

【生态文明与区域发展】

中国式现代化背景下的绿色工业化： 进展、问题与对策*

张彦淑 叶堂林 刘华楨

摘要:当前,绿色发展理念已成为工业全领域全过程的普遍要求,绿色工业是中国未来经济增长的新引擎和国家参与国际竞争的新优势。21世纪以来,尤其是党的十八大以来,中国的绿色工业化取得显著成效,传统工业绿色化水平全面提升,新型绿色工业发展持续向好,但在绿色智能制造发展、绿色技术发展储备、能源结构优化、数实融合发展等方面仍面临一些亟待解决的深层次困难和挑战。在以中国式现代化全面推进强国建设的关键时期,应加快推动制造业智能化、绿色化发展,助力工业绿色低碳转型;坚持创新驱动发展,构建绿色低碳技术体系;加快能源消费低碳化转型,促进资源循环利用;助力企业数字化转型,提高数实融合深度,推动中国绿色工业化再上新台阶。

关键词:绿色工业化;传统工业绿色化转型;新型绿色工业;习近平生态文明思想

中图分类号:F424 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2025)02-0143-09 **收稿日期:**2024-12-05

***基金项目:**国家社会科学基金重大项目“数字经济对区域协调发展的影响与对策研究”(23&ZD078);国家自然科学基金面上项目“多层动态网络视角下城市群创新生态系统演化机理及绩效评价研究”(72373105)。

作者简介:张彦淑,女,首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院博士生(北京 100070)。

叶堂林,男,首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院教授,博士生导师(北京 100070)。

刘华楨,女,首都经济贸易大学城市经济与公共管理学院博士生,通信作者(北京 100070)。

一、问题的提出

当前,全球产业体系和产业链供应链呈绿色化转型加速态势,绿色经济已成为全球产业竞争制高点。党的二十届三中全会强调,要加快经济社会发展全面绿色转型。工业作为国民经济的命脉,既是打造具有国际竞争力的现代化产业体系、畅通国内国际双循环的根基,也是中国推动绿色发展的主战场。2023年9月,习近平总书记就推进新型工业化作出重要指示,新时代新征程以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业,实现新型工业化是

关键任务,要把高质量发展的要求贯穿新型工业化全过程,为中国式现代化构筑强大物质技术基础。因此,在以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业的关键时期,梳理总结中国绿色工业化取得的显著成效,剖析当前中国工业绿色发展仍存在的问题并提出相应的对策建议,对中国抢占全球战略制高点、加快形成新质生产力、实现高质量发展具有重要历史意义和现实意义。

绿色工业化是指以环境友好和资源永续利用为导向,以绿色、循环、低碳为基础,以绿色技术创新为核心,实现工业生产全过程节能减污降碳、可持续发展,进而实现经济增长与环境保护的双赢(中

国社会科学院工业经济研究所课题组,2011)。而中国式现代化背景下的绿色工业化,则是在习近平生态文明思想指导下,以构建人类命运共同体为目标的社会主义绿色工业化,是符合中国国情的。既包括传统工业的绿色化转型,也包括发展新型绿色工业在内的绿色工业化道路。与西方强调的生态中心主义、人与自然对立的环境治理理念不同,中国式现代化背景下的绿色工业化始终坚持以人民为中心,坚持生态环境保护与经济发展的辩证统一,站在人与自然和谐共生的高度来谋划发展。与此同时,中国式现代化背景下的绿色工业化道路更强调工业化、信息化、城镇化、农业现代化与绿色化的“五化”协同推进,是一种并联式发展,这也是对西方串联式发展模式^①的超越。

党的十八大以来,绿色发展被提到前所未有的重要位置,引起了各界的广泛关注,工业绿色发展也成为学界研究热点,相关研究覆盖影响因素、成效评估、问题挑战、路径展望及经验总结等方面,与本研究密切相关的研究主要体现在工业绿色发展的成效评估、问题挑战及路径展望上。从中国工业绿色发展的成效评估来看,大部分研究聚焦于梳理某一段历史时期,如建党以来(蒋治等,2022)、新中国成立以来(陶长琪等,2019)或改革开放以来(黄群慧,2018)的中国工业化进程,通过对不同时期的演进分析,逐步呈现中国工业绿色发展的阶段性成效;少数研究利用主观、客观赋权法构造指标体系对中国工业绿色高质量发展水平进行测度(李鹏等,2024),或通过包含非期望产出的数据包络分析法如 Super-SBM 模型(黄磊等,2019;肖滢等,2019)、DEA-DDF 模型(陈瑶,2018)等对工业绿色发展效率进行测算,以此评估工业绿色发展水平;也有研究基于中国工业绿色发展的重要方面,从产出绿色化、投入绿色化、产业结构绿色化三个角度对中国工业绿色发展的成效进行评估和国际比较(史丹,2018)。在关注中国工业绿色发展所取得成效的同时,亦有学者关注中国在工业绿色转型领域面临的问题与挑战,如与发达国家相比,中国的绿色低碳技术和产业发展水平仍较为滞后(史丹,2018),中小型制造企业智能化转型存在困境(杨志波等,2020)、工业能耗结构难以快速转变(郭克莎等,2023)、技术和人才储备不足(刘朝,2023)等因素均限制了中国工业绿色发展的深入推进。关于

