行资源化改造和循环经济体系构建,能量的梯次流动和废弃物的循环利用
荷兰	鹿特丹临港工业区	企业 + 政府 + 社会组织 + 大学共同决策	构建产业集群实现加工生产过程中资源在企业中的再利用模式	协调利益主体 + 能源再利用:通过多平台融资提升经济和生态效应,重在工业余热和二氧化碳的利用
美国	恰塔努加生态工业园	政府引导 + 企业主导	构建资源循环再利用下的企业互嵌模式	产业生态网络完善:以资源循环再利用改造为切入点,对钢铁、化工等企业进行工业废弃物循环再利用,各企业相互嵌套,形成产业生态循环网络
英国	亨伯地区工业园	政府与企业联合	使用清洁能源——氢,并构建“回收—存储—再利用”模式	氢能源利用 + 循环产业链:通过低碳氢、碳捕获和碳去除技术实现零碳排放,政府出资,国家公司运营
日本	川崎工业园区	地方自组织 + 政府机构管理 + 研究机构参与	以技术研究基地和资源循环产业消纳城市废弃物的产学研复合模式	静脉为主 + 多方向建设:以废弃物为抓手,各种相关设施共同转型;通过资源循环、技术更新、园区管理打造零碳基地,实现联动发展
韩国	蔚山生态工业园	政府引导 + 企业主导	通过建立、发展、完善产业综合体,不断整合、优化产业资源发展模式	招商引资 + 规模扩大:建立产业综合体—设立公司引导支持和监察园区—传播知识经验扩大物理交换和商业行为

表 2 我国低碳园区实践及发展模式

发展类型	模式特点	代表园区	主要路径
产业发展模式	以产业结构高度集聚化和产业链循环为主体的低碳发展模式	以“泰达模式”为主的天津经济技术开发区、北京经济技术开发区、广州开发区 以“中国电谷模式”为主的保定国家高新技术产业开发区、德州“中国太阳谷”	传统综合 / 资源型产业园区的产业结构高度化，以产业低碳化转型升级为核心，以多领域为抓手推动园区低碳发展 新能源产业高度集聚发展
低碳产出模式	在规划建设的过程中，利用生态指标体系和低碳管理等制度体系引导园区低碳发展	以“中新天津生态城模式”为代表的苏州工业园区等 以“于家堡金融区模式”为主的天津海滨于家堡金融区和上海虹桥商务区等 以“中国电谷模式”为主的保定国家高新技术产业开发区、德州“中国太阳谷”	在指标体系构建，以及生产、生活、交通、建筑等方面制定低碳策略 编制低碳设计导则以严控产业、建筑、交通方面的低碳排放 使用新能源，降低碳排放
资源利用模式	将煤炭、石油、太阳能、风能等自然资源禀赋作为产业发展的主要动力	以“南港工业区模式”为代表的天津南港工业区、宁东能源化工基地 以“中国电谷模式”为主的保定国家高新技术产业开发区、德州“中国太阳谷”	通过能源阶梯级综合利用，实现园区低碳发展 以新能源产业集群发展为核心，能源转换循环综合利用

2 传统资源型产业园区“碳中和”实现路径

2.1 传统资源型产业园区“碳中和”实现逻辑及其碳排放评价体系

2.1.1 “碳中和”实现逻辑及框架构建

实现“碳中和”目标的过程可视为传统资源型产业园区不断改进和优化的过程，可贯彻到园区营建的全过程中。面对传统资源型产业园区存在的若干遗留问题，本文以综合效益和复合生态经济功能为导向，加强园区多样化、网络化的产业链设计并构建内部自循环系统，打造“产品+社会+生态服务”一体化平台^[9]，逐步实现“减碳—零碳—负碳”的全局性碳排放目标。

遵从“提出问题—分析问题—解决问题”的递进式逻辑，对园区营建的全过程进行框架梳理与改良，构建“碳中和”实现路径并开展实证研究。具体而言，结合政策环境和关联要素研究得出评价体系与评定标准，综合评估园区经济产业、碳排放、能源消耗、资源利用、低碳技术等方面的指标，科学确定园区低碳转型方向与优化策略^[10]。将产业体系与产城空间进行循环耦合关联^[11]，优化园区顶层设计、内部产业流程及空间设施等，最终构建“绿色低碳发展模式—产业体系设计—绿色建设方式”三大层级的路径框架(图1)。

