

低碳城市发展评价方法模式研究

——以四直辖市为例¹

李云燕，姜瑛楠，殷晨曦

（北京工业大学 循环经济研究院，北京 100124）

【摘要】：论文以经济发展为核心，环境发展为基础，社会发展为目的，科学技术为手段，从社会系统、经济系统、环境系统、科技系统四个子系统出发，构建了 18 个指标组成的低碳城市发展评价指标体系。利用层次分析法与熵权法相结合的模糊综合评价方法，对北京、天津、上海、重庆四直辖市 2008-2013 年的低碳发展指标进行处理，得到量化评价结果。研究表明：四直辖市低碳城市综合发展指数排名次序为北京、上海、天津、重庆；2008-2013 年北京和上海低碳发展水平整体上处于上升的趋势，天津和重庆的低碳发展水平在 2011 年出现了微小的拐点，2011 年以前均为负增长，自此之后呈正增长态势。

【关键词】：低碳城市；指标体系；评价方法；对策建议

【中图分类号】：F205 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1671-4407（2017）12-046-06

1、前言

推动低碳城市的可持续发展，须建立一套完善的评估体系及方法^[1]。构建一套科学合理的低碳发展评价指标体系和方法模式，是各级政府进行低碳城市建设的迫切需求。本文尝试建立一套能够适合中国低碳城市发展建设评价的指标体系和方法模式，并对北京、上海、天津、重庆四直辖市的低碳发展建设水平进行定量评价，在深入分析评价结果的基础上，提出低碳发展建设的对策与建议。

2、低碳城市评价指标体系构建

评估低碳城市发展水平是一个包含经济、科技、社会、环境、资源的综合系统工程。参照已有的国际、国内相关体系标准，根据上述的指标构建原则及特性，构造了一个包含社会、经济、环境、科技等各个层面的指标体系^[2]。发展低碳城市的四大目标：第一，发展低碳城市必须在保证经济发展的基础上，最大程度削减碳排放。在指标体系中要包含经济系统来体现城市经济发展现状指标、体现城市经济增长情况。第二，发展低碳城市，应该为人民提供更好的生活条件，提高各方面的公共基础设施建设，提高人民生活质量，这样我们的社会才会更加稳定，才能可持续性地促进低碳城市发展。所以包含社会系统发展现状的指标也应有所体现。第三，发展低碳城市，最重要的是要从环境保护、节能减排入手，一个好的环境系统是发展低碳城市的前提。第四，发展低碳城市，科技是第一生产力，清洁能源开发与高效利用是实行低碳经济的基础，这就需要科学技术的大力

¹**【基金项目】**：国家社会科学基金项目“基于 DPSIR 模型框架的京津冀雾霾成因分析及综合治理对策研究”（15BJY059）；北京社会科学基金项目“京津冀地区雾霾污染控制政府绩效评估模式的构建”（14JGB036）

【第一作者简介】：李云燕（1963-），女，山东滨州人，博士，教授，博导，研究方向为环境经济学、低碳经济、循环经济和城市规划与管理等。E-mail:liyunyan2016@163.com

支持。根据对发展低碳城市的理解，本文建立了以经济发展为核心，环境发展为基础，社会发展为目的，科学技术为手段的评价指标体系。

以低碳城市综合发展水平作为总系统，用来衡量低横城市发展建设的综合状况。子系统包括经济系统、社会系统、环境系统、科技系统，其中经济系统包括人均 GDP、恩格尔系数、第二产业占比、第三产业占比；社会系统包括人均能源消费量、人均碳排放量、每万人拥有公交车辆、人均拥有私人车辆、市区人均住房居住面积、城市化率；环境系统包括森林覆盖率、能源消费总量、人均公园绿地面积、城市绿地覆盖率；科技系统包括单位 GDP 能耗、单位 GDP 碳排放量、单位工业增加值能耗、能源消费弹性系数。

