

产业智能化、收入分配与产业结构升级

宣旸 张万里¹

【摘要】在构建现代化工业体系的过程中，产业智能化将如何影响国内的产业结构？基于产业智能化的基本定义，通过智能化相关指标构造产业智能化指数，将产业结构升级分为产业结构高级化和合理化两个方面，探析产业智能化与产业结构升级的静态和动态关系，研究收入分配如何影响产业智能化对产业结构升级的作用，并考虑不同地区产生的影响。得到结论如下：（1）产业智能化有利于产业结构高级化，但降低产业结构合理化；（2）产业智能化和产业结构升级都存在惯性，产业结构的调整和产业智能化随着时间推移对产业结构升级的影响不断减弱；（3）城乡收入差距减缓了产业智能化对产业结构高级化的正向作用并加速产业智能化造成的产业结构不合理，资本-劳动收入份额比值正向调节产业智能化对产业结构高级化的正向作用和对产业结构合理化的负向作用；（4）产业智能化对产业结构升级的影响存在地域差异，对西部地区产业结构升级作用不显著，并且收入分配的调节作用也不同。

【关键词】产业智能化 产业结构合理化 收入分配

【中图分类号】:F062.9 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1000-8306(2021)05-0103-16

一、引言

2020年，我国“十四五”规划提前布局未来产业经济结构，指出要在质量效益明显提升的基础上实现经济结构、产业结构更加完善和优化，提高自主研发创新水平，提高产业高级化、产业链现代化水平，同时要建立现代化工业体系。这就需提高全球产业链价值，促进传统产业高端化、数字化、网络化和智能化。那么，在现代化经济体系的构建过程中，产业的智能化对产业结构将产生何种影响？据统计，2013年，中国第三产业增加值比重首次超过第二产业，达到46.1%，2015年的比重达到50.5%，首次突破50%。^①智能化结合了深度学习和自动化，被运用到高新技术产业中，这能够在一定程度上解释中国第三产业高速发展乃至产业结构调整的现实情况。然而，Acemoglu和Restrepo（2017）指出，智能化能提高企业生产率，也会造成劳动力失业，劳动力创造的价值远小于数字化、智能化资本产生的价值，造成地区高低技能劳动力收入差距和劳动-资本收入差距的扩大，形成了不同技能劳动力的转移，影响地区经济发展。^②据此，地区收入分配可能会影响产业智能化技术的应用，最终改变产业结构。

产业智能化造成劳动力的“破坏效应”和“创造效应”，减少企业非熟练劳动力，员工通过使用智能化机器设备减少生产时间，提高企业全要素生产率。而企业全要素生产率的提高会促进整个地区和经济的发展、结构调整和内生增长等，带动生产要素在产业间和地区间的合理优化配置，促进产业结构升级。然而，一方面，地区的收入分配意味着劳动和资本的分布不平衡，影响产业智能化与产业结构升级之间的作用；另一方面，中国各地区产业结构存在差异性，产业智能化可能基于不同的地区要素禀赋而对产业结构升级产生不同影响。

综上所述，产业智能化和产业结构升级之间存在差异，并非产业智能化越高，产业结构越好，并且地区收入分配也会改变两者之间的不确定关系。本研究通过搜集产业智能化相关指标，测算各省份产业智能化指数，采用我国2004—2016年的省域面板数据，探究产业智能化如何作用于产业结构高级化和合理化，并分析高低技能劳动力收入差距和资本-劳动收入差距等收入分配的调节机制，将总样本分为东部和西部地区，探讨区域异质性。本文的创新点如下：（1）完善产业智能化的理论框架，通过

¹作者简介：宣旸（1990-），西安电子科技大学人文学院，博士生。电子邮箱：360598433@qq.com。

张万里（1990-），西北工业大学公共政策与管理学院，副教授（通讯作者）。电子邮箱：zhangwanli623@163.com。

基金项目：国家自然科学基金面上项目“ICT对中国技术进步的作用机理及影响效果研究”（71874138）；教育部人文社会科学研究青年基金项目“放管服改革对中小微企业创新绩效的影响及提升策略研究”（19YJCZH267）。

李丫丫和潘安（2017）^[2]、张万里和宣畅（2020）^[3]等学者的研究，考虑智能化企业、与智能化相关的机器人进出口等因素后，采用因子分析方法衡量各省份的产业智能化程度；（2）根据产业结构升级的定义，探析产业智能化对产业结构高级化和合理化的静态影响和动态影响；（3）将城乡收入差距和资本-劳动收入份额比作为收入分配指标，分析地区收入分配如何影响产业智能化和产业结构升级的关系。

二、理论分析与研究假设

Graetz 和 Michaels（2018）指出，智能化、自动化的特点通过对低技能劳动力的破坏和高端人才的互补来提高企业生产效率。^[4]产业结构高级化是产业内部劳动生产率提高的过程，而产业智能化能够从如下几个方面促进地区产业结构高级化：首先，生产要素转移。产业智能化对高端人才需求的增加，更能有效发挥智能化技术的作用，提高劳动生产率，提升产业结构高级化。^[5]被产业智能化替代的低技能劳动力会流动到非智能化企业或其他地区产业，员工数的增加促进规模经济的形成，提高产业结构高级化。^[6]其次，产业关联效应。实施智能化的企业可以生产质量更高的传统产品，并创造新产品，生产流程的加速生产和技术创新会增加与其他相关产业的需求，这部分产业则会提高全要素生产率和技术研发能力，为智能化企业提供数量更多、质量更好的原材料和中间品。上游智能化企业会带来数量更多、质量更好的原材料和中间品，下游智能化企业则会加强对上游企业生产流程、技术创新、管理等方面的监督。^[7]最后，地区内、地区间的产业竞争和示范效应。产业智能化需要更多的高端人才，这部分劳动力知识和素质水平相对较高，方便企业内部治理，实现无人化会议和监督，通过大数据和云计算为管理者提供最优决策选择，有效地改善企业的生产流程和管理过程。并且非智能化企业也会模仿智能化企业的生产技术和管理模式，吸引高技术人才，创造新的生产模式，为员工带来新的知识，提高生产效率。^[1]据此，本文提出假设 1。

