

长江经济带工业园区绿色发展战略研究

郝吉明¹, 田金平^{1,2}, 卢琬莹¹, 盛永财¹, 赵佳玲¹, 赵亮¹, 郭扬¹, 胡琬秋¹,
高洋¹, 陈亚林¹, 陈吕军^{1,2*}

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 清华大学生态文明研究中心, 北京 100084)

摘要: 本文从经济发展、空间布局、产业特点、基础设施、用水排水、经济环境绩效等方面对长江经济带工业园区的发展进行了分析, 基于此识别出园区绿色发展面临的挑战, 并提出了园区深化绿色发展的建议。工业园区是长江流域承载制造业集聚的重要产业空间, 是实施制造强国战略的主阵地, 对沿江各省工业贡献大多超过 50%, 经济增长主力军和经济稳定压舱石作用显著, 因此必须坚持工业园区作为制造强国战略主阵地不动摇。长江沿江工业集聚、园区密布, 资源能源消耗及污染物排放量大。园区相关的生态环境问题突出表现为: 部分地区的园区生态文明和绿色发展意识尚待提高, 创新发展能力亟待强化; 沿江工业园区布局及产业结构仍需深入优化, 部分园区管理粗放, 园区间绿色发展不平衡不充分明显; 园区碳排放高, 能源基础设施“大少小多”特征锁定碳排放; 园区尚未有效控制用水总量及有毒有害污染物削减, 水量水质水安全等问题尚未根本性解决。为此, 建议从三个方面着力推进沿江园区创新绿色转型, 打造长江生态文明建设新高地: 一是加强顶层设计, 上下游一体推进工业园区绿色发展, 建立工业园区绿色发展报告制度; 二是综合运用节约、提效、开源等措施深化园区绿色低碳转型, 实施能源环境基础设施绿色化、低碳化改造, 构建能源基础设施和环境基础设施间能源-水产业共生体系, 建设全生命周期绿色低碳园区; 三是精准科学治污, 从全过程推进园区水污染防治、水生态环境保护 and 可持续水管理, 促进化工围江迈向人水和谐。

关键词: 长江经济带; 工业园区; 绿色发展; 减污降碳; 全生命周期

中图分类号: X22 文献标识码: A

Green Development of Industrial Parks in the Yangtze River Economic Belt

Hao Jiming¹, Tian Jinping^{1,2}, Lu Wanying¹, Sheng Yongcai¹, Zhao Jialing¹, Zhao Liang¹,
Guo Yang¹, Hu Wanqiu¹, Gao Yang¹, Chen Yalin¹, Chen Lyujun^{1,2*}

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Center for Ecological Civilization, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This study aims to uncover the paradigm of green development of industrial parks in the Yangtze River Economic Belt by integrating economic development, spatial configuration, pillar industries, energy-environmental infrastructure, water use, and economic-environmental performance. We identify the major challenges faced by the industrial parks in the region and then propose policy implications targeting eco-transformation of the parks. The key findings are as follows. Industrial parks have been playing a significant role in facilitating manufacturing industry and economic-social development in the Yangtze River Basin, by contributing

收稿日期: 2021-11-23; 修回日期: 2021-12-06

通讯作者: *陈吕军, 清华大学环境学院教授, 研究方向为工业园区绿色发展、清洁生产技术与产业生态学; E-mail: chenlj@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“长江经济带生态文明建设若干战略问题研究”(2019-ZD-08)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

more than 50% of the gross industrial output values of the provinces along the Yangtze River. It is necessary to strengthen the strategic position of the industrial parks for robust manufacturing industries in China. However, along the Yangtze River, there are large number heavy-industries and industrial parks, posing intensive pressure on resources and energy, as well as a huge pollutants emission. We classify four major points on ecological-environmental issues in the parks. First, some parks still need to enhance the initiative, consciousness and innovation of ecological civilization construction. Second, the parks should pose great importance on optimizing the industrial structure and environmental management of industrial parks, and declining the gap between leading parks and low-efficient ones substantially. Third, many parks have high carbon dioxide emissions, and have employed a coal-dependent energy infrastructure featured by small capacity and low efficiency. Fourth, industrial parks have yet to effectively control the total amount of freshwater consumption and reduce toxic and harmful pollutants reduction, pursuing clean and safe water. Given the challenges, we propose policy recommendations on innovation and eco-transformation of industrial parks from three aspects to achieve a marked height. The first aspect is to strengthen the grand plan for green development of industrial parks by integrating the upstream and downstream regions. The local authorities have the demand to release green development report annually. The second aspect is to deepen the green and low-carbon transformation of parks through conserving resources, increasing eco-efficiency, and exploring renewable resources comprehensively. Furthermore, it is crucial to advance the overall efficiency of energy and environmental infrastructure from the consideration of life cycle. Fostering industrial symbiosis between infrastructure is also a promising alternative. Third, it is urgent to balance the development of chemical industrial parks and the carrying capacity of water systems, by controlling pollution for the whole process using precise and scientific strategies, employing sustainable water stewardship, and protecting water eco-system.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; industrial parks; green development; reduce pollution and carbon; full life cycle

一、前言

中国工业园区建设始于改革开放 [1], 经过四十多年的发展, 全国已建立了数量庞大的工业园区, 其中国家级和省级园区有 2543 家 [2], 形成了丰富多样且较完整的现代工业体系 [3]; 园区贡献了全国 50% 以上的工业产出 [4], 对支撑制造强国战略, 促进区域经济社会发展, 引导产业集聚, 发展开放型经济等发挥了重要作用。

长江经济带已发展成为我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一 [5]。“十八大”以来, “长江经济带绿色发展”作为我国深入实施区域协调发展的五大重大国家战略之一, 区域协同性、高质量发展能力不断增强, 资源配置效率全面提高 [6]。长江经济带以共抓大保护、不搞大开发为导向, 以生态优先、绿色发展引领长江上、中、下游地区协调发展、高质量发展 [7]。

在沿江发展工业是全球较为普遍的战略布局与选择。长江经济带沿江地区水运便捷, 水资源丰富, 相对内陆环境容量较大, 享有工业发展得天独厚的条件。长江经济带工业系统贡献了我国诸多产业的“半壁江山”, 沿江已形成多个有全球影响的制造业产业集群。工业园区是长江经济带承载制造业集聚的重要产业空间, 是实施制造强国战略的主阵地。长江经济带多年高速发展, 导

