

Working Paper No.202103

August 13, 2021

王永中

wangyzcass@163.com

碳达峰、碳中和目标与中国的新能源革命*

摘要：碳达峰和碳中和目标是中国政府在充分考虑国内外环境和条件、贯彻“绿水青山就是金山银山”的理念、全面权衡利弊得失的基础上，所做出的攸关经济社会全面绿色转型和中华民族长远福祉的重大战略抉择。碳达峰、碳中和目标将会推动新能源革命和能源结构多元化进程，以光伏为中心的非化石能源将逐渐占据主体地位，电力和氢能的地位将显著提升，煤炭和石油的消费将明显下降。碳达峰和碳中和目标对于中国的挑战体现在经济和能源结构调整压力大、制造业成本上升、煤电退出困难、光伏风电并网影响电网稳定、关键金属供应存在隐患，机遇表现在光伏风电设备竞争力较强、对外油气依赖度降低和低碳绿色转型加快。中国应加强碳达峰、碳中和目标实现路径的顶层设计，鼓励绿色低碳技术创新，加快经济和能源结构调整，严控新增高排放高能耗项目建设，稳妥推进存量“双高”项目的调整和退出。

关键词：碳达峰、碳中和、新能源革命、低碳转型、影响

当前，尽早实现碳达峰和碳中和已成为国际社会的共识与行动，全球约有 130 个国家计划在 21 世纪中叶达成碳中和目标，占全球碳排放总额的 61%左右。碳达峰、碳中和目标是中国政府立足新发展阶段，贯彻“绿水青山就是金山银山”的理念，在充分考量国内外环境和全面权衡利弊得失的基础上，所做出的重大战略决断，攸关中华民族的根本福祉与经济社会的绿色转型发展。作为一个产业结构偏重、能源消费偏煤、能源效率偏低和油气供应风险偏高和可再生能源设备制造能力较强的发展中大国，碳达峰、碳中和目标压力将会倒逼中国的

*发表于《人民论坛·学术前沿》2021 年 14 期（7 月下）。

经济和能源结构调整，甚至构成前所未有的颠覆性冲击。藉此，展望阐述碳达峰、碳中和目标下中国能源革命和发展的特征，分析碳达峰、碳中和目标对中国经济和能源的影响机制，探讨碳达峰、碳中和目标的可能实施路径，对于促进中国的新能源革命和绿色低碳转型，具有重要的理论价值和现实意义。

一、碳达峰、碳中和目标与中国的可持续发展战略

目前，温室气体排放引发的环境污染和气候变化问题已构成全球经济社会可持续发展的严峻挑战。煤炭、石油和天然气等化石能源的大规模发现和利用，极大地提高了劳动生产率，人类社会实现了大繁荣和大发展。但与此同时，化石燃料燃烧所排放的二氧化碳累计达 2.2 万亿吨，产生了严重的环境污染和气候变化问题。自工业革命以来，大气中的二氧化碳浓度持续上升，目前已达到 419ppm；全球地表平均温度已升高 1.1 摄氏度，若不加控制，在本世纪下半叶有可能进一步升高至 2.5 摄氏度（黄震，2021）。地表温度的上升，会造成一系列的气候和环境问题，主要有：一是冰川融化，海平面上升，一些岛屿和沿海城市可能被淹没；二是病虫害增加，传染性疾病暴发概率急剧上升，人们生命健康和农作物生产将遭受严重威胁；三是气候反常加剧，极端气候现象频发，全球经济社会运行和能源供应的不确定性风险大幅上升；四是土地干旱化程度加深，沙漠化面积持续扩大，生态环境进一步恶化。这显然超越了地球生态系统的自我修复能力。

