

智慧城市建设对地区能源错配的影响及作用机理

靳卫东^{1,2}, 郑浩天¹, 范玉莹¹

(1. 青岛大学, 山东 青岛 266061;

2. 山东省世界经济研究基地, 山东 青岛 266061)

摘要:在当前能源安全和环境污染问题日益凸显的背景下,改善能源要素错配对于实现可持续发展战略目标至关重要。近年来,信息技术与城市治理相结合所衍生的智慧城市发展模式被视为优化地区资源配置的重要途径,但其能否解决能源错配问题却缺乏足够关注。基于 2007—2022 年城市面板数据,以智慧城市政策实施作为准自然实验,采用双重差分法考察智慧城市对地区能源错配的影响。结果表明,智慧城市建设有助于缓解地区能源错配,且该效应在南方城市、东部城市、非资源型城市和非老工业基地城市中更加明显。机制分析表明,智慧城市建设会分别通过激发城市绿色技术创新活力、促进产业结构升级和居民消费模式的数字化变革来降低地区能源错配程度。研究结论为相关部门如何通过城市数字化治理方式来保障能源安全和实现可持续发展目标提供了经验证据。

关键词:智慧城市;能源错配;技术创新;产业结构;消费模式

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2025)05-0104-12

Impact and mechanism of smart city construction on regional energy mismatch

JIN Weidong^{1,2}, ZHENG Haotian¹, FAN Yuying¹

(1. School of Economics, QDU, Qingdao 266061, China;

2. Shandong Provincial World Economic Research Base, Qingdao 266061, China)

Abstract: Against the backdrop of the increasingly prominent issues of energy security and environmental pollution, improving the mismatch of energy factors is of vital importance for achieving the strategic goals of sustainable development. In recent years, the development model of smart cities, which emerges from the integration of information technology and urban governance, has been regarded as an important way to optimize the regional allocation of resources. However, there is a lack of sufficient attention on whether it can solve the problem of energy mismatch. Based on the urban panel data from 2007 to 2022, this paper takes the implementation of smart city policies as a quasi-natural experiment and uses the difference-in-differences method to examine the impact of smart city construction on regional energy mismatch. The results show that smart city construction helps to alleviate regional energy mismatch, and this effect is more obvious in southern cities, eastern cities, non-resource-based cities and non-old industrial base cities. The mechanism analysis shows that smart city construction can reduce the degree of regional energy mismatch by stimulating the vitality of urban green technology innovation, promoting the upgrading of industrial structure and the digital transformation of residents' consumption patterns respectively. The research conclusions provide empirical

收稿日期:2025-03-25 修回日期:2025-04-10

基金项目:国家社会科学基金一般项目“信息技术促进乡村医疗卫生资源有效供给研究”(21BJY101)。

作者简介:靳卫东(1973—),男,山东济宁人,青岛大学经济学院教授、博士生导师,山东省世界经济研究基地主任,经济学博士,研究方向为数字经济。通信作者:郑浩天。

evidence for relevant departments on how to ensure energy security and achieve the goals of sustainable development through the means of urban digital governance.

Key words: smart city; energy mismatch; technological innovation; industrial structure; consumption pattern

能源既是人类赖以生存和发展的重要物质基础,也是国际政治、经济和外交等领域关注的焦点^[1]。长期以来,中国依靠粗放型发展模式迅速实现了工业化崛起,一跃成为世界第二大经济体和能源消费大国,2023 年能源消费总量为 170.74 EJ,占全球能源消费总量的比重达到 27% 左右^①。然而,工业快速增长的背后是地区间能源消耗不均匀以及由此引发的环境污染问题。如图 1 所示,二氧化碳排放量前 10% 城市的能源消耗总量占全国能源总消耗的比重为 35% 左右,但是生产总值仅占全国总产值的 20% 左右,反映出各地区存在严重的能源配置效率低下问题。另外,在目前能源消耗仍以传统能源为主的背景下,中国化石能源储量有限,油气对外依存度较高,能源供给的结构性矛盾进一步凸显缓解地区能源错配问题的重要性和紧迫性^[2]。“十四五”规划中明确指出,要将能源资源配置更加合理、能源利用效率大幅提高、单位国内生产总值(GDP)能耗降低列为当前经济社会发展的主要目标之一。因此,如何优化地区能源资源配置,已经成为学术界和政府部门亟须探讨

并解决的重要议题。

能源错配是指市场扭曲导致的能源配置偏离帕累托最优状态,主要体现为能源供需不平衡^[3]。能源错配属于资源错配的范畴,但是相比于资本、劳动等要素而言,能源要素由于其特殊性,已经成为中国资源错配的主要诱因^[4]。这是因为:一方面,中国的能源市场化改革进程较为滞后,尽管目前已经实施燃煤电价“基准价+上下浮动”、成品油价与国际油价联动等改革,但能源价格仍然受政府调控并低于市场均衡价格,导致能源要素价格扭曲程度较高^[5];另一方面,能源运输需要铁路、管道等物理载体,虽然中国已经建成世界最复杂的能源运输网,但在夏季高峰用电时期东部城市电网负荷不断创新,煤炭运力紧张的局面时常发生,能源的跨区域流动障碍引发了严重的能源错配问题^[6]。能源错配会对经济社会发展带来一系列挑战,包括造成资源浪费和环境污染^[5]、阻碍技术创新^[7]、降低全要素生产率等问题^[3],中国亟须发挥制度性优势,创新城市治理模式来解决地区能源错配问题。

