

节能减排、能替减排与 去能减排的环境效益对比研究

李 萌 娄 伟

摘 要 减少能源生产及消费所产生的污染物是我国生态环境保护的重要内容。能源领域减排路径包括提高能源利用效率、转变能源结构及减小能源消费规模等。在当前可再生能源从补充能源转变为替代能源的战略背景下，用单一的以提高能源利用强度为边界的节能减排概念涵盖所有能源领域的减排活动存在一定程度上的理论缺陷和实践指导中的局限。作者在分析节能减排、能替减排和去能减排的概念内涵及边界的基础上，提出了能源领域减排三轮驱动理论，把节能减排、能替减排和去能减排并列为三条平行的能源领域减排路径，并对三种减排路径的环境效益进行了对比分析及验证。结果表明，在不同的时间段及不同的区域，三种减排模式的环境效益价值是发生转变的，能替减排具有更大的潜力。

关键词 节能减排 能替减排 去能减排 环境效益

【中图分类号】X196 【文献标识码】A 【文章编号】2095 - 851X (2019) 02 - 0028 - 11

一、引言

减少能源生产和消费所产生污染物的路径主要包括提高能源利用效率、转变能源结构及减小能源消费规模等。长期以来，节能减排被广泛用于涵盖能源领域大部分减排活动。节能减排概念应用泛化的理论基础是把节能减排从广义上理解为“通过减少化石能源消费来减少污染物排放”。这种理解在理论上存在一定的不合理性，也不能满足当前我国能源领域减排实践发展的需要。

【基金项目】国家社会科学基金项目“中国新能源产业化发展的影响因素及其作用机理研究”（批准号：11BJY059）。

【作者简介】李萌（1973 - ），中国社会科学院城市发展与环境研究所副研究员，邮政编码：100028；娄伟（1969 - ），中国社会科学院城市发展与环境研究所副研究员。

致谢：感谢审稿专家匿名评审，当然文责自负。

按照世界能源委员会 1979 年提出的定义，节能是指采取技术上可行、经济上合理、环境和社会可接受的一切措施，来提高能源资源的利用效率（王庆一，2005）。我国“十一五”规划纲要提出节能减排任务并确定具体目标，即“十一五”期间，单位 GDP 能耗降低 20% 左右，主要污染物排放总量减少 10%。规划纲要中的节能减排强调单位 GDP 能耗的降低，属于效率减排路径。在当时能源利用粗放的背景下，节能减排涵盖主要能源领域减排活动是符合实际的。

然而，随着可再生能源从补充能源向替代能源转变，能替减排也开始成为能源领域减排的另一条重要路径。能替减排是指利用清洁能源，特别是可再生能源替代化石能源以减少能源污染物排放，是通过转变能源结构实现减排。根据国际能源署、国际可再生能源机构的相关研究，中国可再生能源电力到 2020 年前后将具有市场竞争力（IEA，2018；IRENA，2019）。尽管受化石能源价格波动等因素的影响，光电、风电及生物质发电等可再生能源电力具有市场竞争力的时间点具有一定的不确定性，但时间差距不会太大，最迟在“十四五”期间。竞争力的提升将推动可再生能源的开发利用规模迅速扩大，在减少能源生产和消费产生的污染物排放方面，能替减排的贡献将逐步接近乃至超过节能减排。

去能减排也是当前我国推动能源领域减排工作的重要路径，是指通过“关停并转”等去产能手段实现减能减排。去产能的主要目的是化解产能过剩，但客观上也起到了减少能源消费及污染物排放的作用，不同于节能减排的效率减排路径及能替减排的结构减排路径，去能减排是通过“减产减能”推动减排。

