

人口老龄化与高技术产业创新效率

——基于调节中介效应的实证分析

刘成坤¹

【摘要】人口老龄化是 21 世纪人类社会共同面临的重大问题，中国的老年人口规模和人口老龄化增长速度均位居世界前列，人口老龄化对中国经济社会发展的影响已遍及各个方面。选取 1998—2018 年省级层面的面板数据，构建调节中介效应模型实证研究人口老龄化对高技术产业创新效率的影响。结果显示：样本期间高技术产业的创新效率呈小幅递增的趋势；人口老龄化会通过挤占政府的研发投入阻碍高技术产业创新效率的增长；经济发展水平会缓解人口老龄化对高技术产业创新效率的消极影响。为了应对人口老龄化带来的挑战，应从开放生育、发展“银发经济”和扶持高技术产业等多方面入手，以此推动高技术产业创新效率的增长。

【关键词】人口老龄化 高技术产业 调节效应

【中图分类号】 F427 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-8691 (2021) 03-0093-10

一、引言

高技术产业是指以前沿科学和尖端技术为基础、以高强度的研究开发为支撑的知识密集型产业，具有高投入、高风险和高收益等特征。高技术产业是科技创新的重要载体，是国民经济发展的战略性和先导性产业。

当前，中国正处于经济从高速增长向高质量发展转型的关键时期，发展高技术产业，对于促进产业结构升级、推动经济高质量发展增长具有至关重要的作用。

一方面，高技术产业代表了未来的产业发展方向，发展高技术产业可以对传统产业起到提升和改造的作用；另一方面，高技术产业的发展能够提高自然资源的利用效率，缓解经济发展中的资源压力，推动中国经济由粗放型发展向集约型发展转型的进程。

相关数据显示，中国高技术产业总产值由 1995 年的 4098 亿元增加到 2018 年的 157001 亿元，与此同时，高技术产业总产值占 GDP 的比重则由 6.68% 上升为 17.44%。¹由此可见，高技术产业在中国国民经济发展中的地位与日俱增，其对经济增长的贡献度正逐渐上升。然而，在高技术产业快速发展的同时，人口老龄化程度也在逐渐加剧。

高技术产业发展的核心动力在于技术进步，而人口老龄化与技术进步密切相关。^②自 2000 年进入人口老龄化社会以来，中国的老年人口规模和比重均呈逐年上升的趋势，国民经济和社会发展统计公报显示，2019 年年末中国 65 岁及以上的老年人口达 1.76 亿，占总人口的比重为 12.6%，说明中国即将全面进入深度老龄化社会。

作者简介：刘成坤，男，江西财经大学统计学院讲师，江西财经大学应用经济学博士后，硕士生导师，主要从事宏观经济计量研究。

基金项目：国家自然科学基金项目“人口老龄化对制造业高质量发展的影响及对策研究”（项目号：72063009）的阶段性成果

高技术产业的创新效率将直接影响中国经济由高速增长向高质量增长转型的进程，而人口老龄化又是影响高技术产业创新效率的重要因素。那么人口老龄化将通过什么途径影响高技术产业创新效率？人口老龄化对高技术产业创新效率的影响是否与经济发展水平有关？这一系列问题的研究对于在人口老龄化背景下推动高技术产业发展具有重要的现实意义。

二、文献综述

作为推动经济可持续发展的重要动力，高技术产业一直受到学术界的密切关注，学者们基于不同的视角对高技术产业进行了大量的研究。从现有的文献来看，与本文相关的文献可从以下几个方面进行梳理。

其一，关于高技术产业发展绩效的相关研究。Kamieniecki 等人通过测算高技术产业资源和资源利用率等指标，考察了美国各州高技术产业的竞争力。⁽¹⁾Frenkel 等人对以色列和爱尔兰两国的高技术产业创新能力进行了对比分析，发现两个国家高技术产业的典型特征和市场导向程度存在显著差异。⁽²⁾

李邃等人以 2000—2008 年中国大陆 28 个省份的面板数据为基础，构建超越对数随机前沿模型实证测评了各地区高技术产业研发创新的相对效率与全要素生产率增长情况，研究发现各地区高技术产业研发创新技术效率存在显著差异，且东部地区高于中西部地区。⁽³⁾余泳泽等人考察了中国各省市 1995 年以来高技术产业的生产率变动规律，发现东部和中部地区的高技术产业生产率有明显的上升趋势，而西部地区处于相对平稳状态。⁽⁴⁾

其二，关于高技术产业发展绩效影响因素的相关研究。Dominique 等人基于 OECD 国家的面板数据，研究了政府支持对高技术企业 R&D 活动的影响，发现政府支持会对企业的 R&D 活动产生积极影响。⁽⁵⁾

