

引用格式:刘洋,郑景云,葛全胜,等. 低碳发展背景下中国温室气体排放变化及其对全球减排的贡献[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2399–2407. [Liu Y, Zheng J Y, Ge Q S, et al. China's greenhouse gas emissions in low-carbon planning and contribution to global reductions[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2399–2407.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.18

低碳发展背景下中国温室气体排放变化及其对全球减排的贡献

刘 洋^{1,2}, 郑景云^{1,2}, 葛全胜^{1,2}, 王 芳¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:为明确中国温室气体峰值排放变化及其对全球减排的促进关系, 本文通过从行业终端出发的温室气体排放模型, 利用联合国相关组织、世界银行、国际能源署等机构的数据, 结合中国能源战略规划目标设置了由弱到强的三种减排政策支持力度, 分析了当前至2060年的中国温室气体排放特征与达峰时间和累积排放量变化, 以及中国对全球温室气体减排的贡献。主要结论有: ①中国在应对气候变化的既有能源政策支持下, 将于2030年达到温室气体排放峰值(144.28±7.48)亿t CO₂eq, 2020—2060年累计排放量将比无减缓政策情景减少约2243.82亿t CO₂eq; ②加快能源目标的实现有助于尽早达峰, 如中国在2025年达成2030年能源规划目标, 温室气体排放达峰时间将提前到2027年, 其峰值(133.88±6.03)亿t CO₂eq, 2020—2060年累计排放量较2030年达峰的情景减少约517.46亿t CO₂eq, 尽早达峰可使排放总量显著下降; ③在各国国家自主决定贡献(INDCs)承诺顺利实现的情况下, 如果中国达峰时间从2030年提前至2027年, 不太可能改变全球排放达峰的时间(2031年), 但可使全球排放峰值从534.89亿t CO₂eq下降为523.54亿t CO₂eq左右, 2031—2060年的全球排放量下降速率从4.26亿t CO₂eq/a提高到4.38亿t CO₂eq/a。

关键词:温室气体排放; 政策规划; 排放峰值; 全球减排; 低碳发展; 情景分析; 中国

DOI: 10.18402/resci.2017.12.18

1 引言

国际合作应对全球变暖的《巴黎协定》(Paris Agreement)于2016年11月4日正式生效, 目标到2100年全球平均温度升幅比工业化前控制在2°C以内, 争取把升温控制在1.5°C之内, 同时协定中还特别强调了加强气候变化科学研究的内容。政府间气候变化专门委员会(IPCC)在其第五次评估报告(AR5)中重点关注了2°C目标的科学基础, 目前由联合国气候变化框架公约(UNFCCC)授权正在准备1.5°C目标的特别报告(SR15), 预计于2018年发布。不论是2°C还是1.5°C目标, 全球温室气体

排放路径都是其研究的重点内容, 并且未来需要更多关注路径的科学基础和政策因素, 而非单纯构造难以实现的路径^[1]。综合目前已有的研究结果^[2,3], 实现2°C和1.5°C目标可行的路径要求全球温室气体排放尽早扭转不断增加的趋势, 21世纪中后期达成零排放, 其中面临的第一个关键时间节点就是排放何时达到峰值进而持续下降, 以及峰值排放量将控制在怎样的水平。在2015年和2016年, 全球碳排放量仅有轻微上涨, 增长率仅为0.3%和0.2%, 比之前10年(2004—2013年)的年平均增长率2.4%有明显缓和^[4], 这是否预示全球排放已触及峰值尚不

收稿日期: 2017-09-07; 修订日期: 2017-10-05

基金项目: 中华人民共和国科学技术部国家重点研发计划项目(2016YFA0602704; 2016YFA0602800); 中华人民共和国科学技术部改革发展专项“巴黎会议后应对气候变化紧迫重大问题研究”。

作者简介: 刘洋, 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士生, 主要研究方向为气候变化。E-mail: liuy.14b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 王芳, E-mail: wangf@igsnrr.ac.cn

明确^[5],但根据各方在巴黎会议提交的“国家自主决定贡献”(Intended Nationally Determined Contributions, INDCs)目标和当前的执行情况来看,至少短期内无法实现全球排放持续降低^[3]。2016年中国碳排放量已占全球总量的29%左右^[4],因此中国的减排行动对全球意义重大,比如中国在2015年首次实现碳排放量下降被认为是全球碳排放总量减缓的首要因素^[5]。中国政府在巴黎会议前夕承诺力争在2030年前达峰,同时出台了一系列政策规划予以支持,并可能在原有INDC基础上进一步提高力度。然而,国际应对气候变化工作在开展和执行中也遇到不小的阻力,如美国新一届政府叫停了清洁能源计划并宣布退出《巴黎协定》,这些消极的举措必将削弱其它国家付出的努力,推迟全球达峰的早日实现。