碳达峰和碳中和是应对温室气体排放与环境污染问题的必经之路。关于“碳”的内涵，有狭义和广义之分。狭义的“碳”是指二氧化碳，广义的“碳”则指温室气体，即除了二氧化碳外，还包括甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化合物、全氟碳化合物、六氟化硫、臭氧等。需要指出的是，空气污染物通常与温室气体一起排放，如化石燃料燃烧、工业加工生产、废物处理等。而且，绝大多数空气污染物，如烟尘、硝酸盐、硫酸盐、臭氧等，均对气候产生负面影响。从而，减少温室气体排放会显著改善空气质量和公共健康。所谓“碳中和”是指碳的排放量和清除量基本达到平衡，实现净零排放。根据碳中和目标的设计思路，在技术进步和创新取得重大突破的情形下，经济增长将与碳排放实现根本性脱钩，人类社会的维持全球经济稳定增长的同时，人为碳排放量将降至极低的水平，且这一极低的碳排放将通过碳捕捉与封存（CCS）、植树造林等方式人为吸收，从而将所排放的二氧化碳对自然环境产生的影响降低到净零程度。2019 年，全球碳排放量为 401 亿吨二氧化碳，其中 86%源自化石燃料利用，14%由土地利用变化产生，这些排放量被陆地碳汇吸收了 31%，被海洋碳汇吸收 23%，剩余的 46%滞留于大气中的碳需要通过碳中和的方式予以吸收掉（丁仲礼，2021）。

顺应风起云涌的国际碳中和运动大势，中国政府宣布“力争 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”，并承诺“到 2030 年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比 2005 年下降 65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到 25%左右”。而且，在“十四五”规划纲要中，明确强调“坚持绿水青山就是金山银山理念”，并“实施可持续发展战略，完善生态文明领域统筹协调机制，构建生态文明体系，推动经济社会发展全面绿色转型，建设美丽中国”，且将“单位 GDP 能源消耗累计降低 13.5%，单位 GDP 二氧化碳

排放累计降低 18%”作为约束性减排目标。为推进碳达峰、碳中和目标的实现，“十四五”规划要求各级政府“落实 2030 年应对气候变化国家自主贡献目标，制定 2030 年前碳排放达峰行动方案”，并“锚定努力争取 2060 年前实现碳中和，采取更加有力的政策和措施”。

碳达峰、碳中和目标的提出，是党中央立足新发展阶段和贯彻新发展理念，在通盘考虑全球发展大势、国内现实条件和潜在成本收益的基础上作出的重大战略决策，事关中国经济社会的长远发展、中华民族的根本福祉和人类命运共同体的构建。经过四十余年的改革开放和经济快速增长，我国出口导向型经济增长模式取得巨大成功，成长为世界工厂和全球第二大经济体，人均 GDP 已经基本上稳定超越全球平均水平，即将迈入高收入国家的行列，并形成了一个四亿人口的庞大中产阶级群体，居民消费需求不断升级，不再满足于低层次物质消费需求，对于高品质生活和美丽和谐生态环境的需求日益强烈。然而，我国各级政府部门以往高度强调追求经济增长和创造就业机会，在环境保护领域上历史欠账较多，导致环境污染和资源耗竭问题较为严重。党的十八大以来，我国适时对经济结构进行调整，不再片面追求经济的高速增长，经济增长方式正逐步由出口导向、投资驱动和资源消耗向消费驱动和科技创新驱动转变，注重同步推进物质文明建设和生态文明建设，以促进经济社会发展的低碳和绿色转型，建设人与自然和谐共生的现代化。碳达峰、碳中和目标将会有力促进我国的新能源革命和产业结构升级，培育绿色发展动能，提升经济社会发展质量效益，实现经济繁荣发展和生态环境质量持续改善的有机统一，为我国在“十四五”规划末期进入高收入国家行列、2035 年基本实现社会主义现代化并达到中等发达国家水平、本世纪中叶建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国筑牢根基。作为最大的发展中国家和碳排放国，中国的碳达峰、碳中和目标极大地推动了全球碳中和运动，展现了中国加快绿色低碳发展的决心和负责任大国的担当，为全球应对气候变化贡献了中国智慧和方案，为全球生态文明以及人与自然生命共同体的建设注入了强大动力。中国的碳达峰、碳中和目标是全球碳中和运动的一个里程碑事件，导致宣布碳中和目标的国家的碳排放份额由 20%大幅升至 48%。2021 年 1 月，在美国拜登政府提出 2050 年实现碳中和目标后，宣布碳中和国家的碳排放份额进一步攀升至 61%（Goldman Sachs,2021）。