致长江长期无序发展和过度开发, 沿江工业集聚、园区密布, 资源能源消耗及污染物排放量大, 累积了大量生态环境问题, 生态环境压力和风险持续加大, 已超出其自身承载能力。工业园区密集且布局不合理、产业结构偏重、园区管理粗放等问题较为严重。

《长江经济带发展规划纲要》明确提出保护和改善水环境, 重点是严格治理工业污染。长江经济带工业园区在促进社会经济发展的同时, 产生了水、土、气等多种生态环境问题 [8~10]。工业园区生产活动集聚, 资源能源消耗和污染物排放量大, 对区域生态环境的影响大 [11]。随着长江沿线企业逐步撤出和大量企业进入园区, 园区发展面临的资源、能源及环境等诸多挑战进一步加大 [12]。因此, 准确揭示长江经济带工业园区的发展特点, 把握好绿色发展面临的主要挑战, 对全面推进长江经济带工业园区绿色发展具有重要决策支撑意义。本研究立足工业园区发展的共性特点, 通过分析长江经济带各省市工业园区的经济发展、空间布局、产业特点、能源基础设施和环境基础设施建设情况, 以及园区用水排水情况等现状, 定量揭示长江经济带工业园区的发展特点, 识别园区绿色发展存在的主要挑战, 提出长江经济带工业园区绿色发展战略, 为决策参考提供支撑。

二、技术路线与方法数据

图1是本研究的技术路线示意图。以长江经济带9省2市（湖北、湖南、四川、云南、贵州、安徽、江西、江苏、浙江、重庆、上海）国家级和省级工业园区为对象，通过构建基于地理信息系统（GIS）的长江经济带工业园区数据库，从园区空间分布、主导行业、基础设施、用水排水、环境绩效等多方面摸清园区家底，并识别绿色发展面临的主要挑战，重点关注空间布局、产业结构、温室气体排放及水量、水质、水安全等重点领域，进而从上下游一体化顶层设计、全生命周期建设绿色园区、科学精准治污破解化工围江等角度，运用多准则决策方法，探究长江经济带工业园区绿色发展路径，形成决策参考。

支撑本文研究的基础数据来自：各省市统计年鉴；园区相关数据来自清华大学环境学院清洁生产与工业生态研究中心搭建的园区数据库。园区数据库包括园区基本信息、空间坐标、主导产业、经济发展、能源消耗、污染物排放、能源基础设施基本信息（细化至分机组的容量规模、技术类型、能源效率、投运时间、冷却方式等）、以集中式污水处理厂为核心的环境基础设施的基本信息（容量规模、工艺流程、负荷率、污染物去除率、投运时间、空间位置等）、园区土地面积开发利用情况以及园区开展的绿色低碳循环创建等。能源基础设施主要指在园区物理空间内布局的热电联产、热力厂、发电厂、生活垃圾焚烧热电联产（或发电）、危险废物焚烧、生物质能热电联产等类型。同时，还开展了

大量的园区现场调研，与园区管理者、企业管理者、基础设施运营商等进行访谈获得数据资料。

基于此，分析长江经济带工业园区主导产业分布情况、园区能源基础设施机组容量结构、工业废水及污染物排放量、取水水源结构、各省（市）绿色低碳循环示范试点园区数量、能源产出率和水资源产出率、绿色发展指数等，对长江经济带工业园区绿色发展水平形成整体判断，进而支撑主要挑战和对策措施研究。

三、长江经济带工业园区的发展现状

（一）园区空间分布和主导产业特征

根据2018年《中国开发区审核公告目录》[13]，长江经济带9省2市国家级经济技术开发区、国家高新技术产业开发区及省级开发区等各类园区共有1045家，占全国国家级和省级园区总数的44%（见表1）。

1. 上游到下游，工业园区分布数量整体增多

长江经济带国家级和省级工业园区的数量分布，从上游（四川、重庆、云南、贵州，311家）到中游

表1 长江经济带各类工业园区占比

工业园区类别	全国数量/个	长江经济带数量/个	占比/%
国家级经济技术开发区	219	108	49.3
国家高新技术产业开发区	156	69	44.2
省级工业园区/开发区	1991	868	43.6
合计	2366	1045	44.2

注：未统计《中国开发区审核公告目录》所列其他类型的园区。

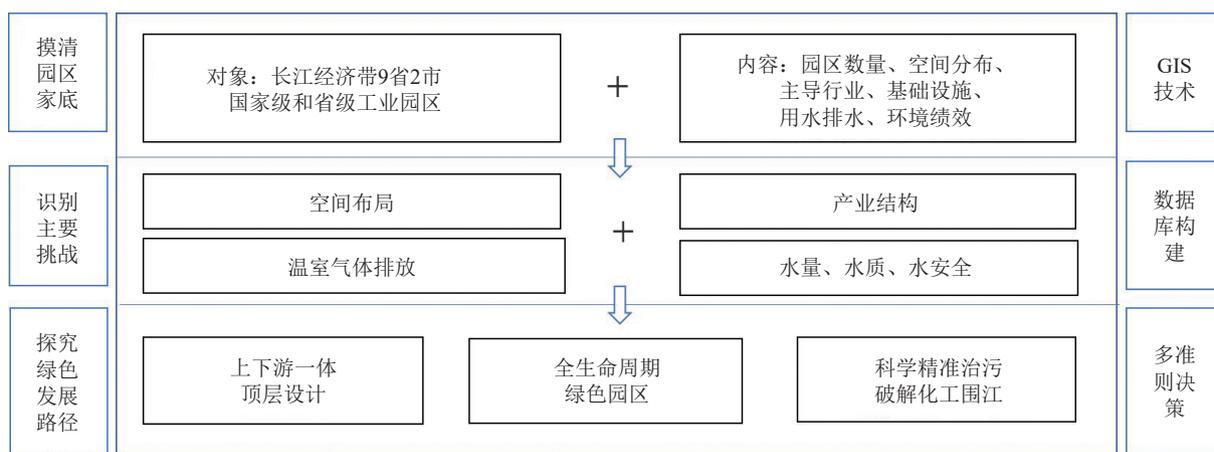


图1 技术路线示意图

(湖北、湖南、江西, 322 家) 再到下游 (安徽、江苏、浙江、上海, 412 家) 呈现明显增加。省级开发区的分布呈现出明显的空间聚集特征, 其中四川省东部、湖南省和上海市开发区密度更高。

