

[主持人语]“十八大”报告指出“面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势,扎实推进低碳发展、循环发展、绿色发展,加快推进生态文明建设,是我国的必然选择。”由于低碳城市建设广泛涉及到城市规划、工业、建筑、交通等诸多领域,是一个复杂、动态的巨系统。为此,作为推进低碳发展的实质性载体,低碳城市建设任重而道远。本期刊出3篇文章,既包括对城市碳排放调控研究的理论成果,也包括对城市低碳交通进行研究的实证成果。其中,《基于多层次和多学科复杂系统科学的城市碳排放调控机理研究》一文对基于多层次、多学科复杂系统科学的城市碳减排进行了调控机理分析;《基于规划视角的城市低碳交通建设路径探析》一文则从低碳交通理念、低碳交通路网结构、低碳交通道路设计等视角探讨了城市建设低碳交通的基础路径;《长株潭城市群低碳交通建设现状与对策分析》一文则以长株潭城市群为例,实证分析了长株潭城市群公路交通、轨道交通、新能源车辆的应用现状,估算了长株潭城市群2006~2010年的公路交通碳排放量。

## 基于多层次和多学科复杂系统科学的城市碳排放调控机理研究

刘建文<sup>1</sup>, 杜乐<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 长株潭两型社会研究院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南工业大学 财经学院, 湖南 株洲 412007)

[摘要] 低碳城市是一个涉及产业、建筑、交通、管理、生活方式及法律法规、伦理道德等多层次、多层面的复杂系统工程。本文通过城市碳排放源头、影响因素分析, 基于多层次的碳减排机理分析和基于多学科复杂系统科学的碳减排调控机理分析, 提出要充分发挥政府的引导作用, 着力发挥市场的主导作用, 加强技术、制度、观念的创新与整合, 加快城市产业结构升级, 营造低碳消费环境与倡导低碳消费理念, 促进城市发展向低碳经济转型。

[关键词] 碳排放; 碳排放影响因素; 调控机理

[中图分类号] X506

[文献标识码] A

[文章编号] 1674-117X(2013)01-0001-06

### Research on Regulation Mechanisms of the Urban Carbon Emission Based on the Multi - Level and Multidisciplinary Complex System Science

LIU Jianwen<sup>1</sup>, DU Le<sup>2</sup>

(1. Institute of Chang - Zhu - Tan "Two - oriented" Society, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, 412007, China;

2. School of Economics and Finance, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, 412007, China )

**Abstract:** The countermeasures of city carbon emission reduction have been put forward based on the multi - level urban carbon emission reduction mechanism and multidisciplinary complex system science city carbon emission regulation mechanism. These countermeasures include the following aspects: giving governments on directing functions as well as market on leading role; strengthening innovation and integration technology, systems and concepts; speeding up upgrade of urban industry structure, building low - carbon consumption environment and advo-

收稿日期: 2012 - 11 - 11

基金项目: 湖南省社科基金资助项目(11YBB133)

作者简介: 刘建文(1964 -), 男, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事产业经济、区域经济规划及低碳技术研究。

cating low - carbon consumption concept as well as promoting the urban development toward a low - carbon economy.

**Key words:** carbon emission; influence factors of carbon emission; regulation mechanisms

目前,城市低碳化已成为世界各地的共同追求。许多国际大都市以建设成低碳城市为荣,他们关注和重视在经济发展过程中的代价最小化,人与自然和谐相处,以及人性的舒缓包容。2010年始,中国也掀起了建设低碳城市的热潮。国家发改委已启动我国包括北京、上海、海南和石家庄等29个城市和省区的第二批低碳试点区,并明确指出:低碳城市建设试点必须坚持以我为主、从实际出发的方针,立足国情、统筹兼顾、综合规划;加大改革力度、完善体制机制;依靠科技进步、加强示范推广,努力建设以低碳排放为特征的产业体系和消费模式。

