

长三角城市群人居环境系统的耦合协调关系研究¹

李 陈，沈世勇，孟兆敏

(上海工程技术大学 公共管理系，上海 201620)

【摘要】：在回顾人居环境系统耦合发展相关文献的基础上，从人口系统、居住系统、生态环境系统、网络支撑系统和经济社会系统建立人居环境系统分析框架，构建人居环境系统耦合协调综合评价指标体系。利用突变级数法和耦合协调度模型，对 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年长三角城市群 26 座中心城市的耦合协调情况进行综合测度。结果表明：从整体发展情况看，长三角城市群整体人居环境系统耦合度和耦合协调度处于相对良好的发展水平。从空间差异上看，长三角城市群人居环境系统中的沪苏、浙江、安徽三大区域耦合度和耦合协调度组内差异的贡献率要远高于组间差异，有两座城市处于高水平耦合高度协调类型，两座城市处于拮抗阶段低度协调类型，4 座城市处于磨合阶段良好协调类型，17 座城市处于高水平耦合良好协调类型。从时序变动上看，研究期内 26 座中心城市耦合度和耦合协调度经历“有升有降”的变动过程。

【关键词】：人居环境系统；耦合协调度；长三角城市群

【中图分类号】：F592

【文献标识码】：A

【文章编号】：1000-4211 (2018) 02-0059-13

一、引言

1993 年吴良镛首次提出人居环境科学以来，人居环境日益成为学界关注的热点问题之一，尤其在快速城市化的进程中，住房、生态环境、交通问题等人居环境问题突出。城市群作为主要的人居环境，是国家推进新型城镇化的主体形态。《国家新型城镇化规划（2014-2020 年）》指出要“以城市群为主体形态，推动大中小城市和小城镇协调发展”。因此，探讨城市群内部的人居环境协调发展程度具有重要的现实指导意义。长三角城市群研究范围划分依据 2016 年国家发改委和国家住建部联合印发《长江三角洲城市群发展规划》文件，长三角城市群覆盖范围包括上海，江苏的南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州，浙江的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州，安徽的合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城等 26 座城市。

对城市人居环境耦合协调关系的研究可归纳为三大层面：对城市群城市之间人居环境系统耦合协调研究，对人居环境系统中的若干要素耦合协调度进行分析，将人居环境作为一个整体，对其与城市化、经济发展等之间的耦合关系进行实证研究。具体包括：①将人居环境系统作为一个整体进行耦合协调度研究，如董锁成等（2017）、李伯华等（2011，2016）、张旺等（2011）等研究，以上学者将城市群内部人居环境各要素求得综合得分，再对其耦合协调度进行实证分析，对人居环境各要素可能存在的短板提出对策建议。②对人居环境中的若干要素进行耦合协调度分析。如方创琳（2016）对城镇化和生态环境交互耦合关系的探讨，如李敏（1997）对人居与自然关系的讨论，“嫁接”生态学和人居环境的关系，再如张玉萍等（2014）对吐鲁番地区

¹【收稿日期】：2018.02.03

【基金项目】：国家社会科学基金青年基金项目《新型城镇化背景下特大城市人口空间分异与结构优化研究》（项目批准号 16CRK006）和上海高校青年教师培养资助计划项目《快速城镇化背景下的长三角城市人口集聚与扩散研究》（项目批准号 ZZGCD15122）。

【作者简介】：李 陈（1986-），江苏如皋人，理学博士，讲师，研究方向为人居环境学；沈世勇（1978-），江苏如皋人，管理学博士，副教授，研究方向为卫生经济学；孟兆敏（1983-），山东青岛人，法学博士，副教授，研究方向为人口地理学。

旅游-生态环境-经济之间的耦合协调关系的讨论。③将人居环境作为一个整体，并与其它要素进行耦合协调关系的讨论。对于人居环境与经济发展之间的耦合协调研究，如李雪铭（2005）对大连城市人居环境与经济发展之间关系的研究，如熊鹰（2007）、XIONG Ying（2011）对长沙人居环境与经济协调发展不确定性的探讨，再如 ZHU Xiao-ming（2010）对黄河流域县级城市人居环境与经济协调发展的讨论。还有研究者将人居环境与城市化、社会安全建设等作为耦合协调的研究对象。对长三角人居环境相关研究中，李陈、杨传开和张凡（2013）从自然-社会等人地系统构建指标体系，对长三角中心城市的人居环境进行评价，结果显示长三角中心城市人-地关系协调度呈现“橄榄型”分布的特征。夏钰、林爱文和朱弘纪（2017）利用熵值法对长三角 25 座城市的人居环境进行综合评价，发现人居环境适宜度在空间上逐步形成由浙江东部向江苏梯度递减的态势。杜婷、李雪铭和张峰（2013）对长三角优秀旅游城市人居环境与旅游业的协调发展程度进行分类。

