



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于传染病模型的颠覆性技术扩散仿真研究

马立平¹ 夏若雨¹ 张海燕² 余星辰¹

1. 西南科技大学计算机科学与技术学院 绵阳 621010;

2. 武汉三江航天远方科技有限公司 武汉 430048

摘要: [目的/意义] 为了快速准确地弄清楚颠覆性技术扩散机制和规律, 为政府进行有针对性的引导培育和资源的优化配置, 促进技术的快速发展, 赢得科技竞争优势。[方法/过程] 本文基于传染病模型 SIRS, 提出了一种合理运用引导因子促使颠覆性技术扩散发生改变的方法, 构建了政府支持引导下颠覆性技术扩散模型, 并分析了该模型的平衡点和稳定性。[局限] 在案例研究中仅采用专利数据进行分析, 可能存在分析不够全面, 导致所得结论可能存在一定的局限性。[结果/结论] 论文以数码相机和液晶技术为例, 通过仿真分析论证模型的可靠性和实用性。最后, 设计 4 个场景来考察不同引导因子对技术扩散状态变化的影响, 并据此给出政府对颠覆性技术进行支持引导的重要因子及其相应引导培育和资源的优化配置策略。

关键词: 颠覆性技术; 扩散; 传染病模型; 大数据; 仿真

中图分类号: G35; TP391

Simulation of Technology Diffusion of Disruptive Technology Based on Epidemic Model

MA Liping¹ XIA Ruoyu¹ ZHANG Haiyan² YU Xingchen¹

1. School of Computer Science and Technology, Southwest University of Science and Technology Mianyang, Sichuan 621010, China;

2. Wuhan Sanjiang Yuanfan Technology Co., Ltd, Wuhan, Hubei 430048, China

Abstract: [Objective/Significance] Understanding the mechanism and laws of the diffusion of disruptive technologies quickly can strengthen the government's early guiding role and optimal allocation of resources in key technologies, and promote the rapid development of technology, and at the same time, help enterprises gain the competitive advantage of science and technology. [Methods/Processes] Based on epidemic model SIRS, this paper proposes a method that can promote the change of disruptive technology diffusion by using guided factors reasonably, and constructs a disruptive technology diffusion model with the government's guiding role, and study the equilibrium points and the stability of this model. [Limitations] Due to the use of patent data for analysis in the case study, the analysis may not be comprehensive enough, which may lead to certain limitations in the

基金项目 四川省科技重点研发专项科研基金“面向多语种的全球前沿技术智能汇集与应用平台”(2021YFG0031)。

作者简介 马立平(1973-), 博士, 副教授, 研究方向为知识工程、大数据技术、科技情报分析, E-mail: maliping@swust.edu.cn; 夏若雨(2000-), 硕士研究生, 研究方向为知识工程、大数据技术; 张海燕(1972-), 硕士, 工程师, 研究方向为大数据技术; 余星辰(1998-), 硕士研究生, 研究方向为知识工程、大数据技术。

引用格式 马立平, 夏若雨, 张海燕, 等. 基于传染病模型的颠覆性技术扩散仿真研究[J]. 情报工程, 2022, 8(6): 16-27.

conclusions. [Results/Conclusions] The liquid crystal technology and digital camera technology are taken as the typical disruptive technical cases in which the reliability and practicability of the model are demonstrated through simulation analysis. At the end of the paper, four scenarios are designed to study the influence of different guiding factors on the state transition of technology diffusion, based on which, the important factors for the government to support and guide disruptive technologies and its corresponding guidance and cultivation and resource optimization strategy are given.

Keywords: Disruptive technology; diffusion; epidemic model; big data; simulation

引言

本刊要求所有稿件均需使用此模板进行格式规范后才可正式录用。

颠覆性技术在经济社会发展、国防和军队建设中占据重要的战略地位，如何敏锐地识别并提前布局颠覆性技术的意义重大，对于企业而言，有利于其抢占新科技变革的战略主动权；对于政府而言，能够支撑政府进行有针对性的引导培育和资源的优化配置。近年来，颠覆性技术成为世界主要国家战略布局的重点，对其初期识别和预见高度重视^[1]。在2017年习近平总书记在十九大报告中明确指出“突出关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性技术创新……”，将颠覆性技术发展作为国家战略布局的重点和重要的研究课题。但由于颠覆性技术本身的发展具有高度不确定性，其发展初期不被大众所关注，对其早期识别及技术扩散过程一直是学界的重点和难点。因此，研究颠覆性技术识别及扩散过程，寻找其扩散演化规律和影响因素，对于政府制定决策方案和干预措施具有重要的理论和实践意义。

