

# 企业数字创新优化路径研究——基于 DEMATEL 和系统动力学模型的实证分析

刘燕芳

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2022年10月1日; 录用日期: 2022年10月29日; 发布日期: 2022年11月4日

## 摘要

数字技术驱动和数据要素嵌入背景下, 企业面临决策、生产和服务系统的深度重构, 优化数字创新路径是实现可持续发展的必要条件。用 DEMATEL 方法探究企业数字创新的具体影响因素及其相互作用关系, 并且运用系统动力学分析企业数字创新过程中的各要素的作用路径, 以探索优化路径。研究表明: 1) 互补技术有效性、信息技术人才和大数据能力都能有效提升企业数字创新水平, 但随着互补技术有效性的增强, 企业数字创新水平不升反降; 2) 企业数字创新路径主要有五种, 即大数据能力驱动型、互补技术有效性驱动型、信息技术人才驱动、科研机构数量驱动及战略规划能力驱动型, 其中互补技术有效性驱动路径能显著提升企业数字创新水平; 3) 最后, 分别面向企业和政策制定者, 从数字化跨界战略、互补技术有效性、交叉复合型人才培养等面提出相应的管理启示。

## 关键词

数字创新, 优化路径, DEMATEL, 系统动力学

## Research on Optimal Path of Enterprise Digital Innovation—Empirical Analysis Based on DEMATEL and System Dynamics Model

Yanfang Liu

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Oct. 1<sup>st</sup>, 2022; accepted: Oct. 29<sup>th</sup>, 2022; published: Nov. 4<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Under the background of digital technology driving and data element embedding, enterprises are

文章引用: 刘燕芳. 企业数字创新优化路径研究——基于 DEMATEL 和系统动力学模型的实证分析[J]. 运筹与模糊学, 2022, 12(4): 1317-1326. DOI: 10.12677/orf.2022.124138

faced with the deep reconstruction of decision-making, production and service systems. Optimizing the path of digital innovation is a necessary condition to achieve sustainable development. The DEMATEL method is used to explore the specific influencing factors of enterprise digital innovation and their interaction relationship, and the system dynamics is used to analyze the action path of each element in the process of enterprise digital innovation, so as to explore the optimization path. The results show that: 1) The effectiveness of complementary technologies, information technology talents and big data capabilities can effectively improve the digital innovation level of enterprises, but with the enhancement of the effectiveness of complementary technologies, the digital innovation level of enterprises decreases instead of increasing; 2) There are five main digital innovation paths, namely, big data capability driven, complementary technology effectiveness driven, IT talent driven, number of scientific research institutions driven and strategic planning ability driven, among which complementary technology effectiveness driven path can significantly improve the digital innovation level of enterprises; 3) Finally, for enterprises and policy makers, the corresponding management implications are proposed from the aspects of digital crossover strategy, complementary technology effectiveness, and cross-compound talent training.

## Keywords

Digitalinnovation, Optimalpath, DEMATEL, Systemdynamics

Copyright © 2022 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. 问题提出

在新一轮科技革命和产业变革背景下，数字技术和数据要素不断渗入到实体经济的生产、组织、运营等各个层面，不断助推经济社会高质量发展。企业数字创新是其运用数字技术来重塑企业愿景、战略、组织结构及商业模式，以适应瞬变的数字环境的过程[1]，一定程度上改变了企业创新的内在本质，对创新行为、创新资源整合、创新过程、商业模式等带来诸多影响[2]。然而，我国许多企业对数字技术的利用尚处于初级阶段，数字化转型的紧迫感和执行力有待进一步增强，而且数字技术自身的不确定性导致转型的形态和路径因“企”而异，不存在可以简单复制粘贴的单一路径，这些都是企业探索数字创新过程中的绊脚石；同时，我国企业数字创新实践虽卓有成效，但缺乏对典型模式的剖析和总结。因此，探索推动数字技术与企业创新深度融合发展和转型升级的优化路径，成为亟需系统探索与针对性解决的现实问题。

目前，企业数字化转型已成为新兴研究热点，研究文献不断涌现，国内外学者主要围绕两个方面展开研究：1) 从理论构建视角考察数字创新的内涵、维度构成及概念框架，认为数字创新包括带来新的产品、生产过程改进、组织模式变革以及商业模式的创建和改变等[3]。2) 从新一轮新科技革命推动的技术创新视角切入[4]，探索大科学与大技术交叉融合的时代下原有技术体系的解耦、分化、重组、再封装及其管理体系[5]。陈春花等[6]主张企业以数字技术的穿透力重新整合产业；苗红、黄鲁成[7]等从专利引用关系切入来探索技术融合趋势及其跨领域特征的测度。

