

中国碳减排成效评估、后进地区识别与路径优化*

田云 陈池波

(中南财经政法大学工商管理学院,湖北 武汉 430073)

内容提要:本文综合评估了2005—2016年中国大陆30个省区的碳减排成效,在此基础上识别出减排“后进地区”,并借助脱钩模型和影子价格模型对其进行减排路径的调整与优化。研究表明:(1)大多数地区已提前实现或有潜力实现2020年和2030年碳减排目标,但同时也存在山西、内蒙古、海南等9个减排“后进地区”,主要分布于我国中部和西部;(2)减排“后进地区”碳排放与经济发展之间的脱钩关系表现出了“以强弱脱钩为主”“前期多种脱钩类型并存但后期以强弱脱钩为主”以及“整个考察期内多种脱钩类型并存”等不同形态,反映出不同类型地区碳排放与经济增长的关系存在明显差异;(3)遵循可行性与公平性原则,科学调整了各“后进地区”的碳减排目标并优化了其实践路径。研究结果能够为切实践行绿色发展理念、不断完善碳减排策略提供数据支撑与理论依据。

关键词:巴黎协定 碳排放 碳减排 成效评估 路径优化

中图分类号:F205 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—5766(2019)06—0022—16

一、引言

近年来,由于全球气候变化,一定程度上引发了海平面上升、造成了森林植被破坏、加剧了农业灾害与极端天气(如干旱、洪涝等)的发生频率。这些不利影响的存在使得世界各国开始认识到了节能减排的重要性,并逐步倾向于共同应对全球气候变化。2015年12月,《联合国气候变化框架公约》第21次缔约方会议在法国巴黎落幕,会上一致通过了2020年后的全球气候变化新协定——《巴黎协定》,这是继《联合国气候变化框架公约》和《京都协议书》之后,人类社会的应对气候变化进程中达成的第3个具有法律约束力的协定。《巴黎协定》从全球气温的上升幅度控制、气候变化背景下的适应能力提升以及减排资金的流向路径等三个方面确立了全球应对气候变化威胁的总目标(宋英,2016)^[1]。而在后续召开的马拉喀什气候会议、波恩气候会议和卡托维兹气候会议上,各国则就《巴黎协定》的程序性议题、实施模式等细节达成一致,这为接下来各项要求的全面落实奠定了坚实基础。作为全球气候治理的积极参与者和发展中的大国,中国早在巴黎大会召开之前就已提出了新的减排目标,即确保2030年左右我国CO₂排放量达到峰值且保证单位GDP碳排放量

收稿日期:2018-11-27

*基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金“气候变化背景下的中国低碳农业发展水平测度及提升策略研究”(16YJC790092);湖北省软科学面上研究项目“绿色发展理念下湖北农业低碳生产技术应用的激励机制研究”(2018ADC055);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“农业规模经营主体低碳生产行为的诱发机理与激励政策研究:以种粮大户为例”(2722019PY019)。

作者简介:田云,男(土家族),讲师,管理学博士,研究领域是低碳经济与低碳农业,电子邮箱:tianyun1986@163.com;陈池波,男,教授,博士生导师,研究领域是农业经济理论与政策,电子邮箱:chibo@aliyun.com。

较2005年下降60%~65%^①。该减排承诺强调了中国减排力度的全面升级,展现了一个大国在全球温室气体减排进程中的责任担当。在党的十九大报告中,我国政府特别提出要大力推进绿色发展,并力争通过法律制度的不断完善与保障政策的有效引导来建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。可见,基于当前国际宏观减排目标与我国绿色发展战略现实诉求的双重约束,着力解决各个行业的高能耗与高排放问题、切实加快碳减排步伐已显得刻不容缓。

为了更好地促进碳减排工作的顺利推进,越来越多的学者开始以此为切入点展开系统研究。我国政府于2009年首次对外宣布CO₂减排目标^②,在此之后,关于碳减排的路径设计与战略探讨一时成为研究的热点。其中,从全球层面来看,公平合理的责任分担机制是保障减排工作顺利开展的重要前提,为此可尝试将1850年以来各国的累计(人均)碳排放量作为碳减排责任公平分担的参考依据(樊纲等,2010)^[2]。Zhang等(2014)^[3]、Yu等(2014)^[4]均以此方案为基础,明晰了中国各省级行政区的碳减排责任。而为了实现碳减排目标与经济增长目标的双赢,既需提高能源利用效率、发展清洁能源(林伯强和孙传旺,2011)^[5],还需大力推动产业结构调整、能源结构优化,并促进节能技术应用与工艺创新(涂正革,2012)^[6]。在这些措施中,产业结构调整与优化尤为重要,它是保经济增长的关键所在,因此在对其进行调整时需兼顾产业之间的经济关联及其与碳排放之间的相互关系,并以此为基础构建差异化的产业政策(张捷和赵秀娟,2015)^[7]。与此同时,也有不少学者着眼于碳减排层面的定量评估与实证分析,如各个省级行政区的减排潜力测度与比较(吴贤荣等,2015^[8];屈超和陈甜,2016^[9])、减排目标分配(王奇和赵欣,2018)^[10]以及减排过程中的技术选择与其偏向特征(周喜君和郭淑芬,2018)^[11]等。

不可否认,目前围绕碳减排问题已形成了大量的研究成果,但综合来看仍以减排路径设计、战略探讨以及碳减排层面的定量评估为主,而较少考察我国各个省级行政区的实际碳减排进展。事实上,由于各地区社会经济发展水平差异较大、施政理念也不尽相同,客观上可能会导致其减排进度的不一致。而各自减排进度的不同显然不利于我国总体减排战略的实现,同时也会导致碳减排公平性原则受到较大冲击。在此情形下,厘清各地区碳减排现状并适时调整其减排目标将会成为整体碳减排工作扎实推进的重要保障。为此,有必要围绕各自碳减排成效进行评估,从中识别出减排“后进地区”并对其减排目标和路径进行调整与优化。

二、文献回顾

关于中国碳排放问题较早的研究可追溯至《京都协定书》达成的前后,初期主要聚焦于能源碳排放减排成本的国际比较(Sathaye等,1996)^[12]、气候变化下的历史责任与碳排放限额分配(陈文颖和吴宗鑫,1998^[13];Zhang,2000^[14])、减排规则的制定(徐嵩龄,1999)^[15]以及人文发展过程中对碳排放空间需求的理论阐释(潘家华,2002)^[16]与定量分析(蒋金荷和姚愉芳,2003)^[17],重点立足于宏观层面上的政策设计,以理论探讨为主,而较少运用数量分析方法围绕碳排放问题展开深度探究。

随着研究的不断深入,学者对于碳排放问题的关注越来越细致化,开始立足于相对系统的定量分析。

(1)碳排放的有效测度与典型特征探究。一方面,一些学者从能源消耗的角度对中国碳排放

① 2015年6月30日,在即将召开气候大会的法国,国务院总理李克强宣布了中国最新的自主减排承诺:二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取尽早达峰;单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%,非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右,森林蓄积量比2005年增加45亿立方米左右。

② 2009年11月,中国政府正式对外宣布了二氧化碳减排目标:到2020年,单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%,并纳入国家中长期发展规划。

进行了系统测度并展开深度分析。其中,前期主要侧重于一次能源消费碳排放量的有效测度并厘清其时序演变轨迹(徐国泉等,2006)^[18],同时基于省级面板碳排放数据探究其 EKC 是否存在(许广月和宋德勇,2010)^[19];综合研究表明,我国能源碳排放总体呈现上升趋势且区域差异明显,而人均碳排放的 EKC 只存在于中国及其东、中部地区。后期则开始着眼于生产侧与消费侧的碳排放量比较(彭水军等,2015)^[20],以及数据更新与统一后的中国能源碳排放重评估(Liu 等,2015)^[21]。另一方面,也有一些学者着眼于全球贸易中的隐含碳问题,对其进行测度并分析。如就中英双边贸易来看,虽然导致了全球温室气体排放的增加但英方却由此获利(如,Li 和 Hewitt,2008^[22])。而关于我国在全球贸易中的隐含碳排放,存在着两种截然不同的观点,一方认为中国是隐含碳出口大国,出口贸易是导致其 CO₂ 排放量持续增长的重要原因(Lin 和 Sun,2010^[23];赵玉焕和刘月,2011^[24]);但另一方却并不认同,其测算表明,由于双边贸易导致的隐含碳排放只占我国生产侧排放的 6.6%,因此不应过于强调贸易转移对中国 CO₂ 排放量的影响(刘宇,2015)^[25]。除此之外,还有部分学者针对某一类碳排放进行测算并分析其典型特征,如钢铁行业碳排放(Price 等,2002)^[26]、城市能源碳排放(Dhakal,2009)^[27]、农业碳排放(Tian 等,2014)^[28]、旅游业碳排放(姚治国和陈田,2016)^[29]等。

