

开拓创新 努力实现我国 碳达峰与碳中和目标

周宏春 霍黎明 李长征 周春

摘要 碳中和成为一段时间以来的“热点话题”。作者简要回顾了全球气候研究的历史演进，发现全球气候升温并没有得到科学上的严格证明，但这并不影响《巴黎协定》政治共识的形成。中国要在人均收入刚达1万美元，工业化、城市化的历史任务尚未完成的情况下实现碳达峰，并在30多年时间内实现碳中和目标，任重道远，必须从国情和能源资源禀赋出发，开拓创新、积极进取，以能源绿色低碳转型为重点，推动以煤为主的能源结构转型升级，利用电力和工业生产排放的二氧化碳发展富碳农业、生产相关产品，并形成碳循环经济的发展模式，改变能源转化方式生产三嗪醇等固碳产品。最后，作者提出实现碳中和远景目标，从而走一条符合国情的低碳发展之路的建议。

关键词 碳中和 历史演进 创新 碳循环经济 对策建议

[中图分类号] F061.2 [文献标识码] A [文章编号] 2095-851X (2021) 01-0035-17

习近平主席2020年9月22日在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布了二氧化碳排放力争在2030年前达峰、努力争取2060年前实现碳中和目标；12月12日在联合国气候雄心峰会上承诺中国说话算数。2020年12月，中央经济工作会议对制定碳排放达峰行动方案做出部署，碳中和成为我国的热点话题和重要政策导向。

一、全球气候变化尚缺乏严格的科学证明

气候变化是一门新兴学科。科学家从19世纪开始对气候变化进行基础性研究，

【作者简介】周宏春（1956-），国务院发展研究中心研究员，邮政编码：100097；霍黎明（1977-），中组部机关事务管理局，邮政编码：100815，本文通讯作者；李长征（1977-），北京国发绿色节能环保技术研究院常务副院长，邮政编码：100045；周春（1981-），北京国发绿色节能环保技术研究院有限公司副院长，邮政编码：100045。

致谢：感谢审稿专家匿名评审，当然文责自负。

20世纪时气候变化理论研究经受了大量观测数据的检验,对工业革命以来气候变化的事实、原因和趋势的认识趋于一致,主流观点认为气候变暖由人类活动引起,但并没有得到科学上的严格证明。

温室效应是全球气候变暖的重要物理学基础(巢清尘,2020)。尽管地球大气层中的二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)和臭氧(O_3)等温室气体含量并不高,但能吸收或释放辐射,影响气候系统变化。地球演化史研究表明,如果没有温室效应,地表气温可能只有零下 18°C ,人类根本无法诞生,更谈不上生存生活;正是有了植被的光合作用,地球表面气温才逐步升高并稳定在平均 15°C 左右,也才能适宜人类的生存。另外,大气层中的温室气体浓度升得太高,也会给地球生态系统带来不稳定性和不确定性,甚至重塑地球生态系统。

温室效应在19世纪30年代就受到科学家的关注。1824年法国学者傅里叶提出温室效应:地球因为空气与温室的玻璃一样会使地表温度升高。1896年阿伦尼乌斯发表《空气中碳酸对地面温度的影响》,认为如果大气中二氧化碳以几何级数增长,地球表面温度将以算术级数升高(巢清尘,2020)。1938年卡伦德尔研究提出,如果地球表面二氧化碳浓度加倍将使地球温度升高 2°C 。简言之,地球增温效应受到科学家的广为关注。

长期气温观测数据,验证了地球升温的理论研究。20世纪后期,科学家先后开展的气温观测,对人类认识地表气候、开展气候变化影响评估以及应对气候变化等十分重要。1958年美国斯克里普斯海洋研究所在夏威夷冒纳罗亚山3400米高处建立二氧化碳观测站,发现大气中二氧化碳浓度比工业革命前升高约35ppm,而且有季节性变化,主要由植被生长的季节性变化而引起(徐世晓等,2001)。而今,对气候系统要素观测主要由全球气候观测系统(GCOS)完成。

“气候变暖”议题,在1979年2月的日内瓦第一次世界气候大会(FWCC)上提出并被确立。具有标志性意义的是,1988年,世界气象组织(WMO)和联合国环境规划署(UNEP)共同成立政府间气候变化专门委员会(IPCC),从科学证据、适应与减缓、政策措施等方面对气候变化进行科学评估,1990年、1995年、2001年、2007年、2014年发布了五次评估报告(IPCC,2014)。

IPCC第五次评估报告指出,气候暖化是毋庸置疑的;1983年至2012年的30年比此前的几十年都要热。1950年以来海平面上升速度快于过去的2000年;1901年至2010年,海平面平均上升了19厘米。从20世纪50年代起,强降雨、热浪、洪水、干旱等极端天气事件不断给人类带来灾难(IPCC,2014)。世界气象组织在《2020年全球气候状况》中指出:2019年和2020年,主要温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的浓度继续增加。过去的六年(包括2020年)可能是有记录以来最热的六年。在整个海拔高度记录中,海平面一直在增加,但最近海平面上升的速度更高,部分原因是格陵兰岛和南极洲冰盖融化面积的增加。2020年,非洲和亚洲大部分地区发生了大雨和

大面积洪灾。^①

11000 余名科学家参与的 IPCC 报告宣称，如果再不做出深刻、迅速且持久转变，人类将会遭受无尽的苦难，堕入万劫不复的深渊。联合国秘书长古特雷斯警告说，气候变化速度远超世界各国的应对速度，只有迅速行动起来，才能阻止气候变化的“灾难化”发展。澳大利亚智库国家气候恢复中心的一份报告称，若我们再无所作为，人类文明可能将在 2050 年前后停滞不前，甚至崩溃（周宏春，2012）。

另外，仍有人对全球气候升温持“怀疑”态度。例如，最初的模型预测有一种温升的情景是负值，经过几个国际模型组专家的“调参”（即“修改数字”）变成全部温升；东安格利亚大学关于气候变化数据造假的邮件曝光引起社会轰动；哥本哈根会议后的入冬天气特别冷，被解释为受到“北极涛动”的影响；2020 年入冬后的气候冷于往常，被解释为全球升温的结果。从时间看，2009 年到 2020 年正好是 11 年的太阳活动周期。从太阳对地区的影响看，阳光强度、到地球入射角、大气层吸收和反射、增温，要经过五次转换才能形成相互关系，而每次转换都存在明显相关，经过五次转换后的相关系数也大打折扣。对“气候变化主要由人为活动造成”之所以持怀疑态度，还因为隐藏着“人定胜天”的哲学内涵（周宏春，2012）^②；人只是地球上的一个物种，能“胜天”吗？地球在太阳系、银河系乃至整个宇宙，只是一颗小小的星球，地表气温会不会受到外部的影响？总之，气候变化不仅没有得到科学上的严格证明；对局部地区的影响也不一样。凡此种种，引起人们对全球气温升高的怀疑，全球气候升温因此也改成全球气候变化。

