

事件驱动的技术产业化阶段智能识别方法研究*

■ 姚占雷 樊亚鑫 许鑫

华东师范大学经济与管理学院 上海 200062

摘要: [目的/意义] 技术产业化所处阶段的不同, 对社会资源配置要求不一。技术产业化阶段的智能识别是精准施策的一个前提, 能够助力相关部门及时调配社会各方资源, 通过科学布局、持续改进等, 以加速技术产业化进程。[方法/过程] 首先, 基于互联网公开数据, 建立全面刻画技术产业化进程中技术与社会交互行为的路径; 然后, 在此基础上, 建构一套事件驱动的技术产业化阶段智能识别方法; 最后, 选取我国光伏产业中的单晶硅技术产业化案例为实证对象, 在验证方法可信的基础上, 基于这一典型案例揭示技术产业化各个阶段中技术与社会互动的典型特征, 以精细指导做好各类社会资源的有效配置。[结果/结论] 该智能识别方法能够改变既往识别活动的重事后评价等现状, 可辅助科技工作者灵敏捕捉不同技术产业化策略的实施时机, 进而统筹做好社会资源优化配置, 助力加速技术产业化进程。

关键词: 技术产业化阶段 事件驱动 智能识别

分类号: G250; C931

DOI: 10.13266/j.issn.0252-3116.2024.09.008

引用本文: 姚占雷, 樊亚鑫, 许鑫. 事件驱动的技术产业化阶段智能识别方法研究[J]. 图书情报工作, 2024, 68(9): 76-88. (Citation: Yao Zhanlei, Fan Yaxin, Xu Xin. Research the Intelligent Identification for Technology Industrialization Stages with Event-Driven Method[J]. Library and Information Service, 2024, 68(9): 76-88.)

产业的创新发展离不开科学技术的进步, 借助颠覆性(前沿)技术识别以探寻产业前瞻性布局, 是学术界业界持续关注的话题, 并形成诸多技术方法、工作范式等。然而, 这些颠覆性(前沿)技术被识别出来后, 如何更为科学地利用, 将对产业发展会带来何种影响等, 尚未形成有效范式。技术产业化是科技强国的一个关键环节, 它泛指通过对技术的研究、开发、应用、扩散等活动而渐趋形成产业的过程, 而这一系列过程, 天然蕴含着技术与社会互动的种种行为(如研发、投融资、补贴、试产、量产、转移转化等), 是一项复杂的系统性工程; 而及时做好社会资源配置, 有助于加速技术产业化进程。因此, 如何从这些纷繁复杂的行为中敏锐捕捉技术产业化拐点、探寻技术与社会互动的最优方案, 有助于更为科学地做好社会资源配置, 进而加速技术产业化进程、抢占先机。

缘于此, 本文旨在解决技术产业化拐点的灵敏识别问题, 主要是聚焦从公开易获取、稳健可靠的数据中探究建立技术产业化阶段识别的方法技术, 并依托我国光伏产业全球“领头羊”成长历程这一典型成

功案例, 具体选取光伏产业单晶硅技术产业化事件, 在验证方法的基础上描绘技术产业化进程中技术与社会互动的典型特征。

1 相关研究回顾/Research review

1.1 技术产业化的社会因素研究

在技术产业化进程中, 技术的发展不仅受到技术本身的影响, 通常还会受到社会环境、创新主体行为等多重因素^[1-2]的影响, 如: 许海云等^[3]、毛云莹等^[4]等从知识网络结构和技术与产业融合的视角, 实证了技术转化与社会环境之间存在双向互动与依存关系。因此, 在研判技术产业化趋势时, 学者们关注到了社会资源配置对技术产业化的影响, 如: 从城市物质流动、技术政策与设施建设等方面评估(3D打印)技术的潜力^[5], 同时公众也对技术的支持、政策补贴等能够加速新技术落地应用与产业化^[6-7], 可依托新闻和社交媒体数据从社会认知视角分析技术发展历程及其所蕴含的典型特征^[8-9]。此外, 亦有学者基于“技术—市场—法律/政策”的多维框架, 综合运用德尔

* 本文系中央高校基本科研业务费项目华东师范大学青年预研究项目“产业紧缺人才动态识别与智慧情报服务研究”(项目编号: 2022ECNU-YYJ015)研究成果之一。

作者简介: 姚占雷, 工程师, 硕士, E-mail: zlyao@infor.ecnu.edu.cn; 樊亚鑫, 硕士研究生; 许鑫, 教授, 博士生导师。

收稿日期: 2023-09-26 修回日期: 2024-01-15 本文起止页码: 76-88

菲、专利信息计量等方法构建了技术产业化潜力的评价指标体系^[10-12]，为技术产业化活动的系统性评价、影响因素识别等支持。

可见，现有相关研究并未局限于从技术自身所具备的先进性等角度去甄别其产业化的潜力和发展过程，而是综合技术与社会互动的的影响，来系统审视技术产业化进程中的关切点，能够为我们更为科学地支撑技术发展、推动产业创新发展等提供支持。

1.2 技术产业化的阶段识别研究

一般而言，技术产业化阶段反映的是技术驱动产业创新发展的关键性过程，在宏观层面表现为产业的技术水平在整个产业结构中所处的状态。由此，技术产业化阶段的识别工作，多是在产业生命周期理论^[13]指导下，综合调研了解市场^[14]、产品^[15]以及产业增长率^[16]等现状，进而融合专家智慧进行人工定性判别。不过，学术界也在探索采用定量方法进行识别，如：基于产业边际效益拟合产业 Logistic 曲线^[17-18]、构建系统动力模型以模拟产业发展趋势曲线^[19]，并以曲线特征作为产业化阶段识别的依据，或综合新产品利润和专利产出效率^[20]构建观测维度，通过识别产业生长曲线的增长率变化^[21]或断点^[22]等方法，完成阶段识别。这些探索，虽丰富了阶段识别工作与实践，但缘于这些方法需要基于产业（或技术）从萌芽到衰退的完整历史行为数据，而对于成长中的产业（或技术）缺乏定量的方法判别所处阶段，故存有后

验性问题，仍需要进一步地完善与优化。

简言之，当前相关研究聚焦于如何借助量化分析方法，辅助高效、多视角识别产业阶段。然而，受制于全周期历史行为数据揭示所固有的后验性现实，相关结论等多适应于事后评价和规律性揭示，难以灵敏捕捉技术生长过程中的产业化特性和社会资源配置特点，这正是本文选题形成的一个重要动因。

2 事件驱动的技术产业化阶段智能识别方法设计 /Design of intelligent identification method for technological industrialization stages driven by event

技术产业化所处阶段的不同，对社会资源配置要求不一，由此对技术产业化阶段的科学划分是精准施策的一个前提，同时智能识别的方法构建亦可支撑观测技术产业化走势、研判重要拐点。本文从产业发展活动的微观层面出发，将技术与社会互动的种种行为纳入“事件”，重点对事件的类别划分、传播特征（时空扩散情况等）、影响分级等细粒度归纳与分析，进而基于不同类型事件的交互演变特点，构建用于技术产业化阶段智能识别的方法及其关键技术。由此，从技术与社会互动视角出发（见图 1），能够帮助我们多维、细粒度地观测技术在某一时点上所处的产业化水平，进而做好社会资源配置、加速技术产业化进程。

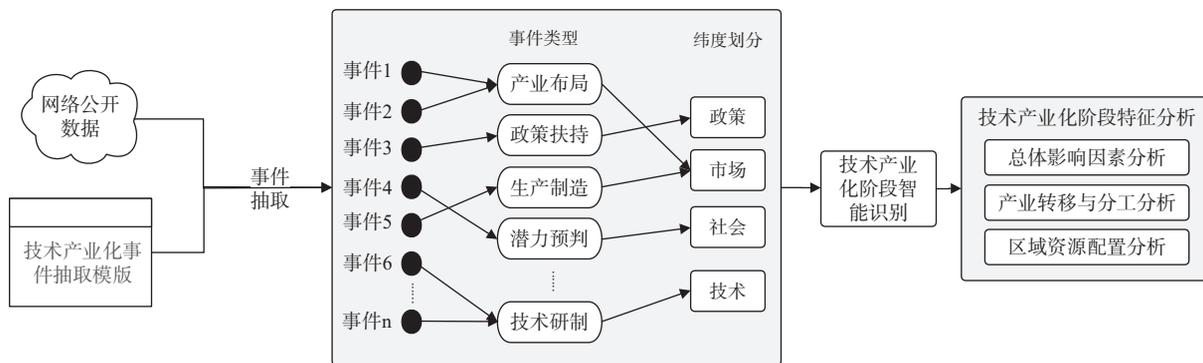


图 1 技术产业化阶段智能识别的核心逻辑

Figure 1 Core logic of intelligent identification for the technology industrialization stage

