高技术制造业的技术创新、产业升级与产业韧性

郑 涛[1,2]，杨如雪[1]

（1.燕山大学 经济管理学院，河北 秦皇岛066004；2.燕山大学 区域经济发展研究中心，河北 秦皇岛 066004）

摘 要：基于1997—2019年中国高技术制造业时序数据，在理论分析的基础上，运用最小二乘法、工具变量两阶段最小二乘法、中介效应和门槛效应模型对技术创新、产业升级如何影响产业韧性进行了实证研究。研究发现：技术创新对高技术制造业韧性具有正向效应，且对冲击韧性的正向效应更强；从中介效应角度，产业升级在技术创新对产业韧性的正向影响中发挥中介效应，存在技术创新通过推进产业升级，进而增强产业韧性的间接效应，且对断裂韧性发挥的中介效应强于冲击韧性；从门槛效应角度，产业韧性能够做为门槛变量，在技术创新、产业升级对产业韧性的促进作用中发挥门槛效应，高产业韧性水平下，技术创新、产业升级对产业韧性的正向促进作用增强。研究结论为高技术制造业增强产业韧性水平，推进制造强国建设提供政策启示。

关键词：产业韧性；技术创新；产业升级；中介效应；门槛效应

中图分类号：F424.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1002—980X（2022）2—0001—14

一、引言

当前，全球疫情冲击下，世界各国都面临着更为严峻的国际循环萎缩冲击（钱学锋和裴婷，2021），经济衰退问题严重。在抵御外部冲击的同时，产业维持稳定发展，实现制造强国的目标是更加具有难度的挑战。受新冠肺炎疫情冲击，2020年1—2月制造业增加值同比降低了14.4%，表现出了两大问题：一是重要物资严重短缺，且生产供应发生滞后；二是全球化进程受阻，中国产业链“断链”风险加大。同年3月制造业增加值同比降低了1.8%，高技术制造业增加值扭转了产业整体负增长的趋势，同比增长了8.9%，快于规模以上工业10个百分点。高技术制造业作为中国制造业发展的先进性代表，与制造业的本质区别在于其具有高技术性。近几年中美贸易摩擦与全球新冠疫情影响下，中国高技术制造业表现亮眼，依然保持较高韧性水平，扭转了产业增加值整体水平呈负增长的趋势。在全球经济衰退背景下，如何保持经济和高技术制造业产业强劲的韧性水平，已经成为学者和政策制定者关注的重点。到2035年，中国要实现关键核心技术的突破，提升企业的技术创新水平，成为创新型国家，同时位于创新型国家前列。创新是经济社会发展源源不断的动力，中国正努力建设创新型国家，创新能力的高低在一定程度上能够体现国家经济的发展质量（白俊红和刘宇英，2021）。同时，高技术制造业通过技术创新、产业升级等不断解决现存的“高技术不高”和“产业低端化”问题，从而提高产业韧性水平，实现产业高质量发展。这一发展路径与发展目标刚好契合。

本文的主要边际贡献在于：第一，丰富了与产业韧性相关的实证研究，具有一定的创新性；第二，由于产业韧性不但是经济韧性的中观视角，而且是企业韧性的综合体现，控制变量的选取是从国家、产业及企业三个层面入手，涉及经济学中宏观、中观及微观三大视角；第三，本文总结产业抵御外部冲击的经验，服务于政策制定者制定针对性政策，研究结论为技术创新、产业升级助力增强产业韧性提供理论支撑，也为企业技术创新、实现产业升级、提高产业韧性水平，实现制造强国目标提供政策启示。

二、文献综述

随着全球经济系统衰退，国际经济不景气及逆全球化浪潮涌现，全球的产业链、供应链及价值链的安全性和稳定性遭受到了剧烈的冲击，经济发展的不确定性增多，各国均面临着更为严峻的经济衰退形势，而增强中国产业的韧性水平，是有效抵御外部冲击、维持经济稳定发展的方法之一。

收稿日期：2021-09-01

基金项目：河北省科技厅创新能力提升计划项目“河北省高技术制造业韧性测度与影响因素分析”（21557655D）；河北省高等学校人文社会科学重点研究基地经费资助课题“我国高技术制造业韧性测度及其影响因素效应研究”（JJ2113）

作者简介：郑涛，博士，燕山大学经济管理学院教授，研究方向：金融学、金融与经济数据分析、产业经济学；杨如雪，燕山大学经济管理学院硕士研究生，研究方向：产业经济学。

“韧性”起源于物理学和工程学，是一个系统受压后恢复原状的能力（李连刚等，2019），即系统在遭遇冲击后的抵抗和恢复能力。物理学中，韧性被划分为断裂韧性和冲击韧性，将断裂韧性视为材料的基本属性，而将冲击韧性视为材料能够抵抗外来冲击负荷的能力（满轲，2016；李少强等，2021）。经济学领域中首先出现了经济韧性概念，英国学者Martin（2012）认为区域经济韧性内涵包括抵抗力、恢复力、重新调整能力及路径创造能力这四个维度。经济韧性与工程韧性不同，除了复原的能力外，加入了演化论思想，考虑经济系统的调整更新或转型升级能力（陈梦远，2017）。在经济韧性内涵确定的基础上，经济韧性研究往往与经济结构、产业结构结合，Evans和Karecha（2014）指出德国慕尼黑在应对冲击时，能够以强大经济韧性一跃成为欧洲最成功的城市，其中重要的因素之一是多样化的经济结构。有学者认为制造业发展增强了城市经济韧性（Di Caro，2015），同样存在部分学者认为地区制造业占比越高，地区经济韧性水平越差（Davies，2011；Xu和Warner，2015），这与研究地区的差异相关。产业结构与经济韧性间关系的主要结论是产业结构多样化与经济韧性间存在正相关关系，产业结构专业化与经济韧性负相关（Brown和Greenbaum，2017），而也有学者持不同观点，认为专业化的产业能提高地区的经济韧性水平，Cuadrado-Roura和Maroto（2016）认为后危机时代背景下，若地区拥有较高生产率和活力的产业，该地区经济韧性更好，专业化程度越高的产业越能够为地区带来更强劲的韧性水平。

产业韧性多作为经济韧性的影响因素在相关文献中提及，是经济韧性研究的副产品，但同时产业韧性也能够从经济韧性中细分出来。产业韧性的研究多从与制造业相关的供应链角度分析韧性（Soni et al，2014）。Junaid et al（2019）通过一个汽车行业的案例研究，选择供应链韧性、供应链敏捷性和供应链稳健性作为供应链风险管理的标准，认为供应链韧性是管理供应链风险最重要的标准。产业韧性是经济韧性由宏观经济转向中观产业视角，结合经济韧性内涵，本文认为产业韧性是指产业在遭受冲击后能够维持自身稳定状态，并能够迅速从冲击中恢复、调整及转型的能力。溯源物理学中的韧性内涵，高技术制造业韧性涵盖了与其固有属性相关的断裂韧性和与外界环境相关的冲击韧性，是指高技术制造业在遭受外界冲击时能够维持自身固有的稳定状态，并能够从冲击中恢复、调整及转型的能力。本文高技术制造业韧性同样采用物理学中的划分方法，划分为高技术制造业断裂韧性和冲击韧性，其中高技术制造业断裂韧性包括经过长时间发展积累的体量规模、条件禀赋、系统内部的稳定性及复杂性等，与工程中的材料组织一样，属于高技术制造业自身的固有属性；在冲击韧性概念基础上，本文进一步延伸，认为高技术制造业的冲击韧性中不单指负向冲击还包括正向冲击，产业会受到来自外部的保障支撑、脆弱性风险及市场前景影响，综合来说是系统之外的影响。