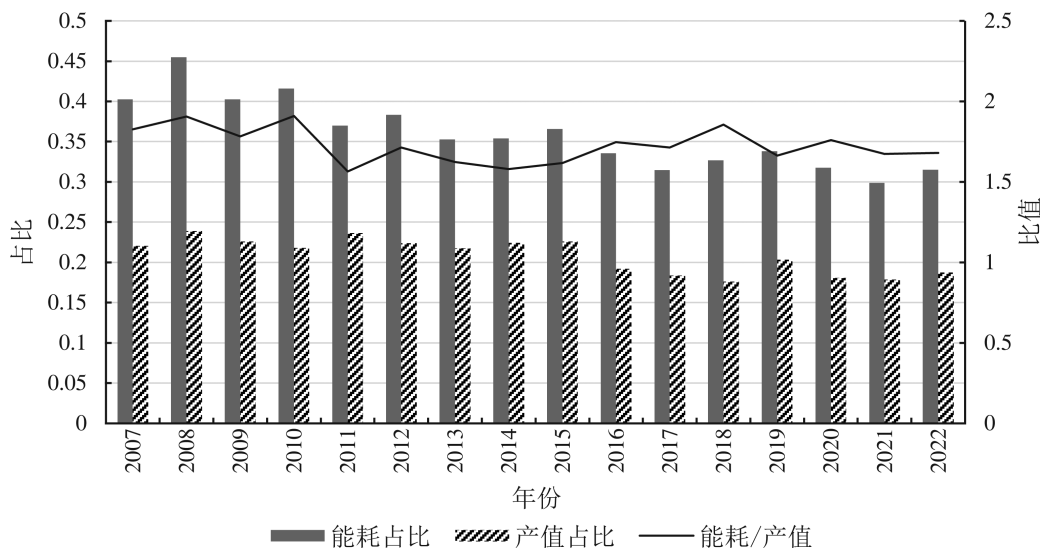


图1 中国高污染城市的能耗和产值对比

① 数据来源:《世界能源统计年鉴 2024》(Statistical Review of World Energy 2024)。

随着以互联网、大数据为代表的新一代信息技术快速发展,其与城市治理相结合所衍生的智能化城市发展模式已成为世界各国实现可持续发展的新引擎。在此背景下,中国于 2012 年陆续开展智慧城市试点工作,并在 2014 年将智慧城市建设提升到国家战略层面。智慧城市是以信息和通信技术为支撑,通过广泛、高效、科学的数据搜集、动态监测、信息处理和场景应用,提高城市运营效率,改善公共服务水平,并以形成低碳城市生态圈为目标建立新形态城市^[8],相应地,也可能为缓解地区能源错配问题提供了机会窗口。具体来讲,智慧城市建设不仅会从资金扶持到应用推广等方面激发市场主体开展绿色技术创新的积极性,而且会催生新兴数字产业并加速信息技术与传统产业融合,推动产业结构升级^[9],还能够打造线上线下融合的智慧生活场景,以便捷支付体验促进居民消费模式的数字化变革^[10]。这都有助于优化能源供需匹配程度、缓解地区能源错配问题。因此,有必要明确智慧城市对能源错配的影响,这对于保障国家能源安全和实现可持续发展具有重要意义,也可以为相关部门通过城市智慧化转型方式来有效解决资源与环境问题提供参考依据。

现有与本文密切相关的文献有两类。第一类文献关注智慧城市建设的经济社会效应,分别考察了智慧城市对技术创新^[11]、产业升级^[12]和劳动就业^[13]等经济社会发展维度的影响,以及对空气质量^[14]、环境污染^[9]和能源效率^[15]等绿色发展维度的影响。不过,近期也有部分文献聚焦于智慧城市对资源错配问题的缓解作用,但多从劳动^[16]、资本^[17]等传统生产要素视角展开,尚未将能源要素纳入分析框架,考察智慧城市对能源要素错配的影响。第二类文献重点分析能源错配问题的解决途径,分别从用能权交易制度^[18]、大气污染防治行动计划^[19]等角度讨论了环境规制对于缓解地区能源错配的积极作用。特别是,罗啸潇等^[20]研究了数字经济发展对能源错配的影响,与本文最为相关。但是,不同于数字经济具备的形态属性,智慧城市更侧重城市范围内的各种智慧化应用场景和领域,通过智能化方

式提升城市管理和服务水平,相应地对能源配置的影响也会更加具体。该研究并没有解释数字技术进步影响能源错配的具体机制,使得两者间的作用关系较不清晰。

为此,基于 2007—2022 年城市面板数据,本文研究智慧城市对地区能源错配的影响,边际贡献包括:第一,研究视角方面,区别于多数研究从劳动、资本等传统要素视角关注智慧城市建设的资源配置效应,本文将能源要素配置问题纳入城市智慧化转型分析框架,考察智慧城市对地区能源错配的影响,不仅扩宽了智慧城市政策效果的研究边界,而且补充了资源错配影响因素相关研究;第二,研究方法方面,借助智慧城市试点这一外生冲击构建准自然实验,利用双重差分法量化智慧城市对地区能源错配的影响,并充分考虑政策实施的外生性问题来强化因果识别的准确性,可以为评估两者间的作用关系提供相对可靠的经验证据;第三,研究内容方面,本文不仅关注智慧城市建设的能源配置效应,还从绿色技术创新、产业结构升级和消费模式变革角度,以及地理区位和资源禀赋方面,剖析智慧城市对地区能源错配的作用机理和异质性特征,有助于深化对两者间的关系认知,并为地方政府探索智慧化建设和可持续发展的城市协同治理模式提供参考依据。

一、理论分析与研究假说

(一) 智慧城市对能源错配的直接影响

智慧城市的本质是利用先进的信息技术,实现城市的智慧化管理和运行,促进城市可持续发展,这也会改变地区能源供需匹配程度,有助于缓解能源错配问题。在微观层面,智慧城市建设有助于企业生产经营环节的智能化改造,借助智能传感器和监控系统,企业可以实时监测生产设备的运行状态和能源消耗情况,然后通过大数据分析找出能源消耗的不合理环节,并据此优化生产流程,避免能源在生产环节的浪费和错配。在中观层面,智慧城市鼓励和支持分布式能源发展,如风能、太阳能、生物质能等新能源在各产业中的应用,同时通过智能微电网技术,将分布式能

源与企业用能系统进行有效整合,实现能源优化配置和供需平衡,能够有效提高能源利用效率^[21]。在宏观层面,“数字孪生”的智慧城市顶层设计有助于城市依据各区域功能分区、人口分布、产业发展等因素,科学合理地规划能源基础设施布局,使能源供应设施更接近能源需求中心,减少能源输送过程中的非必要损耗和浪费,提高能源输送效率并优化能源空间配置^[15]。因此,本文提出以下研究假设。

假设 H1:智慧城市建设有助于改善地区能源错配。

(二)智慧城市建设对能源错配的间接影响

绿色技术创新能够推动可再生能源和清洁能源的开发与利用,催生大量的节能技术和产品,在缓解地区能源错配方面发挥着重要作用^[18]。首先,住房和城乡建设部发布的《国家智慧城市(区、镇)试点指标体系(试行)》(下文简称《体系》)明确指出,智慧城市建设要以智能交通、智慧能源、智慧环保等领域为重点展开,这为节能、环保等绿色技术创新成果提供了良好的应用和推广平台,有助于提高绿色技术创新的市场潜力,从而激励企业主动增加绿色创新投入。其次,智慧城市建设的首要基本原则是以人为本,要突出为民、便民、惠民,创新城市管理和公共服务方式,这有助于营造良好的发展环境和创新氛围,吸引绿色技术领域的专业人才和高端科研机构集聚,为企业顺利开展绿色技术创新提供人力和智力支持^[22]。最后,按照八部委联合出台的《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》(下文简称《意见》)要求,智慧城市有关财政资金要重点投向基础性、公益性领域。因此,地方政府在推进智慧城市建设过程中,会配套多项税收减免、财政补贴、科研基金支持等绿色技术创新激励政策,有助于降低企业绿色技术创新成本和风险,提高创新预期收益,从而激发企业和科研机构开展绿色技术创新的积极性。据此,本文提出以下研究假设。