园区对沿江各省的经济社会发展贡献巨大, 工业贡献大多超过所在省/市的一半, 园区不但是经济增长的主力军, 也是经济稳定发展的压舱石。如贵州省的工业园区, 规模以上企业数量和工业产值在全省的贡献均超过 70%; 江苏省工业园区贡献了 50% 以上的地区生产总值, 实现了 60% 以上的固定资产投资、80% 以上的进出口总额。

2. 工业园区主导产业呈趋同态势

对长江经济带 1045 家工业园区的主导产业按频次进行统计分析。研究结果显示, 长江经济带工业园区排名前三的产业依次为电子设备制造业、装备制造业和新材料新能源产业 (见图 2a), 其中, 国家级经济技术开发区排名前三的产业依次为装备制造业、电子设备制造业和汽车制造业 (见图 2b), 国家高新区排名前三的产业依次为装备制造业、电子设备制造业和新材料新能源产业 (见图 2c), 省级工业园区排名前三的产业依次为电子设备制造业、装备制造业和食品饮料制造业 (见图 2d)。综

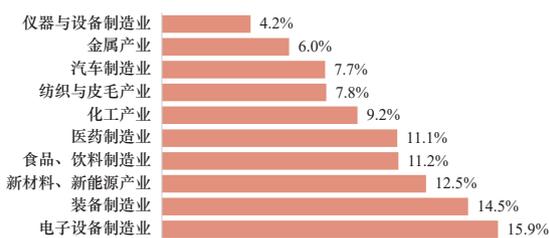
合分析得出, 长江经济带工业园区主导产业呈现两个特点: 装备制造业和电子设备制造业是长江经济带工业园区发展的两大主导产业, 呈现明显的趋同态势; 省级工业园区的各类产业分布则比较分散。

(二) 工业园区能源基础设施现状及绩效

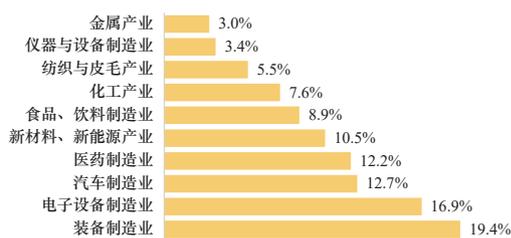
基础设施共享是工业园区发展的重要特征, 同时基础设施服役周期长, 其资源环境影响具有长期锁定特点, 因此基础设施是推进园区绿色发展重要的着力点之一。本研究分别对长江经济带国家级和省级园区的能源基础设施的建设运行进行定量分析。

1. 工业园区能源基础设施建设情况

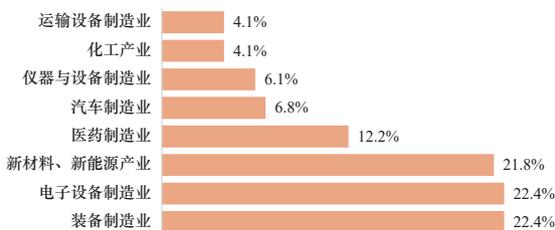
长江经济带 1045 家园区中, 共有 386 家园区在其物理边界内建设有热电厂、发电厂、供热厂等集中式能源基础设施, 共包括 1820 个在役机组, 总装机容量 209 GW, 占 9 省 2 市同年发电装机总容量的 37%。从园区能源基础设施的一次能源结构看, 燃煤机组和天然气机组占绝对主导, 装机容量分别占 84.2% 和 11.3%。从图 3 可见, 长江经济带工业园区的在役能源基础设施机组的容量结构呈“大容量机组少, 小容量机组多”的特点 (即“大少小多”), 将园区的小容量机组进行规模升级可带



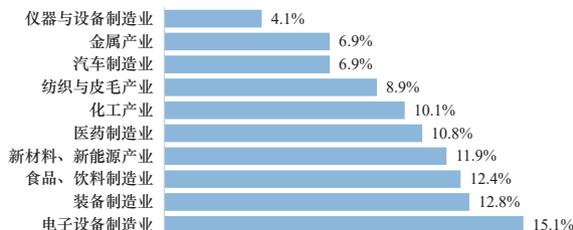
(a) 长江经济带工业园区



(b) 长江经济带-国家级经济技术开发区



(c) 长江经济带-国家高新区



(d) 长江经济带-省级工业园区

图 2 长江经济带工业园区主导产业分布情况

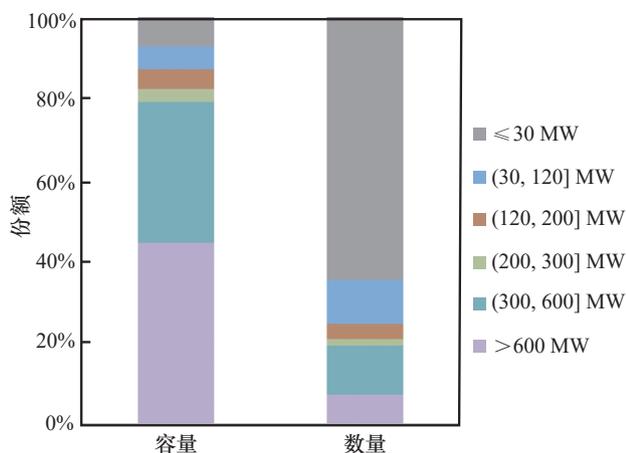


图3 园区能源基础设施机组容量结构

来显著的节能减排效应。

2. 工业园区能源基础设施绿色低碳转型的能源环境绩效

通过进一步量化分析长江经济带工业园区在役能源基础设施的能源效率和环境绩效，将设施绩效和全国平均水平及先进水平分别进行对标比较，以识别园区能源基础设施的发展水平和提升潜力。总体来看，长江经济带工业园区能源基础设施在区域环境影响中具有较显著的影响，园区能源基础设施总体的能源效率与全国平均水平相当，环境绩效则优于全国平均水平。

