

【主持人语】后金融危机时代,世界各国都在积极寻求新的产业革命契机和新的经济增长点,谁能率先抢占科技创新的制高点,谁就能在新一轮的国际竞争中取胜。当前,中国经济步入新常态,经济增长速度由高速转变为中高速,经济增长动力由要素驱动向创新驱动转变,提高技术水平、建设创新型国家是适应新常态、保持经济平稳发展的重要条件。而自2000年进入老龄化社会以来,我国人口老龄化的进程在不断加速,截至2016年底,60岁以上老年人口已经达到2.31亿,占总人口的16.5%。根据联合国的预测,我国将在2030年前后迎来老龄化的高峰,到2050年我国60岁以上老年人口占总人口的比重将达到35%—40%。人口老龄化已经成为我国经济新常态的重要特征之一,日益加深的人口老龄化如何影响技术创新成为政府与学界关注的问题,厘清人口老龄化对技术创新的影响机制,有着重要的理论与现实意义。

本期《上海财经大学学报》开辟了专题栏目,组织了两篇文章讨论老龄化与创新关系。我和博士生姜振茂的文章《人口老龄化对技术创新的影响机制分析》运用动态因子方法构建了新的技术创新综合能力指数,并在此基础上通过实证研究发现人口老龄化对技术创新会产生两种对立效应,一方面人口老龄化通过降低人力资本投资水平以及加重老龄负担、挤占创新资源对技术创新产生消极影响,另一方面人口老龄化通过提高科研工作者的劳动效率对技术创新产生积极影响。我们的文章在技术创新能力的指标构建和人口老龄化对技术创新的影响机制等方面丰富了现有研究。姜雨峰博士的文章《退缩还是创新:受年龄歧视影响的员工行为解析》发现老龄员工在企业中受到的年龄歧视最大,并且年龄歧视对员工创新行为具有显著的负面影响。这一研究对理解老龄化、年龄歧视与创新的关系提供了新的视角和思路。

——汪 伟

DOI: 10.16538/j.cnki.jsufe.2017.06.001

人口老龄化对技术创新的影响机制分析

——基于DFA方法的创新评价和动态面板模型

汪 伟^{1,2}, 姜振茂³

(1. 上海财经大学 公共经济与管理学院, 上海 200433; 2. 上海市金融信息技术研究重点实验室, 上海 200433; 3. 上海财经大学 财经研究所, 上海 200433)

摘 要: 在老龄化程度加深以及我国经济对技术创新日渐倚重的双重背景下,研究人口老龄化如何影响我国的技术创新具有重要意义。文章基于动态因子模型,从创新投入、创新产出、创新绩效、协同创新能力、创新环境五个方面测算了我国1990—2014年29个省份的技术创新能力,并构建了新的技术创新综合能力指数。在此基础上,运用动态面板模型,文章发现人口老龄化对技术创新产生两种对立效应:一方面,人口老龄化通过提高科研工作者的劳动效率对技术创新产生积极影响,具有“劳动效率正

收稿日期: 2017-07-21

基金项目: 国家社科基金重大项目“长寿风险的宏观经济效应及对策研究”(17EDA049); 国家自然科学基金面上项目“人口老龄化对中国经济增长的影响与应对策略研究”(71773071); 上海市浦江人才计划“人口老龄化对我国教育投资的影响研究”(16PJ034); 上海市科技发展基金软科学研究重点项目“上海市技术创新绩效评估与提升路径研究”(17692105500); 上海财经大学研究生创新基金“人口老龄化对区域经济收敛的影响研究”(CXJJ-2016-438)。

作者简介: 汪 伟(1973—),男,湖南湘阴人,上海财经大学公共经济与管理学院、上海市金融信息技术研究重点实验室教授、博士生导师;
姜振茂(1988—),女,山东东营人,上海财经大学财经研究所博士生。

效应”；另一方面，人口老龄化通过降低人力资本投资水平以及加重老龄负担、挤占创新资源对技术创新产生消极影响，具有“人力资本负效应”和“老龄负担负效应”。这一研究对如何应对我国人口老龄化的挑战具有实践意义和政策参考。

关键词：人口老龄化；技术创新综合能力指数；动态因子分析方法；动态面板模型

中图分类号：F061.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1009-0150(2017)06-0004-14

一、引言

自2000年进入老龄化社会以来，我国的老龄化程度不断加深，2016年老年抚养比已达15%。人口老龄化对我国经济社会的发展正在产生深远的影响，如何应对人口老龄化的挑战越来越受到政府和学界的重视。与此同时，我国经济发展步入了新常态，传统的增长模式难以为继，将经济增长方式转向创新驱动成为中国经济转型的重要任务。人口老龄化程度不断加深以及经济增长对技术创新日渐倚重构成了本文研究的两大背景。

学者们关于人口老龄化的经济影响的研究大多集中在人口老龄化如何影响储蓄、劳动力供给、人力资本投资、政府公共支出和社会保障等方面，对人口老龄化如何影响技术创新的研究还比较少。从现有的几篇文献来看，一些研究发现了人口老龄化对技术创新的负效应，如田雪原等(1990)指出，人口老龄化会加重养老负担、挤占科研资源，从而对技术创新产生消极影响；胡伟略(1991)在田雪原等(1990)的基础上将养老负担量化，利用离退休人数、社会保障费用等指标表示养老负担，也得到了养老负担加重不利于技术创新的结论；姚东旻等(2017)以国内专利申请授权数作为技术创新的代理变量并运用2003—2012年省际面板数据发现，人口老龄化主要通过挤出人力资本投资对技术创新产生消极影响。另一些研究则发现人口老龄化对技术创新的影响不显著或有积极影响，如李三希和姚东旻(2013)用专利数量作为技术创新的代理指标，发现人口老龄化对我国技术创新的影响不显著；Frosch和Tivig(2009)同样以专利数量代表技术创新，发现专利数量与老年人口比重正相关，人口老龄化对技术创新具有积极影响；汪伟和姜振茂(2016)则从个人与企业、国家与地区等层面入手，综述了人口老龄化影响技术创新的国内外研究进展，发现人口老龄化对技术创新既有积极影响，也有消极影响。