二、碳达峰、碳中和目标下全球与中国的能源革命和发展的特征

碳达峰、碳中和目标将会触发全球和中国的能源系统革命，促进经济全面绿色低碳转型。碳减排是实现碳达峰、碳中和目标的基础性路径，而碳封存、碳捕捉和森林碳汇等起辅助性作用。从经济结构和能源结构角度看，碳减排的途径理论上主要有三条：一是调整经济结构，控制钢铁、电解铝、水泥和玻璃等高能耗高排放行业的发展规模，降低能源消耗强度大的制造业特别是重工业的比重，提高能源强度较小的服务业和轻工业的比重；二是调整能源结构，降低碳含量高的煤炭、石油等化石能源的消费比重，提高零碳的可再生能源以及低碳的天然气等清洁能源的消费比重，加快工业、建筑、交通等领域的电气化；三是通过科技手段，全面推进电力、工业、建筑、交通等重点领域节能，提高能源使用效率，减少能源生产、运输和消费环节的浪费，降低单位 GDP 能耗。随着碳达峰、碳中和目标的不断推进，未来全球

和中国能源系统的革命和发展将呈现如下特征：

第一，能源结构趋于多元化，非化石能源将逐渐占据主体地位。在历史上很长的一段时间，全球能源系统通常被一个单一能源支配。在农耕社会，薪材占据统治地位。在 20 世纪上半叶，煤炭是主体能源。后来，随着煤炭的地位下降，石油成为居支配地位的能源。碳中和转型意味着未来二十余年能源结构将出现前所未有的多元化局面，石油、天然气、可再生能源和煤炭将可能四分天下，各占四分之一的份额。伴随着低碳转型的推进，主体能源将由石油、天然气、煤炭等化石能源向可再生能源逐步过渡，预计非化石能源可能在 2040 年代早期占据主导地位。可再生能源占一次能源的比重将由 2018 年的 5% 升至 2050 年的 50% 左右，化石能源的比重则相应由 85% 降至 30% 左右（BP，2020）。

第二，煤炭和石油消费将显著下降，天然气需求则相对稳定。体现在：一是煤炭消费将会持续显著下降。根据 BP（2020）的预测，2050 年，煤炭消费可能下降 85-90%，在一次能源结构中的比例将低于 5%。全球煤炭消费下降将由中国驱动，中国的煤炭消费下降量将占全球煤炭消费削减量的一半左右。电力部门减碳程度最高，削减量约占煤炭消费下降总量的 2/3。二是全球石油需求可能已达峰。新冠疫情导致石油消费行为发生变化，居家办公和自驾出行需求上升，外出旅行和乘坐公共交通的需求下降。在能效改进和电动汽车销售强劲增长等因素的作用下，汽车行业不再扮演石油需求引擎的角色。全球石油需求可能在 2019 年达峰，将难以恢复到新冠疫情爆发前的水平。中国石油需求在 2030 年会达到峰值，但印度的进口需求会继续上升。2050 年，全球日均石油需求量可能下降 3000-5500 万桶。三是作为清洁能源和过渡能源，天然气需求较为稳定。未来十五年，中国和印度等亚洲经济体的“煤改气”进程加快会驱动天然气需求继续稳定增长，预计天然气消费在 2035 年左右达峰。2036-2050 年期间，中国和欧洲的天然气需求可能会下降。2050 年，全球天然气消费可能回落至 2018 年的水平。

第三，电力和氢能在能源结构中的地位显著提升。鉴于发电部门去碳化程度较高，在碳中和目标导向下，应尽量用电力来取代化石能源作为最重要的能量来源，电气化程度将会大幅提高。考虑到可再生电源的间歇性和不稳定性特征，未来电力系统的智慧化水平将显著增强，会通过互联网、物联网、人工智能、大数据、云技术等，将人、能源设备、能源服务互联互通，使电源、电网、电荷以及能源存储相互协调。然而，不同行业或部门电气化程度存在差异。一些行业或部门难以实施电气化，如钢铁、水泥和化工等高温的工业生产加工程序，以及远程交通运输，包括重型卡车、航空和海运等。对于这些难以电气化的过程需要采取替代性的低碳或零碳能源。利用可再生能源（光伏或风电等）制取氢、氨和可再生合成燃料，用于汽车、船舶、航空和工业等。特别是可再生合成燃料是一项极具潜力的变革性技术，采用可再生能源来合成液体燃料，一旦取得技术突破，将使交通和工业燃料不再依赖化石能源（黄震，2021）。