目前，国内外有关经济韧性的研究发展完善，主要集中在发展经济学、区域经济学及宏观经济学领域（苏杭，2015），逐渐向中观产业、微观企业韧性的相关研究发展，企业韧性和组织韧性研究以案例研究为主（赵坤等，2021），有关产业韧性的实证研究尚处于初步发展阶段。在少数涉及产业韧性的文献中，Canova et al（2012）通过构建计量分析模型衡量了欧洲工业部门的产出对冲击的响应，确定欧洲各国的工业是否与欧元区的共同冲击共同波动，其存在差异的原因在于各产业的行业周期差异、产品市场政策差异、国家金融发展差异。国内研究主要以工业韧性和产业链韧性为主，选取制造业行业为样本，来测度产业供应链的韧性水平（刘家国等，2015），樊雪梅和卢梦媛（2020）从供应链的预测能力、适应能力、反应能力、恢复能力及学习能力5个一级指标16个二级指标构建指标体系来探究供应链韧性的影响因素。结合地区空间因素，有研究对长三角和京津冀城市群的工业韧性进行测度，并进行空间差异分析（殷为华，2019；张勇和周霞，2020），关皓明等（2021）在偏离-份额法的基础上测度得到沈阳市的新老路径产业的韧性水平，胡志强等（2021）分析黄河流域的产业集聚对工业韧性的影响，产业高度集中会增加受到外部冲击的风险，多样且关联的产业结构利于提高区域工业的韧性水平。产业韧性研究中除工业韧性外，更多细分产业的韧性水平及影响因素有待学者挖掘。全球新冠肺炎疫情冲击下，中国在最快遏制疫情进一步传播扩散的基础上，保证经济社会平稳发展，经济韧性水平强劲，高技术制造业表现突出。高技术制造业作为高技术性产业，技术性是产业在遭受经济危机和突发性公共卫生事件等冲击时，较其他产业表现出更强劲韧性的主要原因之一，技术创新是高技术制造业企业增强竞争力的重要手段。产业转型升级是产业技术上实现突破，同时实现低污染和高产出，中国的工业化进程已经进入向智能化、绿色、低碳方向转变的高质量发展阶段（史丹，2018）。因此，本文围绕技术创新、产业升级与高技术制造业韧性展开研究。

三、理论分析与研究假设

本文对比现有研究,尝试对技术创新、产业升级影响高技术制造业韧性的内在机制进行归纳和总结。

(一)技术创新与产业韧性

产业集群韧性通过技术创新、关系治理及市场多元化表达(俞国军等,2020),其中的技术创新与产业韧性是本文关注的重点。技术创新是推动经济增长的核心动力。在与产业自身固有属性相关的断裂韧性中,创新是产业提升属性的关键因素之一。技术创新有助于企业在保持独立自主性下发展核心竞争力,提升企业面临危机时的自我调节性,技术创新是企业能够持续创新的核心,是构建企业韧性,维持长期竞争优势的根本(焦勇和杨慧馨,2020)。技术作为产品支撑,需要前瞻性布局(张宝建和裴梦丹,2020),对于高技术制造业来说,技术是产业发展的根本,没有技术创新突破,必然会导致"高技术不高"的情况出现。高技术制造业的技术创新分布在整个高技术制造业发展过程中。企业通过技术创新,提升产品竞争力和盈利能力,同时通过技术创新优化产业结构升级,由产业链低端化向中高端迈进(谢会强等,2021)。基于以上论述,本文在技术创新与高技术制造业韧性关系上做出假设1:

技术创新对高技术制造业韧性具有正向影响(H1)。

(二)技术创新、产业升级与产业韧性

1. 中介效应

技术创新通过提高劳动生产率来带动产业优化(Breschi et al,2000),企业能够通过技术创新提高服务业生产率,进而实现产业结构优化。除提高生产效率之外,Klepper(2002)认为技术创新还能够通过提高产品质量、丰富产品种类、创新生产过程等推动产业结构升级。Crescenzi et al(2014)认为企业能够通过引进先进技术,实现产业升级,那么技术创新实现技术先进化,同样会推动产业升级。作为产业升级的核心动力,技术创新对产业结构具有显著的促进效应(邓创和曹子雯,2020)。现有的不同研究中,技术创新和产业升级的关系十分密切,二者均能够作为中介变量,发挥中介效应。庞敏和夏周培(2020)认为存在金融创新推进技术创新,进而影响产业升级。产业结构升级作为中介变量影响经济发展(李峰等,2021)。在产业链条的各阶段中,技术创新能够发挥重要作用:一是在供给端,生产线技术创新,减少人力消耗,劳动生产效率和投入产出效率同步提高,从而能够获取超额利润,生产要素向高利润行业转移,实现产业升级;二是技术创新是产业链前后关联效应的纽带,通过工艺创新、技能创新等带动产品创新,对产品质量把关,实现产品质量升级,进行产品优化,实现产品结构优化,产品进一步更新换代,新兴产业引领传统产业发展;三是在需求端,技术创新倒逼产业升级。数字经济时代的到来,消费潜力和消费层次提升,市场需要更加智能化、绿色化的产品,市场消费效应、出口的竞争效应倒逼产业向更合理化、更高端化发展。

本文认为产业韧性是产业应对外界冲击,从冲击中恢复并调整更新的能力。产业的调整更新是产业升级的一种表现形式,即产业实现升级,产业的韧性水平会增强,产业升级与高技术制造业韧性水平具有正向关系。产业升级包含产业技术升级和产业结构升级,其中产业技术升级中要求劳动技术生产率的提高,企业通过技术创新能够实现劳动技术生产率的提高,即推进产业升级,进而对产业韧性产生正向影响。

技术创新、产业升级与产业韧性可能存在的作用机理如图1所示。

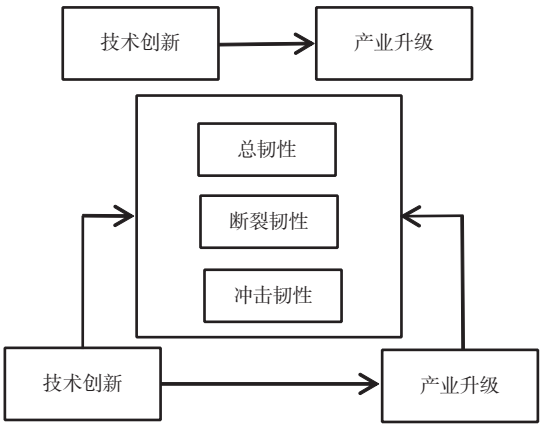

图1　技术创新、产业升级与产业韧性的中介效应关系

2. 门槛效应

目前,有关技术创新与产业升级的关系的研究较多,大多数学者研究表明技术创新能够助力产业结构升级,也有学者认为技术创新对产业升级促进作用的实现需要在一定的条件下完成,李伟庆和聂献忠(2015)认为技术创新并没有带动制造业升级,王海兵和杨慧馨(2016)认为短期内技术创新可能会阻碍产业结构变迁。科技创新水平在对产业结构的正向效应中,能够作为门槛变量发挥门槛效应(周柯和王尹君,2019),技术创新对产业结构优化具有显著的门槛效应(吴振华,2021),市场化水平差异使技术创新和产业升级产

生显著的门槛效应(路畅等,2019),政府创新扶持及金融发展影响创新驱动产业升级,具有门槛效应(王希元,2020)。王立新和曹梅英(2018)认为技术创新能够划分为自主创新和技术模仿,自主创新与技术模仿虽然均属于技术创新,但二者对产业升级的影响机制存在差异,仅技术模仿发挥了门槛效应。基于前人技术创新和产业韧性关系的研究,加入产业韧性变量,这种门槛效应在技术创新、产业升级对产业韧性的影响中是否依旧存在,值得探讨。

基于以上论述,本文在技术创新、产业升级与高技术制造业韧性关系上做出假设2和假设3:

技术创新通过推进产业升级,进而增强产业韧性,产业升级在技术创新对产业韧性的正向影响中具有中介效应(H2)。

产业韧性在技术创新和产业升级对产业韧性的促进作用中能够发挥门槛效应,当产业韧性水平较高时,技术创新、产业升级对产业韧性的正向影响更强(H3)。

四、实证研究设计

(一)变量设定

1. 被解释变量

本文的被解释变量为高技术制造业韧性水平,用*RESI*表示总韧性指数。经济学领域中韧性的测度方法主要分为基于核心变量的单一指标法和基于多变量的综合指标体系法,单一指标法一般以国内生产总值或就业人数变化作为核心变量(Doran和Fingleton,2018;Han和Goetz,2019)。在研究产业韧性时采用多变量的综合指标法更全面(Briguglio et al,2009;Rajesh,2020),本文参考曹德等(2020)的研究,将影响韧性的因素划分为内部和外部两个维度,同时结合物理学中对韧性的划分,以断裂韧性和冲击韧性作为2个一级指标,断裂韧性下设鲁棒性(曾冰和张艳,2018;汤敏等,2019;肖智文等,2019)、流动性及创新性三大二级指标,冲击韧性下设保障性、脆弱性及转型性三大二级指标(崔娟娟和王英,2015;曾冰,2020;贺正楚等,2020),共6个二级指标,21个三级指标形成高技术制造业韧性测度体系。

