

图书情报工作  
*Library and Information Service*  
ISSN 0252-3116, CN 11-1541/G2

## 《图书情报工作》网络首发论文

题目： 面向技术创新过程表征和描述的技术要素关联概念模型  
作者： 邬金鸣，胡智杰，姚茹，林巧，张学福  
网络首发日期： 2024-01-05  
引用格式： 邬金鸣，胡智杰，姚茹，林巧，张学福. 面向技术创新过程表征和描述的技术要素关联概念模型[J/OL]. 图书情报工作.  
<https://link.cnki.net/urlid/11.1541.G2.20240104.1546.002>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

## 面向技术创新过程表征和描述的技术要素关联概念模型\*

邬金鸣<sup>1</sup> 胡智杰<sup>1</sup> 姚茹<sup>1,2</sup> 林巧<sup>1</sup> 张学福<sup>1</sup>

1 中国农业科学院农业信息研究所 北京 100081

2 北京市农林科学院数据科学与农业经济研究所 北京 100097

**摘要：**【目的/意义】通过技术文本挖掘，探测技术创新过程与规律，预测研判未来发展趋势，是情报学研究的重要内容之一。然而，如何对技术创新过程进行表征和描述是需要解决的首要问题。因此，本文构建了一种面向技术创新过程表征和描述的技术要素关联概念模型。【方法/过程】首先梳理了技术创新与技术创新要素概念，进而基于技术范式与技术轨道模式下技术创新机理的分析，归纳了技术创新要素及其关联，在此基础上进一步聚焦了与技术本身直接相关的要素，设计了技术要素关联概念模型，并进行了应用案例分析。

【结果/结论】本文提出的概念模型，包括4种技术要素、2种要素属性和6种要素关联关系，支持通过分析技术要素及其关联随时间的动态变化、要素跨领域相互作用等，在微观层面揭示技术创新过程与规律，特别是可以支持揭示前沿交叉领域技术创新过程与规律，为技术融合机会发现奠定基础。

关键词：技术创新；创新要素；创新要素关联；技术创新机理；融合创新

分类号：G353; G255.51

### 1. 引言

党的二十大指出要坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，加快实现高水平科技自立自强，加快建设科技强国。我国创新驱动发展战略深入实施，技术创新实践日益受到重视。技术创新有其固有的特征和规律，探测技术创新发展过程和规律，进而借鉴应用，是寻找突破性创新的切入点、促进科技发展的新思路。

随着大数据时代的到来，大规模的专利等技术文本成为重要研究数据。其是技术创新活动主要和最直接的产出成果，可作为潜在可供分析的对象，为揭示技术创新过程和规律提供深入的见解<sup>[1]</sup>。通过技术文本挖掘，探测技术创新过程与规律，预测研判未来发展趋势，是情报学研究的重要内容之一。然而，如何对技术创新过程进行表征和描述是需要解决的首要问题。

当前情报研究中，多采用技术路线图、技术主题演化路径来表征、揭示技术创新过程。如刘春江<sup>[2]</sup>利用专利构建技术主题创新演化路径来揭示技术领域的创新发展过程。该类研究大多从宏观、整体视角，揭示领域内科技不断创新发展的演化过程，描述科技发展水平。但技术创新涉及到复杂多样的影响因素，不同的影响因素在不同阶段可能发挥不同的作用，只从整体、宏观视角进行分析不足以有效揭示创新过程和规律。

部分学者将技术创新视为一项涉及多种要素相互作用的复杂系统工程<sup>[3]</sup>，开始探索基于要素关联分析在微观层面揭示技术创新过程与规律。当前研究中，要素的划分，一类是基于技术组合演化思想，将某技术领域划分为子技术模块作为创新要素<sup>[4-5]</sup>；一类是基于组合创新思想，拆分为方法、产品、材料、功效、应用领域等要素<sup>[6-7]</sup>；此外，另一类代表性研究是冯立杰<sup>[8]</sup>提出了创新基因理论，划分了时间基因、空间基因等九大技术基因，通过组合与集成等创新法则，寻找组合创新机会。该类研究主要面向组合创新机会识别需求，关注要素之间的组合关系或直接语义关系（如方法和材料之间的使用关系），在静态视角下通过要素的划分与重组，探寻创新规律，识别组合创新机会。

技术创新是一个复杂的过程，交叉融合是其重要的动力和源泉<sup>[9]</sup>，当今时代的技术创新更是呈现多学科相互交叉、多领域相互渗透的突出特征<sup>[10]</sup>。领域间不同创新要素间的相互作用促使了不同程度融合创新的产生与发展。以合成生物学等为代表的前沿交叉技术领

\*本文系2023年国家社科基金年度项目，“前沿交叉领域融合创新路径识别方法研究”研究成果之一。

作者简介：邬金鸣，博士研究生；张学福，研究员，博士，博士生导师，通信作者，E-mail: zhangxuefu@caas.cn; 胡智杰，硕士研究生；姚茹，实习研究员，博士；林巧，副研究员。

域<sup>[11]</sup>，其本质是来源于分子生物学、系统生物学、组学、工程学等不同领域的原理、方法等要素的整合，体现了跨学科、跨领域的深度交叉融合过程<sup>[12-13]</sup>，为科技创新带来新启示。技术创新要素及其关联在时间维度上的动态变化，如同类型/不同类型要素的相互作用、要素的跨领域流动等，一定程度上可以反映技术创新形成、发生、发展的动态过程。其中需要进一步探讨的问题涉及：影响技术创新的要素有哪些？要素之间具有哪些关联作用，不同的要素对技术创新具有哪些不同的创新驱动作用？当前相关研究主要关注要素的静态组合关系以识别组合创新机会，对不同要素的不同创新驱动作用、领域间要素的流动和融合等关注不足，难以对技术创新复杂动态过程（特别是交叉融合创新过程）进行有效揭示。

因此，为了支持通过技术文本挖掘揭示技术创新过程和规律，特别是交叉融合创新过程和规律，本文提出了一种面向技术创新过程表征和描述的技术要素关联概念模型。具体而言，首先基于技术创新机理的分析，梳理了技术创新要素及其关联；并聚焦其中与技术本身直接相关的要素，构建了一种技术要素关联概念模型，包括技术要素、要素属性和要素关联关系 3 个方面，旨在支持通过技术文本挖掘，分析不同技术要素及其关联随时间的动态变化，以及要素的跨领域流动和领域交叉融合情况等，揭示技术创新形成、发展、发展过程，为挖掘技术创新模式、预测融合创新机会奠定基础。

## 2. 相关概念

### 2.1. 技术创新

技术创新这一概念最早由著名经济学家约瑟夫·熊彼特在 1912 年提出<sup>[14]</sup>。其指出技术创新就是建立一种新的生产函数，即把一种从来没有过的关于生产要素和生产条件的“新组合”引入生产体系，结果中发生的任何变化都看作源于生产方式的新组合。“新组合”囊括了以下 5 个方面：采用一种新产品、采用一种新的生产技术、开辟一种新的市场、掠取或控制一种新的原料或半成品的供应来源和实现一种任何新的工业新组织。其提出的技术创新包含的概念很广，包括技术性变化的方面（如新技术），和非技术性变化的方面（如新市场）。

