



# 经济理论与经济管理

工作论文系列

Working Paper Series

## 智能制造试点示范溢出与关键技术创新

皮建才 罗禹涵

ETBMWP2025004

- \* 本刊编辑部推出工作论文项目，将“拟用稿”而尚未发表的稿件，以工作论文的方式在官网呈现，旨在及时传播学术成果，传递学术动态。  
本刊所展示的工作论文，与正式刊发版可能会存在差异。如若工作论文被发现存在问题，则仍有被退稿的可能。各位读者如有任何问题，请及时联系本刊编辑部，期待与您共同努力、改进完善。  
联系人：李老师；联系电话：010-62511022

# 智能制造试点示范溢出与 关键技术创新<sup>\*</sup>

皮建才 罗禹涵

**[摘要]** 关键技术体系的建设是发展新质生产力的重要前提。本文将中国智能制造试点示范政策视为准自然实验，探寻这一基于优秀智能工厂、平台的试点示范与推广行为是否以及如何有助于带动区域内非试点企业进行关键技术创新。实证分析发现：(1) 政策显著地提高了同城市非试点企业的关键技术创新水平。(2) 知识溢出效应与市场探索效应是重要渠道。(3) 关键技术创新水平的提升更容易发生在融资约束问题小、所处市场集中度高、受研发补贴多的企业身上。非关键技术创新则并不会明显受上述因素制约。(4) 非智能制造领域的关键技术创新水平也有显著提升，各企业的关键技术创新策略呈现稳中求进的特征。综合上述发现，本文为我国如何进一步以点带面攻关核心技术体系提供了一定的启示。

**[关键词]** 智能制造；关键技术创新；溢出效应

## (一) 引言

党的二十届三中全会审议通过了《中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定》，提出要“统筹强化关键核心技术攻关，推动科技创新力量、要素配置、人才队伍体系化、建制化、协同化”，要“强化企业科技创新主体地位，建立培育壮大科技领军企业机制”。2024年12月中央经济工作会议进一步强调，要“加强基础研究和关键核心技术攻关，超前布局重大科技项目，开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动”。关键技术体系的构建对我国实现高质量发展具有极为重要的意义。一方面，在国际形势不确定性较强的情况下，部分发达国家对我国产业链供应链进行的“卡脖子”行为在相当程度上威胁着我国生产安全。其核心原因在于我国相关上游行业关键技术缺失，很难在短期内进行投入品的国内替代。另一方面，关键技术发展也是新质生产力发展的重要前提。我国在新能源、新能源汽车、新材料等领域的优势产业近年来发展迅速。通过创新，强化在此类关键技术领域内的自主话语权，有助于为未来高水平的对外开放提供保障（陈峰，2019）。

尽管关键技术价值重大，但激励企业广泛进行研发活动通常较为困难。一方面，关键技术涉及多门类知识融合，技术复杂度高。另一方面，关键技术产品的研发和市场实现，通常需要基础

<sup>\*</sup> 皮建才（通讯作者）、罗禹涵，南京大学经济学院，邮政编码：210093，电子信箱：pi2008@nju.edu.cn。感谢匿名审稿专家提出的修改建议，笔者已做了相应修改，本文文责自负。

## 皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

工艺、核心元部件、系统构架与机器设备等各环节协同（陈劲等，2020）。企业即使完成了某项关键技术创新活动，也仍需与掌握其他关键技术的企业进行长期技术协调，以实现研发成果的商业化。因此，相较于一般技术创新，关键技术创新本质上可以被视为一种具有更高研发成本、更长市场回报周期的投资行为。研发路线不明确、成功率低、市场激励不足，这些因素共同构成了关键技术创新的主要障碍。

智能制造试点是促进新一代信息通信技术与先进制造技术融合的政策方略。智能制造试点示范政策虽以少部分企业作为被试点对象，但其核心目的在于通过被试点对象的示范作用为区域内企业提供可复制、可推广的先进技术制造标准，且发挥平台效应，增强企业间的技术与生产关联。具体来说，该试点示范政策可以从知识溢出与市场探索两个重要渠道促进区域内企业进行关键技术创新。

首先，智能制造试点示范政策旨在推动智能化、信息化等关键技术的普及与传播（尹洪英和李闯，2022）。具有研发与生产优势的被试点企业优先积累关键技术创新成果，初步构建技术标准体系，为同区域内其他非试点企业提供关键技术的知识溢出。其他企业不仅可以直接基于被试点企业带来的新知识进行创新，还能将其与已有知识融合，形成具有独特性的关键技术领域知识组合，并将知识组合进行再次传播。这些知识溢出以企业间合作、业务交流等具体形式，为企业提供了学习借鉴的蓝本，降低了关键技术创新的研发成本（Romer，1986；黄凯南等，2022）。

其次，智能制造通过柔性生产满足个性化需求，能够拓宽中间品与最终品市场，促进产业链协同（黄卓等，2024）。试点企业在此过程中发挥平台作用，协调产业链上下游供需匹配，一方面降低了本地企业从产品生产到销售过程中可能面临的市场不确定性，另一方面扩大了有效市场规模。市场不确定性的下降能够在一定程度上降低企业经营风险，从而提高关键技术创新这类长期投资行为的意愿。营收规模的增长则在普遍意义上提高了创新的边际收益。此外，被试点企业优先应用关键技术领域的新技术探索新市场，明确商业化路径，能够创造与关键技术相关的产品的市场机会（李磊等，2022）。

不过，智能制造试点也可能对同区域的非试点企业产生潜在的负面影响。由于社会资本供给具有稀缺性，试点企业对社会资本的过度集中，可能反而使周边企业的关键技术创新得不到足够的资金支持。此外，企业的创新也受既有融资约束水平、市场竞争状况、补贴状况等多种因素制约。因此，智能制造试点示范政策是否能够促进区域内企业普遍进行关键技术创新，具有较强的探索价值。

本文主要使用了上市公司2010—2019年的数据，基于智能制造试点这一准自然实验，研究智能制造试点示范政策是否以及如何对同区域内企业的关键技术创新产生促进作用。基准回归结果表明，智能制造试点示范政策能够促进城市内非试点企业进行关键技术创新，政策的跨城市溢出效应则相对有限。知识溢出效应与市场探索效应导致了这一结果产生。异质性分析的结果表明，智能制造试点对关键技术创新的政策溢出更容易体现在融资约束程度低、所处市场集中度高、受研发补贴多的企业上，而这种制约在非关键技术创新上则不明显。

与近年来文献相比较，本文的贡献主要体现在如下三个方面：

首先，本文所研究的关键技术创新问题虽然具有较强现实意义，但实证文献仍较为稀少（吴超鹏和严泽浩，2023），本文的研究有助于为相应领域提供更多的经验依据。

其次，已有文献通常更关注智能制造试点示范政策对被试点企业的直接影响（尹洪英和李闯，2022；权小锋和李闯，2022；黄卓等，2024）。本文聚焦于智能制造试点示范政策对试点企业所处区域内非试点企业的溢出影响，以揭示过去可能被忽视的政策效应。

最后，本文主要从知识溢出与市场探索两个视角对作用渠道进行了讨论，并对比了关键技术

创新与非关键技术创新在部分调节变量下的差异，以完善智能制造试点与关键技术创新间可能存在的理论机制联系。

本文余下部分安排如下：第二部分为政策背景与理论分析；第三部分为研究设计；第四部分为基准回归结果呈现与稳健性检验；第五部分为机制分析；第六部分为异质性分析；第七部分为拓展分析；最后为本文主要结论与政策建议。

