

智能化与经济发展方式 转变:理论机制与经验证据

刘 亮 李廉水 刘 军 程中华*

摘要: 中国正处于经济发展方式转变的攻关期,迫切需要新一代人工智能等重大创新添薪续力。本文通过构建包含智能化与经济增长集约化的 CES 生产函数模型,采用 2004—2015 年中国省级面板数据,实证检验智能化对经济增长集约化的影响及其机制。研究表明:智能化对经济增长集约化呈显著的 U 型影响,即智能化对经济增长集约化的影响呈现先抑制后促进的动态作用,在考虑区域异质性以及内生性问题后,U 型影响依然稳健;机制分析表明,智能化通过影响技术效率与技术进步,进而影响经济增长集约化。本文明确了智能化对经济发展方式转变的显著效果与作用渠道,也为中国推动智能化、实现经济发展方式转变提供政策启示。

关键词: 人工智能;智能化;经济增长集约化;绿色全要素生产率

一、引言

当今,新一代人工智能(Artificial Intelligence)已经成为引领全球科技革命和产业变革的关键性技术,发达国家与新兴经济体相继围绕人工智能推出“再工业化”和“制造业回归”等战略规划。2015 年,国务院发布《中国制造 2025》,提出要以智能制造为主攻方向,促进制造业转型升级。党的十九大报告也着重强调了“推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”。值得注意的是,中国经济在面临发达国家“再工业化”外部挑战的同时,也面临经济发展动力转换的内部瓶颈。长期以来,中国依靠资本、劳动、能源等生产要素的低成本优势与政策红利实现了经济的高速增长,然而随着传统要素优势持续弱化、资源与环境问题逐渐凸显,要素驱动型的粗放式增长模式已难以为继。向以全要素生产率为动力、资源依赖程度日益降低、生态环境逐渐改善的集约化发展方式转变,已经成为中国经济社会长期稳定发

* 刘亮,东南大学经济管理学院、南京信息工程大学中国制造业发展研究院,邮政编码:211189,电子信箱:liuliang0204@seu.edu.cn;李廉水,东南大学经济管理学院、南京信息工程大学中国制造业发展研究院,邮政编码:211189,电子信箱:llsh@nuist.edu.cn;刘军,南京信息工程大学中国制造业发展研究院,邮政编码:210044,电子信箱:72Lj@163.com;程中华,南京信息工程大学中国制造业发展研究院,邮政编码:210044,电子信箱:chengzhonghua0106@163.com。

本文获国家自然科学基金项目“基于‘互联网+’的中国制造业转型升级研究”(项目编号:71673145)、江苏省社会科学基金重大项目“江苏制造业智能化转型升级研究”(项目编号:18ZD003)、教育部人文社会科学研究规划基金项目“制造业智能化对我国就业的影响:机制与对策研究”(项目编号:19YJA790055)的资助。感谢匿名审稿人的宝贵建议,当然文责自负。

展的必然选择。为此,习近平总书记强调,中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期,迫切需要新一代人工智能等重大创新添薪续力。于是,研究智能化对经济发展方式的影响及其作用机制,不仅有助于明确智能化对经济发展方式转变的显著效果与作用渠道,也能为中国推动智能化实现经济发展方式转变提供政策启示。

理论上,智能化将至少通过以下三个方面促进经济发展:一是人工智能等技术可以通过补充、替代人类劳动执行复杂任务,帮助企业从根本上提升生产力(Makridakis, 2017)。起初,人工智能对劳动力的补充效应占主导地位,并且随着生产率的提高,劳动力工资也会增加。但最终,人工智能对劳动力的替代效应将占据主导地位,企业通过使用更便宜的智能资本代替劳动力从而提高生产力(Hanson, 2001; Acemoglu and Restrepo, 2018)。二是人工智能可以通过人机协同、深度学习等技术辅助人类工作,通过自主操控做出生产控制决策、实时监控设备运行状况等,实现生产、管理的智能化,从而提高劳动生产率。Graetz 和 Michaels (2018)利用 17 个国家 1993—2007 年工业部门数据研究发现,工业机器人的应用将劳动生产率提高了 0.36%;Kromann 等(2020)通过研究认为这个数字可能在 5% 以上。三是人工智能可以促进创新。“发明方法的发明”往往比任何单一新产品具备更大的潜在价值,人工智能可以通过改善技术的性能与创新过程,对技术创新和经济发展产生巨大的影响(Kromann et al., 2020),并且作为一项通用目的技术,将促进互补性创新,带来乘数效应(Brynjolfsson et al., 2017)。在一些极端的情况下,人工智能甚至可能会迅速的自我完善引致奇点(Singularities)的到来,在有限的时间内带来无限的经济增长(Nordhaus, 2015)。

一些学者也提出了不同的意见,他们认为受本土技术匹配程度、吸收能力等影响,人工智能等技术的应用对生产率的作用较为复杂。人工智能同其他技术一样,如果与本地技术基础不匹配,本地的技术吸收能力又相对较差,技术的应用可能出现空心化,难以形成有效生产技术(唐未兵等, 2014)。即使形成了生产技术,提升了生产率,但智能化部门生产率的相对快速增长,导致未应用人工智能等技术的非智能化部门的相对成本也会随之提高,可能产生鲍莫尔病(Baumol's Disease),从而形成总体经济增长的高资本份额以及相对较低的经济增长率(Aghion et al., 2017)。同时,由于潜在的“生产率悖论”,从长远看,人工智能等技术的发展确实能够提高生产率,促进经济增长。然而,与其他通用性技术对全要素生产率提升具有的时滞性一样,技术“红利”的全面发挥需要与之相关的互补式创新与组合式创新的发展,人工智能对生产率产生显著影响需要较长的周期(Agrawal et al., 2018; Brynjolfsson et al., 2018)。因此,人工智能等技术也无法像预期一样在短期内对经济增长以及生产效率产生显著影响。

通过以上文献可以看出,虽然国内外研究者对人工智能进行了较多分析,但也存在一些不足:一是既有研究主要从经济增长角度分析智能化的影响,鲜有研究从经济发展方式视角进行讨论。并且,智能化对全要素生产率的影响不能准确反映经济发展方式的转变。经济增长集约化是全要素生产率增长率对经济增长率的贡献程度不断提高(王振、厉无畏, 2006),也就是说经济增长集约化的内涵不仅仅是全要素生产率的提升,也意味着资本、劳动等要素投入所占份额的相对降低,即全要素生产率的上升只是促进经济增长集约化的必要条件,而非充分条件(唐未兵等, 2014)。技术进步在促进全要素生产率增长的同时不可避免

地存在成本(林毅夫、苏剑,2007),智能化过程中也必然需要相应基础设施、智能化人才等要素投入,这些要素的投入一定程度上提高了资本、劳动等要素所占份额。因而,智能化对经济增长集约化既存在促进全要素生产率的正向影响,也存在提升要素投入份额的负向影响。二是关于中国智能化的定量研究非常有限。由于相关统计数据稀缺、获取难度大,尚未有可以准确衡量人工智能或智能化水平的指标。国外的实证研究大多使用工业机器人作为人工智能的代理指标,然而工业机器人只是人工智能技术应用领域之一,人工智能等技术应用效果也与智能化基础、智能技术等因素密切相关,工业机器人等单一指标并不能准确衡量智能化水平(曹静、周亚林,2018)。

