

山东省低碳发展下的碳排放情景研究

徐成龙 张晓青 任建兰

(山东师范大学人口·资源与环境学院,山东 济南 250014)

[摘 要] 由于产业结构的不合理和能源技术的相对落后,在国民经济快速增长的态势下,能源消费和碳排放是难以得到控制的。为探索低碳发展对能源环境的影响,利用 LEAP 模型对基准情景和低碳发展情景下的山东省能源消费及碳排放量进行了预测。研究结果表明,实施低碳发展不仅可以有效缓解能源供应压力,而且可以减缓 CO₂ 排放增长速度;在低碳发展与产业结构和能源结构相结合的情况下,2030 年山东省的能源消费总量将比基准情景减少 14%,碳排放状况也将得到改善,排放总量比基准情景减少 22%。

[关键词] LEAP 模型;低碳发展;情景分析;山东省
[中图分类号] F061.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095 - 3410(2013)05 - 0133 - 07

一、引言

工业革命以来,全球正经历着一次以气候变暖为主要特征的显著气候变化,IPCC 第四次报告指出气候变暖已经是“毫无争议”的事实^[1]。随着全球矿物能源的急剧消耗,排放二氧化碳所引起的全球气候变化越来越为人们所重视。随着经济的不断发展,二氧化碳排放量也是逐年增加的。对于山东省而言,自 2005 年在规模以上工业增加值跃居全国第一的同时,碳排放总量位居全国首位;1997 - 2005 年全国增加的碳排放总量中有 15.51% 源自山东省,山东省碳排放量占全国的比重远远高于 GDP 的比重。并且,长期以来以煤炭为主的能源结构使全省社会经济发展承受着巨大的环境压力。因此,本文以山东省为例,采用 LEAP 模型开展了低碳发展的碳排放情景分析,旨在为山东省中长期低碳经济发展模式提供参考。

国内外许多学者利用 LEAP 模型对不同情景下国家或城市的碳排放量及减排潜力进行了研究。王冰妍等(2004)利用 LEAP 模型对上海市的能源消费

及大气污染物排放量进行了预测,并得出低碳发展可减缓碳排放量增长速度。Pradhan(2006)应用 LEAP 模型对城市交通的节能减排潜力进行了评价研究,得出对城市交通方式的改善可以大幅减少能源的消耗。Limmechokchai(2007)等应用 LEAP 模型分析了泰国农村改进厨灶和小沼气池的节能减排潜力。张颖等(2007)应用 LEAP 模型评价了中国电力行业在不同情景下的节能减排政策对于总体的能源需求以及外部性成本的影响。Cai 等(2008)应用 LEAP 模型研究了中国 5 个最大的碳排部门的减排潜力。Price 等(2009)应用 LEAP 模型对全球工业、交通和建筑部门的能耗和 CO₂ 排放进行情景分析。李栋等(2009)以城市居住区为研究案例,结合 LEAP 模型对小区的能源和原材料消耗进行了预测,结果表明未来常规情景下案例社区的能值可持续性将大幅度下降,应用改进措施在一定程度上能缓解恶化情况。曹斌等(2010)以厦门市为实际研究案例,应用 LEAP 模型进行节能减排政策情景分析,研究结果显示:在综合控制情景下,清洁燃料替

[基金项目] 本文是国家自然科学基金项目“典型人地关系地域系统可持续性评估及生态环境安全预警研究”(项目编号:41271553)的阶段性成果。

[作者简介] 徐成龙(1988 -),男,山东师范大学人口·资源与环境学院博士研究生。主要研究方向:人口、资源与环境经济研究。

代措施节能减排效果最好,工业部门节能减排潜力最大,优化能源使用结构蕴藏巨大减排潜力。李惠民等(2011)从方法论、情景设置、宏观参数、能源消费量、能源消费结构、碳排放量、碳排放强度等几个方面对国内外有代表性的 6 个中国碳排放情景研究进行了比较,研究发现:通过一定的低碳发展政策,在比较情景下,能源结构的优化和碳排放强度的下降更加明显。