假设 1：产业智能化水平越高，产业结构越高级。

产业智能化解雇的员工会流动到其他地区和产业，并且智能化企业生产率的提高会扩大企业规模，加速资本深化，导致智能化企业与非智能化企业之间的差距越来越大，非智能化企业生产率低，工资水平低下，高技能劳动力和资本流失，造成生产要素的错配。^[8]产业智能化作为未来提升竞争力的关键，政府也会加大对这部分企业的补贴和投资力度，导致劳动和资本不断汇集到智能化企业，造成行业间的差距不断扩大。这里呈现出两种效应：一是生产要素转移效应。与产业结构高级化相同，产业智能化会造成低技能劳动力失业，进而提高整个地区的劳动力供给，造成供过于求的市场现象，致使劳动力价格降低。而智能化企业对高端人才需求更多，并生产数量更多、质量更好的产品，对中间投入和原材料的需求也会提高，因此，与之关联的上下游产业会雇佣这部分失业员工，形成劳动力的极化。^[9]并且，智能化企业使用了人工智能、物联网、区块链等智能化技术，对机器设备等资本的需求更高，而这部分资本也愿意转移到全要素生产率更高的智能化企业，加速资本的极化现象。二是地方政府锦标赛效应。地方政府为了提高政绩，将大力吸引高技术人才，兴建各类产业园和发展新兴战略型产业。但是，先天发展条件不足的地区可能并不能满足智能化技术的使用，它们缺乏完善的融资体系和基础设施建设，这会造成产能过剩，不利于要素配置。^[10]而那些非智能化企业则没有享受政府的优惠政策，资本和劳动力外流到政府支持企业。目前，我国智能化技术主要存在于汽车、医药、信息技术等行业，生产要素分配极其不合理。据此，本文提出假设 2。

假设 2：产业智能化降低了地区产业结构合理化。

David（2015）指出，人工智能、自动化会代替一部分低技能劳动力，劳动力变得多余，那么主要的经济问题应该是收入分配而不是稀缺。^[11]Berg 等（2016）指出，随着智能化设备变得更加便宜，资本-劳动收入差距扩大，企业更偏向使用能带来更多收入的资本。^[12]并且，产业智能化会提升高端人才的需求，低技能员工则会失业，随着不同类型劳动力的收入差距扩大，生产要素在不同地区和企业间的转移，调整产业结构。因此，本文将收入分配分为高低技能劳动力收入差距和资本-劳动收入份额比，进而分析两者的调节作用。

从高低技能劳动力收入差距进行分析。（1）对于智能化企业，工业机器人、物联网、互联网等数字化技术必须由高端人才

来操作。企业对熟练劳动力需求的上升致使地区高低技能劳动力收入差距扩大，并导致企业雇佣高技能劳动力的成本提高。企业为了维持利润最大化会降低高端人才的使用，降低劳动生产率。其他企业的劳动生产率低于智能化企业，当不同类型劳动收入差距扩大，这部分企业会增加低技能劳动力的使用，虽然生产规模扩大，但生产技术和管管理技术得不到改善，不利于产业结构的高级化。也就是说，随着高低技能劳动力收入差距扩大，产业智能化对产业结构高级化的正向作用减弱，高低技能劳动力收入差距起到了负向调节作用。^[13]（2）高低技能劳动力收入差距的加剧会提升非智能化企业对非熟练劳动力的需求，而智能化企业由于新设备的使用，会降低对低技能劳动力的需求。在此背景下，劳动力大量回流至非智能化企业，而只有少数高技能劳动力被智能化企业利用，即高低技能劳动力收入差距负向调节产业智能化对产业结构合理化的负向作用。^[14]据此，本文提出假设 3。

假设 3：高低技能劳动力收入差距的增加负向调节了产业智能化对产业结构高级化的正向影响和对产业结构合理化的负向影响。

从资本-劳动收入份额比进行分析。（1）地区资本-劳动收入份额比值较大，说明资本报酬比劳动报酬高，意味着企业拥有较高的技术水平、机械设备等，生产率水平也较高。廉价的劳动力不再具有优势，而是被资本和自动化挤压，企业会更多地使用生产率更高的资本进行生产，财富流向那些具有创造新产品、服务和管管理模式能力的智能化企业，并且对地区内同类型企业和其他企业造成知识溢出效应，促进这部分企业使用更多的资本进行生产，加速产业高级化，^[15]资本-劳动收入份额比值起到正向调节作用。（2）地区资本-劳动收入份额比值较大，说明地区资本占有率较高，地区内企业使用资本进行生产的比重大，因此资本作为一种生产要素在企业之间的分布较为分散。而产业智能化水平高，意味着地区内工业机器人、自动化、信息技术的供给充足，智能化和非智能化企业都会使用资本来替代劳动力，因此资本的极化现象会降低。^[16]并且，劳动收入份额较低意味着地区劳动力不多，劳动力主要集中于企业管理、技术创新、设备维修等日常刚需工作岗位，随之劳动密集型生产现象不断弱化。地区内企业会通过资本来替代生产性劳动力，而雇佣少量技术人才和管理人才，因此，劳动力分布较为均匀，产业结构合理。^[17]因此，随着资本-劳动收入份额比值的增加，产业智能化更能促进产业结构合理化，即资本-劳动收入份额比值的增加将减弱产业智能化对产业结构合理化的负向作用。据此，本文提出假设 4。

假设 4：资本-劳动收入差距的扩大正向调节了产业智能化对产业结构高级化的正向作用和对产业结构合理化的负向作用。

三、研究设计

（一）模型设计

产业智能化对产业结构高级化和合理化产生不同的影响，因此本文借鉴赵云鹏和叶娇（2018）的研究方法，^[18]采用如下回归方程：

$$IS_{it} = \alpha + \beta IAI_{it} + \sum \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， IS_{it} = ISU_{it} ， ISR_{it} 表示产业结构升级，即产业结构高级化和合理化； IAI_{it} 是产业智能化水平，代表地区物联网、互联网、工业机器人等使用情况，为本文的核心解释变量； X_{it} 为本文的控制变量，包括影响产业结构升级的其他因素，下文将做详细介绍。 μ_i 和 λ_t 分别为个体和时间固定效应。

此外，本文引入收入分配和产业智能化的交互项，研究收入分配的调节作用：

$$IS_{it} = \alpha + \beta IAI_{it} + \delta Z_{it} IAI_{it} + \chi Z_{it} + \sum \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中， Z_{it} 为收入分配，使用资本劳动收入份额比与城乡收入差距来衡量。由于产业结构和产业智能化存在一定的滞后性和惯性，使用静态面板模型会造成结果的偏差，本文借鉴聂高辉和黄明清（2015）的方法，加入产业结构高级化和产业结构合理化的一阶滞后项，^[19]使用系统 GMM 和差分 GMM 方法进行估计，控制模型存在的滞后性和动态性：

$$IS_{it} = \alpha + \phi IS_{it-1} + \beta IAI_{it} + \sum \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$IS_{it} = \alpha + \phi IS_{it-1} + \beta IAI_{it} + \delta Z_{it} IAI_{it} + \chi Z_{it} + \sum \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中， IS_{it-1} 表示产业结构高级化和产业结构合理化的一阶滞后项。

