

摘要

进入 21 世纪，全球很多地区已经形成低出生、低死亡、低增长的人口态势，约 100 个国家和地区相继进入人口老龄化阶段，人口老龄化已经成为人类社会发展的共同趋势。人口老龄化对社会、经济、文化等很多方面都会产生重要影响，如人口结构老化，直接造成劳动力供给量下降，影响人力资本水平，由此进一步深刻地影响了科技创新。中国也不例外，老龄化进程不断加快，呈现出速度快、数量多的特点，如何有效应对人口老龄化，成为中国经济发展和现代化进程中的“必答题”。本文选取中国省域作为研究区域，针对我国人口老龄化和科技创新时空格局演化特征展开分析，并从异质性角度探讨人口老龄化对科技创新产生的影响及其机理。

本文研究的逻辑过程为：第一，对于人口老龄化对科技创新带来的积极影响、消极影响，以及非线性和结构化影响等研究文献和相关理论，进行综述总结，对人口老龄化对科技创新影响机制进行分析并提出假设，建构本文的理论基础；第二，使用熵权法从科技创新投入、科技创新产出、科技创新基础三方面，构建科技创新综合评价体系并进行测算，并对中国各省人口老龄化与科技创新发展的时空格局演变特征进行分析；第三，构建普通面板模型、空间面板计量模型和门限面板模型，实证研究不同地区、时间、科技创新水平、城镇化发展水平以及空间溢出效应下，中国省域人口老龄化对科技创新的异质性影响效应。

研究表明，第一，中国自本世纪以来老龄化进程不断加快，完成了从成年型向老年型的转变，科技创新水平得到了显著提升，但与此同时，各省老龄化程度、科技发展水平的差距均逐步拉大，地区之间的分布不均衡十分明显。第二，人口老龄化对科技创新为显著的倒 U 型影响和空间溢出效应，即随着人口老龄化程度的升高，科技创新水平先升高后下降。第三，人口老

龄化对科技创新的异质性影响显著，就不同地区而言，东部地区人口老龄化对科技创新的抑制作用会显现地更早，中部地区人口老龄化对科技创新的影响并不显著；就不同时间阶段而言，2001-2011 年间人口老龄化对科技创新的影响并不显著，2012-2020 年间人口老龄化对科技创新的影响则转变为显著的抑制作用；就不同科技创新水平而言，科技创新水平越高，人口老龄化对科技创新影响更为显著；就不同城镇化发展水平而言，在更高的城镇化发展水平条件下，人口老龄化对于科技创新影响的积极作用也有所提升。

关键词：人口老龄化；科技创新；异质性分析

Abstract

In the 21st century, about 100 countries and regions have entered the stage of population aging in succession. Population aging has become a common trend of human social development. The aging of population will have an important impact on many aspects like society, economy and culture. For example, the aging of population structure will directly lead to the decline of labor supply, affect the level of human capital, and further affects technological innovation. China is no exception. The aging process is accelerating. How to have an effect on population aging has become a "must answer" in China's economic development and modernization process. This paper chooses China's provinces as the study area, analyses the characteristics of the aging population and the space-time pattern of technological innovation, and explores the impact of aging population on technological innovation and its mechanism from the perspective of heterogeneity.

The logical process of this study is as follows: Firstly, summarizing the literature and theory on the negative and positive effects of aging population on technological innovation, as well as the non-linear and structural effects. Analyzing and making hypotheses on the mechanism of the impact of aging population on technological innovation. Constructing the theoretical basis of this article; Secondly, using the entropy weight method to construct a comprehensive evaluation system of technological innovation from three aspects: input, output and basis of technological innovation, and calculating it. Analyzing the characteristics of the space-time pattern of the aging population and the development of technological innovation in China's provinces. Thirdly, the paper builds general panel model, spatial panel measurement model and threshold panel model to empirically study the heterogeneity effect of aging population on technological innovation in different regions, time, level of technological innovation, level of urbanization development and spatial spillover effect.

The results show that, firstly, the aging process in China has been accelerating since the beginning of this century, the transition from adult to elderly has been completed, and the level of technological innovation has been significantly improved. At the same time, the disparity in the degree of aging and the level of technological development in each province has been widening gradually, and the distribution among regions is quite uneven. Secondly, the aging of population has a significant inverted U-shaped effect on technological innovation and spatial spillover effect. With the increasing aging of the population, the level of technological innovation first rises and then decreases. Thirdly, the aging of population has a significant impact on the heterogeneity of technological innovation. In different regions, the inhibiting effect of aging population on technological innovation will appear earlier in the eastern region than in the central region. In different time periods, the impact of aging population on technological innovation is not significant in 2001-2011, but the impact of aging population on technological innovation in 2012-2020 has changed to a significant inhibition. In terms of different urbanization rates, under the higher urbanization rate, the positive effect of aging population on technological innovation has been improved.

Key words: Population aging; Technological innovation; Heterogeneity analysis

目 录

1.绪论.....	1
1.1 研究背景和研究意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	5
1.2 文献综述.....	6
1.2.1 人口老龄化对科技创新的积极影响研究	6
1.2.2 人口老龄化对科技创新的消极影响研究	8
1.2.3 人口老龄化对科技创新的非线性和异质性影响研究	9
1.2.4 科技创新水平测算研究	10
1.2.5 文献评述	11
1.3 研究内容和研究方法	12
1.3.1 研究内容	12
1.3.2 研究方法	13
1.3.3 技术路线	14
1.4 创新点	15
2.基础理论和研究方法.....	16
2.1 基本概念	16
2.1.1 人口老龄化	16
2.1.2 科技创新	16
2.2 基础理论	17
2.2.1 人力资本理论	17

2.2.2 干中学理论	18
2.2.3 数量-质量替代理论	18
2.3 人口老龄化对于科技创新影响的作用机制	19
2.4 研究方法	23
2.4.1 熵权法	23
2.4.2 空间自相关	24
2.4.3 空间面板模型	28
2.4.4 门限面板模型	29
3.中国省域人口老龄化与科技创新水平的时空特征分析.....	31
3.1 科技创新水平测算	31
3.1.1 指标变量选择	31
3.1.2 数据预处理	32
3.1.3 科技创新水平综合评价	33
3.2 科技创新水平的时空特征分析	33
3.2.1 科技创新水平的时空特征	34
3.2.2 科技创新水平的空间特征	35
3.3 人口老龄化的时空特征分析	40
3.3.1 人口老龄化的时空特征	41
3.3.2 人口老龄化的空间特征	42
4.中国省域人口老龄化对科技创新影响的实证分析.....	48
4.1 变量选取	48
4.2 人口老龄化对科技创新的非线性影响检验	50
4.3 人口老龄化对科技创新影响的空间溢出效应检验	54
4.4 人口老龄化对科技创新影响的异质性检验	59
4.4.1 地区异质性分析	59
4.4.2 时段异质性分析	60
4.4.3 科技创新水平异质性分析	62

4.4.4 城镇化发展水平异质性分析	62
5.研究结论与展望.....	67
5.1 研究结论与建议	67
5.1.1 研究结论	67
5.1.2 政策建议	68
5.2 不足与展望	70
参考文献.....	71
附录 1.....	77
致谢.....	80

1.绪论

1.1 研究背景和研究意义

1.1.1 研究背景

婴儿出生率的普遍下降和人口预期寿命的普遍提高，使得世界范围内的老龄人口数目快速增长，人口老龄化已经发展成为一个全球化的问题。根据 1956 年联合国《人口老龄化及其社会经济后果》中确定的标准，当一个地区 65 岁及以上人口所占比例超过 7%即表明该地区步入老龄化。中国自 20 世纪 70 年代末实施严格“计划生育”政策以来，人口生育率开始持续降低，人口年龄结构逐渐由成年型向老年型过渡，直至 2000 年全面进入老年型社会。2000 年 65 岁及以上人口占总人口的 7.1%，2020 年 65 岁及以上人口为 19064 万人，占总人口的 13.5%。至 2035 年，中国 65 岁及以上老年人口占总人口的比例预计将上升至 22%（杜鹏和李龙，2021）。

快速推进的老龄化态势对中国人口结构、经济和社会的可持续发展带来了严峻的挑战。2001 年至 2020 年的中国老年人口占比及同比增长速度变化趋势如图 1-1 所示。由该图可知，中国老年人口占比呈持续增长的趋势，2001 年中国已经步入老龄化社会，2014 年中国老年人占比为 10.1%，首次超过 10%，截止 2020 年老年人口占比高达 13.5%。从老年人口占比同比增长速度来看，整体呈波动上升趋势，表明中国老龄化进程在不断加快。中国老龄化的发展既有与经济发达国家类似的方面，也有不同的特点，呈现出老龄化速度快、数量多和区域不平衡三个鲜明特征（程晖，2022）。

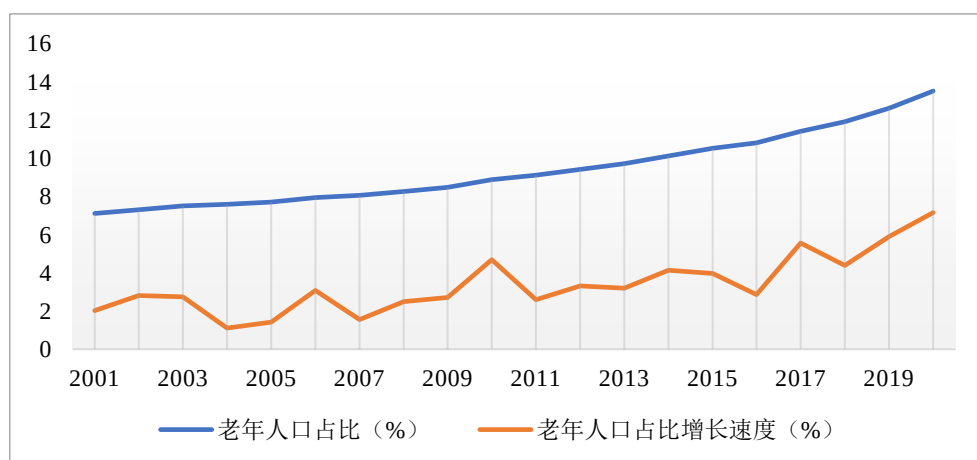


图 1-1 2001 年至 2020 年中国 65 岁以上老年人口占比

直观反映劳动年龄人口的负担程度的常用指标为抚养比，分为老年抚养比和少儿抚养比。其中，老年抚养比是指 65 岁及以上老年人口数与 15-64 岁劳动年龄人口数之比，少儿抚养比是指 0-14 岁少年儿童人口数与劳动年龄人口数之比，上述指标相加后为总抚养比。抚养比从人口角度反映了人口与经济发展状况的基本关系，2001 至 2020 年中国总抚养比、老年和少儿抚养比发展，如图 1-2 所示。

