

文章编号: 1009-6000(2015)06-0093-08  
中图分类号: F291 文献标识码: B  
doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2015.06.015

基金项目: 广东省人口发展综合评价指标体系与人口发展影响评价研究(项目编号: Y331201B09)。

作者简介: 李国敏,男,汉族,山西运城人,中国科学院广州地球化学研究所,博士研究生;  
匡耀求,男,汉族,中国科学院广州地球化学研究所,研究员;  
黄宁生,男,汉族,中国科学院广州分院,研究员;  
常向阳,男,汉族,广州大学,教授;  
姚三军,男,汉族,中国科学院广州地球化学研究所,硕士研究生。

## 基于耦合协调度的城镇化质量评价:以珠三角城市群为例

Evaluation of Urbanization Quality Based on Coupling Coordination Degree: A Case Study of Pearl River Delta City Clusters

李国敏 匡耀求 黄宁生 常向阳 姚三军

LI Guomin KUANG Yaoqiu HUANG Ningsheng CHANG Xiangyang YAO Sanjun

### 摘要:

从系统论的角度出发,将城市系统看作是由经济、人口、资源和环境四个子系统耦合而成的开放型的耗散结构系统,构建了基于耦合协调度的城镇化质量评价模型,并运用数据包络分析法和主成分分析法进行客观赋权。以珠三角城市群为例进行实证研究,分析了研究区2003-2012年间耦合协调度的时序特征,然后以耦合协调度为基准,对研究区城镇化质量的分布特征及空间演变规律进行分析。结果表明:珠三角城市群的城镇化质量总体呈上升趋势,经济发展与生态环境两个子系统之间初步形成了良性耦合关系;人口与资源两个子系统的发展明显滞后于其它子系统的发展,成为阻碍珠三角城市群城镇化质量提升的不利因素;在空间分布上,珠三角城市群城镇化质量分布呈现中部高于两翼的特征,城镇化质量的提升在空间上呈现出由中部向两翼扩展的态势。

### 关键词:

城镇化质量;耦合协调度模型;数据包络分析;主成分分析;珠三角城市群

**Abstract:** This paper focus on evaluation of urbanization quality through a perspective of system theory. Urban system, as open system, is a dissipative structure coupled by its subsystems, which mainly contain economic subsystem, population subsystem, resource subsystem and environment subsystem. An urbanization quality evaluation model is developed based on coupling coordination degree function. The Data Envelopment Analysis and Principal Component Analysis are applied to ensure the objectivity of weight determination in evaluation model. We explored the efficacy of the evaluation model by applying it to better understand the interactive of subsystem manifested in a real system, the Pearl River Delta City Cluster (PRDCC), China. Temporal characteristics of coupling coordination degree from 2003 to 2012 are analyzed, and then benchmarked against the coupling coordination degree, the distribution characteristics and spatial evolution are analyzed. Results show that: the Coupling Coordination Degree values of nine cities all appear increasing trend during the past ten years. This means that the urbanization quality is consistently rising during the ten years in PRDCC. The benign coupling relationship has been formed between economic development subsystem and ecological environment subsystem, promoting the advance of the urbanization quality in the whole area. However, the development of population subsystem and resources subsystem lags behind that of other subsystems, and become the obstacles impeded the advance of the urbanization quality in the whole area. Analysis on the spatial distribution pattern shows that the urbanization quality is higher in the middle of Pearl River Delta than in the wing, and that the advance of the urbanization quality is extending from the middle to the wing.

**Key words:** urbanization quality; coupling coordination degree; principal component analysis; data envelopment analysis; pearl river delta city cluster

## 0 引言

改革开放以来,我国正经历着城镇化的迅速发展,城镇化率从1980年的19.5%增长到2012年的52.57%。然而,城镇化水平的快速提升也付出了高昂的代价,用地失控,资源匮乏,环境恶化<sup>[1]</sup>。

对城镇化发展进程的相关研究表明,城镇化进程的加快会引起城市及其周边地区生态环境的变化,这种变化在城市化发展初期体现为生态环境的退化,在城市化发展的中后期则表现为生态环境的改善;城市生态环境的变化也会引起城市化水平的变化,这种变化表现为当生态环境改善时可促进城市化水平的提高和城市化进程的加快,当生态环境退化时则限制或遏制城市化发展进程<sup>[2]</sup>。

可见,在城镇化发展初期,城市发展会导致生态环境退化,这种退化反过来又会抑制城市发展,可能形成一种恶性循环;而在城镇化发展的中后期,城市环境质量的提升能够在多大程度上推动城市发展,则取决于城镇化过程中生态环境改善的速度与强度。因此,正确而客观地认识和判断城市发展所处的阶段,了解城市发展中经济及生态环境等关键因素的发展状况,有利于针对性地采取措施规避城市发展中带来的种种问题,形成有利于城镇化良性发展的外部环境。为此,有必要建立一套科学合理的城镇化质量评价指标体系和方法<sup>[3]</sup>。

