

现代城市低碳路径与技术分析

——沈阳市的案例研究

刘竹^{1,2}, 耿涌¹, 薛冰¹, 董会娟^{1,2}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

[摘要] 从城市的经济发展、CO₂ 和工业污染物排放、资源消耗的多维视角出发,以沈阳市为研究案例,运用定量化评价指标体系,分析了城市在经济发展与低碳转型过程中的资源消耗和环境影响变化,并评价了城市尺度下各种技术的节能减排潜力和运用愿景;指出城市在全球低碳经济建设中的关键作用,城市尺度的减排技术能够在相当程度上降低碳排放总量。从未来的发展来看,要实现经济增长与污染物排放总量降低,仍须进一步在技术和经济增长方式上大力投入。

[关键词] 现代城市;低碳;减排技术

[中图分类号] F403 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)04-0101-05

1 前言

工业化时代以来,大规模使用化石能源排放大量温室气体导致的气候急剧变化是自然生态系统稳定及全人类生存的巨大挑战,降低温室气体排放、应对气候变化是当今可持续发展的重要命题。提高资源利用率、削减化石能源消耗和温室气体排放量成为世界各国寻求发展的必然选择。自2003年英国首先提出“低碳经济”概念以来,世界各国竞相提出以低能耗、低污染为基础的“低碳经济”发展模式^[1]。

城市是人口、经济活动与能源消费的中心,城市聚集了超过一半以上的人口和3/4的温室气体排放,是开展低碳经济模式的重要平台。城镇化与工业化是中国当前经济增长的主要推动力量,目前我国城市国内生产总值(gross domestic product, GDP)已经占据GDP总量的七成以上,城市化进程在推动经济高速发展的同时也产生了大量的资源消耗与环境问题。作为全球第三次城市化浪潮的主要力量,中国仅仅依靠全球7%的耕地和淡水推动着全球

21%人口的城市化^[2]。当前全国每年有1600万人进入城市^[3],城镇人口已超过6亿人^[4],城市的能源消费超过全国总量的一半以上,因此,城市已成为中国低碳建设的核心区域与领导力量。鉴于城市在低碳经济战略中的突出作用,中国政府积极推动着城市尺度的低碳建设,从国家层面到各个省市都已开展了积极行动,以城市为载体推行低碳经济及可持续发展战略,保定、上海、贵阳、杭州、无锡、珠海、南昌、厦门等多个城市相继提出了低碳城市建设规划。

然而,目前国内外低碳城市建设方面的指导性研究仍缺乏可测量、可核证的指标体系,在理论论述、模型的指标量化方面针对性不足,缺乏相应的实证分析,这些问题成为低碳城市建设的主要障碍^[5,6]。一些学者从概念、内涵、目标策略和城市规划的角度对低碳城市建设进行了有益的尝试和探索,但仍然缺乏对低碳城市整体性的评价。笔者认为,当前急需建立与完善低碳城市评价的方法模型和实证研究,并针对技术运用前景进行路径优化。

[收稿日期] 2010-10-20

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(71033004);中国科学院沈阳应用生态研究所博士启动基金(Y0SBS161S3)

[作者简介] 刘竹(1985—),男,云南昆明市人,中国科学院沈阳应用生态研究所博士研究生,研究方向为全球变化人文因素;

E-mail: liuzhu@iae.ac.cn

2 城市低碳路径分析

2.1 研究区选择

在众多的低碳城市建设中,工业主导型的现代城市具有特殊的意义。如沈阳、上海等一批传统的工业城市在新中国的建设和发展中发挥了重要的作用,但由于重工业比重大,资源消耗性企业多,产业结构过分依赖资源,在发展过程中产生了严重的环境问题,面临着现代工业化与城市转型的双重压力,是低碳城市建设的难点和重点^[7]。因此,以工业主导型城市为对象的现代低碳城市研究具有典型性与代表性。

沈阳市是典型的现代工业主导型城市,在祖国现代化进程中做出了突出贡献。改革开放以来,随着以第三产业为主的全球经济的快速发展,以沈阳为代表的传统工业城市经济结构落后、资源环境问题日益突出。随着东北老工业基地振兴战略的实施,沈阳面临着历史地位复兴和产业结构调整升级等内在要求。2009年6月,沈阳作为中国的试点城市入选联合国环境署“生态城”项目*,明确了在今后数年内以低碳型城市为目标,全面建设全国环境样本城市的目标。在众多的低碳城市建设中,沈阳低碳城市项目采用技术集成的方式,以经济发展、资源消耗与环境污染降低的低碳愿景进行路径优化,为低碳城市的实践进行了有益的尝试。