与已有文献相比,本文可能创新体现在:第一,现有文献主要从经济增长角度分析智能化的影响,鲜有研究从经济发展方式视角进行讨论。本文通过构建包含智能化与经济增长集约化的 CES 生产函数模型,研究智能化对经济发展方式的影响,为经济发展方式转变提供新的视角。第二,关于中国智能化经济影响的定量研究非常有限。本文在理论建模的基础上,从智能化基础、智能技术和智能化结果三个层面构建智能化综合评价指标,定量分析智能化对中国经济发展方式转变的影响。第三,本文从理论机制与经验证据两方面考察智能化对中国经济增长集约化的影响及其机制,明确了智能化对经济发展方式转变的显著效果与作用渠道,有助于为中国智能化发展与经济转型提供可靠的决策依据。

二、理论机制

从数理角度演绎智能化对经济增长集约化的影响机制,首先建立规模报酬不变的经济增长函数:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (1)$$

(1)式中: t 为时间, A 为全要素生产率, Y 为总产出, K 、 L 分别为用于生产的资本存量和劳动力投入; α 为弹性系数, $0 < \alpha < 1$ 。经济发展从粗放式向集约化转变表现为全要素生产率增长率对经济增长率贡献份额的提升,参考王振和厉无畏(2006)、赵文军和于津平(2012)、唐未兵等(2014)的研究,经济增长集约化水平可表示为:

$$ig_t = \frac{gA_t}{gY_t} = \frac{gA_t}{gA_t + \alpha gK_t + (1-\alpha)gL_t} \quad (2)$$

(2)式中: ig 为集约化水平, gY 、 gA 、 gK 、 gL 分别表示经济增长率、全要素生产率增长率、资本存量增长率与劳动力投入增长率。由式(2)可知,经济增长集约化水平受 gA 、 gK 、 gL 三者的共同影响,全要素生产率与要素投入对经济增长的贡献程度是此消彼长的过程。

智能化本质上作为智能技术对人力资本的补充与替代,具备一般通用目的技术的技术进步属性:一是通过完成复杂任务,使员工能够更有效地利用时间,专注于想象、创造和创新,提升全要素生产率^①;二是通过渗透到经济社会各个领域,提高部门间要素协同性从而提高全要素生产率(蔡跃洲、张钧南,2015)。然而,技术进步提升全要素生产率并不会自动

^①参见埃森哲发布的《人工智能:经济发展新动力》,载于 <https://www.accenture.com/cn-zh/insight-ai-artificial-intelligence-future-growth>。

实现,技术进步需要与人力资本、组织变革之间形成互补系统,各要素之间相互赋能,最终促进生产率的提升(Milgrom and Roberts, 1990; Brynjolfsson and Hitt, 2003)。智能化过程中也需要物联网、智能电网、通信基础设施以及智能化人才等互补性要素投入(李廉水等, 2019a),只有与互补性要素投入配合,智能技术才能对全要素生产率的提升做出贡献。因而,在智能化初期^①,智能技术与互补性要素投入不足,智能化的生产率效应较低。随着智能化水平的提高,智能化资本存量的累积与不断深化,智能化对全要素生产率的提升效应将逐渐显现并加速扩散(Oliner et al., 1994)。参考 Aghion 等(2017)的研究,建立智能化对全要素生产率影响的理论模型:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi \left(\int_0^1 X_t^\rho di \right)^{1/\rho} \quad (3)$$

(3)式中: $\dot{A}$ 为全要素生产率增加值; ϕ 为常数, $\phi \leq 1$; ρ 为替代参数, $\rho \leq 1$ 且 $\rho \neq 0$; X 为提高全要素生产率的投入。假设全要素生产率的提高一部分来自智能化资本,另一部分来自非智能化资本(人力资本)。若全要素生产率的提高未实现智能化,则由人力资本提供;当全要素生产率的提高通过智能化资本实现,人力资本则由智能技术所替代,即:

$$X_t = \begin{cases} l_t & \text{非智能化资本(人力资本)} \\ k_{int_t} & \text{智能化资本} \end{cases} \quad (4)$$

则式(3)可表示为:

$$\dot{A}_t = A_t^\phi \left[\beta_t \left(\frac{k_{int_t}}{\beta_t} \right)^\rho + (1-\beta_t) \left(\frac{l_t}{1-\beta_t} \right)^\rho \right]^{1/\rho} \quad (5)$$

(5)式中: β 表示全要素生产率提升中智能化投入所占份额。于是全要素生产率增长率 gA_t 可表示为:

$$gA_t = A_t^{\phi-1} \left[\beta_t \left(\frac{k_{int_t}}{\beta_t} \right)^\rho + (1-\beta_t) \left(\frac{l_t}{1-\beta_t} \right)^\rho \right]^{1/\rho} \quad (6)$$

由式(6)可知,全要素生产率的增长率与智能化资本投入正相关。然而,企业智能化转型升级过程中需要大规模的设备更新、技术改造与结构改组,这一行为必然伴随高额的固定成本和沉没成本。2015年,中国在人工智能领域投资总额达451亿元,这一数字近年来持续上涨,仅2018年上半年投资总额便达到1527亿元^②,这无疑会提高资本投入对经济增长的贡献份额。因而,经济增长集约化水平 ig_t 可表示为关于智能化的函数:

$$ig_t = \frac{A_t^{\phi-1} \left[\beta_t \left(\frac{k_{int_t}}{\beta_t} \right)^\rho + (1-\beta_t) \left(\frac{l_t}{1-\beta_t} \right)^\rho \right]^{1/\rho}}{A_t^{\phi-1} \left[\beta_t \left(\frac{k_{int_t}}{\beta_t} \right)^\rho + (1-\beta_t) \left(\frac{l_t}{1-\beta_t} \right)^\rho \right]^{1/\rho} + \alpha gk_{int_t} + (1-\alpha) gl_t} \quad (7)$$

(7)式中: gk_{int_t} 、 gl_t 分别为智能化资本与人力资本的投入增长率。

^①我们认为智能化水平是地区智能化基础、智能技术、智能化结果三个层面的综合体现,智能化初期三个层面均相对薄弱。

^②数据来源于德勤《中国人工智能产业白皮书》,载于 <https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/innovation/articles/china-ai-industry-whitepaper-intelligence-driven-by-innovation.html>。

为便于分析,假设式(6)为完全替代生产函数,即 $\rho \rightarrow 1$ 。对式(7)关于智能化投入 k_{int_t} 求偏导:

$$\frac{\partial ig_t}{\partial k_{int_t}} = \frac{A_t^{\phi-1}}{[gA_t + \alpha gk_{int_t} + (1-\alpha)gl_t]^2} \left[(\alpha gk_{int_t} + (1-\alpha)gl_t) - \alpha(k_{int_t} + l_t) \frac{\partial gk_{int_t}}{\partial k_{int_t}} \right] \quad (8)$$

