

中国主要城市低碳化发展指数的测度与分析*

张 旺^{1,2}, 周跃云², 赵先超²

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 中国社会科学院城市发展与环境研究所&湖南工业大学 全球低碳智慧城市联合研究中心, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 处于快速城市化、工业化和机动化过程中的中国城市, 向低碳化发展是其必由之路。基于 DPSIR 模型, 从低碳化基础、能源低碳化、产业低碳化、建筑低碳化、交通低碳化、环境低碳化、碳汇能力和社会低碳化 8 个方面构建城市低碳化发展指数的评价指标体系, 以线性加权法对我国 36 个城市进行了测度。结果分析表明: 城市总体低碳化发展水平不高, 还没真正意义上的低碳城市, 将之划分为 3 个准低碳城市、22 个中碳城市、11 个高碳城市; 低碳化发展指数整体上呈现出由东向西、由南到北逐渐减小的分异态势; 低碳化发展指数与城市财富和城市规模都没有明显的相关关系; 低碳化发展在各个方面还不平衡, 薄弱之处需要提高。该研究试图为各市统筹兼顾、因地制宜地实现低碳发展提供科学基础。

关键词: 低碳化发展指数; DPSIR 模型; 空间分异; 相关性

The Measurement and Analysis on Index of Low Carbon Oriented Development for Major Cities of China

ZHANG Wang^{1,2}, ZHOU Yue-yun², ZHAO Xian-chao²

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing, 100048, China; 2. Global Joint Research Centre for Low Carbon and Wisdom City, Institute for Urban and Environmental Studies Chinese Academy of Social Sciences & Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, 412007, China)

Abstract: In the process of rapid urbanization, industrialization and motorization in Chinese cities, low-carbon oriented development is the only way. Based on the DPSIR model, the paper built firstly the evaluation indicator system of urban low-carbon oriented development index(LCDI) from the aspects of low-carbon oriented base, low-carbon oriented energy, low-carbon oriented industry, low-carbon oriented architecture, low-carbon oriented traffic, low-carbon oriented environment, capacity of carbon sink and low-carbon oriented society. Then it measured the LCDI of 36 cities in China with a linear weighting method. The analyzing results indicates that: all the levels of low-carbon oriented development was not high and there wasn't a real low carbon city in China; These 36 cities is divided into 3 quasi low carbon cities, 22 middle carbon cites and 11 high carbon cities; The space distribution of LCDI reduced gradually from east to west and south in China; LCDI had no obvious related correlation with city wealth and city scale; Each aspect of low-carbon oriented development also didn't balance, the weak of department deeded in need of improving. This research attempted to provide a scientific basis for how to plan and construct low carbon cities with Chinese characters.

Key words: low-carbon oriented development index; DPSIR model; spatial differentiation; correlation

一 引言

据世界能源机构(IEA)研究表明: 未来与能源有关的二氧化碳排放量的增长将主要来自城市。而处于快速城市化、工业化和机动化进程中的中国城市低碳化发展就更为任重道远, 寻找可持续发展前提

下的中国城市低碳化路径正逐渐成为经济、规划、地理、环境等众多领域学者及城市政界、业界关注的热点问题。因而建立一个多元评价指标体系来定量测度城市低碳发展水平, 不仅便于城市之间进行横向、纵向对比和相互参考, 也是低碳城市规划与建设中最基础性的工作, 能为各市统筹兼顾、因地

*基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目《城镇水系统减碳关键技术集成与示范》、湖南省教育厅重点科研项目《长株潭城市群“两型”村镇低碳规划建设战略研究》

作者简介: 张旺(1974-), 男, 湖南汨罗人, 在读博士, 助理研究员, 主要研究方向为低碳城市、资源环境与可持续发展, E-mail: zhangwang0902@163.com。

