
城市国民经济与社会发展规划碳排放评估综合 指标体系构建与应用

——以上海市为例¹

杜莉丽¹, 蒋平², 余琦¹, 马蔚纯¹

(1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433;

2. 复旦大学丁铎尔中心, 上海 200433)

【摘要】以《上海市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》为例, 借鉴国内外城市综合低碳评估指标体系, 构建了 5 大主题层包括 17 项具体指标的城市国民经济和社会发展规划碳排放评估综合指标体系。将该评价指标体系应用于上海市碳排放评估, 计算了上海市 2005-2015 年的低碳化发展指数, 以及四种不同发展情景下的综合低碳化发展指数。历史回顾评价显示, 上海市的低碳化水平在逐步提高。同时预测未来在资源环境效率持续改善的发展模式下, 社会经济的快速发展有利于促进城市朝着低碳高效的方向发展。建议上海市采取降低总能耗、提高能源利用效率、调整优化产业结构与能源结构, 进一步促进经济与社会的低碳化发展。

【关键词】国民经济与社会发展规划; 碳排放; 指标体系; 上海

【中图分类号】 X321; F062.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-4407 (2018) 02-030-07

1、引言

城市是人口和产业高度集聚、经济与社会活动强度很高、能源消耗非常集中的区域^[1], 同时也是碳排放量和排放强度很大的区域。近 20 年来, 中国正经历着快速的城市化进程, 2015 年中国城市化率已达 56.1%^[2],

在未来, 中国城市化进程将继续进入快速发展的阶段。从总体上说, 中国城市人口的人均能源消耗高于农村 80%^[3]。近年来, 温室气体排放控制除国家层面对外, 也逐渐转向区域、城市尺度^[4-6]。地方政府由于直接对城市规划、建设负有责任并能直接影响公众行为, 因此在温室气体减排方面的重要作用也日益引起重视^[4]。可见, 从政府制定规划的角度出发评估城市尺度的碳排放, 对于节能减排、减小人类活动对全球气候变化的负面影响具有重要意义。城市国民经济与社会发展规划在整个区域经济发展中

¹**【基金项目】**国家自然科学基金项目“战略环境评价 (SEA) 中碳排放核算的理论框架与技术方法体系——以城市尺度国民经济和社会发展 SEA 为例” (41271509)

【第一作者简介】杜莉丽 (1993-), 女, 四川广元人, 硕士生, 研究方向为环境管理与政策、环境规划和碳排放核算。

【通讯作者简介】马蔚纯 (1969-), 男, 上海人, 博士, 教授, 研究方向为环境数学模型、地理信息系统和环境规划与评价。

E-mail: wcma@fudan.edu.cn

具有引领性作用^[7]，它是生态环境演化重要的驱动力，它规定了城市未来一定时间内的经济规模、产业结构、人口规模、能源结构、城市化进程等，因此也直接影响着城市的能源消耗和碳排放。对城市国民经济与社会发展规划实施中可能对碳排放量产生的影响进行科学预测和评估是城市尺度节能减排、控制温室气体排放、建设低碳城市、引导经济与社会朝着低碳化方向发展的重要基础和技术途径，而建立科学合理的碳排放评估指标体系则是其中的一项重要内容。

国内外学者对于碳排放相关指标体系已进行了一定的研究。这些研究主要集中在低碳经济的概念辨析、相应评价指标体系的建立及其评价方法的研究^[8-9]，低碳城市评价的指标体系、评价方法及其实证研究^[10-15]等方面。Tan 等^[16]对于“低碳城市”(low carbon city)的定义及其相关指标体系进行了综述和分析，并从经济、能源、社会与居民生活、碳排放与环境、城市通勤、固废处理、废水处理与居民生活用水等方面建立了低碳城市评价的指标体系框架；Lin 等^[17]以中国厦门为例，开发了一套低碳城市发展指标体系；Price 等^[18]提出了一种在省级和城市层次开发低碳指标体系的方法；Zhou 等^[19]开发了中国低碳生态城市评价工具 ELITE cities，该评价工具通过与基准表现目标的比较，评估中国城市在低碳化发展和生态城市建设方面的表现；Zhou 等^[20]从能源、水、大气、废弃物、交通、经济、土地利用、社会等多个方面分析了中国低碳生态城市相关指标体系的发展；Kharma 等^[21]在分析中国低碳城市建设规划时提出，中国低碳城市规划涉及的领域过于广泛，应更加聚焦于碳减排。总体上说，这些低碳评价指标体系一般基于“社会—经济—自然”模型或“压力—状态—响应”模型，建立量化的指标体系和评价标准。近年来，国内外学者开始在城市规划、战略环境评价中融入低碳评估，尝试与探索开发了相应的低碳评价指标体系^[25]。