通过梳理文献，本文认为现有研究的不足以及本文的贡献主要体现在以下两个方面：第一，以往学者多用专利数量来代表技术创新，但一个国家或地区层面的技术创新是一个动态的复杂过程。即研究与开发机构、高等院校以及工业企业利用政府、金融机构提供的资金等创新资源，充分利用当地的高素质劳动力、基础设施和通讯条件，研发出专利、生产出新产品并投放市场，而新产品投放市场后得到一系列反馈，催生出新的需求，从而可能反过来进一步促进一个地区的技术创新。一个国家或地区的技术创新过程具有复杂性，专利数量等单一指标难以衡量一个国家或地区技术创新的动态过程以及各因素的综合影响。本文首次借助动态因子分析方法(DFA)，从创新投入、创新产出、创新绩效、协同创新能力、创新环境五个方面着手，利用多重数据指标，测算我国分省份的技术创新综合能力指数，以此来衡量各省份的技术创新能力。与以往的研究文献相比，本文测算的技术创新综合能力指数是一个衡量技术创新的新指标，能够综合反映我国各省创新能力的动态变化。第二，除了姚东旻等(2017)分析了人口老龄化影响技术创新的人力资本路径之外，现有的研究只是简单地得出了人口老龄化对技术创新具有正面影响或负面影响的结论，但对其中的作用机制却鲜有深入的讨论。本文研究了人口老龄化通过人力资本水平、劳动效率、老龄负担影响技术创新的三条可能路径，在以往研究的基础上，进一步探索了人口老龄化对技术创新的影响机制。

二、人口老龄化影响技术创新的理论机制分析

科研领域的人力资本水平、科研工作者的劳动效率以及科研资源的多少都会影响技术创新,而人口老龄化又是影响科研领域人力资本水平、科研工作者劳动效率的重要因素,人口老龄化程度的加深以及养老支出的增加,还可能对科研资源产生挤出作用。因此,人口老龄化必然会对一个国家或地区的技术创新产生影响。本文从以下三个方面梳理人口老龄化影响技术创新的理论机制与传导路径。

第一,人口老龄化可能对科研领域的人力资本水平产生消极影响,本文把该种效应称为“人力资本效应”。现有研究多从技能培训、经验传导以及知识流失的角度来展开。在技能培训和经验传导层面,Kuhn和Hetze(2007)构建了一个两期世代交叠模型,研究了人口老龄化对新老员工之间传授经验的影响,显示人口老龄化对培训发生率的人口效应和经济效应均为负,因此人口老龄化不利于新老员工之间的培训和经验传导;Behaghel和Greenan(2010)构造了双差分模型,研究发现当公司采用先进的信息科技时,高龄员工更不容易接受计算机应用和团队协作方面的培训。在老龄化造成的人才和知识流失层面,Noda(2011)以产品质量的提高作为技术创新和进步的代理指标,研究发现老龄化带来的人口年龄结构转变,使得研发部门的高技能劳动力减少,从而对创新比率产生消极影响;Ashworth(2006)以美国的电能行业为研究样本,同样认为退休的高龄员工的增多会给企业带来短期甚至长期的知识流失。因此,人口老龄化可能通过影响技能培训、经验传导以及造成知识流失等途径对科研领域的人力资本水平产生消极影响。

第二,人口老龄化可能对科研工作者的劳动效率产生积极影响,本文把该种效应称为“劳动效率效应”。不少学者注意到,老龄化背景下,劳动力的稀缺会产生“倒逼机制”,使得企业等生产主体更加注重使用机器设备等手段,提高劳动效率。在理论层面,Scarth(2002)以及Lee和Mason(2010)均认为在劳动力稀缺的情况下,为维持以往的经济增长速度,社会将会转向依靠劳动技能的提高,以高技能的劳动力取代低技能的劳动力,从而促进劳动效率的提高;Habakkuk(1962)也认为劳动力的稀缺会使得创新的动机更加强烈。而在实证研究层面,运用国家间宏观截面数据,Romer(1987)、Feyrer(2002)均证明人口老龄化促进了劳动生产率的提高。可见,“倒逼机制”的存在,使得人口老龄化可能对科研工作者的劳动效率产生积极影响。

第三,人口老龄化可能通过加重养老负担、挤出科研资源从而对技术创新产生消极影响,本文把该效应称为“老龄负担效应”。在企业层面,Noda(2011)构建的理论模型显示,老龄化背景下,企业用工成本的增大对企业研发动机具有削弱作用,不利于企业对高素质员工的引进;胡伟略(1991)同样指出由于员工队伍的日渐老化,企业会付出更多的工资成本和社会保险费用,进而挤占企业的研发资金;而Ilmakunnas和Maliranta(2007)借助实证模型,研究了劳动力新加入企业、继续留任以及离职对企业利润、生产率和工资的影响,发现年老劳动力离开企业有助于提高企业利润,特别是在信息技术行业。在国家和政府层面,Gonzales-Eiras和Niepelt(2012)构造的世代交替模型显示,在政府调整税率和政府支出、退休年龄不变的情形下,社会保障费用对政府的公共投资具有挤出作用;田雪原等(1990)也认为国家付出的养老保障支出增多,会挤占政府的科研经费投入。可见,老龄化程度的加深造成养老支出增多,可能挤占科研资源,进而影响技术创新。

综上所述,人口老龄化对技术创新的影响是多维度的,既可能通过“人力资本效应”以及“老龄负担效应”对技术创新产生消极作用,也可能通过“劳动效率效应”对技术创新产生积极作用。

三、我国各省技术创新综合能力指数测算

(一)技术创新能力的评价方法

现有研究主要从两个方面来考察技术创新能力,一是衡量技术创新的研发成果,如Hsu等(2014)等;二是不少学者考虑了知识成果的经济转化情况,如牛泽东和张倩肖(2012)等。而一个国家或地区的技术创新水平之所以能够提高,是多种因素综合作用的结果:首先,不同地区的研发投入力度不同,本身就造成了国家或地区间的研发资源的差距;其次,一个国家或地区取得的专利等知识成果,如果能够转化成现实的经济成果,反过来会对当地的技术创新起到促进作用,形成一个良性循环;不同国家或地区有着不同的创新效率,衡量技术创新能力需要把创新绩效考虑在内;再次,一个国家或地区技术创新水平的提高,是政府、高校、企业、科研机构等主体之间协同创新的结果,应当考虑各国家或地区在协同创新程度上的差异;最后,创新环境的不同也会影响技术创新水平。因此,考察一个国家或地区的技术创新能力应当考察多个因素。

不少学者也注意到这一点,采用主观赋权评价法和客观赋权评价法等多指标综合评价方法,来评价一个国家或地区的技术创新能力。由于主观赋权评价法得出的结论主观性较强,目前采用该方法的研究较少。而因子分析法等客观赋权方法不能反映研究结果随时间变化的情况,因此得出的评价结果不具有纵向可比性。