近年来，国内在节能减排、能源结构转变、能源替代及替代能源、产业“关停并转”、能源环境效益等方面已经积累了较为丰富的研究成果。在节能减排的环境效益研究方面，有不少学者基于能源强度或能源效率测算节能减排效果，这些研究也大都认为节能减排主要通过提高能源利用效率实现减排目标（林伯强、蒋竺均，2009；张少华、蒋伟杰，2016），即使研究能源结构转变推动减排，也大都把其归在节能减排概念下（柳亚琴、赵国浩，2015；牛晓耕、牛建高，2015）。在能源替代的环境效益方面，国内相关研究起步较晚，文献数量不多（曹玉书、尤卓雅，2010）。已有研究有的侧重于分析不同可再生能源的环境效应，如定量评估我国发展生物质能替代化石能源的环境价值损失量（陈雅琳等，2010）；有的研究能源替代减排优化模型（赵胤慧，2014）。主流观点认为，能替减排有巨大的环境效益，但在具体实施方面不能一刀切（汤韵、梁若冰，2018）。在去产能化方面，已有研究普遍认为，去产能化对环境治理有促进作用（涂心语，2016），但多数是基于生态恢复、环境改善等多个角度研究去产能的环境效益（米家鑫等，2017），较少聚焦于能源角度。总之，虽然目前国内已有不少节能减排、能替减排及去能减排的相关研究，但其大多是把各种类型的能源领域减排活动归于节能减排理念下，没有涉及这三个概念的辨析，并进行效益对比，难以满足新时期发展战略的理论支撑需求。

对比于国内研究，国外研究没有把节能减排作为一个泛化的专有名词或政策用词

进行应用,而是较为清楚地区分了能源效率减排、能源结构减排和产业转移减排等能源领域减排措施,避免了概念混乱的情况。在能源领域减排方面,国外学者较早关注能源效率问题。比较具有代表性的研究成果是日本学者 Yoichi Kaya 1989年在联合国政府间气候变化专门委员会会议中提出的 Kaya 恒等式,其将能源强度(能源效率)作为能源领域减排的关键要素。近年来,国外更多基于应对与减缓气候变化,特别是在《巴黎协定》框架下研究可再生能源替代化石能源及碳减排等问题(Ravestein et al., 2018; Granco et al., 2019)。在去能减排方面,“关停并”方面的研究具有中国特色,国外主要关注产业转移问题,如“污染避难所效应”的提出(Copeland and Taylor, 2004)。国际上虽然也有一些文献专门研究中国的能源领域减排问题,但这些研究也都没有涉及节能减排概念的应用范围及其合理性问题。

在当前背景下,重新审视节能减排的概念内涵及边界,科学分析其合理的应用范围,把能替减排、去能减排与节能减排并列,是深化我国能源领域减排理论及体现能源替代、去产能等工作进展的现实需要。有鉴于此,本文基于国际国内发展战略的需求,提出能源领域减排三轮驱动理论,在规范节能减排理念应用范围的基础上,对节能减排、能替减排、去能减排的潜力及环境效益进行对比分析,并探讨其转换路径和政策含义。

二、能源领域减排的三轮驱动:节能减排、能替减排和去能减排

(一) 节能减排、能替减排和去能减排的概念区分

能源领域减排中的能替减排、节能减排及去能减排三者既相互区别又相互联系,厘清三者之间的概念是推进国家相关战略实施的基础与关键。

节能减排中的节能与减排,可以从两个方面来理解。一是将节能与减排这两个概念视为并列关系,即包含节约能源资源与减少污染物排放两个工作目标,这个角度的理解适用于节能环保大范畴。二是将节能与减排这两个概念视为因果关系,即通过节能来减排。节能是手段,是因;减排是目标,是果。本文所说的节能减排主要是从后一个角度来理解,指通过技术创新及管理创新等措施提高能源利用效率来减少污染物排放,因此其概念边界是能源效率。

能源替代是指利用水能、地热能、太阳能、风能、氢能、海洋能及核能等清洁能源替代石油、煤炭等对环境污染较大的化石能源,通过转变整个能源生产与消费的结构而实现减排,其概念边界是能源结构。能源替代包括增量替代与存量替代两种模式。增量替代是指在每年能源消费的增量中逐步扩大清洁能源的比例。在这种模式下,清洁能源的增加,并不意味着减少原有污染较重的化石能源的消费量,而是降低其比重,减少污染物的增量,其所遇到的阻力相对较小。存量替代是指以清洁能源消费替代已有的污染较重的化石能源消费,主要是减少污染物的存量。由于需要改变甚至淘汰原有的基础设施,会触动已有既得利益格局,存量替代减排所遇到的阻力

