

# 工业园区减污降碳协同增效路径的思考与实践

——以赤岸镇绿色低碳循环产业园为例

马雅静<sup>1</sup>, 张昱恒<sup>2</sup>, 吴嗣骏<sup>3</sup>, 贾英娜<sup>4</sup>, 李碧波<sup>4</sup>, 李宣瑾<sup>1</sup>

(1. 生态环境部对外合作与交流中心, 北京 100035;

2. 中国环境科学研究院, 北京 100012;

3. 天津泰达低碳经济促进中心, 天津 300450;

4. 浙江省生态环境科学设计研究院, 浙江 310000)

**摘要:** 工业园区减污降碳协同增效, 既是工业园区高质量发展的内在要求, 又是工业领域建设生态文明、深入打好污染防治攻坚战和实现“双碳”目标的重要抓手。文章选取赤岸镇绿色低碳循环产业园案例, 分析其通过三废“双循环”发展模式, 建设气冷电多联供技术工程、低品位能源梯级利用等项目, 在造纸、印染、热电等产业开展技术和装备升级, 优化污水和废气处理工艺, 采用生态环境空间智慧化管控等手段, 成功实现减污降碳的路径实践。同时, 梳理出循环经济、源头化石能源管控、生产过程清洁低碳改造、末端污染治理、智慧化建设等五大减污降碳协同增效实施路径, 并建议园区和企业还可以通过加强科技创新和技术研发、绿色基础设施建设、政企合作等方式全面提升整体绿色发展水平。

**关键词:** 工业园区; 减污降碳; 协同; 路径; 实践

中图分类号: X322

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.202304052

## Research on synergistic efficiency paths for reducing pollution and carbon in industrial parks

——Taking the green low carbon recycling industrial park in Chi'an Town as an example

MA Yajing<sup>1</sup>, ZHANG Yuheng<sup>2</sup>, WU Sijun<sup>3</sup>, JIA Yingna<sup>4</sup>, LI Bibo<sup>4</sup>, LI Xuanjin<sup>1</sup>

(1. Foreign Environmental Cooperation Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100035, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

3. Tianjin Teda Low-carbon Economy Promotion Center Co., Ltd., Tianjin 300450, China;

4. Environmental Science Research and Design Institute of Zhejiang Province, Zhejiang 310000, China)

**Abstract:** The synergistic effect of pollution reduction and carbon reduction in industrial parks is not only an inherent requirement for high-quality development, but also an important lever in building an ecological civilization, deepening the battle for pollution prevention and control, and achieving the "dual carbon" goal. By examining the Green and Low-Carbon Cycle Industrial Park in Chi'an Town as a case study, it is evident that the "double cycle" development model, the construction of gas cooling power multi-generation technology project, low-grade energy cascade utilization, the upgrading of technology and equipment in papermaking, printing and dyeing, thermal power and other industries, and the optimization of sewage and waste gas treatment processes have successfully achieved the goal of pollution reduction and carbon reduction. The study also identified five implementation paths for pollution reduction and carbon reduction synergy, including circular economy, source fossil energy control, the clean low-carbon transformation of production processes, end-point pollution control, and smart construction. Parks and enterprises could further improve the overall level of green development by strengthening scientific and technological innovation and technology research and development, green infrastructure construction, and government-enterprise cooperation were suggested.

**Keywords:** industrial parks; pollution and carbon reduction; synergy; path; practice

CLC number: X322

收稿日期: 2022-04-19

录用日期: 2022-05-31

基金项目: 工业园区减污降碳协同增效路径及案例应用研究项目(621101062020035)

作者简介: 马雅静(1989—), 女, 硕士、工程师。研究方向: 工业园区减污降碳。E-mail: ma.yajing@fecomee.org.cn

通信作者: 张昱恒(1991—), 女, 硕士、工程师。研究方向: 环境经济政策与法治。E-mail: zhang.yuheng@craes.org.cn

引用格式: 马雅静, 张昱恒, 吴嗣骏, 等. 工业园区减污降碳协同增效路径的思考与实践——以赤岸镇绿色低碳循环产业园为例[J]. 环境保护科学, 2023, 49(3): 13-17.

