

“碳达峰和碳中和”的科学内涵及我国的政策措施

巢清尘

(国家气候中心,北京 100081)

【摘要】中国提出的“碳达峰和碳中和”目标是基于统筹国际国内两个大局的战略考量,基于科学论证的国家战略需求提出的,实现这一目标挑战和机遇并存。我国的承诺为全球高质量绿色复苏注入了强心剂和新活力,但实现该目标比发达国家面临更大挑战。它将倒逼我国社会经济结构进行重大调整,对科技创新提出了新要求,会给经济高质量发展、建设美丽中国带来机遇。建议切实贯彻我国“十四五”规划纲要提出的“碳强度控制为主,碳排放总量控制为辅的双控目标”,充分考虑将碳排放总量控制目标考核和现有污染减排考核体系相结合,增强“十四五”的行动力。尽快制定碳中和目标下的科技创新规划和实施方案。统筹考虑短期经济复苏、中期结构调整、长期低碳转型,布局低碳/脱碳技术,提升未来绿色产业竞争力。

【关键词】碳达峰和碳中和;机遇和挑战;政策措施

中图分类号:X22 文献标识码:A 文章编号:1673-288X(2021)02-0014-06 DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202102014

2020年9月中国宣布二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和目标愿景后,全球应对气候变化的热情被重新点燃起来,中国成为国际上低碳实践的创新者、引领者,国内各地各行业积极响应,吹响了全国行动的号角。这一目标愿景的提出是基于统筹国际国内两个大局的战略考量,是基于科学论证的国家战略需求提出的。实现这一目标,对于我国经济高质量发展,建设美丽中国,构建人类命运共同体都有非常现实和重要的意义。

1 “碳达峰、碳中和”的由来和科学内涵

根据世界气象组织发布的《2020年全球气候状况报告》,2020年全球主要温室气体浓度仍在持续上升,全球平均温度较工业化前水平高出约1.2℃,是有完整气象观测记录以来的第2暖年份(仅次于2016年),2015—2020年是有气象观测记录以来最暖的6个年份^[1]。根据世界经济论坛近几年发布的《全球风险报告》^[2],环境风险是全球最主要的风险。从出现概率来看,极端天气发生概率持续列为近5年榜单第一,气候变化减缓

与适应措施失败居近3年榜单中前三。从影响程度来看,2020年全球遭受新冠肺炎疫情影响,将在未来3年~5年阻碍经济发展,在未来5年~10年加剧地缘政治紧张局势。因此,在风险影响程度上,传染病位居首位,但气候变化减缓与适应措施失败仍被列为未来十年最具影响力和第二可能的长期风险。

为应对气候变化,国际上自1992年达成《联合国气候变化框架公约》,到1997年的《京都议定书》,再到2015年的《巴黎协定》,提出了控制全球温升与工业革命前相比不超过2℃,力争1.5℃的目标,各国根据自身国情提出了国家自主贡献目标^[3-4]。“碳达峰”是指全球、国家、城市、企业等某个主体的碳排放由升转降达到最高点的过程。“碳中和”即净零排放,狭义指二氧化碳排放,广义也可指所有温室气体的净零排放。将全球温升稳定在一个给定的水平上意味着全球“净”温室气体排放需要大致下降到零,即人为排放进入大气的温室气体和人为吸收的汇之间达到平衡,通常是全球、国家、地区、行业或部门在特定时间内(如一年内)达到平衡。碳去除技术既包

括自然碳循环的去除,如森林管理的林业碳汇,也包括人为方式去除,如碳捕集利用与封存(CCUS, Carbon Capture, Utilization and Storage)技术等。