企业数字创新涉及许多要素和环节，由此决定企业数字创新动力影响要素的多样性及复杂性。企业数字创新是诸多要素的，并通过非线性迭加演进而来，其动力的产生是各个环节上下反馈、相互协同的过程。系统动力学(system dynamic, SD)将系统构成为结构、功能的因果关系模型，利用反馈、调节和控制原理进一步设计反映系统行为的反馈回路，最终通过建立计算机仿真模型并借助于计算机仿真定量研究。系统动力学能够体现相关主体的影响互动关系，具有动态复杂的特征，并且在企业数字创新与技术

创新领域应用广泛，能够解决数据量不足时的仿真问题，预判未来发展趋势，从而为相关决策者提供依据。在建立系统动力学模型过程中重点是通过建立有效路径，找到影响企业数字创新系统的重要因素，并探寻影响因素间相互关系，由此得到可靠的因果关系。

DEMATEL 群决策分析法(Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory)通过量化分析指标间的逻辑关系，构建直接影响矩阵和综合影响矩阵，计算各指标对其他指标的影响度与被影响度，进而确定各指标的中心度与原因度，识别影响力较大的指标和易被影响的指标作为关键影响因素，得到可靠的系统动力学因果回路图。

纵观国内外现有研究发现，大部分研究聚焦企业数字创新的概念、特征，因此研究缺乏支撑企业全面认知及精细化管理数字创新。数字创新跨越行业边界，涉及领域更加模糊，参与主体更加多样化，因此对传统创新理论提出了挑战。在开放式创新和数字经济时代背景下，如何进一步解释企业数字创新的影响因素及其相互作用机制，从而寻求更优的路径？因此，本研究基于数字技术特征及相关理论，运用 DEMATEL 决策分析法和系统动力学来研究企业数字创新过程中的影响因素，分析企业数字创新所需资源和条件，并探索企业数字创新优化路径，进而为企业数字创新的实践提供理论参考。

## 2. 基于 DEMATEL 和系统动力学的企业数字创新机理分析

### 2.1. 基于 DEMATEL 的影响因素选取与识别

基于文献研究和 DEMATEL 方法初步总结驱动企业数字创新的各个维度及相关指标，通过查询《中国数字经济发展白皮书》、《中国产业数字化报告》、百度网、东方财富网、巨潮资讯网等资料，对动力因素进行完善与修正，最终划分为技术层、价值层、制度层，依托更加并进一步细分成共 13 个指标，分别明确各维度不同指标的考察内容，见表 1。

**Table 1.** The content of each indicator

**表 1.** 各指标考察内容

维度	指标	指标解释
技术层	F1 数字基础设施规模	支持一个企业运行的基本的数字技术与组织结构以及相关的服务和设施
	F2 信息技术人才	企业管理信息技术相关专业技术岗位，聚焦数字化基础设施打造如软件工程师、架构师、数据挖掘、算法研究的研发人员
	F3 大数据能力	企业进行大数据储存、分析、利用及共享的能力
	F4 科研机构数量	企业科研活动的研发机构数量
	F5 互补技术有效性	企业应用互补技术、工艺等共同开发新产品或服务等项目数量
	F6 战略规划能力	制定并实施组织的长期目标和计划的能力
价值层	F7 市场推广费用	企业用于市场推广的费用
	F8 智能终端活跃用户比率	通信及社交中软件平台中的活跃用户数及参与度的比率
	F9 数字创新水平	人工智能合作专利的数量
	F10 连接红利	由数字平台连接企业和消费者所带来得红利(包括增值服务和网络广告收入)
	F11 企业经营盈利	企业收入减去成本等其他费用开支
制度层	F12 金融科技环境支持强度	科技金融资金金融信贷占比
	F13 政府数字环境支持强度	政府公布的关于企业数字技术发展的相关政策、文件