3、低碳城市评价方法模式研究

运用层次分析法（AHP）与熵权法相结合的模糊综合评价法确定低碳发展评价指标权重。层次分析法被广泛应用于评价与决策分析中，申志东^[3]通过构建我国国企绩效评价体系，运用层次分析法对国企绩效做出比较分析，进一步推动我国建立国企绩效评价体系。刘江等^[4]研究了层次分析法在我国运输方式决策分析方面的作用，定性定量分析选取合适的交通运输方式。杨小彬^[5]在研究配电网节能潜力时，构建了配电网节能指标体系，运用层次分析法评估配电网节能效能。熵权法是一种客观确定指标权重的决策评价方法，不添加个人主观因素，完全根据指标数据大小及数据提供的信息量反映指标权重，克服了层次分析法主观因素较强的缺陷，可以对复杂问题做出科学合理的评价。贾艳红等^[6]在状态—压力—响应框架模型下对甘肃牧区生态安全进行评价，将熵权法与综合评价法结合确定草原牧区生态安全指标权重及评价结果测算，丰富了区域生态安全定量化评价研究。赵磊等^[2]采用熵权法对辽宁葫芦岛地区土地资源可持续利用进行评价研究，研究表明葫芦岛土地利用的可持续发展仍处于起步阶段，并对其土地可持续利用提出了政策建议。郭思佳等^[7]分析了影响我国油气资源投资环境的相关因素，运用熵权法评价模型对我国油气资源投资环境进行综合评价，并对我国海外油气投资战略提出建议和进一步的研究方向。层次分析法和熵权法结合的模糊综合评价法是一种定性分析和定量分析相结合的决策方法，结合了层次分析法的主观性和熵权法的客观性，计算得出各要素权重以及综合权重，得出最优方案。

3.1 层次分析法

首先，围绕低碳城市发展的核心问题，提出最终解决目标（目标层）；其次，根据分析目标筛选下一层（准则层）指标，通过专家对各指标之间的相互比较，确定该层次内的不同指标两两比较重要程度（确定该两类指标对目标的影响程度偏好排序），用 1~9 数字表示重要性对比程度，并构造判断矩阵，最终确定各指标在该层的权重关系（权重加总为 1）；再次，根据准则层要求，进一步筛选下一层（要素层）指标，按照对准则层的处理方法，确定各准则层内要素指标的重要度排序，构造判断矩阵，最终确定各指标在要素层的权重关系。具体方法如下：

(1) 对判断矩阵 J 的每一列正规化 $a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}$ ($i, j=1, 2, \dots, n$)。 a_{ij} 为矩阵向量。

(2) 按行加总，记 $W_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}^*$ ，对其归一化，得到权重向量 W ，其分量 $W_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j}$ ($i, j=1, 2, \dots, n$)。

(3) 再依 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(AW)_i}{nW_i} \right]$ ，求得最大特征根 λ_{\max} 。其中， $(AW)_i$ 表示 AW 的第 i 个分量， $AW = \lambda_{\max} W$ 存在。

在计算层次单排序时难以避免决策者的判断失误，通过一致性检验的方法可以及时发现并判断错误的信息，并可筛选

有效的决策信息，有利于层次分析法的高效运行。指标 CR 是一致性检验的有效途径，计算方法如下： $CR = \frac{CI}{RI}$ ，其中：

$CI = \frac{\lambda_{\max}(A) - n}{n - 1}$ ，RI 为平均随机一致性指标。若经计算， $CR \leq 0.1$ ，则可认为判断矩阵 A 是可行的；否则需要重新取值计算。

3.2 熵权法

假设在 m 项指标、n 个被评价对象的评价体系中，原始输入评价矩阵为 X_{nm} ，有：

$$X_{nm} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m}$$

第一步：标准化处理，得到规范化矩阵其中各元素为：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

第二步：求各指标的信息熵：

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

其中： p_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 个指标标准化值，其计算公式为：

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

，若 $p_{ij}=0$ ，则

$$\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln(p_{ij}) = 0$$

第三步：确定权重值。通过信息熵计算各指标的权重：

$$s_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j} \quad (j=1, 2, \dots, m)$$

其中： $0 \leq s_j \leq 1$ ， $\sum_{j=1}^m s_j = 1$ 。

3.3 综合评价模型

3.3.1 综合评价权重介绍

模糊综合评价法是在对单一因素作单独评价的基础上，再对所有因素作综合评价^[8]。设有评价指标集合 X_m ，由熵权法和层次分析法确定的权重值分别为：

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}; W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