党的二十大报告中明确指出,要推动绿色发展,促进人与自然和谐共生,加快发展方式绿色转型,深入推进污染防治,加强污染物协同控制,完善碳排放统计核算制度等内容。当前,中国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期,减污降碳协同增效成为促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手<sup>[1-2]</sup>。

“十四五”时期,降碳成为中国生态文明建设重点发展方向之一<sup>[3]</sup>。2022年6月,生态环境部等7部委联合发布《减污降碳协同增效实施方案》,方案中将工业领域作为减污降碳协同增效的重点领域之一,提出要加快工业领域源头减排、过程控制、末端治理、综合利用全流程绿色发展。同时指出要开展产业园区减污降碳协同创新,鼓励各类产业园区根据自身主导产业和污染物、碳排放水平,积极探索推进减污降碳协同增效,优化园区空间布局,大力推广使用新能源,促进园区能源系统优化和梯级利用、水资源集约节约高效循环利用、废物综合利用,升级改造污水处理设施和垃圾焚烧设施,提升基础设施绿色低碳发展水平<sup>[4]</sup>。

中国工业园区发展四十余年,已成为经济和工业发展的重要载体,是温室气体和各类污染物排放的重要源头。在碳达峰、碳中和背景下<sup>[5]</sup>,中国在工业园区已开展大量绿色低碳发展创建工作,部分试点园区在控制温室气体和污染物排放方面已取得显著成效,为园区减污降碳协同增效打下了一定基础。尽管如此,园区在落实减污降碳协同工作中仍面临较大挑战。一是缺乏系统的减污降碳全流程管控体系。如何从空间布局、源头管控、过程控制、末端治理、智慧化建设、绿色设计等方面开展系统性、整体性的减污降碳措施不够清晰,相应的政策引导、技术指导、资金支持等方式不够明确;二是缺乏污染物和二氧化碳排放相关的核算标准导致园区底数不清。当前,中国大部分企业还未建立完善的能耗和碳排放监测体系,且园区缺乏统一的数据收集和复核机制<sup>[6-7]</sup>。

本文以赤岸镇绿色低碳循环产业园案例为基础,全面分析案例园区减污降碳工作实施路径及主要成效,探索适合中国工业园区绿色发展转型的主要路径。

## 1 赤岸镇绿色低碳循环产业园减污降碳成功实践

### 1.1 案例园区概况

赤岸镇绿色低碳循环产业园位于浙江省义乌市,园区主导产业涵盖造纸、厨余垃圾和大件垃圾处理、污泥燃煤藕和热电联产、低品位能源利用、工业旅游等多个行业,形成纸业为主,多业并举的产业格局。园区以发展循环经济为主线,将生活垃圾处理及传统造纸、印染产业废弃物处置与能源供给需求相耦合,形成了固体废弃物—废水—废气协同处置和资源综合利用的“双循环”发展模式。

### 1.2 减污降碳协同增效路径实践

1.2.1 构建园区资源“双循环”体系 园区循环化改造是中国循环经济发展的重要举措之一,实现园区资源内外循环,要推动构建园区生态产业集群、大宗固废综合利用基地等;促进园区企业间积极协作,形成循环经济产业链和供应链;鼓励企业内部开展清洁生产改造和资源循环利用等<sup>[8]</sup>。

