

以能源转型促能源强国建设的路径选择与战略思考

武汉大学创新驱动绿色发展课题组

中图分类号:F062.1

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2025)08-0001-09

2024年11月11日至22日,《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)缔约方会议第二十九次会议(COP29)在阿塞拜疆首都巴库举行。经过各方艰难磋商,达成了涉及气候融资目标及相关安排和国际碳市场机制运行细则等内容的“巴库气候团结契约”。在当前全球经济下行,民粹主义和逆全球化浪潮兴起的严峻形势下,这一成果来之不易。会议期间,习近平主席特别代表、国务院副总理丁薛祥出席世界领导人气候行动峰会并发表致辞,强调解决气候变化问题,归根结底要靠发展方式的彻底变革。国际社会应共同努力,以公平、有序、公正的方式加速能源转型,促进绿色产品和技术的可及与革新。这充分彰显了中国积极推进绿色低碳转型与全球气候治理的大国担当。会议期间,中国绿色低碳转型的发展大势受到国际社会广泛关注。中国作为国际社会负责任的大国,在解决气候变化问题和能源转型方面积累了丰富的丰富经验,为全球贡献了独特的“中国智慧”。

能源是现代社会发展的基石,能源绿色低碳转型正在重构国际地缘经济格局。全球气候治理的本质是推动经济社会绿色低碳转型特别是以创新驱动能源绿色低碳转型。应对气候变化,对传统化石能源有3种观点:一是以二氧化碳为主的温室气体80%以上来自化石燃料排放,最直接的办法就是淘汰(phase out)化石燃料;二是从不同国家国情决定的现实来看,完全淘汰化石燃料依然是不可能的,应是“逐步减少(phase down)”而非“淘汰”;三是应对气候危机,重点在减排,而不是去淘汰某具体能源品种^[1]。2023年召开的具有里程碑意义的联合国气候变化大会(COP28)在最终的《阿联酋共识》中提出,“以公正、有序、公平的方式,

逐渐实现离开化石燃料的能源转型(Transitioning away from fossil fuels in energy systems)”。会议确定的目标是到2030年让全球可再生能源装机容量提高到3倍,能效提升年均速率提高到2倍。据国际能源署(IEA)统计,2024年全球清洁能源及能效相关投资达到2万亿美元左右,是传统化石能源投资的2倍。能源转型相关产业已经成为经济社会发展的重要引擎,能源治理正从国家“政策驱动”逐步走向市场与政策“双轮驱动”。实现绿色低碳转型,要充分认识科技革命、工业革命和能源革命的规律,围绕碳中和与能源转型推进降碳、减污、扩绿、增长,以科技与产业创新推动我国成为全球绿色低碳转型的主导者和引领者。能源作为经济社会发展的基础性要素,其形态、结构、技术变革始终与产业演进紧密交织,能源转型对产业发展发挥着基础支撑、形态塑造、升级引领作用,是推进碳达峰碳中和的主战场。当前,推动全球能源系统朝着更加公平、公正、具有韧性的方向转型面临多方面的重大挑战。一是地缘政治冲突、保护主义抬头、美国退出《巴黎协定》以及“南北鸿沟”等复杂因素,导致全球能源转型治理面临重大领导力赤字。随着碳中和“退潮”悄然上演,全球气候行动进入严峻的“阵痛期”。二是能源行动与气候雄心之间仍然存在巨大鸿沟,突出表现为技术缺口、人才缺口和融资缺口“三大缺口”。三是实现能源安全与能源平稳转型之间的平衡存在巨大挑战。

习近平总书记强调,要瞄准世界能源科技前沿,聚焦能源关键领域和重大需求,合理选择技术路线,发挥新型举国体制优势,加强关键核心技术联合攻关,强化科研成果转化应用,把能源技术及

其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点,促进新质生产力发展。当前,能源转型处于新能源产业爆发增长期、能源协同发展过渡期、技术突破瓶颈期,对科技创新与人才培养的需求持续快速增长。全球已逐步发展形成规模庞大的绿色低碳能源产业。中国作为全球能源转型的行动派,通过能源结构调整、技术创新、大规模投资、政策支持和国际合作正发挥关键引领作用,受到国际社会的广泛关注。中国能源转型在全球处于重要引领地位(见表1),多项新能源技术和装备制造水平已全球领先,一些产品在国际市场上形成了强大的竞争力,成为世界能源发展转型和应对气候变化的重要推动者。2024 年中国绿色环保产业产值达到约 9.8 万亿元,在新能源汽车、清洁能源等领域取得了重大突破。作为全球能源转型的引领者,中国不仅在国内推动能源转型,还通过国际合作、技术创新、政策引领等方式为全球能源转型提供了有力支持和示范。中国是全球最大能源投资国,2024 年全球能源转型投资达 2.1 万亿美元,其中中国贡献占全球增长的三分之二,远超美国和欧盟等经济体。中国非化石能源投资占全球三分之一,用于新能源的累计投资居全球第一,终端电气化率提升至 29%。中国风电光伏产业实现了从“跟跑”“并跑”到“领跑”的跨越式发展,水电、风电、太阳能发电年新增装机容量和累计装机容量多年稳居世界首位,设备制造形成了完整的产业链,技术水平和制造规模均处于世界前列,生产的光伏组件、风力发电机、齿轮箱等关键零部件占全球市场份额的 70%,在全球产业链中占据主导地位,为全球碳减排作出积极贡献。近 10 年来,中国持续加大科技创新投入力度,加速推动新能源技术快速迭代^①,向世界提供了大量优质清洁能源产品和服务,显著降低了全球清洁能源的平均成本。中国与 100 多个国家和地区开展绿色能源项目合作,推动全球风电和光伏发电项目平均度电成本分别累计下降超 60% 和 80%,与世界共走绿色发展之路。凭借其在新能源领域的深入探索和技术进步,中国已经成为推动世界向绿色低碳经

