DOI 10.15302/J-SSCAE-2024.01.005

我国绿色环保产业“四链”融合发展研究

任慕华[1]，许嘉钰[1*]，张琨[1]，刘章韬[2]，周萧超[2]，张婷婷[2]，郝吉明[1]

（1. 清华大学环境学院，北京 100084；2. 北京化工大学化学工程学院，北京 100029）

摘要：绿色环保产业兼具带动经济增长和应对环境问题的双重属性，“四链”深度融合是绿色环保产业实现高质量发展的重要支撑，是实现“双碳”目标的重要抓手。本文通过深度分析企业不同发展阶段“四链”融合特征，结合产业发展现状，发现在企业创立初期，资金链是关键，创新链与人才链驱动，逐步形成产业链；在企业成长期，主要靠资金链驱动，人才链与创新链支持，拓展产业链；而对于成熟期的企业，可依据产业链进行战略布局，维持创新链。研究发现，绿色环保产业“四链”融合主要存在创新链与产业链衔接不紧密、资金链对各链的支撑度较弱、人才链与创新链和资金链融合度不够等问题。研究建议，制定低碳创新战略路线图，明确“四链”融合发展路径；提高创新链与产业链适配度；优化资金链，提高与各链融合度；完善人才链，注重人才培育；企业根据自身发展阶段，明确驱动链，保障“四链”有效融合。

关键词：绿色环保产业；“四链”融合；可持续发展；循环经济

中图分类号：X3　　**文献标识码：**A

Four-Chain-Integrated Development of Green Environmental Protection Industry in China

Ren Muhua[1], Xu Jiayu[1*], Zhang Kun[1], Liu Zhangtao[2], Zhou Xiaochao[2], Zhang Tingting[2], Hao Jiming[1]

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The green environmental protection industry has the dual attributes of driving economic growth and coping with environmental problems. The deep integration of “four chains” (i.e., innovation, industrial, capital, and talent chains) is crucial for the high-quality development of the green environmental protection industry and the achievement of the carbon peaking and carbon neutrality goals. Considering the development status of the green environmental protection industry, this study analyzes the characteristics of four-chain integration at different stages of enterprise development. In the early stage of establishment, the capital chain is key to enterprises and an industrial chain is gradually formed driven by the innovation and talent chains. During business expansion of enterprises, the industrial chain is extended, driven by the capital chain and supported by the innovation and talent chains. At the mature stage, enterprises can carry out strategic layout based on the industrial chain while maintaining the innovation chain. However, the four-chain integration in the green environmental protection industry of China still face several problems, including weak connection between the innovation and industrial chains, weak support of the capital chain to other chains, insufficient integration between the talent chain and the innovation and capital chains. To address this, we propose the following suggestions: (1) developing a low-

收稿日期：2023-12-18；**修回日期：**2024-02-23

通讯作者：*许嘉钰，清华大学环境学院教授，主要研究方向为环境对策与评价；E-mail: jiayu-xu@tsinghua.edu.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“‘四链’深度融合下我国战略性新兴产业高质量发展战略研究”(2023-PP-06)；国家重点研发计划项目(2022YFC3902605)

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

carbon innovation strategy roadmap to clarify the development paths for four-chain integration; (2) improving the compatibility between the innovation and industrial chains; (3) optimizing the capital chain to improve its integration with other chains; (4) improving the talent chain; and (5) clarifying the driving chains according to the development stages of enterprises to ensure the effective integration of the “four chains”.
Keywords: green environmental protection industry; integration of “four chains”; sustainable development; circular economy

一、前言

我国生态文明建设正处于关键期、攻坚期、窗口期，面临着污染物减排和碳减排的双重任务。在我国经济由高速增长转向高质量发展的过程中，需要依靠环境科技、产业技术、发展模式创新，统筹处理好经济发展与生态环境保护的关系。绿色环保产业是兼具带动经济增长和应对环境问题双重属性的战略性新兴产业，是以防治环境污染、改善生态环境、保护自然资源为目的而进行的技术产品开发、商业流通、资源利用、信息服务、工程承包等活动的总称，具体包括为环境污染控制与减排、污染治理以及废物处理等提供产品和服务。我国绿色环保产业已进入由高速发展向高质量发展转变的关键阶段，产业驱动力已经从政策和投资向政策、市场、技术、资本转变，是推进产业高质量发展，实现“双碳”目标的重要着力点。