1 研究现状

目前学者对颠覆性技术识别方法研究主要分为两大类^[2]，其中第一类是从技术应用角

度展开研究，主要有德尔菲法、技术路线图、情景规划、多指标预测等以主观判断为主的分析方法。其中德尔菲法是典型的以专家意见为基础的认识方法，通过充分收集行业内权威专家的意见来对未来技术的发展方向做出选择，充分利用专家们的意见做出较为正确的结论^[3]。但识别完全依赖专家的主观意见和知识经验，并且需要消耗大量的人力和财力，于是也有学者采用一种结构化、图形化的表现形式用于探索技术、产品和市场之间随时间变化的关系，并描述技术变化过程和趋势，进而识别出颠覆性技术，如Vojak等^[4]、Phaal等^[5]。但技术路线图中由于情景假设的考虑并不全面而容易导致识别不准确，因而有学者提出在多种场景下通过把握技术与市场之间的动态关系来预测新兴技术趋势的情景分析规划方法来识别颠覆性技术，如Schoemaker等^[6]、Drew等^[7]、王知津等^[8]。但情景分析规划法需要全面掌握内外部环境信息，这将耗费较多的精力和时间。同时，上述几种方法侧重从宏观层面对颠覆性技术进行主观定性识别。鉴于此，部分学者基于数理统计量化模型展开对颠覆性技术识别与预测，他们利用数理统计原理构建量化模型对颠覆性技术进行较精确的识别与预测，如Adner^[9]、Govindarajan等^[10]、Sood等^[11]、Gaviao等^[12]、孙建广等^[13]。基于数理统计量化模型方法在模

型构建以及参考变量选择要求具备良好的数理统计理论和颠覆性技术知识,使其使用对象受到一定限制,部分学者专家选择用于新产品和新技术需求预测的技术扩散模型,即巴斯扩散模型(Bass Diffusion Model),对颠覆性技术进行识别预测,如 Linton^[14]、Chen 等^[15]。

第二类识别颠覆性技术的方法是从文献计量角度出发,此类方法是利用科学文献、专利和网络等客观数据中承载相关技术领域科学研究和技术创新活动的大量信息,通过综合评价、文本挖掘、主题模型、社会网络分析、机器学习、时间序列预测等客观分析方法,提取颠覆性技术的主要技术特征,进而识别颠覆性技术。如 Momeni 等^[16]提出了一种基于主题模型挖掘专利文献数据中技术发展趋势来识别有可能成为颠覆性技术的技术;Li 等^[17]提出了一个以学术论文和专利为数据资源的框架并结合引文分析和文本挖掘来监测纳米发电机技术的进化路径并预测其趋势;马铭等^[2]基于学术论文数据提出将社会网络分析和突变理论结合来识别颠覆性技术的新方法;也有学者对商业杂志等数据资源进行可视化分析来识别前沿性技术^[18]。

上述关于颠覆性技术识别的研究方法有多种类型,研究理论体系也较完备,但仍也存在一定的局限。例如,已有颠覆性技术识别方法的时效性不强可能会导致识别准确率不高,颠覆性技术的发展和扩散不确定性导致单纯基于科技文献引用频次或主题模型等方法难以弄清颠覆性技术发展和扩散的本质规律;现有识别方法没有考虑市场和外界环境因素的影响,只是侧重于技术自身的演变等。因此,现有的研究工作对颠覆性技术识别仍有待深入,研究方

法仍有待健全。

从我国经历的几次典型的疫情来看,由于接种疫苗和隔离措施得当,疫情都得了到控制,这正是利用了传染病模型中通过政府干预疫情传播来制止传染病扩散的原理。由此可见,通过对关键影响因素进行控制可对事物的运行规律起到决定性作用。因此,本文在已有研究成果的基础上,基于传染病理论对影响颠覆性技术扩散的内外部因素进行综合分析,根据颠覆性技术扩散机制进行建模仿真,重点分析政府在颠覆性技术扩散的不同阶段应该采取怎样的支持引导政策促进更好的发展,给出了一种有效使用影响因子促使颠覆性技术扩散程度发生变化的方法,为政府支持颠覆性技术发展提供新视角和理论依据。

2 颠覆性技术扩散的传染病原理特征分析

在 Kermack 和 McKendrick 提出了仓室模型——SIR 模型后,Anderson 和 May 又构造了传染病生态学模型^[19-20],在传染病研究中将总人口分为易感染者(S)、染病者(I)、潜伏者(E)、移出者(R)等几类,如果染病者治愈后无免疫力还会感染称为 SIS 模型^[21],如果染病者治愈后免疫力不会感染称为 SIR 模型^[22-23],如果染病者治愈后免疫力不强还可能感染称为 SIRS 模型^[24-25],相应地还有 SILI、SLIRS、SLIS、SEIRS、SEIR 等^[26-28]。

颠覆性技术扩散具有传染病的特征。1961 年 Mansfield 提出技术扩散“传染”学说^[29],认为创新性技术在企业扩散如同传染病的传播过程一样,国内学者也认为传染病的传播过程

和技术扩散类似,技术扩散是技术的传播过程^[28]。因此,颠覆性技术扩散过程可以借助于传染病模型进行分析研究。

颠覆性技术产生的早期阶段前景是隐约的,所选择的应用领域或市场必须是最有前途的;其次,类似于疾病通过传染性个体直接扩散和病原体间接扩散,颠覆性技术也具有两类扩散方式:在两个技术领域共存的无向扩散和技术反向引用的定向扩散,在扩散刚开始呈指数增长并逐渐形成爆炸性的增长趋势,进而产生颠覆性影响。本文将这种了解到颠覆性技术信息后容易采用颠覆性技术的企业称为易感群体企业;当了解和掌握颠覆性技术后,采用、申请或引用,成为染病群体企业。染病群体企业在停止使用颠覆性技术后成为弃用群体企业。颠覆性技术传播具有传染病的特征。政府根据企业在颠覆性技术传播中的表现情况来采用相关的支持引导政策,因此有必要理清企业在颠覆性技术传播中状态变化。