近年来,研究者们从不同的角度构建了城镇化质量的评价体系,并在国家、省及区域层面进行了研究。王家庭等通过选取经济指标、社会指标及环境指标,构建了城市化质量测评体系,运用主成分分析法确定各指标权重,对我国30个大中型城市的城市化质量进行了测度与分析<sup>[4]</sup>。袁晓玲等通过选取物质文明、精神文明、生态文明等指标,通过聚类分析、相关分析、因子分析等统计方法对其陕西省城市化质量进行了研究<sup>[5]</sup>。郝华勇通过

选取经济绩效指标、社会发展指标、居民生活指标、生态环境指标、基础设施指标、空间集约指标、统筹城乡指标7个方面,采用熵值法对我国东部10省的城镇化质量作出了差异化评价<sup>[6]</sup>。陈明、张云峰等结合国际通用的城镇化指标评价体系,采用人文发展指数,通过专家评分法对我国各省、各市的城镇化质量进行了评价<sup>[7]</sup>。

综观现有研究成果,对城镇化质量的评价方法进行了有益的探索,但仍有不少问题需要进一步探讨。首先,在对城镇化质量的内涵的认识上,现有研究大多将城镇化质量看作是城市化发展各项指标的融合,因而非常注重指标选取的全面性和代表性,却忽视了指标之间的内在联系,亦即指标之间的动态耦合关系;其次,在指标的赋权方法上,尽管熵值法、主成分分析、因子分析、聚类分析等客观的赋权方法已经逐渐成为主流,但在二级指标的赋权上仍较多采用直接赋权、德尔菲法、层次分析法等主观赋权方法,使得最终的评价结果仍带有一定的主观性;第三,在研究尺度上,目前以省级层面的研究最多,其次是国家层面和市一级层面,对城市群的研究则较少。城市群因地缘关系而形成,具有良好的区位优势,在城市发展政策上也具有较好的同质性,形成了城市群独特的发展模式<sup>[8]</sup>,因此有必要对其进行单独研究。

本文从系统论的角度出发,将城市作为一个开放系统,通过分析系统内各子系统之间的耦合协调度进行城镇化质量评价。综合运用数据包络分析法和主成分分析法对评价体系进行客观赋权,构建了城市系统耦合协调度评价体系。以我国珠三角城市群为例,采用2003-2012年的统计数据,对珠三角城市群的城镇化质量进行评价,运用地理信息系统中的自然断点分类法对区域内不同城市的

城镇化质量进行分类,分析城镇化质量的空间演变规律。

## 1 城市系统耦合发展机理分析

### 1.1 耦合协调度的内涵

耦合是指不同系统之间或系统要素之间通过各种相互作用而彼此影响以至协同的现象,是各子系统之间相互依赖、相互协调、相互促进的动态关联关系<sup>[9]</sup>。系统序参量之间的相互协同作用左右着系统相变的特征与规律,是系统由无序走向有序机理的关键<sup>[10]</sup>。耦合度正是对这种协同作用的度量,可用于描述系统或要素相互影响的程度<sup>[11]</sup>。由于系统或要素间具有交错、动态和不平衡性等特性,耦合度在某些情况下难以反映出系统或要素间协同作用的整体“功效”和“协同”效应。协调度能反映系统之间或系统内部各要素之间的良性互动关系,揭示系统或要素间总体协调发展程度或水平的高低,可用于评判系统或要素间交互耦合的协调程度<sup>[12]</sup>。

### 1.2 城市系统耦合协调发展的作用机理

从系统论的角度看,城市是一个开放系统,由诸多子系统构成,其中起关键作用的子系统为人口子系统、经济子系统、资源子系统和环境子系统。城市系统可看作是由经济、人口、资源和环境四个子系统耦合而成的开放型的耗散结构系统。

城市系统四个子系统的动态相互作用的过程表现在两个方面:一方面,人口、经济、资源、环境四个子系统之间不断协调,协同共进,共同推动城市发展;另一方面,某个或某几个子系统与其它子系统出现系统相悖,影响到其它子系统及整个城市系统的发展,最终可能导致城市系统的正常结构和功能被破坏<sup>[13]</sup>。例如,在一些大中城市,经济的发展带动了科技的发展及环境意识的提升,促进了环境的改善和资源的合理配置,表

现为城市绿化面积的扩大以及能源效率的提升等方面;然而,人口在这些城市过度聚集和扩张,增加了环境和资源的负荷,与其它子系统的发展形成系统相悖,在一定程度上抑制甚至抵消了城市资源和环境状况的改善,最终抑制了城市系统的良性发展。基于以上认识,本文将城镇化质量的内涵界定为城市系统的四个子系统之间的耦合协调程度。高质量的城镇化应当是四个子系统协调发展的状态。

