

2016-2060年欧美中印CO₂排放变化模拟及其与INDCs的比较

葛全胜^{1,2}, 刘 洋^{1,2}, 王 芳¹, 郑景云^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院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: 研究各国在未来政策实施下温室气体排放量变化, 对比其与国家自主贡献预案(INDCs)承诺目标的差别, 对促进各国继续提高温室气体减排力度、加强国际合作, 实现全球应对气候变化的长期目标有重要意义。基于最新的各国经济和能源数据, 构建了化石能源CO₂排放的动态模型, 通过设置“延续”和“规划”两类情景, 模拟了欧盟、美国、中国、印度2016-2060年的CO₂排放量变化, 并与各自的INDCs进行了对比。结果显示: ① 中国在全部实现既有政策规划的前提下, 将于2030年达到CO₂排放峰值, 约11277±643 Mt CO₂, 比延续过往发展趋势的情景提前10年达峰, 峰值降低接近3000 Mt CO₂; 2030年单位GDP碳强度比2005年下降约63.6%, 一次能源消耗中非化石能源占比约24.7%, 能够实现中国提出的INDC目标。② 在全部实现既有政策规划的前提下, 欧盟和美国CO₂排放量有明显下降, 印度CO₂排放增速将明显放缓, 欧盟和印度基本可以实现INDCs的最低要求, 但美国与其最低承诺目标尚有差距。③ 各国INDCs目标均有力度, 其中以中国和美国最为突出。但要在INDCs目标基础上, 更进一步减缓全球变暖, 确保21世纪末气温上升幅度低于2℃甚至1.5℃, 发达国家需进一步推进减排举措、技术、资金等的落实, 包括带头推进碳捕获与封存技术, 以尽早实现CO₂排放负增长, 并对发展中国家提供资金和技术支持。

关键词: 二氧化碳(CO₂); 排放变化; 国家自主贡献预案(INDCs)

DOI: 10.11821/dlxb201801001

1 引言

在2015年12月召开的联合国气候变化框架公约(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)第21次缔约方大会上, 各方达成了全球气候变化《巴黎协定》(Paris Agreement), 并于2016年11月4日正式生效。根据协定内容, 各国将加强应对气候变化行动, 使21世纪末全球平均温度升幅比工业化前控制在2℃以内, 并努力把升温控制在1.5℃之内, 以大幅减少气候变化的风险和影响。《巴黎协定》没有强制规定各国的温室气体排放量, 而采取各国根据自身情况确定应对气候变化行动目标, 以“国家自主贡献”预案(Intended Nationally Determined Contributions, INDcs)

收稿日期: 2017-03-05; 修订日期: 2017-09-28

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFA0602704); 国家自然科学基金项目(41771050); 科技部改革发展专项“巴黎会议后应对气候变化紧迫重大问题研究”[**Foundation:** National Key Research and Development Program of China, No.2016YFA0602704; National Natural Science Foundation of China, No.41771050; Reform and Development Research Program of Ministry of Science and Technology "Imperative and significant problems to addressing climate change after Paris Conference"]

作者简介: 葛全胜(1963-), 男, 安徽安庆人, 博士, 研究员, 主要从事全球变化研究。E-mail: geqs@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 郑景云(1966-), 男, 福建莆田人, 硕士, 研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: zhengjiy@igsnrr.ac.cn

的方式参与全球应对气候变化行动,并在未来每5年对全球行动总体进展进行一次盘点,重新设定各自的减排目标。因此,研究世界主要经济体的CO₂排放变化特征及其在新减缓政策实施下的未来排放量变化,对促进各国继续提高力度、加强国际合作,以实现全球应对气候变化的长期目标具有重要意义。

截至2016年12月6日,已有190个国家或集团向联合国提交了163份INDCs,提出2025年或2030年前的自主贡献目标。然而,Rogelj等^[1]综合评估了10项研究发现:按照现有INDCs情景,至21世纪末,全球的温升幅度为2.6~3.1℃,即超出2℃阈值的概率极大。因此,为实现2℃甚至1.5℃目标,在保证国际公平的条件下继续加强INDCs力度必将是今后气候变化谈判的重点^[2]。近年来也陆续开展了针对INDCs的相关研究,如Greenblatt等^[3]认为美国在现有减排政策均按预期实施的情况下也不太可能完成2025年INDC承诺目标;Dai等^[4]评估了中国在哥本哈根会议上提出的2020年减缓承诺,认为在当时的政策力度下完成2020年目标尚有所欠缺;气候行动跟踪计划(Climates Action Tracker, CAT)结合各国公布的政策文件和国际能源署(International Energy Agency, IEA)发布的参照情景,也估计了未来关键年政策干预下主要国家或集团的温室气体排放量,给出其对实现2℃目标的充分性^[5]。