百度检索“智慧城市”核心关键词——中国智慧城市网 www.cns.cn 为自然排名第一门户网站 1

制宜地实现低碳转型提供理论依据和数据支撑。

关于低碳城市评价指标体系的研究因国内外均处于起步阶段,为数不多且尚未取得共识。其中具有广泛影响力的欧洲绿色城市指数,是由独立科学情报机构对 30 个领先城市的环境影响进行衡量的指标体系^[1]。由于 CO₂ 和能源是该指数的首要评价内容,因而具有明显的低碳评价导向。中国科学院可持续发展战略研究组在 2009 年提出的中国低碳城市发展战略目标中突出了与城市碳排放密切相关的诸多指标^[2]。陈飞,诸大建采用年人均 GDP 增长率的能耗及 CO₂ 排放增长率比例系数,即弹性系数来评价中国低碳城市的发展^[3]。中国城市科学学会理事长仇保兴等首先提出生态城市指标体系,然后提出基于低碳城市发展要求的规划指标体系,二者共同构成一套低碳生态城市指标体系^[4]。龙惟定等提出用人均 CO₂、地均 CO₂,单位 GDP 的 CO₂ 排放量及该城市的人类发展指数(HDI)4 个指标来进行评价仍有失公平,考虑用人均单位度日数(供冷度日数和供热度日数)碳排放指标来比较^[5]。2010 年 3 月公布的《吉林市低碳发展计划》主要从低碳生产、低碳消费、低碳资源和低碳政策 4 个层面对低碳城市发展目标设置指标^[6]。纵观上述指标体系,大多以城市生产与生活的能耗水平作为关键评价项,具有管理性指标的特点,低碳引导性作用不强;有的兼顾低碳和生态,侧重点却不甚明显;有的指标偏少,过分强调低碳导向,对经济社会欠发达的城市也要实现公平发展考虑不周。因此,基于驱动力—压力—状态—影响—响应(driving forces-pressure-state-impact-response, DPSIR)模型^[7]的思路,设计一套科学而全面、公平又合理且操作实用性强的城市低碳化发展指标体系,并对主要城市进行实际测度和评价分析就具有较强的理论价值和现实意义。

二 低碳化发展指数的测度模型和研究方法

(一)测度对象

按照区域和类型代表性等原则,本研究选取了中国大陆 4 个直辖市、15 个副省级城市、30 个省会城市(因数据不全,不包括拉萨市)以及 8 个国家低碳试点城市作为测度对象。在剔除上述类型中重叠的城市后,共计 36 个,分别是:北京、天津、石家庄、保定、太原、呼和浩特、沈阳、大连、长春、哈尔滨、上海、南京、杭州、宁波、合肥、福州、厦门、南昌、济南、青岛、郑州、武汉、长沙、广州、深圳、南宁、海口、重庆、成都、贵阳、昆明、

西安、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐。

(二)测度模型

以 DPSIR 为模型,借鉴前人研究成果和接受有关专家的建议,采用“问题驱动式”的思路对城市低碳化发展进行综合系统、全面深入的考察和分析,并弄清生活与生产活动、问题、状态、影响、政策和措施之间的因果关系,同时考虑到基础数据的可得性和可靠性、定量与定性相结合。其中“驱动力”是指造成低碳化发展的潜在原因,主要指城市经济社会活动和各产业的发展态势,代表性指标是碳生产力;“压力”是指人类活动对其周围的资源环境特别是能源的影响,是低碳转型的直接压力因子,主要表现为资源能源的消耗强度,代表性指标为单位 GDP 能耗、电耗、人均能耗、单位工业增加值能耗、居民人均生活用水量等;“状态”是指资源能源、生态环境在上述压力下所处的现状,主要表现为城市碳排放量和环境污染水平,代表性指标有单位 GDP 的 CO₂ 排放量和大气污染物排放强度等;“影响”是指城市系统所处的状态对资源能源和环境及经济社会发展质量的影响,主要代表性指标为地均 GDP 的 CO₂ 排放量、CO₂ 减排战略和目标评估、公众对低碳城市建设的参与程度等;“响应”过程表明人类在促进可持续发展过程中所采取的对策和制定的积极政策,如提高资源利用效率、减少污染和增加环境投资等措施,代表性指标为三废综合利用产品总值占工业总产值的比重、工业废水达标率、生活垃圾处理率等。

(三)指标体系

根据上述城市低碳化发展指数的测度思路,结合国外学者研究表明:城市碳排放构成主要是生产、交通和家庭生活(居住建筑是其空间载体)三大要素^[8],在此构建低碳化基础、能源低碳化、产业低碳化、建筑低碳化、交通低碳化、环境低碳化、碳汇能力和社会低碳化 8 个子系统作为二级指标,每个二级指标再下设若干个三级指标,最终组成包括 8 个准则层、30 个指标层(24 个定量、6 个定性指标)的低碳化发展指数评价指标体系(表 1)。