(1) 技术产业化演进中的影响因素分析。承载技术与社会互动行为的纷繁复杂事件，其本身就反映了社会资源的配置情况，由此同类型事件在技术产业化进程中的时空演变特点，则在一定程度表征了该类社会资源的影响程度，即：不同类型事件之间的先后顺序一定程度上能够反映社会资源的介入时间以及影响因素之间的前后因果作用关系。

全景观测不同类型事件及其阶段性的时空演变情况，有助于观测不同社会资源在推动技术发展过程中交错发力的时间节点，为技术产业化中的各类社会资源分配重心提供指导。

(2) 技术产业化进程中的产业转移与分工。技术产业化发展不同阶段，产业需求的重心也会随之变化，如：在技术产业化早期，产业发展主要靠技

术创新驱动，重点需要知识密集型资源；随着产业发展趋于成熟，生产资源和市场资源的地位逐渐上升，由此需求比重的变化会促使市场主体寻找产业发展最优的地区进行产业转移与分工。

基于时间维度分析各类事件的地点空间变化情况，能够刻画生产重心空间运动轨迹、复现与观测技术产业化转移过程与分工。

(3) 产业稳健发展的区域资源配置。随着技术与市场的渐趋稳健，产业跨区域的分工合作需求将持续增强。然而，不同区域间的产业发展，其所涉及的社会资源配置重心及其配置顺序必然存有差异，由此综合分析并观察不同地区的优劣势，有助于总结不同社会资源组合对于研发、生产和应用等产业分工的推动作用规律。

观测与回顾不同地区在技术产业化进程中的不同类型事件特点，能够帮助我们快速识别到地区间的比较优势，进而从区域、国家等不同层面充分做好产业发展所需的各类资源配置。

2.1 技术产业化的事件描述规范建立

产业发展活动，外在表现为技术与社会交互的纷繁复杂行为，这些行为本身也折射出产业发展的特点。研究选取产业发展活动中所涌现的新闻报道为数据源，建立起全面刻画技术与社会交互行为的模式与规范，支撑相关研究与工作开展。

2.1.1 事件描述框架设计

从新闻文本中科学提炼出技术产业化事件，是技术产业化阶段智能识别的前提。然而，受制于不同新闻来源的行文风格，多来源的新闻文本结构之间差异性大，部分事件元素缺失或表达较为隐晦，且单一事件可能分布在不同句子或段落之中（见表1），这就需要一套标准或框架体系来指导事件抽取工作。本文在经典的ACE2005和CFC事件语料库基础上，结合技术产业化活动特点，设计一套事件描述框架（见表2），以支撑相关事件抽取工作。具体使用时，则是依据表2所示的数据项，综合判读新闻中与技术相关的事件元素并进行抽取。

表1 技术新闻所蕴含的事件示例

Table 1 Examples of events implied in technology news

新闻标题	新闻正文（凸显部分为“事件”）
这30公里，走了30年	*****2009年锦州滨海新区计划开工2000万元以上项目50个，总投资额为194.35亿元人民币。包括：①佐源糖业*****总投资172.15亿元人民币，其中，单晶硅太阳能电池、多晶硅锭等4个光伏产业项目总投资6.6亿元人民币；万得汽车传动系统*****
东港片区盘活闲置车间救急	本报讯*****1公里外，金德管业原本闲置的4间厂房同样一片忙碌，这里将成为西安隆基旗下乐叶光伏新的生产和仓储基地，也是西安隆基在衢州建设的1GW单晶硅太阳能组件生产基地，预计年产值达30亿元以上，9月底已进入试生产阶段。据东港片区服务中心主任徐建勇介绍*****
天水：签约52项招商引资项目	*****从7月7日举行的天水市投资环境说明暨重点项目签约仪式上获悉，本届兰洽会期间，天水市共签约重点招商引资项目52项，总投资122.2亿元，拟引资121.8亿元。其中重点项目有：投资10亿元的天水经济技术开发区星火产业园项目；投资12亿元的重型数控机床生产项目；投资10多亿元的年产1000兆瓦（MW）单晶硅太阳能电池片生产线项目*****

表2 面向技术产业化观测的事件描述框架

Table 2 Event description framework for technology industrialization observation

类型	名称	释义
事件基本元素	时间	事件的发生时间
	地点	事件的发生地点
	主体	事件的发起者，包括人物、机构或技术本身等
	行为	事件主体与客体之间的相互影响和互动
	客体	事件行为的受影响者，包括技术、机构或与技术相关的事物
	类型	事件的细分类别，如技术研制、生产制造等
事件扩展元素	性质	衡量事件的社会资源配置情况，如企业自发行为、科研院所（校）技术研制、校企协同等
	重要等级	依据原创新闻的报道主体级别识别，如自有宣传、地方性、区域性、国家性等
	影响I类	依据原创新闻的传播学特征识别，如转载的时空分布等
事件溯源属性	影响II类	事件发生时间与首次新闻报道之间的时间差
	特征词序	事件的外在标识，亦可作为事件抽取的触发词
	标识码	事件的来源，如提取自哪篇新闻、专利、论文等

2.1.2 技术事件类型划分

在大量研读系列相关文献资源和技术新闻文本的

基础上，重点结合卢文光^[23]和王涛等^[24]基于技术产业化概念总结的全产业周期过程及行为类型，将技术

事件类型划分为如表 3 所示的八大类型。同时,还参考了技术产业化评价研究中指标体系的划分标准^[25-26],最终确定事件类型与观测维度的对应关系。而为了体系化观测事件和高效抽取,根据各行为类型特征,本文还总结归纳出事件类型与行为触发词的对照关系,以支撑事件抽取过程中的人工判定与自动化抽取设计。

表 3 事件类型与观测维度对应关系

Table 3 Correspondence of event types and analytical dimensions

观测维度	事件类型	特征词序(部分)
政策调控	政策扶持	督察、引导、培育、颁布、补贴、发布……
市场活动	产业布局	建设、开工、落户、签约、新建、运作……
	生产制造	生产、调试、主营、从事、达产、量产……
应用实践	采用、装备、安装、购置、配备、采购……	
	商业运营	引领、转型、上市、签订、拥有、出口……
社会影响	潜力预判	投资、扩大、引进、计划、发展、募投……
技术研发	技术研制	制成、研发、创造、掌握、攻克、突破……
	技术突破	达到、超过、增长、提高、满足、优化……

2.2 技术产业化阶段的智能识别方法

产业发展阶段识别是认识技术产业化发展特征以及探索社会资源配置动态调整规律的重要前提,智能识别的方法构建亦可支撑观测技术产业化走势、研判重要拐点。现有研究则是以综合多维观测因素进行阶段划分的定性研究为主,同时还受制于全周期历史行为数据揭示所固有的后验性现实,相关结论等多适应于事后评价和规律性揭示,难以灵敏捕捉技术生长过程中的产业化特性和社会资源配置特点。为此,本文尝试建构一个量化分析的识别方法,以实现技术产业化进程的灵敏观测。具体是依托在互联网公开获取的产业市场事件和技术事件数据,将产业化阶段识别任务转化为对产业发展活动中不同类型技术事