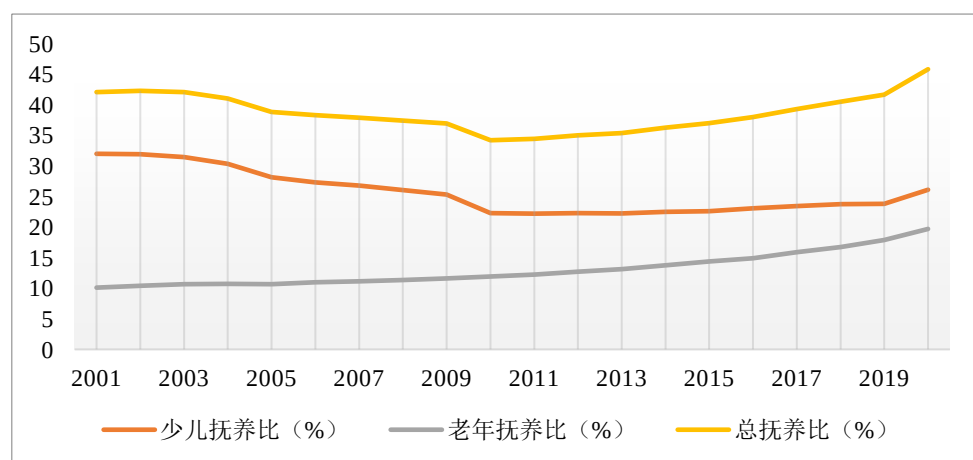


图 1-2 2001 年至 2020 年中国抚养比情况

由图 1-2 可知，2001 至 2020 年中国老年抚养比整体呈上升趋势，且增长逐渐加速，2020 年达到了 19.68%；中国少儿抚养比则呈截然不同的态势，先下降后稳步缓慢上升；总抚养比则呈缓慢的类“V”型态势，转折点在 2010 年，总抚养比低至 34.17%，此后总抚养比持续上升，2020 年增长至

45.77%。虽然目前中国劳动年龄人口主要承担的抚养压力多数来源于少年儿童，但少儿抚养比与老年抚养比的差距在逐年缩小，老年人口比重的持续上升对于劳动年龄人口带来的抚养压力愈加沉重。

近半个世纪以来，各个领域科学技术的高速发展提高了居民的生活文化水平。随着中国经济进入“高质量”阶段，科技创新将进一步发挥关键作用。国际上常以科学研究与试验发展（Research and Development, R&D）规模与强度指标来体现一个国家科技实力与核心竞争力。R&D 人员全时当量用于比较科技的人力投入，R&D 经费支出用于衡量单位内部进行 R&D 工作所投入的实际成本，这两个指标可以反映中国科技活动人力投入和资金支出的情况，2001 年至 2020 中国 R&D 人员当时量与 R&D 经费支出，如图 1-3 所示。

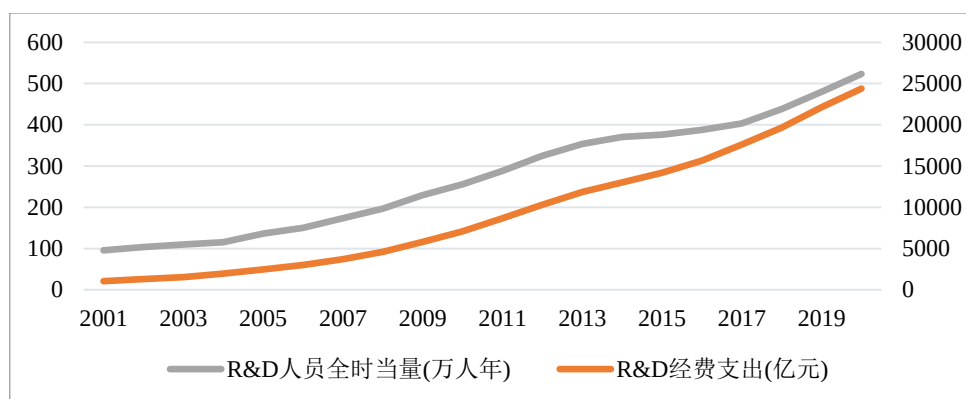


图 1-3 2001 年至 2020 年中国 R&D 人员当时量与 R&D 经费支出

由图 1-3 可知，中国 R&D 人员当时量在 2001 至 2014 年呈现明显的上升趋势，2014 年后增长相对减缓，2017 年后增长再次加速，2020 年达到了 523.45 万人年，为 2001 年的 5.47 倍。R&D 经费支出在 2001 年至 2020 年整体也呈加速上升趋势，2020 年 R&D 经费支出达到了 24393.11 亿元，是 2001 年的 23.40 倍。国家对于科技创新的重视程度越来越高，对于科学研究与试验发展的投入在不断提升。专利数据也可以反映知识产权的科技和设计成果情况，在一定程度上体现科技创新成果产出的状况，与专利有关的指标的主要有：国内发明专利申请受理量、国内实用新型专利申请受理量和国内外观设计专利申请受理量，其中以发明专利申请受理量最具“含金量”，上述指标合并后为国内专利申请受理量，中国 2001 年至 2020 年国内专利申请受理量情况趋势图，如图 1-4 所示。

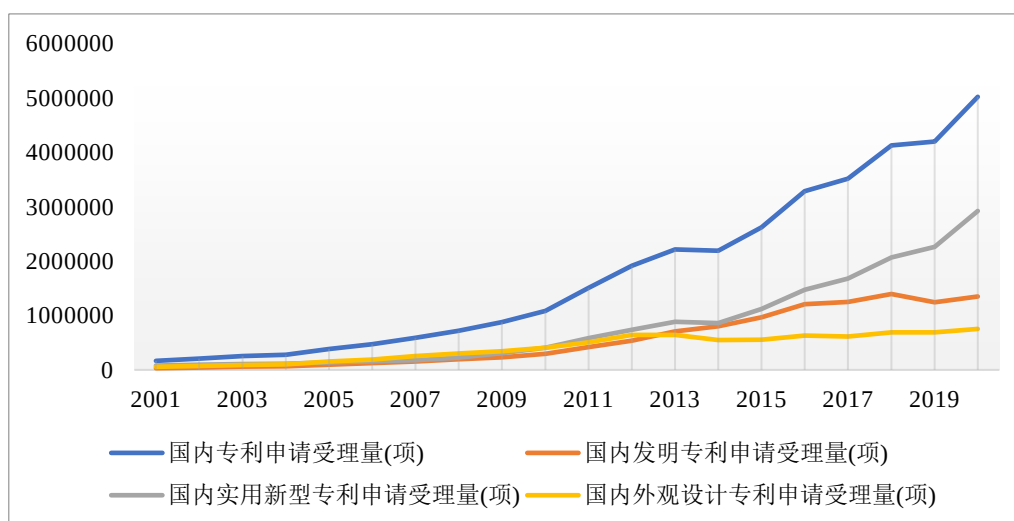


图 1-4 2001 年至 2020 年中国专利申请受理情况

由图 1-4 可知，2001 年至 2020 年反映专利申请总体情况的国内专利申请受理量整体为上升态势，专利申请总量从 2001 年的 165773 项大幅增长到 2020 年的 5016030 项，增长了 29.26 倍，年均增长速度为 19.66%，上升过程中也体现出明显的阶段性，其中 2000 年至 2010 年为缓慢增长，2010 年后进入快速发展阶段，开始加速增长。对于三种不同类型的专利而言，国内实用新型专利申请受理量规模最大，发展较为迅速，19 年间增长了 35.82 倍，年均增长速度为 20.90%，发展过程为“先平稳增长后加速上升”；国内发明专利申请受理量规模次之，19 年间增长了 43.77 倍，年均增长速度为 20.90%，2000 年至 2016 年间为稳步缓慢增长，2017 年后基本保持稳定；国内外外观设计专利申请受理量规模在三种专利类型中最小，2001 年至 2012 年发展过程与国内发明专利一致，但之后发展则趋向稳定。综合上述研究发现，无论是对于科技创新的投入还是科技创新的产出，作为经济高质量发展的重要动力之一，近些年均有显著发展。

今后越来越多的国家或地区老的人口年龄结构会进一步老化，人口老龄化会对科技创新产生长期的影响（Xiang 和 Xindong, 2019）。中国的人口老龄化具有未备先老、未富先老的特征，老龄化问题的应对已经作为一项重要的国家战略（总报告起草组，2015）。国家想要实现长期可持续发展，必须毫不动摇地提高本国的科技生产力，让创新成为驱动发展的引擎。科技创新对于经济增长的重要性已经得到了众多学者的认可（王慧艳和李新运等，

2019)。

人口老龄化问题逐步改变了劳动力市场人才需求供给关系，影响科技的发展与进步，现有研究有关人口老龄化对科技创新的影响存在积极和消极两个方面：人口老龄化既可能通过抑制人力资本的积累、增加企业的用工成本等方式阻碍科技创新，也可能促使各地区更加重视人力资本投入、倒逼企业加速转型进而促进科技创新（韩振秋，2017）。不仅可以通过提升高质量劳动力供给、促进产业结构升级等方式推动经济增长，人口老龄化也可能通过影响科技创新进而影响经济增长。

如何有效应对人口老龄化，成为中国经济发展和现代化进程中的“必答题”，随着中国科技创新的水平逐渐走向世界前列，人口老龄化对科技创新的影响需得到重视，减缓它对科技创新的影响也许是一个重要的突破口。因此，本文选取中国省域作为研究区域，针对我国人口老龄化和科技创新时空格局演化特征展开分析，并从异质性角度探讨人口老龄化对科技创新产生的影响及其机理，为积极应对人口老龄化减缓其对科技创新的影响寻找有效方法。

