

城市生态化与智慧城市建设耦合协调评价分析 ——以厦门市为例

童佩珊, 施生旭

(福建农林大学 公共管理学院, 福建 福州 350002)

摘要: 文章评价了 2011—2015 年厦门市城市生态化与智慧城市耦合协调关系, 并对该区域城市生态化与智慧城市发展水平进行了 5 年预测分析。结果显示: (1) 整体上看, 厦门城市生态化与智慧城市两系统耦合协调度良好, 且城市生态化水平高于智慧城市建设水平, 5 年间两系统间的耦合协调度与耦合度差值日益缩小; (2) 相比 2011 年, 2012 年厦门市智慧城市与城市生态化建设耦合度及耦合协调度分别增幅 56.6% 和 58.7%, 耦合协调逐步趋于高水平协调; (3) 如果 2016—2020 年厦门市智慧城市与生态化两系统的综合评价指数延续 2011—2015 年稳步上升的发展态势, 2020 年比 2015 年增幅将达到 97.5%, 未来厦门市智慧城市生态化建设程度会愈发成熟。

关键词: 城市生态化; 智慧城市; 耦合协调度; 厦门市

中图分类号: F299.2; X321 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2018)05-148-06

Analysis on the Coupling and Coordination of Urban Ecology and Smart City Construction: Taking Xiamen as an Example

TONG Peishan, SHI Shengxu

(College of Public Administration, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China)

Abstract: This paper evaluates the coupling and coordinative relationship between urban ecology and smart city in Xiamen during 2011 to 2015. Furthermore, the paper also carried on a 5-year prediction and analysis on the development level of urban ecology and smart city in this region. The results showed: (1) On the whole, the urban ecology and smart city in Xiamen are well coupled and coordinated. The development level of urban ecology is higher than that of the smart city, and the difference of the coupling and coordinated degree and coupling degree between the two systems is narrowing during the five years. (2) Compared with that in 2011, the constructing coupling degree and coupling and coordinative degree of smart city and urban ecology in Xiamen have increased by 56.6% and 58.7% respectively in 2012. A high-level coupling coordination appeared gradually. (3) The comprehensive evaluation index of smart city and urban ecology of Xiamen during 2016 to 2020 continues to increase steadily, which will increase by 97.5% from 2015 to 2020. It can be seen that the ecological construction of smart city in Xiamen is increasingly mature in the future.

Key words: urban ecology; smart city; coupling and coordinative degree; Xiamen City

“十三五”期间, 生态文明建设与智慧城市是新型城镇化建设中的重要任务。在传统城镇化进程中, 城乡经济发展的不平衡使得城市人口高度集聚, 高速发展的经济与生态环境承载力之间的矛盾日益明显。城市作为一个人口密集区域, 面临着资源稀缺、环境破坏、生态环境日趋恶化等问题。因此, 建设新型示范智慧城市与提高环境承载力是我国当前发展智慧生态城市的必然趋势。党的十九大在关于生态文明和智慧城市建设问题上分别指出, 我国未来应基于绿色低碳、便捷高效、快速响应等理念, 加快生态文明体制改革与智慧城市生态

化建设; 在新一代信息技术的支撑下, 建设绿色智慧城市, 发挥环境信息化在我国环境管理创新中的基础性作用; 同时大力发展新型农业、工业、服务业等, 实现经济、社会、自然的协调发展, 推动新型城镇化的战略实施和经济社会的可持续发展。

1 文献述评

在新型城镇化发展过程中, 绿色生态发展与智慧城市是当前城镇化转型的重要战略举措。绿色生态建设是构建资源节约型与环境友好型社会的基础。智慧城

基金项目: 福建省自然科学基金项目“福建省民族地区城镇化与生态环境耦合协调治理研究”(2017J01787); 福建省科协科技思想库研究重点项目“公众参与福建省城市生态文明建设机制研究”(FJKX-A1616); 福建农林大学社会科学类国家级科研项目培育计划资助计划“生态城市治理评估指标体系构建与实证研究”(xpy201610)