上述形势综合起来可归纳为三个需要深入研究的问题:

(1)中国的国家政策调控能促使温室气体排放峰值提前多少年来临;

(2)加快中国温室气体排放达峰除了时间提前外,在排放总量控制方面有何意义;

(3)不同国际形势下,中国对全球温室气体排放减缓和达峰的贡献力度。

目前已有研究针对中国政策规划下的排放变化进行估计,如Elzen等利用FAIR/TIMER模型模拟显示中国在既有政策规划下2030年温室气体排放量将达到(147~154)亿t CO₂eq,尚不足以实现达峰目标^[6],但其政策依据主要考虑的是第十二个5年计划的部署,最近两年中国已颁行第十三个5年计划,同时在人口、经济和能源等方面做出了调整,相应的政策情景需予以更新;Mi等则基于投入产出模型计算了中国在2026—2030年间不同年份CO₂排放达峰对应的排放总量和经济影响^[7],但未将所有温室气体纳入考虑。此外,上述研究均未关注达峰

之后的排放下降情况以及中国与全球排放达峰之间的关系。因此,本文依据目前最新的政策规划文件,设置了中国未来3种政策支持力度情景,利用了从行业终端出发的CO₂排放模型计算当前至2060年的化石能源CO₂排放,采用C-ROADS模型^[8]模拟其它温室气体排放,探讨中国温室气体峰值排放变化及其对全球减排的促进关系。

2 研究方法与数据来源

2.1 情景设置

本研究设置了中国未来3种政策支持力度情景,表1概括了三种情景的政策力度及依据或假设。

(1)“延续情景”。此情景下没有持续、明确的气候变化减缓行动,对应IPCC中的“经济照常”(business as usual)情景,因为中国目前的应对气候变化行动大多于“十二五”期间启动实施,在之前的20多年以经济快速发展为主,在减排方面控制力度不足,如果相关政策法规不能得到有效执行,未来仍有可能延续过往高经济高排放的发展模式。

(2)“规划情景”。认为所有已颁布出台的气候变化政策方针,如《能源发展战略行动计划(2014—2020)》^[9]和《国家能源局关于建立可再生能源开发利用目标引导制度的指导意见》^[10]等,均如期完成设定目标,并在未来继续保持相应的减排控制力度;

(3)“强规划情景”。目前中国政府正在采取积极态度,希望加强自身应对气候变化行动,争取提前完成INDC目标,考虑到中国的发展规划制定以5年为周期,在最优先侧重减排的条件下,可能将有关能源目标提前一个5年计划完成,因此这里假设强规划情景中的分行业能源强度指标和清洁能源发展指标的改善进程比规划情景加快5年,于2025年达到相应指标在规划情景中2030年的水平。

2.2 模型及数据

目前全球人类活动导致的温室气体排放仍以CO₂为主,占到温室气体排放总量的76%,CO₂排放

表1 三种排放情景下未来能源指标的变化

Table 1 Setting of energy-related indicators in three emission scenarios

情景定义	未来能源指标变化依据
延续情景	根据1990—2014年历史统计数据趋势进行外推
规划情景	按国家最新政策中规划的关键年目标,利用逻辑增长函数拟合时间序列
强规划情景	能源发展进程进一步加快5年,于2025年实现规划情景中2030年的目标

2017年12月

中又有86%来自化石能源消耗^[11],当下的减排技术、能源转型和政策规划以控制这部分CO₂为主,且有较为详细的统计数据,尤其是对发展中国家。本文基于从行业终端出发的化石能源CO₂排放模型,采用联合国相关机构、世界银行、国际能源署等^[12-15]发布的经济及能源数据模拟中国未来三种情景下化石能源CO₂的变化。除化石能源燃烧排放CO₂以外的温室气体约占总量的1/3左右,但受限于统计数据尚无法建立从行业终端出发的排放模型,本文从C-ROADS模型^[9]对典型浓度路径(Representative Concentration Pathways, RCPs)的模拟结果中抽取中国其它温室气体排放数据,并选择与三种情景相对应的路径。

2.2.1 从行业终端出发的化石能源CO₂排放模型及数据

化石能源CO₂排放与生活、生产紧密相关,受到社会、经济发展水平和能源结构的影响。Kaya公式(Kaya identity)将CO₂排放分解为人口、人均国民生产总值、单位产值能耗及单位能耗排放因子四项的乘积,是描述此关系的最简化函数形式^[16],但Kaya分解的驱动因素多为表象驱动因素,在量化政策规划的作用时不确定性过大^[17]。最近有研究在Kaya公式的基础上进行更加深入的分解,从行业终端出发,根据各行业产值和能耗强度可以计算出各行业终端能源消耗,进一步结合能源生产过程可由终端能源消耗推算出一次能源消耗,最后得出一次能源中化石燃料所致的CO₂排放,图1给出了这一模型