关于气候变化仍有较长时间尺度的研究。例如，气候变化研究深度参与者的观点与传统气象学、地质学不同属一个“圈子”。1973 年 6 月 19 日，我国著名气象学家竺可桢先生在《人民日报》上发表《中国近五千年来气候变迁的初步研究》一文，论述了从仰韶文化到安阳殷墟的 2000 年间，每次气候波动约 400 年—800 年；历史上几次低温分别出现于公元前 1000 年、公元 400 年、1200 年和 1700 年；在每个 400 年—800 年周期中，存在 50 年—100 年的小周期，温度变幅 0.5℃—1℃。“气候的历史波动是世界性的；每一个最冷时期，似乎都是先从东亚太平洋沿岸出现，而后波及欧洲与非洲的大西洋沿岸”（竺可桢，1973）。而地质学的研究已将一万年以来的地质时代定名为“人类世”，以反映人类活动成为地表变化的重要作用力；尽管如此，地质学对气候变化的研究尺度是百万年的，主流气候变化学者认为那样的尺度对人类生存和发展的意义不大。

简言之，从百年尺度上（实测只有 62 年）看，气候升温是客观存在的，尽管其

^① 《世界气象组织：2020 或成为史上第二热年份》，参考消息网，2020-12-04，<http://www.cankaoxiaoxi.com/> [2021-02-20]。

^② 《联合国秘书长呼吁全球进一步遏制气候变化》，环球网，2018-09-12，<https://world.huanqiu.com/article/9CaKrnKcxgk> [2021-02-20]。

间有严寒出现。从气候波动历史看，每个周期约为400年—800年。从中华文明史看，气候升温期恰恰是发展的繁荣期。从正反两方面了解，有助于我们制定实施中国碳中和路线图。

二、全球气候治理的中国参与、中国智慧与中国贡献

虽然全球气候变化并没有形成科学上的共识，但并不影响《巴黎协定》这一政治共识的达成。气候变化看似气候问题，本质是能源战略、地缘政治或国际关系问题。中国在参与气候变化谈判、气候治理理念乃至国内行动的国际认可等方面产生越来越大的影响。参与全球气候治理进程是中国外交关系的一部分，从新中国成立到中美关系“破冰”前基本处于被“封锁”状态；1972年参加斯德哥尔摩人类环境会议是中国参与环境外交的肇端。

（一）中国在全球治理进程中从谨慎参与到积极引领

在全球气候治理进程中，中国采取了理性应对、原则性与灵活性并重原则。1992年《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）达成时，中国将应对气候变化看成一个科学问题，国内协调工作归口中国气象局；1997年《京都议定书》达成时，中国把气候变化看成是发展问题，国内协调事务归口原国家计划委员会，强调发展中国家的碳排放权益（潘家华，2020）。十九届三中全会党和政府机构改革后，气候变化应对的管理职能由国家发展改革委调整到生态环境部，以促进区域性和全球性环境保护的协同。中国参与全球气候治理进程大致分三阶段。

1992年至2009年，为谨慎参与阶段（周绍雪，2019）。1992年里约联合国环境与发展大会上，中国批准了开放签署的《联合国气候变化框架公约》。由于对国际规则、制度及其运作模式需要熟悉过程，特别是发展阶段等原因，中国在融入全球气候治理上采取谨慎态度。而在国内，不仅引进先进环保理念，更采取了一系列积极行动，制定和实施应对气候变化的政策措施，鼓励节能和可再生能源开发利用、加大植树造林等生态工程建设力度。总之，谨慎是这一阶段中国参与环境议题和全球气候治理的主要特征。

2010年至2013年，为积极参与阶段（周绍雪，2019）。2009年哥本哈根气候大会后，中国在国际气候谈判及国内工作推行中采取了更加开放、合作的做法。中国政府已经认识到，必须尽早行动才能适应全球气候治理的形势变化需要，也才能收到生态环境保护与气候变化应对的协同效应。2011年，《中国应对气候变化的政策与行动（2011）》白皮书发布；其后印发了《“十二五”控制温室气体排放工作方案》，提出“探索建立碳排放交易市场”，展示出一个负责任的大国形象，为在全球气候治理中起到更大作用奠定了坚实基础。

2014年以来，为主动引领阶段（周绍雪，2019）。经过20多年的经验积累，中国对全球气候治理的规则制定、运行机制及后续影响都有了深入理解。自2014年起，

习近平主席为《巴黎协定》的达成、签署、生效以及实施作出了历史性贡献。例如，习近平主席参与的重大气候外交活动主要有，2014年11月与美国时任总统奥巴马发表中美气候变化联合声明，2015年9月与奥巴马总统又一次发表关于气候变化的联合声明；2015年11月与时任法国总统奥朗德发表中法元首气候变化联合声明；2016年3月《巴黎协定》达成后与奥巴马总统再次发表中美首脑联合声明，呼吁各方尽快完成签署和批准程序；2016年9月3日二十国集团领导人杭州峰会前夕，与奥巴马总统共同向潘基文秘书长交存中美两国各自参加协定的法律文书；2017年，在参加达沃斯论坛和访问联合国日内瓦总部时发表重要讲话指出，“《巴黎协定》的达成是全球气候治理史上的里程碑，我们不能让这一成果付诸东流”；2018年，在二十国集团领导人布宜诺斯艾利斯峰会上号召各方积极构建“人类命运共同体”。“联合国秘书长古特雷斯高度赞赏习近平主席和中国政府为推动《巴黎协定》实施细则谈判取得成功所发挥的重要领导作用”（解振华，2020）。美国时任总统特朗普宣布美国退出《巴黎协定》后，国际社会对中国的期待达到前所未有的高度。

总之，中国从谨慎参与到气候治理规范形成的推动力量，由全球气候治理的被动应对到主动参与，再到积极引领，以力促《巴黎协定》的达成、推行气候变化南南合作、启动全国碳市场、大力发展新能源与可再生能源、建设重大生态工程等方面，在全球气候治理进程中发挥了大国的应有引领作用，也成为全球生态文明建设的重要贡献者和引领者。