这 n 个指标的综合权重值为：

$$z_i = \frac{s_i \times w_i}{\sum_{j=1}^n s_j \times w_j} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

3.3.2 无量纲化数据处理

由于现有的指标体系中存在正、负两种类型的指标（如森林覆盖率为正向指标，当森林覆盖率水平提高时，低碳城市发展水平处于优化的状态；如万元 GDP 能耗为负向指标，当其数值上升时，低碳城市发展水平处于降低的状态），且各类数据的量纲并不相同（如森林覆盖率为%，而人均绿地面积则为 m^2 ），先要对现有指标数据进行处理，为了使指标具有可比性，必须先将各指标进行标准化及无量纲化处理，以使得各类指标的方向性及量纲均相同^[9]。标准化处理方法如下：

对于正向指标 x_{ij} ，令：

$$x_{ij}^* = x_{ij} / x_{j\max}, \quad (x > 0)$$

对于负向指标 x_{ij} ，令：

$$x_{ij}^* = x_{j\min} / x_{ij}, \quad (x > 0)$$

3.3.3 综合指数的确定

在已经得到各个指标权重的基础上，对基础数据进行无量纲化处理，每个指标值为 x_{ij} ，其对应的权重为 z_i ，经济系统的综合指数值为 $\sum x_{ij} \times z_i$ ($i=1, \dots, 4$)，社会系统的综合指数值为 $\sum x_{ij} \times z_i$ ($i=5, \dots, 10$)，环境系统的综合指数值为 $\sum x_{ij} \times z_i$ ($i=11, \dots, 14$)，科技系统的综合指数值为 $\sum x_{ij} \times z_i$ ($i=15, \dots, 18$)。各城市总的综合指数值为各子系统乘以相应的权重值之和。

3.4 综合评价指数的分级

本文在参考现有碳排放研究资料的基础上，通过咨询相关领域专家建立了低碳城市评价等级标准，分值对应的评价等级如表 1 所示。

表 1 低碳城市评价等级划分

综合指数值	低碳城市发展级别
0.9 以上	优秀
0.8~0.9	良好
0.6~0.8	一般
0.6 以下	较低

4、低碳城市发展评价

北京、天津、上海、重庆四个城市 2008—2013 年指标层原始数据值见表 2~表 5。选取的评价指标数据来源于《中国统计年鉴》（2009-2014 年）、《中国城市统计年鉴》（2009-2014 年），以及 2009-2014 年北京、天津、上海、重庆四直辖市的《国民经济和社会发展统计公报》和环境质量公报。由于每个城市可获得的数据类型存在差异，个别无法获取的指标采用相近指标替代。利用综合指数确定方法可得到四直辖市各评价指标的综合权重值，如表 6 所示。

表 2 北京市 2008-2013 年指标值原始数据

指标层	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
人均 GDP/元	64491.0	66940.0	73856.0	81658.0	87475.0	93213.0
恩格尔系数	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.31
第二产业比重/%	23.60	23.50	24.00	23.10	22.70	22.30
第三产业比重/%	75.40	75.50	75.10	76.10	76.50	76.90
人均能源消费量/(吨标准煤/人)	3.57	3.53	3.54	3.47	3.47	3.48
人均碳排放量/(吨/人)	8.79	8.69	8.72	8.53	8.53	8.56
每万人拥有公交车辆/(辆/万人)	13.11	12.76	12.24	12.13	12.48	13.05
人均拥有私人车辆/(辆/人)	0.14	0.16	0.19	0.19	0.20	0.20
市区人均住房居住面积/m ²	26.50	26.41	25.75	25.34	25.58	26.10
城市化率/%	84.90	85.01	85.96	86.23	86.20	86.30
森林覆盖率/%	36.50	36.70	37.00	37.60	38.60	40.10
能源消费总量/万吨标准煤	6327.10	6570.30	6954.10	6995.40	7177.70	7354.20
人均公园绿地面积/m ²	13.60	14.50	15.00	15.30	15.50	15.70
城市绿地覆盖率/%	43.50	44.40	45.00	45.60	46.20	46.80
单位 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	0.64	0.61	0.58	0.46	0.44	0.42
单位 GDP CO ₂ 排放/(吨/万元)	1.40	1.33	1.21	1.06	0.99	0.95
单位工业增加值能耗/(吨标准煤/万元)	1.19	1.05	0.93	0.80	0.75	0.70
能源消费弹性系数	0.41	0.38	0.57	0.44	0.34	0.32