第一作者简介: 童佩珊(1995—), 女, 安徽安庆人, 硕士生, 研究方向为公共政策。E-mail: 739416795@qq.com

通讯作者简介: 施生旭(1981—), 男, 福建大田人, 博士, 副教授, 硕导, 研究方向为生态治理与公共政策。E-mail: fzdxxsx@163.com

市建设有助于推动经济社会的高速协调发展。智慧生态城市是智能城市、数字城市与生态化城市的高级产物，是信息化、城镇化、生态化的融合。随着智慧城市与生态化建设在新型城镇化中地位及作用的凸显，国内外学者们对智慧城市建设与城市生态化建设进行了深入研究。主要从智慧城市概念的提出、智慧城市中信息技术的运用、智慧城市评价指标体系的构建及智慧城市生态化建设 4 个方面展开。智慧城市概念始于智能城市概念的提出，智能城市是一个安全、环保、绿色、高效的生态城市，欧洲商业协会通过构建 BNL 智能技术实验平台实现对未来智慧城市的构想。IBM 公司在 2008 年正式提出了智慧城市的概念，由此智慧城市概念得到极大宣传并逐步完善。2012 年国内推出首批智慧城市试点名单，2014 年各部委共同印发了《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》，确保与促进了国内智慧城市的健康有序发展。韩国和新加坡基于智慧城市的概念分别构建了“U City 计划”和“智慧国计划”。学者们对智慧城市概念描述不尽相同，但总体表述均涉及主体参与技术水平在城市可持续发展中的重要性。信息化应用是智慧城市建设的重要内容之一，Agirre & Rigau^[1]认为借助信息和通信技术(ICT)可进行智慧城市环境监测。Hall 等^[2]提出“智慧视野”可用于考察智慧城市中经济、社会、生态之间的协调关系。Kim 等^[3]构建了用于测量智慧城市建设中能量使用情况的技术监控模型。Angelidou^[4]提出智慧城市中“人”的重要性，通过对比分析得出主体的参与度与信息化水平决定智慧城市的建设效果。国外学者对智慧城市的研究大多以技术创新与信息化在基础设施建设中的应用为主。国内学者们则注重于将智慧城市与我国国情相结合，选取某一视角构建指标体系分析总结影响智慧城市建设的关键因素。牛文元^[5]对比国内外智慧城市建设后指出，我国智慧城市建设最大问题在于顶层设计缺乏宏观全局性，其总体框架不完善，信息技术在基础设施建设中运用不足。房毓菲和单志广^[6]也认为在智慧城市建设中完善顶层设计可以有效弥补城市功能的失效。张协奎等^[7]基于智慧城市概念视角选取了智慧管理、智慧服务、智慧经济等 6 个指标对 147 个智慧城市进行实证分析，结果显示政治支持、主体支持与技术支持同等重要。赵蜀蓉等^[8]认为智慧城市的核心是建设服务型政府，在城市现有信息基础上建立高效、智能的现代化管理模式。王理达等^[9]基于 SMART 理论构建了智慧管理、服务、准备三维模型，分析指出 SMART 理论模型是智慧城市可持续发展与健康提升的指导路径。刘士林等^[10]认为智慧城市建设应遵循“五位一体”的发展

理念，将理念贯穿运用于城市基础设施建设、生态环境、城市规划等多个方面。在智慧城市发展中，城市的生态化水平影响着智慧城市的建设进程，然而在传统城市化中，生态环境日渐恶化问题是阻碍城市可持续发展的关键因子。李剑玲^[11]认为生态城市建设是解决城镇化资源、环境与人口等压力问题的重要对策。王金南等^[12]进一步指出严格把握资源环境生态红线对建成绿色生态型城市的重要性。李虹和张希源^[13]认为科技创新在生态建设中同等重要，科技创新也是智慧城市未来发展的关键指标。许正中^[14]通过构建智慧城市评价体系指出我国应建设高起点现代化城市与低碳型智慧城市。

