

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

吕一铮¹, 田金平^{1,2}, 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】 本文概要地回顾了中国工业园区的发展历程, 提炼了中国持续开展多样化实践、推进工业园区生态化发展过程中形成的可复制可推广的经验, 指出推动绿色发展的新动向主要表现在构建绿色产业链、清洁生产和绿色制造、基础设施绿色转型升级和园区环境管理精细化智能化四个重点领域。进而, 本文对中国工业园区进一步推进绿色发展、实现产业生态化进行了展望, 建议在《中国制造2025》提出的“建设绿色制造体系”和“强基工程”引领下, 强化园区绿色发展顶层设计, 制定园区绿色发展引领行动计划, 加强园区分类指导, 优化资源要素配置和产业布局优化, 加强园区绿色制造体系建设, 以期推动工业园区成为国家绿色制造工程和强基工程最重要的载体。

【关键词】 工业园区; 绿色发展; 产业生态化; 绿色制造

【中图分类号】 F205; X321

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2020) 03-0085-05

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.03.085

引言

工业园区建设是中国改革开放的重要实践, 是中国经济发展和城镇化发展的关键载体和重要动力, 也是工业集约集聚发展的重要战略。经过 40 多年的发展, 中国建立了数量庞大的工业园区, 形成了丰富多样且完整的现代工业体系, 贡献了 50% 以上的工业产出^[1]; 但同时园区也面临资源、能源消耗高, 生态环境风险高等复合型挑战^[2]。近 20 年来, 中国政府大力推动工业园区的绿色发展, 陆续开展了生态工业园区、循环化改造园区、低碳工业园区和绿色园区等实践探索, 从动静脉产业链构建、产业共生、清洁生产、基础设施共享、环境管理等多方面形成了“园区绿色发展中国方案”, 取得了显著成效^[3,4]。本文通过回顾、提炼中国工业园区绿色发展的实践与创新, 以期为中国乃至发展中国家更好地实施工业污染防治、推动工业绿色发展提供启示和借鉴。

1 中国工业园区的发展历程

中国工业园区的发展始于 1979 年建立深圳蛇口工业区, 这也是中国改革开放经济特区建设的破冰

者^[5]; 1984 年国家开始设立国家级经济技术开发区并逐渐由沿海向内地推进; 1992 年开始建设国家高新技术产业开发区, 同时园区建设在全国逐渐普及, 至 2003 年全国各级各类园区达到 7000 余个, 但同时也暴露了一系列问题; 2003—2006 年中央政府对全国园区进行整顿, 数量缩减为 1568 家^[6]; 2018 年经中央政府新一轮核定的国家级和省级园区共计 2543 家^[7]。

从地理位置分布看, 中国工业园区主要集中在京津冀、长三角和珠三角地区, 发展过程中主导产业经历了从劳动密集型产业向高科技、高附加值产业的持续转型升级。中国工业园区的工业产值占全国的 50% 以上, 经济增长率远高于国家平均水平^[8], 成为推动我国工业化、城镇化快速发展和对外开放的重要平台, 对促进体制改革、改善投资环境、引导产业集聚和发展开放型经济发挥了不可替代的作用, 并日益与所在区域实现产城融合协调发展。

2 中国持续开展多样化实践推进工业园区生态化发展

工业园区在相对较小的地理空间内聚集了大量工业企业, 资源能源消耗量大^[9], 污染物排放集中且排

资助项目: 国家社会科学基金重大项目 (18ZDA046), 国家自然科学基金项目 (41971267)。

作者简介: 吕一铮 (1996—), 男, 博士研究生, 研究方向为产业生态学、工业园区绿色发展, E-mail: lvyz19@mails.tsinghua.edu.cn。

