

武汉城市圈城市低碳竞争力仿真评价

郭海湘, 叶文辉, 刘 晓, 谢韵典

摘 要: 提前发现城市在低碳竞争力生成过程中的问题是低碳城市建设的必然要求, 通过建立城市低碳竞争力评价指标体系, 进行主成分分析评价, 并在此基础上借助系统动力学建模对城市低碳竞争力的演化进行仿真模拟, 找出城市在目前发展模式下所存在的问题, 提出解决方案。对武汉城市圈进行实证分析, 发现武汉的城市低碳竞争力先期领先于其他城市, 而后被黄石超越, 鄂州、咸宁、仙桃、潜江、孝感、黄冈和天门的低碳竞争力则较为相近, 大部分城市在发展低碳竞争力过程中存在产业结构不合理和环境质量变差等问题。

关键词: 低碳城市; 低碳竞争力; 武汉城市圈

中图分类号: F299.276.31 文献标识码: A 文章编号: 1671-0169(2015)05-0043-12

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2015.05.022

一、引 言

2010 年以来, 我国低碳城市试点尽管取得一定的成绩, 但普遍存在推进较慢且无亮点的情况。究其原因, 缺乏统一的低碳城市建设细化指标是其中一个重要方面, 同时许多城市在提升自身低碳竞争力过程中并未形成适合自己的发展模式, 而是更多地采取一刀切的措施, 其存在的潜在问题必将对城市低碳竞争力的发展产生影响。

目前相关研究主要集中在低碳经济及低碳社会, 例如许涤龙^[1]、马军^[2]、倪外^[3]、潘家华等^[4]对低碳经济进行研究, 赵国杰^[5]、任福兵等^[6]对低碳社会进行研究。也有学者从可持续发展的角度进行研究, Moussiopoulos 等^[7]认为由于可持续发展的多样化, 指标需要有充分的检测敏感性, 能捕捉细微的变化。对低碳竞争力的研究相对偏少, 但其中对国家和省域的区域低碳竞争力研究则呈现逐渐增多的趋势。Niemeijer 等^[8]认为竞争产生的根本原因是资源的稀缺性, 他们从竞争的角度建立了可持续发展指标体系。澳大利亚气候研究所与英国第三代环境主义组织^[9]对 G20 国家低碳竞争力进行研究, 将国家低碳竞争力定义为一个国家在减少温室气体排放的同时保持经济高速发展的能力。卢愿清等^[10]基于 PLS-SEM 模型分析省域低碳竞争力驱动因素及作用机理, 建立低碳竞争力的评价指标体系。潘文砚等^[11]基于“驱动力—压力—状态—影响—响应”DPSIR 模型构建低碳竞争力评价指标体系, 并通过主成分分析法找出影响低碳竞争力的重要指标, 将我国的部分指标与西方国家进行对比。现有关于低碳竞争力的研究主要是围绕评价指标体系、评价方法和发展策略等展开。潘家华等^[4]提出碳生产力和能耗等评价指标。陈飞等^[12]提出以碳生产率及经济福利绩效为基础的指标体系。唐笑飞等^[13]采用层次分析法和聚类

基金项目: 国家自然科学基金项目“石油储层识别中软计算与硬计算融合的理论与方法研究”(71103163); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目“城市综合承灾能力测算”(NCET-13-012); 湖北省区域创新能力监测与分析软科学研究基地 2015 年度开放基金“湖北省政产学研协同创新政策仿真研究”(HBQY2015Y07)

作者简介: 郭海湘, 中国地质大学(武汉)经济管理学院教授、博士生导师(湖北武汉 430074); 叶文辉, 中国地质大学(武汉)经济管理学院硕士研究生

分析法这两种定性与定量分析相结合的方法。金小琴等^[14]用熵值法和聚类分析法对西部 12 个省(区、市)低碳竞争力进行评价。诸大建等^[15]使用灰熵理论和上海市的数据对所建立的模型进行实证研究。郑林昌等^[16]认为衡量一个地区低碳经济发展水平的核心指标是地区在资源禀赋、技术水平及消费方式的低碳发展潜力,低碳产出、低碳消费、低碳资源、低碳环保构成低碳系统指标体系,并提出了城镇居民家庭恩格尔系数和单位 GDP 的二氧化硫排放强度等评价指标。综上,现有研究大多集中在对现状的评价上,对低碳竞争力演化的未来趋势及其中存在的问题研究较少。

本文运用主成分分析法^[17]对武汉城市圈中武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门、潜江等 9 个城市的低碳竞争力进行评价,并基于系统动力学构建城市低碳竞争力仿真模型,通过仿真对武汉城市圈城市低碳竞争力的演化轨迹进行预测比较,找出问题。

二、城市低碳竞争力评价指标体系

低碳城市的发展是以减少温室气体排放,主要是以减少二氧化碳排放为目标,涉及现有的生产方式、生活方式、流通方式和消费方式等多个方面的变革。诸大建等^[15]认为城市系统具有非线性特征,城市低碳竞争力应包含低碳环境竞争力、低碳社会竞争力和低碳生产竞争力。金小琴等^[14]将低碳竞争力定义为一个国家或地区所反映出来的在低碳效率、低碳环境、低碳科技等方面的竞争优势或能力,由此可将城市低碳竞争力定义为城市在经济、社会、能源、环境等方面二氧化碳减排目标的实现程度及进一步发展的潜力。本文将影响竞争力的因素归纳为动力和阻力,而后根据城市群发展的一般规律确定经济、社会、技术等因素构成的动力及能源、环境因素构成的阻力,继而确定具体的评价指标,最终形成四个层次的指标体系。