二、碳排放影响因素及情景模拟模型

(一)碳排放影响因素

在碳排放影响因素方面,国内外学者采用不同的方法进行了大量研究^{[2] - [4]}。Ang B(1998),徐国泉、刘则渊、姜照华(2006),孙猛(2010)以及葛全胜、方修琦等(2011)采用指标分解法中的对数平均权重分解法(Logarithmic Mean weight Division Index method, LMDI),建立碳排放的因素分解模型,认为经济增长、能源效率低及以煤炭为主的能源消费结构是导致碳排放大量增长的主要因素;Shyamal(2004),冯相昭、邹骥(2008),G. Ipek Tunc(2009)利用 Kaya 恒等式将碳排放影响因素分解成经济总量、人口数量、产业结构、能源利用效率等;Nobuko Yabe(2004),Mukhopadhyay(2004),Bin Shui、Robert C. Harriss(2006),刘红光等(2010),余慧超和王礼茂(2009),李小平等(2010)利用投入产出分析方法对开放经济国际贸易中的“碳泄露”问题做了大量

的研究,认为在产业转移中由于发展中国家产业技术水平较低,能耗水平较高,生产同样的消费品会比发达国家排放更多的二氧化碳,这就使得全球碳排放总量一直处于隐形的增长过程中。一般而言,碳排放水平与人口的经济活动相关,碳排放的分析是在一定的人口和经济基础上进行的,碳排放水平的高低与能源的终端需求有关。根据国内外学者的大量研究结果并结合山东省的实际情况,本文概括出以下几方面是山东省未来碳排放所要考虑的关键因素:产业结构、能源结构、经济增长、人口、城镇化进程以及环境保护政策等等。

(二)能源模型结构

LEAP 模型(Long - range Energy Alternatives Planning System)是由美国劳伦斯—伯克利国家实验室研究开发的一个能源—环境情景分析模型。这个模型主要是由能源供应、能源加工转换、终端能源需求等环节组成,并按照“资源”、“转换”、“需求”的顺序考虑某地区的能源需求及供应平衡情况。根据当前各经济部门的能源需求及基于对未来经济、社会预测的数据,通过设计不同的发展情景下来预测未来的能源消费模式^[5]。该模型主要适用于某一区域的中长期能源环境规划,可以用来预测不同驱动因素下的中长期能源供应与需求,并计算其产生的大气污染物及温室气体排放量(如图 1)。

