

Study on the Coupling Development Degree of Regional Ecological Environment and Economic Development

—Taking Changsha-Zhuzhou-Xiangtan City Cluster as an Example

Yuting Zeng, Yuning Chen, Jiahui Long, Chen Li*

College of Information and Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan
Email: hnlichen@163.com

Received: Oct. 1st, 2019; accepted: Oct. 11th, 2019; published: Oct. 18th, 2019

Abstract

This paper takes the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration as the research object, selects 23 indicators of the ecological and economic sub-systems, and combines the 2005-2016 panel data to establish a coupled development degree model, and conducts empirical research on the coordinated development of the ecological environment and economy of the region. Research shows: the comprehensive development index of the state subsystem in Changsha, Zhuzhou and Xiangtan urban agglomeration fluctuates up and down, indicating that the ecological environment is unstable; the comprehensive index of the economic subsystem has been on the rise, indicating that the economy of the Changsha, Zhuzhou and Xiangtan urban agglomeration has been growing steadily in recent years.

Keywords

Changsha, Zhuzhou and Xiangtan Urban Agglomeration, Coupling Development, Ecological Environment, Economic Development

区域生态环境与经济发 展的耦合发展度研究

——以长株潭城市群为例

曾宇婷, 陈宇宁, 龙家辉, 李 晨*

湖南农业大学, 信息与科学技术学院, 湖南 长沙
Email: hnlichen@163.com

*通讯作者。

摘要

本文以长株潭城市群为研究对象，选取了生态、经济两个子体系的23项指标，结合2005~2016年的面板数据建立耦合发展度模型，对该地区的生态环境和经济的协调发展状况进行实证分析。研究表明：长株潭城市群生态子系统的综合发展指数上下起伏波动，说明生态环境存在不稳定性；经济子系统的综合指数一直呈上升趋势，说明长株潭城市群的经济在近几年来一直稳定增长。

关键词

长株潭城市群，耦合发展度，生态环境，经济发展

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

进入 21 世纪，环境和经济一直是学术界重点关注的两大领域，它们不仅是人类生存和发展的物质基础，更是社会稳定和进步的重要保障。伴随着经济的快速发展，我国(乃至全球)的生态系统开始出现一系列不容忽视的问题。为了能更好地促进全球经济的可持续发展，人类需要突破环境这个瓶颈，找到经济发展和环境保护的平衡点。

为了实现这一目标，我国实行了一系列举措，其中包括组建城市群，通过城市群发展实现新型城镇化。新型城镇化是以城乡统筹、城乡一体、产业互动、节约集约、生态宜居、和谐发展为基础特征的城镇化，是大中小城市、小城镇、新型农村社区协调发展、互促共进的城镇化。新型城镇化是我国当前城市转型的重要目标，城市群发展是新型城镇化的重要载体。当前，京津冀城市群、长三角及珠三角等三大城市群是我国城市化发展的核心力量。长株潭城市群在这几年里发展势头强劲，成为中部六省城市中全国城市群建设的先锋，获得“中国第一个自觉进行区域经济一体化实验的案例”的称号。

2. 研究现状

目前，生态系统与经济的研究广受人们的关注。国内外学者在生态系统和经济发展之间做了大量研究，主要体现在生态系统与经济协调发展的理论研究、实证研究和对策研究三个方面。

在国内研究中，王维(2018)基于综合评价模型分析了生态保护质量和经济发展水平，然后借助耦合协调模型探索生态保护质量与经济发展水平协调度的时空演变规律[1]。杨泓川等(2019)通过定量分析2010~2015年内福建省福州市生态环境压力与经济发展现状，运用生态足迹模型、多因素综合评价法和改良脱钩耦合模型，研究出福州市生态经济系统脱钩耦合特征[2]。董平(2017)通过耦合协调模型、回归模型分析了西部地区的经济增长与生态环境的协调发展状况，再通过灰色预测模型为未来西部地区的协调发展提供参考性建议[3]。张浩(2016)通过分析运用耦合评价模型，对生态和经济的可持续发展提出了参考性意见[4]。向秀容、潘韬等(2016)基于生态足迹法，通过构建生态承载力评价与预测模型，对2010年与2015年天山北坡经济带的生态迹和承载力进行了预测[5]。

在国外研究中, Angel-Lionel Toba (2016)等引入了概念模型, 运用能源系统模型并在其基础上评价了技术、环境、能源、经济这四个系统的协调发展关系[6]。Xiaohong Zhang 等(2013)通过分析 2000~2007年间中国的经济增长和能源消耗、废气排放和环保投资之间的相互作用, 研究表明能源消耗能迅速带动中国经济的增长, 降低能源消耗和增强环境负荷强度的速度远远比不上经济发展的速度[7]。Murphy J 等(2010)通过量化研究发达国家的生态系统问题, 认为国家应采取一系列的措施来改善生态环境, 同时提高经济增长率[8]。Price J (2017)构建了能源-环境-经济模型, 研究出了经济发展和生态环境保护之间的最优路径, 探求在对生态系统造成的破坏最小的情况下, 逐步提高经济发展质量[9]。