*** 责任作者:** 陈吕军 (1965—), 男, 博士, 教授, 研究方向为水处理与水回用技术、生态工业园区设计和规划、工业园区循环经济与清洁生产技术等, E-mail: chenlj@tsinghua.edu.cn。

放量, 园区资源环境压力突出。研究显示, 2014年, 1604家省级及以上园区能源基础设施的温室气体排放、淡水消耗、二氧化硫排放和氮氧化物排放分别占同年全国总量的18%、4.6%、12%和15%^[10]。园区既是区域资源环境问题的制造者, 同时也是解决这些问题的重要突破口^[11,12]。在当前乃至今后一个时期, 中国经济发展的重点仍在工业, 如何处理好经济发展与节约资源、保护环境的关系, 推进绿色、低碳、循环发展, 实现产业生态化, 提高发展的质量和效益, 是中国工业园区发展历久弥新的问题^[13]。工业园区的绿色发展是构建绿色生产方式、推进产业生态化的重要抓手, 是国民经济和社会发展的重大战略需求。

我国自1999年开始试点生态工业园区建设, 中央政府多个部门先后开展了ISO14000国家示范区、国家生态工业示范园区、可持续发展实验区、园区循环化改造、低碳工业园区、园区土地集约利用评价和绿色园区等一系列的绿色发展试点项目^[3,14]。截至2019年7月, 已有305家工业园区至少入选了其中一类试点项目, 占国家级和省级园区总数的12%: 93个园区开展了国家生态工业示范园区创建工作, 其中55个园区通过了国家生态工业示范园区考核验收, 121家园区被列为国家循环化改造示范试点园区, 67家园区入选低碳工业园区试点名单, 111家园区入选绿色园区试点名单。此外, 许多省级政府也开展了上述试点项目, 一些行业协会, 如石化联合会开展了绿色化工园区、智慧化工园区示范试点等。以上所有试点项目核心均围绕工业园区的绿色可持续发展。伴随着“一带一路”倡议的推进与深化, 中国工业园区绿色低碳循环发展的策略方案已成为向外传播的重要经验。“一带一路”沿线国家学习我国相关经验, 既契合国际气候治理的诉求, 又能使沿线国家避免或缓解工业发展的高碳“锁定”效应, 实现可持续发展。

中国工业园区的绿色发展受到国际上的广泛关注, 有关中国工业园区产业共生的研究占最近二十年国际相关文献总量的近1/5^[15], 天津经济技术开发区、苏州工业园区、北京经济技术开发区等一批园区是其中的先锋和典范。国内外学者围绕中国工业园区开展的研究, 涉及生态工业园区、循环经济、产业共生、绿色供应链、能源管理、低碳发展、资源节约、生态保护、环境管理、产业重构、绩效评价、污染防治、安全生产、土地开发、管理模式、标准体系等内容, 涵盖了工业园区绿色发展的方方面面^[13]。针对中国生态工业园区、园区循环化改造等四类代表性示范

项目的研究, 一方面集中在管理模式、标准体系、建设成效等研究, 另一方面集中在基于典型案例园区开展的物质代谢、水资源管理、能量代谢、固废管理、能值分析、生态环境绩效评价、温室气体核算、生态网络分析、产业共生或生态转型演变分析等相关政策建议。多样化的科学研究为中国深入推进工业园区的绿色发展、产业的生态化发展提供了有力的支持。

3 中国工业园区绿色发展形成的经验

中国在推进园区绿色发展、产业生态化过程中形成了“有标准可依、依标准建设、示范试点带动、建立长效机制”的发展路线图。国家生态工业示范园区、园区循环化改造、国家低碳工业园区、绿色园区建设这四类代表性示范项目, 在实践过程中通过“试点—修正—试点—修正”的不断完善, 形成了较成熟的管理办法、标准及指标体系。这四类园区试点项目侧重点各异: 国家生态工业示范园区建设侧重于通过产业共生链接与清洁生产达到全过程污染防控与生态环境保护; 园区循环化改造侧重于实现园区资源高效、循环利用和废物超低排放; 国家低碳工业园区侧重于实现高能耗园区的节能减排; 绿色园区建设则侧重于促进园区绿色制造体系的建设。

中国工业园区推进绿色发展实现产业生态化, 实践中形成了明确的指导思想, 即运用产业生态学系统思考的原理, 遵循减量化、再利用、再循环的原则, 实现工业园区经济、资源能源和环境全系统的优化提升。园区绿色发展的实践主要从三个方面协同推进: 一是以企业清洁生产为核心, 强化企业间联系以构建产业共生网络和绿色供应链; 二是完善公共基础配套服务, 通过基础设施绿色转型升级以优化调控园区的物质能量代谢; 三是借助现代化信息技术, 实现园区整体的运行环境与管理模式的精细化, 并推动智慧化升级。