## 2 研究方法

### 2.1 耦合协调度模型

耦合协调度模型包含了效应函数、耦合度函数和耦合协调度函数。

#### 2.1.1 效应函数

城市系统发展的效应函数可以表示如下:

$$E_i = \begin{cases} (x_j - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j), & E_i \text{ 为正效应。} \\ (\max x_j - x_j) / (\max x_j - \min x_j), & E_i \text{ 为负效应。} \end{cases} \quad (1)$$

在公式(1)中,  $E_i(i=1, 2, 3, 4)$  被定义为城市系统四个子系统的效应或参数。 $E_{ij}$  为第  $i$  个参数的第  $j$  个指标。每个指标均有一个值  $x_{ij}(j=1, 2, \dots, m)$ 。 $\max x_{ij}$  和  $\min x_{ij}$  分别表示指标  $j$  的最大值和最小值。每个指标的效应由其具体的定义决定,例如,“农村居民人均纯收入”是经济子系统发展的正效应指标,而“城市居民恩格尔系数”则是经济子系统发展水平的负效应指标。各子系统的综合效应可以通过如下的方法获得:

$$E_i = \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} E_{ij}, \quad \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1 \quad (2)$$

在公式(2)中,  $\alpha_{ij}$  是子系统的各个指标的权重。

#### 2.1.2 耦合度函数

根据系统理论,系统间的耦合度越高,差异系数就越小。耦合度函数的公式如下:

$$C = \frac{4 \times (E_1 \times E_2 \times E_3 \times E_4)^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 E_i} \quad (3)$$

该函数实质上就是4种效应的几何平均值与算术平均值之比。公式(3)中,  $C$  代表四个子系统之间的耦合度。只有当  $E_1 = E_2 = E_3 = E_4$  时,即四个子系统实现同步发展时,耦合度  $C$  才达到最大值,这时四个子系统之间的耦合关系最好,系统达到了最优化的发展状态。反之,如果任何一个子系统的发展过于超前或滞后,耦合度值就会下降。

#### 2.1.3 耦合协调度函数。

尽管耦合度系数能够表达四个子系统之间的关系,但它不能反映整个系统的发展程度。因此,融入协调度的耦合协调度函数非常必要。其公式如下:

$$\begin{cases} D = \sqrt{C \times T} \\ T = \sum_{i=1}^4 \gamma_i E_i \end{cases} \quad (4)$$

在公式(4)中,  $T$  是4个子系统综合效应的加权平均值,它反映系统的整体发展水平。 $D$  代表耦合协调度。 $\gamma_i$  为待定权重。耦合协调度函数整合了系统的耦合度和系统的整体发展水平,能够更全面地评价系统的发展状况。

### 2.2 权重的确定

考虑到评价的客观性,本研究运用主成分分析法和数据包络分析法确定耦合协调度模型中的待定系数,即权重。

#### 2.2.1 效应函数中权重系数 $\alpha_{ij}$ 的确定

$\alpha_{ij}$  是通过主成分分析法来确定的。主成分分析的核心思想是将原始指标根据方差最大化的原则转换成一个新的变量。每个原始指标的方差对新变量方差的相对贡献即为该指标的权重<sup>[14]</sup>。

主成分分析的过程通过 SPSS19.0 来

实现。根据特征值大于1和累计方差贡献率大于75%的原则确定主成分,同时可以得到每个指标的因子载荷。每个指标的权重  $\alpha_{ij}$  的计算公式如下:

$$\alpha_{ij} = \frac{|q_{ijk}|}{\sum_{j=1}^m |q_{ijk}|}, \quad s_{ij} = \left( \frac{\sum_{k=1}^n \frac{A_{ijk} \times \mu_{ijk}}{q_{ijk}}}{\sum_{k=1}^n \mu_{ijk}} \right) \quad (5)$$

在公式(5)中,  $A_{ijk}$ ,  $\mu_{ijk}$  和  $q_{ijk}$  分别代表了第  $i$  个子系统中第  $j$  个指标的第  $k$  个主成分的因子载荷、方差和特征值。

#### 2.2.2 耦合协调度函数中的待定权重 $\gamma_i$ 的确定。

$\gamma_i$  是通过数据包络分析获得的。数据包络分析法的主要原则是将每个评价对象看作一个决策单元(Decision-making Unit, 简称 DMU),保持每个决策单元的输入或输出不变,从而得出输入输出的最优比例。该方法首先运用线性规划技术确定相对高效的生产边界,然后将每个 DMU 逐个指向有效边界,最后根据每个 DMU 偏离有效边界的距离来确定每个 DMU 的相对效率<sup>[15]</sup>。本研究选取数据包络分析方法的原因在于,该方法不需要主观确定权重,从而保证了评价结果的客观性<sup>[16]</sup>。

在本研究中,每个 DMU 包含了4个指标:  $E_1, E_2, E_3$  和  $E_4$ ,将它们作为每个 DMU 的产出项,将所有 DMU 的投入项假设为1,即可得到数据包络分析的输入输出矩阵,如表1所示。