如何破解工业绿色发展困境,有研究认为要进一步发挥市场机制的作用,构建以市场为导向的绿色技术创新体系(刘磊,2020);也有研究提出要实现关键“卡脖子”领域的技术突破和产业化赶超、加快工业的数字化转型(李晓华等,2021);亦有研究指出智能制造是企业绿色转型的根本内驱力(毛其淋等,2024),要加快推动智能制造高质量发展,推进新型工业化建设(刘建丽等,2024)。

综上所述,现有研究在工业化领域取得了丰硕成果,但多数研究聚焦分析特定历史阶段的工业化进程,未能将绿色发展理念全面融入工业化的整体演进轨迹中,导致对中国绿色工业化发展综合评估尚显不足,同时也缺乏在新时代背景下,结合中国基本国情及百年未有之大变局所带来的新挑战,提出全面的实施路径和对策建议。鉴于此,本文基于中国式现代化背景下绿色工业化的独特内涵,从传统工业的绿色化转型和发展新型绿色工业两个维度出发,立体呈现 21 世纪,特别是党的十八大以来中国绿色工业化所取得的显著成效,深入剖析其制约因素,并提出推动中国绿色工业化发展迈向新高度的创新思路与具体建议。

二、中国绿色工业化发展的成效

中国式现代化背景下的绿色工业化是传统工业绿色化转型和着力发展新型绿色工业并举的工业化。党的十八大以来,中国始终坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,深入贯彻习近平生态文明思想,立足新发展阶段,完整、准确、全面贯彻新发展理念,大力推动传统工业的绿色化转型,着力培育和发展新型绿色工业,推动中国绿色工业化取得显著成效。

1. 传统工业绿色化水平全面提升

传统工业的绿色化转型是绿色工业化的重要组成部分。21 世纪以来,尤其是党的十八大以来,中国大力推进生态文明建设,促进传统工业绿色化水平全面提升。

能源资源利用效率不断提高。2000 年以来,中国工业能源消费总量不断上升,但在党的十八大以来增速明显放缓,能源利用效率显著提升(见图 1)。2000—2022 年,工业能源消费总量从 10.30 亿吨标准煤增至 36.38 亿吨标准煤,增长了超 2.5 倍,但增

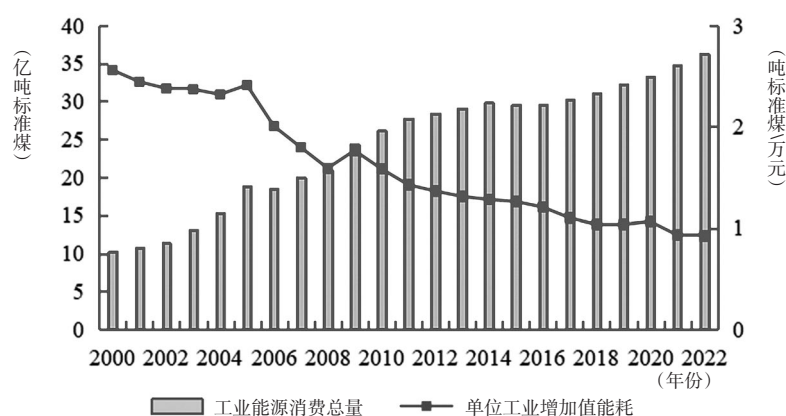


图1 2000—2022年工业能源消费量及单位工业增加值能耗

资料来源:根据《中国环境统计年鉴》、国家统计局网站数据计算。

速明显减缓。党的十八大以来,工业能源消费总量年均增速为2.48%,远低于2000—2011年的9.45%;单位工业增加值能耗从2.56吨标准煤/万元下降至0.92吨标准煤/万元,以年均5.90%的能源消费增长支撑了年均10.94%的工业增长。

工业低碳发展成效显著。2000年以来,工业碳排放量^②虽大幅增加,但增势明显减缓,且单位工业增加值碳排放量大幅下降,碳排放总量、强度控制效果显著(见图2)。工业碳排放量从2000年的30.91亿吨增至2022年的105.05亿吨,但2014年后增势明显减弱,年均增速仅为1.86%,远低于2000—2013年8.95%的增速;单位工业增加值碳排放量整体呈下降趋势,从2000年的7.68吨/万元下降至2022年的2.66吨/万元,降幅达65.36%。

工业领域清洁生产持续深化。一方面,污染物排放总量大幅下降。21世纪以来,工业二氧化硫及工业废水中化学需氧量排放量显著降低,工业固体废物产生量增速有所放缓(见图3)。2000—2022年,工业二氧化硫及工业废水中化学需氧量排放量分别从1612.5万吨、705.0万吨下降至183.5万吨、36.9万吨,降幅分别高达88.62%、94.77%;2000—2011年,工业固体废物产生量年均增速为13.32%,2012—2022年,年均增速仅为2.25%。另一方面,污染物排放强度

显著降低。21世纪以来,工业领域主要污染物排放强度总体保持下降态势。单位工业增加值化学需氧量排放量、二氧化硫排放量、固体废物产生量分别从175.12吨/亿元、400.54吨/亿元和2.03吨/万元下降至2020年的1.59吨/亿元、8.09吨/亿元和1.17吨/万元,降幅分别达99.09%、97.98%和42.05%,工业产出绿色化水平明显提升^③。