考虑到颠覆性技术在实现主流技术的颠覆时且有滞后性^[30],其产生和发展阶段,在短时间内政府难以准确判断、识别,所以政府对颠覆性技术的支持引导也具有一定程度的滞后性。颠覆性技术扩散过程如图1所示。

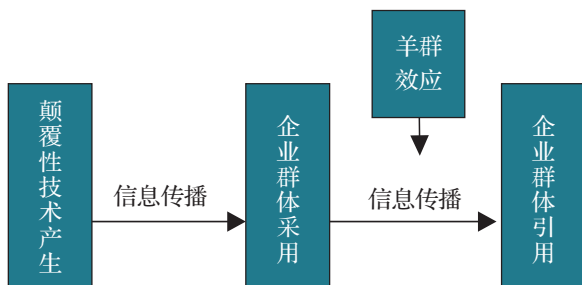


图1 颠覆性技术扩散中信息传播过程

根据颠覆性技术扩散中企业状态变化情况,政府的支持引导作用对企业群体状态变化的影响包括易感群体企业向染病群体企业转化、染病群体企业向弃用群体企业转化以及弃用群体企业向易感群体企业转化的影响。本文基于SIRS传染病模型构建弃用群体企业重新参与颠覆性技术传播的颠覆性技术扩散模型,并将政府支持引导作用影响因素加入模型中,以研究颠覆性技术扩散过程及政府支持引导策略。

3 颠覆性技术扩散的传染病模型

3.1 模型假设

考虑到颠覆性技术扩散过程的复杂性及随机性因素,为了便于研究,我们作如下假设:

假设1:在颠覆性技术产生、扩散、衰减和消亡的过程中系统总的企业群体数不发生变化。根据企业感染程度,将企业分为易感群体企业S,染病群体企业I,弃用群体企业R。用 $S(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$ 分别表示3类企业群体在t时刻占企业总数的比例,且满足 $S(t)+I(t)+R(t)=1$ 。

假设2:颠覆性技术扩散渠道不受限制,主要包括无向扩散和定向扩散。

假设3:因为受到传染病影响,易感染群体企业数量随时间的变化率与某时刻易感染群体的企业数和染病群体企业数之积成正比。

假设4:在系统范围内,只有染病群体企业采用、申请或引用颠覆性技术的行为才会具有传染性,扩散的影响范围与染病群体企业数量正相关。

3.2 模型构建

根据上述颠覆性技术扩散的传染病原理特征、各类企业群体状态变化关系、政府支持引导作用及模型假设，并结合已有研究基础^[31]，建立颠覆性技术扩散的 SIRS 传染模型，如图 2 所示。

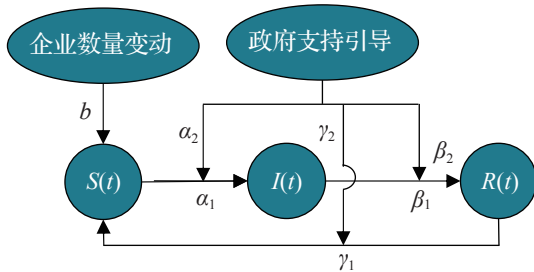


图 2 政府引导下颠覆性技术扩散的传染病模型

根据系统动力学建模方法^[32]，建立系统的微分方程组如式 (1)：

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = b - (\alpha_1 - \alpha_2)S(t)I(t) + (\gamma_1 - \gamma_2)R(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = (\alpha_1 - \alpha_2)S(t)I(t) - (\beta_1 - \beta_2)I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = (\beta_1 - \beta_2)I(t) - (\gamma_1 - \gamma_2)R(t) \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) 中 α_1 为易感群体向染病群体的转化率； β_1 为染病群体向弃用群体的转化率； γ_1 为弃用群体向易感群体的转化率； $b \in [-1, 1]$ 为企业数量因新兴企业涌现、老企业破产倒闭的变化速度（企业法人单位数年平均增长率）； α_2 、 β_2 、 γ_2 分别表示政府对颠覆性技术传播的引导系数。上述参数满足： α_1 、 β_1 、 $\gamma_1 \in [0, 1]$ ； α_2 、 β_2 、 $\gamma_2 \in [-1, 1]$ ； $0 \leq \alpha_1 - \alpha_2 \leq 1$ ； $0 \leq \beta_1 - \beta_2 \leq 1$ ； $0 \leq \gamma_1 - \gamma_2 \leq 1$ 。

当 α_2 、 β_2 、 γ_2 都为 0 时，代表政府对颠覆性技术传播没有支持引导作用，式 (1) 表示无政府支持引导的颠覆性技术扩散传染病模型。

3.3 模型平衡点及稳定性分析

令 $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ ； $\beta = \beta_1 - \beta_2$ ； $\gamma = \gamma_1 - \gamma_2$ 系统 (1) 等价于：

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = b - \alpha S(t)I(t) + \gamma R(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \alpha S(t)I(t) - \beta I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \beta I(t) - \gamma R(t) \end{cases} \quad (2)$$