在计算温室气体净零排放时,需要采用一些指标对非二氧化碳温室气体进行换算。采用不同年限的全球增温潜势(GWP, Global Warming Potential)、全球温变潜势(GTP, Global Temperature Potential)和辐射强迫等价潜势会显著影响温室气体净排放的核算结果^[5]。全球增温潜势是指瞬时脉冲排放某种化合物,在一定时间范围内产生的辐射强迫的积分与同一时间范围内瞬时脉冲排放同质量CO₂产生的辐射强迫积分的比值。全球温变潜势为某种化合物在未来某个时间点造成的全球平均地表温度的变化与参照气体CO₂所造成相应变化的比值。GWP和GTP的定义有本质上的不同,两者的数值也有很大差异。气候敏感度和海洋热容量会显著影响GTP。相较GWP而言,GTP的不确定性范围更大一些。与GWP类似,GTP也受背景大气的影响,包括间接影响和反馈。现有研究表明,GWP可能高估甲烷等短寿命温室气体气候影响,这一高估在“碳中和”目标下会成为一个突出问题。

2018年政府间气候变化专门委员会(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)发布了《全球1.5℃增暖》特别报告,报告提及了“碳中和”“净零排放”“气候中和”,但是“近零排放”则在更早时间就被提出了。2009年哥本哈根气候大会在讨论“哥本哈根协议”时,提出在21世纪末要控制全球温升与工业革命前相比不超过2℃的目标。之后,IPCC在2014年发布的第5次评估报告中提到,如果要在21世纪末实现2℃温控目标,需要2050年全球温室气体排放量比2010年减少40%~70%,在21世纪末温室气体的排放水平要接近或者是低于零,即“近零排放”。2010年《坎昆协议》确认了“哥本哈根协议”中“将全球平均温度升幅控制在比工业化前水平低2℃以内”的提法,又提出“并认识到有必要考虑”在最佳科学知识的基础上,加强长期全球目标……使全球平均温度上升不超过1.5℃^[6]。从2013年开始到2015年巴黎气候变化大会结束的两年时间里,气候公约秘书处组织开展了多轮专家对话,发布

的报告提出“在一些地区和脆弱生态系统中,当温度上升1.5℃以上时,也存在很高的风险”。报告还重申了温控目标只是作为“防线”或“缓冲区”,而非“护栏”的作用,并不能确保《联合国气候变化框架公约》中提及的安全性。这种新的理解支持将全球变暖限制在低于2℃作为可能选择的排放路径,并且强调“尽管关于1.5℃升温上限的科学还不够有力,但应该努力将这道防线尽可能地压低”。这些结论后来被纳入了“巴黎协定”草案。2015年通过的《巴黎协定》提出了温控2℃和力争实现1.5℃的目标。2018年IPCC发布的《全球1.5℃增暖》特别报告^[6]指出,控制温升不超过1.5℃,需要二氧化碳排在2050年左右达到净零排放。为了将全球变暖控制在2℃以下,需要在2070年左右达到二氧化碳净零排放。“碳中和”意味着气候系统的变化在长期内将保持近乎恒定。

2 实现“碳达峰、碳中和”目标与我国社会经济转型

2.1 世界主要国家和地区提出“碳中和”情况

目前,全球已有126个国家和集团承诺实现与“碳中和”有关的目标,其中苏里南、不丹2个国家已经实现了碳中和目标。22个国家和地区以立法、政策等形式确立了碳中和目标,包括欧盟、瑞典、英国等欧洲国家和地区,日本、韩国、新加坡等亚洲国家,哥斯达黎加、智利等发展中国家,以及斐济、马绍尔群岛等气候脆弱性国家。欧美等发达国家纷纷制定了碳中和目标和近中远期行动方案,并将其作为推动可持续发展和经济绿色低碳转型的重要抓手。欧盟于2019年提出在2050年实现碳中和目标并发布《欧洲绿色新政》,2020年3月欧盟委员会发布《欧洲气候法》提案,从法律层面确保欧洲到2050年成为首个“气候中和”的大陆。瑞典和英国等国家均立法或以法案承诺在2050年或之前实现碳中和目标。芬兰、奥地利和德国在官方文件中分别提出了2035年、2040年、2050年实现碳中和目标。美国众议院于2020年公布了《解决气候危机:国会为建立清洁能源经济和一个健康、有弹性、公正的美国而制定的行动计划》以帮助美国实现2050年净零排放,

报告对气候目标的实现手段、技术储备等做出了详细规划。2021年2月19日美国重新加入《巴黎协定》，拜登政府承诺拟通过立法在2050年前实现全美国经济范围内的碳中和。全球前四排放大国中的印度(排放占7%且快速增长)和俄罗斯(排放占5%)尚未提出碳中和目标。

