

中国绿色制造、智能制造 发展现状与未来路径

李金华

内容提要:绿色制造、智能制造是中国建设制造强国的必然选择。现时期,中国绿色制造水平不断提高,绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业的总量在不断增加;经济发展程度与绿色制造水平有显著关联度,即经济发展水平高,绿色制造水平也较高。与绿色制造企业的分布相似,智能制造水平与经济发达程度存在关联度,即经济发达的地区,企业智能制造水平也较高;高技术行业和知识密集行业的智能制造水平领先于其他行业;中国企业智能制造水平整体上还不是很高,智能制造成熟度还有较大提升空间。“十四五”时期,中国应该制定实施绿色制造、智能制造的差异化方案,推动绿色制造、智能制造差异化发展;加快形成绿色制造、智能制造产业生态,创造绿色制造、智能制造大环境;加强国际合作交流,建设创新服务平台,强化企业绿色制造、智能制造主体地位。

关键词:中国制造 绿色制造 智能制造 制造强国 发展现状

中图分类号: F276.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7636(2022)06-0003-10

一、研究背景

制造业在现代产业体系中占有十分重要的地位,它一方面为社会提供产品、创造财富,满足民众的物质生活需求,另一方面消耗资源,排放废弃物,给环境形成压力。为突破中国制造业发展的瓶颈,抢占未来竞争制高点,加快建成制造强国,中国在实施《中国制造2025》的同时还启动实施了“1+X”规划体系^①,其中绿色制造、智能制造就是“1+X”规划体系的重要组成部分。

中国是一个制造大国,制造业体系完备,但生产方式仍然未完全摆脱传统的生产模式,生产投入大、资源消耗多、废弃物排放多。与发达的制造强国的先进水平相比,中国制造业的投入产出比、资源能源消耗比仍然有着较大差距。因此,在新的发展理念下,中国需要加快建立起科技含量高、资源能源消耗少、污染物

收稿日期:2022-04-20

基金项目:中国社会科学院智库基础研究项目“‘十四五’时期中国建设制造强国进程的跟踪测度”

作者简介:李金华 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员,北京,100732;中国社会科学院大学特聘教授、博士生导师,北京,100124。

^①“1+X”规划体系,“1”是指《中国制造2025》,“X”是指11个配套的实施方案、行动指南和发展规划指南,包括国家制造业创新中心建设、工业强基、智能制造、绿色制造、高端装备创新5大工程实施指南,发展服务型制造和装备制造业质量品牌2个专项行动指南,以及新医药工业和制造业人才4个发展规划指南。

排放小的绿色制造体系,实现生产制造方式绿色化。2016年9月,中华人民共和国工业和信息化部(以下简称工信部)等四部门联合发布了《绿色制造工程实施指南(2016—2020年)》,提出要强化科技创新和制造业的绿色改造升级,以法规、标准、制度为保障,全面形成绿色产品、绿色工厂、绿色园区和绿色供应链,建成绿色制造业体系,壮大绿色产业,进一步提升中国在绿色领域的新优势,增强中国制造企业的国际竞争力,实现制造业的高效清洁低碳循环和可持续发展。按照这一部署,中国制造业要全面实施生产过程清洁化、高效低碳化行动,推动基础制造工艺绿色化和水资源的高效利用;加强工业资源的综合利用,在节能关键技术装备和重大环保技术装备方面取得重要突破,培育和发展再制造产业。同时,还要建立健全完善绿色标准体系,开发系列绿色产品,不断创建绿色工厂,建立绿色工业园区,打造绿色供应链,推动绿色制造(green manufacturing,GM)不断迈上新台阶。在推动绿色制造的同时,中国也开始实施智能制造(intelligent manufacturing,IM)工程。2016年9月,工信部等四部门联合发布了《智能制造工程实施指南(2016—2020)》,提出要培育和推广智能制造模式,打牢智能制造的物质基础和理论基础,在重点领域推行智能制造成套装备的集成应用,为智能制造形成强有力的支撑;要开发智能制造软件,建设智能工厂和数字化车间,破解智能制造过程中的数据采集、决策、集成和计算分析问题,构建完善的智能制造标准体系,持续进行企业的智能化改造,在生产制造过程中深度应用数字技术、信息技术、系统集成技术,构建试验验证平台,提升制造行业的智能制造水平。