第四，光伏太阳能将占据能源系统的中心地位。在过去的十余年中，光伏太阳能发电成本下降 82%-90% 左右，在绝大多数国家低于新的燃煤电站或天然气电站的成本。太阳能光

伏的年新增装机容量在 2021-2025 年期间预计为 250 吉瓦，在 2026-2035 年期间预计达 350 吉瓦，约等于 2000 年以来年均新增 60 吉瓦新增装机容量的 4 倍、6 倍(BP, 2020)。2030-2050 年期间，以太阳能为代表的可再生能源将逐步由替代能源向主体能源过渡，太阳能将占据全球能源系统的中心舞台。根据 IEA (2020) 的预测，2030 年，可再生能源发电将会满足 80% 的电力需求增加。未来一段时间，水电仍然是最大可再生电力来源，但 2022 年后，电力供应增长主要来源于太阳能光伏发电，紧随其后的是陆上风电和海上风电。伴随着太阳能、风能和能源效率技术的快速发展，氢能、碳捕捉使用和储存、核能会有大的发展。这有助于形成以新能源为主体的新型电力系统，常规火力发电将从目前的基荷电力转变为调峰电力，结合 CCS 的火电，将为大电网稳定性和灵活性提供保障，实现电力零碳化。

第五，可再生能源快速发展导致关键金属长期需求大幅上升。与传统化石能源发电不同，光伏、风电和电动汽车需要更多的金属。锂、镍、钴、锰、石墨对于电池的功效、寿命和能源强度非常重要。稀土永磁材料对于风力发电机和电动汽车至关重要。电网需要大量的铜和铝，其中铜是电力系统的基石。电动汽车的金属使用量是普通燃油汽车的 6 倍，陆上风力发电站的金属需求量是天然气发电站的 10 倍。根据 IEA (2021) 的预测，在实现巴黎协定目标的情形下，未来 20 年，可再生能源部门的金属需求份额将大幅提升，在铜、稀土元素中的消费份额将超过 40%，在镍和钴中的需求份额将达 60-70%，在锂中的消费份额超过 90%。电动汽车和储能电池将替代消费者电子产品成为最大的锂消费部门，并在 2040 年成为镍的最大消费者。若 2050 年实现全球碳中和目标，全球能源转型步伐将会进一步加快，2040 年金属需求将比 2020 年增长 6 倍多。作为主要需求方，电动汽车和储能电池的金属需求在 2040 年将会至少增加 30 倍。锂需求将经历最为迅猛的增长，2040 年将增长 40 多倍，紧随其后的将是石墨、钴和镍，约增长 20-25 倍。电网的扩张意味着电缆的铜需求将会加倍。

三、碳达峰、碳中和目标对中国经济和能源系统的影响

作为一个产业结构偏重、能源消费偏煤、能源效率偏低、油气供应风险偏高和可再生能源设备制造能力较强的发展中大国，碳达峰、碳中和目标的提出及实施，将会对中国的经济结构和能源系统构成全面深远的影响，甚至是前所未有的颠覆性冲击。碳达峰、碳中和目标对于中国是挑战和机遇并存，既经受着经济和能源结构调整的巨大压力，又面临着推进绿色低碳转型发展和续创新能源科技新优势的时代机遇。

第一，减排任务重和向碳中和过渡时间短，加大了产业和能源结构调整的压力与风险，倒逼经济结构低碳转型。相比较于发达国家，中国在经济结构、能源结构和能源效率上存在明显劣势，在推进碳达峰、碳中和目标上面临着巨大的障碍和挑战，加大了产业和能源结构调整的压力与成本。体现在：一是碳减排任务艰巨。目前，中国是世界上最大的碳排放国，人均碳排放列 49 位，是全球平均水平的 1.6 倍。2019 年，中国碳放量占全球的 28.8%，接近排名第 2 至第 5 位的美国、印度、俄罗斯和日本四国的总和，远高于约 18% 的人口和 GDP 的份额，中国人均碳排放水平虽相当于美国的一半，但已超过英国、法国等一些欧盟国家。二是碳达峰向碳中和过渡的时间短。发达国家已实现自然碳达峰，向碳中和过渡的时间有五