国内外学者结合各自国情对智慧城市及城市生态化情况分别进行了实践探索与理论研究，取得了显著的成果。但是相关学者们对智慧城市与城市生态化的研究仍存在不足。首先，对智慧城市的研究多以信息化与科技创新为主，较少研究生态化与智慧城市建设的相关性。其次，对城市生态化的评价研究多以城市化指标体系为载体，没有分别对应智慧城市与生态化概念构建指标，忽视了生态原则和生态化建设在智慧城市建设中的重要性。随着十九大中“新型城镇化”建设的再次提出，智慧城市与城市生态化建设成为新型城镇化建设中的重要任务。本文根据新型城镇化建设中关于“智慧城市”与“生态文明”发展的意见建议，以厦门为例，构建 2011—2015 年生态化与智慧城市评价指标体系，利用耦合协调模型对智慧城市与城市生态化进行协调度分析，运用灰色 GM(1, 1) 模型对 2016—2020 年智慧城市生态化水平进行预测分析，以期揭示当前厦门智慧城市与城市生态化建设发展趋势。

2 研究方法过程

2.1 基于SOP-PSR的智慧城市及生态化评价指标体系构建

2.1.1 SOP-PSR的概念模型

PSR 模型是因果概念模型，早在 1979 年加拿大统计学家就将因果链框架与压力—响应框架结合组建成数学矩阵。随后经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)构建出压力—状态—响应架构。世界资源研究院(WRI)、欧洲环境署(EEA)等组织机构通常会将依据环境主体、客体、问题等要素选取分类指标用于报告环境绩效。Lundberg 等^[15]认为 PSR 模型展现出的指标分别表征人类活动中对环境造成的压力、资源环境生态状况及社会对环境进行改造时状态的反映。在 PSR 模型中，压力子系统表征人类在获取自然资源的同时向生态环境排放各种废弃物，造成了环境承载力负荷。

状态子系统表征基于特定时间内生态环境状态的变化情况。响应子系统表征自然界对人类活动产生的污染进行自净后,人类为提高环境承载力和改善生态环境做出的一系列补救响应措施。

SOP 模型简称标准操作程序,是对操作程序中的关键点进行细化与量化从而达到效果最优化。本文智慧城市指标体系的构建基于 SOP (主体—对象—过程)模型,分别选取 17 个指标。其中主体为智慧城市产业投入方,对象为智慧城市产业支撑力量,过程为智慧城市建设过程及产业产出结果效益。

2.1.2 指标体系构建与选取

智慧城市建设与城市生态化水平在新型城镇化建设中相辅相成,其两大指标系统内部复杂,涉及主体多样。为了使评价能够客观、全面地反映出智慧城市与城市生态化的耦合协调水平,本文在构建指标体系时遵循科学性、完整性、系统性、可量化、可查询性等原则,依据 PSR 和 SOP 模型分别构建了生态化和智慧城市指标体系。在智慧城市与城市生态化耦合交互作用中,智慧城市的发展即主体活动是最积极主动的方面,主体的活动包括各类产业的发展、对资源的利用率和对社会的贡献率。本文基于 SOP 模型,选取了智慧城市建设中的智慧产业投入、智慧产业支撑与智慧产业产出 3 项二级指标和 17 项三级指标并依次标码。产业投入以政府为主,如医疗卫生支出占财政支出比重、教育支出占财政支出比重等;产业支撑主要体现在高校与科研层面,如在校研究生数量、公共图书馆数量等;产业产出主要反映主体在建设智慧城市过程中取得的成效,如人均 GDP、专利授权量等。“十三五”规划指出新型城镇化建设中城市生态化与智慧化是未来城市可持续发展的基础,城市生态化水平依托于智慧城市的建设程度,城市生态化建设过程中对主体活动存在限制作用,对环境响应举措具有一定的要求,如资源、空气质量、废弃物产生量、污水处理率、工业废弃物利用率等。本文依据 PSR 模型构建了城市生态化的指标体系,根据新型城镇化建设中有关生态文明建设的意见建议选取了 9 项三级指标并依次标上代码,分别对应状态—压力—响应三大子系统(表 1)。

2.2 评价指标权重的确定

2.2.1 无量纲方法的选择

考虑到各项指标的数据性质有所不同,统计计量的单位也有所不同,为了得到较为客观的权重,本文指标的客观权重采用熵值法进行计算,其公式为:

$$\text{当指标为正向指标时: } X_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}};$$