在绿色制造、智能制造工程实施的同时,一些学者也在理论上探讨绿色制造、智能制造问题,归纳起来这些探讨至少表现为两条主线:一是关于绿色制造、智能制造单个问题的研究;二是关于绿色制造、智能制造体系的研究。关于绿色制造、智能制造单个问题的研究,如钟玥和陈伟栋(2018)认为绿色制造的主要目标是保护环境、节能和资源综合利用,包括绿色设计、绿色产品、绿色生产过程和工艺;构建“工业工程+绿色制造”集成化的战略体系可以有效地推进中国制造业的蓬勃发展^[1]。陈昊和丁晓钦(2020)从政治经济学的角度研究了绿色制造问题,认为绿色制造是一种现代制造模式,既考虑环境影响,又考虑资源效率,在不同生产过程和不同主体层面下,绿色制造都存在着显著的价值创造效应。因此,必须坚持绿色发展、绿色生产理念,注重考虑企业、消费者、行业、政府的利益,构建绿色国内生产价值核算体系,推进绿色制造价值创造效应成为常态^[2]。王鸣涛和叶春明(2020)利用30个省份的工业绿色制造样本数据,运用熵权法和优劣解距离法(TOPSIS)进行实证研究,发现中国工业绿色制造水平整体一般,东部地区优于中部和西部地区,个别中部地区落后于西部地区;中国需要促进能源结构调整,推动能源绿色低碳发展;控制高耗能产业,加快发展战略性新兴产业;强化绿色科技创新,支撑绿色制造^[3]。张梦成和宋良荣(2022)运用数据包络分析(DEA)模型研究了智能制造上市公司的创新效率问题,研究结果表明上市智能制造企业的创新效率差距较大,大部分智能制造企业仍处于DEA无效状态,研发创新效率与成果商业转化效率难以共同达到生产前沿面;政府应当重视企业自主创新行为,促成企业由技术的低成本模仿者向高精尖技术创造者、研发者转化^[4]。

关于绿色制造和智能制造体系问题的研究,王喜刚和王梦杰(2021)认为中国制造业能源的污染消耗量较高,制造业对于节能环保的贡献不大,中国需要加强绿色制造体系研究与建设,建立绿色制造评价标准体系,完善政府对企业实施绿色制造的奖惩机制^[5]。冒咏秋(2021)探讨了当下工业园区构建绿色制造体系,认为建设绿色制造体系的重点在于实现生产全流程的绿色化,现时期中国企业绿色制造成本较高,企业主动意识不强,应该引导中国企业顺应绿色发展大势,着眼于国家经济发展的需求,瞄准绿色产品中的关键问题实现重点突破,提升生产装备绿色水平,将绿色发展理念纳入社会责任体系^[6]。翟璐和赵雁彤(2021)从

营商环境、技术驱动、绿色制造等角度讨论了“双循环”新发展格局下制造业高质量发展的问题,认为中国应通过产业结构升级构筑绿色制造体系;应借鉴世界制造强国的经验,营造良好的营商环境,加强知识产权保护,推动绿色制造体系和智能制造体系,提升绿色国际竞争力^[7]。孙毅和罗穆雄(2021)较系统地梳理了美国智能制造政策的演化过程,研究了美国制造业创新研究所与制造业拓展伙伴计划的实践,探讨了美国制造业转型升级的经验,提出中国要加强智能制造体系顶层设计,增强自主创新能力,培育智能制造生态系统,推动关键性技术的发现与商业化进程,促进知识的共享与融合,优化创新资源配置,强化智能制造人才培养机制^[8]。何慧霞等(2022)聚焦智能制造评价体系问题,分析了智能制造评价体系设计中面临的问题,建议从范式、新技术融合等方面改进完善现行智能制造评价体系^[9]。

以上文献从不同角度研究了中国绿色制造、智能制造问题,这给本文提供了一些有益的启示。与既有成果不同,本文从宏观角度研究现时期中国绿色制造、智能制造的发展现实,思考“十四五”时期中国绿色制造和智能制造发展的主要路径。全文的结构安排:第一部分,研究背景;第二部分,中国绿色制造发展现状;第三部分,中国智能制造发展现状;第四部分,未来“十四五”时期的路径思考。

二、中国绿色制造发展现状

绿色制造是新时代背景下的现代化制造模式,它考虑生产效率,同时考虑环境影响和资源效益,在产品的设计、生产、包装、运输、消费以及报废处理的全生命周期中,努力做到资源利用效率高、资源消耗少、对环境污染小。