经过多年的培育和发展，我国绿色环保产业取得了显著成就，我国经济发展的含金量和含绿量也显著提升，绿色产业蓬勃发展。2020年的碳排放强度比2015年下降18.8%，超额完成“十三五”约束性目标，比2005年下降48.4%[1]。2021年，我国绿色环保产业产值超过8万亿元[2]，对国民经济的直接贡献率为1.8%，较2020年下降2.7个百分点，对国民经济发展的拉动作用相对较弱[2,3]。2023年7月，全国生态环境保护大会提出，我国生态环境保护结构性、根源性、趋势性的压力尚未得到根本缓解，生态文明建设仍处于压力叠加、负重前行的关键期。可见，绿色环保产业成为我国高质量发展的支柱性产业，还存在一定的距离。

现阶段世界环保产业正高速发展，但环保市场在不同的国家发展趋势不同，发达国家环保产业发展较早，到如今其市场已经出现饱和，发展速度趋于平缓；我国环保产业的发展起步较晚，仍有较大的扩展空间。同时，在实现“双碳”目标的背景下，我国经济转型加速，由此催生的各类新业态、新技术将迎来巨大的绿色市场。绿色环保企业存在于我国经济系统的不同领域、不同地区、不同层次，涵盖了关于技术开发、产品革新、商业流通等企业发展所需的各个环节，因此环保企业技术革新将推动经济发展方式转变，带动整个经济系统产业升级。

我国绿色环保产业的规模相对较小、技术力量相对薄弱、融资困难，亟需探索新的发展路径。党的十九大报告提出，以“四个协同”构建现代化产业体系，要求实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展。党的二十大报告指出，加快实施创新驱动发展战略，推动创新链、产业链、资金链、人才链“四链”深度融合。“四链”融合是“四个协同”的延伸和发展，是我国经济高质量发展的新引擎，也是绿色环保产业实现高质量发展的重要支撑。

“四链”融合的相关研究多从宏观层面讨论其内涵、作用和意义[4,5]，目前存在的问题[6]，链与链之间的相互作用[7,8]等，缺少对融合特征的分析以及对某一行业发展影响与作用的讨论。“四链”融合为绿色环保产业实现高质量发展明确了战略方向和目标，具体实施需要结合企业发展的实际情况。目前，绿色环保产业“四链”融合处于发展初期，本文从企业发展角度分析绿色环保产业“四链”融合的发展现状，剖析其存在的问题，提出“四链”融合的发展建议，以期为推进绿色环保产业高质量发展提供借鉴。

二、我国绿色环保产业“四链”发展现状

（一）产业链

绿色环保产业与其他产业相比，具有较为明显的经济外部性和公共产品特性，前期投入大、收益周期较长，取得的效益多集中在社会、长期、间接效益，使其在发展初期很难依靠自身力量获得市场的支持，需要借助政府的支持和引导。国家通过制定法律法规为绿色环保产业指明方向，通过政策措

施引导推进绿色环保产业发展，通过财税政策激发绿色环保产业的市场活力。

产业链是产业体系中的核心链条，主要关注产品的研发、生产和服务的各个环节。产业链强调各环节之间的连接和协同，任何一个环节的弱化或断裂都可能导致整个链条的失调和运转不畅。我国绿色环保产业链不断完善，国家支持力度不断加大，政策推动力持续加强，从研发、生产、销售到运营等环节都得到了快速发展。为了规范绿色环保产业发展，扩大产业市场需求，从顶层布局产业结构和发展方向，国家先后制定了“十二五”和“十三五”绿色环保产业发展规划，出台“气十条”“水十条”“土十条”等系列法规，推动高污染、高排放和高耗能的传统型企业绿色转型。在具体操作层面，出台《关于全面加强生态环境保护大气污染防治攻坚战的意见》《“十四五”节能减排综合工作方案》等一系列政策措施，制定行业污染防治技术、污染物测定标准等标准化认证要求，建设节能环保示范园区，有效地促进了绿色环保产业产品服务技术的提高。

从产业结构调整和产业链来看，截至2022年，工业和信息化部针对“十四五”规划和“双碳”目标印发了一系列关于推动钢铁、有色金属、化工和设备等产业高质量发展的指导意见。绿色环保产业链的上游产业需大力推进“低碳、零碳”技术创新，以高质量发展实现业务新增长、创新新突破、运营新成效，实现绿色低碳的运行模式。绿色环保产业链的下游产业正处于产业转型升级的特殊时期，行业进入精细化运营期，降本增效将成为主旋律。越来越多的生态环保项目进入运营阶段，正面临监管标准趋严、运营成本趋高、运营压力趋增的不利局面。粗放式的运营模式转型升级为精细化、差异化、规范化的运营模式成为行业趋势，对运营过程的精准管理和对成本的有效控制成为绿色环保企业脱颖而出的关键。

