

智慧城市的绿色发展路径研究

曾 恒^{1,2} 王 骞¹ 孙 玥³

1. 湖北大学商学院, 中国·湖北 武汉 430062

2. 湖北开放经济研究中心, 中国·湖北 武汉 430062

3. 华侨城中部集团有限公司, 中国·湖北 武汉 430070

【摘 要】为探究智慧城市建设对碳生产率的影响机制, 本文基于智慧城市系统观的内涵构建智慧城市评价指标体系, 以中国35个重点城市为案例, 采用fsQCA方法, 从组态视角分析智慧城市水平驱动碳生产率提升机制与实现路径。研究发现: 必要性分析表明单一智慧城市发展指标不能构成高水平碳生产率的必要条件, 但是智慧技术与人才在产生高水平碳生产率的组态中具有更为普适的作用; 组态分析得到2条驱动高水平碳生产率的机制路径, 具体为智慧设施与技术人才主导型和智慧生活与技术人才主导型。本文的研究拓宽了智慧城市与低碳经济的研究领域, 有助于完善智慧城市建设, 为实现经济高质量发展提供有益的政策启示。

【关键词】智慧城市; 碳生产率; 组态视角; 模糊集定性比较分析

引言

为应对气候变化、实现经济可持续发展, 中国提出实现“碳达峰、碳中和”的“双碳”战略目标。城市作为节能碳减排的主战场, 如何实现可持续健康发展变得尤为迫切。智慧城市创新式改造传统城市发展模式, 成为城市数字化转型、实现绿色高质量发展根本出路。经过十多年的发展, 智慧城市由初步探索到建设富有中国特色的新型智慧城市, 建设重点向低碳可持续发展的目标迈进, 同时发展智慧城市成为实现碳中和目标的有力抓手^[1]。尽管当前许多城市提出或正在建设智慧城市, 但并没有有力证据表明智慧城市真正解决了“城市病”等问题^[2], 因此寻找合适、高效的智慧城市发展路径对降低碳排放实现可持续发展至关重要。

已有研究表明智慧城市建设显著提升城市碳生产率^[3], 那么在其如火如荼建设过程中, 是否存在影响碳生产率的必要条件? 影响碳生产率的路径有哪些? 这些路径驱动模式是怎样的? 基于此, 本文通过构建智慧城市评价指标体系, 以中国35个具有代表性城市为案例, 结合NCA与fsQCA方法, 从组态视角探究智慧城市建设水平提升碳生产率的多因并发机制路径。

1 文献分析

智慧城市建设是从低碳城市走向碳中和城市的有效途径。城市作为“双碳”目标最大的应用场景, 能源变革与数字化发展正推进智慧城市的绿色建设。而碳生产率是衡量在一定生产条件下以最小碳排放所获得的最大产出, 是对碳排放经济效率的直接测算^[4]。有关智慧城市建设对碳生产率的影响主要存在以下两方面。其一, 间接层面。智慧城市建设通过对基础设施的智能化改造、形成良好的新型基础设施

和营商环境, 吸引优质企业和高端人才, 促进高技术产业集聚^[5], 形成规模经济效应、TFP效应和知识溢出效应提升区域碳生产率^[6]。其二, 直接层面。Song等^[3]最新研究发现智慧城市试点提高了碳生产率, 而这种影响具有时滞效应, 在试点第三年生效, 第五年达到最高值。

2 研究设计

2.1 研究方法

定性比较分析方法(QCA)最早由拉金(Ragin)在1987年提出。QCA方法旨在解决复杂的因果关系, 认为因果关系存在一种“并发效应”, 关注因果关系的复杂多样性^[7]。本文选择fsQCA方法的原因在于: 第一, fsQCA方法适合前因条件和结果变量隶属度介于0~1之间的状态。第二, 智慧城市建设水平通过多因素协同作用产生, 不同的因素对碳生产率产生不同影响, 组态分析的视角可以寻找不同的城市智慧指标对碳生产率的影响路径, 实现“殊途同归”的效果。

2.2 变量测量

2.2.1 条件变量

本文参考《第五届(2015)中国智慧城市发展水平评估报告》中“PSF”评估模型来构建智慧城市评价指标体系。以智慧生活与感知P、智慧环境与治理S1、智慧经济与产业S2、智慧技术与人才S3和智慧基础设施F作为条件变量。采用熵权法计算指标权重(%), 具体指标如表1所示。