本文以《上海市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》^[26]为例，在分析规划要素的基础上，从经济发展、能源消耗、交通、市政基础设施、居民生活等方面，建立国民经济与社会发展碳排放评价指标体系及综合低碳化发展指数，并根据不同规划目标设置了多种发展情景，评价不同规划方案的碳排放及指数变化，为城市国民经济与社会发展规划碳排放评价提供重要的技术手段和数据支撑。

2、研究区域及规划要素分析

2.1 研究区域

上海地处长江入海口，东滨东海，南临杭州湾，西临江、浙两省。全市土地面积为 6340.5 平方千米，占中国国土总面积约 0.06%。2010 年年末，常住人口 2302.66 万人，约占全国总人口的 1.7%^[27]。上海是中国经济、金融、工业、科技和交通中心，是中国最大的经济区“长三角经济圈”的龙头。20 世纪 90 年代以来，上海市国内生产总值持续快速增长，从 1978 年的 272.81 亿元增长到 2010 年的 17165.98 亿元，增长了 61.9 倍，其中，第一、第二、第三产业比例为 0.7: 42.1: 57.3。上海又是一座高能耗的城市，其能源消耗以生产消费为主，其中工业耗能所占比重最大。伴随着上海市社会经济的快速发展，上海市能源消费量一直保持高速增长的态势。2010 年上海市能源消费量达到了 11160.87 万吨标准煤，比 1990 年的 3191.06 万吨标准煤增长了 2.5 倍，1990—2010 年上海市年均能源消费增长率为 6.46%^[28]。

2.2 国民经济与社会发展规划及其要素分析

中国的规划体系大体可以分为发展规划体系、城市规划体系和土地规划体系三大类。其中，发展规划体系始于新中国成立初期开始编制的五年规划(计划)，逐步形成了以国民经济与社会发展规划(“五年”规划)为主，围绕重大发展领域编制的专项规划、围绕特定区域编制的区域发展规划和各部门规划共同组成的发展规划体系^[7]。2005 年国务院颁布的《国务院关于加强国民经济和社会发展规划编制工作的若干意见》(国发〔2005〕33 号)中明确指出“国民经济和社会发展规划是国家加强和改善宏观调控的重要手段，也是政府履行经济调节、市场监督、社会管理和公共服务职责的重要依据”，将五年规划明确定位为“战略性、纲领性、综合性”规划。可见，国民经济和社会发展规划在整个城市或区域发展中具有引领性，它从宏观至中观层面，在城市经济与社会发展、能源、交通、环境保护等多个领域，为城市未来发展设定了规划指标和目标值。而这些领域相关的规划要素也是影响城市碳排放的主要因素。鞠鹏艳^[29]从城市总体规划的角度，分析了城市总体规划对城市碳排放的影响机制。

叶祖达^[30]以城乡规划管理体系为平台,建立了与城市发展政策手段等相匹配的温室气体排放清单框架,从而加强了城乡规划应对气候变化的可操作性。本文在此基础上,结合对《上海市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的解读,梳理了规划中与碳排放相关的规划要素、规划指标和指标值以及相关联的温室气体排放计算所需要的活动量数据(表1),其中,相关的活动量数据将用于碳排放量的核算^[31]。

表1 上海市“十二五”规划碳排放相关的规划要素、指标

规划要素	规划指标	上海市“十二五”规划目标值(2015年)	相关联的碳排放计算活动量数据
社会经济发展目标	GDP年均增长率	7%	第一产业增加值、第二产业增加值、第三产业增加值等
	第三产业增加值占GDP比重	65%	
	常住人口年均增长率	1.50%	
电力发展目标	电力生产能效	300gce/kW·h	电力生产量
	外购电力占电力消费总量比例	40%	外购电力量
农业发展目标	水稻种植面积	155万亩	水稻种植面积
畜禧行业发展目标	生猪年出栏数	250万头	生猪年出栏数
	家禽年出栏数	5000万羽	家禽年出栏数
	奶牛年存栏数	6万头	奶牛年存栏数
节能降耗目标	万元工业增加值能耗下降率(以2010年为基准)	22%	万元工业增加值能耗
交通发展目标	出租车数量	50000辆	出租车数量
废弃物处置目标	生活垃圾无害化处理率	95%	生活垃圾无害化处理量