高技术制造业韧性指标体系构建时结合了韧性的起源、高技术制造业韧性内涵及高技术制造业的产业特征。首先,物理学中断裂韧性与外加力大小无关的概念内涵,能够将其视为一种内部影响;冲击韧性是高技术制造业抵抗外部冲击的能力,从高技术制造业受到的外部影响来考察。断裂韧性考虑产业的固有规模属性和历史积累的条件禀赋;冲击韧性考虑产业承受的保障支撑及遭受的脆弱性风险。其次,结合韧性及高技术制造业韧性内涵,确定二级指标。在断裂韧性方面,以鲁棒性代表高技术制造业的固有积累规模,以流动性代表产业发展积累的要素禀赋,以创新性反映产业调整更新及长远发展的动力;在冲击韧性方面,以保障性代表外部给予高技术制造业的保障支撑,以脆弱性体现产业发展遇到的外部风险与阻碍,以转型性考虑高技术制造业进一步向智能化、绿色化发展及市场前景等因素。最后,根据高技术制造业产业性质及特征,同时考虑数据的可获得性确定三级指标。

通过表1所示的高技术制造业韧性指标体系,采用经独立性调整后的信息熵法进行指标赋权(杨耀武和张平,2021),计算1997—2019年中国高技术制造业的韧性指数。

表1　高技术制造业韧性指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明
R_f断裂韧性	R_{f1}鲁棒性	高技术制造业总产值*	统计年鉴查询直接获得
		企业利润总额	统计年鉴查询直接获得
		企业竞争力	企业主营业务收入/制造业主营业务收入
	R_{f2}流动性	资金流	R&D经费内部支出/主营业务收入
		人才流	企业R&D人数
		技术流	研发机构数
	R_{f3}创新性	创新人员投入	R&D人员数/产业全部从业人数
		创新经费投入	R&D经费内部支出
		创新产出	新产品销售收入/主营业务收入
		研发能力	有效发明专利数
R_i冲击韧性	R_{i1}保障性	政府支持	政府资金
		投资额	统计年鉴查询直接获得
		产业受控制程度	购买国内技术经费支出
	R_{i2}脆弱性	价格风险	工业生产者出厂价格指数
		失业风险	失业率
		外商控制程度	外商直接实际投资
		国际竞争力	进出口总额
	R_{i3}转型性	智能化水平	人工智能专利申请量
		绿色化水平	万元GDP能耗
		消费潜力	城镇化率
		消费层次	恩格尔系数

注:*表示因部分年限指标数据不可获取,用全国高新技术企业工业总产值代替。

2. 解释变量

本文的核心解释变量为技术创新。创新性是构建指标体系测度韧性水平的关键指标,为处理因果混淆问题,作为解

释变量的技术创新要与指标体系中的创新性区分,国家统计局《高技术产业(制造业)分类2017》文件中,高技术制造业的定义为国民经济行业中R&D投入强度相对高的制造业行业,其中的R&D投入强度是指R&D经费支出与企业主营业务收入之比,R&D是指为增加知识存量及设计已有知识的新应用而进行的创造性、系统性工作①。R&D占高技术制造业总产值能够反映出高技术制造业这一产业内部的技术创新水平,用R&D占高技术制造业总产值的比重取对数来反映高技术制造业的技术创新水平,用*innov*来表示,值越大表明该年份高技术制造业技术创新水平越高。

3. 中介变量

本文的中介变量为产业升级。产业升级用*upgra*来表示。通常研究中,产业升级是指产业结构的改善,一般用第三产业产值占全产业产值的比重或第三产业产值与第二产业产值之比来表示。本文研究将全产业的研究范围缩小至高技术制造业,产业升级的内涵也相应改变,以高技术制造业产业产值占工业总产值的比重取对数表示。

4. 控制变量

结合上述产业韧性的内涵,产业韧性的概念似乎与外部冲击存在某种相互依存的关系,只有在遭受冲击后,才能够衡量产业是否具有韧性,进而判断产业的韧性处于哪种水平。伴随着经济危机等冲击的出现,经济系统中产业会面临产业链断链、产能不足等风险,这种产业链断裂和产能供不应求的出现,同时也正是产业韧性水平低的体现。因此从理论上能够说明外部冲击与产业韧性产生相互影响,需要考虑到外部冲击这一变量的影响。引入外部冲击事件作为虚拟控制变量,具体外部冲击事件的选择见表2。本文认为1997—2020年间对中国经济产生影响的主要外部冲击可以划分为两大类,一类是由经济贸易所引起的经济危机与贸易摩擦,另一类是由于病毒或疾病引发的突发性公共卫生事件。本文选取的1997—2019年研究区间内的6次外部冲击事件,发生冲击事件的年份的$crisis_1$记为1,未发生冲击事件年份的$crisis_1$记为0。同时,为识别国际金融危机对中国高技术制造业韧性的冲击,将2008年以后(含2008年)定义为外部冲击期,该期间内记$crisis_2$为1,2008年以前(不含2008年)定义为非外部冲击期,该期间内$crisis_2$记为0。

表2　主要外部冲击及影响

时间	事件	影响
1997年	亚洲金融危机	金融市场震荡引发区域性经济衰退,中国经济增速连续两年下滑
2003年	非典疫情	经济环境恶化,贸易投资减少,餐饮、旅游及航空业等首当其冲
2008年	国际金融危机	全球治理结构进入新的调整期,世界经济增速明显放缓
2009年	希腊债务危机	对以欧洲为主要出口国的中国制造业造成沉重打击
2013年	H7N9禽流感疫情	主要对家禽养殖业和农村经济产生较大影响
2018年	中美贸易摩擦	影响中国对外贸易下,间接影响到中国整体经济系统与高技术产业

此外,产业韧性不但是经济韧性的中观视角,而且是企业韧性的综合体现,为避免遗漏变量而造成回归估计结果偏差,结合高技术制造业韧性指标体系,分别从企业层面、国家层面选取相关控制变量。企业规模(胡海峰等,2020),用*size*代表企业规模,用企业利润总额占高技术制造业总产值比重的自然对数表示,规模越大的企业越可能拥有高的技术创新水平,但也可能面临管理体制僵化的问题;企业盈利能力,用*profit*表示,用企业营业收入占高技术制造业总产值的比重取对数来表示;用*growth*表示经济增长率,公式为年度GDP增长率的对数。

(二)样本选择与数据来源

基于数据的可获得性,本文选取1997—2019年高技术制造业相关时序数据为样本,本文的研究数据主要来自于《中国统计年鉴》和《中国高技术产业统计年鉴》。其中高技术产业的统计年鉴最早为2002年《中国高技术产业统计年鉴》,更早年份数据由《中国科技统计年鉴》进行补充。通过《中国高技术产业统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》能够获得1997—2011年高技术制造业总产值,但后续数据统计年鉴统计项目发生改变。因此用《中国火炬统计年鉴》中全国高新技术企业工业总产值数据代替,人工智能专利申请量数据来自《2020人工智能专利技术分析报告》,其余三级指标的指标说明在计算中所需要的数据均来自于《中国统计年鉴》和《中国高技术产业统计年鉴》。由于指标较多同时研究所需数据时间跨度长,因此存在缺失数据,缺失数据采用线性插值法、回归拟合法等进行补充。

① 国家统计局《高技术产业(制造业)分类2017》。

（三）模型设定

首先构建基本回归模型检验技术创新与产业韧性的关系；其次，借鉴Baron和Kenny（1986）提出的中介效应检验，采用逐步系数回归法和Sobel法检验影响机制是否存在；最后，借鉴Hansen（1996）提出的门槛回归模型，将产业韧性设为门槛变量，检验不同韧性增长水平下，技术创新、产业升级对产业韧性的影响差异。

构建式（1）模型考察技术创新对高技术制造业总韧性、断裂韧性及冲击韧性的影响：

$$R_t = \alpha_0 + \alpha_1 innov_t + \alpha X_t + \varepsilon_t \tag{1}$$

其中：被解释变量R在后文实证分析中分别表示为高技术制造业韧性总韧性指数$RESI$、断裂韧性R_f、冲击韧性R_i；解释变量$innov$为技术创新；控制变量用X_t表示；ε_t为误差项；α_0为截距项；t为时间；α_1为解释变量系数；α为控制变量的系数。