2016年9月,工信部发布了《关于开展绿色制造体系建设的通知》,提出了开展绿色制造体系建设的总体思路、建设原则、建设目标、建设内容和保障措施等。2021年12月,工信部又发布了《“十四五”工业绿色发展规划》(以下简称《规划》),就绿色工业、绿色制造问题提出了1个总体目标、5个分目标和9项具体任务。其聚焦的主要问题是:绿色低碳转型、绿色低碳技术装备、能源资源利用效率、工业产业结构、企业的绿色制造等。《规划》强调要构建绿色制造支撑体系,为2030年的工业碳达峰目标奠定基础,其中重要的任务是大力生产绿色产品,建设绿色工厂和绿色工业园区,打造制造绿色供应链,推进绿色设计、绿色制造、新能源等重点领域国际标准化工作。“十四五”时期,国家要培育一批绿色制造服务企业,提供绿色设计与制造一体化,实现工厂数字化绿色提升,强化绿色制造标杆引领。《规划》里所说绿色产品是节能、节水、低污染、可再生、可回收的产品,其生产、使用和处理过程也不会造成污染、破坏环境,它是绿色科技应用的最终体现。绿色工厂,是指整个生产制造过程中不会产生任何有污染物质的企业,其生产模式是环保、绿色,能做到洁净化生产、集约化用地、原材料无害。绿色园区是指在基础设施、生态环境以及规划、时空布局、产业链设计、能源资源利用、运行管理等方面体现资源节约理念,布局集聚化、结构绿色化的园区;园区要以产品制造和能源供给为主,工业增加值占比超过50%。绿色供应链是要以资源节约为导向,在采购、生产、营销、回收及物流体系等方面,处于产业链不同位置的企业一起提升资源利用效率,改善生产环境,创造最优绩效,实现资源的充分利用,且对环境的影响极小化。

绿色制造的具体体现是绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业的培育和发展。为推动绿色制造工程的实施,工信部先后6次遴选公布了绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业,并对入选绿色制造榜单的企业、园区等制定了相应的扶持政策,地方政府也给予了相应的鼓励政策。这些政策包括:直接给予一定额度的奖励;建设项目列入现有财政资金支持重点;优先推荐争取国家工业转型升级资金、专项建设基金、绿色信贷等;优先推荐申报国家智能制造综合标准化与新模式应用项

目、智能制造试点示范项目和绿色工厂项目,并按照项目设备实际投资额予以补助;政府采购上给予优先待遇;优先予以土地规划支持,开设绿色审批通道;扩大绿色制造项目信贷规模;支持绿色企业上市融资,实行税收优惠;对绿色制造示范企业、园区提供便捷、优惠的担保服务和信贷支持;鼓励商品交易市场扩大绿色产品交易、集团采购商,扩大绿色品采购;优先推荐申报工信部、财政部绿色制造系统集成项目等。在这些政策的激励下,各地加强绿色制造体系建设行动,工信部也及时动态发布绿色制造进程,并从2017年起陆续公布了6批绿色制造名单。截至2022年3月,工信部确定的绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业数如表1所示。

表1 绿色制造发展水平

批次	发布时间	绿色工厂/家	绿色产品设计/种	绿色园区/家	绿色供应链管理示范企业/家
第一批	2017年9月	201	193	24	15
第二批	2018年2月	208	53	22	4
第三批	2018年11月	391	480	34	21
第四批	2019年9月	602	371	39	50
第五批	2020年10月	719	1073	53	99
第六批	2022年1月	662	989	52	107
合计		2783	3159	224	296

注:根据工信部发布的绿色制造名单加工整理。

工信部确定的绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业批次不同、数量不同,在全国各省份的分布也不相同。绿色制造工厂的分布状况见图1。

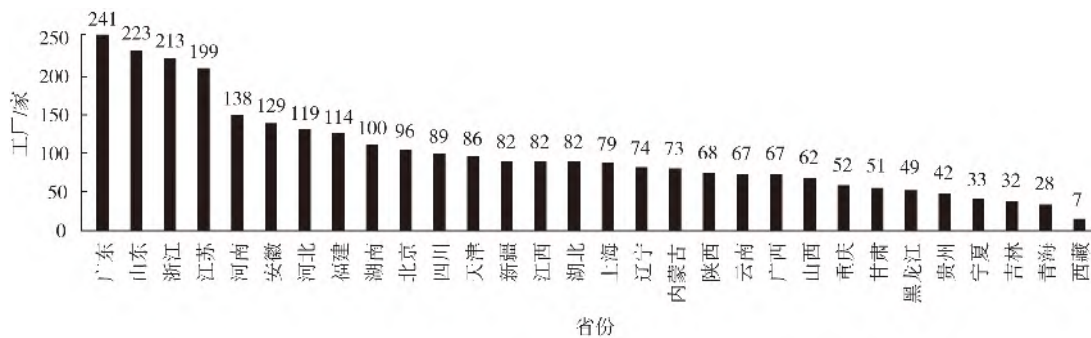


图1 绿色工厂地区分布

注:根据工信部发布的绿色制造名单加工整理。截至时间为2022年3月。

由表1和图1可以发现中国绿色制造具有如下基本特征。

1. 中国绿色制造水平不断提高,绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业的总量在不断增加

截至2022年3月,工信部公布的中国绿色工厂总数为2783家,绿色产品设计3159种,绿色园区224家,绿色供应链管理示范企业296家。从2016年国家实施工业绿色发展规划以来,工信部实施了一大批重点项目用于推动绿色制造,这其中涉及厂房、原材料、能源、废物等多个方面,目标是集约化、无害化、低碳