注:1亩=1/15公顷。

3.1 指标体系建立的原则与步骤

根据建立指标体系常用的原则,同时参照联合国可持续发展委员会(UNCSD)提出的可持续发展指标体系,本研究中考虑以下原则:①所选择指标需简洁,具有代表性,能充分反映城市碳排放的关键要素;②计算指标所需相关数据具有较好的可获得性;③各指标需具有较好的横向、纵向可比性,即在不同区域/城市的横向或者同一区域/城市的纵向比较中都能适用;④各指标与政策目标之间需具有较好的关联性。

目前国内外相关机构研发和颁布了很多与低碳城市相关的指标体系,联合国人居署在1993年发布了《城市指标》,涵盖了住房、社会发展和消除贫困、环境管理、能源管理等方面指标^[32]。为了进一步关注城市绿色发展,经济学人智库和西门子公司联合发布了《欧洲绿色城市指数》^[33]以及《亚洲绿色指数》^[34],从碳排放、水、废弃物、空气质量等方面做了相关研究。在国内,由国家统计局等联合发布的《2013中国绿色发展指数报告——区域比较》^[35]及朱守先和梁本凡^[36]2012年发布的《中国城市低碳发展评价综合指标构建与应用》给出了经济、社会、资源、环境相关的低碳指标。丁丁等^[37]基于经济和碳排放的核心指标对36个低碳试点城市进行聚类分析。Zhou等^[19]设计了包含能源气候、水资源、空气、废弃物、交通、经济健康、土地利用、社会健康等方面的指标体系工具ELITE Cities,用于分析城市低碳水平。这些指标体系都在不同方面涉及了城市低碳理念,但

是建立指标体系的依据、标准不同，各指标体系都有自身强调的侧重点。

本文在借鉴上述指标体系的基础上，重点关注与城市国民经济和社会发展规划碳排放相关的指标，建立相应的碳排放评价综合指标体系，目的在于评估国民经济与社会发展规划实施对城市温室气体排放的影响，评估发展的低碳化程度，从而引导经济与社会朝着低碳化的方向发展。首先从城市国民经济和社会发展规划的规划要素出发，筛选出与碳排放活动相关的领域和规划要素（如表 1 中所示），主要包括社会经济、电力发展、农业、畜禽、交通、废弃物处置、节能降耗，上述领域是构成指标体系的基本依据。进一步通过归纳整理，形成了引领下一级指标的主题层，分别为经济低碳、能源低碳、交通低碳、市政设施及其管理低碳化、社会（居民生活）低碳化。每一主题层可进一步细分为具体的评价指标。其中，经济低碳方面的主要指标包括单位产值（GDP）的碳排放量、人均碳排放量等，单位产值的碳排放量是衡量经济低碳化程度的核心指标，直接反映了城市的资源能源利用效率，也有利于考量在当前经济发展水平下进一步减少碳排放的潜力。能源低碳方面的主要指标为单位能耗的碳排放量，这是能源利用与碳排放直接相关的指标，也是节能减排需要重点关注的方向。交通低碳方面的指标包含了公交车、小汽车运行产生的碳排放等相关指标。市政设施和社会低碳化主要是从居民生活的角度设计了相关指标。

3.2 指标体系

根据指标建立的原则与目的，本文构建了城市国民经济与社会发展规划碳排放评估综合指标体系（表 2）。表 2 中还给出了各项指标预期达到的理想值，作为评价的参考“标准”。本文研究中，选取参考标准值的来源主要有：①相关国际组织或国内权威部门发布的标准；②采用目前国内外低碳化发展较好的城市/地区的现状值作为标准值；③参考国内已有的“绿色城市”“生态城市”或者相关低碳城市指标体系的标准值^[16]。尽管如此，有些指标仍然不能通过上述途径搜索到标准值，因此根据指标值的现状水平，参考减排目标制定标准值。

表 2 城市国民经济与社会发展规划碳排放评估综合指标体系

主题层	指标层	指标含义	量纲	标准值	依据
经济 低碳	单位产值（GDP）的碳排放量	GDP 每增加万元所排放的温室气体	吨 CO ₂ /万元	0.709	注①
	人均 GDP	—	万元/人	15	注②
	第一产业单位增加值碳排放量	第一产业增加值每增加万元所排放的温室气体	吨 CO ₂ /万元	1.528	注①
	单位工业增加值碳排放量	工业增加值每增加万元所排放的温室气体	吨 CO ₂ /万元	0.69	注①
	单位服务业增加值碳排放量	服务业增加值每增加万元所排放的温室气体	吨 CO ₂ /万元	0.065	注①
能源 低碳	单位产值（GDP）综合能耗	GDP 每增加万元所消耗的能源	吨标煤/万元	0.48	注③
	单位能源消耗的碳排放量	每消耗 1 吨标煤所排放的温室气体	吨 CO ₂ /吨标煤	0.75	注①
	第一产业能源强度	第一产业产值每增加万元所消耗的能源	吨标煤/万元	0.398	文献 [17]
	第二产业能源强度	第二产业产值每增加万元所消耗的能源	吨标煤/万元	0.572	文献 [17]
	第三产业能源强度	第三产业产值每增加万元所消耗的能源	吨标煤/万元	0.38	文献 [17]
	单位电力生产的碳排放量	每生产 1kW·h 的电所排放的温室气体	千克 CO ₂ /kW·h	0.55	注①
交通	公交车单位运营里程碳排放量	公交车运行每百千米所排放的温室气体	吨 CO ₂ /百千米	0.109	注①