（二）创新链

创新链是推动产业链不断升级和产业持续发展的重要力量。创新链将基础研究到产业化的各个创新环节连接起来，包括科研、技术、产品、市场、服务等方面的创新。创新链的形成和发展需要政府、企业、科研机构、金融机构等多方共同参与和协同推进。加强创新链建设，可以提高我国的科技创新能力，推动产业结构升级，为产业发展提供源源不断的动力。

2021年，列入全国环保产业重点企业调查的10 502家企业的研发经费共支出315.5亿元，占营业收入的比重为2.9%，高于2021年全国规模以上工业企业研发经费支出占营业收入的比重（1.33%），企业研发经费投入较大。其中，来源于政府的研发经费为9.6亿元，占比仅为3.1%[3]。可以看出，绿色环保企业的研发经费投入高于平均水平，但来自政府的资金有限。与2020年相比，同样企业的平均专利授权数从3.0项增长到3.3项，数量小幅增长，发明专利比重同比下降4.1%，参与制定 / 修订的标准数量同比持平[3]。

技术创新是绿色环保产业创新链的核心。长期以来，生态环保领域持续保持创新发展，随着我国战略性新兴产业、高新技术产业的蓬勃发展，与新一代信息技术、生物技术、新材料等行业融合，形成了如无人环卫驾驶清扫技术、智慧环保平台运营技术、智慧水务等成果，环境监测进入大数据时代，“互联网+”智慧环保技术发展水平与治理服务水平不断提高[9]。创新是绿色环保产业的核心竞争力，无论是专业技术上的创新还是运营模式上的创新，都能为企业带来更强的竞争力。随着科技的进步，新的环保技术、产品和商业模式不断涌现，为解决环境问题提供了更多可能性。这些创新不仅有助于减少污染，提高资源利用效率，同时也为企业带来了竞争优势和市场机会。

（三）资金链

资金链是支持产业链、创新链和人才链发展的重要保障，为创新和产业发展提供金融支持。完备的资金链可以推动企业加大研发投入，吸引优秀人才，促进科技成果转化，从而加快产业发展速度。此外，资金链还包括风险投资、股权融资、政府补贴等多种金融手段，为产业发展提供多元化的融资渠道。

从产业集群规模来看，环保行业集中度低，以规模以下企业为主，占被调查17 943家企业数量的73.3%（2022年），营业收入超过亿元的企业贡献了86%以上的产业营业收入。与2020年相比，2021年规模以下企业的营业利润大幅下滑，利润率、净资

产收益降幅显著高于规模以上企业[10]。基于产业特点和集群特征，政府对环保产业的投入是环保资金的主要来源，包括财政拨款、专项资金等。国家财政在绿色环保行业的实际支出整体增长，2012—2021年年均增长率达8.8%，占国内生产总值的比重呈现波动增长趋势。为支持绿色环保产业发展，相关政策不断完善，国家财政部和税务总局联合发展和改革委员会、生态环境部、海关总署、工业和信息化部、商务部等相关部门通过税收优惠和加大财政支出方式激励绿色环保产业发展，激发市场供求活力[11]。另外，政府还通过资金保障方式激发节能环保企业技术创新，大力推进绿色“一带一路”建设，支持我国绿色环保产业“走出去”。财税、经费等相关政策的不断完善将推动环保产业政策红利的进一步呈现[12]。

金融支持绿色环保力度不断强化，构建绿色低碳循环发展经济体系，全面融入碳达峰、碳中和重大战略，持续支撑污染防治和生态保护修复、资源能源节约利用等领域[13]。中国人民银行先后出台了两项结构性货币政策工具，创设碳减排支持工具以支持清洁能源、节能环保、碳减排技术研发，加速推动气候投融资试点工作，创新推出“碳中和债”等绿色金融产品，推动绿色金融市场高速发展。

（四）人才链

人才链是产业链、创新链和资金链发展的基石。人才链强调人才的培养、引进和使用，为产业和创新发展提供人才支撑。环保产业的从业人员数量持续增加，据估算，2021年全国环保产业从业人员约为343万人，较2011年增长约2.8倍；占全国就业人员人数的0.46%，比2011年提高0.34个百分点。环保产业在就业和经济效益方面取得了显著成就，随着环保意识的不断提高和政府对环保产业的支持力度加大，环保产业将继续保持良好的发展势头，为经济可持续发展做出更大贡献[14,15]。