根据《长江三角洲城市群发展规划》的发展定位，长三角城市群将发展为面向全球、辐射亚太、引领全国的世界级城市群。世界级城市群的必要条件之一就是宜居性，衡量其人居环境耦合协调发展情况。因此，本研究主要采取上述文献中第一个方面的研究思路展开，对长三角城市群整体人居环境内部 26 座中心城市的耦合协调关系进行定量分析，为有效挖掘世界级城市群建设存在的制约瓶颈提供依据。

二、数据与方法

（一）指标构建

人居环境是人类聚居生活的地方，是与人类生存活动密切相关的地表空间，是人类在大自然中赖以生存的基地，是人类利用自然，改造自然的主要场所，按照对人类生存活动的功能作用和影响程度的高低，从空间上可分为生态绿地系统和人工建筑系统。根据人居环境的定义，吴良镛将人居环境分为五大系统：自然系统、人类系统、社会系统、居住系统、支撑系统。本文从人居环境的科学内涵出发，遵循指标选取的科学性、可操作性和数据可获取性原则，从人居环境的五大系统构建指标体系（表 1）。

表 1 人居环境系统耦合协调评价指标体系

指标簇	指标层	单位
人口系统	市区人口规模	万人
	人口密度	人/平方公里
	市辖区人口自然增长率	%
居住系统	居住用地面积	平方公里
	居住用地面积占建成区面积比重	%
	万人拥有中小学教师数	人
	万人拥有医生数	人
生态环境系统	人均公园绿地面积	平方米
	建成区绿化覆盖率	%
	生活垃圾无害化处理率	%
	人均工业废水排放量	吨
网络支撑系统	人均道路面积	平方米
	建成区排水管道密度	公里/平方公里
	建成区供气管道密度	公里/平方公里
	互联网宽带用户数	万户
经济社会系统	人均 GDP	元

	第二、三产业占 GDP 比重	%
	在岗职工平均工资	元
	人均固定资产投资	元

在人口系统上，人是人居环境的核心，规模、密度、变化率等指标是测量人口系统的重要方面，其中，希腊人居环境学家道萨迪亚斯将密度指标作为社区人居环境的重要评价指标，并赋予 35%的权重²⁴⁶。法国建筑师勒·柯布西耶在《光辉城市》中也高度重视城市中人口的高密度性和集聚性，并将其看作积极的测度指标和缓解“城市病”的良方。在居住系统上，评价指标体系需体现在人居硬环境和人居软环境两个方面，反映在居住用地面积和教育、医疗等公共服务等指标上。在生态环境系统上，虽然日照、温度、湿度、降雨等自然环境是生态环境系统的重要构成部分，但其影响具有相对稳定性和长期性，考虑反映城市生态环境变化，研究选取具有“人工”生态环境的指标，如公园绿地面积、绿化率、垃圾无害化处理。在网络支撑系统上，除路网设施，还需考虑排水、供气、网络等管道设施。在经济社会系统上，研究选取人均 GDP、经济结构、固定资产投资、人均工资等指标作为评价对象。

（二）数据来源

市区人口规模、人口密度、居住用地面积、建成区面积、人均公园绿地面积、生活垃圾无害化处理率、人均道路面积、建成区排水管道密度、供气管道长度等 10 项指标来源于中国统计出版社出版的《中国城市建设统计年鉴 2000/2005/2010/2015》，其余 9 项指标来源于中国统计出版社出版的《中国城市统计年鉴 2001/2006/2011/2016》。人均工业废水排放量为全市数据，其余各项指标为市区数据，由于统计年鉴中指标的缺失，2000 年指标中的人均工业废水排放量采集 2003 年数据。生活垃圾无害化处理率、供气管道长度两项指标的部分城市数据缺失采取均值化的方式处理。

（三）研究方法

1. 突变级数法

（1）数据预处理

考虑指标体系中数据单位和数据属性的存在差异，在做综合评价前需对数据进行预处理，研究采用极差标准化方法对原始数据进行无量纲化处理：

$$\begin{cases} d_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij\min}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}} \text{ (正向指标)} \\ d_{ij} = \frac{x_{ij\max} - x_{ij}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}} \text{ (负向指标)} \end{cases} \quad (1)$$

式中： d_{ij} 为人居环境系统 i 指标 j 标准化后的数值， $x_{ij\max}$ 为人居环境系统 i 指标 j 的最大值， $x_{ij\min}$ 为人居环境系统 i 指标 j 的最小值， x_{ij} 为指标的原始值。 d_{ij} 反映各指标达到目标的满意程度， d_{ij} 趋近于 0 为最不满意， d_{ij} 趋近于 1 为最满意，且 $0 \leq d_{ij} \leq 1$ 。