目前提出碳中和目标的国家大多是欧美发达国家,其均已实现碳达峰,其中以德国、匈牙利、法国、英国为代表的国家均在20世纪80年代左右实现碳达峰,以美国、加拿大、西班牙、意大利等为代表的国家在2007左右均已实现碳达峰。

2.2 与发达国家相比,我国实现碳达峰和碳中和目标需要付出更多努力

从排放总量看,我国碳排放总量约为美国的2倍多、欧盟的3倍多,实现碳中和所需的碳排放减量远高于其他经济体;从发展阶段看,欧美各国已实现经济发展与碳排放脱钩,而我国尚处于经济上升期、排放达峰期,需兼顾能源低碳转型和经济结构转型,统筹考虑控制碳排放和发展社会经济的矛盾;从碳排放发展趋势看,发达国家碳排在20世纪80年代至2007年前后先后达峰,这些国家距离2050年实现碳中和至少有40多年甚至70年左右的窗口期,而我国从2030年前碳达峰到2060年前实现碳中和的时间仅为30年左右,显著短于欧美国家。我国为实现碳中和目标所要付出的努力和程度要远远大于欧美国家。

应该说,碳中和目标倒逼碳达峰水平和排放路径,对我国低碳/脱碳科技创新提出了新要求。如果延续当前政策、投资方向和碳减排目标,基于现有低碳/脱碳技术无法实现碳中和目标。根据我们承担的国家重点研发项目研究结果,如果保持我国当前政策、标准和投资以及现有国家自主贡献减排目标不变,尽管我国仍然可以依靠现有低碳/脱碳技术在2030年左右实现碳达峰,但2060年能源活动排放量将高达70亿吨~80亿吨,非二氧化碳温室气体和工业过程的排放将高达45亿吨,无法实现2060年前碳中和目标。碳中和目标的实现要求2030年前达峰的峰值不超130亿吨,电力和工业部门必须率先达峰。要确保2060年前碳中和目标的实现,应在2030年前实现能源活动二氧化碳达峰且峰值水平控制在105亿吨以内,

并且电力部门和工业部门应在2025年前后率先达峰;非二氧化碳温室气体和工业过程排放应在2025年前后达峰,考虑碳汇后的峰值水平控制在25亿吨以内。2060年前碳中和排放路径的不确定性主要在于2025—2035年能源活动碳排放的发展轨迹,其间碳强度的大幅下降亟须低碳/脱碳技术支撑。研究表明,2035年前所做的减排努力越多,后期的减排压力相对越小、转型所需的时间就越短。根据多个模型组测算,2035年能源活动碳排放需要控制在70亿吨~90亿吨。若“十四五”碳强度下降18%,则“十五五”和“十六五”期间的碳强度下降幅度需高达25%~35%。碳中和目标要求中国在2035年后实现深度减排,需要提前做好低碳/脱碳新技术储备。研究显示,要实现碳中和目标,2050年电力部门应实现负排放,建筑部门和交通部门均实现近零排放。2060年,能源活动排放量要控制在5亿吨以内,仅为2005年排放水平的8%,在现有路径基础上减排93%;非二氧化碳温室气体和工业过程排放要控制在10亿吨左右,为2005年排放水平的60%左右,在现有路径基础上减排78%,通过碳汇和碳移除等地球工程技术实现负排放15亿吨左右。

3 即使实现了“碳达峰、碳中和”目标,仍需加强气候韧性社会建设

2019年11月,来自世界各地的11000多名科学家共同宣布地球正面临“气候紧急状态”。2020年12月,联合国秘书长古特雷斯呼吁全球所有领导人“宣布进入气候紧急状态,直到本国实现碳中和为止”。2021年2月,联合国安理会就气候变化与和平和安全问题举行了高级别辩论,联合国秘书长明确指出,气候破坏是危机的放大器和倍增器,气候变化加剧了动荡和冲突的风险。

