

“双碳”目标背景下我国绿色制造体系建设路径研究

杨俊峰¹, 张添硕², 周长波³, 凌黎明¹, 王曦^{1*}

(1. 中国电子信息产业发展研究院, 北京 100048; 2. 凌源钢铁集团有限责任公司, 辽宁凌源 122504;
3. 生态环境部环境发展中心, 北京 100029)

【摘要】 绿色制造是一种与生态文明建设相协调的先进制造模式, 把绿色理念和绿色工艺技术贯穿于制造业全产业链, 追求从设计、制造、包装、运输、使用到报废处置整个生命周期中, 环境影响最小化, 资源利用最大化。2016年以来, 我国绿色制造体系建设扎实推进, 绿色产品、绿色工厂、绿色园区和绿色供应链全面发展, 绿色制造产业不断发展壮大, 有力地支撑了工业绿色低碳转型。本文总结了近年来我国绿色制造体系建设的主要进展, 分析了未来绿色制造体系建设的重点方向和路径, 新时期应该在碳达峰碳中和目标愿景下深入推进绿色制造体系建设, 把增加绿色产品有效供给作为绿色制造体系建设的关键着力点, 以数字化智能化为驱动提升绿色制造的广度和深度, 同时不断深化绿色制造国际共识, 提升我国制造业国际形象和影响力。最后从完善相关政策法规与标准体系、强化绿色低碳技术创新应用、构建产业生态体系和加强国际合作等方面提出了有关对策建议。

【关键词】 绿色制造体系; 绿色低碳; 绿色产品; 绿色工厂

【中图分类号】 X321; F205

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2022) 06-0075-06

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2022.06.075

引言

绿色发展是以提升效率、实现人与自然和谐, 以及可持续发展为主要目标的经济增长和社会发展方式, 代表当今科技和产业变革方向, 是世界发展的大势所趋。特别是在应对气候变化背景下, 实施绿色新政、推动绿色增长是全球主要经济体的共同选择, 发展绿色经济、抢占未来全球竞争的制高点已成为许多国家的重要战略^[1,2]。工业是消耗能源资源和产生排放的主要领域, 是推动形成绿色发展方式的主战场。推行绿色制造体系建设是实现工业绿色发展的必由之路, 一方面要改变高度依赖资源能源消耗的传统增长模式, 加快实现绿色制造水平大幅提升, 建立消耗少、产出高的资源节约型、环境友好型工业体系, 另一方面也要积极培育节能环保、新能源、新能源汽车等绿色新兴产业, 大幅增加绿色产品供给, 以工业的绿色发展带动全社会生产方式、生活方式的绿色低碳升级^[3,4]。2016年以来, 我国绿色制造体系建设迈入快车道, 以实施绿色制造工程和试点示范为牵引, 推动了绿色制造水平显著提升。本文从政策体系、技术装备和试点示范等方面梳理了我国绿色制造体系建设

的主要进展, 进行了新时代绿色制造体系建设重点方向展望, 并从完善相关政策法规与标准体系、强化绿色低碳技术创新应用、构建产业生态体系和加强国际合作等方面提出了对策建议, 以期全面深入推进绿色制造体系建设提供借鉴。

1 我国绿色制造体系建设的现状和基础

1.1 绿色制造政策体系建设取得积极进展

为贯彻落实“十三五”规划纲要和制造强国战略, 加快推进生态文明建设及工业绿色发展, 2016年6月工业和信息化部发布了《工业绿色发展规划(2016—2020年)》(以下简称《规划》), 《规划》深入贯彻落实“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念, 举起了全面推动工业绿色发展的大旗。《规划》从横、纵两个维度提出了十大主要任务, 包括推动节约发展、清洁发展、循环发展、低碳发展, 并从科技支撑能力提升、绿色制造体系构建、绿色制造+互联网、服务平台建设、区域绿色协调发展、国际交流合作等角度进行了工作部署。

2016年9月工业和信息化部办公厅发布《关于

资助项目: 国家重点研发计划“资源循环利用过程精准管理支撑技术与应用示范”(2019YFC1908504)

作者简介: 杨俊峰(1981—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为绿色制造、工业绿色低碳发展等, E-mail: yangjunfeng@ccidthinktank.com。