六十年，其能源转型是沿着先由石油替代煤炭、再由天然气替代石油的递进规律自然形成的，而中国尚未实现碳达峰，城市化进程尚未完成，大量低收入群体在不同程度上存在着能源贫困现象，人均能源消费需求仍维持增长，向碳中和过渡的时间仅有三十年，调整经济结构和能源结构的任务繁重，能源转型是在没有完成油气时代的条件下直接进入可再生能源时代，造成电力灵活性资源先天匮乏。三是制造业比重偏高和经济发展任务繁重，能源强度下降空间受到制约。发达国家已实现高度服务化，能源强度已明显下降，但中国目前刚接近高收入国家的门槛，经济发展和追赶任务繁重。要实现“十四五”规划和 2035 年远景规划的目标，未来十五年中国经济年均增速仍然需要保持在 5%这一较快的水平，才能在 2025 年、2035 年分别进入高收入国家、中等发达国家的行列。为降低单位 GDP 的能耗和碳排放水平，中国可调整和优化经济结构，淘汰钢铁、水泥、玻璃等过剩行业部分产能，降低工业经济特别是高排放高污染重化工业的比重，但制造业是立国之基，不能过早去工业化，其在国民经济中的份额宜维持稳定在 40%左右。四是能源转型面临着“富煤、贫油、少气”的资源禀赋瓶颈制约。目前，煤炭在中国一次能源消费结构中的比重高达 60%，非化石能源占比仅 15%，石油和天然气消费高度依赖进口，能源供应安全风险居高不下，水电和核电等清洁能源发展空间受限，光伏发电和风电发展势头虽迅猛但占比太低，调整和优化现有能源结构的回旋空间小，预计未来较长一段时间煤炭仍将扮演主体能源角色和兜底保障功能。尽管中国是最大的碳排放国，但减排的潜力大且速度快。在过去二十余年中，中国 GDP 的碳排放强度下降了 40%，仅次于英国，是全球碳强度下降幅度第二大的国家，完成了哥本哈根会议的承诺和十三五规划的减排目标（Goldman Sachs, 2021）。而且，碳达峰、碳中和目标压力会倒逼中国的产业结构从高污染、高排放的产业向低碳产业加快转型。低碳产业转型会提高产业的全要素生产率、改变生产方式、培育新的商业模式，有助于促进中国实现经济结构调整、优化和升级的目标。

第二，能源和环境成本上升导致中国制造业成本增加，国际价格竞争力削弱。碳达峰、碳中和目标对中国制造业竞争力的影响是国内关注的一个焦点。目前，中国是世界工厂和第一制造业大国，约进口了全球一半的金属矿石资源。据联合国的一项统计，2018 年中国制造业增加值达 4 万亿美元，分别远超美国的 2.3 万亿美元、日本的 1 万亿美元、德国的 8000 亿美元，约相当于这三个老牌工业强国的总和。客观地看，中国制造业之所以取得如今的世界工厂的地位，固然与高素质且低成本的劳动力、完整的工业产业链条和产业集聚的优势相关，但一个不可忽视的因素是未将生态环境成本计算在内。在当前能源技术没有取得明显突破，碳减排以产业结构调整、节能增效和非化石能源发展为主要手段的情形下，加大碳减排力度，显然会增加企业的成本，削弱制造业的竞争力。对煤炭、金属冶炼、钢铁和水泥等高排放行业的产能限制，会导致能源、金属原材料和建材的供应紧张与价格上涨。而且，现阶段的风电与光伏实际上并未实现真正意义上的“平价”，没有考虑电力波动性所造成的电网平衡与消纳成本。据估算，假设 2030 年我国风电、光伏发电渗透率达到 20-30%，可能导致全社会度电成本增加 0.031-0.059 元，并致使 CPI、PPI 分别