近年来与气候有关的自然灾害变得越来越严重和频繁,飓风、干旱、野火等灾害平均一周发生一次。有些地区的温度上升已经超过1.5℃,甚至超过2℃。气候变暖对全球自然生态系统和人类经济社会系统都产生了广泛影响。尽管1.5℃和2℃仅相差0.5℃,但就水资源短缺的风险而言,2℃的风险比1.5℃的风险要高一倍,河流洪

水风险会上升 70%，暴露在干旱地区的人口会多 6000 万人。未来气候系统变化造成的影响和风险将比预计的来得更为剧烈。加强气候风险管理，要特别防范“灰犀牛”和“黑天鹅”两种风险事件的发生。所谓“灰犀牛”，是指大概率高风险事件。该类事件一般是问题很大、早有预兆，但是没有得到足够重视，从而导致严重后果的问题或事件。所谓“黑天鹅”，则是小概率高风险事件，主要指没有预料到的突发事件或问题。气候变化导致极端天气气候事件趋强趋多，对自然系统、社会经济系统产生显著不利影响已经是大概率要发生的，这些属于“灰犀牛”事件，如果社会经济发展路径不做较大变革，一定是向高风险发展的。另外，气候系统一旦突破某些阈值或临界点，则会发生快速变化。例如大西洋经向翻转环流（AMOC, Atlantic Meridional Overturning Circulation）显著减缓或崩溃、冰盖崩塌、北极多年冻土融化以及相关的碳释放、海底甲烷水合物释放、季风和厄尔尼诺南方涛动的天气形势变化以及热带森林枯死^[7]，这些属于“黑天鹅”事件。随着温度的上升，出现“黑天鹅”事件的概率也在增加。降低全球气候风险，就是要减小“灰犀牛”和“黑天鹅”事件发生的可能性。日益频繁和严重的气候风险威胁着人类系统的稳定性，还将以“风险级联”方式通过复杂的经济和社会系统传递，给可持续发展带来重大挑战。

尽管长期地、根本地解决应对气候变化的问题要靠减缓，但适应仍然是必不可少的并且是解决眼前问题的措施。首先，气候变化的很多影响已经发生了，对这些已经发生的影响，如果不通过适应手段来加以调整改变的话，就没有办法将负面影响降到最低了。比如，现在由于光、热、水都发生了一些变化，即气候的一些要素发生了一些改变，这对农业种植布局，对更好抵御灾害的品种选配，都提出了一些新需求。虽然我国的粮食产量连年增长，实际上是种植调整、品种选择等技术进步的作用，这意味着需要有更多的成本投入。这些都是适应措施。所以说对于已经发生的影响，适应措施还是非常有用的。其次，减缓措施真正产生效果，是需要一段时间的。因为所有的温室气体是有寿命的，它将存在几十年、几百年甚至

更长时间。即使我们今天采取减缓措施，即使达到近零排放了，但是其在过去或者现在排放的温室气体的气候效应，还会影响几十年、几百年甚至更长时间，特别是几百年后海平面仍会上升。所以对于已经发生的和即将发生的影响和风险，必须要靠适应措施来减小其不利影响。

4 做好碳达峰和碳中和工作的政策措施

4.1 增强“十四五”的行动力

千里之行，始于足下。2020 年中央经济工作会议提出了八项重点任务，其中一项就是做好碳达峰和碳中和工作。因此，“十四五”期间要提高国家自主贡献力度，构建以碳排放总量为核心的低碳发展指标体系及相应制度。指标设定上，建立分区域、短期和长期相结合的混合政策目标并逐步转向碳总量控制目标；具体实施上，结合国家总体减排目标和重点企业、行业的实际排放水平；政策手段上，综合使用行政考核手段和经济调控手段。

对于碳生产力较高的地区实施碳排放的增量总量控制，对于碳生产力较低的地区实施碳排放的减量总量控制。分时期逐步实施碳总量控制和管理，在未来的两个五年规划内，实施非等量递减的排放总量控制策略，“十四五”期间的总量控制目标大于同等水平（GDP）下“十五五”期间的总量控制目标。此外，五年规划内每年设置依次递减的总量控制方案。大力发展新动能产业，给予重点新动能产业政策刺激，例如医药制品业、专用设备制造业、运输设备制造业等，深度挖掘这些行业的高能碳生产力特征，促进经济新动能与碳排放脱钩，实现中长期的深度减排计划。做好碳排放目标和污染物目标的系统规划，中长期的碳排放目标和污染物排放目标更利于促进协同产生的经济效益，因此做好中长期的污染物排放目标，更有利于促进中长期碳排放目标的实现。