较大。

去能减排主要通过“关停并转”等去产能措施来减少能源消费及污染物排放，主要包括产业转移、停工停产等方式。产业转移是指产业发展高梯度区域把处于衰退期的产业转移到低梯度区域，首选的被转移产业大都是高污染、高能耗或劳动密集型产业。对高梯度区域来说，产业转移意味着减少能源消费及污染物排放，发达国家大都重视采用这种模式以减少本国的环境污染。停工停产是一种临时性的举措，属于极端条件下的极端措施，为应对大规模严重雾霾，京津冀地区近年来多次采取这一措施并取得一定效果。

从能替减排、节能减排和去能减排的概念内涵来看，三者的边界较为清楚，即能源效率、能源结构和减产减能。具体而言，三者的主要区别在于：节能减排通过降低单位能耗来减排，能源消费的总规模未必减小；能替减排通过开发利用清洁能源来减排，增量替代不一定减少化石能源消费总量，而存量替代有利于减少化石能源消费总量；去能减排通过“关停并转”等措施降低能源的消费规模，强调通过减产减能来减排。

（二）能源领域减排的三轮驱动理论

近年来，随着节能减排工作的不断推进，节能减排的空间越来越小。要实现减排目标和经济发展需要，应进行减排的三轮驱动，即在能源生产和消费的过程中，综合利用节能减排、能替减排和去能减排三个方面，通过提高能源利用效率、改变能源结构和减小能源消费规模来减少能源污染物的排放。三者减少能源污染物排放方面具有明显的互补性，应该成为能源领域减排三个并驾齐驱的车轮。

对于传统的减排计算模式，以 Kaya 恒等式为例，排放量 = 人口规模 × 人均 GDP × 单位 GDP 能源消耗量 × 单位能耗排放量。在化石能源占绝对比例的条件下，该公式计算的能源污染物排放量较为准确。但在可再生能源及核能比重增加的情况下，其计算结果就容易出现较大的误差。主要原因在于，单位能耗排放量这一变量主要指化石能源的排放系数，而大多数研究所采用的单位 GDP 能源消耗量又是根据总能耗与 GDP 得出。尽管有一些学者对 Kaya 恒等式进行了扩展或创新，但主要还是依据能源强度等指标，容易忽略能源替代及去产能路径的减排贡献。而考虑能源领域减排的三轮驱动后（见图 1），一个国家、区域或城市的减排成效或潜力的计算公式为“减排潜力 = 节能减排潜力 + 能替减排潜力 + 去能减排潜力”，^①即减排潜力包括能源利用效率提升带来的减排量（效率）、能源替代带来的减排量（结构）和去产能带来的减排量（规模）。

能源领域减排的三轮驱动理论可以弥补用节能减排涵盖所有能源领域减排活动的

^① 化石燃料燃烧时产生的污染物能主要包括二氧化碳、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、可吸入颗粒物等，可根据需要计算的污染物类型对能源类型进行适当变动。例如，计算碳减排量时，能替减排中考虑的清洁能源就不宜包括天然气、干冰等。

