

# 技术 - 制度创新协同下上海制造业转型发展路径研究

左 玮

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年1月30日; 录用日期: 2023年5月3日; 发布日期: 2023年5月10日

## 摘 要

当前, 我国制造业已由传统的要素投入型转变为创新驱动转型的发展模式, 根据经济演化理论与创新理论可知, 技术创新与制度创新是经济增长的两个重要力量。通过熵值法构建上海制造业转型发展在技术创新、制度创新能力的评价指标体系, 以及采用复合系统协同度模型对上海制造业转型发展的技术创新子系统与制度创新子系统的有序度、协同度进行计算, 挖掘出技术创新与制度创新驱动上海制造业转型发展的影响因素, 从而提出制造业产业技术创新与制度创新的有效协同可以促进制造业向技术与制度协同内涵式发展路径转变, 从而实现制造业质的提高及经济效益的稳定发展。

## 关键词

技术创新, 制度创新, 协同演化

## Research on the Mechanism and Path of Digital Transformation of Shanghai Manufacturing Industry under the Synergy of Technology-Institutional Innovation

Wei Zuo

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jan. 30<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 3<sup>rd</sup>, 2023; published: May 10<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

At present, China's manufacturing industry has changed from the traditional factor input type to

the development model of innovation-driven transformation, according to the economic evolution theory and innovation theory, technological innovation and institutional innovation are two important forces of economic growth. The evaluation index system of technological innovation and institutional innovation ability of Shanghai's manufacturing transformation and development is constructed by the entropy value method, and the order and coordination degree of technological innovation subsystem and institutional innovation subsystem of Shanghai's manufacturing transformation and development are calculated by using the composite system synergy model, and the influencing factors of technological innovation and institutional innovation driving the transformation and development of Shanghai's manufacturing industry are excavated, so as to propose that the effective collaboration between manufacturing industry technology innovation and institutional innovation can promote the transformation of manufacturing industry to the connotative development path of technology and system synergy, so as to achieve the improvement of manufacturing quality and stable development of economic benefits.

## Keywords

Technological Innovation, Institutional Innovation, Co-Evolution

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当前,中国经济发展正处于高质量转型的阶段中,与此同时,我国制造业也将逐步由“中国制造”转变为“中国智造”,上海制造业的发展作为中国制造业转型升级重要环节之一,其制造业的转型发展程度更是体现经济高质量发展的重要因素。在经济演化理论中的“技术-制度协同演化论”诠释了技术与制度两者之间相互联系与反馈的作用机制。目前技术-制度协同创新演化仍是演化经济学中的前沿领域之一,协同创新被视为企业获取竞争优势、降低创新风险的重要手段之一。同样,对于上海制造业转型升级而言,从技术-制度创新协同视角剖析上海制造业转型发展演化的作用机理,具有一定的理论依据并符合当前上海制造业转型发展的现实需求,技术-制度协同创新能够促进产业的正向性演化。

## 2. 文献综述

### (一) 技术创新与制度创新

1) 技术创新企业运用创新的知识、技术与工艺,采取新的生产方式或者管理模式,从而提高产品质量,开发新的产品,最终创造利润,并占据市场优势和实现价值。技术创新,被视为企业获取竞争优势的主要来源,同样也是促进产业升级演化的动力源泉之一。关于熊彼特“创新”理论不同的学者进行不同的研究方向。第一,创新与市场规模、结构之间的关系。在《经济发展理论中》提出,技术创新是产业演化与转型发展的动力源泉;第二,由于博弈论引入到演化经济学中来,学者开始重点探究研发领域,根据不同的指标 R&D 支出、R&D 从业人员等来分析技术创新与企业规模之间的关系。随着社会和经济的发展,创新的应用领域不仅仅局限于熊彼特的技术创新理论,其概念不断扩展,新制度经济学的应运而生,强调制度创新对经济增长的重要性。

2) 制度创新作为一种具有规则、激励、信息传递以及资源配功能的机制。制度创新理论受到越来越多经济学家和学者的重视,同样也是制度演化理论的研究对象和基本范畴。制度创新同样也是一个不断

发展的过程，不断淘汰旧的制度，创造适应技术经济发展的制度，制度的供求关系是“非均衡-均衡”的创新过程随着时间发展周而复始、循环反复。制度创新具有降低交易成本、利益分配以及激励的作用，制度创新在一定程度上，通过减少“搭便车”行为，将外部性内部化，从而提高资源的配置效率。制度创新通过产权明细化、利益分配公平化等一系列行为，推动创新主体的积极性。