表1 城市生态化与智慧城市评价指标体系

准则层	要素层	指标层	指标代码	权重
智慧城市	产业投入 S	医疗卫生支出占财政支出比重 / %	S ₁	0.038 6
		第三产业占 GDP 比重 / %	S ₂	0.038 6
		R&D 支出占 GDP 比重 / %	S ₃	0.037 3
		科学技术支出占财政支出比重 / %	S ₄	0.038 1
		教育支出占财政支出比重 / %	S ₅	0.039 5
	产业支撑 O	互联网用户数 / 万户	O ₁	0.038 5
		公共图书馆数量 / 座	O ₂	0.038 6
		在校研究生数量 / 人	O ₃	0.038 5
		每千人拥有卫生机构床位数 / 张	O ₄	0.038 6
		每千人拥有卫生技术人员数 / 人	O ₅	0.038 4
		城镇居民医疗保险参保人数 / 人	O ₆	0.037 5
	产业产出 P	专利授权量 / 件	P ₁	0.038 5
		GDP 增长率 / %	P ₂	0.038 5
		人均 GDP / 元	P ₃	0.039 6
		公交车年末实有量 / 辆	P ₄	0.038 4
		BRT 线路 / 条	P ₅	0.038 2
	生态化	环境状态 P	高速公路总里程 / 千米	P ₆
建成区绿化覆盖率 / %			P ₇	0.038 6
空气质量优良率 / %			P ₈	0.037 7
环境响应 S		人均公园绿地面积 / 平方米	P ₉	0.038 6
		生活垃圾无害化处理率 / %	S ₆	0.038 6
		污水集中处理率 / %	S ₇	0.038 5
环境压力 R		工业固体废弃物综合利用率 / %	S ₈	0.038 5
		区域环境噪声平均值 / 分贝	R ₁	0.038 3
		单位 GDP 工业废水排放量 / (万吨 / 万元)	R ₂	0.038 6
		单位 GDP 工业固体废弃物产生量 / (万吨 / 万元)	R ₃	0.038 5

$$\text{当指标为负向指标时: } X_{ij} = \frac{X_j^{\max} - X_{ij}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}};$$

$$\text{当指标为适中指标时: } X_{ij} = \frac{|X_{ij} - d_i|}{\max |X_{ij} - d_i|}.$$

2.2.2 熵值法权重的确定

熵值法是一种客观赋权法,首先利用熵计算出各指标的熵权,再通过熵修正各指标中不合理的权重,从而得出较为客观的指标权重。其具体步骤如下:

(1)一些指标数值标准化处理后进行平移处理: $X_{ij} = H + X'_{ij}$, 其中 H 为指标平移的幅度,一般取 1。

(2)第 n 个指标的差异系数为: $g_j = 1 - e_j$ 。

(3)第 n 个指标的权重为: $\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$ 。

2.2.3 综合评价指标确定

从现有文献来看,综合评价模型方法大致包括常规多指标的数学合成法、多元统计分析法、模糊综合分析法等三大类。本文运用合成法中的线形加权综合得分法得出智慧城市与城市生态化的综合得分为: $S = \sum_{j=1}^n W_j^* X'_{ij}$, 式中 S 表示智慧城市与生态化的综合评价价值。

2.2.4 耦合协调度计算

(1)耦合度模型。耦合度的提出是基于物理学概念,表示两个或两个以上的系统或运动方式之间相互作用、相互影响的关系。本文结合厦门市耦合度及耦合协调度实际情况,并参考学者们^[16-17]已有的划分标准,以非等

间距法将耦合度与耦合协调度评价标准划分为5个等级(如表2所示)。当各系统要素之间协调配合较好时,耦合度水平较高,反之较低。其步骤如下:

①运用线性综合加权法计算出智慧城市一生态文明综合评价指数:

$$U = \sum_{i=1}^m W_{ij} (U_i = E_i, H_i) \quad (1)$$

式中: E_i 、 H_i 分别为生态子系统与智慧城市子系统评价; W_{ij} 表示权重。

②借助耦合协调度模型,得到生态—智慧城市两系统耦合度公式:

$$C = \left[\frac{S_1 \times S_2}{\left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right)^2} \right]^k \quad (2)$$