Coppi和Zannella(1978)提出的动态因子分析方法,既能保证研究结果的客观性,又可以进行跨期对比,目前在研究中得到了较广泛的应用。Federici和Mazzitelli(2005)利用动态因子分析法,计算了13个OECD国家1992-2000年的创新指数;贾智莲和卢洪友(2010)利用动态因子分析方法,计算了财政分权与教育民生类公共产品供给的有效性指数;崔敏和魏修建(2015)利用动态因子分析方法,考察了服务业内部结构演变以及行业发展的异质性。而纵观国内外文献,目前还没有利用动态因子分析方法来计算我国各省技术创新能力指数的研究。借鉴Federici和Mazzitelli(2005)的方法,本文计算各省份技术创新综合能力指数的步骤如下:(1)对样本数据 X_{ijt} 进行标准化处理,其中 i 为观测主体, $i=1, \dots, I$; j 为观测指标, $j=1, \dots, J$; t 为观测时期, $t=1, \dots, T$;(2)计算数据指标 X_{ijt} 每年的协方差矩阵 $S_{(t)}$,以及平均协方差矩阵 $S_T, S_T = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T S_{(t)}$;(3)计算 S_T 的特征值以及对应的特征向量、方差贡献率、累积方差贡献率;(4)计算各观测主体的平均得分矩阵: $c_{ih} = (\bar{z}_i - \bar{z}_{\#})' a_h$,其中 a_h 为特征向量, $\bar{z}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T z_{it}$ 为单个主体的平均向量, $\bar{z}_{\#} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \bar{z}_i$ 为总体平均向量, $z_{it}' = (z_{i1t}, z_{i2t}, \dots, z_{iJt})'$;(5)计算各观测主体的动态得分矩阵: $c_{iht} = (z_{it} - \bar{z}_{\#t})' a_h$,其中 $\bar{z}_{\#t} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I z_{it}$, $\bar{z}_{\#t}$ 为第 t 年各观测指标的平均值;(6)参照崔敏和魏修建(2015)、贾智莲和卢洪友(2010)的研究方法,利用各特征值的方差贡献率 d_i 以及各特征值的动态因子得分 f_i ,计算加权平均因子得分 $E = \sum d_i f_i$,作为技术创新综合能力指数。

(二)评价指标说明及数据来源

本文从创新投入、创新产出、创新绩效、协同创新能力以及创新环境五方面挑选数据指标,计算各省份技术创新综合能力指数,共考察16个变量(见表1)。

第一,在创新投入层面,主要有研发资金投入和研发人员投入两方面,本文利用R&D人员全时当量来衡量研发人员投入,采用《中国高技术产业统计年鉴》公布的历年“R&D活动人员折合全时当量”数据。

在研发资金投入方面,借鉴白俊红和蒋伏心(2015)的研究,利用永续盘存法估算R&D资本存量。R&D资本存量估算公式为 $K_{it} = (1 - \delta)K_{i(t-1)} + E_{i(t-1)}$, K_{it} 为t期的R&D资本存量, $K_{i(t-1)}$ 为t-1期的R&D资本存量, δ 为资本折旧率,借鉴吴延兵(2006),取 $\delta=15\%$ 。由于估算R&D资本存量必须把名义的投资额转化为不变价格表示,本文利用R&D支出价格指数对名义R&D经费支出进行平减,得到实际的R&D经费支出 $E_{i(t-1)}$,借鉴朱平芳和徐伟民(2003),R&D支出价格指数 $=0.55 \times$ 消费价格指数 $+0.45 \times$ 固定资产投资价格指数。基期R&D资本存量估算公式为 $K_{i0} = E_{i0}/(g + \delta)$, K_{i0} 为基期的R&D资本存量, E_{i0} 为基期的R&D经费支出, g 为实际R&D经费支出的几何平均增长率。在得到基期R&D资本存量后,利用实际R&D经费支出、资本折旧率,就可以估算出各省每年的R&D资本存量。消费价格指数和固定资产投资价格指数、当年价格R&D经费支出来源于中经网统计数据库、《中国统计年鉴》以及中国经济与社会发展统计数据库。

第二,在创新产出层面,本文采用了专利和新产品销售收入两个指标,来源于中国经济与社会发展统计数据库。

第三,在创新绩效层面,本文使用DEA方法测算了各省的创新绩效,以衡量各省创新效率的差异,作为衡量各省创新综合能力的一个方面。其中创新投入指标为研发资金投入和研发人员投入,创新产出指标为专利和新产品销售收入。

第四,在协同创新能力方面,本文借鉴白俊红和蒋伏心(2015)的研究,采用政府在各省研发资金中的投资比重、金融机构在各省研发资金中的投资比重、企业在高校研发资金中的投资比重以及企业在研究机构研发资金中的投资比重四个指标。其中,各省研发资金中政府资金的比重、企业在高校研发资金中的投资比重、企业在研究机构研发资金中的投资比重来源于《中国科技统计年鉴》公布的研究资金构成数据。借鉴白俊红和蒋伏心(2015)的研究,用各省研发资金减去政府、企业、国外支出,来近似表示研发资金中来源于金融机构的资金。另外,借鉴吴显英(2003)的研究,本文把技术市场成交额也作为协同创新的衡量指标之一,其来源于中国经济与社会发展统计数据库。

第五,在创新环境方面,本文考虑了人均国内生产总值、电话普及率、人均邮电业务总量、私营企业数、人均拥有公路里程、人均受教育年限六个指标,分别涵盖一个省的经济水平、通讯水平、市场活跃情况、基础设施完备程度以及劳动力素质情况。其中,人均国内生产总值、电话普及率、私营企业数、人均邮电业务总量、人均公路里程来源于中经网统计数据库、《中国统计年鉴》和国家统计局。借鉴李国璋等(2010),人均受教育年限计算公式为

$$h_{it} = \frac{\sum_{j=1}^5 edu_{itj} p_{itj}}{N_{it}}$$

其中, h_{it} 表示t年i省的平均受教育年限; p_{itj} 表示t年i省第j种教育层次的人口数; edu_{itj} 表示t年i省j种教育层次的受教育年限; N_{it} 表示t年i省6岁及以上人口数; $j=1, 2, 3, 4, 5$,

表1 技术创新综合能力度量指标

度量角度	度量指标
创新投入	R&D资本存量(亿元)
	R&D人员全时当量(人年)
创新产出	专利(项)
	新产品销售收入(万元)
创新绩效	根据DEA模型测算得到
协同创新能力	技术市场成交额(万元)
	政府在研发资金中的投资比重(%)
	金融机构在研发资金中的投资比重(%)
	企业在高校研发资金中的投资比重(%)
创新环境	企业在科研机构资金中的投资比重(%)
	人均国民生产总值(元/人)
	电话普及率(部/百人)
	私营企业数(户)
	人均拥有公路里程(公里/万人)
	人均邮电业务总量(元/人)
	人均受教育年限(年)

