

Comparative Study on the Coupling and Coordinated Development of Smart City Construction and Urban Ecological Environment ——Take Nanjing and Xi'an as Examples

Yuzhen Xue

Nanyang Technological University School of Public Administration, Singapore
S210109@ntu.edu.sg

ABSTRACT

In the process of urbanization, the rapid economic development inevitably brings environmental pressure, and the current problems of environmental destruction and ecological deterioration are becoming more and more prominent. "Smart City" relies on modern information technology, integrates resource advantages, and deeply integrates informatization, industrialization, and urbanization. Based on the coupling coordination degree model, this paper compares and analyzes the interaction and coupling relationship between smart city and ecological environment in Nanjing and Xi'an from 2010 to 2019 by constructing the comprehensive index of smart city and comprehensive index of urban ecology. The results show that there is an obvious coupling interaction between the smart city construction and the ecological environment system of the two cities. The coordination degree also gradually tends to be benign and high-quality with the development of the economy and the support of policies.

Keywords: smart city; ecological environment; coupling

智慧城市建设与城市生态环境耦合协调发展对比研究 ——以南京和西安为例

薛玉珍

南洋理工大学公共管理学院，新加坡
S210109@ntu.edu.sg

摘要

在城镇化进程中，经济的高速发展不可避免的带来了环境的压力，当前环境破坏、生态恶化等问题日益突出。“智慧城市”依托现代信息技术，整合资源优势，将信息化、工业化、城镇化深度融合。本文以耦合协调度模型为基准，通过构建智慧城市综合指数和城市生态综合指数指标体系，对南京市和西安市 2010-2019 年间的智慧城市与生态环境交互耦合作用关系进行对比分析。结果显示，两个城市的智慧城市建设与生态环境系统间存在明显的耦合互动关系，智慧城市建设系统与城市生态环境系统的协调度随着经济的发展、政策的支持逐步均逐步趋于良性、优质。

关键词: 智慧城市；生态环境；耦合

1. 引言与文献评述

2021 年 10 月 10 日，中共中央、国务院印发《国家标准化发展纲要》，明确指出，建立智能化城市基

础设施建设、运行、管理、服务等系列标准，研究制定新一代信息技术在城市基础设施规划建设、城市管理、应急处置等方面的应用标准，完善绿色发展标准化保障，持续优化生态系统建设。健全智慧城市标准，

推进城市可持续发展^[1]。

当前，在城镇化的进程中，城市人口的高度集聚、经济的快速发展与生态环境承载力之间的矛盾日益凸显，环境破坏、资源枯竭、生态恶化等问题日趋严重。因此，推动智慧城市建设、完善城市生态环境，有助于城市更优质、协调发展。

从已有文献来看，智慧城市建设吸引了国内外学者的广泛关注。Caragliu, A.^[2]等认为智慧城市与创新创业、对城市环境的质量和关注度、教育水平、公共管理中信息和通信技术的可及性和使用性呈正相关。牛文元^[3]提出当前我国智慧城市建设信息技术在基础设施建设中运用不足，缺乏宏观全局性。对城市生态环境的认识和研究也逐步深化，如吴琮^[4]等人在对生态理论和内涵详细分析的基础上，提出了全排列多边形图示指标评价方法，蒋艳灵^[5]通过系统梳理指出中国生态城市建设中主要存在于发展定位、区域环境影响、主体功能区划、规划管理四个方面。

学者们对智慧城市建设与生态环境关系研究的广度和深度也在不断扩展，从系统间单向的影响分析转向更高层次的耦合互动关系研究^[6, 7, 8, 9]，但现有研究侧重于对单个城市或同地区智慧建设与生态环境耦合关系演变过程的纵向研究^[10, 11]，缺少不同类型城市间的横向比较。

西安市和南京市同为国家智慧城市试点示范城市，且地理位置、产业结构存在较大差异。鉴于此，本文以南京市和西安市为研究对象，通过纵向的耦合关系演变过程研究和横向的对比研究，探求不同类型城市智慧建设和生态环境建设耦合的差别及原因。