从能源效率来看，清华大学环境学院清洁生产与工业生态研究中心的研究结果显示，全国1820个园区在役能源基础设施机组的平均供电效率为39.0%，与同年全国供电效率平均水平（38.5%）基本持平。从环境影响来看，长江经济带工业园区能源基础设施2014年度温室气体排放、二氧化硫排放、氮氧化物排放分别为 8.6×10^8 t、 8×10^5 t和 1.13×10^6 t，分别占长江经济带9省2市总排放量的26%、12%和17%。从环境绩效来看，长江经济带园区能源基础设施总容量的99.5%为火力发电，其环境绩效整体优于全国火电的平均水平。

（三）工业园区环境基础设施及取水情况

1. 工业园区环境基础设施建设情况

“水十条”要求，2017年年底以前，工业集聚区应按规定建成污水集中处理设施，并安装自动在线监控装置。长江经济带工业园区污水集中处理设施

建设平均完成率为96.8%，在线监控装置建设平均完成率为96%。目前园区工业废水处理方式分为园区自建集中式污水处理厂和依托园区外的城镇污水处理厂处理两种方式，分别占总数的40%和60%。长江经济带108家国家级经济技术开发区物理边界内共建有209座集中式污水处理厂。绝大多数集中式污水处理厂同时处理园区内的工业废水和园区外的生活污水，每年实际处理污水 2.97×10^9 t，工业废水占比仅为29%。

长江经济带不同区域的国家级经济技术开发区工业废水排放去向差异较大（见图4）。上游和中游地区工业废水排放量分别为 1.1×10^8 t/a和 1.0×10^8 t/a，下游地区为 9.8×10^8 t/a。通常，水污染物排放量与废水排放量成正相关关系。园区的化学需氧量（COD）排放量基本满足这种相关关系，而氨氮的排放量则不完全与废水排放量成正比。下游地区的园区对氨氮的去除率较高，一个重要的原因是由于下游部分地区较为严重的水环境污染倒逼园区及企业加强生产废水的处理，以及水污染去除技术的升级所致[14]。

2. 长江经济带工业园区取水特征

长江经济带108家国家级经济技术开发区的总取水量为 5.75×10^9 m³，占当年全国总供水量（ 6.04×10^{11} m³）的0.95%。相比于全国平均水平，园区的单位水资源的经济产出率较高。园区取水水源类型丰富，但结构不均（见图5）。园区取水结构中，地表淡水仍为最主要的用水来源，占取水总量的67.5%；区外自来水供应为园区第二大水源。

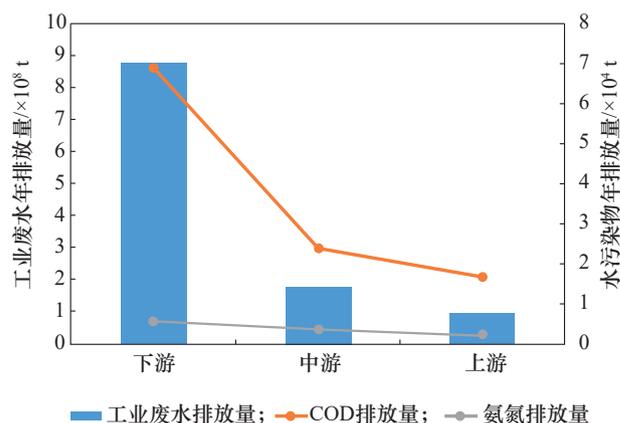


图4 长江经济带上、中、下游国家级经济技术开发区工业废水及污染物排放量

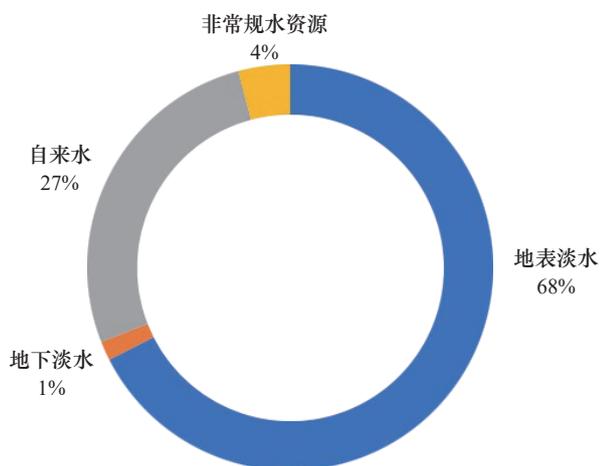


图 5 长江经济带国家级经济技术开发区取水水源结构

(四) 长江经济带工业园区绿色发展评价

1. 园区开展绿色发展示范试点创建情况

政府大力推进工业园区的绿色、低碳、循环、生态化发展。生态环境部、科学技术部、商务部、工业和信息化部、发展和改革委员会、国土资源部等部委相继发布多项政策，推动园区绿色发展。长江经济带的工业园区中，较多园区积极开展了绿色发展相关创建工作，并列入国家相关部委的示范名录。图 6 是长江经济带各省市示范试点园区的数量分布示意图。可见，下游四省（市）获得各部委认证的绿色发展类示范园区，在总体数量上明显占据优势。

2. 基于典型指标的园区绿色发展绩效评价

运用能源产出率、水资源产出率、单位经济产出污染物排放量等典型指标，以国家级经济技术开

发区为例，对长江经济带主要园区的绿色发展绩效进行分析。长江经济带国家级经济技术开发区能源产出率范围在 $0.40 \times 10^4 \sim 8.2 \times 10^5$ 元/tce 之间（见图 7a），能源产出率在 5×10^4 元/tce 及以上的经济技术开发区占 47%；能源产出率在 1.5×10^5 元/tce 及以上的国家级经济技术开发区占 16%，其中上游 4 家、中游 7 家、下游 6 家。水资源产出率指标分布见图 7b，国家级经济技术开发区水资源产出率范围在 $0.01 \times 10^4 \sim 3.75 \times 10^4$ 元/m³，各经济技术开发区之间差异较大 [15]。

长江经济带国家级经济技术开发区单位国内生产总值（GDP）化学需氧量排放量范围在 0.01 ~ 2.98 kg/万元，低于 0.1 kg/万元的国家级经济技术开发区占比 51%；高于 0.2 kg/万元的经济技术开发区占比 25%。中下游园区污染排放集中，与 2015 年相比，近年来单位 GDP 化学需氧量排放量增加的国家级经济技术开发区占 12%，主要集中在中下游地区；单位 GDP 化学需氧量排放量下降 60% 以上的经济技术开发区占 53%。多数园区在近五年污染物排放强度呈下降趋势，但减排挑战依然艰巨，且园区间差异较大 [15]。