化、资源化等,这些工程和行动卓有成效,由此陆续催生了一大批绿色工厂、绿色产品设计、绿色园区、绿色供应链管理示范企业。特别是在燃料加工行业、化学制造、非金属矿物制品业、电力生产、热力生产等高耗能行业也产生了一批绿色制造工厂。需要注意的是,虽然国家加快制定了绿色工厂的国家标准,一些分行业的绿色工厂标准也在不断修订完善,但是目前绿色园区、分行业的绿色供应链和绿色产品标准还存在短板,有些标准需要加快制定推出,有些标准还需要修订完善。

2. 经济发展程度与绿色制造水平有显著关联度 经济发展水平高 绿色制造水平也较高

前文的分析数据显示,广东、山东、江苏、浙江等经济发达省份绿色工厂的数量较多,而西藏、甘肃、宁夏等经济欠发达地区,以及吉林、黑龙江等东北老工业基地,绿色工厂的数量相对较少。特别是西部地区,重工业所占比重较高,随着经济的增长,其高耗能行业生产规模增长明显,用电量增速超过全国平均值的省份所占比重较大。“十四五”期间,西部鼓励发展的特色优势产业中,也不乏重化工产业,所以西部地区节能减排压力、绿色制造发展的压力继续加大。另外,在水资源节约方面,中国制造企业的用水效率普遍还有待提高,有些园区工业节水与水处理设备设施有限,精细化管理不足,绿色智慧化手段不充分,用水标准体系也不健全,所以不同行业节水差异性较大。现实中,钢铁、石油、化工行业的节水水平和工业用水复合利用率较高,而纺织、造纸、食品等行业的高耗水情况还较突出,用水效率较低。

3. 绿色制造行动多管齐下综合发力效果较明显

中国绿色制造行动和绿色制造体系建设中,采用了多种方式一齐发力,如工业节能减排、节能技术改造、资源节约和综合利用等。2016年以来,工信部领衔制定了一系列工业节能标准和绿色发展标准,这些标准都针对专门的行业,力图发挥标准的引领和支撑作用。同时,国家对数以万计的企业开展节能监察,督促其加快节能技术改造;在高耗水行业,如钢铁、煤炭、化工、纺织等,遴选了一批水效优胜企业,使其成为领跑者。此外,国家还加快建设了工业资源综合利用基地,开展专项行动,有计划地治理尾矿、废渣、废气问题,使工业固体废弃物得到综合利用。针对钢铁企业,国家支持其进行技术、工艺、流程的改造、革新,钢铁企业增强了废钢、废渣的利用能力。所有这些行动,使得“十三五”时期全国大中型企业工业增加值的能耗和用水量均有大幅下降。绿色制造工程实施以来,中国化工、建材、钢铁和有色金属四大高耗能行业能源消费量占全社会比重一直呈下降趋势,新动能促进第二产业结构持续改善,高技术制造业增加值增长率显著快于规模以上工业增加值增长率,特别是工业机器人、智能手表、三维打印设备等高新绿色产品保持了较快的增长率。

三、中国智能制造发展现状

与绿色制造一样,智能制造是建设制造强国的重要工程,也是中国制造未来发展的必然选择,智能制造的发展水平直接决定了制造强国建设的进程。智能制造是一种人机一体化智能系统,其由智能机器、人类专家所组成。在生产制造过程中,人与智能机器协同共事,尽可能地扩大、延伸或者取代人类在生产制造活动中的脑力劳动。智能制造的基本特征是:生产制造的各个环节广泛应用人工智能技术;制造单元的柔性智能化与基于网络的制造系统柔性智能化集成;制造过程自动化、精益化、绿色化;信息技术是制造过程的系统和各个环节智能集成化的支撑。2021年12月,工信部等八部门联合印发了《“十四五”智能制造发展规划》,提出要建立长效评价机制,对中国制造企业进行智能制造能力成熟度评估,针对不同行业、不同地域发布智能制造成熟度指数,构建智能制造赋能的激励机制,推动中国智能制造水平再上新台阶。