的结构与计算公式。

在图1公式中等号右侧各项已知的情况下,即可求解对应年份的CO₂排放量。为了预测未来时段的CO₂排放变化,需获得其未来变化的时间序列,对此本研究针对不同情景,采取三种方法来扩充数据。

方法①:利用国际权威机构的预测序列,主要针对人口和GDP两项指标。人口以联合国人口展望计划(WPP)^[12]提供的多种增长率情景为基础,根据中国卫生计生委在实施全面两孩政策后预计中国2030年前后总人口达到14.5亿左右峰值,到本世纪中叶,中国人口总量仍将保持在13.8亿人左右^[18],中国人口规划与WPP高增长率和中增长率情景的平均值对应较好,本研究在延续情景、规划情景和强规划情景下中国未来人口均一致采用WPP高增长率和中增长率的平均序列。规划情景中国未来的GDP变化以经济合作与发展组织(OECD)的预测序列为基础^[13],但其预测的GDP年增长率整体偏低,不符合中国“十三五”规划要求的2020年GDP总量达到2010年的200%目标,因此对这一序列的增长率整体上调使之恰好满足2020年“翻一番”要求;延续情景和强规划情景的GDP增长率将分别高于和略低于规划情景,参考IPCC多模式集成评估的减排经济损失^[11],认为在不追求低碳减排的情况下2050年延续情景的经济增长比规划情景高1.5%左右,而强规划情景下2050年经济增长比规划情景低0.2%。

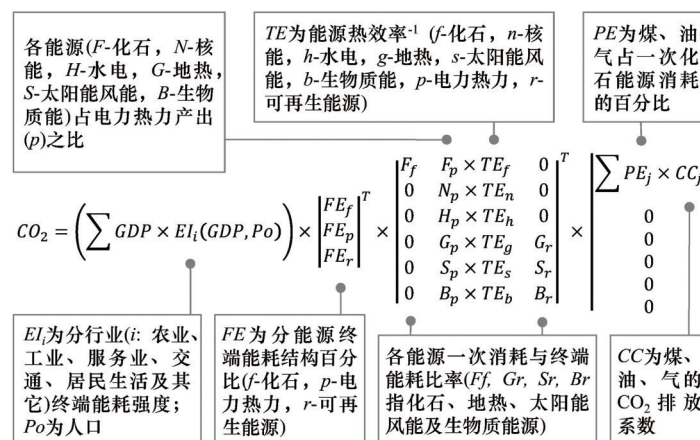


图1 从行业终端出发的化石能源CO₂排放模型

Figure 1 Final energy sector based fossil CO₂ emission model

方法②:利用通过关键点的逻辑增长函数拟合,用于规划情景和强规划情景。以《能源发展战略行动计划(2014—2020)》^[9]规划到2020年一次能源消费中煤炭比重降至62%以下为例,根据国际能源署发布的全球各国能源平衡数据^[15],中国2014年煤炭占一次能源消耗的66%,2020年要降至62%以下,在低碳政策推动下21世纪中期将进一步降低到35%左右^[19,20],根据这些关键值的规划,通过逻辑增长函数来拟合时间序列的变化(图2)。天然气占一次能源比重、清洁能源产能比重等的变化也采用同样的方法计算,其中2020年规划值取自《能源发展战略行动计划(2014—2020)》^[9],包括一次能源消费中天然气比重达到10%以上;核电装机容量达到5800 kW,常规水电装机达到3.5亿kW左右,风

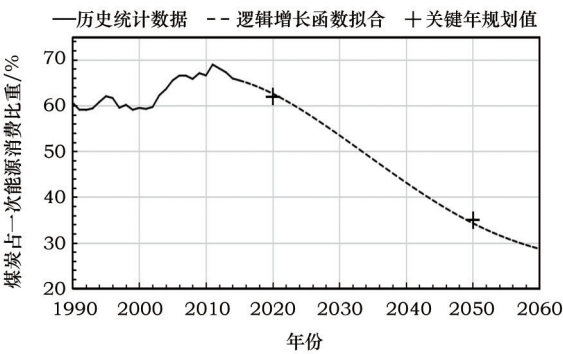


图2 利用通过关键点的逻辑增长函数拟合中国未来一次能源消费中煤炭比重的变化

Figure 2 Projecting coal share in primary energy supply in the future by fixing intercept at target year with logistic curve

电装机达到2亿kW,光伏装机达到1亿kW左右,地热能利用规模达到5000万t标准煤;本世纪中期所能达到的水平参考《中国能源中长期(2030年、2050年)发展战略研究》^[19]中的情景。另外,能耗强度参考国际能源署的能源技术展望^[21],认为中国至2060年规划情景比延续情景多下降20%。