（2）突变级数法

突变级数法是在突变理论基础上的综合评价方法，突变理论是 20 世纪 70 年代发展起来的一门新的数学学科，其

基本特点是根据系统的势函数将系统的临界点分类，研究分类临界点附近非连续性态的特征，从而归纳出若干初等突变模型，依次为基础探索自然和社会中的突变现象。突变级数法的核心是根据突变理论分歧方程推导出归一化公式，建立递归运算法则，按照指定时间内在逻辑关系上对其重要程度进行排序，给出底层指标的突变模糊隶属度值。最常见的突变系统类型有尖点突变系统、燕尾突变系统、蝴蝶突变系统，其数学模型分别为：

尖点突变系统模型：
$$f(x) = x^4 + ux^2 + vx \quad (2)$$

燕尾突变系统模型：
$$f(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ux^3 + \frac{1}{2}vx^2 + wx \quad (3)$$

蝴蝶突变系统模型：
$$f(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ux^4 + \frac{1}{3}vx^3 + \frac{1}{2}wx^2 + tx \quad (4)$$

以上突变模型中， x 为突变系统中的状态变量， $f(x)$ 为状态变量 x 的势函数， u 、 v 、 w 、 t 为状态变量的控制变量。通过计算，不同突变模型的归一化公式为：

尖点突变系统： $xu = u^{1/2} \quad xv = v^{1/3} \quad (5)$

燕尾突变系统： $xu = u^{1/2} \quad xv = v^{1/3} \quad xw = w^{1/4} \quad (6)$

蝴蝶突变系统： $xu = u^{1/2} \quad xv = v^{1/3} \quad xw = w^{1/4} \quad xt = t^{1/5} \quad (7)$

如果一个指标的下一层指标个数多于 4 个，就需要利用主成分分析法对指标进行合并，使得合并后的指标个数不超过 4 个。长三角城市群人居环境系统的耦合协调度利用的是突变级数法测算的指标簇，每个指标簇指标小于等于 4 个，不需要进行主成分分析处理。

2. 耦合协调度模型

对耦合度和协调度的主要研究方法有：毕国华（2017）对生态文明建设和城市化耦合协调度的测度，何文举（2017）对城市规模扩展的资源和环境容量的协调度测度，刘耀彬（2005）对城市化和生态环境之间的交互作用和亲合度测度，IllingworthValerie（1996）借鉴物理学中的容量耦合概念所采取的耦合模型等。由于人居环境系统内部的巨复杂性、交错性、不平衡性，综合考虑长三角城市群多个城市的实际情况，为便于对比分析，研究借鉴毕国华（2017）的耦合协调度模型，以全面反映长三角城市群人居环境五大系统之间的耦合协调关系，长三角城市群人居环境系统耦合度模型表示如下：

$$C = \left\{ \frac{S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4 \times S_5}{[(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5) / 5]^5} \right\}^k \quad (8)$$

式中： C 为长三角城市群人居环境 5 大系统的耦合度，取值区间为 $[0, 1]$ ， C 越大，说明人居环境 5 大系统相互作用越强，彼此关系越协调； S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 分别为人口系统、居住系统、生态环境系统、网络支撑系统、经济社会系统经突变模型计算后各自的综合得分； k 为调节系数，在实际运用中应该使 2，本文 k 取 2。

耦合度可以描述人居环境 5 大系统的相互作用、相互影响程度，但无法反映人居环境各系统之间协调发展水平的高低，因此，研究引入耦合协调度模型测度系统间的协调程度，其计算公式为：

$$D = \sqrt{C \times T} \text{ false}, T = \alpha S_1 + \beta S_2 + \gamma S_3 + \eta S_4 + \theta S_5 \quad (9)$$

式中：D 为耦合协调度；C 为耦合度，T 为人居环境 5 大系统经突变级数测算的综合得分值， α 、 β 、 γ 、 η 、 θ 为待定系数，本研究认为人居环境 5 大系统处于同等地位，故 α 、 β 、 γ 、 η 、 θ 皆取值 0.2。

根据耦合度 C 和耦合协调度 D 的取值，参考已有文献划分标准，结合长三角城市群人居环境系统的实际情况，对长三角城市群人居环境系统耦合度和耦合协调度进行标准的划分（表 2）。