## (二) 协同演化与产业升级

协同演化的概念最早来源于生物学领域，Ehrlich, PR & Raven, PH (1964)在分析蝴蝶与植物之间的双向因果关系中首次提出“协同演化”这一概念[1]。Norgaard (1985)将生物领域中的协同演化思想引入到农业经济领域，为演化经济学的发展打下基础[2]。Kauffman (1993)基于生物学理论，提出协同演化是双方的行为选择，一方的选择影响甚至改变另一方的行为，形成双方新的均衡状态[3]。Malerba (2006)根据计算机产业与半导体产业之间的协同演化过程，从而促进计算机企业的整合与进步，重点探究知识、需求与主体企业的策略之间的互动行为[4]。此阶段中，协同演化逐步运用到其他领域学科，成为解释经济现象规律的重要科学研究方法之一。

目前，国内学者对于协同演化的研究虽然开始较晚，但日益成熟。睦纪刚(2013)认为协同演化中的技术与制度之间存在相互制约、相互促进的互动关系，但整体演化过程呈螺旋式上升的趋势[5]。刘英基(2015)对我国高技术产业发展系统分为三个子系统，技术创新子系统、制度创新子系统如何协同推进产业发展子系统提升，三个子系统相互促进，从而加速我国高技术产业高质量发展[6]。温铁军(2019)地方政府适宜当地发展的制度，能够促进区域经济发展的结构升级，进而实现价值链的延伸[7]。沈琼(2019)制度创新能力落后是制约中部地区发展的关键因素，因此我国政府应加强对中部地区的制度创新政策的供给[8]。侯光明(2021)基于系统学视角下，分析新能源汽车企业协同创新模式的策略，该学者认为协同创新模式分为三种模式，一是核心技术依托型，注重基础性技术创新，二是平台辐射型，注重共享功能，三是产业拓展型，注重制度保障下的产业市场化，从而探索符合企业特征的协同创新战略[9]。

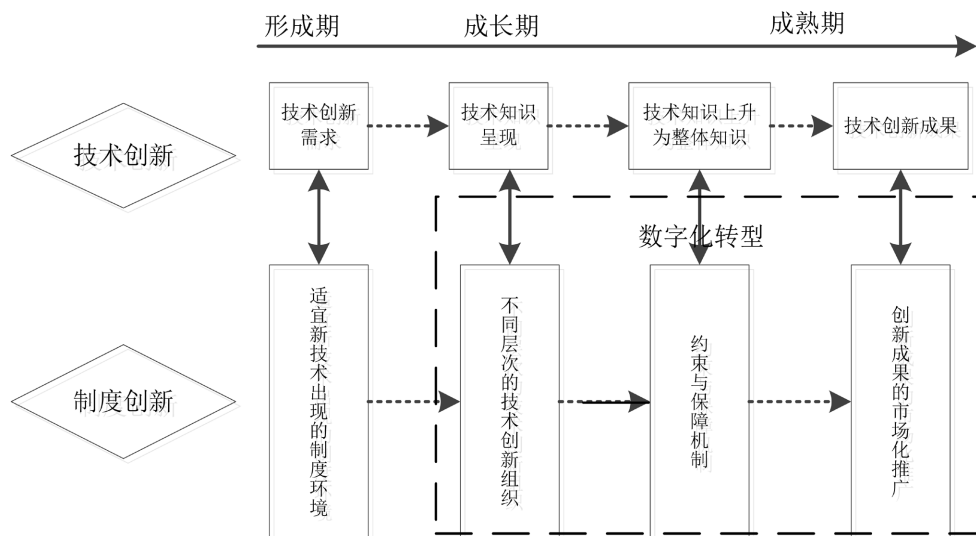
协同演化是主体之间的相互影响、选择与反馈的机制，从而共同向前演进的长期过程，即一方的行为的改变会促进另一方的现有状态与行为而产生前进发展的动力，反过来，另一方的行为改变同样也会影响或促进前者的演进路径。在协同演化的过程中，技术创新通过改进传统工艺流程、淘汰落后技术以及发展新兴技术，推动产业结构的演进发展，在这过程对制度提出新的要求，为技术创新提供政策保障和经济支持，因此技术创新与制度创新之间的协同演进为产业发展提供源源不断的动力。

## 3. 上海制造业转型升级中的技术-制度协同机理

基于产业发展的动因和历程，具体分析技术创新系统与制度创新系统如何协同驱动产业发展，从而总结出技术-创新协同与制造业转型发展的互动机理，如图1所示。

在产业发展任何一个阶段都离不开创新二字，在产业形成的初始阶段，技术处于萌芽阶段，技术规模尚未成熟，由于企业规模较小，研发资金与研发人员不足，阻碍技术创新的发展，技术创新的需要是推进产业发展重中之重，也迫切需要制度创新系统创造适合技术创新发展的制度环境，如在企业层面实施制度创新措施：采取数字化管理制度、加大研发强度，在政策层面制度实施创新措施：产业扶持、财政补贴等制度改革。通过制度创新的各项激励性举措，与技术创新共同驱动技术水平提升，提高产品的质量，营造良好的产业环境。随着技术不断推进，产业处于成长期，同样也是制造业转型的初始期，虽然技术研发风险有所降低，但仍然需要有效的制度安排促进技术创新的演化技术创新知识从单个企业层面逐渐推广到其他企业平台，更需政府制定相关的知识产权保护、技术成果专利化等政策，同样也要采取措施防止恶性竞争行为的发生，保障技术创新主体的积极性。在此阶段中，在制度系统的约束与保障下，技术创新知识从企业层面上升为产业层面的整体知识，实现产业进一步的升级。随着技术的不断提