方法③:利用过往经济-能源发展规律外推,用于延续情景。已有研究表明产业结构和分行业终端能耗结构与经济增长之间存在稳定的统计关系^[22,23],如Schäfer统计了全球各地区的经济和能源数据,发现农业、工业和服务业三产业产值的比重以及终端能源消耗中居民生活、农业、工业和服务业的比重与人均GDP之间存在显著的非线性变化关系^[22]。本文通过分析世界银行发布的1960—2015年全球各国经济发展数据^[14]和国际能源署发布的1971—2014年全球各国能源平衡数据^[15]进一步发现,在经济发展水平相近或能源结构类似的国家和地区,分部门终端能源消耗强度、能源转换效率等与人均GDP之间亦存在良好的统计关系。表2给出了相应指标适用于中国的回归函数,可以用来预测保持过往经济发展模式的情景下未来CO₂排放趋势的变化。

2.2.2 未来其它温室气体排放情景模拟及数据

除化石能源燃烧排放CO₂以外的温室气体从C-ROADS模型^[8]中抽取,模型的Region15方案可模拟全球15个主要国家或集团4种典型浓度路径下的排放序列(四种路径下2100年全球辐射强迫分别

表2 中国产业结构、能耗强度及能源结构等指标与人均GDP之间的函数关系

Table 2 Fitted functions between industrial structure, energy intensity, energy structure and GDP per capita for China		
变量指标	拟合函数关系	解释方差量
第一产业比重 GDP_1	$y=1-G_p^{0.886}/(619^{0.886}+G_p^{0.886})$	0.924
第三产业比重 GDP_3	$y=Arctan(G_p \times 1.83E-4) \times 0.814/(P/2)$	0.685
农业能耗强度 EL_1	$y=(0.003\ 3+0.020\ 7 \times G_p)^{-1/1.23}$	0.974
工业能耗强度 EL_2	$y=(0.622E-4+6.13E-4 \times G_p)^{-1/1.38}$	0.952
服务业能耗强度 EL_3	$y=1/(33.0 \times G_p^{(1.001\ 75-1)}-32.8)$	0.554
居民生活能耗强度 EL_4	$y=1/(0.006\ 56 \times G_p^{(1.73-1)}-0.001\ 86)$	0.933
其它终端能耗强度 EL_5	$y=1/(0.242 \times G_p^{(1.39-1)}-0.097\ 4)$	0.656
终端非能源消耗比重 EL_6	$y=0.126-0.126/(1+(G_p/4.64)^{0.944})$	0.596
终端电力热力比重 FE_p	$y=0.047\ 5 \times G_p^{0.057\ 4}$	0.691
终端化石能源与可再生能源消耗之比 FE_f/FE_r	$z=(G_p-14)/13, y=35.9 \times \exp(1-\exp(-z)-z)$	0.470

注:自变量 G_p 表示人均GDP,单位为1000美元(2005年购买力平价),能耗强度单位为t石油当量/100万美元(2005年购买力平价)。

2017年12月

为 $8.5\text{W}/\text{m}^2$ 、 $6.0\text{W}/\text{m}^2$ 、 $4.5\text{W}/\text{m}^2$ 、 $2.6\text{W}/\text{m}^2$, 对应 CO_2 当量浓度分别为 1370ppm、850ppm、650ppm 和 490 ppm, 记作 RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5 和 RCP2.6)^[24], 本研究使用其对中国的模拟结果。根据 RCPs 的基本假设以及目前 INDCs 水平下全球 2100 年的升温评估^[3,25], RCP8.5 是粗放的高能耗发展路径, 对应本文延续情景假设; RCP4.5 通过改变能源体系等来限制温室气体排放, 但很难在 21 世纪末将全球升温控制在比工业化前高 2°C 的范围内, 对应本文规划情景假设; 强规划情景下, 中国的温室气体总排放介于 RCP4.5 和 RCP2.6 之间, 以上述行业终端模型给出的化石能源 CO_2 排放序列为因变量, RCP4.5 和 RCP2.6 输出的化石能源 CO_2 排放序列为自变量进行统计回归, 结果显示 $0.8\text{ RCP4.5}+0.2\text{ RCP2.6}$ 的加权路径与强规划情景匹配最好, 所以据此权重计算其它温室气体排放序列。