此后，不同学者对技术创新的概念提出了不同的理解。有些学者在熊彼特提出的技术创新是一个过程的概念基础上进行细致理解，如（1）美国科学基金会的技术创新研究主要倡导人迈尔斯和马奎斯<sup>[15]</sup>在 1969 年指出，技术创新是一个复杂的活动过程，从新思想和新概念开始，通过不断的解决各种问题，最终使一个有经济价值和社会价值的新项目得到实际的成功应用；（2）莫尔<sup>[16]</sup>在 20 世纪 80 年代指出技术创新是技术制品的创始、演进和开发过程。（3）美国国家图书馆研究也指出，技术创新是一个从新产品或新工艺设想的产生到市场应用的完整过程<sup>[17]</sup>。也有学者从技术创新的结果内涵上进行深入理解，如（1）如伊若斯<sup>[18]</sup>在 1962 年指出，技术创新是一系列活动的结果；（2）1981 年经济合作与发展组织对于技术创新的定义，也偏向于从结果视角进行理解，其指出技术创新包括新产品和新工艺，以及原有产品和工艺的显著的技术变化<sup>[19]</sup>。

本文中，技术创新是技术制品的创始、演进和开发过程<sup>[16]</sup>，具有历时态特征和过程性质，结果呈现形式是新的技术制品，核心是创造性，主要内容是科学技术的发明、创造与价值实现。

### 2.2. 技术创新要素

当前技术创新要素的定义尚未形成统一的认识，主要分为以下几种。（1）许多学者指出技术创新要素是指技术创新活动涉及的各类生产要素<sup>[20]</sup>，典型代表是熊彼特技术创新理论中的“新组合”，涉及到产品、技术、市场、资源和组织 5 类要素<sup>[21-22]</sup>。（2）也有许多学者将影响技术创新的因素称之为技术创新要素<sup>[23-24]</sup>。如 Bi 等人<sup>[25]</sup>进行了低碳技术创新活动的创新绩效及其影响因素研究，如政府监管、技术推动和市场拉动等影响因素。（3）在熊彼特“组合创新”理论驱动下，出现了“集成创新观”和“系统创新观”。系统创新观把技术创

新看作一项涉及多种技术创新要素协同作用的复杂系统工程<sup>[3,26]</sup>，其中技术创新要素则是组成技术创新系统的基本单元，是系统产生、变化、发展的动因<sup>[27]</sup>。如许庆瑞<sup>[28]</sup>在系统创新观理念基础上提出了“全面创新管理”的创新管理范式，提出了创新要素全面协同的钻石模型，包括技术、组织、市场、战略、管理、文化、制度 6 大技术创新要素。系统创新观视角下的技术创新要素定义形式不同，但也是指对技术创新具有影响作用的因素，只是强调了要素的全面性和协同作用。

当前相关研究一般面向技术创新管理需求，涉及的要素主要包括技术<sup>[21,22-29]</sup>、市场<sup>[21,28-29]</sup>、组织<sup>[21,28-29,30]</sup>、资源<sup>[21,28,31]</sup>、制度<sup>[28,31-32]</sup>、环境<sup>[33]</sup>等，可分为技术要素和非技术要素两大类<sup>[16]</sup>。有研究专注于单类型技术创新要素的影响研究，如陈国鹰<sup>[33]</sup>等关注环境要素；吴涛<sup>[34]</sup>、沈欣悦<sup>[35]</sup>等关注技术要素，如技术人才与培训、技术与研发能力、研发效率等。在“集成创新观”和“系统创新观”影响下，研究者开始关注多类型要素之间的协同作用对技术创新的影响，如技术要素与非技术要素的协同作用机制<sup>[25,36]</sup>，非技术要素之间的协同作用机制<sup>[37]</sup>，技术创新过程中各创新要素全面协同作用机制<sup>[27]</sup>。

本文中，技术创新要素是指影响技术创新的因素<sup>[23-24]</sup>，主要包括技术要素和非技术要素，本文关注技术本身在技术创新中的作用，聚焦于技术要素，暂时不考虑市场、组织等非技术要素，整体逻辑如图 1 所示。

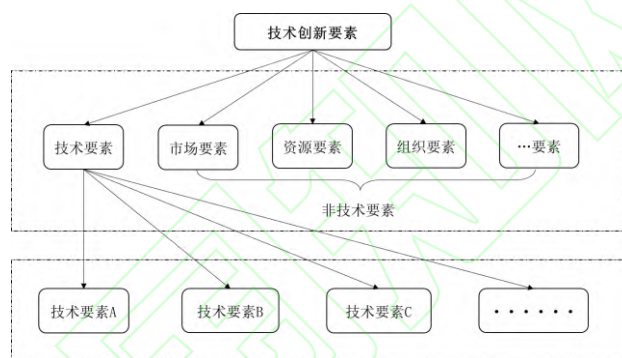


图 1 技术创新要素示意图

Figure 1 Schematic diagram of the technological innovation elements

### 3. 技术创新机理分析

熊彼特提出“技术创新”概念以来，诸多学者开始探讨技术创新的动态过程、运作机制和客观规律，进行技术创新机理研究。代表性研究主要分为以下几种：技术推动模式、市场需求拉动模式、“推—拉”综合作用模式、技术范式-技术轨道模式、社会需要-资源模式（N-R 关系模式）等<sup>[38-39]</sup>。其中，“技术范式和技术轨道模式”偏重于以技术自身为主导<sup>[40]</sup>，对于解释技术创新问题具有巨大的成功，是主流模式之一<sup>[41]</sup>。本文面向情报分析研究中技术创新过程表征与描述的需求，主要从技术本身的视角揭示技术创新过程，因此主要基于“技术范式和技术轨道”模式，借鉴技术创新的系统观思想等，对技术创新机理进行分析。

#### 3.1. 技术范式-技术轨道模式下的技术创新机理

##### 3.1.1. 技术范式与技术轨道概念

技术范式与技术轨道模式是 20 世纪 80 年代 Dosi 在批评分析“技术推动”和“市场拉动”两种单向因果决定模式的基础上提出的<sup>[42]</sup>。其对技术创新动态过程进行系统性分析，试图说明技术创新过程中的连续性和非连续性变化、技术进步的方向以及其中起决定作用的因素。

Dosi 认为，发生在新旧技术之间的交替，类似于科学理论之间的更替，是新旧范式之间的替代过程。其提出了“技术范式”的概念，即“根据源自于自然科学中的一些原理，依据一定的物质技术，解决一定技术问题的解决方法的一种模型或模式”。技术范式是指一个技



术体系，该体系中各种技术之间都存在着复杂的系统结构<sup>[41]</sup>。技术范式是一种模式、程序、规范，决定着研究的领域、问题、程度和任务等。技术范式包含了互构的思想，其特征包括技术所依赖的知识性质，技术所需要的资源类型或性质，体现技术特性的技术制品，技术应用的主要生产领域等<sup>[43]</sup>。

Dosi 认为每个技术范式下都有多条技术轨道，技术轨道是指在技术范式范围内所进行的“常规”解题活动的模式，是由技术范式所确定的技术进步、创新的模式。即技术轨道是一组可能的技术方向，其外部边界由技术范式本身的性质决定。技术范式描述了技术发展的核心特征和支配力量，而技术轨道描述了技术在时间上的发展变化方向，两者共同揭示了技术发展的全貌和趋势。