山东省 LEAP 模型基于 LEAP 模型提供的建模

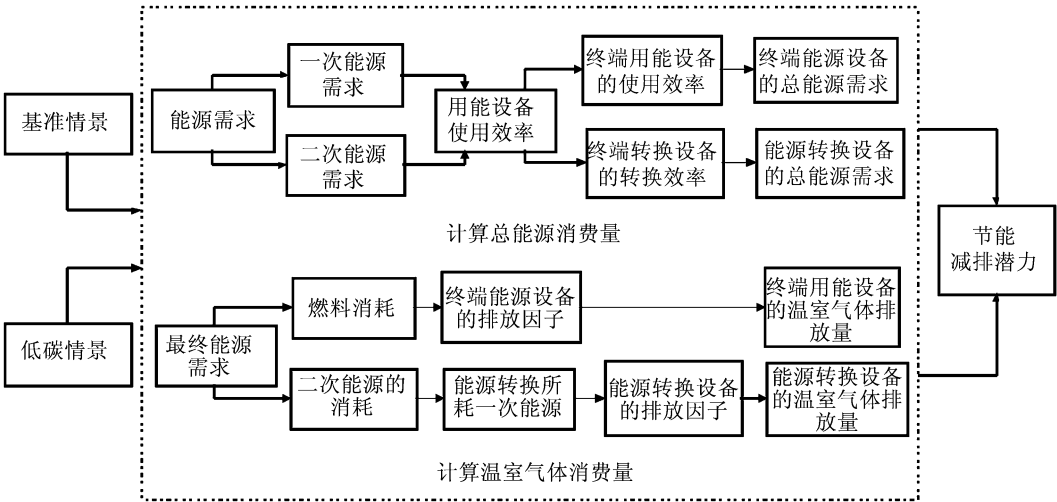


图 1 LEAP 模型的能源需求与碳排放计算过程

基础框架,覆盖了山东省终端能源消费部门和加工转换部门,并涵盖了山东省能源平衡表中所列的能

源品种。该模型以 2010 年作为基准年,每 5 年为一个时间段,研究时间跨度为 2010 - 2030 年。模型的

驱动因素包括经济增长、人口规模、产业结构、能源结构、城市化率等。根据山东省产业部门分类与终端能源消费特点,模型将终端能源需求部门划分为第一产业、第二产业、第三产业和生活消费四个子部门。其中,第一产业主要指农业,第二产业包括工业和建筑业,第三产业包括交通运输仓储和邮政业、批发和零售业、住宿和餐饮业及其他第三产业,生活消费分为城镇和乡村两个部分^[6]。能源主要考虑了原煤、洗精煤、原油、天然气、焦炉煤气、炼厂干气、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气等 17 类。

三、碳排放情景设计

(一)参数设置

根据近年来山东省的国民经济发展趋势和山东省“十二五规划”、2012 年山东省城镇化工作会议、“十八大”报告以及 2000 年中等发达国家的发展水平等。假定 2011 - 2015 年的年均经济增长率为 9% ,2016 - 2030 年的年均经济增长率为 8% ;山东省人口继续保持较低的增长率,到 2030 年人口将达到 10540 万人;城镇化率将从现在的 50.2% 提高到 2030 年的 70%。其中,本文还根据山东省“十二五”规划的发展目标,并参照 2000 年世界中等水平国家的产业和能源结构水平,设定山东省未来的产业结构和能源结构分别在两种情景下进行调整(见表 1 和表 2):

情景 1:到 2030 年,产业结构调整取得一定进展,三次产业结构的比重为 6:40:54。农业占 GDP 的比重在 2030 年将降到 6%,工业的比重也将下降到 35% 左右,建筑业的比重由 2010 年的 6% 减少到 2030 年的 5%。而随着经济的发展和现代化进程的加快,第三产业的比重将由目前的 32% 增长到 54%,其中,交通运输业从 2010 年的 5% 增加到 2030 年的 10%,其他第三产业以及批发零售和住宿餐饮业的比重分别增加到 26% 和 18%。能源消费结构则按照当前水平,假设能源消费结构没有得到优化,各部门的能源消费结构都保持不变。

情景 2:该情景下的产业结构较基准情景的产业结构有所优化,三次产业结构的比重为 5:35:60。农业占 GDP 的比重在 2030 年将降到 5%,工业的比重也将下降到 31% 左右,建筑业的比重由 2010 年的 6% 减少到 2030 年的 4%。其中,山东省的产品

结构和服务结构也发生了很大的变化,资金密集型、技术密集型的产品和服务的发展要快于高耗能行业、轻工业的增长速度。钢铁、建材、化工等高耗能行业的发展将主要依靠结构调整,通过深加工和生产高附加值产品来完成而不是产量扩张。交通运输业从 2010 年的 5% 增加到 2030 年的 12%,其他第三产业以及批发零售和住宿餐饮业的比重分别增加到 28% 和 20%。该情景中的能源结构得到优化,设定山东省 2030 年各部门的能源消费结构。其中,能源结构最不合理的工业等部门煤的比重下降到 40%,油气比重上升为 60%;交通运输业主要以油气为主;其他部门的能源结构则分别主要参考 2010 年山东省的能源消费结构。