令 $\frac{\partial ig_t}{\partial k_{int_t}} \geq 0$,可得:

$$k_{int_t} \geq \frac{1-\alpha}{\alpha} l_t \quad (9)$$

因此,当式(9)成立时,经济增长集约化水平 ig_t 关于 k_{int_t} 的偏导 $\frac{\partial ig_t}{\partial k_{int_t}} \geq 0$ 恒成立。

于是,我们得出以下结论:

在既定理论框架下,智能化对经济增长集约化存在U型影响,智能化对经济增长集约化的影响取决于其对全要素生产率提升的贡献程度与相应成本的大小。

当 $k_{int_t} < \frac{1-\alpha}{\alpha} l_t$ 时,智能化水平相对较低,智能化对全要素生产率提升小于相应的成本提升幅度,全要素生产率增长率低于要素投入的增长率,即:

$$gA_t < \alpha gk_{int_t} + (1-\alpha)gl_t \quad (10)$$

此时,全要素生产率对经济增长的贡献程度在下降,经济增长依然是要素驱动占主导。

当 $k_{int_t} \geq \frac{1-\alpha}{\alpha} l_t$ 时,智能化水平进一步提升,基础设施、智能化人员、智能技术开发与服务等方面更为完善,全要素生产率提升的成本更低。此时,智能化对全要素生产率提升高于相应成本的提升幅度,全要素生产率增长率高于要素投入的增长率,即:

$$gA_t > \alpha gk_{int_t} + (1-\alpha)gl_t \quad (11)$$

此时,全要素生产率对经济增长的贡献程度提高,智能化水平的提升实现了经济增长集约化。

三、研究设计

(一) 模型设定

本文研究目的在于考察智能化水平对经济增长集约化的影响,考虑到经济增长集约化水平可能存在惯性,即前期的集约化水平可能对本期的集约化产生影响,因而静态面板结果可能存在偏误。借鉴已有文献,本文设定动态面板回归模型为:

$$ig_{it} = c + \varphi ig_{it-1} + \gamma int_{it} + \eta X_{it} + \mu_{it} \quad (12)$$

(12)式中: i 、 t 分别表示地区和年份; ig 为被解释变量,表示集约化水平; int 为核心解释变量,表示智能化水平; X 为影响经济增长集约化的其他因素,借鉴王小鲁等(2009)、樊纲等(2011)的研究,选取技术创新(ti)、市场化水平(mar)、对外开放程度($trad$)、政策力度(gov)作为经济增长集约化的控制变量; φ 、 γ 、 η 为待估计参数; μ 为随机扰动项。在模型中, γ 表示智能化对经济增长集约化的影响系数,是本文关注的核心结果。由于本文第二部分得出智能化水平对经济增长集约化存在U型非线性影响的结论,因此构建包含智能化水平平方项

的非线性动态回归模型:

$$ig_{it} = c + \phi ig_{it-1} + \gamma_1 int_{it} + \gamma_2 int_{it}^2 + \eta X_{it} + \mu_{it} \quad (13)$$

本文使用广义矩估计(GMM)对动态面板模型进行估计分析。GMM方法主要有差分GMM和系统GMM两种。差分GMM对模型(13)进行一阶差分处理,并使用滞后变量作为工具变量对差分方程进行估计。系统GMM将差分方程和水平方程结合进行GMM估计,相较于差分GMM估计可以提高估计的效率。由于差分GMM和系统GMM方法存在差异,并且考虑估计结果的稳健性,本文给出了差分GMM和系统GMM两种方法的估计结果,同时运用Arellano-Bond检验验证扰动项的一阶与二阶差分序列自相关,并使用Sargan检验验证工具变量的有效性。

(二) 变量设定

1. 被解释变量:经济增长集约化

结合经济增长集约化的内涵:全要素生产率对经济增长的贡献份额不断提升、资源依赖程度日益降低、生态环境逐渐改善,借鉴王振和厉无畏(2006)、赵文军和于津平(2012)、唐未兵等(2014)、李斌等(2013)的研究,本文用绿色全要素生产率增长率与经济增长率的比值表征经济增长集约化水平:

$$ig_{it} = gA_{it} / gY_{it} \quad (14)$$

(14)式中: ig_{it} 表示*i*地区*t*时期的集约化水平, gA_{it} 表示*i*地区*t*时期的绿色全要素生产率增长率, gY_{it} 表示*i*地区*t*时期的经济增长率。 gA_{it} 采用DEA-Malmquist生产率指数测算。计算绿色全要素生产率时,以工业资本存量、平均工人数、能源投入作为投入变量,资本存量的计算与折旧率等参照张军等(2004)的估算方法;工业总产值作为产出变量;环境污染作为非期望产出,环境污染利用熵权法将工业废气排放量、工业废水排放量、工业废固排放量统一成综合指标。

2. 核心解释变量:智能化水平

目前,智能化水平的衡量存在难点。一方面,国内缺少直接测量人工智能的统计数据,也缺乏国外文献定量研究常用的工业机器人的相关数据;另一方面,人工智能很大程度是一种无形资产,而不是最终消费品,智能软件、软件开发人员智力投入等也难以客观衡量。因此,本文借鉴李廉水等(2019b)构建的智能化综合评价指标体系,客观评价地区智能化水平。

智能化涉及智能化基础、智能技术、智能化结果(市场实践)三个方面^①,地区智能化水平是三者的综合体现:智能化基础是智能化改造和融合的物理基础,良好的智能化基础是智能化推进与发展的基本保障;智能技术以人工智能、互联网+、大数据、云计算、物联网等核心技术为基础,是智能化水平提升的关键动力;智能化结果则反映了智能化的市场盈利能力与市场效率,是智能化的根本目的。

考虑数据的可获取性,本文从智能化基础、智能技术、智能化结果三个维度建立智能化评价指标体系(见表1)。其中:(1)智能化基础包含智能化基础设施与智能人才。智能化基础设施包含通信基础设施、物联网、智能电网等,本文采用电信固定资产投资作为智能化基

^①中国电子技术标准化研究院:《智能制造能力成熟度模型白皮书(1.0版)》,载于<http://www.cesi.cn/201612/1701.html>。

基础设施投入的代理指标。智能人才是智能化设备运用与开发(二次开发)的重要支撑,本文采用地区软件开发人员数量作为智能人才的代理指标。(2)智能技术包含智能技术开发与智能技术服务。软件技术的智能程度主导了智能化的发展(韩江波,2017),智能软件技术的开发与服务也直接影响智能化效果。因此,本文利用地区软件企业数量作为智能技术开发的代理变量,利用地区软件行业收入作为智能技术服务的代理变量。(3)智能化结果包含智能化经济效益与智能化效率两个层面,是智能化市场表现的具体体现。智能化经济效益体现为智能技术门槛及其带来的利润回报与增值能力,本文采用电子及通信设备制造业利润作为智能设备市场利润的代理变量。智能化效率体现为生产效率改善,本文以电子及通信设备制造业人均产值作为智能化效率的代理变量。

表 1 智能化评价指标体系

一级指标	二级指标	指标名称	单位	性质
智能化基础	智能化基础设施	电信固定资产投资	亿元	正向
	智能人才	软件开发人员	人	正向
智能技术	智能技术开发	软件企业数量	个	正向
	智能技术服务	软件行业收入	万元	正向
智能化结果	智能化经济效益	电子及通信设备制造业利润	亿元	正向
	智能化效率	电子及通信设备制造业人均产值	亿元/人	正向