Nunes 等人研究了研发强度对高技术企业创新绩效的影响，发现二者之间存在非线性关系，在高技术企业的研发强度较低时，研发强度限制了高技术企业的增长，在高技术企业研发强度较高时，研发强度促进了高技术产业的产出增长。⁽⁶⁾

张同斌等人通过构建高技术产业的可计算一般均衡（CGE）模型，考察了财税激励政策和税收优惠政策对高技术产业发展的影响，发现财税政策的激励作用对于高技术产业增加值率的提高和内部结构的优化都具有积极影响，且税收优惠的政策更为显著。⁽⁷⁾

戴魁早等人建立理论模型分析了要素市场扭曲如何影响创新效率，并利用中国高技术产业的省级面板数据对理论模型进行了检验，发现要素市场扭曲显著抑制了企业或产业创新效率的提高，且要素市场扭曲对创新效率产生的抑制效应存在边际贡献递减规律。⁽⁸⁾

其三，关于人口老龄化与高技术产业发展关系的研究。与前面两类研究相比，这方面的研究相对较少。吴秋风认为，人口老龄化问题与高技术产业发展密切相关，解决人口老龄化问题的根本对策是大力发展经济，提高劳动生产率，而发展高技术产业是解决人口老龄化问题的根本出路。⁽⁹⁾

蔡兴以高技术产业为例，基于省际面板数据研究了人口老龄化对中国出口结构优化升级的影响，发现人口老龄化会倒逼中国高技术产业出口结构的优化升级，人力资本状况的改善能显著强化这一“倒逼机制”。⁽¹⁾沈蕾等人研究发现，在人口老龄化前期，高技术产业创新受到的负向影响更为突出，但随着老龄化程度的加深，正向影响将可能得到更多的体现。⁽²⁾

范晓莉等人研究了人口老龄化对高技术产业创新生态发展的影响效应，结果显示，中国高技术产业创新生态水平呈现逐年提升的态势，但人口老龄化程度的加深阻碍了各地区高技术产业的创新生态发展。⁽³⁾豆建春的研究结果表明，人口老龄化对医药开发领域技术创新的不利影响较弱，但对信息与通讯技术的技术创新表现出较强的负向影响。⁽⁴⁾

关于高技术产业及其影响因素的研究已取得了丰富的成果，虽然已有学者关注到了人口老龄化与高技术产业发展之间的关系，但研究得还不够深入。因此，本文拟通过构建 DEA 模型测算高技术产业创新效率，然后建立调节中介效应模型研究人口老龄化如何通过研发投入影响高技术产业创新效率，人口老龄化通过研发投入影响高技术产业创新效率的过程是否与经济发展水平有关，厘清人口老龄化影响高技术产业创新效率的影响机制，为提升高技术产业创新效率提供对策建议。

三、理论分析、模型构建与数据说明

(一) 理论分析

1. 人口老龄化与研发投入水平

通常情况下，政府的研发投入越高，就越说明政府对研发的重视，当地的科技创新水平也越高。有文献分析指出人口老龄化会通过加重政府的养老负担，挤占政府在科技研发方面的支出，进而对国家或地区的科技创新水平产生不利影响。如 Gonazales-Eiras 等人构建了世代交叠模型，发现人口老龄化会通过税率、政府预算支出和退休年龄的调整等途径对经济增长产生间接影响，该模型显示社会保障支出对政府公共投资的挤出作用可区分为两种情形：当政府仅调整税率和政府预算支出，但不延长退休年龄时，伴随人口老龄化而上涨的社会保障费用会挤占政府公共投资；而当政府同时调整退休年龄时，社会保障支出和政府公共投资占 GDP 的比重都会上升，社会保障支出对政府公共投资的挤出效应则不存在。⁽⁶⁾因此，人口老龄化对政府研发投入的挤出效应与一个国家的政策制度密切相关，据此提出假设 1。

假设 1：考虑到中国尚未实施延迟退休政策，人口老龄化的加剧会对政府的研发投入产生一定的挤出效应。

2. 研发投入水平与高技术产业创新效率

关于研发投入与高技术产业创新效率的研究已较为丰富，且学者们一致认为研发投入是影响高技术产业创新效率的重要因素。梅冰菁等人指出，目前中国企业的创新活动面临着多重阻碍，不健全的知识产权制度和政策环境成为企业创新的外部制约因素，企业风险管理和创新能力的不足则是企业内部制约因素。

在多重制约因素的作用下，一方面，企业不愿大量投入人力和资金进行研发活动；另一方面，企业在研发过程中面临着信息泄露、成果专有性不足和收益流失等风险。⁽⁶⁾自有资金不足是企业开展创新活动的主要制约因素，通过政府的财政补贴可以起到弥补该缺陷和降低企业融资成本等作用（Carboni）⁽⁷⁾，进而激发企业进行创新活动的积极性（Kang 等人）⁽⁸⁾。因此，政府的研发投入水平会对高技术产业的创新效率产生重要影响，据此提出假设 2。