表 1 中国主要城市低碳化发展指数评价指标体系

准则层	指标层	描述	
低碳化基础(0.20)	CO ₂ 排放量	人均 CO ₂ 排放量〈吨/人〉	(0.35)
	CO ₂ 排放密度	地均 CO ₂ 排放量〈吨/平方千米〉	(0.25)
	碳生产力	单位 CO ₂ 排放量的 GDP 值〈万元/吨〉	(0.40)
	能源消耗	人均能耗〈吨标准煤/人〉	(0.25)
能源低碳化(0.10)	能耗强度	单位 GDP 能耗〈吨标准煤/万元〉	(0.25)
	电耗强度	单位 GDP 电耗〈千瓦时/万元〉	(0.25)
	能源结构	非化石能源占一次能源比重〈%〉	(0.25)
	工业能源消耗	单位工业增加值能耗〈吨标准煤/万元〉	(0.40)
产业低碳化(0.15)	产业结构多元化演进水平	三次产业增加值与第一产业增加值之比之和〈无单位〉	(0.35)
	服务业贡献率	第三产业增加值占 GDP 的比重〈%〉	(0.25)
	建筑能源消耗	单位建筑面积能耗〈吨标煤/平方米〉	(0.50)
建筑低碳化(0.10)	低碳建筑比例	节能建筑占既有建筑比例〈%〉	(0.50)
	低碳交通规模	每万人拥有的公交车数〈辆/万人〉	(0.50)
交通低碳化(0.10)	低碳交通出行偏好	每辆公共(电)汽车人均乘坐次数〈次/人/辆〉	(0.50)
	废物回收利用	三废综合利用产品总值占工业总产值的比例〈元/万元〉	(0.15)
环境低碳化(0.15)	工业废水处理	工业废水达标率〈%〉	(0.15)
	工业脱硫率	工业二氧化硫去除率〈%〉	(0.15)
	耗水量	居民人均生活用水量〈吨/人〉	(0.10)
	生活污水处理	生活污水处理率〈%〉	(0.15)
	生活垃圾处理	生活垃圾无害化处理率〈%〉	(0.15)
	大气污染程度	大气污染物排放强度〈吨/万元〉	(0.15)
碳汇能力(0.10)	森林碳汇发育程度	森林覆盖率〈%〉	(0.30)
	城市碳汇规模	人均绿地面积*〈平方米/人〉	(0.35)
	城市碳汇潜力	建成区绿化覆盖率*〈%〉	(0.35)
	二氧化碳减排战略	二氧化碳减排战略目标和强度评估	(0.20)
社会低碳化(0.10)	清洁、高效能源利用	节能、新能源利用研发和推广的评估	(0.15)
	低碳建筑研发、推广	低碳建筑技术标准的编制和推广评估	(0.15)
	低碳交通研发、推广	低碳交通技术研发和推广措施的评估	(0.15)
	环境科技研发、推广	环境保护技术研发和推广措施的评估	(0.20)
	低碳行动公众参与	公众参与低碳行动的积极主动性评估	(0.15)

注：圆括号中数值表示权重，尖括号中内容表示单位，带上标*的为市辖区指标，受价格影响的数据以 2005 年为基点，处理成可比价数据。

在上述低碳化发展指数指标体系中，由于涉及多个评价指标，因此关键是确定各评价指标对低碳化发展的贡献，即权重。在此采用专家集体讨论打分法确定各级权重，具体数值标注在上表中圆括号内。

(四)数据来源

指标体系中的数据有两类：前 24 个定量数据主

要来自《中国统计年鉴 2009》、《中国城市统计年鉴 2009》、《中国环境统计年鉴 2009》、《中国林业统计年鉴 2009》、《中国城市建设统计年鉴 2009》、《中国能源统计年鉴 2009》、各省(直辖市、自治区)统计年鉴 2009，各省(直辖市、自治区)2008 年国民经济和社会发展统计公报、各城市统计年鉴 2009、各城市 2008 年国民经济和社会发展统计公报等；后 6

个定性数据则来自各级政府文件、政府工作报告及其制定的各种规划、标准等,报刊、杂志和政府部门网站等媒体报道与新闻。

(五)指数计算

首先关于各城市 CO₂ 排放总量的计算参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南 2006》^[9],采用二次能源消费量换算回一次能源消费量的方法,即 CO₂ 排放总量=一次化石能源消费碳排放+二次化石能源消费碳排放(换算回一次能源消费量计算)=全社会煤炭消费量×煤炭的 CO₂ 排放系数+全社会石油消费量×石油的 CO₂ 排放系数+全社会天然气消费量×天然气的 CO₂ 排放系数。