升与规模的不断扩张，技术要素成为生产过程中的重要要素，产业风险也有所降低，产业处于成熟期。此时，产业开始步入制造业转型发展的快速时期，通过自主创新进行技术研发等技术创新活动，形成具有自主创新成果，体现为新产品的问世。一方面，在进行技术创新成果市场化产业化的推广阶段，推动技术创新成果从个体化向产业化发展，也是提升制造业转型质量的重要方式，这一过程需要相关的政策制度进行保障与推广，如完善知识产权保护制度、建立产业信息交流平台等，便于顺利进行市场化推广，同样有助于实现生产标准化及规模化。另一方面，技术研发的核心成果也是技术创新的重要体现，知识产权保护用于保障技术创新成果的权益，从而进一步激发的产业技术创新，这一过程需要政府等政策制定主体通过创新子系统完善相关知识保护制度。



**Figure 1.** Technological innovation and institutional innovation synergistically promote the transformation mechanism of manufacturing industry

**图 1.** 技术创新与制度创新协同促进制造业转型机理

技术创新与制度创新之间相互影响、相互推进、协同创新，驱动制造业转型，进而产业向高层次发展。在制造业转型发展中，技术创新的不断发展，会不断提出完善优化产业政策等制度创新要求，同样，制度创新通过鼓励性质的政策，引导鼓励技术创新活动，对技术创新给予政策支持，从而提升技术创新能力。综上，技术创新 - 制度创新的协同发展过程中，也是推进制造业转型高质量发展，同样在制造业转型进程中，也为技术 - 制度创新协同奠定发展基础。

#### 4. 技术创新、制度创新和制造业转型升级的协同度研究

##### (一) 复合系统协同度模型

一般而言，系统协同的定量表示，通过一定的定量分析来反映系统之间协调的状态程度。近些年相关的研究多采用复合系统协同度评价模型，其中，李炬煜学者以系统学为基础构建综合性协同度模型，综合性协同度模型，首先将整个复杂系统视为整体，衡量整个系统的发展状态，再进行确定各个子系统之间的协同度，该模型的优点在于从整体发展状态定义协同度，体现出系统集成这一观点[10]。

基于系统论的角度，本文采用复合系统协同度模型，构建技术创新、制度创新子系统来描述上海制造业在技术和制度层次上转型发展升级的协同程度，通过技术创新系统、制度创新系统之间的协同发展程度，表明只有系统之间相互协同、紧密联系，才有利于制造业的转型升级发展。

## (二) 构建上海制造业转型发展的技术创新、制度创新的评价指标体系

1) 技术创新评价指标体系的构建根据上海制造业的产业特征和时代背景建立全面性、科学性、系统性的普适性指标, 全面科学建立上海制造业在技术创新、制度创新两个层次上的指标体系, 能够反映出技术-制度协同演化关系。首先在技术创新层次上, 技术创新投入能力是指产业技术创新过程中的资源投入数量和质量。因此, 通常以人均 R&D 支出、R&D 投入强度、新产品开发强度作为产业技术创新前期阶段重要的衡量标准; 除此之外, 需要将非 R&D 投入部分(技术购买、技术改造与吸收等)用以衡量技术创新投入更具有全面性和科学性。因此, 选用人均 R&D 经费支出、R&D 投入强度、新产品开发强度、技术改造费用支出强度、购买国内技术经费支出强度作为衡量技术创新投入强度的指标。技术创新产出能力是指技术创新的最终成果和质量, 一般可以人均发明专利授权数、新产品产值率来进行反映。技术创新投入与产出能力均为正向定量指标, 本计算公式如表 1 所示。

**Table 1.** Calculation formula of Shanghai manufacturing technology innovation input and output capacity index

**表 1.** 上海制造业技术创新投入与产出能力指标计算公式

一级指标	指标选取	计算公式
技术创新投入能力	人均 R&D 经费支出	人均 R&D 经费支出 = (产业 R&D 内部经费支出 + 产业 R&D 外部经费支出)/产业 R&D 人员数量
	R&D 投入强度	R&D 投入强度 = (产业 R&D 内部经费支出 + 产业 R&D 外部经费支出)/主营业务收入
	新产品开发强度	新产品开发强度 = 行业新产品开发经费支出/主营业务收入
	技术改造费用支出强度	技术改造费用支出强度 = 产业技术改造经费支出/主营业务收入
	购买国内技术经费支出强度	购买国内技术经费支出强度 = 产业购买国内技术经费支出/主营业务收入
技术创新产出能力	人均发明专利授权数	人均发明专利授权数 = 制造业产业有效发明专利/制造业产业从业人数
	新产品产值率	新产品产值率 = 制造业产业新产品销售收入/制造业产业主营业务收入