当前针对各国政策执行下温室气体排放量变化及其与INDCs的关系研究还较少,本文将重点探讨世界主要排放国(经济体)未来CO₂排放量变化,并评估其对国家INDCs完成的影响。本文将基于各国1971年以来的社会经济发展数据与能源消耗数据,建立社会经济发展指标与CO₂排放量之间的定量关系,利用模型模拟主要排放国未来化石能源CO₂排放的变化,并对各国政策干预所导致的减排量及其是否能完成INDCs目标等方面做出评估,从而为今后相关工作的深入开展提供参考。

2 数据和方法

2.1 数据

本文采用的数据主要为经济发展数据和能源消耗数据,根据数据时间可分为历史统计数据 and 未来预测数据。其中历史统计数据包括:①世界银行发布的1960-2016年全球各国经济发展数据^[6];②国际能源署发布的1971-2015年全球各国能源平衡数据^[7];③IPCC(政府间气候变化专门委员会)国家温室气体清单指南提供的不同化石能源CO₂排放系数^[8]。未来预测数据包括:①联合国人口展望计划(WPP)预测的2016-2100年全球各国人口变化情景^[9];②经济合作与发展组织(OECD)预测的全球主要经济体2016-2060年国内生产总值(GDP)变化^[10]。

2.2 方法

CO₂排放主要来自化石能源燃烧,而能源消耗量由社会经济、人民生活中各行业的需求所决定,因此政策对于能源结构、经济增长、人口数量等的调控将直接或间接影响CO₂排放。Kaya分解是描述这一关系的最简化公式,即:

$$\text{CO}_2\text{排放} = \text{人口} \times \text{人均国民生产总值} \times \text{单位生产值能耗} \times \text{单位能耗排放} \quad (1)$$

该公式被IPCC历次评估报告用于分析影响排放的主要因素^[11-12]。本文则在Kaya分解基础上,通过分析各部门终端能源消耗强度、终端能耗与一次能源消耗间的转换效率、能源结构等与人均GDP之间的统计特征,进一步构建分部门细化模型;然后结合最新的减缓政策,设置不同发展情景,模拟不同情景下未来各国CO₂排放水平的变化。

2.2.1 模型构建 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^[13-15], 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关系^[13]。本文在这些研究的基础上, 通过分析最新发布的历史经济和能源数据进一步发现, 分部门终端能源消耗强度、终端能源消耗与一次能源消耗间的转换效率、能源结构等与人均GDP之间亦存在良好的统计关系(表1)。因此, 对经典Kaya公式进行深入分解, 可以从人均GDP变化出发, 利用各指标间的统计关系, 先推算出相应水平下分部门终端能源消耗量以及一次能源消耗总量, 再根据能源结构数据推算一次能源消耗量中化石燃料的比例以及由此导致的CO₂排放量。

表1 排放模型中涉及变量的参数化函数模型

Tab. 1 Parameterized functions of variables in the emission model

变量指标	适用地区	模型函数关系	解释方差量
第一产业比重 GDP_1	全球	$y=1-Gp^{0.886}/(619^{0.886}+Gp^{0.886})$	0.924
第三产业比重 GDP_3	全球	$y=\text{Arctan}(Gp \times 1.83E-4) \times 0.814/(\pi/2)$	0.685
农业能耗强度 EI_1	中国及欧洲和中亚发展中国家	$y=(0.0033+0.0207 \times Gp)^{-1/1.23}$	0.974
农业能耗强度 EI_1	全球其他地区	$y=4.41 \times (1+Gp)^{-0.209}$	0.728
工业能耗强度 EI_2	南亚、非洲及拉美发展中国家	$y=49.1 \times (1+Gp)^{-0.286}$	0.862
工业能耗强度 EI_2	全球其他地区	$y=(6.22E-5+6.13E-4 \times Gp)^{-1/1.38}$	0.952
服务业能耗强度 EI_3	欧洲国家及中亚发展中国家	$y=44.8 \times (1+Gp)^{-0.436}$	0.510
服务业能耗强度 EI_3	其他发展中国家	$y=1/(33.0 \times Gp^{1.00175-1}-32.8)$	0.554
服务业能耗强度 EI_3	美洲发达国家	$y=935 \times (1+Gp)^{-1.17}$	0.953
居民生活能耗强度 EI_4	全球	$y=1/(0.00656 \times Gp^{1.73-1}-0.00186)$	0.933
其他终端能耗强度 EI_5	全球	$y=1/(0.242 \times Gp^{1.39-1}-0.0974)$	0.656
终端非能源消耗比重 EI_6	全球	$y=0.126-0.126/(1+(Gp/4.64)^{0.944})$	0.596
终端电力热力比重 FE_p	全球(除中东地区)	$y=0.0475 \times Gp^{0.0574}$	0.691
终端化石能源与可再生 能源消耗之比 FE_f/FE_r	全球(除中东地区)	$z=(Gp-14)/13,$ $y=35.9 \times \exp(1-\exp(-z)-z)$	0.470