以下从四个方面进一步阐述中国工业园区绿色发展中形成的若干可推广可复制的经验和发展的新动向。

3.1 构建绿色产业链

工业园区绿色发展的重要举措之一是打造绿色产业链。这是园区为了谋求系统整体的竞争优势, 遵循产业发展规律, 以企业为对象, 通过空间、地域、产业基础等优化配置生产要素, 构筑产业生态化组织形态, 形成优势主导产业和产业结构的过程。绿色产业

链的构建包括园区内的产业共生体系培育和绿色供应链建设。构建产业共生体系，是努力将园区内一个生产过程中的废物或副产品转化为另一个生产过程的原料，使整个工业体系“进化”为各种资源循环流动的闭环系统，实现经济效益、环境效益和社会效益的有机统一。中国工业园区在产业共生体系构建方面已形成了大量的典型案例^[16]。绿色供应链建设则是企业以资源节约、环境友好为导向，建立采购、生产、营销、回收及物流一体化的供应链体系，推动上下游企业共同提升资源利用效率，改善环境绩效，达到供应链整体资源利用高效化、环境影响最小化的目标。目前一些园区及企业正在积极开展绿色供应链示范试点。

3.2 清洁生产和绿色制造

清洁生产对园区绿色发展起着至关重要的促进作用。我国于2002年制定《中华人民共和国清洁生产促进法》，清洁生产已成为生态工业园区、园区循环化改造等系列试点项目中的关键共性举措^[17]，要求该法律规定的重点企业全部通过清洁生产审核；实践显示企业持续推进清洁生产对于全过程减少污染物产生具有重要作用。2018年中国更是将发展清洁生产产业作为推进绿色发展的三大支柱产业之一，以支撑国家层面“解决好人与自然和谐共生问题”的绿色发展战略目标。2015年5月国家发布《中国制造2025》，强调全面推行绿色发展，强化产品生态设计和全生命周期绿色管理，努力构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系^[18]。清洁生产与绿色制造都强调从全生命周期的角度提高资源能源效率，减少对人和环境的影响与风险，无疑是园区绿色发展的关键支撑。

3.3 基础设施绿色转型升级

基础设施共享是国内外工业园区的一个共性特点，也是实践中普遍推行的提高资源能源效率的关键措施。园区基础设施主要包括园区集中式污水处理厂、中水回用处理设施、集中供热设施，固废（包括危险废物）收集、资源化利用及处理处置设施等。目前基础设施的绿色转型升级主要通过基础设施的高效、低碳化升级改造，以及构建基础设施间产业共生协作等实施。中国工业园区基本都设置了管理委员会，代表政府开展园区的日常运行和管理，管理委员会对园区基础设施的建设和完善发挥着重要的主体作用。

园区的能源环境基础设施对降低污染物排放和提高资源能源利用效率发挥重要作用。中国工业园区能源基础设施存量中燃煤机组占总容量的87%，单机30MW及以下小机组占总数量的59%，能源基础设施温室气体排放占园区排放量的75%左右。能源基础设施提高能效、减少温室气体排放对于园区低碳发展意义重大^[19]。最新的研究显示，通过综合实施燃煤锅炉改造为燃气锅炉、垃圾焚烧替代燃煤、抽凝/纯凝汽轮机升级为背压汽轮机、大容量燃煤机组替代小容量燃煤机组、天然气联合循环机组替代小容量燃煤机组等措施，中国工业园区的能源基础设施可实现温室气体减排8%~16%，并可协同节水、减排二氧化硫和氮氧化物各34%~39%、24%~31%和10%~14%，且具有较好的经济效益^[10]。园区基础设施间的共生协作可进一步提高园区基础设施的能源环境绩效^[20]。