2.2 量化评价体系建立

在低碳城市的评价方面,联合国开发计划署与中国人民大学《中国人类发展报告》利用能源消耗与人类发展指数对低碳城市进行了评价^[8]。中国社会科学院城市发展与环境研究所以低碳产出、低碳消费、低碳资源与人类发展水平为一级指标,以碳生产力、人均碳排放、人均生活消费碳排放、可再生能源占一次能源比例和人类发展指数为二级指标,建立了以绝对量为基准的城市低碳经济发展指标体系^[9]。这些研究对于低碳城市发展状况的现状和评价进行了有益的开拓与尝试。

文章参考以上研究中的指标选择,遵循层次性、可测性、代表性、全面性原则,以考察城市发展过程中的经济、资源、环境状况为主要目的,建立低碳城市量化指标评价体系(见表1)。

2.3 沈阳低碳城市评价

评价数据基于沈阳市2007年、2008年统计年鉴,并以2001年数据为基准数据,对2001年至2008

年数据进行归一化处理。其中,城市碳排放数据由笔者采用联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)提供的温室气体排放计算方法^[10]进行计算。计算过程中排放因子选择IPCC国家温室气体排放清单的缺省因子,活动数据采用《沈阳统计年鉴》2001—2008年中的能源消耗数据。

表1 评价指标体系

Table 1 Framework of indicators

项目层	目标层	指标层
低碳城市	经济发展	GDP总量
量化指	碳排放	CO ₂ 排放量
标体系	工业污染物排放	规模以上工业固废排放量 规模以上工业废水排放量 规模以上工业废气排放量
	社会资源消耗	规模以上工业能源消耗总量 全年供水量 全社会用电量

沈阳2001—2008年的经济发展、碳排放、工业污染排放与资源消耗的指标趋势如图1所示。

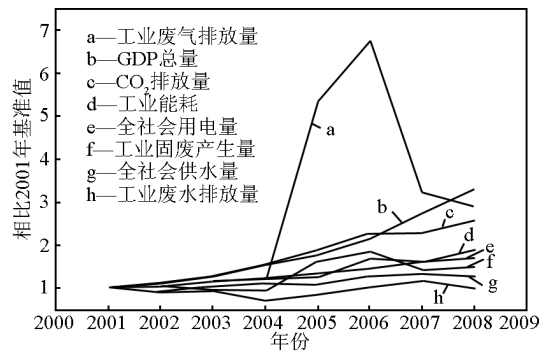


图1 沈阳市指标变化趋势图

Fig. 1 Indexes change diagram in Shenyang City

沈阳2001—2008年经济增长迅速,年均增长率高达18%,城市碳排放持续增加,其中2001—2006年增幅甚至超越GDP增幅。2007年实现碳排放强度降低,但2008年较2007年碳排放强度又有显著

* 联合国环境保护与规划署“生态城”项目是立足于城市的可持续发展项目,最早于20世纪90年代在日本的工业城市开始实施。日本北九州、川崎等重工业城市在日本环境省和联合国环境规划署的共同指导下,采取区域节能减排技术的集成运用,实现了经济发展的同时,使污染物排放与资源消耗也得到了降低。鉴于“生态城”项目在日本的显著成效,联合国环境署于2000年开始在世界范围内进行推广,沈阳是目前中国唯一的入选城市。

增长,未来的减排任务仍然十分艰巨。城市工业污染排放方面,工业废水和工业废气排放均实现单位强度降低,但总量仍处于上升趋势,工业废气排放的时间序列表征有相当大的起伏,社会资源消耗方面8年间全社会供水量与用电量相对平稳。从指标评价体系的时间序列表征可得出,沈阳市2001—2008年经济增长迅速,生态效率与资源利用率有一定提高,但资源消耗与污染物排放总量仍然巨大,且伴随着经济增长呈现进一步增长态势,未来沈阳的低碳之路挑战严峻。

