

碳达峰约束下中国工业增长与节能减排的双赢发展

李治国 王杰 车帅*

摘要:在绿色转型的宏观经济背景下,中国工业的可持续发展面临碳达峰目标的现实约束。本文基于方向性距离函数的动态行为分析模型和 Malmquist-Luenberger 指数,通过对 30 种工业增长、节能减排和碳达峰情景的综合评估来明确中国工业经济增长与节能减排协同发展的最优路径。研究表明:2020—2030 年预测区间内,减排政策实施导致潜在损失始终为负,而工业减排的潜在损失在时间维度上渐趋下降,证明工业双赢发展目标未来可期;工业产出增速 8%、能耗增速 4.8% 且工业部门 2030 年碳排放达峰路径下潜在产出净值最大,即为中国未来工业双赢发展的最优化路径;最优路径下工业部门全要素生产率整体上呈现上升态势;最优路径下碳强度下降的相对减排目标基本完成,绝对减排目标则不尽理想,省际间碳强度减排差异明显。因此,需要明晰工业部门节能减排与绿色发展的双赢路径,不断强化工业低碳转型发展的内在动力,同时积极制定差异化的空间经济发展和减排策略。

关键词:碳达峰;碳强度;工业经济;碳减排;节能减排

一、引言

继中国在《中美气候变化联合声明》中提出在 2030 年左右实现碳排放达峰并争取提前达峰后,2015 年又在巴黎世界气候大会上承诺到 2030 年单位 GDP 碳排放量相较 2005 年下降 60%~65%,此后又进一步作出努力争取 2060 年前实现碳中和的减排与发展承诺。碳强度下降和碳排放达峰的减排“双控”目标约束既是未来经济快速发展的挑战,亦是转变发展思维、

*李治国,中国石油大学(华东)经济管理学院,邮政编码:266580,电子邮箱:upeguo0316@163.com;王杰(通讯作者),中国石油大学(华东)经济管理学院,邮政编码:266580,电子邮箱:978301103@qq.com;车帅,中国石油大学(华东)经济管理学院,邮政编码:266580,电子邮箱:jgcheshuai@163.com。

本文系中央高校基本科研业务费专项资金项目“能源供给侧结构性改革背景下天然气产业管道网络经济效率提升研究”(20CX04001B)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的宝贵修改建议,文责自负。

实现绿色转型的机遇和杠杆,而碳中和目标则是将节能减排与经济增长置于绿色发展的统一框架内,因此我国围绕环境治理和绿色发展路径展开了一系列探索,其中工业部门作为我国能耗增长和碳排放的主要源头,在实现降耗目标和落实减排责任过程中扮演重要角色。一方面,中国工业发展正处于高能耗、高污染的粗放型发展模式向低碳化、创新化的集约型模式转变的过渡期,具有探寻最优化节能发展路径的内在动力;另一方面,资源环境超负荷严重破坏工业增长的可持续发展空间,较高的生态代价和环境成本成为我国工业转型升级的外部压力。工业增长和碳减排作为我国经济低碳转型的重要推力和目标函数,如何在碳达峰的现实目标约束下实现二者的双赢发展既是我国经济高质量发展的必然要求,亦是我国自主减排和担当的重要体现,因此推动工业经济增长与节能减排的双赢发展势在必行。基于上述现实问题,本文通过情景预测综合评估不同碳达峰路径下的中国工业经济增长水平,有助于明晰工业经济增长与节能减排的双赢发展的最优现实路径,进而为中国工业可持续发展和碳减排目标的有效达成提供经验依据和政策指导。

二、文献综述

针对中国所提出的“在2030年左右实现碳排放达峰并争取提前达峰”的减排承诺,多数研究主要关注这一现实目标是否能够如期完成。Tollefson(2016)指出中国当前具备在2030年实现碳排放达峰的现实条件,甚至可能提前完成。上述观点得到den Elzen等(2016)的研究佐证,他们基于环境政策强化背景下的能源系统和土地利用模型,发现2030年我国碳排放水平与预测峰值基本一致。柴麒敏和徐华清(2015)通过工业化国家发展路径模拟,研究发现“十五五”期间是碳峰值目标实现的关键窗口期,其中碳峰值总量约为120亿吨,而人均碳排放则维持在8.5吨左右。Liu等(2015)同样认为完善的市场机制和合理的区域减排目标有助于中国2030年碳排放达峰目标的实现。基于中国能源结构调整、绿色经济转型和政府环境治理的决心,部分学者研究表明中国碳排放达峰时间可以显著提前。Green和Stern(2017)基于2015—2025年能源消费碳排放总量预测指出中国将于2025年甚至更早实现碳达峰;郭建科(2015)通过中国与G7国家经济社会发展对比分析指出,基于不同的碳强度衰减速率,我国依次可能在2021年、2017年和2033年实现碳排放达峰,且达峰目标的实现需要有高质量经济发展水平支撑;Yu等(2018)基于“经济-碳排放-就业”多目标优化模型对中国碳排放足迹进行拟合,发现最有可能在2023年碳达峰。在此基础上,亦有部分学者积极探索碳达峰目标实现的更多路径。平新乔等(2020)主张以产业政策和微观政策的协同作用,并辅以逐年下调的碳排放指标等行政性手段来优化减排体系;胡鞍钢(2021)提出依托控制能耗、减少煤炭消费并增加一次能源消费所形成的政策合力来推动减排。