环保产业需要的人才类型呈现多样化特点，包括技术研发、工程设计、设备制造、运营管理、咨询服务等。不同层次的人才需求量也有所不同，技术研发和工程设计类人才需求量较大，而设备制造和运营管理类人才需求量相对较小。我国目前的环保专业高等教育体系比较完善，涵盖了环境科学、环境工程、环保设备工程等学科，为环保产业提供了充足的人才储备。此外，政府、企业和行业协会也通过各种培训及认证方式来提高从业人员的专业素质和技能水平。环保产业的人才流动比较频繁，呈现出特大型、小微型企业人员有所流失，且人才逐步向大、中型企业流动的特点。

随着环保产业的不断发展，对人才的需求也越来越高。尤其是随着环境治理需求的不断增加，技术研发、工程设计、设备制造等方面的人才需求量持续增长。同时，随着环境服务业的兴起，运营管理、咨询服务等方面的人才需求也越来越旺盛。我国环保产业的人才供给相对比较充足，不仅有大量的环保专业毕业生，还有许多从事环保相关工作的人员。然而，在高端人才方面，如低碳技术研发、工程设计等方面的专家级人才仍然比较稀缺，这也在一定程度上制约了环保产业的发展。

三、绿色环保产业“四链”融合特征及面临的主要问题

“四链”融合是建设现代化产业体系中最根本和核心的问题，是现代经济增长中生产要素如何有效配置的问题[12]。“四链”充分融合能有效推动先进产业技术和关键核心技术的产生，进一步疏通科技成果产业化途径，缩短产业化周期，降低产业化成本。不仅使创新成果得到合理回报，激发更多科技创新投入，吸引人才参与，还能为产业链现代化提供关键支撑。科技和金融是现代化产业发展的核心要素，“四链”深度融合是推动产业链现代化、保持产业体系先进性的重要途径。“四链”融合有助于构建良好的产业生态。通过优化资源配置，推动科技、产业、金融、教育的紧密融合，提升科技创新活动的组织力和战斗力，为产业链现代化提供坚实的生态基础。

尽管“四链”融合在理论上已经取得了一定的成果，但在实际的应用过程中，尚缺乏具体明确的指导方针，实施路径不够清晰，存在一定程度的脱节现象，资源配置效率不高，在一定程度上限制了绿色环保行业的可持续发展速度。企业对于“四链”融合的认识不足，尚未将其贯穿企

业成长的各阶段，未能及时灵活调整“四链”融合策略，充分发挥各链之间的协同作用，制约了企业发展。

（一）绿色环保产业“四链”融合特征

1. 企业创立初期，创新和人才是核心要素，资金链是企业存活的关键

创新是企业区别于竞争对手的独特优势，是企业在激烈的市场竞争中脱颖而出的关键。人才则是企业实现创新目标的执行者，是企业成功的基石。在企业创立初期，企业需要注重培养和引进优秀人才，为创新提供源源不断的人力支持。通过研发和技术革新提升产品和服务的竞争力，确保在市场竞争中保持领先地位，满足市场的多样化需求。创新链与人才链的有效配合是保证企业进入市场的必备条件。

绿色环保产业的企业多为技术型和综合服务型企业，企业初始团队大多依靠核心技术，攻克固废处理、烟气处理、电子废弃物绿色处理、报废汽车整体资源化回收技术等技术难题，具有自主技术产权，并通过积累更多的相关技术来维持企业创新活力。德国鲁尔工业区在产业绿色转型过程中，科技创新能力培育起到了关键作用，从没有一所大学到成为欧洲高校密度最大的地区，还建立了许多研究所、跨学科的研究中心和促进技术转化的科技中心。这些教育和研发机构的建立，培养了创新人才，加强了鲁尔工业区与其他地区在技术交流方面的联系，厚植了创新的土壤，有力地推动了鲁尔工业区的发展。

资金链的稳定对于初创企业来说至关重要。由于资金需求量大且融资渠道有限，企业需要谨慎规划和管理资金的使用。合理安排资金流向，确保企业的日常运营和投资需求得到满足。在中小规模阶段，政府提供的政策支持对企业尤为重要。我国绿色环保产业集群以规模以下企业为主，需要政府提供战略引导和支持，以及相关资金政策的支持。目前，环保行业主管部门仍需进一步加大支持力度，充分激发金融机构和金融市场对加入绿色环保产业的积极性。