表 1 LEAP - Shandong 模型核心参数设定

参数	情景 1		低碳情景 2	
	2020	2030	2020	2030
GDP 增长率(%)	8.5	8	8.5	8
人口(万)	10420	10540	10420	10540
城市化率(%)	63	70	63	70
第一产业比重(%)	7.7	6	7	5
第二产业比重(%)	47	40	43.8	35
第三产业比重(%)	45.3	54	49.2	60

表 2 低碳能源结构的基本假设

	政策或措施	情景内容
工业部门	能源利用效率提高	2030 年工业能源使用效率提高 20%
	能源结构优化	2030 年煤的比重下降到 40%,油气比重上升为 60%
	发展新兴产业	重点发展新能源、新材料、新信息、新医药、海洋开发等五大产业。到 2030 年,新兴产业增加值占地区生产总值的比重达到 20% 左右
交通部门	能源结构优化	能源结构主要以油气为主
能源供应	发展新能源	推进风电开发,加快发展太阳能热利用,重点发展节地型光伏发电。在可再生资源丰富地区,积极发展地热能、海洋能、生物质能、抽水蓄能等新能源,鼓励垃圾、秸秆发电

(二)情景设计

根据上述不同情景下的产业结构和能源结构调整,现将山东省未来情景分为四种:基准情景、低碳情景 1、低碳情景 2 和低碳情景 3。

基准情景:本情景主要是产业结构 1 和能源结构 1 的组合。用过去 16 年的数据来推算未来 20 年

山东省的能耗发展趋势,并不考虑截止到目前已经颁布实施的一系列节能减排政策措施。设想经济发展促进产业结构的调整,但在能源结构方面,由于市场竞争压力在某种程度上限制了企业在提高能源效率方面的投入。清洁燃料受成本、资源等因素的限制,推广和应用不够广泛,能源结构调整和能效提高不能完全达到政府的预期目标^[7]。

低碳情景 1:本情景主要是产业结构 1 和能源结构 2 的组合。在基准情景的基础上,产业结构等在正常经济发展水平下得到调整。与基准情景不同的是对清洁能源的研发以及提高能源效率方面增加投入,能源结构得到了一定的调整和优化^[8]。其中,主要是根据目前发达国家的能源结构并结合山东省的实际情况而定的。

低碳情景 2:本情景主要是产业结构 2 和能源结构 1 的组合。与基准情景相同的是,能源结构调整和能效提高达不到政府的预期目标;不同的是,在基准情景的基础上,产业结构得到进一步的调整和优化。产业结构的调整继续向着“三二一”的模式方向发展,在增加第三产业比重,降低第二产业比重的基础上,继续调整和优化工业内部的产业结构等。

低碳情景 3:本情景中产业结构和能源结构都得到了较为理想的优化,是一个比较乐观的可持续经济和能源发展的设想情景,这种情景经过认真努力有可能发生。其中 2015 年以前的社会经济发展目标是以山东省的“十二五”规划为依据,假定政府所规定的主要社会经济目标届时能够顺利实现;2016-2030 年则是以“十二五”以后的社会发展规划和趋势为依据,结合发达国家的一些经济发展指标,对今后山东省的宏观经济、社会发展、技术进步及应用等做出合理的判断与解释,设想也朝着可持续发展的方向发展^[9]。可以说,本情景是对政府的“十二五”规划和后十五年规划目标下可持续经济发展和相应可持续能源发展前景的诠释。

四、低碳发展与碳排放情景分析

(一)基准情景下的能源需求与碳排放

在基准情景下,如图 2 所示,当山东省经济总量由 2011 年的 19546 亿元增加到 2030 年的 87524 亿元时,山东省终端能源需求将由 2011 年的 18667 万吨标准煤增加到 2030 年的 58695 万吨标准煤。由