基于碳排放达峰的现实可行性分析,国内外研究进一步聚焦于节能减排与经济发

同理论探究和双赢路径筛选。一方面,节能减排会抑制生产和消耗资源,对经济增长带来负面效应,也能通过环境改善和生产率提高为“发展”和“减排”提供双赢;另一方面,经济增长对能源消耗的依赖,增加了减排难度,高质量绿色经济发展则为节能减排提供了内在动力。尽管节能减排与经济发展交互关系存在较大的不确定性,但“环境波特假说”却认为环境质量提升与厂商生产率和竞争力增强的双赢发展是可能的,环境规制长期来看可以激发创新、促进技术进步和生产率提升,通过创新补偿途径抵消环境政策成本,并且这一理论得到诸多研究佐证。陈诗一(2010)不仅通过构造方向性距离函数的动态行为分析模型,证明了存在节能减排和绿色发展双赢的最优路径,而且采用1980—2008年工业经济面板数据实证表明,改革开放以来中国实行的一系列节能减排政策有效地推动了工业绿色生产率的持续改善;王兵和刘光天(2015)利用两期权修正罗素模型考察节能减排对于绿色全要素生产率的影响,从而验证“波特假说”的合理性;陈超凡(2018)则基于能源消费情景和差异化减排路径,综合评估45种减排政策组合对工业潜在产出的影响,从而明晰工业增长和环境保护的最优实现路径;何建坤(2021)进一步指出碳达峰时间越早、峰值越低,则越有助于碳中和长期目标的实现,推动经济与能源低碳转型的协同优化。进一步地,有学者基于多重路径分析提出了节能减排和经济增长协同发展的对策建议。涂正革(2008)提出以工业经济结构升级、产权结构改革以及企业集团化发展等促进环境与工业协调发展;殷宝庆(2012)发现环境规制与工业制造业绿色生产率之间存在“U”型拐点,提出在国际垂直专业化进程中适度加强环境规制强度,从而突破负向临界效应;何建坤(2013)则提出以优化能源结构、清洁能源利用和提高能源转换效率作为实现减排和发展双赢的关键路径;刘俊伶等(2019)主张依托不同的技术路径实现工业脱碳,即近期以成熟的能效技术为主、中长期以低碳技术创新为核心。

上述针对“环境波特假说”的相关研究中所采用的研究方法主要包括理论机制分析、计量回归分析和数据包络分析(DEA)等,其中包含非期望产出的非参数DEA方法由于克服了先验模型设定的主观性和严格假设难以满足的局限,同时能够有效区分期望产出和非期望产出特征,从而在节能减排的经济增长效应研究中日渐得到广泛应用。范丹和王维国(2013)采用序列DEA的方向性距离函数和环境规制强度指数证明全国及四大区域均支持“波特假说”的存在;程时雄等(2016)利用时间可替代DEA模型测度不同减排目标约束下的经济增长效应,发现大部分工业行业存在着“环境波特假说”所阐释的节能减排和经济增长之间的双赢模式;原毅军和谢荣辉(2016)则是运用SBM方向性距离函数对比分析了费用型环境规制和投资型环境规制对中国工业绿色增长产生的不同影响,验证并完善了“波特假说”理论;陈超凡(2018)则基于非期望产出强弱可处置性下的距离函数值构建了潜在产出与增长净值指标,从而确定中国工业未来发展的最优化路径。

现有文献中对于节能减排和工业发展的协同路径研究已取得一系列成果,但仍存在着部

分局限:(1)多数文献仅仅关注于碳达峰的单一目标,割裂了碳达峰和碳强度下降等减排内容的联系,鲜有文献将其纳入同一框架展开分析的尝试;(2)对于“环境波特假说”的验证分析多基于历史数据,针对工业增长与节能减排协同发展的预测研究则相对稀缺;(3)已有的文献往往忽略区域空间异质特征,导致不同区域工业增长目标实践和差异化减排路径设定有效性不足。本文尝试在现有的研究基础上进行如下拓展:首先,基于方向性距离函数构建节能减排的动态行为模型,进而基于差异化的碳达峰路径进行嵌套分析;其次,通过对不同政策组合下的潜在产出和损失的对比分析,有效筛选出工业增长与碳减排双赢发展的最优化路径,同时利用 Malmquist-Luenberger 指数进一步考察该路径的动态前景;最后,基于区域异质性特征最优化路径下省际工业增长与碳减排双赢发展的具体情况,并对“后进区域”进行减排目标重构,从而在兼顾碳减排“双控”目标的前提下实现全面的工业增长双赢目标。因此,本文选用 2000—2018 年省际历史数据并将研究区间拓展至 2030 年,通过情景分析与节能减排动态行为模型的结合应用明晰最优化减排路径,并将区域异质特征纳入考量,在为工业发展双赢目标实现提供实证依据的同时,有效拓展当前的研究内容和结论应用范畴。

三、研究方法

(一)方向性距离函数(DDF)

考察包含非期望产出的生产技术集,假定非期望产出 $b=(b_1, b_2, \dots, b_i)$ 有 i 种,则这类生产技术集可以表示为 $P(X)=\{(Y, b): X \text{ 能生产 } Y, b\}$ 。环境 DEA 模型在传统投入产出指标的基础上,引入非期望产出向量 b ,其生产可能集满足空连接性、弱处置性以及平凡性公理等假设,具体可以表示为:

$$T=\{(x, y, b): \lambda^T x \leq x_0, \lambda^T y \leq y_0, \lambda^T b \leq b_0, b \geq 0\} \quad (1)$$

传统 DEA 模型在处理非期望产出时往往采用投入处理法、数据转换处理法等,这不仅违背了实际生产过程,而且破坏了模型的凸性假设(于潇、孙猛,2015)。在此基础上,设定具有弱处置性非期望产出的方向性距离函数模型打破了传统单维径向测度的限制,实现了决策单元依照事先设定的路径改进效率。

对于期望产出与非期望产出的径向改进主要是通过设定方向向量 $g=(g_y, g_b)$ 来实现,为尽可能满足期望产出和非期望产出反向调整的规划目标,一般设定为 $g=(g_y, -g_b)$,因此包含非期望产出的方向性距离函数的表达式为:

$$D_0(x, y, b; g_y, -g_b) = \text{Max} \{ \beta: (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(X) \} \quad (2)$$