2.1.2 传统资源型产业园区碳排放评价体系构建

量化核算传统资源型产业园区的产



图 1 传统资源型产业园区“碳中和”实现路径框架图

业经济现状、资源消耗总量和碳排放量等指标情况^[12]，建立切实可行的碳排放水平测度标准，是判别产业园区现状特征及制定后续实施方案的关键环节。这为解决现有评价体系混乱与标准不一的

问题^[13]，构建产业园区的碳排放标准体系提供了直接依据。

结合传统资源型产业园区高排放与高能耗的特征，识别碳排放的主要节点和优化园区碳排放评价体系，预测碳排

放工序并进行碳排放水平评估，将能源消耗的评价要素等重要指标与产业经济评价体系指标进行整合^[14]，得到经济产业、碳排放、能源消耗、资源利用、低碳技术^[15]这5类一级评价指标和15类二级评价指标，再采用综合评价法和熵权法进行核算校验^[16]，得出偏值较大的指标，量化主要节点以确定园区低碳发展方向及进行水平测度。见表3。

2.2 路径1：采用绿色低碳发展模式

绿色低碳发展模式以绿色经济发展

和低碳生态效益为目标，以节能减排、产业循环设计为主要途径。根据熵权法计算各指标权重，将绿色低碳发展模式细分为低碳产出模式、产业发展模式、资源利用模式，共同支撑园区“碳中和”发展的顶层设计(图2)。低碳产出模式是指通过制定能源替代品计划，推进能源消费的低碳化、清洁化、高效化，并提升能源安全保障的能力。产业发展模式是以政策为动力推动龙头企业集聚，以园区建设为平台推动绿色企业空间集聚，以科技创新为纽带推动绿色企业功能集聚，同时建立完善的市场淘汰和门

槛准入机制，优化碳汇水平。资源利用模式是指提出园区集约、绿色循环利用的方式与途径，制定高效集约的空间集聚与空间布局策略，并提出多元资源要素循环利用与碳排放的计划安排。

2.3 路径2：开展产业集聚及生态产业链设计

基于产业生态化理念，把握传统资源型产业园区“宏观—中观—微观”功能定位要求，推进“4+3+2”生态产业链模型设计(图3)。“4”指4种要素聚力(资源、技术、政策、市场)，“3”指3类

表3 传统资源型产业园区碳排放评价体系构建

类别	一级评价指标	二级评价指标	指标解释(公式)	指标性质	
经济类	经济产业	工业增加值率	工业增加值 / 工业总产值 × 100%	正向	
		主导产业产值占比	主导产业产值 / 工业总产值	正向	
		全员劳动生产率	工业增加值 / 全部从业人员平均数 × 100%	正向	
		产值利税率	园区企业利税总额 / 园区工业总产值 × 100%	正向	
能源类	能源消耗	单位工业增加值能耗	工业综合耗能总量 / 工业增加值	负向	
		工业综合能耗弹性系数	工业综合能耗增长率 = (当年工业综合能耗总量 - 上年度工业综合能耗总量) / 上年度工业综合能耗总量; 工业增加值增长率 = (当年工业增加值 - 上年度工业增加值) / 上年度工业增加值	正向	
		资源利用	单位建筑面积能耗	园区建筑总面积 / 工业园区耗能总量	负向
		单位增加值用水量	用水总量 / 工业增加值	负向	
碳排放类	碳排放	单位工业增加值碳排放量	碳排放量 / 园区工业增加值	负向	
		单位土地碳排放量	碳排放量 / 建成区土地面积	负向	
		碳排放强度降低率	(本期 CO ₂ 排放量 - 上期 CO ₂ 排放量) / 上期 CO ₂ 排放量 × 100%	负向	
		低碳技术	研发投入占比	用于研究与试验的发展经费支出 / 园区生产总值 × 100%	正向
		研发人员占比	园区内从事技术研发与新产品开发的人员 / 所有从业人员人数	正向	
		工业固体废物综合利用率	工业固体废物综合利用量之和 / 以往年工业固体废物产生量和综合利用贮存量 × 100%	正向	