智能化的测定包含指标权重确定和综合指数计算两部分。指标权重的设定主要有主观赋权法和客观赋权法两种方式,主观赋权法是根据对各指标的主观重视程度决定其权重,客观赋权法则是根据指标提供的信息量来决定指标的权重,可以消除权重设定的人为主观因素,权重的设定更为客观科学(王军等,2013)。熵权法作为常用的客观赋权法,避免了主观因素造成的偏误。熵权法主要用来度量事物的不确定性,判断事物的随机与离散程度,可以较为客观地确定指标的权重,与因子分析法、主成分分析法等其他客观赋值法相比也更具有合理性(郭显光,1998),在综合指标体系的测度中得到了大量的运用(陈明星等,2009;许和连、邓玉萍,2012;李虹、邹庆,2018)。因此,本文在指标权重的设定上利用熵权法进行测度。在此基础上,利用各指标的权重进行加权,最终得到地区智能化水平的量化数值。^①

3.控制变量

(1)技术创新(ti)。经济发展的本质是“执行新的组合”,技术创新正是经济发展的应有之意(张来武,2011),技术创新的应用和溢出可以通过促进全要素生产率的增长,从而转变经济的发展方式(王玲、Adam Szirmai,2008)。本文选择各地区专利申请数量表征技术创新能力,并预期技术创新对经济增长集约化存在正向影响。

(2)市场化水平(mar)。改革开放以来,非国有经济的发展对经济增长集约化起了关键作用。市场化经济改革通过改善资源配置和激励机制、培育竞争性产品和要素市场等促进全要素生产率的提升,从而实现经济发展方式的转变(樊纲等,2011)。本文采用各地区民营企业从业人员占总从业人员的比例表征地区市场化水平,并预期市场化水平对经济增长集约化存在正向影响。

^①限于篇幅,计算过程备索。

(3) 对外开放程度(*trad*)。对外贸易可以促进经济体比较优势的发挥,通过引致国际竞争和技术转移提高全要素生产率(许和连、邓玉萍,2012)。对外贸易还伴随着人才与技术流动,有效促进知识溢出,提高本国技术水平。本文选用进出口总额占地区生产总值的比重衡量各省对外开放程度,并预期对外开放程度对经济增长集约化存在正向影响。

(4) 政策力度(*gov*)。地区政策可以通过促进要素积累,改善地区规模报酬收益率和生产效率,达到促进全要素生产率的作用(Chen et al., 2009)。也有一些学者认为欠发达地区的政策补贴会引致企业的低效率,不利于地区全要素生产率的提高(梁琦等,2012)。本文以各省财政支出占地区生产总值的比重指标反映区域政策力度,并预期政策力度对经济增长集约化存在正向影响。

相关数据主要来源于 2005—2016 年的《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、各省份统计年鉴等。为减少异方差,对所有变量进行对数化处理。相关变量统计特征见表 2。从表 2 的变量统计特征可以看出, *lnig* 的均值为 1.4159,最小值为 -1.1808,最大值为 2.0820,即经济增长集约化的均值为 4.1202,最小值与最大值分别为 0.3070 和 8.0205。*lnint* 的均值为 -3.1385,最小值为 -4.4774,最大值为 -1.2865,说明智能化水平的均值为 0.0433,最小值为 0.114,最大值为 0.2762。*lnint*、*lniti*、*lntrad* 的标准差相对较大,反映了各地区智能化水平、技术创新水平、对外开放程度差异相对较大。

表 2 变量统计特征

统计特征	<i>lnig</i>	<i>lnint</i>	<i>lniti</i>	<i>lnmar</i>	<i>lntrad</i>	<i>lngov</i>
平均值	1.4159	-3.1385	9.5262	-1.5943	-1.8108	-1.6705
标准差	0.2637	0.9386	1.5929	0.5106	1.0112	0.4030
最小值	-1.1808	-4.4774	4.8203	-3.0862	-3.5263	-2.5361
最大值	2.0820	-1.2865	13.1313	-0.2201	0.4234	-0.4670
样本量	360	360	360	360	360	360

四、结果分析与讨论

(一) 基准回归结果

基准回归结果^①如表 3 和表 4 所示。表 3 中,首先使用面板固定效应模型对模型进行估计,列(1)是智能化对经济增长集约化的线性影响检验结果。从结果来看,智能化对经济增长集约化的一次项估计系数为负,且通过 1% 显著性水平检验。列(2)和(3)为一阶差分 GMM 和一阶系统 GMM 模型回归结果,滞后一期集约化估计系数显著为负,表明当期集约化与往期负相关,存在经济增长集约化趋同。扰动项自相关检验中,一阶序列 AR(1)与二阶序列 AR(2)均通过 5% 的显著性检验,接受“扰动项差分的一阶自相关系数为 0”的原假设,过度识别假设 Sargan 检验均接受“所有工具变量都有效”的原假设。因而,一阶差分 GMM 和一阶系统 GMM 模型可能设定不当。为解决扰动项自相关问题,本文在解释变量中引入被解释变量的二阶滞后。列(4)、(5)分别为二阶差分 GMM 与二阶系统 GMM 模型回归结果,模型中扰动项一阶序列 AR(1)均显著相关而二阶序列 AR(2)均不相关,Sargan 检验 *p* 值均大

^①为缓解变量度量造成的异方差问题,本文对智能化水平变量进行了 1% 以下和 99% 以上分位数缩尾 (Winsorize) 处理。

于 0.1,说明模型设定的合理性及工具变量的有效性。列(4)和(5)中,经济增长集约滞后一期与二期的估计系数均显著为负,进一步证明经济增长集约化存在自相关且呈现趋同现象。技术创新、市场化水平、对外开放程度和政策力度均显著促进经济增长集约化的提升。

表 3 基准回归模型估计结果(I)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	FE	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig		-0.1640 *** (0.0100)	-0.2455 *** (0.0134)	-0.2651 *** (0.0158)	-0.3840 *** (0.0106)
L2.lnig				-0.2433 *** (0.0117)	-0.3295 *** (0.0157)
lnint	-0.1543 *** (0.0476)	-0.5002 *** (0.0458)	-0.3968 *** (0.0302)	-0.4360 *** (0.0523)	-0.4042 *** (0.0442)
ln _{ti}	0.0507 (0.0412)	0.1600 *** (0.0197)	0.2965 *** (0.0270)	0.1454 *** (0.0386)	0.2897 *** (0.0260)
ln _{mar}	0.0958 (0.0634)	0.1095 *** (0.0359)	0.1211 *** (0.0325)	0.1971 *** (0.0616)	0.2022 *** (0.0546)
ln _{trad}	0.1440 *** (0.0553)	0.2639 *** (0.0258)	0.0472 ** (0.0203)	0.2660 *** (0.0302)	0.1187 *** (0.0190)
ln _{gov}	0.5582 *** (0.1437)	0.8098 *** (0.0525)	-0.0210 (0.0507)	0.8530 *** (0.0861)	0.2174 *** (0.0545)
c	1.7944 *** (0.6673)	0.5527 * (0.3055)	-2.0639 *** (0.3902)	1.5661 *** (0.6008)	-0.7253 * (0.4030)
Hausman 检验	25.74 *** (0.0001)				
AR(1)		-2.5145 ** (0.0119)	-2.4136 ** (0.0158)	-2.3697 ** (0.0178)	-2.3841 ** (0.0171)
AR(2)		-2.9622 *** (0.0031)	-3.5161 *** (0.0004)	-0.20399 (0.8384)	0.4604 (0.6452)
Sargan 检验		27.9187 (0.3625)	28.0063 (0.8270)	27.9695 (0.2613)	28.4312 (0.7370)
F 值	20.8547				
Adj-R ²	0.1637				
N	360	300	330	270	300