2022年3月,中国电子技术标准化研究院发布了《智能制造发展指数报告(2021)》(以下简称《智能制

造报告》) ,该报告设计了一个智能制造能力成熟度模型 ,采用与能力成熟度模型集成(capability maturity model integration ,CMMI) 类似的等级评估系统 ,将成熟度等级分为五级 ,由低到高分别是: 一级 ,规划级; 二级 ,规范级; 三级 ,集成级; 四级 ,优化级; 五级 ,引领级。评估系统包含 4 个能力要素 ,分 12 个能力域和 20 个能力子域。4 个能力要素是人员、技术、资源、制造; 12 个能力域是组织战略、人员技能、数据、集成、信息安全、装备、网络、设计、生产、物流、销售、服务; 20 个能力子域是组织战略、人员技能、数据、集成、信息安全、装备、网络、产品设计、工艺设计、采购、计划与调度、生产作业、设备管理、安全环境、仓储配送、能源管理、物流、销售、客户服务、产品服务。利用这一评估系统 ,企业可以自行进行智能制造水平测度 ,得出的结果等级越高 ,智能化制造水平就越高 ,反之智能化水平就越低。该报告分析了全国 20 000 余家企业的智能制造能力成熟度数据 ,评估了国内制造业智能化发展水平 ,较客观地反映了 2021 年中国制造业领域智能制造发展状况。根据中国电子技术标准化研究院提供的数据 ,2021 年智能制造能力成熟度达二级及以上的企业地区分布如图 2 所示。

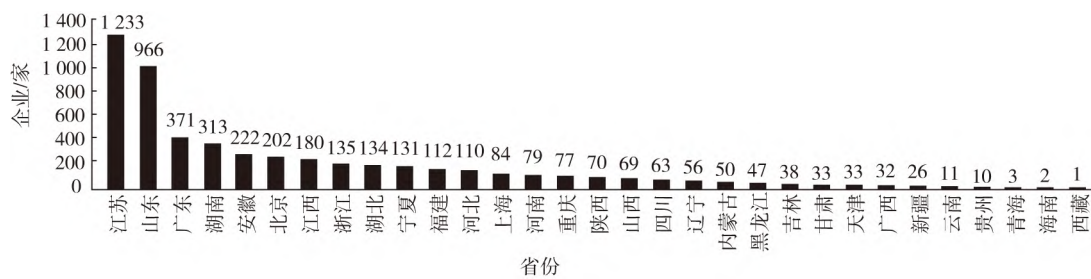


图 2 2021 年智能制造能力成熟度二级及以上的企业地区分布

资料来源《智能制造发展指数报告(2021)》。

进一步 ,拥有智能制造能力成熟度二级及以上企业较多的排名前 50(TOP50) 的城市见表 2。

表 2 2021 年智能制造能力成熟度二级及以上企业 TOP50 城市

单位: 家

城市	企业数	城市	企业数	城市	企业数	城市	企业数	城市	企业数
无锡	630	宿迁	69	泰安	49	徐州	32	长春	25
长沙	253	潍坊	65	芜湖	47	菏泽	31	南京	24
苏州	248	德州	64	吴忠	44	惠州	31	聊城	23
深圳	236	泰州	64	烟台	40	石嘴山	31	石家庄	22
北京	202	淄博	62	银川	40	株洲	29	镇江	22
东营	152	临沂	58	马鞍山	38	滨州	28	大连	21
青岛	127	威海	58	武汉	35	合肥	28	南昌	21
济宁	100	济南	57	枣庄	35	成都	27		
常州	87	滁州	56	西安	34	广州	27		
上海	84	杭州	52	天津	33	宁波	27		
重庆	74	厦门	49	上饶	32	九江	26		

资料来源《智能制造发展指数报告(2021)》。

根据表 2、图 2 及相关的发现 ,中国智能制造有如下基本特征。

1. 与绿色制造企业的分布相似 ,智能制造水平与经济发达程度存在关联 ,经济发达的地区 ,企业智能制

造水平也较高

江苏、山东是经济大省,集聚的智能制造能力成熟度二级及以上的企业较多;中部地区的湖南、安徽、江西、湖北等也集聚了较多的智能制造能力成熟度较高的企业。东北的吉林,西北的甘肃、内蒙古,西南的贵州、云南等集聚的智能制造能力成熟度较高的企业较少。例外的是,宁夏拥有较多的智能制造能力成熟度较高的企业。从城市分布看,无锡、长沙、苏州、深圳、北京拥有的高成熟度智能制造企业较多,经济欠发达的边远地区城市拥有的高成熟度智能制造企业较少。在智能制造产业园区方面,根据中商产业研究院提供的数据,截至 2021 年 5 月,中国智能制造产业园共计 537 个,分布在全国 27 个省份,主要集中在东部沿海地区和中部地区,西部地区智能制造产业园较少^[10]。具体分布情况:江苏 79 个、广东 59 个、山东 43 个、浙江 39 个、河南 38 个、重庆 23 个、湖北 22 个、四川 22 个、安徽 21 个、北京 18 个、河北 18 个、福建 17 个、湖南 17 个、陕西 17 个、贵州 15 个、上海 13 个、天津 13 个、辽宁 12 个、内蒙古 10 个、广西 8 个、黑龙江 8 个、江南 6 个、云南 6 个、山西 5 个、新疆 4 个、吉林 3 个、甘肃 1 个。