数据采集, 通过查阅 2014 年~2021 年《上海统计年鉴》《中国科技统计年鉴》相关收据, 并根据表 1 公式, 计算出 2013 年~2020 年上海制造业的技术创新能力的指标变量作为评价指标, 即人均 R&D 经费支出、R&D 投入强度、新产品开发强度、技术改造费用支出强度、购买国内技术经费支出强度, 本文研究对象为规模以上制造业企业。

权重的确定, 利用熵值法来对以上七大指标进行客观赋权, 无需专家评分, 可以避免主观性, 评价上海制造业在技术创新能力在 2013 年~2020 年的发展状况, 根据指标权重可以判断出各个指标对上海制造业在技术创新投入能力的影响程度, 即其价值系数越高, 对评价的重要性越大, 从而得到关于表 2 的上海制造业技术创新投入能力评价结果和表 3 的上海制造业技术创新产出能力评价结果。

从指标权重看出, 上海制造业转型发展中的技术创新投入能力的增加对技术创新能力的提升有较大影响。其中技术创新研发投入(人均 R&D 经费支出和 R&D 投入强度)对技术创新投入能力的影响程度最大, 达到 0.427。技术改造费用支出强度指标权重也达到 0.213。在技术创新产出能力指标中, 人均发明专利授权数影响程度较大, 权重为 0.544, 新产品产值率所占比重为 0.456, 反映出企业对新产品的研发的重视程度, 有利于技术创新能力的进步; 在关于 R&D 活动的规模和强度指标上, 企业通过加大研发经费投入、企业的研发人员以及科研机构数量来反映企业对技术创新的投入强度, 说明从财力、物力以及人力加强 R&D 投入强度是企业加强技术创新投入的有效措施之一。

**Table 2.** Evaluation results and index weights of Shanghai's manufacturing industry innovation investment capacity  
**表 2.** 上海制造业技术创新投入能力评价结果及指标权重

年份	人均 R&D 经费支出	R&D 投入强度	新产品开发强度	技术改造费用支出强度	购买国内技术经费支出强度
2020	0.0598	0.01867	0.02301	0.0514	0.0081
2019	0.0580	0.01728	0.02239	0.0516	0.0111
2018	0.0511	0.01658	0.02034	0.0499	0.0125
2017	0.0509	0.01687	0.01872	0.0446	0.0060
2016	0.0452	0.01650	0.01901	0.0432	0.0080
2015	0.0429	0.01642	0.01754	0.0375	0.0080
2014	0.0392	0.01438	0.01731	0.0448	0.0094
2013	0.0389	0.01370	0.01594	0.0370	0.0113
权重	0.271	0.156	0.195	0.213	0.165

**Table 3.** Evaluation results and index weights of Shanghai's manufacturing industry innovation output capacity  
**表 3.** 上海制造业技术创新产出能力评价结果及指标权重

年份	人均发明专利授权数	新产品产值率
2020	0.0372	0.0269
2019	0.0375	0.0267
2018	0.0244	0.0264
2017	0.0221	0.0278
2016	0.0182	0.0276
2015	0.0141	0.0229
2014	0.0126	0.0249
2013	0.0087	0.0232
权重	0.544	0.456

2) 制度创新评价指标体系的构建制造业产业制度创新不是单一的某个制度可以实现的,而是需要各种制度相互配合、相互协调形成的制造业产业制度创新体系。制度创新体系具有整体性、结构性、开放性的特征,体系内的各制度以一定的组织形式或结合方式组合起来,彼此相互作用、相互联系、并与外界环境交换信息和能量,是一个有机整体。制造业产业制度创新体系分为企业层面制度创新和政府层面制度创新两个子系统。企业层面制度创新可以分为企业产权制度创新、R&D 占有率以及企业科技创新率。政府层面制度创新包括政府与市场的关系指数、金融制度创新强度、知识产权保护制度创新,如图 2 所示。