*** 责任作者:** 王曦(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为绿色低碳、新能源电池, E-mail: wangxic60@163.com。

开展绿色制造体系建设的通知》(以下简称《通知》),明确了以绿色工厂、绿色园区、绿色产品、绿色供应链(“四绿”)为主要内容的评价和示范相关工作要求,启动了绿色制造试点示范工作。截至目前,在《通知》框架下陆续发布了六批绿色制造试点示范名单,并于2022年9月发布《关于开展2022年度绿色制造名单推荐工作的通知》,启动新一批绿色制造名单推荐工作。

2021年12月工业和信息化部发布《“十四五”工业绿色发展规划》,以全面提升绿色制造水平为目标,提出以实施工业领域碳达峰行动为引领,着力构建完善的绿色低碳技术体系和绿色制造体系两大支撑体系,推动工业向产业结构高端化、生产方式数字化、能源消费低碳化、资源利用循环化、生产过程清洁化、产品供给绿色化等六大方向转型,实施工业碳达峰推进工程、工业节能与能效提升工程、资源高效利用促进工程、工业节水增效工程、重点行业清洁生产改造、绿色产品和节能环保装备供给工程、重点区域绿色转型升级工程、绿色低碳技术推广应用等八大工程^[5]。到2025年,绿色制造体系建设日趋完善,重点行业和重点区域绿色制造体系基本建成。

此外,在以上绿色制造主要政策文件基础上,有关部门还开展了一些延伸性拓展性工作。例如,出台《工业节能管理办法》和《国家重大工业节能专项

监察工作手册》,明确了工业节能管理职责及工业节能监察的方式、程序和标准。多部门开展能效“领跑者”、水效“领跑者”引领行动,推动重点用能行业和高用水行业实施节能、节水技术改造。又如,发布开展工业产品绿色(生态)设计的指导意见,大力推进工业清洁生产和产品绿色设计,开展绿色设计试点示范工作,陆续发布了四批绿色设计示范企业名单和典型示范案例,创新政策引导方式,加大政策支持力度,实施高风险污染物削减行动计划。再如,在绿色制造标准体系方面,工信部先后发布了《绿色制造标准体系建设指南》和《工业节能与绿色发展标准化行动计划》,建立了绿色制造综合标准化体系,推动制修订了数百项绿色制造体系建设标准,截至2022年9月已发布绿色工厂评价行业标准41项,绿色设计产品标准161项,绿色供应链管理企业评价指标体系3项。

1.2 绿色制造技术装备加快推广应用

技术进步是推动绿色制造水平提升的关键力量,近年来有关部门大力推广应用先进适用节能、节水、环保、综合利用等绿色技术装备和产品,累计推荐节能技术装备产品3561项、节水工艺技术装备353项、工业资源综合利用先进适用工艺技术及装备350项,有力地支撑了工业绿色低碳循环发展。