发展低碳经济是城市可持续健康发展的必然选择。低碳城市的建设包括:新能源利用、清洁生产技术推广、低碳产业体系建设、低碳交通体系建设及树立绿色规划、绿色建筑、绿色消费理念等几个方面。开发低碳能源是建设低碳城市的基本保证,清洁生产是建设低碳城市的关键环节,循环利用是建设低碳城市的有效方法,可持续健康发展是建设低碳城市的根本方向。<sup>[1]</sup>由此可见,低碳城市建设是一个涉及产业、建筑、交通、管理、生活方式及法律法规、伦理道德等多层次、多层面的复杂系统工程。因此,开展基于多层次、多学科复杂系统科学的城市碳排放调控机理研究,对有力推进城市低碳化建设的试点示范与推广,将提供非常重要的理论指导及技术支持。

## 一 城市碳排放的现状与源头

### (一)城市碳排放现状

我国已进入新的经济快速增长阶段,人均GDP超过10 000美元,重、化工业比重增加,能源密集度提高,能源消费呈迅速增长态势。由此决定了我国温室气体排放的现状是:温室气体排放总量大、增速快,单位GDP的CO<sub>2</sub>排放强度高。中国科学院预测科学研究中心发布的,2011年我国分行业、一次化石能源消费产生的二氧化碳排放量的测算结

果是:我国CO<sub>2</sub>排放总量约为7 457.9百万吨,增速约5.9%,其中来源于煤炭消费的二氧化碳排放量约为5 636.3百万吨,来源于石油消费的二氧化碳排放量约为1 478.5百万吨,来源于天然气消费的二氧化碳排放量约为343.1百万吨。这种状况使得减缓碳排放量的增加既存在一定潜力,也面临很大困难。

由于人口高度集聚,社会经济活动强烈,对环境产生深刻影响,城市不可避免的成为低碳发展的关键点。因此,发展低碳经济,运用有效方法减少碳排放的问题,城市首当其冲。

### (二)城市碳排放源头

温室气体的种类主要为6类:二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O),以及包括氢氟碳化物(HFCs)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)和全氟化碳(PFCs)在内的含氟温室气体。城市碳排放的气体构成中,二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的比例最大,是主要的排放种类,其主要来自于化石燃料的燃烧。<sup>[1]</sup>

虽然各个城市都有其自身特点,但是城市碳排放来源是相似的,其主要来自于能源活动、工业生产过程、交通运输和废弃物的处理等几个方面:

(1)来自能源活动的碳排放源,主要包括化石燃料燃烧产生的二氧化碳和氧化亚氮,以及与采矿业相关的甲烷气体排放等。

(2)来自工业生产过程的碳排放源,主要涵盖水泥、石灰、钢铁、电石、化工产品生产过程中的二氧化碳排放。

(3)来自交通运输方面碳排放来源,主要包括交通运输工具在运行过程中产生的尾气等。

(4)来自废弃物处理的碳排放源,主要包括城市固体废物处理过程产生的甲烷,城市生活污水和工业废水的甲烷排放。

(5)来自土地利用变化和林业活动的碳排放源,主要包括:森林和其他木质生物贮量的变化(活立木、竹林、经济林生长碳吸收);森林资源消耗引起的CO<sub>2</sub>排放;森林转化为非林地引起的CO<sub>2</sub>

排放。

据统计分析,我国各行业碳排放所占比分别是<sup>[2]</sup>:发电、供暖 41%,交通运输 22%,工业过程 20%,居民 7%,其他 10%。

### (三)城市碳排放的影响因素

碳排放的影响因素是近年研究的热点。在能源消费与碳排放分析领域,常用的方法有:结构分解分析(SDA)与指数分解分析(IDA)。

近年来,我国研究者使用指数分解法,研究我国能源消费及碳排放问题取得了很大进展。宋德勇<sup>[3]</sup>等(2009)基于我国 1990~2005 年时间序列数据,采用“两阶段”LMDI 方法,先将能源消费产生的二氧化碳影响因素分解为产出规模、能源结构、碳排强度和能源强度四个方面,再引入产出结构效应,对能源强度再次进行分解,并由此定义了碳排放变动的周期。朱勤<sup>[4]</sup>等(2009)在分解的因素中加入了人口因素,综合考虑经济产出规模、人口规模、产业结构、能源结构及能源效率等因素对碳排放的影响。王锋<sup>[5]</sup>等(2010)则把 1995~2007 年间中国能源消费的 CO<sub>2</sub> 排放增长率分解为 11 种驱动因素加权贡献:生产部门能源强度、运输线路单位长度能耗、居民生活能源强度、燃料结构、经济结构、人均 GDP、交通工具平均运输线路、家庭平均年收入、人口总量、交通工具数量、家庭数量。综上所述,影响城市碳排放的主要因素有低碳技术、能源结构、人口因素、城市交通因素、经济发展因素等。