式中: C 为耦合度,当 $C=1$ 时,表明子系统处于最佳耦合状态, $C=0$ 时,表明系统内部要素朝无序发展。

(2)耦合协调度模型。耦合协调度可反映出各系统间的协调水平,是对耦合度分析的深化,其公式为:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (T = \alpha \times S_1 + \beta \times S_2) \quad (3)$$

式中: D 为耦合协调度, T 为系统间综合协调指数, α 、 β 为待定系数且 $\alpha + \beta = 1$ 。

表2 耦合度及协调度划分标准

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
$0.3 < C \leq 0.5$	顽硬状态	$0.3 < D \leq 0.5$	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

2.2.5 灰色GM(1,1)模型

灰色预测模型以微分方程为描述形式,揭示灰色信息系统发展的连续过程,并充分利用原始数据序列的有序性及有界性,注重揭示数据集合所具备的潜在规律。本文采用数列预测,即基于2011—2015年智慧城市与生态化综合评价测算结果,对2016—2020年综合评价的发展变化情况进行定量预测,其预测结果是该值在未来各时刻的具体数值及变化趋势。其步骤如下:

(1)设原始序列: $x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$, 在建立灰色预测模型前,采用1-AGO对原始数据进行预处理: $x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)] = [x^{(0)}(1), x^{(1)}(1) + x^{(0)}(2), \dots, x^{(1)}(n-1) + x^{(0)}(n)]$ 。

(2)GM(1,1)模型是由一个包含单变量的一阶微分方程构成的动态模型: $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = bz^{(1)}(k) = z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \dots, z^{(1)}(n); k=2, 3, \dots, n$ 。

上述第2步中的动态模型的白化方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (4)$$

式中: a 称为发展灰数, b 称为内生控制灰数,有效区间是 $(-2, 2)$ 。

$$\hat{a} = (a, b)^T = (B^T B^{-1}) B^T Y_n$$

$$B = \begin{pmatrix} -1/2[x^{(1)} + x^{(1)}(2)], 1 \\ -1/2[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)], 1 \\ \vdots \\ -1/2[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)], 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中: $Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$ 。

(3)确定GM(1,1)的响应序列:

$$\hat{x}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (6)$$

(4)求出 X^{-1} 的模拟值:

$$\hat{x}^{(1)} = [\hat{x}^1(1), \hat{x}^1(2), \dots, \hat{x}^1(n)]$$

$$= [x^{(0)}(1), x^{(1)}(1) + x^{(0)}(2), \dots, x^{(1)}(n-1) + x^{(0)}(n)] \quad (7)$$

还原模拟值: $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$ 。

(5)为确保所建灰色模型有较高的预测精度和可信程度,需进行后验差检验,求出原始数据方差 S_1^2 、残差方差 S_2^2 及其均方差比值 C 和小误差概率 P :

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2 \quad (8)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [e^{(0)}(k) - \bar{e}]^2 \quad (9)$$

$C = S_2 / S_1$, $P = p\{e^{(0)}(k) - \bar{e} < 0.6745S_1\}$; 令 $\xi_k = |e^{(0)}(k) - \bar{e}|$, $S_0 = 0.6745S_1$, 则 $P = p\{\xi_k < S_0\}$ 。

(6)经计算得出后验差比: $C=0.15218$, 由于 $C \leq 0.35$, 且 $P=1$, 则此模型精度为好。发展系数 $a=-0.24463$, 灰作用量 $u=0.10593$, 由于 $-a < 0.3$, 则适用于中长期预测,表3为模型精度等级表。

表3 模型精度等级评判标准

精度等级	P	C
好	> 0.95	< 0.35
勉强	> 0.8	< 0.5
合格	> 0.7	< 0.65
不及格	< 0.7	> 0.65

(7)分别计算出 $x^{(0)}(k)$ 与 $\hat{x}^{(0)}(k)$ 的残差序列 $e^{(0)}(k)$ 、绝对误差和相对误差(表4)。

表4 残差检验

年份	原始值	预测值	绝对误差	相对误差
2011	0.0214	0.0214	0	0
2012	0.1298	0.1259	0.0039	0.0299
2013	0.1448	0.1608	-0.0161	-0.1109
2014	0.2277	0.2054	0.0223	0.0979
2015	0.2570	0.2623	-0.0053	-0.0207