从主要发达国家在低碳发展方面的实践来看,低碳技术和低碳产业是低碳发展的核心,其在低碳发展方面的关键词主要集中在:能源发展战略^[18]、新能源开发^[19]、低碳技术开发^[20]和低碳产业投资^[21]。由此不难发现,在城市低碳竞争力发展中的关键因素有经济实力、技术实力、低碳社会发展潜力、环保能力、能源利用水平和环境水平,这为本文建立城市低碳竞争力评价指标体系提供了方向。本文计算国内外 29 篇^①有关低碳评价的文献中相关指标的引用频率,以引用频率超过 13.4%^②的指标作为主要指标(如表 1 所示)。为更好地体现高科技企业对碳减排的重要性,增加高新技术产业产值占 GDP 比重和每万人从事科技活动人员数两个指标;人口与碳排放有着直接的关系,因此增加人口密度这一指标;消费是生活中碳排放的关键影响因素,反映消费结构的城镇居民家庭恩格尔系数应纳入指标体系;交通是碳排放的一大来源,即使在欠发达地区也是如此,由此增加每万人拥有公共交通工具数指标;能源消费结构提升是碳减排的重要手段,故添加能源消费总量和能源消费弹性系数两个指标;空气质量是碳排放状况的直接反映,因此增加空气质量优良率、工业废气排放总量和二氧化硫排放量三个指标;工业和交通是碳排放的主要来源,同时也是噪声的主要产生者,因此增加区域环境噪声平均值,从侧面反映区域低碳竞争力。

① 由于目前国内外对区域低碳竞争力的研究较少,本文选取具有代表性的 29 篇文献。这 29 篇文献来源于 CSSCI 及以上等级收录期刊和澳大利亚气候研究所与英国第三代环境主义组织的研究报告。

② 由于 GDP 增长率和人均能源消费量等效率指标能较好地反映区域低碳竞争力,故取它们的最低引用频率(13.4%)作为本文选取指标的门槛。

表 1 城市低碳竞争力评价指标体系及指标引用率表

目标层	准则层		方案层			
	准则	子准则	指标层	指标引用频率 ^① (%)		
城市低碳竞争力评价指标体系	动力	经济力	人均 GDP (元)	56.50		
			第三产业占 GDP 比重 (%)	47.80		
			城镇居民家庭人均可支配收入 (元)	26.08		
			GDP 增长率 (%)	13.04		
			技术力	R&D 经费占 GDP 比重 (%)	34.78	
			高新技术产业产值占 GDP 比重 (%)	-		
			每万人从事科技活动人员数 (人)	-		
			社会力	人口密度 (人/平方公里)	-	
			城镇居民家庭恩格尔系数 (%)	26.09		
			每万人拥有公共交通工具数 (标台)	-		
			环保力	工业废水排放达标率 (%)	34.78	
			生活垃圾无害处理率 (%)	47.83		
			工业固体废弃物利用率 (%)	52.17		
			建成区绿地覆盖率 (%)	60.87		
			空气质量优良率 (%)	-		
			阻力	能源力	二氧化碳排放量 ^② (万吨碳)	21.74
			人均二氧化碳排放量 (吨碳/人·年)	34.78		
			能源消费总量 (万吨标准煤)	-		
			能源消费弹性系数	-		
			单位 GDP 能耗 (吨标准煤/万元)	73.91		
		人均能源消费量 (吨标准煤/人)	13.04			
		环境力	工业废气排放总量 (亿标立方米)	-		
		区域环境噪声平均值 (分贝)	13.04			
		二氧化硫排放量 (万吨)	-			

三、城市低碳竞争力评价分析

(一) 指标数据处理

鉴于主成分分析法在指标权重设置上的客观性, 本文采用该方法进行评价。为使收集到的指标数据能用于比较分析, SPSS 在进行主成分分析时会对数据进行标准化处理。

1. 指标权重计算。本研究通过因子载荷分析得到的成分矩阵进行转换计算, 得到各主成分的特征向量, 指标权重可通过成分矩阵中显示的主成分对应特征值占所提取的所有主成分的特征值之和的比例来表示, 也可以用各主成分中每个指标对应的系数乘以其贡献率并相加后, 除以所提取主成分的累计贡献率来表示^[23], 得到指标权重系数。

2. 计算城市低碳竞争力综合值。

$$F_i = z_{i1}t_1 + z_{i2}t_2 + \dots + z_{ij}t_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中, t_j 指第 j 个指标的权重, F_i 指第 i 个城市低碳竞争力综合值, z_{ij} 指第 i 个城市第 j 个指标标准化后的值。由式 (1) 计算出的城市低碳竞争力综合值 F_i 越大, 说明第 i 个城市的低碳竞争力越强。

(二) 城市低碳竞争力测算结果综合分析

对武汉城市圈 9 个城市的统计数据进行分析及综合排序, 得到结果如表 2、图 1 所示。

① 指标引用频率是指本指标体系中某一指标在本研究收集的 29 个指标体系(体系来自于国内外研究文献及机构)中被引用的概率。指标引用频率 = 引用某一指标的研究数 / 29 × 100%。

② 参见公式: 二氧化碳排放量 = 煤炭量 × 0.755 9^[22] + 汽油量 × 0.553 8 + 柴油量 × 0.592 1 + 煤油量 × 0.571 4 + 天然气量 × 0.448 3。

表2 武汉城市圈2007—2011年各城市低碳竞争力排名

	2007		2008		2009		2010		2011	
	综合值	排名	综合值	排名	综合值	排名	综合值	排名	综合值	排名
武汉	3.004	1	3.839	1	4.255	1	3.304	1	3.412	1
黄石	1.047	3	0.010	3	0.075	3	1.185	2	1.539	2
鄂州	1.254	2	0.189	2	0.531	2	0.656	3	0.683	3
潜江	0.075	4	-0.068	4	-0.616	6	0.252	4	-0.227	4
孝感	-0.246	5	-0.444	6	-0.286	4	-0.360	5	-0.321	5
仙桃	-0.291	6	-0.124	5	-0.443	5	-0.545	6	-0.422	6
咸宁	-1.868	9	-1.223	8	-1.169	8	-0.734	7	-1.537	8
黄冈	-1.592	8	-0.900	7	-0.923	7	-1.829	8	-1.434	7
天门	-1.381	7	-1.279	9	-1.424	9	-1.929	9	-1.693	9
σ_1	1.572		1.538		1.706		1.614		1.662	
σ_2	1.173		0.580		0.647		1.106		1.134	