3 结果及分析

3.1 中国温室气体排放峰值的总量和时间

图 3 给出了三种不同政策强度下中国全温室气体至 2060 年的排放变化情况, 表 3 给出了每种政策情景下的排放统计数据。首先, 在延续情景, 即不采取针对性应对气候变化的政策而保持过去 20 多年经济高速发展的条件下, 中国的温室气体排放峰值于 2044 年达到, 排放量高达 (194.09 ± 11.24) 亿 $\text{t CO}_2\text{eq}$ 。而规划情景, 即考虑当前已出台减排政策的支持下, 中国的温室气体排放峰值于 2030 年达到, 排放量为 (144.28 ± 7.48) 亿 $\text{t CO}_2\text{eq}$, 达峰时间提前了 14 年, 峰值排放量下降了 49.81 亿 $\text{t CO}_2\text{eq}$ 。最近两年, 中国的 CO_2 排放得到了显著的控制, 并且仍在加大力度推行减排对策, 比如即将建立的全国碳交易市场等, 在这些举措的助力下, 中国很可能比预期更早实现峰值目标, 但达峰是最终表现出的结果, 需要通过能源效率、结构等的改善来实现。在

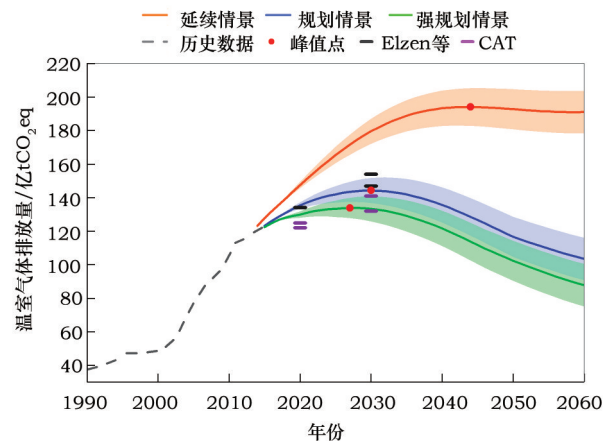


图 3 1990—2060 年三种政策情景下中国未来温室气体排放量变化

Figure 3 Greenhouse gases emission variation in the future for China with different policies implemented from 1990 to 2060

注: 不同色块代表误差区间, 通过非线性情形下 Logistic 映射初始误差随时步的平均增长函数计算^[26]。

强规划情景下, 2030 年能源目标于 2025 年实现, 但模拟结果显示中国温室气体的排放峰值并没有与之同步提前 5 年, 而是仅提前 3 年于 2027 年达到, 峰值为 (133.88 ± 6.03) 亿 $\text{t CO}_2\text{eq}$ 。在目前研究给出的所有 1.5°C 温控目标路径中, 全球峰值最晚于 2025 年出现^[2,3,27], 那么如需确保中国也于 2025 年之前达峰, 相应的能源规划则要更加超前。值得注意的是, 化石能源排放 CO_2 和总温室气体排放达峰时间可能并不一致, 延续情景中化石能源排放 CO_2 峰值出现于 2040 年, 而温室气体峰值出现滞后 4 年, 说明该情景下非 CO_2 温室气体的减排控制力度更加薄弱; 规划及强规划情景的结果则显示化石能源排放 CO_2 和总温室气体排放达峰时间同步。这要求中国未来在政策制定和实施时不仅要持续减缓化石能源排放 CO_2 , 还要重点关注其它温室气体的管控, 以确保温室气体排放总量与碳排放总量同步达峰。

另外, 尽可能提前达到峰值, 对于峰值排放量

表 3 中国三种政策情景下的温室气体关键排放数据

Table 3 Key GHG emission statistics of three scenarios for China

情景	达峰时间	峰值排放量/亿 $\text{t CO}_2\text{eq}$	2020—2060 年累积排放量/亿 $\text{t CO}_2\text{eq}$	达峰后线性下降速率/(亿 $\text{t CO}_2\text{eq/a}$)
延续情景	2044 年	194.09 [182.85~205.33]	7 549.89 [7 165.11~7 934.67]	0.22 [0.13~0.31]
规划情景	2030 年	144.28 [136.80~151.76]	5 306.07 [4 921.29~5 690.85]	1.54 [1.37~1.70]
强规划情景	2027 年	133.88 [127.85~139.90]	4 788.61 [4 403.83~5 173.40]	1.58 [1.39~1.76]

注: 中括号内数据为 90% 不确定区间。

有显著的影响,强规划情景较规划情景相比仅仅早3年达峰,但峰值年的排放量下降了7.2%(10.40亿t CO₂eq)。累积排放量的差距则更加明显,以2020—2060年区间进行统计,规划情景比延续情景累积减少温室气体排放2243.82亿t CO₂eq(峰值提前14年),强规划情景又比规划情景累积减少温室气体排放517.46亿t CO₂eq(峰值再提前3年),平均来看,达到峰值的时间每提前1年,就能促使2020—2060年间中国年平均温室气体排放量减少约3.96亿t CO₂eq,不过提前达峰也势必面临着更大的经济代价和技术要求,需进一步开展相关调研,确保合理统筹。