分别代表教育层次为文盲、小学、初中、高中(包括中专)、大专及以上,对应的受教育年限 edu_{ij} 分别为0、6、9、12、16年。缺失年份的人均受教育年限根据陈钊等(2004)给出的方法测算补齐。人均受教育年限数据来源于《中国人口统计年鉴》和国家统计局。

(三)分省份技术创新综合能力指数测算结果

表2是根据动态因子分析方法计算得到的16个特征值、各自的方差贡献率以及累积方差贡献率。借鉴Federici和Mazzitelli(2005)的研究,并根据特征值大于1的原则,挑选前15个特征值作为计算各省技术创新综合能力指数的计算因子,而从累积方差贡献率来看,这15个计算因子对总体方差的贡献率几乎达到100%,解释力度良好。因此,本文以前15个特征值和各自的方差贡献率为基础,采用加权平均的方法计算各省的技术创新综合能力指数。

表2 各个特征值及其方差贡献率

	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8
特征值	87.84	62.24	26.02	23.54	20.67	18.48	17.56	12.70
方差贡献率	0.29	0.21	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.04
累积方差贡献率	0.293	0.500	0.587	0.665	0.734	0.796	0.854	0.897
	e9	e10	e11	e12	e13	e14	e15	e16
特征值	9.07	6.34	5.97	2.97	2.37	1.97	1.72	0.60
方差贡献率	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
累积方差贡献率	0.927	0.948	0.968	0.978	0.986	0.992	0.998	1

表3列示了部分年份各省份的技术创新综合能力指数。从因子得分结果来看,各省份的技术创新综合能力指数差异较大,江苏、上海、广东、浙江、四川、山东、北京、辽宁、天津、湖北、湖南共11个省份的技术创新水平较高(大于0),而河南、福建、陕西、河北、吉林、安徽、黑龙江、广西、江西、甘肃、云南、山西、内蒙古、贵州、海南、新疆、宁夏、青海共18个省份的技术创新水平较低(小于0)。

表3最后一列对各省份的技术创新综合能力指数进行了排序,各省份技术创新综合能力指数的排序情况大致与其经济发展水平相一致,经济发展水平较高的省份,相对具有较高的技术创新能力,而经济发展水平较低的省份,技术创新能力也较低。

表3 各省份的技术创新综合能力指数

省份	1990	1995	2000	2005	2010	2014	因子平均得分 ^①	排序
北京	-0.68	0.65	0.31	0.33	0.39	0.98	0.36	7
天津	-0.71	0.83	0.63	0.16	0.13	0.47	0.26	9
河北	-0.57	0.79	-0.09	0.23	-0.35	-0.16	-0.07	15
辽宁	-0.48	1.25	0.31	0.23	0.12	0.38	0.28	8
上海	-0.23	1.71	0.89	0.82	0.92	0.71	0.80	2
江苏	-0.21	-0.07	0.68	0.54	1.79	2.77	1.00	1
浙江	-0.29	-0.10	0.88	0.59	1.15	1.74	0.78	4
福建	-0.56	-0.60	0.51	0.12	-0.14	-0.42	-0.03	13
山东	-0.41	-0.56	0.47	0.53	0.94	1.10	0.42	6
广东	-0.28	-0.66	0.65	0.89	1.80	2.39	0.78	3
海南	-0.80	-0.78	-0.39	-0.44	-0.77	-1.39	-0.56	26
山西	-0.46	-0.74	-0.56	0.04	-0.38	-0.94	-0.37	23
吉林	0.01	-0.37	-0.34	0.35	-0.13	-0.87	-0.08	16

续表3 各省份的技术创新综合能力指数

省份	1990	1995	2000	2005	2010	2014	因子平均得分 ^①	排序
黑龙江	0.03	-0.19	-0.19	0.35	-0.35	-0.64	-0.14	18
安徽	0.19	-0.31	-0.36	0.51	-0.07	-0.29	-0.08	17
江西	0.01	-0.41	-0.35	-0.35	-0.16	-0.78	-0.26	20
河南	0.51	-0.25	-0.36	-0.51	0.15	-0.17	-0.03	12
湖北	0.53	-0.14	-0.13	-0.19	0.26	0.05	0.06	10
湖南	0.53	-0.01	-0.08	-0.24	0.23	0.08	0.02	11
内蒙古	0.42	-0.16	-0.45	-0.40	-0.22	-0.83	-0.39	24
广西	1.14	0.09	-0.41	-0.43	-0.32	-0.74	-0.16	19
四川	1.23	0.27	0.41	0.39	0.53	1.18	0.62	5
贵州	1.32	-0.38	-0.39	-0.55	-0.73	-0.62	-0.45	25
云南	1.68	-0.19	-0.35	-0.61	-0.65	-0.74	-0.35	22
陕西	2.15	0.23	-0.01	-0.24	-0.39	-0.18	-0.06	14
甘肃	-0.74	0.25	-0.19	-0.40	-0.56	-0.62	-0.32	21
青海	-1.11	-0.31	-0.54	-0.64	-1.41	-0.90	-0.84	29
宁夏	-1.22	-0.03	-0.37	-0.39	-0.89	-0.84	-0.59	28
新疆	-1.03	0.20	-0.18	-0.66	-0.90	-0.74	-0.59	27

图1展示了各省份技术创新综合能力指数的逐年变化情况,从中可以看出各省份技术创新综合能力指数呈现出动态变化的趋势。江苏、上海、广东、浙江、北京、山东、四川等省份的技术创新综合能力指数呈现出微弱上升的趋势,广西、内蒙古、新疆、黑龙江、吉林等省份呈现出略微下降的趋势,而其他省份的技术创新综合能力指数大致呈现出不断波动的状态。