（二）变量选择

1. 产业结构升级的衡量（IS）。产业结构升级泛指劳动力、资本等要素在产业内和产业间以及地区内和地区间的合理分配，是提高要素使用效率和生产效率的过程。陶长琪和彭永樟（2017）^[20]将产业结构升级分为产业结构高级化和合理化。

（1）产业结构高级化（ISU）。现阶段，学者主要将非农产业产值或员工数占比、服务业产值或员工数与制造业的比值、高新技术产业产值或员工数占比等用来衡量产业结构高级化。^[21]而产业结构高级化不只是不同类型产业占比的变化，还应该包含生产率的提高。本文参照王兵和吴福象（2019）的方法衡量产业高级化水平（ISU）：^[22]

$$ISU_{it} = [\prod_{k=1}^m (\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ijt}}{Y_{it}} \times \frac{Y_{ijt}}{F_{ijkt}})]^{1/m} \quad (5)$$

其中， Y_{ijt} 为 i 地区在 t 年份 j 产业的生产总值， F_{ijkt} 是 k 生产要素的总量。本文只考虑考虑劳动力生产要素，参照钱纳里的方法对人均产出进行改善，借鉴刘伟等（2008）的方法衡量产业结构高级化指数。^[23]

（2）产业结构合理化（ISR）。产业结构合理化是生产要素投入和产品产出不断耦合协调的过程。本文将合理化定义为生产要素在地区内产业间的合理分配和流动，实现产业内和产业间的联动。考虑劳动力和资本两种生产要素，采用韩永辉等（2017）的考虑要素偏离度方法和产业份额的方法衡量产业结构合理化。^[24]

2. 产业智能化的衡量（IAI）。智能化是企业在生产过程中的网络化、无人化和智能化，达到完全的机器生产，包含人工智能、物联网、区块链等智能化相关技术。产业智能化则是将这些技术应用到农业、工业和服务业中，孙早和侯玉琳（2019）衡量了中国的工业智能化水平，然而智能化不只存在于制造业，农业和服务业等部门也在不断使用。^[25]因此，本文参照张万里和宣畅（2020）等人的提出的产业智能化的七大指标，^[3]采用樊纲和王小鲁（2011）的因子分析方法测算各省份的产业智能化指数（IAI），^[26]具体见表 1。所有的数据来源于《中国统计年鉴》《中国电子信息产业统计年鉴》和《中国信息产业年鉴》。

表 1 产业智能化指标构建

序号	一级指标	二级指标
1	智能仪器设备	计算机、电子元件、电子器件和电子仪器的进出口平共额占总生产值的比例

2	软件使用程度	基础软件、嵌入式软件、支撑软件和应用软件进出口总额占生产总值的份额
3	机器人	机器人进口与出口总额占生产总值的比例
4	数据处理	信息技术咨询设计服务、数据服务和运营服务的收入与生产总值的比例
5	信息平台维护	信息系统集成业务、电子商务平台服务和运营维护服务收入占生产总值的份额
6	信息采集	互联网使用任务占总人口的比例
7	智能化技术创新	智能化相关企业的专利数

3. 调节变量。收入分配（IM）。Robinson（1976）提出，若地区的经济部门为两个或以上，则这些部门之间的收入必然不相同，导致生产要素为了获得更高的收益而在部门间流动，引起收入差距的变化。^[27]而且城市人口主要偏重工业和服务业的发展，属于高技术产业，农村人口偏重农业发展，属于低技术产业，因此，本文将邓金钱（2017）的城乡收入差距（IM1）作为高低技能劳动力收入差距的衡量，但2004年《中国统计年鉴》和《中国人口和就业统计年鉴》均未披露城镇和农村人口数量，^[28]因此，本文采用线性插值方法进行填充。周茂等（2018）认为，有偏技术进步能替代低技能劳动者，而地区的产业结构升级是由资本累积导致的，降低劳动收入份额，提高资本收入份额。^[29]并且，高端人才与智能化技术的互补会改变劳动力结构，劳动力结构不断偏向高技术人员、管理人员，导致劳动收入份额变化。因此，本文使用要素收入分配差距（IM2）来衡量地区收入分配结构。

[30]

4. 控制变量。本文选取如下指标来控制产业智能化对产业结构升级的影响，^④具体如下：居民消费（Consp）、进出口（EX）、融资程度（Finance）、政府干预度（GR）、基础设施（Instra）、市场化（Market）、外商直接投资（FDI）、创新效率（PR）。^{[31]–[35]}

（三）描述性统计分析

本文构建所有变量的描述性统计，包括均值、方差、最大值和最小值，来分析数据特点。除产业结构高级化、资本-劳动收入份额比和基础设施的标准差大于2以外，其他变量的标准差都较小，说明本文数据波动性不大。产业结构高级化的最大值和最小值分别是21.204和0.922，相差20.282，所以产业结构高级化的数据较为集中。产业结构合理化的最小值为-0.729，最大值为2.393，相差3.122，数据同样集中。产业智能化指数（IAI）的标准差为1.470，数据波动性不大，说明我国产业智能化的发展比较缓慢。调节变量资本-劳动收入份额比（IM2）的标准差最大，即2.261，但该指标的最小值和最大值的差为44.900，大部分数据较为集中。城乡收入差距的标准差为0.185，数据波动幅度小。基础设施程度最大值和最小值相差21.780，远小于标准差，即分布在两端的数据较少。

四、实证研究结果

（一）单位根检验^⑤

本文借鉴 Pesaran (2008) 的方法使用 CD 检验和第二代单位根检验验证数据的可靠性。^[36]由表 2 可知, CD 检验均显著地拒绝原假设, 变量存在截面相关性。由于各截面是相关的, 因此需要进行 CIPS 检验, 即所有变量在考虑截面相关性后, 均在 5% 的水平上拒绝原假设, 平稳性良好。