上升 0.21-0.42%、0.48-0.94%（刘满平，2021）。另外，欧盟拟于 2023 年实施的碳边境调节税将对中国输欧商品产生负面影响，其中，机械设备业、金属制品业、非金属矿物制品业等行业受冲击较大。碳达峰、碳中和目标虽会增加中国制造业的环保成本，在一定程度上削弱中国制造的价格竞争力，但也会引导国内制造业企业加快转型升级的步伐，从长远看有利于提升中国制造的竞争力。

第三，可再生能源行业扩张将创造就业机会，巩固光伏和风电设备制造的国际竞争力，有利于抢占国际绿色科技竞争制高点。当前，科技革命对全球经济和能源系统产生了深刻影响。人工智能、大数据和量子信息等信息技术的发展，不仅改变了人们生活、工作和联系的方式，创造了新的产业、经济机会和商业模式，而且推动了储能电池、太阳能光伏电池、电动汽车等清洁能源技术出现前所未见的突破，并使可再生能源有望成为引领本世纪科技进步和经济繁荣的前沿新兴产业。随着低碳经济转型的加速，将会越来越多的就业岗位由传统的化石能源、高耗能高排放的部门向新兴产业部门转移。而且，当可再生能源的技术成本不断降低和性能优越不断提升时，光伏发电和风电等新兴技术发展在创造就业上的正面效应便越发凸显，从而，越快拥抱新能源技术革命的国家，越可能在 21 世纪经济科技发展中抢占优先地位。中国在发展可再生能源和新兴绿色经济领域处于较为领先的地位，如太阳能光伏电池、储能电池、电动汽车、5G、人工智能等。但与国际先进水平相比，中国绿色低碳重大战略技术储备不足，整体仍处于“跟跑”状态。在过去的十余年中，中国可再生能源部门创造了大量的就业机会。2010-2019 年期间，中国对可再生能源部门的投资达 8180 亿美元，成为太阳能光伏发电和光热发电的最大市场。2010-2019 年，中国在可再生能源行业创造了 440 万工作岗位，约占全球的 38%，其中，光伏发电部门提供就业机会 220 万，占 59%；海上和陆上风电创造 50 万个就业岗位，占 44%；水电部门提供就业机会 60 万，占 29%；太阳能加热和制冷部门创造就业岗位 70 万，占 81%（Energy Foundation,2020）。根据 Goldman Sachs（2021）的预测，截至 2060 年，中国在清洁技术基础设施领域的投资将达 16 万亿美元，创造 4000 万个就业机会。而且，中国是可再生能源制造业大国，拥有全球 70% 的光伏产能和 40% 的风电产能，全球碳达峰、碳中和目标将为中国的光伏发电和风电设备提供巨大的市场机会。从而，中国可通过鼓励可再生能源行业的扩张，创造工业机会，推动国内绿色经济发展，并提升可再生技术的国际竞争力，抢占 21 世纪绿色科技领先国家地位。

第四，风电光伏大规模并网对电力系统安全运行构成威胁，煤电有序退出面临巨大困难。电力行业是实现碳达峰、碳中和目标的主战场，电力替代化石能源的进程将会加快，电气化时代会加速到来。这对中国电力系统而言，既是难得的发展机遇，又是巨大的挑战和紧迫的任务。电力行业是中国最主要的碳排放部门，且一煤独大的特点突出。2020 年，中国电力行业碳排放占全国碳排放总量的 37%；煤电发电量占比 60.8%，而风电和光伏的发电量占比仅 9.6%。在碳达峰、碳中和目标压力下，中国电力行业面临着两个紧迫的问题：一是如何在确保电力供应稳定、就业稳定和尽量减少前期投资浪费的前提下，逐步、有序地推进中国现役的 1000 多座燃煤电厂的退役。中国的燃煤电站远比发达国家年轻，现有大部分燃