济转型的关键力量之一。《中国的能源转型》白皮书表明,2023 年我国清洁能源消费比重已经超过 26%,10 年来新增清洁能源发电量占全社会用电量增量一半以上^②。国际能源署预计,2035 年中国清洁技术出口的价值将超过 3 400 亿美元。能源转型不仅会重构“技术—经济—社会”发展范式,还与统筹发展与安全息息相关,并将重塑世界竞争格局。中国能源转型在全球处于引领地位,这得益于有效市场与有为政府协同发力,得益于科技创新与制度创新同频共振。依托技术突破解决能源供给与效率问题,通过制度创新优化资源配置与市场环境,提升产业竞争力。

表 1 全球能源转型中的中国图景

指标	中国全球占比或引领地位
新能源专利数 ^① (%)	> 40
清洁能源投资(%)	31
可再生能源累计装机容量(%)	41
可再生能源发电量(%)	34
太阳能光伏加权平均度电成本比全球低(%)	23
海上风电加权平均度电成本比全球低(%)	29
新型储能装机规模(%)	> 40
可再生能源制氢产能(%)	> 50
风电产业关键零部件市占率 ^② (%)	> 70
电动汽车销量(%)	65
电动汽车出口量(%)	40
风电光伏产品出口为其他国家减排 ^③	约 41 亿吨
全球新能源企业前十位中的中国企业	6/10
全球新能源企业 500 强中的中国企业(%)	51
绿色能源项目合作国家和地区	100 多个

注:①③数据为“十四五”期间,②数据为 2023 年,其他数据为 2024 年。电动汽车(EV)统计口径包含纯电动汽车(BEV)和插电混动汽车(PHEV)。
数据来源:国际可再生能源署(IRENA)《Renewable energy statistics 2025》《Renewable Power Generation Costs in 2024》;国际能源署(IEA)《World Energy Investment 2025》《Global EV Outlook 2025》;英国能源研究所(EI)《2025 Statistical Review of World Energy》;国家能源局《中国新型储能发展报告(2025)》《中国氢能发展报告(2025)》《中国的能源转型(白皮书)》;中国能源经济研究院《2024 全球新能源企业 500 强》;中国石油石化杂志社《中国能源生态报告》;“十四五”时期能源高质量发展成就新闻发布会 <http://www.nea.gov.cn/20250826/81a62ca2aed14f18ac107efd85c4b650/c.html> 等。

建设现代能源体系,实现能源强国必须破除“能源不可能三角”。“能源不可能三角”是指能源的安全性、经济性(可负担性)和绿色低碳清洁性难以同时兼顾的现象。世界能源理事会(WEC)发

① 国家能源局:《中国的能源转型》白皮书 http://www.nea.gov.cn/2024-08/29/c_1310785406.htm。
② 国家能源局:《中国的能源转型》白皮书 http://www.nea.gov.cn/2024-08/29/c_1310785406.htm。

布的《世界能源三元悖论指数》(World Energy Trilemma Index),从能源系统的安全、公平和环境可持续三元维度对世界各国能源三角困境进行评估。中国的油气对外依存度仍然较高,受国际地缘政治冲突影响较大,虽然在资源上“风光无限”,但可再生能源资源存在长周期的间歇性和波动性,“靠天吃饭”的属性和“时空的不对称性”特点突出,新能源安全可靠替代面临不少挑战。邹才能院士等^[2]认为,破解能源“不可能三角”要靠“四轮驱动”:能源转型革命的能源经济+能源安全前轮引领和技术创新+“双碳”目标后轮驱动提速,进而建成新“能源强国”。贺克斌院士则主张把“不可能三角”变成可能,要做好创新(innovation)、学科交叉(interdiscipline)和国际合作(international),处理好技术创新、学科交叉融合建设和国际合作这3个“1”的关系。我们认为,破解“能源不可能三角”,构建现代能源体系,建设能源强国要实现“两个协同”,技术创新与制度创新协同“驱动”,有效市场与有为政府协同“发力”。技术创新是新能源产业发展的“核心引擎”,持续的技术创新,为产业发展注入源源不断的动力。在创新驱动发展中,技术创新与制度创新如同车之两轮、鸟之两翼。在产业发展初期,财政补贴制度是推动新能源产业崛起的关键力量。随着产业逐步走向成熟,补贴制度有序退坡,而税收优惠、产业规划和法律制度等制度接力发力,助力产业迈向新发展阶段。能源科技创新是破解“能源不可能三角”矛盾的不竭动力,要通过改革使生产关系适应能源新质生产力的发展,让制度创新为科技创新提供保障,形成破解“能源不可能三角”矛盾的两大重要驱动力。同时,有效市场和有为政府要协同发力,为安全、清洁、经济的能源体系提供有力的战略支撑。一方面,依靠市场开放竞争,通过市场化高效配置资源;另一方面,发挥好政府引导作用,深化能源重点领域和关键环节改革,通过财税金融等政策、理性的价格信号和市场机制,引导技术资源和资本向新能源产业集聚。建设“能源强国”