（二）“人类命运共同体”理念为全球气候治理提供了中国智慧

习近平主席在多个重要国际会议、系列主场外交、多边峰会等重要国内外场合，100多次谈及“人类命运共同体”，推动双边、地区、全球等层次的“命运共同体”构建。

“人类命运共同体”理念，于2012年11月党的十八大报告提出，首次载入中国共产党的重要文件，已成为新时期中国与世界各国交往的指导思想。习近平总书记在党的十九大报告中指出，当今世界处于大发展、大变革与大调整的时期，但和平与发展仍是时代的主题。全球的治理体系与国际秩序的变革在加速推进，世界各国相互联系与依存也日益加深；国际力量更趋平衡，而且和平与发展大势仍不可逆转。与此同时，世界面临的不稳定性与不确定性非常突出，全球增长动力不足，贫富分化严重，恐怖主义问题、网络安全问题、传染性疾病问题等威胁蔓延，人类面临许多共同挑战。这是倡导人类命运共同体的现实依据，全球的问题需要人类共同面对、共同应对，没有哪个国家能够单独应对面临的各种挑战（习近平，2017）。

2013年3月，习近平主席在莫斯科国际关系学院发表重要讲话，首次向国际社会提出命运共同体理念；2015年9月，在联合国就《携手构建合作共赢伙伴 同心打造人类命运共同体》发表演讲，向国际社会全面阐述人类命运共同体的深刻内涵，呼吁国际社会为构建人类命运共同体而不懈努力。2015年11月30日，习近平主席出席巴黎气候变化大会开幕式并发表关于“构建人类命运共同体”主旨讲话，以创

造“各尽所能、合作共赢，奉行法治、公平正义，包容互鉴、共同发展”的未来。在党的十九大报告中，“坚持推动构建人类命运共同体”成为新时代坚持和发展中国特色社会主义的一条基本方略，成为一份思考人类未来的“中国方略”（习近平，2017）。习近平总书记在党的十九大报告中指出，“构建人类命运共同体，建设持久和平、普遍安全、共同繁荣、开放包容、清洁美丽的世界”，擘画了“人类命运共同体”的蓝图愿景；接着用五个“要”，即“要相互尊重、平等协商，坚决摒弃冷战思维和强权政治”“要坚持以对话解决争端、以协商化解分歧”“要同舟共济，促进贸易和投资自由化便利化”“要尊重世界文明多样性”“要保护好人类赖以生存的地球家园”“要坚持环境友好，合作应对气候变化”，系统阐述了人类命运共同体的构建途径（习近平，2017）。

在习近平主席“人类命运共同体”理念的指引下，中国始终坚持对外开放基本国策，奉行互利共赢的开放战略，不断提升发展的内外联动性，在实现自身发展的同时更多惠及其他国家和人民（常红等，2018）。习近平主席还向全世界作出庄重承诺，中国人民张开双臂欢迎各国人民搭乘中国发展的“快车”“便车”。这也是中国不断推动经济全球化进程向前发展的内在动力。“人类命运共同体”的理念，不仅散发出真理的光芒，也启示全世界，推动全世界，贡献并繁荣全世界，为全球气候治理提供“中国选项”。

（三）中国应对气候变化的行动赢得越来越多的国际认可

无论是 IPCC 报告还是联合国秘书长讲话，都强调了一个共同点：如果人类再不采取行动后果将十分严重。中国不仅早已采取应对气候变化的国家行动，还取得了举世瞩目的成就。

一是出台国家规划，推动气候变化应对工作。在减缓方面，《国家应对气候变化规划（2014—2020年）》、“十二五”规划纲要、“十三五”规划纲要等文件，均提出了节能减排等减缓措施，国家层面及各地区相关部门从“十二五”时期开始制定《控制温室气体排放工作方案》等文件。在适应方面，中国发布《国家适应气候变化战略》和《城市适应气候变化行动方案》。从维护气候安全、促进可持续发展的角度统筹考虑应对气候变化工作，更加突出适应气候变化的工作（解振华，2020）。

二是优化能源结构，引领全球节能和可再生能源的开发利用。我国的能源结构已经有了很大变化。从统计数据看，“煤炭消费占比已由2005年的67%降低到2019年的57.7%，下降了9.3个百分点。到2019年，我国非化石能源占一次能源消费比重达15.3%，其中可再生能源占一次能源消费比重达13.1%。在发电结构中，煤电占比60.8%，较2005年下降17.2个百分点；可再生能源电力由16.1%上升到27.9%，提高11.8个百分点。其中，非水可再生能源的贡献率达85%”（周宏春，2021）。国际能源署发布的《2017年度可再生能源报告》称，“中国是无可争议的世界可再生电力增长的引领者”，中国对全球可再生电力产能增长的贡献超过40%，背后的驱动力主要来自对空气污染的关注以及在“十三五”规划中勾勒的产能目标（王轶辰，2017）。

三是开展低碳城市试点，启动全国碳排放交易体系。我国开展了低碳城市和碳市场建设试点。先后分三批开展低碳省市试点，推动了气候变化的应对路径、技术创新以及统计制度的建立与实施；一些试点城市制定了温室气体排放达峰时间表和路线图，探索运用信息技术加强排放统计与管控。2017年12月，《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》发布实施，全国碳排放权交易市场正式启动，发电行业率先开展碳排放权的核算和交易。依据相关规划，我国将分阶段稳步推进全国碳市场建设和运行。同时在28个城市进行适应气候变化的试点，以落实《国家适应气候变化战略》；还积极探索气候投融资试点，促进低碳技术研发推广，推动近零碳排放示范区工程建设等工作。

四是积极探索基于自然的解决方案。作为“基于自然的解决方案”（Nature Based Solution, NBS）的牵头方之一，与大自然保护协会成功举办“基于自然的解决方案”的中国实践与展望研讨会，以分享中国NBS故事的方式，介绍中国的探索和实践案例，从而更好地促进NBS的范式推广。通过践行人与自然和谐共生的生态文明理念，构筑尊崇自然、绿色发展的经济社会体系以应对气候变化。2019年NBS被列为联合国应对气候变化的九大领域之一，中国作为牵头方，为完善全球气候治理体系贡献了诸多的实践案例（周绍雪，2019）。