其次,由于各指标数据的产生口径和量纲不同,因此有必要对其进行标准化:对于正向指标

$$x'_{ij} = x_{ij} / x_{j\max}; \text{对于负向指标 } x'_{ij} = x_{j\min} / x_{ij}。$$

接着采用线性加权法分别计算出低碳化基础、能源低碳化、产业低碳化、建筑低碳化、交通低碳化、环境低碳化、碳汇能力和社会低碳化 8 个子系统的评价值,按十分值制分别定义为 BLC、ELC、ILC、ALC、TLC、ACS、CLC、SLC 分指数,最后按百分值制将这 8 个分指数加权合成城市低碳化发展的综合评价值,定义为城市低碳化发展指数(LCDI)。

三 低碳化发展指数的测度结果与分析评价

根据上述计算方法,计算出中国主要城市的低碳化发展指数和各分指数的结果和排序(表 2)。

表 2 中国主要城市的低碳化发展指数(LCDI)和各分指数及排序

	LCDI		BLC		ELC		ILC		ALC		TLC		CLC		ACS		SLC	
排序	城市	分数	城市	分数	城市	分数	城市	分数	城市	分数	城市	分数	城市	分数	城市	分数	城市	分数
1	海口	76.64	南宁	8.576	南宁	7.934	深圳	6.902	天津	6.416	海口	6.512	昆明	7.474	深圳	7.718	天津	9.582
2	深圳	74.16	保定	6.249	成都	6.575	海口	6.796	大连	5.845	深圳	4.203	海口	7.181	杭州	5.864	重庆	9.498
3	南宁	66.04	长春	6.134	广州	6.212	厦门	4.243	保定	5.417	西宁	1.951	杭州	6.739	重庆	5.372	杭州	9.396
4	厦门	62.53	福州	5.919	厦门	5.795	北京	4.176	北京	5.061	厦门	1.692	南京	6.366	福州	5.282	上海	9.383
5	北京	61.00	海口	5.905	长沙	5.642	沈阳	3.567	济南	4.628	北京	1.569	宁波	6.305	南宁	5.237	南昌	9.364
6	保定	60.08	西安	5.395	武汉	5.636	上海	3.529	长春	4.165	青岛	1.499	银川	5.973	广州	5.156	深圳	9.308
7	福州	59.41	重庆	5.215	长春	5.611	广州	3.510	哈尔滨	4.029	杭州	1.454	青岛	5.955	长沙	5.026	保定	9.289
8	广州	59.11	深圳	5.093	海口	5.558	西安	3.185	乌鲁木齐	3.915	大连	1.446	厦门	5.932	宁波	5.002	厦门	9.272
9	长春	58.47	成都	4.972	深圳	5.553	长沙	3.066	石家庄	3.874	郑州	1.363	大连	5.931	厦门	4.853	北京	9.252
10	杭州	58.18	厦门	4.927	福州	5.507	合肥	2.878	太原	3.774	银川	1.351	北京	5.868	大连	4.743	贵阳	9.238
11	成都	56.26	北京	4.642	重庆	5.453	杭州	2.849	青岛	3.758	长沙	1.338	济南	5.785	西安	4.665	南京	9.177
12	昆明	56.18	杭州	4.515	昆明	5.406	南宁	2.706	海口	3.711	呼和浩特	1.336	天津	5.743	昆明	4.591	广州	9.113
13	青岛	55.88	昆明	4.500	北京	5.359	济南	2.691	深圳	3.608	广州	1.327	石家庄	5.732	贵阳	4.466	宁波	9.097
14	大连	55.69	哈尔滨	4.310	保定	5.335	福州	2.689	沈阳	3.557	宁波	1.327	保定	5.722	南京	4.399	哈尔滨	9.036
15	长沙	55.44	长沙	4.278	西安	5.311	长春	2.686	银川	3.458	合肥	1.293	广州	5.623	青岛	4.372	沈阳	9.028
16	重庆	55.28	广州	4.278	上海	5.254	乌鲁木齐	2.681	南昌	3.415	乌鲁木齐	1.239	太原	5.606	哈尔滨	4.362	大连	9.014
17	西安	54.90	合肥	4.223	青岛	5.165	成都	2.637	福州	3.355	成都	1.234	深圳	5.596	海口	4.314	青岛	8.983
18	天津	53.37	宁波	4.152	杭州	5.030	青岛	2.634	长沙	3.346	昆明	1.208	武汉	5.378	南昌	4.230	长春	8.934
19	宁波	53.37	南昌	4.135	合肥	4.919	武汉	2.622	厦门	3.294	武汉	1.182	呼和	5.363	成都	4.148	福州	8.859