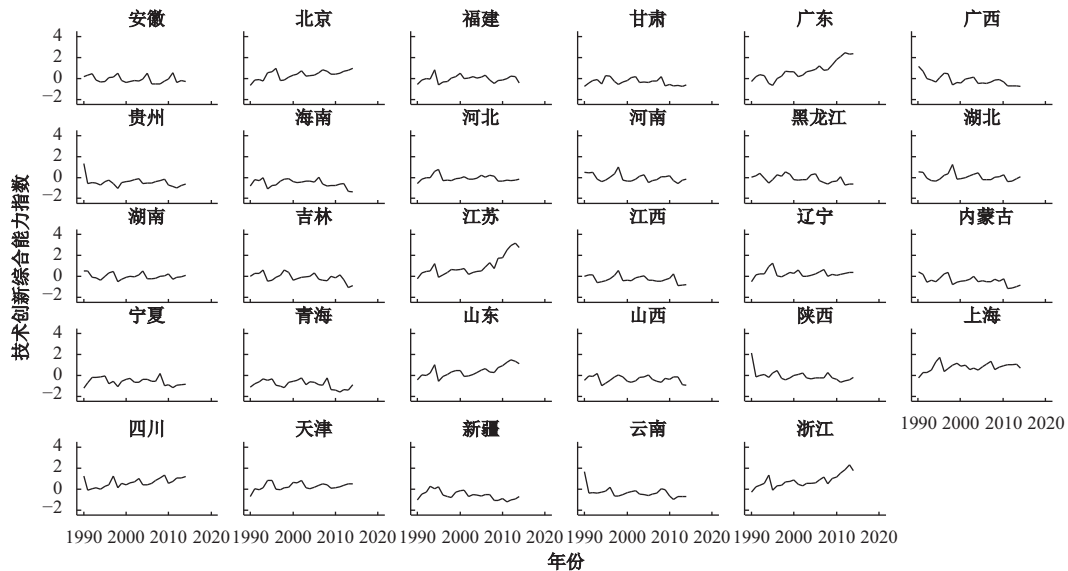


图1 各省份技术创新综合能力指数变化

(四)技术创新综合能力的省际和地区差异分析及未来趋势

为了揭示我国技术创新综合能力的省际和地区差异,本文计算了1990-1995年、1996-2000年、

①四舍五入后的结果,重庆并入四川,去掉西藏。

2001–2005年、2006–2010年以及2011–2014年各省份平均技术创新综合能力指数,并根据计算得到的指数平均值对各省份进行排序。表4列示了技术创新综合能力排名前十的省份数,第一列表示东部地区有11个省份,中部地区有8个省份,西部地区有10个省份。

根据表4,我国技术创新综合能力呈现出“东高西低”的格局:在技术创新综合能力排名前十的省份中,东部地区占据数量最多。1990–1995年东部地区有11个省份,其中6个省份位列我国技术创新综合能力前十位,并且东部地区占技术创新综合能力前十位的省份数量不断增多,2011–2014年有9个省份位列技术创新综合能力的前十位。而中部地区和西部地区占技术创新综合能力前十位的省份数量较少,中部地区有8个省份,平均每个时间段仅有一个省份能位列技术创新综合能力前十位,而2011–2014年这一数字是0,西部地区的情况与中部地区类似。未来一段时间我国技术创新水平“东高西低”的格局不会改变,东部地区仍然具有较高的技术创新水平,而中部和西部地区的技术创新水平仍然较低。

表4 技术创新综合能力排名前十的省份数

地区	1990–1995年	1996–2000年	2001–2005年	2006–2010年	2011–2014年
东部(11)	6	7	8	8	9
中部(8)	1	2	1	1	0
西部(10)	3	1	1	1	1

为了判断我国技术创新能力的未来趋势,图2列示了我国东部地区、中部地区以及西部地区1990–2014年技术创新能力指数的变化情况。从中可以看出:第一,东部地区的技术创新水平高于中部地区和西部地区;第二,东部地区整体上呈现出波动上升的趋势,而中部地区和西部地区的技术创新水平处于波动状态,无明显的上升趋势;第三,1990–2008年东部地区和中西部地区的技术创新能力差距变化不大,2008–2012年东部地区和中西部地区的技术创新能力差距有扩大的趋势,而2013年之后,东部地区的技术创新能力指数有下降趋势,中部和西部地区的技术创新能力指数有上升趋势,与以前年份相比,近年来东部地区和中西部地区的技术创新能力差距有所减小。

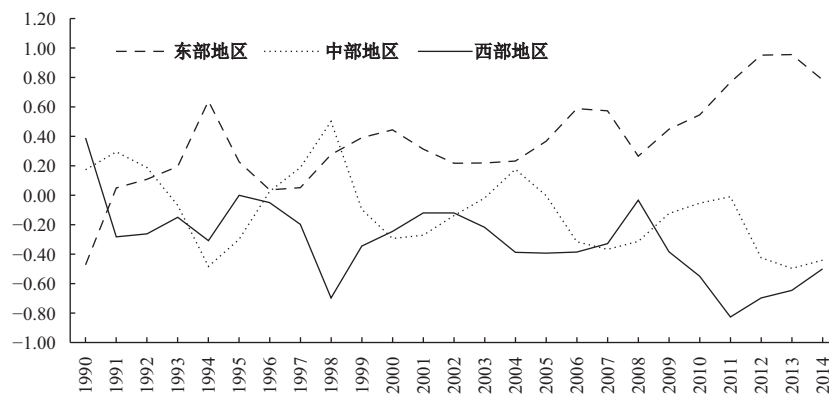


图2 我国三大地区技术创新能力的变化情况

四、人口老龄化影响技术创新的实证检验

(一)模型构建和数据指标解释

本文构建如下三个计量模型,分别验证人口老龄化影响技术创新的人力资本机制、劳动效

率机制以及老龄负担机制。

$$I_{it} = \delta_0 + \delta_1 I_{it-1} + \delta_2 olddep_{it} + \delta_3 olddep_{it} \times sp_{it} + \delta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$I_{it} = \phi_0 + \phi_1 I_{it-1} + \phi_2 olddep_{it} + \phi_3 olddep_{it} \times y_{it} + \phi_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$I_{it} = \eta_0 + \eta_1 I_{it-1} + \eta_2 olddep_{it} + \eta_3 olddep_{it} \times br_{it} + \eta_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

被解释变量 I_{it} 为上文计算得到的各省份的技术创新综合能力指数, 由于一个省份的技术创新能力受到上一期技术创新能力的影响, 因此在模型中加入了技术创新综合能力指数的滞后项 I_{it-1} 。模型的核心解释变量为老年人抚养比 $olddep_{it}$ 。为了验证人口老龄化影响技术创新能力的人力资本机制、劳动效率机制以及老龄负担机制, 本文引入老年抚养比与科技活动人员对数值的交互项 $olddep_{it} \times sp_{it}$ 、老年抚养比与科技活动人员创造的新产品价值的交互项 $olddep_{it} \times y_{it}$ 、老年抚养比与基本养老保险支出占GDP比重的交互项 $olddep_{it} \times br_{it}$, 来验证本文提出的人口老龄化影响技术创新的“人力资本效应”、“劳动效率效应”和“老龄负担效应”。其中, 科技活动人员对数值 sp_{it} 由《中国科技统计年鉴》公布的历年科技活动人员数计算得到, 科技活动人员创造的新产品价值 y_{it} 为新产品销售收入与科研活动人员总数之比, 新产品销售收入的数据来源与表1的创新产出指标相同, 基本养老保险支出占GDP比重 br_{it} 为中国经济和社会发展统计数据库公布的“基本养老保险基金支出”与当年本省GDP之比。