## 二 基于多层次的城市碳减排调控机理

经济发展的低碳转型需要低碳技术作为支撑,而目前低碳技术在成本和规模方面没有优势,低碳经济发展转型路径必然是集成性的解决方案,在于技术、制度和理念的整合。因此,城市碳排放减排必须从多个层面分析、论证其调控的可行性和机理。

### (一)基于不同调控对象的城市碳减排调控机理

1. 低碳技术。由于城市的快速发展,且经济增长方式粗放,加剧了经济社会发展和资源短缺之间的矛盾。面对日新月异的科学技术变革与有限的资源环境约束,城市低碳创新能力薄弱的问题已经成为制约其发展的瓶颈。由于城市多以消耗碳

密集的化石燃料能源为主,所以,其工业经济受到碳锁定的深刻影响,在技术和制度共同演进的过程中,其路径依赖的报酬递增引起了锁定效应,从而妨碍低碳、可再生能源等低碳技术的创新。<sup>[6]</sup>同时,由于大部分企业工艺设备陈旧、技术落后、资金不足,原材料消耗大,造成生产效率和资源利用率低下,多数企业都处于举步维艰的境地。因此,低碳技术是解决资源浪费问题,实现高质量经济增长的关键路径,对城市碳减排具有重要的作用。

2. 能源结构。基于我国自然资源的禀赋条件,城市社会经济活动必须拥有足够的能源供应保障,由于产业活动仍然以煤炭等高碳能源消耗为主,因而在较长时间内高碳的能源结构难以改变。煤炭储量丰富是导致高碳能源结构的重要因素,而且许多城市产业链延伸现象普遍,已经形成了与煤炭相关的产业链,比如石化、供电、供热、钢铁等,都与煤炭密不可分。所以,能源结构不仅要调整煤炭消费,还需要对高耗能行业进行调整。化石能源的高消耗必然带来高碳排放,因此以煤为主的能源结构在一定程度上会严重制约城市低碳转型的进程。

3. 人口因素。城市人口增长也是城市碳排放量增加的一个因素。但是,人口与碳排放关系的研究还较为缺乏。王钦池<sup>[7]</sup>(2011)认为,基于人口和碳排放的关系动态性,碳排放量对人口要素的弹性系数是人口数量、年龄结构、家庭规模、城市化、性别结构、经济发展水平等因素的非线性函数,因此,构建了基于人口和碳排放非线性关系假设的碳排放模型,较好地揭示了不同人口发展阶段和经济发展水平下的人口动态对于碳排放的影响。<sup>[12]</sup>人口对碳排放的影响主要是人的生产和消费行为,例如;人类生产活动中产生的生活垃圾,在消费过程中是否选取清洁节能型产品,都会直接或间接造成碳排放量的增加。

4. 城市交通。城市交通成为碳排放的源头之一的原因,主要是由城市交通工具种类的选择、使用频率等因素所造成的。一方面,在城市中,由于各个主体功能区的分布相对分散,城市居民的出行频率高、距离长,从而造成了城市对于交通体系的高度依赖。另一方面,城市居民对于不同交通工具的选择,碳排放的差距也是很大的。如步行、自行

车出行方式的人均碳排放量最低,而单人驾驶的轿车、SUV等油耗较高的交通工具人均排放较高。因此,城市中各类交通工具的比例及公交系统的利用程度很大程度上决定了城市交通碳排放的产生。最后,由于城市交通消耗的能源品种主要有柴油、汽油,从城市交通工具使用结构来看,自行车等相对低排放的交通工具正逐渐失去其原有的主导地位,城市公交的使用比例也相对不高,城市交通中的“机动化”趋势增强,从而加剧了城市的碳排放量。