(2)碳排放驱动机理及与产业发展关系研究。目前,关于碳排放驱动机理的研究多是借助对数均值迪氏指数分解法(LMDI)和 STIRPAT 模型展开分析。其中,宋德勇、卢忠宝(2009)^[30]利用“两阶段”LMDI 方法对中国 CO₂ 排放量的驱动因素进行了分解,并以该结果为依据界定出了四种不同的经济增长方式。在此基础上,综合多位学者(朱勤等,2010^[31];王锋等,2010^[32];Du 等,2012^[33];鲁万波等,2013^[34])的相关研究可知,我国碳排放总量的变化主要受经济增长、技术进步以及产业结构调整的影响,其中经济增长是第一驱动因素,而工业部门则是导致碳排量增加的第一大部门。近年来,随着碳减排与经济增长之间矛盾的不断显现,一些学者开始围绕碳排放与经济增长以及产业发展间的关系展开深入探讨。分析表明,完全追求经济增长会加剧能源消耗与 CO₂ 排放,进而对全球气候带来不利影响(Chang,2010)^[35],如何协调好三者之间的关系将是未来减排工作的重中之重。金融发展、贸易开放以及产业转移都对碳排放产生了显著影响,具体而言,金融中介对碳排放的影响超出其他金融发展指标(Zhang,2011)^[36],贸易开放则导致了中国各地区 CO₂ 排放总量和强度的双增(李锴和齐绍洲,2011)^[37],产业结构优化虽能提升碳减排效应但产业转移却并非碳转移的前提(许静等,2017)^[38]。

(3)碳排放效率与减排效果研究。随着我国 2020 年以及 2030 年减排目标的相继宣布,学者们的关注焦点逐步转移到了碳排放的效率解读与减排政策的效果模拟上。其中,关于碳排放效率的研究,初期主要着眼于我国主要城市(Wang 等,2014)^[39]和 30 个省区(Wang 等,2016)^[40]的碳排放效率测度及基本特征分析;随着研究的不断深入,开始基于公平与效率双重视角来考察各个地区的碳减排潜力(周迪等,2019)^[41]。关于减排政策的成效预估与效果模拟,相关成果较为丰硕,如利用一般均衡模型模拟分析碳税政策对碳减排的影响(娄峰,2014)^[42]、科学探究碳排放交易对中国 2020 年减排目标成本节约效应的影响(Cui,2014)^[43]、运用碳减排二层规划决策模型系统考察复合型政策的碳减排效益(赵黎明和殷建立,2016)^[44]、基于投入产出方法模拟分析不同情景下的行业减排效果(赵巧芝等,2017)^[45]、构建 PMC 指数模型量化评价不同政策下的碳减排效应(赵立祥和汤静,2018)^[46]等。综合分析表明,行政命令手段、碳排放权交易和碳税政策均能在碳减排进程中扮演重要角色;具体到各类措施,碳排放权交易成效最佳,行政命令效果不甚明显,而碳税政策处于居中位置,若尝试将碳排放权交易与碳税政策有机结合并打造成复合型政策,其减排效果会更为突出。除此之外,还有学者围绕中国碳减排的时空格局与演变机理(武红等,2015)^[47]、碳减排奖惩机制约束下的地方政府与企业之间的演化博弈(焦建玲等,2017)^[48]等一系列问题展

开探讨。

总体而言,目前关于中国碳排放问题的研究为进一步完善碳排放、碳减排问题研究奠定了坚实基础,但现有研究也存在一些局限性:一是在测度碳排放量时多侧重于二、三产业,且立足于能源消耗视角,而少有学者将农业碳排放纳入到整个分析框架,由此导致所测算出来的碳排放量可能低于实际值,进而使后续的深度分析受到影响。二是虽有部分学者曾围绕2020年和2030年减排目标展开探讨,但更多的是把握其综合减排潜力、整体减排格局抑或具体的减排手段与措施,而缺少对各地区减排现状的客观陈述,以及减排“后进地区”的准确识别与具体减排路径的设计与优化。事实上,由于农业生产活动消耗了大量的物资投入,加之畜禽养殖所带来的大量排泄物,由此引发的温室气体排放量也不容小觑(Tian等,2014)^[28],因此在核算碳排放总量时不应忽视农业碳排放,而应将其与能源碳排放置于一起进行考察,二者之和可以大致界定为碳排放总量。同时,随着减排目标完成时间的日趋临近以及全面推进绿色发展战略的现实诉求,考察目标约束下各个省级行政区的碳减排进展状况及未来预期减排目标的实现潜力,并以此为基础确定合适的减排策略,具有重要的现实指导意义。

有鉴于此,本文将在科学测度中国及各省(市、自治区)碳排放量的基础上综合评估其减排成效,然后从中识别出减排“后进地区”并完成对各自减排目标和路径的调整与优化,具体研究框架如图1所示。首先,基于能源消耗与农业生产双重视角科学构建碳排放指标体系并完成对中国及各省级行政区历年碳排放量的测算工作;其次,依托2016年和2005年碳减排强度数据考察各地区是否已提前或有能力如期实现2020年和2030年碳减排目标,进而以此分析为基础确定碳减排“后进地区”;然后,利用脱钩模型探讨“后进地区”碳排放与经济增长之间的关系,并借助影子价格模型科学重构各自的碳减排目标并优化其实践路径;最后,基于研究结论有针对性地提出推进各地区尤其是“后进地区”碳减排工作的策略建议。

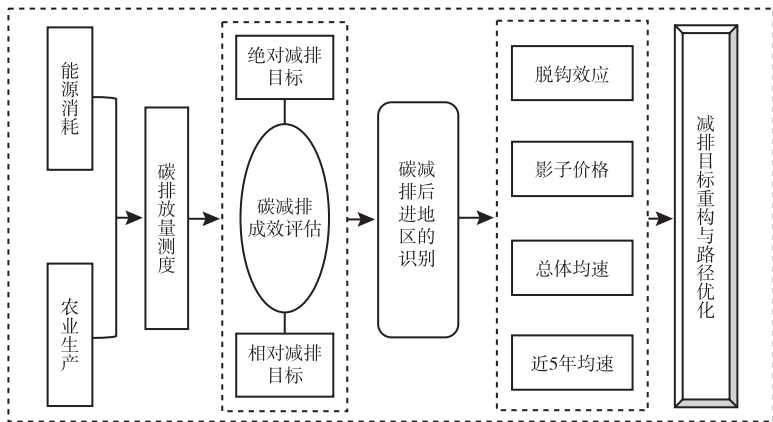


图1 本文研究框架

资料来源:本文绘制

三、研究方法与数据来源

1. 碳排放量测算方法

不同于已有研究或单独考察能源碳排放,或围绕农业碳排放进行测算的传统思路,本文对碳排放量进行的测度既包含能源消耗碳排放,同时也兼顾由于农业活动所导致的碳排放。其中,结合已有相关研究(liu等,2015^[21];程叶青等,2017^[49]),同时考虑到数据的可获取性,将基于能源消耗视角对二、三产业碳排放量进行测度,具体碳源构成及所对应的碳排放系数如表1所示。

表 1 各类能源的 CO₂ 排放系数值

能源	平均低位发热量	折标准煤系数	单位热值含碳量	碳氧化率	排放系数①
	千焦/千克		吨 C/10 ¹² 焦		千克 CO ₂ /千克
煤炭	20908	0.7143	26.37	0.94	1.9003
焦炭	28435	0.9714	29.5	0.93	2.8604
原油	41816	1.4286	20.1	0.98	3.0202
燃料油	41816	1.4286	21.1	0.98	3.1705
汽油	43070	1.4714	18.9	0.98	2.9251
煤油	43070	1.4714	19.5	0.98	3.0179
柴油	42652	1.4571	20.2	0.98	3.0959
天然气*	38931	1.3300	15.3	0.99	2.1622

资料来源:表中前两列来源于《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008),后两列来源于《省级温室气体清单编制指南》(发改办气候[2011]1041号)