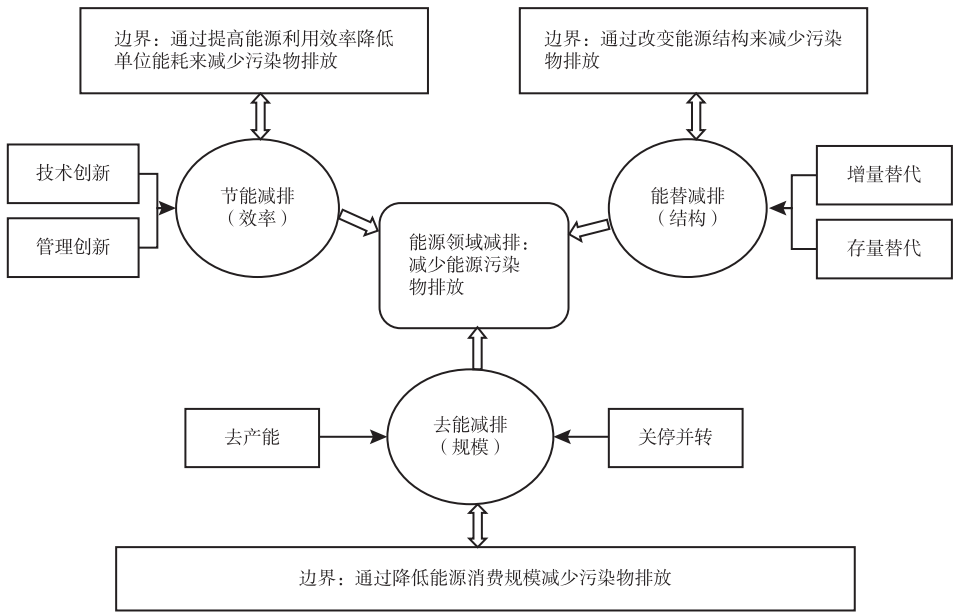


图1 节能减排、能替减排和去能减排三轮驱动

资料来源：作者绘制。

局限性。对于使用清洁能源替代污染较重的化石能源的活动来说，能源消费的总量可能并没有减少，甚至是增加，却也能达到减排的目的，节能减排并没有把这类减排活动包含在内。为减少农村散煤的使用，推动雾霾治理工作，京津冀地区近年来开始在农村推动“煤改气”工作，利用清洁能源替代散煤。在这一过程中，减少污染物排放的主要路径不是节能，而是能源替代，即转变能源结构。而去能减排主要通过“关停并转”等措施直接减小能源的消费规模，以降低单位能耗为特点的节能减排概念也不能涵盖这种减产减能活动。三轮驱动理论把能源领域减排的路径构成细化为节能减排、能替减排及去能减排，不仅有利于更加科学地计算能源领域减排量，还有利于体现能替减排及去能减排工作的成效。

三、节能减排、能替减排和去能减排的环境效益对比

（一）中国能替减排与节能减排的环境效益对比分析：以碳减排为例

就中国而言，当前能源效率的改善对降低碳强度的作用比能源替代更为重要，但随着时间的推移，能源替代的贡献将增大，而能源效率的作用将逐渐减弱（Weng and Zhang, 2017）。把能替减排与节能减排并列具有实践方面的合理性。

1. 不同能源排放系数的比较

大气污染物主要包含二氧化硫（ SO_2 ）、氮氧化物（ NO_x ）、一氧化碳（CO）、挥

发性有机物 (VOCs)、氨 (NH₃)、一次颗粒物 (PM_{2.5} 和 PM₁₀) 和臭氧 (O₃) 等, 这些污染物主要来自煤炭、石油等化石能源的使用。从不同能源的大气污染物排放系数 (见表 1) 可以看出, 利用清洁能源替代化石能源, 能大量减少大气污染物。

表 1 原煤、天然气与可再生能源的大气污染物排放系数

单位: t/tce

污染物燃料		PM _{2.5}	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	CO ₂
民用	原煤	0.010294	0.015600	0.013333	0.016500	1.780000
	天然气	0.000023	0.000470	0.000023	0.000075 ~ 0.000110	0.450000
可再生 能源	生物质能	0.001330 ~ 0.001900	0.003906 ~ 0.005580	0.001568 ~ 0.002240	0.000980 ~ 0.001400	—
	其他	—				

注: —表示可视为无相应污染物排放。为方便对比, 排放系数采用以下换算标准将单位统一折算成 t/tce: 1m³ 天然气 = 1.33kg 标准煤, 1t 原煤 = 0.714t 标准煤, 1kg 标准煤排放 2.493kg CO₂; 生物质能按热值折算标准煤, 标准煤的热值为 7000kcal/kg, 生物质成型燃料的发热量在 3500 ~ 5000kcal/kg。一次颗粒物 (PM_{2.5} 和 PM₁₀) 的排放系数分别来自原环境保护部发布的《大气细颗粒物一次源排放清单编制技术指南 (试行)》和《大气可吸入颗粒物一次源排放清单编制技术指南 (试行)》中的民用能源消费数据, 生物质能的排放系数来自《生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南》中的生物质锅炉使用生物质成型燃料燃烧数据, 其他排放系数来自行业通用数据。