假设 2：政府的研发投入有利于促进高技术产业的创新效率。

3. 人口老龄化与高技术产业创新效率

从现有研究来看，鲜有学者对人口老龄化与高技术产业创新效率的关系进行研究。人是经济活动的主体，人口老龄化会对经济发展过程中的劳动生产率、劳动力供给以及人力资本积累等一系列变量产生重要影响。如 Benoit 认为，一般情况下，从青年到中年再到老年，个人的劳动生产率会经历一个先上升后下降的过程，即劳动生产率与年龄之间存在“倒 U 型关系”⁽¹⁾。

随着人口出生率的下降和老年人口规模的上升，适龄劳动人口的比重和规模都将出现下降。因此，人口老龄化导致的劳动生产率和劳动力供给下降可能会对高技术产业创新效率产生消极影响。此外，汪伟的研究结果显示，人口老龄化已经对中国的家庭储蓄、人力资本投资与经济增长产生负面影响。⁽²⁾人力资本投资下降必然会影响人力资本积累水平，而人力资本积累是技术

进步的源泉，人力资本投资下降对技术进步产生的消极影响必然会波及高技术产业创新效率，据此提出假设 3。

假设 3：人口老龄化会对高技术产业创新效率产生消极影响。

综合以上假设来看，人口老龄化可能会对高技术产业的创新效率产生消极影响，且这一过程可概括为，人口老龄化会对政府的研发投入产生挤出效应，政府研发投入的下降会对高技术产业的创新效率产生负面影响，即政府的研发投入在人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程中起中介变量的作用。

4. 经济发展水平的调节作用

经济发展能够为物质资本和人力资本的流入创造有利的条件，是高技术产业发展的基础源泉。杨菊华等人研究了 1949 年以来人口老龄化与经济发展之间的关系，并认为在经济发展的不同阶段，生育率水平、人均寿命的变化以及人口的跨区域流动等都会改变人口老龄化的进程。⁽³⁾

在不同的经济发展水平下，人口老龄化、政府的研发投入和高技术产业创新效率三者之间的关系可能也会存在差异，经济发展水平的提升可能会削弱人口老龄化对高技术产业创新效率产生的负面影响。因此，将人均实际 GDP 作为衡量经济发展水平的代理变量，探究经济发展水平在人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程中是否会产生调节作用，据此提出假设 4。

假设 4：经济发展会对人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程产生调节作用。

综上所述，政府的研发投入在人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程中起中介变量的作用，而这个中介作用可能受到经济发展水平的调节。然而，以上仅是理论层面的分析，其是否成立有待于做进一步的实证检验。（检验流程见图 1）。

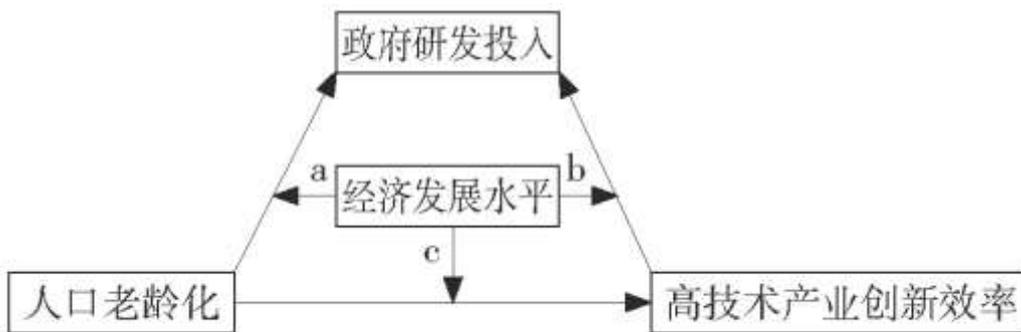


图 1 调节中介效应模型检验流程图

其中，人口老龄化是核心解释变量，高技术产业创新效率是被解释变量，政府研发投入是中介变量，经济发展水平是调节变量。参考 Edward 等人的研究，调节变量对中介变量的作用体现在中介过程的前半路径、后半路径以及直接路径等方面。⁽⁴⁾在图 1 中，以人均实际 GDP 衡量的经济发展水平对中介效应前半路径、后半路径以及直接路径的调节作用分别用字母 a, b, c 表示。

（二）模型构建与数据说明

为了研究人口老龄化对高技术产业创新效率的影响，首先需要构建创新效率指数，参考桂黄宝的研究，本文使用 DEA-Malmquist 全要素生产率指数来测度高技术产业的创新效率，其优点在于：第一，不需要相关的价格信息；第二，可以进一