2. 高技术行业和知识密集行业的智能制造水平领先于其他行业

根据《智能制造报告》的分析,现时期中国计算机、电子设备、汽车、电器、食品、医药、专用设备制造、化学原料及制品、有色金属冶炼等行业的智能制造能力成熟度水平领先于其他行业。智能制造涉及范围较广,细分行业较多,各行业在生产流程及工艺、生产线配置、原材料及产品类型均存在较大差异,无法推出通用性方案来应对不同细分领域客户需求,所以行业智能水平差异较大。《智能制造报告》的数据进一步显示,中国企业智能制造能力成熟水平达到四级及以上的处于领先位置的行业分别是计算机电子设备制造业(在所在行业的企业数占比为 12.9%)、电子机械和器材制造业(11.7%)、汽车制造业(10.5%)、专用设备制造业(9.6%)、化学原料和化学制品制造业(8.4%)、石油煤炭及其他燃料加工业(8.4%)、食品制造业(8.1%)、通用设备制造业(7.6%)、医药制造业(6.7%)、有色金属冶炼及压延加工业(5.1%)^①。企业智能制造能力成熟水平处于一级及以下的行业分别是计算机电子设备制造业(52.7%)、汽车制造业(53.9%)、电子机械和器材制造业(59.8%)、食品制造业(63.8%)、医药制造业(65.1%)、专用设备制造业(69.2%)、化学原料和化学制品制造业(70.5%)、有色金属冶炼及压延加工业(70.6%)、石油煤炭及其他燃料加工业(72.4%)、通用设备制造业(73.6%)。

3. 中国企业智能制造水平整体上还不是很高,智能制造成熟度还有较大提升空间

智能制造是新一代信息技术、数字技术与制造技术的融合,在产品的设计、生产、管理、服务等全过程中都充分体现自动化、智能化,其具有自我识别、自我决策、自我执行、自我适应等多项功能。根据《智能制造报告》的数据,2021 年,中国企业智能制造的整体水平还不高,处于一级及以下水平的企业占全部制造企业的比重为 69%,处于二级水平的企业占比为 15%,处于三级水平的企业占比为 7%,处于四级及以上的制造企业占比为 9%。在制造方式上,离散型制造业的成熟度水平整体高于流程型制造业。以 2021 年的数据,离散型制造^②企业处于四级及以上的数量比流程型制造企业数量高出 3% 左右。整体上,离散型制造业一级及以下企业占比为全部制造企业的 67.1%,二级占比为 15.8%,三级占比为 7.8%,四级占比为 4.6%,五级占比为 4.8%;而流程型制造业一级及以下企业占比为 72.2%,二级占比为 14.4%,三级占比为 6.7%,四级占

① 括号中的数字是行业内智能制造能力成熟水平达到四级及以上的企业数占比。

② 离散制造,就是产品往往由多个零件经过一系列并不连续的工序的加工最终装配而成,加工此类产品的企业可以称为离散制造型企业,火箭、飞机、武器装备、船舶、电子设备、机床、汽车等制造业,都属于离散制造型企业。流程型制造:就是使用化学或热力学方法对原料或配方以混合、分离的方式获取成品的连续生产过程,流程型制造的特点是产品不可数、加工过程连续,如农药生产、炼油等行业。

比为3.3%,五级占比为3.4%。

4. 中国智能制造行业所涉及技术范围较广,技术难度较高,技术壁垒较为显著,智能制造产业生态还没有完全形成

根据招商引资实战平台的研究报告,中国智能制造企业不少是上市公司,这些上市公司的核心业务主要集中在专用智能装备及智能主线集成、企业应用软件及服务、通用智能设备及集成解决方案、工业自动化控制系统及产品、智能物流装备及集成服务、工业物联网及传感器应用等领域^[11]。但是,中国智能制造的核心技术、关键设备和关键元器件与制造强国相比差距较大,基础技术还较薄弱。同时,人才稀缺带来的人才壁垒与难以获取客户资源使智能制造行业进入门槛较高,又由于智能制造属于技术导向型而非资本导向型行业,其难以通过大量资金注入赢得市场份额。所以,智能制造产业生态还没有完全形成,产业链上下游企业、大中小企业、国企民企还不能很好地配合,这成为中国智能制造发展面临的重要问题。

四、对“十四五”时期的路径思考

对中国绿色制造、智能制造发展状况的分析为思考未来绿色制造、智能制造的发展路径提供了基础。“十四五”时期,中国应该制定实施绿色制造、智能制造的差异化方案,推动绿色制造、智能制造差异化发展;加快形成绿色制造、智能制造产业生态,创造绿色制造、智能制造大环境;加强国际交流合作,建设创新服务平台,强化企业绿色制造、智能制造主体地位。