以前文提到的“煤改气”为例, 原煤的 CO₂ 排放系数为 1.78t/tce, 而天然气的 CO₂ 排放系数仅为 0.45t/tce。“煤改气”能大量减少污染物的排放, 如果利用可再生能源替代煤炭, 减排效果就更加可观。对于生物质能来说, 尽管几种主要污染物的排放系数高于天然气, 但都远远低于原煤。至于其他可再生能源, 如果不考虑相关设备的生产、运输及安装环节, 单就生产电能等能源环节而言, 几乎没有以上污染物的产生。

2. 中国“节能”与“能替”活动碳减排潜力的对比

近年来, 随着节能减排工作的推进, 中国的碳减排量呈快速增加态势。同时, 中国目前是全球水力发电、光伏发电及风能发电量最大的国家, 能源替代减排的贡献也越来越大。为比较中国节能减排与能替减排的碳减排潜力, 本文根据能源节约量和能源替代量分别推算 2010—2015 年及 2020 年节能减排及能替减排的碳减排量。

本文假定节约的能源与被替代的能源均为煤炭, 并按标准煤进行计算。不同行业消费煤炭时的产污系数不同,^① 且不同技术工艺的排污系数也是不同的。为简化计

^① 不同行业消费的各类化石能源的产污系数可参考原环境保护部在 2017 年 12 月 27 日发布的《关于发布计算污染物排放量的排污系数和物料衡算方法的公告》, 该公告包括两个具体的附件:《纳入排污许可管理的火电等 17 个行业污染物实际排放量计算方法 (含排污系数、物料方法) (试行)》及《未纳入排污许可管理行业适用的排污系数、物料衡算方法 (试行)》。

算,本文统一采用以下标准折算:节约1kg标准煤=减排2.493kg二氧化碳=减排0.68kg碳。

节能减排碳减排量的计算步骤如下:首先,以2010年不变价格计算历年GDP;其次,将能源消费总量除以GDP得到历年单位GDP能耗;再次,将各年份单位GDP能耗与2010年单位GDP能耗的差值乘以相应年份国内生产总值,得到各个年份以2010年单位GDP能耗及消费价格为基准的能源节约量;最后,将折算为标准煤的能源节约量乘以0.68,得到各年份的碳减排量。

能替减排碳减排量的计算步骤如下:以各年份可再生能源的消费总量作为能源替代量,可再生能源主要考虑了水电、核电、风电和光伏发电;在此基础上,同样将折算为标准煤的能源替代量乘以0.68,得到各年份的能替减排量。需要说明的是,对于可再生能源发电过程中带来的碳排放,本文采取忽略处理,将其视为零碳排放。

对比计算所得的历年由于提高能源利用效率带来的碳减排量(以2010年单位GDP能耗及消费价格为基准)和由于水电、核电、风电和光伏发电的使用带来的碳减排量(见表2),可以看出,尽管目前节能减排的贡献依然大于能替减排,但单就碳减排而言,能替减排在减少能源污染物排放方面的作用已不容小觑。未来,能源效率的提升日益困难,节能减排的空间也会越来越小。而可再生能源等非化石能源所占能源总消费的比重将快速上升,^①能替减排的贡献将逐步赶上甚至超过节能减排。

表2 节能减排与能替减排碳减排量的对比

单位:万吨碳

	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2020年
节能减排的碳减排量	11593.9	22117.5	33622.0	46674.3	62385.9	88799.7
能替减排的碳减排量	22206.8	26735.3	28864.0	32936.1	35969.1	52040.5
水电、核电和风电的碳减排量	22206.8	26735.3	28788.8	32727.2	35641.5	51000.0
光伏发电的碳减排量	—	—	75.2	208.9	327.6	1040.5

注:—表示数据缺失。计算碳减排量用到的2010—2015年的GDP、能源消费总量、水电、核电、风电消费总量等数据来自国家统计局网站(<http://data.stats.gov.cn>);光伏发电数据来自国家能源局网站(<http://www.nea.gov.cn>)。2020年的能源消费总量、单位GDP能耗、可再生能源总量根据《“十三五”节能减排综合工作方案》中“到2020年,全国万元国内生产总值能耗比2015年下降15%,能源消费总量控制在50亿吨标准煤以内。非化石能源占能源消费总量比重达到15%”的目标计算得到。