## （二）政策背景与理论分析

### （一）智能制造试点示范政策背景

智能制造是指在现代传感技术、网络技术、自动化技术、拟人化智能技术等先进技术的基础上，通过智能化感知、柔性化生产、人机交互，实现设计过程、制造过程和企业管理智能化的一种先进制造模式。其最终目的在于提高生产效率、降低生产成本、提升产品质量和满足个性化需求。

中国于 2015 年 3 月 9 日启动智能制造试点示范专项行动，下发了《2015 年智能制造试点示范专项行动实施方案》。该方案内的示范项目主要包括六个类别：①以智能工厂为代表的流程制造试点示范项目。②以数字化车间为代表的离散制造试点示范项目。③以信息技术深度嵌入为代表的智能装备（产品）试点示范项目。④以个性化定制、网络协同开发、电子商务为代表的智能制造新业态新模式试点示范项目。⑤以物流信息化、能源管理智慧化为代表的智能化管理试点示范项目。⑥以在线监测、远程诊断与云服务为代表的智能服务试点示范项目。

智能制造试点示范政策的实施流程为地方推荐与中央遴选。该政策要求被试点单位满足运营和财务状况良好、项目技术处于领先水平、符合示范项目类别、项目在“降低运营成本、缩短产品研制周期、提高生产效率、降低产品不良品率、提高能源资源利用率五个方面”已取得显著成效等条件。

从智能制造试点示范政策的时间线来看，中华人民共和国工业和信息化部于 2015 年 7 月 21 日公布了首批入选的 46 个试点项目，并在 2016 年、2017 年、2018 年扩大试点规模。有关公告的具体公布时间以及涉及单位、城市数被统计在了表 1 中。该政策的试点单位个数从 2015 年的 46 个增加到 2018 年的 99 个。至 2018 年底，总计有 306 个申报单位受到试点，覆盖了 31 个省份、116 个城市以及 47 个行业大类。

表 1 智能制造试点示范政策时间线

公告名称	公布时间	涉及单位个数	涉及城市数
2015 年智能制造试点示范项目名单公布	2015 年 7 月 21 日	46	31
2016 年智能制造试点示范项目公示	2016 年 6 月 17 日	64	32
工业和信息化部关于公布 2017 年智能制造试点示范项目名单的通告	2017 年 9 月 29 日	97	30
2018 年智能制造试点示范项目公示	2018 年 7 月 31 日	99	23

### （二）理论分析与研究假设

关键技术这一概念的出现与国家战略安全的强调密不可分。例如，陈峰（2019）将国家关键核心技术定义为“国际竞争环境下，对特定国家的经济科技国际竞争优势和国家安全都产生了重大影响战略高技术，是特定国家与竞争对手国家之间倾力攻防拼争主导权和长期竞争优势的高

## 皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

技术领域”。本文对关键技术的定义依然从国家战略视角入手，但补充强调其技术上的共性，以更加容易进行抽象分析。关键技术主要体现为如下两个特征：

第一个特征是战略重要性与安全性。关键核心技术的首要特征在于其对国家整体战略利益具有深远影响。它们既是科技进步的基础，也是国家竞争力的核心体现。在全球化的背景下，少数国家或企业在这些技术领域的垄断行为，使其成为了国际博弈的筹码。

第二个特征是技术内部复杂性与外部关联性。关键核心技术的内部复杂性，体现在它们往往是跨学科、多技术门类融合的结果。例如，半导体元件相关技术的研发过程可能同时涉及微电子科学与工程、电子信息工程、光学、电子学、材料科学、机械工程与自动化、算法设计等技术领域知识。外部关联性则体现在技术之间的嵌合。一项成熟的关键技术领域产品的市场实现通常需要材料制备、器件设计、制造、封装、应用等多个环节的关键技术联合发力。

基于上述分析，本文将关键技术创新界定为一种创新活动，其在宏观层面上对国家产业的发展与安全保障有战略重要性，且在微观层面伴随着研发投入成本高、市场回报周期较长的共同特征；其不仅在技术研发上依赖于多学科领域知识的相互融合，还在价值实现上更依赖于技术间的协调。因此，关键技术创新与非关键技术创新存在天然的门槛差异。

智能制造试点示范政策首先会对被试点企业产生直接影响。被试点企业在智能化转型过程中通过建立智能工厂、升级企业信息化系统以及广泛应用工业机器人等措施提高了生产效率和灵活性，为企业的创新活动打下了坚实基础（李磊等，2022）。此外，被试点企业更容易吸引金融机构和社会资本关注，这降低了企业在研发投入上的资金门槛。

由于信息化、智能化本身就属于关键技术范畴，被试点企业在新技术、新工艺和新业态上的发展，有助于通过示范行为，为其他企业提供关键技术创新可行路径。此外，智能制造的技术性质还使被试点企业同时发挥着平台作用。本文将这一政策过程对区域内非试点企业的影响的机制总结为知识溢出效应与市场探索效应。

1. 知识溢出效应。知识可以被视为创新的源泉，其具有明显的正外部性（Romer, 1986；黄凯南等，2022）。智能制造试点政策是针智能化、信息化关键技术领域的试点开拓。被试点企业优先累积关键技术创新成果，通过企业间的学习与模仿、人才流动与相互交流、合作研发等形式，为其余企业提供关键技术知识，降低其在关键技术领域的研发成本。此外，智能制造试点还伴随着标准体系的动态跟进。标准对技术路线的明确化有助于使知识更容易在企业间传播（曹虹剑等，2016）。

最后，在被试点企业传播与关键技术创新相关的新知识后，区域内企业还能够将其与既有知识进行整合与重构，派生更多具有独特性的关键技术知识组合，并再次进行传播，增强了知识溢出效应的强度与广度。总的来看，由于知识溢出效应涉及学习模仿过程，其大小一方面取决于企业间知识交流意愿，另一方面取决于企业间知识相似度（Koo, 2007）。若知识溢出渠道存在，则在知识交流较频繁、知识相似度较高的地区，由政策带来的关键技术创新提高效率通常会更加明显。

2. 市场探索效应。市场需求对创新的引致作用也在文献中被广泛证实（Fabrizio & Thomas, 2012；吕越等，2023）。这种需求既可以来源于最终品消费者，也可以来源于中间品投入厂商。智能制造试点政策的市场探索效应首先可以从市场不确定性降低与市场规模扩大两个角度来体现。

本文所关注的市场不确定性主要指企业按事前预期的供给在事后无法与市场需求匹配的可能性，市场规模主要指企业的实际销售收入规模。被试点企业可以发挥平台作用，促进区域内企业通过智能化转型实现上下游间的业务互联，降低搜寻匹配成本。企业通过柔性生产对接，能够更

加灵活地满足客户的个性化需求（黄卓等，2024）。

外部需求信息与内部供给信息更加精确的匹配，降低了市场不确定性，使企业的事前生产规划与事后销售呈现更强的一致性。且平台对供需匹配的促进作用也在相当程度上扩大了企业面临的有效市场规模。就关键技术创新而言，市场不确定性的降低有助于降低企业的经营风险，从而更愿意进行关键技术创新这一类高成本、长回报周期的创新活动。市场规模的扩张则进一步提高了创新的边际收益。