X_{it} 为影响技术创新能力的一组控制变量, 它包括: (1) 人均GDP。一个地区经济越发达, 越能为该地区技术创新能力的提高提供良好的物质条件, 本文使用人均GDP(万元)作为各省份经济发展水平的代理指标, 并利用人均国内生产总值指数转化为1990年不变价格。人均国内生产总值指数来源于中经网数据库。(2) 工业化率 $indratio_{it}$ 。工业化率为工业产值占GDP的比重, 工业化率对技术创新可能具有促进作用, 也可能具有阻碍作用: 一方面, 大量创造发明需要借助工业化手段才得以生产出来, 工业行业可以为技术创新提供良好的生产能力支撑; 另一方面, 如果一个地区过度强调工业生产, 忽视技术研发等软实力, 也可能对技术创新综合能力的提升产生不利影响。工业产值数据以及GDP数据来源于中国经济与社会发展统计数据库。(3) 地区间经济差距 $\ln(y_{max}/y_{it})$ 。落后地区可以不依靠自主创新, 而是直接引进先进地区的研发成果, 但如果一个地区的经济发展水平过低, 发达地区的技术成果即使被落后地区引进, 也难以被落后地区消化和吸收。本文用 $\ln(y_{max}/y_{it})$ 来控制地区经济发展差距对技术创新的影响, y_{it} 为以1990年不变价格表示的实际GDP。(4) 贸易依存度 f_{it} 。贸易依存度为进出口贸易总额占国内生产总值(GDP)的比重, 借鉴李三希和姚东旻(2013), 本文把贸易依存度作为影响技术创新的因素之一。其中, 进出口贸易总额来源于中经网数据库, 并使用美元兑人民币平均汇率转换成人民币。(5) 人均拥有公路里程取对数 ic_{it} 。本指标为各省份每年的人均公路里程的对数值, 人均公路里程为国家统计局公布的公路里程总量与年末常住人口之比。

(二) 描述性统计

表5列示了各变量的描述性统计情况, 共计725个观测值。从表5可以看出, 我国各省份技术创新综合能力指数的均值为-0.000 2, 最小值为-1.57, 最大值为3.2, 我国技术创新综合能力水平总体偏低, 同时各省份技术创新水平差异较大。老年抚养比均值在10.9左右, 意味着65岁以上老年人约占15-64岁劳动年龄人口的10.9%。基本养老保险支出占GDP比重均值为2.198, 变动范围从0.48到10.06; 科技活动人员对数值的均值为2.116, 变动范围从-1.33到4.78; 科技活动人员创造的新产品价值均值为88.6, 变动范围从2.3到640.4。此外, 其他控制变量的描述性统计情况也列示在表5中。

表5 变量的描述性统计

变量名	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
I_{it}	725	-0.000 2	0.647	-1.57	3.2
br_{it}	725	2.198	1.101	0.48	10.06
sp_{it}	725	2.116	1.061	-1.33	4.78
y_{it}	725	88.60	92.89	2.3	640.4
$olddep_{it}$	725	10.904 8	2.592	4.38	21.88
$indratio_{it}$	725	0.389 1	0.084	0.11	0.59
$\ln(y_{\max}/y_{it})$	725	1.495 8	0.916	0	3.89
f_{it}	725	2.808 1	0.958	1.17	5.2
ic_{it}	725	19.288	16.281	1.67	121.28
$pgdp_{it}$	725	0.810 9	0.764	0.08	4.56

(三)人口老龄化对技术创新的直接影响

表6采用逐步加入变量的方式,考察了人口老龄化对技术创新的直接影响。由于模型中加入了技术创新综合能力指数的一阶滞后项,因此采用GMM方法进行估计,本文使用3阶技术创新综合能力指数的滞后项作为工具变量。在进行GMM估计时,要检验工具变量的有效性,从表6中可以看出,sargan统计量的p值均无法拒绝“所有工具变量均有效”的原假设,显示工具变量是有效的。另外,GMM估计还要检验扰动项是否存在自相关,AR(1)的P值和AR(2)的P值显示扰动项的差分存在一阶自相关,不存在二阶自相关,因此接受“扰动项不存在自相关”的原假设。

从估计结果来看,6个模型均显示老年抚养比在1%水平上显著为负,人口老龄化对技术创新具有消极影响。技术创新综合能力指数的一阶滞后在1%水平上显著为正,如果上一期的技术创新能力较强,对本期的技术创新能力具有积极作用,技术创新是一个动态的过程。

表6 人口老龄化对技术创新的直接影响

变量名称	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)
	差分GMM	差分GMM	差分GMM	差分GMM	差分GMM	差分GMM
L_i	0.329*** (0.018 3)	0.321*** (0.017 4)	0.313*** (0.022 7)	0.291*** (0.044 8)	0.291*** (0.041 2)	0.305*** (0.038 4)
$olddep_{it}$	-0.028 4*** (0.005 90)	-0.039 7*** (0.006 11)	-0.033 0*** (0.009 07)	-0.035 3*** (0.009 61)	-0.037 0*** (0.009 93)	-0.033 7*** (0.010 6)
$pgdp_{it}$		0.197 (0.121)	0.297* (0.166)	0.269** (0.125)	0.268* (0.148)	0.505** (0.218)
$indratio_{it}$			-0.092 6 (1.615)	-0.835 (1.522)	-1.431 (1.610)	0.523 (2.005)
f_{it}				-0.040 0 (0.050 2)	-0.034 8 (0.038 6)	-0.096 4 (0.065 5)
$\ln(y_{\max}/y_{it})$					0.367 (0.833)	-0.151 (0.897)
ic_{it}						-0.002 76*** (0.000 991)
AR(1)P值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
AR(2)P值	0.384 2	0.423 1	0.408 8	0.498 3	0.529 6	0.328 7
Sargan检验 (P值)	28.94 (1.000 0)	27.48 (1.000 0)	27.51 (1.000 0)	26.55 (1.000 0)	27.42 (1.000 0)	23.19 (1.000 0)
Wald检验 (P值)	368.79 (0.000 0)	545.01 (0.000 0)	434.66 (0.000 0)	164.05 (0.000 0)	209.96 (0.000 0)	107.72 (0.000 0)
样本量	667	667	667	667	667	667