表 3 天津市 2008-2013 年指标值原始数据

指标层	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------

人均 GDP/元	58656.0	62574.0	72994.0	85213.0	93173.0	99607.0
恩格尔系数	0.373	0.365	0.359	0.362	0.367	0.37
第二产业比重/%	55.20	53.00	52.40	52.40	51.70	50.60
第三产业比重/%	43.00	45.30	46.00	46.20	47.00	48.10
人均能源消费量/(吨标准煤/人)	4.56	4.78	5.25	5.61	5.81	5.99
人均碳排放量/(吨/人)	11.22	11.76	12.92	13.80	14.29	14.74
每万人拥有公交车辆/(辆/万人)	14.30	14.60	14.90	14.20	16.20	17.00
人均拥有私人车辆/(辆/人)	0.08	0.09	0.11	0.14	0.17	0.18
市区人均住房居住面积/m ²	23.74	24.02	24.10	24.66	25.11	26.13
城市化率/%	77.22	78.01	79.55	80.50	81.55	82.01
森林覆盖率/%	29.80	30.30	32.10	34.50	34.90	34.90
能源消费总量/万吨标准煤	5363.59	5874.09	6818.08	7598.45	8208.01	8823.15
人均公园绿地面积/(m ² /人)	6.20	8.59	8.60	10.30	10.50	11.00
城市绿地覆盖率/%	24.10	26.20	28.00	30.60	30.90	31.00
单位 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	0.89	0.84	0.74	0.71	0.67	0.61
单位 GDP CO ₂ 排放/(吨/万元)	2.19	2.07	1.82	1.75	1.65	1.51
单位工业增加值能耗/(吨标准煤/万元)	1.16	1.06	1.08	1.03	0.95	0.92
能源消费弹性系数	0.51	0.58	0.93	0.70	0.58	0.60

表 4 上海市 2008-2013 年指标值原始数据

指标层	2008 年	2009 年	2010	2011 年	2012 年	2013 年
人均 GDP/元	66932.0	69165.0	76074.0	82560.0	85373.0	90092.0
恩格尔系数	0.37	0.35	0.34	0.36	0.37	0.35
第二产业比重/%	43.20	39.90	42.00	41.30	39.00	37.20
第三产业比重/%	56.00	59.40	57.30	58.00	60.40	62.20
人均能源消费量/(吨标准煤/人)	4.77	4.69	4.86	4.80	4.77	4.85
人均碳排放量/(吨/人)	11.73	11.54	11.97	11.81	11.74	11.92
每万人拥有公交车辆/(辆/万人)	7.74	7.36	7.58	7.07	7.01	6.92
人均拥有私人车辆/(辆/人)	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16
市区人均住房居住面积/m ²	22.05	22.72	22.86	23.46	23.62	24.20
城市化率/%	87.50	88.30	88.90	89.30	89.80	89.90
森林覆盖率/%	11.60	11.60	12.58	12.58	12.58	13.10
能源消费总量/万吨标准煤	10207.36	10367.38	11201.13	11270.48	11362.15	11703.67
人均公园绿地面积/(m ² /人)	8.20	9.30	10.50	11.00	12.50	13.00
城市绿地覆盖率/%	38.00	38.10	38.20	38.20	38.30	38.40
单位 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	0.78	0.73	0.71	0.62	0.57	0.55
单位 GDP CO ₂ 排放/(吨/万元)	1.91	1.79	1.75	1.52	1.40	1.34
单位工业增加值能耗/(吨标准煤/万元)	1.08	1.03	0.95	0.89	0.85	0.82
能源消费弹性系数	0.57	0.19	0.78	0.30	0.31	0.39