案例园区实现资源“双循环”:一是园区和城市间的资源外循环。以造纸为主业,主要产品有牛皮纸、瓦楞原纸及格拉辛原纸、食品包装纸等特种纸品,而回收利用的废纸是生产瓦楞原纸的主原材料之一。园区面向社会年回收利用废纸总量稳定在50多万吨,相当于节省木材15.5(利用1000 kg废纸相当于节省木材310 kg)万吨。园区年处理生活垃圾超100万吨,可消纳义乌城乡全部垃圾,并将封存填埋场的垃圾挖出进行焚烧发电。对家具等大件垃圾进行破碎除铁后运送至煤场,与燃料煤掺烧后发电供热,可节煤2万吨,减碳排放3.8万余吨,还可减少SO<sub>2</sub>等大气污染物排放。二是园区层面的资源内循环。园区内实施固废、废水、废气等资源“内循环”利用,实现各类资源“零浪费”。造纸污泥经干化除水后,用于焚烧发电,每年可处理造纸污泥3万吨。垃圾焚烧产生的废渣,按工业固废和金属材料分类处理,用于生产建筑材料和回收利用。园区内建有日处理垃圾量3000 t的焚烧炉,每天产生的炉渣约600余吨,为解决炉渣不规范堆放造成环境二次污染的问题,建设1条年处理约30万吨炉渣资源综合利用生产线项目,项目采用集水洗制砂、淘汰和摇床分选相结合的综合处理路线的炉渣预处理技术,对垃圾焚烧炉渣中的废金属过滤回收,再把过滤后的炉渣破碎成不同粒径的原

料,制造环保建材加汽砖,最大限度达到对固体废物处理的无害化、减量化、资源化的目的。园区建设工业水站,取河水净化,把垃圾渗沥液水、化水制水与污水净化水混合,制成工业用水,替代原有自来水和部分水库直供水,并将电厂冷却塔的冷却水回用于生产,最大程度节约水资源,见图1。

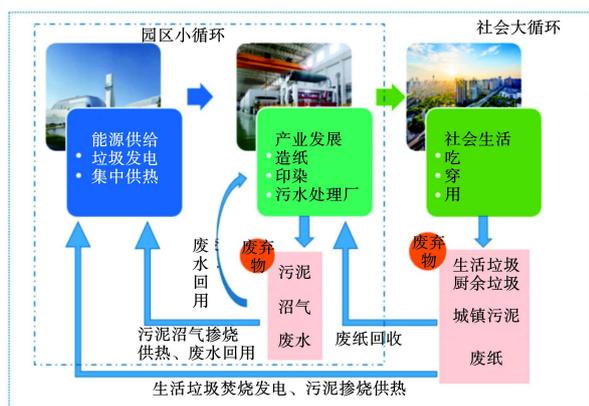


图1 案例园区“双循环”体系框架

Fig. 1 Case Park "dual circulation" system framework

1.2.2 建立工业园区绿色能源供应体系 案例园区以控制化石能源消费、提高能源利用效率为重点,从供给侧和消费侧共同发力,协同治理污染物和碳排放。一是在能源供给方面,实施煤炭消费减量。利用城市生活垃圾和城镇污泥,通过焚烧发电、生产蒸汽,为造纸等生产提供电力,同时也给周边100余家中小企业实施集中供热。同时,拟于2023—2025年建设屋顶光伏项目,预计减少4000 tCO<sub>2</sub>/年排放。二是在能源利用方面,2022年建成气冷电多联供技术工程,建设1座18000 m<sup>3</sup>/h的冷却塔实现气冷电多联供,投运后实现年工业产值16387万元,工业增加值5361万元,可减碳6万余吨。计划2023年底,建成低品位能源梯级利用项目,将部分循环水用于原水制水,利用低品位热量,化水制水由清水改用循环水,利用30℃循环水回水直接与清水混合,使化水原水温度达到最佳运行温度25℃左右,从而节省原水加热器的低压蒸汽耗量。同时,用除盐水做压缩空气冷却介质,并回收烟囱余热。通过能量平衡综合核算,年可节省超15000 tce/a,减少CO<sub>2</sub>排放约40000 t。

1.2.3 提升企业清洁生产和绿色低碳化改造水平 案例园区在造纸、印染、热电等产业开展技术和装备升级,力争全产业实现生产绿色低碳化改造。

(1)造纸产业。引进国际先进装备对原有瓦楞纸生产线进行节能降耗提升改造,同步对原有产品

方案进行升级调整,对高温烘干废气进行余热利用;开展雨水收集系统建设,有效补充新鲜水量,污水处理回用率达到60%以上,进一步降低污水处理压力;2024年前,拟建成新型环保纸包装材料生产线技改项目,引进国际先进设备,形成年产4.6亿km<sup>2</sup>新型环保纸包装材料的生产能力;2025年前,拟建成低定量环保型箱纸板生产线技改项目、特种纸及生活用纸生产线技改项目,形成年产21.3万吨低定量环保型箱纸板、年产7.5万吨特种纸和生活用纸的生产能力。