3 沈阳低碳城市技术

3.1 城市尺度的低碳技术类型

沈阳作为现代工业城市,资源依赖大,能源生产和工业排放占碳排放总量的比例高。利用IPCC碳排放清单中的参考方法,根据2007年统计数据,计算出沈阳城市碳排放中电力和热能产生量占总排放量的37%,其他工业过程的碳排放量达45%,交通运输过程排放占总量的14%。因此,在沈阳低碳化道路的探索中,必须大力削减能源活动和生产过程中的碳排放并开发低碳交通系统,目前沈阳在建和规划中的能源、工业和基础设施建设方面的低碳技术有如下4类。

3.1.1 能源低碳技术

1) 地源热泵技术。地源热泵属于可再生能源技术,由于沈阳市独特的供暖状况(长达152 d的供暖期),沈阳市成为全国最大的运用地源热泵供暖的城市。到2010年底,地源热泵系统可为沈阳市及周边地区约 $6.927\ 03 \times 10^8\ \text{m}^2$ 建筑物供暖,占全市供暖面积的40%,可为沈阳市本地每年节省标准煤 $5.0 \times 10^6\ \text{t}$,减少 CO_2 排放 $1.3 \times 10^7\ \text{t}$ (按照目前沈阳市采暖用标准煤的年平均水平为 $25\ \text{kg}/\text{m}^2$ 进行计算,沈阳建筑冬季进行燃煤供热需耗标准煤 $1.731\ 8 \times 10^7\ \text{t}/\text{a}$,将地源热泵系统耗电进行计算,并折合为标准煤为 $1.234\ 2 \times 10^7\ \text{t}/\text{a}$,则推广地源热泵系统每年可节省标准煤 $4.976 \times 10^6\ \text{t}$)

2) 太阳能技术。太阳能技术在贵阳、日照等城市的低碳建设中获得广泛应用,然而在沈阳,太阳能运用的比例仍然较低。截至2006年底,全市范围内约有 $5.0 \times 10^6\ \text{m}^2$ 集热器采光面积,太阳能热水器用户占有率约为8.6%,共减少 CO_2 排放 $1.603 \times 10^6\ \text{t}$,相较于市内建筑面积的发展势头,太阳能系统的应用还有待提高。

3) 垃圾填埋气发电技术。生活垃圾发电技术是新能源运用的重要方面,沈阳目前日产生生活垃圾4 000 t,两座生活垃圾填埋场都已进行垃圾填埋气发电的设备改建,建成后总装机容量可达10 MW,预计每年减少 CO_2 排放 $4.0 \times 10^6\ \text{t}$ 。

4) 煤层气利用技术。位于沈阳市周边煤田煤层气资源总量约为 $4.8 \times 10^{10}\ \text{m}^3$,按照50%的可采率估算,可供沈阳及周边城市使用50年,是沈阳城市发展的重要战略资源。到2010年,沈阳市煤层气日年供气约 $2.8 \times 10^8\ \text{m}^3$ 。届时,煤层气将成为沈阳市的主要气源之一,预计可减少 CO_2 排放达 $2.0 \times 10^7\ \text{t}$ (按照利用率60%计算)。

3.1.2 工业低碳技术

1) 水泥工业低碳技术。水泥生产过程的 CO_2 排放约占生产过程排放的50%,是工业过程中碳排放量最高的部门^[11]。低碳水泥技术主要是指在生产水泥过程中用新型干法淘汰立窑等落后生产方法。新型干法水泥技术比传统方法节约30%的燃煤,低碳水泥工业技术还可以集成低温余热发电、熟料替代等技术,形成水泥生产过程的节能减排技术体系。

2) 钢铁工业低碳技术。根据2007年的统计数据,沈阳钢铁生产占工业过程 CO_2 总排放的20%,全国范围内,钢铁工业能耗占总能耗的15%。钢铁行业亦是落后产能较为集中的行业,其节能减排主要通过技术提升、淘汰落后产能、提高资源效率等措施来实现^[12]。

3) 热电联产与工业燃煤锅炉改造。沈阳制造业密集,大量中小型锅炉热效率低,根据《沈阳市城市供热规划》及《沈阳市热电发展规划》,沈阳市2010年将拆除建成区内所有10 t以下工业生产的燃煤锅炉,对全市100余台总吨位为5 500 t的锅炉进行改造,同时建设4台 $3.0 \times 10^5\ \text{kW}$ 热电联产供热机组,这一措施每年将减少 CO_2 排放 $6.0 \times 10^7\ \text{t}$ 。

