

基于多维技术创新地图与关联规则挖掘的技术机会识别方法研究

岳俊举¹, 冯立杰¹, 冯奕程², 王金凤^{1,3}

(1. 郑州大学管理工程学院, 郑州 450001; 2. 哥伦比亚大学, 纽约 NY10027;
3. 上海海事大学经济管理学院, 上海 201306)

摘 要 识别技术机会是决定技术创新成败的关键, 提高技术机会识别能力对于企业乃至产业发展至关重要。该研究以专利数据分析为基础, 首先通过技术创新要素提取与关联规则挖掘获得技术创新要素之间的隐藏关系, 进而结合多维技术创新地图从两个层级对技术机会进行分析, 最终以煤层气开采技术创新机会的识别为例, 系统阐述了该方法体系的应用过程, 并提出了多个煤层气开采技术创新方案。该研究中提出的方法为解决企业技术机会识别问题提供了更具操作性的理论工具体系, 给企业指出了技术创新决策的新视角, 有助于企业较好利用当前的技术积累挖掘符合自身发展的技术机会, 预判出行业的技术发展趋势。

关键词 多维技术创新地图; 技术机会; 关联规则; 专利分析

Study of Technology Opportunity Discovery Methods Based on a Multidimensional Map of Technology Innovation and Association Rules Mining

Yue Junju¹, Feng Lijie¹, Feng Yicheng² and Wang Jinfeng^{1,3}

(1. School of Management Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001; 2. Columbia University, New York NY10027; 3. School of Economics & Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306)

Abstract: Technology opportunity discovery is the key to determining the success or failure of a technology innovation. Improving the ability of technology opportunity discovery is vital for the development of an enterprise or industry. Based on the patent data analysis, this paper first discovers the hidden relationships among technology innovation factors through extracting technology innovation elements and mining association rules. Then, this paper analyzes technology opportunity from the two levels combined with the multidimensional map of technology innovation. Finally, this paper takes the identification of technology innovation opportunities for coal bed methane production as an example, systematically elaborates the application process of the method, and proposes multiple technology innovation projects for coal bed methane production. The proposed method provides a more operable theoretical tool to solve the problem of enterprise technology opportunity discovery and points out a new perspective of the technology innovation decision-making to the enterprise. Our research can better help enterprises mining technology opportunity conforming to their development by using the current technology accumulation and forecast technology development

收稿日期: 2016-12-20; 修回日期: 2017-03-15

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“基于多维空间专利地图的煤层气开采创新路径研究”(71472171), 国家科技部创新方法工作专项“面向企业的颠覆式创新方法与工具研究及其应用”(2016IM010400)。

作者简介: 岳俊举, 男, 1989 年生, 博士研究生, 主要研究方向为技术创新、知识管理, E-mail: yuejunju@163.com; 冯立杰, 男, 1966 年生, 博士后, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为工程技术创新; 冯奕程, 男, 1992 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为创新管理; 王金凤, 女, 1963 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为工业工程。

trends of the relative field or industry.

Key words: multidimensional map of technology innovation; technology opportunities; association rules; patent analysis

1 引言

现今众多国家及企业将技术机会识别能力置于R&D的核心位置,技术机会的重要性不言而喻^[1]。尤其是在技术快速更迭的知识经济社会,新兴技术不断涌现使得创新主体在进行创新活动过程中面临的机会和选择更加复杂,一旦在关键技术的识别和选择上出现偏差,不仅会在丧失技术机会的同时造成大量资源浪费,而且还会影响未来技术的进一步发展,这就对如何准确分析未来技术发展趋势并把握技术更替带来的机遇提出了更高要求^[2]。

当前技术机会分析的相关文献主要集中在新技术与产品预测以及对现有技术或产品的改进等方面。众多专家学者结合定性、定量及其他方法对技术机会开展了研究,旨在为产业及企业创新策略的制定提供参考。Yoon等^[3-4]将协同过滤算法、SAO语义挖掘应用于专利数据分析中,研究了如何识别企业已有技术与产品中孕育的技术机会;Yoon^[5]通过文本挖掘技术识别专利中的技术关键词,构建了技术和产品的形态矩阵以分析潜在的技术机会;Wang等^[6]认为科学与技术知识之间存在的差异具有挖掘潜在技术机会的可能,并通过研究生物燃料的相关论文和专利进行了验证;Seo等^[7]利用文本挖掘技术研究了如何提取符合市场前景与企业当前创新能力的技术机会;McKelvey等^[8]提出了概念进化框架理论以探索企业在协同创新过程中如何识别技术机会,并进一步分析了中小型企业的技术机会敏感度;Maine等^[9]运用嵌入式案例研究方法揭示了技术机会产生以及企业决策制定模式的迭代性,研究了面向企业内外部环境的技术机会进化方式;Lee等^[10]构建了专利新颖性映射图谱用于技术机会识别,显著减少了利用专利分析技术机会过程中产生的局部异常因子;Lee等^[11]通过提取专利关键词构建了高维专利功效图,进而选取专利空白点分析了技术机会和技术趋势;Jin等^[12]利用文本挖掘与QFD理论构建了技术驱动路线图,用以识别具有商业价值的技术机会;Cho等^[13]将德尔菲技术与模糊层次分析法结合,构建了新产品的技术演进路径模型以分析技术趋势及潜在技术方案。