于产业结构的变化,第二产业对山东省 GDP 的主导地位将逐步被第三产业所取代,全省能源消费强度将由 2011 年的 0.96 吨标准煤/万元,降至 2020 年的 0.78 吨标准煤/万元,2030 年可进一步降至 0.67 吨标准煤/万元。

预测结果显示,2011-2030 年期间,山东省碳排放量增长的弹性系数为 0.66,低于 GDP 增长速度。但是应当看到,如果仅仅依靠以往的污染控制措施,山东省在 GDP 净增 3.47 倍的同时,全省碳排放量仍将由 2011 年的 12998 万吨增加到 2030 年的 39204 万吨,净增约 2.02 倍。由此可见,虽然目前山东省的产业结构调整政策可减缓碳排放的增长速度,但是由于能源消耗量的增加,全省环境质量仍将受到明显影响^[10]。

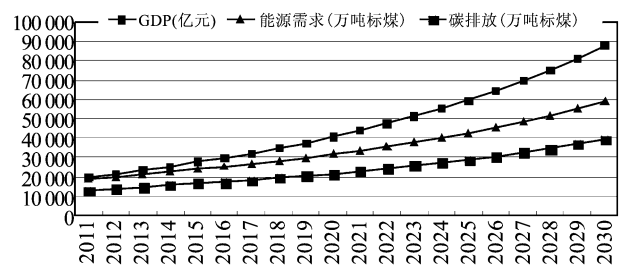


图 2 基准情景下的山东省经济总量、能源需求与碳排放
(二)低碳情景下的能源需求与碳排放

1. 低碳情景下的能源需求

当山东省实施低碳发展措施后,到 2030 年全市能源需求量将由基准情景的 58695 万吨标准煤,降至 50471 万吨标准煤,全年可减少能源需求量 8223.9 万吨标准煤,节能量占基准情景下山东省能源消费总量的 14%。随着低碳措施的实施,全省对煤炭的依赖程度将逐步减轻。与基准情景比较,由于节能、提高能效及低碳能源替代,低碳发展情景下,到 2020 年山东省能源强度将由产业结构调整后的 0.78 吨标准煤/万元,降至 0.72 吨标准煤/万元;2030 年可进一步由 0.67 吨标准煤/万元,降至 0.57 吨标准煤/万元,将比 2010 年的能源强度 0.955 吨标准煤/万元,降低 40%。因此,在低碳发展情景下,随着山东省对油气等能源的需求大幅增加,煤炭在山东省一次能源中所占的比重逐年降低。与基准情景下的能源结构比较,全省对煤炭的依赖程度将有所缓解。

2. 低碳发展的碳排放情景

从山东省总体情况来看,在上述三种低碳发展情景下,碳减排潜力还是很大的(如表3所示)。低碳情景1下,山东省2030年的碳排放为35385万吨标煤,碳排放强度为0.4吨标煤/万元,人均碳排放量为3.36吨标煤;低碳情景2下,山东省2030年的碳排放为33980万吨标煤,碳排放强度为0.39吨标煤/万元,人均碳排放量为3.22吨标煤;低碳情景3下,山东省2030年的碳排放为30616万吨标煤,碳排放强度为0.35吨标煤/万元,人均碳排放量为2.9吨标煤。

表 3	不同情景下的山东省碳排放量(万吨标准煤)			
年份	基准情景	低碳情景1	低碳情景2	低碳情景3
2011	12998	12340	12852	12200
2012	13793	13095	13545	12860
2013	14642	13902	14286	13563
2014	15560	14773	15085	14323
2015	16538	15241	15934	14681
2016	17429	16066	16671	15363
2017	18380	16947	17463	16097
2018	19393	17886	18300	16873
2019	20470	18885	19201	17709
2020	21622	19666	20153	18318
2021	22860	20801	21153	19235
2022	24199	22029	22233	20225
2023	25628	23343	23389	21287
2024	27146	24737	24615	22413
2025	28800	25898	25919	23275
2026	30572	27509	27319	24548
2027	32480	29248	28817	25910
2028	34549	31135	30418	27368
2029	36779	33170	32129	28927
2030	39204	35385	33980	30616