假设 H2:智慧城市建设通过推动绿色技术创新从而改善地区能源错配。

产业结构升级会带动能源消费结构向清洁

化、低碳化方向发展,是降低能源消耗、缓解地区能源错配的重要途径^[23]。对此,《体系》明确指出,智慧城市建设需要建立现代化产业发展体系,包括改造传统产业、发展高新技术产业和现代服务业等新兴产业等,这都有助于实现产业结构升级。首先,在制造业等传统产业中,智慧城市建设通过引入智能化设备和技术,实现生产过程的自动化与智能化,使传统产业在保持生产规模和经济效益的同时降低能源消耗强度,从而缓解能源供应压力。其次,智慧城市建设催生出智慧交通、智慧医疗等新兴产业,这些产业以知识、技术为核心驱动力,不会过度依赖大规模的能源投入,从而改变了城市的产业结构和能源需求结构,促进能源从传统高能耗产业向新兴低能耗产业转移,有助于缓解能源错配^[9]。最后,智慧城市建设催生的大数据、云计算等新兴产业虽然能耗需求较大,可能加剧能源供需紧张,但其产生的海量数据和算力资源也为解决能源错配提供了技术支撑,包括实时采集能源生产、传输和消费数据,智能预测未来能源需求并进行弹性调度,最终实现更高能源需求下的更优平衡。据此,本文提出以下研究假设。

假设 H3:智慧城市建设通过促进产业结构升级从而改善地区能源错配。

居民消费模式向数字化方向变革可以降低非必要的能源消耗,有助于激发能源技术创新活力、促使能源资源依据需求进行合理流动与配置^[20]。首先,按照《意见》要求,智慧城市必须实现电子商务向旅游、餐饮、家庭服务等传统消费场景的渗透和发展,同时要完善智能物流信息平台建设,这可以打造良好的线上线下相融合消费体验,促使居民选择新型消费方式^[10]。其次,《意见》也明确指出,智慧城市建设要积极运用新技术新业态,在教育、医疗和就业等重点民生领域推广低成本、高质量、广覆盖的云服务,创新大数据商业模式。因此,智慧城市建设下数字经济、共享经济的发展会催生众多消费新业态,如在线教育、远程医疗、共享办公等,满足居民多场景生活需求的同时也为居民提供多元化的消费选择,改变了传统消费方

式并有助于减少非必要的能源消耗。最后,借助人工智能、大数据等新一代信息技术,智慧城市建设下厂商能够高效收集并分析消费者的行为、偏好等信息,为消费者精准推送绿色产品和新型消费服务的相关信息,传播绿色消费、新型消费的知识理念,从而引导居民消费方式变革并缓解地区能源错配^[9]。据此,本文提出以下研究假设。

假设 H4:智慧城市建设通过变革居民消费模式从而改善地区能源错配。

二、研究设计

(一)模型设定

由于智慧城市试点是分批次设立的,为了识别智慧城市建设对地区能源错配的影响,本文构建如下多期双重差分模型:

$$EM_{it} = \alpha + \beta Policy_{it} + \gamma Control_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中,下标 i 表示城市;下标 t 表示年份; EM_{it} 表示第 t 年城市 i 的能源错配程度; $Policy_{it}$ 表示第 t 年城市 i 是否入选智慧城市试点; $Control_{it}$ 表示一系列可能影响地区能源错配程度的控制变量; μ_i 表示城市固定效应; δ_t 表示年份固定效应; ε_{it} 表示随机扰动项; α 、 β 和 γ 表示待估计系数。

(二)变量设置

1. 被解释变量

本文被解释变量为能源错配 (EM)。借鉴 Hsieh 等^[24]的要素错配测算框架,构建包含资本、劳动和能源要素的生产函数来测算城市层面能源错配程度。具体来讲,假定经济体有 N 个城市,每个城市 i 内企业具有相同的生产函数,代表性企业使用资本 K_i 、劳动 L_i 和能源 E_i 3 种生产要素进行生产,具体的生产函数为 Cobb-Douglas 形式。

$$Y_i = AK_i^{\alpha} L_i^{\beta} E_i^{\gamma_i} \quad (2)$$

式(2)中, Y_i 表示实际产出; A 表示技术水平; α_i 、 β_i 和 γ_i 分别对应资本、劳动和能源要素的产出弹性。假定资本、劳动和能源要素的价格分别为 P_K 、 P_L 和 P_E ;代表性企业面临的价格扭曲程度分别为 τ_{Ki} 、 τ_{Li} 和 τ_{Ei} ;相应的要素使用成本分别表示为 $(1 + \tau_{Ki})P_K$ 、 $(1 + \tau_{Li})P_L$ 和 $(1 + \tau_{Ei})P_E$ 。为了简化起见,假定产品市场不存在价格扭曲,企业面临的

产品价格为 P_Y ,因此代表性企业的利润最大化目标函数为:

$$\max \{ P_Y Y_i - (1 + \tau_{Ki})P_K K_i - (1 + \tau_{Li})P_L L_i - (1 + \tau_{Ei})P_E E_i \} \quad (3)$$

由于本文关注能源错配问题,因此式(3)的最优解需要满足一阶条件为:

$$\gamma_i P_Y Y_i E_i^{-1} = (1 + \tau_{Ei})P_E \quad (4)$$

假定要素总量外生给定,经济总产出 Y 由各城市产出决定,则存在约束条件: $Y = \sum P_Y Y_i$, $K = \sum K_i$, $L = \sum L_i$ 和 $E = \sum E_i$ 。此时,城市 i 的总产出占全国总产出的份额表示为 $S_i = P_Y Y_i / Y$,并且可以推出城市 i 的能源投入为:

$$E_i = \left[\frac{\gamma_i P_Y Y_i}{(1 + \tau_{Ei})P_E} / \sum_{j=1}^N \frac{\gamma_j P_Y Y_j}{(1 + \tau_{Ej})P_E} \right] E$$

$$E = \left[\frac{\gamma_i S_i}{1 + \tau_{Ei}} / \sum_{j=1}^N \frac{\gamma_j S_j}{1 + \tau_{Ej}} \right] E \quad (5)$$

当城市 i 不存在能源错配时, $\tau_{Ei} = 0$, 此时城市 i 的能源投入为:

$$E_i^* = \frac{\gamma_i S_i}{\bar{\gamma}} E \quad (6)$$

式(6)中, $\bar{\gamma} = \sum \gamma_i S_i$ 。进一步构建能源错配指数 λ_i , 利用城市 i 的实际能源投入量 E_i 与无错配时的能源投入量 E_i^* 的比值表示地区能源要素错配程度:

$$\lambda_i = \frac{E_i}{E_i^*} = \frac{E_i}{E} \frac{\bar{\gamma}}{\gamma_i S_i} \quad (7)$$