2. 企业成长期，资金链驱动，拓宽延伸产业链

随着企业规模的不断扩大，商业版图不断扩展，“四链”也会随之变化，企业要重新制定发展规划，进行战略部署，在实现业务领域扩大的同时也为其经营业务范围的扩张打下基础。

以资金链驱动，拓宽延伸产业链。完善产业链上下游渗透是企业的核心发展思路，实现上游环节原材料自给自足，下游环节产品全产全销。企业依据产业上下游业务发展要求及市场竞争环境，有目标地加大研发投入力度，做到“围绕产业链部署创新链”，以保持企业竞争优势。拓宽产业链不仅能给企业带来新的盈利增长点，也能发挥不同板块的协同效应，分散企业的运营风险。企业涉足相同环保及市政属性的领域，可减少技术壁垒，且相关领域的协同效应可使不同板块共享技术成果，节约运营成本，发挥市场联动，实现资源的优化配置，进而形成完整的资源与环境处理价值链。

企业在快速发展的过程中，应避免因过度扩张和多元化，将大量资金、资源等投入不熟悉领域而导致企业财务指标恶化、营利能力下滑和管理效率下降，甚至拖垮整个企业的发展。对于市场化程度不高的业务要采取多种融资渠道以保证业务发展所需的资金流，灵活运用定增、基金、债券、战略投资等多种手段，解决发展过程中的资金缺口问题。

3. 企业成熟期，把握政策时机，多元发展，维持创新链

环保企业的业务拓展离不开行业政策和宏观经济。法国威立雅环境集团以水务起家，并逐步涉足固废、垃圾发电、能源、污泥处置、垃圾分类等领域，最终成为覆盖整个生态环境产业链的环境问题综合解决方案供应商，经历了从重资产到轻资产，从国内到国外，从单一水处理到环境综合服务的拓展和转变，成长过程充分把握时机，抢抓不同经济体发展机会。威立雅环境集团早期的业务范围主要立足于法国本土，随着欧洲工业化和城镇化的发展及水务私有化的推进，逐渐将发展目光转向欧洲其他国家的水务市场。随着美国政府对水质标准的进一步提高，威立雅环境集团适时进入美国市场并通过一系列收购活动迅速占领市场。威立雅环境集团抓住了不同国家和地区经济发展带来的环保需求，利用各个国家和地区的城镇化、工业化周期适时切入，抢抓不同经济体的发展机遇，在实现业务领域扩大的同时也

为其经营业务范围的扩张打下基础。

企业多元发展时期应有足够的技术储备，保持核心业务的竞争优势，同时维持创新链的活跃度。威立雅环境集团的发展战略始终坚持立足于环保处理技术的投入与创新，并将科技成果充分运用于实际的运营，从实践中不断推动技术优化，这不仅是企业的核心竞争力，也是企业可持续发展和突破新兴市场壁垒的决定性要素。我国对环境治理的要求不断提高，环保标准的提升，以及低碳技术的稀缺，为环保行业带来了新的市场空间。环保企业应充分借助有利政策，深耕技术创新，实现在环保领域的新突破。

（二）绿色环保产业“四链”融合面临的主要问题

1. 创新链与产业链衔接不紧密

产业技术水平和创新能力有待提升，科技成果转化不足。环保产业仍处于政策驱动和资本驱动阶段，技术创新驱动力仍有不足，原始创新和集成创新能力偏低。当市场出现供需变化时，只有具备核心技术竞争力的企业才能在变化的市场中更好地生存。因此，应积极推动企业技术研发创新，利用市场机制推进产业结构调整与优化。当前，环保产业的部分产品和技术装备与国际先进水平相比仍有一定差距，核心技术和关键工艺、材料、零部件受制于人的情况仍然存在。高校和研究院所仍然是贡献我国环保科技创新能力的主要力量，但研究单位与生产单位之间不匹配、转化机制不顺畅、“产学研”协同程度不足、研发与转化之间的脱节问题突出，自主研发技术大多处于小试或中试阶段，使环境保护创新技术难以在短时间内转化为环保产品，最终能够在环境治理中得到广泛应用的原创技术相对较少。