注: σ_1 表示武汉城市圈9个城市低碳竞争力值的标准差, σ_2 表示除武汉外的8个城市低碳竞争力值的标准差。

由图1可知,武汉城市圈9个城市从2007年到2011年的低碳竞争力排名变化较小,其中武汉、黄石、鄂州3市排名一直靠前,咸宁、黄冈、天门3市的排名一直较为靠后。在表2中,对各年9个城市的低碳竞争力值分别作标准差,5个标准差的平均值为1.619;对各年除武汉外的8市低碳竞争力值作标准差,5个标准差的平均值为0.928,说明除武汉外的8市在低碳竞争力上的差距较小,而武汉城市圈低碳竞争力较其他8市存在明显优势,武汉城市圈低碳竞争力聚集于武汉的现象较严重。

以上是基于现有数据的分析,是对过去的总结,而分析武汉城市圈城市在未来的低碳竞争力演化轨迹则是本文的重点。本文将对武汉城市圈城市低碳竞争力进行仿真模拟,找出其中可能遇到的问题。

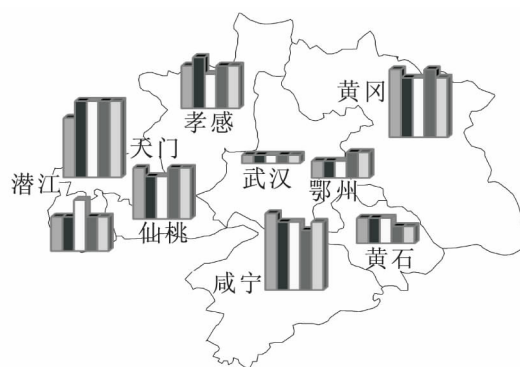


图1 2007—2011年武汉城市圈各城市低碳竞争力排名变化

注: 图中每个城市的条形柱自左往右分别代表城市2007—2011年的低碳竞争力排名位数。

四、城市低碳竞争力仿真分析

城市低碳竞争力的发展受到多种因素的影响,各因素组成了影响低碳竞争力的反馈回路,因此系统动力学模型能较好地模拟城市低碳竞争力生成规律。本文使用 AnyLogic 对城市低碳竞争力发展进行基于系统动力学模型的仿真模拟。

(一) 系统动力学仿真建模

表1中的指标层指标是影响城市低碳竞争力生成和发展的变量,将这些指标作为变量建立系统动力学模型。由于本文设计指标时,剔除了信息重叠的指标,故模型中各变量间的相互影响较小,加之变量最初的值来源于统计资料,其初值本身就是考虑其他变量影响后的值,因此忽略它们之间的相互影响,这样之后的预测值只受到时间变量“年份”的影响。同时,变量值由以“年份”为自变量的预测函数决定,函数由基于变量初值的灰色预测 DGM(1,1) 模型计算而得。

在仿真模型中, 各变量的加权和构成表 1 中相应子准则层指标变量的值, w_i ($i = 1, \dots, 24$) 为相应变量的权重, 如下式所示:

$$\begin{aligned} \text{经济力} = & \text{人均 GDP} \times w_1 + \text{第三产业占 GDP 比重} \times w_2 + \text{城镇居民家庭人均可支配收入} \times w_3 \\ & + \text{GDP 增长率} \times w_4 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{技术力} = & \text{R\&D 经费占 GDP 比重} \times w_5 + \text{高新技术产业产值占 GDP 比重} \times w_6 \\ & + \text{每万人从事科技活动人员数} \times w_7 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{社会力} = \text{人口密度} \times w_8 + \text{城镇居民家庭恩格尔系数} \times w_9 + \text{每万人拥有公共交通工具数} \times w_{10} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{环保力} = & \text{工业废水排放达标率} \times w_{11} + \text{生活垃圾无害处理率} \times w_{12} + \text{工业固体废弃物利用率} \\ & \times w_{13} + \text{建成区绿地覆盖率} \times w_{14} + \text{空气质量优良率} \times w_{15} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{能源力} = & \text{碳排放量} \times w_{16} + \text{人均碳排放量} \times w_{17} + \text{能源消费总量} \times w_{18} + \text{能源消费弹性系数} \\ & \times w_{19} + \text{单位 GDP 能耗} \times w_{20} + \text{人均能源消费量} \times w_{21} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{环境力} = \text{工业废气排放总量} \times w_{22} + \text{区域环境噪声平均值} \times w_{23} + \text{二氧化硫排放量} \times w_{24} \quad (7)$$

各子准则层指标变量值的和即为城市低碳竞争力值, 如下式所示:

$$\text{低碳竞争力} = \text{经济力} + \text{技术力} + \text{社会力} + \text{环保力} + \text{能源力} + \text{环境力} \quad (8)$$