2. 研究方法

2.1. 智慧城市建设与城市生态环境耦合协调发展的概念模型

如图 1 所示，智慧城市建设与生态环境系统间存在与物理耦合系统相类似的机制，智慧城市建设通过科技创新能够提升资源的利用效率，将城市的系统和服务打通、集成，同时城市的复杂运作也从各方面影响着智慧城市的建设；城市生态系统为城市复杂系统提供了保障，另一方面城市的整体建设一定程度上能够推动城市生态环境质量的提升。投入生态环境系统对智慧城市建设系统既有承载又有制约作用，而智慧城市建设的发展又促进并制衡生态环境系统的进一步改善。

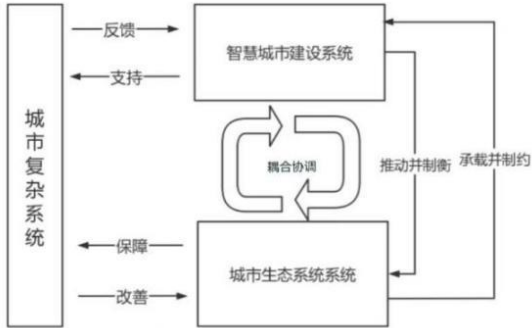


图 1 智慧城市建设与城市生态环境耦合协调发展的概念模型

2.2. 研究方法

2.2.1. 指标体系构建

智慧城市建设与城市生态环境在城市化过程中互相作用，较为复杂，为了使评价更加客观和准确，全面反映出两者的耦合协调水平，秉承科学性、完整性、系统性、可操作性的原则，结合南京及西安的具体情况，构建了智慧城市建设系统与生态环境建设复合系统评价指标体系（表 1）。

表 1 智慧城市建设与城市生态环境评价指标体系

目标系统	评价指标	单位	方向	南京权重	西安权重
智慧城市系统	科学技术支出占公共预算支出比重	%	+	0.0629	0.1415
	教育支出占 GDP 比重	%	+	0.1102	0.1088
	医院、卫生院床位数	张/万人	+	0.0750	0.0512
	信息传输、计算机服务和软件业从业人员数	万人	+	0.1141	0.1020
	国际互联网用户数占人口数比重	%	+	0.1267	0.0565
	公共图书馆藏书量	千册	+	0.1017	0.1091
	普通高等学校在校学生数	万人	+	0.0454	0.1283
	人均 GDP	万元	+	0.1003	0.0706

生态环境系统	第三产业增加值占 GDP 比重	%	+	0.1563	0.1383
	专利授权量	件/万人	+	0.1075	0.0938
	人均公共绿地面积	公顷/万人	+	0.1731	0.1410
	建成区绿化覆盖率	%	+	0.1840	0.0554
	全年环境空气质量达标天数	天	+	0.1283	0.1037
	可吸入颗粒物浓度年平均值	毫克/立方米	—	0.1014	0.0592
	区域环境噪声平均值	dB	—	0.0638	0.0730
	工业固体废物综合利用率	%	+	0.0600	0.0538
	生活垃圾无害化处理率	%	+	0.0830	0.2034
	污水处理率	%	+	0.0609	0.0909
	污染治理项目完成投资额	亿元	+	0.1455	0.2196

2.2.2 数据来源

本文研究数据主要来源于《西安市统计年鉴》(2011-2020)和《南京市统计年鉴》(2011-2020),个别年份有数据缺失采用插值法补齐,部分指标数据为计算后的后果。

2.2.3 智慧城市建设与生态环境建设指标

智慧城市建设系统和城市生态环境系统发展指数是对子系统发展程度的度量,也是复合系统耦合协调计算的基础。根据已有文献,学者普遍采用数学合成法、多元统计分析法、模糊综合分析法等综合评价模型。本文采用线性加权法进行测算,具体公式为:

$$u_i = \sum_{j=1}^m w_j \times T_{ij} \quad (1)$$

式中 u_i 表示智慧城市与生态化的综合评价值, w_j 表示第 n 个指标的权重。 T_{ij} 为对不同的指标分正向和负向标准化处理后的值。

鉴于权重 w_j 确定中主观赋权存在较多的不足^[12],本文采用熵值法来提高评价的全面性和客观性。

具体方法如下:

(1) 数据标准化处理:

$$\text{正向指标: } T_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} + 0.00001 \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } T_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} + 0.00001 \quad (3)$$