综上所述,已有研究提供了大量可供选择的技

术机会识别方法,为企业技术创新提供了有益参考,但仍存在一些局限:首先,一些针对具体领域开展技术机会研究的学者为刻意强调研究的新颖性,聚焦于超前的新技术发现,忽视了企业现有的技术利用能力,以致于技术机会分析的结果偏离了当前产业技术的发展方向,难以在企业得到具体应用;其次,从方法论层面来讲,大多数技术机会分析的研究限定在特定领域,较少考虑构建的方法体系是否在更广泛的领域中仍具有适应性;最后,部分学者虽然提出了系统的技术机会识别方法,但他们过分关注于提出概念性的技术,对如何利用所提概念形成新产品或技术较少涉及,使得技术机会发现的可信度较低。

针对上述问题,本研究提出了基于多维技术创新地图与关联规则挖掘的技术机会识别方法体系。多维技术创新地图是通过对各领域创新知识、创新机理进行提取与归纳,形成包含创新要素的创新维度,并通过整理与剖析各领域科技创新成果、发明专利及经验技巧,归纳总结出创新法则,进而将不同创新维度和创新法则进行耦合以形成创新方案的一种创新方法。本文所提的技术机会识别方法体系以专利数据为基础,利用文本挖掘技术从专利中提取技术创新要素,进而研究技术创新要素之间的关联规则以确定具有强关联规则的要素,最终结合多维技术创新地图从两个层级对技术机会进行分析并设计出新的创新方案。

本研究的学术贡献体现在以下三个方面:首先,利用该研究框架形成的技术机会来源于现有的技术创新要素,能够更好地适应企业当前的技术创新能力;其次,基于维法耦合形成的技术机会识别方法体系通用性较强,能够在多个领域开展应用且构成的多维技术创新地图与所研究领域的具体技术较好结合,形成的技术机会切实可行;最后,通过关联规则的挖掘,可以从大量专利数据中获得技术创新要素之间隐藏的规律,能够较好地提供决策和评价信息。本文构建的方法体系可以较为合理地解决当前研究存在的一些局限,对提高多领域、多层次创新主体的技术机会识别效率,进一步增强企业技术创新能力和市场竞争力具有一定的借鉴意义,拓宽了技术机会识别方法的选择范围。

2 研究基础

2.1 多维技术创新地图

创新是利用现有的知识和物质,在特定环境中采用恰当的方法改进或创造新事物的过程,其过程本质可归纳为两方面:一是作用对象(即创新维度),二是创造方法(即创新法则)。基于此而提出的多维技术创新地图就是将创新维度与创新算法进行耦合,研究功能、结构、环境、时间、空间等参数的变换与重构,其结合 TRIZ、SIT、检核表法、专利功效矩阵等创新理论,系统分析了多个领域的创新

知识及创新规律,对各领域涉及的创新要素与规则加以剖析并整理,凝练出了九大创新维度及九大技术创新规则。其中,创新维度(表1)分别为空间维、环境维、结构维、功能维、机理维、材料维、动力体系维、工序维和人机关系维;创新法则(表2)包括:分解与去除、组合与集成、局部优化、替代、动态化、自服务、友好化、柔性化、智慧化。

多维技术创新地图是由创新维度与创新法则耦合形成,且每种创新维度与创新算法的耦合均可能形成一种或多种创新发明思路,从而构建出某一行业领域系统的创新方案体系以指明潜在的技术机会,其具体构建过程如图1所示。