此外，被试点企业也是应用关键技术创新成果的先驱。政策通过支持被试点企业先行探索未知市场领域，使其承担起关键技术创新的“探路者”角色，提升市场对于此类创新的接纳度和支付意愿，创造了市场机会。这有助于提高关键技术创新相关投资的贴现收益，激励其他企业分配更大比重的研发资源到此类创新中。

基于上述分析，本文提出以下三个假说：

假说 1：智能制造试点示范政策能够有助于提高与被试点企业处于同区域的其他非试点企业的关键技术创新水平。

假说 2：基于知识溢出效应，智能制造试点示范政策有助于促进企业间技术合作与交流，使关键技术创新水平提升。其对知识交流积极度较高、处于知识相似度较高地区的企业的技术创新促进效应更明显。

假说 3：基于市场探索效应，智能制造试点示范政策有助于降低市场不确定性、扩大市场规模、增加与关键技术创新相关的市场机会，促进关键技术创新水平提升。

### （三）研究设计

#### （一）数据来源

本文使用的上市公司财务数据来源于国泰安数据库，时间窗口为 2010—2019 年。选择该时间窗口的原因如下：①十三五时期智能制造试点的正式实施时间点分布于 2015—2018 年，使用上述时间窗口能更好地分析政策的事前趋势与事后影响。②排除新冠疫情可能对企业生产经营与创新活动带来的影响。③发明专利的申请、授权、引用均具有截断偏差的特征<sup>①</sup>，选取时间较为靠前的年份有助于缓解这一偏差带来的影响<sup>②</sup>。

参考 Zheng et al.（2017）研究政策溢出效应的思路，为估计政策试点对同区域内非试点企业的影响，本文剔除了样本内直接参与试点的企业样本。此外，本文对上市公司样本进行了如下筛选：①剔除上市年份持续时间不足 5 年的企业。②剔除具有退市标识的企业。③剔除金融业企业。④剔除部分数据有缺失的企业。其余数据中，与城市特征相关的变量主要来源于《城市统计年鉴》。智能制造试点示范项目文件来源于中华人民共和国工业和信息化部官网。上市公司的专利申请、授权、引用等相关数据来源于 CNRDS 数据库。

#### （二）变量定义

1. 核心被解释变量：企业关键技术创新水平。本文以关键技术领域的发明专利申请作为企

<sup>①</sup> 《中华人民共和国专利法（2020 修正）》第三十四条规定，国务院专利行政部门收到发明专利申请后，经初步审查认为符合本法要求的，自申请日起满十八个月，即行公布。在此基础上，从申请到授权还会有更长的等待周期。发明专利申请的时间越靠后，其在未来的授权状况越无法被统计，这使得年份靠后的发明专利授权量会产生明显低估。发明专利引用的截断偏差道理相似，年份越靠后，其通过被引数衡量的价值越容易被低估。

<sup>②</sup> 从稳健性的角度考虑，本文补充了使用 2010—2022 年的上市公司样本进行回归的结果。限于篇幅，相关讨论如需备索。

## 皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

业关键技术创新能力的衡量。本文对关键技术的识别基于国家知识产权局办公室于2021年印发的《战略性新兴产业分类与国际专利分类参照关系表（2021）（试行）》，其包含“新一代信息技术产业、高端装备制造产业、新材料产业、生物产业、新能源汽车产业、新能源产业、节能环保产业、数字创意产业、相关服务业，以及脑科学、量子信息和区块链等关键核心技术领域”。

该参照关系表提供了精确到小组层面的国际专利分类号（IPC）。依据上市公司发明专利申请与授权数据，若专利的分类号在参照表中有对应，则该专利被定义为关键技术领域的专利。具体而言，对于该参照表中明确标注到小组层面的专利分类号（如H04L27/26），本文将样本的发明专利分类号与之——匹配。对于参照表中用更高层级的组别与“不含”提供的分类范围（如B41J\*（不含B41J2\*）），本文首先识别样本的专利分类号是否属于该高层级组别，然后再识别其是否属于“不含”的组别，并检查“不含”是否是因为该分类被分到了参照表内的其他关键技术子领域上，最终再确认样本的专利分类是否属于参照表范围内。

本文分别统计了样本企业的发明专利申请总量、关键技术发明专利申请量、非关键技术发明专利申请量、细分领域的关键技术发明专利申请随时间的变化情况。<sup>①</sup>非关键技术发明专利的申请数在2016年之后的增长趋势逐渐放缓，而关键技术发明专利的申请数的增长趋势在逐渐增强。关键技术发明专利申请中，新一代信息技术产业与新材料产业的发明专利申请占据主要部分。高端装备制造业与新能源相关产业的发明专利申请随时间推移占比逐渐增加。

本文还考虑将关键技术发明专利授权、被引作为关键技术创新的替代指标。由于上市公司的专利授权周期通常在1—6年左右，以数据库2022年末观测的专利授权为基准，关键技术发明专利授权数从2016年开始就出现了下降趋势。<sup>②</sup>关键技术发明专利被引数同样也存在截断偏差问题。因此，在后续的实证检验中，本文主要将关键技术发明专利申请数作为被解释变量，其他创新指标作为稳健性检验的补充。

2. 解释变量：智能制造试点。智能制造试点示范政策明确公布了试点单位名称，本文进一步根据企查查数据平台与百度搜索引擎确定了试点示范相关企业的行业、所在地、公司类型信息。自2015年开始，每年新增加的试点覆盖城市数目相近。<sup>③</sup>这意味着智能制造试点政策的区域选择在一定程度上会考虑试点城市的多样性。这给予本文启发，在基准回归中首先针对试点政策的同城市溢出影响展开研究。<sup>④</sup>相应地，智能制造试点变量则按样本内某企业所处城市是否发生试点政策划分为处理组与对照组。<sup>⑤</sup>

另一个值得讨论的问题在于时间节点的选取。考虑到溢出效应的传导、企业研发创新过程需要一定时间，且工信部公布智能制造试点的时间节点均位于下半年。因此，本文将该政策变量实际发挥影响的时间节点定义为示范项目公布后的次年。

3. 控制变量。在城市层面，本文控制了人均GDP、互联网用户数、地方政府一般预算内支出、实际使用外资金额，以反映城市经济发展、信息基础设施、政府财政以及对外开放状况。在企业层面，本文控制了企业年龄的对数、资本密集度、股权性质、资产规模、资产回报率、资产

① 限于篇幅，相关讨论如需备索。

② 限于篇幅，相关讨论如需备索。

③ 限于篇幅，相关讨论如需备索。

④ 后文的稳健性分析表明，该政策的跨城市溢出效应的影响较为有限。

⑤ 为避免表述歧义，后文所提及的“处理组”均指与智能制造直接试点企业处于同一城市，但未被直接试点的企业。“对照组”则是既不与智能制造直接试点企业处于同一城市，且也未被直接试点的企业。因此，处理效应也指的是政策在同城市内的溢出影响，不包括政策对极少数被试点企业的直接影响。