(二) 去能减排的环境效益分析

以“关停并转”为主要手段的去能减排见效更快,是当前我国产业结构及能源结构调整的重要手段。例如,工业和信息化部印发的《钢铁工业调整升级规划

^① 根据国家发展改革委制定的《可再生能源中长期发展规划》,中国非化石能源燃料占能源消费总量的比重将从2015年的11%增加至2030年的20%;到2050年,2/3的能源将来自太阳能等清洁能源。

(2016—2020年)》提出，到2020年，粗钢产能净减少1亿~1.5亿吨，产能过剩矛盾得到有效缓解，污染物排放总量下降15%以上；国家发展改革委和国家能源局印发的《煤炭工业发展“十三五”规划》提出，到2020年，化解淘汰过剩落后产能8亿吨/年左右；《电力发展“十三五”规划（2016—2020年）》提出，到2020年，力争淘汰火电落后产能2000万千瓦以上。根据国家发展改革委、工业和信息化部、国家能源局2019年4月联合发布的《关于做好2019年重点领域化解过剩产能工作的通知》，2016—2018年，我国累计压减粗钢产能1.5亿吨以上，退出煤炭落后产能8.1亿吨，淘汰关停落后煤电机组2000万千瓦以上，均提前两年完成“十三五”去产能目标任务。2018年，二氧化硫总量同比减排6.7%，较2015年下降18.9%，提前完成“十三五”规划下降15%的目标，其他污染物减排目标也有望提前完成（寇江泽、孙秀艳，2019）。

在“关停并转”等众多去产能的手段中，“关停并”属于符合当前我国部分地区实际情况的阶段性手段，但可持续性不强；产业转移则是国内外常用的去能减排手段。污染避难所理论认为，污染密集型产业会从环境成本内部化程度高的国家迁移到程度低的国家，从而使实施较低环境标准国家成为污染密集型产业的“避难所”。发达国家向发展中国家进行产业转移的过程中，不可避免地将本国高耗能、高排放的产业优先转移（李宏兵、朱廷珺，2011；侯伟丽等，2013）。企业跨国投资对被投资国的碳排放具有显著的负面效应（Grimes and Kentor, 2003）。国内学者研究发现，承接国际产业转移导致的碳排放占我国碳排放总量的比重在25%左右（吕学都，2009；杜运苏、张为付，2012），国内不同区域间的产业转移，也存在污染避难所现象（魏玮、毕超，2011）。也有学者认为，无论是国际产业转移还是国内区域间产业转移均增加了区域碳排放（张俊、林卿，2017）。成艾华和魏后凯（2013）的研究表明，产业转移所带来的工业部门产值的区域结构变动对全国能源强度下降实际上起到了阻碍作用。

但产业转移也有利于避免产业在一个区域过度集中，从而有利于充分利用各区域的环境容量。以北京市为例，近年来，北京市大气污染情况逐步好转，“关停并转”起了较大的作用，根据北京市《2018年政府工作报告》，北京市在2013—2017年内共关停退出一般制造业企业1992家，调整疏解各类区域性专业市场594家。退出关停的企业可减少的大气污染物年排放量约为1.5万吨（曹政，2018）。产业转移需要有一定梯度，产业转出与转入区域如果距离较近，不利于发挥环境容量的作用。例如，20世纪90年代以来，产业转移就成为北京市产业结构调整的重要内容，主要是向河北转移高能耗高污染企业（安树伟等，2016），由于转移地较近，并不利于改善京津冀区域的大气质量。我国东中西部区域发展不平衡，西部地广人稀，太阳能、风能资源丰富且环境容量大。在可再生能源逐步具有市场竞争力的背景下，通过产业转移把东部一些能耗大的产业转移到西部，不仅有利于推动东部的能源领域减排工作，也有利于西部发挥可再生能源资源丰富的优势（邓健、张玉新，2014），同时也可减