3. 研究意义

长株潭城市群是“两型社会”建设综合配套改革试验区, 是湖南省经济发展的核心地区。自 2005 年正式公布长株潭城区规划以来, 长株潭地区的经济迅速发展。但经济的发展往往都伴随着生态环境的恶化, 所以, 在发展经济的同时, 应当兼顾当地生态环境的状况, 这样就出现了生态环境和经济不能协调发展的矛盾[10]。因此我们迫切需要对生态环境和经济发展这两者之间的耦合情况进行研究, 保证长株潭城市群的可持续发展和经济的高质量发展。目前, 我国还没有完整的城市群生态环境与经济耦合发展的理论, 相关学者对长株潭生态环境与经济耦合的理论研究还比较少。在分析长株潭城市群的生态环境与经济耦合度和耦合发展度的过程中, 通过构建耦合度和耦合发展度模型, 寻找影响长株潭生态环境和经济耦合发展的因素, 为该区的生态环境和经济耦合发展提供理论依据。并对对当地的生态环境与经济耦合发展度作出评判, 这有利于促使长株潭城市群提高经济发展、改善生态环境, 促进两个系统之间积极发展。

4. 长株潭城市群生态环境与经济耦合发展模型构建

4.1. 指标体系的构建原则

一个科学合理的指标体系是对经济发展水平进行综合评价的基础和得到现实结论的保证, 所以指标体系的构建是模型构建的基础性环节, 基于此, 我们按照以下原则进行指标选取: (1) 系统性原则, 考虑各数据之间的逻辑关系和完整度, 看各指标之间是否相互独立、彼此联系, 是否能共同构建有机统一整体。(2) 科学性原则, 不但要考虑到长株潭城市群的现实情况, 还要能够衡量长株潭城市群生态环境和经济耦合发展现状; 其次, 选取指标数据时要选用最具真实性的数据来源, 要具有代表性。(3) 可比和可量化性原则, 指标体系的构建是为城市群中经济发展与生态环境制定科学管理服务的, 所以指标的数据应是简单、清晰, 具有现实性并且可进行量化分析。不仅要求生态系统和经济发展的各个子系统的内部数据具有可比性, 还要重视总体系统的指标可比性。(4) 区域性原则, 不同的区域受不同的人文环境和生态环境的影响, 各地的经济特点和生态特点都不相同, 因此构建指标体系时应充分考虑长株潭城市群的特点, 以长株潭城市群自身的客观条件为基础进行指标体系的构建。

4.2. 建立指标评级体系

通过综合考虑指标体系的构建原则、思路和及指标数据收集的难易程度, 本文选取能全面反映城市群生态和环境的指标, 希望达到指标少、可信度高、测算结果精准的目的。具体可以参照表 1。

4.3. 评级指标权重的确定

4.3.1. 数据处理

因为各个指标对数据性质不同, 统计的计量单位也不同, 有的指标对系统有积极的影响, 有的指标

对系统有消极的影响，所以我们把指标体系中的指标分为正向指标和负向指标。正向指标的指标数值越大，说明对系统产生的积极影响就越大，负向指标数值越大，说明该指标对系统产生的负面影响越强。因此，为了消除数据性质和统计单位的差异，我们需要进行标准化处理。公式如下：

正向指标公式：

$$X_{ij} = \frac{Z_{ij} - \text{MIN}(Z_{ij})}{\text{MAX}(Z_{ij}) - \text{MIN}(Z_{ij})}$$

负向指标公式：

$$X_{ij} = \frac{\text{MAX}(Z_{ij}) - Z_{ij}}{\text{MAX}(Z_{ij}) - \text{MIN}(Z_{ij})}$$

其中， Z_{ij} 是原始数据，代表第 i 年第 j 个指标的数据， $\text{MAX}(Z_{ij})$ 代表第 j 个指标的最大值， $\text{MIN}(Z_{ij})$ 表示第 j 个指标的最小值。

Table 1. Ecological environment and economic development evaluation index system

表 1. 生态环境和经济发展评价指标体系

子系统层	基准层	指标层	单位	指标正负性	权重			
生态环境和经济发展评价指标体系	生态污染指标	工业废水排放量	万吨	负	0.16816			
		工业废气排放量	万立方米	负	0.06816			
		固体废物排放量	万吨	负	0.07472			
		人均公园绿地面积	平方米	正	0.12512			
	生态子系统	生态建设指标	森林覆盖率	%	正	0.10197		
			建成区绿化覆盖率	%	正	0.12463		
			环境污染治理投资	万元	正	0.14413		
	生态治理指标	固体废物处理利用率	固体废物处理利用率	%	正	0.09138		
			生活污水处理率	%	正	0.10173		
		经济子系统	经济规模指标	GDP	万元	正	0.07114	
	工业总产值			万元	正	0.07678		
	进出口总额			万美元	正	0.07466		
	地方财政收入			万元	正	0.07828		
	第二产业占比			%	正	0.05147		
	第三产业占比			%	正	0.07019		
	经济结构指标			单位 GDP 水耗	单位 GDP 水耗	万立方米/万元	负	0.04588
					单位 GDP 电耗	千瓦时/万元	负	0.08253
					单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	负	0.07343
	经济效益指标			城镇居民人均可支配收入	人均 GDP	元	正	0.06819
农村居民人均纯收入		元	正		0.08331			
城镇居民人均可支配收入		元	正		0.06843			
全社会固定资产投资		万元	正		0.08001			
社会消费品零售总额		万元	正		0.07569			