负债率。所有控制变量都进行了 1% 的缩尾处理。

本文在表 2 呈现了后文表格主要涉及的被解释变量、解释变量与控制变量的变量名及具体定义。<sup>①</sup>

表 2 变量定义

变量类型	变量名	注释
核心被解释变量	<i>Apply_inv_zl</i>	关键技术发明专利申请数
	<i>Apply_inv_nozl</i>	非关键技术发明专利申请数
其他被解释变量	<i>Apply_inv_zl_joint</i>	关键技术发明专利联合申请数
	<i>Volatility_pre</i>	前向市场不确定性
	<i>Volatility_current</i>	当期市场不确定性
	<i>Volatility_post</i>	后向市场不确定性
	<i>Sale</i>	销售收入 (元)
	<i>Saleshare</i>	企业在所处行业的市场份额
	解释变量	<i>Policy</i>
控制变量	<i>ROA</i>	以税后净利润/总资产计算的资产回报率
	<i>Lnage</i>	企业年龄对数
	<i>KI</i>	以总资产/营业收入衡量的资本密集度
	<i>Ifdome</i>	股权性质 (国有企业=1)
	<i>Size</i>	资产规模 (元)
	<i>KD</i>	资产负债率
	<i>Meangdp</i>	人均 GDP (元)
	<i>Infor</i>	每万人互联网用户数
	<i>Finsgov</i>	地方政府一般预算内支出 (元)
	<i>FDI</i>	当年实际使用外资金额 (美元)

### (三) 实证策略

本文基准回归模型设定如下：

$$Innovation_{it} = \beta_0 + \beta_1 Policy_{ct} + \gamma Controls_{it} + \delta_i + \theta_{jt} + \mu_{pt} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中，*i* 为企业，*t* 为年份，*c* 为企业所属城市，*j* 为企业所处证监会 2012 年行业分类，*p* 为企业所属省份。被解释变量 *Innovation<sub>it</sub>* 为企业 *i* 在 *t* 年的关键技术创新水平，以企业 *i* 在 *t* 年的属于关键技术领域的发明专利申请数进行衡量，并以发明专利申请并获得授权数、发明专利被引用量等作为替代变量进行稳健性估计。<sup>②</sup> *Policy<sub>ct</sub>* 衡量了 *i* 企业所属城市 *c* 是否受政策试点影响。若受影响，该变量此后年份取值为 1，否则为 0。*Controls<sub>it</sub>* 为企业特征与城市特征控制变量。本文

<sup>①</sup> 限于篇幅，其余未在正文表格中呈现的变量的定义以及描述性统计结果如需备索。

<sup>②</sup> 借鉴吕越等 (2023) 的思路，本文将被解释变量进行加 1 取对数，并对原指标进行负二项回归作为稳健性检验。



## 皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

进一步控制了企业的个体、行业—时间交互、省份—时间交互固定效应，以减少企业个体、时间、地区—时间、行业—时间维度特征可能带来的内生性问题。

在样本已剔除直接受试点企业的情况下， $\beta_1$  估计了与被试点企业属于同城市的非试点企业（处理组）与不属于同城市的非试点企业（对照组）在政策发生前后的关键技术创新水平变化差异。如果  $\beta_1$  显著为正，说明该政策可以对同一城市内的非试点企业的关键技术创新产生正向溢出影响。

### （四）智能制造试点示范政策对同城市企业关键技术创新的影响

#### （一）基准回归

本文在表 3 呈现了基准回归结果。列（1）~列（5）逐渐增加企业、城市维度控制变量与固定效应。列（5）将标准误聚类到城市维度，使其与核心解释变量的层级相同。基准回归结果表明，在其他条件不变的情况下，智能制造试点政策有助于城市内非试点企业提高关键技术创新水平，假说 1 成立。

表 3 基准回归

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	$\ln(\text{Apply\_inv\_zl})$	$\ln(\text{Apply\_inv\_zl})$	$\ln(\text{Apply\_inv\_zl})$	$\ln(\text{Apply\_inv\_zl})$	$\ln(\text{Apply\_inv\_zl})$
Policy	0.7008*** (0.0207)	0.0977*** (0.0210)	0.0787*** (0.0204)	0.0611*** (0.0225)	0.1287*** (0.0423)
企业控制变量	否	否	是	是	是
城市控制变量	否	否	否	是	是
企业固定效应	否	是	是	是	是
年份固定效应	否	是	是	是	是
行业×时间固定效应	否	否	否	否	是
省份×时间固定效应	否	否	否	否	是
观测值	22076	22074	21703	20652	20607
调整 R <sup>2</sup>	0.049	0.732	0.753	0.753	0.764

注：括号内为标准误，\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著，下同。列（1）—列（4）未使用聚类稳健标准误，列（5）将标准误聚类到城市维度。如无特殊说明，后续回归均默认使用城市维度的聚类稳健标准误。限于篇幅，包含控制变量系数与标准误的完整回归结果如需备案。

#### （二）溢出效应稳健性与溢出强度讨论

1. 组间溢出效应讨论。从实际情况来看，智能制造试点政策可能还会出现跨城市溢出效应（组间溢出效应），这会导致部分对照组企业也会受到试点政策溢出效应影响而提高关键技术创新水平，进而使基准回归政策变量的系数被低估。

首先，本文借鉴曹清峰（2020）的思路，测度政策空间溢出效应的临界距离。然后基于此距离将对照组划分为近距离对照组与远距离对照组，分别重新进行回归。结果表明，组间溢出效应的干扰相对有限。<sup>①</sup>

<sup>①</sup> 限于篇幅，空间溢出效应的估计与区分远近对照组的回归结果如需备案。

其次，本文还考虑了同行业间溢出效应、同省份其他城市溢出效应、企业注册地选择等问题可能会对基准回归中以城市为单元进行溢出效应分析带来的挑战。结果均表明这一估计策略相对稳健。<sup>①</sup>

2. 溢出强度讨论。本文根据条件平均处理效应 (CATE) 的思路，对样本按照受政策溢出强度程度的大小进行分组，以验证结果是否符合理论预期。本文借鉴袁其刚等 (2015) 构建了城市层面的产业集聚程度指标以反映受溢出影响的程度。结果表明，产业集聚程度较高地区的政策效应相对更强，与预期相符。<sup>②</sup>

### (3) 内生性问题讨论

为了缓解内生性问题对本文估计结果带来的挑战，本文分别考虑使用基于因子估计的个体一时间交互固定效应模型 (IFE)、工具变量 (IV) 以及倾向得分匹配 (PSM) 方法进行估计。

首先，基于因子估计的 IFE 可以引入个体与时间的交互，以容许共同因素在不同个体间的影响存在差异 (Bai, 2009)。在这种情况下，如果核心解释变量的结果依然显著，说明核心解释变量并不容易受既随时间变化又随个体变化的特征影响。使用 IFE 回归的结果如表 4 列 (1) 所示，系数方向与显著性与基准回归基本一致。

然后，本文考虑构建工具变量进行分析。首先，智能制造涉及“数”与“智”的融合。因此，借鉴数字化转型与工业机器人应用的相关研究 (黄群慧等, 2019; 姚笛等, 2023)，本文采用转移一份额 (Shift-Share) 方法构造所需的工具变量。本文使用各地区 2009 年的工业机器人装机密度作为地区的初始份额，并与全国互联网用户数进行交互，以构造出时变的工具变量。该变量的外生性一方面源于份额的初期不变性，另一方面源于冲击的宏观性。由于机器人使用较多的地区的产业基础条件会更适宜发展智能制造，被优先选为试点地区的概率相对较高，因此满足相关性条件。