具体仿真模型如图 2 所示^①。

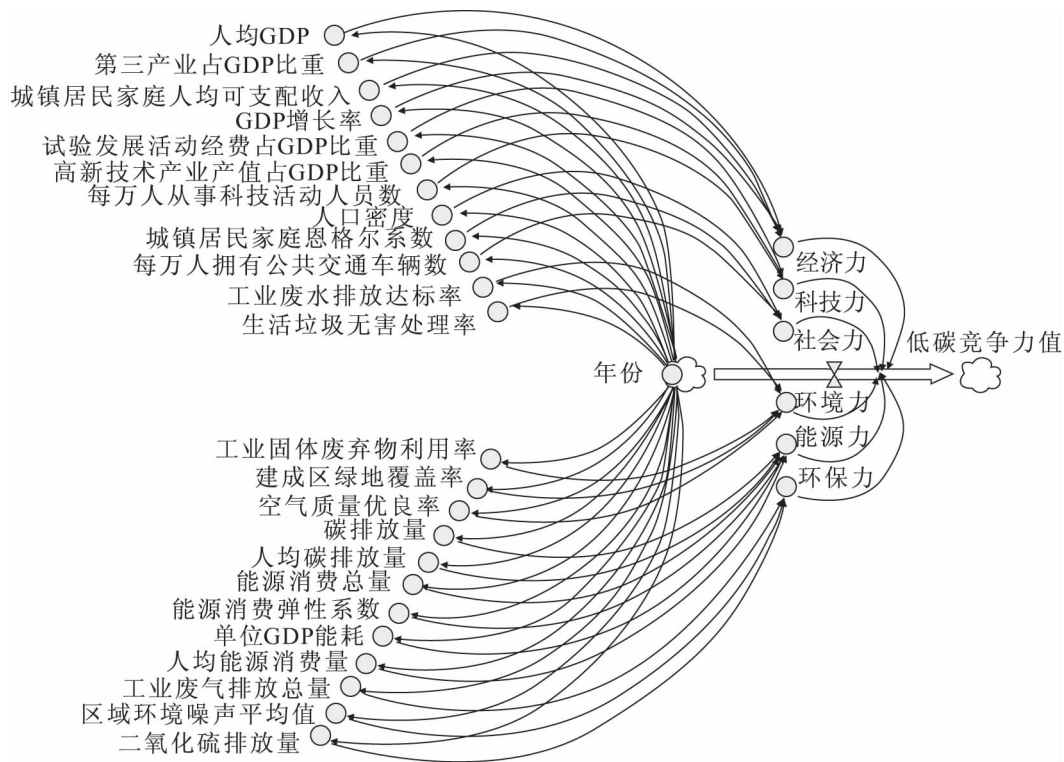


图 2 城市低碳竞争力系统动力学模型^①

在仿真实验中, 以实验模型的 1 毫秒记为实际中的 1 年, 通过实验模型的自运行, 预测城市未来的低碳竞争力演化趋势。

城市低碳竞争力评价指标体系的每一个指标作为一个影响变量, 但因为变量数据收集的困难性, 即无法从一个统一的年鉴中找出变量值, 因此不可避免造成数据来源的多元化, 随之带来统计口径存

^① 由于 AnyLogic 的编程语言不能使用“&”符号 故在图 2 中“R&D 经费占 GDP 比重”的表达改为“研究与实验发展活动经费占 GDP 比重”。

在一定差异,这使得部分变量在时间序列中的值突高突低。对这种振荡型变量需要进行平滑化^[24],对平滑后的变量值采用灰色预测 DGM (1, 1) 模型构建时间响应函数,并将函数还原为原时间序列的预测模型,变量的值即由该模型产生,同时每个变量对城市低碳竞争力的影响力权重由主成分分析法计算的各年权重值取平均而得(如表3所示)。

表3 武汉城市圈城市低碳竞争力评价指标权重表

w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8
0.165	0.099	0.153	0.084	0.119	0.109	0.062	0.049
w_9	w_{10}	w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{14}	w_{15}	w_{16}
0.022	0.094	0.130	0.004	0.014	0.069	-0.075	0.118
w_{17}	w_{18}	w_{19}	w_{20}	w_{21}	w_{22}	w_{23}	w_{24}
0.146	0.119	0.022	0.031	0.143	0.132	0.098	0.101

通过对各城市 2007—2011 年统计年鉴和统计公报等数据的收集分析,计算各变量的时间响应函数,得到变量的预测计算公式,对其预测进行精度分析和拟合度检验,表明预测的残差都小于 0.03,平均相对误差都小于 5%,预测精度较好,拟合度较高。鉴于文章篇幅限制,本文例举武汉六个子系统中各一个指标说明预测的精度,部分指标变量计算公式如下:

$$\text{人均 GDP} = 4.483195 \times 1.0216^{(t-3)} + 0.06516 \times (-1)^t - 0.311671 - 5 \quad (9)$$

$$\text{R\&D 经费占 GDP 比重} = 6.345916 \times 1.0563^{(t-3)} - 0.5469 \times (-1)^t - 1.511533 - 5 \quad (10)$$

$$\text{每万人拥有公共交通工具} = 4.860643 \times 0.9969^{(t-3)} - 0.054283 \times (-1)^t - 0.370711 - 5 \quad (11)$$

$$\text{建成区绿地覆盖率} = 4.066687 \times 0.9835^{(t-3)} + 0.18417 \times (-1)^t - 0.466703 - 5 \quad (12)$$

$$\text{人均碳排放量} = 5.768396 \times 1.0606^{(t-3)} + 0.398 \times (-1)^t - 1.553893 - 5 \quad (13)$$

$$\text{工业废气排放总量} = 6.349041 \times 1.0033^{(t-3)} + 0.03033 \times (-1)^t - 0.744779 - 5 \quad (14)$$

由表4可知,以上六个预测模型的残差都小于 0.03,平均相对误差都小于 5%,说明预测的精度较高,满足建模要求。对上述六个模型的预测值与原数据进行拟合度检验(如表5所示),显著性水平较低,表明数据无显著性差异,且调整后的 R^2 较大,说明数据的拟合度较好。由此可见,经过平滑化处理的灰色预测所构建的模型精度较高,满足建模要求,因此本文采用此建模方法建立各指标变量的预测模型。

表4 灰色预测模型精度分析

	式(9)	式(10)	式(11)	式(12)	式(13)	式(14)
残差	0.0004	0.0119	0.0007	0.0003	0.0293	0.0009
平均相对误差	0.454%	1.828%	0.605%	0.428%	3.143%	0.527%