3. 长江经济带工业园区绿色发展指数评价结果

运用前期建立的方法 [16]，对长江经济带国家级经济技术开发区的绿色发展指数进行分析，并与其他国家级经济技术开发区的评价结果进行比较（见图 8）。长江经济带国家级经济技术开发区绿色发展指数在 6~86 分，其中平均分（50）以上的国家级经济技术开发区上游占 13%，中游占 22%，下

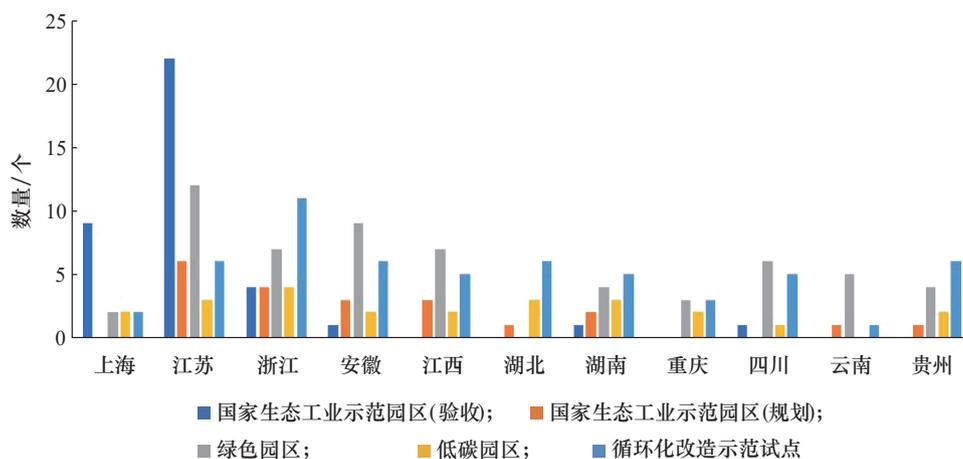


图 6 长江经济带各省绿色低碳循环示范试点园区数量

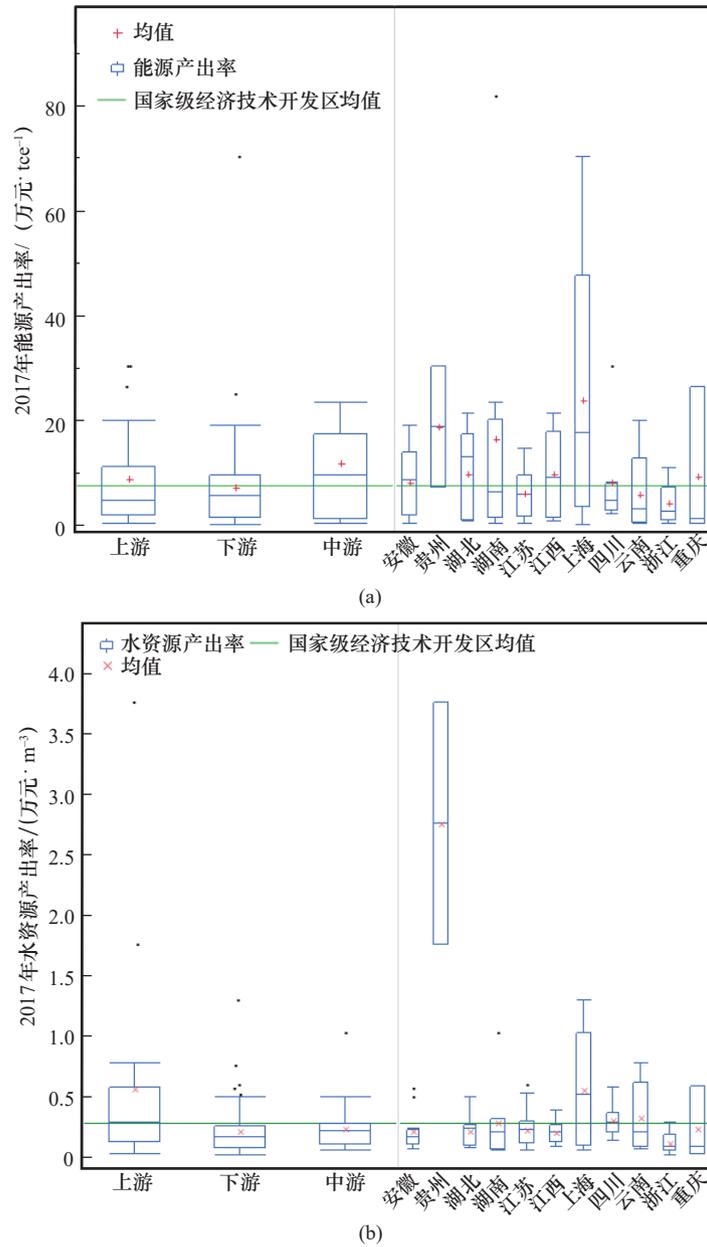


图7 长江经济带中、下游及各省(市)园区能源产出率和水资源产出率

游占65%，下游园区绿色发展指数优于中上游。从绿色发展水平分析，长江经济带工业园区整体略高于全国园区的平均水平，但上、中、下游园区差异大，上中游省份的园区在国家推行的园区绿色低碳循环示范创建工作中明显落后于下游园区。以发展水平高的国家级经济技术开发区为例，上游园区有87%、中游园区有78%、下游园区有35%尚未达到绿色发展平均水平，实现长江经济带园区绿色发展整体性跨越，仍面临较大挑战。

四、长江经济带工业园区绿色发展面临的主要挑战

长江经济带生态环境压力和风险持续加大，已超出其自身承载能力。基于对工业园区在长江经济带各省(市)发展的经济贡献、区位分布、产业布局、能源基础设施、环境基础设施及取排水情况等现状的分析，发现长江经济带工业园区绿色发展面临的突出挑战表现为以下三个方面。