煤电站是在 2005 年后安装的，还有数十年的设计寿命，过早退役燃煤电站不仅是以往投资的巨大浪费，而且会造成电力供应短缺问题。值得警惕的是，一些地方政府为拉动投资和刺激经济，逆势上马了一批煤电项目，这加大了煤电退出的难度，造成新的投资浪费。据统计，2020 年新核准煤电装机容量合计为 4610 万千瓦，约占“十三五”期间核准总量的 32%，是 2019 年获批总量的 3.3 倍（徐天，2021）。而且，碳中和与煤电行业产能过剩两因素叠加，导致煤电企业难以获取银行贷款，融资风险显著上升。二是如何处理风电光伏在未来大量并网和消纳后给电力系统安全带来的冲击。风电光伏的大规模并网会给电力系统带来间歇性挑战，如某一段时间发电量过大或过小，威胁着电力系统安全性，对电力系统的市场机制设计、规划设计、生产管理、运行控制带来挑战。同时，由于中国电力生产和消费存在着地域空间上的分离问题，以至于电力供应出现全年整体过剩和尖峰时刻短缺并存的现象。

第五，可再生能源发展有利于减少对外油气依赖度，但加大了关键金属的潜在供应风险。“富煤、贫油、少气”的能源禀赋，致使中国的油气供应高度依赖海外市场，石油、天然气消费的对外依赖度分别超过 70%、40%，导致中国油气供应的地缘政治风险和运输通道风险居高不下。与油气资源地理分布失衡不同，地球上的风、光资源分布较为均衡，从而，可再生能源发展有助于降低中国的油气供应风险。不过，可再生能源行业扩张将会推动铜、锂等金属需求出现结构性增长，且金属矿石资源供应垄断程度高于油气，从而，未来能源地缘政治焦点可能由油气转移至铜、锂等金属上，关键金属的潜在供应风险将会凸显。关键金属的供应风险主要有：一是生产地理集中度高。能源转型所需要的许多重要金属的生产集中度高。例如，刚果（金）的钴产量占 70%；澳大利亚的锂产量占 50% 以上；智利的铜产量占 30%。二是项目投产期长。金属矿从发现到生产一般需要 16 年的时间。供应弹性小，产量难以在需求和价格快速上升时做出反应。三是资源质量下降。近年来，一些矿产品品质持续下跌。在过去的 15 年中，智利铜的品质等级下降了 30%。提炼低品位的金属矿石需要更多的能源消耗、生产成本和温室气体排放。四是环境标准趋严。金属矿产资源的开采和加工产生环境和社会问题，如果应对不善，会危害当地社区和破坏供应。目前，要求矿企可持续和负责任生产的呼声高涨。五是气候风险上升。50% 的铜、锂生产位于水资源短缺的地区。澳大利亚和非洲的金属供应易受酷热、洪水的负面影响（IEA，2021）。关键金属需求的快速增长对供应的可获得性和稳定性构成严峻挑战。目前，一些关键金属的产能和投资计划远低于光伏电池板、风电机和电动车快速部署的需求。金属供应风险将导致清洁能源转型的速度放慢、成本更高，阻碍全球对抗气候变化的努力。不过，中国可充分利用在稀土资源及加工、金属提炼领域的优势，提升可再生能源关键金属供应的稳定水平。

四、结论与对策建议

目前，国际碳中和运动风起云涌，提出碳中和计划的国家约占全球碳排放的 61%。碳达峰和碳中和目标的提出，是中国政府在顺应国际碳中和运动大势、立足新发展阶段、贯彻“绿水青山就是金山银山”的理念、着眼中华民族伟大复兴和经济社会全面绿色转型的基础上，所做出的重大战略抉择。随着碳达峰、碳中和目标的逐步推进，预计全球和中国的能源系统

革命与发展将呈现五个特征：一是能源结构趋于多元化，非化石能源将逐渐占据主体地位；二是煤炭和石油消费将显著下降，天然气需求相对稳定；三是电力和氢能的地位明显提升；四是光伏太阳能将占据中心地位；五是可再生能源发展导致关键金属长期需求大幅上升。碳达峰、碳中和目标对于中国是挑战和机遇并存，挑战体现在经济和能源结构调整压力大、制造业成本上升、煤电退出困难、光伏风电大规模并网威胁电网平稳运行、可再生能源的关键金属供应存在隐患，机遇表现在光伏和风电设备国际竞争力较强、对外油气依赖度降低和低碳绿色转型加快。