如果城市 i 的实际值能源投入占比不等于能源有效配置时的理论投入占比,即 $\lambda_i \neq 1$,则表示城市 i 存在能源错配;如果实际值能源投入占比等于能源有效配置时的理论投入占比,即 $\lambda_i = 1$,则表示城市 i 不存在能源错配。进一步地可以划分能源错配方向:如果 $\lambda_i > 1$,则表示城市 i 存在能源配置过度;如果 $\lambda_i < 1$,则表示城市 i 存在能源配置不足。为了回归系数方向保持一致,借鉴 Jiang 等^[23]的研究,城市 i 的能源错配程度表示为:

$$\tau_i = |\lambda_i - 1| \quad (8)$$

当 $\tau_i = 0$ 时表示城市 i 不存在能源错配, τ_i 越大表示城市 i 的能源错配程度越严重。从式(8)可以看出,计算能源错配程度需要先测算能源要素产出

弹性 γ_i 。对式(1)两段取对数得到 $\ln Y_i = \ln A + \alpha_i \ln K_i + \beta_i \ln L_i + \gamma_i \ln E_i + \varepsilon_i$, 对该方程运用变系数模型(VCM)进行估计就可以计算各城市的能源要素产出弹性。其中,产出水平 Y_i 利用各城市的实际地区生产总值表示;资本投入 K_i 利用永续盘存法进行估算,公式为 $K_i = (1 - \delta_i)K_{i-1} + I_i$, K_i 为当期资本存量, K_{i-1} 为上一期资本存量, I_i 为当期固定资产投资额, δ_i 为资本折旧率, 设定为 10.96%^[7], 并借鉴吴振华^[25]的研究,将样本起始年份各城市的固定资产投资额除以 10% 作为基期资本存量;劳动投入 L_i 利用各城市在岗职工平均人数来表示;能源投入 E_i 利用各城市折算成标准煤后的用电总量、供气总量和供热总量之和得到的能源消耗总量来表示。

2. 解释变量

本文核心解释变量为智慧城市政策 (*Smart_Policy*), 是政策虚拟变量 *Treat* 和时间虚拟变量 *Post* 的交互项。关于政策虚拟变量 *Treat*, 如果城市被列入住房和城乡建设部公布的 2012 年、2013 年或 2014 年第三批智慧城市试点名单, 则属于处理组并赋值为 1, 否则为 0。关于时间虚拟变量 *Post*, 由于不同城市获批智慧城市试点的年份不同, 根据城市的具体获批年份, 获批当年及以后年份赋值为 1, 否则为 0。另外, 部分智慧城市试点以区县为单位获批, 考虑到区县不能代表整个城市, 因此剔除区县样本, 最终共得到 104 个智慧城市。

3. 控制变量

地区能源错配程度会受到很多因素影响。借鉴肖士恩等^[19]、Jiang 等^[23]的研究, 在计量模型中加入以下控制变量: ①经济发展 (*Pgdp*), 利用城市人均 GDP 对数值表示; ②人口密度 (*Pop*), 利用总人口数占城市面积比重表示; ③金融发展 (*Fin*), 利用金融机构贷款余额占 GDP 比重表示; ④产业结构 (*Str*), 利用工业产值占 GDP 比重表示; ⑤对外开放 (*Fdi*), 利用外商直接投资总额占 GDP 比重表示; ⑥财政支出 (*Gov*), 利用公共预算支出占 GDP 比重表示; ⑦人力资本 (*Edu*), 利用每百人中拥有普通本专科在校生人数表示; ⑧环境规制 (*Env*), 利用熵权法对污水处理集中处理率、工业

固体废物综合利用率和生活垃圾无害化处理率 3 项指标合成综合评价指数表示。

(三)数据来源与描述性统计

本文利用 2007—2022 年城市面板数据, 考察智慧城市建设对地区能源错配的影响, 数据来自《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及国家知识产权局专利数据库、各城市邮政行业统计公报、各城市国民经济和社会发展统计公报。为了提高估计精度, 剔除行政区划发生重大调整以及数据缺失严重的城市, 少量缺失数据利用线性插值补齐。最终, 本文得到 283 个城市共 4 528 个观测值(见表 1)。

表 1 主要变量描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>EM</i>	4 528	1.039	0.987	0.000	7.672
<i>Policy</i>	4 528	0.230	0.421	0	1
<i>Pgdp</i>	4 528	10.589	0.685	8.131	13.056
<i>Pop</i>	4 528	0.045	0.034	0.001	0.330
<i>Fin</i>	4 528	1.015	0.593	0.112	7.450
<i>Str</i>	4 528	0.469	0.109	0.121	0.910
<i>Fdi</i>	4 528	0.017	0.018	0	0.199
<i>Gov</i>	4 528	0.073	0.027	0.019	0.238
<i>Edu</i>	4 528	1.892	2.472	0.001	22.832
<i>Env</i>	4 528	0.427	0.066	0.075	0.880

三、实证结果分析

(一)基准回归结果

本文利用多期双差分(DID)模型实证检验智慧城市建设对地区能源错配的影响, 实证结果如表 2 所示。其中, 列(1)仅控制城市和年份固定效应; 列(2)加入控制变量; 列(3)进一步考虑到不同省份随时间变化的特征差异对地区能源错配的影响, 控制省份和年份的交互固定效应。上述结果均表明, *Policy* 的估计系数在 1% 水平下显著为负,

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>EM</i>	<i>EM</i>	<i>EM</i>
<i>Policy</i>	-0.143 ** (0.028)	-0.120 *** (0.028)	-0.086 *** (0.031)
控制变量	未控制	控制	控制
城市/年份固定	控制	控制	控制
省份 × 年份固定	未控制	未控制	控制
<i>N</i>	4 528	4 528	4 528
<i>R</i> ²	0.815	0.821	0.845

注: **、*、* 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$ 时有统计学意义, 括号内为稳健标准误, 下同。

说明智慧城市建设有助于缓解地区能源错配程度,验证了假说 H1。从经济意义来讲,以列(2)为例,与非试点城市相比,智慧城市建设可以使试点城市的能源错配程度下降 12%,相当于在均值水平上降低了 11.5% (0.120/1.039)。

(二)平行趋势和动态效应检验

政策实施前处理组和控制组是否满足平行趋势假定,即具备相同的能源错配程度变化趋势,决定了多期 DID 模型估计结果是否有效。因此,借鉴刘成昆等^[26]的研究,本文将政策冲击前 1 年设为基准期,利用事件研究法检验政策实施的平行趋势假定以及动态效应。平行趋势检验结果显示,在智慧城市政策实施相对年份之前,试点城市和非试点城市的能源错配程度不存在显著差异,平行趋势假定成立(图 2)。