表 2 人居环境系统耦合度和耦合协调度等级划分

耦合度	耦合阶段	耦合水平代表值	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调水平代表值
C=0	最小耦合	-	D=0	不协调	-
0<C<0.3	低水平耦合	理想状态值 0.25	0<D<0.3	低度协调	理想状态值 0.25
0.3<C<0.5	拮抗阶段	理想状态值 0.50	0.3<D<0.5	中度协调	理想状态值 0.50
0.5<C<0.8	磨合阶段	理想状态值 0.75	0.5<D<0.8	良好协调	理想状态值 0.75
0.8<C<1	高水平耦合	理想状态值 1.00	0.8<D<1	高度协调	理想状态值 1.00
C=1	最大耦合		C=1	极度协调	

三、结果与分析

（一）长三角城市群人居环境综合得分与耦合协调度分析

利用突变级数法和耦合协调度模型分别测算长三角城市群 26 座城市综合得分与耦合度、协调度情况，对其取均值，可反映长三角城市群 26 座城市人居环境指标簇平均水平、耦合度和耦合协调度的平均水平（表 3）。从指标簇的平均得分情况看，生态环境系统的得分最高，指标簇平均得分在 0.75 以上，其次为网络支撑系统指标簇平均得分，再次为人口系统和居住系统指标簇的平均得分。生态环境系统得分最高得益于长三角城市群各城市在生态绿化、生活垃圾无害化处理率逐年上升以及人均工业废水排放量趋于下降等因素。根据统计，2000 年，长三角城市群 26 座中心城市人均公园绿地面积、建成区绿化覆盖率、生活垃圾无害化处理率的均值分别为 4.94 平方米、30.73%、76.69%，2015 年三者分别提高到 14.02 平方米、41.84%、99.42%，人均工业废水排放量由 2003 年的 177.93 吨下降到 2015 年的 73.38 吨。人口系统指标簇平均得分表现为下降的过程，居住系统指标簇平均得分则表现为上升的过程，网络支撑系统指标簇平均得分则表现为“下降-上升”的过程。人口系统表现为下降的过程，是由于城市群人口规模和密度的持续扩大所致。由于长三角城市群的巨大磁力作用，无形中加快人口等要素的集聚，2000-2015 年城市群市区人口规模由 3228.20 万人增加到 7160.40 万人，扩大 2.22 倍，一方面为经济发展带来巨大的推动力，另一方面城市化的快速推进和中心城市人口的快速增长给本有限的中心城市资源（土地资源、公共服务资源等）带来巨大的压力与冲击。居住系统指标的快速上升与近 15 年来长三角城市群各中心城市加快房地产市场开发，建设了大量的商业、居民、工业建筑有关。网络支撑系统的“下降-上升”的过程也与各城市的建设规模、速度和水平密切相关。

从长三角城市群人居环境系统耦合度看，其数值处于 0.5-0.8 之间，说明长三角城市群人居环境系统在研究期内平均水平处于磨合阶段，人口系统、居住系统、生态环境系统、网络支撑系统交互影响、相互作用，在波动中（耦合度经历“下降-上升-再下降”的过程）逐渐趋于高水平的耦合阶段过渡。从耦合协调度看，其数值处于 0.5-0.7 之间，说明长三角城市群人居环境系统在研究期内处于良好协调状态，人口系统指标簇平均得分的下降、居住系统指标簇平均得分的上升、生态环境系统和网络支撑系统指标簇平均得分的波动共同导致长三角城市群人居环境系统耦合协调度的波动，研究期内其耦合协调度仍经历“下降-上升-再下降”的过程。

表 3 长三角城市群人居环境指标簇综合得分及其耦合协调度

年份	人口系统	居住系统	生态环境系统	网络支撑系统	经济社会系统	耦合度	耦合协调度
2000 年	0.587	0.5083	0.7566	0.6486	0.7346	0.8003	0.6457
2005 年	0.5798	0.5054	0.8342	0.5714	0.7549	0.7217	0.5834
2010 年	0.5659	0.5882	0.7817	0.6512	0.7659	0.8147	0.6706
2015 年	0.5611	0.5834	0.8464	0.6714	0.7631	0.8074	0.6699

(二) 长三角城市群人居环境系统耦合协调度的空间差异

由于 Theil 指数可将区域发展总差异分解为组间差异和组内差异, 进而分析不同区域内部差异对总差异的贡献, 故研究利用耦合度和耦合协调度, 分别为长三角城市群 26 座中心城市为分析对象, 测算 2015 年各城市人居环境系统耦合度和耦合协调度的 Theil 指数, 以反映其区域差异情况, 为便于比较, 研究将上海和江苏的差异分组情况进行合并(表 4)。

表 4 2015 年长三角城市群城市人居环境系统耦合度和耦合协调度 Theil 指数及其分解

指标	总体差异	组间差异	组内差异	沪苏组内差异	浙江组内差异	安徽组内差异
耦合度	0.0201	0.0006	0.0195	0.0018	0.0104	0.0073
耦合协调度	0.0232	0.0015	0.0217	0.0018	0.0110	0.0089