是中国应对全球气候变化、实现碳中和目标的核心路径。从化石能源到“化石能源+新能源”融合,再到风能+光能+氢能+储能+智能(电网)等,以新能源为主构建的“多能互补、源网荷储”的现代能源体系兼具绿色性(新能源为主)、经济性(低成本)和安全性(自主可控),实现能源新质生产力的“可实现三角”(见图1)。破解“能源不可能三角”应遵循“先立后破”的思路,使技术创新与制度创新形成共振效应,逐步完善有利于传统能源和新能源协调互补的技术支撑体系和配套制度,进而构建以智能技术为纽带、多能互补为特征的新型能源体系^③。以技术进步推动相关领域资源成本下降,形成适应新型能源体系的能源市场和交易体系,并深入研究相应的风险防范措施,实现平稳转型。

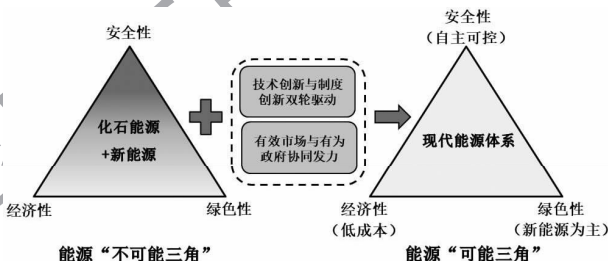


图1 破解“能源不可能三角”建设能源强国的路径选择

我们认为:进一步以绿色技术和数智技术推进能源绿色低碳转型,破解“能源不可能三角”,建设能源强国,需要采取以下六大举措。

(一)能源转型要推进绿色化与数智化“两化协同”发展。实现能源绿色低碳转型,要充分认识科技革命、工业革命和能源革命“三大革命”的规律,以数智化赋能绿色化,以绿色化牵引数智化,推动我国成为全球绿色低碳转型的主导者和引领者。绿色化与数智化是当前全球科技革命、工业革命和能源革命领域的两大趋势,是重塑世界经济版图和驱动经济社会发展的两大引擎^[3]。推动数智技术与可再生能源、储能、电动汽车等深度融合,共同推动新型电力系统的发展,促进能源产业高端化、智能化、绿色化发展。根据麦肯锡全球研究所的报告,到2030年,人工智能预计将在全球经济中创造约13万亿美元的价值,其中能源行业将

③ 课题组:推进能源转型与建设能源强国的路径选择与战略思考[R].武汉大学全球发展研究院,2025.

是受益最大的领域之一。通过强化数字化与绿色化的协同作用,能够极大地促进能源转型进程,构建一个更加高效、清洁、可持续的能源体系。历史表明,人类文明的重大进步与能源开发利用和更替高度相关,工业革命与能源转型是交织演进的^[4],工业革命起始于科技革命性颠覆性突破,同时伴随着能源革命使生产获得新的动力。第一次工业革命由英国主导,推动人类文明进入“蒸汽机时代”,能源体系由木材薪柴转向煤炭的大规模开发利用。第二次和第三次工业革命主要由美国等国家主导,推动人类文明进入“电气化时代”和“信息化时代”,能源体系由煤炭转向油气和电力的普及利用。第四次工业革命是以人工智能、清洁能源、机器人技术、量子信息技术以及生物技术为主的全新技术革命^[5],这场革命将引领人类进入智慧高效、绿色低碳的新时代,其核心特征和发展趋势聚焦于数智化和绿色化。智慧能源不仅能够助力能源体系向新能源转型,还将促进形成具有战略意义的新产业,推动形成绿色新质生产力^[6]。新一轮能源革命驱动能源供给和利用方式变革,带动上下游产业联动发展,进而促进新质生产力发展壮大。能源转型要利用数字孪生技术赋能能源市场机制设计,以区块链技术支撑绿电交易体系完善,运用人工智能大模型助力碳定价模型优化,形成“技术—市场—政策”协同演进新范式。探索人工智能技术赋能能源基础智能化改造、建设智慧能源平台和数据中心、实施智慧能源示范工程。运用数字技术提升电网的数据采集、分析和应用能力,促进电力系统各环节智能化,推动电网可观、可测、可控^[7]。波士顿咨询公司(BCG)研究表明,到 2030 年,人工智能(AI)有潜力帮助减少 5%~10% 的全球温室气体排放。但也要推动科技向善,人工智能技术的应用也会增加电力系统运行压力、提高网络安全威胁等额外风险。