3.4 园区环境管理精细化和智慧化

基于数据驱动的园区环境管理精细化和智慧化是近年来中国工业园区绿色发展中的新趋势。借助物联网、大数据和云计算技术，将园区的环保、安全、能源、应急、物流、公共服务等日常运行管理的各领域整合起来，以更加精细、动态、可视化的方式提升园区管理和决策的能力。目前，中国一批园区正在开展智慧园区、智慧环保、智慧安监等决策支撑平台建设。园区的精细化管理和智慧化管理多采用环保管家第三方服务的模式，以“市场化、专业化、产业化”为导向，引导社会资本积极参与，提升园区的治污效率 and 专业化水平。

4 中国工业园区推进绿色发展实现产业生态化的展望

从国家层面的政策分析来看，针对园区的环境保护要求呈现以下四个特征^[21]：一是强调系统优化，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，达到系统治理的最佳效果。二是实施能源消耗、水资源消耗、土地资源开发的总量和资源消耗强度双控制，节约、提效、开源成为应对“双控”的重要途径。三是实施更严格、更透明的治污及环境监管，持续提高污染排放标准^[22]，以排污许可证为抓手强化排污者责任。四是达到更高标准和风险控制，特别是加强特征污染物和新兴污染物引起的环境和健康风险的防控。

中国工业园区数量庞大，发展阶段、规模大小、产业门类以及所处地域各异，不同的园区在推进绿色

发展中既有共性问题,也有各种个性问题,全面推进园区的绿色发展、实现产业生态化仍然任重道远。首先,不同地区园区的绿色发展程度存在较大差异,东部地区的园区发展基础较好,资金充足,因而绿色发展程度较高,中西部一些省份园区的发展则相对滞后^[13]。其次,四类示范试点园区几乎都是以国家级经济技术开发区、国家高新技术产业开发区等发展成熟且规模较大的园区为基础升级改造而来的,其改造过程较复杂、昂贵;而大量中小规模的园区囿于经济实力、管理能力等综合实力,面临经济、技术等制约。最后,实践中发现部分法律法规、管理制度和园区绿色发展实践仍不相适应,特别是在废弃物园区内及园区间共生资源化利用方面,在既有的管理制度下仍面临挑战。

当前至2035年是园区生态文明建设的关键时期,是服务国家“生态环境根本好转,美丽中国目标基本实现”宏伟目标的关键发展阶段^[23],工业园区是建设绿色制造体系、实施制造业强国战略最重要、最广泛的载体,中国工业园区绿色发展在今后一段时期内仍将以存量园区的绿色改造提升为主。为实现这一目标,政府、园区和企业等多方需要共同协作,以全面推进园区的绿色发展。

我们建议在《中国制造2025》提出的“建设绿色制造体系”和“强基工程”引领下,强化园区绿色发展顶层设计,制定工业园区绿色发展行动计划,补齐制约园区绿色发展的管理短板;加强园区分类指导,优化资源要素配置和产业布局优化;在局域集中创新要素、打造门类细分的特色产业及特色园区;在区域强化园区群间协作,构建区块产业链,依托园区夯实国家全部工业门类的竞争力,使园区成为绿色制造体系和强基工程最重要的载体。

为强化园区绿色制造体系建设,本文建议持续深入地推进清洁生产,强化产品绿色设计,从系统工程和全生命周期视角全流程实施绿色制造;优化配置绿色产业链,强化园区能源、环境基础设施的提效升级及基础设施间的共生链接,科学设计园区物流/能流传递体系,形成共享资源和互换副产品的产业共生体系,提高能源、水资源、土地资源的利用率和产出率;深化基于现代信息技术的智慧化管理系统建设,持续提升园区管理运行的精细化和智慧化。