3 厦门智慧城市建设与生态文明建设的耦合协调发展实证分析

3.1 厦门智慧城市建设与生态文明建设综合评价

根据上述研究方法,本文对厦门市智慧城市与城市

生态化建设进行了综合指数测算, 结果显示: 2011—2015 年厦门市生态化与智慧城市发展水平均呈现稳步上升趋势, 其中生态建设在 4 年间发展水平较高。图 1 显示可知, 智慧城市建设程度从 2011 年的 0.0397 上升到 2015 年的 0.7991, 总体上升 95.03%。厦门市智慧城市建设 4 年间, 2012 年同比涨幅最大, 约为 86.82%, 2013 年幅度较小, 随后保持理想化发展状态。我国智慧城市建设在“十二五”规划期间拟订, 厦门市作为中国的经济特区、东南沿海的中心城市于 2012 年入选首批智慧城市名单。2014 年国家出台了《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》, 拟在 2020 年将厦门市建成特色智慧城市, 发挥厦门市在东南沿海的辐射作用。同年 4 月福建省政府颁布了《关于数字福建智慧城市建设的指导意见》, 同时厦门市成为 2014 年“宽带中国”建设的两大示范城市(群)之一, 厦门市同年 12 月获首批国家信息消费试点城市, 该项目包括智慧教育、智慧医疗、智慧交通、智慧物流等板块。在智慧城市建设发展中, 厦门市生态化建设呈现稳步上升态势, 且 5 年间均优于智慧城市建设水平, 2015 年生态化程度高于智慧建设 0.92%。其中, 环境状态系统水平较高, 环境压力系统相比较差, 单位 GDP 工业废水排放量与单位 GDP 工业固体废弃物产生量分别下降了 46.8% 与 26.1%, 综合评价价值 2012 年较 2011 年上升了 86.83%, 总体变浮 95.03%, 由此可见厦门市生态化发展效果良好。厦门市政府于 2012 年 5 月开始对创建生态城市进行了全面部署, 在 2013 年 4 月通过了《厦门生态市建设规划实施纲要》。近几年来, 厦门市始终遵循“生态立市”的观点, 把经济建设、政治建设、文化建设和社会建设与生态建设有机融合。十九大中指出智慧城市应做到生态化与城市化建设共同升级, 彼此融合。以上方案的颁布与实施积极有效促使了厦门市智慧城市生态化建设步入新常态。

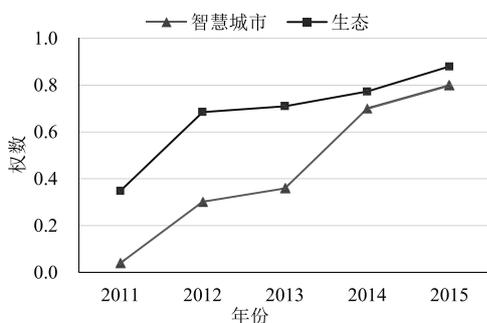


图1 2011—2015年综合评价价值

3.2 智慧城市建设与生态文明建设耦合度及耦合协调度

耦合度及耦合协调度计算结果显示: 厦门市智慧城市建设与生态化建设水平耦合度及耦合协调度在

2012 年后基本处于高水平, 趋于中度协调阶段, 2012 年较 2011 年耦合度与耦合协调度增幅分别为 56.6% 和 58.72%。2015 年较 2011 年耦合协调水平上升了 70.81%。横比耦合度及耦合协调程度发现, 耦合度水平一直略高于耦合协调度, 2011—2014 年差值在 0.2 左右, 2014 与 2015 年逐渐缩小至 0.1 以内, 由此可知城市生态化程度与智慧城市耦合度始终处于正相关, 而耦合协调度会随着国家政策的变化与经济的发展逐渐趋于良好、优质。综上数据的变化表明: 2011 年智慧城市生态化建设水平较低, 2012 年后厦门市智慧城市生态化建设水平稳固并趋于良好, 这得益于国家对厦门市的政策资金支持, 同时与厦门市政府、企业、科研机构等相关主体做出的努力密不可分(表 5、图 2)。