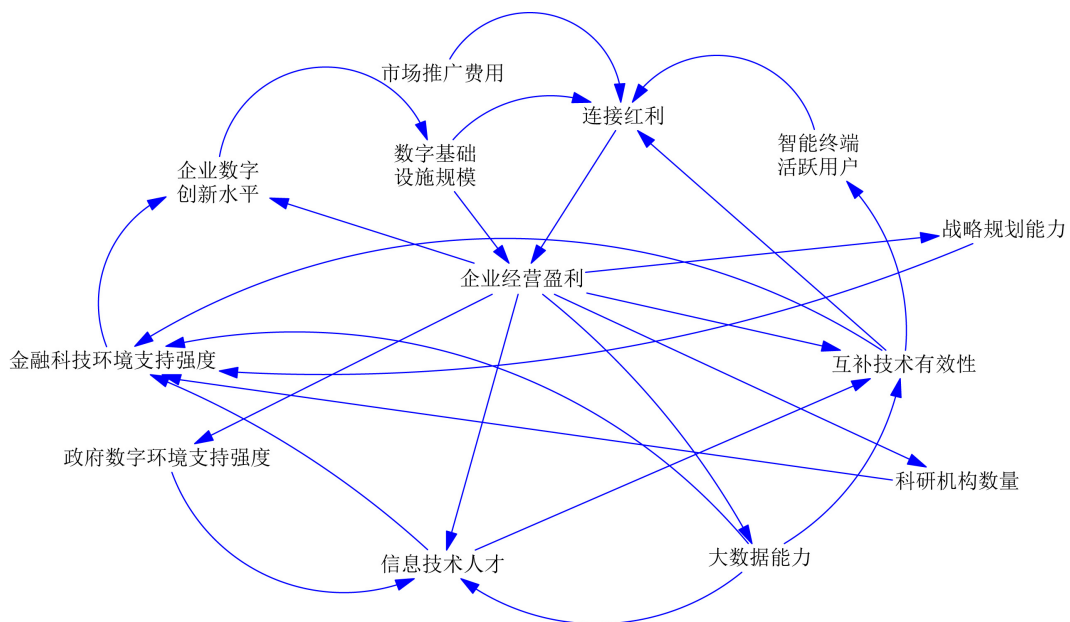
运用 DEMATEL 方法思路, 根据校内外专家的打分和评价, 确定标准化规范影响矩阵, 建立综合影响矩阵, 最终确定各个影响因素的中心度和原因度(表 2)。建立上述 2 个因素之间的直接影响矩阵, 如果某因素  $F_i$  对  $F_j$  有直接影响, 则相应的第  $i$  行第  $j$  列元素为 1; 如果没有直接影响关系, 则相应的元素为 0。

**Table 2.** Composite influence matrix  
**表 2.** 综合影响矩阵

影响因素	影响度 D	D 排名	被影响度 C	C 排名	中心度 D+C	D+C 排名	原因度 D-C	D-C 排名
数字基础设施规模	1.289	6	1.432	6	2.72	8	-0.143	10
信息技术人才	1.389	5	1.546	4	2.934	5	-0.157	11
大数据能力	1.587	2	1.202	9	2.789	6	0.385	2
科研机构数量	1.173	10	0.798	11	1.971	13	0.375	3
互补技术有效性	1.509	3	1.595	2	3.104	3	-0.086	9
战略规划能力	1.173	10	1.202	9	2.375	11	-0.029	7
市场推广费用	1.169	11	1	10	2.169	12	0.169	4
智能终端活跃用户比率	1.169	11	1.228	8	2.397	10	-0.059	8
企业数字创新水平	1.473	4	1.474	5	2.947	4	-0.001	5
连接红利	1.184	9	1.546	3	2.73	7	-0.362	12
企业经营盈利	2.022	1	1.415	7	3.437	1	0.607	1
金融科技环境支持强度	1.210	7	1.906	1	3.117	2	-0.696	13
政府数字环境支持强度	1.198	8	1.202	9	2.401	9	-0.004	6

### 2.2. 基于系统动力学的理论模型构建

通过综合影响矩阵分析, 可以知道企业数字创新的中心度因素的排名可以知道最重要的是企业经营



**Figure 1.** Systematic causality diagram of enterprise digital innovation  
**图 1.** 企业数字创新的系统因果图

盈利，所以企业经营盈利处于模型中心位置；被影响度较大的依次是的是金融科技环境支持强度，互补技术有效性、连接红利；原因度排名前三的企业经营盈利、大数据能力、科研机构数量。以此为建模的基础。根据各个影响因素之间的直接影响关系矩阵、中心度及原因度分析结果，建立企业数字创新的系统因果回路如图 1。

本文采用 Vensim 建模软件作为工具，在 Vensim 中有两种重要的变量：水平变量和速率变量。水平变量用矩形表示，代表事物(包括物质和非物质)的积累，被称作状态变量或积累变量。速率变量用阀门符号表示，是直接改变水平变量值的变量，反映水平变量输入或输出的速度。系统动力学通过引入水平变量、速率变量等因素，构造成更加深入的系统行为关系图，更完整、具体地描述系统构成、系统行为和系统元素相互作用机制的全貌。根据以上对企业数字创新动力系统的描述，建立企业数字创新创新动力的系统动力学模型，如图 2 所示。在因果回路图的基础上，将各变量进行类别区分，并对其进行定量化处理，构建了企业数字创新存量流量图，如图 2 所示。