2.新型绿色工业发展持续向好

高技术产业、战略性新兴产业和

未来产业代表未来科技和产业发展新方向,体现当今世界知识经济、循环经济、低碳经济发展潮流,也是培育发展新动能、获取未来竞争新优势的关键领域。21世纪以来,尤其是党的十八大以后,中国新

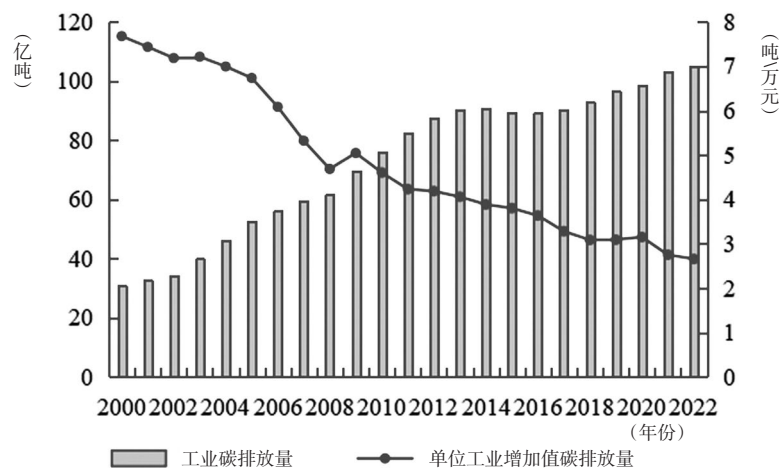


图2 2000—2021年工业煤炭燃烧、工业及单位工业增加值碳排放量

资料来源:根据《中国环境统计年鉴》、国家统计局网站数据计算。

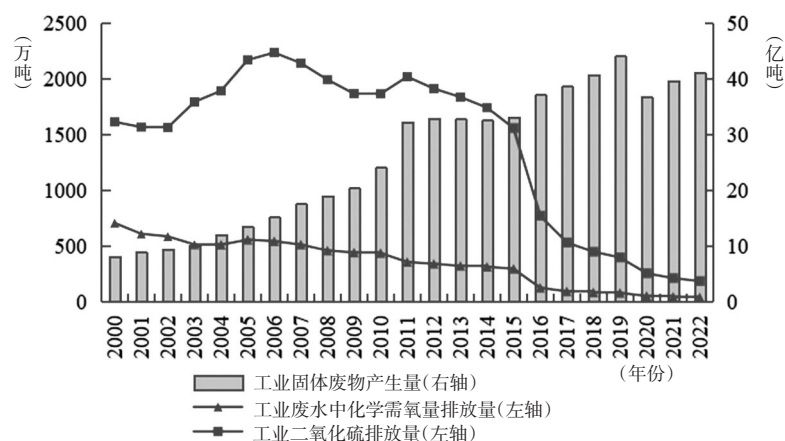


图3 2000—2022年工业领域主要污染物排放

资料来源:根据《中国环境统计年鉴》、国家统计局网站数据计算。

型绿色工业发展成效显著。

第一,高技术产业全面发展。首先,产业规模不断扩大^④。2004年以来,高技术产业发展势头良好,工业发展逐步向中高端迈进。高技术产业的主营业务收入大幅增加,从2004年的2.78万亿元增至2022年的22.34万亿元,增加了超7倍;占制造业的比重从2012年的12.70%低位提高至2022年的19.40%，“中国制造”逐步迈向“中国智造”；企业盈利能力不断增强,利润总额从2004年的0.12万亿元增至2022年的1.24万亿元,年均增速高达15.45%。其次,创新投入快速增长。2000—2022年,高技术产业的R&D投入从111.04亿元增至6507.70亿元,年均增速高达20.33%,占主营业务收入的比重从1.10%提高至2.91%;R&D人员全时当量从9.16万人/年增至125.40万人/年,增加了116.24万人/年。最后,创新产出与效率稳步提高。2000—2022年,产业专利申请数、有效发明专利数分别从2245件、1443件增至434039件、809824件,年均增长率分别为27.03%和33.34%;每万亿元营业收入有效发明专利数从1436件增至36249件。

第二,战略性新兴产业发展壮大。首先,节能环保产业不断壮大。以节能服务产业为例,2011—2023年,中国节能服务企业数量由3900家增至13801家,数量扩大了2.54倍,产业总产值从1250.3亿元增至5202亿元,年均增速高达12.62%^⑤;就环保产业而言,2022年全国环保产业实现营业收入约2.22万亿元^⑥。截至2021年,中国节能环保产业的有效发明专利数为4.9万件,较2017年增长1.6倍。中国已是全球布局环境技术创新最活跃的国家,2011—2020年,中国环境技术发明专利申请总量占全球比重近60%^⑦。其次,新能源产业蓬勃发展^⑧。一是开发规模持续扩大。截至2023年,中国可再生能源发电装机达到14.5亿千瓦,占发电总装机的一半以上,风电、水电、太阳能发电装机分别达到44134万千瓦、42154万千瓦、60949万千瓦,连续多年稳居世界第一,海上风电装机跃居世界第一。二是利用水平不断提升。2022年,全年风电、光伏发电和水电利用率分别达到96.8%、98.3%和98.7%。三是技术水平显著提高。2021年6月,全球单机容量最大、技术难度最高的水电工程——金沙江白鹤滩水电站首批两台机组投产发电。最后,新能源汽车产业增势迅猛。2012年以来,中国新能源汽车产