(2)印染产业。2024年前,拟建成各类针织产品数字化提升集聚改造项目,淘汰原有部分印染生产线,购入低浴比、节能型设备,配套余热利用等设施,形成年印染56099 t各类针织品的生产能力。通过印染机械设备定型设施改造,生产工艺改进及废气处理升级,有效提高主要产品生产效率,降低废气产生和排放量,提高中水回用率,实现“减污降碳”协同推进。按行业目前平均每吨染色产品碳排放约2.7 t、园区核定规模产能44879 t进行核算,每年可减少CO<sub>2</sub>排放约14540 t。

(3)热电产业。实施垃圾焚烧发电厂提升改造PPP项目,引进先进技术工艺,采用去工业化设计,建成浙江省第二大处置规模。焚烧垃圾产生的蒸气用于发电、供汽和供溴化锂等,实现能源梯级利用;垃圾焚烧后产生的炉渣用于环保砖、建筑骨料等;飞灰经整合固化、检测合格后填埋处理。通过厂内工艺技术创新,实现烟气再循环,可减少每年CO<sub>2</sub>排放超40万吨。

1.2.4 加强水、气、土、固废等多要素统筹管理和协同治理 案例园区在废水、废气和固废方面采用不同治理手段,达到多领域污染物治理和管控。

(1)废水方面。投资建成污水处理中心,并在此基础上进行多次技术改造,采用A/O工艺处理污水,后续接芬顿深度处理,近年来年处理废水300余万吨。

(2)废气方面。每台锅炉配置1套烟气净化系统,采用“SNCR+旋转喷雾半干法+干法脱酸+活性炭喷射吸附+布袋除尘器+湿法脱酸+GGH(烟气再加热)+SCR”组合工艺,尾气排放优于欧盟环保标准。

(3)固废方面。投资建设炉渣综合利用项目,包含2条日处理规模600 t的炉渣处理生产线和环保砖生产线,目前已建成炉渣预分选车间,对炉渣

进行分选、预制,拟在“十四五”期间全部建成,助力义乌市“海绵城市”建设。

### 1.2.5 构建工业园区减污降碳智慧化管理平台

案例园区实施垃圾焚烧发电厂数字化管理,建立智慧化固废管理系统以及印染园区数字化改造,有效推动园区生态环境空间管控的智慧化。

垃圾焚烧发电厂数字化管理。(1)监管智能化。依托先进控制系统和 WIS 系统,通过视频轨迹报警,结合执法监管,每天减少混入垃圾 100 t 左右。(2)控制智能化。引进先进成像控制系统,通过在焚烧炉内的高温视频探头拍摄的图像,依据光谱分析出温度及燃烧充分情况,自动对燃烧情况进行优化调整,实现远程自动控制。(3)管理智能化。通过高清探头与管理系统,实现安保数字化系统生产车间。

智慧环卫建设。通过建设智慧环卫系统参与垃圾分类以及对垃圾进行分类运输,并运送到专业处理车间进行处理:常规垃圾四分法中的厨余垃圾送到餐厨利用项目;可回收物废纸箱送到造纸车

间,废旧衣物送到化纤丝造粒项目,废塑料送到塑料颗粒项目;其他垃圾送到垃圾焚烧发电车间,真正做到集收、运、处置于一体。其中,废塑料送到塑料颗粒项目即是将废旧的塑料制品规模化回收,经过分拣—清洗—破碎—熔融造粒后,使其具有良好的综合性能,可满足吹膜、拉丝、拉管、注塑、挤出型材等技术要求,并可以重新用来生产塑料制品,比如塑料垃圾袋、塑料管道、大棚膜、鞋材、日用塑料制品和建筑用材料等。