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平上显著;括号内为相应变量的 *t* 值或 *p* 值。下同。

表 4 中报告了智能化对经济增长集约化的非线性影响。列(6)为面板固定效应模型估计结果,智能化水平一次项与二次项估计系数均显著为正,且通过 5%显著性水平检验。列(7)-(10)中,经济增长集约化滞后期、控制变量、自回归检验、过度识别检验结果与表 3 结果基本一致,说明估计结果是稳健的。智能化一次项与二次项估计系数均显著为正,这个结果说明,智能化对经济增长集约化存在 U 型影响,作用的拐点在 0.203~0.227 之间^①。控制变量方面,技术创新、市场化水平、外贸依存度和政策力度变量均显著促进经济增长集约化,且在各模型中符号、显著性与表 3 基本保持一致,说明估计结果的稳健性。

表 3 表明智能化对于经济增长集约化存在负向线性影响,表 4 表明智能化对经济增长

①智能化水平对经济增长集约化影响的拐点为各列 lnint、(lnint)² 估计系数与 lnig 组成一元二次方程的最小值。当 lnint<最小值时,智能化水平的提升对经济增长集约化存在负向影响;当 lnint>最小值时,智能化水平与经济增长集约化正相关。

集约化存在 U 型关系,原因可能是:当智能化水平较低时,智能化对全要素生产率提升的贡献程度小于相应成本。此时,虽然智能化促进了全要素生产率的提升,但全要素生产率的提升对经济增长的贡献小于资本与劳动要素投入增长对经济增长的贡献程度,经济增长依然呈现粗放型特性。当智能化水平达到一定程度后,智能化对全要素生产率提升的促进作用大于相应成本提升幅度,此时,全要素生产率的增长率对经济增长的贡献程度大于资本与劳动要素投入提升对经济增长的贡献程度,经济增长实现集约化。而线性结果为负,可能是因为大部分省份的智能化水平没有超越拐点。根据表 4 列(6)–(10)中智能化水平对经济增长集约化影响的一次项与二次项估计系数,拐点在 0.203~0.227 之间。2004 年,未有省份越过拐点,而 2015 年仅有 7 个省份(广东、江苏、山东、北京、上海、辽宁、浙江)越过拐点。

表 4 基准回归模型估计结果(II)

变量	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	FE	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig		-0.1491 *** (0.0117)	-0.2577 *** (0.0117)	-0.2617 *** (0.0186)	-0.4066 *** (0.0144)
L2.lnig				-0.2266 *** (0.0121)	-0.3286 *** (0.0196)
lnint	0.2665 ** (0.1202)	0.6199 *** (0.0660)	0.5109 *** (0.0656)	0.5025 *** (0.1281)	0.4476 *** (0.1163)
(lnint) ²	0.0836 *** (0.0220)	0.1959 *** (0.0135)	0.1638 *** (0.0142)	0.1694 *** (0.0291)	0.1451 *** (0.0280)
ln _{ti}	0.0609 (0.0405)	0.1474 *** (0.0177)	0.3216 *** (0.0205)	0.1594 *** (0.0277)	0.2946 *** (0.0389)
lnmar	0.1079 * (0.0622)	0.0629 * (0.0373)	0.0774 ** (0.0335)	0.1765 *** (0.0545)	0.1791 *** (0.0406)
lntrad	0.1814 *** (0.0551)	0.2526 *** (0.0241)	-0.0286 (0.0249)	0.2211 *** (0.0282)	0.0500 ** (0.0204)
lngov	0.6801 *** (0.1445)	0.9359 *** (0.0792)	0.0352 (0.0608)	0.9191 *** (0.0984)	0.2344 *** (0.0509)
c	2.4117 *** (0.6738)	2.1855 *** (0.3490)	-1.3015 *** (0.2762)	2.5518 *** (0.3680)	0.2452 (0.5231)
Hausman 检验	44.60 *** (0.0000)				
AR(1)		-2.8208 *** (0.0048)	-2.6433 *** (0.0082)	-2.6386 *** (0.0083)	-2.5495 ** (0.0108)
AR(2)		-3.1337 *** (0.0017)	-3.5941 *** (0.0003)	-0.5005 (0.6168)	0.3218 (0.7476)
Sargan 检验		27.2409 (0.3968)	28.6542 (0.8031)	28.4962 (0.2397)	28.1539 (0.7492)
F 值	20.5006				
Adj-R ²	0.1969				
N	360	300	330	270	300

(二) 异质性检验

考虑智能化对经济增长集约化影响可能存在的区域异质性,本文将样本划分为东部地区 and 中西部地区,在基准模型的基础上,以中西部为基准引入东部地区(*east*)的虚拟变量^①,

①东部地区包含河北、北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南 10 个省市,其余地区归为中西部地区。由于差分 GMM 模型是对原方程进行差分,无法估计不随时间变化变量的系数,因此本文只报告系统 GMM 模型东部地区虚拟变量的回归系数。

并引入东部地区与智能化的交互项,分析智能化对经济增长集约化的异质性影响。表 5 报告了区域层面的异质性影响回归结果。

结果表明,智能化对经济增长集约化依然保持稳健的 U 型影响,并且智能化拐点依然在较高的水平。东部地区的虚拟变量估计系数显著为正,表明相对于中西部地区,东部地区更利于经济增长集约化转变。这可能是因为东部地区具有更加前沿的技术水平、更合理的经济环境,因而更利于经济增长集约化水平提升。东部地区与智能化的交互项的估计系数显著为正,说明相较于中西部地区,东部地区智能化水平对经济增长集约化的促进更为明显。原因主要是东部地区的智能化水平显著高于中西部地区,一些省份已经跨越了拐点,位于 U 型曲线的上升端,智能化对全要素生产率的促进效应显著,有助于经济增长集约化水平的提升。这一实证结果也与上文智能化对经济增长集约化的 U 型影响具有逻辑的一致性。