比较上述四种情景下的碳排放相关指标可以看出,在碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放方面,三种低碳情景均低于基准情景。如前所述,由于受到产业结构调整、能源结构优化、城镇化加快等多种因素的综合影响,使得山东省未来20年的碳排放总量有所减少。四个情景下的碳排放总量之差是越来越大的,由此可以看出,随着产业结构、能源结构的不断优化以及相关低碳政策的不断实施和完善,可以使碳排放总量减少的程度不断增加。2030年碳

排放总量最多可以少排放8588万吨标准煤,碳排放强度最多可以减少0.1吨标煤/万元,人均碳排放最多也可减少0.82吨标煤。我们可以得出,对山东省采取相关的低碳措施可以使得碳排放总量以及相关指标在很大程度上得到减少。

综上所述,无论是在碳排放、碳排放强度还是人均碳排放量上来看,通过产业结构和能源结构的调整都能使它们在一定程度上得到限制,为山东省的碳减排做出一定的贡献。此外,在碳排放强度和人均碳排放方面,开创出明显低于现有发达国家的具体实现途径,使得未来山东省的碳排放强度和人均碳排放不断减少且控制在相对较低的水平,对山东省发展低碳经济具有特别重要的意义^[11]。

五、结论及对策建议

(一)基本结论

1. 低碳情景下的山东省碳排放增长缓慢

情景分析的结果显示,如果山东省的经济发展能够建立在依靠技术进步和优化调整经济结构,同时在能源领域采取各种可持续发展对策措施的前提下,未来20年山东省的碳排放可以保持相对较低的增长速度,碳排放强度不断减少。根据三种低碳情景的计算结果,在年均GDP增长率8%的经济增长条件下,2030年山东省碳排放量将在3.06-3.54亿吨标煤之间;三种低碳情景下的碳排放年均增长为4.7%-5.4%,远远低于1994-2010年期间山东省碳排放年均9.49%的增长率。并且,山东省有可能在今后20年实现碳排放强度减少45%,低碳情景3中,2011年的碳排放强度为0.624吨标煤/万元,到2030年碳排放强度将减少到0.35吨标煤/万元。

在相同社会经济发展目标下不同低碳情景的碳排放有所差别^[12]。比较情景分析中三种低碳情景的碳排放预测结果表明,碳排放具有不同的排放量。低碳情景1中2030年的碳排放量已经达到了3.54亿吨标煤,相对基准情景已经减少了近4000万吨标煤,占总碳排放量的10%还多。但是在进一步优化产业和能源结构、强化环境和消费政策可持续性的选择和执行效果条件下,低碳情景3中2030年山东省的碳排放量较低碳情景1仍可减少4768万吨标煤,占届时碳排放总量的15.5%左右。可以看出,

如果继续对产业结构、能源结构和环境政策等进行强化,碳排放仍具有较大的减排空间。

2. 社会经济发展道路的选择是决定未来碳排放趋势的基础性因素

情景分析设立的三个低碳情景对未来碳排放增长的预计尽管有显著差别,但和同期经济增长相比,都属于低增长的碳排放情景。其重要的原因在于情景设定的社会经济发展道路本身反映了可持续发展的趋势^[13]。在设定的社会经济发展情景中,山东省经济结构有重大调整。在三大产业的变化中,第三产业增长速度最快,第二产业产值保持较快增长,结构得到优化。在第二产业中,高附加值的信息、电子、高新技术等行业超速发展,包括轻工业和高新技术产业在内的加工制造业在工业增加值中的比例大幅度上升,而高耗能行业的比例明显下降。三个情景在直接反映人民生活水平提高的生活消费部门用能和交通用能方面,也反映了加强引导,促进可持续的合理消费方式的政策取向并对这些部门的能源结构进行优化。这些结构性的调整显著地降低了对于各用能领域的终端用能需求,使三个情景都因结构性调整导致了明显的能效提高和碳排放的减少。