表1 创新维度表

No.	维度	定义
1	空间维	空间维指创新目标系统在空间的表象与特征,包括方向、位置、体积、形状、重量、颜色、形态等。
2	环境维	环境维指创新目标系统作业、动作、构建物、生化反应及物体存在与改变的环境参数。
3	结构维	结构维指创新目标系统的零部件、设备及设施间的联系方式。
4	功能维	功能维指创新目标系统中能够解决特定问题,具有特定效果的某种能力。
5	机理维	机理维指创新目标系统中可以实现功能的物理、化学、生物等基本原理。
6	材料维	材料维指创新目标系统中归属材料的一切属性,包括构成、特征、相态、形状等。
7	动力体系维	动力体系维指创新目标系统中包括机器或产品的能量从动力源出发到流动方式、传递过程、储存方式以及中介物与媒介等过程涉及的生产要素及方式。
8	时序维	时序维指创新目标系统中与时间先后顺序有关的流程,包括作业先后顺序、工艺顺序、时间顺序等。
9	人机关系维	人机关系维指创新目标系统中人作业的对象、工具与环境,其中,人机关系指人与作业对象、工具、环境的互动关系。

表2 创新法则表

No.	法则	定义
1	分解与去除	从构成产品或系统的组件(不可再分的最小单元)入手,按层级将产品或系统分解为不可再分的最小单元,通过去除、拆除、分割、分离等方式移除冗余组件或有害组件,达到精简产品或系统的目的。
2	组合与集成	组合指同种性能或不同性能的要素或要素个体结合而成的整体;集成指一些孤立的要素或元素通过某种方式改变原有的分散状态集中在一起并产生联系,构成一个相互联系、有机结合的整体,集成也是统筹利用外部环境、内部关系的集合。
3	局部优化	指按产品与系统组件或维度要素的非质变的量化与非量化调整与优化,重点强调优化与调整、非本质化的改变与变化,通过参数调整、性能改善或其他优化技术,使产品或系统的局部达到最优解状态。
4	替代	即以空间维、环境维、结构维、功能维、机理维、材料维、动力体系维、时序维、人机关系维要素为研究对象,对创新维度要素的更换与代替。
5	动态化	赋予创新要素(空间、功能、机理、环境、任务等)随时间、空间、环境、条件而变化的能力。
6	自服务	通过改变系统部件的关系(相对位置、体积、质量、作用方式等)或增添部件,实现自我服务、自我保护、等势运行、均衡运行等性能改善目的。
7	友好化	改变维度要素与环境的作用关系,使系统中涉及的创新维度要素利用资源最少,对环境损害程度最小,实现变害为利、综合利用、共生等人-机-环的协调友好。
8	柔性化	将外形、壳体、功能、相态、作用、速度、位置等要素平和化。
9	智慧化	由现代通讯与信息技术、计算机网络技术、行业技术、智能控制技术汇集而成的针对某方面的具体应用。从感觉到记忆再到思维这一过程称为“智慧”。