(二)能源转型与碳中和要坚持有效市场与有为政府双向发力、技术创新与制度创新双轮驱动。以市场之力托举能源转型,建立“有为政府”的合理边界和尺度,破解地方政府之间“内卷式比拼”,推动整治产业“内卷式竞争”,防止地方竞相以非

市场手段招商引资和产业扶持而导致恶性竞争。推动能源转型要让市场“无形之手”与政府“有形之手”协同发力,让“风光水”与“煤油气”各展所长,让企业从“被动接受”转向“主动选择”,让能源供需空间格局从空间错配转向有机协调、良性互动。当前,一些地方领导追求“内卷式政绩”,基层不得不“内卷式空忙”,招商引资拼财力、拼要素、拼政策,出现地方政府“内卷式比拼”。当企业可以在政府力量加持下突破门槛,导致有限的市场一下子涌入太多企业,供求关系扭曲,恶性价格战由此产生,从而引发产业严重的“内卷式竞争”。2024 年中国新增光伏装机量达 2.78 亿千瓦,但同时大量企业预告亏损。从地方政府行为看,“内卷式”竞争表现为人为制造政策洼地,违规实施不公平非普惠的优惠政策,导致无序竞争,造成行业内大量重复建设和生产过剩,破坏了公平竞争秩序。从企业行为看,“内卷式”竞争表现为低价竞争、同质化竞争、营销“逐底竞争”^[8]。克服内卷式竞争,不仅要确立“有为政府”的合理边界和尺度,更要靠技术创新推进高质量发展。制度创新是催生清洁能源开发、利用、消纳等技术突破的重要条件。在新能源产业初期,政府通过制度创新为产业发展奠定坚实基础。随着新能源产业的成熟,要让市场机制在资源配置中发挥更大的作用,实现政策驱动为主到市场驱动为主转变^[9]。竞争是市场运行的重要机制,要通过构建有效竞争的市场体系优化能源资源配置,引导主要由市场决定能源价格,建立健全能源法治体系。在新能源发展浪潮中,越来越多的民营企业凭借其创新能力和机制灵活性,在新能源行业创新升级与发展壮大中发挥了重要作用。国家能源局统计显示,在风光发电领域,中国风电整机制造企业中民营企业约占 60%;在储能领域,新型储能系统出货量排名前 10 位的企业中民营企业有 9 家;在充电领域,民营企业数量占比超 80%;就能源消费侧转型而言,民营企业是电能替代、工业流程升级再造、全社会节能挖潜等用能节能环节的“主力军”。要进一步畅通民营企业参与能源领域重大科技攻关项目和开发建设的渠道,构建国有企业和民营企业协同互

补、大中小企业融通创新的多元共生能源科技创新生态,带动中小微企业深度融入创新链产业链,形成“大企业顶天立地、小企业铺天盖地”的良好创新局面。一方面,要依赖财税金融政策等外生措施;另一方面要重视公平有效的产权制度这种发展的内生元素。推动完善电价和电力调度交易机制,建立健全适应新型电力系统需要的配套机制,扩大绿电现货市场覆盖面,进一步推动绿证市场高质量发展,促进电力市场、绿证市场、碳市场有效衔接,加强政策协同,打好“组合拳”。加速建立跨区域能源规划和协调机制,通过铁路、管道、电网等基础设施建设,将煤炭、油气等传统能源与可再生能源资源整合,建设能源走廊,解决风光资源富集地区与负荷中心之间的电力供需不平衡问题^[10]。实现区域间的能源互补与协同发展,加快区域能源市场一体化建设,促进能源资源在全国范围内的优化配置。

(三)要主动预见绿色低碳技术发展趋势,大力推动绿色关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术和颠覆性技术创新,强化基础研究和原始创新,加强原创性、引领性科技攻关,破解深层次的“卡脖子”技术难题,提高科技成果转化效能,推进能源科技创新与产业创新深度融合。以应用牵引、场景驱动科技快速迭代,将能源科技创新作为塑造发展新动能新优势的战略支点。实现碳中和的核心是从能源的资源依赖型走向技术依赖型。国际能源署研究表明:全球 2050 年实现净零排放的关键技术中,50% 的技术尚未成熟。中国已经拥有的减碳技术中可商业化的大约有三分之一,另外有三分之一处于示范工程和中试程度阶段,剩余的三分之一还处在基础研究阶段^④。要打通创新链技术到产业链应用的“最后一公里”,做好“十五五”能源领域国家重点研发计划的研究动员,谋划一批国家科技计划专项^[11]。要以提升创新体系整体效能和培育国家战略科技力量为重点、以重大科技攻关任务为引领,促进跨学科团队汇聚、跨学科项目凝练、跨学科平台建设,实现重