件的生长曲线多分段拟合任务。

2.2.1 技术产业化阶段特征定义

产业生命周期理论指出随着产业的发展,产业变化速率由经历慢—快—慢的转变,并且产业增长顶点处于成熟期^[13,27]。这一变化趋势,虽能够较好反映产业发展的总体情况,但因未考虑到地区间竞争影响,在反映地区的产业演化特征时有所欠缺,尤其是高新技术产业,易受到国际形势变化的影响,如:我国光伏、集成电路等产业,均在产业成长期受到国际制约从而导致产业增长拐点处于产业成长期而非成熟期。为此,在产业生命周期理论指导下,结合技术产业化特点,融入技术研发视角,对技术产业化阶段及其特点进行了重新阐释(见表 4):①初生期。市场、研发等各类活动的数量以及变化率均很小。②快速发展期。产业呈现高速变化的特点,由于受到贸易壁垒、制裁等国际竞争的影响,技术产业化增长拐点可能会提前出现在此阶段,导致产业泡沫破碎。③理智成熟期。该时期处于成熟期的第一阶段,当技术热潮散去,产业变化率放缓,产业发展趋势逐渐变得理智。如果产业增长拐点未出现在快速发展期,则会出现在此阶段。虽然技术研发活动仍在进行,但活动数量变少,趋势趋于平稳。该时期的主要任务是降低成本,提高效率,最大化发挥产业规模效应,形成竞争优势。④规范化时期。该时期处于成熟期的第二阶段,技术已经成熟,以技术研发活动趋于消失作为识别特征,但产业活动仍未出现明显的下降甚至会再次有所增长,产业地区竞争格局已经稳定;同时此阶段的主要任务是规范化产业化流程和完善相关法律法规,充分发挥产业集聚效应,以保持持续稳定的增长态势。⑤衰退期。市场、研发等各类活动均减弱且渐趋消失。

表 4 技术产业化阶段特点

Table 4 Characteristics of technology industrialization in each stage

技术产业化阶段	产业生命周期理论			
	初生期	成长期	成熟期	衰退期
产业生长趋势特征	产业缓慢增长 技术缓慢增长	产业快速增长 技术增长并趋于稳定	产业先增长再下降,产业增长率平缓 技术近乎消失	产业增长率下降 技术研发消失
技术产业化阶段	初生期	快速发展期	理智成熟期	规范化时期
技术产业活动	增长 变化率小	增长/先增长再下降 变化率大	下降/先增长再下降 变化率小	下降/再次增长 变化率小
技术研发活动	增长 变化率小	增长/先增长再下降 变化率大	下降/先增长再下降 变化率小	近乎消失 近乎消失

2.2.2 技术产业化阶段的智能识别方法设计

产业生长曲线多分段拟合任务实际上是一种对曲线生长率变化进行分段的数据挖掘方法,生长率突变点是两条拟合线段的交点,同时也是阶段识别的依

据,如:陈小强等^[22]将断点分析工具应用到阶段识别任务当中,并在低频小样本和低频大样本时间序列数据中验证了方法的可行性。在此基础上,本文依托汇编整理好的规范化技术事件资源,建立起一套智能

识别技术产业化阶段的方法,主要包括以下4个流程:

(1) 曲线平滑处理。主要是消除短期离散噪声数据点对增长率判别的干扰,可采取卷积平滑方法,以实现在时间序列上应用滑动窗口和卷积核来对数据进行平滑处理,进而在有效处理局部变化和异常值的同时,保留曲线原始特征和结构,这对增长率的新趋势识别具有重要意义。而具体实践中,可以借助 Python 语言中 numpy 库的 convolve 方法来完成。

(2) 曲线多分段线性拟合。重点是将曲线分为若干段,每段内用一条直线近似曲线,使得每段内拟合误差最小,用拟合直线代替该段曲线的发展趋势。在具体实践中,可以借助 Python 语言中 Pwlf 库的 PiecewiseLinFit 方法来完成。PiecewiseLinFit 方法能够灵活适应不同的数据集、自动选择最优的分段数,当生长曲线出现新趋势时支持自动识别分段,同时该方法亦具有良好的可解释性,为后续的数据可视化分析提供了可靠的基础。

(3) 最优分段数量选取。重点是找到最佳的分段线段数量,以实现整体拟合误差的最小化。通过数值的方式量化选择最优的拟合方案,精确呈现曲线的整体发展趋势;同时相较于传统的梯度下降等优化方法,贝叶斯优化算法可以在相对较少的样本数量下找到较优解,且与能构建的技术实践资源相匹配。因此,本文选择贝叶斯优化算法对曲线的最优分段数量进行选取,以上一步骤的曲线拟合误差函数作为优化算法的目标函数,以误差函数最小作为优化目标,逐步构建目标函数的高斯过程模型,并利用该模型计算出下一个采样点的期望提升值,从而指导下一步的采样。

(4) 阶段划分区间选取。具体选取以产业发展活动中技术事件数量生长曲线的拟合直线交界点,作为技术产业化阶段识别的候选点,当候选点前后两条拟合线段呈现不同阶段趋势特征时,该候选点则为产业化阶段识别时间节点。如图2所示(图中以市场视角与研发视角为例),实心拐点前后拟合直线并未呈现不同的阶段趋势,因此该点并非是阶段识别时间节点。而在空心拐点前后,能够观察到明显的阶段性趋势变化,本文将符合空心拐点特征的时间点作为关键时间节点。同时,不同类型技术事件(如市场视角时间、研发视角事件等)的阶段识别时间节点,会因时间先后不同形成时间差,该时间差刻画了技术产业化阶段识别的缓冲区间,能够成为下一阶段技术产业化规划的最佳时期。

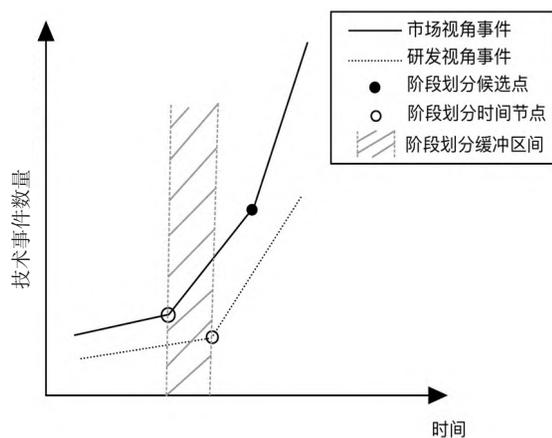


图2 阶段划分区间选取图示

Figure 2 Interval selection for stage division

3 方法实证与应用——以我国光伏产业单晶硅技术产业化为例 / Empirical research and application: taking the industrialization of monocrystalline silicon technology in China's photovoltaic industry as an example

3.1 数据来源与处理说明

我国光伏产业发展能够突破西方技术封锁成为全球“领头羊”,其中所蕴含的技术与社会互动做法亦值得借鉴。因此,本文具体选取我国光伏产业发展中的单晶硅技术,探寻揭示技术产业化进程中的社会资源配置特点,具有一定的实践指导价值。

在实验数据获取时,研究首先以“单晶硅太阳能”为关键词在“慧科搜索”数据库中进行新闻数据检索,时间段设置为2002年8月9日至2022年8月9日,数据来源限定为“报刊”,共获得1182篇单晶硅太阳能相关的原创(首发)性新闻文本数据。其次,在技术事件描述框架(见表2)指导下,对所采集到的新闻数据进行逐一解构,并对其中蕴含的事件进行提取(见表5),共获取1568个技术事件。因存在同一事件被多篇新闻重复报道的情况,需对提取后的事件内容进行数据去重处理,共得到研究所需的技术事件1040个(见表6)。同时,综合参考事件主体和行为对事件类型进行划分,每一类事件类型数量。

3.2 技术产业化阶段的智能识别

人们通常会综合技术成熟度、市场规模、需求以及政策支持等因素,基于技术创新周期模型或产业发展阶段理论对光伏产业展阶段进行划分^[27-28],并将我国光伏产业发展般划分为4个阶段,即:产业起步期(2007年以前)、产业成长期(2008—2012年)、

表 5 基于新闻文本的技术事件抽取示例
Table 5 Example of technology event extraction based on news text