4.3.2. 熵值法确定权重

熵值法是通过各项指标观测值所提供的信息大小来确定指标的权重。信息量越大，不确定性越小，熵也越小；反之，则熵越大。具体计算步骤如下：

$$(1) \text{ 计算第 } j \text{ 项指标下第 } i \text{ 年占该指标的比重 } P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (i=1,2,3,\dots,m);$$

(2) 计算第 j 项指标的熵值 $e_j = -k * \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})$ ，其中， $k > 0$ ， \ln 为自然对数， $e_j \geq 0$ 。常数 k 与样本数 m 有关，一般令 $k = 1/\ln m$ ，则 $0 \leq e \leq 1$ ；

(3) 计算第 j 项指标的差异程度；

对于第 j 项指标，指标值 X_{ij} 的差异越大，即 g_j 越大，对结果的评价作用越大，熵值就越小， $g_j = 1 - e_j$ ；

$$(4) \text{ 计算权数 } W_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}。$$

4.4. 耦合发展测度模型

4.4.1. 子系统综合指数评价模型

综合指数可以综合反映系统的整体发展状况和发展水平。王倩(2018)、董平平(2017)计算子系统综合指数的方法时均采用综合得分法[11][12]。本文也将采用综合得分法计算综合指数：通过计算，多个指标对多个参评单位可以计算出一个最终得分，该方法能直截了当的表明所选指标所包含的信息，非常具有全面性。指标体系的综合评价模型公式如下：

$$Z = \sum_{i=1}^m X_i W_i$$

其中， m 表示衡量各子系统的指标个数， W_i 表示子系统中第 i 个指标的权重， X_i 表示子系统中第 i 个指标标准化后的数值。

由上述公式可得出，各系统的综合得分在[0, 1]之间，本文将对综合评级指数进行等级划分，具体如下表 2 所示：

Table 2. Classification of comprehensive rating index

表 2. 综合评级指数等级划分

评定系数	0~0.30	0.30~0.55	0.55~0.80	0.80~1
等级	差	一般	良好	优异

4.4.2. 生态环境和经济发展耦合度模型

“耦合”是物理学中的一个概念，它可以分析两个或两个以上的系统之间紧密配合与相互影响的程度关系。本文运用耦合度能够反映长株潭城市群的生态环境子系统和经济发展子系统这两个系统之间以及系统内部之间的相互联系，可以整体把握两个系统之间的整体发展状态。耦合度的数值大小与两个系统之间的发展状况成正相关，即耦合度越高，说明两个系统发展水平的相似性越高。耦合度由系统间的离差反映，离差越大则系统间的耦合度越低。为了测算长株潭城市群的生态子系统和经济子系统的耦合度，我们将借助变异系数法。变异系数法可以很好的反映两组数据的离散程度或变异程度。

为了让耦合度具有一定的层次性，生态环境和经济发展的耦合度模型的定义如下：

$$F = \left(\frac{Q \times E}{\left(\frac{Q+E}{2} \right)^2} \right)^k$$

F 表示两个系统之间的耦合度，不难看出， F 越大，对应的耦合程度就越大。 Q 表示生态子系统的综合得分， E 表示经济子系统的综合得分。 K 表示调节系数，因此本文只涉及两个子系统，所以 $K=2$ 。

计算出两个系统的耦合度的具体数值之后，我们需要对其进行描述。通过借鉴郝俊康等(2018)、蔡文静等(2019) [13] [14]的等级划分，本文将耦合度划分为 5 个等级区间，每个区间代表一个等级，每个等级对应一类耦合状态。具体划分标准如下表 3：

Table 3. Coupling degree classification

表 3. 耦合度等级划分

	耦合度	耦合等级		耦合度	耦合等级
1	$0 < F \leq 0.2$	低水平耦合	4	$0.6 < F \leq 0.8$	较高水平耦合
2	$0.2 < F \leq 0.4$	较低水平耦合	5	$0.8 < F \leq 1$	高水平耦合
3	$0.4 < F \leq 0.6$	中度水平耦合			

4.4.3. 生态系统和经济系统耦合发展度模型

耦合度反映生态环境与经济发展之间的耦合程度，可以反映两者是不是处于同步的状态。但不能很好的反映耦合发展的具体水平，耦合度一样，生态环境与经济发展也不一定会相同。因此，为了明确系统之间是属于高水平发展阶段还是低水平发展阶段，我们需要引用耦合发展度模型。耦合发展度是先将耦合度和发展度结合起来，再用来衡量系统之间的耦合发展水平的高低。耦合发展度的具体模型如下所示：

$$O = \sqrt{D \times F}$$

$$D = \alpha Q + \beta E$$

O 表示耦合发展度， O 越大，则生态环境和经济发展的耦合水平越高，两者处于良性的发展状态，反之就说明两者之间相互抑制发展。 F 表示耦合度， D 表示综合评价生态和经济发展的指数， α 和 β 表示生态环境和经济发展在综合评价中的权重，对于长株潭城市群整体的发展来说，生态环境和经济增长同等重要，所以 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

为了对耦合发展度进行描述性分析，我们需要对耦合发展度进行区间划分。因为生态系统和经济系统之间的关系比较复杂，因此到目前为止，并没有统一的划分标准。基于此，本文借鉴童佩珊等(2018)、王倩(2018)的研究与结论[1] [11]，得到相应的划分标准，具体如下表 4 所示：