表 5 重庆市 2008-2013 年指标值原始数据

指标层	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
人均 GDP/元	20490.0	22920.0	27596.0	34500.0	38914.0	42795.0
恩格尔系数	0.40	0.38	0.38	0.39	0.42	0.41
第二产业比重/%	61.30	60.70	68.60	73.30	66.30	63.90
第三产业比重/%	33.80	35.70	28.20	24.00	30.60	33.30
人均能源消费量/(吨标准煤/人)	2.08	2.25	2.47	2.72	2.81	3.00
人均碳排放量/(吨/人)	5.11	5.53	6.07	6.70	6.92	7.38
每万人拥有公交车辆/(辆/万人)	3.05	2.83	2.62	2.68	3.00	4.07
人均拥有私人车辆/(辆/人)	0.06	0.07	0.10	0.12	0.13	0.12
市区人均住房居住面积/m ²	16.33	17.52	19.44	21.16	22.77	23.82
城市化率/%	50.00	51.60	53.00	55.00	57.00	58.30
森林覆盖率/%	34.00	35.00	37.00	39.00	42.10	42.10
能源消费总量/万吨标准煤	5895.10	6431.63	7117.41	7951.12	8284.94	8919.74
人均公园绿地面积/(m ² /人)	1.38	1.62	2.35	3.84	4.16	4.26
城市绿地覆盖率/%	36.96	38.91	41.53	42.20	44.04	45.10
单位 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	1.27	1.18	1.13	0.95	0.89	0.86
单位 GDP CO ₂ 排放/(吨/万元)	3.12	2.91	2.77	2.34	2.18	2.12
单位工业增加值能耗/(吨标准煤/万元)	0.24	0.28	0.33	0.34	0.15	0.14
能源消费弹性系数	0.48	0.61	0.69	0.73	0.40	0.50

表 6 四直辖市综合权重值

准则层	指标层	北京	天津	上海	重庆
经济系统	人均 GDP/元	0.346	0.445	0.414	0.365
	恩格尔系数	0.241	0.120	0.114	0.173
	第二产业比重/%	0.160	0.234	0.194	0.283
	第三产业比重/%	0.253	0.201	0.277	0.179
社会系统	人均能源消费量/(吨标准煤/人)	0.353	0.213	0.210	0.225
	人均碳排放量/(吨/人)	0.272	0.168	0.167	0.178
	每万人拥有公交车辆/(辆/万人)	0.107	0.192	0.185	0.216
	人均拥有私人车辆/(辆/人)	0.142	0.262	0.290	0.229
	市区人均住房居住面积/m ²	0.062	0.098	0.078	0.078
	城市化率/%	0.064	0.067	0.070	0.075
环境系统	森林覆盖率/%	0.307	0.221	0.238	0.199
	能源消费总量/万吨标准煤	0.252	0.323	0.290	0.276
	人均公园绿地面积/(m ² /人)	0.149	0.160	0.187	0.248
	城市绿地覆盖率/%	0.291	0.296	0.286	0.277
科技	单位 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	0.365	0.337	0.361	0.374

系统	单位 GDP CO ₂ 排放/ (吨/万元)	0.293	0.290	0.293	0.325
	单位工业增加值能耗/ (吨标准煤/万元)	0.228	0.224	0.234	0.216
	能源消费弹性系数	0.114	0.149	0.414	0.085

2008-2013年,四直辖市低碳城市综合发展指数走势如图1所示。北京市的低碳城市发展建设不断加强,低碳发展水平持续上升。图1中,2008年北京市低碳城市发展水平综合指数为0.778,2013年北京市低碳城市发展水平综合指数为0.839,指数平均每年上涨0.0122左右,上升速度比较平缓且均衡。从子系统层来看,北京市经济系统为子系统中状态发展中较为良好的,呈现不断发展的趋势,经济系统综合评价指数从2008年的0.781上升到2013年的0.914。环境系统评价指数基本保持持平,其综合评价指数从2008年的0.839上升到2013年的0.863,说明北京市在实现经济快速增长的同时仍需加大对低碳的关注,并且在环境保护尤其是减少碳排放的环境保护方面加大力度。而社会系统面临的压力较大,低碳社会随着人均能源消费量、每万人使用公共交通工具等小指标值的不断增大出现不合理状态,综合评价指数呈现不断下降趋势,从2008年的0.817下降到2013年的0.785。其中科技系统的综合评价指数上升较快。从2008年的0.512上升到2013年的0.777,这说明北京市近几年来比较重视低碳技术方面的研究并有所进展。