农业碳排在综合多位学者研究成果(张广胜和张珊珊,2014^[50];Tian等,2014^[28];Wu等,2018^[51])的基础上,从农业物资投入(涉及化肥、农药、农膜等;产生碳)、水稻种植(产生甲烷)、畜禽养殖(涉及牛、马、驴、猪、羊、家禽等;产生甲烷和氧化亚氮)等三个方面进行考察,具体碳源构成与碳排放系数主要出自闵继胜等(2012)^[52]、Tian等^[28]的研究,限于篇幅,在此不做过多阐述。据此,构建碳排放测算公式如下:

$$CO_2 = CO_{2_a} + CO_{2_b}; CO_{2_a} = \sum CO_{2_{ai}} = \sum T_{ai} \times \delta_{ai}; CO_{2_b} = \sum CO_{2_{bi}} = \sum T_{bi} \times \delta_{bi} \quad (1)$$

式(1)中, CO_2 、 CO_{2_a} 、 CO_{2_b} 分别表示碳排放总量,二、三产业碳排放量,以及农业碳排放量; $CO_{2_{ai}}$ 、 $CO_{2_{bi}}$ 表示各类碳源所导致的碳排放数量; T_{ai} 和 T_{bi} 表示各类碳源的实际数量; δ_{ai} 、 δ_{bi} 表示各类碳源所对应的碳排放系数。为了方便对碳排放量进行加总,实际计算中会将碳(C)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)统一置换成标准CO₂^②。

2. 碳排放减排成效评估方法

首先,基于碳排放与GDP的原始数值,计算我国2005年的碳排放强度,方法如式(2)所示:

$$I_{2005} = \frac{GO_{2_{2005}}}{GDP_{2005}} \quad (2)$$

式(2)中, I_{2005} 、 $GO_{2_{2005}}$ 、 GDP_{2005} 分别表示2005年碳排放强度、碳排放总量以及GDP总量。

然后,结合我国政府所承诺的减排目标,即碳排放强度分别较2005年降低45%和65%,计算出中国大陆2020年、2030年所应达到的实际碳排放强度值,其方法如式(3)所示:

$$I_{2020} = (1 - 45\%) \times I_{2005}; I_{2030} = (1 - 65\%) \times I_{2005} \quad (3)$$

式(3)中, I_{2020} 、 I_{2030} 和 I_{2005} 分别表示2020年、2030年和2005年的实际碳排放强度。

最后,分别计算30个省级行政区^③2016年的碳排放强度,并将其与2020年、2030年预期减排目标(即 I_{2020} 、 I_{2030})进行对比,以此评估各地区碳减排成效。同时,结合实际减排程度,从中识别出碳减排“后进地区”。

① 关于碳排放系数的计算方法,以“原煤”为例 $1.9003 = 20908 \times 0.000000001 \times 26.37 \times 0.94 \times 1000 \times 3.66667$ 。另,天然气的平均低位发热量单位为千焦/立方米,排放系数单位为2.1622千克CO₂/立方米。

② 根据IPCC第4次评估报告,C、CH₄和N₂O的转换系数分别为3.67、25和298。

③ 特指中国大陆的30个省区,由于部分甚至全部数据缺失,西藏以及港、澳、台地区均不在本次研究的考察之列。

3. 碳排放减排路径优化方法

(1) 脱钩模型。在确定出碳减排“后进地区”之后,运用脱钩模型对其碳排放与经济发展之间的关系进行深度解析,以为各自碳减排路径的优化与调整提供参考依据。最初,脱钩理论主要用于探究资源消耗与经济发展之间的相互关系;但在后来, Tapio 引入碳排放替代了能源消耗,进而提出了碳排放弹性概念,即二氧化碳排放变化相对于国民经济(通常以 GDP 作为替代变量)变化的敏感程度。其计算公式如下:

$$e = \frac{\Delta CO_2 / CO_2}{\Delta GDP / GDP} \quad (4)$$

式(4)中, e 表示脱钩弹性, CO_2 表示碳排放量; GDP 表示国民经济发展情况。而基于脱钩弹性的数值差异,可以衍化出强脱钩、弱脱钩等八种不同类型的脱钩形态。具体的脱钩类型构成与划分标准如表 2 所示。

表 2 Tapio 模型的八种脱钩状态划分

类型		环境压力	经济增长	弹性
负脱钩	扩张负脱钩	> 0	> 0	$e > 1.2$
	强负脱钩	> 0	< 0	$e < 0$
	弱负脱钩	< 0	< 0	$0 \leq e < 0.8$
脱钩	弱脱钩	> 0	> 0	$0 \leq e < 0.8$
	强脱钩	< 0	> 0	$e < 0$
	衰退脱钩	< 0	< 0	$e > 1.2$
连接	扩张连接	> 0	> 0	$0.8 \leq e \leq 1.2$
	衰退连接	< 0	< 0	$0.8 \leq e \leq 1.2$

资料来源:划分标准出自孙耀华和李忠民(2011)^[53]的研究

目前, Tapio 模型在探究碳排放与经济增长二者关系方面已发挥了极为重要的作用,并产生了大量研究成果(Zhang, 2000^[14]; 孙耀华和李忠民, 2011^[53])。为此,本文也将尝试选用该模型来考察减排“后进地区”碳排放与其国民经济发展之间的脱钩关系,具体测度方法参照公式(4)。

(2) 影子价格模型。为了更好地优化“后进地区”的碳减排路径,有必要在结合各自边际减排成本的基础上进行统筹考虑。一般地,边际减排成本通过其影子价格来衡量,即在特定产出条件下,每削减 1 个单位碳排放量所导致的 GDP 减少量。为此,本文将立足于中国大陆 30 个省区 2012—2016 年的面板数据,运用基于方向性距离函数的影子价格模型完成对各地区碳减排成本的测度,并取其平均值。其中,资本和劳动力为投入指标,而 GDP 与碳排放则分别为期望产出与非期望产出指标。

模型基本假定 $x \in R_+^N$ 为投入要素,表示各省区的资本与劳动力的实际投入数量; $y \in R_+^M$ 为期望产出要素,即各省区的 GDP 产出数量; $c \in R_+^L$ 为非期望产出,即各省区的碳排放数量。方向性距离函数中需设定方向向量 $g = (g_e, g_c)$ 且 $g \in R_+^M \cdot R_+^L$, 以此用于限定期望与非期望产出的变动方向与大小,而至于方向向量的具体选择则可根据研究需要自行设定,本文拟选取 $g = (1, -1)$ 。基于产出径向的方向性距离函数可以表示如下:

$$D(x, y, c, 1, -1) = \max \{ a : (y + a * 1, c + a * (-1)) \in P(x) \} \quad (5)$$

式(5)中, a 表示在投入要素维持不变的情形下期望产出可以增加的最大比重, $P(x)$ 表示在环境技术支持条件下的所有一切可能性生产集合。

根据环境技术规定的期望与非期望产出的联合弱可处置性,在生产可能性集合 $P(x)$ 内,降低碳排放量则会直接导致 GDP 的减少,即环境管制对期望产出的边际效应。为此,结合二者的变化

量即可得到碳排放的影子价格,其计算公式如下:

$$p_c = p_y \times \frac{\partial D(x, y, c; 1, -1) / \partial c}{\partial D(x, y, c, 1, -1) / \partial y} \quad (6)$$

式(6)中, p_y 为期望产出 GDP 的价格, p_c 代表非期望产出碳排放的影子价格,即减少 1 个单位的碳排放所导致的 GDP 削减量,又称为碳的边际减排成本。

4. 数据来源及处理

测算二、三产业碳排放量所涉及的各类能源数据出自于 2006—2017 年的《中国能源统计年鉴》,且以当年实际消耗量为准。测算农业碳排放量所涉及的全部原始数据均从 2006—2017 年的《中国农村统计年鉴》获取。其中,农业物资投入与水稻种植面积均以当年实际数据为准;畜禽则由于各自饲养周期存在差异,在实际计算中需对其年均饲养量进行科学调整,具体参照闵继胜等(2012)^[52]所提供的方法。此外,劳动力数据出自 2013—2017 年的各省区统计年鉴,以实际数值为准;资本投入主要考察历年的资本存量,具体运用永续盘存法进行估算,相关方法参照单豪杰(2008)^[54]的研究,实际分析中将 2005 年作为价格参照年份,所需原始数据均出自各省区历年统计年鉴。各地区 GDP 数据均源自 2006—2017 年的《中国统计年鉴》,且以 2005 年价格作为基准对历年数据进行修正。需要说明的是,西藏能源消耗数据缺失较为严重,港、澳、台地区相关数据难以获取,均不在本次研究的考察之列。