许多国家的专家们从人类可持续发展的角度出发,都看到发达国家目前建立在大量消费自然资源(包括能源资源)基础上的“繁荣”和“发达”是不可持续的。解决可持续发展问题,需要从解决发展模式出发。在近来发表的联合国政府间气候变化专门委员会的科学报告中,专家们明确指出,未来社会经济发展道路的选择比具体技术的选择对全球温室气体排放的影响更为重要^{[14] - [16]}。山东省低碳发展情景分析强调社会经济发展道路的选择,印证了国际上许多关心可持续发展前途的专家们的研究成果。

(二) 对策建议

1. 改进能源结构,积极发展新能源技术

煤类对碳排放贡献率最大,因为它所释放的二氧化碳要比同等水平下的油气多很多,所以能源结构的不合理是长期制约社会经济发展的重要因素。最近几年,我省虽然经济持续增长,但是能源消耗也呈递增趋势。目前,山东省的能源消耗和生产主要以煤炭为主,这些导致了我省的经济发展面临着能

源供应的制约。因此,我省需要逐步降低煤炭的使用比重,促进能源效率的提高,加速开发天然气等可再生能源,这些都是发展低碳经济的重要措施。山东省为了实现低碳发展,一方面应进一步加强与可再生能源与新能源领域的国际交流与合作,加快可再生能源与新能源科研成果的转化,建立可再生能源与新能源国际科技合作基地;另一方面在学习、借鉴和引进先进技术的基础上,应大力发展自身的低碳技术^[17]。

2. 转变经济增长方式,优化产业结构

我省的经济增长方式存在的主要问题仍然是粗放型经济增长模式,该模式主要依靠对物质投入的增加来带动经济的增长,具有高投入、高消耗、低效率、高排放等特点。这些特点从侧面反映了产业结构与资源能源结构之间的不合理。所以,山东省要想保证经济发展的质量,顺利实现低碳经济,就必须对现在的经济增长方式进行转变,努力发展集约型经济增长方式,改变不合理的产业结构。

产业结构越不合理,每单位经济产量所产生的碳排放量就越多,因此在保证经济总量增长的情况下应对产业结构进行调整和优化^[18]。调整产业结构一方面需要对经济手段和行政手段加以利用,通过提高门槛和环境标准限制高碳产业的发展;另一方面,要制定适当政策,对低碳产业进行适当的引导、鼓励和扶持,如生态农业、旅游业、体育竞赛产业和文化产业等。工业内部结构的不合理是山东省碳排放量较高的一个主要原因,因此针对工业内部结构的调整提出一些对策建议有助于山东省实现低碳经济,并朝着低碳产业方向发展。首先,加强高耗能行业(石油加工及炼焦业、煤炭采掘及加工等)的结构调整,这些产业是工业部门碳排放总量的主体产业。削减小型、分散、工艺落后的污染源,淘汰陈旧设备是首要任务,这些可以大量减少能源消耗的增长,限制二氧化碳的排放。其次,可以对一些传统工业进行淘汰,也可以利用现代科技对部分传统工业进行彻底改造,并杜绝高耗能行业的重复建设,防止“锁定效应”^[19]。

3. 提高全民环保意识,推行低碳生活方式

低碳生活方式和消费方式是低碳生活的主要方面,转变国民传统的思想观念是实行低碳生活的重

要前提。政府需要制定切实有效的发展规划,保证公民积极参与,这是实现低碳经济发展的前提条件。开办科普超市、科普日,让广大群众了解低碳生活常识是城市发展低碳的重要途径,农村可以通过广播、宣传等方法了解与改进^[20]。政府需要多方面倡导绿色生产、绿色经营、绿色消费,让低碳这个观念深入人心。低碳生活是建立在低能耗、低污染、低排放、高效利用、循环利用资源基础上的一种优质、健康、文明的生活方式。提高全民环保意识,不仅可以让全民了解发展低碳经济的必要性,而且可以使公众知道低碳生活就在我们自己身边,与每个人食、衣、住、行、用息息相关。同时,还可以使人们真正树立低碳生活:节电、节水、节油、节气都是低碳生活的重要内容。