此外，本文还考虑借鉴孙伟增等 (2022) 的思路，构造假想的智能制造试点变量作为工具变量。借鉴袁劭等 (2024) 的做法，本文使用美国行业标准计算的国内各地区的工业机器人渗透度评价一个地区开展智能制造试点的迫切性。<sup>③</sup> 本文逐年将地区按该指标从高到低排序，并按照真实政策的发生时点以及每年被试点地区数量，筛选出假想的被试点地区，从而构造出相应的工具变量。如果按发达国家的标准，一个地区迫切需要投入更多的工业机器人，那么这些地区也相对有更高的概率成为优先试点对象，因此相关性条件满足。同时，该变量只取决于期初的地区产业结构以及时变的美国行业机器人应用状况，相对外生于各地区经济特征，因此外生性条件也能够得到满足。

本文分别使用上述两个工具变量进行了两阶段最小二乘法回归，表 4 的列 (2) ~ 列 (5) 呈现了相应的结果。第一阶段回归的 F 值大于 10，按照工具变量的经验准则，可以认为不存在明显的弱工具变量问题。且 *Kleibergen-Paap rk Wald F* 统计量均大于 15% 的 *Stock-Yogo* 弱工具变量检验偏误的临界值，同样支持这一结论。第二阶段的回归结果的系数方向与基准回归相同，且均显著，说明在考虑内生性问题的情况下，基准回归的结果是稳健的。

最后，本文还使用了 PSM 基于地区特征对样本进行匹配。<sup>④</sup> 使用保留存在匹配权重的样本以及满足共同支撑假说的样本进行回归的结果在表 4 列 (6) 与列 (7) 呈现。结果表明基准回归的结果依然是稳健的。

① 限于篇幅，相关讨论如需备案。

② 限于篇幅，产业集聚程度指标构造方法详情与回归结果如需备案。

③ 限于篇幅工业机器人渗透度的构造方法详情如需备案。

④ 限于篇幅，PSM 匹配变量选择、匹配思路以及平衡性检验结果如需备案。

皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

表 4 内生性问题讨论

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	$\ln(Apply\_inv\_zl)$	第一阶段 <i>Policy</i>	第二阶段 $\ln(Apply\_inv\_zl)$	第一阶段 <i>Policy</i>	第二阶段 $\ln(Apply\_inv\_zl)$	$\ln(Apply\_inv\_zl)$	$\ln(Apply\_inv\_zl)$
<i>Policy</i>	0.109 0*** (0.027 0)		0.384 3** (0.183 8)		0.555 3* (0.316 9)	0.279 6*** (0.071 6)	0.268 5*** (0.073 2)
<i>IV1</i>		0.054 7*** (0.008 6)					
<i>IV2</i>				0.178 6*** (0.051 1)			
企业控制变量	是	是	是	是	是	是	是
城市控制变量	是	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是	是
行业×时间 固定效应	是	是	是	是	是	是	是
省份×时间 固定效应	是	是	是	是	是	是	是
<i>Kleibergen- Paap rk LM</i> 统计量			21.355 [0.000 0]		8.982 [0.002 7]		
<i>Kleibergen- Paap rk Wald F</i> 统计量			40.199 {8.96}		12.231 {8.96}		
第一阶段 <i>F</i> 值			40.20		12.23		
观测值	20 662	20 134	20 134	20 607	20 607	9 008	9 344

说明：Kleibergen-Paap rk LM 统计量的原假设为工具变量识别不足，中括号内为显著性水平，如果其低于 0.01，意味着在 1% 的显著性水平上可以认为工具变量不存在识别不足的问题。Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量用于检验弱工具变量问题，括号内为 15% 的 Stock-Yogo 弱工具变量检验偏误的临界值，统计量大于这一水平说明弱工具变量问题不明显。

(4) 竞争性解释排除

企业的创新活动可能存在另一个竞争性解释，即企业可能并非是受试点溢出影响而进行创新，而是想通过创新活动增加自己未来被选为试点对象的概率。为了排除该解释对理论机制可能带来的挑战，本文在基准回归的基础上控制了政策的预期效应，并分别检验处于没有发生追加试点的城市内的企业、固定资产存量与投资水平低的企业、在年报中未提及《智能制造试点示范项目申报书》具体示范类别的企业是否依然存在关键技术创新行为。<sup>①</sup> 回归结果表明，政策效应依然存在，因此该竞争性解释对基准回归的结果带来的挑战相对有限。

(5) 平行趋势检验与动态效应

参考张子尧和黄炜（2023）的建议，本文使用基于双向固定效应的事件研究法来探寻基准回

<sup>①</sup> 限于篇幅，相关的回归结果与图像如需备索。

归的动态效应，相应的估计式如下：

$$innovation_{it} = \beta_0 + \sum_{k=-5}^{k=3} \theta_k D_{it}^k + \gamma Controls_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中， $D_{it}^k$  是相对时间虚拟变量，当企业所处年份与 *Policy* 事件发生的年份的差值为  $k$  时，该变量取值为 1，否则为 0。例如，对 2015 年所在地发生智能制造试点政策的企业，其对应的 *Policy* 由于描述的是滞后的政策溢出冲击，在 2016 年开始取值为 1。反映到  $k$  上，即该地区的企业的  $k=0$  对应的是 2016 年这一时间点。当这一年份差值小于 -5 时，本文将统一取值为 -5。

在实际估计过程中需要剔除一期作为基期进行比较，本文将  $k=-1$  设定为基期。因此， $\theta_k$  反映了处于事件发生  $k$  期的处理组与对照组企业的关键技术创新差异相较于基期处理组与对照组差异的差异。95% 置信区间的动态效应结果表明，事件发生前地区内企业的关键技术创新水平与基期相比不显著，事件发生后则显著为正。如果用实际政策发生的年份来说，该政策的动态效应至少到政策发生的第三年 ( $t=1$ ) 才变得不显著。<sup>①</sup>

#### (六) 其他稳健性检验

本文在稳健性检验部分还考虑了：① 替换不同层级的聚类稳健标准误；② 使用负二项回归进行计数变量估计；③ 替换被解释变量为关键技术发明专利授权数、关键技术发明专利被引数等其他关键技术创新指标；④ 控制已有技术的事前趋势与滞后效应；⑤ 考虑多期 DID 可能带来的负权重问题；⑥ 对多期 DID 进行安慰剂检验；⑦ 将样本时间窗口延长至 2022 年。结果均表明基准回归具有稳健性。<sup>②</sup>

### (五) 机制分析

#### (一) 知识溢出渠道

根据理论部分分析，智能制造试点示范政策可以促进区域内企业传播与关键技术相关的知识，降低研发成本。且区域内企业如果知识相似度较高，更容易在新知识引入的情况下进行相互学习模仿与知识重组。为检验知识溢出渠道的存在性，本文基于企业既有技术池的专利分类号构造了两两企业间的技术相似度指标，作为知识相似度的衡量。<sup>③</sup> 进一步地，本文依据企业两两间的技术相似度在城市层面取平均值，构建城市层面的平均技术相似度变量，并在表 5 列 (1) ~ 列 (4) 进行了分组检验。结果表明，无论是基于 IPC3 还是 IPC4 分类构建的技术相似度指标，政策效应都在技术相似度更高的地区更强且显著。

此外，企业间的合作创新也是知识溢出存在的体现。本文基于上市公司发明专利数据中的申请人信息，筛选了属于联合申请的关键技术发明专利，将其作为合作创新的体现。列 (5) 将其作为被解释变量进行回归，结果表明试点政策的确也促进了区域内企业在关键技术领域的合作创新进程。<sup>④</sup>

① 进一步地，由于异质性处理效应、组间溢出效应、组内溢出效应强弱问题的存在，实际政策效应可能会持续到第四年 ( $t=2$ ) 甚至之后。限于篇幅，相关讨论如需备案。