销量大幅增加,分别从2012年的1.3万辆、1.3万辆大幅增至2022年的705.8万辆、688.7万辆,连续8年位居全球首位^⑨,中国新能源汽车已成为全球汽车产业电动化转型的重要引导力量。

第三,超前布局建设未来产业。未来产业是具有显著战略性、引领性、颠覆性和不确定性的前瞻性新兴产业。大力发展未来产业,是引领科技进步、带动产业升级、培育新质生产力的战略选择。当前,新兴产业仍处于孕育萌发阶段,中国积极把握新一轮科技革命和产业变革机遇,围绕制造业主战场加快发展未来产业,支撑推进新型绿色工业发展。2020年,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》首次提出要前瞻性地布局未来产业,推动量子信息、人工智能、大数据、区块链、生命健康、脑科学、基因技术等前沿领域的发展。自2023年7月以来,习近平总书记多次强调要整合科技创新资源,引领发展战略性新兴产业和未来产业,加快形成新质生产力。2023年底,中央经济工作会议进一步强调,要以科技创新引领现代化产业体系建设,开辟量子、生命科学等未来产业新赛道。2024年1月,工业和信息化部等七部门印发《关于推动未来产业创新发展的实施意见》,重点推进未来制造、未来信息、未来材料、未来能源、未来空间和未来健康六大方向产业的发展,为未来产业的发展提供了政策指导和战略规划;2024年3月,首次将积极培育未来产业写入政府工作报告,进一步彰显中国政府对未来产业发展的高度重视。2022年,浙江公布首批未来产业先导区培育创建名单,成为中国在推动未来产业发展方面的一个先行示范。

三、中国绿色工业化面临的主要问题

在新一轮工业革命和产业变革的关键期,绿色工业已成为中国未来经济增长的新引擎和国家参与国际竞争的新优势。然而,中国仍面临着绿色智能制造发展水平不高、绿色技术发展储备不足、能源结构优化任务艰巨、数实融合深度不充分等问题,实现工业绿色发展任重道远。

1.绿色制造、智能制造体系建设尚不完善,发展水平亟待提升

绿色制造、智能制造作为制造业的高级形态,

已成为新一轮工业革命的重要引擎。当前,中国制造业正处于提质增效关键期,绿色制造、智能制造水平亟须进一步提升。一是绿色制造法律法规和标准体系有待完善。首先,绿色制造法律法规缺乏系统性。目前,中国现有的绿色制造法律法规主要分散于环保、物流、回收利用等领域,碎片化严重,未能形成系统完整的绿色制造法律框架,导致许多制造企业缺乏明确的法律依据以有效推动绿色制造。其次,《绿色工业园区评价通则》亟须加快出台。中国先后于2017年、2018年针对绿色工厂和绿色产品的评价,发布了《绿色产品评价通则》《绿色工厂评价通则》,而对于绿色工业园区的评价标准仍处于研讨阶段,尚未出台,不利于各地绿色工业园区的培育及建立。最后,绿色制造标准体系亟待更新。随着技术的迅猛发展和“双碳”目标战略的提出,中国于2016年发布的《绿色制造标准体系建设指南》已难以适应当前发展需求。为满足新形势下的绿色制造要求,需尽快构建更系统、更全面的标准体系,助推制造业高效绿色转型。二是制造业的智能制造能力成熟度还不高。智能制造评估评价公共服务平台数据显示,截至2025年2月,中国有超半数的制造业企业智能制造能力成熟度处于一级及以下水平,位于智能制造的起步阶段;而仅有7.22%的制造业企业达到四级及以上的高成熟度,实现了深度智能化^⑩。三是智能制造产业生态尚未形成。智能制造行业存在较高的技术难度和技术壁垒,而中国的基础技术还较为薄弱,系统集成技术国产替代较弱、单点关键核心技术受制于人等“卡脖子”问题较为突出(刘建丽等,2024),智能制造还未形成良好的产业生态,产业链上下游企业、大中小企业以及国有企业与民营企业之间的协同配合存在较大障碍(李金华,2022)。

2. 绿色技术发展储备不足,推动工业绿色低碳转型任务艰巨

推动工业绿色低碳转型不仅是一场能源革命,更是一场涉及多领域、深层次的综合性科技革命。绿色工业化进程在很大程度上取决于技术的重大突破,但受限于绿色技术发展储备的不足,工业绿色低碳转型任务仍然艰巨。一是中国绿色技术原始创新积累薄弱,整体水平相对落后。尽管中国在二氧化碳捕获与地质封存等领域取得了一定的技术突破,但在钢铁、有色、化工等重点行业的核心技

术和关键工艺方面,与发达国家相比仍存在较大差距,如钢铁行业的氢冶金和废钢回用技术、化工行业的原油催化裂解技术等,仍需进一步提升。二是绿色人才储备不足。绿色技术的学科交叉性较强,涉及能源和环境科学、工业制造等多个学科领域,但由于中国学科交叉融合积累的不足,高层次综合应用型人才严重缺乏。据中国投资协会预测,到2030年,中国能源转型领域将出现高达3000万人的人才缺口(王林,2024),绿色人才储备的不足在一定程度上限制了绿色技术创新能力的提升(郭滕达等,2019)。三是企业参与绿色技术创新的积极性不高。绿色低碳前沿技术通常技术难度高、前期资金投入大,高风险低收益的不确定性使得部分企业仍侧重具有短期成效的应用技术研发,而对绿色技术创新的研发投入不足,加上创新主体协作融合度不高、绿色技术知识产权保护体系不完善、全社会鼓励科技创新氛围缺乏,导致企业绿色技术创新主动性不高,从而限制了绿色转型跨越式发展的技术储备,阻碍绿色技术水平提升。