低碳	出租车单位运营里程碳排放量	出租车运行每百千米所排放的温室气体	吨 CO ₂ /百千米	0.023	注①
	人均拥有小汽车数量	人均拥有的小汽车数量	辆/人	0.39	文献 [33]
市政 设 施及 其 管 理 低 碳化	单位生活垃圾处理量的碳排放量 *	处理每吨生活垃圾(焚烧或填埋)所排放 的温室气体	吨 CO ₂ /吨	0.834	注①
	人均生活垃圾产生量	人均日常生活产生的垃圾量	千克/(人·天)	0.8	文献 [16]
社会 (居 民 生 活) 低 碳 化	居民生活人均碳排放量	居民生活人均排放的温室气体	吨 CO ₂ /人	0.197	注①

注: ①: “十二五”规划期间,中国承诺到2020年将每单位GDP的碳排放较2005年削减40%~45%^[39],综合考虑实际情况,本研究中,各项碳排放相关指标以在现状指标值基础上降低30%为标准值,即以2015年的指标值为基准降低30%的碳排放; ②: 人均GDP的标准值参考《上海市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》^[26]中2020年的目标值; ③: 单位产值(GDP)综合能耗参考《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》刚中的降低幅度,即在2015年的基础上降低15%。上角标*表示单位生活垃圾处理量的碳排放指焚烧和填埋产生的直接排放。

3.3 指数算法

本研究以《上海市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》为例,为综合评价各指标在不同规划发展情景下的低碳化水平,采用综合评价指数法,即对各单项指标进行加权后计算综合低碳化发展指数。具体步骤为:首先对各指标进行正向化和无量纲化处理,然后采用变异系数法计算权重,最后加权计算得到最终的低碳化指数。

3.3.1 指标的正向化和无量纲化

由于各指标的评价内容不同,量纲不同,并且有正向、负向之分,为了使其具有可比性,必须进行标准化处理。本研究采用相对化处理方法,对原始计算数据进行正向化和无量纲化,主要是采用指标值和标准值之间的比值来进行标准化。其中,正向指标表示低碳化水平和指标值成正比,即指标值越大,就表示低碳化水平越高;逆向指标表示低碳化水平和指标值成反比,即指标值越大,低碳化水平越低。

正向指标无量纲化数值处理公式为: $Z = Z_0/Z_s$; 逆向指标无量纲化数值处理公式为: $Z = Z_0/Z_s$ 。其中: Z 表示无量纲化的指标值, Z_0 表示指标的原始数值, Z_s 表示各项指标的标准值。

3.3.2 确定指标权重

科学合理地确定各指标的权重对于综合评价的结果和评价质量有直接影响。本研究采用变异系数法确定各指标的权重,它是一种客观赋权的方法,其基本思想是在构建的评价指标体系中,指标取值差异越大,就意味着该指标越难以实现,也就表示该指标更能反映出被评价的个体之间的差距^[38]。各项指标的变异系数公式为: $V_i = \delta_i/x_i$, 其中: V_i 为第 i 项指标的变异系数; δ

s_i 为第 i 项指标的标准差; x_i 为第 i 项指标的平均数。各项指标的权重计算公式为: $W_i = V_i / \sum_{i=1}^n V_i$ 。

3.3.3 指数合成

采用线性加权法计算综合低碳化指数 S , 即用 17 个指标的标准化数值 Z_i (经过正向化和无量纲化以后) 分别乘以各自的权重得到各个指标加权后的指数值, 最终得出综合低碳化评价指数, 计算公式为: $S = \sum Z_i W_i$ 。

4、实证研究

4.1 数据来源

本文根据《上海市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》, 选取其中与碳排放相关的重点规划指标及指标的目标值, 同时考虑城市尺度上影响碳排放的主要因素, 建立了城市国民经济和社会发展规划碳排放计算的系统动力学模型^[31]。该模型由社会经济、第一产业、第二产业、第三产业、居民生活、道路交通、废弃物处置以及电力生产消费 8 个子模块组成, 可以对上海市的温室气体排放量进行历史和现状模拟, 并针对未来不同的发展情景预测温室气体排放趋势, 为碳排放评估综合指标体系提供数据支持与计算基础。模型所需的基础数据来源于 1990—2015 年的《上海统计年鉴》《上海能源统计年鉴》《上海工业交通能源统计年鉴》等。