1.1.2 研究意义

1.理论价值

国外部分发达国家比中国更早地步入老龄化，目前国外关于老龄化对经济社会的影响研究较多，中国在老龄化程度逐步提高的过程中，相关研究更多集中在老龄化背景下养老服务、养老保险、应对人口老龄化、医养结合等领域，学者对老龄化的经济增长效应也有了较多的讨论，成果丰富。虽然人口老龄化对科技创新的影响研究在逐步得到重视，但比较而言，人口老龄化对科技创新影响的研究较少。现有研究对于人口老龄化与科技创新之间关系尚未达成共识，人口老龄化对科技创新可能存在积极影响、消极影响和非线性及结构性影响，本文基于中国省域数据，对人口老龄化的时空特征及其对科技创新影响的异质性进行分析，能够丰富人口老龄化对科技创新影响的相关研究。

2.应用价值

科技是第一生产力，科技创新的发展对于中国经济高质量发展起着重要作用，现阶段人口老龄化的问题日益严重，其对于经济、社会、科技等各方面的影响都逐渐显现。人口老龄化水平的提升直接影响的是人口年龄结构，劳动力的相对供给有所下降，劳动人口的平均年龄有所上升，从而对科技创新造成积极或消极影响。本文综述中国人口老龄化对科技创新的影响，探究老龄化影响科技创新的作用机制，从多维度实证分析人口老龄化对科技创新的异质性影响，能够为提升科技创新水平、积极应对人口老龄化提出有针对性和建设性的意见，具有一定的应用价值。

1.2 文献综述

综合现有文献，对于人口老龄化与科技创新之间关系的研究可分为人口老龄化对科技创新的积极影响、消极影响和非线性及结构性影响三个方面，本文按照这一分类展开文献综述。

1.2.1 人口老龄化对科技创新的积极影响研究

1.微观层面研究

几个世纪以来，人们对于一个人的年龄和非凡成就之间的关系感兴趣，即对于一个人来说，是否存在一个对人类文化或社会做出持久贡献的最佳年龄。知识的积累和技术的掌握是需要时间沉积的，随着科学技术进步和发展，人均对已有知识与技术完成学习与掌握时间也相应增加，因此年长劳动力所具备的工作经验、技术培训相较年轻劳动力而言更为丰富。Jones（2010）通过对20世纪诺贝尔奖获得者和具有重要科学成就者的研究发现，人们取得重大科学成就的年龄在提高，诺贝尔奖获得者和具有重要科学成就者的平均年龄上升了6岁左右。Ang和Madsen（2015）认为经过培训具有丰富经验的年长劳动者相较于年轻劳动者具备更多的经验和教训，具有更高的创新性，并且随着年龄的增长，其创新能力得到提高，老龄化人口的经验积累有益于其

科技创新。楚永生和于贞（2017）认为，人口老龄化伴随的是平均受教育程度的提升，能够积累人力资本。呼倩（2019）认为，基于“干中学”理论，人口老龄化提升了劳动力的工作年限，年长劳动力的知识储备和技术积累可以提高劳动力的质量，可以显著提高劳动熟练度，从而提升劳动生产效率。

2.宏观层面研究

产业升级的关键在于技术进步，人力资本积累是促进技术进步的重要因素（阳立高和龚世豪，2018）。人口老龄化水平越高，劳动力人口比重越低，人口老龄化导致劳动力价格上升，企业作为技术创新的微观主体，为提高生产效率，降低生产成本，从劳动密集型向技术密集型过渡、转型。人口老龄化“倒逼”企业使用资本要素或技术要素来替代劳动力，从而促进技术进步和科技创新。汪伟和刘玉飞（2015）认为人口老龄化促进人力资本积累并提高劳动力价格，“倒逼”企业进行科技，促进产业结构优化升级。Cai 和 Stoyanov（2016）研究表示，很多行业的技术积累与年龄有关，对于劳动力较为年轻的国家而言，人口老龄化减少了技术劳动力的相对供给，提高了技术劳动力的相对价格，从而推动密集使用年龄增值技能产业的发展。陈秋霖和许多等（2018）研究认为，人口老龄化导致的劳动供给降低能够诱导人工智能的发展，人工智能的应用和创新以“补位式”的方式替代劳动力，从而促进科技创新。邓翔和张卫等（2019）认为企业和家庭对于人口老龄化做出了正向反馈，使得现阶段人口老龄化对技术进步具有显著的正向影响。

此外，翟振武和郑睿臻（2016）梳理相关文献并指出，人口老龄化除了会带来更大的财政压力外，对包括创新在内的经济活动的影响非常有限，老龄化带来的私人资产积累可能对经济产生积极作用。陈小辉和滕磊（2021）认为，基于风险预防的考虑，人们倾向于选择储蓄并提高储蓄规模，从而促进金融科技创新。Acemoglu 和 Restrepo（2022）研究认为，人口老龄化会导致要素市场上劳动力的供需不均衡，然而劳动要素与资本要素存在替代效应，企业为了使利润最大化，会增加资本要素的投入，促进企业自动化技术的发展。

1.2.2 人口老龄化对科技创新的消极影响研究

1. 微观层面研究

经济学中的生涯关注（Career concern）理论是指个体对于自身职业生涯的关注程度。年轻人在初入职场时倾向于努力工作提升业绩，从而获得更高级别的职务和薪资，对于职业生涯的未来发展具有较高的期待和关注；而对年龄较高的人来说，难以在较短的职业生涯中通过努力来获取较高的收益，因此老龄人对于努力和创新的意愿较低，Kanfer 和 Ackerman（2000）认为老员工已经通过过往的业绩来证明自己的能力，其进行创新活动的回报率比年轻人更低。因此，年轻人相较于老年人具有更高强度的动机和意愿进行技术创新。

“互联网+”时代，信息和技术的更新换代速度很快，庞大的知识信息体量需要高强度学习才能够得以消化，对技术创新个体的身体素质及精力水平要求较高，更进一步地，老年人在对于新兴互联网技术的吸收能力和学习速度远不如年轻人。Paula 和 Sharon（2005）通过研究化学、物理和医学诺贝尔获得者的相关数据发现，35 至 40 岁之间为创新能力最高的年龄段，40 岁以后劳动者的创新能力会有所下降，在化学和物理研究方面表现尤为显著。姚东旻和李三希等（2015）认为，科技人员作为科技创新的主体因素，其脑力劳动的强度、思辨力、创造力、记忆力等各个要素均处于较高水平或处于最佳配置状态时，最易获得科技创新产出，老年人的创新精神远不及年轻人，人口老龄化对科学技术的进步有着不利影响。豆建春（2019）利用跨国面板数据分析了老龄化的创新效应研究，认为老龄化可能对技术创新造成负面影响，抑制未来中国的经济增长。

2. 宏观层面研究

在人口老龄化的背景下，对于劳动年龄人口而言，老年人口的养老负担也在不断加重，国家在养老问题中对于养老保障和公共医疗的支出也会有所提升，Gonzalez-Eiras 和 Niepelt（2012）认为，政府在养老领域的公共财政支出的膨胀会挤占政府对于科技创新的投入，从而抑制科技创新的发展。

人口老龄化在短期内会导致劳动力供给相对量减少，并在长期会导致劳

动力供给绝对量的减少，在一定程度上会降低人力资本存量，人口结构的老龄化直接影响了劳动力相对投入，从而影响创新人才的相量，进而影响科技的投入和研发，尤其对于高新技术及其相关产业的发展会造成冲击。向志强（2003）从人力资本的存量特性和质量特性的角度入手，研究认为高龄员工积累的人力资本存量消耗殆尽，且无法及时有效地吸收新的知识和技术，从而导致其难以跟上技术发展。姚东旻和宁静（2017）等认为人口老龄化通过降低人力资本存量来影响科技创新水平，老龄化对科技创新水平具有显著的负效应，经济发展水平较高的地区人口老龄化对科技创新的影响更为显著。Agnieszka 和 Klaus（2017）认为通过提高物质投资和研发激励，延长寿命导致的人口结构变化并不利于技术进步和生产增长率的提高。赵春燕（2018）研究认为，整体来说人口老龄化对产业升级带的是负面影响。

1.2.3 人口老龄化对科技创新的非线性和异质性影响研究

也有部分学者研究认为人口老龄化对科技创新的影响是非线性的，如 Simonton（1988）认为，经验积累和创新动机在人的生命周期中存在不同的分布，而创新产出主要依赖于人力资本的这两个要素。楼永和王留瑜（2020）认为人口老龄化通过人力资本和“资本-劳动力禀赋”两个途径影响科技创新，人口老龄化与科技创新存在显著的倒“U”型曲线关系。沈可和李雅凝（2021）认为，人口老龄化对科技创新的影响呈驼峰关系，将科技产出分为根本性创新和渐进性创新后研究发现，人口老龄化对两者的影响也均呈驼峰关系，随着人口老龄化程度的加深，老龄化对技术创新的抑制作用会越来越明显，较高的城镇化率有利于推动创新驱动发展。

不同条件下，人口老龄化对科技创新具有异质性影响。如金昊和赵青霞（2019）认为人口老龄化对科技创新水平的影响中，R&D投入强度、交通密度具有门限效应，R&D投入水平越高，交通密度越高，人口老龄化对于科技创新水平的抑制作用得到减弱。孙倩倩（2021）基于时空异质性视角，研究认为人口老龄化对技术创新的影响呈时空异质性。蔡兴（2021）采用调节效应和门槛效应的检验方法，验证了更高水平的城镇化能够有效地削弱人口老龄化对科技创新的抑制作用。豆建春和王运昌（2022）研究认为，人口老龄

化对数量型专利申请量的增长有显著的负向影响，对质量型专利的增长有显著的正向影响，其影响力存在于不同的技术领域，但没有明显的异质性，该效应在时间上呈现出明显的倒“U”型特征。

1.2.4 科技创新水平测算研究

对于区域科技创新水平的测算尚未有统一方法，学者通常使用单一指标或综合评价指标来衡量区域科技创新水平。专利申请授权数可以反映知识产权的科技和设计成果情况，衡量科技创新产出水平。学者在对人口老龄化对科技创新影响的实证研究中，多使用专利申请授权数等与专利相关的指标衡量区域科技创新水平。高越（2017）在研究人口老龄化对科技创新影响中，以每千人专利申请授权数量代表衡量科技创新水平，更进一步的，将专利申请授权数量分为发明、实用新型和外观设计专利授权数表示不同创新类型，进行异质性分析；姚东旻和宁静等（2017）使用国内专利申请授权数的对数作为被解释变量，分析人口老龄化对科技创新的影响；卓乘风和邓峰（2018）对发明、实用新型和外观设计专利数目主观赋予 0.5、0.3 和 0.2 的权重，实用其加权平均值来衡量区域创新能力，用于研究人口老龄化、区域创新与产业结构升级之间的关系。也有学者使用综合评价方法测度区域科技创新水平。王江和刘莎莎（2019）从科技创新投入和产出的视角，综合 R&D、专利和技术市场相关指标，采用 Malmquist-DEA 方法来综合评价区域科技创新的综合效率。李妃养和黄何等（2018）从创新投入、产出、环境和协同四个角度出发，使用主成分分析法，选取各个板块的第一主成分来综合测度广东各地市的创新能力。