5. 实证分析

5.1. 数据来源

本文数据来自于 2006~2017 年的《中国统计年鉴》、《湖南统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国循环经济统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、《中国区域经济建设统计年鉴》和《湖南改革开放 30 年 1978~2008》以及长沙统计局。

Table 4. Coupling development degree interval division
表 4. 耦合发展度区间划分

耦合发展度 O	耦合类型	Q 与 E 的关系	耦合类型
$0 \leq O \leq 0.1$	极度失调衰退类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.1 < O \leq 0.2$	严重失调衰退类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.2 < O \leq 0.3$	中度失调衰退类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.3 < O \leq 0.4$	轻度失调衰退类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.4 < O \leq 0.5$	濒临失调衰退类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.5 < O \leq 0.6$	勉强耦合发展类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.6 < O \leq 0.7$	初级耦合发展类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.7 < O \leq 0.8$	中极耦合发展类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.8 < O \leq 0.9$	良好耦合发展类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性
$0.9 < O \leq 1$	优质耦合发展类	$Q < E$	环境滞后型
		$Q = E$	经济环境同步性
		$Q > E$	经济滞后性

5.2. 子系统综合评价

5.2.1. 生态环境子系统综合评价指数分析

通过上节的理论公式，我们计算出长株潭城市群生态环境系统的综合发展指数，如下表 5 所示。从总体来看，长株潭三城市的生态环境系统的综合发展指数主要呈上升趋势，说明生态环境质量有了较好的改善。2005 年长株潭三城市综合指数分别为：0.3446、0.21182、0.25452，按照上节表 2 的划分标准，我们可以得到，2005 年的长沙的生态环境一般，株洲和湘潭的生态环境属于较差阶段。到 2016 年，长株潭三城市的生态环境综合得分分别为：0.80608、0.92862、0.87186，按照划分标准，我们可以得到：长株潭的生态环境均达到优异水平。可见在这 12 年内，长株潭三个城市在发展经济的同时注重生态环境的保护，使得生态环境得到了较大的改善。

Table 5. Comprehensive evaluation index of ecological environment subsystems in each city

表 5. 各城市生态环境子系统综合评价指数

年份	长沙	株洲	湘潭
2005	0.34460	0.21182	0.25452
2006	0.38720	0.17029	0.34225
2007	0.44723	0.20985	0.31889
2008	0.41084	0.22317	0.39637
2009	0.53320	0.26106	0.34792
2010	0.54687	0.49118	0.46363
2011	0.60060	0.55568	0.38453
2012	0.70633	0.65129	0.65906
2013	0.67404	0.58135	0.68948
2014	0.71879	0.75746	0.74283
2015	0.66230	0.85061	0.83271
2016	0.80608	0.92862	0.87186

图 1 反映了长株潭生态子系统综合评价指数的变化情况，由图中曲线可知，这三个地区的总体呈上升趋势，波动比较大。在 2005~2016 年间，长株潭的生态环境水平状况呈现上下起伏的波动，说明生态环境存在一定的不稳定性。我们可以将长株潭生态环境质量大致分为三个阶段。

(1) 第一阶段：2005~2010 年，在此阶段内，长株潭三个城市的生态系统的综合指数都小于 0.55，说明此时三个城市的生态环境质量属于一般水平；生态环境的综合得分虽然总体呈上升趋势，但上升幅度非常小，部分年份还出现下降的现象，说明此时生态系统质量的改善过程中还是存在许多不稳定因素，没有形成稳定发展的趋势。

(2) 第二阶段：2010~2014 年。该阶段内依旧呈上升趋势，生态环境质量日益提升，主要是因为政府增强了对生态环境的保护意识，认识到生态环境的重要性，加强了对经济结构的调整，使得经济发展对生态环境造成的危害减弱。

(3) 第三阶段：2014~2016 年。在此阶段内三城市的生态环境质量都趋于优良水平，整体的生态环境状况得到进一步的改善，但改善的幅度较第二阶段而言有所降低。主要是因为随着生态环境质量的改善，生态环境质量逐渐达到饱和状态，想进一步提高生态建设的难度大大增加。但随着人们对生态环境重要

性的意识增强，生态环境将持续保持优良水平。

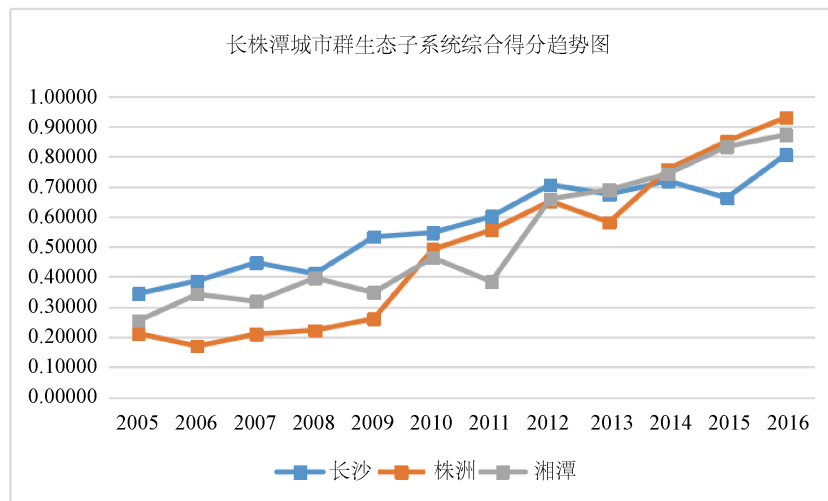


Figure 1. Trends of comprehensive score of the subsystem of the ecological subsystem of Changsha, Zhuzhou and Xiangtan urban agglomeration