实现制造业转型发展需要以企业层面制度创新为基础,以政府层面制度创新为支撑。企业产权制度创新可以明晰产权,建立完善治理结构,也可以扩大融资渠道和增强组织激励。通过 R&D 占有率可以衡量企业的人力资本制度,发挥企业人力资本的创造性、积极性,创造有利于人才培养的制度环境,是企业制度创新的重要环节。随着制造业产业中高技术特征愈发明显,技术进步在转型发展中起到非常关键的作用。企业科技制度能够促进企业的技术进步,而后者是企业最重要的核心竞争力。因此,企业制度创新是制造业产业转型升级的良好微观基础。政府层面制度创新是产业发展的重要支撑。由于市场和企业的行为具有外部性,就需要政府通过产业政策和产业制度进行宏观调控和规范引导。政府层面制度创新是产业制度创新体系中的重要组成部分。

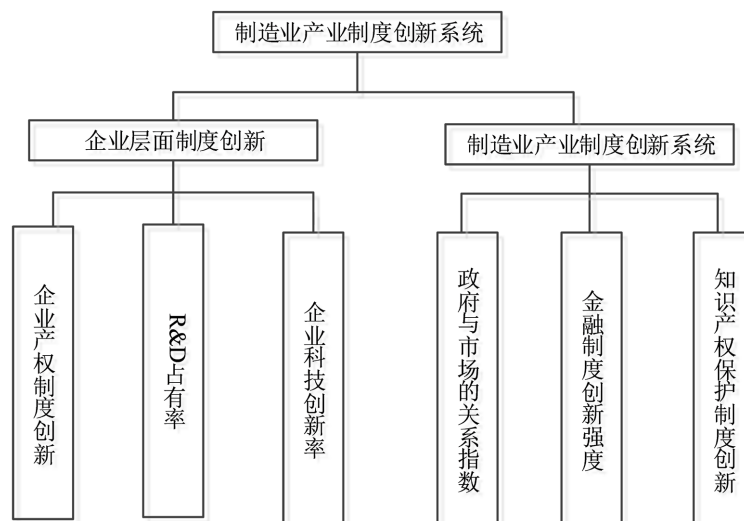


Figure 2. Manufacturing industry system innovation system  
图 2. 制造业产业制度创新系统

因此，制造业产业制度创新体系以企业层面制度创新为微观基础，以企业为主体，政府层面制度创新为企业制度创新起到辅助性作用，最终实现各种生产要素向制造业产业集聚，引导企业制度的有效创新，实现制造业转型发展，如表 4 所示，建立制造业产业制度创新评价指标体系。

Table 4. Evaluation index system of manufacturing industry system innovation

表 4. 制造业产业制度创新评价指标体系

一级指标	二级指标	计算公式
企业层面制度创新	企业产权制度创新	企业产权制度创新 = 非国有企业总产值/全部企业总产值
	企业科技制度创新	企业科技创新率 = 规模以上企业设有科技机构企业数量/规模以上企业数量
	R&D 占有率	R&D 占有率 = 企业 R&D 人数/企业从业总人数
政府层面制度创新	政府与市场的关系指数	市场分配经济资源的比重、政府对企业干预程度以及政府规模分项指数合成
	金融制度创新强度	金融业的市场化指数
	知识产权保护制度创新	知识产权保护指数

企业层面上的非国有化率、R&D 占有率以及企业科技创新率的指标数据来自于上海统计年鉴、中国工业年鉴及国家统计局网站等，政府与市场的关系指数、金融制度创新强度及知识产权保护制度创新来自于中国市场化指数数据库。以上指标区间为 2013 年~2020 年区间内的数据指标。由于与技术创新能力指标体系类似，制度创新能力仍采用熵值法确定各个指标的指标权重，如表 5 所示。

观察表 5 发现，企业层面制度创新指标权重达 0.579，政府层面制度创新指标权重达 0.421，说明企业各项制度政策在提高制造业产业制度创新能力中起到了主要作用，政府层面制度在提升制度创新能力也起到了关键作用。在二级指标中，企业层面中，科技创新率的权重达到了 0.656，这也反映了企业内部的科技制度对促进制造业制度创新演进发挥了重要作用，其次是非国有化率和 R&D 占有率，优化企业人力资源制度和明晰企业产权依旧是企业制度创新的主要因素；政府层面中，政府与市场的关系指数的权

重达到了 0.434，金融制度创新强度和知识产权保护指数权重达到 0.293、0.273，也反映完善和恰当的金融制度与知识产权机制对促进制度演进也是重要的因素之一。

**Table 5.** The weight and evaluation results of each index of Shanghai's manufacturing industry system innovation index system

**表 5.** 上海制造业产业制度创新指标体系各指权重及评价结果

年份	企业层面制度创新			政府层面制度创新		
	非国有化率	R&D 占有率	企业科技创新率	政府与市场关系指数	金融制度创新强度	知识产权保护指数
2020	0.2120	0.1440	0.1459	0.0801	0.1743	0.1375
2019	0.1962	0.1021	0.1564	0.0821	0.1702	0.1368
2018	0.1947	0.1313	0.1454	0.0866	0.1755	0.1362
2017	0.1947	0.0965	0.1340	0.0863	0.1686	0.1302
2016	0.0582	0.0752	0.1223	0.0860	0.1776	0.122
2015	0.0558	0.0585	0.1248	0.0775	0.1768	0.121
2014	0.0578	0.0483	0.0969	0.0784	0.1817	0.1311
2013	0.0413	0.0340	0.0350	0.0730	0.1865	0.1308
权重	0.200	0.144	0.656	0.434	0.293	0.273
一级权重	0.579			0.421		