事实上，已有大量研究系统 (2) 的全局动力行为^[31,33]，其系统已被证明存在无病平衡点和地方病平衡点。下面分析系统 (2) 的平衡点及其稳定性。

1) 颠覆性技术扩散系统无病平衡点及其稳定性分析

如果令 $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_\infty$ ， $\lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = I_\infty$ ， $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = R_\infty$ 。很明显，无论初始条件如何，(1, 0, 0) 为系统 (2) 的平衡点。该平衡点中染病群体企业数和弃用群体企业数的比例都为 0，而易感群体企业数所占比例为 1，表示颠覆性技术未扩散，即为无病平衡点。这与现实也是相吻合。因为在最开始，任何企业都没有接受颠覆性技术。其次新技术必将替代旧技术，即 $I_\infty = 0$ 、 $R_\infty = 0$ ，到最后，颠覆性技术的扩散最终都会消失。

求出系统 (2) 在平衡点 (1, 0, 0) 的雅可比矩阵为 $A_0 = \begin{pmatrix} -\gamma & -\alpha - \gamma \\ 0 & \alpha - \beta \end{pmatrix}$ ， A_0 的特征方程为：

$$(-\gamma - \lambda)(\alpha - \beta - \lambda) = 0 \quad (3)$$

A_0 的 2 个特征根为： $\lambda_1 = -\gamma$ 、 $\lambda_2 = \alpha - \beta$ 。

因 α 、 β 、 $\gamma \in [0, 1]$ ，易知 $-\gamma < 0$ 。又因为系统 (2) 的基本再生数 $R_0 = \alpha/\beta$ ，当 $R_0 \leq 1$ 时， $\alpha - \beta \leq 0$ ，2 个特征根都为负，说明系统 (2)

是全局渐进稳定。但政府支持引导目标是鼓励颠覆性技术的扩散，因此会努力提高 α ，同时降低 β ，导致 $R_0 > 1$ ， $\alpha - \beta > 0$ 导致系统在平衡点不稳定。

2) 颠覆性技术扩散系统地方病平衡点及其稳定性分析

根据系统平衡点性质，可得：

$$I(t) = \frac{\gamma(\alpha - \beta)}{\alpha(\beta + \gamma)} \quad (4)$$

式(4)可知，当 $\alpha < \beta$ 即 $I(t) < 0$ ，颠覆性技术扩散系统不存在地方病平衡点；当 $\alpha = \beta$ 即 $I(t) = 0$ ，颠覆性技术扩散系统存在唯一无病平衡点，此时系统无扩散者，表示颠覆性技术没有开始扩散或扩散已经终止；当 $\alpha > \beta$ 即 $I(t) > 0$ ，颠覆性技术扩散系统存在唯一的地方病平衡点，表示此时系统中染病群体占一定比例。可见，系统(2)的基本再生数 $R_0 = \alpha/\beta$ 是该系统的一个阈值。当 $R_0 > 1$ 时，颠覆性技术扩散存在，当 $R_0 \leq 1$ 时，颠覆性技术扩散逐步消失。

结合式(2)和(4)可得颠覆性技术的地方病平衡点为 $\left(\frac{\beta}{\alpha}, \frac{\gamma(\alpha - \beta)}{\alpha(\beta + \gamma)}, \frac{\beta(\alpha - \beta)}{\alpha(\beta + \gamma)}\right)$ ，进一步求出此平衡点的雅可比矩阵为

$$A_* = \begin{pmatrix} -\gamma(\alpha - \beta)/(\beta + \gamma) & -\beta & 0 \\ \gamma(\alpha - \beta)/(\beta + \gamma) & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\gamma \end{pmatrix} \quad (5)$$

由 $|\lambda E - A_*| = 0$ 得， A_* 的特征方程及系数为：

$$\begin{cases} a_0 \lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3 = 0 \\ a_0 = 1 \\ a_1 = \gamma(\alpha + \gamma)/(\beta + \gamma) \\ a_2 = \gamma(\alpha - \beta) \\ a_3 = \beta\gamma^2(\alpha - \beta)/(\beta + \gamma) \end{cases} \quad (6)$$

从式(6)可知 $a_0 > 0$ ， $a_1 > 0$ ， $a_1 a_2 - a_3 > 0$ ， $a_3 > 0$ ，根据胡尔威茨判别法^[33]，系统(2)在平

衡点 $\left(\frac{\beta}{\alpha}, \frac{\gamma(\alpha - \beta)}{\alpha(\beta + \gamma)}, \frac{\beta(\alpha - \beta)}{\alpha(\beta + \gamma)}\right)$ 局部渐进稳定。

由系统(2)的基本再生数 $R_0 = \alpha/\beta$ 可知，为了使颠覆性技术进一步扩散增加影响力，应该增大 α ，或者减小 β 。而为了使颠覆性技术扩散范围变大，应该增加 $I(t)$ 。而 $I(t) = \frac{\gamma(\alpha - \beta)}{\alpha(\beta + \gamma)} = 1/\left(\frac{\beta}{\gamma} + 1\right) - 1/\left(\frac{\alpha}{\gamma} + \frac{\alpha}{\beta}\right)$ ，应增大 α 和 γ ，减小 β 。又因为 $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ ， $\beta = \beta_1 - \beta_2$ ， $\gamma = \gamma_1 - \gamma_2$ ，所以政府应减小 α_2 、 γ_2 ，即减轻易感群体企业向染病群体企业、弃用群体企业向易感群体企业转移中所遇到的阻力，政府减轻阻力的策略可以称为“疏”；或者政府增大 β_2 ，即增加染病群体企业向弃用群体企业转移中所遇到的阻力，政府增加阻力的策略可以称为“堵”。