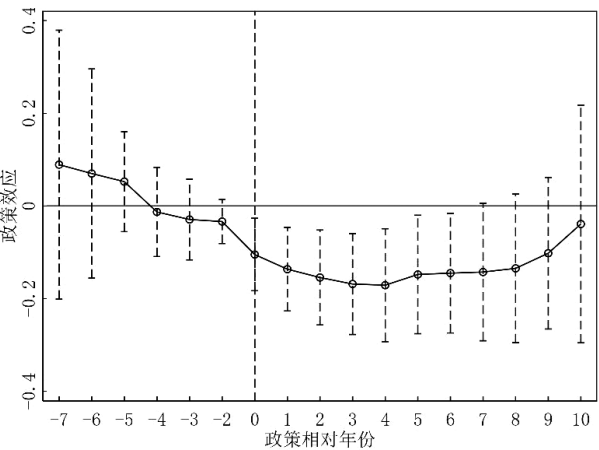


图 2 平行趋势检验结果

此外,在政策实施后,政策效应的绝对值在初期逐渐增大,但从第 4 期开始逐渐减小,政策效果有所下降,说明长期来看智慧城市政策对地区能源错配的纠偏作用强度具备倒 U 型动态特征。这是因为,按照《国家智慧城市试点暂行管理办法》,智慧试点城市经过 3~5 年的创建期由住房和城乡建设部进行评估验收,这可能导致在验收结束后试点城市监管的长效机制建设不足,从而削弱智慧城市政策对地区能源错配的影响。随着智慧城市政策深入实施,其所带来的技术进步也会降低能源使用成本,可能导致能源要素过度使用并降低能源配置效率,这也从一个侧面回应了有关技

术进步存在“回弹效应”的假说^[23]。

(三)政策外生性检验

政策外生性是使用 DID 方法进行估计的前提假设条件,即处理组和控制组的选择是随机的。但是本文的担忧在于,智慧城市试点的选择可能与城市政治地位、经济发展、信息技术水平等基本属性相关,处理组和控制组选择的非随机性会导致智慧城市政策实施对地区能源错配影响的估计结果存在内生性问题,本文采用以下方式进行验证和处理。

1. 试点选择效应检验

为排除智慧城市试点的选择是否与城市经济发展特征相关,借鉴 Cui 等^[15]的研究,本文采用 Probit 模型来检验试点城市入选标准的非随机性。具体来讲,以是否入选智慧城市试点为被解释变量,以前文全部控制变量和城市信息化发展水平(Int)作为解释变量,利用 Probit 模型并结合政策实施前(2007—2011 年)各年份的截面数据来估计智慧城市试点是否存在选择效应。其中,Int 变量利用电信业务总量占 GDP 的比重表示。表 3 结果显示,在智慧城市政策实施之前,城市的经济发展特征以及信息化水平与该城市是否入选试点没有太大关联,本文 DID 估计结果不太可能受试点选择效应的影响。

表 3 政策外生性检验结果(一)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	2007	2008	2009	2010	2011
	Treat	Treat	Treat	Treat	Treat
Pgdp	0.031 (0.078)	0.022 (0.078)	0.008 (0.078)	0.017 (0.078)	0.009 (0.077)
Pop	0.229 (1.014)	0.322 (1.001)	0.213 (0.989)	0.326 (0.955)	0.419 (0.944)
Fin	0.040 (0.040)	0.060 (0.110)	0.072 (0.093)	0.008 (0.066)	-0.030 (0.077)
Str	0.292 (0.369)	0.381 (0.364)	0.528 (0.377)	0.522 (0.368)	0.549 (0.354)
Fdi	-1.810 (1.507)	-2.284 (1.691)	-2.485 (1.786)	-4.191** (1.879)	-3.422* (2.006)
Gov	0.522 (1.505)	0.148 (1.349)	0.566 (1.593)	1.377 (1.460)	2.177 (1.443)
Edu	0.020 (0.024)	0.024 (0.022)	0.017 (0.021)	0.025 (0.019)	0.023 (0.019)
Env	-0.222 (0.403)	-0.268 (0.415)	-0.088 (0.425)	-0.003 (0.427)	-0.115 (0.421)
Int	-1.407 (1.447)	-0.728 (1.326)	-0.589 (1.383)	0.931 (1.448)	-0.772 (3.118)
N	283	283	283	283	283
R ²	0.027	0.029	0.031	0.040	0.034

2. 控制时间线性趋势

由于不同城市的行政等级、地理位置等固有差异属性也是影响试点选择的重要因素,并且这类因素可能会随着时间推移对地区能源错配产生影响。因此,为了控制上述城市非时变属性对估计结果可能产生的偏误,借鉴 Li 等^[27]的研究,通过在基准模型中分别加入城市属性变量和时间趋势一次项、二次项的交互项来缓解对这一问题的担忧。其中,城市属性变量包括是否是省会或副省级城市、是否是胡焕庸线东部城市和城市平均海拔。表4中列(1)和列(2)结果显示,*Policy*的估计系数仍然显著为负,通过控制时间线性趋势来缓解处理组和控制组非随机分配造成的估计偏误后,前文基准估计结论依旧稳健。

表4 政策外生性检验结果(二)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	控制时间线性趋势		工具变量估计	
	<i>EM</i>	<i>EM</i>	<i>Policy</i>	<i>EM</i>
<i>Policy</i>	-0.119 *** (0.028)	-0.120 *** (0.027)	—	-0.367 *** (0.138)
<i>IV</i>	—	—	-0.007 *** (0.000)	—
城市特征 × 年份	控制	控制	—	—
城市特征 × 年份平方	—	控制	—	—
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市/年份固定	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	4 528	4 528	4 528	4 528
<i>R</i> ²	0.824	0.824	0.702	0.018

3. 工具变量法估计

由于计量模型中无法完全控制不可观测因素对智慧城市试点选择的非随机性影响,因此本文还采用工具变量法来缓解潜在的内生性问题,并选取地形起伏度作为工具变量进行相关估计。一方面,地形起伏度直接决定了地区通信网络的覆盖范围、传输速率和信号质量,进而影响智慧城市建设,满足相关性条件。另一方面,地形起伏度作为自然地理变量,具有很强的外生性,不会直接影响地区能源错配程度。由于地形起伏度为截面数据,本文构造地形起伏度与样本期上年度全国互联网用户数的交互项作为最终的工具变量(*IV*)。表4列(3)第一阶段估计结果表明,工具变量与智慧城市政策显著相关,列(4)第二阶段估计结果表明,智慧城市政策仍然有助于降低地区能源错配

程度,可见本文基准结论是可靠的。

(四) 稳健性检验

1. 安慰剂检验

为进一步避免模型中存在其他不可观测的遗漏变量因素对本文智慧城市政策的效果评估产生干扰,借鉴 Li 等^[27]的研究,通过随机生成 500 次试点城市名单构造反事实样本,以此作为处理组进行安慰剂检验,并绘制相应的估计系数分布图(见图3)。图3结果显示,经过随机抽样后反事实样本的 *Policy* 估计系数在 0 值处呈正态分布,大多并不显著,且与基准估计系数相差较大,说明基准回归结果不是偶然事件,可见本文主要结论是可靠的。