轻西电东送的压力。

随着经济的发展,我国向国外进行产业转移的规模越来越大,这对于绕过贸易壁垒,减少能源消费及其带来的污染物排放是有利的。但随着我国可再生能源等清洁能源占能源消费比例的提高,单从减产减排的角度来看,靠产业转移来减排的必要性也在弱化。

四、小结

中国以煤炭、石油为代表的化石能源消费量巨大,在整个能源消费总量中占比较高,加之能源利用效率同世界先进水平有较大差距,意味着中国节能减排工作的潜力较大。随着可再生能源开发利用规模的迅速扩大,以及能源替代工作的不断深入,能源替代减排的重要性日益突出。而“关停并转”也是当前我国能源领域减排的重要路径。能替减排、去能减排已同节能减排一样,成为我国能源领域减排工作的重要构成。

就用能企业而言,最不愿意接受的是去能减排,“关停并”意味着企业产生的绝对损失,“产业转移”带来成本的增加。对于节能减排,从理论上讲,节能意味着提高能源利用效率、降低用能成本,企业接受的意愿较强,但大量的技术及设备改造成本也在很大程度上抵消了节能效益的吸引力,且效率提升越往后难度越大。而对于能替减排,以电力作为能源的企业接受意愿最强。但政府承担了巨大的可再生能源上网电价补贴压力,目前已有上千亿元的资金缺口。不过随着可再生能源发电成本市场竞争力的增强,市场机制将在能替减排路径中发挥越来越大的作用。

在这种背景下,应在明确节能减排、能替减排和去能减排概念范畴及应用边界的基础上,把能替减排和去能减排概念同节能减排概念区分开来,形成三轮驱动能源领域减排的格局,以推动相关研究及实践工作的规范性。对政府部门来说,在未来的能源规划、政策制定及宣传活动中,应把过去单纯的“推动节能减排工作”,改为“推动能源领域减排工作”,具体路径包括节能减排、能替减排和去能减排,在持续重视节能减排工作的同时,重视构建和完善能替减排及去能减排方面的工作机制、市场机制等。

在三种减排模式中,节能减排和去能减排主要通过用能企业自身的努力来实现,能替减排则主要通过能源行业转变能源结构来实现。需要注意的是,在不同的地区,应当依据当地的产业基础、能源资源禀赋等要素,选择主要能源减排路径。例如,对于西部地区来说,太阳能、风能资源丰富,应重点选择能替减排路径;而对于东部和中部地区来说,需要同等重视发挥节能减排与能替减排的作用。

参考文献

安树伟、郁鹏、母爱英(2016):《基于污染物排放的京津冀大气污染治理研究》,《城市与环境研究》第2期,第17~30页。

曹玉书、尤卓雅（2010）：《环境保护、能源替代和经济增长——国内外理论研究综述》，《经济理论与经济管理》第6期，第30~35页。

曹政（2018）：《北京市2017年退出651家一般制造业企业》，http://www.gov.cn/xinwen/2018-02/04/content_5263620.htm [2019-02-15]。

陈雅琳、高吉喜、李咏红（2010）：《中国化石能源以生物质能源替代的潜力及环境效应研究》，《中国环境科学》第10期，第1425~1431页。

成艾华、魏后凯（2013）：《促进区域产业有序转移与协调发展的碳减排目标设计》，《中国人口·资源与环境》第1期，第55~62页。

邓健、张玉新（2014）：《地方政府节能减排的新思路——新能源禀赋与高能耗产业的跨地区转移》，《中国行政管理》第4期，第87~89页。

杜运苏、张为付（2012）：《我国承接国际产业转移的碳排放研究》，《南京社会科学》第11期，第22~28页。

侯伟丽、方浪、刘硕（2013）：《“污染避难所”在中国是否存在？——环境管制与污染密集型产业区际转移的实证研究》，《经济评论》第4期，第65~72页。

寇江泽、孙秀艳（2019）：《生态环保年度目标任务完成》，《人民日报》1月21日，第13版。

李宏兵、朱廷珺（2011）：《碳减排和能源约束下我国承接国际产业转移的路径选择》，《中国流通经济》第12期，第55~59页。

林伯强、蒋竺均（2009）：《中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析》，《管理世界》第4期，第27~36页。