② 限于篇幅，相关回归结果如需备案。

③ 限于篇幅，技术相似度的衡量方法详情如需备案。

④ 此外，本文还补充了使用关键技术领域联合授权的发明专利作为被解释变量的回归结果，以及两类合作创新指标的动态效应。结果表明政策对合作创新的效应不仅存在，还随时间推移会越来越强。限于篇幅，相关讨论如需备案。

皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

表 5 知识溢出一技术相似度与合作创新

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	ln (Apply_inv_zl)				ln (Apply_inv_zl - joint)
	IPC4 技术相似度 (低于中位数)	IPC4 技术相似度 (高于中位数)	IPC3 技术相似度 (低于中位数)	IPC3 技术相似度 (高于中位数)	
Policy	0.122 7 (0.082 9)	0.186 0*** (0.061 7)	0.098 7 (0.082 1)	0.167 6** (0.068 6)	0.060 7* (0.032 7)
企业控制变量	是	是	是	是	是
城市控制变量	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是
行业×时间固定效应	是	是	是	是	是
省份×时间固定效应	是	是	是	是	是
组间差异经验 P 值	0.051 *		0.073 *		
观测值	9 695	9 766	9 658	9 789	20 607
调整 R <sup>2</sup>	0.728	0.799	0.726	0.800	0.689

企业主动获取知识的行为或是参与标准化行为的积极性也会影响其受知识溢出的大小。本文以企业年报中“参访”、“标准化”相关词频<sup>①</sup>反映企业在智能制造试点政策下的主动获取知识、参与标准化的积极性，并基于此进行分组检验。<sup>②</sup>结果表明，政策效应依然在积极性较高的企业组别中更显著，且如果企业此时处于知识相似度高的地区，影响会更强。综合上述分析，假说 2 成立。

(2) 市场探索渠道

智能制造试点政策另一个可能对同城市内非试点企业造成溢出影响的渠道为市场的探索。被试点企业在地区内发挥着重要的平台作用，通过智能化转型促进上下游产业协同，帮助区域内企业从传统的市场调研与预测模式，转变为利用大数据、用户画像等工具精准把握客户需求，降低信息不对称带来的搜寻匹配成本。这些转变能够帮助区域内企业在生产阶段更好地利用外部需求信息，降低市场不确定性，使其事后销售能更加符合事前生产规划。同时，这种匹配程度的增加也扩大了企业的有效市场规模。不仅如此，除去平台作用外，被试点企业本身也是关键技术应用的先驱。其对关键技术的商业化模式探索，更进一步明确了关键技术创新的市场回报，为其他企业创造了相关领域的市场机会。

本文首先检验智能制造试点是否能够降低区域内企业所面临的市场不确定性。本文借鉴毛其淋和王凯璇（2023）的思路，构造了前向、当期、后向市场不确定性指标<sup>③</sup>作为被解释变量进行回归，呈现在表 6 的列（1）~列（3）。结果均表明，智能制造试点政策能够帮助区域内企业降低市场不确定性。

表 6 的列（4）以企业的销售收入作为被解释变量进行回归，结果表明智能制造试点政策能够普遍扩大区域内企业的销售规模。同时，列（5）以企业在所属行业的市场份额作为被解释变

① 限于篇幅，相关词语选择标准如需备案。  
 ② 限于篇幅，分组回归的结果如需备案。  
 ③ 限于篇幅，市场不确定性指标的具体构造方法如需备案。

量的回归结果表明，这种销售规模的增长虽然会提高其市场份额，但并不显著。这意味着试点地区与非试点地区企业间的市场争夺效应的负面影响有限。

进一步地，借鉴李磊等（2022）对市场机会机制的研究思路，列（6）将政策变量与销售收入进行交互。交互项系数显著为正，意味着智能制造试点政策能够正向调节市场与关键技术创新的相关性。综合上述分析，假说3成立。

表6 市场探索

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Volatility<sub>pre</sub></i>	<i>Volatility<sub>current</sub></i>	<i>Volatility<sub>post</sub></i>	$\ln(\text{Sale})$	<i>Saleshare</i>	$\ln(\text{Apply}_{inv\_zl})$
<i>Policy</i>	-0.089 3*** (0.032 0)	-0.090 7*** (0.030 9)	-0.098 5*** (0.029 5)	0.051 7** (0.024 3)	0.000 1 (0.001 1)	-2.216 7*** (0.221 7)
<i>Policy</i> × $\ln(\text{Sale})$						0.107 3*** (0.010 2)
$\ln(\text{Sale})$						0.268 2*** (0.034 8)
企业控制变量	是	是	是	是	是	是
城市控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
行业 × 时间固定效应	是	是	是	是	是	是
省份 × 时间固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	16 404	18 727	20 390	20 607	20 607	20 607
调整 $R^2$	0.747	0.737	0.736	0.931	0.876	0.772

## （六）异质性分析

由智能制造试点带来的政策溢出效应可能有助于企业同时提高关键技术与非关键技术创新水平。一个更为有趣且重要的问题在于，哪些因素会导致关键技术创新受试点政策影响程度发生明显变化，但不会导致非关键技术创新受到明显影响。本文继续使用分组回归的思路进行异质性分析。<sup>①</sup>

### （一）融资约束异质性

本文使用 *FC* 指数（顾雷雷等，2020）、*WW* 指数（Whited & Wu, 2006）衡量企业融资约束水平，并按照其中位数将样本划分为高低组别。分组回归结果表明，在该政策影响下，企业的既有融资约束水平只会制约关键技术创新，而对非关键技术创新没有明显影响。这意味着智能制造试点政策惠及区域内企业的过程中，融资约束是决定企业是否能够真正进行关键技术创新的重要门槛。

### （二）市场结构异质性

本文以营收规模衡量的赫芬达尔指数（*HHI*）衡量企业所处城市一行业层面的市场集中度，

<sup>①</sup> 限于篇幅，异质性分析回归结果如需备索。

## 皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

依据市场集中度对样本分组进行异质性分析。结果表明，在低市场集中度环境中，智能制造试点政策对区域内企业的关键技术创新的推动作用并不显著。只有当市场集中度较高的情况下，智能制造试点政策对关键技术创新的激励作用才是显著的。与之相比，非关键技术创新并未明显受市场集中度调节。一个可能的解释是，关键技术创新的高成本、长市场回报周期的特征通常意味着企业在创新成果落地前面临着较大的竞争劣势。激烈的竞争环境增强了企业面临的经营风险，也就很难再将更多的研发资源投入到关键技术研发过程中。

### （三）研发补贴异质性

本文依据与研发、专利等有关的关键词对企业研发补助额、专利补助额进行手动整理，并根据研发补贴与专利补贴把企业分为高补贴组与低补贴组进行回归。结果表明，就关键技术创新而言，补贴多的企业在政策效应下具有更明显的研发创新行为。而对非关键技术创新而言，补贴的多少并未对企业产生明显激励。这一结果从另一角度说明关键技术创新对研发资金有更强的依赖性。

## （七）拓展分析

### （一）细分关键技术领域创新状况

为进一步了解试点政策溢出影响下，企业关键技术创新涉及的具体技术类别，本文将关键技术创新发明专利申请量按细分领域进行划分后分别作为被解释变量进行回归。<sup>①</sup> 结果表明，与智能制造最直接相关的高端装备制造业关键技术创新水平在试点后提升幅度最大，但其他领域（如新能源、新能源汽车、节能环保产业）关键技术创新水平在政策影响下也出现了显著提升。这意味着虽然智能制造试点政策主要围绕的是智能制造相关技术的推广，但也能通过知识溢出与重组、市场探索，对各种领域的关键技术创新产生促进作用。