数据包络分析的过程通过 DEAP2.1 来实现,公式(6)给出了数据包络分析的函数表达:

$$\begin{cases} \max T_j = \gamma_{1j} \times E_{1j} + \gamma_{2j} \times E_{2j} + \gamma_{3j} \times E_{3j} + \gamma_{4j} \times E_{4j} \\ s.t. (\gamma_{1j} \times E_{1j} + \gamma_{2j} \times E_{2j} + \gamma_{3j} \times E_{3j} + \gamma_{4j} \times E_{4j}) \leq 1 \\ \gamma_{1j}, \dots, \gamma_{4j} \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

表1 数据包络分析的输入输出矩阵

DMU	Output 1	Output 2	Output 3	Output 4	Input(假设)
DMU <sub>1</sub>	E <sub>11</sub>	E <sub>21</sub>	E <sub>31</sub>	E <sub>41</sub>	1
DMU <sub>2</sub>	E <sub>12</sub>	E <sub>22</sub>	E <sub>32</sub>	E <sub>42</sub>	1
.....	.....	.....	.....	.....	.....
DMU <sub>j</sub>	E <sub>1j</sub>	E <sub>2j</sub>	E <sub>3j</sub>	E <sub>4j</sub>	1

根据公式(6),可以得到各DMU获得最大产出的效率得分,即为对应各评价单元的权重 $\gamma_i$ 的值。

### 3 珠三角城市群实证研究

#### 3.1 研究区概况

珠江三角洲位于广东省南部(图1),面临南海,毗邻港澳。包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、中山、东莞、惠州和肇庆9个省辖市,土地面积为4.17万 $\text{km}^2$ 。2012年的人口占广东省的53.78%左右,而创造的GDP则占到了广东省的79.07%。

改革开放以来,珠三角一直处于城镇化的快速发展阶段。根据国家统计局的统计数据,珠三角的城镇人口占常住人口的比重已经从2000年的71.59%上升

到2012年的83.84%。在中国的三大城市群中,珠三角的城镇化率遥遥领先(图2)。然而,快速的城镇化也带来了一系列的环境和社会问题,本研究通过对珠三角城镇化质量的评价,揭示其快速城镇化过程中存在的问题,为其后续发展提供决策支持。

#### 3.2 评价指标的选取

构建科学合理的指标体系是进行耦合协调分析的前提。根据比例适当、重点突出、总量指标与人均指标相结合、数据可获得性与可比性等原则,本文从人口的数量、质量、分布和结构四个方面衡量珠三角城市群的人口子系统的发展水平,从生产和消费两个方面衡量经济子系统的发展水平,从耕地、林地和能源三个方面衡量资源子系统的发展水平,

从废水、废气、烟尘、粉尘和固废五个方面衡量环境子系统的发展水平,最终建立的指标体系如表2所示。

表2中各指标的原始数据来自于2003-2012年的(a)珠三角各市统计年鉴、(b)中国城市统计年鉴、(c)广东省统计年鉴、和(d)中国能源统计年鉴。

采用2003-2012年珠三角城市群各市的统计数据,根据式(1)对各指标( $x_{ij}$ )进行标准化处理后,依据式(5)的主成分分析法获得各指标的权重( $\alpha_{ij}$ ),然后根据式(2)计算各市各个年份各子系统的效应值( $E_i$ ),在此基础上根据公式(6)的数据包络分析得到各子系统的权重( $\gamma_i$ ),再由式(4)和式(5)计算出珠三角城市群各市2003-2012年的耦合协调度(D)。