五是支持“一带一路”国家和地区提高气候变化的应当能力。积极开展南南合作，支持发展中国家应对气候变化。“累计与30个发展中国家签署34份应对气候变化南南合作谅解备忘录，赠送节能和太阳能灯120万余盏、路灯1万余套、节能空调2万余台、太阳能光伏发电系统1.3万余套、清洁炉灶1万余台，通过赠送卫星监测设备，帮助发展中国家提高极端气候事件的预警预测能力。为发展中国家培训了2000余名应对气候变化领域的官员和技术人员，范围覆盖五大洲的120多个国家”（解振华，2020）。

六是“人类命运共同体”理念逐步为国际社会所接受。2017年2月10日，联合国社会发展委员会第55届会议一致通过“非洲发展新伙伴关系的社会层面”决议，构建“人类命运共同体”理念被写入联合国决议。3月17日，联合国安理会通过关于阿富汗问题的第2344号决议，“人类命运共同体”理念首次载入安理会决议。3月23日，联合国人权理事会第34次会议通过关于“经济、社会、文化权利”和“粮食安全”两个决议，“人类命运共同体”理念载入联合国人权理事会决议。11月2日，中国关于构建“人类命运共同体”理念写入联合国大会“防止外空军备竞赛进一步切实措施”和“不首先在外空放置武器”两份安全决议（周宏春，2021）。上合组织秘书长阿利莫夫认为，“人类命运共同体”理念是超越民族国家意识形态的“全球观”，是全球治理共商、共建、共享原则的核心。法国前总理拉法兰将构建“人类命运共同体”称为“全球在21世纪的重要使命”。

七是负责任的大国形象逐步树立。中国率先提出应对气候变化的自主贡献方案，打造多边部长级磋商平台，建立与发展中国家立场相近国家的协调机制，积极参与公

约外谈判磋商，与加拿大、欧盟共同发起气候行动部长级会议机制，发挥多渠道协同效应，以一系列气候外交、绿色倡议及行动，获得了越来越多的国际认同，以诚意、智慧和能力赢得了越来越多的国际话语权，逐步树立起我国负责任的大国形象。

三、制定我国碳中和路线图需要处理好的若干关系

西方国家的发展历程表明，在人均GDP达到1万—2万美元时才可能出现二氧化碳排放达峰。与欧美国家碳强度和总量“双下降”背景下的碳中和不同，我国要在工业化和城市化的历史任务尚未完成条件下实现碳达峰和碳中和目标。中国人均GDP刚突破1万美元；到2030年前实现碳达峰目标的时间不足10年，还要在30多年内走完发达国家两三百多年工业化过程中逐步实现的碳达峰和碳中和，挑战可想而知。2020年12月16—18日中央经济工作会议提出，支持有条件的地方率先达峰。以资源禀赋和发展水平分别规划国家和各地碳达峰和碳中和路线图，十分必要也非常紧迫。只有正视挑战、迎接挑战，在危机中育新机、于变局中开新局，变压力为动力，才能走出一条符合国情的低碳发展之路。

（一）处理好限制高能耗产业发展与工业化进程的关系

总体上，西方国家已完成工业化和城市化的历史任务，而我国却不然。我国的城市化率刚达到60%，而发达国家一般在70%以上。近年来，雨季南方一些城市受淹；即使像北京这样的一线城市，还存在大量的由“砖混结构”房屋构成的“城中村”，也有不少“旧城改造”任务，更不用说三、四线城市了。完成我国工业化和城市化的历史任务、完善基础设施需要资源能源消耗和污染物、温室气体排放，这是合理的，也是可以理解的。由此所决定，我国的资源能源消耗和温室气体排放仍将在一段时间保持高位。这就需要统筹协调限制高能耗产业发展与工业化乃至现代化进程的关系，既不能因为限制高能耗产业发展而影响我国的现代化进程，而要以能效和排放标准倒逼产业结构、能源结构转型升级；也不能以资源环境为代价取得一时一地的发展，而要实现质量更高、效率更高、更加公平、更可持续、更加安全的发展。我国国土辽阔，各地资源禀赋和发展阶段不同，一些贫困地区刚刚脱贫，需要持续发展以夯实基础；气候变化是中长期问题，需要处理好长期规划与短期安排的关系，避免“竞相率先达峰”竞赛。因为常识告诉我们，“欲速则不达”，心急吃不得热豆腐^①。

（二）指标分配要考虑能源生产和消费地的差异

在以往的国际谈判中，按国别分配碳减排额度的办法没有得到发展中国家的认可：因为发达国家优先利用了全球气候资源，却要求发展中国家与它们一样承担减排责任。如果我国当时同意那样的协定，每年要拿出万亿元人民币购买排放指标，这是

^① 周宏春（2021）：《碳达峰行动方案的指标选择需要注意的若干问题》，人保融媒文化·“宏春观察”，2021-01-24，<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1689760634157675477&wfr=spider&for=pc> [2021-02-20]。

不合理的，也不能为发展中国家所能接受的。同样，这一情形也适用于国内。随着生态功能区的划分和美丽中国建设的推进，一些重要生态功能区取消 GDP 评价和考核。其中的道理具有普遍意义：对不同生态功能区用一套指标进行评价并考核，会“一刀切”地扼杀“比较优势”，不利于将资源优势转变为经济优势，也不利于将生态优势转变为发展优势。如果按能源生产地区进行统计和评价，消费地区碳排放强度会较低。如果燃煤电厂所在地区从降低碳强度要求出发关掉电厂，能源消费地区就没有了用电，甚至出现重大安全事故。这样做虽然符合地方“利益取向”，却不利于全国“一盘棋”。换言之，将碳减排指标算在能源生产地区存在不合理性，而要按能源消费地区进行调整。

（三）重视可再生能源开发利用与煤炭去产能之间的平衡

实现煤炭总量控制或减量，会导致能源对外依存度攀升，甚至影响能源供应安全。受能源消费总量控制和节能指标考核的影响，南方一些地区，如浙江、江苏、江西、湖南等出现了拉闸限电情形。因此，应清醒地认识到，当今中国如果没有煤，能源供应难免会存在安全隐患。路透社伦敦 2021 年 1 月 14 日发表《大寒潮暴露了亚洲潜在的能源危机》文章，^① 文中提到东北亚地区气温长时间远低于正常水平，导致煤炭、天然气和电力供应紧张程度达到极限，不仅引发了能源危机，还暴露出人们迅速转向利用天然气供暖和发电，导致能源系统弹性不足的潜在问题。从某种意义上说，这也是煤炭被“妖魔化”的结果。煤是一种生产力的物的要素。不能在需要煤炭时将其看成是“乌金”；也不能因为某个“和平”的组织说它是“肮脏的能源”就“谈煤色变”。