2. 资金链对各链的支撑度较弱

我国绿色环保产业仍然处于起步阶段，技术壁垒不高，容易技术溢出，涌入的小微型企业较多，行业集中度低，加之绿色环保产业受政策变化及地方垄断因素影响较大，仅依靠市场很难达到最优的资源配置，目前尚未出现具有较大影响力和领导力的龙头企业，这也表明我国节能环保市场存在广阔的发展空间。我国中小企业节能环保领域的金融服务主流产品——绿色信贷和绿色债券发展速度加快，但仍存在以下问题：① 服务对象偏好政府平台大型企业，大量采用政府和社会资本合作模式，较少涉及中小企业节能环保领域。② 投向未覆盖到部分高污染、高耗能企业的节能环保技术改造。③ 缺乏认定标准和环保信息共享机制等，影响绿色信贷和绿色债券发展。我国缺乏专门服务于中小企业节能环保领域的金融机构或者金融产品，中小企业节能环保金融服务的供给严重不足。

3. 人才链与创新链、资金链融合度不够

人才链与创新链的核心融合阶段是企业规模较小的阶段，企业处于发展初期，无论在薪资待遇方面，还是职业发展方面，都落后于大型企业，在很大程度上加剧了中小型环保企业的人才引入困境。部分高校和科研机构在人才培养过程中，重视科研成果，对解决产业现实技术难点的研究不足，无法为企业创新链持续输入新鲜的血液。人才链与资金链融合度不够体现在金融市场缺乏具有环保评估知识和能力的专业人才，不能科学预估中小型环保企业的发展态势和未来前景，使得金融机构更倾向于保守开展中小型环保业务。

四、绿色环保产业“四链”融合发展建议

（一）制定低碳创新战略路线图，明确“四链”融合发展路径

为加快实现碳达峰、碳中和目标，应制定国家低碳技术创新战略，明确国家层面低碳技术创新战略路线图，发挥关键性低碳技术创新对实现碳达峰、碳中和的引擎与支撑作用。在国家层面，以低碳技术攻关与突破为抓手，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型能源结构，建立绿色低碳产业体系。深入贯彻“四链”融合思想，融入产业布局，将思想落实为具体的指导方针，帮助不同阶段、不同规模的环保企业实现高质量发展。

一是加快制定、完善低碳技术创新与低碳发展的配套政策法规，明确2030—2060年国家低碳技术创新的重点、路线图、实施方案，明确产业链低碳化发展轨迹。二是加快构建优化行业主管部门牵头、省市级领导部署、各职能部门和基层政府负责实施、企业和研究机构积极参与的管理体系，推动“四链”融合，引导全社会力量参与低碳技术创新，

降低企业或科研院所从事低碳技术创新的成本，促进低碳技术创新能力提升和低碳社会建设。三是创新链驱动，加快推动绿色低碳技术实现重大突破，抓紧部署低碳前沿技术研究，加强对绿色低碳技术未来发展战略研究，有效指导低碳技术遴选，鼓励创新性或颠覆性的低碳技术研发，大幅降低企业低碳创新成本。

（二）提高创新链与产业链适配度

政府制定相关政策，加强创新引领，鼓励企业增加研发投入，支持基础研究和应用研究，提高创新链与产业链适配度。发挥政府指导性作用，强化技术创新政策激励，协调高校、科研机构、企业、行业协会、民间机构等各方面资源，促进“政产学研用”一体化创新发展。环境技术具有公益属性，明显区别于一般产业技术，现有技术标准体系严重制约了环境技术的推广应用，国家应及时征集促进环境技术推广应用的标准规范需求，在充分论证涉环境技术产品标准需求的基础上，建立面向公益类标准规范制修订的绿色通道，加快推动环境技术的推广应用。

加强企业主体地位，企业积极地参与技术创新活动，提高自主创新能力，同时推动企业与科研机构、高校等开展深度合作，共同促进科技成果的产业化。推进新一代信息技术等高科技与环保产业融合发展，进一步提升产业数字化、智慧化水平。大力推进“政产学研孵转用”创新平台建设，以市场化方式加快科技成果转化，推进环保行业供给侧改革，促进产业高质量发展。

（三）优化资金链，提高与各链融合度

低碳技术涉及电力、交通、建筑、石化等部门以及在可再生能源及新能源、煤炭的清洁高效利用、碳捕获与封存等领域控制温室气体排放的新技术，覆盖面较广、前期投入大、研发周期长、创新风险高，仅靠企业研发资金或政府财政投入不可持续。特别是企业受环保监督以及全球疫情影响，降低和分担企业低碳技术创新的资金成本，引导鼓励更多的企业和研究机构参与其中，迫切需要从中央到地方各级政府制定符合企业转型升级、创新发展的有效政策，不断完善相关的投融资政策，切实降低创新资金压力与风险。