天津市的低碳城市发展略有波动,低碳发展水平表现为平缓的先下降后上升。2008年,天津市低碳城市发展水平综合指数为0.677;2013年,天津市低碳城市发展水平综合指数为0.660,其低碳发展水平有所下降,说明近几年来天津市对低碳城市的发展重视程度还有待提高。从子系统层来看,天津市的经济系统为子系统中发展状态最好的,呈现不断上升的趋势,经济系统综合评价指数从2008年的0.573上升到2013年的0.783。环境系统和社会系统面临的压力较大,环境系统综合评价指数从2008年的0.726上升到2011年的0.756,又下降到2013年的0.735,主要由城市绿地面积较少、能源排放量较大造成,说明天津市实现经济快速增长的同时缺乏对环境保护尤其是减少碳排放的环境保护的重视。社会系统主要是因人均能源消费量和城市化率等小指标值的不断增大,呈现不合理状态,综合评价指数呈现不断下降趋势,其综合评价指数从2008年的0.781下降到2013年的0.619。天津市科技系统的综合评价指数也逐步提升,但总体低于其他几个系统,从2008年的0.414上升到2013年的0.522,这说明天津市近几年来有对低碳技术方面的研究与重视,但各项小指标仍未达到理想状态,发展潜力较大。

上海市的低碳城市发展建设不断加强,低碳发展水平表现为不断上升趋势。2008年,上海市低碳城市发展水平综合指数为0.674;2012年上海市低碳城市发展水平综合指数为0.726,指数平均每年上涨0.0104左右,上升速度比较平缓且均衡。从子系统层来看,上海市经济系统为子系统中状态发展最好的,呈现不断上升的趋势,经济系统综合评价指数从2008年的0.722上升到2012年的0.878。

环境系统状态发展略微较好,也处于稳步上升趋势,综合评价指数从2008年的0.618上升到2013年的0.665。而社会系统因人均碳排放量较高、每万人拥有公交车辆较少等因素造成近几年呈现下降趋势,综合指数值从2008年0.743下降到2013年的0.663。科技系统综合指数整体呈上升趋势,从2008年的0.439上升到2012年的0.611,说明上海市近几年来比较重视低碳技术方面的研究并有所进展,但其与其他三个子系统综合指数值还有一定差距,上海市需要进一步加大低碳科技的投入。

重庆市的低碳城市发展建设有所波动,低碳发展水平表现为平缓下降后上升趋势。其低碳城市发展水平综合指数从2008年的0.598下降到2011年的0.522,后上升到2013年的0.568。从子系统层来看,重庆市社会系统和环境系统综合指数较高,为子系统中状态发展较好,但仍然有下降趋势。社会系统主要因公共交通设施投入不足导致每万人拥有公交车辆指标值较低,其综合评价指数值从2008年的0.818下降到2013年的0.605。环境系统因城市绿化能力不足,导致森林覆盖率和城市绿地覆盖率指标值较低,但总体呈上升趋势,其综合指数值从2008年的0.639上升到2013年的0.671。经济系统和科技系统整体呈上升趋势,其中科技系统的综合指数略有波动,2008-2012年,综合指数最低为2010年的0.295,最高为2013年的0.487,这说明重庆市近几年来比较重视低碳技术方面的研究并有所进展。经济系统综合评价指数从2008年的0.401上升到2013年的0.494。但其与另外两个子系统综合指数值相比差距较大,指数值相差0.3左右。重庆市应加大对经济系统和科技系统的关注力度,提高人均GDP,