印染园区数字化改造。通过建立园区智慧能源平台和碳排放信息管理平台,为入园企业集中提供“水、电、汽、气”,并实时监测节能控制和余热回用系统,实现能源、水资源消耗动态过程的信息化、可视化、可控化管理。为印染行业从单一装备的智能化向整体工厂的智能化转变提供样本。

案例园区从资源内外循环、源头化石能源替代、生产过程技术和设备改造、末端全生产和全领域治理、数字化和智慧化建设等五大路径,实现了减污降碳协同增效,见表 1。

表 1 案例园区 2019—2021 年主要能源消耗情况

Table 1 Case Park's main energy consumption from 2019 to 2021

t/a	一般烟煤/t	柴油/t	电力/MW·h	综合能源消费量*/tce	万元产值能耗/tce	万元增加值能耗/tce
2019	325 834	1 066	1 307.47	221 317.21	1.18	5.25
2020	315 897	1 367	2 056.74	243 792.64	0.91	4.05
2021	388 326	1 143	1 510.38	299 906.47	0.83	3.47

注: \*表示能源消费量计算一次能源消费以及电力购进部分,其中一次能源包括城市生活垃圾及污泥等废弃物综合利用资源,电力折标系数采用等价值系数。

## 2 经验总结

通过案例分析,梳理出实现工业园区减污降碳协同增效的五大成功路径。

(1)开展源头管控,实施煤炭消费替代,提高能源利用效率<sup>[9-10]</sup>。

(2)开展工业生产过程减污降碳控制,加快绿色低碳转型。强化园区低碳化、循环化、清洁生产改造,通过原料替代,改善生产工艺,改进设备使用等措施提升企业清洁生产水平。

(3)注重园区污染末端治理,开展节能降碳改造。在污水处理方面,通过科学规划雨污管网、开展污废水分类收集、加强污水预处理等路径,采用节水工艺、优化污水调配、降低处理能耗、实现污泥资源化,推进污水处理减污降碳;在废气处理方面,通过技术优化、提高设备自动化水平、降低综

合能耗,促进氮氧化物、挥发性有机物(VOCs)以及温室气体协同减排,助力废气治理减污降碳;在固废处理方面,推动固废源头减量及清洁生产工艺、构建固废资源化利用系统、加强危废精细化管理,推动固废处置减污降碳。

(4)推动园区内企业进行绿色低碳化、循环化改造,创新生产工艺、提升生产技术,加强企业内部清洁化生产和资源循环利用。促进园区企业间协作,鼓励就近匹配合作,形成稳定供应链和循环经济产业链。构建跨园区生态产业集群。

(5)推动园区智慧化和数字化建设。构建工业园区减污降碳智慧化管理平台,通过物联网、互联网和云计算等技术,推动工业园区减污降碳管理业务的信息化、现代化、专业化,统筹污染物与碳排放数据,探索数据协同增效分析,以更加精细、动态的方式推动工业园区生态环境空间管控的智慧化。

### 3 对策建议

针对现阶段中国工业园区在减污降碳协同工作中面临的挑战和问题,结合案例园区案例实践,本文梳理出对中国工业园区降碳减污协同增效路径研究的对策建议。

(1)在源头管控方面应加大可再生能源利用,减少化石能源的依赖<sup>[11]</sup>。建议在园区内建设分布式屋顶光伏,在沿海园区建设风电站,加强生物质能、民用核能的研究和利用等。

(2)建议园区全方位融入绿色发展理念。加快基础设施“七通一平”和公共服务配套<sup>[12]</sup>。推进工业园区绿色公共交通发展<sup>[13]</sup>,开展园区绿色建筑运行标识、绿色工业建筑、老旧厂房、自备电厂绿色化改造等工作。加快推动园区绿色物流体系建设,促进园区物流“公转铁”“公转水”,提高铁路、水运在综合运输中的承运比例。同时,将绿色发展理念融入日常监管和运营工作,坚持走绿色低碳高质量发展之路,鼓励引导企业开展零碳工厂、绿色工程、绿色设计等,积极创建绿色园区、生态工业园区、申请循环化改造试点园区等,以评促建<sup>[14-15]</sup>,全面推动园区整体绿色转型、提高绿色发展水平<sup>[16-17]</sup>。