2.2.2 结果变量

Kaya & Yokobori (1997)^[4]首次提出碳生产率的概念并将其定义为一段时期内国内生产总值与碳排放量的比值, 其数值越大表示消耗能源产生单位二氧化碳(吨)对地区生产总值(万元)的贡献越大。计算公式如下:

其中，表示城市碳生产率，表示城市生产总值，表示二氧化碳排放量，借鉴相关学者^[8]的研究方法对碳排放进行测算。

表1 智慧城市发展水平评价指标体系

条件指标	测度指标	单位	指标权重
智慧生活与感知P	每千人口拥有医疗床位数P1	张	1.47
	公共安全满意度P2	分	1.37
	公共交通满意度P3	分	2.08
	公共图书馆藏书量P4	千册	5.93
	住房满意度P5	分	1.49
智慧环境与治理S1	建成区绿化覆盖率S11	%	1.03
	城镇污水处理率S12	%	1.21
	环境满意度S13	分	1.60
	空气质量优良比例S14	%	1.85
智慧经济与产业S2	第三产业增加值占GDP比重S21	%	33.91
	城镇居民人均可支配收入S22	元	4.34
	人均GDP S23	元	1.40
智慧技术与人才S3	科技与信息服务业就业人员数量S24	万人	11.59
	教育支出占一般公共预算支出比例S31	%	0.83
	科技支出占一般公共预算支出比例S32	%	3.91
	每万人高等教育在校学生数S33	人	2.33
	专利授权量S34	件	6.31
智慧基础设施F	R&D经费投入强度S35	%	3.86
	电信业务收入F1	万元	7.38
	移动电话普及率F2	部/百人	3.15
	信息化服务满意度F3	分	1.33
	互联网普及率F4	%	1.63

2.3数据来源与变量校准

2.3.1 数据来源

本研究样本选取为2019年除拉萨市（数据缺失严重）以外的直辖市、计划单列市和省会城市，共计35个城市。

数据主要来源于《2019年中国城市基本公共服务满意度评估与发展报告》、2020年各城市统计年鉴、各地级市统计公报。

2.3.2变量校准

本文采用直接校准法对数据进行校准处理。选择95%、50%、5%分别为完全隶属、交叉点和完全不隶属的锚点对前因条件和结果变量进行校准，各变量校准如表2所示。

3 实证分析

3.1必要性分析

在fsQCA分析中衡量条件的必要性程度是测算一致性水平大小，通常认为当一致性数值不低于0.9认定为该条件是结果的必要条件。通过fsQCA3.0软件进行必要性检验，结果如表3所示。从表中可以看出，5个条件对高/非高的碳生产率的一致性水平平均小于0.9，并不存在构成影响城市碳生产率的必要条件。这一结果表明碳生产率提升是复杂的，需要整合智慧城市多方面建设因素才能够对碳生产率产生影响，需要进一步探究智慧城市建设水平多因素联合对结果的协同效应路径。

表2 变量的校准与描述性统计

研究变量	模糊集校准			描述性分析			
	完全不隶属	交叉点	完全隶属	均值	标准差	最小值	最大值
Cp	0.558	2.935	4.584	2.657	1.123	0.372	4.667
P	0.025	0.043	0.075	0.044	0.014	0.023	0.097
S1	0.017	0.033	0.046	0.031	0.008	0.016	0.048
S2	0.007	0.021	0.324	0.046	0.080	0.004	0.388
S3	0.019	0.044	0.111	0.050	0.026	0.017	0.130
F	0.014	0.031	0.069	0.034	0.017	0.009	0.095

3.2 条件组态分析

条件组态的充分性分析是指寻找导致结果产生的前因条件。本文设定一致性阈值为0.9，频数阈值为1，将PRI一致性阈值设置为0.7。运用fsQCA3.0软件对条件变量和结果变量进行真值表分析会得到三种不同的解，即复杂解、简约解和中间解。既存在于简约解又存在于中间解的条件被认为是核心条件，只存在于中间解的条件作为辅助条件，组态分析的结果如表4所示。