2015 年, 长三角城市群耦合协调度总体差异略高于耦合度, 从 Theil 指数组间差异和组内差异分解看, 组内差异占绝对优势, 其中耦合度和耦合协调度的组内差异占总差异的贡献率分别达到 97.01%和 93.53%, 组间差异的影响较小, 其贡献率在 3%-6%之间。对长三角城市群人居环境系统耦合度和耦合协调度组内差异 Theil 指数的分解表明, 浙江中的 8 座城市内部差异最大, 安徽中的 8 座城市其次, 沪苏中的 10 座城市差异最小, 长三角城市群中的沪苏、浙江、安徽三大区域中相关城市耦合度组内差异占总差异的贡献率分别为 8.96%、51.74%、36.32%, 耦合协调度组内差异贡献率分别为 7.76%、47.41%、38.26%。

虽然 Theil 指数能够测度长三角城市群耦合度和耦合协调度差异情况, 但难以反映其类型的空间差异特征。为区分长三角城市群不同城市人居环境系统的耦合度和耦合协调度类型, 根据表 2 的等级划分标准, 得出 2015 年长三角城市群中 26 座城市的类别划分(表 5)。

表 5 2015 年长三角城市群城市人居环境耦合度与耦合协调度类别划分

城市	耦合度	耦合协调度	耦合阶段与协调发展类型	城市	耦合度	耦合协调度	耦合阶段与协调发展类型
上海	0.9752	0.8136	高水平耦合高度协调	湖州	0.6733	0.552	磨合阶段良好协调
南京	0.854	0.7359	高水平耦合良好协调	绍兴	0.903	0.7575	高水平耦合良好协调
无锡	0.8187	0.7113	高水平耦合良好协调	金华	0.9524	0.7356	高水平耦合良好协调
常州	0.8575	0.742	高水平耦合良好协调	舟山	0.341	0.2704	拮抗阶段低度协调
苏州	0.8913	0.7803	高水平耦合良好协调	台州	0.8975	0.7328	高水平耦合良好协调
南通	0.6944	0.5837	磨合阶段良好协调	合肥	0.9095	0.7951	高水平耦合良好协调
盐城	0.8992	0.7401	高水平耦合良好协调	芜湖	0.8228	0.6767	高水平耦合良好协调
扬州	0.8144	0.6957	高水平耦合良好协调	马鞍山	0.8191	0.6855	高水平耦合良好协调

镇江	0.7228	0.6127	磨合阶段良好协调	铜陵	0.7446	0.5989	磨合阶段良好协调
泰州	0.8538	0.7159	高水平耦合良好协调	安庆	0.9689	0.743	高水平耦合良好协调
杭州	0.919	0.8058	高水平耦合高度协调	滁州	0.8333	0.6812	高水平耦合良好协调
宁波	0.8432	0.713	高水平耦合良好协调	池州	0.6928	0.5389	磨合阶段良好协调
嘉兴	0.8917	0.7051	高水平耦合良好协调	宣城	0.3995	0.2942	拮抗阶段低度协调

由表 5 的类型划分可知：2015 年长三角长三角城市群人居环境系统耦合度和耦合协调度在拮抗阶段低度协调、磨合阶段良好协调、高水平耦合良好协调、高水平耦合高度协调均有分布。对四种耦合协调类型分析如下：

1. 高水平耦合高度协调类型。高水平耦合高度协调类型的城市有上海和杭州两座城市。上海和杭州两座城市处于高水平耦合高度协调得益于人居环境五大系统相对发展水平比其他 24 座城市要高。2015 年上海市区人口规模 2415.30 万人，人口密度为每平方公里 3809.00 人，生活垃圾无害化处理率为 100%，供气管道密度 28.64 公里/平方公里，互联网宽带用户 695 万户等指标在长三角城市群的 26 座城市中遥遥领先，上海的人居环境五大系统指标之间彼此耦合、协调。2015 年杭州市区人口规模 517.40 万人，人口密度为平方公里 3527.00 人，生活垃圾无害化处理率为 100%，供气管道密度 21.63 公里/平方公里，互联网宽带用户 295 万户等指标居于前列，杭州的人居环境五大系统指标之间协调发展程度高。