表5 耦合度及耦合协调度

年份	耦合度 C	耦合协调度 D	评价标准
2011	0.368 1	0.267 1	颇顽趋于高度阶段
2012	0.849 1	0.647 1	高水平趋于中度
2013	0.892 2	0.690 6	高水平趋于中度
2014	0.997 6	0.857 3	良性趋于轻度
2015	0.997 7	0.915 1	良性趋于轻度

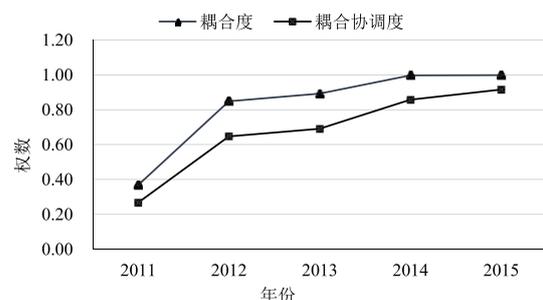


图2 耦合度及耦合协调度

3.3 基于灰色GM(1, 1)模型的生态文明与智慧城市建设预测分析

基于灰色 GM(1, 1) 预测模型, 选取 2011—2015 年厦门市城市生态化与智慧城市两系统的综合评价价值为分析数据, 将预测参数设置为残差数列类型, 预测时间长度为 5 年, 残差重复建模次数为 3 (表 6、图 3)。

结果显示, 厦门市生态化建设与智慧城市建设综合评价指数未来 5 年发展态势将大致延续 2011—2015 年的变化特征, 并有望在 2020 年建成智慧生态城市, 未来厦门市智慧城市的高水平发展将得益于《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》《中国制造 2025》等指导意见, 并将其作为行动指南。由此可见, 厦门市智慧生态城市建设潜力不可估量。

表6 基于2011—2015年综合评价价值的灰色预测值

年份	2016	2017	2018	2019	2020
预测值	0.335 1	0.427 9	0.546 5	0.698 0	0.891 4

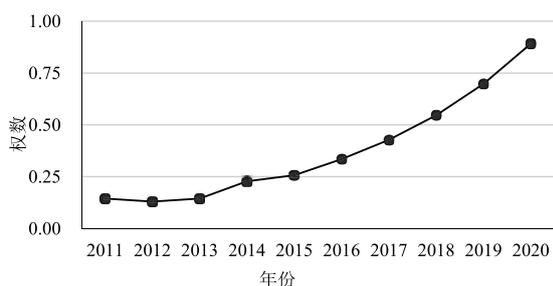


图3 2016—2020年综合评价预测趋势

4 结论与展望

综上所述表明, 2011年厦门市智慧城市与城市生态化建设水平较低, 从指标权重来看, 厦门市智慧城市建设中高新技术水平与交通建设方面相比其他产业较弱, R&D支出占GDP比重在2011—2013年均低于1, 公共交通设备拥有量达不到智慧城市交通水平。从综合评价指数来看, 2012—2015年, 厦门市智慧城市与城市生态化建设呈良性发展, 综合评价指数保持稳步上升, 耦合协调度较高, 说明智慧城市与城市生态化子系统总体上发展良好。但从历年数据来看, 4年间的耦合度值均高于耦合协调度值, 2012与2013年耦合协调度低耦合度0.2%, 2014—2015年, 耦合协调度与耦合度之间差值幅度逐渐缩小至0.02%, 表明生态化建设与智慧城市之间相互作用力与相互影响力较大, 虽然协调度相较不平衡, 但整体上逐年趋于良好。厦门市智慧城市与城市生态化建设在协调发展中虽面临挑战, 但在智慧城市发展中, 厦门市始终遵循生态理念, 通过创新开发模式, 并引入信息科技及生态创新等技术, 将智慧城市打造成生态化的新型智慧城市。从指标数据来看, 厦门市智慧城市建设中智能通信、智能交通的覆盖加速了智能城市的发展进程, 同时智能技术在生态治理方面的应用提高了环境治理效率, 4年间工业固体废弃物产生量与废水排放量累积均有64.2%左右的降幅, 环境治理效率水平日趋提高。从2015—2020年预测综合指数结果来看, 智慧城市与城市生态化建设水平同步提升, 智慧城市既是智能化城市, 也是生态发展型智能城市, 同时厦门市有望在2020年建设成为我国第一批成功试点的智慧城市。