为了验证颠覆性技术扩散传染病模型的可靠性，以及政府的支持引导策略对企业状态和行为的影响，下面我们通过案例对其进行验证。

4 模拟仿真分析

4.1 案例简介

本文以液晶和数码相机技术颠覆案例为基础，探讨政府的不同的支持引导策略对企业状态和行为的影响，为政府更好地制定促进颠覆性技术发展的决策提供参考依据。

液晶技术是当下主流的显示器技术，最早由奥地利植物学家研究发现，在20世纪60年代美国无线电公司(RCA公司)开始研发液晶显示屏电视机，并成功研制第一块液晶显示屏。由于当时液晶技术极不成熟，只能将其应用于电子计算器、电子手表等小型设备。直到20世

纪 80 年代末, RCA 公司将液晶技术的专利转让给夏普公司, 开始利用液晶技术制造液晶手表显示屏, 并在 2001 年成功研制第一款液晶电视吸引了全世界的目光。此后 10 年, 持有液晶技术的夏普公司成为全球液晶电视超级霸主。

数码相机是数字技术与摄影技术相结合的产物, 最早源于美国贝尔实验室研发的电荷耦合器件, 在 1975 年柯达公司的技术工程师 Steven Sasson 基于电荷耦合器件研制数码相机实验品。由于当时数字技术发展前途不明以及数码相机性能上的弱势, 柯达公司放弃了进一步的研发工作, 直到 1981 年索尼公司推出了世界上第一架商用数码相机, 随后柯达公司也推出了多款数码相机。但为了保护自身胶卷业务, 柯达公司在数码相机的研发之路受阻, 虽然柯达的数码相机也占有一定的市场份额, 在胶卷相机彻底被数码相机颠覆时, 柯达公司沉迷于

自己的历史和成绩, 最终无法支撑而破产。

4.2 案例仿真及分析

为了获取公式 (2) 中与每个案例相对应的参数, 采用液晶技术和数码相机两个技术领域的两个专利数据集进行详细统计。第一个数据集使用“液晶”的主题词在万方数据知识服务平台检索并获取, 到 2021 年 12 月截止, 总共检索到 63439 项有效专利, 总共有 11177 个申请/专利权人; 第二个数据集使用“数码相机”的主题词在万方数据知识服务平台检索并获取, 到 2021 年 12 月截止, 到 2021 年 12 月截止, 总共检索到 5047 项有效专利, 总共有 2381 个申请/专利权人。取初始时刻各状态的企业数和下一时刻各状态的企业数改变数量, 并将公式 (2) 中的参数与相应的企业数进行匹配所得到的数据如下表 1 所示。

表 1 状态参数表

状态	“液晶技术”颠覆性案例				“数码相机”颠覆性案例			
	初始企业数	对应参数	状态改变企业数	对应参数	初始企业数	对应参数	状态改变企业数	对应参数
易感	9718	$S_0=0.869$	1528	$\alpha=0.157$	2107	$S_0=0.885$	467	$\alpha=0.222$
染病	1302	$I_0=0.116$	24	$\beta=0.018$	268	$I_0=0.113$	4	$\beta=0.015$
弃用	157	$R_0=0.014$	2	$\gamma=0.013$	6	$R_0=0.003$	0	$\gamma=0$

取表 1 中的参数, 利用 MATLAB R2019b 软件对公式 (2) 进行计算, 并对颠覆性技术扩散的 SIRS 模型进行模拟仿真, 得到两个案例中易感群体企业、染病群体企业和弃用群体企业数量变化情况。取时间 $t \in [0,100]$ (单位: 年), 模拟仿真结果如图 3 所示。

根据图 3 可知, 在液晶技术颠覆性案例中, 仿真的起始点比真实数据集显示的时间滞后,

颠覆性技术产生后技术扩散在第 31 年达到高峰状态 (真实数据集显示在第 30 年), 表现为染病群体企业数量已经达到最高值 (0.658), 也就是到 2021 年以后, 系统内染病者群体企业的数量会平稳或逐渐缓慢降低 (真实数据集显示近几年处于平稳状态); 易感群体企业数一直处于减少状态, 并在第 40 年降到最低后趋于稳定值, 这是因为弃用者群体企业向易感

群体企业转化，所以易感群体企业数量可能达不到0。在数码相机颠覆性案例中，颠覆性技术扩散在第20年达到最高值（真实数据集显示是在第15年），表现为染病群体企业数量达到最高值（0.75）；易感群体企业数量降低速度较快，到第30年基本趋于0。同时，染病

群体企业比例 $I(t)$ 处于高峰的时间比液晶技术颠覆性案例短，经过5年左右就开始下降（真实数据集显示为5年左右），说明液晶技术的热度更高。以上两个案例模拟仿真结果基本与真实数据集相符。表明模型可以模拟颠覆性技术扩散过程。