### 3.1.2. 技术创新过程

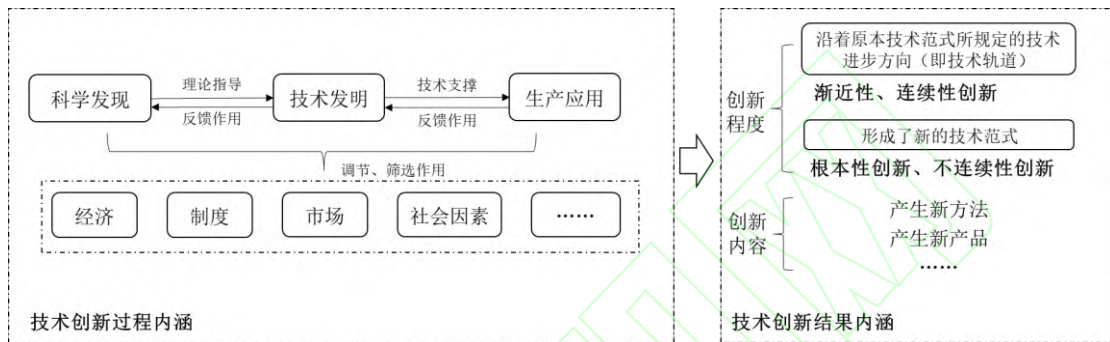


图 2 技术范式-技术轨道模式下的技术创新过程

Figure 2 Technological innovation process under the technology paradigm-technology track model

技术创新是一个复杂的过程<sup>[44]</sup>，可以通过理解技术范式形成、发展过程对其进行把握。Dosi 指出技术范式的形成和发展是科学发现、技术发明、经济因素、社会因素等多因素综合作用的结果<sup>[38]</sup>。技术创新过程可以简化理解为“科学发现”、“技术发明”、“生产应用”3 个主要环节<sup>[45]</sup>，各个环节相互联系，共同演化，如图 2 所示。科学发现为技术的研发提供理论基础和方法论基础，催生新的技术发明；技术的迅速进步推动生产应用的变革，这种顺向的线性创新模式在技术创新研究初期得到广泛认可<sup>[46]</sup>。Dosi 在此基础上指出了“技术发明”对于“科学发现”、“生产应用”对于“技术发明”也有一定的逆向反馈作用，并强调了经济、制度、市场、社会因素等在技术创新的相应环节起到了“选择装置”或“聚焦装置”作用<sup>[38]</sup>。这也是对于以往“技术推动”和“市场拉动”两种单向因果决定技术创新模式的一种修正。此外，技术创新过程可能不仅仅在一个学科或技术领域内进行，学科或技术领域的交叉地带往往容易产生突破性创新<sup>[47]</sup>。技术创新过程中的某些环节可能涉及两个或多个领域的交叉融合。如可以把一个技术领域的原理、方法或成果引入到其他领域的应用场景、应用对象中，可以创造新的技术制品或改进原有技术制品<sup>[48]</sup>。

技术创新也具有结果内涵。从创新结果的“程度”上来看，沿着技术轨道的轨迹，渐进性创新涌现，体现了累积性的特点；当技术发展突破原有的技术范式，产生新的技术范式，出现新的技术轨道，带来根本性的创新。从技术视角看，创新的渐进性是普遍规律<sup>[49]</sup>。根本性创新具有新颖性、创造性、高影响力、超前性等特征<sup>[50]</sup>。从创新结果的内容来看，技术范式所涉及的不同方面发生的改变，对应不同类型的创新，如“体现技术特性的技术方法”发生了变化，对应于经济合作与发展组织提出的工艺创新，如“体现技术特性的技术产品”发生了变化，对应于产品创新。

综上，技术创新过程中存在着多种技术创新要素，要素之间存在复杂的关联，各种要素的地位不尽相同，在不同环节发挥不同作用，影响着技术创新结果。为了有效揭示技术创新规律，需要深入研究技术创新过程，而深刻理解技术创新要素及其关联是实现这一目

标的基础。

### 3.2. 技术创新要素及其关联

本文通过解析技术范式内涵，分析技术创新动态过程，对技术创新要素及其关联作用进行梳理。

#### 3.2.1. 技术创新要素

科学发现是整个技术创新过程的前端环节。基于科学发现的基础理论创新通常会引起新技术的发明或技术的革新<sup>[48]</sup>。这种通过科学基础理论变革催生新技术发明和新技术制品生成的过程，是“科学发现”要素起主导作用引发的技术创新。“科学发现”可视为技术创新的源动力要素，体现着技术范式中技术所依赖的知识特征。

技术发明是整个技术创新过程的核心环节。技术发明是指对产品、方法或者其改进所提出的新技术方案<sup>[51]</sup>。技术发明环节涉及到技术方法突破、技术对象更新两个方面，其中技术对象是主要是指技术方法所依赖的、所操作的或所产生的物质、材料。在未发生重大科学发现的前提下，主要由技术方法自身在发展演化过程中出现突破而引发的技术创新<sup>[48]</sup>，是“技术方法突破”要素起主导作用引发的技术创新；主要因应用了新的技术对象而催生新技术发明和新产品生成，是“技术对象更新”要素起主导作用的技术创新。“技术方法突破”，是技术创新的核心要素，体现着技术核心特性；“技术对象更新”，是技术创新的基础要素，体现着技术所依赖的物质特征。

生产应用是整个技术创新过程中的末端环节。生产应用环节是科学技术的成果转化价值实现阶段<sup>[52]</sup>。生产应用需求对于技术创新具有拉动作用<sup>[53]</sup>。在需求拉动下，把原有的技术原理、方法或成果引入不同的应用环境、应用对象上，用以创造新的技术制品或改进原有技术制品，是“应用更新”要素起主导作用的技术创新<sup>[48]</sup>。这种技术创新本质上属于用“已有技术”解决“新问题”。“应用更新”，是技术创新的需求拉动要素，体现着技术范式中技术应用的主要生产领域特征。

在技术创新过程的主要环节中，经济、制度、市场、社会因素等，虽未直接参与，与技术本身没有也直接的关联，但在各个环节中起着选择和诱导作用。这类因素对技术创新活动的影响体现在对技术范式的选择上。如当某种新技术出现时，市场会起一种赏、罚控制作用，检验和选择各种不同的可供选择的技术创新<sup>[38]</sup>。

此外，“科学发现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”、“应用更新”这些要素具有学科或技术领域特征、时间特征信息。每个学科或技术领域一般有其独特的研究对象、基础理论、研究方法和工具、应用领域等<sup>[54]</sup>。每一个具体的“科学发现”、“技术方法突破”、“应用更新”等要素，都有其对应的一个或多个所隶属的领域。此外，技术创新的“新”蕴含世界范围内的第一次的特点<sup>[55]</sup>，每一个具体的“科学发现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”等新要素或新要素组合或都有其首次出现的时间信息。

综上，技术创新要素主要包括：（1）“科学发现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”、“应用更新”4种与技术本身直接相关的要素，且具有所属领域、时间特征信息；（2）经济、制度、市场、社会因素等与技术本身不直接相关，在整个技术创新过程中起着选择作用的要素。

#### 3.2.2. 技术创新要素关联

##### （1）不同类型要素关联

科学发现为技术发明提供理论和方法论基础，但其本身也受技术发展程度的影响。两者既相互依存又相互转化<sup>[48]</sup>。这体现为“科学发现”要素对“技术方法突破”要素、“技术对象更新”要素的理论指导作用，“技术方法突破”要素对“科学发现”要素的方法支撑作用。

技术发明和生产应用之间存在双向关联。技术突破不断涌现可以驱动产业变革，生产应用的现实需求对技术的进步具有重要拉动力<sup>[46]</sup>。这体现为“技术方法突破”、“技术对象更

新”要素对“应用更新”要素分别具有方法支撑和对象支撑作用，“应用更新”要素对“技术方法突破”要素、“技术对象更新”要素具有需求拉动作用。

技术发明环节中，技术方法的突破会带来新的技术制品的产生，新的材料或物质的应用也可能引发新技术的出现。这种双向关系体现为“技术方法突破”和“技术对象更新”要素之间，前者对后者的方法支撑和后者对前者的对象支撑作用。