四、研究结果与分析

1. 碳减排进展与预期目标实现情况评估

(1)碳减排总体情况。碳排放强度变化是反映碳减排成效的关键性指标。为此,本文根据所测算的碳排放数据并基于不变价(以 2005 年价格为准)GDP 计算各自碳排放强度如表 3 所示。结果显示,2016 年我国每产生 1 万元 GDP 导致了 2139.19 千克的碳排放,其强度相比 2005 年降低了 48.35%。具体到各个地区又表现出明显差异性,其中宁夏碳排放强度最高,其每万元 GDP 所引发的碳排放量甚至达到了 10922.61 千克,为全国平均水平的 5 位有余;山西、新疆、内蒙古和贵州依次排在 2~5 位,其碳排放强度分别为 7185.40 千克、6776.65 千克、5435.42 千克和 4456.18 千克;碳排放强度最低的地区是北京,其每产生 1 万元 GDP 所导致的碳排放量仅为 458.80 千克,广东、上海、天津和浙江依次排在倒数 2~5 位,其碳排放强度分别为 991.50 千克、1080.96 千克、1158.61 千克和 1175.03 千克,上述 4 地数值差异较小,但与北京相比差距明显。与 2005 年相比,海南和新疆碳排放强度处于增长态势;其他 28 个省区均有不同程度降低,其中北京降幅最大,在这期间累计减少了 72.55%;天津、云南、湖南、吉林等 4 地降幅依次排在 2~5 位,其碳排放强度分别较 2005 年减少了 65.82%、65.31%、61.62% 和 61.41%。

表 3 中国及 30 个省(市、自治区)碳排放强度及碳减排目标实现情况

地区	强度(千克/万元 GDP)		变化率 (%)	2020 减排目标①		2030 减排目标	
	2005	2016		相对目标	绝对目标	相对目标	绝对目标
北京	1671.30	458.80	-72.55	实现	实现	实现	实现
天津	3389.85	1158.61	-65.82	实现	实现	实现	实现
河北	5986.43	3184.06	-46.81	实现	差距较大	—	—
山西	13661.89	7185.40	-47.41	实现	差距较大	—	—

① 相对指标分为 3 个等级,高于或等于 45%、35%~45%、低于 35% 分别表示预期目标实现、接近预期目标和距离预期目标差距较大;绝对目标也由 3 个等级构成,万元 GDP 所产生的碳排放低于或等于 2278.11 千克、介于 2278.11~2578.11 千克之间、高于 2578.11 千克分别表示预期目标已实现、接近预期目标和距离预期目标差距较大。

续表 3

地区	强度(千克/万元 GDP)		变化率 (%)	2020 减排目标		2030 减排目标	
	2005	2016		相对目标	绝对目标	相对目标	绝对目标
内蒙古	8943.22	5435.42	-39.22	接近	差距较大	—	—
辽宁	6472.74	3262.40	-49.60	实现	差距较大	—	—
吉林	5671.83	2188.66	-61.41	实现	实现	接近	接近
黑龙江	5063.37	2587.14	-48.90	实现	差距较大	—	—
上海	2498.80	1080.96	-56.74	实现	实现	接近	实现
江苏	2848.19	1504.49	-47.18	实现	实现	接近	接近
浙江	2353.63	1175.03	-50.08	实现	实现	接近	实现
安徽	4591.43	2376.97	-48.23	实现	接近	接近	接近
福建	2324.79	1178.89	-49.29	实现	实现	接近	实现
江西	4060.19	1961.45	-51.69	实现	实现	接近	接近
山东	4015.05	2514.50	-37.37	接近	接近	差距较大	差距较大
河南	4554.06	1997.38	-56.14	实现	实现	接近	接近
湖北	4466.66	1780.10	-60.15	实现	实现	接近	接近
湖南	4472.81	1716.74	-61.62	实现	实现	接近	接近
广东	1897.94	991.50	-47.76	实现	实现	接近	实现
广西	3522.53	1976.97	-43.88	接近	实现	差距较大	接近
海南	2178.83	2552.24	17.14	差距较大	接近	—	—
重庆	3218.86	1294.58	-59.78	实现	实现	接近	实现
四川	3465.26	1471.03	-57.55	实现	实现	接近	接近
贵州	10226.82	4456.18	-56.43	实现	差距较大	—	—
云南	6053.23	2099.65	-65.31	实现	实现	实现	接近
陕西	5110.37	3718.33	-27.24	差距较大	差距较大	—	—
甘肃	7730.32	3702.69	-52.10	实现	差距较大	—	—
青海	5698.65	3719.56	-34.73	差距较大	差距较大	—	—
宁夏	12715.36	10922.61	-14.10	差距较大	差距较大	—	—
新疆	6758.30	6776.65	0.27	差距较大	差距较大	—	—
全国	4142.01	2139.19	-48.35	实现	实现	接近	接近

资料来源:本文整理

(2)2020年减排目标实现情况。结合我国2005年碳排放强度数值可计算出2020年碳减排工作要确保的最高目标(降低45%)为低于2278.11千克/万元GDP。由前文分析可知,2016年我国每万元GDP所产生的碳排放量为2139.19千克,相比2005年累计降低了48.35%,已提前完成2020年碳减排目标。但同时,考虑到30个省区在农业碳排放强度方面所表现出的巨大差异,有必要对各自碳减排目标实现情况进行探讨。具体而言,将基于相对目标与绝对目标双重视角进行考察,其中,相对目标是考察各地区2016年碳排放强度较2005年所减少的百分比数值是否达到了我国政府所承诺的2020年减排45%的约束目标;绝对目标是指各地区2016年碳排放强度的实际数值是否低于2020年碳减排的最高目标(2278.11千克/万元GDP)。各省区2020年碳减排目标的实现情况如表3所示。结果显示,北京、天津、吉林、上海等15地碳减排相对目标与绝对目标均已实现,属于提前完成2020年减排目标的典型地区,集中分布于我国东部沿海、中部以及西南;而安徽、山东、广西同样属于碳减排工作开展较好地区,各自相对目标与绝对减排目标或已部分实现,或虽未实现但有能力按时完成。上述18个地区可统一界定为减排“先进地区”。而与此对应的是,海南虽绝对目标接近实现,但其碳排放强度却逆势上升,由此导致现阶段减排前景不被看好;同时,河北、山西、辽宁、内蒙古等其他

11 个地区的碳减排工作也存在一定挑战,虽部分地区相对目标或已实现,或接近实现,但距离绝对减排目标仍差距较大,若维持当前减排速度可能很难在 2020 年实现碳排放强度低于 2278.11 千克/万元 GDP 的数量约束目标。有鉴于此,以上 12 个地区可以暂界定为潜在减排“后进地区”。

(3)2030 年减排目标实现情况。在此着重考察我国及余下 18 个省区能否在约定时间内实现政府所承诺的 2030 年预期减排目标。由 2005 年的碳排放强度数值可计算出 2030 年碳减排工作要确保的最高目标(65%)为低于 1449.70 千克/万元。截至 2016 年,我国碳排放强度虽距离最高减排目标还存在一定距离,但若保持当前减排速率则具备提前完成预期减排目标的能力。而后,同样基于相对目标与绝对目标的现实完成情况探究各省级行政区在碳减排道路上的具体表现。其中,相对目标探究碳排放强度相比 2005 年是否减少了 65%,绝对目标则考察其实际值是否低于 1449.70 千克/万元。为了更好地展开分析,立足于相对目标与绝对目标,通过矩阵构建完成对 30 个地区的聚类分组。具体分类原则是:相对指标分为三个等级,高于或等于 65% 则表明预期目标实现,45% ~ 65% 表明接近预期目标,低于 45% 则表明与预期目标存在较大差距;绝对目标也由三个等级构成,考虑到目前距离 2030 年尚有 10 余年时间,故在等级划分时区间跨度相对较大,具体为,万元农业 GDP 所产生的碳排放低于 1449.70 千克、介于 1449.70 ~ 2449.70 千克之间、高于 2449.70 千克分别代表预期目标已实现、接近实现和差距较大。基于相对目标与绝对目标各自的 3 个等级可将 18 个省区划分为如图 2 所示的 9 类地区。

		绝对目标 (低于1449.70千克/万元GDP)		
		实现	接近	差距较大
相对目标 (高于65%)	实现	I 类: 北京、天津	IV 类: 云南	VII 类: 无
	接近	II 类: 上海、浙江、福建、广东、重庆	V 类: 吉林、江苏、安徽、江西、河南、湖北、湖南、四川	VIII 类: 无
	差距较大	III 类: 无	VI 类: 广西	IX 类: 山东

图 2 2016 年 18 个省区碳减排成效聚类分组结果(2030 年减排目标)