浩特																		
20	哈 尔 滨	53.28	青 岛	4.020	南 昌	4.846	南 京	2.613	广 州	3.224	贵 阳	1.164	成 都	5.317	石 家 庄	3.625	武 汉	8.808
21	南 昌	52.60	上 海	3.924	哈 尔 滨	4.548	宁 波	2.613	南 京	2.942	长 春	1.157	贵 阳	5.309	沈 阳	3.596	长 沙	8.786
22	济 南	51.54	天 津	3.552	大 连	4.381	海 口	2.605	兰 州	2.657	兰 州	1.153	重 庆	5.302	济 南	3.491	郑 州	8.771
23	沈 阳	51.26	大 连	3.300	济 南	4.372	呼 和 浩特	2.570	成 都	2.414	福 州	1.138	长 春	5.220	武 汉	3.362	成 都	8.762
24	南 京	50.84	沈 阳	3.247	沈 阳	4.305	昆 明	2.566	南 宁	2.235	济 南	1.126	沈 阳	5.160	西 宁	3.342	西 安	8.740
25	上 海	50.47	武 汉	3.108	天 津	4.267	哈 尔 滨	2.472	郑 州	2.212	西 安	1.071	郑 州	5.134	北 京	3.210	济 南	8.719
26	武 汉	48.98	兰 州	3.100	南 京	3.843	大 连	2.419	呼 和 浩特	2.034	南 昌	1.064	上 海	5.077	郑 州	3.153	银 川	8.674
27	合 肥	48.05	济 南	3.089	宁 波	3.824	太 原	2.382	武 汉	1.985	上 海	1.058	福 州	5.012	保 定	3.150	乌 鲁 木 齐	8.616
28	石 家 庄	46.29	郑 州	2.957	西 宁	3.732	贵 阳	2.328	西 安	1.810	南 京	1.051	南 昌	4.934	呼 和 浩特	3.086	石 家 庄	8.553
29	银 川	45.85	贵 阳	2.912	郑 州	3.437	南 昌	2.324	重 庆	1.788	石 家 庄	1.000	哈 尔 滨	4.918	合 肥	2.806	重 庆	8.498
30	贵 阳	45.82	银 川	2.896	呼 和 浩特	3.374	兰 州	2.309	宁 波	1.761	南 宁	0.985	长 沙	4.707	长 春	2.783	昆 明	8.483
31	郑 州	44.89	南 京	2.895	贵 阳	3.293	郑 州	2.242	西 宁	1.540	哈 尔 滨	0.941	合 肥	4.556	银 川	2.725	海 口	8.438
32	呼 和 浩特	43.74	呼 和 浩特	2.655	石 家 庄	3.175	重 庆	2.158	重 庆	1.449	沈 阳	0.933	南 宁	4.544	上 海	2.638	南 宁	8.413
33	西 宁	41.69	石 家 庄	2.629	兰 州	2.639	银 川	2.118	杭 州	1.386	天 津	0.858	西 安	4.502	太 原	2.634	合 肥	8.375
34	兰 州	41.47	西 宁	2.411	银 川	2.539	保 定	2.071	上 海	1.286	太 原	0.722	西 宁	4.470	兰 州	2.031	西 宁	8.296
35	太 原	40.43	乌 鲁 木 齐	2.075	太 原	2.264	西 宁	1.975	贵 阳	1.216	保 定	0.687	兰 州	4.356	天 津	1.947	呼 和 浩特	7.951
36	乌 鲁 木 齐	38.65	太 原	1.629	乌 鲁 木 齐	1.847	石 家 庄	1.965	昆 明	1.196	重 庆	0.498	乌 鲁 木 齐	3.499	乌 鲁 木 齐	1.883	太 原	7.710
平均值		53.53		4.106		4.665		2.938		3.104		1.420		5.452		3.980		8.873
最佳值		76.31		8.576		7.934		6.902		6.416		6.512		7.474		7.718		9.582