### （二）关键技术创新宽度

关键技术创新宽度能够衡量企业在关键技术领域进行突破性创新的意愿。本文分别以企业当年的关键技术创新涉及的子领域分类数 (*Width1*)、当年技术池相较于3年前技术池新增关键技术领域 IPC4 位码分类数 (*Width2*)、关键技术创新子领域的分散度 (*Width3*)、当年新增的不属于截止去年已有技术池的关键技术专利申请数 (*Width4*) 作为被解释变量，进一步研究试点政策溢出影响下企业的关键技术创新策略。相应回归结果呈现在了表7中。<sup>②</sup>

表7的结果表明，企业的关键技术创新子领域分类数 (*Width1*) 以及相较于3年前技术池新增的关键技术领域 IPC4 位码分类数 (*Width2*) 在智能制造试点政策发生后显著增加。这说明企业在试点政策影响下普遍有动机探索新技术领域。但是，以关键技术的集中度 (*Width3*)、新增的不属于已有技术池的关键技术专利申请数 (*Width4*) 作为被解释变量的结果不显著。这说明虽然在政策影响下，企业关键技术创新的多样性有所增加。但从总量来看，企业的创新依然主要体现在“稳中求进”，即在已有关键技术创新成果的基础上进行深化和拓展。

## （八）结语

2024年6月，习近平总书记在全国科技大会、国家科学技术奖励大会、两院院士大会上强

<sup>①</sup> 限于篇幅，以细分领域的关键技术创新作为被解释变量的回归结果如需备索。

<sup>②</sup> 限于篇幅，相关指标的具体构建方法如需备索。

调,要“拥有强大的关键核心技术攻关能力,有力支撑高质量发展和高水平安全”,要“积极运用新技术改造提升传统产业,推动产业高端化、智能化、绿色化”,要“充分发挥科技领军企业龙头作用”。本文结合智能制造试点示范政策,探寻了这一以领军企业示范带动作用为主要特点、涉及传统行业智能化转型的政策,是否能够真正帮助区域内非试点企业普遍实现关键技术创新水平的提升。

表7 创新宽度

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Width</i> 1	<i>Width</i> 2	<i>Width</i> 3	<i>Width</i> 4
<i>Policy</i>	0.186 8*** (0.071 2)	0.073 7* (0.039 7)	0.012 5 (0.009 9)	0.000 2 (0.0330)
企业控制变量	是	是	是	是
城市控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
行业×时间固定效应	是	是	是	是
省份×时间固定效应	是	是	是	是
观测值	20 607	19 264	13 357	20 607
调整 $R^2$	0.702	0.675	0.475	0.288

本文首先对关键技术创新活动进行了定义,并将其与非关键技术创新的区别进行了辨析。关键技术创新的重要特点在于高成本与长市场回报周期,而智能制造试点示范政策能够通过被试点企业的示范作用与平台效应,帮助区域内的其他企业降低创新成本(知识溢出)与明确市场回报(市场探索),进而使企业更容易跨越关键技术创新的门槛。

本文基于上市公司2010—2019年面板数据,将智能制造试点示范政策视为准自然实验,使用多时点双重差分方法研究这一试点政策对同区域的非试点企业的关键技术创新水平的影响。本文的研究结果表明,智能制造试点政策显著地带动了同城市内非试点企业进行关键技术创新。上述结论在考虑组间溢出、内生性、竞争性解释、异质性处理效应等问题的情况下依然稳健。机制分析表明,知识溢出与市场探索效应在这一过程中发挥着重要作用。通过关键技术创新与非关键技术创新受政策的影响异质性对比,本文发现在政策影响下,企业的关键技术创新行为更容易在融资约束低、市场集中度高、研发补贴多的情况下发生,而非关键技术创新并不会明显受上述因素制约。

本文主要从政策溢出的角度将智能制造试点示范政策与企业的关键技术创新建立了联系,不仅对智能制造试点示范政策在近年来的文献中被忽视的政策效应进行了评估,还揭示了构建关键核心技术体系的有效手段:以具有高生产率、研发创新能力的领军企业优先进行关键技术路径的探索,无论从成本端还是市场端,都可以显著提升周边企业的关键技术创新意愿。这实质上与关键技术的特性相契合。因为关键技术不仅复杂,还具有明显的相互关联性。“大水漫灌”式的创新激励很难让企业间的关键技术创新步调一致,技术与技术间的磨合成本很高。而引领式创新通过各企业与领军企业对接的形式,强化关键技术创新的协调性,可以更容易使不同企业的关键技术形成有序且相互关联的体系。

基于本文的实证研究结论,本文为我国关键技术攻关的未来发展路径提供可能的启示:

第一,增强智能制造试点的广度与深度,强化其协同创新效应的范围与强度。本文的研究揭



## 皮建才等：智能制造试点示范溢出与关键技术创新

示了智能制造试点政策对同区域企业的关键技术创新的明显促进作用，且其具体作用渠道基于知识溢出、市场探索带来的正外部性影响，能够在不同程度上缓解关键技术创新所面临的困境，对构建关键技术研发生态体系来说十分重要。

不过，本文的研究也同样发现，智能制造试点示范政策的溢出效应通常只局限于城市内部。即便在同城市内，距离被试点企业越远，溢出效应的衰减也越明显。所以，应该进一步增强智能制造试点政策布局的广度与深度。增强试点的广度主要指在更多的城市遴选智能制造试点企业。通过在更多城市进行试点，能够进一步将这一正外部性扩散到产业发展较为落后的地区。增强试点的深度主要指在已有试点城市内保持关键技术创新激励效应的常态化。这一方面需要在城市内更加合理地布局试点企业，尽可能使更多企业位于政策效应的辐射范围内；另一方面需要对领军企业的关键技术创新与市场探索能力提出更高的要求。

第二，进一步加强智能制造试点政策中的标准规范建设。这一建议主要针对智能制造试点示范政策中存在的知识溢出效应提出。试点政策产生的知识溢出效应可以细分为试点企业向非试点企业传播新知识、非试点企业间相互传播包含新知识的组合知识两个递进的阶段。标准规范体系的完善化无论在哪一个阶段都能够从研发端为企业提供更明确的创新路线，强化企业间吸收接纳新知识的动机，增强知识溢出。

从宏观来看，知识溢出强度的增加能够更加充分发挥规模经济优势，在国内各地形成以关键技术标准体系为基础的、具有国际竞争力的产业集群。更进一步地，关键技术产业集群的形成与壮大能够增强相应技术体系在国际标准体系中的竞争力，从而从根本上解决技术封锁带来的“卡脖子”问题。

第三，进一步推动平台建设，增强试点政策的市场探索效应。智能制造技术并不只是抽象意义上的先进技术。其信息化与智能化的技术特点，还可以使拥有这些技术的企业通常容易成为工业物联体系的平台枢纽。平台的形成可以为接入平台的企业提供更加精确的市场端信息，从而使企业的创新行为与市场间的联系变得更加紧密。这是在广泛意义上提高企业关键技术创新边际收益的重要手段。