3. 能源结构偏煤状况尚未根本改观,可再生能源开发利用有待提升

能源绿色低碳转型的关键在于能源结构的优化升级和可再生能源的开发利用,而“多煤、少油、缺气”的能源结构特点,使得中国工业能源结构优化任务显得尤为艰巨。一是工业部门能源消费占比较高,能源结构绿色转型亟待深化。2012—2022年,工业能源消费量占全国能源消费总量的比重始终在60%以上,并以2018年为拐点呈先下降后上升的变化趋势(见图4),表明工业部门在能源消费中占据主导地位;工业煤炭消费量占工业能源消费量的比重整体呈下降趋势,但始终高于80%,且近几年有所反弹,2022年升至85.84%,表明工业领域对煤炭的依赖性较强,以煤为主的高碳能源消费格局尚未改变;工业煤炭消费量占全国煤炭消费总量的比重始终高于90%,并呈逐年上升趋势,2022年占比接近98%,反映出中国的煤炭消费主要由工业部门主导,也意味着工业领域的能源结构调整对于实现全国能源结构的绿色转型具有决定性影响。二是可再生能源开发利用尚存提升空间。一方面,可再生能源如太阳能、风能等发电极易受天气变化影响,具有较强的不稳定性,导致其可控性和可预测性远低于传统化石能源发电,若无技术突破来改善

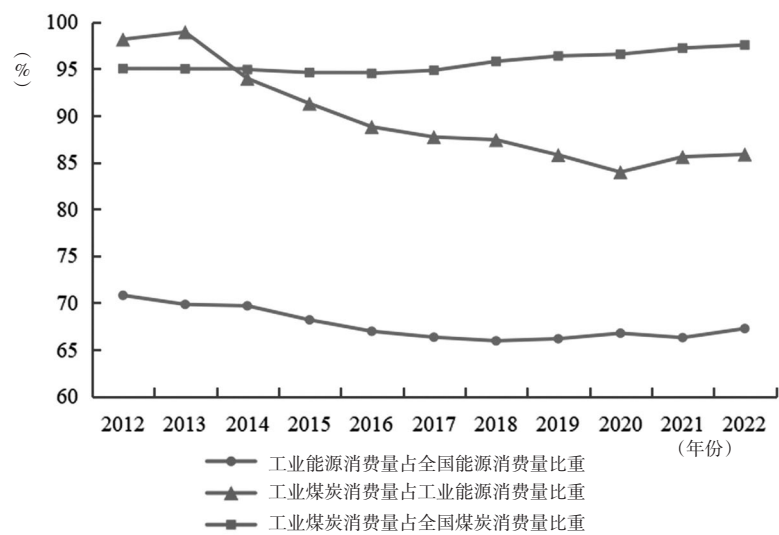


图4 2012—2022年工业能源消费量占全国能源消费总量的比重
资料来源:根据国家统计局网站数据计算。

这种波动性,大规模新能源并网后带来的不稳定电源会给电力系统的可靠性造成不利影响,进而影响可再生能源的长期发展前景(郭克莎等,2023)。另一方面,新能源项目对土地的需求较大,推动可再生能源大规模发展的同时,亟须在用地、用海及生态环境保护等方面与相关部门加强政策衔接与协调。同时,可再生能源的发展高度依赖政策支持,这也在一定程度上制约了其市场竞争力和自主发展能力。此外,当前中国在可再生能源领域存在“重建设、轻利用”的问题,全社会对可再生能源的消费和利用主动性不足,供需不平衡、不协调问题突出,导致资源利用效率较低,影响其适应从能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变的新政策环境。

4.数实融合深度不足,制约工业绿色发展

数字技术是助力中国节能减排降碳的重要工具和手段,对推动传统工业企业全流程、全产业链的绿色化、智能化改造起着至关重要的作用。然而,企业的数字化转型是一个高度复杂的系统工程,既涵盖软硬件的选型与采购、认知与思维方式

的深层转型,也涉及技术层面的深刻变革,同时还需要对企业战略、经营管理、人才培养等方面进行全方位、系统性的调整和创新,这些挑战使得大部分企业尤其是中小型企业“不想转”“不会转”“不敢转”问题突出。中国信息通信研究院的问卷调研显示,有超半数的中小企业对数字化转型的认知存在明显不足,未能充分理解数字化转型的核心要义;超过40%的中小企业有转型意愿,但难以找到符合其个性化、一体化需求的数字化解决方案;另外,超过30%的中小企业因资金短缺和人才匮乏,转型进程受阻,未能顺利实现数字化转型^①。赛迪研究院的调查研究同样显示,数字化转型能力不足、数字化人才缺乏、数字化转型成本较高是中小企业数字化转型面临的“三重困境”^②。《中国数字经济人才发展报告(2024)》指出,截至2023年底,中国的数字经济人才缺口已达到2500万人,并预计至2050年这一缺口会放大到3000万人。数字化转型的困难导致数字技术尚未全产业链、全生命周期地融入到工业经济中,数实融合发展的不充分在一定程度上制约了中国绿色工业化水平的提升。