厦门市作为生态文明示范城市与智慧城市试点城市, 拥有有力的政策、资金支持, 但各主体在科技建设、智慧城市生态化建设方面仍旧任重道远。根据上述分析结果可知, 厦门市在生态化、智能化、城市化建设方面还需努力, 例如从低碳经济的视角实现城市经营的可持续化, 从生态化角度出发致力于建成环境无害化技术与

环保型实体, 借助信息化技术科学合理的统筹安排城市建设, 科学高效地估算城市资源环境承载能力, 适当调整产业结构、数量与布局, 引导相关企业使用清洁能源、绿色生产技术, 并开发生态产品, 提高资源的利用率, 实现城市经济低碳化发展。■

参考文献:

- [1] Agirre E, Rigau G. A proposal for word sense disambiguation using conceptual distance [J]. *Computer Science*, 1995, 10(1): 649-654.
- [2] Hall R E, Bowerman B, Braverman J, et al. The vision of a smart city [Z]. New York: Office of Scientific & Technical Information Technical Reports, 2000.
- [3] Kim S A, Shin D, Choe Y, et al. Integrated energy monitoring and visualization system for smart green city development: Designing a spatial information integrated energy monitoring model in the context of massive data management on a web based platform [J]. *Automation in Construction*, 2012, 22(22): 51-59.
- [4] Angelidou M. Smart city policies: A spatial approach [J]. *Cities*, 2014, 41(1): 3-11.
- [5] 牛文元. 智慧城市是新型城镇化的动力标志[J]. *中国科学院院刊*, 2014(1): 34-41.
- [6] 房毓菲, 单志广. 智慧城市顶层设计方法研究及启示[J]. *电子政务*, 2017(2): 75-85.
- [7] 张协奎, 乔冠宇, 徐筱越, 等. 西部地区智慧城市建设影响因素研究[J]. *生态经济*, 2016(7): 110-115.
- [8] 赵蜀蓉, 汤志伟, 徐维焯. 智慧城市发展的机遇、挑战与创新——2016年智慧城市国际论坛会议综述[J]. *中国行政管理*, 2016(12): 150-151.
- [9] 王理达, 王芳, 张少彤. 基于SMART模型的智慧城市综合评估框架[J]. *电子政务*, 2013(4): 18-23.
- [10] 刘士林, 马娜, 赵思雨. 标准化视角下智慧城市建设面临的问题及发展路径[J]. *上海交通大学学报*, 2015(8): 1231-1236.
- [11] 李剑玲, 赵进, 潘月杰, 等. 生态城市评价研究与启示[J]. *生态经济*, 2017(7): 226-231.
- [12] 王金南, 许开鹏, 王晶晶, 等. 国家“十三五”资源环境生态红线框架设计[J]. *环境保护*, 2016(8): 22-25.
- [13] 李虹, 张希源. 区域生态创新协同度及其影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016(6): 43-51.
- [14] 许正中. 智慧城市是建设生态文明的主载体[J]. *理论视野*, 2014(3): 30-33.
- [15] Lundberg K, Balfors B, Folkesson L. Framework for environmental performance measurement in a Swedish public sector organization [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(11): 1017-1024.
- [16] 曾繁清, 叶德珠. 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[J]. *经济评论*, 2017(3): 134-147.
- [17] 叶金珠, 陈倬. 食品安全突发事件及其社会影响——基于耦合协调度模型的研究[J]. *统计与信息论坛*, 2017(12): 72-77.

(责任编辑: 王昱)