降低第二产业比重以及提高第三产业比重等。

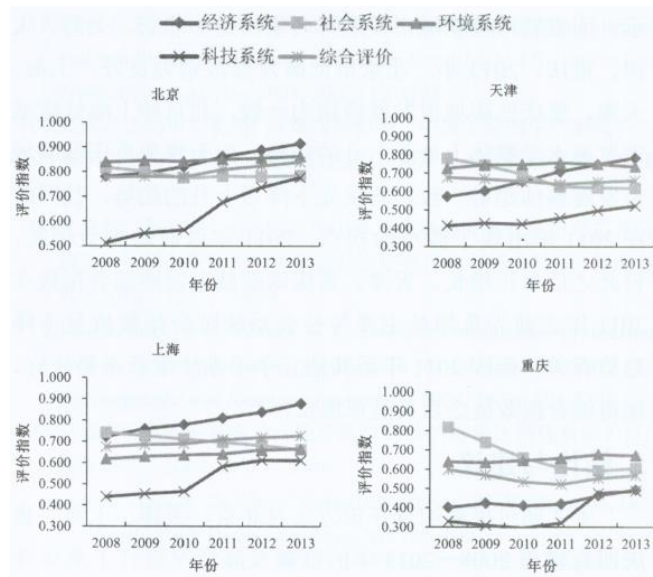


图 1 2008-2013 年四直辖市低碳城市发展指数走势图

2008-2013 年四直辖市低碳城市发展走势如图 2 所示。四直辖市低碳城市发展排名依次是：北京、上海、天津、重庆。2013 年，北京市低碳发展级别为良好，上海、天津、重庆低碳城市发展级别为一般。北京和上海低碳城市发展水平整体上处于上升的趋势，而天津和重庆低碳城市发展整体趋势一致，均呈先下降后上升的趋势，且同时在 2011 年出现了微小的拐点，2011 年以前均为负增长，自此之后呈正增长。天津、重庆低碳城市发展综合指数在 2011 年之前为负增长主要与社会系统综合指数值呈下降趋势有关，但因 2011 年后其他三个子系统增长态势较好，使得综合指数值之后又呈正增长。

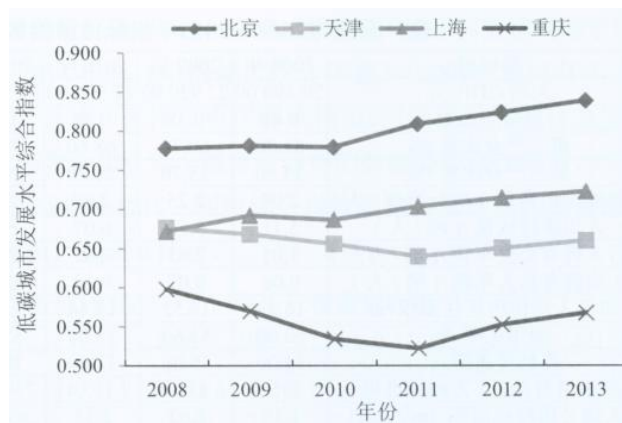


图 2 2008-2013 年四直辖市低碳城市发展走势图

5、结论与建议

本文通过模糊综合评价方法对北京、天津、上海、重庆四直辖市 2008-2013 年的低碳发展情况进行了量化评价。总体上，北京市低碳发展综合指数远高于其他三个城市综合指数值，四直辖市的低碳发展优势指标各有不同，各个城市应认清自身的不

足与优势，大力发展优势项目，参考其他发展较好的城市，提高劣势项目的发展潜力。针对城市间低碳综合指数差异较大的原因，探讨如何实现各城市低碳城市发展，为今后低碳城市建设评价和决策提供科学依据和借鉴参考。

5.1 健全低碳发展法律体系

政府应积极制定相关法律政策，如开征碳税、增加财政补贴，对有利于低碳经济发展的生产者或经济行为给予补贴，实施税收优惠政策，对企业设置碳排放标准，对于不达标企业进行严厉惩罚，用法律来保证这些政策的实施，确保其效力和实效性。近几年从国家层面出台的多数法律主要以管理为主，立法效力层次低，权威性偏弱，具体的权利义务规定少，可操作性不强。应在低碳发展视野下完善节能降碳相关法律标准和应对气候变化立法，用法律约束加强工业节能减碳、推进建筑节能减碳、强化交通运输节能减碳。建立健全生产者责任延伸制，规定生产者对本企业的产品能耗负责，从源头上减少能源消耗碳排放。