步分解为技术效率变化指数和技术进步指数；第三，适用于多个地区跨时期的样本分析。⁽¹⁾鉴于 DEA-Malmquist 全要素生产率的测算方法已较为成熟，本文不再赘述。DEA-Malmquist 全要素生产率的测算包含投入指标和产出指标，为了不影响结果的可靠性，投入产出指标不宜过多。本文选取的创新产出指标为新产品销售收入和专利申请数，创新投入指标为 R&D 人员全时当量、R&D 经费内部支出额和新产品开发经费。

前文仅从理论层面分析了人口老龄化对高技术产业创新效率的中介效应和调节效应，需要通过实证研究做进一步的检验。为了检验以上研究假设是否成立，本文拟分两个阶段构建调节中介效应模型，第一阶段的模型设定为：

$$tfp_{it} = a_1 + \beta_1 tfp_{it-1} + \gamma_1 poe_{it} + \delta_1 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$rdc_{it} = a_2 + \gamma_2 poe_{it} + \delta_2 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$tfp_{it} = a_3 + \beta_3 tfp_{it-1} + \gamma_3 poe_{it} + \eta_3 rdc_{it} + \delta_3 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

上述模型主要是为了检验人口老龄化对高技术产业创新效率的中介效应。考虑到高技术产业前一期的创新效率可能会对后一期的创新效率产生影响，本文在式（1）和式（3）中均加入被解释变量的滞后一期项，构建了动态面板模型。其中， tfp 为高技术产业的创新效率； poe 为 65 岁及以上的老年人口比重，用于衡量人口老龄化程度； rdc 为政府的科技支出占财政预算支出的比重，用于衡量政府的研发投入。⁽²⁾

a 为模型的常数项， β 、 γ 、 η 、 δ 为模型的待估计系数， ε 为随机扰动项， i 代表省份， t 代表年份。 X 为控制变量，参考戴魁早和刘友金的研究⁽³⁾，本文选取的控制变量包括：（1）企业外向度，采用高技术产业的出口交货值与高技术产业主营业务收入之比来衡量⁽⁴⁾；（2）创新环境，采用高技术产业研发机构数来表示；（3）固定资产投资，采用各年度固定资产投资存量来表示，固定资产投资存量由固定资产投资流量计算而得，计算方法为永续盘存法，折旧率设定为 10%；（4）国有化程度，采用国有单位就业人员工资总额占就业人员工资总额之比来衡量；（5）工业化水平，采用第二产业增加值占国内生产总值的比重来表示。对于以上中介效应模型，参考温忠麟等人的研究，本文采用依次检验法对其进行检验，依次检验法也是中介效应模型最为常用的检验方法。⁽⁵⁾

第二阶段是在第一阶段的基础上，加入人均实际 GDP 作为调节变量，检验经济发展水平在人口老龄化与高技术产业创新效率之间的调节效应。根据 Aiken 等人的建议，为使回归方程的系数更具解释意义，本文对被解释变量、核心解释变量、中介变量和调节变量进行中心化处理，使其平均数换移至 0，再通过计算中心化处理后的核心解释变量与调节变量的乘积来获得交互效应的数值。⁽⁶⁾因此，本文构建的调节效应模型如下：

$$c_tfp_{it} = a_4 + \beta_4 c_tfp_{it-1} + \gamma_4 c_poe_{it} + \lambda_4 c_Lngdp + \rho_4 c_poe * c_Lngdp + \delta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$c_rdc_{it} = a_5 + \gamma_5 c_poe_{it} + \gamma_5 c_Lngdp + \rho_5 c_poe * c_Lngdp + \delta_5 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$c_tfp_{it} = a_6 + \beta_6 c_tfp_{it-1} + \gamma_6 c_poe_{it} + \eta_6 c_rdc_{it} + \gamma_6 c_Lngdp + \rho_6 c_poe * c_Lngdp + \theta_6 c_rdc * c_Lngdp + \delta_6 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中， c_tfp 、 c_poe 、 c_Lngdp 均为中心化之后的变量， gdp 为人均实际 GDP，用于衡量经济发展水平。式（4）、式（5）和式（6）分别用于检验经济发展水平在人口老龄化影响高技术产业创新效率的直接路径、前半路径和后半路径上的调节作用是

否存在。如果交叉项的估计系数显著，说明调节效应存在；反之则不存在。

本文的样本长度为 1998—2018 年，研究对象为中国的 31 个省、市、自治区，考虑到高技术产业研发活动的滞后性，本文将创新投入与产出的时间差设定为滞后一年，即投入指标为 1998—2017 年，对应的产出指标为 1999—2018 年。所有数据均来自于《中国宏观经济数据库》《中国高技术产业数据库》《中国科技数据库》《中国财政税收数据库》和《中国经济与社会发展统计数据库》，对于少数缺失值，本文采用线性插值法和趋势外推法进行填充。其中，人均实际 GDP 和固定资产实际投资额根据当年的人均 GDP 和固定资产投资额折算而得，基期均设定为 1998 年。