2. 高水平耦合良好协调类型。高水平耦合良好协调类型有 17 座城市，根据耦合协调度排序又可细分为三种类型：耦合协调度在 0.75-0.80 之间的城市有合肥、苏州、绍兴等 3 座城市，耦合协调度在 0.70-0.75 之间的城市有安庆、常州、盐城、南京、金华、台州、泰州、宁波、无锡、嘉兴等 10 座城市，耦合协调度在 0.60-0.70 之间的城市有扬州、马鞍山、滁州、芜湖等 4 座城市。按照划分标准，耦合协调度在理想状态值 0.75 以上的城市有三座，接近理想状态值的城市有 6 座，分别为安庆、常州、盐城、南京、金华、台州，其耦合协调度在 0.73-0.75 之间。扬州、马鞍山、滁州、芜湖等 4 座城市离耦合协调度理想值尚有一定距离。以上 17 座城市人居环境五大系统的耦合度和耦合协调度值相对上海和杭州要低，但比磨合阶段和拮抗阶段的城市高，五大系统发展水平居中。

3. 磨合阶段良好协调类型。磨合阶段良好协调类型的城市有南通、镇江、湖州、铜陵、池州 5 座城市。南通、镇江、湖州、铜陵、池州的耦合度在 0.5-0.8 之间，耦合协调度也在 0.5-0.8 之间，但耦合协调度明显低于高水平耦合良好协调类型的 17 座城市，其耦合协调度值在 0.5-0.62 之间，反映 5 座城市人居环境五大系统的耦合协调度相对发展水平在长三角城市群中处于中下的水平，这 5 座城市人居环境五大系统各要素上的投入有待加强。具体而言，南通、镇江、湖州、池州的人口系统得分较低，而生态环境系统得分较高，池州的经济社会系统得分也较低，导致五大系统之间的耦合协调度下降。

4. 拮抗阶段低度协调类型。拮抗阶段低度协调类型有舟山、宣城两座城市。舟山和宣城的耦合度在 0.3-0.5 之间，耦合协调度在 0-0.3 之间，表明两座城市人居环境五大系统之间的耦合协调度相对发展水平排名靠后，如市区人口规模、居住用地面积、移动电话用户数、互联网宽带用户数等指标远低于上海、杭州等城市，这两座城市在人居环境五大系统各要素的变化与投入上需加大投入。具体而言，舟山的人口系统得分低，而生态环境系统和社会经济系统得分相对较高，导致其耦合协调度下滑。宣城的居住系统和经济社会系统得分低，而生态环境系统得分相对较高，人口系统和网络支撑系统得分居中，导致其耦合协调度下滑。

（三）长三角城市群人居环境系统耦合协调度的时序变动

长三角城市群人居环境系统耦合度和耦合协调度的空间差异反映是其现状格局与特征，但无法从动态变化的发展过程反映其演变特征。为此，研究将对 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年的长三角城市群人居环境系统耦合度和耦合协调度时序变动情况作进一步的分析，其时序变动情况见图 1。



图 1 长三角城市群城市人居环境系统耦合度和耦合协调度变动（2000-2015 年）

2000-2015 年长三角城市群中的多数城市人居环境系统耦合度和耦合协调度呈现波动变化的时序过程，具体可对三个时段变化的分析：

1. 2000-2005 年耦合度和耦合协调度的时序变化。2000 年处于高水平耦合的城市有 19 座，沪苏、浙江、安徽分别占 7 座、5 座、7 座，处于良好及以上耦合协调的城市有 23 座，沪苏、浙江、安徽分别占 9 座、7 座、7 座。2005 年处于高水平耦合的城市下降到 6 座，沪苏、浙江、安徽各占 2 座，处于良好耦合协调的城市有 20 座，沪苏、浙江、安徽分别占 10 座、6 座、4 座。从耦合度和耦合协调度的变化看，2005 年处于高水平耦合或良好协调的城市总数在下降，表明 2000-2005 年人居环境的五大系统并非协调增长，对 2005 年和 2000 年 26 座城市综合得分进行比较，发现有 16 座城市居住系统、网络支撑系统综合得分下降，而 15 座城市的人口系统、18 座城市的经济社会系统、24 座城市的生态环境系统得分上升，得分的“三升两降”共同导致人居环境系统的耦合度和协调度的降低。

2. 2005-2010 年耦合度和耦合协调度的时序变化。与 2005 年相比，2010 年长三角人居环境系统耦合度和耦合协调度得到显著提升，表现在耦合度在高水平阶段的城市回升到 19 座，耦合协调度在高度协调和良好协调阶段的城市上升到 22 座。沪苏、浙江、安徽处于高水平耦合的城市分别为 8 座、6 座、5 座，处于高度协调和良好协调的城市分别为 9 座、7 座、6 座。从耦合度和耦合协调度的变化看，2010 年处于高水平耦合或良好协调的城市总数在上升，是因为 2005-2010 年有 22 座城市居住系统综合得分和 23 座城市网络支撑系统综合得分上升，有 16 座城市人口系统、19 座城市生活环境系统和 11 座城市经济社会系统综合得分下降，其综合得分表现与 2000-2005 年时段的变化呈现相反的走势，人居环境的五大系统的彼消此长反而使长三角人居环境系统耦合度和耦合协调度得到提升。