图1为模型结构示意图, 式(2)为对应的计算矩阵。表1给出了模型中各主要变量与人均GDP的拟合函数, 这些模型是在满足能源经济理论关系的前提下, 利用世界9个地区1971-2015年的历史统计数据, 从origin统计软件提供的拟合函数库中筛选解释方差量(R^2)最高者而得出的。图2以居民生活能耗强度为例给出了拟合曲线, 可见随着人均GDP增加居民生活能耗强度逐渐下降, 二者间呈现负指数幂函数

关系。值得注意的是部分指标, 如服务业能耗强度与人均GDP的变化关系在全球不同地区间存在较大差异, 所以需要分别建立拟合函数。表1同时给出了各指标拟合函数的方

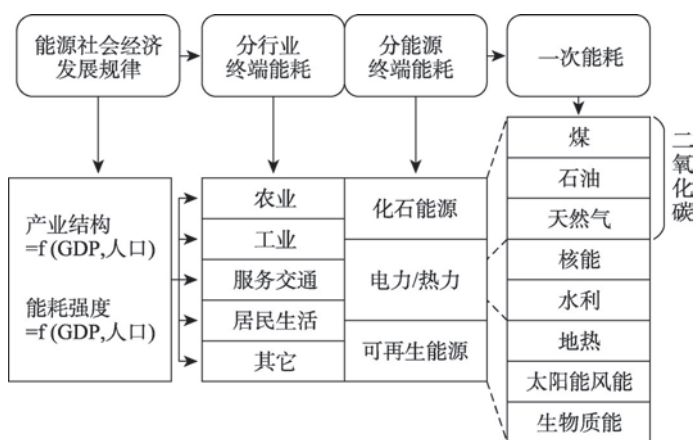


图1 模型结构示意图

Fig. 1 Overview of the emission model

差解释量, 回归模型全部通过0.01显著性水平检验, 说明相应能源指标的变化与经济发展显著相关, 且由于围绕趋势变化的高频年际波动对全球累积排放总量影响甚微^[6], 因此可以根据这些模型来推测未来排放的趋势变化。

$$CO_2 = \left(\sum GDP \times EI_i(GDP, Po) \right) \times \begin{bmatrix} FE_f \\ FE_p \\ FE_r \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} F_f & F_p \times TE_f & 0 \\ 0 & N_p \times TE_n & 0 \\ 0 & H_p \times TE_h & 0 \\ 0 & G_p \times TE_g & G_r \\ 0 & S_p \times TE_s & S_r \\ 0 & B_p \times TE_b & B_r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum PE_j \times CC_j \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: GDP 表示国内生产总值; Po 表示人口; Gp 表示人均 GDP (以购买力平价计量, 购买力平价是考虑各国物价水平差异后调整的 GDP 数值, 用于跨国比较, 由联合国统计局、世界银行等组织定期调查公布); EI_i 表示分行业 (农业、工业、服务业、交通、居民生活及其他) 终端能耗强度; FE 表示分能源终端能耗百分比 (下标 f 、 p 、 r 分别指化石能源、电力热力及可再生能源); F_f 表示化石能源终端到一次能耗比率, G_r 、 S_r 、 B_r 分别表示地热、太阳能风能及生物质能终端到一次能耗比率; F_p 、 N_p 、 H_p 、 G_p 、 S_p 、 B_p 分别表示化石 (Fossil)、核能 (Nuclear)、水能 (Hydro)、地热 (Geothermal)、太阳能风能 (Solar and wind) 及生物质能 (Biofuels and Waste) 占电力热力产出的比例; TE 表示对应能源的热效率 (Thermal Efficiency); PE_j 、 CC_j 分别表示煤炭、原油、天然气占一次化石能源消耗的百分比和 CO_2 排放系数。