四、实证结果及分析

（一）高技术产业创新效率的测算结果分析

根据本文选取的创新产出和投入指标，基于投入导向型的 DEA-Malmquist 生产率指数，采用 DEAP2.1 软件对高技术产业样本期间创新效率的变动情况进行测算^①。

可知，在样本区间，高技术产业的创新效率总体呈上升趋势，年均增长率为 3%，这与武鹏等人的研究结论是一致的。^②此外，技术效率、纯技术效率和规模效率均呈增长趋势，且技术效率对高技术产业创新效率增长的贡献最大。但技术进步效率在样本期间呈下降趋势，年均下降率为 6%，其对高技术产业创新效率增长的贡献为负。

（二）面板单位根检验结果分析

测算出高技术产业创新效率的结果之后，在进行实证分析之前，为防止伪回归问题，还需要对所选取的变量进行多重共线性和面板单位根检验。为了消除异方差，对人均实际 GDP、固定资产投资额和高技术产业研发机构数等几个变量进行对数化处理。多重共线性的结果显示，各组变量的方差膨胀因子（VIF）均小于 10，说明各组变量均不存在多重共线性问题。为了提高估计结果的稳健性，本文同时采用了 LLC 检验、IPS 检验和 Fisher 检验等三种方法对面板单位根进行检验。

可知，创新效率、老年人口比重、政府研发投入、企业外向度、研发机构数、固定资产投资额和国有化程度等变量的原始序列和一阶差分序列同时通过了三种不同单位根检验，说明这些变量均为平稳变量。对于人均实际 GDP 和工业化水平这两个变量，虽然原始序列均未通过 IPS 检验，但均通过了 LLC 检验和 Fisher 检验，可以认为这两个变量也是平稳变量。因此，本文所选取的变量均可用于做进一步的实证分析。

（三）调节中介效应估计结果分析

根据前文建立的调节中介效应模型，将创新效率、人口老龄化程度、政府研发投入、经济发展水平和控制变量代入各模型中，对各个模型进行估计。对于动态面板模型，理论上存在两个方面的内生性问题：其一，可能存在遗漏变量；其二，被解释变量滞后项可能与扰动项相关。

为了克服这两个问题，Arellano 等人建议采用系统广义矩估计（SYS-GMM）方法对动态面板模型估计^①，Windmeijer 认为两步 SYS-GMM 估计方法更为有效^②。因此，本文以解释变量的滞后一期项作为工具变量，使用两步 SYS-GMM 方法对动态面板模型进行估计，并采用 Arellano-Bond 检验统计量确定工具变量是否有效，采用 Hansen 检验统计量确定工具变量是否过度识别。

模型 1、2 和 3 表示的是中介效应估计结果。其中，模型 1 检验了人口老龄化对高技术产业创新效率的影响，结果显示人口老龄化对高技术产业创新效率的影响显著为负，即人口老龄化会对高技术产业创新效率产生显著的消极影响，这就验证了前文

的假设 3。其原因在于，人口老龄化会对劳动生产率、劳动力供给和人力资本积累等变量产生一定的负面影响，进而阻碍高技术产业创新效率的提高。模型 2 检验了人口老龄化对政府研发投入的影响，人口老龄化系数显著为负，说明人口老龄化程度的提高会对政府的研发投入产生显著的消极影响，即前文的假设 1 是正确的。

这主要是由于中国当前的社会保障制度还不够完善，人口老龄化程度的提高会使得政府加大对社会养老保障方面的支出，最终对政府在研发方面的投入产生一定的挤出效应。模型 3 检验了政府研发投入对高技术产业创新效率的影响，政府研发投入的系数显著为正，即政府的研发投入有利于提升高技术产业的创新效率，说明前文的假设 2 成立。模型 1 和模型 2 中的人口老龄化系数显著，模型 3 中的政府研发投入系数也显著，由此可以说明政府研发投入在人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程中的确起到了中介变量的作用。此外，模型 1 和模型 3 的 ArellanoBond 检验和 Hansen 检验结果显示，模型通过了工具变量有效性检验，且不存在过度识别问题，即本文建立的模型是有效的。从控制变量的估计结果来看，企业外向度、固定资产投资和国有化程度对高技术产业创新效率的影响均显著为正且较为稳健；而创新环境和工业化水平对高技术产业创新效率的影响并不稳健，其估计结果因模型解释变量的不同而有所差异。

除了中介效应的估计结果，模型 4、5 和 6 还显示了调节效应的估计结果。模型 4 检验了经济发展在人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中直接路径的调节作用，从估计结果来看，人均实际 GDP 的回归系数显著为负，说明人均实际 GDP 与高技术产业创新效率呈负相关；人口老龄化与人均实际 GDP 的交叉项显著为正，说明人均实际 GDP 的增长会削弱人口老龄化对高技术产业创新效率的消极影响，即人均实际 GDP 负向调节人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中的直接路径。