事件元素	事件元素内容
新闻标题	天水：签约 52 项招商引资项目
新闻正文	本报讯（首席记者梁峡林）记者从 7 月 7 日举行的天水市投资环境说明暨重点项目签约仪式上获悉，本届兰洽会期间，天水市共签约重点招商引资项目 52 项，总投资 122.2 亿元，拟引资 121.8 亿元。其中重点项目有：投资 10 亿元的天水经济技术开发区星火产业园项目；投资 12 亿元的重型数控机床生产项目；投资 10 多亿元的年产 1000 兆瓦（MW）单晶硅太阳能电池片生产线项目；投资 30 亿元打造华天电子科技园项目。
事件时间	2010-07-07
事件地点	甘肃 / 天水
事件主体	天水
事件行为	招商引资
事件客体	年产 1000 兆瓦（MW）单晶硅太阳能电池片生产线项目
事件类型	产业布局 潜力预判
事件性质	政企协同
事件重要等级	地方性
事件影响 I 类	/
事件影响 II 类	2d
特征词序	签约 投资 招商引资 引资
溯源标识码	eNewsId2010070900002

表 6 我国光伏产业单晶硅技术新闻事件一览
Table 6 Overview of monocrystalline silicon technology news events in photovoltaic industry

观测维度	事件类型	未去重事件数量 / 个	去重事件数量 / 个
政策调控	政策扶持	137	99
市场活动	产业布局	217	154
	生产制造	266	160
	应用实践	306	195
	商业运营	187	140
社会影响	潜力预判	93	53
技术研发	技术研制	142	114
	技术突破	220	125
合计		1 568	1 040

产业回暖与调整期（2013—2018 年）以及产业规范化与崛起期（2019—2022 年）。缘于单晶硅技术是光伏产业发展的一项关键技术，且我国光伏产业发展正是得益在以此技术为代表的产业核心技术上的突破与坚持^[30-31]，因此本部分选取单晶硅这一典型技术作为实验案例，采用提出的技术产业化阶段识别方法，对其产业化活动进行了阶段性智能识别，得到了图 3 所示的技术产业化阶段（由于政策和社会视角数据量较少，因此阶段划分实证部分仅采用研发和市场两个视角），这与表 4 所折射出来的阶段特点基本吻合，即：技术产业化阶段涉及初生期、快速发展期、理智成熟期和规范化时期等阶段（因单晶硅技术仍为光伏产业中的一项重要成熟技术，故暂未识别到步入“衰退期”的拐点）。其中，线中带圆一曲线表示市场视角事件，线中带圆一直线表示市场视角事件拟合；线中带三角一曲线表示研发视角事件，

线中带三角一直线表示研发视角事件拟合。灰色透明区域代表产业化阶段划分区间，而黑色虚线则表示综合学术界、实践界研究成果^[28-31]，人工判定所形成的阶段识别拐点。

由图 3 可知，由人工判定的阶段识别时间点落在了本文所构建方法识别到的阶段划分区间内，这从侧面既佐证了该方法的可信性，也为技术产业化的灵敏观测提供支持。同时，该方法本质上是一类数据量化统计的活动，亦能够以自动化、智能化的方式运作，进而支撑数字化赋能技术产业化相关工作开展。

此外，为了验证方法在解决以往产业化阶段识别偏事后评价与揭示的“后验性”问题，本文特选取 2002 年第三季度至 2008 年第三季度间，以及 2002 年第三季度至 2012 年第四季度间真实发生的研发事件（68 个）与市场事件（146 个），进行了单晶硅技术的产业曲线生长过程的模拟，主要是通过逐步添加时间序列数据以观测方法的可用性和灵敏性（见图 4）。

如图 4 所示，本文所构建的方法在单晶硅技术产业化向第二阶段以及第三阶段转变的过程中，基于实时的市场活动和技术研发事件曲线数据，成功识别到了产业发展转变拐点。这一结果表明，在事件数据稳健可信的前提下，本方法能够较为准确、及时地自动识别技术产业化进程中阶段转变的拐点。

值得说明的是，综合图 3 发现，技术产业化阶段划分，往往源自于某类事件拐点出现，如单晶硅技术产业化的第一阶段、第三阶段的最早拐点分别是市场

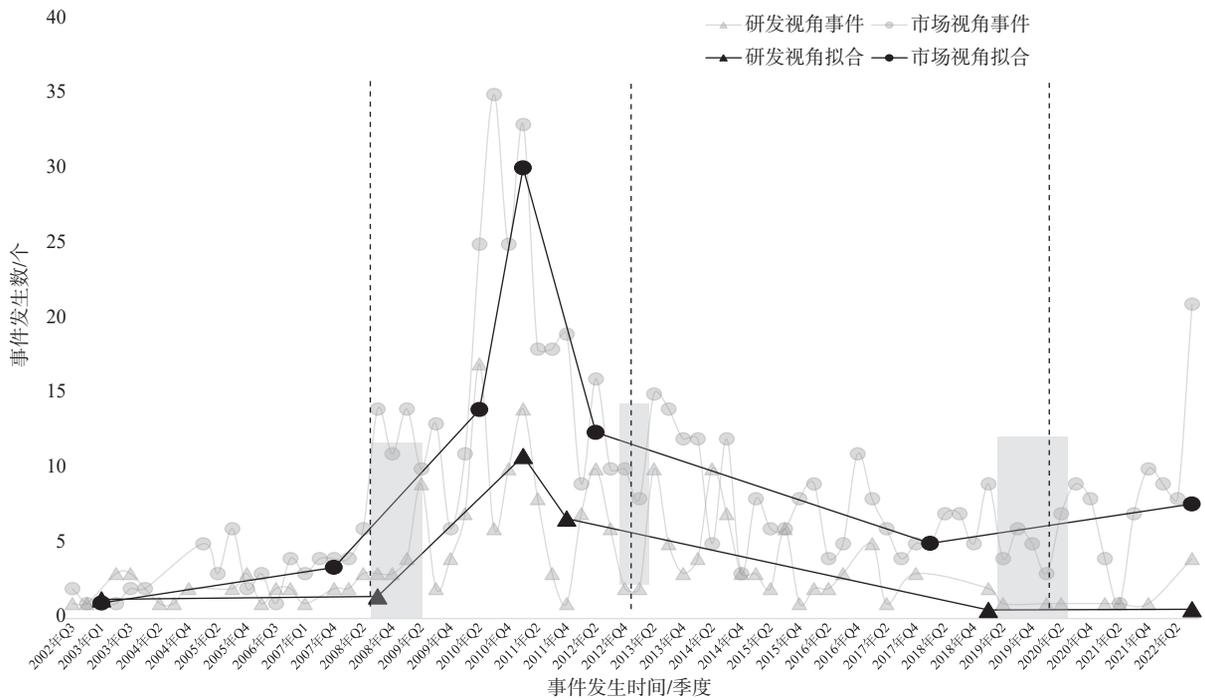


图3 研发与市场视角下的我国光伏产业单晶硅技术产业化阶段现状及走势

Figure 3 Current status and trends of monocrystalline silicon technology industrialization in photovoltaic industry from the perspectives of research and market