表2 珠三角城市群耦合协调度评价模型的指标及其权重

耦合系统	准则层	指标层	$X_{ij}$	数据来源	性质	权重( $\alpha_{ij}$ )
人口子系统 $E_1$	数量	人口密度/(人/ $\text{km}^2$ )	$X_{11}$	a	负	0.16
		人口自然增长率/%	$X_{12}$	a	负	0.05
	质量	平均每万人口中专业技术人员数/(人/万人)	$X_{13}$	a	正	0.09
		城镇人口比重/%	$X_{14}$	a	正	0.24
		第一产业从业人员占总从业人员比重/%	$X_{15}$	b	负	0.24
	分布	第三产业从业人员占总从业人员比重/%	$X_{16}$	b	正	0.18
		人口性别比/%	$X_{17}$	a	负	0.03
经济子系统 $E_2$	消费	农民人均纯收入/元	$X_{21}$	a	正	0.13
		城镇居民人均可支配收入/元	$X_{22}$	a	正	0.13
		人均社会消费品零售总额/元	$X_{23}$	a	正	0.17
		城镇居民家庭恩格尔系数/%	$X_{24}$	a	负	0.06
	生产	人均粮食占有量/(kg/人)	$X_{25}$	a	正	0.06
		人均猪牛羊肉占有量/(kg/人)	$X_{26}$	a	正	0.10
		人均GDP/元	$X_{27}$	a	正	0.17
		人均地方财政收入/元	$X_{28}$	b	正	0.18
资源子系统 $E_3$	耕地	耕地面积/千公顷	$X_{31}$	c	正	0.16
		人均耕地面积/(亩/人)	$X_{32}$	c	正	0.15
		粮食单产水平/(kg/亩)	$X_{33}$	c	正	0.29
	林地	森林覆盖率/%	$X_{34}$	a	正	0.21
		能源	万元产值能源消费量/(t标准煤/万元)	$X_{35}$	d	负
环境子系统 $E_4$	废水	万元工业增加值废水排放强度/(t/万元)	$X_{41}$	a	负	0.09
		工业废水排放达标率/%	$X_{42}$	a	正	0.15
	废气	万元工业增加值废气排放强度/(标立方米/万元)	$X_{43}$	c	负	0.10
		工业烟尘排放达标率/%	$X_{45}$	a	正	0.14
	烟尘	万元工业增加值烟尘排放强度/(kg/万元)	$X_{44}$	a	负	0.09
		工业烟尘排放达标率/%	$X_{45}$	a	正	0.14
	粉尘	万元工业增加值粉尘排放强度/(kg/亿元)	$X_{46}$	a	负	0.07
		工业粉尘排放达标率/%	$X_{47}$	a	正	0.17
		固废	万元工业增加值固废排放强度/(kg/万元)	$X_{48}$	a	负
		工业固体废物综合利用率/%	$X_{49}$	b	正	0.03

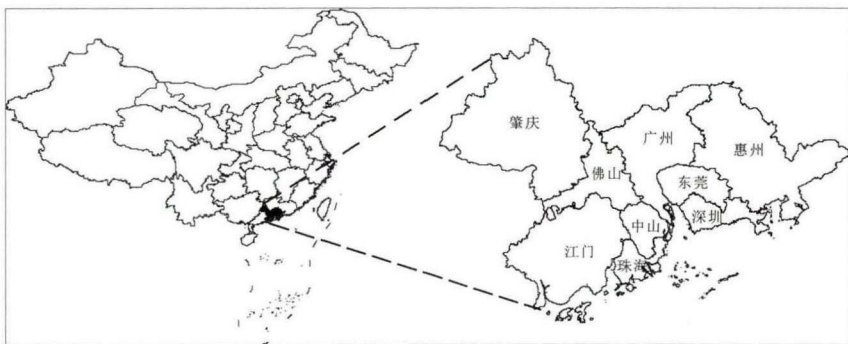


图1 珠三角城市群位置示意图

### 3.3 效应值结果及分析

效应值是反映各子系统发展状况的指标,一个子系统的效应值越高,表明该子系统的发展状况越好。图3给出了珠三角城市群各子系统10年间的效应值得分变化趋势线形图。图中线条的斜率越大,表明其所代表的子系统在10年间的变化速度越快。

就人口子系统来说,尽管广州、深圳和珠海的人口密度较大,但它们的人口子系统效应值并不低,这得益于其较低的人口自然增长率,较高的专业技术人口比重和城镇人口比重。肇庆和东莞的人口子系统综合得分出现了先上升后下降的趋势,这主要因为从2006-2008

年开始,两个市的人口自然增长率迅速上升,第一产业从业人员比重上升,而第三产业从业人员比重迅速下降。此外肇庆市的人口性别比率也有明显的上升趋势。这些指标表明,尽管肇庆和东莞两个市的城镇人口比重在上升,但城镇化的质量却没有同步跟进。

在经济子系统方面,9个市的经济指标得分均处于上升趋势,但上升的速度各不相同,从图3中经济子系统对应的趋势线的斜率可以看出,9个市的经济的发展速度从左至右依次下降,各市经济发展水平的差距也越来越大。深圳市的得分在2008年出现了下降,原因在于当年的城镇居民人均可支配收入有明显下降。

东莞市2006年的得分也明显下降,原因在于当年东莞市肉类产量下降明显,影响了整个经济系统的得分。

在资源利用方面,9个市的变化并没有表现出明显的规律。具体来说,肇庆、江门和惠州3个市的得分较高,这得益于其相对较为丰富的耕地和林地资源。而佛山市由于林地缺乏和能源消耗相对较高,使其资源子系统的综合得分在整个珠三角最低。

在环境子系统方面,珠三角城市群的发展态势良好。其中,深圳、珠海、惠州和中山的得分较高且在稳步上升;广州和肇庆的得分上升最快;佛山和东莞在2003-2005年间的得分快速提升,