(2) 计算第 j 项指标的熵值 e_j :

$$e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n \frac{T_{ij}}{\sum_{i=1}^n T_{ij}} \ln \frac{T_{ij}}{\sum_{i=1}^n T_{ij}} \quad (4)$$

其中 $n=10$ 。

(3): 计算第 j 项指标的差异系数:

$$\lambda_j = 1 - e_j \quad (5)$$

(4): 计算第 n 个指标的权重:

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^m \lambda_j} \quad (6)$$

2.2.4 智慧城市建设与生态环境建设的耦合度指标

耦合度模型基于物理学容量耦合概念及容量耦合系数模型,旨在探究耦合系统的各子系统通过相互作用、相互影响、共同决定耦合系统演化的方向和进程。

耦合度 C 的计算公式:

$$C(u_1, u_2, \dots, u_n) = 2 \times \left[\frac{u_1 u_2 \cdots u_n}{\prod_{i < j} (u_i + u_j)^{\frac{2}{n-1}}} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

本文取 $n=2$ 。耦合互动性与 C 值正向相关,若 C 值减小,则智慧城市建设与城市生态环境系统间相互关联程度降低,耦合互动性出现衰退,向无序混乱方向发展;当 C 值增大时,表明系统间关联程度上升,耦合互动性增强,表现为良涌现状态。耦合度越高,表明各系统间要素配合越好,当 $C=1$ 时,智慧城市建设与生态环境系统实现良性共振,系统整体趋向有序结构。

$$D = \sqrt{C * T} \quad (8)$$

$$T = \beta_1 u_1 + \beta_2 u_2 \quad (9)$$

式中: D 为耦合协调度, T 为系统间综合协调指数, β_1 和 β_2 为待定系数且满足 $\beta_1 + \beta_2 = 1$ 。

本文认为智慧城市建设与生态环境建设在新型城镇化过程中同等重要,故 $\beta_1 = \beta_2 = 0.5$ 。

本研究中系统耦合度分级参照文章《金融体系与产业结构的耦合协调度分析——基于新结构经济学视角》^[13]中耦合度及耦合协调度的分级标准,并结合实际情况,将耦合度及耦合协调度评价标准以非等间距法划分为 5 个等级(如表 2 所示)。

表 2 耦合度及协调度划分标准表

耦合度	划分等级	耦合协调度	划分标准
$0 \leq C \leq 0.3$	低水平耦合阶段	$0 \leq D \leq 0.3$	高度失调
$0.3 < C \leq 0.5$	顽顽状态	$0.3 < D \leq 0.5$	中度失调
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合阶段	$0.5 < D \leq 0.8$	轻度失调
$0.8 < C < 1$	高水平耦合阶段	$0.8 < D < 1$	良好协调
$C=1$	良性趋向新的有序结构	$D=1$	优质协调

3. 南京市和西安市智慧城市建设与城市生态环境耦合协调关系的对比分析

3.1. 南京市和西安市智慧城市建设与城市生态环境复合系统评价指标体系对比

由表 1 可知,两个城市智慧城市建设和城市生态环境系统各评价指标的权重有所不同。具体来看,智慧城市系统中,南京市国际互联网用户数占人口数比重、人均 GDP 和第三产业增加值占 GDP 比重三个指标的权重相较西安较大,而西安科学技术支出占公共预算支出、普通高等学校在校学生数两个指标权重较大,原因在于西安拥有的省部属、军工科研院所较多,经费投入一直较多。生态环境系统中,南京市建成区绿化覆盖率、可吸入颗粒物浓度年平均值、生活垃圾无害化处理率权重较高,与南京市阴霾多雨的气候特征及城市治理有关。

对比智慧城市建设评价指数,如图 2 所示,2014 年之前南京整体低于西安,2014 年后南京反超西安且快速增长,主要在于 2013 年南京市政府印发创建国家级智慧城市试点示范工作方案的通知,大力支持和推动南京智慧城市建设,西安市智慧城市建设则呈波动上升趋势,且在 2014 年和 2017 年出现下滑,表明西安智慧城市建设系统存在薄弱和欠缺之处。