表 5 智能化对经济增长集约化影响区域异质性的估计结果

Panel A	(1)	(2)	(3)	(4)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1482 *** (0.0149)	-0.2335 *** (0.0194)	-0.2461 *** (0.0153)	-0.3775 *** (0.0143)
L2.lnig			-0.2409 *** (0.0115)	-0.3195 *** (0.0143)
lnint	-0.5659 *** (0.0557)	-0.4498 *** (0.0561)	-0.4847 *** (0.0737)	-0.4299 *** (0.0512)
lnint×east	0.3429 *** (0.0673)	0.2242 *** (0.0643)	0.3342 *** (0.0691)	0.1673 ** (0.0674)
east		0.6233 *** (0.2092)		0.5156 *** (0.1941)
c	0.9939 ** (0.4349)	-1.5318 *** (0.4796)	2.0699 *** (0.6732)	-0.0100 (0.4260)
N	300	330	270	300
Panel B	(5)	(6)	(7)	(8)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1437 *** (0.0127)	-0.2531 *** (0.0114)	-0.2515 *** (0.0182)	-0.4008 *** (0.0207)
L2.lnig			-0.2250 *** (0.0111)	-0.3271 *** (0.0266)
lnint	0.5429 *** (0.0588)	0.3953 *** (0.0651)	0.3163 ** (0.1545)	0.3976 (0.3291)
(lnint) ²	0.1889 *** (0.0123)	0.1507 *** (0.0133)	0.1411 *** (0.0323)	0.1378 ** (0.0596)
lnint×east	0.1878 *** (0.0433)	0.1479 ** (0.0710)	0.2003 *** (0.0556)	0.0908 (0.0650)
east		0.3777 * (0.1944)		0.1846 (0.2660)
c	2.4459 *** (0.4490)	-1.0034 *** (0.2840)	2.8134 *** (0.4497)	0.6662 (0.5033)
N	300	330	270	300

注:限于篇幅,未给出控制变量估计结果,完整结果备索。下同。

(三) 内生性问题处理

基准回归与区域异质性回归结果一致,表明本文回归结果具有稳健性。但由于不可观察的遗漏变量和联立性误差,模型可能存在内生性问题。具体而言:一方面,智能化与经济

增长集约化可能存在双向因果关系,集约化程度越高地区的经济水平以及全要素生产率越高,企业更有能力与意愿推进智能化升级。另一方面,地区智能化与经济增长集约化可能同时受某一因素的影响,或者遗漏了与解释变量相关的因素,从而导致系数估计存在偏误。上文采用的面板固定效应模型、面板差分 GMM 与面板系统 GMM 模型,可以一定程度上缓解遗漏变量带来的内生性问题。为进一步解决内生性问题,本文采用工具变量方法缓解可能存在的内生性问题。具体而言,本文借鉴 Acemoglu 和 Restrepo(2018)的做法,采用各地区制造业产值占全国比重作为工具变量进行回归分析(估计结果见表 6)。因为制造业的发展程度与智能化水平有一定相关关系,而且制造业的发展程度对经济增长的集约化影响程度较小,因此符合工具变量“相关性”与“外生性”的假设要求。本文同时采用地区专利授权数^①与全国智能化水平平均值作为工具变量,缓解内生性问题(估计结果见表 7 与表 8)。表 6-8 中的线性回归模型(Panel A)以制造业份额、专利授权数和智能化水平平均值为工具变量,非线性回归模型(Panel B)以制造业份额、专利授权数和智能化水平平均值的平方项为工具变量。变量的估计系数与基准回归结果相一致,表明考虑了可能存在的内生性问题之后,U 型影响的结论依然稳健。

表 6 内生性检验 I (以制造业份额为工具变量)

Panel A	(1)	(2)	(3)	(4)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1833 *** (0.0102)	-0.2448 *** (0.0135)	-0.2838 *** (0.0164)	-0.3849 *** (0.0100)
L2.lnig			-0.2578 *** (0.0092)	-0.3273 *** (0.0148)
lnint	-0.4514 *** (0.0317)	-0.3870 *** (0.0283)	-0.3806 *** (0.0509)	-0.3869 *** (0.0404)
c	0.6834 *** (0.2537)	-1.9528 *** (0.3577)	1.8402 *** (0.6676)	-0.5939 * (0.3572)
N	300	330	270	300
Panel B	(5)	(6)	(7)	(8)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1368 *** (0.0110)	-0.2474 *** (0.0136)	-0.2548 *** (0.0195)	-0.3926 *** (0.0113)
L2.lnig			-0.2234 *** (0.0144)	-0.3189 *** (0.0146)
lnint	0.4570 *** (0.0931)	0.2345 *** (0.0694)	0.4268 *** (0.1034)	0.2544 *** (0.0847)
(lnint) ²	0.1713 *** (0.0175)	0.1208 *** (0.0157)	0.1626 *** (0.0221)	0.1189 *** (0.0190)
c	1.9583 *** (0.3946)	-1.6864 *** (0.2288)	2.2809 *** (0.3752)	-0.1475 (0.3193)
N	300	330	270	300

^①感谢匿名审稿专家对工具变量选择的宝贵意见及建议。

表 7 内生性检验 II (以专利授权数为工具变量)

Panel A	(1)	(2)	(3)	(4)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1427 *** (0.0094)	-0.2360 *** (0.0151)	-0.2520 *** (0.0180)	-0.3848 *** (0.0226)
L2.lnig			-0.2443 *** (0.0093)	-0.3238 *** (0.0169)
lnint	-0.4532 *** (0.0430)	-0.3853 *** (0.0329)	-0.3782 *** (0.0574)	-0.3480 *** (0.0484)
c	0.7428 ** (0.3213)	-1.9666 *** (0.2839)	1.9542 *** (0.6775)	-0.3567 (0.3867)
N	300	330	270	300
Panel B	(5)	(6)	(7)	(8)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1549 *** (0.0109)	-0.2629 *** (0.0133)	-0.2596 *** (0.0178)	-0.4105 *** (0.0122)
L2.lnig			-0.2245 *** (0.0119)	-0.3302 *** (0.0158)
lnint	0.6372 *** (0.0318)	0.4735 *** (0.0905)	0.5277 *** (0.0948)	0.5483 *** (0.0932)
(lnint) ²	0.1994 *** (0.0074)	0.1562 *** (0.0134)	0.1702 *** (0.0222)	0.1583 *** (0.0209)
c	2.0822 *** (0.2724)	-1.3990 *** (0.3372)	2.8052 *** (0.4545)	0.4953 (0.4789)
N	300	330	270	300

表 8 内生性检验 III (以智能化水平平均值为工具变量)

Panel A	(1)	(2)	(3)	(4)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1248 *** (0.0098)	-0.2218 *** (0.0123)	-0.2156 *** (0.0213)	-0.3664 *** (0.0229)
L2.lnig			-0.2216 *** (0.0142)	-0.3132 *** (0.0143)
lnint	-0.5083 *** (0.0504)	-0.4241 *** (0.0404)	-0.4803 *** (0.0445)	-0.4099 *** (0.0506)
c	0.6022 * (0.3396)	-2.2004 *** (0.4756)	1.4475 *** (0.5242)	-0.8681 ** (0.3718)
N	300	330	270	300
Panel B	(5)	(6)	(7)	(8)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnig	-0.1046 *** (0.0084)	-0.2289 *** (0.0109)	-0.2010 *** (0.0196)	-0.3655 *** (0.0161)
L2.lnig			-0.1968 *** (0.0114)	-0.3062 *** (0.0189)
lnint	0.5702 *** (0.0812)	0.3498 *** (0.0651)	0.4867 *** (0.1006)	0.3799 *** (0.0966)
(lnint) ²	0.1919 *** (0.0156)	0.1392 *** (0.0152)	0.1740 *** (0.0213)	0.1409 *** (0.0254)
c	2.1485 *** (0.3710)	-1.5972 *** (0.2913)	2.4982 *** (0.4025)	-0.1414 (0.4434)
N	300	330	270	300