图3还给出了其它两项研究关于中国目前政策规划下至2030年的温室气体排放变化情况,Elzen等认为中国2020年、2030年的温室气体排放量在(125~134)亿t CO₂eq和(147~154)亿t CO₂eq^[6],本文考虑了2016年以来的能源政策更新,所以计算结果与之相比略偏低;而“气候行动跟踪计划”(Climate Action Tracker, CAT)^[28]认为中国2020年、2030年的温室气体排放量在(122~125)亿t CO₂eq和(132~141)亿t CO₂eq,较本文规划情景的估算偏低,更接近强规划情景,这可能是由于CAT低估了中国的人口增长情况。

3.2 中国与全球温室气体排放峰值的关系

中国的减排行动对全球意义重大,但因为全球排放总量的预估不确定性范围很大,所以中国究竟

能在多大程度上造成影响尚不明确,因此本文从两个极端角度出发,即全球最大程度减排和最低程度减排的条件下,探讨中国排放达峰对全球减排可能造成的最大和最小促进作用。全球排放路径采用CAT集成预估的结果^[25],CAT长期跟踪国际气候减缓政策,核心研究成员均为IPCC第三工作组报告主要作者,其集成预测的全球温室气体排放多情景路径考虑因素全面,因此全球未来可能出现的最大和最小两个极端排放路径不会超出其估算区间。

一个极端是全球排放得到最大程度控制(图4a),即各国于2025—2030年间完成其承诺的最严格INDCs目标(包括一些国家提出的有条件INDCs),并在2030年之后仍然保持同样的政策支持力度,这种背景下,全球不计中国的温室气体排放峰值为390.75亿t CO₂eq,于2031年达到,随后2031—2060年间线性下降速率为2.70亿t CO₂eq/a。如果以规划情景计入中国的排放量,全球峰值仍于2031年达到,排放量为534.89亿t CO₂eq,2031—2060年间线性下降速率为4.26亿t CO₂eq/a。若以强规划情景计入中国的排放量,虽然中国峰值提前了3年,但全球峰值依然出现在2031年,排放量为523.54亿t CO₂eq,2031—2060年间线性下降速率进一步提高到4.38亿t CO₂eq/a。由此可见,中国峰值在时间上的少量提前对促进全球排放峰值的尽早达成作用有限,但对峰值排放总量的下降和达峰后排放下降速率的加快意义重大。

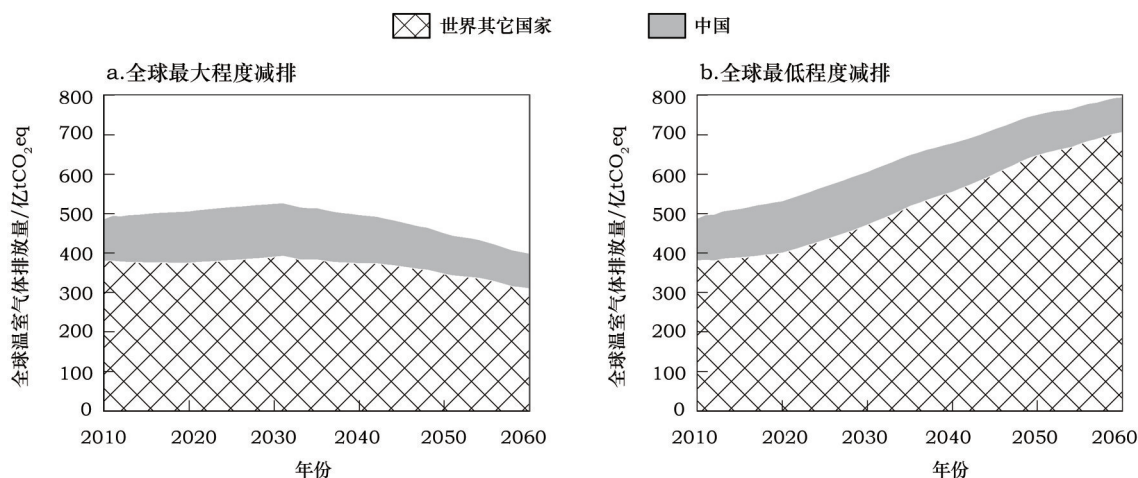


图4 中国温室气体强规划情景在全球最大程度减排和最低程度减排条件下占全球总排放的份额

Figure 4 Share of China's GHG emission in strengthened planning scenario for two different global view with all INDCs targets achieved and with no substantial progress on reduction

2017年12月

另一个极端是全球应对气候变化行动开展受到很大阻力(图4b),各国大多没能按预期推进实质性减排工作,INDCs目标没有达成或仅达到最低要求,这种背景下,全球不计中国的温室气体排放在未来50年没有达峰迹象,2060年排放量将增至704.50亿t CO₂eq,2021—2060年间线性上升速率为8.09亿t CO₂eq/a。以规划情景和强规划情景计入中国的排放量仅能小幅降低未来半个世纪的排放上升速率,分别为6.97亿t CO₂eq/a和6.76亿t CO₂eq/a(2021—2060年)。因此,虽然目前中国的温室气体排放总量占全球接近1/4左右,但仅靠中国的努力无法扭转排放增加趋势并促进全球峰值实现,必须加强国际合作与盘点来提供支持。