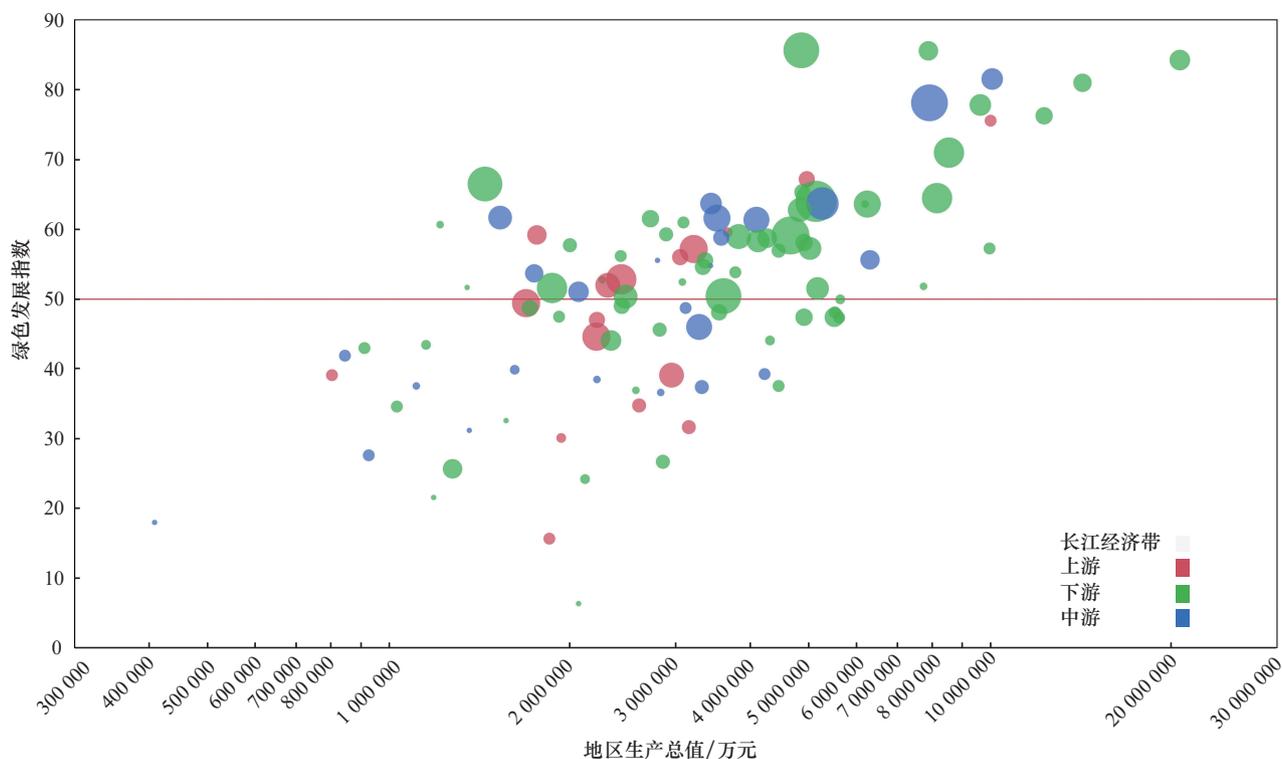


图 8 长江经济带国家级经济技术开发区绿色发展指数
注：图中红色线代表全国国家级经济技术开发区的平均水平。

(一) 亟待提升园区生态文明和绿色发展意识，增强科技创新能力和创新引领动力

长江经济带 9 省 2 市在资源环境、经济基础、交通环境等方面发展条件差异较大，造成长江经济带园区发展和管理水平存在显著差异，地区间发展差距明显。“十八大”以来，国家尤其重视园区绿色转型和创新发展。大量国家层面重要文件中，均提出了许多与园区生态化、绿色发展相关的内容。但上游地区与中下游地区之间、国家级园区与省级园区之间在开展生态文明建设意识层面存在较大差异，多数园区对生态环境建设的理念仍停留在“合规”层面，未能在主观层面形成绿色低碳循环的生态化发展理念。

科技创新能力提升在工业园区绿色发展中的地位尚不突出，园区转型动力机制仍不足。在产业发展方面，“大数据+”、智能制造、“互联网+”已成为大多数园区转型发展的目标与方向，但多停留在初级阶段，围绕科技创新能力提升和创新生态，增强园区技术底蕴和创新资源，实现现有制造业和研发相结合，逐渐增加制造业的科技含量水平，实现创新成果快速转移转化并推动产业结构转型升级，

仍是发展的重点和难点。

(二) 亟待优化沿江园区布局及产业结构，加快园区绿色发展整体性跨越

当前，长江经济带工业园区已形成临江布局的格局，但园区产业结构失衡，形成化工产业、装备制造等产业高度集聚，上、中、下游园区主导产业差异不明显，分工协作尚待强化，同质化现象比较严重。其中，“化工围江”尤为突出，成为长江经济带产业布局失衡的典型代表。上游地区以化工作为主导产业的园区偏多。长江沿线 29 个中心城市分布不同规模和门类的工业园区共 490 个，其中以化工为主导的园区有 103 个，沿江省份化工产量占到全国的 46%，临江 1000 m 范围内企业数从 2000 年的 149 家增加到 2017 年的 715 家 [17]。近年来，石油和化工产业项目出现自下游向长江中上游转移的态势。沿江工业园区推动了长江经济带的工业发展，但空间布局的敏感性、脆弱性，让长江长期背负着过重的包袱，也给长江带来了重大的生态环境安全隐患。

从绿色发展水平分析，长江经济带工业园区整

体略高于全国园区的平均水平,但上、中、下游园区差异大,上、中游省份的园区在国家推行的园区绿色低碳循环示范创建工作中明显落后于下游园区。以发展水平高的国家级经济技术开发区的分析结果看,实现长江经济带园区绿色发展整体性跨越,仍面临较大挑战。

(三) 亟待破解园区能源基础设施“大少小多”碳排放锁定, 削减温室气体排放

基础设施共享是工业园区的重要特征,也是园区绿色发展的关键支撑,其中能源基础设施是园区最重要的一类基础设施。研究显示,2014 年全国 1600 余家工业园区的温室气体排放约占当年全国总排放量的 18%,长江经济带工业园区温室气体排放量则占全国园区温室气体排放量的 37%,园区应勇担工业领域碳达峰、碳中和的排头兵。