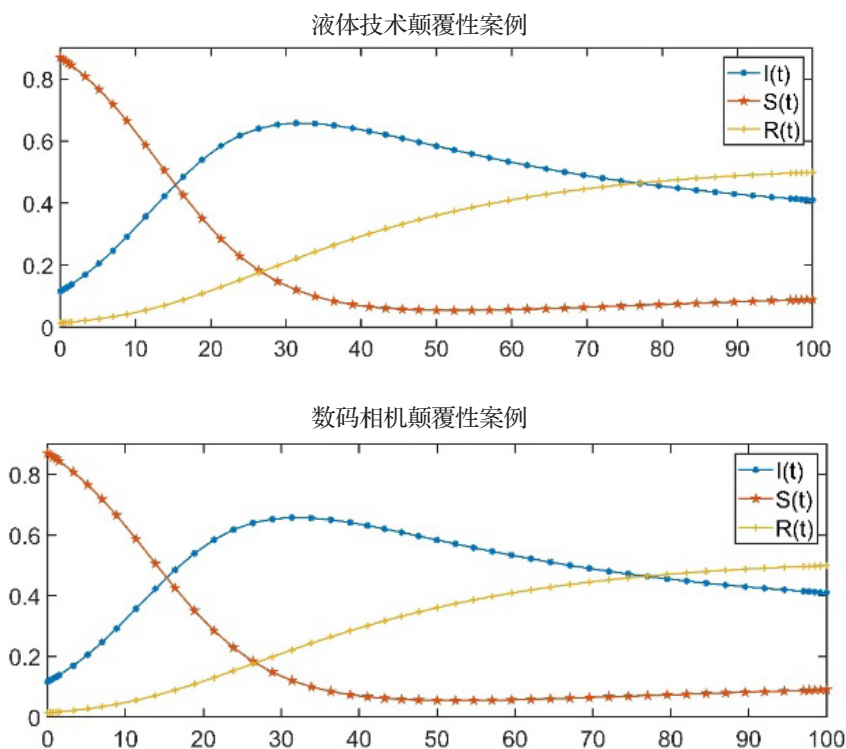


图3 液晶技术颠覆性案例和数码相机颠覆性案例中各类群体企业数量的比例对比图

以液晶技术颠覆性案例为基础情景，根据模型参数之间的关系和实际数据集进行假设，并利用控制决策变量方法，设置4个场景进行

仿真实验，模拟不同引导因子对技术扩散状态变化的影响，给出政府对颠覆性技术进行支持引导方向，具体场景的参数设计如表2所示。

表2 各场景的参数设计表

场景	α_2	α	β_2	β	γ_2	γ	备注
基础场景	0	0.17	0	0.03	0	0.02	基准
场景一	-0.01	0.18	0	0.03	0	0.02	考察 α_2
场景二	0	0.17	0.01	0.02	0	0.02	考察 β_2
场景三	0	0.17	0	0.03	-0.01	0.03	考察 γ_2

利用表 2 中的参数对公式 (1) 进行求解, 在 MATLAB R2019b 环境下, 对颠覆性技术扩散的 SIRS 模型模拟计算, 可得到各场景的易感群体企业、染病群体企业、弃用群体企业比例变化趋势, 如图 4 至图 6 所示。

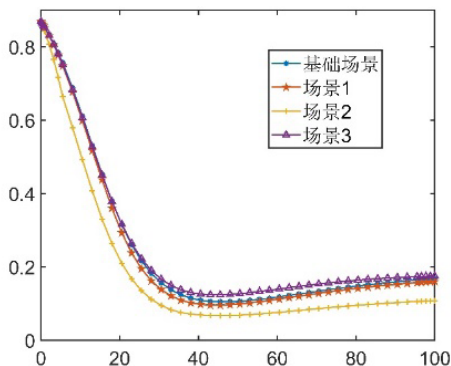


图 4 4 种场景中易感群体企业比例变化趋势

从图 4 可看出, 有政府支持引导的 3 种场景与基础场景相比, 政府支持引导的场景均改变了易感群体企业比例变化趋势, 并且易感群体企业比例在场景 3 下降较慢, 场景 1 其次, 场景 2 最快。说明在增加易感群体企业比例的下降速度方面, 场景 1 的效果比场景 3 好, 场景 2 效果最好, 即通过促进易感群体企业向染病群体企业的转化比通过促进弃用群体企业向易感群体企业转化的效果更好, 通过阻碍染病群体企业向弃用群体企业转化的效果最好。分析其原因, 主要在颠覆性技术具有抵抗性特征, 具有特有的功能优势和抵抗在位技术能力。但在位技术通过技术创新可对颠覆性技术形成致命打击, 使颠覆性技术的优势大大降低, 双方可形成平等的竞争关系。可见, 政府对颠覆性技术支持引导方向之一是“堵”胜于“疏”, 坚持以市场为导向, 加大在位技术创新和技术

应用市场研发力度。

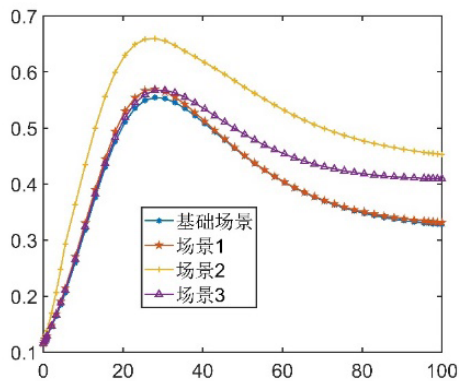


图 5 4 种场景中染病群体企业比例变化趋势

从图 5 可看出, 场景 1、场景 2 和场景 3 的高峰值都比基础场景大, 其中场景 2 变化最大, 并且场景 2 和场景 3 的下降速度也比基础场景慢, 说明在增加染病群体企业比例方面, 场景 2 的效果最好, 场景 3 其次, 即阻碍染病群体企业向弃用群体企业转化效果最佳, 促进弃用群体企业向易感群体企业转化效果次之。