表3 必要性检验

前因条件	高水平碳生产率		非高水平碳生产率	
	一致性	覆盖率	一致性	覆盖率
智慧生活与感知 (P)	0.62	0.64	0.63	0.72
非智慧生活与感知 ($\sim$ P)	0.72	0.63	0.68	0.67
智慧环境与治理 (S1)	0.67	0.68	0.59	0.67
非智慧环境与治理 ($\sim$ S1)	0.68	0.60	0.72	0.71
智慧经济与产业 (S2)	0.63	0.76	0.52	0.70
非智慧经济与产业 ($\sim$ S2)	0.75	0.58	0.82	0.71
智慧技术与人才 (S3)	0.77	0.79	0.51	0.57
非智慧技术与人才 ($\sim$ S3)	0.58	0.51	0.81	0.80
智慧基础设施 (F)	0.67	0.69	0.56	0.65
非智慧基础设施 ($\sim$ F)	0.66	0.57	0.73	0.71

注：符号“ $\sim$ ”表示逻辑“非”，表示前因条件缺乏或相反状态。

智慧设施与技术人才主导型。路径H1a表明在高水平智慧技术与人才和高水平智慧基础设施为核心条件，辅助以高水平智慧经济与产业和非高水平智慧环境与治理为条件可以实现高水平碳生产率。路径H1b表明在高水平智慧技术与人才和高水平智慧基础设施的核心条件，辅助以非高水平智慧生活与感知和非高水平智慧经济与产业的条件可以实现高水平碳生产率。

处于H1a组态路径的典型案例分析：上海市、成都市和广州市。以上海市为例，作为首批国家智慧城市试点城市，早在2011年上海就提出《推进智慧城市建设2011-2013年行动计划》，通过政府规划引导，推动相关企业重点实施宽带城市、无线城市、通信枢纽、三网融合、功能设施5个专项任务。2016年上海市人民政府提出《推进智慧城市建设“十三五”规划》，提出以便捷普惠的智慧生活、高端化的智慧经济、精细化的智慧治理和协同化的智慧服务为重点，形成具有“上海特色、国内领先、国际先进”的

普惠化应用格局。2020年上海市人民政府进一步提出《关于推进智慧城市建设的若干意见》，将上海建设成为全球新型智慧城市的排头兵，国际数字经济网络的重要枢纽；引领全国智慧社会、智慧政府发展的先行者，智慧美好生活的创新城市。此外上海聚集了中高端制造业的大部分人才，信息基础设施建设完备。

处于H1b组态路径的典型案例分析是海口市。海口市作为海南省的政治、经济和文化中心，在城市治理、智慧运营与管理不断完善。2018年海口市启动“城市大脑”项目，大幅提升海口市数字化水平、改善营商环境、提高了城市精细化治理水平。在生态治理方面，利用“城市大脑”平台，坚守住生态环境保护底线。2020年海口市通过利用高科技设备监管，空气优良天数达361天，空气质量位居全国第一。依托“城市大脑”项目发展智慧海口，大力推进环境治理、建设新型基础设施和革新技术来实现“双碳”目标。

智慧生活与技术人才主导型。路径H2表明高水平智慧技术与人才和高水平智慧生活与感知的核心条件，辅助以高水平智慧环境与治理和高水平智慧经济与产业的条件可以实现高水平碳生产率。

处于这类高水平碳生产率的典型案例有：深圳市、南京市和厦门市。以深圳市为例，作为我国较早的布局建设智慧城市，深圳在2013年就制定智慧城市建设中长期发展规划《智慧深圳规划纲要（2011-2020年）》。在智慧技术的发展方面，深圳市5G建设领跑全国，截止到2021年10月累计建设5G基站5.1万个，成为国内最早完成5G独立组网全覆盖和覆盖密度最大的城市。在城市治理方面深圳率先构建全国首个新型智慧城市运行管理中心—市政府管理服务指挥中心及区级分中心、部门分中心，该中心建立市、区、街道三级联动指挥调度体系，实现了各级指挥中心通信、数据、应用和物理联动的互联互通，使城市治理更加精细智能。在生活感知层面，深圳市依托“i深圳”和“粤省事”民生服务平台，为市民提供便利，同时加强环保的智慧应用建设。2021年深圳市构建“碳普惠”体系引导并激励个人、家庭以及企业践行低碳行为，以“低碳星球”小程序让市民体验到智慧技术所带来的绿色低碳生活。

3.3 稳健性检验

本文采用两种方法进行稳健性检验。第一，考虑到直辖市与其他城市之间差异，删除四个直辖市案例对产生高水平碳生产率的组态分析，其他处理方式不变。第二，调整校准锚点，将完全隶属、交叉点、完全不隶属的锚点调整为90%、50%和10%分位数，一致性阈值设定为0.85，其他条件不变。稳健性检验得到的组态与现有的组态一致，仅存在总一致性和覆盖度有所降低。综上检验表明本文结果比较稳健。