点行业和领域低碳关键核心技术的重大突破。中国科学技术发展战略研究院技术报告表明,我国绿色低碳技术中研发应用中,领跑的仅为 10%,并跑的比例约为 35%,55% 的技术仍处于跟跑阶段。要加快形成产业发展“出题”、产学研联合“答卷”、超大规模市场“阅卷”的协同合作机制。要立足我国能源资源禀赋与产业特点,坚持先立后破、通盘谋划,加快突破一批清洁低碳能源关键技术和装备。在可再生能源低成本规模化利用方面,提高储能系统的智能化水平。借鉴风光电产业发展经验,在制、储、输、用氢能全产业链体系各环节给予有效扶持,在部分垂直行业和地区打造氢能应用示范区。加快氢能产业链的完善和商业化应用,形成新能源产业新增长点。鼓励油气企业切入氢能制储运环节,布局加氢站和氢能重卡示范项目。要加强化石能源清洁高效开发利用,以创新引领传统能源产业转型升级。加快突破一批多种能源融合关键技术,促进传统能源与新能源协同发展、各能源分系统之间的互补融合。要完善政策支持和市场服务体系,允许多种技术路线兼容并蓄、“赛马争先”,同时强化技术甄别,避免低层次“重复内卷式研发”,建立场景驱动的科技加速机制。要多主体协同和多要素集聚,共同推动清洁能源科技创新。在碳中和与清洁能源领域培育一批科技领军企业,以企业牵头,整合集聚创新资源,形成跨领域、大协作、高强度的创新基地,开展产业共性关键技术研发、科技成果转化及产业化、科技资源共享服务,打通从科技强到企业强、产业强、经济强的通道,提升产业基础能力和产业链现代化水平。要理顺碳中和与清洁能源领域国家实验室、国家科研机构、研究型大学、科技领军企业之间的分工协作关系。健全由全国重点实验室、国家工程研究中心、国家能源研发中心、国家技术创新中心等组成的梯次衔接的科技创新平台体系,提升创新体系整体效能。

对绿色低碳技术未来发展趋势要主动预见和超前谋划。加强新兴领域 0 到 1 的原始创新和基

④ 贺克斌:“双碳”的机遇与挑战 <https://www.env.tsinghua.edu.cn/info/1251/7254.htm>.

基础研究。健全基础研究任务征集机制,依靠基础研究突破来应对能源结构重大调整带来的挑战,超前布局战略导向的体系化基础研究、前沿导向的探索性基础研究,实施“生产一代、研制一代、预研一代、探索一代”的研发布局。尽管我国在新能源产业发展方面具有显著的引领性优势,但总体创新平均水平与国际领先国家仍有技术差距,“前”有原始创新短板,“后”有技术赶超威胁。基础理论研究必须长期坚持,久久为功,对“从 0 到 1”的基础研究,采用定向支持、滚动支持,依靠深度技术变革来引领“绿色工业革命”。加快补强关键核心技术短板、锻造长板技术新优势,加大突破性、颠覆性技术的科研投入。超前规划万米级超深层油气钻探技术、地下煤炭+页岩原位转化油气技术、绿电绿氢绿储新能源革命核心技术、“人造太阳”技术、地球利用太空“太阳能”技术等^[12]。

(四)要发挥高校学科交叉融合“催化剂”优势,破解学科专业壁垒,优化资源配置与激励机制,以重大科技任务和应用牵引提高学科交叉融合能力,发挥智库作用,实现硬技术与软科学的“软硬兼施”。习近平总书记在清华大学考察时强调,要用好学科交叉融合的“催化剂”,加强基础学科培养能力,打破学科专业壁垒,对现有学科专业体系进行调整升级,瞄准科技前沿和关键领域,推进新工科、新医科、新农科、新文科建设,加快培养紧缺人才。颠覆性创新往往来自学科交叉融合。高校是教育、科技、人才一体化布局的重要结合点和汇聚点,是推进绿色化转型和数智化发展的“轴心”。联合国教科文组织的研究报告指出,教育能加速绿色化与数字化融合,并以数字化激活和推动绿色化。能源系统的“多能互补”通过整合风、光、水等多元能源,破解了单一能源的间歇性与低效难题,其实现高度依赖“学科交叉融合”。储能技术需电化学与材料学协同攻关,风光功率预测需气象学与人工智能深度结合,氢能产业链需催化科学与系统工程交叉创新。多能互补的本质是能源协同,学科交叉则是其底层驱动力。能源转型的复杂挑战,如虚拟电厂调度、碳捕集技术优化,更需打破学科壁垒,以融合创新释放系统性潜