(一)目前尚无真正低碳城市,各市 LCDI 空间分异明显

由表 2 得出 36 个城市低碳化发展指数值最高的海口为 76.31 分,平均分仅 53.53,说明 LCDI 总体水平不高。例如人均 CO₂ 排放量最佳水平的南宁为 3.1 吨,是欧洲最优城市奥斯陆 2.2 吨的 1.4 倍;又如 36 个城市人均 CO₂ 排放量的平均值约为 10 吨,相当于北欧城市平均 5 吨水平的 2 倍;再如碳生产力最高的深圳为 0.80 万元/吨,仅约是奥斯陆 4.95 万欧元/吨的 16%,因此我国城市的低碳化发展水平

与欧洲城市相比,仍存在着很大的差距,可说还不存在真正意义上的低碳城市。

中国主要城市低碳化发展指数排名前 6 位的分别是:海口、深圳、南宁、厦门、北京、保定,它们的 LCDI 值均在 60 分以上;后 6 位分别是:郑州、呼和浩特、西宁、兰州、太原、乌鲁木齐,它们的 LCDI 值均在 45 分以下。再综合分析 36 个城市的分指数,因为各市的自然条件、资源禀赋、能源结构、产业结构和经济社会发展水平等存在很大的区域差异性和不平衡性,从而造成城市的 LCDI

表现出明显的区域差异性。按照这种空间差异性,采用聚类分析法,将中国主要城市的 LCDI 值划分为低碳城市、准低碳城市、中碳城市和高碳城市 4 个等级(表 3)。其中低碳城市(LCDI>80)尚不存在;准低碳城市(65<LCDI<80)有 3 个,分别是:海口、深圳和南宁;中碳城市(50<LCDI<65)有 22 个,它们是:厦门、北京、保定、福州、广州、长春、杭州、成都、昆明、青岛、大连、长沙、重庆、西安、天津、宁波、哈尔滨、南昌、济南、沈阳、南京、上海;高碳城市(LCDI<50)有 11 个,包括:武汉、合肥、石家庄、银川、贵阳、郑州、呼和浩特、西宁、兰州、太原、乌鲁木齐。

表 3 中国主要城市低碳化发展(LCDI)的聚类分级

低碳等级	LCDI 值	城市名称	个数
低碳城市	LCDI>80	无	0
准低碳城市	65 < LCDI < 80	海口、深圳和南宁	3
中碳城市	50 < LCDI < 65	厦门、北京、保定、福州、广州、长春、杭州、成都、昆明、青岛、大连、长沙、重庆、西安、天津、宁波、哈尔滨、南昌、济南、沈阳、南京、上海	22
高碳城市	LCDI<50	武汉、合肥、石家庄、银川、贵阳、郑州、呼和浩特、西宁、兰州、太原、乌鲁木齐	11

(二)低碳化发展指数整体上由东向西、由南到北逐渐减小

从空间特征上来说,中国主要城市 LCDI 较大的城市绝大部分分布在东部地区,如排在前 10 位的城市有 9 个位于东部沿海发达地区;而排序靠后的中碳城市和高碳城市大多分布在中西部地区,如排在最后 10 位的城市有 6 个属于西部地区,3 个属于中部地区。整体而言,东南沿海地区的 LCDI 最大,北部沿海的 LCDI 较大,中部和西南地区 LCDI 居中,西北内陆地区 LCDI 最小,即呈现出由东到西、由南向北逐级递减的态势。主要原因在于东部城市

经济社会发展水平较高,资金、技术和人才聚集,产业升级相对较快,第三产业比重较大,能源利用效率和低碳化发展力度相对较大。这表明城市“低碳”和“发展”并不矛盾,在经济社会建设过程中实现低碳化发展不仅是可能的,也是必要的。再就表 2 从各分指数分析,8 个分指数的空间分异也各有不同: BLC 大致表现为东南沿海—西南地区—中部地区—北部沿海—西北内陆逐渐降低,这可能与低碳经济的实质即经济社会发展水平与能源结构的耦合优劣有关; ELC 基本呈现出南方地区—北方地区—西北内陆递减之势,这与我国南方水电为主、北方火电为主的能源结构紧密相关; ILC 大致表现出东部地区—中部地区—西部地区递减,这与各个城市的产业结构所处阶段有关; ALC 大体呈现为北部沿海—中部地区—东南沿海—西部内陆—西南地区递减,这与建筑不同热工分区导致该类城市对节能绿色建筑推广力度的大小有关; TLC 大致也体现出东部沿海—中西部地区逐渐减小的趋势,此与各市公共交通利用程度相关; CLC 基本呈现出东部地区—中部地区—西部地区递减之势,这主要是由各市经济社会发展水平不同导致对环保重视程度各异; ACS 也大致表现出东部地区—中部地区—西部地区递减,这是各市天然植被条件和人工绿化工作的叠加效应结果; SLC 的空间规律性不甚明显,原因是大部分城市虽都在应对气候变化、探索低碳发展,但在支持力度上有所差异。

