

Research on construction of industrialization of intelligent manufacturing ecosystem and technological innovation

Guihong Zhang

Nanchang University Gongqing College, Jiujiang, Jiangxi, 332020, China

Abstract

This study systematically explores the construction of the intelligent manufacturing industry ecosystem and technological innovation in Jiujiang City, aiming to analyze the structural characteristics, collaborative mechanisms, and high-quality development paths of the regional intelligent manufacturing industry ecosystem. Through theoretical construction, empirical analysis, and policy design, the study reveals the 'co-constructed evolution' logic of Jiujiang City's intelligent manufacturing industry ecosystem and proposes a high-quality development model driven by green transformation and digital empowerment. The research indicates that the intelligent manufacturing industry ecosystem in Jiujiang City exhibits composite system features, including multi-subject nesting, value flow, and institutional coupling. Its collaborative innovation mechanism relies on the behavioral drivers and institutional adaptations among multiple subjects, providing theoretical support and policy references for optimizing similar regional industrial ecosystems.

Keywords

intelligent manufacturing; industrial ecosystem; technological innovation; green transformation; digital empowerment

智能制造产业生态体系构建与技术创新研究

张贵红

南昌大学共青学院, 中国 · 江西 九江 332020

摘要

本研究聚焦九江市智能制造产业生态体系构建及技术创新发展展开系统性探究,旨在剖析区域智能制造产业生态的结构特征、协同机制及高质量发展路径。通过理论构建、实证分析与政策设计,研究揭示了九江市智能制造产业生态体系的"共构式演化"逻辑,提出绿色转型与数字赋能双驱动的高质量发展模式。研究表明,九江市智能制造产业生态体系具备多主体嵌套、价值流动与制度耦合的复合系统特征,其协同创新机制依赖多元主体间的行为驱动与制度适配,为同类区域产业生态优化提供理论支撑与政策参考。

关键词

智能制造; 产业生态体系; 技术创新; 绿色转型; 数字赋能

1 引言

1.1 研究背景与意义

全球新一轮科技变革推动制造业向智能化转型,我国"十四五"规划明确要求构建高效协同的制造体系。在"双碳"战略与"数实融合"背景下,地方智能制造生态建设成为提升区域竞争力的关键。

【课题项目】九江市社会科学基金《九江市智能制造产业生态体系构建与技术创新发展研究》(课题编号:25YB039);江西省普通本科高校教育教学改革研究课题《新工科背景下电气自动化专业 PLC 课程教学模式创新研究》(项目编号:JXJG-24-31-1)。

【作者简介】张贵红(1981-),女,中国湖北黄梅人,本科,讲师,从事 PLC 技术,自动控制研究。

九江作为长江经济带重要工业城市,正通过"工业强市"战略推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。政府依托"链长制+产业集群+智能化改造"机制,重点培育有机硅、电子信息等千亿级产业集群,并建成全省首个智算中心,展现出较强的政策承接能力。然而,其面临核心技术对外依赖、高端人才短缺、产学研协同不足等瓶颈,系统研究其发展路径具有重要现实意义。

1.2 研究目标与内容

本研究以九江智能制造产业生态体系与技术创新为对象,聚焦三大核心问题:(1)生态体系的结构特征与演化机制;(2)技术创新协同路径与组织行为驱动机制;(3)绿色转型与数字赋能下的高质量发展模式构建。研究遵循"结构-机制-模式"三级递进框架,通过理论、实证与政策设计探索发展策略。

2 文献综述与理论基础

2.1 智能制造的系统架构演进与生态逻辑探索

智能制造理论历经“自动化—数字化—智能化”演进，当前研究聚焦生态体系构建，强调平台型供应链对协同效率的提升作用。核心企业主导的知识流动、组织协同与资源集聚机制，构成“生态平台—知识治理—技术创新”内生逻辑。区域嵌入性研究则关注产业集群协同、地方技术能力与政策匹配度^[1]。

2.2 技术创新驱动机制与数字化转型路径

微观层面，智能制造技术创新不仅依赖技术集成，更体现为组织模式与创新范式的重塑。企业案例研究表明，其内部形成“技术嵌入—数据驱动—价值重构”演化链条，技术可供性理论解释了新兴技术对创新路径的重塑作用。人工智能、工业互联网等技术成为产业链重构核心驱动力，“质量4.0”模式则标志着技术创新与系统治理的深度融合。

2.3 战略韧性与绿色转型中的智能制造路径再塑

全球治理变革与可持续发展战略推动智能制造从效率优先转向韧性提升与绿色转型。研究发现，智能制造通过数据驱动与柔性响应增强企业抗风险能力，形成“智藏韧显”韧性逻辑；在绿色发展中，通过流程重构与碳足迹追踪助力低碳转型，构建“智造—绿转”双向融合模型，推动研究向效率、韧性、可持续多维目标协同演进。政策评估显示，国家政策对数字化转型有引导作用，但制度供给精准性仍需提升。