4.2 历史回顾与现状评价

按照本研究确定的城市国民经济与社会发展规划碳排放评估综合指标体系以及相关指数的计算方法, 评估上海市 2005—2015 年的低碳化发展水平 (图 1)。

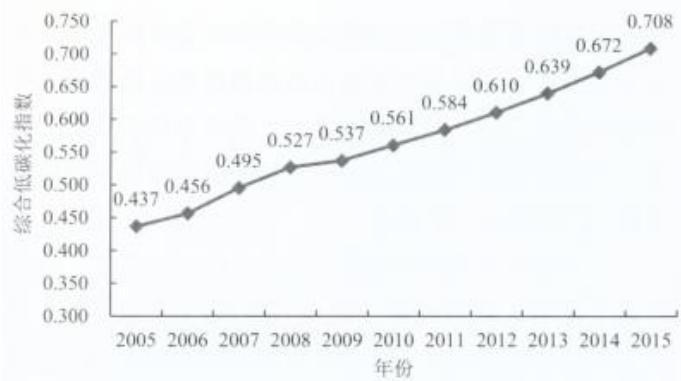


图 1 上海市 2005—2015 年国民经济和社会发展综合低碳化指数

由图 1 可见, 上海市“十一五”到“十二五”期间, 城市低碳化水平呈现逐年稳步上升的趋势, 2005 年的综合低碳化发展指数为 0.437, 说明当时的低碳化水平还比较低, 全社会尚未对低碳发展引起足够的重视, 可见, “十一五”以前仍以快速发展经济为主, 对节能减排方面投入较少。到“十一五”末期和“十二五”末期, 综合低碳化发展指数分别为 0.561 和 0.708, 低碳化发展水平明显提高。其中, 2015 年的综合低碳化发展指数约为 2005 年的 1.62 倍, 10 年内指数年均增长率为 4.97%。这说明上海市在国民经济和社会发展规划目标的指导下逐步朝着低碳化的方向发展, 并且低碳化发展指数的增长幅度也逐年增加。由此可见, 在全球气候变化, 温室气体减排需求日益增加的背景下, 随着低碳经济发展模式受到全社会的广泛关注与重视, 尤其是上海市在“十二五”期间注重调整经济发展方式, 产业升级转型, 淘汰落后产能, 在节能减排等领域加大投入, 使得这一时

期城市国民经济和社会的低碳化发展水平有了显著提高。

4.3 情境设置及预测评估

在历史模拟与评价的基础上,本文从国民经济和社会发展规划的规划要素出发,设置了四种未来不同的发展情景,分别模拟计算不同情景下的温室气体排放,并计算其综合低碳化发展指数。这四种方案分别是社会经济快速发展方案、社会经济较低发展方案、社会经济快速发展下强化电力和工业节能方案、社会经济较低发展下强化电力和工业节能方案,分别用方案一、方案二、方案三、方案四表示(表3)。各方案规划要素指标值的确定主要依据文献调研和专家走访。

表3 上海市国民经济与社会发展规划四种发展方案

规划要素	方案一		方案二		方案三		方案四	
	2020年	2025年	2020年	2025年	2020年	2025年	2020年	2025年
常住人口年均增长率/%	1.30	1.30	0.47	0.47	1.30	1.30	0.47	0.47
GDP年均增长率/%	8	8	6	6	8	8	6	6
第三产业增加值占GDP的比重/%	67.5	70	67.5	70	67.5	70	67.5	70
固定资产投资额占GDP的比重/%	25.52	25	25.52	25	25.52	25	25.52	25
外购电力占比/%	45	47.5	45	47.5	45	47.5	45	47.5
电力生产能效/(gce/kW·h)	290	280	290	280	275.5	266	275.5	266
万元工业增加值能耗年增长率/%	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-5.59	-5.59	-5.59	-5.59
公交线路长度/千米	24412	25000	24412	25000	24412	25000	24412	25000
生活垃圾无害化处理率/%	97.50	100	97.50	100	97.50	100	97.5	100