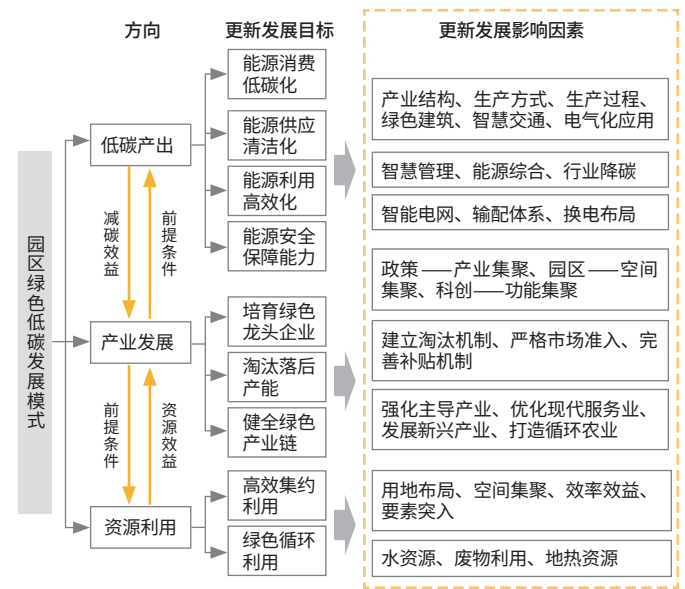


图2 绿色低碳发展模式构建示意图

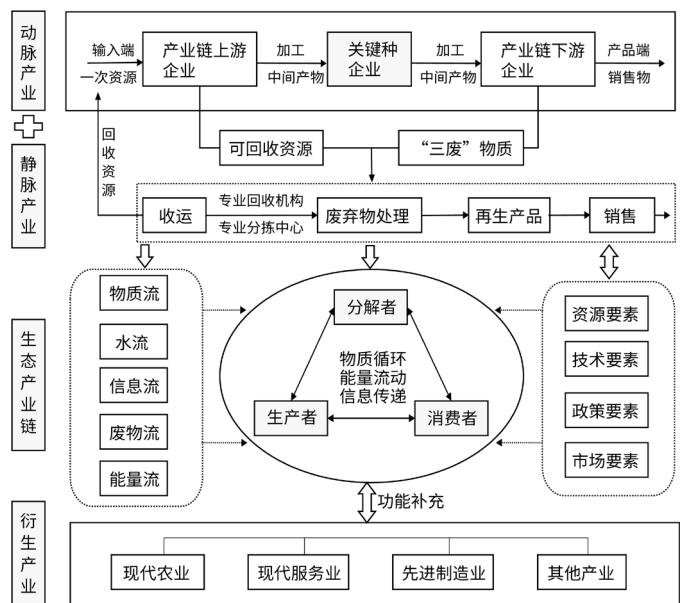


图3 产业园区“4+3+2”生态产业链模型设计图

主体协同(生产者、消费者、分解者)，“2”指两大产业链耦合(动脉产业链、静脉产业链)。基于此，构建以传统资源型产业园区主导产业为核心的绿色产业体系，可视为园区推进“碳中和”发展的动力基础。

具体而言，首先注重主导产业差异化发展和衍生产业的产值效益，优选关键种企业并分析产业代谢周期，促进动脉产业链各环节横向共生。其次，通过引入补链产业，将主导产业生产过程中产生的副产品进行分类，将其可利用部分进行回收并作为补链产业的原材料，对不可利用的“三废”物质进行能源清洁处理；延伸主导产业链中端，同时注意产业链后端的环境保护与产能补足问题，优化生态产业链。最后，利用不同主体之间的共生耦合联系和与自然生态系统之间的协调性来实现资源共享，对物质流、能量流等进行多级利用，并围绕生态工业孵化器、信息系统基地、废弃物资源化中心等硬环境进行生态集成设计，推动生产技术朝着产品高档化、原料标准化、燃料清洁化、辅料专业化、生产过程智能化等方向发展，加速构建多层次、资源高效循环利用的产业体系。

2.4 路径3：优化绿色建设方式

优化绿色建设方式对改进传统资源型产业园区的高排放和高能耗现状尤为重要。构建产业园区的生态循环产业链，合理利用本土优势能源资源，将园区碳排放指标、能源利用和建设环境挂钩考量，统筹协调园区土地、产业、碳排指标的