在园区能源基础设施方面,长江经济带国家级和省级园区中共有 1820 个在役热电联产、热力、发电机组,总装机达 209 GW,占 9 省 2 市发电装机总容量的 37% 左右。从燃料结构分析,这些在役机组 84% 左右为燃煤机组,容量结构呈现出“大容量机组少,小容量机组多”的特点,即 300 MW 及以上的大容量机组占园区在役总装机容量的 79% 和总数量的 19%,而 30 MW 及以下的小容量机组则分别占 7% 和 65%。总体而言,大容量机组的综合能源效率高于小容量机组,园区能源基础设施的直接碳排放占园区能源消费温室气体排放量的比例平均在 75% 左右,在区域大尺度优化能源结构的同时,推动基础设施低碳化对园区温室气体减排意义重大。园区大量的小容量机组的升级及非化石能源的开发应用,将会带来显著的节能、节水、减碳等协同效应,需要流域开展一体化统筹。

(四) 亟待控制园区用水总量及有毒有害污染物, 解决好水量、水质、水安全问题

在环境基础设施方面,长江经济带国家级和省级工业园区基本补齐了集中式污水处理设施和在线监控装置建设的短板,但这仅是园区水污染防治的“规定动作”和基本要求。在现行标准及实际管理中,园区工业废水偏重 COD、氨氮等常规指标,对有毒有害、持久性有机物等特征污染物和新兴污染物,以及生态安全等指标缺少通盘考虑 [18,19],普遍存

在生活污水和工业废水混合处理的现象,由此可能引发潜在的环境风险和隐患。未来还将面临着排放提标、再生水回用等诸多压力。

靠水吃水,沿江园区和企业普遍认为区域水量丰沛,尚未控制从江河取水总量,水资源费用低,用水成本在生产成本中占比小,未起到经济杠杆调节作用。对全过程水管理的认识还不到位,缺少从生命周期的角度认识园区及企业用水的直接成本和间接成本,尚未建立从取水到排水的全流程管理体系。

五、长江经济带工业园区绿色发展路径与建议

工业园区对沿江各省的经济社会发展贡献巨大,工业贡献大多超过所在省(市)的一半,园区不但是经济增长的主力军,也是经济稳定的压舱石,必须坚持制造强国战略不动摇,坚持工业园区主阵地不动摇。为此,要着力工业园区绿色转型,打造长江生态文明建设新高地,提出园区绿色发展战略建议如下。

(一) 加强顶层设计, 发挥好下游地区工业园区绿色发展的示范引领作用

全面深入贯彻生态文明思想、新发展理念和长江大保护精神,全面深化园区绿色低碳循环发展。建议由生态环境部牵头,会同发展和改革委员会、工业和信息化部、商务部、科学技术部等部门,整合已出台的各类园区优惠政策,梳理优化绿色低碳循环发展示范项目体系,划分主导产业类型,分区域、分等级对工业园区绿色发展提出差异化标准要求,出台绿色发展指导意见,建立工业园区绿色发展报告制度,定期发布长江经济带工业园区绿色发展报告。

特别是上海、浙江、江苏等长江经济带下游地区要率先垂范,积极打造长江经济带工业生态文明建设新高地,重点在以下方面形成突破:①全流域协同发展,构建以园区为载体的现代产业体系;②科技引领,全面推进园区及企业产业数字化和生态化;③深化能源水资源双控,开展碳生产率倍增行动,显著提升资源能源产出率;④强化园区可持续水管理,构建流域-园区-企业-装置多级水风险防控体系;⑤实施能源环境基础设施绿色化、低碳化改造,构建基础设施间能源-水产业共生体系,提高

余热利用率和非常规水资源开发利用。

(二) 实施一体化绿色低碳转型，建设全生命周期绿色园区

实现园区工业系统、能源系统、生态环境系统全覆盖，全生命周期建设绿色园区。工作重点：①从全生命周期角度推进污染防治、生态环境保护和资源能源管理，“一园一策”与区域流域统筹相结合，实时动态地摸清园区“物质能量代谢及其生态环境影响家底”，从系统工程和全生命周期视角，强化园区系统优化；②以重点行业清洁生产、循环经济关键技术突破带动全产业链绿色发展，以大企业、大园区为核心，构建产品间、企业间、区域间协作的动-静脉耦合产业链接和共生网络，打造具有国际竞争力的产业链；③综合运用节约、提效、开源等措施，深化园区能源消耗、水资源消耗、土地资源开发总量和资源消耗强度双控，推动园区持续提高碳生产率，部分园区碳排放先达峰，起到引领作用；④实施更严格更透明更及时的安全环境监管，在常规污染物控制达到较高水平的同时，持续完善排放标准，强化生态环境风险防控，特别是加强新兴污染物引起的生态、环境和健康风险防控；⑤推进园区和区域能-水统筹，建设清洁化、集中与分散相结合的绿色能源体系及能源-环境基础设施共生体系。

(三) 精准科学治污，促进长江经济由“化工围江”迈向人水和谐共生

(1) 大力开展沿江化工园区和企业污染专项整治。大幅压减沿江干支流两侧 1 km 范围内、环境敏感区域、城镇人口密集区、化工园区外、规模以上等化工生产企业；鼓励探索和尝试具有地方特色的解决方案，创新资源环境要素约束倒逼产业结构调整及准入控制；针对压减的化工园区和企业，采取关停、搬迁、转移、承接等措施，综合施策，破解“化工围江”之困。抓住企业入园契机，实施入园化工企业和合规接纳园区共同改造提升，提前规避产能过剩、同质化竞争等问题，实现上、中、下游地区化工园区差异化、联动发展，促进化工园区布局与长江生态环境资源相协调。

(2) 鼓励建设智慧化工业园区，强化环境风险防控与应急能力建设。在上、中、下游开展重点化

工园区环境风险预警和防控体系建设试点示范，努力打造绿色化、智慧化高质量发展示范区，持续提升园区管理运行的精细化和智慧化；构建全过程环境和管理体系，提高化工园区本质安全。

(3) 推动园区开展用水三级计量和水平衡测试，强化工业园区可持续水管理。深入开展长江入河排污口整治提升专项行动，严控排污口设置，一个园区只设一个排污口，加强排污口在线监测。构建多级水风险防范体系，确保极端事故状态下事故污水不流入、不渗入长江。在排污口下游、干支流入湖地区因地制宜地积极建设人工湿地污水处理工程。实现尾水自然净化，提标提优，减少或避免尾水直接排入长江。