资料来源:本文绘制

由图 2 可知,北京、天津二地属于 I 类地区,已提前实现了 2030 年减排目标;上海、浙江、福建、广东、重庆等 5 地属于 II 类地区,其减排绝对目标已提前实现,相对目标距离 65% 的约束值也不算太远,应该具备提前完成预期减排目标的能力;云南属于 IV 类地区,其相对目标已提前实现,绝对目标也较为接近,依照当前减排速率应能提前完成预期减排任务;吉林、江苏、安徽、江西、河南、湖北、湖南、四川等 8 地属于 V 类地区,其相对目标与绝对目标距离预期约束目标均较为接近,若维持当前速率同样具备提前完成减排任务的能力。综合来看,上述 4 类地区属于节能减排引领者,均有能力提前或按时实现 2030 年减排目标。而与此对应的是,以广西、山东为代表的 VI 类、IX 类地区,距离相对目标存在较大差距,且绝对目标也完成较为一般,减排工作均面临极大挑战;为此,有必要将上述两地与前文所确定的其他 12 个潜在减排“后进地区”放置一起进行系统考察,以确定最终减排“后进地区”。

2. 减排“后进地区”碳排放问题深度剖析

(1)减排“后进地区”的准确识别。为了更好地甄别碳减排“后进地区”,将对各自能否完成 2030 年减排目标进行评估。具体分析由三个步骤构成:首先,结合各地区 2016 年和 2005 年的碳排放强度数据计算年均降速;然后,基于所测算的年均降速估算达到 2030 减排目标所需的时间,进而确定具体实现年份;最后,依据所推测出的实现年份判断该地区是否属于“后进地区”。具体筛选过程及相关结果如表 4 所示。

表 4 碳减排“后进地区”的筛选与确定

地区	强度(千克/万元 GDP)		总体均速 (%)	达到 2030 减排目标		是否属于 “后进地区”
	2005	2016		所需时间(年)	实现年份	
河北	5986.43	3184.06	-5.58	13.71	2030	否
山西	13661.89	7185.40	-5.67	27.40	2044	是
内蒙古	8943.22	5435.42	-4.43	29.19	2046	是
辽宁	6472.74	3262.40	-6.04	13.02	2030	否
黑龙江	5063.37	2587.14	-5.92	9.49	2026	否
山东	4015.05	2514.50	-4.17	12.94	2029	否
广西	3522.53	1976.97	-5.12	5.91	2022	否
海南	2178.83	2552.24	1.45	—	—	是
贵州	10226.82	4456.18	-7.27	14.87	2031	是
陕西	5110.37	3718.33	-2.85	32.58	2049	是
甘肃	7730.32	3702.69	-6.47	14.01	2031	是
青海	5698.65	3719.56	-3.80	24.29	2041	是
宁夏	12715.36	10922.61	-1.37	146.17	2163	是
新疆	6758.30	6776.65	0.02	—	—	是

注:对于当前碳排放强度增速总体为正的海南和新疆,无法估算其预期实现年份,故直接界定为“后进地区”;同时,考虑到年份的特殊性,逢小数不遵循四舍五入法则,而是自动增加一年

资料来源:本文整理

由表 4 可知,基于碳排放强度平均降速,各地区 2030 减排目标的预期实现时间表现出了较大差异,最快如广西在 2022 年则可完成;减排压力较大且下降均速较慢的宁夏甚至要到 2160 年之后方可实现;而海南、新疆二地碳排放强度甚至处于上升态势,照此趋势其减排目标将无法实现。具体来看,河北、辽宁、黑龙江、山东、广西等 5 地在 2030 年或者 2030 年之前可实现预期减排目标,因此可将它们从潜在减排“后进地区”队伍中排除。与此对应,山西、内蒙古、海南、贵州、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等 9 地依照现有速率可能无法在 2030 年完成预期减排目标,均属于典型减排“后进地区”。从地缘分布来看,除山西、海南位于我国中东部之外,其他 7 个地区均属于西部地区,由此也客观真实地反映了我国西部地区的经济发展现状,即生产模式相对滞后,GDP 增长主要依赖于化石能源的高消耗,经济结构以工业为主,服务业所占比重要明显低于中东部地区。山西、海南居于减排“后进地区”之列也有其特殊性:前者由于盛产煤矿,导致其能源利用结构相对单一、清洁型能源占比较低,加之其经济发展水平较为一般,从而加剧了其碳排放水平;后者则主要归结于经济转型所带来的阵痛,过去依赖于农业与旅游业,农业碳排放所占比重较高,而近些年随着对工业的逐步重视加大了对化石能源的使用,加之总体工业发展水平较低,在一定程度上导致了资源的低效利用,使得其碳排放强度居高不下。

(2)减排“后进地区”碳排放与经济发展的关系解析。为了更好地优化减排路径,在此有必要对“后进地区”碳排放与经济发展间的关系进行系统探讨,以便明晰其变化轨迹与基本特征,进而据此合理调整减排目标并优化减排策略。有鉴于此,本文也运用脱钩模型探析山西、内蒙古、海南等 9 个“后进地区”碳排放与经济增长之间的关系变化情况,相关结果如表 5 所示。

表 5 减排“后进地区”碳排放与经济增长之间的脱钩关系

年份	山西				内蒙古				海南			
	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_1	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_2	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_3	脱钩类型
2006	0.120	0.118	1.016	扩张连接	0.557	0.187	2.979	扩张负脱钩	0.413	0.125	3.307	扩张负脱钩
2007	0.037	0.159	0.232	弱脱钩	-0.150	0.192	-0.784	强脱钩	0.717	0.158	4.537	扩张负脱钩
2008	-0.039	0.085	-0.462	强脱钩	0.178	0.178	1.000	扩张连接	0.020	0.103	0.192	弱脱钩
2009	-0.011	0.054	-0.209	强脱钩	0.082	0.169	0.484	弱脱钩	0.076	0.117	0.646	弱脱钩

续表 5

年份	山西				内蒙古				海南			
	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_1	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_2	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_3	脱钩类型
2010	0.068	0.139	0.486	弱脱钩	0.098	0.150	0.654	弱脱钩	0.071	0.160	0.445	弱脱钩
2011	0.101	0.13	0.778	弱脱钩	0.239	0.143	1.671	扩张负脱钩	0.107	0.120	0.891	扩张连接
2012	0.043	0.101	0.427	弱脱钩	0.039	0.115	0.335	弱脱钩	0.047	0.091	0.521	弱脱钩
2013	0.023	0.089	0.259	弱脱钩	-0.024	0.090	-0.267	强脱钩	-0.076	0.099	-0.765	强脱钩
2014	0.023	0.049	0.475	弱脱钩	0.025	0.078	0.323	弱脱钩	0.102	0.085	1.197	扩张连接
2015	-0.013	0.031	-0.411	强脱钩	0.001	0.077	0.012	弱脱钩	0.102	0.078	1.301	扩张负脱钩
2016	-0.030	0.045	-0.668	强脱钩	0.008	0.072	0.115	弱脱钩	-0.021	0.075	-0.277	强脱钩
年份	贵州				陕西				甘肃			
	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_4	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_5	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_6	脱钩类型
2006	0.043	0.116	0.374	弱脱钩	0.223	0.128	1.742	扩张负脱钩	0.062	0.115	0.537	弱脱钩
2007	0.058	0.148	0.395	弱脱钩	0.072	0.158	0.457	弱脱钩	0.098	0.123	0.800	扩张连接
2008	0.014	0.113	0.123	弱脱钩	0.095	0.164	0.576	弱脱钩	0.019	0.101	0.188	弱脱钩
2009	0.090	0.114	0.793	弱脱钩	0.090	0.136	0.660	弱脱钩	-0.007	0.103	-0.071	强脱钩
2010	0.007	0.128	0.054	弱脱钩	0.177	0.146	1.213	扩张负脱钩	0.105	0.118	0.886	扩张连接
2011	0.095	0.150	0.632	弱脱钩	0.103	0.139	0.741	弱脱钩	0.144	0.125	1.153	扩张连接
2012	0.086	0.136	0.631	弱脱钩	0.149	0.129	1.151	扩张连接	0.025	0.126	0.200	弱脱钩
2013	0.034	0.125	0.268	弱脱钩	0.059	0.110	0.533	弱脱钩	0.031	0.108	0.283	弱脱钩
2014	-0.032	0.108	-0.300	强脱钩	0.051	0.097	0.530	弱脱钩	0.008	0.089	0.094	弱脱钩
2015	-0.007	0.107	-0.068	强脱钩	-0.012	0.079	-0.153	强脱钩	-0.026	0.081	-0.317	强脱钩
2016	0.057	0.105	0.539	弱脱钩	0.022	0.076	0.294	弱脱钩	-0.034	0.076	-0.452	强脱钩
年份	青海				宁夏				新疆			
	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_7	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_8	脱钩类型	$\frac{\Delta CO_2}{CO_2}$	$\frac{\Delta GDP}{GDP}$	E_9	脱钩类型
2006	0.321	0.122	2.629	扩张负脱钩	0.100	0.127	0.786	弱脱钩	0.122	0.110	1.105	扩张连接
2007	0.130	0.135	0.965	扩张连接	0.103	0.127	0.813	扩张连接	0.069	0.122	0.569	弱脱钩
2008	0.044	0.135	0.323	弱脱钩	0.108	0.126	0.856	扩张连接	0.091	0.110	0.830	扩张连接
2009	0.018	0.101	0.174	弱脱钩	0.097	0.119	0.817	扩张连接	0.154	0.081	1.902	扩张负脱钩
2010	-0.003	0.153	-0.020	强脱钩	0.174	0.135	1.290	扩张负脱钩	0.107	0.106	1.010	扩张连接
2011	0.122	0.135	0.901	扩张连接	0.322	0.121	2.663	扩张负脱钩	0.168	0.120	1.403	扩张负脱钩
2012	0.139	0.123	1.130	扩张连接	0.073	0.115	0.631	弱脱钩	0.153	0.120	1.272	扩张负脱钩
2013	0.087	0.108	0.804	扩张连接	0.065	0.098	0.660	弱脱钩	0.131	0.110	1.189	扩张连接
2014	-0.058	0.092	-0.628	强脱钩	0.021	0.080	0.262	弱脱钩	0.099	0.100	0.992	扩张连接
2015	-0.084	0.082	-1.029	强脱钩	0.032	0.080	0.404	弱脱钩	0.027	0.088	0.306	弱脱钩
2016	0.152	0.080	1.899	扩张负脱钩	-0.008	0.081	-0.102	强脱钩	0.065	0.076	0.857	扩张连接