为考察技术创新和产业升级对产业韧性的影响是否存在中介效应，本文对技术创新可能通过产业升级，提高产业韧性水平的机制进行检验，构建如下模型：

$$R_t = \delta_0 + \delta_1 innov_t + \delta X_t + \varepsilon_t \tag{2}$$

$$upgra_t = \phi_0 + \phi_1 innov_t + \phi X_t + \varepsilon_t \tag{3}$$

$$R_t = \eta_0 + \eta_1 innov_t + \eta_2 upgra_t + \eta X_t + \varepsilon_t \tag{4}$$

其中：δ_0为截距项；δ_1为技术创新系数；δ为控制变量系数；$upgra$为中介变量产业升级；ϕ_0为截距项，ϕ_1为技术创新系数，ϕ为控制变量系数；η_0为截距项，η_1为技术创新系数，η_2为中介变量系数，η为控制变量系数。

以存在一个产业韧性门槛值τ为例，使$R_t \leqslant \tau$和$R_t > \tau$时，技术创新与产业升级的系数分别各自存在差异。构建时间序列门槛回归模型：

$$\begin{cases} R_t\big|_{R_t \leqslant \tau} = \kappa_0 + \kappa_1 innov_t + \kappa_2 upgra_t + \sigma_t \\ R_t\big|_{R_t > \tau} = \rho_0 + \rho_1 innov_t + \rho_2 upgra_t + \sigma_t \end{cases} \tag{5}$$

其中：κ_0和ρ_0为不同样本区间的截距项，κ_1和ρ_1为不同样本区间的技术创新系数，κ_2和ρ_2为不同样本区间的产业升级系数，σ_t为随机误差项。

五、实证结果与分析

（一）描述性统计

主要变量的描述性统计结果见表3。高技术制造业总韧性均值为0.9773，该均值水平低于理论均值水平1，最大值为3.3091，最小值为0.2816，二者间存在较大差异，表明1997—2019年中国高技术制造业韧性水平变化明显；其中受内部因素影响的高技术制造业断裂韧性的均值为0.3927，最大值为1.2376，最小值为0.0452；受外部因素影响的冲击韧性的均值为0.5847，最大值为2.0715，最小值为0.2141，高技术制造业的冲击韧性整体上大于断裂韧性，冲击韧性最大值与最小值之差要大于断裂韧性最大值与最小值之差，冲击韧性的变化比断裂韧性更加明显。技术创新的最大值为-4.3959，最小值为-5.1698；产业升级的最大值为0.0219，最小值为-1.8292；发生外部冲击事件记为1，未发生外部冲击事件记为0；外部冲击在2008年以前（不含2008年）为0，在2008年以后为1；研究期间内，企业规模、盈利能力及经济增长率也呈现出不同程度的变化。

表3　主要变量的描述性统计

变量	变量含义	平均值	中位数	最大值	最小值	标准差
$RESI$	高技术制造业总韧性	0.9773	0.5413	3.3091	0.2816	0.8605
R_f	高技术制造业断裂韧性	0.3927	0.1998	1.2376	0.0452	0.3917
R_i	高技术制造业冲击韧性	0.5847	0.3971	2.0715	0.2141	0.4874
$innov$	ln（R&D/高技术制造业总产值）	-4.7826	-4.8120	-4.3959	-5.1698	0.2362
$upgra$	ln（高技术制造业产业产值/工业总产值）	-0.4909	-0.3274	0.0219	-1.8292	0.4863
$crisis_1$	发生外部冲击事件记为1，未发生记为0	0.2629	0	1	0	0.4490
$crisis_2$	外部冲击，2008年以前（不含）为0	0.5217	1	1	0	0.5108
$size$	ln（企业利润总额/高技术制造业总产值）	-3.3127	-3.2868	-2.8424	-3.6995	0.2338
$profit$	ln（企业营业收入/高技术制造业总产值）	-0.4341	-0.4687	0.0580	-0.7132	0.1653
$growth$	ln（年度GDP增长率）	-2.1706	-2.2487	-1.4661	-2.7643	0.3648

(二)基本回归模型结果

1. 参数估计结果

技术创新与高技术制造业韧性在最小二乘法下的参数估计结果见表4,显示了技术创新与高技术制造业韧性的正向关系。

表4　最小二乘(OLS)估计结果

RESI					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov	3.0749***(0.4266)	2.8063***(0.6713)	3.8513***(0.6803)	3.5160***(0.7416)	3.2732***(0.8380)
常数项	15.6833***(2.0424)	14.3159***(3.3275)	14.8872***(2.8460)	15.9705***(2.9954)	14.1250***(4.1223)
Adj *R*-squared	0.6985	0.6717	0.7610	0.7638	0.7558
*F*统计量	51.97***	16.00***	18.52***	15.23***	12.35***
R_f					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov	1.4740***(0.1659)	1.1508***(0.2429)	1.5582***(0.2371)	1.4329***(0.2571)	1.4009***(0.2939)
常数项	7.4420***(0.7945)	5.8067***(1.2039)	6.0294***(0.9917)	6.4342***(1.0382)	6.1908***(1.4456)
Adj *R*-squared	0.7798	0.7926	0.8600	0.8631	0.8551
*F*统计量	78.91***	29.02***	34.77***	28.73***	22.63***
R_i					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov	1.6009***(0.2843)	1.6555***(0.4497)	2.2931***(0.4728)	2.0831***(0.5190)	1.8723***(0.5820)
常数项	8.2413***(1.3611)	8.5091***(2.2290)	8.8577***(1.9782)	9.5363***(2.0959)	7.9343**(2.8630)
Adj *R*-squared	0.5827	0.5409	0.6402	0.6396	0.6329
*F*统计量	31.72***	9.64***	10.79***	8.81***	7.32***

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误。

表4中列(1)为不考虑外部冲击下技术创新与产业韧性的关系,列(2)~列(5)为依次加入外部冲击、企业规模、企业盈利能力及经济增长率等控制变量后的估计结果,技术创新与产业韧性的参数估计均通过显著性检验,以下结论具有可靠性。

技术创新对产业韧性具有显著的正向促进作用,发挥正向影响,技术创新对冲击韧性的正向效应强于对断裂韧性的正向效应。表4中列(1)是在不加入控制变量时,在1%的显著性水平下技术创新系数为3.0749,表明整体上技术创新的提高会增强高技术制造业韧性水平,技术创新指标每增长1%,在1%的显著性水平下,产业总韧性指标提高3.0749%。考虑外部冲击后,依次增加控制变量,在1%的显著性水平下技术创新能够促进产业韧性增强。以上技术创新与产业韧性的关系初步证明了假设H1的解释力。

2. 稳健性检验

本文采用工具变量两阶段最小二乘法(IV-2SLS)对模型进行估计,处理模型中可能存在的内生性问题,总韧性的相关估计结果见表5,断裂韧性估计结果见表6,冲击韧性估计结果见表7。

通过工具变量的个数的增加使估计结果更加有效。因此,选取产业结构、政府干预及人均发展水平作为工具变量。列(1)为不考虑外部冲击和其他控制变量的估计结果,列(2)~列(5)为考虑外部冲击后,控制变量依次加入后的估计结果。首先,将工具变量数目与内生变量数目相比较,由于前者数目大于后者。因此要对工具变量进行过度识别检验判断工具变量的选取是否具有有效性,表5~表7中所示列(1)~列(5)均通过Sargan检验,表明工具变量选取有效。其次,要考虑方程是否存在弱工具变量情况,根据列(1)~列(5)的Cragg-Donld Wald *F*统计量,可知方程不存在弱工具变量。模型均通过Wald检验、*F*检验及不可识别检验,同时调整后的R^2更好,IV-2SLS回归结果较好,IV-2SLS比OLS的估计结果稳健,技术创新对产业韧性具有正向促进作用的结论具有稳健性,且技术创新对冲击韧性的正向效应强于对断裂韧性的正向效应。考虑到产业韧性是一个逐渐变化的过程,技术创新对产业韧性的影响可能存在一定时滞性,同时外部冲击事件对经济和产业的影响也存在滞后效应。因此,将技术创新*innov*和外部冲击事件$crisis_1$均滞后一期,并采用最小二乘法重新进行估计,由于外部冲击期间$crisis_2$划分为2008年前和后两个区间段,不再考虑滞后效应。见表8,考虑了解释变量的滞后效应后,技术创新的系数仍然显著为正,则技术创新对产业韧性的正向作用的结果具有稳健性。