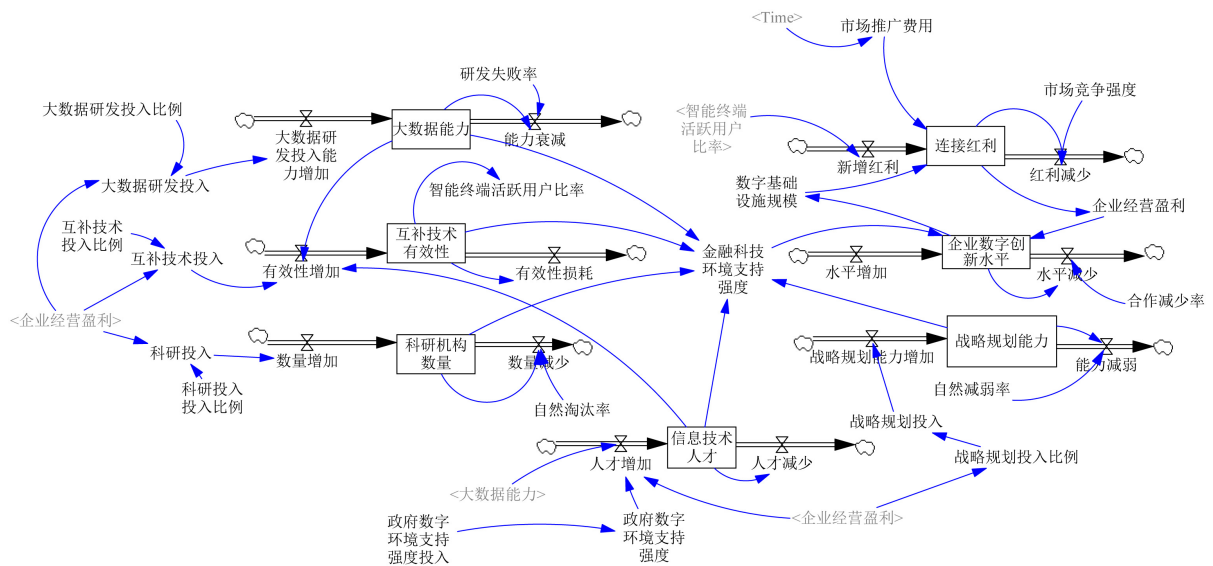


Figure 2. Digital innovation stock flow chart  
图 2. 企业数字创新存量流量图

### 2.3. 数据来源与参数设定

本文数据主要来源于《中国数字经济发展白皮书》、《中国产业数字化报告》、腾讯官网的财务报表、互联网领域行业报告、东方城财富网、巨潮资讯网等网站，以及文献资料的搜集参考。在数据整合的基础上，主要结合腾讯企业实际发展，运用文献分析法、数学演绎法及回归分析、专家咨询等方法对数据进行拟合，确定变量间关系并得出合理方程。

以每季度为单位，根据腾讯企业财务报表 2010 年至 2018 年的相关数据进行仿真分析，并模拟未来 5 个季度跨行业发展趋势。运用 VensimPLE 开展仿真模拟，基本参数设置为：

$$\text{INITIALTIME} = 0, \text{FINALTIME} = 50, \text{NITESFORTIME} = \text{QUARTER}, \text{TIMESTEP} = 1$$

### 2.4. 模型有效性检验

本文构建的 SD 模型中，每一个变量的单位均依靠其定义来设计，通过 VensimPLE 软件对各变量进行了量纲一致性检验，检验结果表明企业数字创新系统中各变量及方程单位均一致，且各方程均能有效

运行，模型具有结构有效性。

### 3. 仿真模拟及优化路径分析

#### 3.1. 静态反馈回路分析

影响企业数字创新水平的静态回路共 14 条，可归纳得到大数据驱动型、互补技术有效性驱动型、信息技术人才驱动、科研机构数量驱动以及战略规划能力驱动型五种类型。

##### 3.1.1. 大数据能力驱动型

指通过大数据研发投入改进大数据能力，企业全面参与数字创新过程，从而激发数字创新动力以提升创新效率。主要路径包括：

- 1) 大数据能力→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→企业经营盈利
- 2) 大数据能力→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→连接红利

腾讯企业通过大数据能力驱动企业数字创新水平的路径分析：企业推出微信支付、腾讯云推出云服务大数据驱动的数字服务，进而成立联营公司微众银行进行投资与融资，增强金融科技环境支持强度，从而促进了企业数字创新水平。

##### 3.1.2. 互补技术有效性驱动型

互补技术有效性通过互补技术投入的变化进而影响金融科技环境支持强度，从而影响企业数字创新水平。具体路径包括：

- 1) 互补技术有效性→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→企业经营盈利
- 2) 互补技术有效性→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→连接红利

腾讯企业通过互补技术有效性驱动企业数字创新水平的路径分析：企业通过建立腾讯开源联盟等，构造包括服务化与智能化、信息化与生态化的多个主体融合，环境协同共生进而促进了企业数字创新水平。

##### 3.1.3. 信息技术人才驱动型

信息技术人才通过影响金融科技环境支持强度或者互补性技术有效性，进而影响企业数字创新水平。具体路径包括：

- 1) 信息技术人才→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→企业经营盈利
- 2) 信息技术人才→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→连接红利