(二) 城市低碳竞争力仿真结果综合分析

对武汉城市圈 2012—2021 年的预测数据进行仿真,得到各城市低碳竞争力的演化轨迹,并分别进行分析。

表 5 指标原数据与预测数据拟合度检验

指标	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	
人均 GDP (原数据)	-0.858 1	-0.893 6	-0.666 5	-0.697 9	
R&D 经费占 GDP 比重 (原数据)	-1.050 7	0.381 3	-0.355 2	1.115 9	
每万人拥有公共交通工具数 (原数据)	-0.549 2	-0.455 8	-0.579 4	-0.485 9	
建成区绿地覆盖率 (原数据)	-1.147 6	-1.584 2	-1.282 9	-1.717 3	
人均碳排放量 (原数据)	-0.717 1	-1.183 5	-0.037 9	-0.463 2	
工业废气排放总量 (原数据)	0.613 7	0.573 9	0.655 5	0.615 9	
人均 GDP (预测值)	-0.858 1	-0.878 5	-0.710 7	-0.638 4	
R&D 经费占 GDP 比重 (预测值)	-1.050 7	0.189 0	0.193 5	0.402 7	
每万人拥有公共交通工具数 (预测值)	-0.549 2	-0.500 0	-0.446 8	-0.661 8	
建成区绿地覆盖率 (预测值)	-1.147 6	-1.559 2	-1.360 3	-1.614 3	
人均碳排放量 (预测值)	-0.717 1	-0.897 6	-0.882 6	0.656 3	
工业废气排放总量 (预测值)	0.613 7	0.623 7	0.505 5	0.817 2	
R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差	R	
0.885	0.783	0.773	0.364 012 2	0.885	
模型	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	10.488	1	10.488	79.152	0.000
残差	2.915	22	0.133		

首先, 分析 2007 年—2012 年的城市低碳竞争力演化轨迹, 并与前文表 2 的评价结果进行对比 (如图 3 所示)。

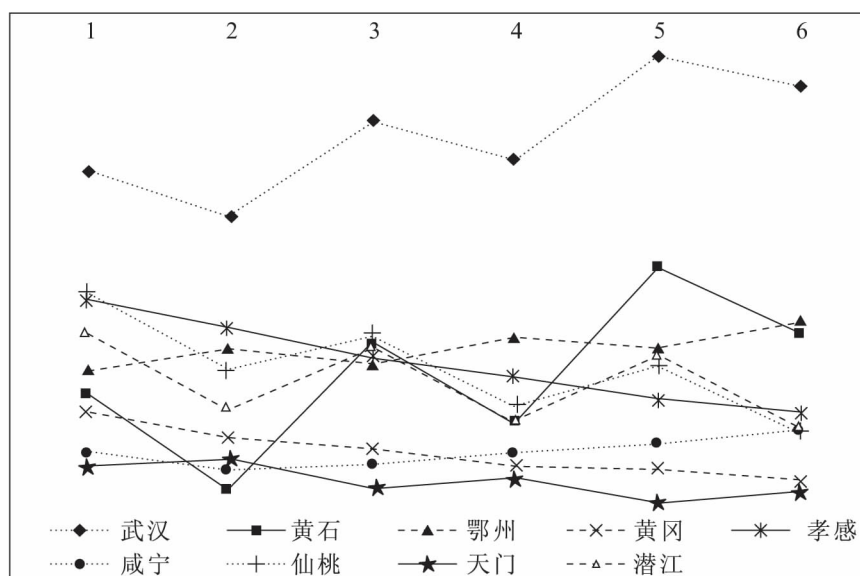


图 3 2007—2012 年武汉城市圈各城市低碳竞争力的演化轨迹

注: 图中数字 1—6 分别代表 2007—2012 年的每一年, 文中其他图中数字具有同样内涵, 即代指自 2007 年后的每一年。

由图 3 可见, 武汉城市圈的仿真结果和主成分分析法评价结果基本一致, 武汉低碳竞争力远远领先于其他城市, 其他城市间低碳竞争力表现则差异不大, 鄂州、咸宁、黄冈和天门在这些年里的变化不大, 变化路线比较平稳。这几年中, 武汉、鄂州、黄石和咸宁呈现曲折上升的趋势, 其中武汉和黄石的低碳竞争力增长速度较快; 仙桃、潜江、孝感、黄冈和天门呈曲折下降的态势, 但与上升城市

比,整体下降的幅度不大,只有仙桃和潜江的下降幅度较大。

图4表明在2007—2019年间,孝感、咸宁和黄冈的城市低碳竞争力演化轨迹较为平稳,而武汉、黄石、鄂州、仙桃、天门和潜江等6个城市的轨迹则存在震荡现象,表明这6个城市按照当前发展方式将进入不稳定调整期。震荡的原因来自于减排和经济增长红利使用殆尽,一方面经济发展初期必然带来能源消耗的增加,而能源新技术和新能源未能及时补充以促进二氧化碳排放的减少,整个低碳竞争力处在逐渐下降的态势;而后随着经济发展逐渐走向成熟,能源新技术和新能源的使用使二氧化碳排放减少,低碳竞争力逐渐提升,这也就是下述很多城市低碳竞争力演化轨迹在2018年前后出现拐点的原因。