（四）进行国际对比时，应该考虑我国的基本国情是人口众多

我国有 14 亿人口，与美国的 3.2 亿人、欧盟国家 5.1 亿人不在一个数量级上，美国加上欧盟国家的人口才是我国人口的 60%。因此，以人均比较得出的结论才是合理的。从人均能耗看，我国人均能耗只有 3.47 吨标准煤，与西方国家 6 吨标准煤以上相比并不高；但由于以煤为主要的能源结构，我国人均二氧化碳排放已与欧盟国家相仿，尽管与 OECD 国家相比仍有不小差距。14 亿中国人只有南方和北方“两个”电网，与德国 8000 万人、“一张网”不可同日而语；它们的电网调度和智能化水平大致与我国的一个局域网相当。因此，无论是达峰还是碳中和，均要不能将“快”作为目标，更不能是“数字游戏”，毕竟数据“失真”在一些领域时有出现。只有摸清家底，制定好时间表和路线图，循序渐进方能收到实效。如果脱离实际“拍脑袋”表态会适得其反，也与实现我国社会主义现代化强国两步走的目标不符。

（五）开发低碳评价指标体系、探索形成创新性的低碳发展路线图

无论是达峰还是碳中和，一级指标是碳，二级指标也应由此延伸出来，而不是去

^① 《外媒：大寒潮拉响亚洲能源危机警报》，参考消息网，2021-01-18，<http://www.cankaoxiaoxi.com/> [2021-03-10]。

煤、发展可再生能源或工业、农业、服务业等。一些气候变化研究学者认为，努力控制并降低煤炭消费比重，推动煤炭消费尽早达峰；大力发展可再生能源，是能源结构的优化方向，这些无疑是正确的。须知，煤炭清洁低碳与否只与利用方式有关，用好了可以满足生态环境保护、减排温室气体、能源供应安全等方面的需求。太阳能发电也要排放二氧化碳，有研究发现，多晶硅、单晶硅生产是高耗能的；光伏发电从原料生产到光伏废物回收处理全过程的能耗与发电差不多。随着技术进步和规模化生产，生产多晶硅、单晶硅的能耗会降低，但在全生命周期中排放二氧化碳是不可避免的。因此，要开发科学的评价指标体系，对不同能源品种生产和消费的二氧化碳排放进行全生命周期评价；对压减的煤炭提出替代方案，满足人民群众的能源消费需求，保障能源转型期的供应安全，以能源的可持续利用支撑经济社会可持续发展。

四、发展碳循环经济、助力碳中和远景目标的实现

实现碳中和目标，需要从我国的基本国情出发，创新性地构建能源系统，打好中国能源资源禀赋这张手里的“牌”，从组成、转化和智能化管理等方面加大力度。

（一）推动全链条全生命周期的能源革命

从生产端看，要构建安全、清洁、低碳、高效、可持续的能源体系。在转化过程中，要实现能的利用最大化；在消费端，优先节能提效、优化电力源网荷储用关系、煤油气要控量增效，加快提升非化石能源占比、推动能源技术革命、能源与信息、数据的深度融合。

从全球看，一次能源结构正以油气为代表的化石能源为主导转向以太阳能、风能为代表的清洁能源为主导，电能将成为主要消费品种。清洁能源要转化为电能，电能生产和消费主要来自于清洁能源；化石能源要逐步退出能源生产和消费领域，电和热的生产主要依靠可再生能源而不是化石能源，实现“清洁替代”，消费领域主要依靠电能替代化石能源，实现“电能替代”，通过清洁替代和电能替代实现能源领域的减碳目标。据 IPCC 评估报告，实现 2℃ 温控目标，到 2050 年全球清洁能源占一次能源比重要达 50% 左右（44%—65%）；实现 1.5℃ 温控目标，清洁能源占比要更高（巢清尘，2020）。

中国应当也必须走一条不同于西方国家的能源结构升级路线，跨越油气、提高电的终端消费比重。实现达峰和碳中和目标，受到冲击最大的是煤炭行业。长期以来，煤炭是我国的主要一次能源，在一次能源结构中占比高达 57.7%，煤电占比约 72%。煤炭行业要有“伤筋动骨”的举措，从勘察、开采、加工利用、废物处理的全生命周期入手，创新理念、技术和转化方式，推动煤炭由单一燃料向“燃料+原料”的转型，推进分级分质利用，实现煤炭行业向绿色化、大型化、规模化、集约化、低碳化和智能化发展。

电网互联，将集成电、热和其他品种（如氢能等），从而改变电力配置和消费格

局；换言之，未来高比例的能源清洁化和电气化要靠电网互联来实现。我国清洁能源资源丰富，但资源富集地区与使用负荷中心错位。水电资源集中在西南地区，占全国总量的 67%；风能资源集中在“三北”地区，经济可开发量占全国的 90% 以上；西北地区的太阳能资源占全国的 80% 以上。而约 70% 的电力消费在沿海和中部省份，负荷地与资源富集地相距 1000—4000 公里。只有通过电网互联才能大规模开发利用清洁能源，才能实现风光互补、区域互济、电力生产消费平衡，保障能源安全。

节能是成本最低的碳中和路径。从我国现实出发，不仅要加大工业、交通和建筑节能的力度，更要从大处着眼，细节着手，减少日常生活中的一切浪费行为，在生产、生活中把一切可以用起来的能源都用起来，实现经济效益、社会效益和环境效益的有机统一。

在能源终端消费上，工业领域，随着技术进步，低品位热能可以由电能直接提供，供热由余热利用、稳度对口、梯级利用或通过生物质制氢等方式实现，进而提高工业领域的电气化和低碳化水平。交通领域，新能源车将取代燃油汽车，轨道交通、航空、航海等电气化水平将大幅提高。建筑领域，发展“光伏发电 + 建筑物一体化”，改燃气灶为电炉灶，改供暖为电力采暖，提高电力消费比重，而电力将更多地来自新能源、可再生能源。需要强调的是，电力安全需要在能源转型期予以特别重视，以免出现能源安全事件，保障能源安全。