图 1. 长株潭城市群生态子系统综合得分趋势图

5.2.2. 经济子系统综合评价指数分析

长株潭城市群经济发展系统的综合发展程度如下表 6 所示。长株潭三地经济发展系统内部主要呈明显上升趋势，经济发展稳中有进。2005 年长株潭三城市综合指数分别为：0.07074、0.04643、0.08535，而到了 2016 年，三个城市经济综合得分分别达到了 0.93408、0.95975、0.96521。12 年内，长株潭三城市经济得分年均增速分别达到了 7.2%、7.6%、7.3%，与同期 GDP 年均增速基本持平，经济综合得分由差提升至优异。

Table 6. Comprehensive evaluation index of economic subsystems of each city

表 6. 各城市经济子系统综合评价指数

年份	长沙	株洲	湘潭
2005	0.07074	0.04643	0.08535
2006	0.11438	0.07963	0.11339
2007	0.17325	0.12612	0.14198
2008	0.23628	0.20411	0.20552
2009	0.32020	0.28356	0.28081
2010	0.39942	0.35834	0.33875
2011	0.54263	0.50114	0.48576
2012	0.61219	0.62087	0.61654
2013	0.69207	0.70134	0.69717
2014	0.80209	0.79223	0.79919
2015	0.87402	0.87982	0.88536
2016	0.93408	0.95975	0.96521

图 2 反映了长株潭经济子系统综合评价指数的变化情况，由图中曲线可知，这三个地区波动平缓，总体呈上升趋势，而且增长幅度比较大。2007~2011 年，长沙的经济得分都要略高于株洲和湘潭，2011~2016 年，三个地区的得分基本重合，说明三者的经济发展情况差异不大。2005~2008 年，三者经济系统的综合指数都小于 0.3，说明此时三个城市的经济发展处于差的阶段；到了 2009 年，长沙率先跨入一般发展水平行列。2010~2011 年间，这阶段长株潭经济发展形势较好，都达到了一般发展水平。自此以后，长株潭城市群的经济水平逐步提升：2012~2013 年间，三个地区达到经济良好发展水平，2014 年以后，长株潭地区经济稳中有升，经济发展基本达到优异水平。

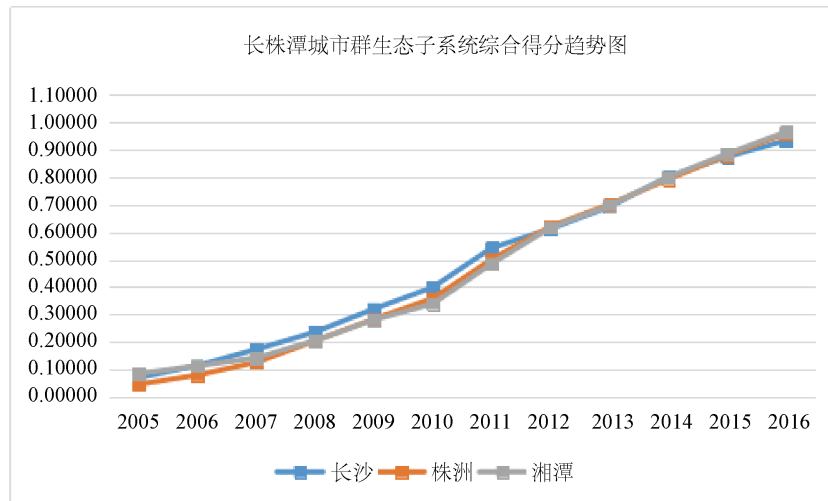


Figure 2. Trends of comprehensive scores of the economic subsystem of Changsha, Zhuzhou and Xiangtan urban agglomeration

图 2. 长株潭城市群经济子系统综合得分趋势图

5.3. 生态环境与经济发展系统耦合度和耦合发展度评价

5.3.1. 长沙市耦合度和耦合发展度分析

如下表 7 所示，通过表中的数据，我们可以得到，长沙市的生态环境与经济系统的耦合度在 2005 年处于较低水平耦合阶段，数值为 0.31947，说明两个系统之间的相似性很低，2010 年以后耦合度基本处于 0.9 以上，接近 1，波动幅度趋向平稳。

相比耦合度而言，耦合发展度的波动幅度要小一些，整体呈上升趋势 2005~2016 年间耦合类型从中度失调经济滞后型转变为优质耦合环境滞后型，系统呈现逐渐耦合发展的趋势。

根据图 3，2005~2016 年长沙市的生态子系统和经济子系统的耦合度变化比较明显，主要呈上升趋势，部分年份内也呈现出下降趋势。发展趋势在时间方面具有阶段性特征：2005~2008 年，生态与经济的耦合度有大幅度上升，2008 年的耦合度与 2005 年的耦合度相比，增加了 169%。2008~2012 年间，耦合度整体虽然还是呈上升趋势，但该阶段增幅远小于前一阶段。2012~2016 年，该阶段内长沙的生态和经济耦合度基本趋于平稳，接近 1，说明长沙市的生态环境和经济发展的相似性非常高。