表 2 第一代和第二代单位根检验

变量	截面相关性检验		第二代单位根检验	
	原值		滞后一期	
	CD test	P value	CIPS test	P value
ISU	70.411	0.00	-3.622	0.00
ISR	7.393	0.00	-2.965	0.00
IAI	61.013	0.00	-1.801	0.00
IM1	14.198	0.00	-2.654	0.00
IM2	20.976	0.00	-4.060	0.00
Consp	31.745	0.00	-3.659	0.00
FDI	38.696	0.00	-1.763	0.01
Finance	74.304	0.00	-2.334	0.00
PR	24.215	0.00	-2.565	0.00
Instra	50.916	0.00	-2.965	0.00
Market	51.157	0.00	-3.006	0.00
GR	74.878	0.00	-4.232	0.00
EX	22.336	0.00	-3.958	0.00

(二) 基准回归结果

首先, 分析产业智能化与产业结构高级化之间的关系。表 3 的列 (1) 产业智能化的系数为 3.016, 在 1% 的水平上显著拒绝

原假设。在列（2）和列（3）中加入控制变量，智能化的系数都显著为正，分别为 1.541 和 0.154，不断加入控制变量、时间效应和个体效应，产业智能化对产业结构高级化的正向作用不断下降，但仍在 1%的水平上显著，即产业智能化会加快当地的产业结构高级化进程。其次，讨论产业智能化与产业结构合理化之间的关系。表 3 的列（4）至列（6）的产业智能化系数均为负，并且也都在 1%的水平上显著拒绝原假设，说明产业智能化不利于产业结构合理化。

在加入控制变量、时间固定效应和个体固定效应后，产业智能化对产业结构高级化和合理化的影响没有太大变化，即宏观经济政策、地区特征和系统性风险均没有改变产业智能化对产业结构升级的作用。我国不同省（区、市）拥有的生产要素不同，产业结构也存在差异，东部沿海地区集聚着大量的高技能劳动力和资本，并且天然的地理优势使东部地区获得更多的外商直接投资和技术创新，东部沿海地区高技能人才的汇集有利于促进产业智能化技术的应用，而西部沿海地区产业智能化的应用会造成企业的转型，大量低技能劳动力被替代为机器和高技能人才，因此，产业智能化显著地促进产业结构高级化。而对于产业结构合理化，产业智能化的广泛应用，会导致东部地区低技能劳动力回流到中西部非智能化企业，中西部被智能化企业替代的低技能劳动力也会转移到本地其他非智能化企业，而且东部地区生产率更高，技术创新、外商直接投资以及政府支持力度大于西部地区，因此大量的资本和机器设备都会集中在东部地区。产业智能化的实施会加剧东部地区企业间的竞争，生产率低下的企业也会转移到中西部，加剧地区间生产要素的极化现象。^[37]

表 3 静态固定效应面板回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ISU	ISU	ISU	ISR	ISR	ISR
IAI	3.016*** (17.92)	1.541*** (9.19)	0.154*** (2.89)	-0.056*** (-3.18)	-0.083*** (-3.14)	-0.092*** (-2.76)
Consp		0.569 (1.32)	3.968** (2.25)		-0.015** (-2.05)	-0.501** (-2.47)
FDI		0.228 (1.49)	0.336*** (2.74)		-0.023** (-1.96)	-0.012** (-2.49)
Finance		1.802 (1.26)	0.749 (0.55)		0.331 (1.47)	0.524** (2.01)
PR		34.680 (1.50)	15.487*** (2.80)		0.649** (2.18)	0.827** (2.22)
Instra		0.302*** (11.86)	0.049* (1.76)		0.007* (1.83)	0.010* (1.93)

Market		0.221** (2.46)	0.262** (2.44)		0.015 (1.09)	0.050** (2.44)
GR		-5.780*** (-6.16)	5.040*** (2.76)		-0.218*** (-3.48)	-0.712** (-2.02)
EX		-0.077 (-0.14)	-0.643 (-1.43)		0.187** (2.21)	0.178** (2.05)
Constant	5.019*** (66.44)	0.424 (0.31)	3.452** (2.09)	0.660*** (83.07)	0.714*** (3.35)	1.540*** (4.83)
adj. R ²	0.428	0.549	0.445	0.254	0.236	0.232

注：括号内数值为 t 值；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平下显著。

（三）收入分配的调节作用分析

Lankisch 等（2017）、曹静和周亚林（2018）指出，产业智能化会替代低技能劳动力，智能化技术变得更加便宜，导致劳动力的作用降低。^{[38][39]}那么，这部分低技能劳动力的收入将如何分配，并且资本和劳动收入的极化现象也会加剧，因此地区收入分配差距的不同引起产业生产率和生产要素需求的变化。本节分别加入城乡收入差距和资本-劳动收入份额比值作为收入分配指标，研究其在产业智能化和产业结构升级之间的作用，如表 4 所示。

与表 3 的结论相同，即产业智能化能够促进产业结构高级化。首先，以城乡收入差距为例，表 4 的列（1）和列（2）城乡收入差距的系数均为负，城市居民人口收入越高意味着城市经济发展快，而城乡收入差距加剧会导致人口大量聚集在收入水平更高的城镇，低廉的劳动力将会促使企业偏向劳动密集型，产业结构高级化进程变慢。列（2）交互项 $IM \times IAI$ 的系数在 1% 的水平上显著为负，收入差距的扩大导致劳动力转移，而地区收入差距的扩大意味着高技能劳动力工资增加，企业雇佣高技能劳动力的成本提高，低技能劳动力的增加也会给地区就业带来压力，地方政府会加大补贴力度来让企业接纳这部分劳动力，阻碍智能化进程。^[40]其次，表 4 的列（3）和列（4）资本-劳动收入份额比值的系数均显著为正，资本收入占比的提高说明产业对劳动力的依赖减弱，单位劳动生产率提高，因此产业结构高级化水平提高。列（4）交互项 $IM \times IAI$ 的系数显著为正，说明资本在企业生产过程中的作用逐渐增强，企业更愿意使用资本来替代低技能劳动力，智能化企业对自动化设备、电子信息等技术的需求更高，因此会导致地区智能化资本供给的增加，带动产业结构高级化。