1. 制定实施绿色制造、智能制造的差异化方案,推动绿色制造、智能制造差异化发展

中国幅员辽阔,各地资源禀赋不同,经济发展水平差别较大,这也使得不同地区绿色制造、智能制造水平产生较大差距。同时,由于制造业行业种类繁多,有些是高耗能行业,有些是低耗能行业;有些是高排放行业,有些是低排放行业;有些是高技术含量行业,有些是低技术含量行业。因此,不同地区、不同行业,或者同一地区不同行业实行绿色制造、智能制造的环境、条件差别非常大。“十四五”时期,要在国家绿色制造、智能制造的顶层设计框架下,制定差异化的行动方案,实现差异化的绿色制造、智能制造发展。要支持地方、行业确定本地区、本行业的绿色制造、智能制造标杆企业,开展绿色认证、智能认证和星级评价,对绿色制造企业、智能制造企业进行动态管理,建立有进有出的动态调整机制。实践中,要充分考虑西部地区发展阶段、产业结构、环境资源的特殊性,实施有别于东、中部地区的政策,如对新上项目进行环评、淘汰落后产能、实施节能减排、进行技改资金安排等;强化指导,对西部、东北地区的工业能源消费状况进行监管,对能源消费量大、增速快的重化工行业跟踪监测,及时化解有碍节能目标顺利完成的因素。要分工明确、定位精准,在不同地区选择不同的行业,实行智能制造的重点突破,发挥引领示范作用。

西部地区、东北地区要发挥能源和资源优势,集中力量进行生产制造的节水、节能工作,重点地区的企业和行业可以推行以水定产的方式严格节水;要控制钢铁、石化、化工等高耗水行业的新增产能,要推动再生水、海水淡化等非常规水的利用;要利用第五代移动通信技术(5G)技术、人工智能、物联网等新技术进行节水的智慧化监管,实行常态化的节水诊断和节水平衡测试。要支持西部地区、东北地区制造企业采取有别于东部地区企业的智能化模式,瞄准区域市场需求,因地制宜地发展分布式智能电网,大力发展水电、风电,提高清洁能源的利用水平;要协调统筹各方资源,加快推进先进制造业的数字化、网络化升级,重塑或完善先进制造业的技术体系、生产模式和产业形态。东部地区的制造行业要成为人工智能技术和智能制造的领导者,在某些领域或某些行业要力争占据全球智能制造产业的制高点。要实现“碳中和”经济,努力将净

碳排放量降至零,构建起数据支撑、网络共享、智能协作的绿色供应链管理体系。

2. 加快形成绿色制造、智能制造产业生态,创造绿色制造、智能制造大环境

在绿色制造、智能制造方面,全球都需要建设一个更加公平、更有效率的竞争环境。这种环境,中国乃至全球都还没有建立起来。因此,要分层次、分步实施,从生产线、车间、工厂到集团或者是园区,要加快实现生产过程的绿色化、自动化、数字化、网络化,加快推进工业绿色转型、智能转型;要精准施策,加大力度进行节能技术改造,推进节能降耗、清洁生产、资源综合利用;在新上项目上加强工业投资项目节能评估和审查,强化能耗准入;应建立节能市场化机制,开展工业节能诊断服务,支持鼓励先进制造企业制定绿色制造目标,推行承诺制度,推行绿色包装和绿色运输,做好废弃产品回收处理,形成绿色供应链,实现绿色产业链与绿色供应链的协同发展,提升先进制造产业链与供应链的绿色化水平。

要加快国家产融合作平台的建设,建设绿色制造、智能制造项目库,引导金融机构扩大绿色信贷、智能制造信贷投放,推动绿色金融产品、智能制造服务产品创新,建立起全国碳排放权和全国用能权交易市场,支持绿色企业、智能企业上市融资和再融资,降低融资成本。对于绿色制造产业园区,要加快建设新型基础设施节能,科学规划建设 5G 基站、数据中心、工业互联网等新型基础设施,推广应用绿色基站、绿色数据中心、人工智能设施,提高新基建设施的运行能效;要广泛应用智慧能源,推动信息技术、数字技术与制造技术的深度融合,在钢铁、水泥、石化与化工等重点传统行业建立污染物排放的数据管理系统,驱动协同制造,提高组织效率及能源利用效率。应加强各类媒体、公益组织舆论引导,宣传绿色制造、智能制造政策法规、典型案例,发挥行业协会、智库、第三方机构等的桥梁纽带作用,形成助力绿色制造、智能制造的良好大环境。