(四) 稳健性检验

为进一步验证估计结果的稳健性,考虑到 GMM 估计方法可能存在的弱工具变量问题,基于偏差矫正的最小二乘虚拟变量(LSDVC)方法可能更为有效(张志强,2017)。本文采用 LSDVC 方法对基准估计结果进行进一步的稳健性检验。表 9 报告了 LSDVC 方法的估计结果,回归系数与基准估计结果基本一致,U 型影响稳健存在。LSDVC 的智能化水平回归系数绝对值略小于基准估计结果,2015 年跨域拐点的省份由 7 个增加至 8 个(广东、江苏、山东、北京、上海、辽宁、浙江、四川),依然符合本文的理论推论。

表 9 基于 LSDVC 方法的稳健性估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	差分 GMM 估计量作为初始值	系统 GMM 估计量作为初始值	差分 GMM 估计量作为初始值	系统 GMM 估计量作为初始值
L.lnig	-0.1131* (0.0607)	-0.1051* (0.0598)	-0.0962 (0.0602)	-0.0834 (0.0605)
lnint	-0.1539*** (0.0486)	-0.1565*** (0.0490)	0.4116*** (0.1406)	0.4280*** (0.1421)
(lnint) ²			0.1179*** (0.0271)	0.1206*** (0.0272)
N	330	330	330	330

五、机制检验

由前文分析与估计结果可知,较低的智能化水平制约了经济增长集约化,智能化水平越过拐点后才会推动经济的集约化增长。那么智能化究竟是通过何种机制影响经济增长集约化呢?对此进行研究有助于更加深入地了解智能化与经济增长集约化之间的内在联系。

本文采用 Malmquist 指数法测算各地区绿色全要素生产率。Malmquist 指数法将绿色全要素生产率分解为技术效率指数(Technical Efficiency Change Index, TE)和技术进步指数(Technical Change Index, TC):

$$TFP = TE \times TC \quad (15)$$

可见,全要素生产率的提升可通过技术效率和技术进步两种途径实现。本文将分别以技术效率指数和技术进步指数的增长率对经济增长率的贡献程度作为被解释变量,对智能化影响经济发展方式的传导路径进行检验和识别,揭示智能化对经济增长集约化可能的影响渠道。考虑结果的稳健性,本部分依然采用差分 GMM 和系统 GMM 方法对模型进行估计。表 10 和表 11 给出了智能化对经济增长集约化影响机制的检验结果。

表 10 是以技术效率增长率对经济增长率的贡献程度为被解释变量的估计结果。从估计结果可知,智能化对技术效率贡献度的线性影响显著为负,表明目前智能化限制了技术效率对经济增长率贡献程度的提高,列(5)和列(6)的非线性影响结果中,U 型影响并不显著。列(7)和列(8)的估计结果中,智能化对技术效率贡献度的影响呈 U 型,并且尚未有省份跨越了拐点。表 11 是以技术进步增长率对经济增长率贡献程度为被解释变量的估计结果。结果表明智能化与技术进步贡献度存在 U 型影响,并且有 10 个省份已经跨越了拐点(广东、江苏、山东、北京、上海、辽宁、浙江、四川、湖北、福建)。

表 10 智能化对技术效率影响的估计结果

Panel A	(1)	(2)	(3)	(4)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnTE	-0.1129 *** (0.0149)	-0.0350 *** (0.0087)	-0.1995 *** (0.0141)	-0.1688 *** (0.0134)
L2.lnTE			-0.0918 *** (0.0116)	-0.1715 *** (0.0155)
lnint	-0.0054 *** (0.0007)	-0.0045 *** (0.0003)	-0.0054 *** (0.0007)	-0.0040 *** (0.0006)
c	0.0115 * (0.0065)	-0.0462 *** (0.0054)	0.0074 (0.0086)	-0.0493 *** (0.0085)
N	300	330	270	300
Panel B	(5)	(6)	(7)	(8)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnTE	-0.1105 *** (0.0131)	-0.0404 *** (0.0109)	-0.1804 *** (0.0191)	-0.1594 *** (0.0162)
L2.lnTE			-0.0877 *** (0.0105)	-0.1676 *** (0.0219)
lnint	-0.0032 ** (0.0014)	-0.0068 *** (0.0018)	0.0026 (0.0021)	-0.0009 (0.0015)
(lnint) ²	0.0004 (0.0003)	-0.0004 (0.0003)	0.0014 *** (0.0005)	0.0006 * (0.0003)
c	0.0161 ** (0.0067)	-0.0459 *** (0.0053)	0.0175 ** (0.0084)	-0.0466 *** (0.0070)
N	300	330	270	300

表 11 智能化对技术进步影响的估计结果

Panel A	(1)	(2)	(3)	(4)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnTC	-0.1556 *** (0.0173)	-0.1760 *** (0.0132)	-0.2422 *** (0.0170)	-0.3582 *** (0.0149)
L2.lnTC			-0.3886 *** (0.0058)	-0.4513 *** (0.0057)
lnint	-0.0059 *** (0.0006)	-0.0061 *** (0.0006)	-0.0060 *** (0.0010)	-0.0061 *** (0.0011)
c	0.0408 *** (0.0098)	-0.1283 *** (0.0085)	0.0549 *** (0.0103)	-0.1247 *** (0.0155)
N	300	330	270	300
Panel B	(5)	(6)	(7)	(8)
	一阶差分 GMM	一阶系统 GMM	二阶差分 GMM	二阶系统 GMM
L.lnTC	-0.1482 *** (0.0201)	-0.1728 *** (0.0184)	-0.2353 *** (0.0196)	-0.3577 *** (0.0229)
L2.lnTC			-0.3767 *** (0.0093)	-0.4505 *** (0.0071)
lnint	0.0205 *** (0.0031)	0.0048 (0.0035)	0.0104 ** (0.0053)	-0.0039 (0.0040)
(lnint) ²	0.0048 *** (0.0004)	0.0019 *** (0.0006)	0.0030 *** (0.0008)	0.0003 (0.0008)
c	0.0735 *** (0.0164)	-0.1213 *** (0.0125)	0.0747 *** (0.0167)	-0.1234 *** (0.0171)
N	300	330	270	300

六、结论与启示

本文通过将智能化与经济增长集约化纳入同一个分析框架,从理论和实证两方面研究了智能化对中国经济增长集约化的影响及其作用机制。研究表明:2004—2015年,智能化对中国经济增长集约化呈现先抑制后促进的U型影响,考虑到影响的区域异质性、模型的内生性等问题后,U型影响仍是稳健的;机制检验结果表明,技术效率与技术进步是智能化影响经济发展方式的重要渠道。本文的研究结论具有以下三点启示:

一是智能化可以通过促进技术效率与技术进步,实现中国经济发展方式集约化的转变。因此,要深刻认识新一代信息技术对中国经济发展的重要意义。加强新一代信息技术的基础理论研究,努力在理论、方法、工具、系统等方面取得突破,促进其与经济社会发展的智能化深度融合。