表 5　总韧性的工具变量两阶段最小二乘(IV-2SLS)估计结果

	RESI				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov	2.6990***(0.3930)	3.1456***(0.5502)	3.6187***(0.7014)	3.4536***(0.6890)	3.1776***(0.7933)
常数项	14.1279***(1.8476)	16.5036***(2.7721)	15.6723***(2.8051)	16.1853***(2.7334)	14.1350***(3.4576)
F检验	33.82***[0.0000]	16.24***[0.0000]	13.75***[0.0000]	11.76***[0.0000]	9.82***[0.0001]
Wald检验	77.79***[0.0000]	83.01***[0.0000]	93.00***[0.0000]	101.45***[0.0000]	105.40***[0.0000]
LM 统计量	22.038***[0.0001]	22.138***[0.0001]	20.484***[0.0001]	20.076***[0.0002]	20.296***[0.0001]
Cragg-Donald Wald	137.433	136.967	40.710	32.035	32.522
*F*统计量	{22.30}	{22.30}	{22.30}	{22.30}	{22.30}
Sargan检验	3.109 [0.2113]	2.182 [0.3358]	3.199 [0.2020]	4.273 [0.1181]	6.958 [0.0308]
Adj *R*-squared	0.7703	0.7804	0.8001	0.8145	0.8204

注：***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%；()内数字为稳健标准误；[]为相应统计量的*P*值；{}为Stock-Yogo检验在10%显著性水平上的临界值。

表 6　断裂韧性的工具变量两阶段最小二乘(IV-2SLS)估计结果

	R_f				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov	1.2434***(0.1202)	1.3162***(0.1717)	1.2903***(0.2305)	1.2654***(0.2327)	1.1613***(0.2663)
常数项	6.4881***(0.5650)	6.8731***(0.8648)	6.9340***(0.9220)	7.01147***(0.9231)	6.2158***(1.1607)
F检验	87.50***[0.0000]	39.62***[0.0000]	29.69***[0.0000]	23.82***[0.0000]	19.98***[0.0001]
Wald检验	201.26***[0.0000]	202.50***[0.0000]	200.84***[0.0000]	205.45***[0.0000]	214.43***[0.0000]
LM 统计量	22.038***[0.0001]	22.138***[0.0001]	20.484***[0.0001]	20.076***[0.0002]	20.296***[0.0001]
Cragg-Donald Wald	137.433	136.967	40.710	32.035	32.522
*F*统计量	{22.30}	{22.30}	{22.30}	{22.30}	{22.30}
Sargan检验	4.584 [0.1011]	4.442 [0.1085]	4.449 [0.1081]	5.013 [0.0816]	9.252 [0.0098]
Adj *R*-squared	0.8964	0.8969	0.8958	0.8979	0.9023

注：***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%；()内数字为稳健标准误；[]为相应统计量的*P*值；{}为Stock-Yogo检验在10%显著性水平上的临界值。

表 7　冲击韧性的工具变量两阶段最小二乘(IV-2SLS)估计结果

	R_i				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov	1.4555***(0.2832)	1.8294***(0.3912)	2.3285***(0.4797)	2.1882***(0.4633)	2.0164***(0.5352)
常数项	7.6397***(1.3313)	9.6305***(1.9711)	8.7383***(1.9185)	9.1739***(1.8381)	7.9192***(2.3324)
F检验	17.00***[0.0000]	8.66***[0.0004]	8.24***[0.0004]	7.41***[0.0006]	6.20***[0.0015]
Wald检验	39.10***[0.0000]	44.26***[0.0000]	55.71***[0.0000]	63.89***[0.0000]	66.54***[0.0000]
LM 统计量	22.038***[0.0001]	22.138***[0.0001]	20.484***[0.0001]	20.076***[0.0002]	20.296***[0.0001]
Cragg-Donald Wald	137.433	136.967	40.710	32.035	32.522
*F*统计量	{22.30}	{22.30}	{22.30}	{22.30}	{22.30}
Sargan检验	2.367 [0.3062]	1.371 [0.5039]	2.565 [0.2773]	3.805 [0.1492]	5.773 [0.0558]
Adj *R*-squared	0.6284	0.6540	0.7086	0.7386	0.7453

注：***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%；()内数字为稳健标准误；[]为相应统计量的*P*值；{}为Stock-Yogo检验在10%显著性水平上的临界值。

表 8　考虑滞后效应的稳健性检验结果

	RESI				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov(-1)	3.3028*** (0.4219)	2.7750*** (0.5020)	3.1812***(0.4888)	2.8520*** (0.5239)	2.4669***(0.5923)
常数项	16.8463*** (2.0265)	14.0848*** (2.4836)	12.4113***(2.3666)	13.5390*** (2.4171)	9.9665** (3.6260)
Adj *R*-squared	0.7416	0.7576	0.8018	0.8143	0.8220
*F*统计量	61.28***	22.87***	22.24***	19.41***	17.16***
	R_f				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov(-1)	1.5088*** (0.1811)	1.1378*** (0.1784)	1.2679***(0.1785)	1.1532*** (0.1924)	1.0800***(0.2263)
常数项	7.6475*** (0.8698)	5.7207*** (0.8826)	5.1847***(0.8641)	5.5777*** (0.8877)	4.8993*** (1.3856)

续表

Adj R-squared	0.7651	0.8489	0.8696	0.8764	0.8717
F统计量	69.42***	40.33***	36.02***	30.78***	24.78***
R_i					
变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
innov(-1)	1.7940***(0.2718)	1.6372***(0.3433)	1.9133***(0.3348)	1.6988***(0.3611)	1.3868***(0.3994)
常数项	9.1988***(1.3056)	8.3644***(1.6981)	7.2266***(1.6209)	7.9613**(1.6660)	5.0672*(2.4449)
Adj R-squared	0.6696	0.6508	0.7136	0.7282	0.7506
F统计量	43.55***	14.05***	14.08***	12.25***	11.53***

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误。

(三)中介效应模型结果

1. 中介效应检验

参照温忠麟和叶宝娟(2014)的中介效应检验流程,采用逐步系数检验法的第一类错误较低,但检验力度有待考量。因此在第二步检验出现至少一个系数不显著时,可以采用Sobel检验法、Bootstrap法检验系数乘积的显著性。首先,检验方程(2)中系数δ_1是否显著;其次,检验方程(3)中系数ϕ_1和方程(4)中系数η_2是否显著,若系数ϕ_1和η_2至少一个不显著,则采用Sobel法检验系数乘积,若均显著则直接观测方程(4)系数η_1是否显著,若不显著说明直接效应不显著,只有中介效应;最后,比较系数$\phi_1 \times \eta_2$与η_1的符号,符号相同则存在中介效应,符号相异则为遮掩效应。技术创新、产业升级及产业韧性间的影响机制检验结果见表9~表11。

表9　总韧性的中介效应检验结果

RESI			
变量	方程(2)	方程(3)	方程(4)
innov	3.0749***(0.4266)	0.7608*(0.4176)	2.7247***(0.4199)
upgra			0.4604**(0.2039)
常数项	15.6833***(2.0424)	3.1474***(1.9993)	14.2343***(1.9754)
Adj R-squared	0.6985	0.0954	0.7477
F统计量	51.97***	3.32*	33.60***
Sobel检验	Z=1.418 >0.97,中介效应显著		
中介效应	中介效应=0.3502		
中介效应占比	中介效应/总效应=11.39 %		

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误。

表10　断裂韧性的中介效应检验结果

R_f			
变量	方程(2)	方程(3)	方程(4)
innov	1.4740***(0.1659)	0.7608*(0.4176)	1.2582***(0.1282)
upgra			0.2836***(0.0622)
常数项	7.4420***(0.7945)	3.1474***(1.9993)	6.5494***(0.6030)
Adj R-squared	0.7798	0.0954	0.8865
F统计量	78.91***	3.32*	86.95***
Sobel检验	Z=1.692 >0.97,中介效应显著		
中介效应	中介效应=0.2158		
中介效应占比	中介效应/总效应=14.64%		

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误。

表11　冲击韧性的中介效应检验结果

R_i			
变量	方程(2)	方程(3)	方程(4)
innov	1.6009***(0.2843)	0.7608*(0.4176)	1.4664***(0.3027)
upgra			0.1768**(0.1470)
常数项	8.2413***(1.3611)	3.1474***(1.9993)	7.6848***(1.4241)
Adj R-squared	0.5827	0.0954	0.5914
F统计量	31.72***	3.32*	16.92***
Sobel检验	Z=1.004 >0.97,中介效应显著		
中介效应	中介效应=0.1345		
中介效应占比	中介效应/总效应= 8.40 %		