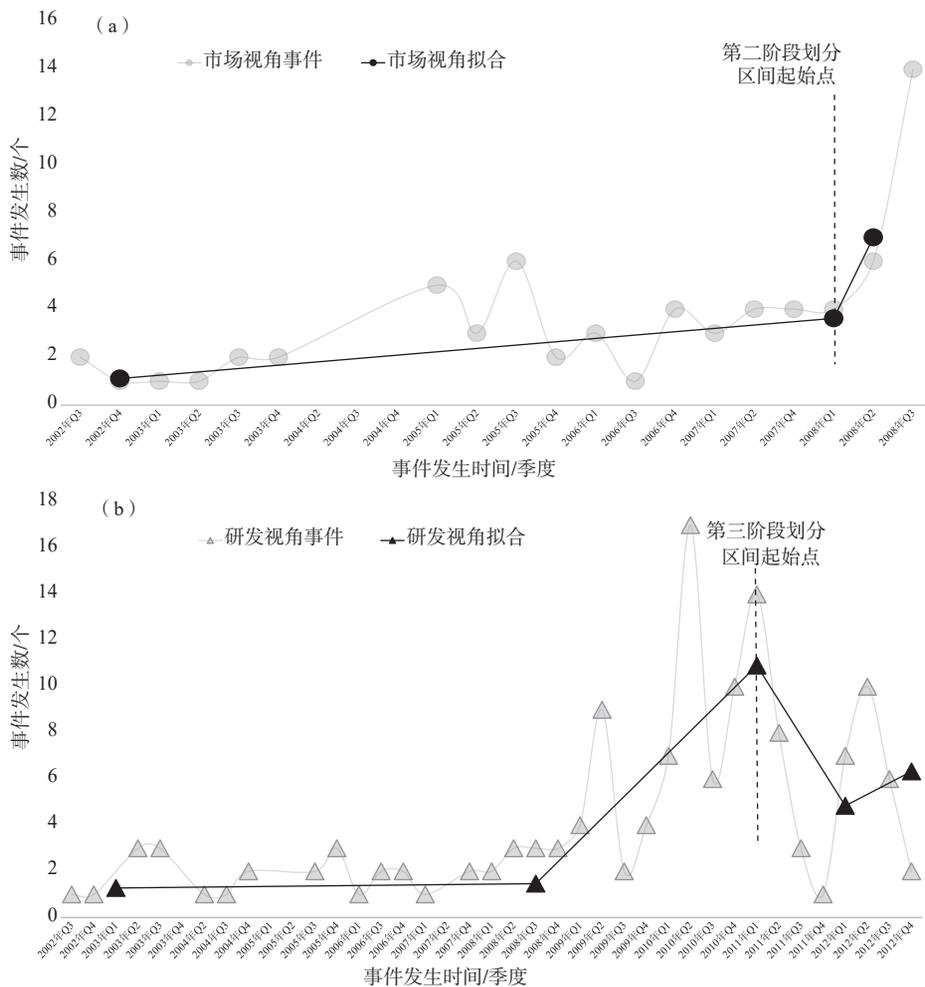


图4 模拟技术产业化阶段识别实验结果

Figure 4 Experimental results of simulated technology industrialization stage identification

事件拐点、技术事件拐点。由此可敏锐洞察时机，并融合不同类型事件拐点所勾勒出的阶段转变区间，可以构成技术产业化进程中各类社会资源阶段性优化重组的最优时间窗口，进而为相关部门工作的科学推进提供决策依据。

3.3 技术产业化进程中技术与社会交互特征识别

为进一步做好社会资源有效配置，助推加速技术产业化进程，在灵敏捕捉技术产业化拐点的同时，还需要知晓技术产业化各个阶段中技术与社会互动的主要特征。为此，本文利用所构建的方法、采编好的技术事件资源，全过程多维视角还原我国单晶硅技术产业化进程、识别单晶硅技术产业化阶段及其特点，综合不同类型事件增长曲线、区域分布等，逐次厘清其中社会各方资源协同的关键点，擎绘技术产业化进程中技术与社会互动的典型特征，为相关工作开展提供参考。

3.3.1 社会资源配置分析

综合观测不同类型技术产业化事件的时序变化，可以宏观把握市场、研发、政策和社会活动在技术产业化进程中的相互交织现象，这有助于归纳技术产业

化发展各个维度在不同阶段活跃度变化情况，进而通过对阶段活动特征和活跃度对比，研判产业发展的潜力和趋势，能够为相关技术产业化发展提供了指导和建议。

图 5 分别从市场、研发、政策、社会这 4 个视角所反映的社会资源之间具有较好的协同性，且在趋势上亦相互影响，同时从资源活跃度的角度来看，市场、研发活动更为活跃，具体表现为：①在起步阶段，社会期望和技术政策活动较低，且政策活动具有一定的滞后性；②在快速发展阶段，市场、技术研发和政策资源最为活跃，行业进入快速的生长，不过会因国际竞争之间的技术限制活动或者不理性增长等而引发产业泡沫破碎会导致资源配置活动的进一步回落；③在理智成熟阶段，市场活动虽有下降，但仍保持着相对较高的活跃性，且趋势较为平稳，而当技术已经趋于成熟，研发活动下降，最终与政策活动以及社会期望活跃度汇合；④在规范化阶段，市场上仍然保持较高的活跃性，其他类型资源活跃度较低且平稳，但需关注技术的演变，以捕捉趋势、稳固竞争优势。

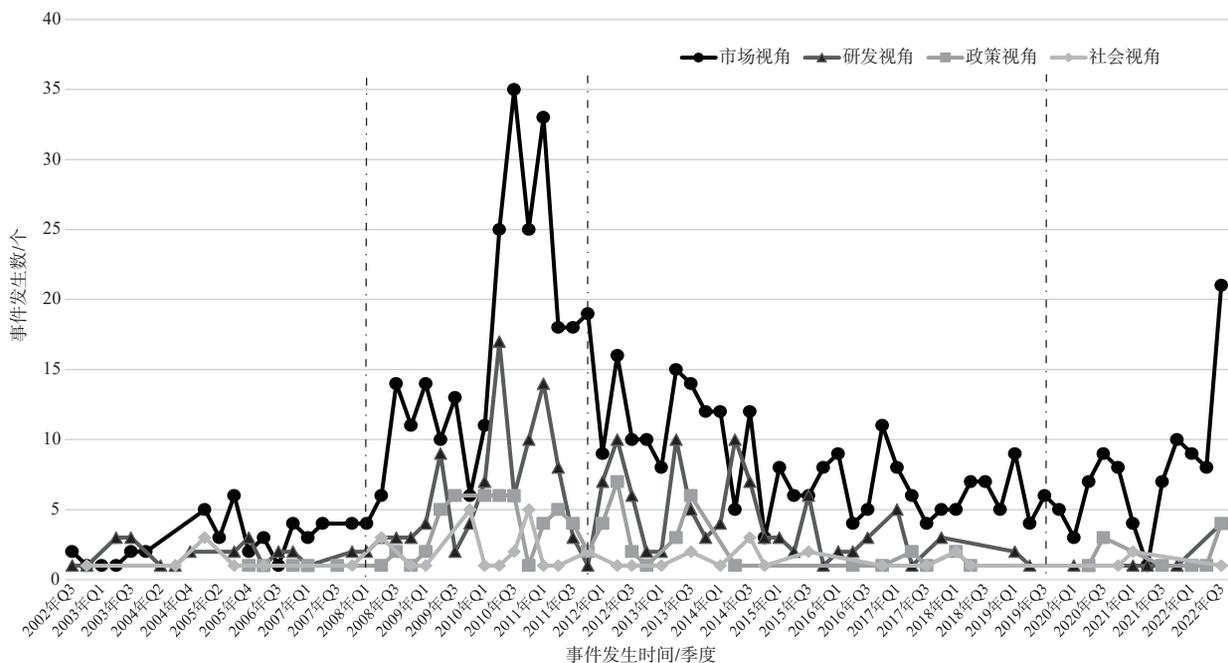


图 5 单晶硅技术产业化过程中的社会各类资源配置情况

Figure 5 Social resource allocation during the process of monocrystalline silicon technology industrialization

3.3.2 产业转移与分工

综合观测不同类型技术产业化事件的发生地区变化，可以观测到产业活动的转移与分工情况，洞察产业发展的趋势和未来发展的可能性，以此更深入地了解产业发展的模式和规律。

本文将产业布局、生产制造和商业运营事件合

并为生产活动，以表征技术产业链整体协作的动态变化和趋势，并单独描绘应用实践类事件，以直观揭示技术的真实市场表现与需求。具体是在结合技术研发事件的基础上，多维尺度观测与复现了单晶硅技术产业化进程中的产业转移与分工情况（见图 6），实验结果也印证了这样的观点，