现有研究对科技创新水平的综合测度方法中，主要分为基于主观赋权方法和客观赋权方法的科技创新综合测度。基于主观赋权的研究中，唐炎钊（2004）使用模糊数学的方法，通过专家咨询法计算各指标的权重，评价区域科技创新水平。孙兰学（2007）将专家评价的权重取均值，采用德尔菲法对科技创新指标体系赋权，综合评价青岛市的科技创新水平。主观赋权依赖于专家个人经验和偏好，可能会存在偏误，因此也有学者在综合评价时选择客观赋权法。李宗璋和林学军（2002）使用因子分析方法，以各主因子得分

作为权重计算区域科技创新综合实力。章穗和张梅（2010）使用熵权法计算指标的熵值为各指标赋权，对中国“十五”期间的科技发展总体状况进行综合评价。巴吾尔江和董彦斌（2012）使用主成分分析方法，以各指标的方差贡献率比重作为权重对中国区域科技创新能力进行综合评价。

1.2.5 文献评述

根据文献梳理可知，人口老龄化对于创新的影响尚未有统一定论，随着人口老龄化成为各个国家和地区的人口年龄结构的主要趋势，科技创新技术的提高对于区域综合实力提高的作用愈加明显，人口老龄化对科技创新影响的研究成果也日趋丰富。然而现有的研究仍然存在一些不足之处，现将文献梳理结果进行归纳如下。

首先，现有研究对于区域科技创新水平的综合评价时，有不同视角的指标体系构建，测度方法多样，但是在以人口老龄化和科技创新的关系为研究对象时，多数学者使用人均专利申请授权数或者每万人专利申请授权数衡量区域科技创新水平，也有部分学者从科技创新投入产出视角对科技创新进行评价，科技创新是多因素共同作用的结果，仅从单一指标测度区域科技创新水平不够准确和全面。

其次，在实证模型的选择上，多数学者采取的是普通面板模型，系统GMM模型、动态面板模型等，研究人口老龄化对科技创新的线性影响，但是某地区的科学技术创新水平的进步与提高不仅仅会给本地带来经济效益，还会辐射邻近地区，带动周边地区的科技发展，即研究对象之间存在空间溢出效应，且随着经济发展，这种关联效应愈发紧密，因而在研究人口老龄化对科技创新影响的过程中，不能忽略这种空间效应的存在，否则会引起实证研究结果的偏误。

最后，现有文献在研究人口老龄化对科技创新的影响中，多数从总体的角度来讨论两者之间的关系，研究人口老龄化对科技创新的平均效应，但是总体研究中，忽视人口老龄化对科技创新影响的异质性，人口老龄化和科技创新都是复杂因素共同作用的结果，不同外在条件导致其影响有所不同。

综上，为了更全面、准确测度中国省域人口老龄化对科技创新的影响，

本文采用综合评价的方法对区域科技创新水平进行评价，并对人口老龄化和科技创新的时空演变特征进行分析，并从多维异质性视角实证研究人口老龄化和科技创新的影响效应。

1.3 研究内容和研究方法

1.3.1 研究内容

本文以中国省域作为研究对象，对中国人口老龄化与科技创新的时空演变特征进行分析，并从异质性视角探究人口老龄化对科技创新的影响及其作用机制。研究中，首先，对于人口老龄化对科技创新带来的消极影响、积极影响，以及非线性和结构化影响等研究文献和相关理论，进行综述总结，对人口老龄化对科技创新影响机制进行分析并提出假设，建构本文的理论基础；之后，使用熵权法从科技创新投入、科技创新产出、科技创新基础三方面，构建科技创新综合评价体系并进行测算，并对中国各省人口老龄化与科技创新发展的时空格局演变特征进行分析；再者，构建普通面板模型、空间面板计量模型和门限面板模型，实证研究不同地区、时间、科技创新水平、城镇化发展水平以及空间溢出效应下，中国省域人口老龄化对科技创新的异质性影响效应，最后根据研究结果有针对性提出对策建议。基于如上研究内容，本文的章节结构为：

第一章绪论。本章主要介绍本文的研究背景、研究意义、研究内容、研究方法及预期的创新点，对于人口老龄化和科技创新两大主题进行文献评述，指出目前研究的主要成果与待完善之处。

第二章文献综述和基础理论。本章对于论文研究的基本概念进行界定，对于相关基础理论进行总结，并针对老龄化对科技创新产生影响的作用机制进行分析，提出三个理论假设；之后对于本文研究中所采用的主要方法进行简介。

第三章中国省域人口老龄化和科技创新的时空特征分析。由于单一指标对科技创新的评价可能较为片面，因此本章使用客观赋权的熵权法从科技创新投入、科技创新产出、科技创新基础三个方面，对于我国各省域的科技创

新水平进行综合测度，并对各省域人口老龄化和科技创新水平时空格局特征进行研究。

第四章中国人口老龄化对科技创新影响的实证研究。本章以中国 2001 至 2020 年省域面板数据为基础，针对第二章提出的人口老龄化对科技创新影响的理论假设，从空间溢出效应、地区异质性、时段异质性、科技创新水平异质性和城镇化发展水平异质性等角度出发，对人口老龄化对科技创新影响进行了多维视角的实证研究。

第五章研究结论与展望。本章针对前述中国省域人口老龄化的时空格局及其对科技创新的异质性影响主要结论进行总结，并针对研究结果提出针对性的对策建议，对本文研究的不足与未来研究方向、内容进行展望。

1.3.2 研究方法

本文研究分为理论与实证研究两部分，其中，理论研究主要是对于文献和基础理论进行系统梳理和整理、总结；实证研究主要采用了多元综合评价中的熵权法、空间数据分析方法及计量模型。

1.文献研究法。本研究初始通过阅读大量与人口老龄化和科技创新相关的文献，探究国内外对于人口老龄化和科技创新的历史研究动态，分析两者之间的关系及影响机制，并进行文献梳理，参考其他学者的做法，为本文研究中国省域人口老龄化的时空格局及其对科技创新的异质性影响打下扎实的理论基础。

2.熵权法。熵权法是一种客观赋权的综合评价分析方法，由于单一指标难以体现出区域科技创新的整体水平，因此本文使用熵权法综合多个指标对区域科技创新水平进行综合评价，为进一步人口老龄化和科技创出水平影响的实证研究打下基础。

3.空间数据分析方法。本文选取中国 31 个内陆省、市、自治区作为研究对象，使用空间数据分析方法中的空间分位图、标准差椭圆、全局空间自相关、局部空间自相关等方法，对于人口老龄化与科技创新的时空格局特征进行探究。

4.空间面板模型与面板门限模型。文中，空间面板模型相较于普通面板

模型而言考虑了变量的空间效应，从而能够更加准确地体现出变量之间的影响关系。在研究人口老龄化对科技创新的影响时，使用空间计量模型进行分析，可以更进一步地探究其空间效应。不同城镇化水平条件下，人口老龄化对于科技创新的影响可能存在结构异质性，在分析人口老龄化对科技创新的异质性影响时，建立面板门限回归模型，以城镇化率为门限变量，研究其在人口老龄化对科技创新的门限效应。

1.3.3 技术路线

基于如上研究内容，本文展开研究的技术路线，如图 1-5 所示。

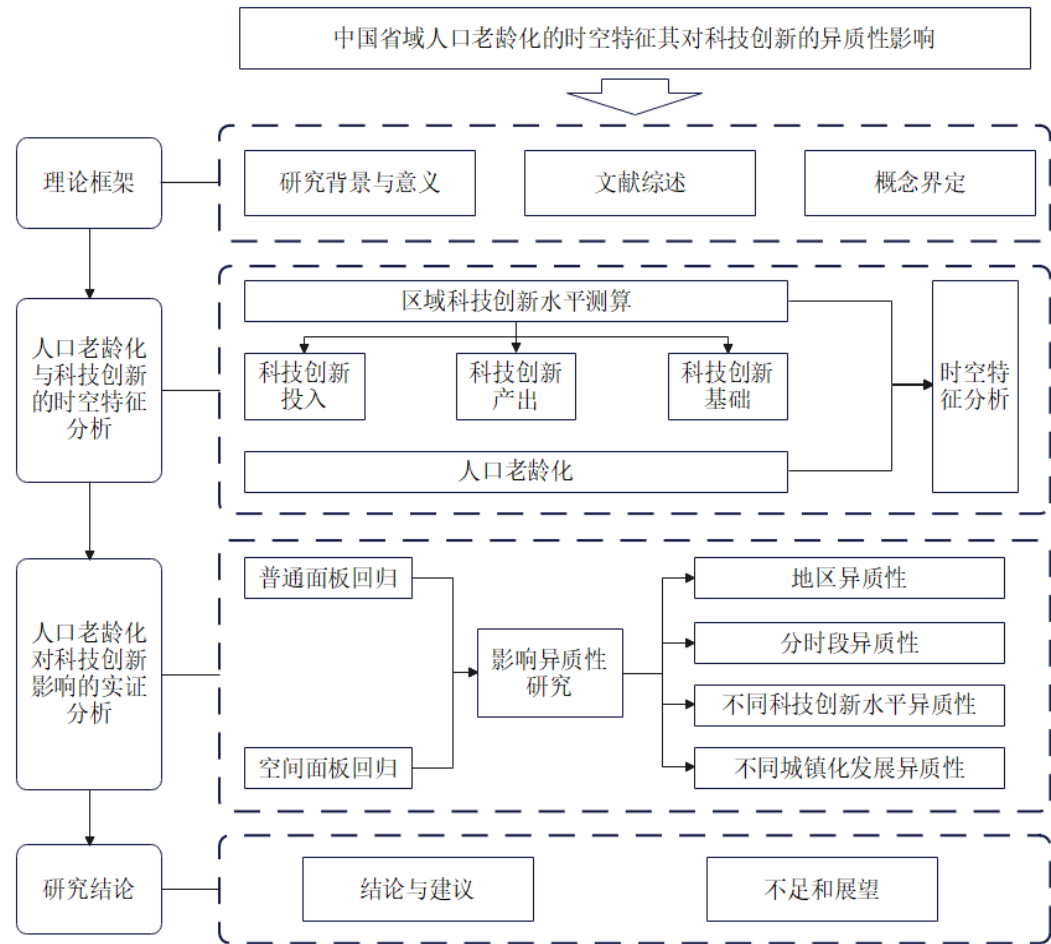


图 1-5 本文研究的技术路线

1.4 创新点

本文对于中国省域人口老龄化与科技创新的时空演变特征进行分析，并从异质性视角探究人口老龄化对科技创新的影响及其作用机制。预期的创新点主要体现在研究视角和研究方法两方面。