5. 经济发展。经济发展因素是城市实现碳减排的重要抑制因素。<sup>[8]</sup>如何在碳减排目标约束下实现经济稳定增长,成为城市可持续发展的关键。实现碳减排目标和经济增长目标也是城市向低碳城市转变的目的所在。目前,已有的研究验证了CO<sub>2</sub>和人均收入之间,分别存在着线性、二次和三次递减式关系。其中,以支持CO<sub>2</sub>排放EKC曲线存在的有效证据居多,包括世界银行的相关研究成果。然而,无论经济发展与碳排放之间是否存在EKC曲线,碳排放量与经济发展规模和发展水平总是直接相关。规模越大,水平越高,则碳排放量越大,反之则低。达到一定水平后,碳排放量则趋于平稳和不断下降的趋势。由此可见,经济发展与城市碳排放量存在着密切关系。

6. 产业与工业园区。一般来说,第二产业的碳排放强度是第一、三产业的2~3倍,<sup>[9]</sup>而在第二产业中,能源、钢铁、化工、建材等重化工业,能源高、能效低,其碳排放占城市碳排放的比例较高。因此,从产业角度来调控碳排放,首先就是要调整产业结构,淘汰落后产能与工艺,大力发展低碳产业;其次,是大力推进节能减排,鼓励发展能源合同管理;最后,是要推进产业集聚,建设生态产业园,构建生态产业链。

7. 建筑与居住社区。一个经常被忽略的事实是:建筑在二氧化碳排放总量中,几乎占到了50%,这一比例远远高于运输和工业领域。统计数据显示,中国每建成1平方米的房屋,约释放出0.8吨碳。另外,在房地产的开发过程中,建筑采暖、空调、通风、照明等方面的能源都参与其中,碳排放量很大。因此,尽快建设绿色低碳住宅项目和低碳生

态社区,实现节能技术创新,建立建筑低碳排放体系,注重建设过程的每一个环节,以有效控制和降低建筑的碳排放,并形成可循环持续发展的模式,最终使建筑物有效的节能减排并达到相应的标准,是房地产业持续健康发展之路。

## (二)基于不同行为主体的城市碳减排调控机理

在我国目前的碳减排体系中,大体上有4个参与主体,分别是中央政府、地方政府、居民和企业。<sup>[10]</sup>国务院在2011年底印发了《“十二五”控制温室气体排放工作方案》,明确指出到2015年全国单位GDP二氧化碳排放要比2010年下降17%。说明中央政府对碳减排的决心非常之大,但任务艰巨。作为城市碳排放的参与主体,则主要是地方政府、城市居民和工业企业。

1. 地方政府。以往我国的碳减排工作主要是依靠政府的力量、通过行政手段加以实施。现在,要推进碳减排健康发展,必须改革现有思路,将主要凭借行政手段的治理模式向主要依靠市场手段模式转变,借鉴国际先进经验,同时紧密结合我国实际国情,逐步建立并完善控制碳排放的市场经济机制。即中央政府营造有利的政策环境,对全国碳减排发展进程实施统筹规划并监督计划执行情况,明确企业在其中的主体地位,通过建立健全必要的制度体系,将碳排放纳入企业经营成本和收益考量范畴当中,实现碳排放合理定价及公平交易。地方政府主要通过制定城市低碳发展规划(涵盖低碳产业体系、绿色交通体系、绿色建筑体系、低碳管理与低碳理念的宣传、教育),出台鼓励低碳产业与技术发展的财政、税收扶持等配套政策,推进城市碳减排有序、健康发展。

2. 城市居民。城市居民在城市碳减排的作用和定位体现在两个方面:一是做好自身的碳减排工作,形成良好的低碳生活理念和低碳行为,从日常生活中的点滴做起,如减少小汽车出行、做好生活垃圾分类与废弃物回收利用、使用节水节电产品、践行低碳生活等;二是对政府、企业的监督和监管作用,要大胆拿起法律武器,善于利用网络等低成本方式,披露政府的不作为、乱作为与企业破坏环境、污染环境等行为,形成强大的社会舆论氛围,促进城市碳减排健康发展与低碳城市建设有序发展。