2.2.2 情景设计 本文设计了两种未来发展情景, 一是“延续情景”, 二是“规划情景”。

“延续情景”是指保持过去几十年经济发展规律情况下未来的排放水平变化, 也称为基线情景, 即“没有附加和明确气候变化减缓工作的情况”。这一情景首先要确定各国未来人口总数和经济总量的逐年变化并计算人均 GDP , 其中人口总数参照各国政府发布的未来人口规划, 从联合国人口展望计划^[9]中选择匹配的情景, 如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14.5亿左右的峰值^[17], 到21世纪中叶, 中国人口总量仍将保持在13.8亿人左右, 基本介于联合国人口展望计划的高增长率和中增长率情景之间, 因此取二者的平均值作为中国未来的人口变化输入序列。 GDP 以 OECD 的预测为基础, 参考各国政府发布的经济规划加以调整, 以中国为例, OECD 预测2020年中国 GDP 总量为2010年的194%, 而中国“十三五”规划到2020年 GDP 总量达到2010年的200%, 所以对 OECD 预测的 GDP 增长率做小幅上调使之满足国家规划。据此, 可得出2016-2060年人均 GDP 变化情况, 代入模型中即可计算未来逐年的 CO_2 排放量。需

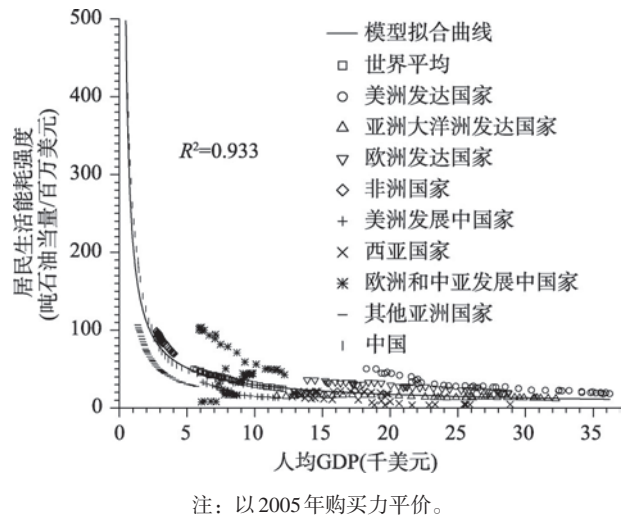


图2 居民生活能耗强度与人均 GDP 关系曲线
Fig. 2 Relational curve between energy intensity of household and GDP per capita

要说明的是, 各清洁能源产能占比、化石能源结构和产能效率等指标受各国自身资源、技术水平影响差异很大, 尤其是清洁能源产能占比, 即使欧美发达国家目前比重也都很低, 且处在快速增长的阶段, 因此这些指标未来的变化采用逻辑增长函数进行模拟, 延续情景中假设发展中国家在人均GDP增至4.5万美元(2005年购买力平价, 下同)时达到当前世界领先水平, 发达国家则根据过去十年的变化趋势向后线性外推。

“规划情景”是指考虑了各国最新发布的气候相关政策, 即“有附加和明确气候变化减缓工作的情况”下未来排放水平的变化。这一情景采用的人口指标数据同延续情景; 经济增幅在一定程度上会受到减缓政策的抑制, 目前尚未有准确的评估结果, 本文参考的IPCC对多模式集成的评估结果^[12], 认为减排会导致2050年规划情景的经济增长比延续情景减少1.5%左右。未来排放量的计算主要通过将各国未来经济能源指标的规划值引入模型来实现, 如延续情景下中国2020年天然气占一次能源消费比重为7.5%, 《能源发展战略行动计划(2014-2020)》规划到2020年中国天然气占一次能源消费比重达到10%左右^[18], 因此, 在规划情景中采用通过点(2020年, 10%)的逻辑增长函数来模拟天然气比重变化, 具体各国家/集团的规划指标详见结论中对应部分。此外, 能耗强度数据是参照国际能源署的能源技术展望^[19], 假定至2060年规划情景能耗强度比延续情景多下降20%左右。

图3给出了中国、欧盟、美国和印度在2016-2060年间延续情景(虚线)和规划情景(实线)排放水平的变化, 阴影所示的不确定区间是通过非线性情形下Logistic映射初始误差随时步的平均增长函数计算^[20]。表2给出了4个国家/集团的INDCs, 为了便于与模拟预测结果进行对比, 参照CAT的方法^[5]将各国INDCs转换成不考虑土地利用和森林变化的绝对排放量, 表3同时给出了两种情景下各国关键年的排放量预测值及其误差范围。