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误。

通过逐步系数检验法发现,方程(2)中的技术创新系数为3.0749,且在1%的显著性水平下显著。方程(3)中技术创新系数在10%的显著性水平下为0.7608,技术创新对产业升级具有正向影响。检验结果表明,技术创新与中介变量产业升级的系数均显著为正,Sobel检验的Z统计量的值均大于5%水平的临界值0.97,表明产业升级在技术创新对高技术制造业韧性的影响中发挥着中介效应,说明了H2的解释力,同时对比技术创新影响断裂韧性和冲击韧性的过程发现,见表10和表11,产业升级在技术创新对断裂韧性的影响中发挥的中介效应要强于产业升级在技术创新对冲击韧性的影响中发挥的中介效应。技术创新在促进产业韧性的正向影响过程中,产业升级对产业韧性的间接影响更多的来自于产业升级对断裂韧性的影响,而技术创新对产业韧性的直接影响更多的是来自于技术创新对冲击韧性的影响。高技术制造业企业技术创新水平的提高,能够通过实现产业升级作用于高技术制造业韧性,增强产业韧性水平。

2. 稳健性检验

通过增加控制变量进行稳健性检验。增加经济增长率作为控制变量,稳健性检验结果分别见表12~表14。加入控制变量后,上述结论依旧成立,结果具有稳健性。

表12　总韧性的中介效应稳健性检验结果

RESI			
变量	方程(2)	方程(3)	方程(4)
innov	3.2464***(0.4980)	1.4003**(0.4009)	2.4635***(0.5789)
upgra			0.5591**(0.2545)
常数项	16.9878***(2.7982)	8.0120***(2.2528)	12.5080***(3.2754)
Adj *R*-squared	0.6908	0.3725	0.7405
*F*统计量	25.58***	7.53**	21.93***
Sobel检验	*Z*=1.86 > 0.97,中介效应显著		
中介效应	中介效应=0.7830		
中介效应占比	中介效应/总效应=24.12 %		

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误;控制变量为经济增长率。

表13　断裂韧性的中介效应稳健性检验结果

R_f			
变量	方程(2)	方程(3)	方程(4)
innov	1.6141***(0.1856)	1.4003***(0.4009)	1.1707***(0.1763)
upgra			0.3167**(0.0775)
常数项	8.5082***(1.0430)	8.0120***(2.2528)	5.9710***(0.9974)
Adj *R*-squared	0.7927	0.3725	0.8839
*F*统计量	43.06***	7.53**	56.81***
Sobel检验	*Z*=2.655 > 0.97,中介效应显著		
中介效应	中介效应=0.4434		
中介效应占比	中介效应/总效应=27.47%		

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误;控制变量为经济增长率。

表14　冲击韧性的中介效应稳健性检验结果

R_i			
变量	方程(2)	方程(3)	方程(4)
innov	1.6323***(0.3355)	1.4003**(0.4009)	1.2927*(0.4180)
upgra			0.2425(0.1838)
常数项	8.4797***(1.8853)	8.0120***(2.2528)	14.234***(1.975)
Adj *R*-squared	0.5626	0.3725	0.5782
*F*统计量	15.15***	7.53**	11.05***
Sobel检验	Z=1.234 > 0.97,中介效应显著		
中介效应	中介效应=0.3395		
中介效应占比	中介效应/总效应=20.80%		

注:***、**、*分别表示显著性水平为1%、5%、10%;()内数字为稳健标准误;控制变量为经济增长率。

(四)门槛效应模型结果

1. 门槛效应检验

由于样本数量较少,采用Bootstrap自抽样法抽样5000次,同时设置门槛数为1,进行门槛效应检验。产业韧性作为门槛变量时,*LM*值为11.4657,Bootstrap *P*值为0.0044,门槛值估计值为1.3651,在1%的显著性水平下成立,即产业韧性水平能够发挥门槛作用。

2. 门槛效应估计

以产业韧性作为门槛变量进行估计。如图2所示门槛效应下的置信区间,以及*LR*统计量的走势。图中的虚线为95%的置信水平线,置信区间为该虚线以下包含最小似然比值的区间。以产业韧性为门槛变量,产业韧性水平门槛值的估计结果为1.1803,该门槛值为*LR*统计量曲线的最低点,此时的似然比值最小。95%的置信区间为[1.0479,1.1803],原假设成立,门槛估计值与真实值相等,通过了置信区间检验。

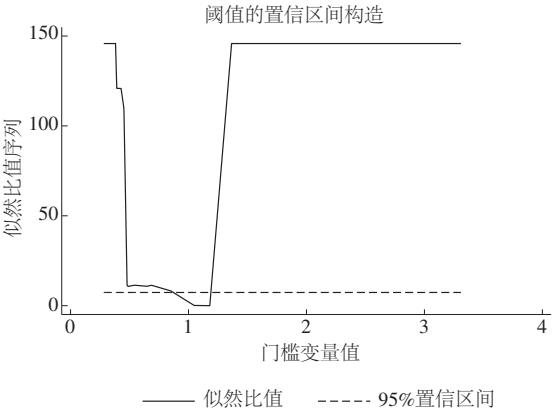

图2　技术创新、产业升级影响产业韧性的置信区间

以产业韧性作为门槛变量见表15,能够将样本划分为低产业韧性水平和高产业韧性水平两个阶段,产业韧性值

1.1803为门槛值,小于或等于1.1803为低产业韧性水平,大于1.1803为高产业韧性水平。其中,低产业韧性水平年份有17年,高产业韧性水平有6年。当产业韧性值小于或等于1.1803时,技术创新对产业韧性的估计系数为1.1211,当产业韧性值大于1.1803时,技术创新对产业韧性的估计系数为3.6634,且数值均处于95%的置信区间内;当产业韧性值小于或等于1.1803时,产业升级对产业韧性的估计系数为0.2119,当产业韧性值大于1.1803时,产业升级对产业韧性的估计系数为7.4072,且数值均在95%的置信区间内成立。技术创新、产业升级对产业韧性的正向效应在高产业韧性水平下更加明显,即技术创新每增加1个单位,相较于低韧性水平,高韧性水平下的产业韧性会多增加2.4831个单位;产业升级每增加1个单位,相较于低韧性水平,高韧性水平下的产业韧性会多增加7.1953个单位。

表15　门槛效应估计结果

	innov	*upgra*	常数项	$crisis_1$	观测值	误差平方和	R^2
RESI≤1.1803	1.1211(0.2617)	0.2119(0.0654)	6.1382(1.2999)	0.0732(0.0756)	17	0.4000	0.6386
95%置信区间	[0.3314,1.6340]	[0.0497,0.3402]	[2.1738,8.6861]	[-0.1032,0.2213]			
RESI>1.1803	3.6634(0.3267)	7.4072(0.5895)	19.3444(1.5044)	-0.0140(0.0800)	6	0.0544	0.9812
95%置信区间	[2.2737,4.3037]	[5.1342,8.5627]	[13.0456,22.2929]	[-0.1708,0.4117]			

综上,当高技术制造业的韧性水平越高时,技术创新与产业升级对产业韧性的影响越大,正向促进作用越强。同时,当产业韧性水平小于或等于1.1803时,技术创新的系数要大于产业升级的系数,当产业韧性水平大于1.1803时,技术创新的系数小于产业升级的系数,说明了低韧性水平下的技术创新对产业韧性的直接正向效应更强;高韧性水平下,产业升级对产业韧性的正向影响效应增强,技术创新的间接效应增强。综合上述门槛效应分析,得出以下结论:产业韧性水平高时,技术创新、产业升级对产业韧性的正向促进作用增强。证明了假设H3的解释力。

3. 稳健性检验

增加经济增长率作为控制变量后见表16,门槛效应依旧显著,稳健性检验通过。以产业韧性作为门槛变量的稳健性检验,通过*LM*值为11.7433和Bootstrap *P*值为0.0156可知,门槛效应依旧存在,产业韧性的门槛值为1.0479,技术创新、产业升级的估计系数方向和大小关系没有发生改变,前文结论依旧成立,通过稳健性检验。

综上,再次证明了假设H3的解释力,不同产业韧性水平下,技术创新和产业升级对产业韧性的作用方向一致,通过大小关系横纵向比较发现:低韧性水平下,技术创新对产业韧性的影响强于产业升级,高韧性水平阶段异之;高韧性水平下,技术创新和产业升级对产业韧性的正向影响均明显增强。