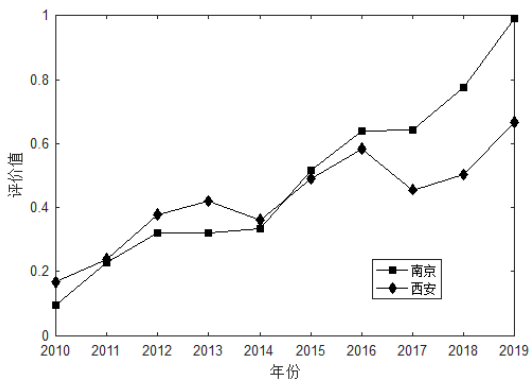


图 2 南京市和西安市智慧城市建设水平对比图

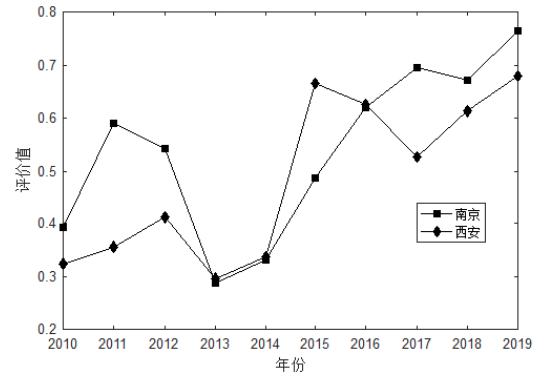


图 3 南京市和西安市生态环境建设水平对比图

从城市生态环境评价指标来看,西安市和南京市均波动较大。2013 年南京市城市生态环境评价指标从 0.54 下降到 0.29,下降幅度较大,主要在于当年南京市人口增速快于绿地面积增速,人均绿地面积有所下降(图 3)。

3.2. 智慧城市建设与城市生态环境耦合度及耦合协调度对比分析

根据计算结果可知:南京市智慧城市建设与城市生态环境耦合度在 2011 年耦合度较低,处于磨合阶段,2011 至 2012 年处于高水平阶段,此后 2013 年至 2019 年均保持较高的耦合度,并在 2014 年达到峰值,得益于 2013 年南京市发力推动智慧城市试点示范工作。相较于 2010 年,南京市 2019 年耦合度增幅为 24.6%,西安市耦合度增长较慢,增幅为 5.46%。

两座城市耦合协调度均呈上升趋势,协调等级由中度失调上升为良好协调,说明两个城市的智慧城市建设与生态环境系统间存在明显的耦合互动关系,智慧城市建设系统与城市生态环境系统的协调度随着经济的发展逐步趋于良性、优质。

表3 耦合度及耦合协调度对比

城市	南京			西安		
年份	耦合度指标 (C)	耦合协调度指标 (D)	评价标准	耦合度指标 (C)	耦合协调度指标 (D)	评价标准
2010	0.79577	0.44062	磨合趋于中度	0.94810	0.48229	高水平趋于中度
2011	0.89766	0.60614	高水平趋于轻度	0.98058	0.53950	高水平趋于轻度
2012	0.96687	0.64607	高水平趋于轻度	0.99908	0.62775	良性趋于轻度
2013	0.99853	0.55139	良性趋于轻度	0.98500	0.59363	高水平趋于轻度
2014	0.99999	0.57695	良性趋于轻度	0.99937	0.58999	良性趋于轻度
2015	0.99958	0.70884	良性趋于轻度	0.98875	0.75675	高水平趋于轻度
2016	0.99987	0.79420	良性趋于轻度	0.99944	0.77815	良性趋于轻度
2017	0.99928	0.81804	良性趋于良好	0.99744	0.70024	良性趋于轻度
2018	0.99744	0.84957	良性趋于良好	0.99529	0.74580	良性趋于轻度
2019	0.99164	0.93286	良性趋于良好	0.99996	0.82075	良性趋于良好

相较于西安，南京市耦合协调度指标增长明显，且上升势头较猛，西安则波动幅度更大，表明西安智慧城市建设系统和城市生态环境系统更容易受到外界和自身发展变化的影响而出现波动，南京智慧城市建设系统和城市生态环境系统处于快速发展期，且更为稳定。