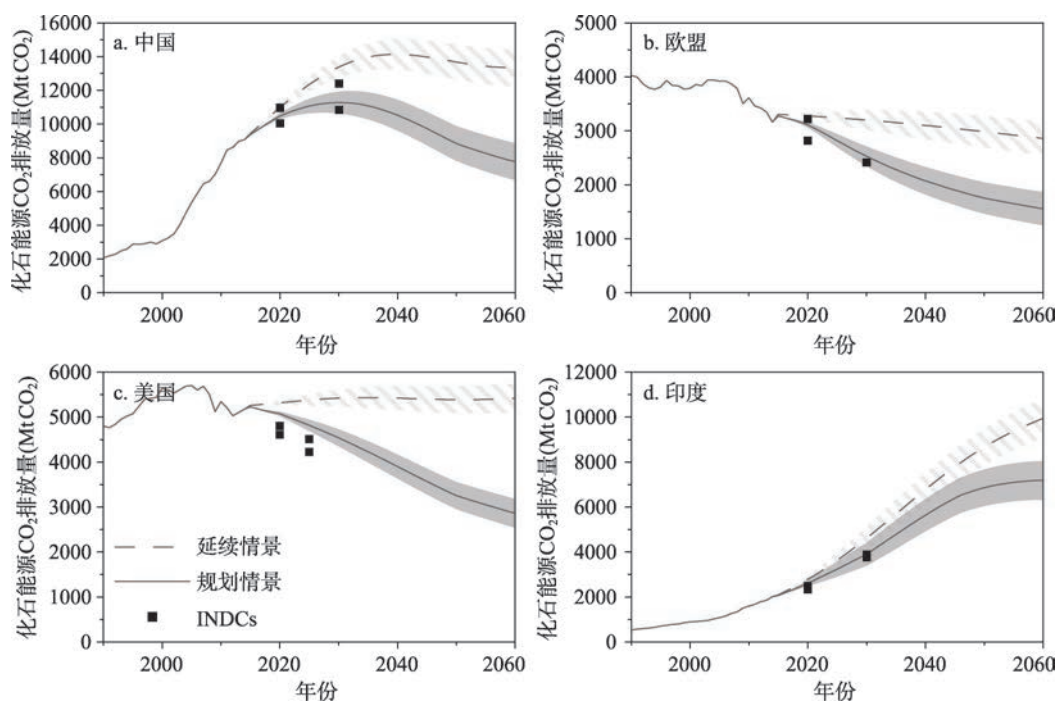


图3 延续情景与规划情景下未来化石能源CO₂排放量变化及其与INDCs对比

Fig. 3 CO₂ emissions from fuel combustion of extending and planning scenarios with comparison to INDCs

表2 中国、欧盟、美国和印度的INDCs (关于能源和排放方面)
Tab. 2 Energy and emissions related INDCs of China, EU, US and India

国家/集团	2020年目标	2030年目标
中国	单位GDP碳强度比2005年下降40%~45% 非化石能源比例达到15%	单位GDP碳强度比2005年下降60%~65% 非化石能源比例达到20%
欧盟	排放量比1990年下降20%~30%	排放量至少比1990年下降40%
美国	排放量比2005年下降17%	排放量比2005年下降26%~28%
印度	单位GDP排放量比2005年下降20%~25%	单位GDP排放量比2005年下降33%~35% 非化石能源产能占装机总量的40%

表3 中国、欧盟、美国、印度规划情景、延续情景下CO₂排放量(Mt CO₂)
预测及误差范围与INDCs中值的比较

Tab. 3 CO₂ emissions of extending and planning scenarios and median of INDCs for China, EU, US and India

国家/ 集团	规划情景CO ₂ 排放量		延续情景CO ₂ 排放量		INDCs中值		延续情景减INDCs中值	
	2020年	2025/2030年	2020年	2025/2030年	2020年	2025/2030年	2020年	2025/2030年
中国	10478±167	11277±643	10981±167	13384±643	10508	11622	473	1762
欧盟	3111±47	2529±181	3275±47	3200±181	3018	2414	257	786
美国	5074±49	4818±124	5319±49	5379±124	4706	4370	613	1053
印度	2614±131	3907±507	2790±131	4622±507	2420	3827	370	795

3 结果与讨论

3.1 各主要国家的未来CO₂排放变化及其与INDCs间的差距

3.1.1 中国 中国在延续情景下的模拟结果(图3a)显示,未来20年化石能源CO₂排放仍将持续增多,到2020年排放量为10981±167 Mt CO₂,单位GDP碳强度比2005年下降39.9±0.9%,一次能源消耗中非化石能源占比13.5±0.7%,接近2020年中国INDC的最低要求;但到2030年排放量为13384±643 Mt CO₂,单位GDP碳强度比2005年下降57.4±2.0%,一次能源消耗中非化石能源占比19.8±2.5%,2040年达到排放峰值14134±906 Mt CO₂之后缓慢下降,因此保持过往的经济社会发展模式很可能不足以达到2030年中国INDC的较低目标。