一是各级政府及其职能部门要不断优化营商环境，改变“环保风暴”做法，给予企业转型的一定过渡期和创新资金援助的缓冲期，为企业搭建环保治理服务与低碳创新供需平台，为中小企业免费提供污染治理技术，完善有利于企业低碳技术创新的财税、价格、金融、土地、政府采购等政策，帮助企业解决创新融资难、创新成本高的难题。二是建立低碳技术创新专项基金、财政补贴等制度。发布低碳技术创新目录，为企业和研究机构提供低碳科技领域基础研究和应用研究等的经费补贴支持，制定国家低碳技术创新转化的直接补贴制度，为企业发展低碳环保产业、开发低碳技术、推广低碳应用等提供必要的财政补贴。三是企业披露环境、社会和治理，提升企业金融机构评级，金融机构为企业或相关机构的低碳技术创新与产业化制定贷款优惠政策，完善碳金融、碳交易等制度。扩大商业银行低碳信贷业务，建立节能减排贷款绿色通道，引进机构投资者和风险投资，促进低碳金融发展。加强低碳产品投资、交易等机制创新，如企业参加森林碳汇、光伏发电、节能减排等活动所获得的碳汇指标可以抵扣企业碳排放量，以更加科学化、市场化的碳交易机制吸引企业投资低碳技术创新与低碳发展项目。

（四）完善人才链，注重人才培育

近年来，我国在发展可再生能源、减排技术等方面取得了不少成就，但仍面临许多“卡脖子”技术难题。低碳技术包括减碳、低碳、固碳等，需要大量的技能型人才从事节能减排技术，油气资源和煤层气的勘探开发技术，核能、太阳能、风能等可再生能源技术研究。应重视低碳技术人才的培养，实施国家低碳创新人才培育工程，培养和造就低碳创新能力强的学科带头人，形成低碳创新人才群体和具有引领力的创新团队，加强对低碳技术创新人才的培育，制定低碳技术创新人才培养规划。加强低碳技术领域的知识产权保护，完善低碳技术人才考核评价标准，鼓励高校和科研院所的相关人才以兼职、联合攻关等多种形式参与企业低碳创新。培育和发扬工匠精神，重视低碳技术人才培养和职业技能培训，加快制定低碳技术领域职业技能提升计划或行动方案，

实施低碳技术领域的职业技能培训补贴制度，以推行企业新型学徒制为契机，支持企业自主开展职工低碳技能提升。

（五）企业根据自身发展阶段，明确驱动链，保障“四链”有效融合

企业创立初期：创新链与人才链驱动，资金链是关键，逐步形成产业链。人才和创新技术是掌握国家战略核心攻坚技术的基础，可以帮助企业在众多企业竞争中脱颖而出，并获得风险投资，从而保证企业稳步发展。企业成长期：资金链驱动，人才链与创新链支持，拓展产业链。企业应充分发挥财务杠杆作用以提高资金使用效率，优化股权结构，主动调整股权集中度和股东积极性。加大技术研发投入和自主创新，建立创新激励机制，鼓励自主研发，加强研发成果转化；积极与高等院校、科研机构寻求“产学研”合作，发挥高等院校、科研机构的人才优势和研发优势。企业成熟期：产业链战略布局，维持创新链。企业围绕核心技术和业务领域对产业链上下游及相关领域进行战略布局，创新链紧随企业发展目标，做到有的放矢。

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: December 18, 2023; **Revised date:** February 23, 2024

Corresponding author: Xu Jiayu is a professor from the School of Environment, Tsinghua University. Her major research fields include environmental countermeasures and evaluation. E-mail: jiayu-xu@tsinghua.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “High-Quality Development of Strategic Emerging Industries Based on Deep Integration of ‘Four Chains’” (2023-PP-06) and National Key R & D Program of China(2022YFC3902605)

参考文献

[1] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 新时代的中国绿色发展 [EB/OL]. (2023-01-19)[2024-02-19]. https://www.gov.cn/zhengce/2023-01/19/content_5737923.htm.
The State Council of the People’s Republic of China. China’s green development in the new era [EB/OL]. (2023-01-19)[2024-02-19]. https://www.gov.cn/zhengce/2023-01/19/content_5737923.htm.

[2] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国应对气候变化的政策与行动 [EB/OL]. (2021-10-27)[2024-02-19]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/27/content_5646697.htm.
The State Council of the People’s Republic of China. Responding to climate change: China’s policies and actions [EB/OL]. (2021-10-27)[2024-02-19]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-10/27/content_5646697.htm.