即：需求是推动技术发展与革新的源动力。因此，探寻与开拓稳健的市场，既是技术产业化的一大助力，也是产业高质量发展的一个必要条件。尤

其是在技术诞生后，市场需要给予其一定的试错容错空间、留有足够的信心，而这就需要统筹做好社会各类资源配置。

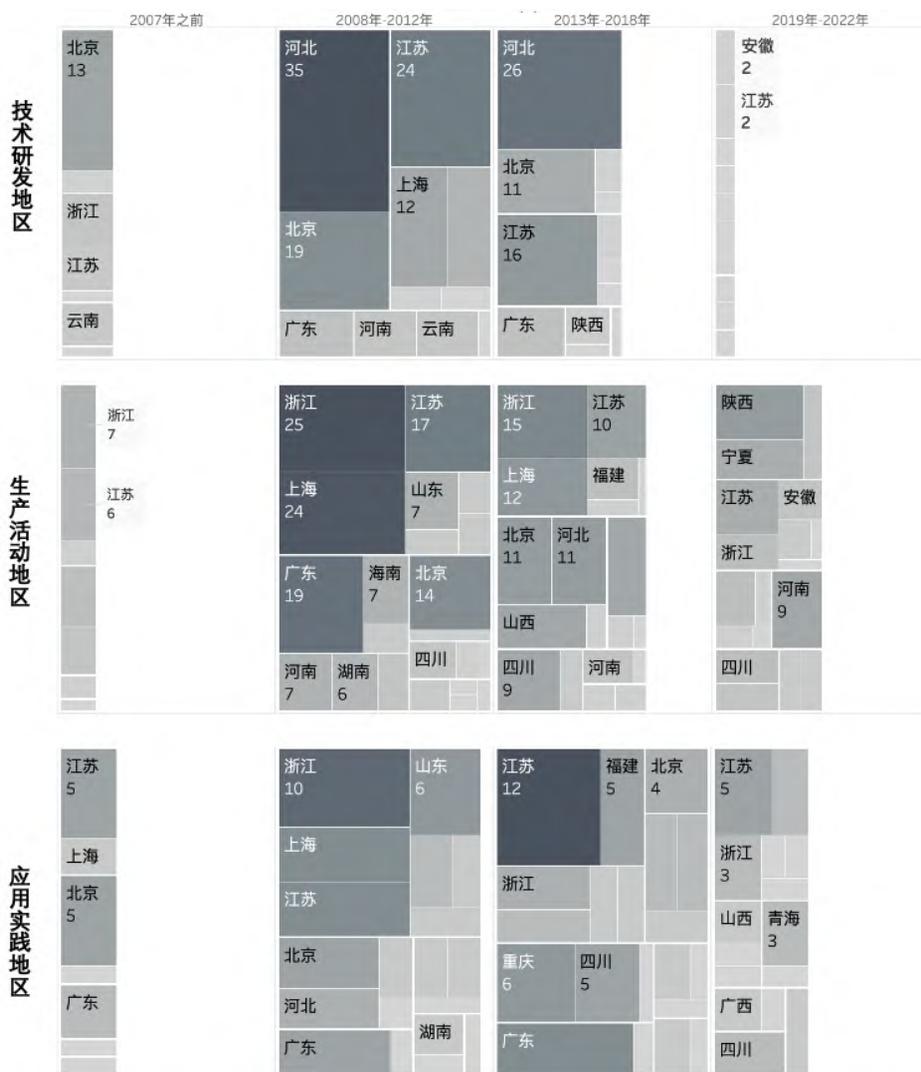


图6 单晶硅技术产业化进程中的产业转移与分工

Figure 6 Industrial transfer and labor division in the process of monocrystalline silicon technology industrialization

由图6可知，在单晶硅技术发展早期，技术研发主要集中在北京地区，而后随着产业化发展推进，技术研发重心逐渐向河北和江苏两地扩展，同时浙江地区也同样重视技术研发的发展，同时技术的渐趋成熟，也使得系列研发活跃度降低，地区间的差异也变得不明显。在企业生产活动方面，在早期与快速成长期时生产活动主要集中在华北、华东地区，进而新兴的生产重心地区集中在光照相对充足的中西部内陆地区，如山西、陕西、宁夏和四川等地逐渐崭露头角，成为主要的生产区域。在应用实践方面，产业初期主要集中在浙江、江苏和上海等华东地区，进而产业技术应用范围逐步扩大到四川等中

部内陆地区，但华东地区仍然是该产业技术应用的主要区域。

可见，产业活动转移特征表明，在技术产业化发展的早期，技术研发、生产和应用地区的边界模糊，产业分工现象不明显。发展的着力点应集中在经济及研发资源丰富地区，以创造有利于优化技术性能、探索产业建设模式和挖掘应用场景的条件；当技术研发活动由增长转为下降的拐点出现，技术和产业发展模式趋于成熟，产业优化调整成为技术产业化的主攻方向。此时产业生产活动应重心向成本或自然环境优势地区转移，并扩大技术成果应用范围，以发挥区域优势效应形成产业分工，实现资源的优化配置和互补，

促进了产业的协同发展。

3.3.3 区域资源配置分析

基于区域资源配置的分析，能够深入探究不同地区的技术产业化发展的内在规律。本部分具体选取河

北、江苏、浙江、陕西等若干单晶硅技术产业化发展的代表性省份，在全面复现单晶硅技术产业化进程中技术与社会交互行为（见图 7）的基础上，系统归纳出两种典型的技术产业化模式。

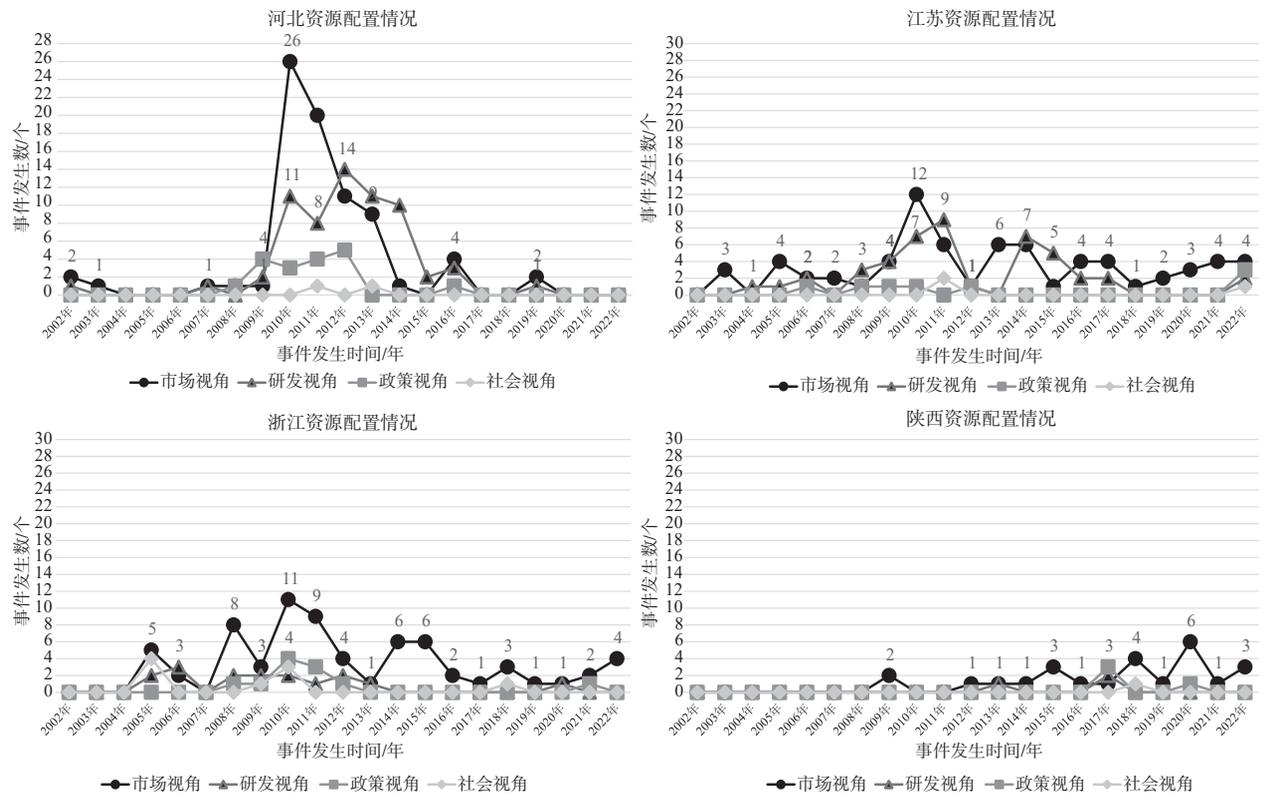


图 7 单晶硅技术产业化进程中的重点地区资源配置情况

Figure 7 Resource allocation in key regions in the process of monocrystalline silicon technology industrialization