5.2 优化城市产业结构

应进一步加快经济结构战略性调整步伐，提升第三产业占地区生产总值的比重。以北京市为例，从2012年北京市各产业的万元GDP能源消费量看，第二产业的单位GDP能耗为0.624吨标准煤，能耗强度比较大，是全市平均能耗强度（0.436吨标准煤/万元）的1.43倍，是第三产业能耗强度（0.262吨标准煤/万元）的2.38倍，其他城市情况类似。由此可见应继续控制第二产业在产业结构中的比例，同时大力发展第三产业。产业结构调整应侧重发展知识密集型和技术密集型产业，发展低碳产业，提高高碳产业准入的市场门槛，实现产业结构从高碳向低碳转变。一是突出抓好新增项目准入控制，严格执行新增项目节能评估制度，提高附加值产业比重；二是进一步完善关停淘汰退出机制，分步实施高能耗高污染企业的关停并转迁，逐步淘汰低效落后生产能力和设备；三是培育新兴低碳产业，尤其是加快发展包括新能源、新材料、新医药、生物育种和信息产业在内的新兴战略性新兴产业，形成城市发展新的经济增长点和经济科技制高点。

5.3 促进低碳科技和技术合作机制

低碳技术是一种能有效掌握温室气体排放的新技术，包括使用清洁煤并且利用率高，勘探开发油气资源和煤层气，CO₂捕获与埋存等领域。要实现城市低碳发展必须大力发展低碳技术，支撑与引领低碳城市建设。我国要积极研究开发并推广应用包括能源高效利用技术、减量化技术、新材料技术、替代能源技术、再利用技术、生物技术、智能电网技术等在内的低碳技术，保障能源供应安全和控制碳排放。将不同类型的“低碳能源”技术广泛应用于工业、建筑、交通、农业等领域。形成各行业、企业以及城市间的联动机制，将有效的低碳科技成果在全国范围内广泛分享，服务于各城市低碳城市的发展事业。

5.4 加强消费领域节能减排

四直辖市庞大的人口数量，对城镇的能源消耗和碳排放的贡献日益加大，对生态环境承载力提出了严峻的挑战。据《中国能源统计年鉴》中的数据显示，全国生活能源消费量从2000年145531万吨标准煤增长至2013年375000万吨标准煤，年均增长率达15.7%。生活消费碳排放量从2005年25305万吨标准煤增长至2012年39666万吨标准煤，增长了56.75%。伴随着人均GDP的上升，居民消费水平也逐步上升，人均生活用能源由2000年的123.7千克标准煤增长至2012年的293.8千克标准煤，年均增长为11.45%。由此可见，生活消费领域的节能减排作用也举足轻重。在建设低碳城市的过程中，地方政府有责任和义务采取有效措施推动全社会倡导“低碳生活”理念，争取全社会对低碳生活政策的理解和支持，切实提高公众绿色出行、低碳生活的意识和主动参与的积极性。通过宣传教育，让民众对“低碳生活”有形象化、具体化的认知，比如让民众知道自己每天的出行、居家、消费、办公等行为哪些会造成碳排放增多，怎样自觉地减少碳排放。“低碳生活”最重要的还在于落实。

[参考文献]:

-
- [1]刘 磊, 邵伟波. 公众参与视角下基于模糊层次分析法的政府信息公开绩效评估研究[J]. 情报理论与实践, 2014 (3) : 73-78.
- [2]赵磊, 刘洪彬, 于国锋, 等. 基于熵权法土地资源可持续利用综合评价研究——以辽宁省葫芦岛市为例[J]. 资源与产业, 2012 (4) : 63-69.
- [3]申志东. 运用层次分析法构建国有企业绩效评价体系[J]. 审计研究, 2013 (2) : 106-112.
- [4]刘江, 罗常虎, 湛南蓉. 重庆客运经营权之争[J]. 中国经济周刊, 2008 (8) : 28-29.
- [5]杨小彬. 含超级电容混合储能装置的直流配电系统能效评估研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
- [6]贾艳红, 赵军, 南忠仁, 等. 基于熵权法的草原生态安全评价——以甘肃牧区为例[J]. 生态学杂志, 2006 (8): 1003-1008.
- [7]郭思佳, 方伟, 曾金芳, 等. 中东地区油气资源投资环境评价及优选[J]. 资源与产业, 2012 (6) : 99-106.
- [8]傅利平, 王中亚. 基于模糊层次分析法的企业技术创新能力评价[J]. 科技管理研究, 2010 (3) : 136-138.
- [9]吕志明. 基于模糊层次分析法的税务风险评价[J]. 统计与决策, 2011 (13) : 161-163.