其中, β 代表给定决策单元生产效率的可调整程度,即与生产前沿面上的投影值之间的差距。当 $\beta=0$ 时,说明决策单元恰好位于生产前沿面上,生产效率已达最优; $\beta>0$ 则说明决策

单元与生产前沿之间仍有一定距离,尚处于无效率状态,存在提升效率的空间, β 最大值等于 1,表示完全无效率状态。

(二)节能减排动态行为分析模型(DAAM)

基于 Chambers 等(1996)和 Chung 等(1997)提出的标准方向性距离函数和行为分析模型,陈诗一(2010)首次构建用于评估节能减排行为的经济效应的动态行为分析模型,在此基础上利用这一分析框架考察节能减排的潜在产出水平,具体思路如图 1 所示。A 点所表示的现实生产单元位于生产前沿内部,基于高投入高产出的粗放型发展模式所导致的生产无效率存在改进空间,即由 A 点向生产前沿面 B 点或 C 点的映射。B 点反映了弱可处置性技术条件下的生产前沿,表示非期望产出的减少必然以牺牲期望产出为代价,而 C 点所反映的强可处置性技术条件则是假定非期望产出的减少不需要额外成本。AB 和 AC 的绝对值等于不同可处置性假设下的距离函数值 β_R 和 β_F ,如式(3)和式(4)。显然,强可处置性下的产出改进空间显著大于弱可处置条件,但后者却更符合现实生产环境,与外部环境规制行为也更加匹配。

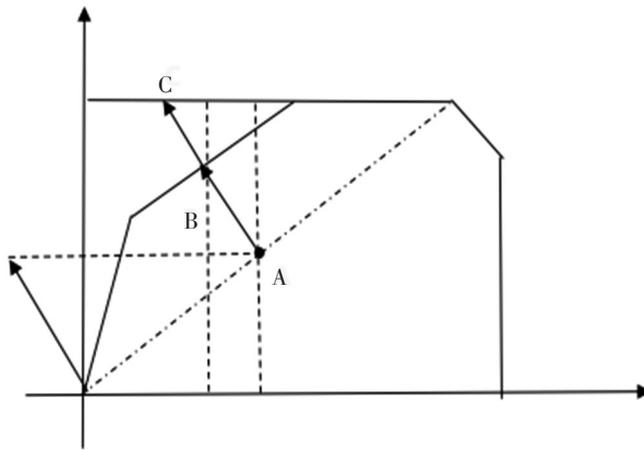


图 1 不同可处置性设定下的方向性距离函数

$$D_0^f(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t) = \max \beta_F \quad (3)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^I z_i^t y_{im}^t \geq (1 + \beta_F) y_{im}^t, m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{i=1}^I z_i^t b_{iw}^t \geq (1 - \beta_F) b_{iw}^t, w = 1, 2, \dots, W \\ \sum_{i=1}^I z_i^t x_{in}^t \leq x_{in}^t, z_i^t \geq 0, n = 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, 30 \end{cases}$$

$$D_0^R(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t) = \max \beta_R \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^I z_i^t y_{im}^t \geq (1 + \beta_R) y_{im}^t, m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{i=1}^I z_i^t b_{iw}^t = (1 - \beta_R) b_{iw}^t, w = 1, 2, \dots, W \\ \sum_{i=1}^I z_i^t x_{in}^t \leq x_{in}^t, z_i^t \geq 0, n = 1, 2, \dots, N, i = 1, 2, \dots, 30 \end{cases}$$

其中 N 为要素投入数量, M 和 W 则分别表示与之对应的期望产出和非期望产出; i 表示决策单元; z 表示决策单元权重系数。 β_F 反映了强可处置性假定下的潜在产出水平, 而 β_R 则是弱可处置性条件下的潜在产出水平, 二者差值 $L = \beta_R - \beta_F$ 可以理解为环境规制或节能减排行为所引致的潜在产出损失。考虑到 $\beta_R - \beta_F$ 必然小于 0, 选用 $\omega = \beta_R - |L|$ 来刻画工业部门节能减排行为所导致的潜在产出与潜在损失的净值。若 $\omega > 0$, 表明节能减排行为所引致的潜在产出增加大于潜在损失, 即节能减排的同时, 工业部门能够实现产出增加, 这与“环境波特假说”所提出的环保政策能够通过技术创新等促进经济增长的内涵基本一致, 由此证明“环境波特假说”成立, 反之则说明减排行为难以达到双赢的理想状态。

(三) Malmquist-Luenberger 生产率指数

涂正革和肖耿(2009)、Peretto(2009)等均指出环境全要素生产率是能源和环境政策长期经济效果的重要评判标准。因此, 基于弱可处置下的方向性距离函数估计结果, 可以进一步采用 Malmquist-Luenberger 指数(ML 指数)来测度考虑能源投入和碳排放非期望产出下的工业部门绿色全要素生产率, 从而在生产率层面检验最优路径下工业部门经济增长与节能减排能否实现双赢, 若所得到的 ML 指数大于 1, 意味着工业部门生产效率提升, 反之表明工业生产率处于负增长状态。进一步地, ML 指数可以分解为技术进步变动(GTECH)和技术效率变动(GEFFCH), 前者反映了规模经济、制度创新以及经验吸收等引致的生产效应, 后者具体表现为生产工艺创新对生产效率的影响。具体地, t 期到 $t+1$ 期的 ML 指数可以表示为:

$$ML_t^{t+1} = \left\{ \left[\frac{1 + D_0^t(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right] \times \left[\frac{1 + D_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; y^t, -b^t)}{1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1})} \right] \right\}^{1/2} \quad (5)$$