资料来源:本文整理

由表 5 可知,9 地区碳排放与经济增长之间的脱钩类型表现出了一定差异性。其中,山西、贵州二地情形较为一致,属于第一类地区,基本由弱脱钩和强脱钩构成,在绝大多数年份经济增速要明显快于碳排放增长,总体态势相对平稳,长期属于碳减排形势较好的地区,之所以沦为“后进地区”,可能源于历史欠账太多。内蒙古、陕西、甘肃、宁夏等 4 地可归为第二类地区,均呈现较为明显的二阶段特征,前期扩张负脱钩、扩张连接、弱脱钩等多种脱钩类型并存,表明该阶段上述各地经济发展较为依赖各类能源以及农用物资的高投入以及产业结构的趋利性调整,而脱钩类型转化较为频繁则揭示了它们在处理碳排放与经济增长矛盾时未能寻找到一个好的契合点,由此导致碳减排工作受到影响;后期则逐步演化为弱脱钩、强脱钩为主,在这一阶段碳排放与经济增长正形成较为稳定的利好性脱钩关系,即碳排放增速较慢甚至为负,而国民经济增速为正且明显快于碳排放增长。此类地区虽早些时候碳减排工作开展不力,但近些年来趋势明显变好,未来减排潜力可期。海

南、青海、新疆等3地则可界定为第三类地区,在整个考察期内表现为扩张负脱钩、扩张连接、弱脱钩、强脱钩等多种脱钩类型并存,且无明显阶段性特征,由此揭示上述几地直至当前仍未处理好经济增长与碳排放之间的矛盾,若维持现状其未来减排进程将面临较大挑战。

3. 减排“后进地区”减排目标重构与路径优化

由前文分析可知,若不改变策略而维持当前减排速度,所有“后进地区”都无法在2030年实现碳减排的绝对数量约束目标。为此,有必要对这些地区的减排目标和路径进行调整与优化,以提升其可行性。具体分析由两个步骤构成:第一,基于各地区2016年和2011年的碳排放强度数据计算最近5年的平均降速,以便从中窥视近期变化趋势;第二,设置差异性目标,并结合各地区自身发展特点且充分考虑总体碳减排均速、最近5年均速以及边际碳减排成本(影子价格)来完成减排目标的重构与路径优化,在此基础上确定各自合适的减排速度。需要说明的是,差异性目标I、目标II、目标III依次设置为1449.70千克/万元GDP、1242.60千克/万元GDP和1035.50千克/万元GDP,即碳排放强度较2005年分别降低65%、70%和75%,且完成时限依次为2030年、2035年和2040年。如此设定主要基于两方面考虑:一是可行性。严格要求所有地区在2030年实现减排目标显然不适用于内蒙古、宁夏等一些距离目标较远的省区,为此有必要调整其截止时间。二是公平性。允许部分地区完成时间滞后显然违背公平性原则,故针对不同时间节点设置差异化的数量约束目标,若完成时间较晚,总体要求则相应提高。在兼顾各地区总体与近5年碳排放强度下降均速、碳的影子价格的基础上,结合各自碳排放与经济增长的脱钩类型变化轨迹,重新设置减排路径如表6所示。

表6 减排“后进地区”的减排目标重构与路径优化

地区		碳排放强度变化速度		影子价格 (元/吨)	所需速度(%)		
		总体均速	最近5年		目标I	目标II	目标III
一类	山西	-5.67	-5.05	1252.10	-10.80	-8.82	-7.75
	贵州	-7.27	-8.04	1907.77	-7.71	-6.50	-5.90
二类	内蒙古	-4.43	-7.06	1615.46	-9.01	-7.47	-6.68
	陕西	-2.85	-4.15	2393.00	-6.51	-5.61	-5.19
	甘肃	-6.47	-8.70	2242.56	-6.48	-5.58	-5.17
	宁夏	-1.37	-5.01	810.65	-13.43	-10.81	-9.35
三类	海南	1.45	-5.26	3432.54	-3.96	-3.72	-3.69
	青海	-3.80	-4.97	3129.61	-6.51	-5.61	-5.19
	新疆	0.02	-0.43	1419.35	-10.43	-8.54	-7.53

注:目标I,即2030年单位GDP碳排放量较2005年减少65%;目标II,即2035年单位GDP碳排放量较2005年减少70%;目标III,即2040年单位GDP碳排放量较2005年减少75%

资料来源:本文整理

由表6可知,从各地碳的影子价格来看,表现出了较大差异,其中海南最高,其减少1吨碳排放会导致3432.54元GDP损失;而宁夏最低,仅为810.65元/吨。一般地,影子价格愈高意味着减排成本更大,在此境况下过于追求减排速度则可能会使经济发展陷入困境,故在减排目标的设置上倾向于保守策略;反之,影子价格越低则意味着减排成本相对较小,其减排目标的设置可相对激进一些。有鉴于此,根据各地碳的影子价格、自身区位特点以及实际进展情形,设置差异化路径如下:①贵州、甘肃、海南等3地仍以原有约束目标(即目标I)为准,即在2030年实现单位GDP所导致的碳排放量较2005年减少65%,这要求各自降速要在原有总体均速的基础上有所提升;要想如期完成预期减排目标,所需降速分别为7.71%、6.48%和3.96%,虽均高于总体降速,但却明显慢于最近5年的平均降速;同时,从各自碳的影子价格来看,黔、甘二地居于中游水平,减排阻力适中,海南虽影子价格较高,但所需降速明显低于近5年降速;综合来看,各地区在未来十几年内应该有能力实现所应达到的碳减排目标。②内蒙古以目标II为准,即在2035年实现单位GDP所产生的碳排放量较

2005年减少70%,完成该目标所需降速为7.47%,虽在原有均速的基础上有较大幅度提升,但鉴于其碳的影子价格居于中等偏下水平且最近5年降速高达7.06%,此目标仍具较强可行性。③山西、陕西、宁夏、青海、新疆等5地以目标Ⅲ为准,即确保2040年碳排放强度较2005年减少75%,5地实现该目标所需年均降速分别为7.75%、5.19%、9.35%、5.19%和7.53%。其中,山西所需年均降速虽高于总体及最近5年均速2个百分点以上,但其边际碳减排成本较低,目标实施难度应处在可控范围。陕、青二地预期减排历程基本一致,但二者情形却略有不同:前者总体均速、最近5年均速均略微低于后者,而后者碳的影子价格却相对较高,互有优劣使得两地减排难度大致相当;综合来看,由于时间周期较长,有相对充足的时间探究更好的减排之路,若措施得当该减排目标应可实现。宁夏、新疆所需年均降速远高于总体及最近5年均速,二地虽边际碳减排成本较低,但距离最终目标差距较大,属于典型的碳减排“特困户”;不过虽然困难极大,但在新中国成立90年之际,其节能减排工作理应取得相应成效,因此在未来要不断完善各项保障政策,着力确保二地区的碳减排目标能如期实现。