(1) 市场主导技术驱动模式。在技术诞生后的一段时间，正如本文识别到的我国光伏产业起步期（2007 年以前），拥有一定的市场需求，可促使技术渐趋走向成熟；以河北、江苏、浙江为代表的地区在其中所发挥的作用（一定的市场需求、技术研发投入等），且在光伏产业成长期（2008—2012 年）给予了更为广阔的市场，这也造就我国单晶硅太阳能产业的蓬勃发展。同时，各地区对光伏产业稳健发展，也保留着自身特色、形成独特发展路径，即：河北地区，主要是由政策驱动市场和研发活动活跃，进而推动了单晶硅技术产业化发展；江苏地区，保持有相对稳健的研发活动，为当地产业的创新发展注入动能；浙江地区，则在产业起步期就对单晶硅技术前景有着一定期待（社会视角），进而在相对活跃的市场活动和必要的政策支持下，推动产业发展。此外，在技术与市场成熟后，这类地区的各类资源配置活动均开始减弱或消退。

(2) 资源优势成本驱动模式。以丰富的光照资源和相对低廉的用工成本所形成的特有优势，造就了以陕西为代表我国西部区域独特的产业发展模式，即：承接东中部产业转移。主要是伴随着技术进步及其产业化条件成熟、市场需求激增（见图 6）等，借以政策上的倾斜和一定的技术转移转化能力（陕西亦是高等教育强省），吸引了光伏产业生产重心向这些地区转移，尤其是陕西渐趋成为单晶硅太阳能产业发展的一个重要集聚地。同时，在这些地区亦能够进一步降低生产成本，由此可为客户提供了更具竞争力的产品和服务，进而推动我国光伏产业良性发展。

4 结论与讨论 / Conclusion and discussion

4.1 研究结论与发现

正如实验结果所印证的“在单晶硅技术产业化进程中的不同时期有着明显的资源协同路径和产业分工特征”，对于解决技术产业化进程中社会资源的及

时有效配置问题,进而加速技术产业化进程,至关重要,而其核心在于“如何敏锐捕捉技术产业化拐点”。本文聚焦产业发展活动中技术与社会互动的种种行为(如研发、投融资、补贴、试产、量产、转移转化等),具体选取公开易获取、稳健可靠的数据作为实验对象,探究构建出了技术产业化阶段识别的方法,这既能为我们动态观测技术产业化走势、解决发展阶段识别偏事后评价的“后验性”问题提供有效手段,亦可为科技工作者、政府有关管理部门等科学决策者所关心的技术产业化走势、做好配套的社会资源配置等提供新思路、新范式。

同时,综合图3全数据情况下的技术产业化阶段识别结果,本文所建构的方法能够基于实时数据识别技术产业发展阶段的转变拐点,这亦表明本方法不仅适用于已经发展成熟的技术产业化阶段识别,而且对于处于发展阶段的技术产业同样具有优势。因此,方法具有广泛的适用性,能够自动划分不同技术产业的发展阶段,以实现更准确、更及时地监测与分析。

4.2 进一步研究展望

为进一步推动方法落地应用、支撑相关实践工作开展,实现数字化赋能工作提质增效,可从以下方面重点突破:

(1) 融合多源数据的方法技术优化。在多源数据的利用层面上,本文仅选编自新闻资讯数据的现实,使得方法的普适性和稳健性仍需进一步验证与优化,如:新闻资讯数据所反映的社会影响难以表达公众对技术持有倾向等,社交媒体数据则能更全面地揭示这种现象;同时,相较于专利、论文数据,新闻资讯数据所反映的技术研发活动虽更具实用性、实践特点,但亦会忽略技术的演进与关联等。为此,需要进一步拓展数据源的边界、优化事件描述框架,以更为翔实地刻画呈现产业发展活动中技术与社会交互行为,进而验证与优化所建构方法,确保其稳健可靠。

(2) 面向技术产业化动态观测的事件库建设。构建的事件描述框架,既详细描绘了产业发展活动所蕴含的技术与社会交互行为,也是技术产业化阶段智能识别方法运转的基础,据此建设产业事件库,是实现数字化赋能技术产业化相关实践工作的重要环节。主要是探索建构从新闻资讯、政策文本、专利文本等源数据中智能抽取“事件”的关键技术与质量控制策略,实现自动抽取技术与社会交互行为所蕴含的各类

技术产业化事件,进而支撑科学高效地建构事件库,为技术产业化相关实践工作开展提供必要性的基础性数据支撑。

(3) 面向社会资源配置的技术与社会互动模型建构。探寻技术与社会互动的最优方案,有助于科学做好社会资源配置,进而加速技术产业化进程、抢占先机。而何为最优方案?暂无范例可循。不过,我国光伏产业发展能够突破西方技术封锁成为全球“领头羊”,其中所蕴含的技术与社会互动做法亦值得借鉴。利用本文所建构的方法技术,对我国光伏产业发展中若干关键核心技术的产业化进程中的技术与社会互动特征进行系统性分析,并辅以领域专家访谈咨询,建立起面向社会资源有效配置的技术与社会互动模型,能够为我国现有技术产业化相关工作开展提供可资借鉴样本。

参考文献/References:

- [1] 姚占雷,李倩,许鑫.创新策源能力三力识别模型构建与应用研究[J].科技情报研究,2021,3(3):35-47.(YAO Z L, LI Q, XU X. Research on the construction and application of three-force recognition model of the ability of innovation cradle[J]. Scientific information research, 2021, 3(3): 35-47.)
- [2] 汪江桦,冷伏海.基于粗糙集的新兴技术未来产业影响力评估模型研究[J].情报科学,2013,31(5):123-127.(WANG J Y, LENG F H. An evaluation model of future industrial influence of emergency technology based on rough sets[J]. Information science, 2013, 31(5): 123-127.)
- [3] 许海云,王超,陈亮,等.颠覆性技术的科学—技术—产业互动模式识别与分析[J].情报学报,2023,42(7):816-831.(XU H Y, WANG C, CHEN L, et al. Recognition and analysis of science-technology-industry interaction patterns of disruptive technologies[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2023, 42(7): 816-831.)
- [4] 毛云莹,陆伟.基于IPC关联的专利技术和产业双向分析框架研究[J].情报科学,2022,40(4):33-39.(MAO Y Y, LU W. The bilateral analysis framework of patented technology and industry based on IPC association[J]. Information science, 2022, 40(4): 33-39.)
- [5] GARMULEWICZ A, HOLWEG M, VELDHUIS H, et al. Disruptive technology as an enabler of the circular economy: what potential does 3D printing hold?[J]. California management review, 2018, 60(3): 112-132.
- [6] LOVERING J R, BAKER S H, ALLEN T R. Social license in the deployment of advanced nuclear technology[J]. Energies, 2021, 14(14): 4304.