四、情景设定

减排的内涵并不局限于二氧化碳绝对量的减少, 考虑到中国现阶段的国情发展要求和减排难度, 采用相对减排标准, 即碳排放增长率的下降, 具有一定的合理性, 而对于绝对量减排的强制性减排模式则在文中不予分析。不同于以往的研究中将研究区间延伸至较长的时间节点, 本文基于我国所承诺的到 2030 年或者更早的碳排放达峰目标设计 6 种减排路径, 依次分别为碳排放总量在 2025 年、2026 年、2027 年、2028 年、2029 年和 2030 年达到峰值, 即碳排放增长率在相应的年份均匀下降为 0。同时, 考虑到我国能耗增长“路径锁定”特征和二氧化碳引致排放, 将碳排放增长率开始下降的初始年份设定为 2020 年。需要说明的是, 尽管 2020 年已经发生, 但由于省级层面 2020 年度工业部门统计数据尚未完全公布, 相关的投入产出指标难以准确获取, 因此本文仍将 2020 年作为预测区间的初始年份。

在工业增长情景设定中, 考虑到“十二五”期间我国工业部门平均增速保持在 8%, 而“十

三五”截止到2019年的平均工业增速达到7.68%，在劳动力和资本存量等投入水平不变的前提下，我国工业产值增长速度较有可能保持平稳，因此工业增速的基准情景设为8%（陈超凡，2018）。一方面，在我国当前经济下行压力和节能减排的能耗控制下，设置低经济增速情景分别为6%和7%；另一方面，新常态下的经济动能转型有助于释放工业部门发展潜能，技术进步、产品升级和需求增长拉动工业增速提升，由此设置高经济增速情景为9%和10%。

节能目标的设定则是依据“十三五”规划中提出的“2020年全国万元国内生产能耗比2015年下降15%，能耗总量控制在50亿吨标准煤内”的目标，考虑到工业部门是我国能源使用的消费主体，同时也是节能减排和低碳达标的“主力军”，因此将这一降耗指标应用于工业部门较为合理。同时基于“十二五”规划期间工业部门超额完成单位GDP降耗16%的经验来看，年均下降3%的目标具有一定的现实可行性。在工业经济增长和单位GDP能耗下降情景设定的基础上，可以估算历年工业部门的能耗总量，进而得到平均能耗增速分别为2.8%、3.8%、4.8%、5.7%和6.7%。进一步地，不同工业增速和能耗增速下的碳排放惯性亦随之强化，因此假定不同路径下2020年可能的碳排放增速值有所差异。

参考陈诗一（2010）和陈超凡（2018）等工业生产路径模拟的研究经验，本文聚焦节能减排政策预期下的参数设定规律，为考察工业经济增长与节能减排能否实现双赢发展，本文依次设定工业增长的低速、高速和基准情景，同时假设工业部门碳排放分别在2025年、2026年、2027年、2028年、2029年和2030年达到峰值，通过不同情景组合下的潜在产出与损失对比确定最优路径；与此同时，本文亦兼顾投入产出经济变量预期参数的内在联系。为简化计算，本文假定资本存量和劳动力投入保持平稳，即以2000—2018年历史平均变化率作为预测区间内的投入增长率，因此投入产出的效率差异主要取决于能源要素。由于工业增长和碳排放的变化率既定，同时工业部门亦面临单位GDP能耗年均下降3%的现实约束，由此可以推算得到不同路径下能耗增长率。

五、实证分析

（一）数据说明

本文基于2000—2018年中国省际工业部门历史数据（不包含港澳台和西藏地区），通过非期望产出强弱可处置性下的方向性距离函数模型与情景分析方法的结合应用，综合预测评估2020—2030年我国工业部门经济增长与节能减排的协同路径。具体地，期望产出（*Output*）选用工业总产值来表示（万亿元）；非期望产出（*CO₂*）则用二氧化碳排放量（百万吨）表示，分地区工业二氧化碳排放量来源于中国碳核算数据库（CEADs）所公布的碳排放数据；劳动力投入（*Labor*）主要选取分地区工业部门年末用工人数（百万人）；能耗总量（*Energy*）则采用发电煤耗计算法所测度的工业部门终端能源消费数据（亿吨）；工业资本存量（*Capital*）利用式（6）

所示的永续盘存法(PIM)估算,基期2000年的资本存量 K 是用2001年的资本形成总额比上折旧率与1953—1957年固定资产投资形成平均增长率之和,进而基于资本存量核算公式得到2000—2018年省际资本存量(万亿元)。

$$K_{it} = K_{it-1}(1-\delta) + \frac{I_{it}}{P_i} \quad (6)$$

公式(6)中, K_{it} 和 K_{it-1} 分别表示 t 期和 $t-1$ 期的资本存量, I_{it} 表示固定资产投资额, δ 和 P_i 则分别表示对应的折旧率和价格指数。

本文所采用的样本数据主要来源于历年《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》等。资本存量和工业总产值等货币指标均以2000年为基期进行平减处理,缺失值主要采用均值法补充完整。变量的描述性统计与相关性分析如表1所示,不难看出,各投入产出变量之间存在正相关性,工业经济增长、能耗增长与碳排放关系密切。另外,本文主要采用MaxDEA分析工具对方向性距离函数构建节能减排的动态行为模型进行测算。相较于参数方法,数据包络分析(DEA)这一非参数方法能够克服先验模型设定的主观性,同时省略参数估计的繁复过程,保证了效率分析的便捷性与可靠性。

表1 变量描述性统计与相关性分析

变量	最大值	最小值	平均值	<i>Output</i>	<i>Energy</i>	<i>Capital</i>	<i>Labor</i>	CO_2
<i>Output</i>	30.11	4.03	15.81	1.00				
<i>Energy</i>	30.06	8.37	21.36	0.86	1.00			
<i>Capital</i>	49230.34	299.75	5302.57	0.70	0.79	1.00		
<i>Labor</i>	79.29	55.64	70.88	0.68	0.74	0.55	1.00	
CO_2	1553.82	0.87	311.87	0.54	0.80	0.50	0.61	1.00