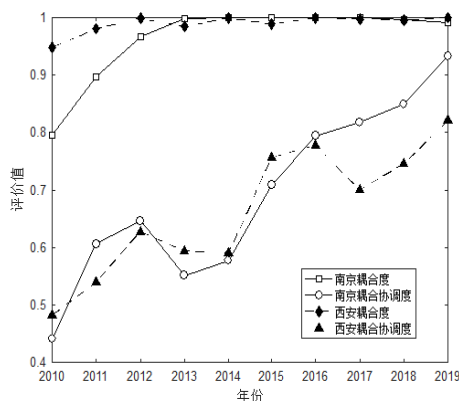


图4 南京市与西安市智慧城市建设-城市生态环境耦合协调对比图

4. 结论和启示

综上所述表明，通过构建耦合协调度模型，南京市和西安市两个城市的智慧城市建设与生态环境系统间存在明显的耦合互动关系，纵向来看，两个城市的智慧城市建设系统与城市生态环境系统的协调度均随着经济的发展、政策的推进逐步趋于良性、优质，横向对比来看，南京市智慧城市建设稳中求进，西安则呈现波动攀升的趋势，生态环境建设方面，受限于气候、水文特征等，西安市整体情况逊于南京市，表明城市产业结构、地理位置、区域环境等因素的差异是耦合关系形成的深层次基础，这些因素的差异也导

致两所城市各指标比重的不同。

同时，相较于西安市，南京市耦合协调度指标增长明显，且上升势头较猛，西安市则波动幅度更大，表明西安市智慧城市建设系统和城市生态环境系统更容易受到外界和自身发展变化的影响而出现波动，南京市则更成熟和稳定。

南京市和西安市作为智慧城市试点城市，有政府政策和资金的大力支持，在近年来也稳步前进，但目前来看，两所城市仍在智慧城市和生态环境建设方面仍任重道远。两所城市应不断加强技术研发和产业化应用，进一步促进转变经济发展方式，推动产业结构调整和优化升级，将信息技术科学合理的运用到城市建设中，推进城市经营的可持续化、低碳化、智能化。

REFERENCES

- [1] Spotlight on the national standardization development outline[J]. China Standardization, 2021(6): 22-31.
- [2] Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P. (2011) Smart Cities in Europe. Journal Of Urban Technology, 18:65-82.
- [3] NIU, W. Y. Smart Cities: Convergence of Urbanization and Informatization[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences. 2014(1):34-41.
- [4] WU Q., WANG R. S., et al. (2005) The indices and the evaluation method of eco-city. Acta Ecologica Sinica, 25(8):2090-2095.
- [5] JIANG, Y. L., LIU, C. L. (2015) Overview of theoretical research and practical consideration on eco-cities of China. Geographical Research, 34(12):2222-2237.

- [6] WU,Y.M., Zhang,Y. Analyzing Coupled Regional Economic Growth and Environmental Conservation in China. *Resources Science*, 2008(1):25-30.
- [7] LIU,Y.B.,LI,R.D.,SONG X.F.(2005) Analysis of Coupling Degrees of Urbanization and Ecological Enviroment in China.*Journal of Natural Resources*,20:105-112.
- [8] QIAO,B., Fang,C.L.(2005)The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica Sinica*,25:3003-3009.
- [9] WANG, S.J., FANG,C.L., WANG,Y. (2015) Quantitative investigation of the interacting coupling relationship between urbanization and eco-environment.J.*Acta Ecologica Sinica*,35(7): 2244-2254
- [10] Tong,P.S.,SHI,S.X.,Analysis on the Coupling and Coordination of Urban Ecology and Smart City Construction:Taking Xiamen as an Example[J]. *Ecological Economy*, 34(5):148-153.
- [11] ZHANG, Y., YANG, Q.Y., MIN, J. (2016) An analysis of coupling between the bearing capacity of the ecological environment and the quality of new urbanization in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*,71(5):817-828.
- [12] FU,L.L.,MAO, X.H.,et al.(2021)Evaluation of comprehensive grain production capacity in Zhejiang Province in 2013-2018.*Acta Agriculturae Zhejiangensis*,33(9) :1748 -1758.
- [13] ZENG,F.Q.,YE,D.Z.Analysis on the Coupling Effect between Financial System and Industrial Structure: Based on New Structural Economics[J].*Economic Review*,2017(3):134-147.