（二）利用工业排放的二氧化碳发展碳循环经济、降低碳排放强度

碳循环经济，是将工业和电力生产排放的二氧化碳循环利用起来生产产品的活动；或者说循环利用工业排放的二氧化碳生产产品的经济活动，也有人称为循环碳经济。

1. 改变传统的能源转化路线、研发固定 CO_2 的能源工业路线

受到边际效用影响，现有工业过程的节能减排的效益在下降，二氧化碳的捕集、封存或利用成本居高不下；急需开发一种能固定二氧化碳的能源利用路线。三嗪醇是稳定的固体产品，通过在现有化石能源工业利用装置基础上进行改造、革新，可以实现 CO_2 的长时间固定。山东大学朱维群课题组提出一条固定 CO_2 利用新途径：化石能源是一类含有能量的物质，以 CO_2 为主做产品，不仅可以减排 CO_2 ，还可以将化石能源中的能量和物质同时高效利用起来。这是从源头减少二氧化碳排放的技术路线，也是应对气候变化的经济可行的技术路径（朱维群等，2017）。

固定 CO_2 的技术路线为，在煤、油气等化石能源转化中，采用纯氧气化（ $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ），将产生的 CO_2 直接转化为 CO_2 固定量最高、反应热较大、过程能耗较少的稳定固体产物 1, 3, 5-均三嗪三醇（简称三嗪醇， $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$ ），释放的能量和剩余氢作为清洁能源利用，生成 1 吨三嗪醇消耗 1.0 吨 CO_2 ，这是一种氢耗量（能量消耗）较少的固定 CO_2 产品及过程（见图 1）。

由化石能源生成三嗪醇（ $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_3$ ）是反应自发进行、释放大量热的工艺过程；在纯氧气化过程中没有 NO_x 产生，在反应过程中 CO_2 转化为产品，原料中的硫转变

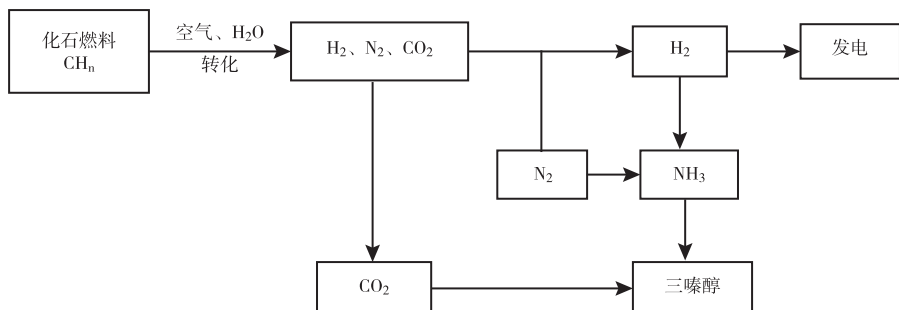


图1 固定CO₂的能源利用路线示意图

资料来源：朱维群等（2017）。

为硫磺。不同品种的化石能源（如煤、石油、天然气）在CO₂固定后释放的能量不同；可根据应用场景按需设计，采用燃气轮机、废热锅炉、燃料电池等能量转换技术，减少了CO₂气体熵增过程，也不需要CO₂排放后捕集、封存或利用，从而提高了经济性。

以化石能源或三嗪醇为原料合成得到一类低成本、低碳排放、低内能的三嗪类高分子材料，生产1吨三嗪类高分子材料产品大约消耗1吨标准煤。三嗪醇产品具有无毒无味，耐腐蚀、耐高温、耐低温、阻燃、质轻，有很强的耐用性，用途广泛、附加值高，可替代部分高能耗高排放材料，在建筑装饰、交通车辆、水上船舶、航空航天、机电设备、工业吸音保温等领域中获得广泛使用。

2. 发展富碳农业

国内已经形成利用工业排放的二氧化碳发展富碳农业的多种模式（陈应天等，2013）。发展设施农业是富碳农业的主要途径。地球上的植物通过光合作用吸收水、二氧化碳等元素生长壮大，是食物链上的初级生产者。生物质主要由碳、氧、氢等元素组成；其中，45%是碳、45%是氧、6%是氢，剩余4%是氮、磷、钾、钙、镁、硫等元素。我国粮食、棉花、油菜籽、肉类、蛋类、蔬菜水果等产量居于世界首位，富碳农业大有作为。2014年，山西省按先进的大棚温室二氧化碳单位面积每平方米35公斤施用量计算，180万亩温室大棚一年二氧化碳施用量达420亿公斤（4200万吨），相当于山西省当年的碳减排任务。湖南的一些地方，通过种植草本植物吸收二氧化碳，收割草本植物用以生产建材以部分替代木材、塑料以及木塑材料。^①类似做法国内还有不少。

富碳农业，遵循生态学原理和自然规律，以碳循环利用代替碳减排，将工业排放的二氧化碳用作资源，采取物化手段来强化农业的生物和化学循环，收到增产减碳双

^① 周宏春（2020）：《碳循环经济：温室气体排放达峰和碳中和的新路径》，人保融媒文化·“宏春观察”，2020-09-24，<https://mp.weixin.qq.com/s/6aNHjq1qfV-X7EqrWDmlSg> [2021-02-20]。

赢效果。一是富集化，富集工业排放的二氧化碳，以较高的二氧化碳浓度施用于大棚作物来提高设施农业生产率；二是肥料化，将二氧化碳转化为铵盐或钠盐施用于农作物以替代部分速效肥；三是矿化，将工业排放的二氧化碳转化为钙盐或镁盐，改善土壤中的化学循环以提高土地生产力。与国际社会关于二氧化碳的抵消（offset）性质类似，富碳农业的运用范围和对象更为广泛，二氧化碳等温室气体的吸收利用量更大。如将全国各地工业排放的二氧化碳捕集加工后施用于树木、粮食、茶叶、花卉、瓜果、蔬菜、中药材等生长，产出生物质，不仅可以为老少边穷地区增加财富，还能走出一条尊重自然、利用自然造福人类的可持续发展道路。

3. 碳捕获和利用

有关研究表明，到 21 世纪中叶实现净零碳排放，离不开 CCUS 的作用和贡献（郑晓奕，2010）。具体途径包括，一是在煤电或天然气发电厂，或水泥厂、钢铁厂直接捕获排放的烟气，从中分离出二氧化碳；二是在大气中直接捕获。欧盟从“赋能经济活动”减排角度看待 CCUS 技术，包括发电、生产氢、钢铁、水泥和化学品等。