## (二) 构建复合系统协同度模型

1) 子系统有序度的确定借鉴孟庆松和李晖煜关于复杂系统的协同度模型的研究，结合上海制造业的发展现状，构建上海制造业中技术创新、制度创新两者之间的协同度模型。本文将上海制造业视为一个复合系统，用  $S$  表示，制造业产业复合系统  $S$  包括：技术创新子系统  $S_1$ 、制度创新子系统  $S_2$ ，即  $S = (S_1, S_2)$ 。

对于一个复杂系统，假设是由若干个子系统组成，即  $S = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_j)$ ， $S_j$  表示为第  $j$  个子系统。考虑单个子系统  $S_j$ ，设在其发展过程中的序参量变量  $e_j = (e_{j1}, e_{j2}, e_{j3}, \dots, e_{jn})$ ，其中  $n \geq 1$ ， $\beta_{ji} \leq e_{ji} \leq \alpha_{ji}$ 。一般来说，复合系统的协同度取决于系统内序参量的有序发展程度，即有序度，因此假定  $e_{ji}$  的取值越大，表明子系统的有序发展的程度越高，反之亦然。

定义 1 子系统的序参量  $e_{ji}$  有序度计算公式如下：

$$U_j(e_{ji}) = \frac{e_{ji} - \beta_{ji}}{\alpha_{ji} - \beta_{ji}} \quad i \in [1, l] \quad (1)$$

$$\text{或 } U_j(e_{ji}) = \frac{\alpha_{ji} - e_{ji}}{\alpha_{ji} - \beta_{ji}} \quad i \in [l+1, n] \quad (2)$$

其中， $e_{ji}$  表示为第  $j$  个子系统的第  $i$  个指标上的序变量， $\beta_{ji}$  和  $\alpha_{ji}$  表示子系统中的下限和上限， $U_j(e_{ji}) \in [0, 1]$ ，其值越大，表明子系统内的序参量  $e_{ji}$  对该所子系统有序发展的“贡献”越大。由于技术创新和制度创新均属于正向指标，所以在本文中均采用公式(1)计算子系统序参量的有序度。

定义 2 子系统序参量  $e_j$  有序度的计算公式如下：

$$U_j(e_j) = \sum w_i u_j(e_{ji}) \quad (3)$$

其中， $w_i \geq 0$ ， $\sum w_i = 1$ ， $w_i$  表示第  $i$  个指标在第  $j$  个系统中整体评价中的相对重要程度， $U_j(e_j)$  为序参量变量为  $e_j$  的子系统  $S_j$  的有序度。总体来看，序参量  $e_{ji}$  对系统  $S_j$  有序发展的“总贡献”，可采用公



式(3)线性加权求和法进行计算。若的值越大,说明子系统 $S_j$ 内有序发展的程度高,即 $e_j$ 对子系统 $S_j$ 有序发展的“贡献”大,反之亦然。有序度用于表示复合系统内子系统的有序发展程度,一般取值范围为: $0 \leq OD \leq 1$ 。

通过对原始数据进行标准化处理后,前文采用熵值法对上海制造业的技术创新和制度创新各个序参量进行指标权重,将标准化的数据和权重代入公式(1)和(3),可以得到上海制造业转型发展的技术创新和制度创新有序度,如图3所示。

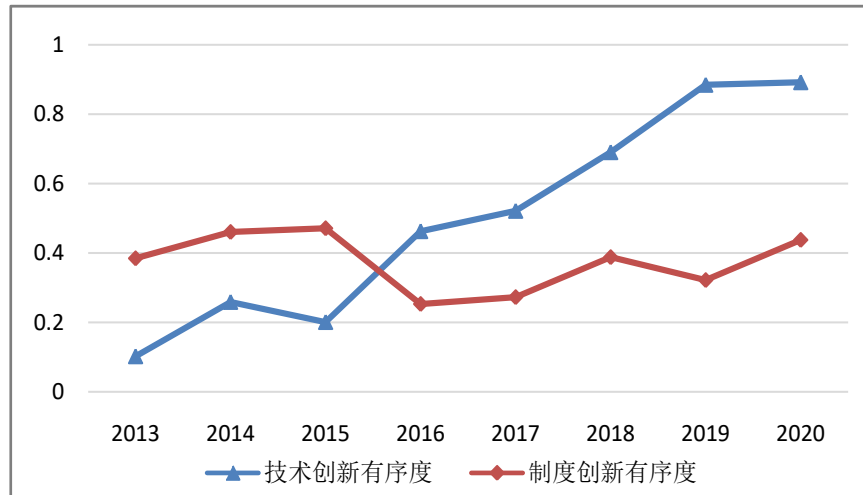


Figure 3. Technological innovation and institutional innovation subsystem orderly degree of Shanghai's manufacturing transformation and development