(3)鼓励园区科学探索减污降碳路径。结合园区自身产业特色,加强与行业协会、科研院所、政府部门、金融机构等合作<sup>[18]</sup>,从管理机制、政策体系、金融支持、产业转型、招商引资等多角度、多层次科学谋划具有园区特色、产业特色的减污降碳实施路径,打造覆盖“空间布局—源头减量—过程治理—末端减排—数字转型—绿色理念”的全流程系统化管理体系<sup>[19]</sup>。

(4)鼓励园区企业加快绿色低碳技术研发和推广应用。围绕碳达峰碳中和、污染防治、生态修复等应用需求,探索研发工业节能降碳和绿色低碳循环利用新技术,创新污染防治方法,研究应用新型环保材料。加大对碳中和基础前沿研究、关键核心技术攻关和场景应用研究。推动重点园区和企业绿色低碳技术应用示范,打造更多绿色低碳技术典型应用场景<sup>[20]</sup>。

本文主要是以循环经济发展为主题的工业园区在“减污降碳协同增效”方面的实践经验总结,其应用较有局限性,重点侧重为该类型的园区提供参考价值。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动2020年度报告[R/OL]. [2023-04-06]. <https://www.mee.gov.cn/yw/gz/ydqhbh/syqhbh/202107/W020210713306911348109.pdf>.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 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[EB/OL]. [2023-04-06]. [https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk03/202101/t20210113\\_817221.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk03/202101/t20210113_817221.html).
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 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[Z/OL]. [2023-04-06]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm).
- [4] 郭扬, 吕一铮, 严坤, 等. 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.
- [5] IPCC. Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems[R]. Cambridge: Cambridge University Press. IPCC, 2019.
- [6] 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, 49(8): 61-63.
- [7] 郑逸璇, 宋晓晖, 周佳, 等. 减污降碳协同增效的关键路径与政策研究[J]. 中国环境管理, 2021, 13(5): 45-51.
- [8] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发“无废城市”建设试点工作方案的通知[EB/OL]. [2023-04-09]. [https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content\\_5363069.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5363069.htm).
- [9] 蔡博峰, 曹丽斌, 雷宇, 等. 中国碳中和目标下的二氧化碳排放路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 7-14.
- [10] 吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究: 基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021(8): 114-132.
- [11] 熊华文. 减污降碳协同增效的能源转型路径研究[J]. 环境保护, 2022, 50(增1): 35-40.
- [12] GUO Y, TIAN J P, CHERTOW M, et al. Greenhouse gas mitigation in Chinese eco-industrial parks by targeting energy infrastructure: a vintage stock model[J]. Environmental Science & Technology, 2016, 50(20): 11403-11413.
- [13] 张立, 谢紫璇, 曹丽斌, 等. 中国城市碳达峰评估方法初探[J]. 环境工程, 2020, 38(11): 1-5.
- [14] 周迪, 周丰年, 王雪芹. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析[J]. 资源科学, 2019, 41(3): 546-556.
- [15] 田云, 陈池波. 中国碳减排成效评估、后进地区识别与路径优化[J]. 经济管理, 2019, 41(6): 22-37.
- [16] 赵若楠, 马中, 乔琦, 等. 中国工业园区绿色发展政策对比分析及对策研究[J]. 环境科学研究, 2020, 33(2): 511-518.
- [17] 李杨, 陈何潇, 杨子杰, 等. 生态工业园区绿色发展与环境管理实践分析[J]. 中国资源综合利用, 2020(6): 138-140.
- [18] 高谋洲. 生态工业园区建设中政府与市场作用之辩证[J]. 北方经贸, 2021(9): 116-119.
- [19] 范晓鹏. 生态工业园区建设的环境管理模式浅析[J]. 中国资源综合利用, 2020(5): 120-122.
- [20] 徐宜雪, 崔长颖, 陈坤, 等. 工业园区绿色发展国际经验及对我国的启示[J]. 环境保护, 2019, 47(21): 69-72.