3.1.3 建筑及交通运输中的低碳技术

1) 低碳交通系统。交通运输过程的碳排放占沈阳城市碳排放总量的15%,沈阳市交通低碳措施主要是开放轨道交通系统,减少汽车尾气排放。目前沈阳市已开始大力发展轨道交通系统,根据2008年沈阳市新版地铁规划,沈阳将陆续建成11条地铁,总里程超过400 km,截至2010年底,地铁一号线已正式通车。

2) 污水处理技术。沈阳截至2009年完成13座污水处理厂建设,新增日处理污水能力

1.035×10^7 t。污水处理可以利用产生的沼气发电或利用其热能进行供暖,目前以污水作为热源的再生水源热泵技术已在沈阳得到广泛推广,每年减少 CO_2 排放 1.4×10^6 t。

3) 节能建筑技术。房地产建筑行业的能耗占据全球终端消耗的40%以上,而我国的建筑能耗高于全球平均水平。在中国每新建 1 m^2 的建筑就要排放 0.8 t CO_2 ,沈阳市已在全国率先推行65%节能率的建筑设计标准。目前沈阳民用节能建筑达到 $7.0 \times 10^8 \text{ m}^2$,占沈阳既有建筑总量的1/3,余下2/3的建筑还将进行节能改造。改造前一个采暖期内 1 m^2 取暖将耗标准煤31 kg,推行65%节能标准后,沈阳新建民用住宅 1 m^2 取暖耗煤将降至10.85 kg,改造完成将减少碳排放近 4.0×10^7 t。此外,沈阳每年新竣工建筑面积 $1.0 \times 10^8 \text{ m}^2$,将全部采用节能建筑设计,进一步控制了建筑物碳排放。

3.1.4 农林业低碳建设

增加森林碳汇和城市绿化面积。我国已将增加森林碳汇作为实现2020年节能减排目标的重要手段。沈阳建成区的绿化率已从2000年的24%增加至2008年的42%,新增园林绿地面积 2864 hm^2 ,按照每增加 1 m^3 活立木可吸收 CO_2 1.82 t并释放 O_2 1.6 t计算,每年减少城市碳排放 6.5×10^6 t。

3.2 沈阳城市低碳技术运用的愿景分析

沈阳一些低碳技术具有相当大的减排潜力(见图2)。初步估计,沈阳市综合运用各项技术使得每年可减少 CO_2 排放 $2.0 \times 10^7 \sim 3.0 \times 10^7$ t,相当于沈阳市2008年 CO_2 排放的50%。以沈阳市经济增长率为14%、碳排放增长率为12%计算,沈阳市综合运用各项技术后在2012年的碳排放水平才刚刚与2007年水平持平,显示了技术运用的巨大潜力。图3为沈阳市碳排放变化趋势图。

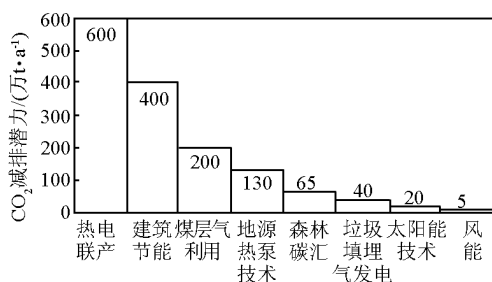


图2 技术减排潜力

Fig. 2 Technical emission reduction potential

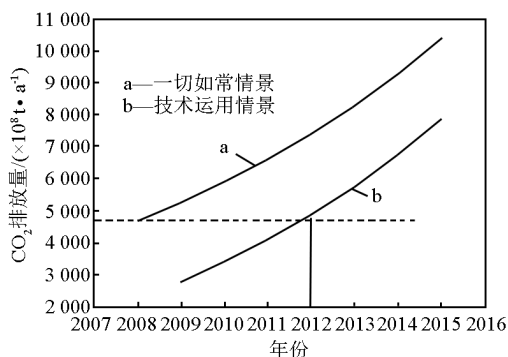


图3 沈阳市碳排放变化趋势

Fig. 3 Carbon emission trend in Shenyang City

4 结语

利用定量化指标评价体系,对沈阳市2001—2008年的经济发展、碳排放、工业污染和资源消耗进行判断,其结果表明,沈阳市近年来在经济高速发展的带动下,资源效率与生态效率有一定提高,但污染物排放与资源消耗量总体上仍然呈明显的上升趋势。经济快速发展所带来的污染物总量与资源消耗量的显著增加,将成为城市可持续发展的巨大挑战,城市规划必须进一步加大节能减排力度,实现污染物总量与资源消耗的减量化。