(三)城市财富和城市规模均与低碳化发展指数之间没有明显的对应关系

用人均 GDP 和市辖区人口常住人口数分别代表城市财富和城市规模,来分析 LCDI 与城市财富、城市规模之间的关系,为此作出它们两两之间的关系图(图 1、图 2)。从图中可以看出,城市低碳化发展指数与城市财富和城市规模都没有相关关系。再计算它们两两之间的 Pearson 相关系数分别是 0.248、0.236,显著性临界值(双尾)为 0.144、0.166,因而均未达到显著性,也说明它们两两相关性很弱。这说明城市越大, LCDI 值不一定高(或低),如上海、天津市辖区人口排第 2、3 位,但 LCDI 则分别排在第 25、18 位;城市越富裕, LCDI 值也不一定高(或低),如海口、南宁的人均 GDP 分别排第 30、33 位, LCDI 值却排在第 1、3 位,又如呼和浩特、沈阳的人均 GDP 分别排第 6、7 位,但 LCDI 值则排第 32、23 位。上述结论与欧洲 30 个城市绿色发展指数与城市财富具有强正相关、与城市规模具有一定正相关性^[10]这个分析结果却不一致。

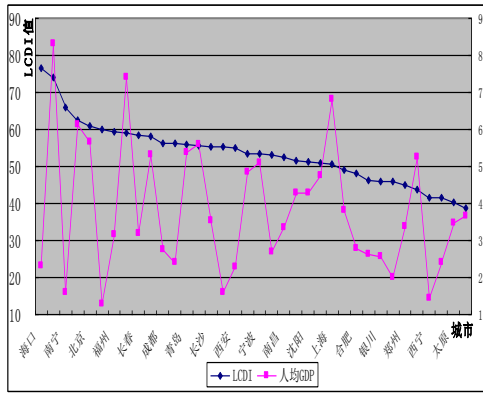


图1 LCDI 和人均 GDP 的关系

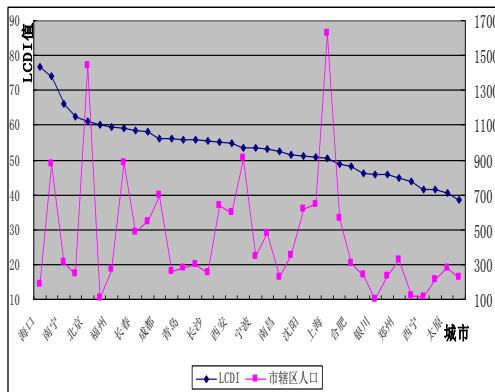


图2 LCDI 和城市规模的关系

(四)低碳化发展指数较高的城市有些方面仍存在不足，还需努力完善

通过比较低碳化发展指数与各分指数之间的相关程度来分析低碳化发展指数高的城市是否各分指数也高，也采用它们两两之间的 Pearson 相关系数大小来表征相关性高低。如果相关性大，说明 LCDI 高的城市该分指数也高；如果相关性小，说明 LCDI 高的城市该分指数不一定高，而 LCDI 低的城市分指数也不一定低。根据相关性的大小(图 3)，可以将 8 个分指数分成三组：BLC、ELC、ILC 构成了相关性较大的一组，相关系数都超过了 0.70，其中低碳化基础达到了 0.793；ACS、TLC 构成了相关性居中的一组，相关系数在 0.50—0.70 之间；CLC、SLC 和 ALC 则构成了相关性较小的一组，相关系数都在 0.45 以下，其中 ALC 甚至仅有 0.209，而且显著性临界值(双尾)为 0.221。拿实际数据来说，如 LCDI 值分别排 2、3 位的深圳、南宁，在 CLC 方面却排在了第 17、32 位；LCDI 值分别排第 1、2 位的海口、深圳，ALC 则排在第 12、13 位。以上说明低碳化发展指数较高的城市在低碳化基础、能源低碳化、产业低碳化的分指数较高，3 个方面发展较为均衡；但在环境低碳化、社会低碳化