注:本文研究过程中,征求了相关领域专家的意见,专家们对上海市“十三五”(2016—2020年)和“十四五”(2021—2025年)期间一些对温室气体排放影响较大的规划指标进行了预测。专家认为,上海市2016—2020年GDP年均增长率预计在7%左右,而2020—2040年GDP年均增长率则在6%左右。有专家估算上海市到2040年常住人口规模在2800万~3500万人之间,而《2050上海低碳发展路线图报告》^[41]一书中对上海市2040年常住人口估算值在2600万~3600万人之间。2012年电力工业能效及节能问题研究显示,综合考虑技术进步等多种因素,预计2020年国内新建火力发电项目电力生产能效能达到290gce/kW·h^[42]。在文献调研的基础上根据专家访谈的建议,对各规划指标进行相应调整。

同样按照上述碳排放核算及碳排放评估综合指标体系的计算方法,得到上海市“十三五”(2016—2020年)和“十四五”(2021—2025年)期间四种不同发展方案的综合低碳化指数,见图2。

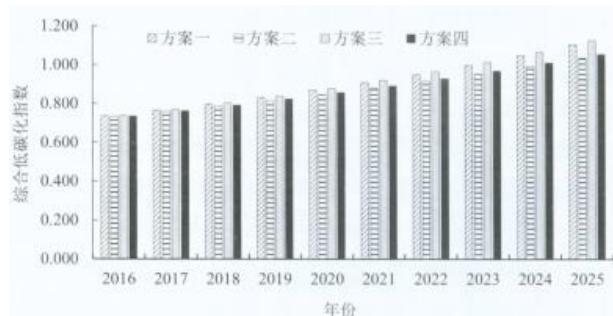


图2 上海市2016—2025年期间四种不同发展方案的综合低碳化发展指数

由评价结果可以看出，总体来说，四种方案的综合低碳化指数都呈逐年上升的趋势，这表明上海在目前经济与社会的发展模式下，城市的低碳化水平是逐步提高的。主要原因是：在可以预计的未来（即“十三五”和“十四五”期间），经济规模仍将继续增长，尽管能源消费总量和碳排放总量依然呈现增加的趋势，但单位产值能耗、单位产值碳排放量等各项资源环境效率指标持续改善，从而有利于城市低碳化水平的提高。从图 2 中还可以看到：方案一和方案三的综合低碳化指数值较接近，方案二和方案四的低碳指数值较接近；并且方案一和方案三的综合低碳指数值均高于方案二和方案四。这与每个方案采取的社会经济发展模式密切相关，方案一和方案三是社会经济快速发展的情景，方案二和方案四则是社会经济较高速发展的情景。这表明，在目前上海市经济持续增长，同时资源环境效率持续改善的发展模式下，社会经济的快速发展，有利于促进城市朝着低碳高效的方向发展。

同时，对比方案一和方案三，方案二和方案四可以发现，方案三的综合低碳化指数高于方案一，而方案四的综合低碳化指数也高于方案二。这表明加强电力和工业节能对于促进低碳发展有积极影响。但我们也注意到，上述两组方案之间的指数值并未有较大幅度的增长，至“十四五”期末，方案三的综合低碳化指数仅比方案一高出 0.021，而方案四的综合低碳化指数较方案二仅高出 0.022。这表明碳排放与城市国民经济和社会发展的多个方面都密切相关，减少温室气体排放需要各个相关领域的协同作用，仅考虑电力和工业节能是不全面的，对提升整个城市的低碳化水平仅能起到有限的作用。要全面大幅度提升城市发展的低碳化水平，还需要考虑建筑节能、交通节能、居民生活节能等多个领域。另一方面，我们也注意到，若节能技术没有大的突破，经济结构或能源结构没有较大调整，尽管部分资源利用效率有持续改善，例如电力生产能效等，但从总体上说，整个上海市的资源环境效率的提高是有限的。可见，单一或局部的节能措施，例如电力和工业节能，在提升整个城市国民经济与社会发展的低碳化水平方面的作用是有限的。这也启发我们需要转换思路，寻找其他途径来实现碳减排，例如产业结构或能源结构调整以及新能源的开发与利用、在城市规划中增加碳汇等。

4.4 讨论

（1）上海市作为全国低碳试点城市，研究上海的低碳水平对于全国城市的低碳发展具有指导意义，一些学者就上海市如何制定合理的低碳城市指标体系也做了相关研究，其中，谈琦^[12]运用因子载荷矩阵的方法从技术经济指标（单位 GDP 二氧化硫排放量等）、环保指标（废水排放达标率等）和城市建设指标（建成区绿化覆盖率等）对比分析了上海和南京的城市低碳化水平。尽管二级指标和构建指数的方法不同，但是结果同样表明上海的低碳化水平在逐年提升。