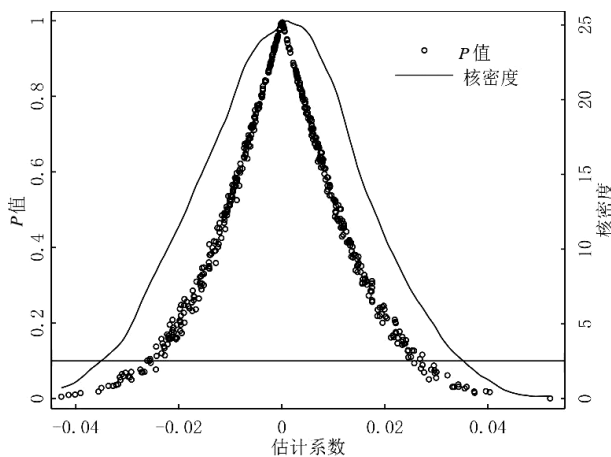


图3 安慰剂检验结果

2. 反事实检验

本文通过更改智慧城市试点的入选时间进行反事实检验,从而消除因政策以外的其他因素造成的差异与被解释变量地区能源错配程度之间的关联。具体来讲,将各批次智慧城市试点的开始时间分别提前 1 年和 2 年,重新设定时间虚拟变量并利用该反事实样本进行基准估计。表5列(1)和列(2)结果显示,*Policy*的估计系数均不再显著,说明本文基准估计结论具备稳健性,地区能源错配程度降低确实是由智慧城市政策实施而带来的。

3. PSM-DID 检验

考虑到智慧城市的设立并非完全随机,可能存在一些可观测因素使得某些地区更有可能成为智慧城市,这些因素同时也可能影响能源错配状

况。例如,经济发展水平较高、科技基础较好的地区更容易被选为智慧城市试点,而这些地区的能源配置本身可能就更加合理。因此,本文利用 PSM-DID 方法,以全部控制变量作为 PSM 匹配协变量,分别对处理组和控制组城市进行 1:1 近邻匹配和核匹配后重新估计。表 5 列(3)和列(4)结果显示,无论采用何种匹配方式,智慧城市建设有助于缓解能源错配的结论均稳健。

表 5 稳健性检验结果(一)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	反事实检验		PSM-DID		异质性处理效应	
	EM	EM	EM	EM	EM	EM
Policy	-0.041 (0.029)	-0.039 (0.030)	-0.128 *** (0.041)	-0.116 *** (0.028)	-0.167 *** (0.057)	-0.130 ** (0.054)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市/ 年份固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	4 528	4 528	2 180	4 492	4 528	4 528
R ²	0.820	0.820	0.831	0.821	—	—

4. 异质性处理效应检验

智慧城市试点是分批次设立的,基于传统双向固定效应模型的多期 DID 估计即便满足平行趋势假定,处理效应在时期和组别维度上的异质性问题也会导致“负权重”过多并带来 DID 估计偏误。因此,本文借鉴 Callaway 等^[28]、Gardner^[29] 的研究,分别进行 CSDID 估计和 DID2S 估计。表 5 列(5)和列(6)结果显示,Policy 的估计系数显著为负,可见本文基准估计结论在考虑异质性处理效应问题后仍然是稳健的。

5. 排除其他政策干扰

在智慧城市政策实施时点附近,也会存在以信息技术发展或是以加强环境规制为目标的政策交叉进行,这会干扰智慧城市政策的效果评价。为此,本文在基准回归模型中依次加入新能源示范城市、“宽带中国”试点和低碳城市试点 3 类政策的虚拟变量,从而控制其他相关政策的影响并估计智慧城市政策的能源配置效应。表 6 列(1)~列(3)结果显示,分别加入三类政策的虚拟变量后,Policy 的估计系数也都显著为负,说明同期其他相似政策实施不会干扰智慧城市建设对地区能源错配的缓解作用,前文基准估计结论稳健。

6. 调整研究样本

本文采取以下调整研究样本方式进行稳健性

检验。第一,剔除金融危机影响。国际金融危机爆发可能导致政府加大对能源基础设施投资,从而干扰智慧城市建设与能源错配间的关系,因此剔除 2008—2009 年样本后重新估计。第二,剔除中心城市样本。考虑到中心城市往往具备较高的行政级别和资源优势,剔除省会城市、直辖市、副省级城市等中心城市样本后重新估计。第三,截尾处理。对连续变量进行上下 2% 截尾处理以剔除异常值对基准回归的影响。表 6 列(4)~列(6)结果显示,调整研究样本后基准估计结论依旧稳健。

表 6 稳健性检验结果(二)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	排除其他政策			调整研究样本		
	EM	EM	EM	EM	EM	EM
Policy	-0.122 *** (0.027)	-0.131 *** (0.028)	-0.119 *** (0.028)	-0.113 *** (0.033)	-0.119 *** (0.031)	-0.127 *** (0.022)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市/ 年份固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	4 528	4 528	4 528	3 962	3 968	3 266
R ²	0.821	0.822	0.821	0.827	0.807	0.867

四、机制检验与异质性分析

(一) 机制检验

1. 绿色技术创新效应

绿色技术创新有助于推动新能源技术应用,实现能源生产和流通的智能化管理,是解决能源错配问题的重要途径,而智慧城市建设可以从资金扶持到法规保障等方面调动企业绿色技术创新积极性,并开辟智慧应用场景为绿色技术提供实践土壤。因此,绿色技术创新就成为智慧城市建设影响地区能源错配的机制路径。关于绿色技术创新变量(Inov),现有研究普遍采用绿色专利数量来表示^[10,22],由于专利从申请到授权有较长时滞期,本文采用城市每万人绿色专利申请数量来衡量。表 7 列(1)中 Policy 的估计系数显著为正,说明智慧城市建设有助于促进地区绿色技术创新;列(2)中 Policy 和 Inov 的估计系数显著为负,说明绿色技术创新有助于缓解地区能源错配,同时中介效应通过 500 次抽样的 Bootstrap 检验,说明智慧城市建设可以通过促进绿色技术创新来缓解地区能源错配,验证了假说 H2。