(二)工业增长与碳减排双赢发展的最优化路径分析

本文基于5种工业增长、能耗增长情景和6条工业碳排放达峰路径,针对30种减排政策组合的潜在产出与损失进行具体分析,结果如表2所示,其中 β_R 、 L 和净额 ω 依次表示预测区间内不同政策组合情景下我国工业部门潜在的产出、损失和发展净值。整体结果显示,30种政策组合情景中由于节能减排政策实施而导致的工业部门潜在损失均为负值,即在未来较长周期内工业部门仍难以达到经济增长与节能减排的双赢目标,因此最优化路径的选择要保证潜在损失尽可能较小。不过,这样的结果并不足以证明“环境波特假说”不成立,原因在于在不同的经济发展和节能情景中,随着碳排放达峰年份的延迟,工业部门节能减排的潜在损失绝对值不断减小,说明渐进型减排模式符合最优化减排路径要求。尽管节能减排造成一定程度的潜在损失,但潜在产出和工业发展净值始终为正。就潜在产出而言,在6%和10%的工业经济增速情景中,潜在产出呈现逐步降低的态势,说明较快或较慢的工业发展速度均会导致生产无效率状态的普及程度降低;反之,7%、8%和9%工业经济增速情景中工业发展的潜在产

出则存在扩大趋势,说明在现阶段高投入高产出发展模式下工业生产效率存在进一步下滑的风险,从而佐证了转变经济发展模式、调整投产结构和积极节能减排的必要性。从工业发展净值的变化趋势来看,不同节能减排情景中的净额 ω 均呈上升态势,其提升空间由6%组的[0.0725,0.0918]到7%组的[0.1154,0.1288]。

进一步地,通过不同减排路径下的工业潜在产出、损失以及发展净值的对比分析,整体而言,碳达峰目标年份越靠后往往净额更高(产出增长6%的情景例外)。其中,以2030年作为碳排放达峰目标年份,10%经济增速下的净额0.1269、7%经济增速下的净额0.1288和8%经济增速下的净额0.1323均处于较高的水平。因此最优化路径应当处于上述方案之中。同时,考虑到生产过程中的无效率状态,上述三种方案所对应的潜在产出依次为0.1730、0.1759和0.1724。无论是潜在产出增长还是产出净值,2030年碳达峰目标下产出增长率8%、能耗增长

表2 差异化节能减排情景下中国工业增长预测结果

高经济增速	产出增长率9%,能耗增长率5.7%			产出增长率10%,能耗增长率6.7%		
	β_R	$L=\beta_R-\beta_F$	净额 ω	β_R	$L=\beta_R-\beta_F$	净额 ω
2025年达峰	0.1583	-0.0571	0.1012	0.1875	-0.0692	0.1183
2026年达峰	0.1607	-0.0554	0.1053	0.1859	-0.0666	0.1193
2027年达峰	0.1631	-0.0550	0.1081	0.1853	-0.0640	0.1213
2028年达峰	0.1654	-0.0524	0.1130	0.1835	-0.0631	0.1213
2029年达峰	0.1677	-0.0518	0.1149	0.1818	-0.0588	0.1204
2030年达峰	0.1713	-0.0479	0.1216	0.1730	-0.0461	0.1269
低经济增速	产出增长率6%,能耗增长率2.8%			产出增长率7%,能耗增长率3.8%		
	β_R	$L=\beta_R-\beta_F$	净额 ω	β_R	$L=\beta_R-\beta_F$	净额 ω
2025年达峰	0.1352	-0.0434	0.0918	0.1725	-0.0571	0.1154
2026年达峰	0.1267	-0.0381	0.0886	0.1744	-0.0563	0.1181
2027年达峰	0.1179	-0.0317	0.0862	0.1750	-0.0545	0.1205
2028年达峰	0.1092	-0.0264	0.0828	0.1749	-0.0522	0.1227
2029年达峰	0.1011	-0.0225	0.0786	0.1752	-0.0511	0.1241
2030年达峰	0.0836	-0.0111	0.0725	0.1759	-0.0471	0.1288
基准情景	产出增长率8%,能耗增长率4.8%					
	β_R	$L=\beta_R-\beta_F$		净额 ω		
2025年达峰	0.1683	-0.0581		0.1102		
2026年达峰	0.1694	-0.0569		0.1125		
2027年达峰	0.1710	-0.0569		0.1141		
2028年达峰	0.1713	-0.0550		0.1163		
2029年达峰	0.1731	-0.0594		0.1137		
2030年达峰	0.1724	-0.0401		0.1323		

注:表中结果采用2020—2030年预测结果均值。

率4.8%这一路径均处于更优的水平。基于工业发展现实情况的考虑,能耗增长率维持在4.8%的水平与我国降耗转型的发展要求基本契合,8%的产出增长率也属于我国未来工业发展的可期目标。一方面,自“十二五”规划以来我国工业部门长期保持着8%左右的工业经济增速,现阶段我国经济发展虽然面临下行压力,但新常态下的经济结构转型和发展方式转变能够为经济部门提供机遇和杠杆,从而有助于释放工业发展潜能;另一方面,2030年碳排放达峰的目标能够在及时兑现我国减排承诺的同时,有效避免激进的减排方式导致较多的产出损失。

(三)最优路径下工业部门生产效率预测分析

基于前述分析,本文进一步利用所预测的2020—2021年平均ML指数及其技术效率变动指数(GEFFCH)、技术进步变动指数(GTECH)分解结果考察最优路径下工业部门的生产效率,结果如表3所示。不难看出,预测区间内工业部门生产效率整体上有所上升,但同时呈现“先升后降”的动态趋势,2025年后生产效率有所回落并保持稳定。从分解结果来看,2025年之前技术效率变动指数呈现大幅提升,成为推动生产效率进步的重要动力,这与节能减排行为所引致的吸收前沿技术的追赶效应密切相关,然而在2025年以后,技术效率的提升潜力殆尽且追赶效应释放完毕,技术效率变动对于工业部门生产效率的整体影响快速下降;与此同时,技术进步在生产效率稳中求进的过程中则长期发挥着主导作用,因此技术进步是助推工业部门经济增长与节能减排双赢发展的关键所在。整体来看,“2030年碳达峰目标下产出增长率8%、能耗增长率4.8%”这一最优路径下,尽管节能减排实施初期工业部门的生产效率小于1,但对于技术效率变动却具有较为显著的促增作用,长期内亦能够释放技术进步在生产率提升中的主导作用,最终有助于工业部门节能减排与经济增长的双赢发展。