第一，研究视角的创新。现有人口老龄化对科技创新的影响研究中，多从总体角度讨论两者之间的关系，对其影响的异质性讨论较少，因此本文从地区异质性、时段异质性、科技创新水平异质性和城镇化发展水平异质性四个角度出发，更为全面地分析人口老龄化对科技创新的异质性。

第二，研究方法的创新。目前针对人口老龄化对科技创新影响的实证研究中，多采用普通面板模型、系统 GMM 模型和动态面板模型，没有考虑地区之间的空间溢出性。根据文献研究，科技创新水平的提高，除了会带动本地区生产效率提升和经济发展，还会辐射影响周边邻近的地区，即空间溢出性作用愈发重要。因此，本文在研究人口老龄化对科技创新影响的过程中，首先对人口老龄化和科技创新综合评价的结果进行了时空演变特征的研究，实证检验人口老龄化和科技创新在中国省域层面时间上和空间上的特征，在实证研究中采用空间计量模型，突出考虑空间溢出效应的情况下人口老龄化对科技创新影响中的异质性作用。

2. 基础理论和研究方法

2.1 基本概念

2.1.1 人口老龄化

R.Boll 于 1940 最早提出人口老龄化这一概念。人口老龄化通常是指社会老年人口占总人口的比重动态增长的变化过程，也指代社会人口结构趋于老龄化。人口老龄化问题是伴随着经济社会发展而出现的，21 世纪大多数国家都需要面对这一问题（胡鞍钢和刘生龙，2012）。人口老龄化的成因复杂，首先，由于经济发展水平较高，居民生活条件得到明显的改善，人均预期寿命得到明显的延长；其次，医疗水平较以往而言有明显提高，医疗资源也有所改善，老龄人口由于年迈导致的一些疾病能够得到更好的治愈，从而降低了老龄人口的死亡率；此外，当代年轻人的生活成本和经济压力较大，抚养比较高，因此年轻人对于结婚生育的意愿下降，从而导致出生率降低。

1956 年以联合国《人口老龄化及其社会经济后果》为依据指定标准，当一个国家或地区 65 岁及以上老年人口占总人口比例超过 7% 时，则认为该国家或地区进入老龄化；本文对于人口老龄化的研究基于联合国的标准展开，即以 65 岁以上老年人口占总人口的比重作为区域人口老龄化的指标。

2.1.2 科技创新

Schumpeter 于 1912 年首次从技术与经济学相结合的角度提出现代创新理论，认为创新是生产要素的再组合，即构建新的生产函数。他把发明看作是一种新工具或方法的产生，而创新就是运用新工具或方法。21 世纪以来，随着信息技术的推动和知识爆炸，对于技术创新有了新的理解。科技创新是创

新主题和创新要素相结合，从而创造和应用新知识、新技术，使用新生产的方法和经营模式、开发新产品、提高产品质量和提供新服务。科技创新的主体包含个体、企业、研究所、高等院校、社会公众、政府等，科技创新的要素包含、人才、投资、科技基础、制度建设、知识产权等（洪银兴，2013）。

学者在对于区域科技创新水平的测度也无定论，随着专利法律的逐渐完善，知识产权和创新结果得到有效保护，因此多数学者在实证研究的过程中使用专利申请情况作为表示科技创新的指标。贺建风和吴慧等（2016）、李政和杨思莹等（2017）使用专利申请授权数作为区域科技创新水平的衡量指标，然而使用单一指标来衡量科技创新水平较为片面，丁敬达和邱均平（2010）、刘汉初和樊杰等（2018）则从科技投入和科技产出两个视角来综合评价区域科技创新水平，章穗和张梅（2010）则在科技投入、产出视角的基础上考虑了科技创新对于经济社会的影响。因此，本文选取综合评价的方法对区域科技创新水平测度。考虑科技创新投入、科技创新产出、科技创新基础等多个方面，系统地评价区域科技创新水平。

2.2 基础理论

2.2.1 人力资本理论

经济学研究中最先使用人力资本理论（Human Capital Theory）。人力资本是体现在人身上的资本，即劳动者接受教育和职业培训的支出以及接受教育的机会成本之和，体现为劳动者身体素质、管理技能、知识经验积累存量的总和（王明杰和郑一山，2006）。人力资本理论打破了传统理论中资本只是物质资本的局限。人力资本区别于其他物质资本最主要的特征是人力资本可以通过培训和教育投入进行自我增值，其投入的回报率更高，可以替代和补充生产要素的不足。知识生产函数是目前国际上研究知识生产与技术创新的重要理论模型，其基本假设将创新产出看作研发投入和人力资本投入，最早用于研究 R&D 相关活动要素对创新产出的影响（曹勇和苏凤娇，2012），知识生产函数的模型如式（2-1）所示。

$$G_i = AK_i^\alpha L_i^\beta C \lambda \varepsilon_i \quad (2-1)$$

式(2-1)中, i 表示研究个体, A 表示系数, G 表示创新产出, K 表示研发投入, L 表示人力资本投入, C 表示影响科技创新的其他经济变量, α 、 β 、 λ 表示弹性系数, ε 表示扰动项。

2.2.2 干中学理论

1962年 Arrow 在《干中学的经济学含义》中提出了干中学效应, 指在生产物质和资本积累的过程中所导致的劳动生产率的提高和技术外溢。Arrow 将劳动者个人技术水平提升延伸至国家层面, 从而解释技术进步的内生性。经济发展的动力不仅来自生产要素的投入和要素配置, 还来自人力资本和技术投入所带来的经验积累。人力资本作为重要的内生变量之一, 能够有效促进经济增长。干中学理论中, “学” 内容包含生产、投资、创新能力, 实现技术进步的内化, 劳动者在生产产品与提供服务的过程中学习知识并积累经验, 提高生产效率, 体现知识经验积累的外部性(张慧毅, 2014)。

在早期的人力资本理论研究中, 学者主要关注的是教育、培训、信息、人力迁移等与人力资本存量的关系, 对人力资本存量的衡量从“成本-收益”的视角, 聚焦于教育投入, 从而掩盖了干中学对人力资本积累的重要作用。基于干中学理论, 企业可以通过对劳动力的培训、为劳动力提供知识经验积累的机会, 实现人力资本的增值, 实现技术进步的内生化(吴炜, 2016)。

2.2.3 数量-质量替代理论

为解释生育率的变化、研究父母生育孩子和孩子的数量选择, Leibenstein 于 1957 年使用微观经济学中的边际效用理论来分析父母生育孩子的决策行为。家庭中的孩子可以为父母带来精神满足, 长远来看, 其劳动可以为家庭带来收入, 为父母提供养老保障。与此同时, 父母生育和养育孩子需要付出高额的成本, 其中包括直接成本(即生活资料), 和间接成本(即时间和精力成本), 家庭每增加一个孩子就需要付出额外的成本。家庭关于是否生育孩子及生育数量的决策会遵循效用最大化原理, 如果生育孩子给家庭带来的边际效用高于边际成本, 则家庭会选择生育孩子; 如果生育孩子给

家庭带来的边际效用低于边际成本，则家庭会选择不生育孩子。Becker 于 1990 在生育理论中首次提出了“数量和质量替代”这一概念，他认为当家庭财富积累到一定程度时，父母会偏向于追求孩子的质量，父母通过减少生育孩子来增加孩子的人力资本投资。假定家庭中所有儿童的质量是相同的，家庭的效用来源于孩子的数量 n ，孩子的质量 q ，家庭消费其他商品的比率 y ，则家庭预算约束方程如式（2-2）所示。

$$I = n\pi_n + nq\pi + q\pi_q + y\pi_y \quad (2-2)$$

式（2-2）中， π 是 nq 的价格，体现数量和质量的作用， π_n 、 π_q 、 π_y 分别为三种商品中固定的边际成本，根据效用最大化原则，可以推出：

$$p_n = \pi_n + q\pi \quad (2-3)$$

$$p_q = \pi_q + n\pi \quad (2-4)$$

$$p_y = \pi_y \quad (2-5)$$

由式（2-4）、（2-3）可知，当 π_q 下降时， p_q 会随之减少，导致 q 上升，更进一步地导致 p_n 上升， n 下降。因此 n 和 q 之间存在一定的替代关系。在家庭收入一定的情况下，家庭往往会选择减少孩子的数量而提高孩子的质量。

2.3 人口老龄化对于科技创新影响的作用机制

基于文献综述和基础理论分析，人口老龄化对科技创新影响的积极作用和消极作用可能同时存在，现从如下四个方面分析人口老龄化对科技创新的影响机制。

1.人口老龄化通过影响人力资本水平影响科技创新

基于内生经济增长理论，人力资本作为区域科技创新的核心驱动因素之一，对于区域科技创新具有明显的正向作用（李宪印和王凤芹等，2022），然而人口老龄化对人力资本的积累具有两方面的影响。随着年龄的增长，个体的身体机能和健康状况会存在一定程度的下降，基于生涯关注理论，高龄劳动者对于创新的热情衰减，较年轻劳动者而言更加缺乏创新动机，其主观激励也会受到影响。人口老龄化的直接表现为人口年龄结构的老化，劳动

力数量的增长小于总人口的增长（王德文和蔡昉等，2004），使得劳动力供给相对量减少，减缓人力资本的积累。当人口年龄结构处于成年型时，充足的劳动力供给带来了“人口红利”，从而拉动经济增长，但随着人口年龄结构的老化，“人口红利”便相应地丧失（蔡昉，2010）。