工业排放的二氧化碳循环利用形成了多种模式。如中电投集团在重庆合川双槐电厂投运万吨级燃煤电厂二氧化碳捕集装置（郑晓奕，2010），让工业废气变成了价值不菲的商品，捕获提纯产生液体二氧化碳的单位成本约 200—300 元/吨（周宏春，2020）。工业二氧化碳制成干冰有很多用途，包括提供农副产品保鲜；生产工业级干冰，为粮仓提供全封闭冷库保鲜储存条件，为农副产品提供保鲜存储将提升农副产品附加值，全国每年因此可节省粮仓人工及运营成本千亿元。

将捕捉的二氧化碳转换成有价值产品，主要有水泥和骨料、燃料和化学品，还有耐用碳纤维；二氧化碳转换成燃料的产品（和中间产品），包括一氧化碳、合成气（氢气和一氧化碳混合物）、甲醇，还有最终形成长链碳氢化合物（吴昌华，2021）。近年来，人们对太阳能的捕获和转换产生了研究兴趣；使用光催化剂将太阳能直接转化为化学能受到了更多关注。通过等离子体技术，利用阳光（或废热）催化二氧化碳，催化纯水制氢，合成燃油、燃气和新材料原料，实现碳资源的大规模循环利用（Linic et al.，2011）。有研究还发现，所有现有车辆和大型运载工具及机器设备可以直接使用合成的高纯燃油和燃气，现成的化工材料体系完全直接对接二氧化碳转换而来的烷烃和烯烃等化工原料。

鄂尔多斯乌审旗的一家企业在荒漠化或沙化土地种植能源植物，以吸收二氧化碳并提高地表植被覆盖率，创新性地探索出二氧化碳利用途径。由植物生长期所决定，这些植物几年后需要砍伐，砍下来的干物质用于生物质发电，电厂烟囱排放出来的废气收集起来并净化通入水池下用于螺旋藻养殖，形成了荒漠化土地绿化—生物质发电—螺旋藻生产的发展模式，不仅减少了二氧化碳排放，还增加了人类需要的营养品供给（李爱平，2019）。

五、对中国实现碳中和远景目标的对策建议

(一) 统一认识、积极推动能源和经济社会低碳转型

所谓碳中和，是指一个组织在一年内二氧化碳（CO₂）排放与通过去除技术的应用达到平衡；换句话说，“碳中和”，可以通过植树造林等碳汇途径与人为排放的二氧化碳实现碳平衡。实现中国的二氧化碳排放达峰和碳中和目标，“需要一场自我革命”；绝不是一般意义的改变，而是一场全面的、深刻的、巨大的变革。届时的能源和社会经济转型力度是今天无法所想象的。首先，要提高决策者、企业和公众对碳中和目标的认知水平（陈迎，2020）。要认识到，应对气候变化“不是别人要我们做，而是我们自己要做”。其次，要在政策导向和市场驱动的相向作用下，激发企业的主动性和积极性，积极投入到新技术的研发之中。只有将所有意愿和力量都集成起来形成合力，转型才更有效。

(二) 加强顶层设计、形成碳中和远景规划目标实现的长效机制

《中共中央关于制定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的建议》明确指出，到2035年基本实现社会主义现代化，广泛形成绿色生产、生活方式，二氧化碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现。

实现2030年前二氧化碳排放达峰、2060年前碳中和的目标，不仅要目标指标分解形成自上而下的压力传导，还要通过激励机制设计把个人、家庭、行业组织和社会各界激发出来，集成自下而上和自上而下的力量，协同推动经济高质量发展与应对气候变化，协同推动生态环境治理与应对气候变化，健全治理体系，实现应对气候变化治理能力现代化。

发挥市场配置资源的决定性作用，以较低成本实现排放控制目标。碳市场可以突破时间和空间限制，使碳减排发生在边际成本最低的主体；既要充分利用碳交易等市场机制，做好碳中和、零碳等示范建设，又要发展公共财政资金的“种子”作用，促进低碳技术、零碳技术、负碳技术等创新发展与推广应用，还要加大绿色金融对能源转型、产业升级、技术升级的支持力度，开展多层次的国际合作。充分发挥达峰、碳中和的引领和倒逼作用，需要以共同目标为导向，集成政府部门、研究人员、社会各界的力量。社区的减排是个人参与碳中和进程的关键环节。可鼓励社区制定低碳零碳规划，以削减排放总量、控制人均碳排放量为目标，注重零碳生活方式，提升个人对零碳生活的接受度（王灿、张雅欣，2020）。

(三) 打好绿色低碳关键核心技术攻坚战

世界经济论坛和《科学美国人》杂志共同发布的最新报告《2020十大新兴技术》第二条即是，“一种新方法有望通过利用阳光将废CO₂转化为有用的化学物质来减少化石燃料的排放”（张佳欣，2020）。类似的颠覆性技术创新，为我国摆脱能源

结构升级的老路创造了有利条件。

加快突破绿色低碳关键核心技术。健全社会主义市场经济条件下的新型举国体制，围绕新科技革命和产业变革前沿领域，面向国家重大战略和需求，持续加强研发部署。可再生能源发展是碳中和的重点。风电、光伏、储能、电力电子等技术进步和规模化发展，成为能源行业碳中和的一个个突破口。要依靠技术进步加快太阳能的开发利用，并带动产业升级。只要尊重自然规律和市场规律，科学施策，顺序合理，可以实现承诺。聚集人才、资本、技术和数据等创新要素，更多的低碳零碳解决方案会源源不断展开，并同其他领域高新技术紧密结合，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（项目综合报告编写组，2020）。

发挥循环经济在温室气体减排方面的作用巨大。2019年底出台的《欧洲绿色新政》，欧委会提出了绿色新政的行动路线图和可用的融资工具，涵盖所有经济领域，尤其是交通、能源、农业、建筑以及钢铁、水泥、信息和通信技术、纺织和化工等行业。艾伦·麦克阿瑟基金会发布的《循环经济：应对气候变化的另一半蓝图》（2019年）报告也指出，材料选择和土地利用也至关重要；能效提升和可再生能源开发利用，只能解决55%的碳排放问题，剩下来的45%来自于人们的日常生活，包括汽车、服装、食品和其他产品生产过程（周宏春，2021）。

（四）创新气候治理模式、共同应对气候变化等全球性挑战

构建公平合理的国际气候制度，必须兼顾公平、效率、责任与能力等原则。从全球人均排放量来说，中国虽已超过全球平均水平，但仍低于OECD国家；发达国家远远高于世界平均，美国更是全球人均排放量的3.5倍。从减排责任角度看，发达国家应该优先减排，率先实现碳中和。从经济效率角度来看，发达国家减排成本高，发展中国家减排成本较低，未来需要设计全球市场机制，实现全球清洁能源与减排成本的优化配置。