此外，经济、制度、市场、社会因素等在不同环节的选择和诱导作用，可以体现为这些要素对“科学发现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”、“应用更新”因素具有选择作用。

综上，不同类型要素之间的关联主要包括：理论指导、方法支撑、对象支撑、需求拉动、选择作用 5 种，分别表示“科学发现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”、“应用更新”、“经济、制度、市场等要素”的创新驱动或选择作用。

## (2) 同类型要素关联

Dosi 指出技术范式是一个技术体系<sup>[42]</sup>，现代技术立足于科学理论体系，各种技术之间都存在着复杂的系统结构。此外，结合熊彼特的“组合创新思想”，以及布莱恩·阿瑟<sup>[56]</sup>的技术组合演化理论，本文认为，同类型技术创新要素之间存在包含与被包含的关系，如通过组合之前技术创新活动中的“技术方法突破”要素，可能会产生新的可以实现更为复杂功能的“技术方法突破”；同类型技术创新要素之间存在递进的关系，如新的“技术方法突破”可能是在之前技术创新活动基础上进行的功能、效率等方面的提升、递进，即不同的“技术方法突破”存在递进关系。

综上，同类型技术创新要素之间的关联主要有包含关系和递进关系两种。

最终，基于以上分析，技术创新要素主要包括科学发现、技术方法突破、技术材料更新、应用更新、经济因素、制度因素、市场因素、社会因素等，要素关联关系主要包括理论指导、方法支撑、对象支撑、需求拉动、选择作用、包含、递进等，如图 3 所示。

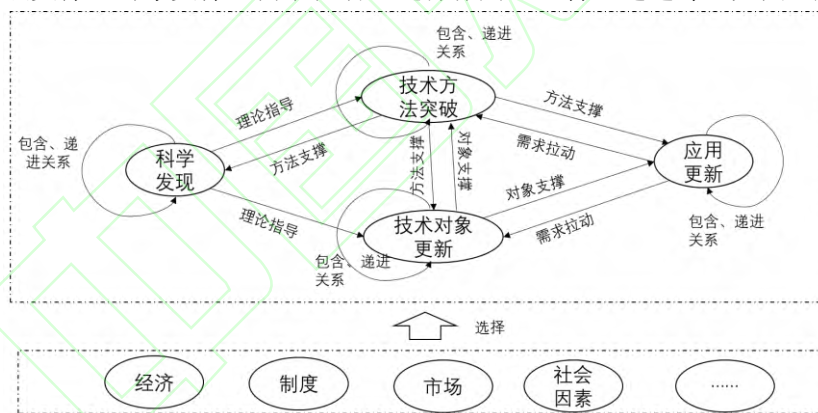


图 3 技术创新要素及其关联

Figure 3 Technological innovation elements and their associations

## 4. 技术要素关联概念模型

### 4.1. 模型提出

为了支持表征和描述技术创新过程，进而支持揭示技术创新规律，本文构建了一个技术要素关联概念模型。具体而言，通过分析技术范式-技术轨道模式下技术创新机理，归纳了技术创新过程中的技术创新要素及其关联，在此基础上进一步聚焦了与技术本身直接相关的要素，构建了技术要素关联概念模型，以支持从技术本身的视角描述和表征对技术创新过程，特别是适用对交叉融合创新过程的揭示，支持从专利、论文等技术创新活动的成果性产物中挖掘出技术要素及其关联，通过分析其在时间维度上的动态变化、跨领域流动和融合等，揭示技术创新过程和规律，进而预测创新机会。

具体而言，本文在图 3 众多技术创新要素中，聚焦到 4 个与技术直接的要素：“科学发



现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”与“应用更新”，这些要素具有领域特征、时间特征信息，不同类型要素之间具有理论指导、方法支撑、对象支撑、需求拉动等关联，同类型要素之间具有包含、递进关系。对这 4 个要素及其属性、关联进行表征，最终构建了技术要素关联概念模型（见图 4）。概念模型包括 4 种技术要素、2 种要素属性和 6 种要素关联关系。

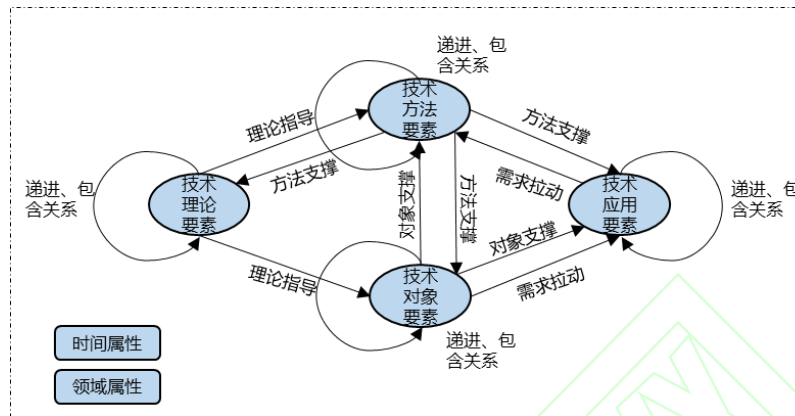


图 4 技术要素关联概念模型

Figure 4 Conceptual model of technological elements and their associations

#### 4.2. 技术要素含义与表征

本文定义了 4 种技术要素，即技术理论要素、技术方法要素、技术对象要素、技术应用要素，分别对应 3.2 中“科学发现”、“技术方法突破”、“技术对象更新”、“应用更新” 4 个技术创新要素。其中“技术理论要素”是指从自然科学中得来的一定的原理；技术对象要素是指广义上某技术领域的研究对象，包括使用、操作、产生的材料、产品等；“技术方法要素”是指技术领域实践中所利用的各种方法、程序、规则、技巧、手段、工具等；技术应用要素是指描述技术方法、技术对象等的应用领域和应用效果等信息。技术要素可以用关键词、词组的形式进行表示，本文以合成生物学中的技术要素为例进行了说明，见表 1。

表 1 技术要素

Table 1 Technological elements

要素类型	符号表示	含义	举例
技术理论要素	Se	从自然科学中得来的一定的原理	DNA 双螺旋结构；遗传的“中心法则”；工程化思维等
技术方法要素	Te	技术领域实践中所利用的各种方法、程序、规则、技巧、手段、工具等	合成生物学“配件方法/工具”：合成生物学各类使能技术等，如 DNA 组装技术、基因编辑技术、DNA 合成技术等
技术对象要素	Me	广义上某技术领域的研究对象，包括使用、操作、产生的材料、产品等	合成生物学“主体设备”：基因等各类生物元件、生物装置和生物系统等，
技术应用要素	Ae	描述技术方法、技术对象等的应用领域、应用效果等信息	植株产量的提高；基因编辑效率的提高；炎症性肠病的治疗等

#### 4.3. 要素属性含义与表征

本文定义了技术要素的两种属性：（1）**领域属性**：用以描述技术要素的技术领域来源，如可用表示技术领域的国际分类号表示；（2）**时间属性**：用以描述技术要素或其组合在世界范围内首次出现的时间，如可从所在专利首次申请时间中获取。

表 2 技术要素属性

Table 2 Attributes of technological elements



属性	符号表示	具体涵义	示例
领域属性	Fa	技术要素所属的技术领域	C12N-015、C12N-001.....
时间属性	Ta	技术要素在世界范围内首次所出现的时间	2001年；2006年.....