人口老龄化使劳动力人口平均受教育年限提升，从而提高劳动力质量，促进人力资本的积累。基于“干中学”理论，高龄劳动力经过技能培训，具有更丰富的知识储备和经验积累，能够提高创新活动的成功率。随着人口结构的老化和预期寿命的延长，对教育投资的预期回报会有所提升，由此促使青年更积极地参与到教育中来，进而推动人力资本积累（李光明和刘丹玉，2018）。汪伟和咸金坤（2020）认为预期寿命延长对人力资本积累和经济增长的促进作用主要是通过增加人均受教育时间来实现的。

2.人口老龄化通过倒逼企业转型而促进科技创新

人口年龄结构的老化直接导致劳动力供给数量减少，使得劳动力变得稀缺，相应的劳动力价格提升。此外，预期寿命的延长使劳动力退休年龄延后，劳动力的平均年龄上升，企业需负担更多的养老保险和退休金的费用，因此企业的用人成本会有所提升，用人压力的增大会迫使企业转型。中国的人口老龄化呈“未富先老”的态势，决定了中国在劳动密集型产业向资本密集型产业转型的难度更大，倒逼企业向技术密集型转型，加大科技创新力度，从而产生可持续的经济效益（王爱华，2012）。赵昕东和刘成坤（2019）构建中介效应模型检验了人口老龄化对制造业产业结构升级的作用机制，结果显示，人口老龄化将通过减少劳动力供给、增加劳动力成本，迫使制造业产业结构升级。

老年人的消费需求偏好与年轻人不同，人口年龄结构的老化会引发社会消费需求的变动，如对于养老服务、医疗保健等需求会存在大幅度提升，居民最终消费偏好的改变会对相关产业造成影响，从而导致老龄相关产业快速发展。人口结构老化导致消费需求层次提升，倒逼产业布局优化，为产业结构升级带来了契机（王欣亮和杜壮壮，2022）。

3.人口老龄化通过挤占科研投入而阻碍科技创新

人口结构的老龄化会给整个社会带来养老负担，为积极应对人口老龄化，政府需要承担更多的养老保障支出，增加政府投资生产的挤出效应，牵制科研投入，从而倒逼财政收支开源节流。一方面，养老保障支出会直接挤占财政预算中对于科研教育投入；另一方面，政府为增加财政收入会分担养老压力至企业和个人，进而挤压了企业的科研投入与个人的教育支出，限制技术创新与教育水平的提升（逯进和刘璐等，2018）。根据代际交叠模型，劳动力在年轻阶段主要进行生产，而在老龄阶段主要进行消费，因此老龄人口的增加会增加家庭和政府的赡养支出，挤占政府科教支出和家庭的教育支出（张帆，2019）。

4.人口老龄化通过影响家庭决策进而影响科技创新

老年人的身体健康状况不如年轻人，患病概率相对更高，当家庭老龄人口数目或比重提升时，家庭会选择提高储蓄率来规避疾病和意外风险。Bloom 和 Canning 等（2003）认为，预期寿命延长会使各年龄组储蓄率增加，这会给长期市场利率带来下行压力，技术创新研发投资收益来源于贴现市场利率，因而随居民预期寿命延长，将更多地流向研发活动，从而促进技术进步，提高了生产效率。汪伟和艾春荣（2015）对省域面板数据研究分析发现，由于寿命延长导致的“未雨绸缪”的储蓄动机，中国国民储蓄率呈上升趋势。此外，刘永平和陆铭（2008）研究认为，基于养儿防老的意愿，人口老龄化使得家庭对于后代的教育投资率和投资质量会有显著提升。但也有学者研究认为，人口老龄化导致家庭对于养老负担的增加会降低家庭总和人均教育投资（汪伟，2017）。综合上述分析，人口老龄化对科技创新的影响机制如图 2-1 所示。

基于上述理论和影响机制的分析，本文提出如下假设：

当人口年龄结构年轻时，充足的劳动力供给带来了人口红利，为科技创新创造了良好的条件；但随着人口年龄结构的老龄化，老龄化对科技创新的影响变得复杂。根据人口老龄化对科技创新影响机制的分析可知，人口老龄化从多个路径影响科技创新：人口老龄化会影响人力资本存量和人力资本的积累、影响家庭储蓄和教育投入的决策，倒逼企业进行科技创新，也会挤占科技创新的投入。在积极作用和消极作用的共同影响下，人口老龄化对科技创

新的影响可能是非线性的。基于上述分析提出假设一：

假设一：人口老龄化对于科技创新的影响是非线性的。

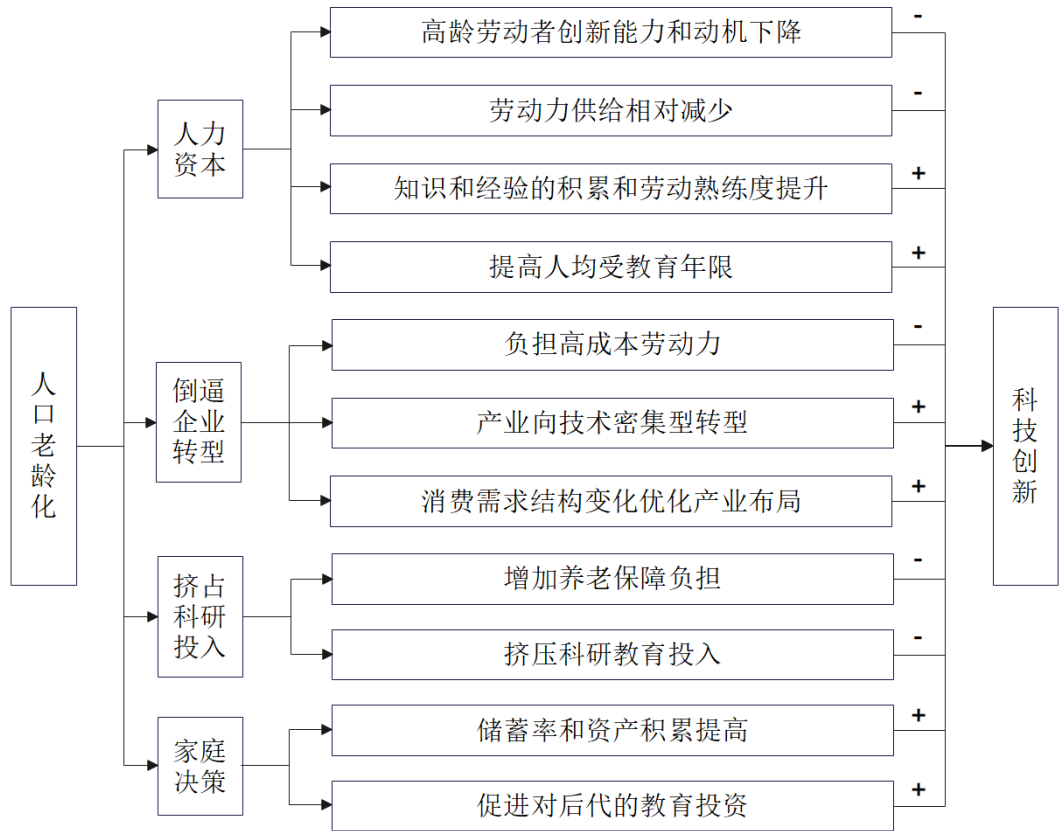


图 2-1 人口老龄化对科技创新影响的作用机制

根据空间经济学理论可知，人口老龄化具有空间的溢出效应，邻近地区可以通过老龄化的空间溢出效应调节中心地区人口老龄化水平（赵儒煜和刘畅等，2012）；科技创新通过地区间产品贸易、人员流动和交流学习等途径形成空间溢出效应，有助于提高邻近地区的经济发展质量（上官绪明和葛斌华，2020），在研究人口老龄化对科技创新的影响过程中，需考虑空间溢出效应。基于上述分析提出假设二：

假设二：由于人口老龄化和科技创新的空间聚集性，人口老龄化对于科技创新的影响存在空间溢出效应。

人口老龄化对科技创新的积极和消极影响作用强弱决定了影响的方向，并在不同维度上体现出异质性。科技创新水平的提高，除了会带动本地区生产效率提升和经济发展，还会辐射影响周边邻近的地区，地理位置邻近的地

区技术的传播更为显著，老龄化的空间溢出效应在区域间也存在差异。人口老龄化发展的不同阶段会影响人口老龄化对技术创新的作用效果，人口老龄化发展水平较低时，企业可以通过技术投入来抵消老龄化带来的负面效果；但随着人口老龄化程度的加深，老龄化对研发投入的挤占，提升用人成本等多项负面影响加剧，可能会导致不同阶段的影响存在差异。科技创新发展的不同阶段会影响人口老龄化对技术创新的作用效果，在创新的初期，技术创新难度较低，此阶段对于人力资本和物质投入等各方面条件要求相对较低；但随着创新阶段的推进，创新难度增大，所需要的人力资本投入增加，因此人口老龄化对不同科技创新阶段的影响可能会存在差异。此外，不同经济社会条件下，科技研发设备，人才吸引能力和研发投入可能都随之存在明显的区别。基于上述分析提出假设三：

假设三：人口老龄化对于科技创新的影响存在不同地区、时间、科技创新水平、城镇化发展水平下的异质性。

2.4 研究方法

本文采用熵权法构建科技创新指标体系，采用空间自相关研究中国省域人口老龄化和科技创新的时空格局，采用空间计量模型、面板门限模型研究人口老龄化对科技创新的异质性影响，主要研究方法简介如下。

2.4.1 熵权法

熵权法是以指标离散程度作为评判指标权重的综合评价模型，熵可以度量不确定性，基于熵的性质可以度量指标的离散程度，指标的离散程度越大，则该指标对综合评价的影响程度越大。作为一种客观赋权的方法，熵权法可以避免在综合评价的过程中受到主观因素的影响而导致评价的偏误，因此本文选取熵权法对区域科技创新水平进行综合评价。假设共有 m 个观测值， n 个指标评价指标，熵权法的赋权及评价具体步骤如下：

（1）数据标准化。由于各评价指标的数据的取值范围差距较大，需通过标准化处理使综合评价更加合理，常用的数据标准化方法为极差变换法。

对于正向指标的标准化公式如式 (2-6):

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}} \quad (2-6)$$

对于负向指标的标准化公式如式 (2-7):

$$x_{ij} = \frac{\min_j a_{ij} - a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}} \quad (2-7)$$

式 (2-6)、(2-7) 中, a_{ij} 为第 j 项指标在第 i 个观测点的指标数值, x_{ij} 为第 j 项指标在第 i 个观测点标准化后的指标数值。

(2) 求信息熵。计算第 j 项指标的熵值 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m g_{ij} \ln(g_{ij}), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2-8)$$