就平台的未来发展而言，其需要进一步整合国内外先进的智能制造技术资源，包括软件工具、算法模型、设备规格等。同时，政府应建立行业数据共享机制，鼓励企业上传非敏感生产数据到平台。通过对这些数据进行深入分析，平台可以为企业提供更优化的运营建议、市场趋势预测等服务，帮助企业实现更加精准的决策。

第四，建设多维度、高效协同的财政、融资支持体系，积极引导企业从非关键技术创新逐步转向关键技术创新。在智能制造试点示范政策影响下，相较于非关键技术创新，企业的关键技术创新过程会更明显地受限于资金支持情况。因此，为鼓励关键技术创新，需要进一步增强对企业的财政、融资支持。除了增加资金支持的体量，提高资金支持的精准性也同样重要。这需要建立跨部门协作机制，通过财政、金融监管等部门共享企业信用信息、技术创新成果等数据，确保财政支持与融资支持政策的精准对接，减少信息不对称，提高政策执行效率，避免资金支持不足或过剩的情况出现。

### 参考文献

曹虹剑、贺正楚、熊勇清，2016：《模块化、产业标准与创新驱动发展——基于战略性新兴产业的研究》，《管理科学学报》第10期。

曹清峰，2020：《国家级新区对区域经济增长的带动效应——基于70大中城市的经验证据》，《中国工业经济》第7期。

- 陈峰, 2019: 《论国家关键核心技术竞争情报》, 《情报杂志》第 11 期。
- 陈劲、阳镇、朱子钦, 2020: 《“十四五”时期“卡脖子”技术的破解: 识别框架、战略转向与突破路径》, 《改革》第 12 期。
- 顾雷雷、郭建鸾、王鸿宇, 2020: 《企业社会责任、融资约束与企业金融化》, 《金融研究》第 2 期。
- 黄凯南、苗滋坤、乔元波, 2022: 《高校密度如何影响企业创新——来自中国制造业上市公司的证据》, 《经济理论与经济管理》第 3 期。
- 黄群慧、余泳泽、张松林, 2019: 《互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验》, 《中国工业经济》第 8 期。
- 黄卓、陶云清、刘兆达、叶永卫, 2024: 《智能制造如何提升企业产能利用率——基于产消合一的视角》, 《管理世界》第 5 期。
- 李磊、刘常青、韩民春, 2022: 《信息化建设能够提升企业创新能力吗? ——来自“两化融合试验区”的证据》, 《经济学(季刊)》第 3 期。
- 吕越、陈昌昌、张昊天、诸竹君, 2023: 《电商平台与制造业企业创新——兼论数字经济和实体经济深度融合的创新驱动路径》, 《经济研究》第 8 期。
- 毛其淋、王凯璇, 2023: 《互联网发展如何优化企业资源配置——基于企业库存调整的视角》, 《中国工业经济》第 8 期。
- 权小锋、李闯, 2022: 《智能制造与成本粘性——来自中国智能制造示范项目的准自然实验》, 《经济研究》第 4 期。
- 孙伟增、牛冬晓、万广华, 2022: 《交通基础设施建设与产业结构升级——以高铁建设为例的实证分析》, 《管理世界》第 3 期。
- 吴超鹏、严泽浩, 2023: 《政府基金引导与企业核心技术突破: 机制与效应》, 《经济研究》第 6 期。
- 姚笛、陈东、郑玉璐, 2023: 《人工智能与企业内工资差距: 任务偏向还是技能偏向》, 《经济理论与经济管理》第 9 期。
- 尹洪英、李闯, 2022: 《智能制造赋能企业创新了吗? ——基于中国智能制造试点项目的准自然试验》, 《金融研究》第 10 期。
- 袁劲、刘啟仁、赵灿, 2024: 《城市工业机器人渗透与中国制造业出口——来自多维数据的证据》, 《经济动态》第 3 期。
- 袁其刚、刘斌、朱学昌, 2015: 《经济功能区的“生产率效应”研究》, 《世界经济》第 5 期。
- 张子尧、黄炜, 2023: 《事件研究法的实现、问题和拓展》, 《数量经济技术经济研究》第 9 期。
- Bai, J., 2009, “Panel Data Models with Interactive Fixed Effects”, *Econometrica*, 77 (4): 1229 - 1279.
- Fabrizio, K. R., and L. G. Thomas, 2012, “The Impact of Local Demand on Innovation in a Global Industry”, *Strategic Management Journal*, 33 (1): 42 - 64.
- Koo, J., 2007, “Determinants of Localized Technology Spillovers: Role of Regional and Industrial Attributes”, *Regional Studies*, 41 (7): 995 - 1011.
- Romer, P. M., 1986, “Increasing Returns and Long-run Growth”, *Journal of Political Economy*, 94 (5): 1002 - 1037.
- Whited, T. M., and G. Wu, 2006, “Financial Constraints Risk”, *The Review of Financial Studies*, 19 (2): 531 - 559.
- Zheng, S., W. Sun, J. Wu, and M. E. Kahn, 2017, “The Birth of Edge Cities in China: Measuring the Effects of Industrial Parks Policy”, *Journal of Urban Economics*, 100: 80 - 103.

## The Spillovers of Intelligent Manufacturing Pilot Demonstration and the Innovation of Key Technology

PI Jiancai LUO Yuhan

(School of Economics, Nanjing University)

**Summary:** Building independent and controllable key technology systems is crucial for China to achieve its goal of high-quality development. Compared to general technological innovation, innovation in key technologies inherently involves higher risks, greater research and development (R&D) costs, and longer market return cycles. Factors such as unclear R&D routes, low success rates, and insufficient market incentives form the main barriers to key technological innovation.

The pilot programs for intelligent manufacturing are a policy strategy designed to promote the integration of next-generation information and communication technologies with advanced manufacturing technologies. Although these pilot programs involve only a few enterprises, their core goal is to use these enterprises as role models, providing advanced, replicable, and scalable manufacturing standards for other regional enterprises, while leveraging platform effects to strengthen technological and production links between companies. In theory, this can help reduce the concerns enterprises face in R&D for key technologies.

This paper primarily uses data from listed companies between 2010 and 2019, using intelligent manufacturing pilot programs as a quasi-natural experiment, to investigate whether and how the policy promotes key technological innovation among non-pilot enterprises in the same region. The benchmark regression results show that the intelligent manufacturing pilot policy can promote key technological innovation in non-pilot enterprises within the same city. This result is attributed to knowledge spillover effects and market exploration effects. The heterogeneity analysis reveals that the policy spillover effect on key technological innovation is more pronounced in enterprises with lower financing constraints, higher market concentration, and more R&D subsidies. In contrast, the effects are not significant for non-key technological innovation.

Compared to the recent literature, this paper makes three main contributions:

First, despite the importance of key technological innovation, the empirical research in this area remains relatively scarce. Our study provides detailed empirical evidence, contributing to the literature on this critical issue.

Second, previous studies have mostly focused on the impact of intelligent manufacturing pilot policies on participating enterprises. However, we explore the spillover effects of the policy on non-participating enterprises in the same region, uncovering important policy impacts that may have been underestimated or overlooked in the earlier research.

Finally, we discuss the mechanisms of action from the perspectives of knowledge spillover and market exploration, and compare the effects on key technological innovation versus non-key technological innovation under specific moderating variables. Our study provides a reference for

further building key core technology systems through collaboration and mutual assistance among enterprises in the future.

**Key words:** intelligent manufacturing; key technology innovation; spillover effect