#### 4.4. 要素关联关系含义与表征

本文定义了两类要素关联关系：**(1) 不同类型要素的关联关系**，包括理论指导、方法支撑、对象支撑、需求拉动 4 种有向关联关系，分别描述了技术理论要素、技术方法要素、技术对象要素、技术应用要素对其他要素的不同创新驱动作用，可以满足描述复杂多样的创新动力因素，揭示出科学发现、技术突破、对象更新或应用更新主导的不同类型的技术创新。**(2) 同类型要素的关联关系**，包括包含和递进两种有向关联关系。包含关系用于描述同类型技术要素之间的组合情况，即上级要素包含哪些子级要素。如技术方法要素“基因组工程技术”，包含“基因组测序技术”、“基因编辑技术”、“基因合成技术”等。递进关系用以描述同种类型的技术要素由简单到复杂或功效/性能提升的关系。如技术方法要素“一代基因测度技术”、“二代基因测序技术”、“三代基因测序技术”之间具有递进关系。

最终，本文提出的技术要素关联概念模型，共包含理论指导、方法支撑、对象支撑、需求拉动、包含、递进 6 种有向关联关系，并在合成生物学中进行举例说明，见表 3。技术要素关联可用三元组结构表征，形如<技术要素 S，关联关系 A，技术创新要素 O>，这种结构具有丰富的语义表达特点<sup>[57]</sup>。

表 3 技术要素关联关系

Table 3 Associations of technological elements

关联关系类型	关联关系	符号表示	关系含义	关系示例
不同类型要素之间的关联关系	理论指导	<Se,Theoretical_guidance,Te/Me>	技术理论要素对方法要素、对象要素的理论指导作用	“限制性核酸内切酶的发现”对“体外 DNA 扩增技术”具有理论指导作用
	方法支撑	<Te,Method_support,Se/Me/Ae>	技术方法要素对理论要素、对象要素、应用要素的方法支撑作用	“基因组工程技术”为“双链 DNA 分子的合成”提供了方法支撑
	对象支撑	<Me,Object_support,Te/Ae>	技术对象要素对方法要素、应用要素的对象支撑作用	“植物细胞底盘”对“植物代谢途径调节技术”提供了操作对象
	需求拉动	<Ae,Demand pull,Te/Me>	技术应用要素对方法要素、对象要素的需求拉动作用	“快速合成 DNA 的需求”拉动了“DNA 合成技术”的快速发展
同类型要素之间的关联关系	包含	<Se/Te/Me/Ae,part_of,Se/Te/Me/Ae>	描述同种类型技术创新要素中，上级技术创新要素包含哪些子级技术创新要素	技术方法要素“基因组工程技术”，包含“基因组测序技术”、“基因编辑技术”、“基因合成技术”等
	递进	<Se/Te/Me/Ae,Prior_to,Se/Te/Me/Ae>	描述同种类型的创新要素由简单到复杂，或功效、性能提升的关系	“一代基因测序技术”和“二代基因测序技术”具有递进关系

#### 5. 基于概念模型的技术创新路径应用案例

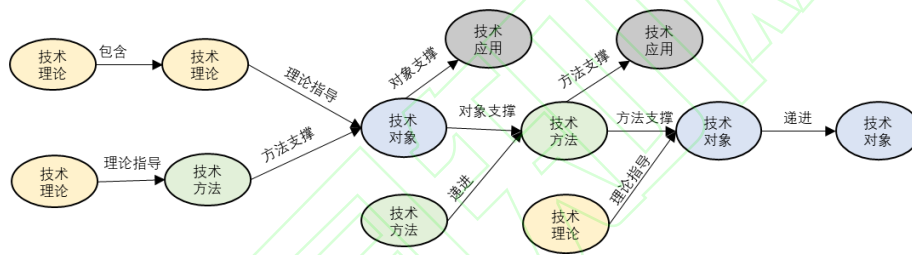
本文构建的技术要素关联概念模型，可以支持对技术创新过程的表征和描述，进而支持通过技术文本挖掘对技术创新规律进行揭示。技术创新路径是揭示技术创新过程、寻找创新机会的重要途径，可以直观的展现技术发展脉络。基于本文提出的概念模型，构建基于技术要素的技术创新路径，可以通过技术要素及其关联随时间的动态变化、跨领域相互作用等，在微观层面刻画技术创新过程（特别是交叉融合创新过程），揭示技术创新规律。

本文以概念模型在技术创新路径中的应用为例进行案例分析。

### 5.1. 基于技术要素的技术创新路径表征

本文将技术创新路径界定为“技术文本信息所刻画的技术发展、创新的脉络、模式和方向”。自如江<sup>[58]</sup>指出构建科学、完整的技术创新路径需要结合 3 个条件:知识内容、事物之间的联系、时间。本文用技术要素揭示知识内容,用要素关联揭示事物之间的联系,用要素属性揭示知识内容的时间、领域等信息。即技术创新路径在微观层面可解析为一组具有时间顺序的技术要素及其关联,其中技术要素具有时间、领域等属性。本文中,路径是一系列按照边连接的节点序列,节点是 4 种技术要素,边是 6 种要素关联,节点属性是 2 种要素属性,如图 5 所示。

探索技术创新过程和规律,不仅需要从全局视角考虑来源于同领域或不同领域的多类型技术要素之间复杂的关联作用,描述技术领域整体变化发展;还涉及到从单一视角揭示理论、方法、对象等单一要素在技术创新过程的作用,描述每种类型的技术要素自身的演化发展过程。路径可分为两种类型:(1)单类型要素技术创新路径,重点关注某种技术要素在整个技术创新过程中的角色和作用,以及其创新发展历程;(2)多类型要素技术创新路径,从全局视角关注多种技术要素的相互作用和协同演化过程。并且,由于要素具有领域和时间属性,可以支持揭示技术创新过程中要素的跨领域流动和领域间的相互作用,支持交叉融合创新过程的表征和描述。



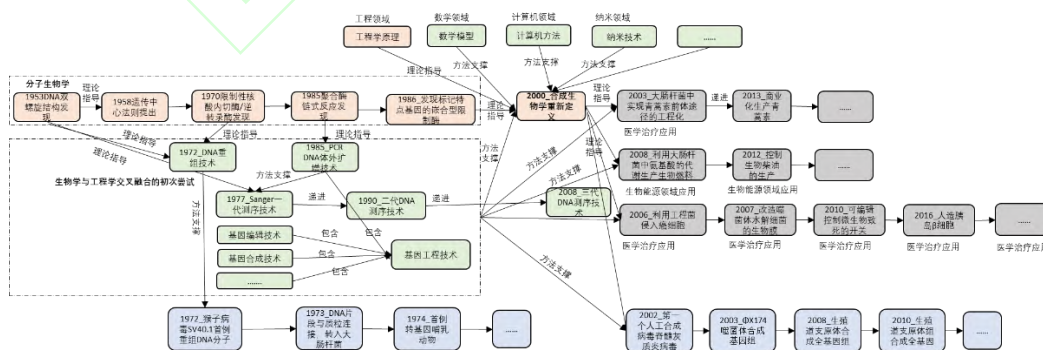
注:每个节点带有领域、时间属性

图 5 基于技术要素的技术创新路径示意图

Figure 5 Schematic diagram of technological innovation path based on technological elements

### 5.2. 基于技术要素的技术创新路径示例

合成生物学是前沿交叉领域的典型代表之一,具有交叉、融合、颠覆的特征,为生命科学开创了一种全新研究模式<sup>[11]</sup>。本文通过研读合成生物学起源、发展相关资料<sup>[11,59]</sup>,绘制了其基于技术要素的部分技术创新路径,以介绍本文提出的概念模型在表征和描述技术创新过程(特别是交叉融合创新过程)的应用,见图 6。