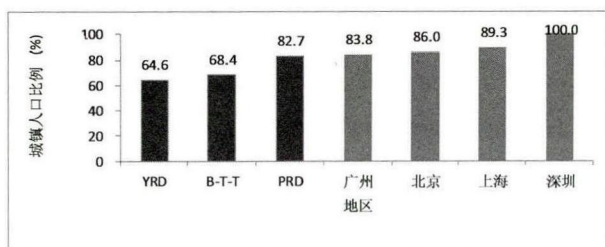


图2 中国三大城市群2010年城镇人口占常住人口的比例  
注:中国三大城市群为京津唐城市群(Beijing-Tianjin-Tangshan region,简称B-T-T),珠三角城市群(PRD)和长三角城市群(Yangtze River Delta region,简称YRD)。北京市和上海市分别是京津唐地区和长三角地区城镇化率最高的城市,深圳市和广州市是珠三角地区城镇化率最高的两个城市。图中数据来自于国家统计局第六次人口普查资料。

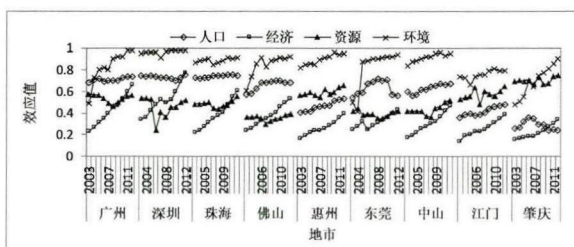


图3 珠三角城市群2003年到2012年4个子系统的效应值变化趋势

之后稳步发展；江门市的得分则相对较低，且增速缓慢。总体来说，10年间珠三角城市群在环境治理方面都做出了很大的努力，多数地市2012年各项污染物排放达标率都在90%以上，这些指标的提升为整个地区的协调发展起到至关重要的作用。

总体来说，珠三角城市群在经济和环境两个子系统的得分均呈增长趋势，为整个系统的协调发展起到了积极的作用。然而，部分城市人口子系统和资源子系统的得分增长相对迟缓，并伴有波动。尤其是资源子系统的波动尤为剧烈。这种波动必然会导致系统协调性的波动或下降，不利于城镇化质量的提升。

### 3.4 耦合协调度结果及分析

耦合协调度是对所评价系统的综合发展水平的度量。表3给出了珠三角城市群2003-2012年的耦合协调度值。

如表3所示，10年间珠三角城市群的耦合协调度值介于0.8~1之间。最低值是2003年江门市的耦合协调度值0.813，最高值是2012年珠海市的0.991。这意味着10年间珠三角城市群中珠海市2012年的城镇化质量最高，而江门市2003年的城市镇质量最低。

#### 3.4.1 耦合协调度的时序分析

图4给出了珠三角城市群耦合协调度随时间变化的线性图。总体来看，各市均表现出了上升的趋势，且9个市之

间的差距也在不断缩小。

具体来看，上升幅度较大的两个市是江门市和惠州市，且惠州市的上升相对平稳。结合图3进行分析，不难发现，江门市的资源子系统和环境子系统的波动要比惠州市剧烈。因此，保持各子系统发展的稳定性和连贯性对于区域的协调发展至关重要。珠海市10年间耦合协调度稳定增长，不论发展水平还是内在协调性均呈上升趋势。

9个市中肇庆的耦合协调度增长最为缓慢，在2009年和2010年还出现了下降趋势。正如图3所示，这一时期耦合协调度的下降应归咎于人口子系统发展的相对滞后。

#### 3.4.2 耦合协调度的空间演变分析

为了揭示珠三角城市群耦合协调度的空间变化趋势，运用地理信息系统(GIS)中的自然断点分类法(Jenks)来实现耦合协调度的分级。作为一种数据分类方法，自然断点分类法能够最小化组内均方差而最大化组间均方差。因此该方法能够使同类别个体间差别最小而使不同类别个体间的差距最大<sup>[17, 18]</sup>。

该方法在ArcGIS10.0环境下运行，具体分为三个步骤：首先，准备好包含所有预分类个体的矢量图，然后将每个耦合协调度值分配到相应个体的属性中；第二步，调用ArcGIS中的自然断点分类法程序对耦合协调度值进行分类，将所

有的耦合协调度值分为三类(图5)：耦合协调度低值区，耦合协调度中值区和耦合协调度高值区；最后，在分类结果的基础上，运用如下程序确定珠三角城市群9个市各年度的耦合协调度等级：

$N_i$ 为10年间9个市属于耦合协调度各等级的数量， $i=1$ (耦合协调度低值区)， $2$ (耦合协调度中值区)， $3$ (耦合协调度高值区)； $\text{Max}N_i$ 为 $N_i$ 最大值的个数。