构建海洋命运共同体。海洋是地球上最大的生态系统，人类居住的蓝色星球，不是被海洋分割成了一个个孤岛，而是被海洋连结成了命运共同体。2019年4月23日，习近平主席提出了构建海洋命运共同体理念，彰显了深邃的历史眼光、深刻的哲学思想、深广的天下情怀，对全球海洋治理具有重大而深远意义。全球气候变化的影响、海洋生物多样性衰退、海洋环境污染严重等全球性挑战来势汹汹，各国各界只有共同协作才是唯一出路。加强国际海运合作，完善航运服务网络；通过缔结友好或姐妹港协议、组建港口联盟等加强沿线港口合作；推动海底光缆项目规划建设，提高国际通信互联互通水平。加强共建“一带一路”的国家和地区合作。维护以联合国为核心的国际体系，以应对全球性挑战。

当今世界，各国相互依存、休戚与共。和平、发展、公平、正义、民主、自由，是全人类的共同价值。作为全球气候治理的重要参与者、贡献者和引领者，中国需要在全人类气候治理中处理好各种关系，不仅需要中国智慧，也需要拿出切实可行的中国方案，做出中国的贡献，与世界各国携手共同打造人类命运共同体。

参考文献

常红、徐祥丽、姚雪 (2018):《习近平提出“人类命运共同体”重大意义之二:中国方案推动全世界》, <http://world.people.com.cn/n1/2018/0125/c1002-29786480.html> [2021-03-10]。

巢清尘 (2020):《全球气候治理的学理依据与中国面临的挑战和机遇》,《阅江学刊》第6期,第33—43页。

陈迎 (2020):《碳中和目标下的深刻社会经济转型》,《阅江学刊》第6期,第52—55页。

陈应天、毛如柏、袁东来等 (2013):《推进我国富碳农业 应对全球气候变化》,《中国经济时报》, http://lib.cet.com.cn/paper/szb_con/172807.html [2021-03-18]

李爱平 (2019):《中国毛乌素沙地生态论坛在鄂尔多斯启幕“三碳经济”助牧民脱贫》, <http://www.chinanews.com/gn/2019/05-02/8826294.shtml> [2021-03-10]。

潘家华 (2020):《“十四五”应对气候变化的目标指向》,《阅江学刊》第1期,第20—32页。

王灿、张雅欣 (2020):《碳中和愿景的实现路径与政策体系》,《中国环境管理》第6期,第58—64页。

王轶辰 (2017):《IEA:中国是无可争议的可再生电力增长引领者》, http://intl.ce.cn/specials/zxgzh/201710/19/t20171019_26580009.shtml [2021-02-20]。

吴昌华 (2021),《重启暂停键,重置净零碳新经济模式》, <http://sdg-china.net/portal/article/index/id/570/cid/2.html> [2021-03-10]。

习近平 (2017):《决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告》, http://www.xinhuanet.com/2017-10/27/c_1121867529.htm [2021-03-10]。

项目综合报告编写组 (2020):《〈中国长期低碳发展战略与转型路径研究〉综合报告》,《中国人口·资源与环境》第11期,第1—25页。

解振华 (2020):《坚持积极应对气候变化战略定力 继续做全球生态文明建设的重要参与者、贡献者和引领者——纪念〈巴黎协定〉达成五周年》,《中国环境报》第02、03版, http://49.5.6.212/html/2020-12/14/content_100353.htm [2021-03-10]。

徐世晓、赵新全、孙平等 (2001),《温室效应与全球气候变暖》,《青海师范大学学报(自然科学版)》第4期,第43—47、52页。

张佳欣 (2020):《2020十大新兴技术揭晓!每一项都可能颠覆我们的生活》,《科技日报》11月15日。

郑晓奕 (2010):《我国首个万吨级煤电碳捕集装置正式投运》,《资源与人居环境》第4期,第53页。

周宏春 (2012):《低碳经济学:低碳经济理论与发展路径》,北京:机械工业出版社。

周宏春 (2021):《以碳中和指标为抓手,协同推进减污降碳工作》,《中国发展观察》第1期,第20—24页。

周绍雪 (2019):《全球气候治理的中国方案》,《学习时报》12月13日第02版, https://www.ccps.gov.cn/dxsy/201912/t20191213_136805.shtml [2021-03-10]。

朱维群、齐情情、王倩等 (2017):《化石燃料环境友好工业路线开发》,《山东大学学报(理学版)》第5期,第25—30页。

竺可桢 (1973): 《中国近五千年来气候变迁的初步研究》, 《人民日报》6月19日。

IPCC (2014), AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> [2021-03-10].

KAPSARC (2020), “CCE Guide Overview”, <https://www.cceguide.org/guide/> [2021-03-10].

Linic, S., P. Christopher and D. Ingram (2011), “Plasmonic-metal Nanostructures for Efficient Conversion of Solar to Chemical Energy”, *Nature Materials*, 10, pp. 911–921.

Carbon Peak and Carbon Neutrality Should be Reached through Innovative and Great Effort in China

ZHOU Hong-chun¹, HUO Li-ming², LI Chang-zheng³, ZHOU Chun³

(1. Development Research Center of the State Council, Beijing 100097, China;
2. Administration Bureau of the Organization Department of Central Committee of CPC, Beijing 100815, China; 3. National Green Development Research on Energy-Saving and Environmental Tech, Beijing 100045, China)

Abstract: Carbon neutrality has become a “hot topic” in the country for some time. The author briefly reviewed the historical evolution of global climate warming research. Global climate temperature rise has not been rigorously proven scientifically, but it is not affecting the formation of the political consensus of “Paris Agreement on climate change”. China has a long way to go before the per capita income has just reached 10, 000 US dollars and the industrialization and urbanization has not been completed, and reach the goal of carbon neutrality within 30 years. We must proceed from our national conditions and natural resources: focusing on energy green and low-carbon transformation through innovative, active and hard work, and promoting direct upgrade of the coal-based of the energy component to new energy, renewable energy and electricity. Use the carbon dioxide emitted by electricity and industrial production to develop carbon-rich agriculture, relative products, and form a development model of carbon circular economy, change the way of energy conversion to produce carbon-fixing products such as triazinol, and finally put forward suggestions for achieving the long-term goal of carbon neutrality, and so as to take a road of low-carbon development in line with national conditions.

Key Words: carbon neutrality; historical evolution; innovation; circular carbon economy; countermeasures and suggestions

责任编辑：周枕戈