注:黄色表示“技术理论”要素,绿色表示“技术方法”要素,蓝色表示“技术对象”要素,灰色表示“技术应用”要素。

图 6 基于技术要素的技术创新路径示例

Fig. 6 Example of technological innovation path based on technological elements

图 6 是一条涉及多类型技术要素的技术创新路径。通过分析来源于不同领域的技术要素的关联作用，可以揭示合成生物学技术创新源动力、发生与发展过程。合成生物学的发展深植于分子生物学。1953 年，沃森和克里克发现了 DNA 双螺旋结构（可视一种新“理论”要素），使遗传学研究深入到分子水平。1970 年，限制性核酸内切酶、逆转录酶等的发现为 DNA 重组技术的研制提供了可能（“理论”要素对“方法”要素的理论指导作用）。重组技术是生物学与工程学交叉融合的初次尝试，开辟了生命科学和生物技术的新领域，如 1972 年生物化学家 Paul Berg 博士创建了首例重组 DNA 分子（“方法”要素对“对象”要素的“方法支撑”作用）。

此外，1985 年聚合酶链式反应（PCR）技术（“方法”要素）快速发展，成为生物学研究中重要的工程技术，基因测序技术也因此得以进步（“方法”要素的方法支撑作用）。随着大规模基因组测序技术和序列分析方法（“方法”要素）的成熟，生命科学研究进入基因组时代（“理论”要素）。在基因组学研究取得巨大成功的基础上，结合开放系统论（“理论”要素）、数据模型与计算机方法（“方法”要素），以“整体或系统”概念研究生物学的分析系统生物学（“理论”要素）快速发展。同时，纳米技术（“方法”要素）愈发融入生命科学的研究中，不仅促使了生物学研究的进步，也促进了工程学思想（“理论”要素）的应用。在上述理论基础和方法学基础上，2000 年，E. Kool 重新定义“合成生物学”（“理论”要素），自此合成生物学迅速发展，在医学、生物能源、农业、食品等领域具有丰富的应用。典型代表，如 2003 年在大肠杆菌中实现青蒿素前体途径的工程化（“应用”要素），2013 年 Amyris 公司利用酵母菌株商业化生产青蒿素（“应用”要素）。

分析合成生物学的历史和发展可知，在合成生物学创建前和创建时期，来源于分子生物学、系统生物学、基因组学、工程学、计算机科学等不同领域的理论要素、方法要素、对象要素相互作用，形成、积累了新的研究理论、概念等，涌现了新技术和工程手段，在快速创新和应用转化时期等，合成生物学中的理论要素、方法要素等作用于医学、能源、农业、食品等领域的应用要素，即合成生物学的成果为其他领域的发展带来了新的创新解决方案，甚至引领革命性颠覆和创新。

### 5.3. 应用展望

技术要素关联概念模型的应用可从以下两个方面进行探索。

为前沿交叉领域技术创新过程揭示奠定基础。前沿交叉领域兼顾“前沿”与“交叉”特征，其突破往往会带动相关学科迅猛发展，推动融合创新。探测前沿交叉领域技术创新发展过程和规律，进而借鉴应用，寻找突破性创新的切入点，是促进科技发展的新思路。前沿交叉领域技术创新是一个复杂过程，其创新规律及特征更多体现在不同领域创新要素间复杂多样的相互作用，以及时间维度上的协同演化中。本文提出的概念模型，是基于技术创新机理分析得出，考虑了要素的时间、领域属性，综合了理论指导、方法支撑等不同要素的不同创新驱动作用，可为前沿交叉领域技术创新过程的揭示奠定基础。

为从要素关联分析视角进行技术融合机会发现奠定基础。技术融合已成为技术创新的重要手段。通过不同技术领域知识的交叉和融合进行技术上的创新可以产生突破性技术方案，实现组合知识的整合价值和协同价值<sup>[60]</sup>。基于本文提出的概念模型，可以从技术文本中识别出技术要素，筛选具有融合倾向的要素组合，探索技术融合规律，从而提高技术融合机会发现的科学性和有效性。如可以采用技术要素关联网络作为数据基础，采用链路预测等算法从静态、动态两个角度进行技术融合机会发现。

## 6. 结语

通过技术文本挖掘探测技术创新过程与规律，预测研判未来发展趋势，是情报学研究的重要内容之一。然而，如何对技术创新过程进行表征和描述是需要解决的首要问题。本文提出了基于要素及其关联描述技术创新动态过程、揭示技术创新规律的思路，基于技术

创新机理的分析，构建了面向技术创新过程表征和描述的技术要素关联概念模型。该模型旨在支持通过技术文本挖掘，分析技术要素及其关联随时间的动态变化、跨领域相互作用等，在微观层面刻画技术创新过程，揭示技术创新规律，特别是适用于交叉融合创新过程和规律的揭示，一定程度上丰富了情报分析理论方法，可以为及时捕捉交叉领域融合创新发展契机奠定基础。

此外，本文还存在一些局限之处：（1）本文是主要是在技术范式-技术轨道模式下进行的技术创新机理分析，进而构建技术要素关联概念模型，未来研究将在其他技术创新模式下进一步验证概念模型；（2）需要进一步探索如何从技术文本中进行技术要素及其关联的识别，为自动识别基于技术要素的技术创新路径，揭示技术创新过程，进而预测技术创新机会奠定基础。

## **A conceptual model of technology elements and their associations for the characterization and description of technological innovation processes**

Wu Jinming<sup>1</sup> Hu Zhijie<sup>1</sup> Yao Ru<sup>1,2</sup> Lin Qiao<sup>1</sup> Zhang Xuefu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Agricultural Information Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081

<sup>2</sup>Institute of Data Science and Agricultural Economics, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097

**Abstract:** [Purpose/significance] It is one of the important contents of intelligence research to detect the process and pattern of technological innovation and predict the future development trend through technical text mining. However, in the background of cross-convergence leading technological innovation, how to characterize and describe the process of technological innovation is the primary problem that needs to be solved. Therefore, this paper constructs a conceptual model of technological elements and their associations oriented to the characterization and description of technological innovation processes. [Method/process] Firstly, the concepts of technological innovation and technological innovation elements were explained, and then based on the analysis of technological innovation mechanism under the technological paradigm and technological track mode, technological innovation elements and their associations were summarized, based on which the elements directly related to the technology itself, and a conceptual model of technological elements and their associations was designed, and a case study of its application in technological innovation paths was carried out as an example. [Result/conclusion] The conceptual model proposed in this study includes four types of technological elements, two types of elemental attributes and six types of elemental association relationships, which supports analyzing the dynamic changes of technological elements and their associations over time, cross-field interactions, and so on, to reveal the technological innovation process at the micro level. In particular, it can support the revelation of the process of technological innovation in frontier interdisciplinary fields, laying the foundation for the discovery of technological convergence opportunities.