中国信息通信研究院相关研究显示,自2016年以来,中国数字经济在工业领域的渗透水平持续提升,七年间增长了8.23个百分点,但相较于服务业,工业领域的渗透率仍处于较低水平(见表1),并且从增速来看,工业数字化渗透率年均增长率为5.86%,低于农业(8.22%)与服务业(6.38%)的增长水平。此外,与发达工业国家相比,中国工业领域的数实融合渗透程度仍显不足。2020年,全球工业数字化渗透率位居前三的国家——德国、韩国和美国,其渗透率分别达到了43.9%、43.6%和36.0%^③,显著高于中国2023年25.03%的融合水平。

中国信息通信研究院相关研究显示,自2016年以来,中国数字经济在工业领域的渗透水平持续提升,七年间增长了8.23个百分点,但相较于服务业,工业领域的渗透率仍处于较低水平(见表1),并且从增速来看,工业数字化渗透率年均增长率为5.86%,低于农业(8.22%)与服务业(6.38%)的增长水平。此外,与发达工业国家相比,中国工业领域的数实融合渗透程度仍显不足。2020年,全球工业数字化渗透率位居前三的国家——德国、韩国和美国,其渗透率分别达到了43.9%、43.6%和36.0%^③,显著高于中国2023年25.03%的融合水平。

表1 2016—2023年数字经济与三次产业的融合情况 (单位:%)

	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
农业	6.2	6.5	7.3	8.2	8.9	10.1	10.5	10.78
工业	16.8	17.2	18.3	19.5	21	22.8	24	25.03
服务业	29.6	32.6	35.9	37.8	40.7	43.1	44.7	45.63

数据来源:中国信息通信研究院历年《中国数字经济发展报告》。

四、推动中国绿色工业化再上新台阶的 对策建议

综合中国式现代化背景下绿色工业化发展现状及面临的问题与挑战,为推动中国绿色工业化再上新台阶,认为未来应加快推动制造业智能化、绿色化发展,助力工业绿色低碳转型;坚持创新驱动发展,构建绿色低碳技术体系;加快能源消费低碳化转型,促进资源循环利用;助力企业数字化转型,提高数实融合深度。

1. 加快推动制造业智能化、绿色化发展,助力工业绿色低碳转型

一是健全绿色制造标准体系。对标对表国际先进体系,加快推进绿色制造标准体系的研制与修订,加快编制出台《绿色工业园区评价通则》,助力绿色工业园区的创建;进一步细化绿色工厂及绿色产品评价指标体系,确保标准体系涵盖产品从设计、生产、物流、使用到回收的全生命周期;强化产品全生命周期绿色管理,建立产品全生命周期绿色低碳基础数据平台,统筹绿色低碳基础数据和工业大数据资源,开展碳足迹、水足迹、环境影响分析评价;加快建立绿色采购、生产、营销、回收及物流体系,打造绿色供应链;聚焦“双碳”目标要求,加快制定碳排放基础通用、核算与报告、低碳技术与装备等国家、行业和团体标准,建立工业领域碳达峰碳中和标准体系,协同推进数字赋能绿色低碳领域标准;积极参与国际标准化组织(ISO)等国际标准化组织制定,推动中国绿色低碳标准转化为国际标准。

二是大力发展智能制造。一方面,强化企业在智能制造中的主体地位。针对不同制造业行业细分的特点,制定个性化的智能制造路线图,并分步实施;支持专精特新“小巨人”企业和单项冠军企业利用人工智能优化关键工序和业务系统,率先实现智能化升级;鼓励有条件的企业积极采用自动化、节能减排设备,同时,加大对企业生产设备和工艺改造的投资,推动生产管理智能化升级,提升企业的整体竞争力和可持续发展能力。另一方面,加大对“卡脖子”关键核心技术的攻关力度,加快形成智能制造产业生态。聚焦高端机床、高端装备、科学仪器等智能制造产业,从基础研究入手,动员全国科研力量和产业资源,集中攻克基础技术和共性技

术瓶颈,突破一批关键核心零部件和元器件的技术壁垒。在此基础上,借助技术创新的外溢效应,推动智能制造产业链条的整体升级与创新发展。同时,鼓励企业与科研机构加强协同合作,加速技术成果转化,提升国内制造业在全球产业链中的竞争力,推动中国智能制造向更高端、更智能的方向迈进。

2. 坚持创新驱动发展,构建绿色低碳技术体系

一是加强基础研究,加快关键共性技术攻关突破。首先,强化国家战略科技力量,充分发挥体系化、建制化优势,积极整合各方面研究力量和资源,开展低碳零碳负碳、智能光伏、绿氢开发利用等装备基础研究;大力推进零碳工业流程再造、新型节能及新能源材料等领域的节能减碳重大科技攻关,加快突破低碳前沿关键核心技术;开展化石能源清洁高效利用技术、高效节能环保装备技术等共性技术研发,增强绿色低碳技术供给。其次,推动绿色自主技术创新的协同攻关机制,加大先进适用技术的推广应用力度,提升绿色创新的投入水平。促进不同区域、不同类型工业创新主体之间的协作融合,共同推进绿色共性技术研发和成果转化应用。最后,打通校企合作渠道。推动工业企业和科研院所共同开展产业合作协同育人项目,联合培育绿色技术技能人才,实现产教之间的有效衔接与协调,为绿色工业技术创新提供人才支持。