注:***、**、*分别表示P值的显著水平为1%、5%和10%,括号内为标准误。

模型6是加入所有变量之后的回归结果,显示老年抚养比每上升一个单位,技术创新综合能力下降0.0337个单位。人均GDP在5%水平上显著为正,人均GDP每上升一个单位,技术创新综合能力指数上升0.505个单位。经济发展水平的提高对技术创新具有显著的促进作用。本文以模型6的结果为基准,在此基础上考察人口老龄化影响技术创新的“人力资本效应”、“劳动效率效应”和“老龄负担效应”。

(四)人口老龄化影响技术创新的“人力资本效应”、“劳动效率效应”和“老龄负担效应”

本部分以技术创新综合能力指数为被解释变量,对人口老龄化影响技术创新的“人力资本效应”、“劳动效率效应”以及“老龄负担效应”进行检验。由于模型中加入了技术创新综合能力指数的一阶滞后项,因此采用GMM方法进行估计,使用3阶技术创新综合能力指数的滞后项作为工具变量。在进行GMM估计时,要检验工具变量的有效性,从表7中可以看出,sargan统计量的p值均无法拒绝“所有工具变量均有效”的原假设,显示工具变量是有效的。另外,GMM估计还要检验扰动项是否存在自相关,AR(1)的P值和AR(2)的P值显示扰动项的差分存在一阶自相关,不存在二阶自相关,因此接受“扰动项不存在自相关”的原假设。

表7 人口老龄化对技术创新综合能力指数的影响机制检验

变量名称	人力资本效应		劳动效率效应		老龄负担效应	
	差分GMM	系统GMM	差分GMM	系统GMM	差分GMM	系统GMM
L_i	0.323*** (0.0308)	0.423*** (0.0339)	0.305*** (0.0378)	0.464*** (0.0315)	0.328*** (0.0279)	0.426*** (0.0321)
$olddep_{it} \times sp_{it}$	-0.00784*** (0.00303)	0.00284 (0.00415)				
$olddep_{it} \times y_{it}$			0.000054*** (0.0000083)	0.000038*** (0.0000073)		
$olddep_{it} \times br_{it}$					-0.00280*** (0.00103)	-0.00386*** (0.00103)
$olddep_{it}$	-0.0217* (0.0112)	-0.0355 (0.0267)	-0.0525*** (0.0108)	-0.0388*** (0.00934)	-0.0281*** (0.00962)	-0.0161 (0.0112)
$indratio_{it}$	0.593 (2.126)	-2.225* (1.231)	-1.184 (1.722)	-0.910 (0.969)	1.254 (2.001)	-1.716* (0.954)
f_{it}	-0.0890 (0.0781)	0.201*** (0.0743)	-0.0279 (0.0663)	0.0790 (0.0788)	-0.127* (0.0745)	0.174** (0.0697)
$\ln(y_{max}/y_{it})$	0.535 (0.841)	-0.237*** (0.0744)	0.237 (0.683)	-0.179** (0.0910)	0.296 (1.283)	-0.137 (0.116)
$pgdp_{it}$	0.417* (0.238)	0.237** (0.120)	0.195 (0.153)	0.256 (0.161)	0.331 (0.241)	0.346* (0.208)
ic_{it}	-0.0032*** (0.00118)	-0.00109 (0.00117)	-0.00212** (0.000993)	-0.00228** (0.000936)	-0.0036*** (0.000835)	-0.00181* (0.000931)
AR (1)P值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AR (2)P值	0.4192	0.1289	0.4417	0.0886	0.4326	0.1515
Sargan检验(P值)	27.20 (1.0000)	25.56 (1.0000)	27.54 (1.0000)	24.84 (1.0000)	25.51 (1.0000)	26.07 (1.0000)
Wald检验(P值)	284.58 (0.0000)	122.59 (0.0000)	104.27 (0.0000)	2416.75 (0.0000)	451.54 (0.0000)	1739.34 (0.0000)
样本量	667	696	667	696	667	696

注:***、**、*分别表示P值显著性水平为1%、5%和10%,括号内为标准误。

从表7的估计结果来看,技术创新综合能力指数的滞后一期均在1%水平上显著为正,上一期的技术创新能力对本期的技术创新具有积极作用。表7中前两列是对“人力资本效应”的估计结果,差分GMM估计结果显示 $olddep_{it} \times sp_{it}$ 的系数在1%水平上显著为负,系统GMM的估计结

果显示 $olddep_{it} \times sp_{it}$ 的系数也为负值,但不显著。人口老龄化通过对技术创新领域人力资本水平的拉低作用,对技术创新产生消极影响。中间两列是对“劳动效率效应”的检验结果,差分GMM和系统GMM均显示 $olddep_{it} \times y_{it}$ 的结果在1%水平上显著为正,人口老龄化通过对劳动效率的促进作用进而对技术创新产生积极影响。最后两列是对“老龄负担效应”的检验结果,差分GMM和系统GMM均显示 $olddep_{it} \times br_{it}$ 的估计结果在1%水平上显著为负,人口老龄化通过加重养老负担、挤出科研资源进而对技术创新产生不利影响。

五、结论与启示

本文借助动态因子分析方法,首次测算了我国29个省份1990–2014年的技术创新综合能力指数,以此作为技术创新能力的代理指标,并利用动态面板模型对人口老龄化影响技术创新的多个机制进行了检验,发现人口老龄化通过降低人力资本投资水平以及加重老龄负担、挤占创新资源从而对技术创新产生消极影响,但同时通过提高科研工作者的劳动效率进而对技术创新产生积极影响。因此,人口老龄化对技术创新既是挑战又是机遇。我国应当从人力资本、劳动效率、老龄负担等方面入手,采取相应措施,做好顶层设计。

首先,提高技术创新领域的人力资本水平,发挥老年工作者的“知识溢出”正效应。一方面,政府、教育部门以及企业均应推出相关政策,壮大科研人员队伍。其中,政府可以设置人才引进归口管理部门,负责引进本地区需要的高级人才;教育部门结合未来能源、电子等重点领域的发展趋势,做好重点行业的学科建设;企业应该加强研发人员队伍建设,从而更好地满足本企业研发工作的需要。另一方面,通过返聘等方式引进退休的高级科研人员,担任技术顾问,为科研单位提供技术指导,从而更好地发挥老年工作者的“知识溢出”正效应。

其次,提高科研工作者的劳动效率,优化资源配置。第一,完善科研工作者的业绩绩效制度和薪酬考核制度,为卓越的技术人员提供股票期权等奖励,从而更好地调动研发人员的积极性。第二,优化科研领域的组织机制建设,减少在研发项目立项、运行以及验收等方面的部门摩擦,提高研发项目审批效率。第三,在科研领域建立项目评审制度和项目淘汰制度,邀请行业专家,对运行一段时间的研发项目进行评审,淘汰未通过评审的项目,从而保证研发项目的质量,优化资源配置。