**Keywords:** Technological Innovation; Innovation Elements; Innovation Element Associations; Technological Innovation Mechanisms; Convergence Innovation



## 作者贡献说明:

邬金鸣:研究思路和框架制定, 论文撰写;

胡智杰:论文修改及校验;

姚茹: 论文修改;

林巧: 论文修改;

张学福: 论文选题, 论文指导。

## 【参考文献】

- [1] 徐舒琪. 基于专利数据的技术影响力分析与预测研究[D].电子科技大学,2022. (XU S Q. Research on technology impact analysis and forecasting based on patent data[D].University of electronic science and technology of China,2022.)
- [2] 刘春江,刘自强,方曙.基于 SAO 的技术主题创新演化路径识别及其可视化研究[J].情报学报,2023,42(02):164-175. (Liu C J, LIU Z Q, FANG S. Evolution Path Identification and Visualization of Technological Innovation Based on SAO[J]. Journal of the China society for scientific and technical information, 2023, 42(02):164-175.)
- [3] 冯立杰,史玉龙,岳俊举,等. 多维创新要素与创新法则视角下的技术进化路径研究[J]. 科技进步与对策,2016,33(21):1-10. (Feng L J, SHI Y L, YUE J J, et al. Technology evolution process approach based on multidimensional innovation elements and innovation algorithm[J]. Science & technology progress and policy, 2016,33(21):1-10.)
- [4] 周潇,许银彪,史益.基于深度学习与语义挖掘的技术创新组合识别与追踪[J].图书情报工作,2022,66(10):33-44. (ZHOU X, XU Y B, SHI Y, Identifying and tracing technological innovation combination based on deep learning and semantic mining[J].Library and information service,2022,66(10):33-44.)
- [5] 冯立杰,吴汉争,王金凤等.技术创新过程的基因图谱构建及其实证[J].情报学报,2016,35(08):806-816. (FENG L J, WU H Z, WANG J F, et al. Technological innovation process gene map construction and its empirical study[J].Journal of the China society for scientific and technical information, 2016,35(08):806-816.)
- [6] 李晓曼,张学福,宋红燕等.专利文献技术要素识别方法研究——以纳米肥料领域为例[J].图书情报工作,2020,64(06):59-68. (LI X M, ZHANG X F, SONG H Y, et al. Research on selection and identification of technical elements for patent technological evolution analysis: A case study on nano fertilizer[J].Library and information service,2020,64(06):59-68.)
- [7] 宋红燕. 基于专利技术要素的技术机会识别研究[D].中国农业科学院,2022. (SONG H Y, Technology opportunity identification based on patent elements features[D]. Chinese academy of agricultural sciences,2022.)
- [8] 冯立杰,翟雪琪,岳俊举等.创新基因学:概念与理论模型[J].科技进步与对策,2015,32(13):1-5. (FENG L J, ZHAI X Q, YUE J J, et al. Innovation genetics: concept and theoretical model[J].Science & technology progress and policy, 2015,32(13):1-5.)
- [9] JON G, PORTER A L, MAURA B, ELIZABETH T, RITA T, Facilitating social and natural science cross-disciplinary: Assessing the human and social dynamics program[J].Research evaluation, 2013(2):134-144.
- [10] 刘娜.纳米能源的复杂创新网络研究[M].北京:经济科学出版社, 2017. (LIU N, Complex innovation network in nano-energy[M]. Beijing: Economic science press, 2017.)
- [11] 赵国屏.合成生物学:开启生命科学“会聚”研究新时代[J].中国科学院院刊,2018,33(11):1135-1149. (ZHAO G P, Synthetic biology: unsealing the convergence era of life science research[J].Bulletin of Chinese academy of sciences,2018,33(11):1135-1149.)
- [12] LEE C, PARK G, KANG J. The impact of convergence between science and technology on innovation[J].The journal of technology transfer,2018,43( 02) : 522-544.
- [13] 刘娜,荣雪云,毛荐其.新兴交叉领域技术会聚对技术价值的影响研究——以纳米生物制药领域为例[J].技术与创新管理,2019,40(06):728-736. (LIU N, RONG X Y, MAO J Q, The effect of technological convergence on technological value in emerging cross-fields--taking nano

- 
- biopharmaceuticals as an example[J].*Technology and Innovation Management*,2019,40(06):728-736.)
- [14] SCHUMPETER J A, B.U., The theory of economic development[M]. *Public opinion quarterly*, 2006.
- [15] MYERS, S. and MARQUIS, D.G. Successful industrial innovations: a study of factors underlying innovation in selected firms. National science foundation.1969.
- [16] 迈克尔·莫尔, 朱利安·伯金肖.管理创新的跃迁[M].机械工业出版社, 2022(07). (MOORE M, BURKINSHAW J. Managing the leap to innovation[M].Machinery industry press, 2022(07).)
- [17] 董景荣.技术创新过程管理—理论、方法及实践[M].重庆出版社,200.11-12. (DONG J R. Technology innovation process management-theory, methods and practice[M].Chongqing publishing house, 200.11-12.)
- [18] ENOS, J L. The rate and direction of inventive activity[M]. Princeton university press, 1962.
- [19] ECONOMIC C. The measurement of scientific and technological activities[M]. *Organization for economic co-operation and development*,1981.
- [20] 朱婕,徐晔,陶长琪.优化创新要素配置 推动经济高质量发展[J].*中国社会科学报*,2021(2279). (ZHU J, XU Y, TAO C Q. Optimizing the allocation of innovation factors to promote high-quality economic development[J].*China social sciences journal*, 2021(2279).)
- [21] 麦克劳,陈叶盛,周端明,等.创新的先知: 约瑟夫·熊彼特传[M].中信出版社,2010. (MCGRAW T, CHEN Y S, ZHOU D M, et al. Prophet of innovation: biography of Joseph Schumpeter[M].CITIC press,2010.)
- [22] 胡汉辉,沈群红,胡绪华等.产业创新集群的特征及意义[J].*东南大学学报(哲学社会科学版)*,2022,24(05):34-44+146. (HU H H, SHEN Q H, HU X H, et al. Characteristics and significance of industrial innovation clusters[J]. *Journal of southeast university(Philosophy and social science)*, 2022,24(05):34-44+146.)
- [23] WERKER, C. Innovation, market performance, and competition: Lessons from a product life cycle model[J]. *Technovation* April, 2003,23(4):281-190.
- [24] JANSZEN F H A. Dynamic business modelling as a management tool that supports the development and testing of innovation strategies[C]//IEMC'98 Proceedings. International conference.1998:408-412.
- [25] WANG X X, Bi,K X, et al. Innovation performance and influencing factors of low-carbon technological innovation under the global value chain: A case of Chinese manufacturing industry[J].*Technological forecasting & social change*, 2016.
- [26] FELIX JANSZEN.创新时代:网络化时代的成功模式[M]. 雷华, 马乐为译. 昆明:云南大学出版社, 2002. (FELIX J. The age of innovation: successful models in the age of networking[M]. LEI H, MA L W. Kun Ming: Yunnan university press, 2002.)
- [27] 徐强. 企业技术创新系统要素协同研究[D].东北大学,2015. (XU Q. Research on collaborative system of elements enterprise technological innovation[D].Northeastern university, 2015.)
- [28] 许庆瑞,郑刚,陈劲.全面创新管理:创新管理新范式初探——理论溯源与框架[J].*管理学报*,2006(02):135-142. (XU Q R, ZHENG G, CHEN J. Theoretical trace and framework of overall innovation management[J]. *Chinese journal of management*,2006(02):135-142.)
- [29] 张振刚,张小娟.企业技术创新要素及其关系研究[J].*科技进步与对策*,2014,31(03):79-83. (ZHANG Z G, ZHANG X J. Research on technology innovation elements of enterprise and its relationship[J].*Science & technology progress and policy*,2014,31(03):79-83.)
- [30] 辛冲. 企业组织创新要素对技术创新的影响研究[D].哈尔滨工业大学,2010. (XIN C. A study of the impact of corporate organizational innovation elements on technological innovation[D].Harbin institute of technology,2010.)
- [31] 曲小瑜,秦续天.组态视角下制度和资源因素对城市绿色技术创新的影响研究[J].*资源开发与市场*,2022,38(10):1200-1207.
- [32] 刘益,杨铁定.环境因素对国有企业技术创新的影响分析[J].*西安交通大学学报*,1998(08):90-93. (LIU Y, YANG T D. Theoretical trace and framework of overall innovation management[J].*Journal of Xi'an Jiaotong university*, 1998(08):90-93.)
- [33] 陈国鹰,杨瑞华,张义明,等. 环境规制对技术创新的影响研究——基于人力资本的中介效应[J]. *中小企业管理与科技*,2022(14):140-142. (CHEN G Y, YANG R H, ZHANG Y M, et al. A