二是智能化对经济发展方式转变的影响不是单向的,因此不同地区的政策不能一刀切。对于尚未跨越拐点的地区,需要做好智能化改造与融合的舆论导向,使企业意识到智能化对竞争力带来的正向影响,推广鼓励新一代信息技术在生产与管理中的嵌入应用。对于跨越了拐点的地区,应以第四次工业革命为契机,进一步支持企业通过自主创新等方式推进智能化改造与融合,充分发挥智能化“红利”。

三是智能化对经济增长集约化的影响效果受到智能基础设施、智能人才等影响。地方政府应致力于提高自身的技术基础能力,加强科技投入强度,特别是与人工智能相关技术的投入。例如:可通过设立智能化扶持资金的方式,加大对智能化互补式创新与组合式创新的投入,这不仅有助于夯实本地的技术基础,实现地区技术进步,也能实现经济增长的集约化转变,引领中国经济的高质量发展。

参考文献:

1. 蔡跃洲,张钧南,2015:《信息通信技术对中国经济增长的替代效应与渗透效应》,《经济研究》第12期。
2. 曹静、周亚林,2018:《人工智能对经济的影响研究进展》,《经济学动态》第1期。
3. 陈明星、陆大道、张华,2009:《中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析》,《地理学报》第4期。
4. 樊纲、王小鲁、马光荣,2011:《中国市场化进程对经济增长的贡献》,《经济研究》第9期。
5. 郭显光,1998:《改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用》,《系统工程理论与实践》第12期。
6. 韩江波,2017:《智能工业化:工业化发展范式研究的新视角》,《经济学家》第10期。
7. 李斌、彭星、欧阳铭珂,2013:《环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变——基于36个工业行业数据的实证研究》,《中国工业经济》第4期。
8. 李虹、邹庆,2018:《环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析》,《经济研究》第11期。
9. 李廉水、石喜爱、刘军,2019a:《中国制造业40年:智能化进程与展望》,《中国软科学》第1期。
10. 李廉水、刘军、程中华,2019b:《中国制造业发展研究报告2019——中国制造40年与智能制造》,科学出版社。
11. 梁琦、李晓萍、吕大国,2012:《市场一体化、企业异质性与地区补贴——一个解释中国地区差距的新视角》,《中国工业经济》第2期。
12. 林毅夫、苏剑,2007:《论我国经济增长方式的转换》,《管理世界》第11期。
13. 唐未兵、傅元海、王展祥,2014:《技术创新、技术引进与经济增长方式转变》,《经济研究》第7期。
14. 王军、邹广平、石先进,2013:《制度变迁对中国经济增长的影响——基于VAR模型的实证研究》,《中国工业经济》第6期。
15. 王玲、Adam Szirmai,2008:《高技术产业技术投入和生产率增长之间关系的研究》,《经济学(季刊)》第7卷第3期。
16. 王小鲁、樊纲、刘鹏,2009:《中国经济增长方式转换和增长可持续性》,《经济研究》第1期。
17. 王振、厉无畏,2006:《转变经济增长方式研究》,学林出版社。
18. 许和连、邓玉萍,2012:《外商直接投资导致了中国的环境污染吗?——基于中国省际面板数据的空间计量研究》,《管理世界》第2期。
19. 张军、吴桂英、张吉鹏,2004:《中国省际物质资本存量估算:1952—2000》,《经济研究》第10期。

20. 张来武, 2011:《科技创新驱动经济增长方式转变》,《中国软科学》第12期。
21. 张志强, 2017:《动态面板模型参数估计方法的比较研究》,《统计研究》第9期。
22. 赵文军、于津平, 2012:《贸易开放、FDI与中国工业经济增长方式——基于30个工业行业数据的实证研究》,《经济研究》第8期。
23. Acemoglu, D., and P. Restrepo. 2018. "The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment." *American Economic Review* 108(6): 1488–1542.
24. Aghion, P., B. F. Jones, and C. I. Jones. 2017. "Artificial Intelligence and Economic Growth." NBER Working Paper 23928.
25. Agrawal, A. K., J. S. Gans, and A. Goldfarb. 2018. "Prediction, Judgment and Complexity: A Theory of Decision Making and Artificial Intelligence." NBER Working Paper 24243.
26. Brynjolfsson, E., and L. M. Hitt. 2003. "Computing Productivity: Firm-Level Evidence." *Review of Economics and Statistics* 85(4): 793–808.
27. Brynjolfsson, E., D. Rock, and C. Syverson. 2017. "Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics." NBER Working Papers 24001.
28. Chen, K., Y. Huang, and C. Yang. 2009. "Analysis of Regional Productivity Growth in China: A Generalized Metafrontier Mpi Approach." *China Economics Review* 20(4): 777–792.
29. Graetz, G., and G. Michaels. 2018. "Robots at Work." *Review of Economics and Statistics* 100(5): 753–768.
30. Hanson, R. 2001. "Economic Growth Given Machine Intelligence." Technical Report, University of California, Berkeley.
31. Kromann, L., N. Malchow-Møller, J. R. Skaksen, and A. Sorensen. 2020. "Automation and Productivity—A Cross-Country, Cross-Industry Comparison." *Industrial and Corporate Change* 29(2): 265–287.
32. Makridakis, S. 2017. "The Forthcoming Artificial Intelligence (AI) Revolution: Its Impact on Society and Firms." *Futures* 90: 46–60.
33. Milgrom, P., and J. Roberts. 1990. "The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization." *American Economic Review* 80(3): 511–528.
34. Nordhaus, W. D. 2015. "Are We Approaching an Economic Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth." NBER Working Paper 21547.
35. Oliner, S. D., D. E. Sichel, J. E. Triplett, and R. J. Gordon. 1994. "Computers and Output Growth Revisited: How Big Is the Puzzle?" *Brookings Papers on Economic Activity* 2: 273–334.

Intelligentization and the Transformation of Economic Development Mode: Theoretical Mechanism and Empirical Evidence

Liu Liang^{1,2}, Li Lianshui^{1,2}, Liu Jun² and Cheng Zhonghua²

(1: School of Economics and Management, Southeast University; 2: China Institute of Manufacturing Development, Nanjing University of Information Science & Technology)

Abstract: China is now in a critical period for the transformation of its economic development mode, which needs major innovations including artificial intelligence as driving forces. This paper examines the influence of intelligentization on the intensification of economic growth and its mechanism by constructing a CES production function model and using China's provincial-level panel data from 2004 to 2015. The results show that: There is a significant U-shaped relationship between intelligentization and the intensification of economic growth. This relationship remains robust after considering the influences of the regional heterogeneity and the model's endogeneity. The mechanism analysis reveals that intelligentization can bring about the intensification of economic growth through technical efficiency and technical change. This paper clarifies the significant effect of intelligentization on the transformation of economic development mode and its mechanism. It also provides policy implications for China to transform its economic development mode through intelligentization.

Keywords: Artificial Intelligence, Intelligentization, The Intensification of Economic Growth, Green Total Factor Productivity

JEL Classification: O14, D24

(责任编辑:彭爽)