图3. 上海制造业转型发展的技术创新与制度创新子系统有序度(纵坐标表示子系统有序度)

2) 系统协同度的确定对于一个初始时刻为 $t_0$ ,此时各个子系统的序参量有序度为 $u_j^0(e_j)$ 。在系统演变的过程中, $t_1$ 时刻,各个子系统序参量的有序度为 $u_j^1(e_j)$ 。一般认为,若 $u_j^1(e_j) > u_j^0(e_j)$ ,则整个复合系统是有序发展;若 $u_j^1(e_j) < u_j^0(e_j)$ ,则整个复合系统处于无序发展状态。公式(4)(5)表达式均可以表示系统协同度模型,公式(4)采用几何平均法进行集成,公式(5)采用线性加权法进行集成。本文采用(4)公式进行计算。

定义3 子系统间的协同度计算公式如下:

$$\alpha = \delta \left( \left[ \prod_{i=1}^k \left[ u_j^1(e_j)^k - u_j^0(e_j) \right] \right] \right)^{1/k} \quad (4)$$

或

$$\alpha = \delta \sum_{i=1}^k w_j |u_j^1(e_j) - u_j^0(e_j)| \quad (5)$$

其中,

$$\delta = \begin{cases} 1, & \min [u_j^1(e_j) - u_j^0(e_j)] > 0 \\ -1, & \min [u_j^1(e_j) - u_j^0(e_j)] < 0 \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, k$$

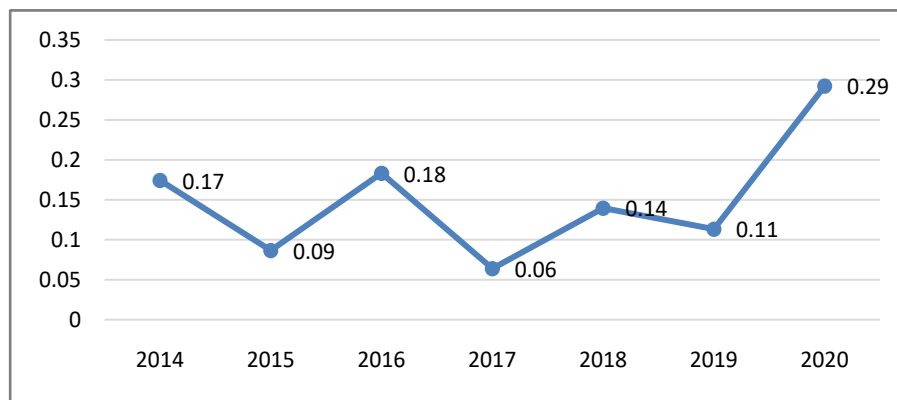
协同度(Coordination Degree, 简称 CD),表示复合系统内各个子系统之间的协同配合程度,取值范围为: $-1 \leq CD \leq 1$ ,协同度越大,则各个子系统之间配合协调程度高,有利于整个复合系统的目标实现。

按照协同度值的大小，可以依次将其划分为不协同、低协同、中协同、高协同和协同一致五个等级，如表 6 所示。

**Table 6.** Hierarchical division of synergy degree of composite system  
**表 6.** 复合系统协同度的等级划分

协同度数值	[-1,0]	(0,0.3]	(0.3,0.7]	(0.7,1)	1
系统状态	不协同	低协同	中协同	高协同	协同一致

将技术创新与制度创新在 2013 年~2020 年的有序度代入公式(4)，即可得到技术创新与制度创新复合系统的协同度，并将测算结果绘制成折线图(如图 4)。



**Figure 4.** Synergy curve of Shanghai manufacturing technology innovation and institutional innovation composite system

**图 4.** 上海制造业技术创新与制度创新复合系统协同曲线图(纵坐标表示复合系统协同度)

3) 实证结果分析根据对上海制造业技术创新与制度创新协同演化下实证结果分析如下：从技术创新与制度创新子系统的有序度视角来看，如图 3 所示，技术创新子系统的有序度在 2014 年~2020 年有着上升的趋势，可以表明子系统在从无序到有序的演化过程。其中，对于制度创新子系统而言，在 2013 年~2016 年出现明显的下降，表现出制度创新子系统在发展过程中的不稳定性，目前呈现出上升的趋势；对于技术创新子系统而言，在 2014 年~2020 年处于稳步上升的趋势，表明在技术创新方面，上海制造业在发展过程中技术的不断进步，技术引进、消化与吸收是促进上海制造业技术水平挺高的重要途径之一。除此之外，在 2016 年~2020 年期间，技术创新的有序度较高于制度创新的有序度，R&D 投入强度的增加、新产品的研发以及科研人员的增加，相应技术创新也出现增强，同样可以表明上海制造业对技术进步的重视程度，技术创新整体发展态势良好。