能,加速碳中和进程。科技革命、产业变革和能源转型急需建立科技创新与人才培养相互支撑、多元互补的教育科技体系,需要多学科交叉来满足其科技和人才需求。面向绿色化和数智化的学科建设要两手抓:一手抓基础学科建设,强“基”固本;一手抓新兴学科与交叉学科建设,使学科向“新”而行。要完善碳中和与能源领域新兴学科、交叉学科支持制度,发挥高校学科交叉融合“催化剂”优势,推动从单一学科组织转向学科“生态雨林”、从政策牵引转向制度供给,从学科封闭循环转向满足战略需求。鼓励不同高校基于自身基础走特色化、差异化的交叉学科发展道路,重点打造一批能源和碳中和领域交叉学科“领头雁”,实现学科“高原”上构筑“高峰”。支持有条件的高校围绕“双碳”和“AI”的创新性交叉融合,打造融合能源、环境、电气、材料、信息等学科的新工科教育模式,培养能够引领未来绿色化和数智化的科技创新领军人才。另外,还要积极推进古今贯通、中西联通、学科融通、具有中国气派的新文科发展之路。探索高校新文科建设就要积极主动拥抱新技术、探索新变革,更加广泛地同自然科学和工程科学开展学科重组与文理交叉,积极构建“技术—经济—管理—政策”一体化的知识体系。以数智化和绿色化重塑新工科、新文科教育 DNA,将绿色低碳理念纳入教育教学体系。学科交叉的生命力在于不同学科根据领域重大需求不断结合,不断重组,并在这个过程中实现各自学科的迭代升级^[13]。深入探索交叉学科体制机制和发展模式,建立跨学科的科研团队和教学组织。从强基础、宽视界、筑尖端、会跨界 4 个角度推进改革,改造专业课程体系,努力为拔尖学生建构“底宽顶尖”的金字塔型知识结构^[14]。加快科研范式变革,发挥高校基础研究深厚和学科交叉融合的优势,依托重大科技攻关任务,实现“基础研究—关键技术—转化科技成果—产业应用”的全链条突破。制定针对基础学科和新兴交叉学科教师的长期培养计划,提升学术水平和教学能力。我们在调查中发现,为了推进学科交叉融合,中南大学出台交叉学科培育与建设管理办法,统筹 10 个学院资源,成立新能

源学科交叉中心,全面推进冶金、化学、物理、材料、机械、能源动力、电力电气、人工智能等多学科多领域的交叉融合与协同创新。在学科集群建设上,该校增设了“新能源与储能工程”交叉学科,统筹凝练8个相关二级学科方向,联合攻关和多点突破相结合,持续打造覆盖新能源资源、材料、器件、系统和装备的全链条学科生态。哈尔滨工业大学与中国移动集团共同成立“5G 应用创新联合研究院”,实行“智能技术+绿色经济”,加速技术创新与产业应用良性互动,推动学科交叉及产学研合作,为传统产业绿色智能化转型提供关键技术支撑。同济大学面向世界科技前沿,从30家海外顶尖高校引进以“人工智能+”为核心的百门国际课程并邀请海外顶尖名校的师资暑期线下授课,赋能拔尖创新人才培养。教育部门要用好学科评估“指挥棒”。建议新一轮学科评估增加对新兴学科和交叉学科的考核,创新新兴学科、交叉学科的组织方式、评价体系和激励机制。加大对学科交叉和交叉学科建设增量资源的投入,支持新兴学科和交叉学科发展,支持有条件的高校设立交叉学部,建立起正式规范的交叉学科组织建制。完善碳中和与人工智能领域新兴学科、交叉学科支持制度。健全适配交叉学科发展特色的考核评价体系、创新机构建制,把服务国家重大需求和高水平科技自立自强的成效作为重要评价标准,确保评价准确可靠,以评促建、以评促改、以评促强。推动一流学科携手一流企业,以重大能源科技攻关任务和牵引提高学科交叉能力,促进学科群与适宜的新兴产业集群紧密对接^[15]。

要重视能源与碳中和研究领域的“软科学”与“硬技术”协同发力。加强能源与碳中和软科学战略研究,以智库之“智”推动制度优势更好地转化为绿色低碳治理效能。在智能化社会,实现绿色低碳转型需要技术创新和制度创新双轮驱动。如果说技术创新主要靠理工科学学科建设来加强基础研究和技术开发,那么制度创新则需要高校新文科建设为绿色发展的战略研究和制度供给提供智力支持。推进能源绿色低碳转型、强化在全球气候治理中的主动权,不仅要增强科技攻关和产业

发展方面的“硬实力”,还要着力增强国家“软实力”。软科学的战略研究和高校高端智库资政研究对于推进高校碳中和与能源转型建设至关重要。实施碳中和战略研究基地建设,形成技术、行业、领域、区域及国际多维度的创新战略支撑体系。要聚焦国家绿色低碳转型急需,依托高水平战略研究机构,推进优势资源整合,强化中国特色新型智库建设,打造一批在全球气候治理、绿色低碳领域具有全球影响力的智库品牌,以智库之智赋能智能社会的绿色发展与气候治理。打造高端智库成果发布平台,产出具有决策影响力、社会公信力和全球影响力的标志性智力成果。