二是激发市场主体创新活力,促进绿色技术创新成果转化应用。首先,强化企业科技创新主体地位,通过政策扶持引导企业开展绿色低碳技术研发,加快绿色技术创新突破。其次,充分发挥高校、科研院所、金融机构、中介机构等主体的作用,构建以企业为主体、高校与科研院所为基础、金融支持及中介服务为抓手、市场为导向的“产学研金介”深度融合、协同创新的绿色技术创新体系,促进共性技术研发和成果转化应用,为推动中国绿色工业化发展提供坚实的技术支撑和创新动力。最后,加大绿色技术成果转化综合服务平台建设,强化创新各环节和要素的衔接,完善绿色技术交易机制,根据区域绿色技术发展优势和应用需求,布局建设国家绿色技术交易平台,促进绿色技术的交流和合作,加快推进创新成果转移转化和产业化发展,推动绿色工业化进程。

三是推动绿色技术与传统产业深度融合,提升工业绿色技术能力。一方面,加快推进传统产业的

绿色低碳转型升级,通过技术改造和工艺创新,提高资源利用效率,减少能源消耗和污染物排放。例如,在钢铁、化工、建材等高耗能行业推广短流程工艺技术,提高能源使用效率;在纺织、机械等行业推广循环经济模式,实现资源的高效利用和循环再生。另一方面,积极培育工业绿色融合新业态,如推动数字化和绿色化融合、绿色制造和服务融合、绿色消费需求和绿色产品供给融合等。同时,聚焦“双碳”目标下能源革命和产业变革需求,前瞻性布局绿色低碳领域未来产业,全面提升制造业的绿色发展能力,以实现产业结构的低碳转型和可持续发展。

3.加快能源消费低碳化转型,促进资源循环利用

一是提升清洁能源消费比重,改善能源利用效率。首先,对化石能源开采设备进行绿色化改造,促进开采过程的低碳化;淘汰落后的煤电机组,加快碳捕集利用技术的攻关与应用,推动火电的清洁高效低碳发展。其次,对标国际先进水平,加快实施节能降碳改造升级,以节能技术装备创新赋能工业能量系统优化,着力提高能源利用效率,持续提升能源消费低碳化水平。最后,不断推进原生资源高效化协同利用、再生资源高值化回收利用、工业固废规模化综合利用,以减少对新资源的需求和能源消耗。同时,积极推动企业建立智慧用水管理平台,加大工业废水循环利用,以减少资源开采过程中的能源消耗和碳排放,显著提升资源利用效率。

二是增强能源系统灵活性和可再生能源利用率。首先,定期开展新能源技术攻关,依托以新能源为主体的新型电力系统建设,提高风电、光伏的上网比重,确保新能源并网后的用电稳定性和安全性,逐步以可再生能源替代化石能源,稳步提升清洁能源消费比重和利用率。其次,加快可再生能源配套基础设施建设。推进柔性直流输电、交直流混合配电网等先进技术迭代,建设数字化智能化电网,优化配电网结构,增强配电网灵活性和承载力。最后,深化建筑可再生能源的集成应用。推动新建建筑全面执行绿色建筑标准,推广超低能耗、近零能耗建筑,发展近零碳建筑,并应用建筑柔性用电技术,进一步提高可再生能源利用率。

4.助力企业数字化转型,提高数实融合深度

一是增强转型意识,激发数字化转型内生动力。一方面,提升工业企业对数字化转型的认知,培育企业家的数字化思维。为企业提供免费的数

字化诊断工具,帮助企业准确识别其转型需求,同时,建设数字化转型案例库,以成功案例为引导,提高企业对数字化转型的认知和参与度。另一方面,打造中小企业数字化转型标杆示范企业。政府可遴选一批具有行业代表性且转型基础较为扎实的中小企业,通过专项资金、政策优惠及技术支持等方式重点支持其实施数字化改造和升级,帮助其率先探索出转型路径与模式,并加以总结和复制推广,以激发更多企业的数字化转型意识和主动性。

二是强化服务供给,提升数字化转型能力。一方面,进一步完善全国性企业数字化转型公共服务平台。深度整合政府、科研机构、数字化服务商和行业专家等资源,为传统工业企业提供一站式数字工具、技术支持、知识培训和咨询服务,帮助企业快速掌握数字化转型所需的核心技能。另一方面,深化对中小企业的数字化服务供应。鼓励优秀数字化服务提供商及行业龙头企业与中小企业开展深度合作,设计并提供低门槛、低成本、易实施且效果明显的数字化解决方案,使中小企业能够迅速感知转型效益,从而增强其对数字化转型潜力的认知与投资信心。

三是构建人才与资金支持体系,夯实数字化转型基础。一方面,构建涵盖从基础技能到高级技术的多层次数字化人才教育体系,加快培育数字化转型人才队伍,推动职业教育、高等教育与企业需求的深度对接,提高数字人才的供需匹配程度;通过财政补贴、税收优惠等政策手段,鼓励企业加大对员工在数字化工具、智能化生产和数据驱动决策等方面的职业技能培训,提高员工的专业技能与数字化素养。另一方面,缓解中小企业数字化转型的融资约束。建立健全专项金融支持机制,鼓励银行创新金融产品,如发行数字化转型专项债券、设计优先股融资工具等,充分发挥资本市场的直接融资功能;建立面向工业企业的数字化融资服务平台,集成金融科技能力(如大数据分析、人工智能、区块链等),实时采集和分析企业生产经营、订单和财务数据等,动态评估企业信用风险和发展潜力,从而为企业提供高效、精准的融资服务。