相互转换，逐步实现产业园区的零碳排放目标。具体建设方式包括以下3个方面。

一是能源方式优化。将产业能源消耗与本土能源优势结合起来，综合选择使用可替代的清洁能源；将能源开发与循环利用耦合到建设空间和产业链设计中，深入产业“前端—中端—末端”等环节的资源利用，并推动清洁生产、能源梯级利用、废弃物再生利用等领域的绿色技术研发应用；以“能碳双控”数字化平台为支撑，统一管理能源和碳排放相关数据，实现能耗和碳排放指标的全监测与可视化，提高能源的系统化管理能力。

二是环境建设优化。优化产业园区总体空间结构、基础设施布局、景观环境设计，实现通风、采光、排水、湿度等一系列物质能量的循环利用；从配套建设工业污水处理厂、集中供热站和工业废气处理设备入手，优化绿色基础设施建设，并加强产业园区的集中规划和统筹管理，补全重点行业产业的监测标准与补贴政策。

三是绿色建筑引导。发展绿色建筑，关注建筑全生命周期碳排放过程，推广绿色施工方案；推进建筑绿色工业化，建立促进建筑设计、施工、部品生产等环节工业化发展的技术规范体系；推进建筑节能改造与用能管理，采用脱碳技术模拟恒温、恒湿、恒氧等舒适条件，主动优化再生资源利用环节，实现能耗效率与室内外气候的舒适平衡；集成智能平台，集成整合楼宇自控、能耗监管、分布式发电等系统，实现各系统之间数

据互联互通，打造智能建筑管控系统，实现绿色建筑的高效管理运行。

2.5 碳排放技术的选取与应用

如何有效落实“碳中和”发展目标，提高能源利用效率与效益，科学合理地选取与应用碳排放技术对传统资源型产业园区实现节能减排起着十分重要的作用。通过定义节能减排，剖析其实现途径，并结合传统资源型产业园区的能源消耗类型与碳排放技术类型，将碳排放的主要途径归为6类，并对其进行细分，为产业园区的“碳中和”技术选取及应用提供依据和参考。见图4。

具体而言，对以消耗不可再生资源为主要生产方式的加工制造工业园采用“碳减排”技术；具有丰富资源禀赋的产业园区可采用能源替代与转换的新能源发电技术；消耗较多能源的产业园区可以采用二次能源转化的制氢技术；以能源再利用为主的产业园采用物理化学多种使用形式的储能技术；具有高排放量的产业可以用CCUS技术进行CO₂的提纯与再利用；对于地处偏远的传统资源型产业园区应采用森林碳汇类技术。