从耦合发展度的波动趋势来看，长沙市的耦合发展度基本呈上升趋势，说明长沙市的生态子系统与经济子系统之间的相互促进作用强度越来越大。到 2016 年止，长沙的耦合发展度接近 1，说明两个系统相辅相成，相互促进对方的发展，也渐渐可以表明长沙在发展经济的同时，注意生态环境的保护：在保护生态环境的同时，也注意当地经济的发展。

Table 7. Analysis results of coupling degree and coupling development degree of Changsha City
表 7. 长沙市耦合度和耦合发展度分析结果

年份	耦合度	耦合等级	耦合发展度	Q 与 E 的关系	耦合发展类型
2005	0.31947	较低水平耦合	0.25757	$Q > E$	中度失调经济滞后型
2006	0.49581	中度水平耦合	0.35262	$Q > E$	轻度失调经济滞后型
2007	0.64807	较高水平耦合	0.44840	$Q > E$	濒临失调经济滞后型
2008	0.85977	高水平耦合	0.52743	$Q > E$	勉强耦合经济滞后型
2009	0.87929	高水平耦合	0.61253	$Q > E$	初级耦合经济滞后型
2010	0.95202	高水平耦合	0.67115	$Q > E$	初级耦合经济滞后型
2011	0.99486	高水平耦合	0.75411	$Q > E$	中级耦合经济滞后型
2012	0.98983	高水平耦合	0.80781	$Q > E$	良好耦合经济滞后型
2013	0.99965	高水平耦合	0.82633	$E > Q$	良好耦合环境滞后型
2014	0.99401	高水平耦合	0.86942	$E > Q$	良好耦合环境滞后型
2015	0.96238	高水平耦合	0.85980	$E > Q$	良好耦合环境滞后型
2016	0.98921	高水平耦合	0.92773	$E > Q$	优质耦合环境滞后型

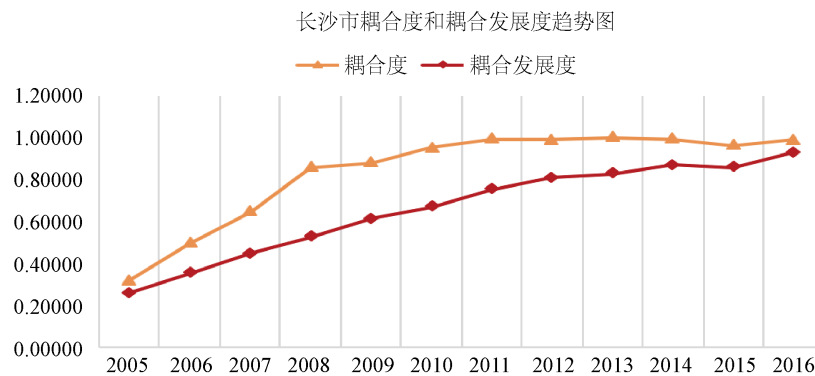


Figure 3. Trend diagram of coupling degree and coupling development degree in Changsha City

图 3. 长沙市耦合度和耦合发展度趋势图

从耦合发展类型来看, 2005~2007 年属于衰退型且存在经济滞后性, 说明经济的发展水平对耦合发展度有很大的影响, 造成这个现象主要是因为长株潭城市群 2005 年才开始成立, 前两年内生产力水平还没有迅速发展, 能源消耗量不大, 还没形成对生态环境有严重污染的工业产业, 因此对环境的利用程度和危害程度都不大。自 2013 年开始, 耦合类型逐渐变成优质耦合发展环境滞后型, 说明生态子系统和经济子系统的发展状态持续好转, 但经济的迅速发展对环境有制约作用, 会造成一定程度的危害。

5.3.2. 株洲市耦合度及耦合发展度分析

株洲市耦合度和耦合发展度数据如表 8 所示, 总体上看, 耦合度和耦合发展度保持着一个较为一致的变化趋势, 这说明生态环境和经济发展是有密不可分的关系。耦合度和耦合发展度分别从 2005 年的 0.34794 和 0.21196 上升到了 2016 年的 0.99946 和 0.97143, 耦合等级从较低水平耦合转变为高水平耦合, 耦合发展类型从中度失调经济滞后型转变为优质耦合环境滞后型。

Table 8. Analysis results of coupling degree and coupling development degree of Zhuzhou City
表 8. 株洲市耦合度和耦合发展度分析结果

年份	耦合度	耦合等级	耦合发展度	Q 与 E 的关系	耦合发展类型
2005	0.34794	较低水平耦合	0.21196	$E < Q$	中度失调经济滞后型
2006	0.75415	较高水平耦合	0.30699	$E < Q$	轻度失调经济滞后型
2007	0.87964	高水平耦合	0.38440	$E < Q$	轻度失调经济滞后型
2008	0.99602	高水平耦合	0.46129	$E < Q$	濒临失调经济滞后型
2009	0.99659	高水平耦合	0.52094	$E > Q$	勉强耦合环境滞后型
2010	0.95170	高水平耦合	0.63580	$E < Q$	初级耦合经济滞后型
2011	0.99468	高水平耦合	0.72498	$E < Q$	中级耦合经济滞后型
2012	0.99886	高水平耦合	0.79709	$E < Q$	中级耦合经济滞后型
2013	0.98258	高水平耦合	0.79383	$E > Q$	中级耦合环境滞后型
2014	0.99899	高水平耦合	0.87981	$E > Q$	良好耦合环境滞后型
2015	0.99943	高水平耦合	0.92990	$E > Q$	优质耦合环境滞后型
2016	0.99946	高水平耦合	0.97143	$E > Q$	优质耦合环境滞后型