表4 智慧城市建设实现高水平碳生产率的组态

条件变量	高水平碳生产率		
	H1a	H1b	H2
智慧生活与感知 (P)		x	●
智慧环境与治理 (S1)	x	●	●
智慧经济与产业 (S2)	●	x	●
智慧技术与人才 (S3)	●	●	●
智慧基础设施 (F)	●	●	
一致性	0.92	0.94	0.95
原始覆盖度	0.39	0.34	0.43
唯一覆盖度	0.09	0.06	0.08
总一致性		0.90	
总覆盖度		0.59	

注：●表示边缘条件存在，●表示核心条件存在；x表示边缘条件缺失，空格表示前因条件无关紧要。

4 研究结论与启示

4.1 研究结论

本文以35个典型城市为案例样本，运用fsQCA分析方法，通过构建智慧城市评价指标体系，研究智慧城市建设水平影响城市碳生产率提升多重并发因素和复杂路径。研究结论如下：必要性分析发现，智慧生活与感知、智慧环境与治理、智慧经济与产业、智慧技术与人才和智慧基础设施对碳生产率的影响作用不同，5项前因条件都无法构成提升高和非高水平碳生产率的必要条件，但是提高智慧技术与人才水平对产生城市高水平碳生产率发挥着更为普适的作用。组态分析得到2条实现高水平碳生产率的驱动路径，分别为：H1以高水平智慧技术与人才和高水平智慧基础设施为核心条件的智慧设施与技术人才主导型，根据辅助条件H1路径分为以智慧经济与产业为辅的H1a和以智慧环境与治理为辅的H1b；H2以高水平智慧生活与感知和高水平智慧技术与人才为核心条件的智慧生活与技术人才主导性。

4.2 管理启示

基于以上结论，本文得出如下启示：

第一，扎实推进智慧城市建设工作，提升智慧化运营能力。政府应始终坚持“以人为本”的目标导向，依据本地优势资源规划智慧城市建设，发展本地优势节能产业，借鉴与自身资源禀赋相近城市智慧水平建设优点。在建设智慧城市的基础上，运营智慧城市，形成“智慧+技术+低碳”城市发展模式，提升智慧城市数字化治理水平。

第二，大力发展智慧技术，培养创新科技人才。高水平碳生产率的路径表明智慧技术与人才对碳生产率的提高起关键作用，因此，政府应高度重视技术创新与智慧人才培养。同时智慧城市发展并不只需要高科技与人才，应协调好智慧生活感知、智慧环境与治理、智慧经济与产业、智慧基础设施和智慧技术与人才的联动匹配。

参考文献：

- [1]WU S. Smart cities and urban household carbon emissions: A perspective on smart city development policy in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 373.
- [2]YIGITCANLAR T, KAMRUZZAMAN M. Does smart city policy lead to sustainability of cities? [J]. Land Use Policy, 2018, 73: 49-58.
- [3]SONG T, DIAN J, CHEN H. Can smart city construction improve carbon productivity? —A quasi-natural experiment based on China's smart city pilot [J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 92.
- [4]KAYA Y, YOKOBORI K. Environment, energy, and economy: strategies for sustainability[M]. Tokyo:United Nations University Press, 1997: .
- [5]林小莉,王德起. 智慧城市建设能促进绿色发展吗? ——基于“准自然实验”的证据[J]. 技术经济, 2022, 41 (11): 104-113.
- [6]杨庆,江成涛,蒋旭东,等. 高技术产业集聚能提升碳生产率吗[J]. 宏观经济研究, 2021, (04): 141-159.
- [7]程建青,罗瑾琨,杜运周,等. 制度环境与心理认知何时激活创业?——一个基于QCA方法的研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2019, 40 (02): 114-131.
- [8]吴建新,郭智勇. 基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J]. 统计研究, 2016, 33 (01): 54-60.

作者简介：

曾恒 (1987-), 男, 汉族, 湖北武汉人, 副教授, 博士, 研究方向: 区域经济与低碳发展。

通讯作者：

王骞 (1999-), 男, 汉族, 山东济宁人, 硕士研究生, 研究方向: 区域经济与低碳发展。

孙玥 (1982-), 男, 汉族, 湖北武汉人, 总监。