模型 5 检验了经济发展在人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中前半路径的调节作用，人均实际 GDP 的估计系数显著为负，说明人均实际 GDP 与政府研发投入呈负相关；人口老龄化与人均实际 GDP 交叉项的系数显著为正，说明人均实际 GDP 的增长会缓解人口老龄化对政府研发投入的阻碍作用，即人均实际 GDP 负向调节人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中的前半路径。模型 6 检验了经济发展在人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中后半路径的调节作用，估计结果表明，政府研发投入与人均实际 GDP 的交叉项显著为负，即人均实际 GDP 会削弱政府研发投入对高技术产业创新效率的促进作用，说明人均实际 GDP 负向调节人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中的后半路径。人均实际 GDP 在人口老龄化影响高技术产业创新效率的直接途径、前半路径和后半路径均会产生负向的调节作用，这就验证了前文的假设 4。此外，模型 4 和模型 6 的检验结果显示，本文建立的动态面板模型估计结果是有效的。

综合上述结果来看，人口老龄化对高技术产业创新效率影响过程中的中介效应和调节效应均存在。其中，政府的研发投入在人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程中起到中介变量的作用，人口老龄化会通过政府对研发投入的挤出效应阻碍高技术产业的创新效率；经济发展则起到调节变量的作用，经济发展在人口老龄化影响高技术产业创新效率过程中直接路径、前半路径和后半路径的调节效应均显著为负。

（四）稳健性分析

为了检验模型估计结果的稳健性，本文将估计方法由 SYS-GMM 替换为 DIF-GMM（差分广义矩估计法），对前文构建的调节中介效应模型进行重新估计。

可知，从差分广义矩估计结果来看，模型 7 显示，人口老龄化对高技术产业创新效率的影响虽然并不显著，但影响方向为负，这与结果是一致的；模型 8 和 9 显示，人口老龄化对政府研发投入的影响显著为负，政府研发投入对高技术产业创新效率的影响显著为正，无论是从显著性还是影响方向来看，结果均完全一致，说明政府的研发投入的确会对人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程产生中介效应。从调节效应的估计结果来看，模型 10 和模型 11 中老年人口比重和人均实际 GDP 交叉项的结果均显著为正，模型 12 中政府研发投入和人均实际 GDP 交叉项的结果显著为负，结果是完全相同的，说明经济发展的确会对人口老龄化影响高技术产业创新效率的过程产生调节效应。

此外，为了从不同角度检验估计结果的稳健性，本文还将核心解释变量由老年人口比重替换为老年抚养比⁽¹⁾，再次对调节中介效应模型进行估计。估计结果显示⁽²⁾，老年抚养比对高技术产业创新效率的影响为负，但并不显著；老年抚养比对政府研发投入的影响显著为负；政府研发投入对高技术产业创新效率的影响为正，但并不显著。将该结果与结果对比可知，该结果与结果虽然存在一定的差异，但各变量的影响方向均完全一致。从调节效应的结果来看，经济发展水平在老年抚养比影响高技术产业创新效率过程中直接路径、前半路径和后半路径上的调节效应均显著为负，这与结果完全一致。因此，综合来看，结果是可信的，即本文建立的模型具有较好的稳健性。

五、结论与启示

基于 1998—2018 年高技术产业省级层面的面板数据，首先构建 DEA 模型，测度了高技术产业的创新效率，发现样本期间高技术产业的创新效率呈缓慢递增趋势。然后构建调节中介效应模型研究了人口老龄化对高技术产业创新效率的影响，结果显示，人口老龄化会通过政府的研发投入这个中介变量对高技术产业创新效率产生消极影响，但经济发展水平在这个过程中起到了调节变量的作用，其会削弱人口老龄化对高技术产业创新效率的阻碍作用。基于这些研究结论，得出以下政策启示：

第一，进一步开放生育，优先发展幼教产业和幼托服务，拓展国家义务教育体系建设。自 20 世纪 80 年代实施计划生育政策以来，中国人口过快增长的趋势得到了很好的控制。然而，随之而来的是人口总量和生育率的持续下降，并且已经连续多年低于更替水平。随着人口老龄化的加剧，虽然计划生育政策有所调整，2016 年开始实施全面二孩政策，但是其效果并不显著。国家统计局公布的相关数据显示，2016 年全年出生人口为 1786 万，仅比 2015 年新增 127 万；2017 年，全年出生人口则仅有 1723 万；2018 年，全年出生人口仅有 1523 万；2019 年，全年出生人口进一步下降为 1465 万，是自计划生育政策实施以来首次跌破 1500 万人。因此，进一步放开计划生育政策已迫在眉睫，同时还应该出台相关的配套政策，以保证生育水平的提升。国家卫健委的调查显示，大量年轻人不敢生小孩的主要原因在于养育成本高、托育服务短缺以及女性职业发展压力等。因此，一方面应该优先发展幼教产业和幼托产业，建立公共幼托体系，解决女性生育的后顾之忧；另一方面，应该加强国家的义务教育体系，考虑把学前教育纳入义务教育，切实减轻家庭的教育成本。