2005~2012 年, 株洲市在耦合发展度类型上都属于经济滞后型, 而 2012~2016 年则为环境滞后型, 这说明, 在 2012 年之前, 株洲市在对生态环境治理方面做出了巨大的努力, 但在经济发展上仍然缺乏动力, 从而造成经济滞后。从耦合度类型上来看, 2005 年的中度失调转变到 2009 年的勉强耦合, 表明政府开始注重调整经济结构和环境建设, 但是经济需进一步发展。在 2009 年后, 经济与生态环境复合系统的发展渐渐趋向于优质耦合的状态, 但是经济的高速发展在一定程度上会对环境造成一定的危害, 从而出现环境滞后的情况, 应该在加大经济发展力度的同时, 积极开展生态环境建设, 确保株洲市经济和环境的可持续发展。

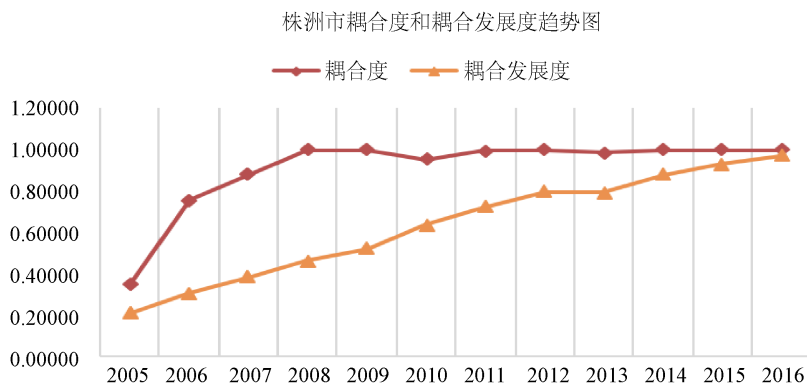


Figure 4. Trend diagram of coupling degree and coupling development degree of Zhuzhou City

图 4. 株洲市耦合度和耦合发展度趋势图

由图 4 可知, 株洲市的耦合度在 2005~2009 年有十分明显的上升趋势。分为两个阶段, 第一阶段为 2005~2009 年, 在这一阶段, 耦合度上升速度极快, 表明在这一阶段株洲市的经济和环境从不平衡状态快速转变为差异度较小的状态。第二阶段为 2009~2016 年, 在这期间, 株洲市的耦合度趋于平稳, 无太

大波动,说明株洲市的经济与生态环境复合系统已经处于比较良好的耦合性水平。12年里耦合发展度保持着持续增长的状态,从2005年的0.21196增长到2016年的0.97143,表明株洲市一直在向优质耦合的方向努力着。

5.3.3. 湘潭市耦合度及耦合发展度分析

表9为湘潭市2005~2016年耦合度和耦合发展度数据,由表中数据可得,湘潭市的经济和生态环境复合系统从2005年的中度水平耦合转变为2016年的高水平耦合,且在2012年耦合度就已达到0.99,往后几年保持在这一水平,无明显波动。

耦合发展度的增长幅度比耦合度大,为0.64583。耦合发展类型从轻度失调经济滞后型逐渐转变为优质耦合环境滞后型。系统在12年里完成了从轻度失调到优质耦合的过渡,已经达到了良好的水平。

Table 9. Analysis results of coupling degree and coupling development degree of Xiangtan City

表 9. 湘潭市耦合度和耦合发展度分析结果

年份	耦合度	耦合等级	耦合发展度	Q 与 E 的关系	耦合发展类型
2005	0.56587	中度水平耦合	0.31010	$E < Q$	轻度失调经济滞后型
2006	0.55908	中度水平耦合	0.35689	$E < Q$	轻度失调经济滞后型
2007	0.72701	较高水平耦合	0.40930	$E < Q$	濒临失调经济滞后型
2008	0.80902	高水平耦合	0.49343	$E < Q$	濒临失调经济滞后型
2009	0.97735	高水平耦合	0.55430	$E < Q$	勉强耦合经济滞后型
2010	0.95214	高水平耦合	0.61805	$E < Q$	初级耦合经济滞后型
2011	0.97312	高水平耦合	0.65073	$E > Q$	初级耦合环境滞后型
2012	0.99778	高水平耦合	0.79774	$E < Q$	中级耦合经济滞后型
2013	0.99994	高水平耦合	0.83264	$E > Q$	良好耦合环境滞后型
2014	0.99733	高水平耦合	0.87690	$E > Q$	良好耦合环境滞后型
2015	0.99812	高水平耦合	0.92597	$E > Q$	优质耦合环境滞后型
2016	0.99484	高水平耦合	0.95593	$E > Q$	优质耦合环境滞后型