（2）本文所建立的城市国民经济和社会发展规划碳排放评估综合指标体系从规划的主要领域和要素出发，将经济低碳、能源低碳、交通低碳、市政设施及其管理低碳化、社会低碳化列为主题层指标，但由于数据可获得性的原因，在具体指标层的设置中未能考虑一些与城市温室气体排放关系密切的指标，例如单位住宅建筑面积的碳排放量、城市碳汇相关指标等。在未来的研究中，将进一步完善基于系统动力学的国民经济与社会发展规划碳排放核算模型；将加强调研和数据收集，尤其是采用遥感等技术手段补充城市绿地、林地等碳汇相关的数据，为指标体系的补充、完善提供数据支持。

（3）本文所建立的碳排放评估综合指标体系中的各项指标均以效率型指标为主，例如单位产值或单位能源消耗的碳排放、人均碳排放等，即主要从资源效率的视角来衡量社会经济发展的低碳化水平。在中国目前的经济发展态势下，伴随着经济的持续发展，能源消耗总量和温室气体排放量仍将继续增长。尽管中国政府承诺在 2030 年达到碳排放的峰值，并争取尽早达到峰值，但目前中国的碳排放尚未与经济发展“脱钩”，国家也尚未明确中国地方与城市的碳排放的总量控制指标^[13]。可见，在“十三五”乃至“十四五”期间，中国的碳排放总量仍将呈现增长的态势。在下一步的研究中，如何将碳排放的总量指标纳入指标体系也是一个需要考虑的问题。

5、结 论

本研究从国民经济和社会发展规划的规划要素出发，经过指标筛选，构建了包括五大主题层 17 个具体指标的城市国民经济

和社会发展规划碳排放评估综合指标体系以及综合低碳化发展指数，并将上述指标体系和综合低碳化发展指数应用于上海的实证研究。

历史回顾评价结果表明，2005年以来，即“十一五”和“十二五”规划期间，上海的城市综合低碳化发展指数呈现出逐年上升的趋势，表明伴随着社会经济的快速发展，上海市的低碳化水平在逐步提高。为进一步研究未来城市国民经济和社会发展规划的实施对于城市碳排放和低碳化水平的影响，本研究还依据文献调研和专家咨询，设置了四种发展方案，即社会经济快速发展方案、社会经济较低发展方案、社会经济快速发展下强化电力和工业节能方案以及社会经济较低发展下强化电力和工业节能方案，分别采用系统动力学模型，模拟计算不同规划方案的碳排放量和综合低碳化发展指数。结果表明，在上海市经济与社会持续发展同时资源环境效率持续改善的模式下，社会经济的快速发展，有利于促进城市朝着低碳高效的方向发展但仅仅依靠单一或局部的工业和电力节能措施，在提升整个城市国民经济与社会发展低碳化水平方面的作用是有限的。

实证研究的结果表明，本文所建立的指标体系和综合低碳化发展指数在实际应用中是有效的，也将有利于从规划制定的源头纳入低碳发展的理念，引导城市国民经济与社会发展向着低碳化的方向发展。

[参考文献]：

[1] Jones D W .Urbanization and energy use in economic development [J]. The Energy Journal, 1989, 10 (4) : 29-44.

[2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2011 [M]. 北京：中国统计出版社，2011.

[3] IEA .World energy outlook2008[R]. Paris: International Energy Agency, 2008.

[4] Betsill M M , Bulkeley H .Cities and the multilevel governance of global climate change [J]. Global Governance, 2006, 12 (2) : 141-159.

[5] Koehn P H .Underneath Kyoto : Emerging subnational government initiatives and incipient issue-bundling opportunities in China and the United States [J]. Global Environmental Politics, 2008, 8 (1) : 53-77.

[6] Wheeler S M .State and municipal climate change plans : The first generation [J]. Journal of the American Planning Association, 2008, 74 (4) : 481-496.

[7] 杨永恒. 发展规划：理论、方法和实践 [M]. 北京：清华大学出版社，2012: 156-181.

[8] 付加锋，庄贵阳，高庆先. 低碳经济的概念辨识及评价指标体系构建 [J]. 中国人口•资源与环境，2010 (8) : 38-43.

[9] 吕学都，王艳萍，黄超，等. 低碳经济指标体系的评价方法研究 [J]. 中国人口•资源与环境，2013 (7) : 27-33.

[10] 邵超峰，鞠美庭. 基于 DPSIR 模型的低碳城市指标体系研究 [J]. 生态经济，2010 (10) : 95-99.

[11] 赵国杰，郝文升. 低碳生态城市：三维目标综合评价方法研究 [J]. 城市发展研究，2011 (6) : 31-36.

[12] 谈琦. 低碳城市评价指标体系构建及实证研究——以南京、上海动态对比为例 [J]. 生态经济，2011 (12) : 81-84.