表3 最优路径下工业部门平均ML指数值及其分解结果

年份	ML指数值	ML指数变化率	GEFFCH指数值	GTECH指数值
2020—2021	0.9704	2.24%	0.9271	1.0466
2021—2022	0.9921	4.75%	0.9458	1.0489
2022—2023	1.0392	4.59%	0.9874	1.0524
2023—2024	1.0869	2.83%	1.0311	1.0541
2024—2025	1.1177	-5.39%	1.0581	1.0563
2025—2026	1.0575	1.58%	1.0000	1.0575
2026—2027	1.0742	-1.17%	1.0148	1.0584
2027—2028	1.0617	0.00%	1.0000	1.0617
2028—2029	1.0616	0.15%	1.0000	1.0616
2029—2030	1.0633	0.15%	1.0000	1.0633

(四)工业增长与碳减排双赢发展路径的地区异质性分析

以上确定的最优化路径能够在碳排放达峰的减排约束下推动中国工业部门节能发展,并且在生产率层面得到了进一步的验证,但基于我国碳排放达峰与碳强度下降的“双控”目标约

束,同时又引发新的疑问:这一最优化发展路径能否兼顾碳强度下降的减排要求?最优路径下各省份碳强度指标下降的具体情况如何?

针对碳强度变化的关键指标,从2030年碳强度下降60%~65%的减排目标考察最优路径下碳强度的减排情况。2018年我国工业部门整体碳排放强度约为2748.72千克/万元,相较于2005年下降幅度约为52.15%,反映了我国工业部门积极响应减排号召并提前完成碳强度减排目标。具体到不同的省份,2018年工业碳强度变化情况则存在较大的差异性。绝大多数省份的碳排放强度呈现不同程度的下降,其中贵州、吉林和湖南等省份的下降幅度最大,而广

表4 最优化路径下省际工业部门碳强度减排预测结果

地区	2005年碳强度 (千克/万元)	2030年碳强度 (千克/万元)	变化率	2030年 相对目标	2030年 绝对目标
安徽	7915.50	1619.62	-79.54%	实现	接近
北京	4731.56	947.76	-79.97%	实现	实现
福建	3006.72	864.76	-71.24%	实现	实现
甘肃	12902.0	4080.66	-68.37%	实现	差距较大
广东	2200.89	731.88	-66.75%	实现	实现
广西	4723.99	1808.69	-61.71%	接近	接近
贵州	17265.7	2852.30	-83.48%	实现	接近
河北	7368.61	2514.78	-65.87%	实现	接近
海南	3880.29	3788.78	-2.36%	差距较大	差距较大
河南	5944.48	1275.84	-78.54%	实现	接近
黑龙江	7169.89	3846.66	-46.35%	接近	差距较大
湖北	5734.18	1185.91	-79.32%	实现	接近
湖南	6458.80	1243.54	-80.75%	实现	接近
吉林	9128.14	1604.97	-82.42%	实现	接近
江苏	3472.66	1031.19	-70.31%	实现	实现
江西	5258.13	1370.40	-73.94%	实现	接近
辽宁	9915.85	3125.96	-68.48%	实现	差距较大
内蒙古	14130.4	5960.45	-57.82%	接近	差距较大
宁夏	27463.0	7607.16	-72.30%	实现	差距较大
青海	8810.27	3248.30	-63.13%	接近	差距较大
山东	5956.11	1338.08	-77.53%	实现	接近
山西	11866.4	4029.64	-66.04%	实现	差距较大
陕西	11167.7	1436.50	-87.14%	实现	接近
上海	2989.67	1078.84	-63.91%	接近	实现
四川	5342.60	1272.06	-76.19%	实现	接近
天津	3874.16	978.94	-74.73%	实现	实现
新疆	11669.2	5916.35	-49.30%	接近	差距较大
云南	9028.79	2272.44	-74.83%	实现	接近
浙江	3571.95	934.78	-73.83%	实现	实现
重庆	4808.18	1143.08	-76.23%	实现	实现

东、北京和福建三省的碳强度水平则最低;相反,内蒙古、青海、广西、黑龙江和海南等省份的减排形势则不容乐观,特别是海南省,碳排放强度不降反升,每单位工业产值所导致的碳排放量高达6784.08千克。基于上述各省份工业部门碳强度减排的基本现实,2030年碳强度减排目标预测完成情况如表4所示。

基于2030年碳排放强度相较于2005年下降60%~65%的减排任务,依次设定减排比例达到65%的相对减排目标和碳排放强度值达到1149.70千克/万元的绝对减排目标。具体来说,相对目标考察碳强度减排比例是否达到65%,按照减排比例的不同划分为实现($\geq 65\%$)、接近(45%~65%)和差距较大($\leq 45\%$)三个阶段;绝对目标则是考察碳强度值是否能够低于1149.70千克/万元,具体包括差距较大(≥ 3000)、接近(1149.10~3000)和实现(≤ 1149.10)三个等级。尽管从整体情况来看,全国工业部门碳强度减排基本完成预期目标,但具体省份之间的碳强度减排却呈现出较大的差异。就相对减排目标而言,整体实现情况优于绝对减排目标,北京、天津等23个地区能够及时完成65%的碳强度减排目标,而海南省与该目标的差距依然较大。绝对目标减排中,能够及时完成减排目标的仅有北京、天津等8个地区,甘肃、海南、黑龙江、辽宁、内蒙古、宁夏、青海、山西和新疆地区距离绝对减排目标差距较大。