表 4 收入分配与产业智能化的产业结构效应

变量	因变量：ISU				因变量：ISR			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

	IM1	IM1	IM2	IM2	IM1	IM1	IM2	IM2
IAI	0.146**	0.181**	0.245	0.319*	-0.065***	-0.065***	-0.065***	-0.094**
	(2.20)	(2.46)	(1.59)	(1.89)	(-2.75)	(-2.68)	(-2.78)	(-2.39)
IM	-0.018	-0.885**	0.527*	0.980**	-0.036**	-0.027**	-0.262**	-0.335**
	(-1.05)	(-2.24)	(1.89)	(2.35)	(-2.55)	(-3.19)	(-2.27)	(-2.38)
IM×IAI		-0.164***		0.294*		-0.002**		0.047***
		(-3.43)		(1.69)		(-2.07)		(2.90)
adj. R ²	0.468	0.497	0.516	0.533	0.161	0.161	0.173	0.175

注：括号内数值为 t 值；***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平下显著。因篇幅限制，其他结果请联系作者。

另一方面，收入分配将调节产业智能对产业结构合理化的影响。首先，以城乡收入差距为例。表 4 列（5）和列（6）IM 的系数为负，且在 5% 的水平上显著，说明城乡收入差距扩大会导致劳动力聚集到收入更高的城镇，而乡镇地区则以农业为主，资本和劳动力的外流也会降低当地产业发展。列（6）交互项 IM×IAI 的系数为-0.002，在 5% 的水平上显著，劳动力在城镇地区不断集聚，低技能劳动力成本相对降低，非智能化企业会雇佣更多的低技能劳动力，而智能化企业由于独特的设备和技术需求，对低技能劳动力需求相对降低而对高技能劳动力需求增加，加速生产要素需求的极化。^[12]其次，表 4 的列（7）和列（8）IM 的系数分别为-0.262 和-0.335，说明资本-劳动收入份额比重不利于产业结构向协调化发展。列（8）交互项 IM×IAI 的系数为 0.047，并且在 1% 的水平上显著，资本收入占比提高意味着地区的资本深化现象加重，而智能化企业对生产设备、机器人、技术等方面要求更多，对上下游产业的原材料、中间投入品和最终品市场的需求提高。随之，地区内产业之间的关联性增强，这有利于技术和管理经验的交流，促进“竞争效应”和“模仿效应”的形成，进而提高企业生产率。企业之间生产率差距的缩小能够避免资本只向智能化企业汇集的“一边独大”现象，有利于生产要素在企业间的合理分配。^[41]

五、进一步讨论

（一）引入收入分配的动态面板回归结果分析

表 5 的列（1）和列（2）ISU 一阶滞后项的系数分别为 1.057 和 1.072，在 1% 的水平上显著，滞后两期的系数下降，分别为 0.056 和 0.074，即产业结构高级化同样存在惯性。产业智能化 IAI 滞后一期的系数分别为 0.071 和 0.093，滞后两期的系数分别为 0.084 和 0.131，显著性下降，说明产业智能化对第二年产业结构高级化的作用显著为正，时间越久作用越差。收入分配的结果如下：首先，表 5 的列（1）交互项 IM×IAI 对产业结构高级化的影响为负，但不显著，即城乡收入差距的负向调节作用不显著；其次，表 5 的列（2）交互项 IM×IAI 的系数为 0.800，在 1% 的水平上显著，表 5 的说明资本-劳动收入份额比值能够减缓产业智能化对产业结构高级化的正向作用。

表 5 收入分配的动态调节作用

变量	产业结构高级化		产业结构合理化	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	IM1	IM2	IM1	IM2
L. ISU	1.057***	1.072***		
	(21.60)	(21.82)		
L2. ISU	0.056	0.074		
	(1.02)	(1.37)		
L. ISR			0.915***	0.902***
			(20.87)	(20.99)
L2. ISR			0.021**	0.029***
			(2.44)	(2.62)
IAI	0.155*	0.734***	-0.064**	-0.050
	(1.96)	(2.81)	(-2.07)	(-1.06)
L. IAI	0.071**	0.093**	0.001	-0.016
	(2.38)	(2.50)	(1.03)	(-1.45)
L2. IAI	0.084	0.131*	0.031**	0.029*
	(1.54)	(1.82)	(2.00)	(1.92)
IM	-0.795	2.318***	-0.003	-0.341**
	(-1.34)	(2.98)	(-0.03)	(-2.52)
IM×IAI	-0.140	0.800***	-0.007**	0.007**
	(-1.42)	(3.05)	(-2.38)	(2.16)

AR(2)	0.222	0.389	0.318	0.109
Sargan	0.865	0.659	0.669	1.000

注：以上模型均采用系统 GMM 进行估计；AR(2) 和 Sargan 检验对应的均是 P 值；其余同表 4。

表 5 的列（3）和列（4）产业结构合理化 ISR 滞后一期和滞后两期的系数分别为 0.915 和 0.902，均大于 0，并且在 10%的水平上显著，而滞后两期的系数分别为 0.021 和 0.029，显著小于滞后一期的作用大小。产业智能化 IAI 滞后一期的系数分别为 0.001 和 -0.016，显著性较低，说明产业智能化对第二年的产业结构合理化的作用不显著，甚至为负。滞后两期产业智能化 IAI 的系数分别为 0.031 和 0.029，显著为正，说明随着时间推移，产业智能化能够调整产业结构合理化，并且两年后开始促进生产要素的合理配置。收入分配的结果如下：第一，表 5 的列（3）交互项 $IM \times IAI$ 的系数显著为负，说明城乡收入差距对产业智能化的调节作用也为负；第二，表 5 的列（4）表明交互项 $IM \times IAI$ 的系数显著为正，资本-劳动收入份额比值的增加会提高整个地区对资本的使用，有利于企业竞争，促进生产要素向最优资源禀赋状态下调整。^[42]