第二，探索实施自愿延迟退休政策，缓解国家养老保障支出压力。中国是世界上退休年龄最早的国家之一，随着老年人口规模的急剧增长，已有多个省份出现养老金缺口，国家养老保障支出面临巨大压力。当前，国家正在酝酿实施渐进式退休政策，但在实施这一政策时，还应该充分考虑行业的特征及其差异性，如对于建筑和采矿等劳动密集型行业，可以维持原有的退休年龄或小幅延长退休年龄；而对于电子通讯、精密机床、航空航天和高级医疗器械等与工作经验密切相关的技术密集型行业，年龄越大反而越有优势，对于这些行业可以考虑探索实施自愿延长退休政策，高薪返聘达到退休年龄的技术人员。实施自愿延迟退休政策不仅可以缓解国家的养老保障支出压力，使国家得以投入更多的资金用于科技研发，而且还可以为社会提供更多的熟练劳动力，减轻劳动力供给下降对高技术产业发展产生的负面影响。

第三，大力扶持中小型高技术企业发展，为中小型高技术企业的研发活动保驾护航。本文的研究结果显示，政府的研发投入会对高技术产业的创新效率产生显著的推动作用。《中国高技术产业数据库》中的相关数据显示，自 2000 年以来，大中型高技术企业数占高技术企业总数的比重一直在 20%到 30%左右波动，这说明中小型高技术企业是高技术发展的重要组成部分。然而，与大中型高技术企业相比，中小型高技术企业在发展过程中容易面临融资难、发展难和创新难等困境，而融资难又是导致创新难的主要原因。中小型高技术企业吸纳了社会上绝大多数的就业人口，是推动高技术产业发展的中坚力量，政府应该加大对中小型高技术产业的扶持力度，一方面，可以通过为中小型高技术企业提供税收优惠政策、低息贷款政策以及设立专项研发资金等途径鼓励其开展研发活动；另一方面，可以在财政政策上向中小型高技术企业倾斜，适度提高对中小型高技术企业的研发补贴力度，解决中小型高技术产业进行研发活动的后顾之忧。

第四，发展“银发经济”，积极推动与老龄人口密切相关的高技术产业发展。从本文的研究结果来看，人口老龄化会对高技术产业的创新效率产生消极影响。然而，任何事物都有两面性，人口老龄化对高技术产业的发展产生挑战的同时也潜藏机遇。

自从 2015 年国务院印发《中国制造 2025》的通知以来，中国的制造业发展迎来了前所未有的发展机遇。高新技术产业大都属于附加值较高的技术密集型制造业，其中的医药制造业、医疗仪器设备制造业和电子及通信设备制造业都与人口老龄化密切相关。如老年人口规模的增加会极大地推动高端医疗保健品和高级医疗健身设备等产业的发展。此外，在老年人口数量不断增加和新生人口数量不断下降的双重背景下，适龄劳动人口的数量必然会不断减少，适龄劳动力的短缺会推动“机器换人”的进程，进而为智能设备制造业的发展带来新的机遇，因此，国家应大力推动这部分产业的发展。

注释：

1 数据来源于《中国高技术产业统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

2 汪伟、姜振茂：《人口老龄化对技术进步的影响研究综述》，《中国人口科学》2016 年第 3 期。

3 Kamieniecki sheldon. & Lackie Paula., “Measuring High-Technology Capacity across the 50 States”, Policy Studies Reviews, Vol. 11, No. 1, 1992, pp. 110-117.

4 Frenkel Annon., Shefer Daniel. & Stephen Roper., “Public Policy, Locational Choice and the Innovation Capability of High-tech Firms: A Comparison between Israel and Ireland”, Papers in Regional Science, Vol. 82, No. 2, 2003, pp. 203-221.

5 李邃、江可申等：《高技术产业研发创新效率与全要素生产率增长》，《科学学与科学技术管理》2010 年第 11 期。

6 余泳泽、张妍：《我国高技术产业地区效率差异与全要素生产率增长率分解——基于三投入随机前沿生产函数分析》，《产业经济研究》2012 年第 1 期。

7 Dominique Guellec. & Bruno Van Pottelsberghe De La Potterie., “The Impact of Public R&D Expenditure on Business R&D”, Economics of Innovation and New Technology, Vol. 12, No. 3, 2003, pp. 225-243.