若 $\text{Max}N_i=1$ 且 $N_i$ 达到最大值，则该城市的等级被确定为 $i$ 。

图5(a)-5(c)分别反映了2003年、2007年和2012年3个年度珠三角城市群耦合协调度的等级分布情况。

从图5可知，珠三角城市群耦合协调度的提升在空间上呈现出由中部向两翼扩展的态势。2003年珠三角城市群耦合协调度的低值区主要位于珠三角的两翼，包括惠州、东莞、中山、佛山和江门。高值区则位于珠三角的中心地区，包括广州和深圳。2003年到2007年，珠三角的耦合协调度低值区在不断缩小，耦合协调度中值区的范围不断扩大。到2007年，仅江门市处于耦合协调度低值区，耦合协调度中值区几乎布满珠三角两翼。2007年至2012年，耦合协调度高值区扩展至两翼地区，到2012年，整个珠三角除肇庆市外均属于耦合协调度高值区。

将10年作为一个整体进行分析，得出的结果如图5(d)所示。珠三角城市

表3 珠三角城市群的耦合协调度

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
广州	0.953	0.957	0.962	0.945	0.943	0.943	0.952	0.969	0.987	0.990
深圳	0.963	0.962	0.972	0.932	0.960	0.962	0.976	0.981	0.986	0.988
珠海	0.921	0.923	0.934	0.941	0.961	0.961	0.966	0.976	0.984	0.991
佛山	0.841	0.838	0.895	0.921	0.907	0.915	0.925	0.936	0.938	0.946
惠州	0.858	0.878	0.893	0.896	0.913	0.930	0.933	0.957	0.962	0.975
东莞	0.837	0.870	0.909	0.898	0.915	0.925	0.921	0.932	0.940	0.951
中山	0.860	0.881	0.897	0.910	0.921	0.925	0.944	0.958	0.952	0.965
江门	0.813	0.847	0.863	0.911	0.846	0.902	0.900	0.898	0.931	0.965
肇庆	0.895	0.904	0.921	0.928	0.910	0.928	0.896	0.887	0.927	0.930

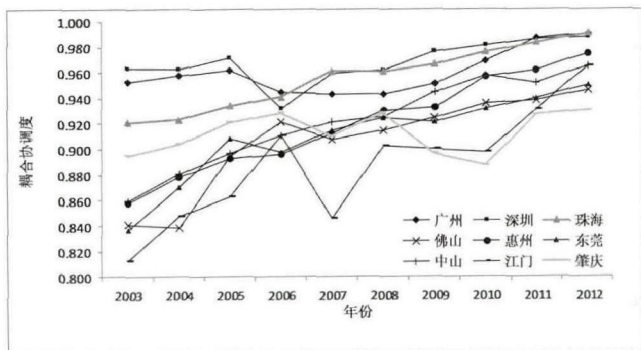


图4 珠三角城市群耦合协调度的时间序列分析

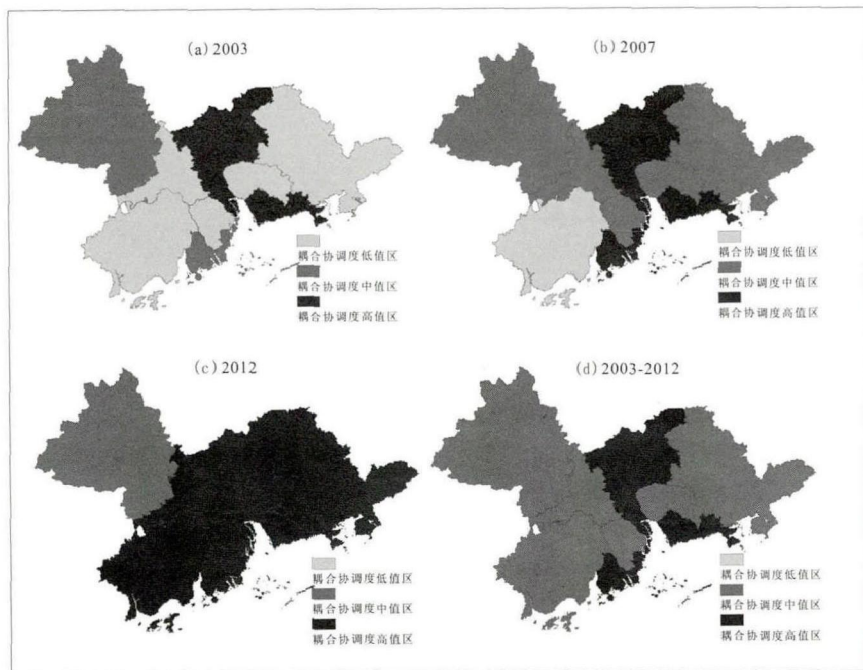


图5 珠三角城市群耦合协调度的空间分布

群的耦合协调度可分为两个部分：中部的耦合协调度高值区和两翼的耦合协调度中值区。这一结果表明，在过去的10年里，珠三角城市群的城镇化发展在分布上表现出中部高两翼低的特点。