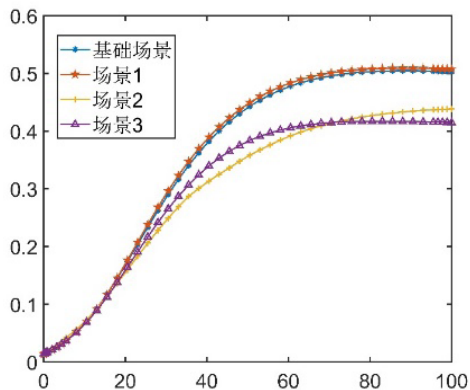


图 6 4 种场景中弃用群体企业比例变化趋势

从图 6 可看出, 有政府支持引导的场景 2 和场景 3 与基础场景相比, 场景 2 和场景 3 均改变了弃用群体企业比例的演化轨迹。降低弃用群体企业比例方面, 场景 3 在演化前期 ($t < 60$) 效果较好, 但场景 2 在演化后期效果较好。这

说明在降低弃用群体企业比例方面，促进弃用群体企业向易感群体企业转化的效果最好。

综合上述模拟仿真分析，政府支持引导颠覆性技术发展应重点关注以下几点：

1) 增加易感群体企业比例的下降速度，扩大颠覆性技术的影响范围。从图 4 可看出，首先优先考虑场景 2，即支持引导方向要能阻碍染病群体企业向弃用群体企业转化。场景 1 次之，即促进易感群体企业向染病群体企业转化。

2) 增加染病群体企业比例，阻碍染病群体企业向弃用群体企业转化。从图 5 可看出，应首先考虑场景 2。

3) 减少弃用群体企业数量。从图 6 可看出，应首先考虑场景 3，即支持引导方向要能促进弃用群体企业向易感群体企业转化，以便再次参与颠覆性技术扩散。

因此，为了促使颠覆性技术发展或扩大颠覆性技术扩散范围，政府应该减少 α_2 、 γ_2 ，即降低易感群体企业向染病群体企业、弃用群体企业向易感群体企业转化的阻碍力度；或增大 β_2 ，即提高对染病群体企业向弃用群体企业转化的阻碍力度。其中，引导因子 β_2 效果最好。

5 结束语

首先，本文分析了颠覆性技术扩散过程，将企业分为易感群体企业、染病群体企业和弃用群体企业 3 种状态，考虑政府引导措施和各类企业群体之间的转移关系，构建了政府引导下的颠覆性技术扩散引导系统 SIRS 模型，给出模型的微分方程组。其次，进行模型平衡点及稳定性分析，给出政府引导颠覆性技术扩散的

方向。最后，以液晶技术和数码相机技术两个颠覆性案例为基础，通过模拟仿真分析表明颠覆性技术扩散引导系统 SIRS 模型能够模拟颠覆性技术扩散过程。以案例为基础，设计了 4 种场景来考察政府不同引导方向对企业群体状态变化的影响，并给出了支持引导颠覆性技术扩散的关键点，形成如下结论：①颠覆性技术扩散传染病系统无病平衡点全局渐进稳定，系统地方病平衡点局部渐进稳定。②企业群体类型间转化率决定颠覆性技术扩散范围。③政府支持引导颠覆性技术扩散“堵”胜于“疏”，最优引导因子是染病群体企业向弃用群体企业转化率，即 β 。

上述结论不仅有助于揭示颠覆性技术扩散的演化规律，还能够为政府支持引导颠覆性技术快速发展或资源优化配置提供参考依据。为了更好地促进颠覆性技术快速发展，政府对颠覆性技术支持引导可以选择的方向有：①政府或支持企业建立颠覆性技术识别与预测分析的情报研究机构，随时对颠覆性技术情报信息进行研判与系统分析，启动相应的政策措施。②坚持以市场为导向，加大在位技术创新及应用市场研发力度，以“堵”胜于“疏”，如具有颠覆性技术特性的人工智能产业应尽可能贴合市场发展趋势、增加对低端市场企业或非主流企业的吸引力。③对具有先导性和前瞻性的技术，应从国家或地区层面进行战略规划，促进迅速发展，如政府对区块链技术的支持引导方向应加强对技术理念教育和普及，推动技术与实体经济有效融合，加快“区块链+”应用落地，尽快形成区块链生态系统。

通过模型稳定性和仿真分析可以发现，本

文所构建的模型是稳定的,拟合性和适应性强,有利用大规模文献数据分析以及颠覆性技术智能识别,在节省物力、人力的同时还能提高数据分析的准确性。因此,该模型能有效应用于企业、政府对颠覆性技术管理决策和管理实践。