在2009年哥本哈根气候大会后,中国相继出台并实施了一系列加强减排的政策措施,主要包括:①《能源发展战略行动计划(2014-2020)》规划到2020年一次能源消费总量控制在48亿t标准煤左右,其中天然气比重达到10%以上,煤炭消费比重控制在62%以内,核电装机容量达到58 GW,常规水电装机达到350 GW左右,风电装机达到200 GW,光伏装机达到100 GW左右,地热能利用规模达到5000万t标准煤^[18];②《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》规划到2020年除专门的非化石能源生产企业外,各发电企业非水电可再生能源发电量应达到全部发电量的9%以上等^[21]。规划情景(图3a)模拟了这些目标均按预期完成并且后续仍有政策支持情况下化石能源CO₂排放的变化,确保完成INDC的较低目标,接近完成较高目标,其中关键时间节点2020年排放量为10478±167 Mt CO₂,单位GDP碳强度比2005年下降42.7±0.9%,一次能源消耗中非化石能源占比16.1±0.7%;到2030年排放量达到峰值11277±643 Mt CO₂,单位GDP碳强度比2005年下降63.6±2.0%,一次能源消耗中非化石能源占比24.7±2.5%,之后排放水平快速下降。考虑到中国未来还将启动全国碳交易市场,为进

一步为碳减排提供持续有力保障, 因此有机会超额完成既定的INDC目标。

3.1.2 欧盟 1990年以来欧盟化石能源CO₂排放已呈现出波动下降的趋势, 延续情景下欧盟会继续保持缓慢的下降速率(图3b), 到2020年排放量为3275±47 Mt CO₂, 比1990年减少18.6±1.2%, 到2030年排放量为3200±181 Mt CO₂, 比1990年减少20.5±4.5%, 尚不能达到其INDC最低目标。欧盟针对减排的主要政策包括: ①《2020气候和能源一揽子计划》规划到2020年能效提高20%, 可再生能源比例至少占20%^[22]; ②《2030气候和能源框架》规划到2030年能效提高27%, 可再生能源比例至少占27%, 其中电力部门需达到45%^[23]等。如果这些目标能如期达成, 即规划情景(图3b)下欧盟化石能源CO₂排放将持续快速下降, 到2020年排放量为3111±47 Mt CO₂, 比1990年减少22.7±1.2%, 至少能实现INDC最低目标; 到2030年排放量为2529±181 Mt CO₂, 比1990年减少37.2±4.5%, 与INDC目标仅有微小差距。

3.1.3 美国 美国人均能源消耗高居世界第一, 化石能源CO₂排放量在过去几十年间均保持极高水平, 延续情景下未来半个世纪排放量仍将在5500 Mt CO₂/yr左右, 明显高于其INDC(图3c)。美国发布的主要减排政策包括: ①《清洁能源计划》规划通过低碳发电、提升需求侧能效等措施, 使2030年前产能行业排放比2005年下降32%^[24]; ②《美国-巴西气候变化联合声明》中提出2030年前非水电可再生能源发电比例提升到20%等^[25]。如果这些目标能如期达成, 规划情景(图3c)下美国化石能源CO₂排放将显著下降, 至2060年降至2860±318 Mt CO₂, 但在2020年和2025年与INDC最低目标尚有一定差距, 分别为272±49 Mt CO₂和303±124 Mt CO₂的差距。

3.1.4 印度 未来印度将成为最大的发展中国家, 2060年前经济、人口均快速增长, 相应的排放量持续攀升。延续情景(图3d虚线)下, 2020年、2030年化石能源CO₂排放量将达到2790±131 Mt CO₂、4622±507 Mt CO₂, 超出其INDC设定的目标, 2060年更将增至9085±860 MtCO₂。印度的主要政策指标来自《第十二个五年计划》^[26]、《国家太阳能计划》^[27]及印度新能源与可再生能源部定期发布的规划文件等^[28], 提出2022年可再生能源累计装机容量达到175 GW(包括太阳能100 GW、风能60 GW、生物质能10 GW、小水电5 GW), 最终在2030年实现非化石能源产能占装机总量的40%。规划情景下印度2020年、2030年化石能源CO₂排放量为2614±131 Mt CO₂、3907±507 Mt CO₂, 基本符合其INDC最低目标(图3d); 2060年排放量为7190±860 Mt CO₂, 接近其排放峰值。