不难发现,能够及时有效完成碳强度减排目标的省份主要集中于东部地区,而距离减排目标差距较大的省份则以中西部和东北地区省份居多。究其原因,以北京、天津为代表的东部地区经济相对发达,低碳节能技术更为先进,工业生产的清洁转型进程更快,同时所面临的环境规制往往也更为严格,因此减排工作能够以较高的规格开展。反观中西部和东北地区,一方面,以内蒙古等为代表的西北地区由于经济发展水平相对落后,地方政府为谋求当地经济的快速发展,往往采取“牺牲环境换取经济”的措施,经济水平提升、能源消费增加的同时亦引致二氧化碳排放的持续攀升;另一方面,以山西为代表的部分省份煤炭等传统能源依存度高、重工业占比大,同时受制于绿色技术水平落后、减排成本过高等现实难题,导致当地工业发展的绿色转型阻力重重。另外值得注意的是,宁夏等地区尽管相对减排达标,但绝对减排情况却并不乐观,容易形成“有效减排”的假象,这与此类地区前期粗放型发展模式而导致碳强度高密切相关。基于田云和陈池波(2019)提出的“减排后进”概念将上述省份定义为“后进减排区域”。

综合上述分析,在前文所确定的工业增长与碳减排的最优化路径下,中国工业部门整体上基本可以完成2030年碳排放强度减排目标,从而佐证这一路径的合理性与可行性。但同时,基于省际发展的异质特征,部分“后进减排区域”的碳强度减排情景并不乐观,具体如表5所示。不难看出,“后进减排省份”集中于中西部等较为落后的省份(新疆、宁夏、内蒙古等)和重工业比重偏高的省份(山西、辽宁等)。而在前文最优化减排路径下工业绿色增长分析中,同样发现此类省份潜在产出损失较小,工业发展与节能减排的双赢机会和获利空间更大。因

此有必要通过对“后进减排区域”碳减排目标进行重构使之与最优化路径相匹配,即分别考虑可行性和公平性原则,基于最优化路径下的减排成本约束和平均减排速度设置差异化减排目标,从而保障最优化路径下工业部门整体减排效果的同时,尽可能合理有序地推进各省份的减排工作。

表5 最优路径下省际工业部门碳强度减排聚类结果

2030年		绝对目标		
		实现	接近	差距较大
相对目标	实现	北京、福建、广东、江苏、天津、浙江、重庆	安徽、吉林、贵州、河北、云南、河南、湖北、湖南、江西、山东、陕西、四川	甘肃、辽宁、宁夏、山西
	接近	上海	广西	黑龙江、青海、内蒙古、新疆
	差距较大	无	无	海南

六、结论和政策启示

本文立足于我国所承诺的碳减排“双控”目标约束,结合情景分析方法和方向性距离函数的节能减排动态行为模型,依据潜在产出净值变化指标明晰中国工业增长与碳减排双赢发展的最优化路径,进而基于空间异质性视角下考察省际工业双赢发展的差异,研究发现:

第一,不同碳达峰路径和经济增长情景的政策组合评估结果表明,在2020—2030年预测区间内,工业部门潜在产出净值随碳达峰时间推移而增加,说明渐进型减排模式在当前的减排国情中具有一定的合理性。同时,由于节能减排政策实施而造成的工业潜在产出损失始终为负,意味着我国工业部门在未来短期内难以达到经济增长与碳减排的双赢目标。综合对比之下,2030年碳排放达峰和8%工业产值增长率、4.8%能耗增长率的情景组合中潜在产出净值最大,即为我国工业经济增长和碳减排双赢发展的最优路径。

第二,最优路径下工业部门生产效率整体上呈现上升态势,在生产率层面验证了最优路径下工业增长与节能减排双赢的可能性。节能减排初期工业部门生产效率低于1,即节能减排在一定程度上对于工业产出具有负面影响,但长期来看,节能减排行为初期对于技术效率变动具有积极的促增作用,后期则有助于释放技术进步在工业生产率提升中的主导作用。

第三,在既定的工业双赢发展最优化路径下,各省份的工业增长和碳减排目标完成情况具有较为显著的空间异质特征。整体来看,最优路径下2030年的碳强度相对减排目标完成情况较好,而绝对减排目标则不尽理想。东部省份的碳强度减排目标基本完成,而中西部省

份和东北部分省份则长期处于“后进减排”状态,碳减排前景不容乐观。

基于上述研究结论,所得到的主要政策启示包括:

首先,在工业双赢发展的最优化路径下建立现实可行的绿色绩效考核体系,避免“唯GDP”论和过度的强制性减排模式,在追求工业经济增长的同时兼顾节能减排。在环境政策制度改革过程中涵盖能源消费、污染物排放以及绿色增长水平等环境指标,建立与我国减排模式和发展规划相匹配的约束体系,将相对减排目标和绝对减排目标均纳入减排绩效考量体系,从而推动最优化路径的有效落实。

其次,强化经济绿色转型和节能减排力度,及时突破工业增长与碳排放的脱钩瓶颈,从而形成工业绿色增长和双赢发展的长效机制。虽然研究结果表明工业经济增长与碳减排双赢发展的目标可期,但现阶段中节能减排政策实施依然长期引致潜在的产出损失,因此应当继续强化减排力度并加速碳达峰节点的提前到来,从而缩短节能减排下的工业转型“镇痛”周期,尽早推动工业经济增长与节能减排步入双赢发展的正轨。