柳亚琴、赵国浩（2015）：《节能减排约束下中国能源消费结构演变分析》，《经济问题》第1期，第27~33页。

吕学都（2009）：《无须排斥高碳产业》，《大经贸》第9期，第49~50页。

米家鑫、张绍良、侯湖平等（2017）：《煤炭去产能对矿区生态环境的影响研究》，《中国矿业》第8期，第86~92页。

牛晓耕、牛建高（2015）：《基于能源消费结构演进的区域节能减排对策探讨》，《工业技术经济》第1期，第155~160页。

汤韵、梁若冰（2018）：《能源替代政策能否改善空气质量——兼论能源定价机制的影响》，《中国人口·资源与环境》第6期，第80~92页。

涂心语（2016）：《去产能：环境治理的新机遇》，《市场周刊（理论研究）》第4期，第83~84页。

王庆一（2005）：《中国节能十问》，《中国能源》第5期，第15~16页。

魏玮、毕超（2011）：《环境规制、区际产业转移与污染避难所效应——基于省级面板 Poisson 模型的实证分析》，《山西财经大学学报》第8期，第69~75页。

赵胤慧（2014）：《北京环境减排目标下能源替代分析与优化模型研究》，北京：华北电力大学博士学位论文。

张俊、林卿（2017）：《产业转移对我国区域碳排放影响研究——基于国际和区域产业转移的对比》，《福建师范大学学报（哲学社会科学版）》第4期，第72~80页。

张少华、蒋伟杰（2016）：《能源效率测度方法：演变、争议与未来》，《数量经济技术经济研究》第7期，第3~24页。

Copeland, B. R. and M. S. Taylor (2004), "Trade, Growth, and the Environment", *Journal of*

Economic Literature, 42 (1), pp. 7 – 71.

Granco, G., M. Caldas and P. D. Marco (2019), “Potential Effects of Climate Change on Brazil’s Land Use Policy for Renewable Energy from Sugarcane”, *Resources, Conservation and Recycling*, 144, pp. 158 – 168.

Grimes, P. and J. Kentor (2003), “Exporting the Greenhouse: Foreign Capital Penetration and CO₂ Emission 1980 – 1996”, *Journal of World-systems Research*, 9 (2), pp. 261 – 275.

IEA (2018), *Renewables 2018: Analysis and Forecasts to 2023*, Paris: IEA.

IRENA (2019), *People, Planet and Prosperity*, Abu Dhabi: IRENA.

Ravestein, P., G. van der Schrier and R. Haarsma, et al. (2018), “Vulnerability of European Intermittent Renewable Energy Supply to Climate Change and Climate Variability”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, pp. 497 – 508.

Weng, Y. Y. and X. L. Zhang (2017), “The Role of Energy Efficiency Improvement and Energy Substitution in Achieving China’s Carbon Intensity Target”, *Energy Procedia*, 142, pp. 2786 – 2790.

A Comparative Study of Environmental Benefits of Energy Conservation, Energy Substitution and De-energy

LI Meng, LOU Wei

(Institute for Urban and Environment Studies, Chinese Academy of Social Sciences,
Beijing 100028, China)

Abstract: Reducing pollutants produced by energy production and consumption is an important part of ecological environment protection in China. Emission reduction in the energy field can be achieved through improving energy efficiency, changing energy structure and reducing energy consumption. Under the background of renewable energy changing from supplementary energy to alternative energy, there are theoretical limitations if we use a single concept of energy conservation and emission reduction achieved through improving energy utilization efficiency to cover all emission reduction activities. Based on an analysis of the concepts and boundaries of energy emission reduction activities such as energy conservation and emission reduction, energy substitution and emission reduction, de-energy and emission reduction, the authors propose a three-wheel driving theory of energy emission reduction, which classifies three energy emission reduction modes as three parallel paths, and compares the potential value of the three emission reduction modes in terms of environmental benefits. The results show that the environmental benefit of the three emission reduction modes has changed during different time periods and in different regions, and energy substitution and emission reduction has a greater potential.

Key Words: energy conservation and emission reduction; energy substitution and emission reduction; de-energy and emission reduction; environmental benefits

责任编辑：庄立