3. 工业企业。企业是碳排放的主要制造者,也是碳排放外部性的最大受益者,碳减排的惰性和阻力基本上来自于企业,因此企业的参与程度是决定碳减排效率的关键因素。企业积极参与碳减排,首先要明确企业应承担的环境与社会责任,着力开展环境治理与碳减排;市场经济的发展趋势证明,企业越有绿色、低碳与环保意识,并形成其企业文化,越能获得政府与民众的支持。其次,企业要大力开展技术创新和节能减排,通过新技术、新工艺、新产品的开发,提高单位产品产值的经济效益,降低产品能耗和碳排放。最后,着力提高自主创新能力,促进产业升级,实现企业由生产商向服务商的战略转型。

### 三 基于多学科复杂系统科学的城市碳减排调控机理

#### (一) 基于经济学的碳减排调控机理

碳减排政策主要有行政管制型、市场主导型和公众参与型三类,从政策执行效率及减排效果来看,选择合理的市场型政策工具仍然是减排的关键。市场型政策工具主要有:基于价格机制的碳税和基于总量控制的排放权交易。在全球温室气体减排的国际谈判中,基于定量减排的碳排放权交易更易于各国就自然分担达成协议,《京都议定书》设立了排放贸易(ET)、联合履约(JI)和清洁发展机制(CDM)。<sup>[11]</sup>我国 CDM 机制在水泥余热回收利用、水电站、沼气、煤层气、造林和再造林、可再生能源利用等方面,开展了卓有成效的工作。国家发改委已明确:2013 年将在 7 省市——北京市、天津市、上海市、重庆市、广东省、湖北省、深圳市启动碳交易试点。碳交易市场建立的核心问题包括:设定碳排放总量,分配碳排放权,制定碳排放权交易规则,确立企业报告核查制度,建立由政府管理的注册登记系统,建立交易平台等。

#### (二) 基于管理学的碳减排调控机理

碳排放与碳减排不仅是环境问题,也是发展问题。<sup>[11]</sup>城市碳排放中,产业、建筑、交通三个领域占有很大的份额,因此,加强碳减排的管理非常必要。从管理学的角度考虑,地方政府基于低碳城市建设与低碳经济发展转型的需要,制定和出台低碳产业

标准、低碳技术标准、低碳城市指标体系、低碳生态园区指标体系以及低碳城市建设实施方案,对促进城市碳减排,具有重要的推动作用。我国已将低碳发展纳入十二五发展规划,旨在加快建立以低碳排放为特征的产业体系,积极倡导低碳绿色生活方式和消费模式。

#### (三) 基于环境学的碳减排调控机理

环境学习曲线是反映企业生产过程中,单位产品(产值)能源消耗(或污染物排放量)随着人均产量(或产值)变化的边际函数,一般可采用单位产值能源或污染物排放量与人均 GDP 来反映。<sup>[12]</sup>生命周期评估是用于评估与某一产品(或服务)相关的环境因素和潜在影响的方法,它是通过编制某一系统相关投入与产出的存量记录,评估这些与投入、产出有关的潜在环境影响,根据生命周期评估研究的目标解释存量记录和环境影响的分析结果来进行的。环境学习曲线和生命周期评估是企业环境技术经济分析的重要工具,适用于我国当前节能减排与城市碳减排的预测和评估。另外,从环境学角度出发,遏制城市碳排放不仅要从“碳源”上着手,还应该在“碳汇”上花力气,下功夫。“碳源”是指产生二氧化碳之源。它既来自自然界,也来自人类生产和生活过程。碳汇则主要是指森林吸收并储存二氧化碳的多少,或者说是森林吸收并储存二氧化碳的能力。一般通过减少碳源可以实现减少碳排放,增加碳汇则主要采用固碳技术。

#### (四) 基于生态学的碳减排调控机理

城市的发展和生物种群进化具有类似的特征。城市发展应兼顾各产业之间的关系,构建产业生态循环链,促使传统的高碳产业链条向低碳产业链演变,促进低碳产业集群的形成,从而在城市内部建立资源节约型、环境友好型社会,建设一个良好的可持续发展的能源生态体系和产业生态系统。城市产业生态系统的核心是资源型产业生态链,它是实现经济与环境协调发展的重要载体。在城市生态化演进过程中,应促进产业绿色发展,减少环境负荷,从而实现较高的生态经济效率,进而达到减少城市碳排放量。