腾讯企业通过信息技术人才驱动企业数字创新水平的路径分析：企业建立腾讯开源联盟，在业务单元中成立了独立的腾讯云与智慧产业技术委员会，在云原生的开源生态中投入了更多的人力；此外启动了腾讯犀牛鸟开源人才培养计划，同其他开源组织联合，共同推进开源事业的发展，联合一线 VC 机构，为成员提供多渠道资本扶持，促进技术发展及创新水平。

##### 3.1.4. 科研机构数量驱动型

科研机构主要是通过影响金融科技支持环境，进而影响企业数字创新水平。

- 1) 科研机构数量→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→企业经营盈利
- 2) 科研机构数量→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→连接红利

腾讯企业通过科研机构数量驱动企业数字创新水平的路径分析：企业在 2011 年成立腾讯研究院，机构下设法律、产业与经济、社会、犯罪、专利与创新研究中心等七大研究中心和博士后科研工作站，通

过丰富的案例和海量的数据，围绕产业发展的焦点问题，通过汇集各科研机构的智慧，促进互联网产业的发展。

### 3.1.5. 战略规划能力驱动型

科研机构主要是通过影响金融科技支持环境，进而影响企业数字创新水平。

1) 战略规划能力→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→企业经营盈利

2) 战略规划能力→金融科技环境支持强度→企业数字创新水平→数字基础设施规模→连接红利

腾讯企业通过战略规划能力驱动企业数字创新水平的路径分析：技术的发展加剧了企业之间的竞争，迫使企业实行新的战略以求生存。腾讯企业 2010 年就提出了“拥抱开放的战略”，通过发布公司级开放平台战略、腾讯音乐美国纽约上市等活动，整合企业资源进而促进了企业数字创新水平。

## 3.2. 动态仿真分析

### 趋势仿真

1) 企业数字创新水平的变化趋势分析

下图 3 为企业数字创新水平的随时间变化的趋势仿真结果。随着企业数字创新活动的持续进行，企业数字创新水平整体呈上升趋势。根据仿真时间轴的设置，在 30 季度对应着 2015 年之后，从趋势图中可以看出相比之前，增加速度明显提升。