在工业节能技术方面,重点在钢铁、石化、化

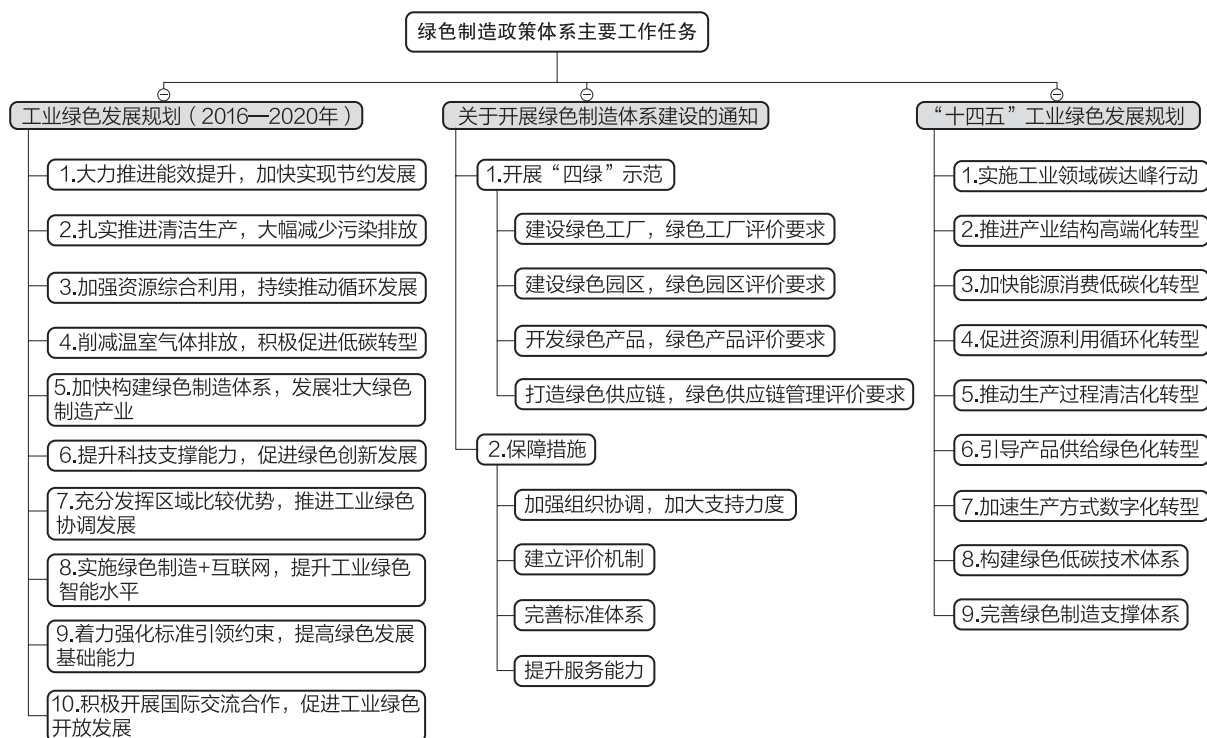


图1 绿色制造政策体系主要推进任务

工、有色、建材、机械、纺织等行业推广应用节能技术,主要包括流程工业节能技术改造、重点用能设备系统节能、能源信息化管控、工厂和园区能量系统优化、可再生能源与余能利用、煤炭高效清洁利用技术等。节能装备上,重点推广应用高效电机、工业锅炉、风机、变压器、压缩机、泵等节能装备,每年定期发布《国家工业节能技术装备推荐目录》。节能产品上,开展“能效之星”产品评价和发布工作,在节能产品的基础上识别同类产品能效更领先的量产产品,每年定期发布《“能效之星”产品目录》,“能效之星”产品评价范围包括终端消费类产品和工业装备类产品,涵盖主要家用电器和工业领域通用用能设备。在耗电量大的数据中心领域,开展绿色数据中心先进适用技术产品遴选工作,发布《绿色数据中心先进适用技术产品目录》,推广有助于数据中心能源、资源利用效率提升的技术产品。在工业节水领域,定期发布《国家鼓励的工业节水工艺、技术和装备目录》,涵盖石化、化工、钢铁、建材、纺织、有色、食品、造纸等行业,引导高用水企业实施节水技术改造,推广应用工业节水技术,提升水资源节约集约利用水平。在污染防治领域,面向污染防治攻坚战和国家生态环境保护需求,工信部、科技部、生态环境部每三年发布一批《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录》,覆盖水污染防治、大气污染防治、固体废物处理、土壤污染修复、噪声与振动控制、环境监测专用仪器仪表、污染防治专用材料和药剂、污染应急处理、污染防治设备专用零部件等9个重点领域。在工业资源综合利用领域,工信部等四部门定期发布《国家工业资源综合利用先进适用技术装备目录》,同时编制发布与目录配套的应用指南及案例,加快工业资源综合利用先进适用技术装备的推广应用,提高资源利用效率。

在绿色技术创新应用方面,联想集团开发的低温锡膏工艺可显著提升焊接速度,同时减少35%的能耗和碳排放量;研发的生产调度系统通过减少生产线闲置等方式提高生产效率,每年可减少2000多吨二氧化碳的排放。海鸿电气开发出的立体卷铁心变压器绿色设计产品,彻底颠覆了变压器行业120多年以来的平面结构铁心历史,在材质、铁心参数、性能水平相同的情况下进行对比,立体卷铁心三维立体结构革新,总重量比叠片铁心减轻约15%,可节约20%~25%的钢材和8%~10%的铜材,生产过程接近零废料,而叠片铁心生产过程中约产生5%左右废料。浪潮与京东云联合发布的天枢液冷整机柜服务器支持冷板

式液冷,与传统风冷式整机柜相比,散热效率提升50%,能耗降低40%以上。“十三五”以来,工信部先后向社会推荐百余项为数据中心和通信基站节能提效服务的先进适用技术产品,推动数据中心和通信基站绿色升级。目前,5G基站单站址能耗相比2019年商用初期降低20%以上,全国规划在建的大型以上数据中心平均设计电能利用比值(PUE)已降到1.3。