表16　门槛效应稳健性检验结果

	innov	*upgra*	常数项	$crisis_1$	观测值	误差平方和	R^2
RESI≤1.0479	0.9571(0.3195)	0.1501(0.0791)	5.4005(1.6736)	0.0179(0.0582)	16	0.3362	0.5023
95%置信区间	[-0.7784,1.5833]	[-0.2269,0.3052]	[-3.6685,8.6807]	[-0.096,0.2884]			
RESI>1.0479	3.2719(0.3643)	6.6156(0.5719)	16.0594(1.5348)	0.3301(0.0999)	7	0.0743	0.9805
95%置信区间	[0.5817,4.4714]	[2.5115,7.7364]	[5.2750,24.8978]	[-0.245,0.5259]			

六、结论与政策启示

中国高技术制造业韧性水平的高低体现了高技术制造业维持自身稳定、抵御外界冲击的能力。在当前新冠肺炎疫情、全球经济衰退及中国要继续坚持制造强国建设的背景下,研究关键影响因素与高技术制造业韧性的关系。鉴于此,本文在理论分析技术创新、产业升级与产业韧性的关系的基础上,通过最小二乘法(OLS)、工具变量两阶段最小二乘法(IV-2SLS)、中介效应检验及门槛效应检验等实证考察技术创新、产业升级对产业韧性的影响。研究发现:技术创新对高技术制造业韧性具有显著的正向影响,技术创新水平提升会增强产业韧性水平,其中技术创新对冲击韧性的正向影响强于对断裂韧性的正向影响;产业升级在技术创新对产业韧性的正向影响中发挥中介效应,存在技术创新通过推进产业升级,进而增强产业韧性的间接效应,其中产业升级在技术创新对断裂韧性的正向影响中发挥的中介效应占比高于对冲击韧性的正向影响中发挥

的中介效应;产业韧性能够发挥门槛效应,高产业韧性水平下,技术创新、产业升级对产业韧性的正向促进作用较强。根据以上结论具体启示如下:

(1)产业韧性与外部冲击存在相互依存关系。伴随着经济危机等冲击的出现,经济系统中产业会面临产业链断链、产能不足等风险,这种产业链断裂和产能供不应求的出现,同时也正是产业韧性水平低的体现。产业冲击韧性是指产业抵抗外来冲击负荷的能力,抵御外部冲击正是冲击韧性的体现,增强产业冲击韧性也就是提升产业抵御外部冲击的能力。与断裂韧性相比,高技术制造业的冲击韧性对技术创新的反应更明显,技术创新对冲击韧性有着较强的正向影响。因此以增强冲击韧性为首要目标,发挥技术创新优势,增强产业的外部保障性,政府给予高技术制造业财政支持,增加投资额,高技术制造业企业掌握国内产业核心技术;降低产业脆弱性风险,避免通货膨胀过度等价格风险的发生,稳定宏观经济环境的同时抓住市场前景,实现智能化、绿色化产业发展,以增强冲击韧性。

(2)以技术创新为核心抓手增强产业韧性水平。高技术制造业是指国民经济行业中R&D投入强度相对高的制造业行业,其中的R&D是指研究与试验发展,是创造性、系统性的工作。高技术制造业离不开技术创新,以技术性为特征与其他产业相区分。提高高技术制造业企业技术创新能力,增加研究与试验发展,加大创新投入,提高高技术制造业韧性水平。在中国坚持制造强国建设进程中,实现制造业真正的由大转强,离不开高技术制造业的支撑作用。在复杂的国际形势下,制造业发展面临着各类挑战与威胁,部分高新技术产品成为中国产业链“卡脖子”的关键,例如芯片等产业受美国牵制,提高技术创新的加速度正是面对复杂的国际形势,防范经济冲击风险的关键。技术创新对产业韧性具有显著的正向促进作用,尤其是对冲击韧性的正向效应更为明显,可能是由于以高技术制造业的固有规模和条件禀赋表示的断裂韧性随时间积累,发展稳定;而冲击韧性受外界因素影响,不确定性强,受技术创新影响也大。通过企业技术创新的实现,高技术制造业企业间要形成高效有益的竞争与互助关系,争做创新型企业,同时对相关产业链上的企业给予技术支持,形成有利的竞争互助循环,共同实现技术创新,增强产业韧性水平。

(3)技术创新、产业升级与产业韧性三者存在良性循环关系。创新性与转型性作为高技术制造业韧性指标体系的组成指标,二者对产业韧性具有正向影响,同时技术创新对产业韧性具有正向效应,且该效应在产业韧性水平高的情况下更为明显,当高技术制造业处于高韧性水平时,技术创新、产业升级对其正向影响强于低产业韧性水平,三者相互促进。随着中国高技术制造业的发展,其抵御风险的能力增强,产业韧性水平越来越强,在高技术制造业韧性水平逐渐提高的过程中,技术创新和产业升级对产业韧性的正向效应随之增强,当前比任何时候都要重视技术创新的发展,只有技术的突破,创新的实现,才能带动产业转型升级,实现产业韧性的不断提升来应对逆全球化冲击和全球经济萎靡的现状。

(4)以高技术制造业为突破口,驱动制造业发展,增强整体产业韧性水平。以制造业带动高技术制造业逐渐庞大,以高技术制造业驱动制造业逐渐强大。提高高技术制造业产业升级能力,驱动中国制造业产业升级。产业升级是产业发展的目标,高技术制造业在技术化程度上已经是制造业实现升级后的表现,但高技术制造业依旧面临技术创新等问题,中国的制造业依旧没有完全实现“由大转强”的变换。在国际上,要充分发挥中国是制造业大国的优势,以庞大的制造业体系为根基,带动高技术制造业体系逐渐扩大规模。要发挥高技术产业优势,结合数字经济发展背景,着重高技术制造业发展。在中国人口红利消退、人口老龄化加速背景下,加快产业实现自动化代替人力劳动,提高劳动效率和生产率,解决劳动力老龄化问题的同时实现产业升级,进而增强高技术制造业抵抗冲击的能力,增强韧性水平。

参考文献

[1] 白俊红,刘宇英,2021.金融市场化与企业技术创新:机制与证据[J].经济管理,43(4):39-54.
[2] 曹德,贺正楚,张嘉欣,等,2020.轨道交通产业全产业链的韧性-脆弱性研究[J].经济数学,37(3):16-26.
[3] 陈梦远,2017.国际区域经济韧性研究进展——基于演化论的理论分析框架介绍[J].地理科学进展,36(11):1435-1444.
[4] 崔娟娟,王英,2015.江苏省装备制造业产业脆弱性评价指标体系构建及评价研究[J].科技进步与对策,32(20):125-131.
[5] 邓创,曹子雯,2020.金融结构市场化、技术创新与产业结构升级[J].西安交通大学学报(社会科学版),40(5):20-29.
[6] 樊雪梅,卢梦媛,2020.新冠疫情下汽车企业供应链韧性影响因素及评价[J].工业技术经济,39(10):21-28.
[7] 关皓明,杨青山,浩飞龙,等,2021.基于“产业-企业-空间”的沈阳市经济韧性特征[J].地理学报,76(2):415-427.