-
- [13] 刘竹, 耿涌, 薛冰, 等. 基于“脱钩”模式的低碳城市评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2011 (4) : 19-24.
- [14] 郑晓华, 陈韶龄. 南京河西低碳生态城指标体系的构建与实践[J]. 规划师, 2013 (9) : 71-76.
- [15] 陈晓晶, 孙婷, 赵迎雪. 深圳市低碳生态城市指标体系构建及实施路径[J]. 规划师, 2013 (1) : 15-19.
- [16] Tan S T , Yang J , Yan J Y , et al . A holistic low carbon city indicator framework for sustainable development[J], Applied Energy, 2017, 185: 1919-1930.
- [17] Lin J Y , Jacoby J , Cui S H , et al . A model for developing a target integrated low carbon city indicator system : The case of Xiamen , China[J], Ecological Indicators, 2014, 40 (5) : 51-57.
- [18] Price L , Zhou N , Fridley D , et al . Development of a low-carbon indicator system for China[J], Habitat International, 2012, 37 (1) : 4-21.
- [19] Zhou N , He G , Williams C , et al . ELITE cities : A low-carbon eco-city evaluation tool for China[J]. Ecological Indicators, 2015, 48: 448-456.
- [20] Zhou N , He G , Williams C . China's development of low-carbon eco-cities and associated indicator systems[R], Berkeley : Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012.
- [21] Khanna N , Fridley D , Hong L X . China's pilot low-carbon city initiative : A comparative assessment of national goals and local plans[J], Sustainable Cities & Society, 2014, 12: 110-121.
- [22] 路立, 田野, 张良, 等. 天津城市规划低碳评估指标体系研究[J]. 城市规划, 2011 (S1) : 26-31.
- [23] 王云, 陈美玲, 陈志端. 低碳生态城市控制性详细规划的指标体系构建与分析[J]. 城市发展研究, 2014 (1) : 46-53.
- [24] 白宏涛, 刘佳, 徐鹤, 等. 中国战略环境评价中低碳评价指标体系拓展探讨[J]. 环境污染与防治, 2012 (2) : 92-95.
- [25] 谢华生, 赵翌晨, 包景岭, 等. 低碳理念在工业园区规划环评中的应用[J]. 中国环保产业, 2010 (8) : 24-27.
- [26] 本书编写组. 上海市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[M]. 上海: 上海人民出版社, 2011.
- [27] 上海市统计局. 上海统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [28] 上海市统计局. 上海能源统计年鉴 2010[M]. 上海: 上海统计出版社, 2010.
- [29] 鞠鹏艳. 从碳排放到低碳城市总体规划的量化研究[J]. 城市发展研究, 2012 (11) : 103-110.
- [30] 叶祖达. 温室气体清单在城乡规划建设管理中的应用[J]. 城市规划, 2011 (11) : 35-41.
- [31] 李贤哲. 城市国民经济与社会发展规划战略环评的碳排放预测模型及实证研究[D]. 上海: 复旦大学, 2015.

[32]Habitat United Nations .Urban indicators guidelines : Better information , better cities[R]. Geneva : World Health Organization, 2009.

[33]Venkatesh G. A critique of the European green city index[J]. Journal of Environmental Planning & Management, 2014, 57 (3) : 317-328.

[34]Friederich J , Jauny G , Xu R , et al .Asian green city index : Assessing the environmental performance of Asia' s major cities[R].London: Economist Intelligence Unit, 2011.

[35]北京师范大学科学发展观与经济可持续发展研究基地, 西南财经大学绿色经济与经济可持续发展研究基地, 国家统计局中国经济景气监测中心. 2013 中国绿色发展指数报告——区域比较[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2013.

[36]朱守先, 梁本凡. 中国城市低碳发展评价综合指标构建与应用[J]. 城市发展研究, 2012 (9) , 93-98.

[37]丁 丁, 蔡 蒙, 付 琳, 等. 基于指标体系的低碳试点城市评价[J]. 中国人口•资源与环境, 2015 (10) : 1-10.

[38]孔 凯. 农业干旱灾害风险管理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012: 60, 62.

[39]《“十二五”控制温室气体排放工作方案》获通过[J]. 环境保护, 2011 (22) : 4.

[40]新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[EB/OL]. (2016-03-18) .

<http://kjtg.hljxm.gov.cn/index!contentall.action?document.id=106254>.

[41]世界自然基金会上海低碳发展路线图课题组. 2050 上海低碳发展路线图报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[42]国家能源局. 电力工业能效及节能问题研究[R]. 北京: 国家能源局, 2012.