1.3 绿色制造试点示范工作扎实开展

自2016年9月第一批绿色制造名单遴选工作启动以来,目前工业和信息化部已连续发布了六批国家绿色制造名单,包括2783家绿色工厂、223家绿色园区、296家绿色供应链企业、3159种绿色产品,打造了一大批绿色制造先进标杆和典型案例,成为引领工业绿色发展的有生力量(图2)。与此同时,各地区、各行业也结合自身实际,发布了本区域、本行业的绿色制造名单,培育了一批从事第三方评价、节能节水诊断、清洁生产审核等专业咨询服务的绿色制造服务机构,为全面推行绿色制造奠定了坚实基础^[6]。

绿色工厂建设方面,截至2022年10月全国共有2783家工厂被遴选为国家级绿色工厂。经过六批的评价和遴选,国家级绿色工厂已在全国各省份形成规模和影响力,一大批省级、市级绿色工厂也涌现出来,对于企业绿色转型产生了积极的引领作用。从区域和行业分布看,绿色工厂地区分布比较均衡,行业分布广泛,江苏、山东、广东、浙江前六批绿色工厂均超过160家,电子、机械、轻工三个行业的绿色工厂占全部绿色工厂总数超过39%。绿色园区方面,共有223家工业园区被遴选为国家级绿色园区,江苏、安徽、江西三个省份的绿色园区数量位居全国前三,分别为17家、14家、13家。223家绿色园区广泛分布在全国的29个省(自治区、直辖市),地域分布广泛,示范效应明显。绿色园区主导产业类型多样,有以钢铁、石化、建材、有色等产业为主导的传统产业园区,也有以节能环保、新能源、高新技术产业为主导的新兴产业园区,反映了国家绿色园区创建的产业多元化特点。绿色设计产品方面,共有3159种产品获评绿色设计产品,共涉及30个省(自治区、直辖市),其中广东、安徽、浙江、山东、江苏、福建六个省份的绿色设计产品超过100种,电子、轻工和化工三个行业的绿色设计产品数量占绿色设计产品总数的82.09%。随着绿色设计产品标准的不断完善和地方鼓励政策的出台,工业企业申报绿色设计产品的积极性进一步提高。绿色供应链方面,工业和信息化部分