（二）不同地区的回归结果

1. 分地区产业智能化对产业结构高级化的动态影响。如表 6 所示，每个地区分别加入 IM1、IM2 和交互项，以期分析收入分配的调节作用。以东部地区为例，表 6 的列（1）城乡收入差距的交互项 $IM \times IAI$ 的系数为 -0.097，东部地区经济发展水平较高，收入差距扩大吸引了大批劳动力，从而使劳动力成本下降。并且政府为了解决劳动力就业，企业会通过雇佣低廉劳动力扩大生产规模，但没有提高劳动生产率。列（2）资本-劳动收入份额比值的交互项 $IM \times IAI$ 对产业结构高级化的作用为 0.180，但不显著，即资本收入占比的增加会提高地区劳动生产率，促进资本深化与知识溢出。以中部地区为例，列（3）城乡收入差距的交互项 $IM \times IAI$ 的系数为 -0.333，即城乡收入差距的扩大会降低 IAI 对中部地区产业结构高级化的正向作用，因为高技能劳动力收入增加会阻碍企业雇佣高技能人才，影响智能化企业的生产率。列（4）表明资本-劳动收入份额比值的交互项对产业结构高级化的影响为 -0.543，并且在 1%的水平上显著，即中部地区资本增加会提高产业智能化带来的产业结构高级化。以西部地区为例，产业结构高级化虽然存在动态性，但随着时间推移，产业结构调整的习惯性降低，因为西部地区相比于东部地区缺少技能劳动力、技术、外商直接投资以及投融资等。产业智能化对产业结构高级化的作用为负，西部地区产业智能化所配备的基础设施条件较差，缺乏大量高技能劳动力和技术创新，不利于机器设备等自动化和深度学习技术的应用。列（5）城乡收入差距的交互项 $IM \times IAI$ 的系数为 0.524，并且在 5%的水平上显著。西部地区产业发展较为缓慢，随着产业智能化不断发展，收入差距的扩大会促使劳动力不断转移到城镇，促进城镇产业发展。而西部地区的经济增长以农业为主，产业智能化和城镇产业的发展会迅速提高工业和服务业的占比，提高整个地区的生产率水平。列（6）则表明资本-劳动收入份额比值的增加会减轻产业智能化对产业结构高级化的负向影响，这与其他地区的结论相同。

表 6 分地区产业智能化对产业结构高级化的动态回归结果

变量	东部		中部		西部	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	IM1	IM2	IM1	IM2	IM1	IM2

L. ISU	0.767*** (9.03)	0.814*** (9.61)	1.111*** (10.79)	1.161*** (11.66)	1.132*** (12.57)	1.183*** (14.01)
L2. ISU	0.004** (2.04)	0.017** (2.18)	0.183** (2.51)	0.167** (2.38)	0.089 (0.73)	0.112 (0.92)
IAI	0.120* (1.82)	0.326** (2.06)	0.246* (1.70)	0.121** (2.18)	-0.089 (-0.54)	-0.708 (-1.17)
IM	1.032 (1.20)	1.986 (1.10)	-3.025* (-1.72)	1.139 (1.27)	1.185 (1.10)	-1.666 (-1.26)
IM' IAI	-0.097* (-1.73)	0.180 (1.27)	-0.333 (-0.40)	0.543*** (2.62)	0.524** (2.49)	1.071** (2.10)
AR(2)	0.291	0.498	0.193	0.375	0.199	0.238
Sargan	1.000	0.989	1.000	0.654	1.000	1.000

注：同表 5。

2. 分地区产业智能化对产业结构合理化的动态影响。表 7 为分地区产业智能化对产业结构合理化的动态效应。以东部地区为例，从表 7 的列（1）可以看出，城乡收入差距也不利于产业智能化的产业结构高级化演进，城乡收入差距扩大会加大劳动密集型产业和技术密集型产业的差距，不利于资源优化配置。列（2） $IM \times IAI$ 的系数为 0.060，资本-劳动收入份额比值的提高会加速产业智能化促进产业结构合理化，东部地区资本深化消除企业生产率极化现象，加速生产要素的合理分配。以中部地区为例，表 7 的列（3） $IM \times IAI$ 的系数为-0.260 且大于东部地区，城乡收入差距扩大会扭曲产业智能化造成的产业结构失调。列（4）发现，资本-劳动收入差距扩大会降低 IAI 对产业结构合理化的负向作用，交互项系数小于东部地区，原因是中部地区以劳动密集型产业为主。以西部地区为例，表 7 的列（5）城乡收入差距的交互项系数为负，且不显著，因为西部地区经济发展水平不高，城乡收入差距扩大会加快地区间产业发展的不协调，生产要素会聚集到经济发展更快的地区，不利于产业结构合理化。列（6）则表明资本-劳动收入份额比值的交互项 $IM \times IAI$ 的系数显著为正，即 0.037，西部地区资本收入增加代表资本的作用增大，劳动生产率提高，缩小企业间生产率差距，避免资本只聚集到某些产业而带来产业结构失衡。

表 7 分地区产业智能化对产业结构合理化的动态回归结果

变量	东部		中部		西部	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

	IM1	IM2	IM1	IM2	IM1	IM2
L. ISR	0.631*** (8.32)	0.684*** (9.44)	0.798*** (10.17)	0.783*** (10.08)	0.680*** (8.20)	0.680*** (8.37)
L2. ISR	0.116 (1.38)	0.149* (1.84)	0.017 (0.21)	0.013** (2.17)	0.118 (1.45)	0.106*** (3.26)
IAI	-0.037** (-2.22)	-0.082 (-1.34)	-0.138*** (-2.85)	-0.062 (-1.58)	0.023 (0.52)	0.013 (0.10)
IM	0.082 (0.59)	-0.807*** (-3.32)	-0.300* (-1.85)	-0.223** (-2.47)	-0.254** (-1.99)	0.093 (0.33)
IM' IAI	-0.014*** (-3.67)	0.060 (1.60)	-0.260* (-1.71)	0.020** (2.53)	-0.051 (-0.19)	0.037** (2.18)
AR(2)	0.304	0.221	0.228	0.324	0.304	0.109
Sargan	1.000	1.000	0.897	0.991	0.894	1.000

注：同表 5。

六、稳健性检验

为了更准确地获得产业智能化对产业结构升级的影响，这里使用核心解释变量和模型设定的其他替代形式来进行稳健性检验，解决由于实证部分核心变量和模型设定单一而带来的实证结果偏误。一是改变核心变量。（1）采用两种衡量标准计算产业结构高级化：首先，参照韩永辉等（2017）的方法，根据钱纳里劳动生产率标准化准则进行无量纲化，获得产业结构高级化 ISU1；^[24]其次，使用服务业生产产值除以工业生产产值来衡量产业结构高级化 ISU2。^[21]（2）改变产业结构合理化衡量方式。本文同样使用两种衡量产业结构合理化的方法：首先使用泰尔指数，同样引入劳动和资本两种生产要素，通过产业份额构造产业结构合理化指数 ISR1；其次采用多要素偏离度指数，但不考虑产业份额，同样引入劳动和资本两种生产要素，通过算数平均值得到产业结构合理化 ISR2。（3）改变产业智能化衡量方式。本文使用 Zhao 等（2017）提出的熵权法，对 7 个指标进行降维，获得产业智能化指数 IAI1。^[43]无论是产业结构高级化和合理化指标的改变，还是产业智能化指标的变化，都不会改变前文实证结果获得的结论，本文的实证结果是稳健的。二是改变回归方法。本文采用差分 GMM 方法重新估计产业智能化对产业结构升级的动态作用，参考 Kazuhiko 和 Hayakawa（2007）的方法，使用产业结构升级和产业智能化滞后两期作为工具变量解决内生性问题。^[44]实证结构与前文基本一致，说明模型回归方法的变化不会改变产业智能化与产业结构升级之间的关系。