从关于技术创新与制度创新协同度发展曲线来看，如图 4 所示，复合系统协同度呈现出明显的上下波动的态势，且下降的幅度较大，表明虽然上海制造业的技术创新与制度创新两个子系统中的有序度不断提高的过程中，但两者之间的协同度、演进程度缺乏同步发展性。在 2014 年~2020 年期间，协同度都低于 0.3，证明技术创新与制度创新的协同状态均为低协同，说明近几年的技术创新与制度创新之间的协同效应不明显；在 2014~2015 年与 2016~2017 年期间，技术与制度协同度下降幅度较大，技术创新与制度创新协同度呈现出明显的波动趋势。说明虽然技术创新和制度创新有序度不断提高，但二者之间的协同演进程度并不理想。随着时间的推移，技术创新演进与制度创新演进没有稳定的同步增长关系。在协同度的上下震荡中推动产业演进与发展。在技术创新能力、制度创新能力稳定提高的前提下，二者新协

同度的震荡可能是制约制造业数字化升级的主要原因之一。

从技术创新投入、制度创新投入强度和复合系统协同度视角来看,在2013年~2020年期间,随着技术创新投入的不断增加,但是技术创新与制度创新未能同步发展,导致制度创新能力滞后于制度创新能力,造成制度创新发展较为缓慢,从而进一步系统协同度的变化。因此,在技术创新与制度创新稳定发展的前提下,技术与制度协同度表现不理想可能是制约上海制造业转型发展的原因之一。在技术创新与制度创新能力不断提高的情况下,不断探索制造业技术创新与制度创新协同演化路径,实现制造业转型发展。

## 5. 结论与启示

本文在梳理相关的文献基础上,探讨了技术创新与制度创新两者之间的协同演化机理,通过构建复合系统协同度模型对上海制造业的技术创新与制度创新进行了实证分析,研究表明,技术与制度的共同演化是产业转型升级的重要驱动力,上海制造业在技术创新和制度创新方面在不断有序发展的过程,也需要注重企业技术与制度创新协同演化动态规律。进入21世纪以来,创新是企业生存发展的重要推动力之一,通过不断推进技术创新与制度协同发展,进而提高企业的创新能力。技术创新不断发展的过程中,不断提出优化制度结构和完整制度的要求,因此在进行制度政策的设计中,需考虑技术要求的匹配性与实施的同步性,技术-制度的创新协同共同推进产业发展。

## 参考文献

- [1] Ehrlich, P.R. and Raven, P.H. (1964) Butterflies and Plants: A Study in Co-Evolution. *Evolution*, **18**, 586-608. <https://doi.org/10.2307/2406212>
- [2] Norgaard, R.B. (1984) Coevolutionary Agricultural Development. *Economic Development & Cultural Change*, **32**, 525-546. <https://doi.org/10.1086/451404>
- [3] Kauffman, S.A. (1993) Final Theory in Biology. (Book Reviews: The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution). *Science*, **260**, 1531-1533. <https://doi.org/10.1126/science.260.5113.1531>
- [4] Malerba, F., Nelson, R., Orsenigo, L., et al. (2006) Vertical Integration and Disintegration of Computer Firms: A History Friendly Model of the Co-Evolution of the Computer and Semiconductor Industries. *KITeS Working Papers*, **17**, 197-231. <https://doi.org/10.1093/icc/dtn001>
- [5] 睦纪刚. 技术与制度的协同演化: 理论与案例研究[J]. 科学学研究, 2013, 31(7): 991-997.
- [6] 刘英基. 高技术产业技术创新、制度创新与产业高端化协同发展研究——基于复合系统协同度模型的实证分析[J]. 科技进步与对策, 2015, 32(2): 66-72.
- [7] 温铁军, 谢欣, 高俊, 等. 地方政府制度创新与产业转型升级——苏州工业园区结构升级案例研究[J]. 学术研究, 2016(2): 82-89+177-178.
- [8] 沈琼, 王少朋. 技术创新、制度创新与中部地区产业转型升级效率分析[J]. 中国软科学, 2019(4): 176-183.
- [9] 侯光明, 景睿, 王俊鹏. 系统视角下协同创新模式的实施策略研究——以新能源汽车企业为例[J]. 经济体制改革, 2021(1): 115-121.
- [10] 李晖煜, 赵涛. 复杂系统协调度评价模型研究[J]. 中国农机化, 2008(6): 44-46.