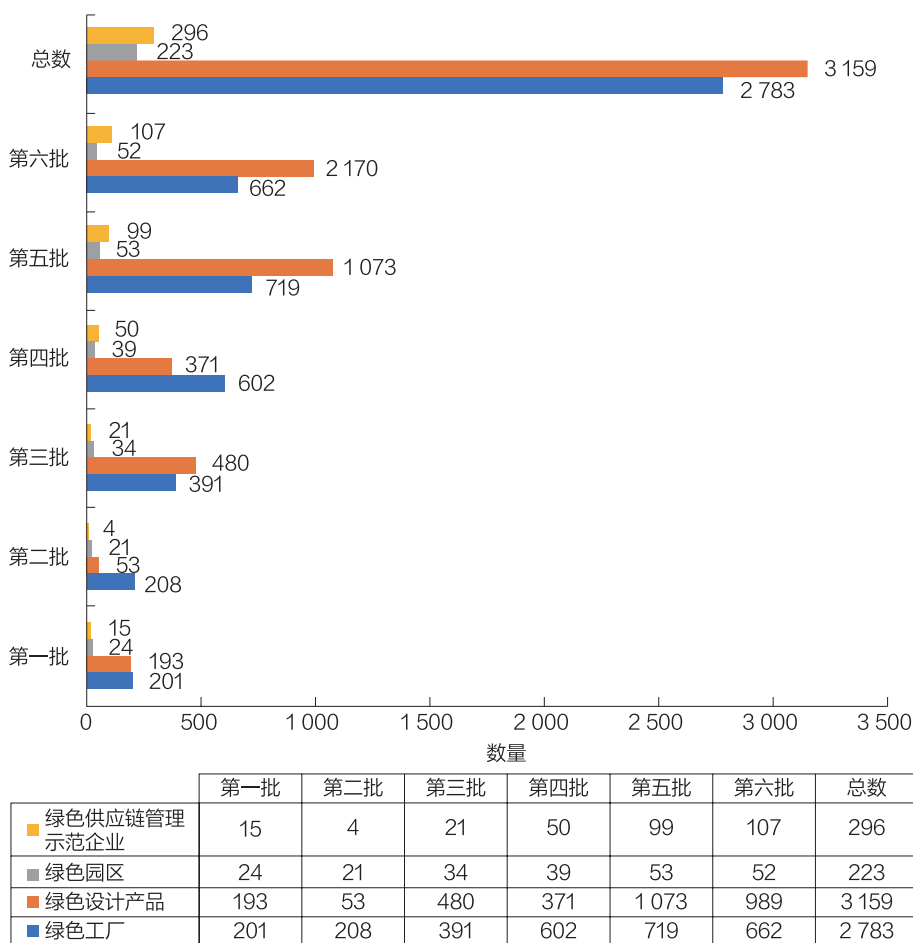


图2 绿色制造名单数量分布

六批累计发布了 296 家绿色供应链管理示范企业，共涉及 27 个省（自治区、直辖市），其中浙江、广东、天津、江苏 4 省市的绿色供应链管理示范企业占全国的 45.3%，电子、轻工、机械、汽车 4 个行业占全部绿色供应链管理示范企业的 78.0%，远远高于其他行业。

2 新时代绿色制造体系建设的主要路径

《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二〇三五年远景目标纲要》就推动绿色发展、构建生态文明体系和积极应对气候变化进行了明确部署，提出协同推进减污降碳，推动绿色发展，加快发展方式绿色转型，深入实施绿色制造工程，完善绿色制造体系。中共中央、国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》提出大力发展绿色低碳产业，建设绿色制造体系，推动互联网、大数据等新兴技术与绿色低碳产业深度融合。为深刻理解把握国家相关战略部署，对新时代绿色制造体系建设重点思路和路径进行了如下分析展望。

2.1 在碳达峰碳中和目标愿景下深入推进绿色制造体系建设

实现碳达峰碳中和目标，工业领域是重中之重，深入推行绿色制造是做好工业领域碳达峰碳中和工作的根基所在。要深刻认识绿色制造体系建设与实现碳达峰碳中和愿景目标的关系。一方面，工业领域是我国目前碳排放的主要来源，钢铁、建材、石化、化工、有色金属等行业碳排放总量和强度水平均较高，未来一段时期内都是我国碳达峰碳中和工作的重点和难点。上述行业亟须通过深入推行绿色制造，全面系统地持续降低碳排放强度和控制碳排放量。另一方面，工业领域也是全社会减碳脱碳技术装备和产品的主要供给者，是推动实现碳达峰

碳中和目标的有生力量^[3,7]。例如，新能源汽车、太阳能光伏、风电、储能等绿色低碳技术装备均离不开工业部门，提供这些技术装备和产品的绿色制造产业不断发展壮大，实现了产业兴起、碳排放下降的双赢。综上所述，要充分发挥绿色制造体系建设对实现碳达峰碳中和目标的关键支撑作用，在重点行业深入推行绿色制造，大力发展绿色制造产业，在工业领域自身绿色低碳转型发展的同时，更好地支撑全社会顺利实现碳达峰碳中和目标愿景。

2.2 把增加绿色产品有效供给作为绿色制造体系建设的关键着力点

工业绿色低碳发展的落脚点是生产制造出更多高品质的绿色产品，核心是持续不断地提升绿色产品的有效供给能力，以满足社会和公众的绿色消费需求，提升社会公众获得感。绿色制造体系建设是个系统工程，其特征是考虑到产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品全生命周期的资源环境影响，其优势是可以实现产品的绿色设计与制造一体化。从整体上看，绿色制造体系是一套科学的、系

统的、全面的绿色产品供给解决方案，应该把提高绿色产品供给能力作为绿色制造体系建设的关键，以绿色产品为重要切入点统筹推进绿色制造体系建设任务，引导产品供给绿色化转型，增加绿色低碳产品、绿色技术装备供给，引导绿色消费，构建绿色增长强大引擎，拉动经济社会各领域绿色低碳转型。