4 结论

本文利用从行业终端出发的化石能源CO₂排放模型,结合C-ROADS其它温室气体排放路径模拟,预测了中国三种不同减排政策支持力度下未来至2060年的温室气体排放水平变化,分析了峰值的时间、累积排放量等指标,并探讨了中国的行动对全球温室气体排放控制的贡献程度,结论及相应政策意义如下:

(1)中国近年来出台和实施的低碳政策显著控制了温室气体排放增加的趋势,在这些计划顺利完成的情况下,中国将于2030年达到温室气体排放峰值(144.28±7.48)亿t CO₂eq;而如果没有这些政策的支持,中国温室气体到2044年才能达峰,峰值可至(194.09±11.24)亿t CO₂eq,2020—2060年累积排放将增加42.3%。在政策实施过程中,要特别注意管控化石能源排放CO₂以外的其它温室气体,以确保温室气体排放总量与碳排放总量同步达峰。

(2)加快能源目标的实现有助于尽早达峰,假设中国在2025年达成2030年能源规划目标的情况下,温室气体排放达峰时间将提前到2027年,其峰值(133.88±6.03)亿t CO₂eq,2020—2060年累计排放量较2030年达峰的情景减少约517.46亿t CO₂eq,尽早达峰可使排放总量显著下降,平均来看,达到峰值的时间每提前1年,就能促使2020—2060年间中国年平均温室气体排放量减少约3.96亿t CO₂eq。在政策实施过程中,需注意提前实现能源目标并不意味着排放峰值能够提前相同的时间,

尽早达峰也要求更大的经济代价和技术支持,应谨慎规划。

(3)在各国INDCs承诺顺利实现的情况下,如果中国达峰时间从2030年进一步提前至2027年,不太可能改变全球排放达峰的时间(2031年),但可使全球排放峰值从约534.89亿t CO₂eq下降为523.54亿t CO₂eq,2031—2060年的全球排放量下降速率从4.26亿t CO₂eq/a提高到4.38亿t CO₂eq/a。如果一些排放大国无法完成其承诺目标,中国的达峰甚至不能改变全球排放的增加趋势。想要实现全球排放总量显著下降,中国未来还要积极推动国际合作、促进各国共同行动,这可能需要在峰值排放量、达峰后的排放下降速率方面提出更明确的目标。

参考文献(References):

- [1] Peters G P. The 'best available science' to inform 1.5°C policy choices[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(7): 646-649.
- [2] Rogelj J, Schaeffer M, Meinshausen M, et al. Zero emission targets as long-term global goals for climate protection[J]. *Environmental Research Letters*, 2015, 10(10): 105007.
- [3] Rogelj J, Den Elzen M, Höhne N, et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C[J]. *Nature*, 2016, 534(7609): 631-639.
- [4] Le Quéré C, Andrew R M, Canadell J G, et al. Global carbon budget 2016[J]. *Earth System Science Data*, 2016, 8(2): 605-649.
- [5] Jackson R B, Canadell J G, Quéré C L, et al. Reaching peak emissions[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(1): 7-10.
- [6] Elzen M D, Fekete H, Höhne N, et al. Greenhouse gas emissions from current and enhanced policies of China until 2030: can emissions peak before 2030?[J]. *Energy Policy*, 2016, 89: 224-236.
- [7] Mi Z F, Wei Y M, Wang B, et al. Socioeconomic impact assessment of China's CO₂ emissions peak prior to 2030[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 142: 2227-2236.
- [8] Sterman J, Fiddaman T, Franck T, et al. Climate interactive: the C-ROADS climate policy model[J]. *System Dynamics Review*, 2012, 28(3): 295-305.
- [9] 国务院办公厅. 能源发展战略行动计划(2014~2020年)[EB/OL]. (2014-06-07) [2017-11-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm. [General Office of the State Council of the People's Republic of China. Energy