3 山西省应县经济开发区案例

3.1 案例选择与典型意义

山西省朔州市应县是我国综合配套实验转型基地和全国重要的清洁能源基地，应县经济开发区的“碳中和”实践可视为山西省开发区“双碳”建设的典型。

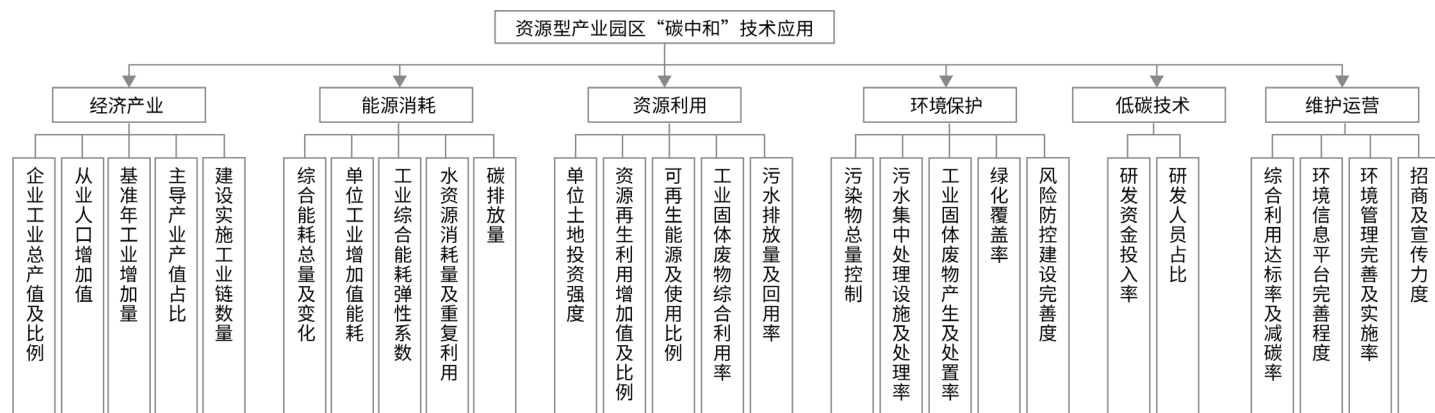


图4 传统资源型产业园区“碳中和”技术应用示意图

通过收集应县分行业碳排放情况及能源资源消费状况的相关数据,运用以下公式和能源参数对应县分行业数据进行计算,CO₂排放量公式参考 IPCC 清单指南。

$$C^t = \sum c_i^t = \sum (E_i^t \times \eta_i \times \theta_i \times O_i \times \frac{44}{12}) \quad (1)$$

式中, C^t 表示工业企业在第 t 年 CO₂ 排放总量, c_i^t 表示工业企业第 t 年第 i 种能源的 CO₂ 排放总量, E_i^t 表示第 t 年第 i 种能源的消耗总量, η_i 表示第 i 种能源的折标准煤系数, θ_i 表示第 i 种能源的碳排放系数, O_i 表示第 i 种能源的碳氧化因子 (这里均假设为 1), $\frac{44}{12}$ 表示 C 原子与 CO₂ 分子之间的转换系数。

通过计算得到 2020 年应县能源消耗主要来自农副产品加工业、陶瓷产业、装备制造制造业,主要消耗方式为煤炭和电力。选取具有行业类型特征和高能耗特征的陶瓷产业为研究对象,对应县经济开发区的“碳中和”路径进行实证研究。

3.2 山西省应县经济开发区“碳中和”发展框架

以“模式—产业—建设”三位一体的技术路线指导应县经济开发区“碳中和”发展,并针对园区实际特征构建了产业低碳评价指标体系(表 4),分析结果

为:园区注重产业发展,经济效益较好;对于低碳技术不够重视,科研技术创新投入低;对资源利用与能源消耗欠缺考虑,资源利用率不高。综合以上评价,确定了应县经济开发区“碳中和”发展的阶段性目标和总体路径,明确其低碳发展模式^[17],即优化主导产业与静脉生态产业体系,加强园区绿色建筑部署,同时制定低碳技术创新研发方案、引进高新技术人才、建设科研技术创新平台,并建立动态化评估与审查机制。

3.3 山西省应县经济开发区“碳中和”实现路径

3.3.1 绿色低碳发展模式

针对应县经济开发区低碳转型实践,采用绿色更新发展模式,全面引导经济开发区的优化方针与策略制定。在产业发展方面,推进陶瓷原料全过程低碳化及标准化建设,补全陶瓷全产业链并延长其他产业链条,打造以建筑陶瓷为主导产业,形成融合新能源、新材料、绿色环保、高端装备制造等关联产业的“支柱+配套+新兴”型产业集群;在低碳产出方面,从能源消费低碳化、生产过程低碳化、生产方式低碳化等方面分类制定

低碳排放的策略与要求,在资源利用方面,以“资源—产品—再生资源”为链条,提高能源利用率,构建资源循环利用产业链并建立能源安全保障体系。

3.3.2 生态产业链设计

基于打造“中国北方日用瓷都核心区、活力创新示范区、绿色低碳先行区”的总体定位,对应县经济开发区进行主导产业和静脉产业链设计。在主导产业方面,一是重点围绕建筑陶瓷产业“强链、补链、延链”,对主导产业的工业代谢进行分析,明确“素烧—施釉—成型”的工艺流程,并对其原料、成型、烧成、彩烤、成品、包装等工序过程进行优化。二是分析建筑陶瓷产业“三废”处理工艺,制定废渣(生胚、污泥、烧成废渣)、废水(重金属)、废气(扬尘、氮化物、硫化物、CO 等)的处理工艺与方式。静脉生态产业链是园区能量流动、物质循环的基本媒介,应以建筑陶瓷、清洁能源、智能制造、现代农业等作为不同方向的重点研究对象,打通园区内外的资源利用和能量循环流动,发挥静脉生态产业链多元与稳定、绿色与高效的多重价值。见图 5、图 6。