3 研究设计与方法

3.1 研究框架

本研究围绕“九江市智能制造产业生态体系构建与技术创新发展”这一核心议题，立足国家智能制造战略导向与地方产业转型实践需求，构建“结构—机制—模式”三级递进的研究逻辑框架，系统展开理论建构、机制探析与发展路径设计三个层面内容。

在生态结构层面，以复杂系统理论和产业生态学为基础，梳理九江市智能制造生态系统中的核心构成单元与功能分工，通过社会网络分析、投入产出分析等方法识别产业关键节点、核心企业及其网络耦合关系，明确区域智能制造的结构特征与演化轨迹，构建区域制造生态的分层嵌套结构模型^[2]。

在协同机制层面，基于协同创新理论与组织行为学，运用多主体建模(MAS)、结构方程模型(SEM)分析多元主体互动路径，揭示行为逻辑与协同机制。

在发展模式层面，融合生命周期评价(LCA)、绿色全要素生产率(GTFP)与数字化评估方法，构建绿色—智能融合模型，通过案例归纳可复制路径。

3.2 研究方法

本研究采用定性定量相结合的研究方法，具体包括：

(1) 文献分析法：系统梳理国内外智能制造产业生态体系构建与技术创新的相关理论和实证研究，为本研究提供理论基础和分析框架。(2) 社会网络分析法(SNA)：通

过量化九江市智能制造企业间的关系强度与网络密度，识别关键节点与核心路径，揭示产业生态体系的结构特征。(3) 多主体系统建模(MAS)：模拟政府、企业、科研机构等多元主体在技术创新过程中的知识共享与创新扩散行为，分析协同创新的动态机制。(4) 结构方程模型(SEM)：实证检验企业行为动因、外部制度环境与协同创新效率之间的关系，揭示组织行为的驱动机制。(5) 案例研究法：选取九江市典型产业集群(如有机硅、模具、电子信息)开展嵌入式案例研究，探究不同区域或子系统的生态异质性与演化规律。(6) 生命周期评价(LCA)与绿色全要素生产率(GTFP)分析：评估九江市重点制造业集群的绿色转型绩效，为高质量发展模式构建提供数据支撑^[3]。

4 九江市智能制造产业生态体系的结构与演化

4.1 结构特征分析

通过对九江市智能制造产业生态体系的实证分析，研究发现其具有以下结构特征：

(1) 多主体嵌套的网络结构：由核心企业、中小企业、科研机构、政府等构成复合网络，有机硅、电子信息集群形成“核心企业+配套”结构，但中小企业横向联系不足。(2) 功能分层的生态体系：九江市智能制造产业生态可划分为基础层(基础设施与数据平台)、技术层(关键技术研发与应用)、产业层(制造企业集群)和制度层(政策与服务体系)四个功能层级。各层级间存在明显的资源流动与功能互补关系，但层级间的协同效率有待提升。(3) 区域嵌入的空间格局：九江市智能制造产业呈现“一核多极”的空间分布特征，以九江经济技术开发区为核心，共青城高新技术产业开发区、庐山工业园区等为重要节点，形成区域协同发展格局。然而，区域间的产业分工与协同机制仍需优化^[4]。

4.2 演化机制分析

基于时序数据分析与案例研究，九江市智能制造产业生态体系的演化呈现以下机制：

(1) 政策驱动与市场拉动双重作用：九江市政府通过“链长制”、产业集群培育等政策工具，引导智能制造产业生态的构建；同时，市场需求变化与技术迭代推动企业主动进行智能化转型，形成政策与市场协同驱动的演化路径。(2) 核心企业引领与中小企业跟随：以巨石集团、艾美特电器等为代表的龙头企业率先开展智能化改造，通过技术溢出和产业链协同带动中小企业数字化转型，形成“以大带小”的渐进式发展模式。(3) 技术引进与自主创新并重：九江市智能制造技术发展初期以引进消化吸收为主，随着本地创新能力的提升，逐步形成引进与创新双轮驱动的技术发展路径。中国电信鄱阳湖智算中心等创新平台的建立，为本地技术创新提供了重要支撑。(4) 区域协同与差异化发展：九江市各区域基于产业基础与资源禀赋，形成了差异化的智能制造发展路径。例如，九江经开区重点发展电子信息智能制造，共青城高新区聚焦智能家电，庐山工业园区侧重智能装备制造，呈现出区域特色化发展态势。

5 技术创新协同路径与驱动机制

5.1 技术创新协同路径

本次课题通过对九江市智能制造企业的调研与数据分析,研究发现区域智能制造生态中的技术创新主要遵循以下四种协同路径:

(1) 产学研协同:依托九江学院研究院、鄱阳湖科技城等平台,促进高校与企业合作,加速技术成果转化。(2) 产业链协同:以产业链上下游企业为主体,通过供应链协同、技术标准共建等方式开展创新合作。例如,九江电子信息产业联盟推动成员企业在智能终端、电子元器件等领域的技术共享与联合攻关。(3) 平台赋能:"产业大脑"为中小企业提供数字化服务,降低转型门槛;(4) 政策引导:近三年智能制造专项资金支持 50 余个项目,带动研发投入超 5 亿元。