针对沈阳市当前和即将采用的低碳技术进行愿景分析,结果表明:城市尺度的低碳技术能够降低相当程度的碳排放。目前沈阳市可行的减排技术可以减少当前40%的碳排放总量,但随着城市的高速发展,未来碳排放总量仍然会继续上升,低碳城市建设需要进一步加强技术的研发及运用^[13]。

从我国发展低碳经济的宏观角度出发,低碳城市建设不仅仅能解决环境问题,更能解决能源需求问题。中国在未来的能源需求将直接影响经济的可持续发展^[14],而着眼于城市进行减排技术的集中运用是相对可行的方法之一。

从技术运用的角度,低碳城市是中国进行高新技术研发,推动产业升级和现代化进程的有利平台,更多城市尺度的新技术将不断涌现。目前对于城市尺度低碳技术的运用,一方面还缺乏各种技术的联动集成,另一方面,对技术引进和实施的副作用未能及时予以评价,这在一定程度上造成低碳技术的产业化障碍。

参考文献

[1] 金涌,王 焱,胡山鹰,等. 低碳经济:理念·实践·创新

- [J]. 中国工程科学, 2008, 10(9):4-9.
- [2] 仇保兴. 第三次城市化浪潮中的中国范例——中国快速城市化的特点、问题与对策[J]. 城市规划, 2007, 31(6):9-15.
- [3] 张军扩, 刘锋, 高世楫. 我国城市治理的成就及改进的思路与目标[J]. 中国发展观察, 2008(6):11-14.
- [4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [5] 欧阳志云, 赵娟娟, 桂振华, 等. 中国城市的绿色发展评价[J]. 中国人口资源与环境, 2009, 19(5):11-15.
- [6] 陈飞, 褚大建. 低碳城市研究的内涵、模型与目标策略确定[J]. 城市规划学刊, 2009(4):7-12.
- [7] 周国梅, 唐志鹏, 李丽萍. 资源型城市如何实现低碳转型[J]. 环境经济, 2009(10):31-36.
- [8] 中国人民大学, 联合国开发计划署. 中国人类发展报告 2009——迈向低碳经济和社会的可持续发展[R]. 北京: 中国对外翻译出版公司, 2010.
- [9] 潘家华, 庄贵阳, 郑燕, 等. 低碳经济概论辨析与低碳城市评价方法[R]. 北京: 中国社会科学院, 2009.
- [10] IPCC. Climate Change 2007: The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [11] 国际能源署. 能源技术展望——面向 2050 年的情景与战略 [M]. 张阿玲, 原鲲, 石琳, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [12] 胡秀莲, 姜克隽. 中国温室气体减排技术选择及对策评价 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [13] 邹骥. 气候变化领域技术开发与转让国际机制创新 [J]. 环境保护, 2008(9):16-17.
- [14] 石元春. 中国能源困境与转型 [J]. 中国工程科学, 2009, 11(11):4-9.

Low-carbon scenario and technologies in modern city ——Case study of Shenyang City

Liu Zhu^{1, 2}, Geng Yong¹, Xue Bing¹, Dong Huijuan^{1, 2}

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

[Abstract] Taking a multi-dimensional perspective of economic development, carbon dioxide, industrial pollutant emission and resource consumption in the case study of Shenyang City, the resource consumption and environmental impact in the process of urban economic development and low-carbon transition were analyzed. The emission reduction potential and scenario of various technologies were evaluated. The results showed that the city played a key role in global low-carbon economic construction, and emission reduction technologies in urban scale can reduce total amount of carbon emission in substantial degree. From the aspect of future development, the input of technology and economic growth pattern should be strengthened to realize economic development and total amount reduction of pollutant emission.

[Key words] modern city; low-carbon; emission reduction technology