- [7] CHEN R, MENG Q, YU J J. Optimal government incentives to improve the new technology adoption: subsidizing infrastructure investment or usage?[J]. *Omega-international journal of management science*, 2022, 114(2): 102740.
- [8] 李欣, 谢前前, 洪志生, 等. 基于社会感知分析的新兴技术发展趋势研究——以钙钛矿太阳能电池技术为例[J]. *科技进步与对策*, 2018, 35(10): 15-24. (LI X, XIE Q Q, HONG Z S, et al. Study the development trends of emerging technologies based on socially aware analysis: a case of perovskite solar cells technology[J]. *Science & technology progress and policy*, 2018, 35(10): 15-24.)
- [9] 谢前前. 基于多源异构数据的新兴技术演化轨迹及趋势预测研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2019. (XIE Q Q. Studying the evolution trajectory and forecasting development trend of emerging technologies based on multi-source heterogeneous data[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2019.)
- [10] 董坤, 许海云, 隗玲, 等. 基于多源数据的技术产业化潜力分析方法研究——以基因工程疫苗技术为例[J]. *图书情报工作*, 2018, 62(2): 89-99. (DONG K, XU H Y, KUI L, et al. Study on analysis method of technology industrialization potential based on multi-source data: a case study of engineering vaccine technology[J]. *Library and information service*, 2018, 62(2): 89-99.)
- [11] 杨武, 孙世强, 许红丹. 基于TML模型的产业竞争优势测度与识别——以燃料电池产业为例[J]. *情报杂志*, 2021, 40(5): 69-76. (YANG W, SU S Q, XU H D. Measurement and identification of industrial competitive advantage based on TML model: taking the fuel cell industry as an example[J]. *Journal of intelligence*, 2021, 40(5): 69-76.)
- [12] 田雪姣, 鲍新中, 杨大飞, 等. 基于熵权-TOPSIS-德尔菲法的核心技术识别研究——以芯片产业技术为例[J]. *情报杂志*, 2022, 41(8): 69-74. (TIAN X J, BAO X Z, YANG D F, et al. Research on core technology identification based on entropy-topsis-delphi method: a case study of chip industry technology[J]. *Journal of intelligence*, 2022, 41(8): 69-74.)
- [13] KLEPPER S. Industry life cycles[J]. *Industrial and corporate change*, 1997, 6(1): 145-182.
- [14] PERONDI L F. The coming of age of space satellite industry: transitioning from a growth to a maturity life cycle phase[J]. *Journal of aerospace technology and management*, 2023, 15(2): e0323.
- [15] XU L, ZHANG S F, YANG M S, et al. Environmental effects of China's solar photovoltaic industry during 2011-2016: a life cycle assessment approach[J]. *Journal of cleaner production*, 2018, 170: 310-329.
- [16] 王夫芹, 马成文, 李倩. 安徽省现代信息服务业生命周期判断分析[J]. *现代情报*, 2013, 33(5): 147-150. (WANG F Q, MA C W, LI Q. The judgmental analysis of life cycle of modern information service industry in Anhui[J]. *Journal of modern information*, 2013, 33(5): 147-150.)
- [17] LI X M, ALAM K M, WANG S T. Trend analysis of pakistan railways based on industry life cycle theory[J]. *Journal of advanced transportation*, 2018(7): 1-10.
- [18] 赵传松, 任建兰, 张宝雷, 等. 中国旅游产业生命周期判断及其时空格局演变[J]. *统计与信息论坛*, 2019, 34(9): 85-91. (ZHAO C S, REN J L, ZHANG B L, et al. Life cycle stage identification and pario-temporal evolution of tourism industry in China[J]. *Journal of statistics and information*, 2019, 34(9): 85-91.)
- [19] ZHAI X J, XUE S Y, YAN L J, et al. Does financial investment promote or inhibit the development of green food industry? simulation based on system dynamics (sd) model (an environmental perspective)[J]. *Journal of environmental protection and ecology*, 2022, 23(2): 864-873.
- [20] 张永安, 邬龙. 战略性新兴产业发展三阶段划分及评价研究: 基于技术效率的视角[J]. *科技管理研究*, 2015, 35(19): 57-63. (ZHANG Y A, WU L. Study on three stages division and evaluation of strategic emerging industries development based on the perspective of technical efficiency[J]. *Science and technology management research*, 2015, 35(19): 57-63.)
- [21] ZHANG L B, DU Q, ZHOU D Q. Grid parity analysis of China's centralized photovoltaic generation under multiple uncertainties[J]. *Energies*, 2021, 14(7): 1814.
- [22] 陈小强, 袁丽华, 宋长青, 等. 人文地理研究中时间阶段划分的量化工具与应用[J]. *经济地理*, 2021, 41(1): 21-29. (CHEN X Q, YUAN L H, SONG C Q, et al. Quantitative tools and applications of time stages division in human geography research[J]. *Economic geography*, 2021, 41(1): 21-29.)
- [23] 卢文光. 新兴技术产业化研究[M]. 北京: 知识产权出版社, 2012: 30-34. (LU W G. Research on industrialization of emerging technology[M]. Beijing: Intellectual Property Publishing House, 2012: 30-34.)
- [24] 王涛, 顾晓雪, 胡园园, 等. 我国区域科技创新能力与技术产业化分布特征研究[J]. *科技进步与对策*, 2016, 33(10): 23-27. (WANG T, GU X X, HU Y Y, et al. Research on the distribution features of regional science and technology innovation capability and technology industrialization of China[J]. *Science & technology progress and policy*, 2016, 33(10): 23-27.)
- [25] 黄鲁成, 王冀. 新兴技术商业化成功的环境影响因素实证研究[J]. *科技进步与对策*, 2011, 28(1): 1-6. (HUANG L C, WANG Y. An empirical study on the environmental factors affecting the

- success of emerging technology commercialization[J]. *Science & technology progress and policy*, 2011, 28(1): 1-6.)
- [26] 傅耀威, 相红, 宋阳, 等. 支撑智能社会的颠覆性技术评价体系构建 [J]. *中国基础科学*, 2020, 22(5): 59-66. (FU Y W, XIANG H, SONG Y, et al. A disruptive technology evaluation system that supports an intelligent society[J]. *China basic science*, 2020, 22(5): 59-66.)
- [27] ESTEVE-PEREZ S, PIERI F, RODRIGUEZ D. Age and productivity as determinants of firm survival over the industry life cycle[J]. *Industry and innovation*, 2021, 25(2): 167-198.
- [28] 王勃华. 光伏产业大致经历了三个发展阶段 [EB/OL]. [2024-01-06]. <http://event.takungpao.com/2019/0827/2269.html>. (WANG B H. Photovoltaic industry has gone through three stages of development[EB/OL]. [2024-01-06]. <http://event.takungpao.com/2019/0827/2269.html>.)
- [29] 何杰, 程进文, 韩磊. 新兴产业崛起、产业政策与资本市场的关系——基于中国光伏产业发展沉浮的视角 [J]. *证券市场导报*, 2020(12): 2-7, 18. (HE J, CHENG J W, HAN L. The relationship between the rise of emerging industries, industrial policies and capital markets: a perspective based on the development flux of the Chinese photovoltaic industry[J]. *Securities market herald*, 2020(12): 2-7, 18.)
- [30] 吕鑫, 刘天予, 董馨阳, 等. 2019 年光伏及风电产业前景预测与展望 [J]. *北京理工大学学报社会科学版*, 2019, 21(2): 25-29. (LV X, LIU T Y, DONG X Y, et al. Outlook and prospect of the photovoltaic and wind power industry in 2019[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology(social sciences edition)*, 2019, 21(2): 25-29.)
- [31] 北极星太阳能光伏网. 我国光伏行业发展之单晶硅崛起 [EB/OL]. [2024-01-06]. <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20190816/1000491.shtml>. (North star solar photovoltaic network. The rise of single crystal silicon in the development of China's photovoltaic industry[EB/OL]. [2024-01-06]. <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20190816/1000491.shtml>.)

作者贡献说明 / Author contributions:

姚占雷: 研究选题确立, 实验方案设计论证, 论文初稿撰写与修订;

樊亚鑫: 实验数据采集与分析, 论文初稿撰写;

许鑫: 论文定稿。

Research the Intelligent Identification for Technology Industrialization Stages with Event-Driven Method*

Yao Zhanlei Fan Yaxin Xu Xin

School of Economics and Management, East China Normal University, Shanghai 200062

Abstract: [Purpose/Significance] The technology industrialization in different stage requires different allocation of social resources. Intelligent identification of the stage is a prerequisite for the precise implementation of policies, which can help relevant departments to promptly allocate resources from all aspects of society. Through scientific planning, continuous improvement, and other measures, it can accelerate the process of technological industrialization. **[Method/Process]** Firstly, based on open data on the internet, this paper established the interactive path between technology and society in the process of technology industrialization. Secondly, it constructed an event-driven intelligent identification of the stage based on this characterization. Finally, taking the monocrystalline silicon technology industrialization in photovoltaic industry as an example, it verified the reliability of the method, and revealed the typical characteristics, to guide the effective social resource allocations. **[Result/Conclusion]** Experimental results show that the established intelligent identification can change the previous post-evaluation practice of identification activities, sensitively capture the implementation opportunity of different technology industrialization strategies, scientifically allocate social resources, and accelerate the process of technology industrialization.

Keywords: technology industrialization stage event-driven intelligent identification

*This work is supported by Fundamental Research Funds for the Central Universities, Youth Pre-research Project of East China Normal University "Research on Dynamic Identification of Industrial Talent in Shortage & Smart Intelligence Service" (Grant No. 2022ECNU-YYJ015).

Author(s): Yao Zhanlei, engineer, master, E-mail: zlyao@infor.ecnu.edu.cn; Fan Yaxin, master candidate; Xu Xin, professor, doctoral supervisor. Received: 2023-09-26 Revised: 2024-01-15 Pages: 76-88