(五)发挥教育在公民生态文明观念塑造和绿色理念养成中的“源头”作用,培养造就一大批绿色发展人才,激发人才创新活力。多学科交叉融合培养绿色创新拔尖人才和创新团队、学科融汇培养跨界复合型绿色人才、产教融合培养绿色产业紧缺人才、职普融通培养绿色技能人才和绿色工匠、多渠道培养通晓国际规则的国际化人才,科技教育与实践相结合培养高素质企业家人才,提升存量人才适应能力,畅通绿色人才发展通道。在人才培育过程中,不仅要重视知识技能传授,还要有效推进生态文明观塑造和绿色理念养成。世界银行报告强调,教育可以重塑思维、行为,培养技能并激发创新,在应对气候变化方面发挥重要作用。“双碳”战略发布以来,教育部相继发布《高等学校碳中和科技创新行动计划》《加强碳达峰碳中和高等教育人才培养体系建设工作方案》和《绿色低碳发展国民教育体系建设实施方案》,对高校在绿色低碳科技创新、人才培养和国民教育体系中的工作进行了系统谋划,形成了较为完整的政策框架,在政策支持和强大社会需求的驱动下,碳中和类交叉学科已被一大批高校纳入学科发展“大蓝图”、驶入培育成长的“快车道”。要把绿色理念和生态文明素养提升作为绿色低碳教育的重要任务,通过体系化规范化的知识传播凝聚思想共识,推动全社会形成绿色低碳发展的积极氛围,培养公民生态环保意识和绿色责任精神。无论推动能源基础智能化改造、建设智慧能源平台和数

据中心、实施智慧能源示范工程,还是推动 AI 技术与可再生能源、储能、电动汽车深度融合,人才都是第一资源。欧盟把人才培养放在绿色经济转型的第三大支柱的位置,其为了防止在转型过程中出现大规模失业而产生新的社会问题,于 2020 年 7 月发布了《欧洲技能协定》,协助个体及企业提升及发展绿色技能。绿色低碳发展要依靠创新驱动,归根到底要靠人才驱动。要构建与能源新质生产力发展相适应的拔尖创新人才培育体系。深化研究生教育改革,实施本硕博贯通式人才培养,转变“单兵作战”传统的思维,优化“多对一”导师配备模式,打造若干碳中和领域研究生教育特区。聘请一批学科交叉融合、学贯中西的教师任导师,完善碳中和与能源转型领域拔尖创新人才及一流团队培育模式。鼓励高水平研究型大学共享教育资源,鼓励跨国、跨校、跨学科的双碳人才联合培养,优化职称评价模式,探索构建拔尖创新人才及一流团队的识别发现及引进模式。能源转型涉及学科面广、复杂性大,要促进不同领域、不同学科、不同专业教育教学资源的融合融通,使相对独立的专业划分向多学科跨界交叉融合发展转变,使学生能够跨领域认知、多维度思考,培育造就一大批适应能源转型多元场景的复合型人才。要适应能源产业新变化新趋势,构建产教协同育人新格局,大力培育绿色产业紧缺人才、绿色技能人才和能工巧匠。加强重点产业人才需求预测,构建未来人才需求图谱,前瞻性培养产业紧缺绿色人才。鼓励绿色低碳领域优势企业、专精特新企业、“隐形冠军”企业参与交叉学科建设,将企业前沿生产创新融入交叉学科培养体系中,实现校企人才培养深度融合^[16]。能源产业的变革将不可避免地导致传统能源产业工作机会减少,但在新能源领域又产生大量就业机会。要构建适应新能源产业发展的技术技能人才培养平台,广泛开展“订单式”技术技能人才培养,造就一大批“绿色工匠”^[17]。多渠道扩大终身教育资源,鼓励高等院校开发非学历继续教育培训项目,帮助产业工人实现技能更新、适应岗位变化。培育引进一批了解本土国情、通晓国际规则、具有全球视野的高端人才。探

索建立符合国际惯例的高端人才评价体系和激励保障机制,吸引全球“高精尖缺”绿色人才来我国创新创业。试点建设“国际人才绿卡”快速通道,给外籍专家提供与国际接轨的生活保障政策。鼓励有条件的院校组建跨国高校办学联合体,培养大批善于讲好“中国方案”的复合型人才。深化“全球南方”绿色教育合作,构建绿色产业海外人才培养高地。遴选优秀青年学者赴国际组织实习任职,培育兼具国际视野与本土实践能力的治理人才。绿色化和数智化转型是对领导干部治理能力和企业家创新创业能力的一场大考。要提升领导干部的能源治理水平。可以依托高校优势学科举办绿色发展培训班,推动高校与党校开展合作,将绿色低碳、数智化相关理论学习考核纳入各级党校课程培训中。通过创新创业教育培养高素质企业家人才,培育更多敢于创新、善于把握市场机遇的高素质企业家。实施企业家科技素质提升工程,鼓励高校专家学者和政策制定者通过案例研讨、现场学习、专题讲座等方式,为企业家提供“两化协同”政策解读、低碳转型路径等方面的系统培训。