3.2 横向对比

首先来看各国新提出的INDCs相比于“没有附加和明确气候变化减缓工作的情况”下减少了多少温室气体排放, 可以用延续情景与INDCs中值间的差距来衡量(表3), 4个国家/集团提出的INDCs均显著低于延续情景对应年的排放量且差距均随时间增长, 说明各国的承诺目标都是有力度的, 其中又以中国和美国最为突出。前文分析表明在完全实现既有减排政策规划的情况下, 中国、欧盟和印度有较大可能完成INDCs最低目标, 但都不太可能达到INDCs最高目标, 而美国对其最低目标尚有300 Mt CO₂左右的差距。此外, 从规划情景的能源结构来看当前INDCs的基础上进一步减排的潜力, 以中国、印度为代表的发展中国家大大提高了清洁能源取代化石能源的进程, 清洁能源所占比例远远高于发达国家相同人均GDP情况下的水平, 如中国清洁能源占一次能源比例达1/4时人均GDP为2.59万美元, 而美国在此比例时人均GDP高达5.11万美元, 可以说发展中国家已经尽到了力所能及范围内的最大努力, 虽然排放总量依然很高, 但想要进一步减少温室气体排放, 必须依赖发达国家给予技术或资金支持。另外, 发达国家在21世纪中期以后将形成清洁能源主导的能源结构, 如欧盟2060年清洁能源占一次能源比重超过3/4,

单纯的减少排放作用不再明显,需要推进碳捕获与封存技术,以期尽早实现CO₂的负排放。

本文利用历史能源、经济统计数据建立了CO₂排放模型,对政策支持下中国、欧盟、印度、美国四个国家/集团未来的排放水平变化进行了定量预测,并在统计方法上有所改进。但值得注意的是,原始数据方面仍存在不少有待完善之处,比如国际能源署数据与中国国家统计局数据统计口径不一致、更新不同步,以及发展中国家清洁能源数据统计不全面等,这些问题也是未来定期盘点需要着重关注的方面。

4 结论

本文通过构建化石能源CO₂排放的动态模型,模拟了中国、欧盟、印度、美国4个国家/集团2016-2060年发展延续和政策规划两类情景的CO₂排放量逐年变化,并与各国INDCs对比,得到以下结论:

① 中国在全部实现既有政策规划的前提下,将于2030年达到CO₂排放峰值约11277 Mt CO₂,比延续过往发展趋势的情景提前10年达峰,峰值降低接近3000 Mt CO₂;2030年单位GDP碳强度比2005年下降约63.6%,一次能源消耗中非化石能源占比约24.7%,能够实现中国在巴黎气候大会前提出的INDC目标。

② 在全部实现既有政策规划的前提下,欧盟和美国CO₂排放量有明显下降,印度CO₂排放增速将明显放缓,欧盟和印度基本可以实现INDCs的最低要求,但美国与其最低承诺目标尚有差距。

③ 各国INDCs目标均有力度,其中以中国和美国最为突出。但要在INDCs目标基础上,更进一步减缓全球增暖,确保21世纪末气温上升幅度低于2℃甚至1.5℃,需发达国家进一步推进减排举措、技术、资金等的落实,包括带头推进碳捕获与封存技术,以尽早实现CO₂排放负增长,并对发展中国家提供资金和技术支持。

参考文献(References)

- [1] Rogelj J, Den Elzen M, Höhne N, et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2℃. *Nature*, 2016, 534(7609): 631-639.
- [2] Ding Z L, Duan X N, Ge Q S, et al. On the major proposals for carbon emission reduction and some related issues. *Science China Earth Sciences*, 2010, 53(2): 159-172.
- [3] Greenblatt J B, Wei M. Assessment of the climate commitments and additional mitigation policies of the United States. *Nature Climate Change*, 2016, 6: 1090-1093.
- [4] Dai H, Masui T, Matsuoka Y, et al. Assessment of China's climate commitment and non-fossil energy plan towards 2020 using hybrid AIM/CGE model. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2875-2887.
- [5] Climate Action Tracker. Countries. <http://climateactiontracker.org/countries.html>, 2016-11-02.
- [6] The World Bank. World Development Indicators. <http://data.worldbank.org.cn/data-catalog/world-development-indicators>, 2016-06.
- [7] International Energy Agency (IEA). World Energy Statistics and Balances. <http://www.iea.org/statistics/relateddatabases/worldenergystatisticsandbalances/>, 2016-07.
- [8] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES, 2006. Volume 2.
- [9] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>, 2016-07.
- [10] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). GDP long-term forecast. <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>, 2016-12.