8 Nunes Paulo Macas., Serrasqueiro Zelia. & Leitao Joao., “Is There a Linear Relationship between R&D Intensity and Growth? Empirical Evidence of Non-high tech vs. High-tech SMEs”, Research Policy, Vol. 41, No. 1, 2012, pp. 36-53.

9 张同斌、高铁梅：《财税政策激励、高新技术产业发展与产业结构调整》，《经济研究》2012 年第 5 期。

10 戴魁早、刘友金：《要素市场扭曲与创新效率——对中国高技术产业发展的经验分析》，《经济研究》2016 年第 7 期。

11 吴秋凤：《发展高新技术产业与解决人口老龄化问题》，《人口研究》2000 年第 6 期。

12 蔡兴：《人口老龄化倒逼了中国出口结构的优化升级吗》，《当代经济研究》2016 年第 8 期。

13 沈蕾、郭岩：《老龄化对高技术产业技术创新的影响研究——基于子行业、企业规模异质性的分析》，《工业技术经济》2020 年第 12 期。

14 范晓莉、蒋宁：《我国高技术产业创新生态水平评价及其影响因素分析》，《产业创新研究》2020 年第 17 期。

-
- 15 豆建春:《老龄化对创新的影响——效应、机制及其对中国的启示》,《人口与经济》2019年第5期。
- 16 Gonzales-Eiras M. & Niepelt D., “Aging, Government Budgets, Retirement, and Growth”, *European Economic Review*, Vol. 56, (No. 1), 2012, pp. 97-115.
- 17 梅冰菁、罗剑朝:《财政补贴、研发投入与企业创新绩效-制度差异下有调节的中介效应模型检验》,《经济经纬》2020年第1期。
- 18 Carboni O., “R&D Studies and Private R&D Expenditures: Evidence from Italian Manufacturing”, *International Review of Applied Economics*, Vol. 25, (No. 4), 2011, pp. 419-439.
- 19 Kang K. N., & Park H., “Influence of Government R&D Support and Inter-firm Collaborations on Innovation in Korean Biotechnology SMEs”, *Technovation*, Vol. 32, (No. 1), 2012, pp. 68-78.
- 20 Benoit Dostie., “Wages, Productivity and Aging”, *De Economist*, Vol. 159, No. 2, 2011, pp. 139-158.
- 21 汪伟:《人口老龄化、生育政策调整与中国经济增长》,《经济学季刊》2016年第1期。
- 22 杨菊华、王苏苏、刘轶锋:《新中国70年:人口老龄化发展趋势分析》,《中国人口科学》2019年第4期。
- 23 Edwards Jeffrey R., & Lambert Lisa Schurer., “Methods for Integrating Moderation and Mediation: A General Analytical Framework Using Moderated Path Analysis”, *Psychological Methods*, Vol. 12, No. 1, 2007, pp. 1-22.
- 24 桂黄宝:《我国高技术产业创新效率及其影响因素空间计量分析》,《经济地理》2014年第6期。
- 25 由于财政支出数据统计口径在2006年进行了调整,2006年及以前的科技支出额为科技三项费用和科学事业费之和,2007年及以后的科技支出额为科学技术支出费用。
- 26 戴魁早、刘友金:《要素市场扭曲与创新效率——对中国高技术产业发展的经验分析》,《经济研究》2016年第7期。
- 27 此处本应选用高技术产业总产值,但由于该指标只统计到2011年,考虑到高技术产业主营业务收入与高技术产业总产值最为接近,本文采用高技术产业主营业务收入作为高技术产业总产值的代理变量。
- 28 温忠麟、叶宝娟:《中介效应模型:方法和模型发展》,《心理科学进展》2014年第5期。
- 29 王建、赵凯:《中国城镇化、老龄化、城乡差距与经济发展研究——基于有调节效应的中介模型》,《当代经济管理》2020年第7期。
- 30 根据 DEA-Malmquist 生产率指数测算的全要素生产率 tfp 是一个相对指标,如果该指标大于1,说明从第 t 年到第 $t+1$ 年的创新效率呈增长趋势;反之则呈下降趋势。
- 31 武鹏、余泳泽、季凯文:《市场化、政府介入与中国高技术产业 R&D 全要素生产率增长》,《产业经济研究》2010年第3期。

32 Arellano M., & Bover O., “Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-Components Models”, *Journal of Econometrics*, Vol. 68, No. 1, 1995, pp. 554-580.

33 Windmeijer F., “A finite Sample Correction for the Variance of Linear Efficient Two-step GMM Estimators”, *Journal of Econometrics*, Vol. 126, No. 1, 2005, pp. 25-51.

34 老年抚养比是指 65 岁及以上的老年人口数与 15-64 岁的适龄劳动人口数之比。

35 限于篇幅，未列出估计结果。