若此,中国工业园区久久为功,全面推行绿色发展,必将有力地托举国家制造强国战略目标的实现。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发工业转型升级规划(2011—2015年)的通知[EB/OL]. (2012-01-09). http://www.gov.cn/zhengce/content/2012-01/19/content_3655.htm.
- [2] 邢文听,田良,鲁然英,等. 工业区大气污染控制策略分析[J]. 环境与可持续发展,2006(04):54-56.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 皮黔生,王恺. 走出孤岛——中国经济技术开发区概论[M]. 上海:生活·读书·新知三联书店,2004.
- [6] 中华人民共和国国家发展和改革委员会,国土资源部,建设部. 中国开发区审核公告目录(2006年版)(〔2007〕第18号公告)[EB/OL]. (2007-04-06). http://www.gov.cn/zwggk/2007-04/06/content_574049.htm.
- [7] 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)(〔2018〕第4号公告)[EB/OL]. (2018-02-26). https://www.ndrc.gov.cn/fggz/lywzjw/zcfcg/201803/t20180302_1047056.html.
- [8] 中华人民共和国商务部. 2017年国家级经开区综合发展水平考核评价结果发布[EB/OL]. (2018-05-11). <http://www.mofcom.gov.cn/article/shangwubangzhu/201805/20180502742487.shtml>.
- [9] HUANG L, WAN W B, LI F Y, et al. A two-scale system to identify environmental risk of chemical industry clusters[J]. Journal of hazardous materials, 2011, 186(1): 247-255.
- [10] GUO Y, TIAN J P, CHEN L. Managing energy infrastructure to decarbonize industrial parks in China[J]. Nature communications, 2020, 11: 981, doi: 10.1038/s41467-020-14805-z.
- [11] 田金平,刘巍,李星,等. 中国生态工业园区发展模式研究[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(7):60-66.
- [12] TIAN J P, LIU W, LAI B J, et al. Study of the performance of Eco-industrial Park development in China[J]. Journal of cleaner production, 2014, 64: 486-494.
- [13] 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.
- [14] 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,2016,36(22):7323-7334.
- [15] CHERTOW M, PARK J. Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989-2014[M]//CLIFT R, DRUCKMAN A, eds. Taking Stock of Industrial Ecology. Cham: Springer, 2016: 87-116.
- [16] YUNE J H, TIAN J P, LIU W, et al. Greening Chinese chemical industrial park by implementing industrial ecology strategies: A case study[J]. Resources, conservation and recycling, 2016, 112: 54-64.
- [17] 钱易. 清洁生产与可持续发展[J]. 节能与环保,2002(7):10-13.

- [18] 国务院. 国务院关于印发《中国制造 2025》的通知 [EB/OL]. (2015-05-08). http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- [19] GUO Y, TIAN J P, ZANG N, et al. The role of industrial parks in mitigating greenhouse gas emissions from China[J]. *Environmental science & technology*, 2018, 52(14): 7754-7762.
- [20] HU W Q, TIAN J P, ZANG N, et al. Study of the development and performance of centralized wastewater treatment plants in Chinese industrial parks[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 214: 939-951.
- [21] 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.
- [22] LYU Y, YE H Y, ZHAO Z N, et al. Exploring the cost of wastewater treatment in a chemical industrial Park: Model development and application[J]. *Resources, conservation and recycling*, 2020, 155: 104663.
- [23] 金涌, 胡山鹰. 生态文明与生态工业园区建设 [J]. *中国科技投资*, 2013(16): 27-29.

Practice and Inspiration of Promoting Green Development of China's Industrial Parks and Realizing Industrial Ecology

LV Yizheng¹, TIAN Jinping^{1,2}, CHEN Lvjun^{1,2*}

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. Center for Ecological Civilization, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This article briefly reviews the development process of China's industrial parks, abstracts the replicable and generalizable experiences through China's continuous diversified practices to promote the ecological development of the industrial parks, as well as the new trend of promoting green development. Four key practices are concluded as follow: construction of green industrial chain, cleaner production and green manufacturing, green transformation and upgrading of infrastructure, refined and intelligent environmental management. Furthermore, the article looks forward to further promoting green development and realizing industrial ecology in China's industrial parks, suggesting strengthening the top-level design of green development, formulating the action plan of green development, strengthening the classified guidance, optimizing the industrial layout and the allocation of resource elements, and promoting the construction of green manufacturing system under the guidance of "Green Manufacturing System Construction" and "Strong Foundation Project" proposed in *Made in China 2025*. All the suggestions are aimed at promoting the industrial parks to become the most important carrier of the National Green Manufacturing Project and the Strong Foundation Project.

Keywords: industrial park; green development; industrial ecology; green manufacturing