五、结论与建议

1. 研究结论

本文在科学测度我国30个省区碳排放量的基础上,对减排成效进行了综合评估,从中识别出了减排“后进地区”并完成了对各自减排目标和路径的调整与优化。通过实证研究发现:

(1)截至2016年,我国已实现政府所承诺的2020年碳减排目标,若维持当前速率也具备提前完成2030年减排目标的能力。具体到各省级行政区,虽然其中的多数地区已提前实现或有潜力实现2020年和2030年碳减排目标,但仍存在着以河北、海南等为代表的14个潜在减排“后进地区”,它们或距离相对目标存在较大差距,或绝对目标完成情况不好,或二者兼具,由此导致未来减排工作面临较大挑战。

(2)基于14个潜在减排“后进地区”,通过系统甄别,确定山西、内蒙古、海南等9地为最终减排“后进地区”,从地缘分布来看以中西部省区为主。进一步探索减排“后进地区”碳排放与经济发展之间的脱钩关系可知,总体表现出了“以强弱脱钩为主”“前期多种脱钩类型并存但后期以强弱脱钩为主”以及“整个考察期内多种脱钩类型并存”等不同形态,由此反映出不同类型地区碳排放与经济增长的关系存在明显差异。

(3)若不改变策略而维持当前减排速率,所有“后进地区”显然都不能在约定时间内实现2030年碳减排的绝对数量目标。为此,遵循可行性与公平性原则,在兼顾各地总体碳减排均速、近5年碳减排均速、碳的影子价格的基础上,结合各自碳排放与经济增长的脱钩类型变化轨迹,科学设置差异化的减排目标并优化其实践路径。具体而言,各地区碳减排目标完成的截止时间可以不一致,但若完成时间较晚,总体要求需相应提高。

2. 政策建议

研究结论揭示,我国应该有能力实现政府所承诺的预期减排目标,但具体到各个省级行政区又表现出明显的差异性,其中21个地区已提前实现或有潜力实现碳减排目标,而其他9个地区则属于减排“后进地区”。上述问题的存在要求政府在相关政策的制定上既要做到统筹兼顾,也需立足各地实际以确保其针对性。具体可从四方面着手:第一,围绕重构的减排目标细化阶段任务,并强化监督与管理。各减排“后进地区”均需明确自身减排目标以及实现该目标所应付出的努力,结合当前碳排放与国民经济发展现状制定阶段性目标,进而基于产业部门视角细化、分解任务并下发至相关责任主体,在任务分配过程中需强化监督与管理,以确保可行性与公平性。第二,厘清制约各个地区碳减排工作的关键性因素,综合统筹制定科学应对策略。各减排“后进地区”需深入剖析其碳排放现状特征、时序演变轨迹以及国民经济发展态势与主要产业模式构成;在此基础上,结合碳

排放变化的驱动机理及其与经济发展间的相互关系,厘清导致各自碳减排工作推进困难的关键动因;而后,对各地关键性制约因素进行聚类汇总,综合统筹制定针对性改进策略。第三,加大财政金融支持力度,不断强化节能减排技术的研发与推广。一方面,政府应加大对专业性大专院校、科研院所的财政拨款力度,并给予相关研发型龙头企业必要的金融支持与税收优惠,鼓励它们积极研发节能减排技术;另一方面,政府应强化宣传与舆论引导,让低碳生产逐步深入人心,同时还辅以相关技能培训,吸引行业生产者广泛运用各类节能减排技术。第四,全面实施动态评估机制,适时调整碳减排目标与路径。政府可以充分借助第三方机构,每隔3~4年对各减排“后进地区”的碳减排现状进行一次综合评估,然后根据该结果考虑是否需要重新调整减排目标并优化其实践路径。

参考文献

- [1] 宋英.《巴黎协定》与全球环境治理[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版),2016,(6):59-67.
- [2] 樊纲,苏铭,曹静. 最终消费与碳减排责任的经济学分析[J]. 北京:经济研究,2010,(1):4-14,64.
- [3] Zhang Y. J., A. D. Wang, and Y. B. Da. Regional Allocation of Carbon Emission Quotas in China: Evidence from the Shapley Value Method[J]. Energy Policy,2014,74,(11):454-464.
- [4] Yu, S. W., Y. M. Wei, and K. Wang. Provincial Allocation of Carbon Emission Reduction Targets in China: An Approach Based on Improved Fuzzy Cluster and Shapley Value Decomposition[J]. Energy Policy,2014,66,(5):630-644.
- [5] 林伯强,孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标[J]. 北京:中国社会科学,2011,(1):64-76,221.
- [6] 涂正革. 中国的碳减排路径与战略选择——基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J]. 北京:中国社会科学,2012,(3):78-94,206-207.
- [7] 张捷,赵秀娟. 碳减排目标下的广东省产业结构优化研究——基于投入产出模型和多目标规划模型的模拟分析[J]. 北京:中国工业经济,2015,(6):68-80.
- [8] 吴贤荣,张俊彪,程琳琳,田云. 中国省域农业碳减排潜力及其空间关联特征——基于空间权重矩阵的空间 Durbin 模型[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2015,(6):53-61.
- [9] 屈超,陈甜. 中国2030年碳排放强度减排潜力测算[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2016,(7):62-69.
- [10] 王奇,赵欣. 基于改进等比例分配方法的我国各省二氧化碳减排目标分配[J]. 呼和浩特:干旱区资源与环境,2019,(1):1-8.
- [11] 周喜君,郭淑芬. 中国二氧化碳减排过程中的技术偏向研究[J]. 北京:科研管理,2018,(5):29-37.
- [12] Sathaye, J., P. Monahan, and A. Sanstad. Costs of Reducing Carbon Emissions from the Energy Sector: A Comparison of China, India, and Brazil[J]. Ambio,1996,25,(4):262-266.
- [13] 陈文颖,吴宗鑫. 气候变化的历史责任与碳排放限额分配[J]. 北京:中国环境科学,1998,(6):2-6.
- [14] Zhang, Z. X. Decoupling China's Carbon Emissions Increase from Economic Growth: An Economic Analysis and Policy Implications[J]. World Development,2000,28,(4):739-752.
- [15] 徐嵩龄. 试论国际环境条约中的公平与效率原则:兼评全球CO₂减排规则[J]. 北京:数量经济技术经济研究,1999,(4):10-14.
- [16] 潘家华. 发展分析的概念构架与经验数据——以对碳排放空间的需求为例[J]. 北京:中国社会科学,2002,(6):15-25,204.
- [17] 蒋金荷,姚愉芳. 人文发展潜力与碳排放需求空间的定量分析[J]. 北京:数量经济技术经济研究,2003,(11):78-83.
- [18] 徐国泉,刘则渊,姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995—2004[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2006,(6):158-161.
- [19] 许广月,宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据[J]. 北京:中国工业经济,2010,(5):37-47.
- [20] 彭水军,张文城,孙传旺. 中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究[J]. 北京:经济研究,2015,(1):168-182.
- [21] Liu, Z., D. B. Guan, W. Wei, J. D. Steven, and C. Philippe. Reduced Carbon Emission Estimates from Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China[J]. Nature,2015,524,(7565):335-338.
- [22] Li, Y., and C. N. Hewitt. The Effect of Trade Between China and the UK on National and Global Carbon Dioxide Emissions[J]. Energy Policy,2008,36,(6):1907-1914.
- [23] Lin, B. Q., and C. W. Sun. Evaluating Carbon Dioxide Emissions in International Trade of China[J]. Energy Policy,2010,38,(1):613-621.