七、研究结论与政策建议

基于“十四五”规划纲要背景，要提升产业价值链，促进传统产业高端化、智能化、绿色化发展，构建现代工业体系，本文从7个角度构建产业智能化指数，将产业结构升级分为产业结构高级化和合理化，根据我国2004—2016年省域面板数据，探究产业智能化与产业结构升级之间的关系，分析收入分配的调节作用，同时，将总样本分为东、中、西部地区，研究区域异质性。本文得到如下结论：

1. 产业智能化替代低技能劳动力。对高端人才需求的增加会解放高技能劳动力，促进其进行技术创新和创造性思维能力工作，提高生产率效率，进而通过产业智能化促进产业结构高级化。但企业使用智能化技术会解雇低技能劳动力，这部分劳动力转移到生产率低、技术水平不高的其他企业，高端人才、技术和资本会转移到生产率更高的智能化企业，造成生产要素在智能化和非智能化企业的配置极化现象，即产业智能化造成产业结构不合理。

2. 产业智能化和产业结构升级存在惯性。一个地区的智能化和产业结构升级并非一蹴而就，而是长期累积的结果。如东部地区比西部地区产业技术创新、生产率和智能化水平高，是因为东部地区自始至终都是我国高新技术产业的聚集地，外商直接投资和高端人才汇集于此，如今的产业智能化和产业结构升级是几年甚至十几年之间智能化技术、产业生产效率提高和生产要素合理配置的结果。而西部地区以往的技术水平低，在短期内不会造成产业智能化、产业结构高级化和合理化的迅猛提升。

3. 城乡收入差距负向调节产业智能化对产业结构高级化和产业结构合理化的作用，而资本-劳动收入差距正向调节产业智能化对产业结构高级化和产业结构合理化的作用。城乡收入差距改变产业对高端人才、管理人才和低技能员工的需求，而资本-劳动收入份额比值改变企业对资本和劳动生产要素的需求。同时，产业智能化对资本和高端人才的需求更高，也会替代低技能劳动者。因此，收入分配差距扩大将调节生产要素结构的变化，进而影响产业结构升级。

4. 东部和中部地区多以资本密集产业型和技术密集型产业为主，汇集大量西部地区转移的资本、高端人才，吸引国外的管理技术和外商直接投资，因此更能满足智能化技术的需求，有利于产业智能化提高产业生产率，促进产业结构高级化。但地理和人文优势也会加速产业智能化对资本和高端人才的过度需求，低技能劳动力无法在中部和东部高新技术产业中生存，转移到低技术产业或西部地区，导致生产要素在产业间和地区间的失衡，即产业智能化不利于东部和中部地区的产业结构合理化。

产业智能化正在不断改变我国产业生产模式。此外，不同地区生产要素存在差异，导致产业智能化不能发挥全部的作用。基于此，本文提出以下几点政策建议，以期使产业智能化有效带动地区产业结构升级及经济增长：（1）虽然产业智能化能够促进产业结构高级化，但也会造成要素错配，因此地方政府应该制定高技能人才引进政策、高新技术产业补贴政策和技术创新支持政策等，提高当地高技能人才吸纳率，留住核心产业，并通过吸引高新技术和国外先进的管理技术提高企业的生产效率，保证企业能够有效利用资源，制造更多的产出。（2）地方政府应该建立人才培养孵化机构，加大高校等研发机构的资金支持力度。产业智能化对高端人才需求的增加和对低技能劳动力的冲击不容小觑，地方政府要对这部分低技能劳动力进行再教育，让他们能够适应新技术，解决产业智能化带来的失业冲击。此外，高校要增设智能化相关的专业 and 培训，促进智能化和各学科的深度融合，为地区智能化发展提供源源不断的人才。（3）完善最低工资保障，对机器征收税费，改善收入分配政策。产业智能化对劳动力的冲击较大，在企业生产过程中劳动力的作用不断减弱，拥有机器设备和智能化技术的企业会获得大量收益，造成收入分配差距扩大。政府对于失业的低技能劳动力制定最低工资保障，降低失业因素带来的社会不稳定局面。应对机器或智能化技术征收税费，并将这部分税费通过收入再分配给其他劳动力，避免出现收入极化现象和社会动荡。（4）东、中、西部地区发展差异逐渐拉大，高技能劳动和资本等生产要素流向生产率更高的中、东部地区和智能化产业，加剧产业结构的不合理局面。政府要加强对西部地区的人才培养，适当将中、东部地区高端人才和高技术产业调度到西部地区，促进地区间产业的合作，还要加大对西部地区员工的技术交流和管理经验传授力度，最大化地促进智能化和劳动力、资本等生产要素的耦合协调作用。

注释：

①数据来源：中国统计年鉴。

②产业智能化通过智能化相关指标，使用主成分分析计算而得。产业结构升级主要包括产业结构高级化和合理化，其中产业结构高级化是指产业生产率提升的过程，合理化则是指生产要素在产业间的合理分配程度。所有指标的衡量方法参照后文。

③智能化相关企业的数据来源于智能制造网 (<https://www.gkzhan.com/>)，专利数来自佰腾网 (<https://www.baiten.cn/>)。而机器人来自海关进出口数据。该指标是衡量产业智能化的核心变量，但数据获取只截止到 2016 年，因此，本文实证研究的样本区间是 2004—2016 年。

④具体指标的测算请联系作者。

⑤由于篇幅限制，部分检验的结果请联系作者。

参考文献:

- [1]Acemoglu D, Restrepo P. Robots and Jobs[R]. NBER Working Paper, 2017, 23285.
- [2]李丫丫, 潘安. 工业机器人进口对中国制造业生产率提升的机理及实证研究[J]. 世界经济研究, 2017(3): 87-96, 136.
- [3]张万里, 宣旸. 产业智能化对产业结构升级的空间溢出效应——劳动力结构和收入分配不平等的调节作用[J]. 经济管理, 2020, 42(10): 77-101.
- [4]Graetz G, Michaels G. Robots at Work[J]. Review of Economics and Statistics, 2018, 100(5): 753-768.
- [5]杨晓, 刘益志, 郭玉. 数字经济对我国就业结构的影响——基于机理与实证分析[J]. 软科学, 2020, 34(10): 25-29.
- [6]Yasar M, Paul C J M. Capital-skill Complementarity, Productivity and Wages: Evidence from Plant-level Data for a Developing Country[J]. Labour Economics, 2008, 15(1): 1-17.
- [7]邓子云, 何庭钦. 区域人工智能产业发展战略研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(7): 32-43.
- [8]朱琪, 刘红英. 人工智能技术变革的收入分配效应研究: 前沿进展与综述[J]. 中国人口科学, 2020(2): 111-125, 128.
- [9]石喜爱, 季良玉, 程中华. “互联网+”对中国制造业转型升级影响的实证研究——中国 2003—2014 年省级面板数据检验[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(22): 64-71.
- [10]徐伟呈, 范爱军. “互联网+”驱动下的中国产业结构优化升级[J]. 财经科学, 2018(3): 119-132.
- [11]David H. Why are There Still so Many jobs? The History and Future of Workplace Automation[J]. Journal of Economic Perspectives, 2015, 29(3): 3-30.
- [12]Berg A, Buffie E F, Zanna L. Robots, Growth, and Inequality[J]. Finance & Development, 2016, 53(3): 10-13.
- [13]申广军. “资本—技能互补”假说: 理论、验证及其应用[J]. 经济学(季刊), 2016, 15(4): 1653-1682.

-
- [14]Acemoglu D. Restrepo P. Artificial Intelligence, Automation and Work[R]. National Bureau of Economic Research, 2018, .
- [15]王林辉, 胡晟明, 董直庆. 人工智能技术会诱致劳动收入不平等吗——模型推演与分类评估[J]. 中国工业经济, 2020(4): 97-115.
- [16]朱巧玲, 李敏. 人工智能、技术进步与劳动力结构优化对策研究[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(6): 36-41.
- [17]杨晓锋. 智能制造是否有助于提升制造业平均工资?——基于 2001—2016 年 17 省工业机器人数据研究[J]. 经济体制改革, 2018(06): 169-176.
- [18]赵云鹏, 叶娇. 对外直接投资对中国产业结构影响研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(3): 78-95.
- [19]聂高辉, 黄明清. 人口老龄化对产业结构升级的动态效应与区域差异——基于省际动态面板数据模型的实证分析[J]. 科学决策, 2015(11): 1-17.
- [20]陶长琪, 彭永樟. 经济集聚下技术创新强度对产业结构升级的空间效应分析[J]. 产业经济研究, 2017(3): 91-103.
- [21]吴万宗, 刘玉博, 徐琳. 产业结构变迁与收入不平等——来自中国的微观证据[J]. 管理世界, 2018, 34(2): 22-33.
- [22]王兵, 吴福象. 行业工资率差异、就业份额偏离与产业结构升级——基于省级面板数据的 GMM 分析[J]. 山西财经大学学报, 2019, 41(5): 40-53.
- [23]刘伟, 张辉, 黄泽华. 中国产业结构高度与工业化进程和地区差异的考察[J]. 经济学动态, 2008(11): 4-8.
- [24]韩永辉, 黄亮雄, 王贤彬. 产业政策推动地方产业结构升级了吗?——基于发展型地方政府的理论解释与实证检验[J]. 经济研究, 2017, 52(8): 33-48.
- [25]孙早, 侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. 中国工业经济, 2019(5): 61-79.
- [26]樊纲, 王小鲁, 马光荣. 中国市场化进程对经济增长的贡献[J]. 经济研究, 2011, 46(9): 4-16.
- [27]Robinson S. A Note on the U Hypothesis Relating Income Inequality and Economic Development[J]. The American Economic Review, 1976, 66(3): 437-440.
- [28]邓金钱. 政府主导、人口流动与城乡收入差距[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(2): 143-150.
- [29]周茂, 陆毅, 李雨浓. 地区产业升级与劳动收入份额: 基于合成工具变量的估计[J]. 经济研究, 2018, 53(11): 132-147.
- [30]潘文卿, 吴天颖, 胡晓. 中国技术进步方向的空间扩散效应[J]. 中国工业经济, 2017(4): 17-33.
- [31]张帆. 中国金融产业集聚效应及其时空演变[J]. 科研管理, 2016, 37(S1): 417-425.

-
- [32]朱东波,任力.环境规制、外商直接投资与中国工业绿色转型[J].国际贸易问题,2017(11):70-81.
- [33]逯建,李羿萱.港口效率、贸易自由化与中国进口的交易规模分布[J].国际经贸探索,2018,34(5):35-54.
- [34]Wen J, Yang D, Feng G F, et al. Venture Capital and Innovation in China: The Non-linear Evidence[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2018, 46(9):148-162.
- [35]Wei W, Zhang W L, Wen J, et al. TFP Growth in Chinese Cities: The Role of Factor-intensity and Industrial Agglomeration[J]. Economic Modelling, 2019(91):534-549.
- [36]Pesaran M H, Ullah A, Yamagata T. A Bias-adjusted LM Test of Error Cross-section Independence[J]. The Econometrics Journal, 2008, 11(1):105-127.
- [37]蔡啸,黄旭美.人工智能技术会抑制制造业就业吗?——理论推演与实证检验[J].商业研究,2019(6):53-62.
- [38]Lankisch C, Prettnner K, Prskawetz A. How Can Robots Affect Wage Inequality?[J]. Economic Modelling, 2019(81):161-169.
- [39]曹静,周亚林.人工智能对经济的影响研究进展[J].经济学动态,2018(1):103-115.
- [40]Aghion P, Jones B F, Jones C I. Artificial Intelligence and Economic Growth[R]. National Bureau of Economic Research, 2017.
- [41]余东华,张鑫宇,孙婷.资本深化、有偏技术进步与全要素生产率增长[J].世界经济,2019,42(8):50-71.
- [42]郭敏,方梦然.人工智能与生产率悖论:国际经验[J].经济体制改革,2018(5):171-178.
- [43]Zhao X, Guo H T, Huang C L, et al. Teaching Evaluation System Research Based on Structure Entropy Weight Method[J]. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography, 2017, 20(1):179-191.
- [44]Kazuhiko, Hayakawa. Small Sample Bias Properties of the System GMM Estimator in Dynamic Panel Data Models[J]. Economics Letters, 2007, 95(1):32-38.