对于碳排放总量控制制度的具体实施，可考虑“自上而下”分解国家碳总量控制目标，通过优化能源结构和对高耗能产业进行针对性的去产能、去库存与结构优化，实现 GDP 的碳排放强度下降，这是碳排放达峰的关键。高质量发展背景下，绿色低碳发展是衡量发展成效的重要标尺，碳

排放总量控制制度是促进发展的有效手段。要紧跟国际国内形势,关注未来气候治理新变化,调整碳排放控制方式。综合考虑经济发展、节能减排政策和技术水平以及其他相关因素,从国家层面确定碳排放总量控制目标,将这一目标自上而下分解并落实到行业目标。根据经济情况,分区域和行业实施“碳排放增量总量控制”和“碳排放减量总量控制”。对落后地区与发达地区、落后产业与战略新兴产业区别对待,坚持控制增量、削减存量的方针,建立面向区域和产业的总量控制体系。

另外,根据行业碳排放存在的差异,“自下而上”确定碳排放需求。低碳情景下,中国电力和热力供应部门、建筑部门和交通部门的 CO₂ 排放将分别在 2021 年、2025 年和 2034 年达到峰值。根据各区域碳排放特征确定碳排放限额。发达地区的碳排放增长已经不明显;重化工业特征突出的地区,排放总量仍可能继续增长。碳总量控制制度的倒逼作用会激发效率变革,促进绿色低碳转型,实现高质量发展。对重点区域、行业和企业进行数据摸底,掌握实际排放水平,合理划定覆盖范围和边界,再进一步确定碳排放控制总量。注重提升企业技术水平,不仅能降低污染和能耗,也能增强企业的供给有效性和市场竞争力,利于经济绿色低碳转型。鼓励绿色技术创新,为低碳产业发展提供新动能;加强行业竞争,实现高效生产要素对低效生产要素的替代,全面提高经济系统的投入产出效率,实现经济高质量发展。

加强碳排放总量控制制度的政策手段,充分考虑将碳排放总量控制目标考核与现有污染减排考核体系相结合。采取行政考核措施,依托已有的碳排放强度、大气污染物总量控制考核体系,加强排放基础数据统计监测、报告和核查制度。加强公平的执法监管,严格执行各类节能减排法律法规和标准。统筹相关法律法规的制修订,碳总量等相关约束性指标制度的制定与实施,以及产业产品等低碳标准体系、管理体制与治理机制的协调完善。充分考虑碳排放总量控制目标与全国碳市场配额总量的有机结合。将碳排放总量指标纳入国家五年规划,可以为碳市场有效发挥作用提供法律基础。应当在全国碳排放总量约束下分

配发电行业碳配额,并将可再生能源加入,促进电力结构低碳化发展。加强支撑政策,保障财政资金在应对气候变化领域的稳定增长,创新和促进气候投融资发展。强化地方气候变化能力建设。加强定期评估,根据结果对碳总量指标适当调整。

4.2 加快制定科技创新支撑碳中和目标实现的行动方案

启动制定碳中和目标下的科技创新规划和实施方案。统筹考虑短期经济复苏、中期结构调整、长期低碳转型,布局低碳/脱碳技术,提升未来绿色产业竞争力。面向 2060 年前碳中和目标,将碳约束指标纳入“十四五”科技创新发展规划进行部署;围绕重点领域,启动《中长期应对气候变化领域科技专项规划》并开展相应的配套研究,为碳中和目标提供必要的技术支撑。

加快建设高比例非化石电力生产体系,支持全面提高各行业电气化率。高比例非化石电力生产及利用体系是保证实现碳中和目标的重要途径。加速可再生能源发电技术推广并保证其发电成本在 2030 年前尽快实现经济有效,加快核能模块化、小型化、差异化的新型技术研发与应用,加强储能和智能电网等技术的研发力度和示范规模并保证其最晚在 2040 年实现大规模配套应用,最终实现非化石电力占总发电量比例提高到 2060 年的 90% 以上。在此基础上,全面提高各行业的电气化率,实现 2060 年工业电气化率 50% 以上、城镇全面电气化、农村以电力与生物质能为主、铁路基本全面电气化、电动车占乘用车比例提高到 90% 以上。