2. 产业结构升级效应

产业结构升级有助于淘汰高耗能落后产业、

培育新兴节能产业,也是优化能源配置的重要途径。智慧城市建设通过智能化手段改造传统制造业与服务业,以智慧平台促进产业间融合形成新业态和新模式,推动城市产业结构向高端化绿色化方向演进。因此,产业结构升级就成为智慧城市建设影响地区能源错配的机制路径。关于产业结构升级变量(*Stru*),借鉴 Chen 等^[16]的研究,本文分别构建产业结构合理化和产业结构高级化指标,并进行等权加总来表示。其中,产业结构合理化利用泰尔指数测算,产业结构高级化利用第三产业与第二产业的产值之比测算。表 7 列(3)中 *Policy* 的估计系数显著为正,说明智慧城市建设有助于地区产业结构升级;列(4)中 *Policy* 和 *Stru* 的估计系数均显著为负,说明产业结构升级有助于优化能源配置,同时中介效应的 Bootstrap 检验也通过,说明智慧城市建设可以通过促进产业结构升级来缓解地区能源错配,验证了假说 H3。

表 7 机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Inov</i>	<i>EM</i>	<i>Stru</i>	<i>EM</i>	<i>Conn</i>	<i>EM</i>
<i>Policy</i>	0.386 *** (0.063)	-0.110 *** (0.028)	0.029 *** (0.006)	-0.115 *** (0.028)	0.391 *** (0.099)	-0.110 *** (0.029)
<i>Inov</i>	—	-0.027 ** (0.011)	—	—	—	—
<i>Stru</i>	—	—	—	-0.163 ** (0.072)	—	—
<i>Conn</i>	—	—	—	—	—	-0.011 *** (0.004)
Bootstrap 检验	[-0.020, -0.001]		[-0.009, -0.000]		[-0.009, -0.000]	
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市/年份固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	4 528	4 528	4 528	4 528	4 272	4 272
<i>R</i> ²	0.774	0.822	0.874	0.821	0.527	0.818

注:[]内数值为 500 次 Bootstrap 抽样检验的 95% 置信区间。

3. 消费模式变革效应

引导居民形成绿色消费观念,在日常生活中选择绿色环保的生活和工作方式,有助于减少非必要的能源消耗,从而实现能源的合理配置。智慧城市建设不仅营造了线上线下相融合的智慧化消费场景,也通过大数据推送为居民提供精准的商品和服务推荐,激发居民消费模式变革。因此,消费模式变革就成为智慧城市建设影响地区能源错配的机制路径。关于消费模式变革变量(*Conn*),由于新型消费方式需要依赖线上渠道来实现,因此借鉴张可^[9]的研究,本文通过搜集各城市邮政行业统计公报披露的人均快递业务量来衡量。表 7 列(5)中 *Policy* 的估计系数显著为正,智

慧城市建设有助于促进居民消费方式变革;列(6)中 *Policy* 和 *Conn* 的估计系数均显著为负,说明居民消费方式转变可以缓解能源错配,而且 Bootstrap 中介效应检验的置信区间不包含 0,说明智慧城市建设可以通过变革居民消费模式来缓解地区能源错配,验证了假说 H4。

(二) 异质性分析

1. 城市地理区位的异质性分析

首先,根据秦岭—淮河的地理区位分界线,将样本划分为南方和北方城市两类后分组回归。表 8 列(1)和列(2)结果显示,*Policy* 的估计系数绝对值在南方城市中更大,组间系数差异通过了费舍尔组合检验,说明智慧城市建设更有助于南方城市缓解能源错配。这是因为北方城市钢铁、化工等重工业相对集中,能源消耗严重且刚性较大,再加上冬季寒冷,采暖能耗占生活能耗比重较大,能源供应的峰谷差较为明显,导致北方城市的能源错配调整难度较大。另外,根据国家统计局的经济区位划分标准,将样本分为东部和中西部城市两类后分组回归。表 8 列(3)和列(4)结果显示,*Policy* 的估计系数绝对值在东部城市中更大,组间系数差异同样通过了费舍尔组合检验,说明智慧城市建设对东部城市能源错配的缓解作用更为明显。这是因为东部地区相比于中西部地区经济发达,产业多元化程度高,同时集聚了大量高校和科研机构,可以为智慧城市建设 and 可持续发展提供更多的物力和人力支撑,相应地也容易发挥智慧城市政策的赋能作用。

表 8 异质性检验结果(一)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	南方城市	北方城市	东部城市	中西部城市
	<i>EM</i>	<i>EM</i>	<i>EM</i>	<i>EM</i>
<i>Policy</i>	-0.157 *** (0.033)	-0.051 (0.047)	-0.123 *** (0.035)	-0.083 * (0.045)
费舍尔组合检验	<i>P</i> -value = 0.000		<i>P</i> -value = 0.088	
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市/年份固定	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	2 448	2 080	1 920	2 608
<i>R</i> ²	0.834	0.810	0.887	0.751

2. 城市资源禀赋的异质性分析

首先,根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)》,将样本划分为资源型和非资源

型城市两类后分组回归。表 9 列(1)和列(2)结果显示, *Policy* 的估计系数绝对值在非资源型城市中更大, 组间系数差异通过了费舍尔组合检验, 说明智慧城市建设更有助于非资源型城市缓解能源错配。这是因为不同于资源型城市的粗放型发展模式, 非资源型城市以第三产业为主, 能源需求呈现分散化动态化特征, 同时也是创新和人才高地, 与信息化技术有良好的适配性。另外, 根据《全国老工业基地调整改造规划(2013—2020 年)》, 将样本划分为老工业基地和非老工业基地城市两类后分组回归。表 9 列(3)和列(4)结果显示, *Policy* 的估计系数绝对值在非老工业基地城市中更大, 组间系数差异同样显著, 说明智慧城市建设更有助于非老工业基地城市缓解能源错配。这是因为老工业基地城市以“三高”产业为主, 能源需求刚性强, 能源错配问题长期积累且改造难度大, 同时该类城市的能源系统以传统国企为主, 市场化改革推进缓慢, 从而削弱了智慧城市政策的效果。

表 9 异质性检验结果(二)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	资源型城市	非资源型城市	老工业基地城市	非老工业基地城市
	<i>EM</i>	<i>EM</i>	<i>EM</i>	<i>EM</i>
<i>Policy</i>	-0.027 (0.030)	-0.283 *** (0.052)	-0.070 * (0.038)	-0.256 *** (0.036)
费舍尔组合检验	<i>P-value</i> = 0.000		<i>P-value</i> = 0.000	
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市/年份固定	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	1 808	2 720	1 565	2 963
<i>R</i> ²	0.806	0.849	0.915	0.773

五、结论与政策建议

能源供需不匹配导致的地区能源错配问题已经成为制约中国实现可持续发展的重要因素, 而信息技术与城市治理相结合所衍生的智慧城市发展模式被认为是提高资源配置效率的重要手段, 其能否缓解地区能源错配问题仍有待验证。为此, 本文以智慧城市政策实施作为准自然实验, 基于 2007—2022 年 283 个城市面板数据, 考察智慧城市建设对地区能源错配的影响。结果表明: 第一, 智慧城市建设有助于缓解地区能源错配程度, 且结论在考虑政策选择非随机性问题以及多维度稳健性检验后仍成立; 第二, 智慧城市政策对地区