- [11] IPCC. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007: 95-250.
- [12] 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. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014: 1-1435.
- [13] Schäfer A. Structural change in energy use. *Energy Policy*, 2005, 33(4): 429-437.
- [14] Grubb M, Sha F, Spencer T, et al. A review of Chinese CO₂ emission projections to 2030: The role of economic structure and policy. *Climate Policy*, 2015, 15(S1): S7-S39.
- [15] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Industrial Development Report 2013. Switzerland: UNIDO, 2013: 15-36.
- [16] Wilks D S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. USA: Academic Press, 2011: 395-458.
- [17] Wang Peian. 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. Beijing: Xinhuanet. http://news.xinhuanet.com/live/2016-01/11/c_1117730833.htm, 2016-01-11. [王培安. 国家卫计委: 预计 2030 年我国总人口达 14.5 亿的峰值. 北京: 新华网, http://news.xinhuanet.com/live/2016-01/11/c_1117730833.htm, 2016-01-11.]
- [18] General Office of the State Council of the People's Republic of China. Energy Development Strategy Action Plan (2014-2020). http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm, 2014-06-07. [国务院办公厅. 能源发展战略行动计划(2014-2020 年). http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm, 2014-06-07.]
- [19] International Energy Agency (IEA). Energy Technology Perspectives 2016. France: IEA, 2016: 1-418.
- [20] Ding R, Li J. Nonlinear finite-time Lyapunov exponent and predictability. *Physics Letters A*, 2007, 364(5): 396-400.
- [21] National Energy Administration. Guiding Opinions on Establishing a Guiding System for Renewable Energy Development and Utilization Targets. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201603/t20160303_2205.htm, 2016-02-29. [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. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201603/t20160303_2205.htm, 2016-02-29.]
- [22] European Commission. 2020 climate & energy package. <http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020>, 2009.
- [23] European Commission. 2030 climate & energy framework. <http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030>, 2014-10.
- [24] United States Environmental Protection Agency. Clean Power Plan. <https://www.epa.gov/cleanpowerplan>, 2015-08.
- [25] WHITE HOUSE. U. S. -Brazil Joint Statement On Climate Change. <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/06/30/us-brazil-joint-statement-climate-change>, 2015-06-30.
- [26] Planning Commission Government of India. Twelfth Five Year Plan (2012-17). <http://planningcommission.gov.in/plans/planrel/fiveyr/welcome.html>, 2013.
- [27] Ministry of New and Renewable Energy Government of India. Jawaharlal Nehru National Solar Mission. <http://mnre.gov.in/related-links/jnnsn/introduction-2/>, 2010.
- [28] Ministry of New and Renewable Energy Government of India. Schemes for Installing Large Solar Power Plants. <http://pib.nic.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=119779>, 2015-04-27.

Simulated CO₂ emissions from 2016-2060 with comparison to INDCs for EU, US, China and India

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

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

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

Abstract: Examining the CO₂ emissions by country in the future whether the mitigation plans are implemented or not, as well as their comparison with INDCs, is important to promote the ambition and cooperation on global long-term goal of climate change. A dynamic model of CO₂ emissions from fuel combustion is established based on statistical analysis between economy and energy development using the latest data from the World Bank and International Energy Agency. Extending and planning scenarios are designed according to whether there exist additional and explicit efforts to mitigate climate change. Then annual CO₂ emissions during 2016-2060 for the European Union, the United States, China and India are simulated and compared with INDCs respectively, from which three main conclusions are derived. (1) In planning scenario China will achieve its INDCs. For detail, the CO₂ emissions per unit of GDP in China will be 63.6% lower than the level of 2005 and the share of non-fossil fuels in primary energy consumption will increase to 24.7%. Besides, China will reach the emission peak 11277 ± 643 Mt CO₂ in 2030, which is 10 years earlier and almost 3000 Mt CO₂ lower than the peak of extending scenario. (2) In planning scenario, the CO₂ emissions of EU and US will significantly decrease and the growth rate of India will slow down, which makes EU and India achieve their INDCs likely but US still has a gap around 300 Mt CO₂. (3) INDCs are ambitious for all countries, especially for China and US. However, making further efforts on global warming mitigation to control the temperature rise below 2 °C or even 1.5 °C, which requires the developed countries to play an important role on policy, technique and finance, including promoting carbon capture and storage technique, achieving negative growth of CO₂ emissions, and providing support for developing countries.

Keywords: carbon dioxide; emission variation; INDCs