推进碳达峰和碳中和是一场广泛而深刻的社会、经济和能源系统革命，需要立足新发展阶段，坚持“绿水青山就是金山银山”的理念，把碳达峰、碳中和目标纳入经济社会发展和生态文明建设整体布局，充分发挥党和国家统一领导、集中力量办大事的制度优势，统筹利用国内国际各种资源，以经济结构全面绿色转型为引领，以能源绿色低碳发展是关键，深入实施可持续发展战略，促进经济社会发展全面绿色转型。具体建议如下：一是加强碳达峰、碳中和目标实现路径的顶层设计和系统谋划。设计碳达峰、碳中和两步走方案，制定2030年前碳达峰行动方案，拟定能源、钢铁、石化、建筑和交通等行业的碳达峰实施方案，完善财税、金融、土地和价格等保障措施，鼓励具备条件的地区和行业提前碳达峰。碳达峰、碳中和的实施过程应坚持循序渐进原则，注重维持经济发展与节能减排之间的平衡，应严控新增“双高”项目建设，稳妥推进存量“双高”项目的调整和退出，切忌犯急躁冒进错误和实行盲目“一刀切”政策。二是大力推进产业结构调整升级。推进供给侧结构性改革，大力淘汰落后产能，化解过剩产能，坚决遏制高排放高污染项目的无序盲目发展，鼓励发展战略性新兴产业，加快工业绿色低碳改造和数字化转型，提升农业和服务业的低碳发展水平。三是构建清洁、低碳和高效的能源体系。遏制地方投资冲动，严控新煤电项目，稳妥推进小型煤电项目的整合和有序退出。加快发展风电、太阳能发电，大力提升储能和调峰能力，构建以新能源为主体的新型电力系统。四是加大绿色低碳技术创新研发投入。建设一批国家科技创新平台，布局一批前瞻性、战略性低排放技术研发和创新项目，加大能效提升、智能电网、高效安全储能、氢能、碳捕集利用与封存等关键核心技术研发的投入力度，加快低碳零碳技术发展和规模化应用（刘春德，2021）。五是提升可再生能源关键金属供应安全。加强国内矿产资源的勘探开发投入，鼓励废金属回收利用，提高关键金属资源的国内保障能力。通过拓展进口渠道和增加海外直接投资的方式，维护海外金属资源的供应稳定。充分利用在稀土资源及加工、金属加工领域的优势，提升中国在国际金属资源市场的议价权。六是加强国际交流合作与政策协调。积极参与应对气候变化国际合作，反对将碳排放作为地缘政治的筹码和贸易壁垒的借口，维护中国的发展权益。参与国际规则与标准制定，推动建立公平合理、合作共赢的全球气候治理体系。完善绿色贸易、投资和融资体系，共同打造绿色“一带一路”。

参考文献

- 丁仲礼：《中国“碳中和”框架路线图研究》，2021年5月30日，<https://wenhui.whb.cn/third/baidu/202105/30/407093.html>。
- 黄震：《聚焦碳达峰碳中和，推动能源绿色转型》，专访，2021年5月11日，https://m.thepaper.cn/baijiahao_12623647。
- 刘春德：《碳达峰碳中和：经济社会的系统性变革》，《学习日报》，2021年6月15日。
- 刘满平：《推进碳达峰、碳中和需应对六大经济风险与挑战》，2021年6月13日，https://www.sohu.com/a/471939866_121134460。
- 徐天：《中国现役的1000多座燃煤电厂会不会被判“死缓”？》，《中国新闻周刊》，2021年5月31日，<https://new.qq.com/omn/20210531/20210531A01FVA00.html>。
- BP, Energy Outlook: 2020 Edition, 2020.
- Energy Foundation, “China’s New Growth Pathway: From the 14th Five-Year Plan to Carbon Neutrality”, Synthesis Report 2020 on China’s Carbon Neutrality, December 2020.
- Goldman Sachs, “Carbonomics China Net Zero: The Clean Tech Revolution”, Equity Research, January 20, 2021.
- International Energy Agency(IEA), World Energy Outlook 2020 ,October 2020.
- International Energy Agency(IEA), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, May 2021.

声明：本报告非成熟稿件，仅供内部讨论。报告版权为中国社会科学院世界经济与政治研究所国际大宗商品研究室所有。未经许可，不得以任何形式翻版、复制、上网和刊登。本报告仅代表研究人员的个人看法，不代表作者所在单位的观点。