- Development Strategy Action Plan (2014- 2020) [EB/OL]. (2014-06-07) [2017-11-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm.]
- [10] 国家能源局. 国家能源局关于建立可再生能源开发利用目标引导制度的指导意见[EB/OL]. (2016-02-29) [2017-11-01]. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201603/t20160303_2205.htm. [National Energy Administration. Guiding Opinions on Establishing a Guiding System for Renewable Energy Development and Utilization Targets[EB/OL]. (2016-02-29) [2017-11-01]. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201603/t20160303_2205.htm.]
- [11] IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [12] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects [EB/OL]. (2016-07) [2017-11-01]. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>.
- [13] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). GDP Long-Term Forecast[EB/OL]. (2016-12) [2017-11-01]. <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>.
- [14] The World Bank. World Development Indicators[EB/OL]. (2016-06) [2017-09-15]. <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.
- [15] International Energy Agency (IEA). World Energy Statistics and Balances[EB/OL]. (2016-07) [2017-11-01]. <http://www.iea.org/statistics/relateddatabases/worldenergystatisticsandbalances/>.
- [16] IPCC. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [17] 袁路, 潘家华. Kaya恒等式的碳排放驱动因素分解及其政策含义的局限性[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 210-215. [Yuan L, Pan J H. Disaggregation of carbon emission drivers in Kaya identity and its limitations with regard to policy implications[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2013, 9(3): 210-215.]
- [18] 王培安. 国家卫计委: 预计2030年我国总人口达14.5亿的峰值[EB/OL]. (2016-01-11) [2017-11-01]. http://news.xinhuanet.com/live/2016-01/11/c_1117730833.htm. [Wang P A. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China: Chinese population is supposed to reach the peak of 1.45 billion in 2030[EB/OL]. (2016-01-11) [2017-11-01]. http://news.xinhuanet.com/live/2016-01/11/c_1117730833.htm.]
- [19] 中国能源中长期发展战略研究项目组. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Project Group of Research on China's Medium and Long Term Energy Development Strategy. Research on China's Medium and Long Term (2030 and 2050) Energy Development Strategy [M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [20] 国家发展和改革委员会能源研究所. 中国2050高比例可再生能源发展情景暨路径研究[R]. 北京: 能源基金会研究报告, 2015. [Energy Research Institute of the National Development and Reform Commission. China 2050 high renewable energy penetration scenario and roadmap study[R]. Beijing: Research Report of Energy Foundation, 2015.]
- [21] International Energy Agency (IEA). Energy Technology Perspectives 2016[R]. Paris: Annual Report of Energy Technology Perspectives, 2016.
- [22] Schäfer A. Structural change in energy use[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(4): 429-437.
- [23] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Industrial Development Report 2013[R]. Vienna: Industrial Development Report Series, 2013.
- [24] Vuuren V D P, Edmonds J, Kainuma M, *et al*. The representative concentration pathways: an overview[J]. *Climatic Change*, 2011, 109: 5-31.
- [25] Climate Action Tracker. How close are INDCs to 2 and 1.5°C pathways?[R]. Berlin: CAT Publications, 2015.
- [26] Ding R, Li J. Nonlinear finite-time Lyapunov exponent and predictability[J]. *Physics Letters A*, 2007, 364(5): 396-400.
- [27] Climate Interactive. UN Climate Pledge Analysis[EB/OL]. (2017-04) [2017-11-01]. <https://www.climateinteractive.org/programs/scoreboard/>.
- [28] Climate Action Tracker. China[EB/OL]. (2017-03) [2017-11-01]. <http://climateactiontracker.org/countries/china.html>.

China's greenhouse gas emissions in low-carbon planning and contribution to global reductions

LIU Yang^{1,2}, ZHENG Jingyun^{1,2}, GE Quansheng^{1,2}, WANG Fang¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on a final energy sector-based emission model and data from the United Nations, World Bank, International Energy Agency and plans released by the Chinese government, three scenarios were designed according to the strength of policies to address climate change in China and project greenhouse gases (GHG) emissions until 2060. We analyzed the time of the GHG emission peak and cumulative emissions for China, as well as their relationships with global GHG emission variation. We found that China will reach a GHG emission peak in 2030 ($14.428 \pm 0.748 \times 10^9$ tCO₂eq) when all existing energy policies fully implemented, and the reduction in cumulative emissions from 2020 to 2060 is 224.382×10^9 tCO₂eq compared to scenarios without mitigation. Accelerating energy target achievement is helpful in peaking earlier. For example, when China's energy targets for 2030 are achieved five years earlier in 2025, the emission peak only moves three years earlier in 2027 ($13.388 \pm 0.603 \times 10^9$ tCO₂eq), and cumulative emissions from 2020 to 2060 falls by 51.746×10^9 tCO₂eq compared with the scenario peaking at 2030. Peaking earlier is significant to total cumulative emission reduction. If all countries accomplish their INDCs, three years ahead of China's peak of 2030 to 2027 is unlikely to change the time of the global peak in 2031. However, the global peak declines from 53.489×10^9 tCO₂eq to 52.354×10^9 tCO₂eq, and promotes declining emission trends from 426×10^6 tCO₂eq/year to 438×10^6 tCO₂eq/year from 2031 to 2060.

Key words: GHG emission; policy planning; emission peak; global emission reduction; low-carbon development; scenario analysis; China