参 考 文 献

- [1] 张佳维,董瑜.颠覆性技术识别指标的研究进展[J].情报理论与实践,2020,43(6):195-199.
- [2] 马铭,王超,张伟然,等.突变视角下潜在颠覆性技术识别与分析方法研究[J/OL].情报理论与实践.https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.g3.20211008.2024.006.html.
- [3] 王超,许海云,方曙.颠覆性技术识别与预测方法研究进展[J].科技进步与对策,2018,35(9):152-160.
- [4] Vojak B A, Chambers F A. Roadmapping disruptive technical threats and opportunities in complex, technology-based subsystems: the sails methodology[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1-2):121-139.
- [5] Phaal R, Farrukh C J, Probert D R. Technology roadmapping--a planning framework for evolution and revolution[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2004, 71(1):5-26.
- [6] Schoemaker P, Mavaddat M V. Scenario planning for disruptive technologies[J]. Wharton on Managing Emerging Technologies, 2000:206-241.
- [7] Drew S A W. Building technology foresight: using scenarios to embrace innovation[J]. European Journal of Innovation Management, 2006, 9(3):241-257.
- [8] 王知津,周鹏,韩正彪.基于情景分析法的技术预测研究[J].图书情报知识,2013(5):115-122.
- [9] Adner R. When are technologies disruptive? a demand-based view of the emergence of competition[J]. Strategic management journal, 2002, 23(8):667-688.
- [10] Govindarajan V, Kopalle P K. Disruptiveness of innovations: measurement and an assessment of reliability and validity[J]. Strategic management journal, 2006, 27(2):189-199.
- [11] SOOD A, TELLIS G J. Demystifying disruption: a new model for understanding and predicting disruptive technologies[J]. Marketing Science, 2011, 30(2):339-354.
- [12] GAVIAO L O, FERRAZ F T, LIMA G B A, et al. Assessment of the "disrupt-o-meter" model by ordinal multicriteria methods [J]. RAI Revista de Administração e Inovação, 2016, 13(4):305-314.
- [13] 孙建广,檀润华,江屏.基于技术进化理论的破坏性创新预测与实现模型[J].机械工程学报,2012,48(11):11-20.
- [14] Linton J D. Forecasting the market diffusion of disruptive and discontinuous innovation[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2002, 49(4):365-374.
- [15] Chen C, Zhang J., Guo R S. The d-day,v-day, and bleak days of a disruptive technology: a new model for ex ante evaluation of the timing of technology disruption[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 251(2):562-574.
- [16] Momeni A, Rost K. Identification and monitoring of possible disruptive technologies by patent-development paths and topic modeling[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 104: 16-29.
- [17] Li X, Fan M J, Zhou Y, et al. Monitoring and forecasting the development trends of nanogenerator technology using citation analysis and text mining[J]. Nano Energy, 2020(71):1-21.
- [18] Dotsika F, Watkins A. Identifying potentially disruptive trends by means of keyword network analysis [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2017, 119:114-127.
- [19] Anderson R M, May R M. Population biology of infectious disease: Part I[J]. Nature, 1979, 280: 361-376.
- [20] May R M, Anderson R M. Population biology of infectious disease: Part II[J]. Nature, 1979, 280: 455-461.
- [21] Driessche P, Watmough J. A simple SIS epidemic model with a backward bifurcation[J]. Mathematical Biology, 2000, 40:525-540.
- [22] Beretta E, Hara T, Ma W, et al. Global asymptotic stability of an SIR epidemic model with distributed time

- delay[J]. *J Nonl Anal*, 2001, 47:4107-4115.
- [23] Takeuchi Y, Ma W B, Beretta E. Global asymptotic properties of delay SIR epidemic model with finite incubation times[J]. *Nonlinear Analysis*, 2000, 42:931-947.
- [24] Tapaswi P K, Chattopadhyay J. Global stability results of a “susceptible-infective-immune-susceptible” (SIRS) epidemic model[J]. *Ecological Modelling*, 1996, 87:223-226.
- [25] Aron J L. Acquired immunity depend upon exposure in a SIRS epidemic model[J]. *Math Biosci*, 1988, 88:37-47.
- [26] Cooke K L, Driessche P. Analysis of an SEIRS epidemic model with two delays[J]. *J Math Biol*, 1996, 35:240-260.
- [27] Langlais M, Suppo C. A remark on a generic SEIRS model and application to cat retroviruses and fox rabies[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2000, 31:117-124.
- [28] 罗荣桂, 江涛. 基于 SIR 传染病模型的技术扩散模型的研究 [J]. *管理工程学报*, 2006, 20(1): 32-35.
- [29] Mansfield E. Technology change and the rate of imitation[J]. *Econometrics*, 1961(29):741-765.
- [30] 侯广辉, 廖桂铭, 王刚. 基于突变级数的颠覆性技术识别模型构建及实证研究 [J]. *情报杂志*, 2021, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1167.G3.20210608.0925.004.html>.
- [31] 种大双, 孙绍荣. 基于传染病模型的重大突发舆情传播与控制 [J]. *情报理论与实践 (ITA)*, 2018, 41(5):104-109.
- [32] Ripoll J, Manzano M, Calle E. Spread of epidemic-like failures in telecommunication networks[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2014, 410:457-469.
- [33] Korobeinikov A. Lyapunov Functions and Global Stability for SIR and SIRS Epidemiological Models with Non-linear Transmission[J]. *Bulletin of Mathematical Biology*, 2004, 68:615-626.