式 (2-8) 中, 为 $g_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$, ($i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$), 即第 j 项指标在第 i 个观测值的比重, $k = \frac{1}{\ln m} > 0$, 满足 $e_j \geq 0$ 。

(3) 计算各指标权重。第 j 指标的权重为重 w_j :

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2-9)$$

(4) 计算综合评价结果。根据各指标权重计算即可知到综合评价结果 D_{ij} :

$$D_{ij} = \sum_i x_{ij} \times w_j \quad (2-10)$$

在得到区域科技创新综合评价结果后, 即可进行人口老龄化对科技创新影响的实证研究。

2.4.2 空间自相关

空间数据分析的基础是 Tobler (1970) 提出的地理学第一定律, 即所有事物与其他事物相关联的, 较近的事物比较远的事物更具有关联性。这里的

“距离”是广义的，不局限于地理空间的距离远近，还可以是经济意义上合作距离的远近，抑或是人与人之间社交关系的远近，在此基础上提出了空间自相关。空间自相关是指某单元自身内部的表现与临近地区的表现具有一定依赖程度，表现受空间相互作用的影响而不再相互独立，从自己可以推估临近，反之亦然。空间自相关分为全局空间自相关和局部空间自相关两种类型，空间权重矩阵是研究空间自相关的基础。

1.空间权重矩阵

在研究空间相关性时首先需要设定空间权重矩阵，空间权重矩阵采用邻接指标和距离指标来定义空间对象之间的相互关系，常见的空间权重矩阵有空间邻接矩阵、地理距离矩阵和经济距离矩阵。

(1) 空间邻接矩阵

各个单元在空间上的邻接关系可以是有共同边界、共同顶点，本文使用的既有共同边界，又有共同顶点的连接方式。根据该链接方式，构建如下空间权重矩阵来反应区域之间的邻接关系：

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \quad (2-11)$$

式(2-11)中，

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当区域}i\text{和区域}j\text{邻接} \\ 0 & \text{当区域}i\text{和区域}j\text{不邻接} \end{cases} \quad (2-12)$$

(2) 地理距离矩阵

地理距离矩阵使用两个区域的质心距离的倒数来定义权重，地理距离矩阵构建方式如式(2-13)：

$$W = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{d_{1,2}} & \cdots & \frac{1}{d_{1,n}} \\ \frac{1}{d_{2,1}} & 0 & \cdots & \frac{1}{d_{2,n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{d_{n,1}} & \frac{1}{d_{n,2}} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (2-13)$$

式 (2-13) 中, $d_{i,j}$ 表示区域 i 与区域 j 之间的质心距离, 即区域间质心距离越小, 则空间权重系数越大。

(3) 经济距离矩阵

经济距离矩阵使用两个区域经济发展水平差距的倒数来定义权重, 经济距离矩阵构建方式如式 (2-14):

$$W = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{|Y_1 - Y_2|} & \cdots & \frac{1}{|Y_1 - Y_n|} \\ \frac{1}{|Y_2 - Y_1|} & 0 & \cdots & \frac{1}{|Y_2 - Y_n|} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{|Y_n - Y_1|} & \frac{1}{|Y_n - Y_2|} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

其中, Y_i 和 Y_j 表示各个区域的经济发展水平, $|Y_i - Y_j|$ 表示区域 i 与区域 j 之间的经济距离, 本文使用的经济发展水平衡量指标为人均 GDP。

2. 全局空间自相关

全局空间自相关是对于研究区域表现的整体相关性及总体关联特征, 体现空间全局自相关的指标有全局 Moran's I, 全局 Geary's C 等, 最为常用的空间自相关指标为全局莫兰指数。全局莫兰指数可以在全局层面度量地理要素所呈现的是聚类模式、随机模式还是离散模式。对于所研究变量的样本而言, 使用 n 表示样本总量, x_i 表示对应空间位置 i 的变量观测值, 则该变量的全局莫兰指数定义如式 (2-15):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-15)$$

式(2-15)中, W_{ij} 表示空间权重矩阵。I 等于 0 时, 表示所研究样本的各空间位置或空间单元彼此之间相互独立; I 越接近于 1 时, 表示空间正相关, 该变量在空间分布上呈现出的集聚效应越明显; I 越接近于-1 时, 表示空间负相关, 该变量在空间分布上呈现出的趋异性越明显。此外, 全局莫兰指数需要根据 Z 和得分和 P 值来评估其显著性, P 值为根据已知分布曲线得出的面积的近似值, Z 得分的计算如式(2-16)所示:

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (2-16)$$

式(2-16)中:

$$E[I] = -\frac{1}{(n-1)} \quad (2-17)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (2-18)$$

在统计显著性检验后, 当 I 不显著时, 认为所研究样本在研究区域范围内是随机分布的, 当 I 显著时认为所研究样本在研究区域范围内表现出聚集性或离散性特征。在进行空间计量分析之前, 需要对样本计算全局莫兰指数, 只有在 I 显著, 即样本存在空间聚集性或离散性特征时, 进行空间计量分析才具有意义。

3.局部空间自相关

在实际数据的空间分布中, 当数据量过大时, 由于数据的随机性可能会导致局部区域的变量数据不平稳, 此时使用全局空间自相关并不能对数据的空间溢出性进行更细致的分析研究, 无法体现出所研究区域样本所处单元的自相关性, 因此需引入局部空间自相关, 即局部莫兰指数来揭示数据的空间异质性。对应空间位置 i 的局部莫兰指数 I_i 定义如式(2-19):

$$I_i = \frac{n \sum_j W_{ij} (x_j - \bar{x})(x_i - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (2-19)$$

式(2-19)中, W_{ij} 表示空间权重矩阵。I 等于 0 时, 表示所研究样本的各空间位置或空间单元彼此之间相互独立; I 越接近于 1 时, 表示空间正相关, 该变量在空间分布上呈现出的集聚效应越明显; I 越接近于-1 时, 表示

空间负相关，该变量在空间分布上呈现出的趋异性越明显。

具体可以通过莫兰散点图或者 LISA 聚集图进行分析。其中莫兰散点图的四个象限体现了四种不同的与邻近地区聚集类型。第一象限为“高-高”聚集（H-H），表示高值地区被其他高值地区围绕，其间差异较小；第二象限为“低-高”聚集（L-H），表示低值地区被其他高值地区围绕，其间差异较大；第三象限为“低-低”聚集（L-L），表示低值地区被其他低值地区围绕，其间差异较小；第四象限为“高-低”聚集（H-L），表示高值地区被其他低值地区围绕，其间差异较大。如果观测的样本在莫兰散点图上呈现均匀的分布，则表明研究对象在所研究的区域范围内并不存在显著的空间自相关。LISA 聚集图则将上述莫兰散点图中四个象限的不同聚集情况在地图上呈现，从整体上判断各个区域的局部相关类型及其聚集区域是否在统计意义上显著。

2.4.3 空间面板模型

空间面板模型相较于普通最小二乘回归模型考虑了空间的相互作用，即空间效应，因此对于空间数据分析问题使用空间计量模型比普通 OLS 更为准确。空间计量模型分为空间自回归模型（Spatial Autoregressive Model, SAR）、空间误差模型（Spatial Error Model, SEM）和空间杜宾模型（Spatial Durbin Model, SDM）。

1. 空间自回归模型（SAR）

空间自回归模型考虑变量在地区具有溢出或虹吸效应，表示被解释变量不仅受到本地解释变量的影响，还会受到其他地区的解释变量的影响，模型的表达式如（2-20）式所示。

$$Y = \lambda WY + X\beta + \varepsilon \quad (2-20)$$

式（2-20）中， Y 和 X 为被解释变量和解释变量， λ 为空间滞后向量，表示邻近地区对于所研究的地区的影响程度， W 为空间权重矩阵， β 为解释变量的参数， ε 为随机误差项。

2. 空间误差模型（SEM）

空间误差模型考虑所研究地区扰动项存在的空间效应，即不包含在所研

究解释变量中的影响被解释变量的遗漏变量存在空间自相关，模型的表达式如式（2-21）所示。

$$Y = X\beta + \mu, \mu = \lambda W\mu + \varepsilon \quad (2-21)$$

式（2-21）中， λ 为空间误差系数，表示邻近地区的误差项的变动对于所研究地区的影响程度， μ 为空间自相关的误差项。

3.空间杜宾模型（SDM）

空间杜宾模型考虑本地区的被解释变量不仅受到本地区解释变量的影响，还受到其他地区解释变量的影响，模型的表达式如式（2-22）所示。

$$Y = \lambda WY + X\beta + WX\delta + \varepsilon \quad (2-22)$$

式（2-22）中， δ 为解释变量的参数， D 为解释变量的空间权重矩阵。在进行实证研究的过程中，首先需对数据进行空间效应检验，判断选择 SAR、SEM、SDM 其中一种模型，再检验地区固定效应、时间固定效应以及双固定效应，选取最适合的效应进行研究，若前期检验选定的模型为 SDM 模型，还需进行 LR 检验和 Wald 检验，判断 SDM 能否退化为 SAR 模型或者是 SEM 模型，进一步选择合适的模型进行实证研究。

2.4.4 门限面板模型

由于人口老龄化对于科技创新的影响可能存在结构性差异，不同城镇化发展水平时，人口老龄化对于科技创新的影响可能存在差异。关于面板门限模型，在实证研究过程中，解释变量与被解释变量之间不一定是线性关系，当某个变量达到一定的数值后，影响可能会产生结构性变化，使得解释变量和被解释变量之间呈阶梯型非线性关系，该数值被称为门限值，该效应被称为门限效应。门限效应属于调节效应的一种，但其结构结简单，对于门限变量处于不同范围内的，自变量对应变的影响更为清晰，因此本文选择城镇化率作为门限变量进行研究。门限面板模型的表达式如式（2-23）（以单门限为例）：

$$Y_{it} = \mu_i + I(q_{it} \leq \gamma) X'_{it} \beta_1 + I(q_{it} > \gamma) X'_{it} \beta_2 + Z'_{it} \delta + e_{it} \quad (2-23)$$

式（2-23）中， i 表示个体， t 表示时间， μ_i 表示时间效应， $I(\cdot)$ 表示示

性函数， γ 表示待估单门限的门限值， β_1 、 β_2 表示回归系数， Z_{it} 表示控制变量， e_{it} 表示随机扰动项。门限模型在构建过程中首先需进行门限效应检验，使用 **Bootstrap** 方法来估计门限值的显著性，再使用检验 γ 的似然比统计量检验门限模型的门限值是否真实可信。