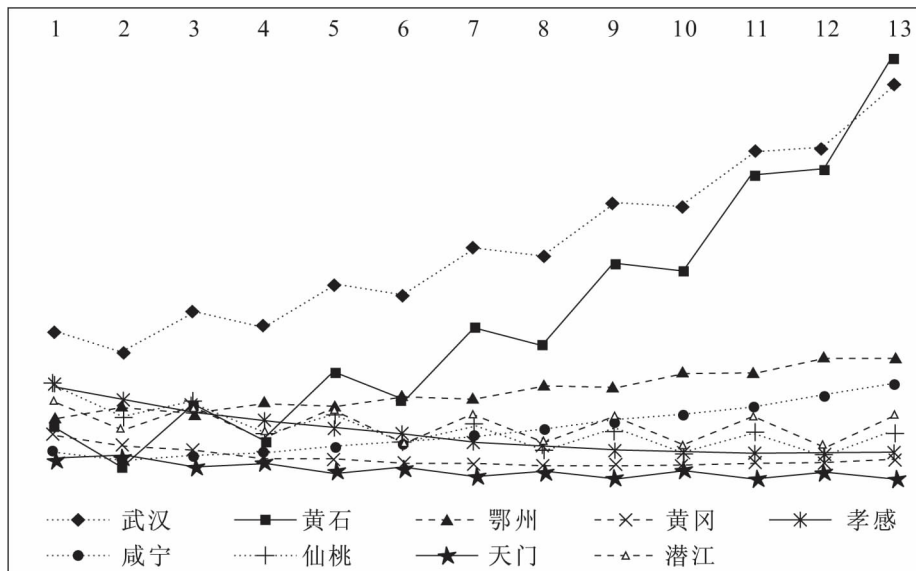


图4 2007年—2019年武汉城市圈各城市低碳竞争力的演化轨迹

在图3中,虽然部分城市的低碳竞争力在2007—2012年里有所下降,但从图5可知,在整个预测的时间过程中,它们都经历了一段由下降到回升的U型演化,这段U型轨迹的拐点大多出现在第11年(即2018年)附近,表明孝感、黄冈、仙桃、天门和潜江等5个城市按照各自的发展方式将在自2007年起的10年中面临低碳竞争力下降的风险,但在2018年又会出现拐点,低碳竞争力逐年上升。

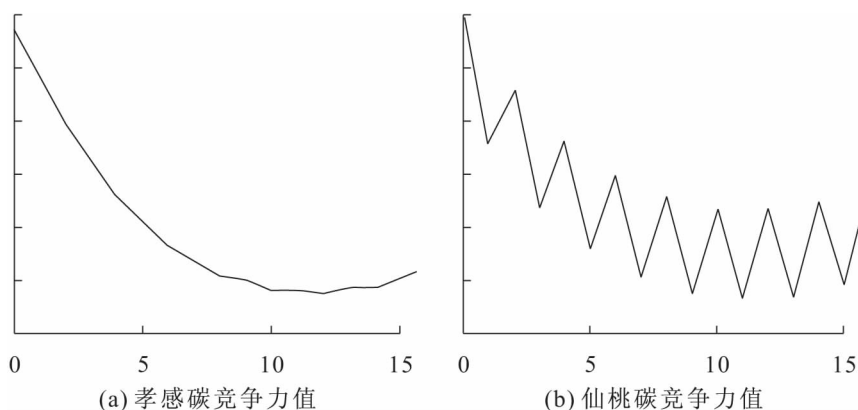


图5 城市低碳竞争力U型演化

图6可以看到, 武汉和黄石的低碳竞争力增长呈现先慢后快的趋势。而咸宁和鄂州也同样呈现上述增长特征, 其增长速度变快基本也是在第11年, 可见2018年是城市低碳竞争力重要的转折点。

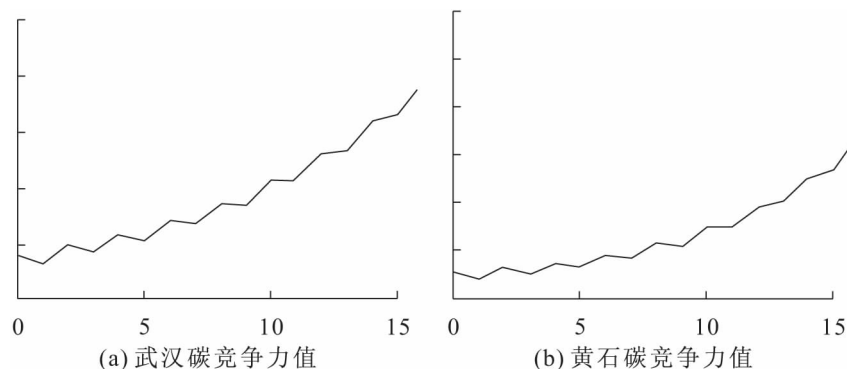


图6 城市低碳竞争力持续增长

在图5中, 孝感的低碳竞争力演化轨迹是平滑的。黄冈、鄂州、黄石、武汉和咸宁等5个城市的轨迹也有平滑的特征, 说明这6个城市各年的差距较小。而各年差距大的城市在演化过程中震荡曲折较为严重, 如图5中仙桃所表现出的震荡特征, 天门和潜江也具有。以上两种低碳竞争力演化特征在武汉城市圈9个城市中都有出现。

对9个城市各指标的演化轨迹作比较分析, 可见武汉、黄石、鄂州和咸宁分别有63%、46%、54%和71%的指标呈现增长的趋势(如表6所示), 而其他5个城市呈现增长的指标较少, 这就造成了这5个城市的低碳竞争力先期会有一个下降的过程。

表6 武汉城市圈城市低碳竞争力及指标演化轨迹

指标	武汉	黄石	鄂州	黄冈	孝感	咸宁	仙桃	天门	潜江
动力 人均GDP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第三产业占GDP比重	1	0	0	1	0	1	0	0	1
城镇居民家庭人均可支配收入	1	1	1	1	0	1	1	1	1
GDP增长率	1	1	1	0	0	0	0	0	1
R&D经费占GDP比重	1	1	0	1	0	1	1	1	0
高新技术产业产值占GDP比重	1	1	1	1	1	0	1	0	0
每万人从事科技活动人员数	0	0	0	0	1	1	0	0	0
人口密度	1	0	0	1	0	0	0	1	0
城镇居民家庭恩格尔系数	0	1	1	1	0	1	0	0	0
每万人拥有公共交通工具数	0	0	1	0	1	1	1	1	1
工业废水排放达标率	0	0	0	0	1	1	0	0	0
生活垃圾无害处理率	1	0	0	0	0	1	0	0	0
工业固体废弃物利用率	1	1	0	0	0	1	0	0	0
建成区绿地覆盖率	0	0	0	0	1	1	0	0	0
空气质量优良率	1	1	1	1	0	0	0	1	0
动力系统演化轨迹上升的指标比重	67%	53%	47%	53%	40%	73%	33%	40%	33%
阻力 碳排放量	1	0	0	0	0	1	0	0	0
人均碳排放量	1	0	1	1	0	1	1	0	1
能源消费总量	0	0	0	0	0	1	0	0	0