最后,政府做好统筹规划,平衡养老金账户和研发资金账户,保障研发资金需要。一方面,政府相关部门应该做好资金预算工作,明确研发资金和养老资金缺口;完善研发资金和养老资金的融资渠道建设,防止养老资金挤占研发资金;聘请外部资金托管机构专门管理养老金账户和研发资金账户,并对资金的筹集和使用情况进行公示,提高研发资金账户和养老金账户在管理上的科学性。另一方面,政府还应该鼓励金融机构、风险投资机构与企业、研究机构 and 高校合作,为企业、研究机构、高校的科研工作提供资金支持,保障科研资金需要。

主要参考文献:

- [1] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. 经济研究, 2015, (7).
- [2] 陈钊, 陆铭, 金煜. 中国人力资本和教育发展的区域差异: 对于面板数据的估算[J]. 世界经济, 2004, (12).
- [3] 崔敏, 魏修建. 服务业各行业生产率变迁与内部结构异质性[J]. 数量经济技术经济研究, 2015, (4).
- [4] 胡伟略. 关于人口老龄化与技术进步的关系问题[J]. 数量经济技术经济研究, 1991, (11).
- [5] 贾智莲, 卢洪友. 财政分权与教育及民生类公共品供给的有效性——基于中国省级面板数据的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, (6).

- [6] 李国璋, 周彩云, 江金荣. 区域全要素生产率的估算及其对地区差距的贡献[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, (5).
- [7] 马三希, 姚东旻. 人口老龄化会影响创新吗? [A]. 马光远. 中国创造力报告(2012—2013)——创新驱动中国梦[C]. 北京: 社会科学文献出版社, 2013.
- [8] 牛泽东, 张倩肖. 中国装备制造业的技术创新效率[J]. 数量经济技术经济研究, 2012, (11).
- [9] 田雪原, 胡伟略, 杨永超. 日本人口老龄化与经济技术进步——赴日考察及学术交流报告[J]. 中国人口科学, 1990, (6).
- [10] 汪伟, 姜振茂. 人口老龄化对技术进步的影响研究综述[J]. 中国人口科学, 2016, (3).
- [11] 吴显英. 区域技术创新能力评价中的因子分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003, (2).
- [12] 吴延兵. R&D存量、知识函数与生产效率[J]. 经济学(季刊), 2006, (3).
- [13] 姚东旻, 宁静, 韦诗言. 老龄化如何影响科技创新[J]. 世界经济, 2017, (4).
- [14] 朱平芳, 徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业R&D投入及其专利产出的影响——上海市的实证研究[J]. 经济研究, 2003, (6).
- [15] Ashworth M J. Preserving knowledge legacies: Workforce aging, turnover and human resource issues in the US electric power industry[J]. International Journal of Human Resource Management, 2006, 17(9): 1659-1688.
- [16] Behaghel L, Greenan N. Training and age-biased technical change[J]. Annals of Economics and Statistics, 2010, 99-100: 317-342.
- [17] Coppi R P R, Zannella F. L'analisi fattoriale di una serie temporale multipla relativa allo stesso insieme di unità statistiche[A]. Proceedings of the XXIX scientific meeting of the Italian statistical society[C]. Bologna: Italian Statistical Society, 1978.
- [18] Federici A, Mazzitelli A. Dynamic factor analysis with STATA[A]. 2nd Italian state users Group meeting[C]. Milano, 2005.
- [19] Feyrer J. Demographics and productivity[R]. Dartmouth College Working Paper No. 02-10, 2002.
- [20] Frosch K, Tivig T. Age, human capital and the geography of innovation[A]. Kuhn M, Ochs C, eds. Labour markets and demographic change[M]. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009.
- [21] Gonzales-Eiras M, Niepelt D. Aging, government budgets, retirement and growth[J]. European Economic Review, 2012, 56(1): 97-115.
- [22] Habakkuk H J. American and british technology in the nineteenth century: The search for labor-saving inventions[M]. London: Cambridge University Press, 1962.
- [23] Hsu P H, Tian X, Xu Y. Financial development and innovation: cross-country evidence[J]. Journal of Financial Economics, 2014, 112(1): 116-135.
- [24] Ilmakunnas P, Maliranta M. Aging, labor turnover and firm performance[R]. ETLA Discussion Papers No. 1092, 2007.
- [25] Kuhn M, Hetze P. Team composition and knowledge transfer within an ageing workforce[R]. Rostock Center Discussion Paper, 2007.
- [26] Lee R, Mason A. Fertility, human capital, and economic growth over the demographic transition[J]. European Journal of Population, 2010, 26(2): 159-182.
- [27] Noda H. Population aging and creative destruction[J]. Journal of Economic Research, 2011, 16(1): 29-58.
- [28] Romer P M. Crazy explanations for the productivity slowdown[J]. NBER Macroeconomics Annual, 1987, 2: 163-202.
- [29] Scarth W. Population aging, productivity and living standards[J]. The Review of Economic Performance and Social Progress, 2002, 2: 145-156.

The Influence of Population Aging on Technological Innovation: Based on Innovation Evaluation Using Dynamic Factor Analysis and Dynamic GMM Model

Wang Wei^{1,2}, Jiang Zhenmao³

(1. School of Public Economics and Administration, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Financial Information Technology, Shanghai 200433, China; 3. Institute of Finance and Economics, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China)

Summary: In the double background of population aging and China's economy increasingly driven by technological innovation, the investigation into the effect of population aging on technological innovation is of great importance. This paper evaluates three influence mechanisms of population aging on technological innovation, namely "human capital mechanism", "labor productivity mechanism" and "the elderly burden mechanism". Using dynamic factor analysis model, we choose multiple indicators in five aspects-innovation input, innovation output, innovation efficiency, synergy innovation and innovation environment. Then we get a new comprehensive index of technological innovation concerning 29 provinces from 1990 to 2014 and use it as a new indicator of innovation capacity. Using dynamic GMM model, we prove that population aging has two opposite effects on technological innovation: on one hand, population aging has positive effect on technological innovation by improving researchers' labor efficiency, having the positive "labor productivity effect"; on the other hand, population aging has negative effect on technological innovation by reducing the level of human capital, aggravating the pension burden and squeezing out innovation input, having negative "human capital" and "elderly burden" effects. Our work contributes to the present research by creating a new innovation indicator and analyzing the effect of population aging on technological innovation, and has policy implications for dealing with the challenge of population aging.

Key words: population aging; technological innovation index; dynamic factor analysis; dynamic GMM model

(责任编辑: 喜 雯)