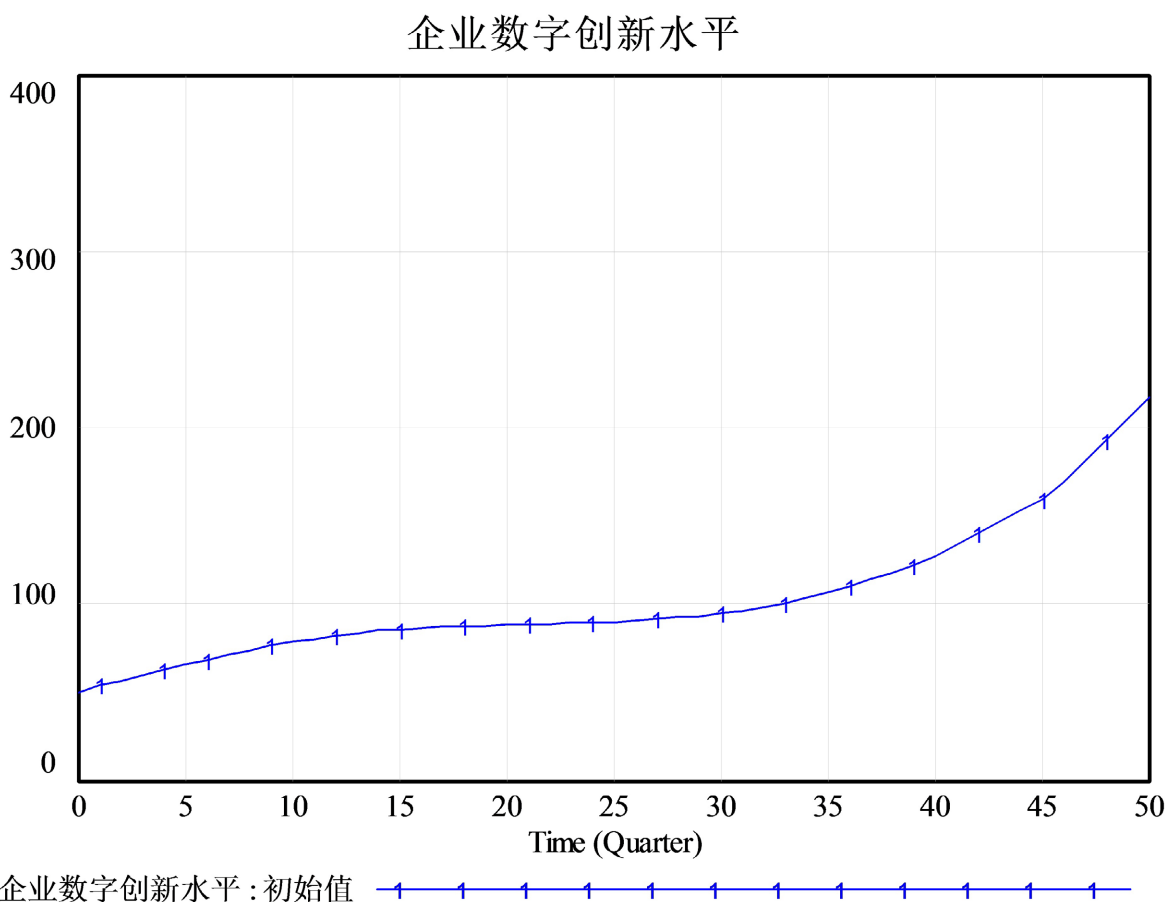


Figure 3. Evolution trend simulation

图 3. 演化趋势仿真

### 2) 驱动企业数字创新的要素分析

仿真结果如图 4 所示。互补技术有效性、信息技术人才正向作用于企业数字创新的进程，其中互补技术有效性作用更为明显。两个要素在 0~30 季度增速较为缓慢，35~50 季度年增速较大，在 30 季度后增速明显。而大数据能力、科研机构数量和战略规划能力三个要素对企业数字创新水平的作用呈现先降后升的趋势。

### 企业数字创新水平

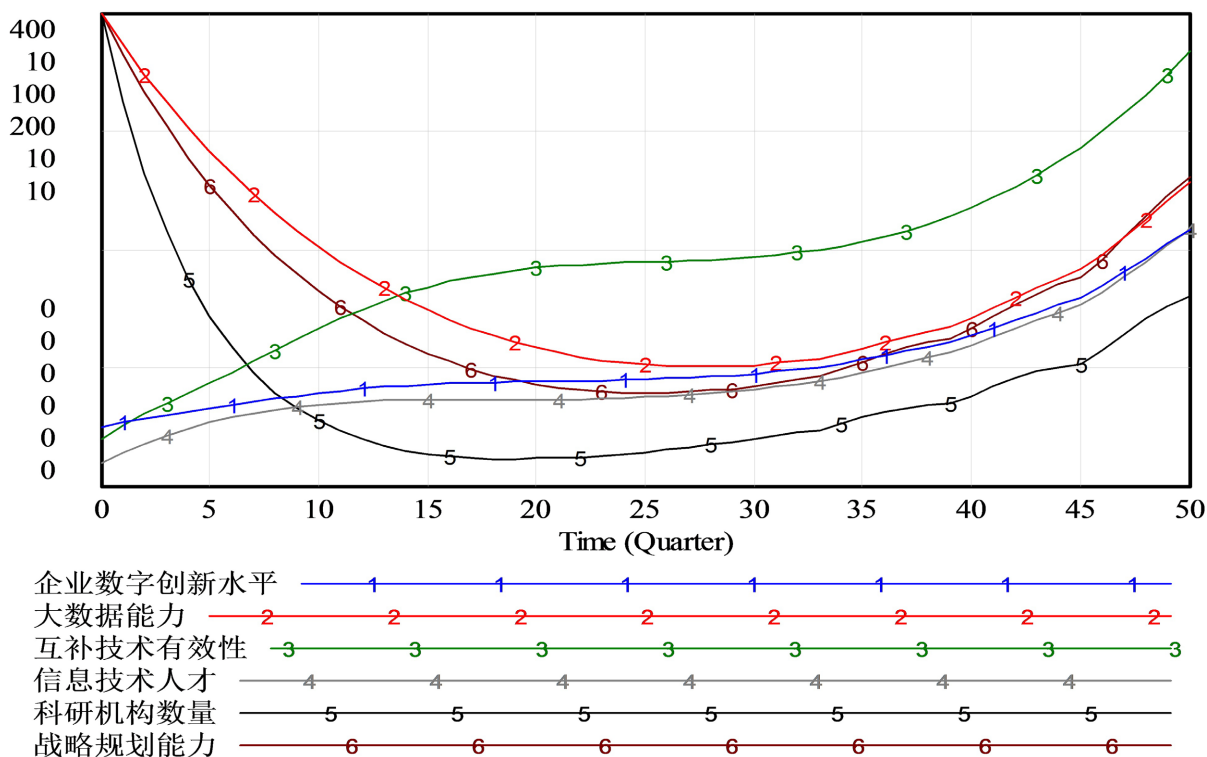


Figure 4. Evolution trend simulation 3.2.2 灵敏度分析  
图 4. 演化趋势仿真

通过改变要素数值比较模型输出，分别使大数据研发投入比例、互补技术投入比例、信息技术人才、科研投入比例、战略规划投入比例分别同等比例增加 20%，观察可以发现对于企业数字创新水平来说，信息技术人才的增加对企业数字创新水平影响最为显著、随后作用效果依次是大数据能力作用较大，互补技术有效性、科研机构数量、战略规划能力三者的增加之后，对于企业数字创新水平的影响并不明显。在 30 季度之后，信息技术人才和大数据能力增加对于企业数字创新水平的作用效果相比仿真初期有了更大程度和比例的提升。