[8] 贺正楚，曹德，潘红玉，等，2020. 全产业链发展状况的评价指标体系构建[J]. 统计与决策，36(18)：163-166.
[9] 胡海峰，宋肖肖，郭兴方，2020. 投资者保护制度与企业韧性：影响及其作用机制[J]. 经济管理，42(11)：23-39.
[10] 胡志强，苗长虹，熊雪蕾，等，2021. 产业集聚对黄河流域工业韧性的影响研究[J]. 地理科学，41(5)：824-831.
[11] 焦勇，杨蕙馨，2020. 技术创新对中国制造业全球价值链攀升的非线性传导[J]. 现代经济探讨，(7)：99-107.
[12] 李峰，李明祥，张宇敬，2021. 科技创新、产业结构升级对经济发展的实证分析[J]. 技术经济，40(7)：1-10.
[13] 李连刚，张平宇，谭俊涛，等，2019. 韧性概念演变与区域经济韧性研究进展[J]. 人文地理，34(2)：1-7，151.
[14] 李少强，陈威，查友，等，2021. TC18合金大型锻棒冲击韧性的横纵向差异研究[J]. 稀有金属材料与工程，50(3)：911-917.
[15] 李伟庆，聂献忠，2015. 产业升级与自主创新：机理分析与实证研究[J]. 科学学研究，33(7)：1008-1016.
[16] 刘家国，周粤湘，卢斌，等，2015. 基于突发事件风险的供应链脆弱性削减机制[J]. 系统工程理论与实践，35(3)：556-566.
[17] 路畅，王媛媛，于渤，等，2019. 制度环境、技术创新与传统产业升级——基于中国省际面板数据的门槛回归分析[J]. 科技进步与对策，36(14)：62-68.
[18] 满轲，2016. 岩石动态断裂韧性测试的失稳判据研究[J]. 科学技术与工程，16(29)：147-152.
[19] 庞敏，夏周培，2020. 金融创新对产业结构升级的影响机制与效应分析——基于中介效应和空间效应的解析[J]. 工业技术经济，39(9)：30-38.
[20] 钱学锋，裴婷，2021. 国内国际双循环新发展格局：理论逻辑与内生动力[J]. 重庆大学学报(社会科学版)，27(1)：14-26.
[21] 史丹，2018. 绿色发展与全球工业化的新阶段：中国的进展与比较[J]. 中国工业经济，(10)：5-18.
[22] 苏杭，2015. 经济韧性问题研究进展[J]. 经济学动态，(8)：144-151.
[23] 汤敏，李仕明，刘斌，2019. 突发灾害背景下组织韧性及其演化——东方汽轮机有限公司应对“5. 12”汶川地震与恢复重建的案例研究[J]. 技术经济，38(1)：28-37.
[24] 王海兵，杨蕙馨，2016. 创新驱动与现代产业发展体系——基于我国省际面板数据的实证分析[J]. 经济学(季刊)，15(4)：1351-1386.
[25] 王立新，曹梅英，2018. 技术创新与产业升级的互动机制[J]. 系统工程，36(6)：37-46.
[26] 王希元，2020. 创新驱动产业结构升级的制度基础——基于门槛模型的实证研究[J]. 科技进步与对策，37(6)：102-110.
[27] 温忠麟，叶宝娟，2014. 中介效应分析：方法和模型发展[J]. 心理科学进展，22(5)：731-745.
[28] 吴振华，2021. 技术创新影响产业结构优化的门槛效应研究[J]. 中国科技论坛，(4)：1-11.
[29] 肖智文，王国庆，朱建明，等，2019. 面向突发事件的电网韧性能力评价及构建方法[J]. 系统工程理论与实践，39(10)：2637-2645.
[30] 谢会强，封海燕，马昱，2021. 空间效应视角下高技术产业集聚、技术创新对经济高质量发展的影响研究[J]. 经济问题探索，(4)：123-132.
[31] 杨耀武，张平，2021. 中国经济高质量发展的逻辑、测度与治理[J]. 经济研究，56(1)：26-42.
[32] 殷为华，2019. 长三角城市群工业韧性综合评价及其空间演化研究[J]. 学术论坛，42(5)：124-132.
[33] 俞国军，贺灿飞，朱晟君，2020. 产业集群韧性：技术创新、关系治理与市场多元化[J]. 地理研究，39(6)：1343-1356.
[34] 曾冰，2020. 区域经济韧性内涵辨析与指标体系构建[J]. 区域金融研究，(7)：74-78.
[35] 曾冰，张艳，2018. 区域经济韧性概念内涵及其研究进展评述[J]. 经济问题探索，(1)：176-182.
[36] 张宝建，裴梦丹，2020. 企业韧性战略的双重选择——基于可持续创新理论[J]. 现代经济探讨，(9)：89-97.
[37] 张勇，周霞，2020. 京津冀城市群工业韧性评价及对策建议[J]. 当代经济，(9)：73-75.
[38] 赵坤，荆林波，孙锐，等，2021. 创业企业韧性如何促进新产品开发？——资源保护理论视角下的单案例研究[J]. 技术经济，40(5)：133-145.
[39] 周柯，王尹君，2019. 环境规制、科技创新与产业结构升级[J]. 工业技术经济，38(2)：137-144.
[40] BARON R M，KENNY D A，1986. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research：Conceptual，strategic，and statistical considerations[J]. Journal of Personality and Social Psychology，51(6)：1173-1182.
[41] BRESCHI S，MALERBA F，ORSENIGO L，2000. Technological regimes and schumpeterian patterns of innovation[J]. The Economic Journal，110(463)：388-410.
[42] BRIGUGLIO L，CORDINA G，FARRUGIA N，et al，2009. Economic vulnerability and resilience：Concepts and measurements[J]. Oxford Development Studies，37(3)：229-247.
[43] BROWN L，GREENBAUM R T，2017. The role of industrial diversity in economic resilience：An empirical examination across 35 years[J]. Urban StudWies，54(6)：1347-1366.
[44] CANOVA F，COUTINHO L，KONTOLEMIS Z，2012. Measuring the macroeconomic resilience of industrial sectors in the

EU and assessing the role of product market regulations[J]. Occasional Papers European Commission, 112(7): 7-82.
[45] CRESCENZI R, PIETROBELLI C, RABELLOTTI R, 2014. Corrigendum to: Innovation drivers, value chains and the geography of multinational corporations in Europe[J]. Journal of Economic Geography, 14(6): 1053-1086.
[46] CUADRADO-ROURA J R, MAROTO A, 2016. Unbalanced regional resilience to the economic crisis in Spain: A tale of specialisation and productivity[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 9(1): 153-178.
[47] DAVIES S, 2011. Regional resilience in the 2008—2010 downturn: Comparative evidence from european countries[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 4(3): 369-382.
[48] DI CARO P, 2015. Recessions, recoveries and regional resilience: Evidence on Italy[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 8(2): 273-291.
[49] DORAN J, FINGLETON B, 2018. US metropolitan area resilience: Insights from dynamic spatial panel estimation[J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 50(1): 11-132.
[50] EVANS R, KARECHA J, 2014. Staying on top: Why is munich so resilient and successful?[J]. European Planning Studies, 22(6): 1259-1279.
[51] HAN Y, GOETZ S J, 2019. Predicting US county economic resilience from industry input-output accounts[J]. Applied Economics, 51(19): 2019-2028.
[52] HANSEN B E, 1996. Inference when a nuisance parameter is notidentified under the null hypothesis[J]. Econometrica, 64(2): 413-430.
[53] JUNAID M, XUE Y, SYED M W, et al, 2019. A neutrosophic ahp and topsis framework for supply chain risk assessment in automotive industry of Pakistan[J]. Sustainability, 12(1): 1-26.
[54] KLEPPER S, 2002. Firm survival and the evolution of oligopoly[J]. The Rand Journal of Economics, 33(1): 37-61.
[55] MARTIN R, 2012. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks[J]. Narnia, 12(1): 1-32.
[56] RAJESH R, 2020. A novel advanced grey incidence analysis for investigating the level of resilience in supply chains[J]. Annals of Operations Research, 306(1-2): 1-50.
[57] SONI U, JAIN V, KUMAR S, 2014. Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 74: 11-25.
[58] XU Y S, WARNER M E, 2015. Understanding employment growth in the recession: The geographic diversity of state rescaling[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 8(2): 359-377.

Technological Innovation, Industrial Upgrading and Industrial Resilience of High-tech Manufacturing Industry

Zheng Tao, Yang Ruxue

(School of Economics and Management, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, Hebei, China)

Abstract: Based on the time series data of China's high-tech manufacturing industry from 1997 to 2019, and based on the theoretical analysis, the least square method, the two-stage least square method of instrumental variables, the mediating effect and the threshold effect model were used to conduct an empirical study on how technological innovation and industrial upgrading affect industrial resilience. The results show that technological innovation has a positive effect on the resilience of high-tech manufacturing industry. It has a stronger positive effect on impact resilience. Industrial upgrading plays a mediating role in the positive effect of technological innovation on industrial resilience, and there is an indirect effect that technological innovation enhances industrial resilience through promoting industrial upgrading. Industrial upgrading has a stronger mediating effect on fracture resilience than impact resilience. Industrial resilience can be used as threshold variables, and plays a threshold effect in the promotion of technological innovation and industrial upgrading on industrial resilience. Under the high level of industrial resilience, the positive promoting effects of technological innovation and industrial upgrading on industrial resilience are enhanced. The research conclusions provide policy enlightenment for the high-tech manufacturing industry to enhance the level of industrial resilience and promote the construction of manufacturing power.

Keywords: industrial resilience; technological innovation; industrial upgrading; mediating effect; threshold effect