参考文献:

[1] Ang B W and Lee S Y. Decomposition of Industrial Energy Consumption: Some Methodological and Application Issues[J]. Energy Economics,1994(2):83-92.

[2] Reyer Gerlagh. A climate change policy induced shift from innovations in carbon energy production to carbon energy savings[J], Energy Economics,2008(30):18-25.

[3] Youguo Zhang. Supply side structural effect on carbon emissions in China[J]. Energy Economics,2010(32):56-64.

[4] Yin F Chang and Sue J Lin. Structural decomposition of industrial CO₂ emission in Taiwan: an input output approach[J]. Energy Policy,1998(1):5-12.

[5] 包森,田立新,王军帅. 中国能源生产与消费趋势预测和碳排放研究[J]. 自然资源学报,2010,(08):1248-1254.

[6] 曹斌,林剑艺,崔胜辉,唐立娜. 基于 LEAP 的厦门市节能与温室气体减排潜力情景分析[J]. 生态学报,2010,(12):3358-3367.

[7] 付加锋,刘小敏. 基于情景分析法的中国低碳经济研究框架与问题探索[J]. 资源科学,2010,(02):205-210.

[8] 姜克隽,胡秀莲,庄幸,刘强,朱松丽. 中国 2050 年的能源需求与 CO₂ 排放情景[J]. 气候变化研究进展,2008,(09):296-302.

[9] 刘某某,王斌,李文华. 基于生态足迹模型的中国未来发展情景分析[J]. 资源科学,2010,(01):23-31.

[10] 刘红光,刘卫东,范晓梅,唐志鹏. 全球 CO₂ 排放研究趋势及其对我国的启示[J]. 中国人口·资源与环境,

2010,(02):84-91.

[11] 刘东霖,张俊瑞. 我国能源消费需求的时变弹性分析[J]. 中国人口·资源与环境,2010,(02):92-97.

[12] 刘琰. 低碳生态城市——全球气候变化影响下未来城市可持续发展的战略选择[J]. 城市发展研究,2010,19(05):35-42.

[13] 史丹. 产业结构变动对能源消费需求的影响[J]. 数量经济技术经济研究,1999,(12):50-52.

[14] 王冰妍,陈长虹,黄成,赵静,戴懿. 低碳发展下的大气污染物和 CO₂ 排放情景分析——上海案例研究[J]. 能源研究与信息,2004,(03):137-145.

[15] 魏一鸣,刘兰翠,范英,吴刚. 中国能源报告(2008):碳排放研究[M]. 北京:科学出版社,2008.

[16] 余慧超. 中美商品贸易的碳排放转移研究[J]. 自然资源学报,2009,24(10):1837-1846.

[17] 岳超,王少鹏,朱江玲,方精云. 2050 年中国碳排放量的情景预测——碳排放与社会发展Ⅳ[J]. 北京大学学报(自然科学版),2010,(03):517-524.

[18] 赵欣,龙如银. 江苏省碳排放现状及因素分解实证分析[J]. 中国人口·资源与环境,2010,(07):25-30.

[19] 朱永彬,王铮,庞丽,王丽娟,邹秀萍. 基于经济模拟的中国能源消费与碳排放高峰预测[J]. 地理学报,2009,(08):935-944.

[20] 朱勤,彭希哲,陆志明,吴开亚. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 资源科学,2009,(12):2072-2079.

(责任编辑:韩 斌)