2.3 以数字化智能化为驱动提升绿色制造的广度和深度

工业绿色发展水平提升的主要驱动力是效率提升，比如通过提升能源利用效率、水资源利用效率、原材料利用效率、资源循环利用和再生利用效率、生产加工效率、物流周转效率、污染防治效率等都可以促进工业企业绿色发展水平的提升，而提升工业企业数字化、智能化水平可以显著提升上述各类效率水平，有助于工业企业大幅提升能源资源利用效率，因此数字化智能化和工业绿色发展有很强的正相关性。数字化智能化技术在各行各业有很强的通用性和可复制性，利用数字化智能化技术推动绿色制造体系建设更高效，容易取得更广更深的效果^[8-10]。数字化、智能化、绿色化、低碳化都是全球最重要的发展趋势，互相融合，互相促进。数字化智能化赋能绿色低碳发展大有可为，据测算，到2030年数字化智能化技术将撬动全球碳排放量减少20%。

2.4 深化绿色制造国际共识提升我国制造业国际形象和影响力

改革开放以来，我国制造业取得长足发展，2021年我国制造业增加值达到31.4万亿元，综合实力、创新力和竞争力迈上新台阶，是全球产业门类最齐全、产业体系最完整的制造业。近十年来，我国工业产品供给的数量、质量和档次都有了全面提升，500种主要工业产品中有四成以上产品产量位居全球第一，制造业强大的供给能力显著改善了人民的生活品质，同时为全球发展贡献了重要力量，给世界各国人民带来更多福祉。当前，绿色低碳发展已成为全球共识，在制造业领域核心就是推行绿色制造。我国在绿色制造领域开展了大量工作，在新能源装备等一些细分领域走在世界前列，形成了一大批绿色工厂、绿色产品、绿色供应链典型标杆，应该在全球范围多宣传和展示，塑造绿色制造“领头雁”地位，提升中国制造的绿色软实力。

3 有关建议

未来几年是工业实现绿色低碳转型的关键期，也

是我国应对气候变化、实现碳达峰目标的关键窗口期。总体上，我国当前仍处于工业化、城镇化深入发展的历史阶段，传统行业所占比重依然较高，碳达峰碳中和时间窗口偏紧，绿色低碳技术储备不足，绿色制造政策法规和标准体系不完善，绿色制造产业生态体系不健全，推动工业绿色低碳转型任务艰巨。绿色制造体系建设是一项影响深远的系统工程，需要久久为功，持续推进。建议在现有工作基础之上，进一步完善政策机制，推动绿色技术创新和应用，构建绿色制造产业生态，广泛开展国际交流合作，加快推动绿色制造体系建设迈上新台阶。

3.1 加快完善绿色制造相关政策法规与标准体系

加快建立健全绿色制造政策体系，推动制定绿色制造体系建设相关管理办法，研究修订《清洁生产促进法》《循环经济促进法》《节约能源法》等法律法规，将绿色制造工作融入现行相关法律法规体系，健全配套政策。逐步建立完善覆盖区域、行业、企业、工厂、产品等多层面的绿色制造评价机制，加大评价结果在财政、信贷、支持政策等方面的应用。加大对绿色制造产业发展、技术研发等的支持力度，引导更多社会资源投入绿色制造体系建设。立足工业绿色低碳发展需求，加快建立健全绿色制造标准体系，进一步完善绿色产品、绿色工厂、绿色园区和绿色供应链评价标准体系，制修订一批节能、节水、低碳、资源高效利用等重点领域标准，提升各类标准的质量水准，扩大先进适用标准有效供给，强化标准的贯彻落实。推进绿色设计、绿色制造、产品碳足迹等重点领域标准国际化工作。

3.2 强化绿色低碳技术创新突破和推广应用

加快推动工业绿色低碳技术变革，推动绿色低碳技术、工艺、装备大规模应用和持续迭代升级。抓紧部署工业绿色低碳前沿技术研究，完善绿色低碳技术创新体系，强化科技创新对绿色制造体系建设的支撑作用。持续遴选和发布节能、节水、低碳、清洁生产、资源综合利用等绿色技术、装备和产品目录，并编制技术推广方案和供需对接指南，促进先进适用的绿色低碳新材料、新技术、新工艺、新装备、新产品推广应用。加大在绿色低碳技术创新和推广应用方面的投资力度，推动重点行业实施绿色低碳技术升级改造。