3.3.3 绿色建设方式优化

对于绿色能源利用,结合应县资源禀赋和产业基础,着力发展生物质能、风能、太阳能、光伏+、风光储一体化,可采用光储直柔技术,推进农光互补、牧光互补等,实现新能源与乡村振兴协同发展;利用风、光、电等可再生资源,布局绿氢制储,建成加氢站,推动氢能替代品的研发;加速园区电气化利用,提高新能源就地消纳和生物质热电联产的循环利用水平。

对于生态环境建设,将建筑、环境与能源进行耦合,统筹产业发展空间和绿色生态绿地空间布局,并从水源梯度利用、污水管网建设、工业节水改造、地下水超采处理、地热水回灌等方面推动水资源的零碳建设;从公共绿色、海绵城市、资源产业链的协同等方面开展绿色基础设施建设。

对于绿色建筑开发,规范建筑评价

表 4 应县经济开发区产业低碳发展水平综合评价

一级指标	二级指标	指标性质	指标权重/%	
经济产业	工业增加值率	正向	29.87	7.13
	主导产业产值占比	正向		7.47
	全员劳动生产率	正向		6.35
	产值利税率	正向		8.92
碳排放	单位工业增加值碳排放量	负向	16.36	3.96
	单位土地碳排放量	负向		3.95
	碳排放强度降低率	负向		8.45
能源消耗	单位工业增加值能耗	负向	15.63	6.21
	工业综合能耗弹性系数	正向		9.42
资源利用	单位建筑面积能耗	负向	17.78	6.86
	单位增加值用水量	负向		4.77
	单位土地投资强度	正向		6.15
低碳技术	研发资金投入率	正向	20.36	7.95
	研发人员占比	正向		5.23
	工业固体废弃物综合利用达标率	正向		7.18