[3] 中国环境保护产业和协会, 生态环境部科技与财务司. 中国环保产业发展状况报告(2022) [R]. 北京: 中国环境保护产业和协会, 生态环境部科技与财务司, 2022.
China Association of Environmental Protection Industry, Department of Science, Technology, and Finance of Ministry of Ecology and Environment of the People’s Republic of China. Report on the development of China’s environmental protection industry (2022) [R]. Beijing: China Association of Environmental Protection Industry, Department of Science, Technology, and Finance of Ministry of Ecology and Environment of the People’s Republic of China, 2022.

[4] 聂常虹, 赵斐杰, 李钏, 等. 对创新链产业链资金链人才链“四链”融合发展的问题研究 [J/OL]. 中国科学院院刊:1–8 [2024-02-23]. https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20231008002.
Nie C H, Zhao F J, Li C, et al. Research on integration of innovation chain, industrial chain, fund chain and talent chain [J/OL]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences:1–8 [2024-02-23]. https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20231008002.

[5] 黄涛, 樊艳萍, 王慧. 推动创新链产业链资金链人才链深度融合 [J].中国人才, 2023 (1): 12–15.
Huang T, Fan Y P, Wang H. Promote the deep integration of the funding chain, talent chain, innovation chain and industry chain [J]. Chinese Talents, 2023 (1): 12–15.

[6] 胥彦玲, 肖雯. 构建“四链”深度融合的开放创新生态[J]. 企业观察家, 2023 (2): 90–91.
Xu Y L, Xiao W. Build an open innovation ecology with deep integration of ‘four chains’ [J]. Enterprise Observer, 2023 (2): 90–91.

[7] 杜宇玮. 创新链与产业链互动融合: 理论机制与实践路径 [J]. 中共南京市委党校学报, 2023 (6): 37–48.
Du Y W. Interactive integration of innovation chain and industry chain: Theoretical mechanism and practical experience [J]. Journal of Party School of Nanjing Municipal Committee of CPC, 2023 (6): 37–48.

[8] 周跃辉, 高涌智. 以资金链推进“四链”深度融合 [J].中国金融, 2023 (18): 87–88.
Zhou Y H, Gao Y Z. Promote the deep integration of the “four chains” with the funding chain [J]. China Finance, 2023 (18): 87–88.

[9] 刘锐, 刘文清, 谢涛, 等. “互联网+”智慧环保技术发展研究 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(4): 86–92.
Liu R, Liu W Q, Xie T, et al. Development of Internet plus smart environmental protection [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(4): 86–92.

[10] 孟伟, 冯慧娟, 罗宏, 等. 我国节能环保产业发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2016, 18(4): 1–8.
Meng W, Feng H J, Luo H, et al. Study on the development strategy of the energy saving and environmental protection industry in China [J]. Strategic Study of CAE, 2016, 18(4): 1–8.

[11] 中国循环经济学会. 循环经济这十年2012—2021 [R]. 北京: 中国循环经济学会, 2022.
China Association of Circular Economy. Ten years brilliant achievement of circular economy in China 2012—2021 [R]. Beijing: China Association of Circular Economy, 2022.

[12] 刘志彪. “四链融合”: 一个关于现代产业增长方程的系统分析 [J]. 学术界, 2023 (3): 64–67.
Liu Z B. “Four-chain integration”: A systematic analysis of the modern industrial growth equation [J]. Academics, 2023 (3): 64–67.

[13] 周龙环, 黄晓勇. “双碳”目标下碳金融创新机制及实现路径研究 [J]. 价格理论与实践, 2023 (4):43–46, 121.
Zhou L H, Huang X Y. Research on the mechanism and realization path of carbon finance innovation under the “dual carbon” goal [J]. Price: Theory & Practice, 2023 (4): 43–46, 121.

[14] 杨玲, 李菊强, 王晶晶. 节能环保企业经营管理效能提升策略研究 [J].环境工程, 2023, 41(7): 357–358.
Yang L, Li J Q, Wang J J. Research on the strategy of improving the management efficiency of energy-saving and environmental protection enterprises [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(7): 357–358.

[15] 木其坚. 节能环保产业政策工具评述与展望 [J]. 中国环境管理, 2019, 11(6): 44–49.
Mu Q J.Review and prospect of energy conservation and environmental protection industry policy instrments [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(6): 44–49.