#### 4 结论与建议

(1) 从系统论的角度分析城镇化质

量的内涵，将城市系统看作是城市发展各子系统之间耦合而成的开放型的耗散结构系统，从人口、经济、资源、环境4个子系统的层面分别选取一些考察指标，构建了基于耦合协调度的城镇化质量评价模型。

(2) 将数据包络分析 (DEA) 方法用于城镇化质量综合评价，有效避免了

AHP法和Delphi法等主观赋权法的人为主观因素影响，提升了评价结果的客观性和科学性。

(3) 选择珠三角城市群为实证研究对象，采用2003-2012年的统计数据，对其城镇化质量进行了定量评价。结果表明，珠三角城市群在整体上已初步形成了经济发展与环境改善之间的良性耦合关系，整个城市群在城镇化过程中非常注重生态环境的保护与改善，促进了整个区域城镇化质量的提升。然而，人口与资源两个子系统的发展明显滞后于其它子系统的发展，成为阻碍珠三角城市群城镇化质量提高的不利因素。

(4) 运用地理信息系统中的自然断点分类法 (Jenks) 对评价结果进行分类，探索大城市群城镇化质量的空间演变规律。结果表明，珠三角城市群城镇化质量分布呈现出中部高于两翼的分布特征，城镇化质量的提升在空间上呈现出由中部向两翼扩展的态势。中部地区如广州、深圳等市在其经济发展的强势带动下，环境和资源状况得到改善，促进了城镇化质量的提升。而两翼地区耦合协调度相对较低的原因则不尽相同。肇庆市的城镇化质量较低主要归咎于其人口系统的发展滞后，而江门市则主要在于其环境系统的发展滞后。

(5) 在未来的发展中，珠三角城市群应更加注重人口数量和结构的调控，加大人才的培育和引进力度，改善人口产业分布状况；注重优化资源利用方式，提高资源利用率。在政策上和财政投入上向城镇化质量相对较低的区域倾斜，同时各地区应根据自身的产业特点、地理优势、资源优势确定不同的发展模式。

#### 参考文献:

[1] 姚士谋, 陆大道, 王聪, 等. 中国城镇化需要综合性的科学思维: 探索适应中国国情的城镇化方式[J]. 地理研究, 2011(11):

1947-1955.

[2] 方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J]. 干旱区地理, 2006(1): 1-8.

[3] 王德利, 方创琳. 城市化发展质量研究进展及展望[J]. 现代城市研究, 2012(7): 15-21.

[4] 王家庭, 唐袁. 我国城市化质量测度的实证研究[J]. 财经问题研究, 2009(12): 127-32.

[5] 袁晓玲, 王霄, 何维炜, 等. 对城市化质量的综合评价分析: 以陕西省为例[J]. 城市发展研究, 2008(2): 38-41, 5.

[6] 郝华勇. 城镇化质量的差异评价与提升对策: 以东部 10 省市为例[J]. 唯实, 2012(6): 52-55.

[7] 陈明, 张云峰. 城镇化发展质量的评价指标体系研究[J]. 中国名城, 2013(2): 16-23, 43.

[8] 吴建楠, 程绍铂, 姚士谋. 中国城市群空间结构研究进展[J]. 现代城市研究, 2013(12): 97-101.

[9] 吴玉鸣, 张燕. 中国区域经济增长与环境的耦合协调发展研究[J]. 资源科学, 2008(1): 25-30.

[10] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. 地理学报, 2012(10): 1299-1307.

[11] 刘耀彬. 中国城市化与生态环境耦合规律与实证分析[J]. 生态经济, 2007(10): 122-126.

[12] 李启权, 张新, 高雪松, 等. 川中丘陵区域土地利用程度与效益耦合协调格局分析[J]. 农业现代化研究, 2014(1): 97-102.

[13] 李静, 李雪铭. 大连市城市化与城市生态环境发展协调性评价与分析[J]. 现代城市研究, 2008(2): 29-35.

[14] ZELLER M, HOUSSOU N, ALCARAZ G V, et al. Developing poverty assessment tools based on principal component analysis: results from Bangladesh, Kazakhstan, Uganda,

and Peru; Proceedings of the 2006 Annual Meeting, August 12-18, 2006, Queensland, Australia, F, 2006 [C].

[15] SAATI S, HATAMI M A, AGRELL P J, et al. A common set of weight approach using an ideal decision making unit in data envelopment analysis [J]. Journal of Industrial and Management Optimization, 2012, 8(3): 623-637.

[16] RAMANATHAN R. Data envelopment analysis for weight derivation and aggregation in the analytic hierarchy process [J]. Computers & Operations Research, 2006, 33(5): 1289-1307.

[17] XIE H L, ZOU J L, PENG X L. Spatial-temporal difference analysis of cultivated land use intensity based on emergy in Poyang Lake Eco-economic Zone [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(7): 889-902.

[18] LUAN X F, QU Y, LI D Q, et al. Habitat evaluation of wild Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) and conservation priority setting in north-eastern China [J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(1): 31-42.