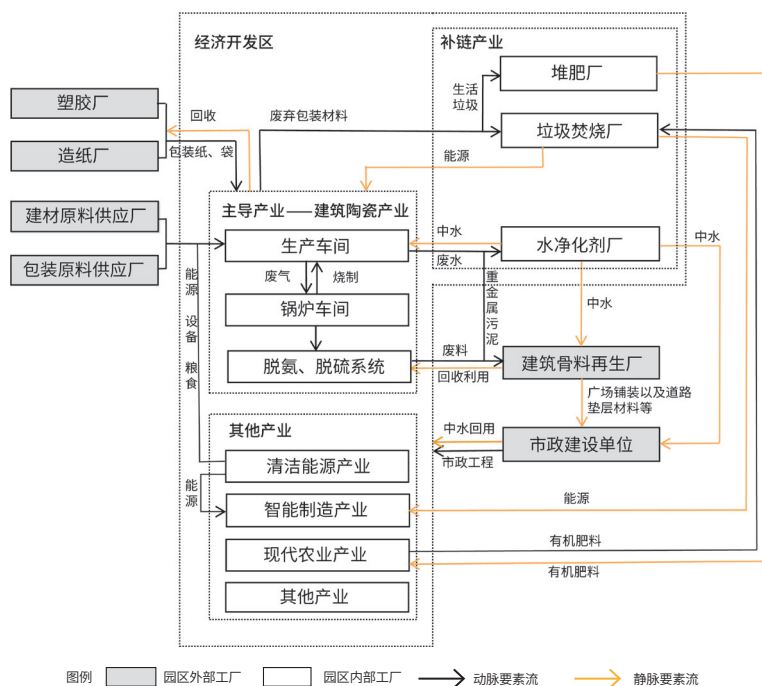


图5 园区生态产业链规划设计示意图

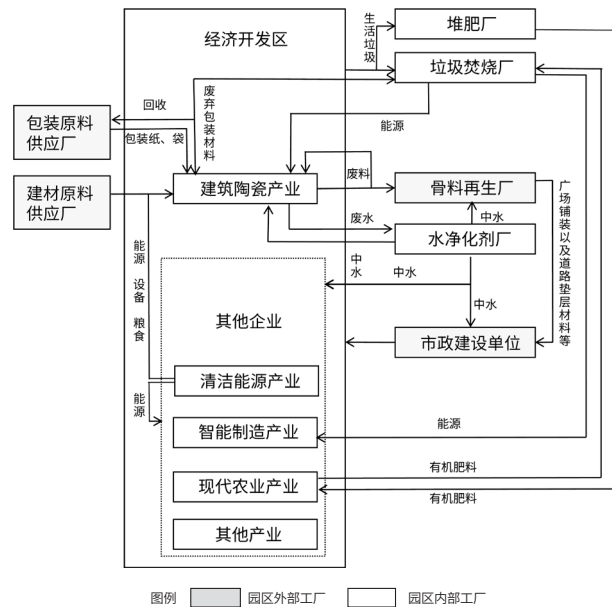


图6 园区静脉生态产业链规划图

标准, 园区建筑营建严格遵循《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378—2019), 优先建设绿色建筑二星级以上的公共建筑, 合理配置研发—办公—居住建筑资源, 推进建筑绿色集约使用; 引入绿色营建技术, 在绿色施工—工业化发展—建筑拆除等建设工作中考虑资源的回收与再利用, 推广绿色建材, 并将太阳能技术应用到建筑的节能—节地—节水全方位改造中; 构建绿色管理平台, 保证建筑内部能源利用的实时监控—反馈—修正—再利用等任务管理链条有序运行, 以实现智能平台数字集成一体化的能源管理。

4 结束语

传统资源型产业园区作为我国“双碳”战略目标下工业减排的重要对象, 探索其“碳中和”实现路径成为必然趋势。高质量发展时期要求传统资源型产业园区积极转变以高耗能为代价的经济增长方式, 实现经济、环境、社会的多元一体发展, 提升园区“碳中和”发展的可持续性。为在 2050 年前实现“碳中和”目标, 我国仍需从外部政策引导和内部机制建设两方面入手, 探求新的发展方法。

[参考文献]

- [1] 吕斌, 熊小平, 康艳兵, 等. 我国产业园区低碳发展思路初探 [J]. 中国能源, 2014(12): 31-35.
- [2] 张立. “碳达峰、碳中和” UP 论坛综述 [J]. 城市规划学刊, 2021(4): 6-9.
- [3] 李虹, 邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究: 基于资源型城市与非资源型城市的对比分析 [J]. 经济研究, 2018(11): 182-198.
- [4] 田金平, 刘巍, 臧娜, 等. 中国生态工业园区发展现状与展望 [J]. 生态学报, 2016(22): 7 323-7 334.
- [5] 费伟良, 李奕杰, 杨铭, 等. 碳达峰和碳中和目标下工业园区减污降碳路径探析 [J]. 环境保护, 2021(8): 61-63.
- [6] 刘磊, 杨文海. 我国碳中和产业园区建设探析 [J]. 城乡建设, 2021(9): 38-40.
- [7] 王珪, 朱美琳, 王勇, 等. 长三角城市群碳中和潜力评价与实现策略研究 [J]. 规划师, 2022(3): 61-67.
- [8] 成贝贝, 汪鹏, 赵黛青, 等. 低碳工业园区规划方法和评价指标体系研究 [J]. 生态经济, 2013(5): 126-128, 135.
- [9] 李春慧, 胡林, 王晓宁, 等. 基于“双碳”目标的城乡规划策略 [J]. 规划师, 2022(1): 12-16.
- [10] 黄贤金, 张安录, 赵荣钦, 等. 碳达峰、碳中和与国土空间规划实现机制 [J]. 现代城市研究, 2022(1): 1-5.
- [11] 郭坤. 产业园区循环经济发展效果评

价与对策研究 [D]. 天津: 天津大学, 2015.

- [12] 张娟. 资源型城市环境规制的经济增长效应及其传导机制: 基于创新补偿与产业结构升级的双重视角 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017(10): 39-46.
- [13] 中华人民共和国生态环境部. 关于报送 2021 年国家生态工业示范园区建设评价报告的通知 [Z]. 2022.
- [14] 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(3): 1-10.
- [15] 陈可欣, 陶韦华, 方晓丽, 等. 国土空间规划中碳中和评估及规划应用路径研究 [J]. 规划师, 2022(5): 134-141.
- [16] 刘晓燕, 孙慧. 基于产业异质性的资源型产业碳排放驱动因素及脱钩关系研究 [J]. 生态经济, 2018(4): 19-24.
- [17] 王耀兴, 邢西玲, 张久帅. 沿海产业转移背景下中国中部地区产业园区综合规划探讨 [J]. 规划师, 2016(9): 77-84.

[收稿日期] 2023-02-16