注释

- ①西方发达国家在推进现代化过程中是按照工业化、城镇化、农业现代化、信息化的顺序即“串联式”模式进行的。
- ②碳排放量的计算方法参照国家发展和改革委员会公布的

《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》。③资料来源:《中国环境统计年鉴》、国家统计局。④资料来源:EPS数据库、中国科学技术部网站。⑤资料来源:历年《节能服务产业发展报告》。⑥资料来源:榆林市工业和信息化局 <http://gxj.yl.gov.cn>。⑦资料来源:中华人民共和国国务院办公厅 www.scio.gov.cn。⑧资料来源:国家能源局 www.nea.gov.cn。⑨资料来源:中国汽车工业协会 (<http://www.caam.org.cn/>)。⑩资料来源:智能制造评估评价公共服务平台 <https://www.c3mep.cn/home>, 查询时间为2025年2月8日。⑪资料来源:中国信息通信研究院与工业互联网产业联盟在2024发布的《中小企业数字化转型研究报告(2023年)》。⑫资料来源:中国电子信息产业发展研究院在2024发布的《中小企业数字化转型研究报告(2024)》。⑬资料来源:中国信息通信研究院在2021发布的《全球数字经济白皮书——疫情冲击下的复苏新曙光》。

参考文献

- [1]中国社会科学院工业经济研究所课题组,李平.中国工业绿色转型研究[J].中国工业经济,2011(4).
- [2]蒋治,孙久文,胡俊彦.中国共产党工业化实践的历史沿革、理论探索与经验总结[J].兰州大学学报(社会科学版),2022(6).
- [3]陶长琪,陈伟,郭毅.新中国成立70年中国工业化进程与经济发展[J].数量经济技术经济研究,2019(8).
- [4]黄群慧.改革开放40年中国的产业发展与工业化进程[J].中国工业经济,2018(9).
- [5]李鹏,史丹.中国工业绿色低碳发展质量的演进、区域差异及政策建议[J].北京师范大学学报(社会科学版),2024(3).
- [6]黄磊,吴传清.长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究[J].中国人口·资源与环境,2019(8).
- [7]肖滢,卢丽文.资源型城市工业绿色转型发展测度:基于全国108个资源型城市的面板数据分析[J].财经科学,2019(9).
- [8]陈瑶.中国区域工业绿色发展效率评估:基于R&D投入视角[J].经济问题,2018(12).
- [9]史丹.绿色发展与全球工业化的新阶段:中国的进展与比较[J].中国工业经济,2018(10).
- [10]杨志波,杨兰桥.我国中小型制造企业智能化转型困境及破解策略[J].中州学刊,2020(8).
- [11]郭克莎,田潇潇.加快我国工业发展方式绿色转型:成效、挑战与路径[J].经济纵横,2023(1).
- [12]刘朝.数智化技术助力制造业绿色发展[J].人民论坛,2023(11).
- [13]李晓华,沈继楼.中国共产党领导下的百年工业化:历程、经验与展望[J].当代财经,2021(12).
- [14]刘磊,夏勇.战略选择与阶段特征:中国工业化绿色转型的渐进之路[J].经济体制改革,2020(6).
- [15]毛其淋,石步超.通向绿色发展之路:智能制造与企业绿色转型[J].世界经济,2024(9).
- [16]刘建丽,李娇.智能制造:概念演化、体系解构与高质量发展[J].改革,2024(2).
- [17]李金华.中国绿色制造、智能制造发展现状与未来路径[J].经济与管理研究,2022(6).
- [18]王林.金融业绿色人才供不应求[N].中国能源报,2024-01-22(014).
- [19]郭滕达,魏世杰,李希义.构建市场导向的绿色技术创新体系:问题与建议[J].自然辩证法研究,2019,(7).

Green Industrialization in the Context of Chinese Modernization: Progress, Problems and Suggestions

Zhang Yanshu Ye Tanglin Liu Huazhen

Abstract: At present, the concept of green development has become a general requirement for the whole process of the industrial field, and green industry is a new engine for China's future economic growth and a new advantage for the country to participate in international competition. Since the 21st century, especially after the 18th National Congress of the Communist Party of China, China's green industrialization has achieved remarkable results, the green level of traditional industries has been comprehensively improved, and the development of new green industries has continued to improve, but there are still some deep-seated difficulties and challenges to be solved in the development of green intelligent manufacturing, green technology development reserves, energy structure optimization, and digital and real integration. In the critical period of comprehensively promoting the construction of a strong country with Chinese-style modernization, we should accelerate the intelligent and green development of the manufacturing industry and help the green and low-carbon transformation of the industry. Innovation-driven development and building a green and low-carbon technology system; Accelerate the low-carbon transformation of energy consumption and promote the recycling of resources; Help enterprises digital transformation, improve the depth of digital and real integration. We will push China's green industrialization to a new level.

Key Words: Green Industrialization; Green Transformation of Traditional Industries; New Green Industry; Xi Jinping Thought on Ecological Civilization

(责任编辑:平 萍)