5.2 组织行为驱动机制

基于结构方程模型(SEM)与多主体建模(MAS)分析,研究发现九江市智能制造技术创新协同主要受以下行为机制驱动:

(1) 资源互补:企业间技术、人才、数据共享对协同绩效影响最大(标准化路径系数 0.43, $p < 0.01$)。(2) 政策激励驱动:财税支持、项目引导显著提升企业协同意愿,政策感知度每提高 1 单位,意愿提升 0.31 单位。(3) 竞争压力驱动:市场竞争促使企业通过协同创新提升竞争力,中小企业转型压力下更倾向合作。(4) 技术复杂度驱动:智能制造技术跨学科特征促使多方联合攻关,复杂项目协同方平均 4.8 个,高于传统项目。

研究还发现,当前九江市智能制造协同创新面临的瓶颈包括产学研知识转移效率低、中小企业参与不足、跨区域协同机制缺失、成果转化渠道不畅^[5]。

6 绿色转型与数字赋能的高质量模式

6.1 绿色转型绩效评估

运用生命周期评价(LCA)和绿色全要素生产率(GTFP)方法,对九江市重点制造业集群的绿色转型绩效进行评估,主要发现如下:

(1) 能效提升显著但减排压力仍大:2018-2023 年间,九江市规模以上制造业企业单位产值能耗下降 23.5%,但碳排放强度仅下降 12.7%,显示末端治理向过程控制的转型尚未完成。(2) 行业差异明显:电子信息、装备制造绿色全要素生产率年均增 4.2%,高于化工、建材行业(1.8%),显示智能制造与绿色绩效正相关。(3) 技术效应主导:GTFP 分解显示,技术进步贡献率 68.5%,远高于规模效应(19.3%)与纯技术效率(12.2%),凸显技术创新核心作用。

6.2 数字赋能路径

(1) 能源管理智能化:物联网实时监测能耗,示范企业节能率 15%-20%;(2) 生产流程再造:数字孪生与 AI 优化工艺,减少物料浪费;(3) 供应链协同:区块链提升透明度,降低物流碳排放;(4) 产品服务化:工业互联网

支持远程运维,延长产品生命周期。

6.3 高质量发展模式

基于实证分析,研究提出九江市智能制造产业生态高质量发展三种典型模式:

(1) 技术引领型(经开区):聚焦关键技术突破,建设创新平台,配套研发税收优惠;(2) 产业协同型(共青城):依托产业链"链长制"构建创新联合体,设立协同基金;(3) 绿色智能融合型(庐山工业园):数字技术赋能环境管理,建立碳账户与绿色认证。

研究进一步构建了"绿色—智能—融合"三维协同模型,为不同类型区域和企业提供差异化发展路径参考。模型强调,智能制造高质量发展需要实现技术创新、产业协同与绿色转型的有机统一,形成良性循环的产业生态系统。

7 结论与政策建议

7.1 主要研究结论

(1) 九江产业生态具有多主体嵌套、功能分层、区域嵌入特征,演化受政策与市场双驱动;(2) 技术创新依赖产学研、产业链、平台、政策四种协同路径,受资源、政策、竞争、技术复杂度驱动;(3) 数字技术显著赋能绿色转型,技术创新是绿色绩效核心驱动力;(4) 差异化发展模式需匹配区域产业基础,实现"技术—产业—绿色"协同。

7.2 政策建议

优化生态结构:实施"强链补链",培育核心企业,建设公共服务平台,加强区域联动;

完善协同机制:深化产学研收益共享,设立协同创新基金,构建产业创新联盟;

强化数字与绿色融合:推广"产业大脑"与数字孪生,建立碳足迹追溯与绿色金融;

精准政策供给:制定区域差异化指引,加强高端人才培养,优化政策评估机制。

7.3 研究展望

未来可跟踪九江生态长期演化、拓展区域比较研究、探索新兴技术影响、研究全球价值链下的国际化路径。

参考文献

- [1] 裴军,周娅,彭张林,等. 高端装备智能制造创新运作:从平台型企业到平台型供应链[J]. 管理世界, 2023, 39(01): 226-240.
- [2] 王海军,于佳文,田晓冉,等. 智能制造对企业颠覆性创新的作用机理——来自扎根理论的海尔案例研究[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(01): 102-113.
- [3] 王影,张宏如,苏涛永. 核心企业主导的智能制造创新生态系统知识治理:基于扎根理论[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(03): 133-141.
- [4] 谢卫红,李淑莹,李忠顺,等. 如何驱动智能制造企业数字化创新?——基于技术可供性视角的机制与证据[J]. 技术经济, 2023, 42(11): 75-92.
- [5] 韩蓄,傅联英,吕重阳,等. 智藏初显:智能制造提升工业韧性的机理与证据[J]. 研究与发展管理, 2023, 35(06): 46-59.