3. 2010-2015 年耦合度和耦合协调度的时序变化。与 2010 年相比，2015 年长三角人居环境系统耦合度和耦合协调度保持稳中有升、稳中有进的态势，表现在耦合度处于高水平阶段的城市保持在 19 座，而耦合协调度在良好或高度协调阶段的城市增加到 24 座。沪苏、浙江、安徽处于高水平耦合的城市分别为 8 座、6 座、5 座，处于高度协调和良好协调的城市分别为 10 座、7 座、7 座。从耦合度和耦合协调度的变化看，2015 年处于高水平耦合或良好协调的城市总数进一步上升，表明城市群多数中心城市人居环境五大系统都得到提升，具体表现在 2010-2015 年，人口系统综合得分增加的城市有 15 座、生活环境系统有 23 座、网络支撑系统有 17 座，经济社会系统有 16 座，而居住系统综合得分表现不佳，在 2010-2015 年居住系统综合得分上升的城市仅 11 座。整体而言，2010-2015 年时期的耦合度和耦合协调度发展水平相对前两个时期的水平要有所提升。

四、结论

在人居环境五大系统分析框架的基础上,综合利用突变级数法、泰尔指数、耦合协调度模型测度长三角城市群 26 座中心城市的耦合协调关系,得出以下主要结论:

第一,从整体发展情况看,研究期内长三角城市群整体人居环境系统耦合度和耦合协调度处于相对良好的发展水平。2000-2015 年 26 座中心城市的耦合度和耦合协调度处于高水平耦合或磨合耦合的良好协调水平。人居环境五大系统中生态环境系统和综合得分较高,网络支撑系统的综合得分居中,而居住系统和人口系统的综合得分相对靠后。

第二,从空间差异上看,长三角城市群人居环境系统中的沪苏、浙江、安徽三大区域耦合度和耦合协调度组内差异要远高于组间差异。组内差异的分解表明沪苏组内差异最小、浙江组内差异最大,安徽居中。对人居环境系统耦合度和耦合协调度类型划分,上海和杭州的发展水平最好,处于高水平耦合高度协调类型,舟山和宣城为拮抗阶段低度协调类型,南通、湖州、铜陵、池州为磨合阶段良好协调类型,其余 17 座城市为高水平耦合良好协调类型。

第三,从时序变动上看,研究期内长三角城市群人居环境五大系统中,26 座中心城市辛禹合度和耦合协调度经历“有升有降”的时序变动过程。2000-2005 年时段,多数城市居住系统和网络支撑系统综合得分下降,而人口系统、经济社会系统和生态环境系统综合得分上升;2005-2010 年时段,多数城市居住系统和网络支撑系统综合得分反而有所上升;2010-2015 年时段,多数城市除居住系统综合得分有所下降,其余四大系统综合得分都有所上升。

作为主要的人居环境,长三角城市群在区域发展和人居环境建设肩负重要使命,为国家经济发展贡献出巨大的力量,同时也承载巨大的人口压力,由此产生生态环境压力、公共服务压力、居住压力、交通压力等。本研究中的长三角城市群人居环境生态环境系统综合得分处于上升态势的结果并不意味着长三角城市群生态环境压力就不存在,而是说明了长三角城市群中心城市在绿化建设、生活垃圾无害化处理、工业废水排放控制等方面所做出的成绩需要得到肯定和社会认可。生态环境问题是当前中国面临的挑战,水质污染治理、雾霾攻坚战、土壤污染治理等生态环境问题是一个持续的艰辛过程,任重而道远。城市群作为开放的复杂巨系统,其人居环境系统的发展与建设更是艰巨的任务。只有人居环境五大系统中的任何方面都得到协调发展、互动耦合之后,才能成长为健康的城市群、有机的城市群和宜居的城市群,城市群方能为经济社会的可持续发展助力。

[参考文献]:

[1]吴良镛.人居环境科学导论[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.

[2]武廷海,张能.作为人居环境的中国城市群——空间格局与展望[J].城市规划,2015,39(6):13-25,36.

[3]中华人民共和国国土资源部.国家新型城镇化规划(2014-2020年)[EB/OL].http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201403/t20140317_1307601.htm,2014-03-17.

[4]董锁成,张佩佩,李飞,等.山东半岛城市群人居环境质量综合评价[J].中国人口·资源与环境[J].2017,27(3):155-162.

[5]中华人民共和国国家发展和改革委员会.长江三角洲城市群发展规划[EB/OL].<http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201606/t20160603-806390.html>,2016-06-01.

[6]李伯华,谭勇,刘沛林.长株潭城市群人居环境空间差异性演变研究[J].云南地理环境研究,2011,23(3):13-19.