续表 6

指标	武汉	黄石	鄂州	黄冈	孝感	咸宁	仙桃	天门	潜江
能源消费弹性系数	1	1	1	0	0	0	0	1	0
单位 GDP 能耗	0	0	0	0	0	1	1	1	0
人均能源消费量	0	0	1	1	1	1	1	0	1
工业废气排放总量	1	1	1	1	0	1	1	1	1
区域环境噪声平均值	1	1	1	1	0	0	0	1	0
二氧化硫排放量	0	0	1	1	0	0	1	1	1
阻力系统演化轨迹上升的指标比重	57%	33%	67%	56%	11%	67%	56%	56%	44%
演化轨迹上升的指标比重	63%	46%	54%	54%	29%	71%	42%	46%	38%
城市低碳竞争力演化轨迹	1	1	1	01	01	1	01	01	01

注: 0 表示值下降, 1 表示值上升, 01 表示值先降后升; 动力系统演化轨迹上升的指标比重表示动力系统中演化轨迹为上升的指标的数量与动力系统指标总量的比值, 阻力系统演化轨迹上升的指标比重表示阻力系统中演化轨迹为上升的指标的数量与阻力系统指标总量的比值, 演化轨迹上升的指标比重表示一城市演化轨迹为上升的指标数量与总指标数量的比值, 城市低碳竞争力演化轨迹表示一城市低碳竞争力演化轨迹的升降情况。

对武汉城市圈 24 个指标的分析可见, 动力分系统 15 个指标中有 9 个较多地呈现下降趋势, 只有平均 48% 的动力指标呈现增长趋势, 而阻力分系统 9 个指标中有 4 个较多地呈现下降趋势, 即平均 49% 的阻力指标表现为上升, 说明武汉城市圈低碳竞争力发展的动力存在乏力的情况, 阻力则在增长。由表 6 可知, 武汉城市圈的能源消费在下降, 高新技术产业投入和产值逐渐增加, 但在“三废”控制处理等环境保护方面有所欠缺。因此, 武汉城市圈应采取增强发展动力, 减弱发展阻力, 特别是要在提高第三产业占 GDP 比重和环境保护等方面有所作为。

对各城市指标的演化轨迹进行分析, 不难发现, 仙桃、天门和潜江的低碳竞争力轨迹之所以有震荡的现象, 在于其有较多指标的轨迹存在震荡, 在所有 24 个指标中分别有 83%、75% 和 79% 的指标存在震荡现象。其实从指标的角度来看, 大部分城市的大部分指标存在震荡现象, 只不过有些城市的指标震荡幅度不大 (如图 7 中仙桃与黄冈指标震荡对比), 不足以对城市的演化轨迹产生影响, 因此上述 3 个城市之外的城市的低碳竞争力演化轨迹不存在震荡现象。指标值在演化过程中存在震荡除了是由统计手段和口径的差异造成的外, 主要还是因为城市在这些指标上发展不稳定, 这也是城市低碳竞争力持续平稳提升所要关注的问题和努力的方向。