- study of the impact of environmental regulation on technological innovation--Based on the mediating effect of human capital[J]. Management & technology of SME, 2022(14):140-142.)
- [34] 吴涛. 创投资本集聚、技术要素流动与区域创新能力的空间效应分析[D]. 江西:南昌大学,2020. (WU T. The spatial effect analysis of venture capital concentration, technology factor flow and regional innovation ability [D]. Jiangxi: Nanchang university, 2020.)
- [35] 沈欣悦. 企业研发投入对技术创新效率的影响——基于政府研发资助与股权集中度的研究[J]. 中国市场,2023(11):9-13. (SHEN J Y. The impact of corporate R&D investment on technological innovation efficiency - A study based on government R&D funding and equity concentration[J]. China market,2023(11):9-13.)
- [36] 郑刚,陈骁骅. 企业技术与市场要素协同创新研究--基于浙江大华技术股份有限公司的案例研究[J]. 科技进步与对策,2015(15):69-74. (ZHENG G, CHEN X H. The synergetic innovation between technological and marketing functions in Chinese companies[J]. Science & technology progress and policy, 2015(15):69-74.)
- [37] 蒋石梅,张玉瑶,王自媛等. 非技术要素对企业创新生态系统的作用机理——以海尔创新生态系统为例[J]. 技术经济,2018,37(4):29-36,108. (JIANG S M, ZHANG Y Y, WANG Z Y, et al. The role mechanism of non-technological factors on enterprise innovation ecosystem --- Taking Haier's innovation ecosystem as an example[J]. Journal of technology economics, 2018,37(4):29-36,108.)
- [38] 王海山. 技术创新动力机制的理论模式[J]. 科学技术与辩证法,1992(06):22-27+64. (WANG H S. Theoretical model of the driving mechanism of technological innovation[J]. Studies in philosophy of science and technology, 1992(06):22-27+64.)
- [39] 王少杰,李智明. 谈技术创新[J]. 甘肃广播电视大学学报,2005(03):26-27+31. (WANG S J, LI Z M. On technical innovation[J]. Journal of Gansu open university,2005(03):26-27+31.)
- [40] 金晶,孙启贵,汪琛. 技术范式的演进脉络研究[J]. 科技传播,2022,14(06):1-5+11. (JIN JING, SUN Q G, WANG C. A study of the evolution of the technological paradigm[J]. Public communication of science & technology,2022,14(06):1-5+11.)
- [41] 郑雨. 技术范式与技术创新[J]. 技术与创新管理,2006(04):16-19. (ZHENG Y. Technological paradigms and technological innovation[J]. Technology and innovation management, 2006(04):16-19.)
- [42] DOSI G. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change[J]. Research policy, 1982.
- [43] 罗仲伟,任国良,焦豪,等. 动态能力、技术范式转变与创新战略——基于腾讯微信“整合”与“迭代”微创新的纵向案例分析[J]. 管理世界,2014(8):152-168. (LUO Z W, REN G L, JIAO H , et al. Dynamic capabilities, technological paradigm shifts and innovation strategies: A longitudinal case study based on Tencent WeChat's "Integration" and "Iterative" micro-innovations[J]. Journal of management world, 2014(8):152-168.)
- [44] JOSEPH S, The instability of capitalism[J]. The economic journal, 1928, 38(151):361-386.
- [45] WANG A Y, YANG L, LIN G. Evolution model of scientific and technical innovation[C]//2008 4<sup>th</sup> International conference on wireless communications, networking and mobile computing, China, 2008:1-5.
- [46] 布什,范岱年,解道华. 科学--没有止境的前沿[M]. 商务印书馆,2004. (VANNERVAR B, FAN D N. Science[M]. The commercial press, 2004.)
- [47] 张曙. 技术创新及创新的管理[J]. 中国工程科学,2000,2(4):16-20. (ZHANG S. Technological innovation and management of innovation[J]. Strategic study of CAE, 2000,2(4):16-20.)
- [48] 侯剑华,柏丹. 战略性新兴技术研究导论[M], 2016. 北京, 科学出版社. (HOU J H, BAI D. Introduction to strategic emerging technology research[M], 2016. Beijing, Science press.)
- [49] 邹坦永. 激进式科技进步的内涵与过程[J]. 技术经济与管理研究,2017(9):42-46. (ZOU T Y. The connotation and process of radical scientific and technological progress[J]. Journal of technical economics & management,2017(9):42-46.)
- [50] 段尧清. 创新理论与方法[M], 2020. 北京, 科学出版社. (DUAN Y Q. Innovation theory and methods[M], 2020. Beijing, Science press.)
- [51] 张火春. 专利,专利权与专利制度[J]. 电力情报, 1995. (ZHANG H C. Patents, patent rights and patent system[J]. Electricity intelligence, 1995.)

- 
- [52] 刘国营.农业技术创新过程研究[J].南方农机, 2016(S1):1. (LIU G Y. Research on the process of technological innovation in agriculture[J].Southern agricultural machinery, 2016(S1):1.)
- [53] 李晓华. 技术推动、需求拉动与未来产业的选择[J]. 经济纵横,2022(11):45-54. (LI X H. Technology push, demand pull and the choice of future industries[J].Economic review journal,2022(11):45-54.)
- [54] 刘仲林.国外“学科”与“跨学科”概念介绍[J].科学学与科学技术管理,1988(09):26-28. (LIU Z L. Introduction to the concepts of "discipline" and "interdisciplinarity" abroad[J]. Science of science and management of S.& T.,1988(09):26-28.)
- [55] 张凤,何传启.知识创新的原理和路径[J].中国科学院院刊,2005(05):389-394. (ZHANG F, HE C Q. Principles and pathways of knowledge innovation[J]. Bulletin of Chinese academy of sciences,2005(05):389-394.)
- [56] 布莱恩·阿瑟. 技术的本质[M], 2014. 浙江, 浙江人民出版社. (W. BRAIN A. The nature of technology[M], 2014. Zhejiang, Zhejiang people's publishing house.)
- [57] VERBITSKY M. Semantic TRIZ[M]. Boston: invention machine corporation, 2004.
- [58] 白如江,孙一钢,张庆芝. 基于知识基因表达的科技创新路径构建研究[J]. 情报理论与实践,2020,43(4):137-144,176. (BAI R J, SUN Y G, ZHANG Q Z. Research on the construction of science and technology innovation path based on knowledge gene expression. Information studies:theory & application2020,43(4):137-144,176.)
- [59] 熊燕,陈大明,杨琛等.合成生物学发展现状与前景[J].生命科学,2011,23(09):826-837.(XIONG Y, CHEN D M, YANG C, et al. Progress and perspective of synthetic biology[J].Chinese Bulletin of Life Sciences,2011,23(09):826-837.)
- [60] 陈悦,谭建国,王智琦等. 专利视角下工业机器人领域的技术机会分析[J]. 科研管理, 2018, 39(4): 144-156. (CHEN Y, Tan J G, WANG Z Q, et al. Technological opportunity analysis of industrial robots from the perspective of patent[J]. Science Research Management, 2018, 39(4): 144-156.)