最后,在工业双赢发展的最优化路径的宏观指导下,基于省际减排异质特征设定差异化的减排目标,从而在保证全国工业部门碳减排目标有效实现的基础上,力求各省份减排目标的有效实现。整体上,中西部省份节能减排的潜在产出损失低于东部地区,而潜在产出净值整体上则高于东部地区,这为中西部地区节能减排策略积极推进提供了重要机遇和关键契机,因此有必要明晰我国工业减排的“后进区域”,通过强化监管、政策扶持以及要素再分配等途径合理有序、分批地推进区域减排。同时,考虑到不同省份减排潜力和难度的显著差异,需要避免统一的区域减排静态标准和盲目“追高”的减排约束,通过减排成本和减排速度估算设定合理可行的动态标准。

参考文献:

- [1] 柴麒敏,徐华清. 基于IAMC模型的中国碳排放峰值目标实现路径研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(06): 37-46.
- [2] 陈诗一. 中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究, 2010, (11): 21-34.
- [3] 陈超凡. 节能减排与中国工业绿色增长的模拟预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(04): 145-154.
- [4] 程时雄,柳剑平,龚兆鋆. 中国工业行业节能减排经济增长效应的测度及影响因素分析[J]. 世界经济, 2016, (3): 166-192.
- [5] 范丹,王维国. 中国区域环境绩效及波特假说的再检验[J]. 中国环境科学, 2013, (05): 186-193.
- [6] 郭建科. 国家和中国碳排放演变及中国峰值预测[J]. 中外能源, 2015, 20(02): 1-6.
- [7] 何建坤. CO₂排放峰值分析:中国的减排目标与对策[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(12): 1-9.
- [8] 何建坤. 碳达峰碳中和目标导向下能源和经济的低碳转型[J]. 环境经济研究, 2021, 6(01): 1-9.
- [9] 胡鞍钢. 中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2021, 21

(03)1-15.

- [10] 刘俊伶,夏侯沁蕊,王克,邹骥,孔英. 中国工业部门中长期低碳发展路径研究[J]. 中国软科学, 2019, (11): 31-41+54.
- [11] 平新乔,郑梦圆,曹和平. 中国碳排放强度变化趋势与“十四五”时期碳减排政策优化[J]. 改革, 2020 (11): 37-52.
- [12] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. 经济研究, 2008, (02): 93-105.
- [13] 涂正革,肖耿. 环境约束下的中国工业增长模式研究[J]. 世界经济, 2009, 32(11): 41-54.
- [14] 田云,陈池波. 中国碳减排成效评估、后进地区识别与路径优化[J]. 经济管理, 2019, 41(06): 22-37.
- [15] 王兵,刘光天. 节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角[J]. 中国工业经济, 2015, (05): 57-69.
- [16] 原毅军,谢荣辉. 环境规制与工业绿色生产率增长——对“强波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, 2016, (07): 144-154.
- [17] 殷宝庆. 环境规制与我国制造业绿色全要素生产率——基于国际垂直专业化视角的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(12): 60-66.
- [18] 于潇,孙猛. 中国省际碳排放绩效及2020年减排目标分解[J]. 吉林大学社会科学学报, 2015, 55(01): 57-65+172.
- [19] Chambers, R. G., Y. Chung, and R. Fare. Benefit and Distance Functions[J]. Journal of Economic Theory, 1996, 70(2): 407-419.
- [20] Chung, Y. H., R. Fare and S. Crosskopf. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, (3): 229-240.
- [21] den Elzen, M., H. Fekete, N. Höhne, 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.
- [22] Green, F. and N. Stern. China's Changing Economy: Implications for Its Carbon Dioxide Emissions[J]. Climate Policy, 2017, 17(1-4): 423-442.
- [23] Liu, Z., D. Guan, S. Moore, et al. Steps to China's Carbon Peak[J]. Nature, 2015, 522(7556): 279-281.
- [24] Peretto, P. F. Energy Taxes and Endogenous Technological Change[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2009, 57 (3): 269-283.
- [25] Tollefson, J. China's Carbon Emissions Could Peak Sooner than Forecast[J]. Nature, 2016, 531(7595): 425.
- [26] Yu, S. W., S. H. Zheng, X. Li, et al. China Can Peak Its Energy-Related Carbon Emissions before 2025: Evidence from Industry Restructuring[J]. Energy Economics, 2018, 73: 91-107.

The Win–Win Development of Energy Saving and Emission Reduction and China’s Industrial Growth under the Constraint of Carbon Peak

Li Zhiguo, Wang Jie and Che Shuai

(School of Economics and Management, China University of Petroleum (Huadong))

Abstract: In the context of the green transition of the macro economy, the sustainable development of China's industry faces the practical constraints of the carbon peak goal. Based on the dynamic behavior analysis model of the directional distance function and the Malmquist–Luenberger index, this paper clarifies the optimal coordinated development of China's industrial economic growth and energy conservation and emission reduction through a comprehensive assessment of 30 industrial growth, energy conservation and emission reduction, and carbon peak scenarios. Research shows that in the forecast period from 2020 to 2030, the implementation of emission reduction policies will result in potential losses that are always negative, while the potential losses of industrial emission reductions are gradually decreasing, proving that the industrial win–win development goal can be expected in the future. The industrial sector has the largest potential net output value under the path of peak carbon emissions in 2030 when industrial output growth rate is 8% and energy consumption growth rate is 4.8%, which is the win–win development of industrial growth and emission abatement. The total factor productivity of the industrial sector under the optimal path is generally on the rise. The relative emission reduction target of carbon intensity decline under the optimal path is basically completed, while the absolute emission reduction target is not ideal, and the difference in carbon intensity emission reduction between provinces is obvious. Therefore, it is necessary to clarify the win–win path of energy conservation and emission reduction and green development in the industrial sector, continuously strengthen the internal driving force of industrial low–carbon transformation and development, and actively formulate differentiated spatial economic development and emission reduction strategies.

Keywords: Carbon Emissions Peak; Carbon Intensity; Industrial Economy; Carbon Emissions Reduction; Energy Conservation and Emission Reduction

JEL Classification: E17, O11, Q43

(责任编辑:朱静静)