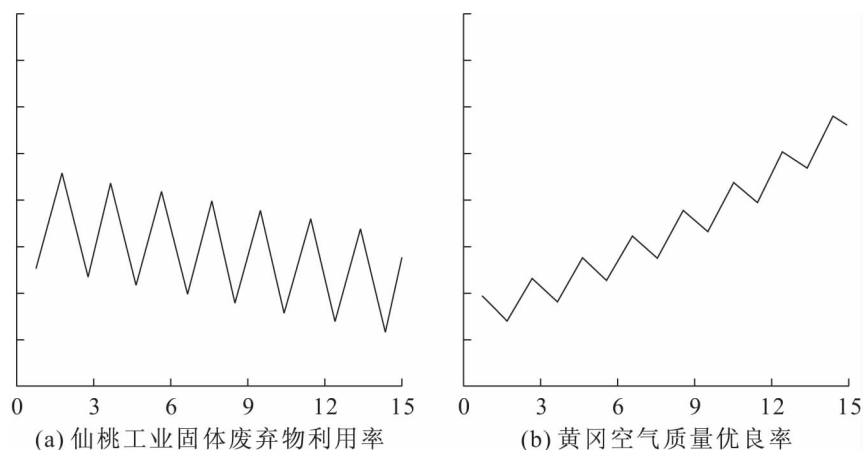


图 7 仙桃与黄冈指标震荡现象对比

具体地,(1) 武汉作为武汉城市圈的中心城市,城市低碳竞争力一直保持连续增长,在2007—2017年里一直领先于其他9个城市。在2007—2021年间,在24个指标中,有63%的指标保持着增长趋势,其中动力系统有67%的指标,阻力系统有56%,表明武汉的低碳竞争力动力应该加强,阻力应该努力减小,特别是要发展高新技术产业,减少能源消耗和保护环境。(2) 黄石是湖北资源和金属矿藏加工较集中的城市,低碳竞争力增长很快,甚至在2018年后超越了武汉(如图4所示),但环境保护能力不足,其在工业废水排放达标率、生活垃圾无害处理率、建成区绿地覆盖率上一直下降,而在工业废气排放总量和区域环境噪声平均值上一直上升,这与其属于资源加工城市有关,因此要迅速转变经济增长方式,特别是要注意资源开发的可持续性。(3) 鄂州是新兴工业化城市,低碳竞争力在2009年后仅次于武汉和黄石,整体上发展比较平稳,但在环境保护上做得还不够。(4) 黄冈的低碳竞争力平稳中略有下降但后又逐渐上升,仅比天门的高一些,社会力和经济力表现较好,能源消耗在减少,但环境保护力度不够。(5) 孝感的低碳竞争力呈现U型演化的特征,最后仅比黄冈和天门高,只有29%的指标在增长,这也就解释了其低碳竞争力下降的原因,但在环境保护和能耗减少上做得较好。(6) 咸宁低碳竞争力呈现平稳中逐渐上升的态势,有71%的指标在上升,特别是环境保护的力度不断加大,但环保的力度跟不上能耗和环境污染的增长,需从控制能耗和污染的源头思考如何提高城市低碳竞争力。(7) 仙桃的低碳竞争力也是先降后升,较孝感、黄冈和天门好一点,有42%的指标在上升,其中绝大部分是在阻力系统,表明发展后劲不足,急需在各方面进行提升。(8) 天门的低碳竞争力也是先降后升,但在9个城市中位列最后。与仙桃相似,在各领域需进一步提升。(9) 潜江的低碳竞争力U型演化源于其在各方面的表现不理想,但在能耗减排上做得较好。

四、结 论

通过对武汉城市圈城市低碳竞争力进行仿真评价,发现武汉引领城市低碳竞争力的发展,其他城市间的差距则不大。大部分城市在整个研究时间段的低碳竞争力演化轨迹基本呈上升趋势,但也有些城市呈现U型演化或震荡曲折式增长趋势。

武汉之所以能在低碳竞争力上遥遥领先于城市圈其他城市,得益于其具有较好的低碳竞争力拉动力。在整个预测期内,经济力和技术力指标都保持领先,其他城市与武汉的差距逐渐拉大。由于处于快速发展期,前期对环保的关注度不够,使其在环保上较其他城市存在一定差距。目前,武汉加大在环保方面的投入,在预测期内,以工业固体废弃物利用率和空气质量优良率为代表的环保力指标正逐渐增长。在阻力上,由于武汉的能源消耗总量巨大,使其碳排放量和人均碳排放量远高于其他城市,但由于拥有巨大的人口数量和经济总量,这使其单位GDP能耗和人均能源消费量较其他城市要小。同时,随着能源消耗总量的下降,武汉的单位GDP能耗和人均能源消费量也出现下降。值得警惕的是,武汉的工业废气排放总量和区域环境噪声平均值正逐渐增长,这是工业化城市病的体现,需要加以重视。

武汉城市圈9个城市在区位上较为接近,这就为9个城市污染的相互扩散埋下隐患,特别是大气污染和水污染,9个城市在废气、废水指标上存在一定的相互影响。同时,城市圈经济资源过分集中于武汉,使得污染也集中于武汉。因此,武汉城市圈应积极行动,合理配置经济资源,不但可以促进武汉市的可持续发展,同时也有利于周边城市的整体发展。

参考文献

- [1] 许涤龙,欧阳胜银. 低碳经济统计评价体系的构建[J]. 统计与决策, 2010(22).

- [2] 马军,周琳,李薇.城市低碳经济评价指标体系构建——以东部沿海6省市低碳发展现状为例[J].科技进步与对策,2010,(22).
- [3] 倪外,曾刚.低碳经济视角下的城市发展新路径研究——以上海为例[J].经济问题探索,2010,(5).
- [4] 潘家华,庄贵阳,朱守先.低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[J].经济学动态,2011,(1).
- [5] 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).
- [6] 任福兵,吴青芳,郭强.低碳社会的评价指标体系构建[J].统计与决策,2010,(22).
- [7] Moussiopoulos N., C. Achillas, C. Vlachokostas. Environmental, social and economic information management for the evaluation of sustainability in urban areas: A system of indicators for Thessaloniki, Greece [J]. *Cities* 2010, 27.
- [8] Niemeijer, D. Developing indicators for environmental policy: Data-driven and theory-driven approaches examined by example [J]. *Environmental Science & Policy* 2002, (5).
- [9] The Climate Institute and E3G. *G20 Low Carbon Competitiveness* [R]. Washington, D. C. 2009.
- [10] 卢愿清,黄芳.低碳竞争力驱动因素及作用机理——基于PLS-SEM模型的分析[J].科技进步与对策,2013,(9).
- [11] 潘文砚,王宗军.低碳竞争力的国内外差距评价研究[J].情报杂志,2013,(7).
- [12] 陈飞,诸大建.城市低碳竞争力理论与发展模式研究[J].城市规划学刊,2011,(4).
- [13] 唐笑飞,鲁春霞,安凯.中国省域尺度低碳经济发展综合水平评价[J].资源科学,2011,(4).
- [14] 金小琴,杜受祐.西部地区低碳竞争力评价[J].生态学报,2013,(4).
- [15] 诸大建,陈静.城市低碳竞争力评价模型和上海市的实证研究[J].现代城市研究,2011,(11).
- [16] 郑林昌,付加锋,李江苏.中国省域低碳经济发展水平及其空间过程评价[J].中国人口·资源与环境,2011,(7).
- [17] 苏为华.多指标综合评价理论与方法问题研究[D].厦门:厦门大学,2000.
- [18] Grubba, M., L. Butler, P. Twomey. Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives [J]. *Energy Policy* 2006, 34.
- [19] Varun, J. K. Bhat, R. Prakash. LCA of renewable energy for electricity generation systems——A review [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009, 13.
- [20] Wara, M. W. Is the global carbon market working [J]. *Nature* 2007, (7128).
- [21] Pollitt, M. The future of electricity (and gas) regulation in a low-carbon policy world [J]. *The Energy Journal* 2008, (S2).
- [22] IPCC. 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [EB/OL]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> 2006-01-01.
- [23] 张文霖.主成分分析在SPSS中的操作应用[J].市场研究,2005,(12).
- [24] 曾波.灰色预测建模技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2011.

(责任编辑 朱 蓓)