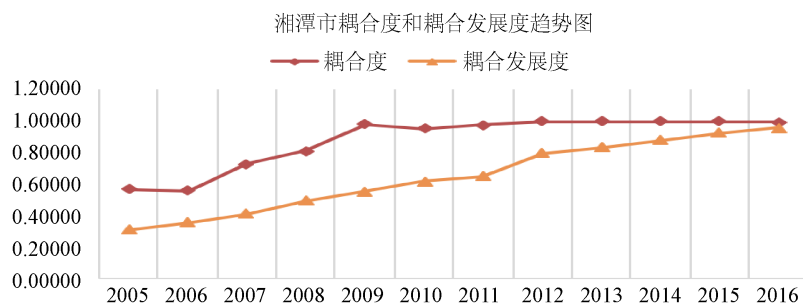


Figure 5. Xiangtan City coupling degree and coupling development trend chart

图 5. 湘潭市耦合度及耦合发展度趋势图

根据图5可知,2005~2009年湘潭市经济和生态环境复合系统的耦合度有较大的增长,从0.56587增长到0.99484;在2009年之后,趋于平稳,无较大波动。而耦合发展度在2005~2016年期间,保持持续增长,且增长幅度明显大于耦合度。

从耦合度的图像上分析,明显可以看出分为两个阶段:第一阶段为2005~2009年,在此期间,耦合度增长迅速,湘潭市的经济与生态环境系统从轻度失调转变为勉强耦合,这表明经济子系统与环境子系统发展状态越来越相似,但是并不是高水平的相似。第二阶段为2009~2016年,此阶段耦合度发展达到较高水平,无明显变化。在两个阶段中,耦合发展度一直保持着持续增长,这说明湘潭市在追求经济发展的同时也在注重对生态环境的保护,更加追求绿色经济增长。

6. 结论与建议

2005~2016年长株潭城市群的经济和生态环境复合系统处于高水平的耦合发展程度,其中长沙市的耦合发展程度最高,湘潭市和株洲市位列第二、第三位,但相差不大,耦合发展程度也为较好。从指标权重上分析,在生态子系统中,生态建设指标和生态治理指标的权数相对较大,对生态环境有明显的积极性影响;在经济子系统中,各个指标之间的权重相差不大,共同发挥着正面和负面作用。从综合指数上分析,长沙市经济发展和生态环境综合值最高,株洲市和湘潭市并驾齐驱,这表明长沙市作为湖南省的省会城市在城市群中处于首要地位,同时在平衡经济发展和生态环境建设上做得更加出色。长株潭城市群在湖南省经济发展中扮演着一个举足轻重的角色,随着长株潭城际轨道的顺利通车,城市群在一定程度上带动了周边城市的经济发展,其辐射作用显著,在促进了全湖南省的经济增长的同时,也给其他市州在生态环境建设上起了模范带头作用。长株潭城市群在保证经济平稳高速发展的同时,生态环境质量也一直处于十分良好的水平,其将打造“资源节约型”和“环境友好型”社会的发展目标正在一步一步变为现实。

参考文献

- [1] 王维. 长江经济带生态保护与经济发展耦合协调发展格局研究[J]. 湖北社会科学, 2018(1): 73-80.
- [2] 杨泓川, 陈松林. 福州市生态环境压力与经济脱钩耦合关系[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 278-285.
- [3] 董平. 西部地区生态环境与经济协调发展的协调发展研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- [4] 张浩. 生态与经济互动关系分析对生态经济耦合评价模型的应用[J]. 生态经济, 2016, 32(3): 70-74.
- [5] 向秀容, 潘韬, 吴绍洪, 刘卫东, 马丽, 王晓峰, 尹云鹤, 李静. 基于生态足迹的天山北坡经济带生态承载力评价与预测[J]. 地理研究, 2016, 35(5): 875-884.
- [6] Toba, A.-L. and Seck, M. (2016) Modeling Social, Economic, Technical & Environmental Components in an Energy System. *Procedia Computer Science*, **95**, 167-180. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.353>
- [7] Zhang, X.H., Wu, L.Q., Zhang, R., et al. (2013) Evaluating the Relationships among Economic Growth, Energy Consumption, Air Emissions and Air Environmental Protection Investment in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **18**, 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.029>
- [8] Murphy, J. and Gouldson, A. (2010) Environmental Policy and Industrial Innovation: Integrating Environment and Economy through Ecological Modernisation. *World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS)*, 285-289.
- [9] Price, J. and Keppo, I. (2017) Modelling to Generate Alternatives: A Technique to Explore Uncertainty in Energy-Environment-Economy Models. *Applied Energy*, **195**, 356-369. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.065>
- [10] 周琦. 生态环境保护与经济的关系研究——评《绿水青山新时代》[J]. 生态经济, 2019, 35(9): 230-231.
- [11] 王倩. 陕西汉江流域生态环境与经济耦合发展研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [12] 董平. 西部地区生态环境与经济协调发展的协调发展研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- [13] 郝俊康, 樊秋爽, 杨涵, 聂芳. 襄阳市城市化与生态环境协调发展现状——基于二者耦合度的研究[J]. 市场周刊, 2018(11): 84-86.
- [14] 蔡文静, 夏咏, 赵向豪. 西北5省区“生态环境——经济发展——城镇化”耦合协调发展及预测分析[J/OL]. 中国农业资源与区划: 1-8. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20190426.0836.004.html>, 2019-10-16.