#### (五) 基于伦理学的碳减排调控机理

城市碳减排从伦理学层面看,它关涉人对待自

然界的态度。城市的低碳发展来自于人的行为活动,因此,马克思主义基本原理为我们指引了方向,城市的发展,就是要建立人与自然的和谐关系。<sup>[13]</sup>人类与自然不是共生、共赢、共荣的关系,而不是征服、改造、索取。这就要求人类适应自然,利用自然自身固有的运动规律,更好地创造美好的生活;就是要求人类克服急功近利、自私自利、过度消费和享乐主义思想,摒弃短视眼光,着眼现在,放眼未来,倡导并树立人与自然的和谐就是人类最大美德的观念。

#### 四 城市碳减排的对策

在全球气候变化给人类生存和发展带来严峻挑战的背景下,经济发展的同时降低经济增长所带来的碳排放已成为全球共识,低碳的理念在生产和发展的各个层面迅速推广。由于城市是人类物质文明和精神文明的生产地,同时也是高能耗、高碳排放的集中地,城市要持续发展下去,必须制定城市碳减排对策,发展作为生态文明技术支持的低碳经济。

1. 充分发挥政府的引导作用。通过低碳城市建设规划(包括产业、交通、建筑等)、财税政策扶持等,促进经济向低碳转型,实现城市碳减排。

2. 着力发挥市场的主导作用。充分利用碳交易和 CDM 机制,促进碳减排的市场交易,获得国际、国内先进低碳技术与资金支持。

3. 加强技术、制度、观念的创新与整合。通过技术解决微观意义上的能源替代和能源效率问题;通过科学的管理机制和规划理念,解决宏观意义上的能源消耗与碳排放的规模问题。

4. 加快城市产业结构升级。采用高新技术改造、提升传统产业,积极发展新能源、新材料、文化创意等战略性新兴产业与低碳产业,促进城市经济向低碳转型。

5. 营造低碳消费环境与倡导低碳消费理念。

积极发展低碳建筑和建设低碳生态社区,优先发展分布式可再生能源站与公共交通,做好城市绿地系统规划与建设,为城市市民营造低碳消费环境;倡导低碳消费理念,鼓励全民参与,为低碳城市建设构建文明支撑。

#### 参考文献:

- [1] 孙宇飞.城市碳排放清单及其相关因素分析[D].上海:复旦大学,2011.
- [2] 傅 夷.关注温总理中东之行讲话 聚焦新能源领域相关股[EB/OL]. <http://sc.stock.cnfol.com/120114/123,1764,11568059,00.shtml>.
- [3] 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].中国人口资源与环境,2009(3).
- [4] 朱 勤,彭希哲.中国能源消费碳排放量变化的因素分解及实证研究[J].资源科学,2009(12).
- [5] 王 锋,吴丽华,杨 超.中国经济发展中碳排放增长驱动因素研究[J].经济研究,2010(2).
- [6] 赵先超.城市低碳发展与提升对策研究[D].长沙:湖南师范大学,2011.
- [7] 王钦池.基于非线性假设的人口和碳排放关系研究[J].人口研究,2011,(01).
- [8] 孙秀梅.资源型城市低碳转型机理与调控对策研究[D].徐州:中国矿业大学,2011.
- [9] 苏万春.珠三角城市碳排放强度及产业结构的比较研究[J].特区经济,2011,(06).
- [10] 郝晓彤.碳减排应倚重市场机制[EB/OL]. <http://www.cnstock.com/index/gdbb/201112/1747477.htm>.
- [11] 周五七,聂 鸣.碳排放与碳减排的经济学研究文献综述[J].经济评论,2012,(05).
- [12] 孙根年,李 静,魏艳旭.环境学习曲线与我国碳减排目标的地区分解[J].环境科学研究,2011,(10).
- [13] 官淑燕,夏维力.低碳经济的马克思主义生态哲学探析[J].青海社会科学,2011,(03).

责任编辑:徐 蓓