### 3.3. 路径优化分析

灵敏度分析结果表明：1) 信息技术人才和大数据能力的提升都能有效提高企业数字创新水平。本研究进一步发现，在仿真时间段内，信息技术人才和大数据能力的提升对数字创新水平的作用较早，作用程度先慢后快，且差距逐渐增大。作为数字时代的复杂适应性系统，随着数字技术应用的推进，企业在积累大数据能力和人才的时候，海量用户数据聚集形成大规模的创新解决方案，系统发挥杠杆作用，引发价值涌现的良性循环。2) 互补技术有效性在图 5 演化趋势可以看出其对企业数字创新的影响最显著，



但是随着互补技术的投入增加，出现企业数字创新水平下降的结果。这表明，企业目前互补技术的投入已经能够较好的支撑和引领企业数字创新的发展，更加应该注重自身核心大数据能力的提升，而不是过度关注与其他企业的互补性技术和资产连接。3) 科研投入和战略规划投入的增加并未对企业产生非常显著的企业创新水平的提升。

## 企业数字创新水平

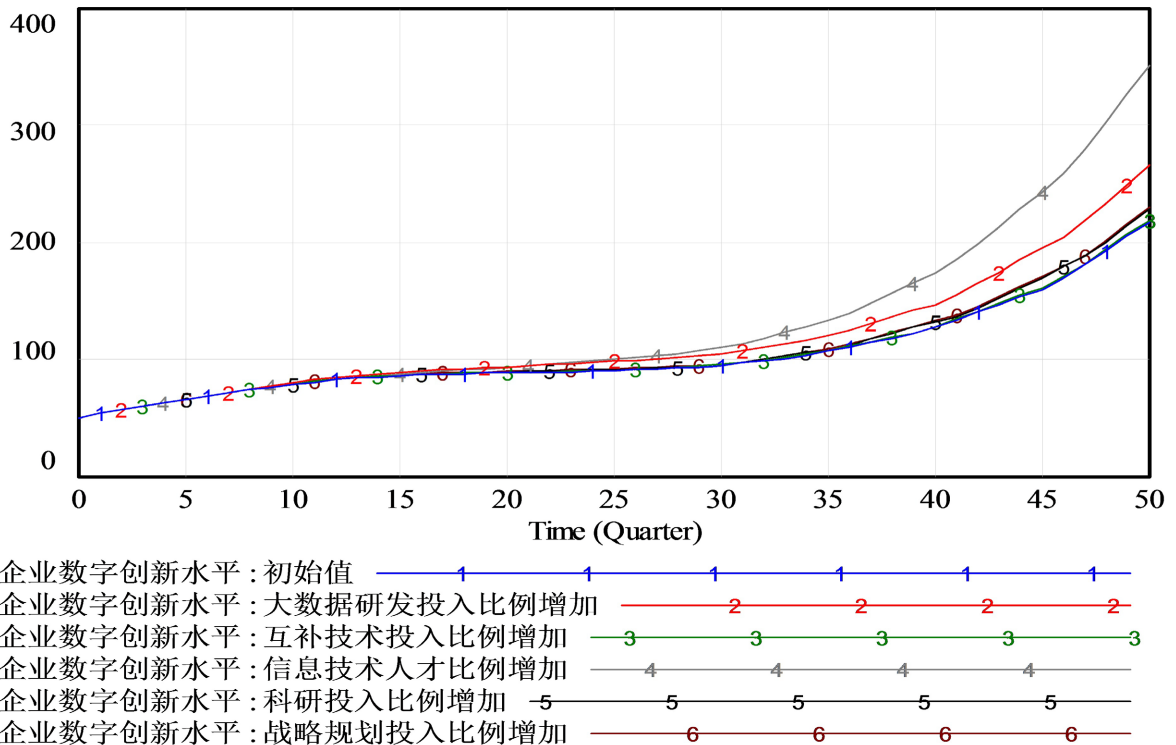


Figure 5. Simulation diagram of sensitivity analysis

图 5. 灵敏度分析仿真图

## 4. 启示与展望

### 4.1. 研究结论与管理启示

数字技术作为一种赋能技术，引发了企业结构、行业发展和社会生活的变革，改变了传统的企业创新价值创造逻辑。本研究依据传统企业原有资源基础、企业技术能力、市场价值拉动及政府和金融环境的保障作用原理，结合数字技术特征，运用 DEMATEL 和系统动力学方法剖析了影响数字技术驱动企业创新的动态过程，主要结论如下：1) 互补技术有效性、信息技术人才和大数据能力的增加对企业数字创新水平的变化有明显影响，但是随着互补技术有效性的增加，企业数字化水平却反降不升，说明在一定程度上，企业要注重培养自身核心的大数据资产和能力，不能只关注与外部企业的合作。2) 在系统仿真时段内，互补性技术有效性能显著提升企业数字创新水平，并且它分别从技术、价值、制度三个层面发挥差异性作用；3) 企业数字创新路径主要分为大数据驱动型、互补技术有效性驱动型、信息技术人才驱动、科研机构数量驱动以及战略规划能力驱动型五种类型，相比其他驱动路径，互补技术有效性驱动路径能够有效提升企业数字创新水平；研究深化了对企业数字创新过程中复杂因素间相互动态作用的认识，为相关学者探索数字创新提供新的理论视角和研究方法，更为复杂动态环境下的企业数字创新实践提供

了可操作性的优化路径。基于此，可为企业和政策制定者提供相应的管理启示：

一方面，面向企业的管理启示：① 企业应摒弃传统边界意识的创新控制思路，制定与整体发展方向相协同的数字化跨界战略；② 互补技术有效性是影响企业数字创新的重要因素，在企业研发模趋于开放化、开源化背景下，企业应抓住数字创新环境机遇，注重利用大数据动态来循环挖掘用户个性化需求，拓展技术应用场景并赋能产品创新，以提升企业竞争优势及整体的价值创造水平；③ 加强对深入掌握大数据采集与分析、先进制造流程及工艺优化、数字化战略制定和管理、全生命周期数据挖掘等领域专业技能的创新创业人才的内培外引，随着数字化转型的不断深入，行业界限变得模糊，企业对具有大视野、多角度看待问题的人才需求日益扩大，通过引入培养交叉复合型创新人才，可有效强化核心优势，推动企业数字化转型升级。