(4) 完善园区重大环境污染和生态破坏事故灾难应急预案，制定园区环境风险防控实施方案，完成沿江沿岸化工园区突发环境事件应急预案备案，加强日常演练。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: November 23, 2021; **Revised date:** December 6, 2021

Corresponding author: Chen Lyujun is a professor from the School of Environment, Tsinghua University. His major research field is green development of industrial parks, cleaner production technology and industrial ecology. E-mail: chenlj@tsinghua.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on several strategic issues in the construction of ecological civilization in the Yangtze River Economic Belt” (2019-ZD-08)

参考文献

- [1] 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.
Zhao R N, Ma Z, Qiao Q, et al. Analysis of green development policies of China's industrial parks and countermeasure research [J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(2): 511-518.
- [2] 吕一铮, 田金平, 陈吕军. 推进中国工业园区绿色发展实现产业生态化的实践与启示 [J]. 中国环境管理, 2020, 12(3): 85-89.
Lyu Y Z, Tian J P, Chen L J. Practice and inspiration of promoting green development of China's industrial parks and realizing industrial ecology [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 12(3): 85-89.
- [3] 付保宗. 加快构建长江经济带现代化产业体系 [J]. 宏观经济管理, 2019 (5): 78-83.
Fu B Z. Speed up Building the modern industry system in the Yangtze River Economic Belt [J] Macroeconomic Management, 2019 (5): 78-83.
- [4] 张金月, 张永庆. 高铁开通对工业绿色全要素生产率的影响

- 响——以长江经济带11个省份为例 [J]. 地域研究与开发, 2020, 39(4): 24–28, 47.
- Zhang J Y, Zang Y Q. Impact of high-speed railway on industrial green total factor productivity: A case of 11 Provinces along the Yangtze River Economic Belt [J]. Real Research and Development, 2020, 39(4): 24–28, 47.
- [5] Guo S, Han M Y, Yang Y P, et al. Embodied energy flows in China's economic zones: Jing-Jin-Ji, Yangtze-River-Delta and Pearl-River-Delta [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 268: 121710.
- [6] 白柠瑞, 闫强明, 郝超鹏, 等. 长江经济带高质量发展问题探究 [J]. 宏观经济管理, 2020 (1): 67–74, 90.
- Bai N R, Yan Q M, Hao C P, et al. An investigation into the issue of high-quality development of the Yangtze River Economic Belt [J]. Macroeconomic Management, 2020 (1): 67–74, 90.
- [7] 杨桂山, 徐昔保. 长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的基础与策略 [J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(8): 940–950.
- Yang G S, Xu X B. Foundation and strategy of well-coordinated environmental conservation and avoiding excessive development in the Yangtze River Economic Belt [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(8): 940–950.
- [8] Zhang Z M, Zhang J, Zhang H H, et al. Pollution characteristics, spatial variation, and potential risks of phthalate esters in the water-sediment system of the Yangtze River estuary and its adjacent East China Sea [J]. Environmental Pollution, 2020, 265: 114913.
- [9] Xue L H, Hou P F, Zhang Z Y, et al. Application of systematic strategy for agricultural non-point source pollution control in Yangtze River basin, China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020, 304: 107148.
- [10] Wang Y J, Liu Z Y, Huang L, et al. Development and evaluation of a scheme system of joint prevention and control of PM_{2.5} pollution in the Yangtze River Delta region, China [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 275: 122756.
- [11] 徐宜雪, 崔长颢, 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.
- Xu Y X, Cui C H, Chen K, et al. International Experience of green development in industrial parks and its enlightenment to China [J]. Environmental Protection, 2019, 47(21): 69–72.
- [12] 杜真, 陈吕军, 田金平. 我国工业园区生态化轨迹及政策变迁 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(6): 107–112.
- Du Z, Chen L J, Tian J P. Trajectory and policy evolution of Chinese industrial parks' eco-transformation [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(6): 107–112.
- [13] 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国科学技术部, 中华人民共和国国土资源部, 等. 中国开发区审核公告目录 (2018 年版) [EB/OL]. (2018-03-02) [2021-11-20]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/gg/201803/t20180302_961203.html.
- National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, et al. Catalogue of China development zone audit announcements (2018 Edition) [EB/OL]. (2018-03-02) [2021-11-20]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/gg/201803/t20180302_961203.html.
- [14] 马晔, 田金平, 陈吕军. 工业园区水管理创新研究 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(4): 59–66.
- Ma Y, Tian J P, Chen L J. Study of the water stewardship in the Chinese industrial parks [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(4): 59–66.
- [15] 张玥, 乔琦, 姚扬, 等. 国家级经济技术开发区绿色发展绩效评估 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(6): 12–16.
- Zhang Y, Qiao Q, Yao Y, et al. Evaluation of green development performance in the national economic and technological development zones [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(6): 12–16.
- [16] 田金平, 臧娜, 许杨, 等. 国家级经济技术开发区绿色发展指数研究 [J]. 生态学报, 2018, 38(19): 7082–7092.
- Tian J P, Zang N, Xu Y, et al. Green development index of the Chinese national economic-technology development area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): 7082–7092.
- [17] 胡惠雯. 为了一江清水——人大代表建言长江沿岸石化业绿色发展 [N/OL]. 中国化工报, 2019-03-15 [2022-01-04]. <http://www.ccin.com.cn/detail/4e37b085ef89236196fe611a4df8e07c>.
- Hu H W. Making our river cleaner: NPC deputies propose facilitating green development of petrochemical industries located along the Yangtze River [N/OL]. China Chemical Industry News, 2019-03-15 [2022-01-04]. <http://www.ccin.com.cn/detail/4e37b085ef89236196fe611a4df8e07c>.
- [18] 田金平, 李星, 陈虹, 等. 精细化工园区绿色发展研究: 以杭州湾上虞经济技术开发区为例 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(6): 121–127.
- Tian J P, Li X, Chen H, et al. The green development of fine chemical industrial parks in China: A case study in Hangzhou Bay [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(6): 121–127.
- [19] 叶茜韵, 田金平, 陈吕军. 精细化工园区工艺过程VOCs产生量核算方法 [J]. 环境科学, 2020, 41(3): 1116–1122.
- Ye H Y, Tian J P, Chen L J. Accounting methods of VOCs emission associated with production processes in a fine chemical industrial park [J]. Environmental Science, 2020, 41(3): 1116–1122.