和建筑低碳化 3 个方面还存在某些不足，是城市低碳化发展需要进一步努力的方面。

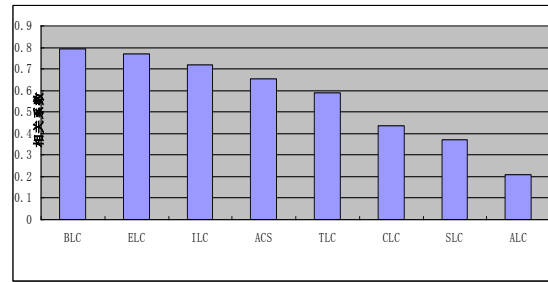


图3 城市低碳化发展指数与各分指数之间的相关性

四 结论与讨论

为弄清我国城市低碳发展现状和探索低碳城市发展路径，本研究基于 DPSIR 模型构建一个低碳化发展量化指标体系，对我国 36 个城市的低碳化发展指数进行了测度和评价，得到结论如下：

(1)总体低碳化发展水平不高，还没真正意义上的低碳城市。根据指数值和区域差异，将这 36 个城市划分为 3 个准低碳城市(海口、深圳和南宁)、22 个中碳城市、11 个高碳城市。

(2)低碳化发展指数整体上呈现出由东向西、由南到北逐渐减小的分异态势。东南沿海地区的 LCDI 最大，北部沿海的 LCDI 较大，中部和西南地区 LCDI 居中，西北内陆地区 LCDI 最小，即呈现出由东到西、由南向北逐级递减的态势。这表明城市“低碳”和“发展”并不矛盾，在经济社会建设过程中实现低碳化发展不仅是可能的，也是必要的。

(3)城市低碳化发展指数与城市财富和城市规模都没有明显的相关关系。城市越大，低碳化发展水平不一定高(或低)；城市越富裕，低碳化发展水平也不一定高(或低)。

(4)城市低碳化发展在各个方面还不平衡，有些方面需要提高。低碳化指数高的城市发展也是不全面的，在环境低碳化、社会低碳化和建筑低碳化方面还存在较为明显的不足。

本文试图通过构建指数模型定量测度中国主要城市低碳化发展状况，得出的结论对于城市低碳转型有一定的指导意义，但终因受统计数据和其它资料难于获取的限制，只分析了直辖市、副省级和省会城市，没有涉及到大量中小城市状况。另外对低碳化发展指数只作了 2008 年的静态横向比较，对每一个城市低碳化发展的纵向动态演化过程还没进行研究，影响了结论的深度和意义。对于以上的问题，将在今后的研究中进一步探索和完善。

参考文献:

- [1] http://www.swe.siemens.com/france/web/fr/portail/espacepresse/green/Documents/report_final.pdf
- [2] 中国科学院可持续发展战略研究组. 中国可持续发展战略报告: 探索中国特色的低碳道路[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 199-237.
- [3] 陈飞, 诸大建. 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): 7-13.
- [4] 中国城市科学研究会. 中国低碳生态城市发展战略[M]. 北京: 中国城市出版社, 2009: 50-237.
- [5] 龙惟定, 白玮, 梁浩, 等. 低碳城市的城市形态和能源愿景[J]. 建筑科学, 2010, 26(3): 13-18.
- [6] 英国查塔姆研究所, 中国社会科学院, 国家发展和改革委员会能源研究所, 吉林大学, 第三代环保主义. 吉林市低碳发展计划[R], 2010: 25-30.
- [7] Svarstad H, Petersen L K, Rothman D, et al. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR[J]. Land Use Policy, 2008, 25: 116-125.
- [8] Ho Chin Siong, Fong Wee Kean. Planning for Low Carbon Cities: The case of Iskandar Development Region[C]. Toward Establishing Sustainable Planning and Governance II, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea on November 2007 organized by SUDI:11-15.
- [9] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. IGS, Japan: the National Greenhouse Gas Inventories form[J]. The Annals of Regional Science, 2006, 40(2): 351-357.
- [10] 陈蔚镇, 卢源. 低碳城市发展的框架、路径与愿景——以上海为例[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 77-79.