- [24] 赵玉焕,刘月. 基于投入产出法的中国出口产品隐含碳测算[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2011,(12):8-14.
- [25] 刘宇. 中国主要双边贸易隐含二氧化碳碳排放测算——基于区分加工贸易进口非竞争型投入产出表[J]. 北京:财贸经济,2015,(5):96-108.
- [26] Price L., J. Sinton, E. Worrell, D. Phylipsen, H. Xiulian and L. Ji. Energy Use and Carbon Dioxide Emissions from Steel Production in China[J]. Energy,2002,27,(5):429-446.
- [27] Dhakal, S. Urban Energy Use and Carbon Emissions from Cities in China and Policy Implications[J]. Energy Policy,2009,37,(11):4208-4219.
- [28] Tian, Y., J. B. Zhang, and Y. Y. He, Research on Spatial-Temporal Driving Factor of Agricultural Carbon Emissions in China[J]. Journal of Integrative Agriculture,2014,(6):1393-1403.
- [29] 姚治国,陈田. 基于碳足迹模型旅游碳排放实证研究——以海南省为案例[J]. 北京:经济管理,2016,(2):151-159.
- [30] 宋德勇,卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2009,(3):18-24.
- [31] 朱勤,彭希哲,陆志明,于娟. 人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2010,(2):98-102.
- [32] 王锋,吴丽华,杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 北京:经济研究,2010,(2):123-136.
- [33] Du, L. M., C. Wei, and S. H. Cai. Economic Development and Carbon Dioxide Emissions in China: Provincial Panel Data Analysis [J]. China Economic Review,2012,23,(2):371-384.
- [34] 鲁万波,仇婷婷,杜磊. 中国不同经济增长阶段碳排放影响因素研究[J]. 北京:经济研究,2013,(4):106-118.
- [35] Chang, C. C. A Multivariate Causality Test of Carbon Dioxide Emissions, Energy Cons, Umption and Economic Growth in China [J]. Applied Energy,2010,87,(11):3533-3537.
- [36] Zhang, Y. J. The Impact of Financial Development on Carbon Emissions: An Empirical Analysis in China[J]. Energy Policy,2011,39,(4):2197-2203.
- [37] 李锴,齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J]. 北京:经济研究,2011,(11):60-72,102.
- [38] 许静,周敏,夏青. 中国省际间产业区域转移的碳排放动态效应及影响机制[J]. 武汉:中国地质大学学报(社会科学版),2017,(2):74-85.
- [39] Wang, K., and Y. M. Wei. China's Regional Industrial Energy Efficiency and Carbon Emissions Abatement Costs [J]. Applied Energy,2014,136,(S1):617-631.
- [40] Wang, S. F., C. Chu, G. Z. Chen, Z. L. Peng, and F. Y. Li. Efficiency and Reduction Cost of Carbon Emissions in China: A Non-radial Directional Distance Function Method [J]. Journal of Cleaner Production,2016,113,(2):624-634.
- [41] 周迪,郑楚鹏,华诗润,黄宇森. 公平与效率协调视角下的中国碳减排潜力与路径[J]. 北京:自然资源学报,2019,(1):80-91.
- [42] 娄峰. 碳税征收对我国宏观经济及碳减排影响的模拟研究[J]. 北京:数量经济技术经济研究,2014,31,(10):84-96,109.
- [43] Cui, L. B., Y. Fan, L. Zhu, and Q. H. Bi. How Will the Emissions Trading Scheme Save Cost for Achieving China's 2020 Carbon Intensity Reduction Target? [J]. Applied Energy, 2014,136,(12):1043-1052.
- [44] 赵黎明,殷建立. 碳交易和碳税情景下碳减排二层规划决策模型研究[J]. 哈尔滨:管理科学,2016,(1):137-146.
- [45] 赵巧芝,同庆友,何永贵. 基于投入产出方法的各行业碳减排效果模拟研究[J]. 北京:统计研究,2017,(8):71-79.
- [46] 赵立祥,汤静. 中国碳减排政策的量化评价[J]. 北京:中国科技论坛,2018,(1):116-122,172.
- [47] 武红. 中国省域碳减排:时空格局、演变机理及政策建议——基于空间计量经济学的理论与方法[J]. 北京:管理世界,2015,(11):3-10.
- [48] 焦建玲,陈洁,李兰兰,李方一. 碳减排奖惩机制下地方政府和企业行为演化博弈分析[J]. 北京:中国管理科学,2017,(10):140-150.
- [49] 程叶青,王哲野,张守志,叶信岳,姜会明. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量[J]. 北京:资源科学,2017,(12):2335-2343.
- [50] 张广胜,王珊珊. 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制[J]. 北京:农业经济问题,2014,(7):18-26,110.
- [51] Wu, X. R., J. B. Zhang, L. Z. You. Marginal Abatement Cost of Agricultural Carbon Emissions in China:1993-2015 [J]. China Agricultural Economic Review,2018,10,(4):558-571.
- [52] 闵继胜,胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2012,(7):21-27.
- [53] 孙耀华,李忠民. 中国各省区经济发展与碳排放脱钩关系研究[J]. 济南:中国人口·资源与环境,2011,(5):87-92.
- [54] 单豪杰. 中国资本存量K的在估算:1952—2006年[J]. 北京:数量经济技术经济研究,2008,(10):17-31.

Effectiveness Evaluation of Carbon Emission Reduction in China, Identification of Backward Areas and Path Optimization

TIAN Yun, CHEN Chi-bo

(School of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan, Hubei, 430073, China)

Abstract: The paper comprehensively evaluates the carbon emission reduction in China and its 30 provinces. On this basis, the “backward regions” of emission reduction are accurately identified and their emission reduction paths are adjusted and optimized by means of decoupling model and shadow price model. The results show that:

By 2016, China has already achieved the 2020 carbon emission reduction target promised by the government ahead of schedule. If the current rate is maintained, China should be able to achieve the 2030 carbon emission reduction target ahead of schedule. However, there are obvious differences in specific provinces. Among them, judging from the achievement of the carbon emission reduction target in 2020, 15 places such as Beijing, Tianjin and Jilin have been fully realized, and 3 places such as Anhui will soon be realized. Further analysis on the achievement of 2030 carbon emission reduction targets in 18 regions shows that except Guangxi and Shandong, the other 16 regions have the ability to complete the expected emission reduction targets ahead of schedule or on time. However, the remaining 14 provinces represented by Hainan and Hebei will face certain challenges in future emission reduction work, which are potential “backward areas” for emission reduction.

Through systematic screening, Shanxi, Inner Mongolia, Hainan, Guizhou, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia and Xinjiang are identified as “backward areas” for emission reduction. From the perspective of geographical distribution, the western provinces are the main ones. In order to better optimize the path of emission reduction, the relationship between their carbon emissions and economic development is discussed. It is found that their decoupling types show certain differences. Among them, Shanxi and Guizhou are in the same category, basically consisting of weak decoupling and strong decoupling. Inner Mongolia, Shaanxi, Gansu and Ningxia belong to the second category, with multiple decoupling types coexisting in the early stage of expansion negative decoupling, expansion connection and weak decoupling, and gradually evolving into weak decoupling and strong decoupling in the later stage. Hainan, Qinghai and Xinjiang belong to the third category. During the whole investigation period, there are many types of decoupling coexisting, and there is no obvious stage characteristic.

For the nine “backward regions” with emission reduction, on the basis of taking into account the average rate of decline in carbon emission intensity and marginal carbon emission reduction cost (shadow price) in the whole region and in the past five years, and in combination with the change track of decoupling types between carbon emission and economic growth, their carbon emission reduction targets are scientifically set and the practical path is optimized. Among them, Guizhou, Gansu, Hainan and other three places are still subject to the original constraint target (i. e. target I), i. e. the carbon emission per unit of Gross Domestic Product in 2030 is 65% lower than that in 2005, but the emission reduction rate should be increased. Inner Mongolia is subject to target II, that is, carbon emissions per unit in Gross Domestic Product will be reduced by 70% in 2035 compared with 2005, and the emission reduction rate needs to be greatly increased. Shanxi, Shaanxi, Ningxia, Qinghai, Xinjiang and other five places are subject to target III, that is, the carbon emission per unit of Gross Domestic Product will be reduced by 75% in 2040 compared with 2005, and the emission reduction rate is required to be greatly increased.

The research conclusion reveals that China should be able to achieve the expected emission reduction targets promised by the government, but there are obvious differences in specific provincial administrative regions. Among them, 21 regions have already achieved or have the potential to achieve the carbon reduction targets ahead of schedule, while the other 9 regions are “backward regions” in emission reduction. The existence of the above-mentioned problems requires the government not only to make overall plans for the formulation of relevant policies, but also to base itself on local conditions to ensure its pertinence.

On the basis of clarifying the effect of carbon emission reduction in China and its provinces, this study identified “backward regions” in carbon emission reduction and completed the adjustment and optimization of their respective emission reduction targets and paths, which provided important data support and theoretical basis for continuously improving carbon emission reduction strategies and earnestly implementing the concept of green development.

Key Words: paris agreement; carbon emissions; carbon emission reduction; effectiveness evaluation; path optimization

JEL Classification: E61, O13

DOI: 10.19616/j.cnki.bmj.2019.06.002

(责任编辑: 闫梅)