3.中国省域人口老龄化与科技创新水平的时空特征分析

本章首先使用熵权法从科技创新投入、科技创新产出、科技创新基础三个方面，构建科技创新综合评价指标体系，对中国省域的科技创新水平进行综合测度；然后在此基础上，从时间和空间两个维度，使用空间自相关分析和标准差椭圆对科技创新水平和人口老龄化进行时空格局特征分析。

3.1 科技创新水平测算

为研究科技创新水平的时空分布特征及实证分析，考虑到单一变量难以全面准确反映科技创新水平，因此使用综合评价的方法，建立较为全面的评价体系测算区域科技创新水平。本文选取 2001 年至 2020 年我国 31 个内陆省域进行科技创新水平的测算（由于数据限制，研究地区不含香港、澳门和台湾地区），数据来源于相关年份《中国科技统计年鉴》和《中国统计年鉴》，相关指标部分年份的缺失数据使用插值法补齐。

3.1.1 指标变量选择

以往学者对于科技创新水平综合评价的研究中，丁敬达和邱均平（2010）从投入、产出、效益的角度来构造科研评价指标体系；章穗和张梅（2010）设置科技产出、科技对经济的影响、科技对社会的影响、科技投入四个准则层，使用熵权法对中国“十五”期间的科学技术发展状况进行综合评价；李廉水和杨浩昌（2014）基于 FAHP-熵权组合赋权方法，通过经济创造能力、科技创新能力和资源保护能力三个主指标来构建区域制造业综合发展能力评

价指标体系，对地区制造业综合发展能力进行评价；刘汉初和樊杰等（2018）以科技经费投入、科技人员投入、科技产出、经济产出作为一级指标构建区域科技创新效率评价指标体系；张芷若和谷国锋（2019）在对科技创新水平进行综合评价中，从研发投入、成果转化产出、产业化产出三个一级指标出发，运用熵权法来指标体系中各指标的权重，进行综合评价。由于德尔菲法、层次分析法等主观赋权依赖于专家个人经验和偏好，可能会存在主观偏误，因此本文使用熵权法这一客观赋权方法进行综合评价，综合现有研究对于区域科技创新水平综合评价指标体系的构造和评价方法，本文将科技创新水平的综合评价分为科技创新投入、科技创新产出和科技创新基础三个一级指标，全面的对区域科技创新水平进行综合评价。

根据数据可知性原则，为保证对科技创新水平综合评价更为客观具体，从各类统计指标中选择能够反映地区科技创新水平的各项指标作为评价模型的初始变量，具体的指标信息如表 3-1 所示。

表 3-1 各地区科技创新评水平价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	单位	属性
各地区科技创新水平	科技创新投入	R&D 经费内部支出	万元	正
		R&D 人员全时当量	万人/年	正
	科技创新产出	技术市场成交额与 GDP 比值	%	正
		人均专利申请数	项/万人	正
		高等学校 R&D 课题数	项	正
		SCI 收录中国科技论文数	篇	正
	科技创新基础	教育经费	万元	正
		受高等教育人口比重	%	正
		人均公路里程	公里/万人	正
		具有 R&D 活动的高等学校数	个	正
		博物馆机构数	个	正

注：受高等教育人口比重为大学（专科及以上）人口占 6 岁以上人口比重。

3.1.2 数据预处理

为客观评价各地区的科技创新水平，使不同指标具有可比性，需要将数据进行标准化处理，由于所选取评价区域科技创新水平的数据均为正向数据，因此采用正向指标的极差变换法。假设共有 m 个观测值， n 个评价指标，本

文采用极差变换法,对上述正向指标的标准化公式如式(3-1)所示。

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}} \quad (3-1)$$

式(3-1)中, a_{ij} 为第 j 项指标在第 i 个观测点的指标数值, x_{ij} 为第 j 项指标在第 i 个观测点标准化后的指标数值。

3.1.3 科技创新水平综合评价

本文采用熵权法对区域科技创新水平进行评价,科技创新投入、科技创新产出、科技创新基础各一级指标和二级指标的权重具体,如表 3-2 所示。

表 3-2 各地区科技创新水平评价指标权重

一级指标	二级指标	权重
科技创新投入 (0.1648)	R&D 经费内部支出	0.0550
	R&D 人员全时当量	0.1098
科技创新产出 (0.5485)	技术市场成交额与 GDP 比值	0.1634
	人均专利申请数	0.1565
	高等学校 R&D 课题数	0.0817
	SCI 收录中国科技论文数	0.1469
科技创新基础 (0.2866)	教育经费	0.0733
	受高等教育人口比重	0.0410
	人均公路里程	0.0767
	具有 R&D 活动的高等学校数	0.0346
	博物馆机构数	0.0611

表 3-2 中,科技创新产出一级指标的权重最大,为 0.5485,科技创新产出最能体现区域科技创新水平,其次为科技创新基础,其权重为 0.2866,权重最小的为科技创新投入,其权重为 0.1648,根据权重计算得到 2001 年 2020 年 31 个省域科技创新水平的综合评价结果,见附录 1。

3.2 科技创新水平的时空特征分析

根据 3.1 节测算综合评价结果,接下来从时间和空间两个维度,对中国内陆 31 个省域的科技创新水平的时空特征进行分析。

3.2.1 科技创新水平的时间特征

为展现中国内陆 31 个省域科技创新水平在时间维度上的特征，本文对其进行描述性统计分析，结果如表 3-3 所示。

表 3-3 2001 年至 2020 年中国省域科技创新水平描述性统计分析

年份	样本数	均值	标准差	最小值	最大值	极差
2001	31	0.0402	0.0273	0.0118	0.1592	0.1474
2002	31	0.0451	0.0305	0.0131	0.1738	0.1607
2003	31	0.0491	0.0325	0.0152	0.1844	0.1692
2004	31	0.0533	0.0380	0.0144	0.2181	0.2037
2005	31	0.0585	0.0430	0.0153	0.2395	0.2242
2006	31	0.0664	0.0473	0.0144	0.2624	0.2480
2007	31	0.0712	0.0499	0.0154	0.2739	0.2585
2008	31	0.0792	0.0539	0.0180	0.2884	0.2704
2009	31	0.0851	0.0547	0.0191	0.2954	0.2763
2010	31	0.0977	0.0623	0.0235	0.3324	0.3089
2011	31	0.1041	0.0674	0.0240	0.3512	0.3272
2012	31	0.1151	0.0766	0.0271	0.3898	0.3627
2013	31	0.1273	0.0838	0.0280	0.4263	0.3983
2014	31	0.1360	0.0897	0.0292	0.4575	0.4283
2015	31	0.1473	0.0963	0.0319	0.4839	0.4520
2016	31	0.1694	0.1142	0.0353	0.5567	0.5214
2017	31	0.1809	0.1184	0.0401	0.5761	0.5360
2018	31	0.1986	0.1302	0.0493	0.6189	0.5696
2019	31	0.2142	0.1434	0.0552	0.6713	0.6161
2020	31	0.2366	0.1575	0.0659	0.7205	0.6546

由表 3-3 可知，2001 至 2020 年中国科技创新水平整体为稳步上升态势，中国科技创新水平均值在这 19 年间从 2001 年的 0.0402 提升至 2020 年的 0.2366，增长了 4.89 倍，年均增长速度为 9.78%。从 2001 年至 2020 年科技创新水平的离散情况及其变化来看，科技创新水平标准差在逐年提升，从 2001 年的 0.0273 提升到了 2020 年的 0.1575，增长了 4.77 倍，表明中国省域之间的科技创新水平差异扩大。此外，2001 年科技创新水平最大值为 0.1592，但时至 2020 年，科技创新水平最小值仅为 0.0659，仍小于 0.1，科技创新水平极差从 2001 年的 0.1474 提升至 2020 年的 0.6546，增长了 3.44 倍。综合而言，上述各项数据表明，2001 年至 2020 年间中国科技创新水平显著提升，但省域间科技发展水平差距在逐渐扩大。

3.2.2 科技创新水平的空间特征

为展现中国省域科技创新水平在空间维度上的特征，对中国省域 2001 年至 2020 年间部分年份的省域科技创新水平绘制空间分位图，为使各年份数据简洁清晰，以历年科技创新水平极差等分作为依据，划分如下科技创新水平等级（表 3-4）进行呈现。

表 3-4 科技创新水平等级划分

科技创新水平区间	科技创新水平等级
<0.1299	很低
0.1300-0.2481	低
0.2482-0.3662	较低
0.3663-0.4843	较高
0.4844-0.6024	高
>0.6025	很高

针对中国省域 2001 年、2009 年和 2020 年的科技创新水平，按照表 3-4 中的分类等级进行空间分位图绘制，如图 3-2、图 3-3 和图 3-4 所示，直观呈现中国内陆 31 个省域科技创新水平的时空格局变化特征。

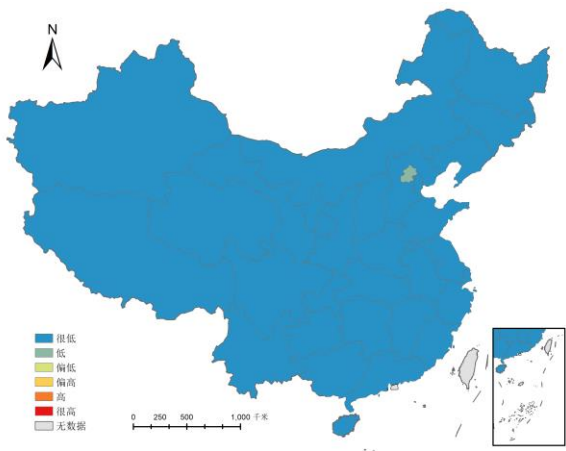


图 3-2 2001 年中国省域科技创新水平空间分位图

由图 3-2 可知，2001 年，中国绝大多数省域的科技创新水平综合评价均小于 0.1299，科技创新水平整体很低，仅有北京的科技创新水平达到 0.1592，此外超过 0.06 的省市还有上海、广东和江苏，其科技创新水平分别为 0.0818、0.0662 和 0.0614；贵州、宁夏、广西和青海的科技创新水平不足 0.2，分别为 0.0118、0.0144、0.0180 和 0.0183，北京的科技创新水平是贵州的 13.49 倍。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/238120063061006031>