另一方面，面向政策制定者的管理启示：根据互补性技术有效性的显著作用，可以构建以系统价值创造为目标的社会技术协同治理体系，从技术开发，价值引导、制度调整等方面协同各参与主体的行为，对于企业的不同发展阶段，政府激励的有效方式和作用程度应有所不同；① 针对发展初期的企业通过补贴、优惠政策等有力手段刺激企业加大研发投入，能有效促进金融环境作用于企业数字化水平和价值创造的提升过程，② 随着企业的成熟，信息技术人才和企业核心大数据能力的提升将发挥更大的作用，此时政府激励可转变为对数字创新环境的营造和维护，为企业与用户之间广泛的数字化连接创造信任条件。

## 4.2. 研究不足与未来展望

1) 数字创新的内涵、概念和特征基本是跨国家情境亦适用的，但本文研究技术、价值、制度等层面驱动数字创新的要素可能会产生情境依赖的结果，未来研究可以通过考虑拓展研究的情境边界，探讨对数字创新产生的直接或间接影响，进而深化数字创新的相关研究。

2) 建构系统动力学模型的方式分析企业数字创新问题时，由于受到数据资料的限制，有一定的局限性。因此，在后续研究中将对数据源的选择进一步完善并结合国内外文献数据，通过对比分析研究，增强数据结果的准确性和科学性，以弥补上述不足。

## 参考文献

- [1] Vijay, G. and Debora, D. (2019) Gearing Up for Successful Digital Transformation. *MIS Quarterly Executive*, **18**, 209-220. <https://doi.org/10.17705/2msqe.00017>
- [2] Nambisan, S., Wright, W. and Feldman, M. (2019) The Digital Transformation of Innovation and Entrepreneurship: Progress, Challenges and Key Themes. *Research Policy*, **48**, 103773-103773. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>
- [3] 陈庆江, 万茂丰, 王彦萌. 数字技术应用对企业二元创新的影响——基于组织生命周期的实证检验[J]. *软科学*, 2021, 35(11): 92-98.
- [4] Spieth, P., Schneckenberg, D. and Ricart, J.E. (2014) Business Model Innovation-State of the Art and Future Challenges for the Field. *R&D Management*, **44**, 237-247. <https://doi.org/10.1111/radm.12071>
- [5] Markides, C. and Charitou, C.D. (2004) Competing with Dual Business Models: A Contingency Approach. *The Academy of Management Executive* (1993-2005), **18**, 22-36. <https://doi.org/10.5465/ame.2004.14776164>
- [6] 陈春花. 传统企业数字化转型能力体系构建研究[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2019(18): 6-12.
- [7] 苗红, 王艳, 黄鲁成, 等. 面向功能的技术融合趋势研究[J]. *情报杂志*, 2020, 39(5): 51-58.