实施以氢能、生物燃料等作为燃料或原料的革命性工艺路线,并提前储备负排放技术。对于难以电气化的领域要突破固有思路,采用革命性工艺。工业部门研发氢气炼钢、生物基塑料等革命性工艺,2060 年氢能使用率达到 15% 左右;交通部门研发以生物燃料和氢气为原料的航空航海交通技术,使其不晚于 2050 年得到规模化应用。同时,为抵消工业过程等难以减排的温室气体排放,需要提前储备多种负排放技术。积极发展碳捕集利用与封存 (CCUS) 技术,构建 CCUS 与能源/工业深度耦合的路线图,保证煤电 CCUS 和工业 CCUS 技术在 2035 年前后能够推广应用,生物

质发电耦合 CCUS 不晚于 2045 年得到规模化应用。加快直接空气捕获(DAC, Direct Air Capture)技术、太阳辐射管理和海洋脱碳工程等地球工程技术研发与可行性研究。

加强推动技术研发与创新的保障体系建设。一是制定重点低碳技术和革命性技术研发路线图和投资计划,调动行业和市场力量,大规模部署推广低碳/脱碳技术研发和示范,打造全新的创新驱动体系;二是瞄准前瞻性、颠覆性技术,设立国家重点实验室,重点突破革命性核心技术,拓展未来新的经济增长点;三是依托国家可持续发展议程创新示范区设立碳中和示范区,开展低碳/脱碳技术大规模集成示范,“以点带面”推动各省区市整体低碳转型;四是积极拓展国际合作,重视“一带一路”“南南合作”平台以及中欧气候合作,深化各国低碳/脱碳技术转移与交流。

参考文献:

[1] WMO State of the Global Climate 2020 (Provisional Report), WMO, Geneva.

[2] The Global Risks Report 2020, World Economic Forum, Geneva.

[3] 巢清尘.全球合作应对气候变化的新征程[J].科学通报, 2016, 61(11):1143-1145.

[4] 巢清尘,张永香,高翔,等.巴黎协定:全球气候治理的新起点[J].气候变化研究进展,2016,12(01):61-67.

[5] 王长科,罗新正,张华.全球增温潜势和全球变暖潜势对主要国家温室气体排放贡献估算的差异[J].气候变化研究进展,2013,9(01):49-54.

[6] IPCC: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018, p.32.

[7] LEMOINE D. 2012. Abrupt changes: To what extent are tipping points a concern in coping with global change? PAGES news. 20(1):42.

Scientific connotation of “carbon peak and carbon neutrality” and the policy measures of our country

CHAO Qingchen

(National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: The goal of “carbon peak and carbon neutrality” proposed by China is based on the strategic considerations of both international and domestic situations and the national strategic needs of scientific demonstration. To achieve this goal, there are both challenges and opportunities. China’s commitment has injected a strong stimulus and new vitality into the global high-quality green recovery, but achieving this goal faces greater challenges than developed countries. It will force major readjustment of China’s social and economic structure, set new requirements for scientific and technological innovation, while bring opportunities for high-quality economic development and the building of a beautiful China. It is suggested to earnestly implement “the 14th Five-Year-Plan” of “double control targets of carbon intensity control as given priority and carbon emissions control as secondary objectives”, fully consider carbon emissions control target evaluation in combination with the existing pollution reduction evaluation system to enhance “the 14th Five-Year Plan” action power. Meanwhile, it should formulate scientific and technological innovation implementation plan and roadmap under the carbon neutrality target as soon as possible. Taking overall consideration to short-term economic recovery, medium-term structural adjustment and long-term low-carbon transformation, and low-carbon/decarbonization technologies should be laid out to enhance the competitiveness of green industries in the future.

Keywords: carbon peak and carbon neutrality; challenges and opportunities; policy measures