[7]李伯华,刘艳,刘沛林,等.湖南省人居环境系统耦合度的时空演化研究[J].统计与决策,2016,(18):104-107.

-
- [8]张 旺, 周跃云, 赵先超. 泛长株潭城市群各市区人居环境的评价与优化[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25 (6) : 86-92.
- [9]方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报, 2016, 71 (4) : 531-550.
- [10]李敏. 人与自然关系的协调与重构——关于自然、人类社会与人居环境生态关系的理论思考[J]. 广东园林, 1997, (2) : 2-13.
- [11]张玉萍, 瓦哈甫·哈力克, 党建华, 等. 吐鲁番旅游—经济—生态环境耦合协调发展分析[J]. 人文地理, 2014, (4) : 140-145.
- [12]李雪铭, 李婉娜. 1990 年代以来大连城市人居环境与经济协调发展定量分析[J]. 经济地理, 2005, 25 (3) : 383-386, 390.
- [13]熊 鹰, 曾光明, 董力三, 等. 城市人居环境与经济协调发展不确定性定量评价——以长沙市为例[J]. 地理学报, 2007, 62 (4) : 397-406.
- [14] XIONG Ying .Uncertainty evaluation of the coordinated development of urbanhuman settlement environment and economy in Changsha city[J]. J .Geogr .Sci , 2011, 21 (6) : 1123-1137.
- [15]ZHU Xiao-ming, LI Xu-xiang , ZHANG Jing. Coordinated Development of Human Settlement and Economy in County-level Cities in the Yellow River Basin[J]. Journal of Landscape Research, 2010, 2 (3) : 95-99.
- [16]刘 洋, 杨文龙, 李 陈. 基于 DAHP 法的长三角城市化与城市人居环境协调度研究[J]. 世界地理研究, 2014, 23 (2) : 94-103.
- [17]李雪铭, 倪玉娟. 近十年来我国优秀宜居城市城市化与城市人居环境协调发展评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(3): 8-14.
- [18]吴咏梅, 朱志玲, 吴启蒙. 银川市城市化与人居环境协调发展初探[J]. 现代城市研究, 2011, (8) : 27-34.
- [19]李 陈, 杨传开, 张 凡. 基于人-地关系的长三角中心城市人居环境评价[J]. 资源开发与市场, 2013, 29 (3) : 272-276.
- [20]夏 钰, 林爱文, 朱弘纪. 长三角地区城市人居环境适宜度空间格局演变[J]. 生态经济, 2017, 33 (2) : 112-117.
- [21]杜 婷, 李雪铭, 张 峰. 长三角优秀旅游城市人居环境与旅游业协调性分析[J]. 旅游研究, 2013, 5 (3) : 8-14.
- [22]夏春光, 李雪铭. 安全社区建设与城市人居环境协调度研究——以大连市为例[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2015, 38 (3) : 309-407.
- [23]勒·柯布西耶著金秋野, 王又佳译. 光辉城市[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016: 86-170.
- [24]宁越敏, 查志强. 大都市人居环境评价和优化研究_以上海市为例[J]. 城市规划, 1999, 23 (6) : 15-20.

-
- [25]唐明, 邵东国, 姚成林, 等. 改进的突变评价法在旱灾风险评价中的应用[J]. 水利学报, 2009, 40(7): 858-862, 869.
- [26]李继清, 张玉山, 纪昌明, 等. 突变理论在长江流域洪灾综合风险社会评价中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2007, 40(4): 26-30.
- [27]范斐, 杜德斌, 盛磊. 长三角科技资源配置能力与城市化进程的协调耦合关系研究[J]. 统计与信息论坛, 2013, 28(7): 69-75.
- [28]陈云峰, 孙殿义, 陆根法. 突变级数法在生态适宜度评价中的应用——以镇江新区为例[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2587-2593.
- [29]毕国华, 杨庆媛, 刘苏. 中国省域生态文明建设与城市化的耦合协调发展[J]. 经济地理, 2017, 37(1): 50-58.
- [30]何文举. 城市规模扩展的环境与资源潜力协调度分析——以湖南省为例[J]. 经济地理, 2017, 37(1): 98-106.
- [31]刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 237-247.
- [32]Illingworth Valerie. The Penguin Dictionary of Physics[M]. Beijing: Foreign Language Press, 1996: 92-93.
- [33]李陈, 汤庆园. 长江经济带住房条件的区域差异研究[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2017, 33(2): 15-21.
- [34]文余源. 中国城市化水平地区差异及其变动[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(5): 25-29.
- [35]欧向军. 江苏省县市城市化水平差异研究[J]. 现代城市研究, 2006, (3): 45-50, 55.