能源错配影响存在城市地理区位和资源类型的异质性特征, 主要会降低南方城市、东部城市、非资源型城市和非老工业基地城市的能源错配程度; 第三, 智慧城市建设会通过提高绿色技术创新活力、促进产业结构升级以及居民消费模式的数字化变革途径来缓解地区能源错配。

本文结论不仅是对智慧城市建设与资源错配相关研究的有益补充, 也为相关部门推进可持续发展提供了数字化的解决方案。基于以上结论, 本文提出相关政策建议。第一, 积极有序推进智慧城市建设。智慧城市建设有助于缓解地区能源错配是本文基本结论。因此, 相关部门不仅要制定和完善智慧城市建设的标准规范体系, 包括数据标准、技术标准、安全标准等方面, 同时也要加大对 5G 网络、千兆宽带、云计算中心等信息基础设施建设的投资力度, 为智慧城市的健康运行提供高速、稳定的网络支撑。第二, 建立多维度的能源配置机制。本文结论表明, 绿色技术创新、产业结构升级和消费模式变革是智慧城市建设缓解地区能源错配的重要途径。因此, 在发挥智慧城市建设赋能作用的同时, 相关部门不仅要通过完善环境法规、设立专项资金补贴等方式激发市场主体绿色创新活力, 也要制定明确的产业政策、鼓励新兴产业发展来促进产业结构升级, 还要加强绿色消费教育与宣传, 出台绿色消费、智能消费等激励政策, 从而协同推进可持续发展。第三, 探寻异质性的智慧城市发展模式。本文发现智慧城市建设对能源错配的缓解作用会因城市地理区位和资源禀赋不同而存在差异。因此, 各地区在积极推进智慧城市建设的同时, 也要考虑城市位置、经济状况、资源禀赋等因素, 因地制宜地探索各城市独到的智慧城市发展模式。例如, 对于中西部城市和资源型城市而言, 要以传统产业的智能化改造、淘汰落后生产能力为重点推进智慧城市建设。

参考文献:

[1] WU M. The impact of eco-environmental regulation on green energy efficiency in China-based on spatial economic analysis[J]. *Energy & environment*, 2023, 34(4): 971-988.
[2] FAN W, LV W, WANG Z. How to measure and enhance the resilience of energy systems[J]. *Sustainable production*

and consumption, 2023, 39: 191-202.

[3] CHOI B. Productivity and misallocation of energy resources: evidence from Korea's manufacturing sector[J]. Resource and energy economics, 2020, 61: 101184.

[4]王昀, 孙晓华, 刘桐, 等. 资源型城市的要素错配问题更严重吗? [J]. 统计研究, 2023(2): 58-72.

[5]孙晓华, 付琳, 于润群. 地区间能源错配的环境污染效应[J]. 兰州大学学报(社会科学版), 2023(4): 26-43.

[6]ZHU Y, KE J, WANG J, et al. Water transfer and losses embodied in the west-east electricity transmission project in China[J]. Applied energy, 2020, 275: 115152.

[7]GUANG F, DENG Y, WEN L. Impact of regional energy allocation distortion on carbon emission efficiency: evidence from China [J]. Journal of environmental management, 20203, 342: 118241.

[8]BOYKOVA M, ILINA I, SALAZKIN M. The smart city approach as a response to emerging challenges for urban development[J]. Foresight and sti governance, 2016, 10(3): 65-75.

[9]张可. 智慧城市建设促进了节能减排吗:基于长三角城市群 141 个区县的经验分析[J]. 金融研究, 2023(7): 134-153.

[10]JIANG Y, SUN J. Does smart city construction promote urban green development: evidence from a double machine learning model [J]. Journal of environmental management, 2025, 373: 123701.

[11]宋德勇, 李超, 李项佑. 新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”:来自国家智慧城市试点的证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2021(11): 155-164.

[12]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: 104478.

[13]杨冬梅, 白兴浩, 万道侠. 智慧城市试点建设的就业效应研究[J]. 经济与管理评论, 2024(5): 135-148.

[14]GAO K, YUAN Y. Is the sky of smart city bluer: evidence from satellite monitoring data [J]. Journal of environmental management, 2022, 317: 115483.

[15]CUI H, CAO Y. Do smart cities improve energy efficiency: a test of spatial effects and mechanisms [J]. Sustainable cities and society, 2024, 101: 105124.

[16]CHEN C, LI S, WANG L. Can smart cities reduce labor misallocation: evidence from China [J]. Technological

forecasting & social change, 2024, 201: 123264.

[17]LUO H. Does smart city construction exacerbate capital misallocation: spatial spillovers, digital transformation, and robotics application [J]. Structural change and economic dynamics, 2025, 73: 328-344.

[18]薛飞, 周民良. 用能权交易制度能否提升能源利用效率? [J]. 中国人口·资源与环境, 2022(1): 54-66.

[19]肖士恩, 牛风君, 王军英. 区域差异视角下环境规制的能源错配效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2023(2): 73-80.

[20]罗啸潇, 刘勇, 廖斌, 等. 数字经济发展对能源要素错配的影响:来自中国地级及以上城市的经验数[J]. 资源科学, 2023(3): 524-535.

[21]CHEN P, DAGESTANI A A. Urban planning policy and clean energy development Harmony-evidence from smart city pilot policy in China[J]. Renewable energy, 2023, 210: 251-257.

[22]QIN Z, YANG H, SHI L, et al. Do smart city policies improve energy efficiency: evidence from China [J]. Chinese journal of population, resources and environment, 2024, 22: 185-193.

[23]JIANG T, CAO C, LEI L, et al. Temporal and spatial patterns, efficiency losses and impact factors of energy mismatch in China under environmental constraints [J]. Energy, 2023, 282: 128875.

[24]HSIEH C T, KLENOW P J. Misallocation and manufacturing TFP in China and India [J]. Quarterly journal of economics, 2009, 124(4): 1403-1448.

[25]吴振华. 城市化提升服务业效率了吗? [J]. 经济与管理评论, 2024(6): 18-31.

[26]刘成昆, 王健臣, 王雨飞. 高铁开通与企业客户空间分布:基于上市公司与异地客户分布范围的视角[J]. 经济与管理评论, 2023(2): 22-33.

[27]LI P, LU Y, WANG J. Does flattening government improve economic performance? evidence from China [J]. Journal of development economics, 2016, 123(6): 18-37.

[28]CALLAWAY B, SANT' ANNA P H C. Difference-in-differences with multiple time periods [J]. Journal of econometrics, 2021, 225(2): 200-230.

[29]GARDNER J. Two-stage differences in differences [Z]. ArXiv preprint arXiv, No. 2207.05943, 2022.

(本文责编: 润 泽)