3. 加强国际合作交流,建设创新服务平台,强化企业绿色制造、智能制造主体地位

绿色制造、智能制造是国家战略,其归根结底体现为企业的责任,必须加强国际合作交流,建设创新服务平台,强化企业在绿色制造、智能制造中的主体地位。要促进有条件的企业广泛深度使用自动化设备、节能减排设备,大规模建设绿色工厂、数字化车间、绿色产品设计、绿色供应链,建设智能场景、智能车间、智能工厂、智慧供应链,推动专精特新“小巨人”企业、单项冠军企业率先实现制造绿色化、智能化,率先使用人工智能对关键工序、流程和业务系统进行数字化、云化改造,全面实现制造工艺优化和技术装备升级;要根据制造业细分行业的特点,针对性地设计智能制造路线图,按路线图有序推进、分步实施;要加大投入,推进企业生产设备改造升级,持续进行工艺革新,实现生产管理优化和生产过程的智能化。

要加强绿色制造、智能制造国际合作交流,推动绿色制造、智能制造关键技术创新的联合攻关和成果共享;要支持地方行业组织、龙头企业等联合推广先进技术、装备、标准,推动绿色工艺、人工智能技术与制造装备深度融合,加快建设智能制造进园区,提升产业集群智能化水平。要加强与有关国际组织在绿色制造领域、智能制造领域的合作交流,支持建设中外合作绿色工业园区,建立国际绿色低碳技术创新合作平台和培训基地,推动绿色技术、智能技术创新成果在国内的转化和落地应用。要培育一批具有现代科技水平的工业互联网平台,建设具有国际竞争力的创新服务平台,形成基于工业互联网的制造业生态。要鼓励有能力、有条件的国有企业、龙头民营企业加大研发投入,开展基础性研究,发展大规模个性化定制、高端定制、服务型制造等新型制造模式,推动中国制造模式的变革。要充分发挥产学研各自的优势,强化企业在绿色制造、智能制造中的作用,通过制度安排,推动绿色知识、人工智能知识的创新、引进、扩散和应用,实现教育、科研、企业实践与创新的深度融合,最终实现创新链的纵向、横向有效连接与协同贯通。

参考文献:

- [1]钟珺,陈伟栋.“工业工程+绿色制造”战略研究体系的构建[J].中国管理信息化,2018(23):131-134.
- [2]陈昊,丁晓钦.绿色制造机理的政治经济学分析[J].当代经济研究,2020(7):15-26.
- [3]王鸣涛,叶春明.基于熵权TOPSIS的区域工业绿色制造水平评价研究[J].科技管理研究,2020(17):53-60.
- [4]张梦成,宋良荣.智能制造企业经营能力与创新效率研究[J].技术与创新管理,2022(1):21-29.
- [5]王喜刚,王梦杰.我国绿色制造存在的问题和发展路径[J].低碳世界,2021(8):21-22.
- [6]冒咏秋.新时期工业园区绿色制造体系构建研究[J].质量与认证,2021(10):61-63.
- [7]翟璐,赵雁彤.中国制造业高质量发展的国际比较及经验借鉴[J].理论界,2021(6):70-76.
- [8]孙毅,罗穆雄.美国智能制造的发展及启示[J].中国科学院院刊,2021(11):1316-1325.
- [9]何慧霞,魏桂英,武森,等.智能制造评价理论研究现状及未来展望[J].中国工程科学,2022(2):56-63.
- [10]中商产业研究院.2021年中国智能制造行业市场前景及投资研究报告[EB/OL].(2021-05-06)[2022-04-02].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1699012782467479185>.
- [11]招商引资实战平台.我国智能制造产业概况一览[EB/OL].(2021-09-22)[2022-04-02].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1711583556511294277>.

Green Manufacturing and Intelligent Manufacturing in China: Development Realities and Future Path

LI Jinhua^{1 2}

(1. Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732;

2. University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100124)

Abstract: For China to build a manufacturing power, green manufacturing and intelligent manufacturing are inevitable options. At present, China's green manufacturing level is constantly improving, and the total number of green factories, green product design, green parks and green supply chain management demonstration enterprises is growing. There is a significant correlation between the degree of economic development and the level of green manufacturing, that is, the higher the level of economic development, the higher the level of green manufacturing. Similar to the distribution of green manufacturing enterprises, there is a correlation between the level of intelligent manufacturing and the degree of economic development, and the former of enterprises is higher in economically developed regions. Moreover, the intelligent manufacturing level of high-tech and knowledge-intensive industries is ahead of other industries. However, there is still much room to improve the total level of intelligent manufacturing in Chinese enterprises, especially the maturity of intelligent manufacturing. During the 14th Five-Year Plan period, China should formulate and implement different schemes for green manufacturing and intelligent manufacturing to promote differentiated development, accelerate the formation of green manufacturing and intelligent manufacturing industry ecology to create a virtuous development environment, as well as enhancing international cooperation and exchange, building an innovation service platform, and strengthening the dominant position of enterprises in green manufacturing and intelligent manufacturing.

Keywords: China's manufacturing; green manufacturing; intelligent manufacturing; manufacturing power; development reality

责任编辑:牛志伟;魏小奋