3.3 构建绿色制造产业生态体系

面向绿色发展和碳达峰碳中和重大需求，依托绿

色技术、装备和产品做大做强绿色制造产业,强化产业链上下游和产业配套体系延伸拓展,促进供需两端协同发展,构建完善的绿色制造产业生态体系。加快先进适用的绿色新技术、新装备和新产品产业化应用,支撑钢铁、石化、化工、建材、有色等传统行业实现绿色低碳转型。大力发展新能源汽车、新能源装备、能源电子等绿色制造新兴产业,推动绿色制造与能源、交通、建筑、生活等领域深度融合。强化产业平台支撑,布局和组建一批绿色制造领域研究中心,建设一批公共服务平台,发展一批绿色制造产教融合平台,不断完善绿色制造产业服务体系^[11]。

3.4 加强宣传协调和国际合作

加强宣传推广和沟通协调,引导建立绿色生产消费模式,形成齐心协力推动绿色制造体系建设的广泛共识和良好工作氛围,强化跨部门、跨区域协作。发挥好行业组织、产业智库、第三方促进机构等的桥梁纽带作用,助力重点行业和重要领域深入推进绿色制造体系建设。推动建立绿色制造国际伙伴关系,利用和拓展现有双多边国际合作机制,加强相关交流合作,围绕绿色制造、低碳发展等领域开展深入对接,多层次充分挖掘合作契合点。秉持互利共赢原则,推

动共建绿色“一带一路”,深度参与全球绿色低碳发展,推进绿色制造项目合作。

参考文献

- [1] 刘培基,刘飞,王旭,等.绿色制造的理论与技术体系及其新框架[J].机械工程学报,2021,57(19):165-179.
- [2] 戴正宗.绿色制造引领工业绿色低碳转型[N].中国财经报,2022-09-29(007).
- [3] 绿色制造:“双碳”目标下的制造业转型焦点[J].中国工业和信息化,2022(6):24-25.
- [4] 齐美娟.绿色制造成为落实高质量发展要求的新趋势和新潮流[J].中国国情国力,2019(12):74-74.
- [5] 李欢,张玉燕,崔志广.从“十四五”规划看地方政府绿色制造政策重点[J].中国工业和信息化,2022(6):26-30.
- [6] 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,2022,43(6):3-12.
- [7] 刘志峰,黄海鸿,李磊,等.绿色制造:碳达峰、碳中和目标下制造业的必然选择[J].金属加工(冷加工),2022(1):15-19.
- [8] 刘胜勇.构建绿色低碳智能制造系统的对策[J].金属加工(冷加工),2022(4):9-13.
- [9] 毛帅,王冰,唐漾,等.人工智能在过程工业绿色制造中的机遇与挑战[J].工程(英文),2019,5(6):995-1002.
- [10] 陈尔东,徐建萍,廖斌.大数据驱动的绿色制造模式研究[J].物流科技,2019,42(8):37-39.
- [11] 宋义知.绿色制造服务生态系统研究[J].中国高科技,2020(12):26-28.

Research on the Path of Green Manufacturing System Construction in China Under the Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals

YANG Junfeng¹, ZHANG Tianshuo², ZHOU Changbo³, LING Liming¹, WANG Xi^{1*}

(1. China Center for Information Industry Development, Beijing 100048, China; 2. Lingyuan Iron and Steel Group Co., Ltd., Lingyuan 122504, China; 3. Environmental Development Center of the Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China)

Abstract: Green manufacturing is an advanced manufacturing mode that is coordinated with the construction of ecological civilization. Green concept and green process technology are applied throughout the whole industrial chain of manufacturing industry, and the whole life cycle from design, manufacturing, packaging, transportation, use to scrap disposal is pursued to minimize environmental impact and maximize resource utilization. Since 2016, the construction of China's green manufacturing system has been steadily promoted, green products, green factories, green parks and green supply chains have developed in an all-round way, and the green manufacturing industry has continued to grow, effectively supporting the green and low-carbon transformation of industry. This paper summarizes the main progress of green manufacturing system construction in China in recent years, analyzes the key direction and path of green manufacturing system construction in the future. In the future, we should deeply promote the construction of green manufacturing system under the vision of carbon peak and carbon neutralization, take increasing the effective supply of green products as the key focus in building the green manufacturing system, and improve the breadth and depth of green manufacturing driven by digital intelligence. At the same time, we will continue to deepen the international consensus on green manufacturing and enhance the international image and influence of China's manufacturing industry. Finally, the paper puts forward relevant countermeasures and suggestions from the aspects of improving relevant policies, regulations and standard systems, strengthening the innovative application of green and low-carbon technologies, building an industrial ecosystem and strengthening international cooperation.

Keywords: green manufacturing system; green low carbon; green products; green factory