(六)不断提升我国在全球能源与碳中和领域的国际话语权和全球影响力,加强国际合作,保障能源安全。深度参与国际能源署(IEA)、国际可再生能源署(IRENA)、G20/APEC 等涉能源领域重要多边机制,建立国际发展与能源气候研究合作平台,加强新兴能源领域的国际合作,助力中国绿色科技企业“出海”。当前,地缘政治热点问题频发,贸易保护主义盛行,外部环境的复杂性、严峻性、不确定性上升。全球能源市场、新能源产业链安全稳定的不可预料因素明显增多,我国油气外采率较高,原油和天然气供应不稳定、绿色贸易壁垒、关键技术和零部件出口管制等影响不容小觑。要推进关键能源产业链供应链动态风险预测、策略模拟及应急管控领域的技术研发,持续增强化石能源、清洁能源产业链供应链韧性。要强化海外资源供应安全保障能力,加速替代材料的研发,降低对单一原材料、单一供应国的依赖。补齐在关键矿产资源供应和核心技术上存在的短板,大

力推动锂、钴、镍等关键原材料的多元化布局。随着全球能源结构向低碳清洁能源快速转型以及国内产能快速扩张,“出海”已经成为国内新能源企业的“必选题”。要推动中国“新三样”产品、产线、技术、人才、服务全产业链集体“走出去”。要依托“一带一路”绿色能源合作专项贷款、多边气候基金等政策工具,扩大海外新能源投资。积极参与全球技术标准、产品标准和治理规则制定,实现从“产品输出”到“规则输出”。同“全球南方”国家积极共建国际联合实验室、科技成果转化和技术转移基地,创业孵化基地和科技园区等创新创业载体,助力其新能源产业培育壮大。要推动中国清洁能源标准上升为国际标准,提升中国在国际产业链分工中的主导权。国际组织作为能源治理和多边合作的重要平台,对于提升中国国际影响力与话语权至关重要。成立于2016年的全球能源互联网发展合作组织是我国发起的首个能源领域国际组织。目前,合作组织拥有1390家会员,分布在全球143个国家和地区,覆盖能源电力、装备制造、信息通信等领域,创立能源互联网金融、装备、大学、智库四大专业联盟。举办数百场国际会议交流活动,是传播中国声音、展示中国形象及推动全球能源合作的重要平台;推动东南亚、非洲、拉美等地区清洁能源开发与电网互联项目,推动中阿、中非、中拉合作走深走实,发布90多项创新成果,成为全球电力发展“风向标”。建议支持合作组织等平台积极与其他国家和地区开展双边或多边标准互认谈判,推动能源转型领域的标准国际互认。通过国际性研究平台汇聚人才,主动发声、借力发声、合作发声、有效发声。支持国际组织共同设置国际议程、举办国际会议,引导国际精英和国际社会对中国绿色低碳转型的认知,扩大中国在能源转型和参与全球气候治理中的国际影响力和国际话语权。

参考文献:

[1] 全球发展与碳中和课题组. 引领全球气候治理和推进能源转型的战略思考[J]. 国际经济评论, 2024(5): 39-54, 5.

[2] 邹才能, 李士祥, 熊波, 等. 中国建设“能源强国”的内

涵、路径与意义[J]. 石油勘探与开发, 2025, 52(2): 463-477.

[3] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 民营企业数字化与绿色化转型的战略选择[J]. 应用经济学评论, 2024, 4(1): 24-31.

[4] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 推进制造业绿色低碳转型的路径选择[J]. 中国行政管理, 2023(1): 149-152.

[5] 杨洁勉. 当前国际大格局的变化、影响和趋势[J]. 现代国际关系, 2019(3): 1-6, 63.

[6] 尹海涛, 王峰. 中国能源转型的主要挑战与智慧能源建设的发展趋势[J]. 人民论坛·学术前沿, 2025(14): 68-76.

[7] 杜祥琬. 能源高质量发展应实现“可能三角”[N]. 中国能源报, 2022-01-17(4).

[8] 巨力. 深刻认识和综合整治“内卷式”竞争[J]. 求是, 2025(13): 33-37.

[9] 范英, 衣博文. 能源转型的规律、驱动机制与中国路径[J]. 管理世界, 2021, 37(8): 95-105.

[10] 单菁菁, 谢伟伟, 杨开忠. 聚焦绿色转型重塑中国空间经济格局: 问题辨析与路径选择[J]. 中国软科学, 2023(3): 85-95.

[11] 刘德顺. 深入实施创新驱动发展战略 以科技创新引领能源新质生产力发展[N]. 中国电力报, 2025-02-27(1).

[12] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 中国实施绿色低碳转型和实现碳中和目标的路径选择[J]. 中国软科学, 2022(10): 1-12.

[13] 张来斌. 强化碳中和与清洁能源领域学科交叉建设 助力教育科技人才体制机制一体改革[J]. 中国高教研究, 2024(9): 6-7.

[14] 贺祖斌, 蓝磊斌. 拔尖创新人才培养的政策、困境与对策: 以交叉学科为视角[J]. 社会科学家, 2023(11): 138-143.

[15] 辜胜阻. 引领第四次工业革命亟须打造教育升级版[J]. 教育研究, 2020, 41(5): 10-12.

[16] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 职业教育产教融合与科教融汇: 学习贯彻党的二十大精神[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(6): 1-3.

[17] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 发展数字经济需要深化教育改革与强化人才驱动[J]. 教育研究, 2022, 43(12): 15-19.

(本文责编: 默 黎)