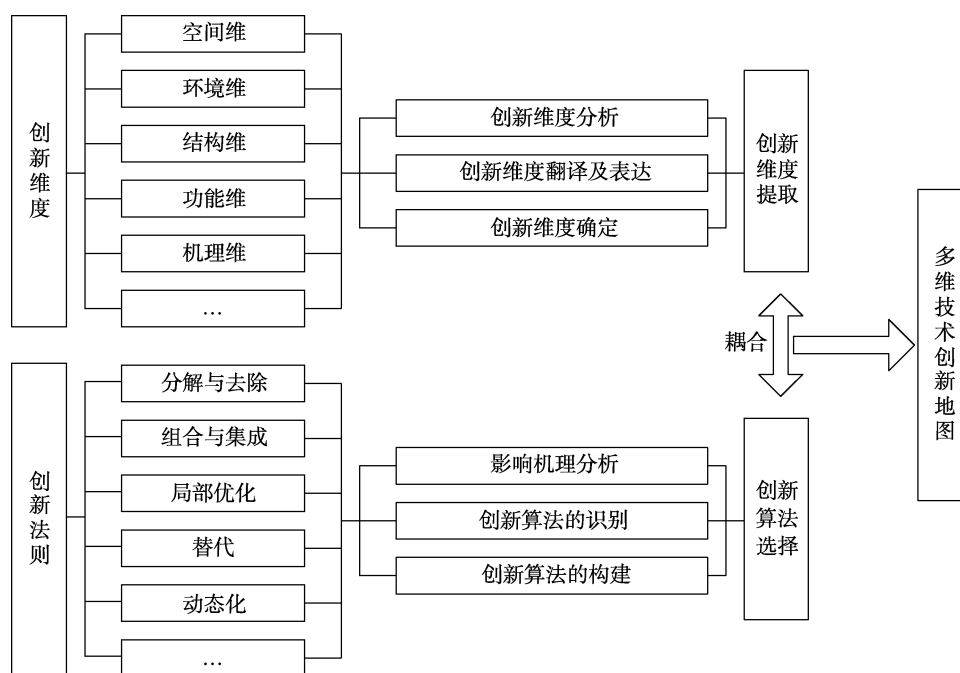


图1 多维技术创新地图构建过程

2.2 关联规则挖掘

关联规则挖掘问题是由 Agrawal 等^[14]提出，其后许多研究人员对该问题进行了广泛深入探索，其中关联规则挖掘方法的推广应用是当前的研究热点。Ahn^[15]利用关联规则挖掘研究了零售产品间的联系，解决了短生命周期产品难以分类的问题；Djatna 等^[16]将关联规则挖掘应用于制造业全员生产维护战略中，研究了决策制定过程中的规则形成方式；Kamsu-Foguem 等^[17]针对生产过程的运营管理障碍与生产时间损耗较高等问题，通过提取生产过程涉及的信息并分析其中的关联规则，改善了工业生产系统的质量；Kaur 等^[18]在收集市场数据的基础上，利用关联规则挖掘识别市场变化趋势并研究了顾客的购买习惯；Kim 等^[19]将文本挖掘与模糊关联规则挖掘融入模糊认知地图，研究了数据驱动下的场景构建方法；Lee 等^[20]将决策树分析与关联规则挖掘技术结合，构建了基于网络社区信息的产品概念收敛度模型；Paranjape-Voditel 等^[21]提出了基于关联规则挖掘的股票市场投资组合推荐模型，为股市投资相关人员提供了可供参考的决策方法。综上可知，关联规则挖掘技术通过提取数据背后隐藏的有价值联系，能够为企业的技术分析、市场分类、产品设计等提供科学决策。

关联规则挖掘技术的核心是关联规则算法。在当前应用的关联规则算法中，Agrawal 等^[14]提出并完

善的 Apriori 算法作为经典的关联规则挖掘方法被广泛引用，后续较多的关联规则算法多在此基础上发展而来。Apriori 算法的核心思想是寻找给定大数据集中的频繁项集，进而生成强关联规则，其中支持度（Support）和置信度（Confidence）被用来度量一个规则是否符合预期。以 A、B 两个事件为例，支持度衡量了 AB 两个事件同时发生的概率，用 $Support(A \rightarrow B) = P(AB)$ 表示；置信度衡量了在 A 发生的条件下 B 也发生的概率，体现了规则的可信程度，用 $Confidence(A \rightarrow B) = P(AB)/P(A)$ 表示^[22]。在挖掘关联规则时，产生的关联规则须通过预先设定的最小支持度阈值和最小置信度阈值进行衡量，筛选出来的强关联规则才能用于指导最终决策。本研究将利用 Apriori 算法挖掘专利数据中创新要素潜在的关联性，进而研究创新要素的构成规律并结合多维技术创新地图识别潜在的技术机会。

3 技术机会识别路径构建

3.1 创新要素提取

通过专利分析可以较为准确知晓相关领域的技术创新发展现状。但专利通常以文本形式存在，而所需的技术信息大多并非以显在方式呈现，需要采取一定的分析方法对专利中与创新要素相关的概念、术语、属性等知识单元进行识别和抽取，便于

开展后续研究。因此,通过分析待创新系统的基本功能、结构、环境属性及生命周期各阶段的特征,可以利用专利分析方法提取创新系统的创新要素,步骤如下:

- ① 进行待创新系统相关专利数据的收集并分析技术发展趋势;
- ② 对专利数据进行聚类并提取研究热点的技术大类;
- ③ 结合专家智慧、技术发展趋势以及技术大类对挖掘的关键词进行分析,提取出待创新系统的创新要素。

3.2 关联规则挖掘

Apriori 算法是一种挖掘关联规则频繁项集的经典算法,主要通过逐层搜索进行迭代,在大量数据中寻找具有指导作用的关联规则^[23]。具体步骤如下:

- ① 根据实际需要设定合理的最小支持度阈值 $\min\text{-sup}$ 和最小置信度阈值 $\min\text{-conf}$;
- ② 依据设定的最小支持度,筛选频繁项(如果某个项集的 $s \geq \min\text{-sup}$,则称这个项集为频繁项),所有频繁 k -项集组成的集合记为 L_k ;
- ③ 循环执行步骤②,直至没有新的频繁集生成;
- ④ 当没有新的频繁项集生成时,计算这些关联规则的置信度 c ,保留满足 $c \geq \min\text{-conf}$ 的关联规则,进而生成最终所需的关联规则。

由于在关联规则挖掘过程中计算了各个关键词及技术组合出现的频次,因此最终形成的关联规则可以较好体现当前领域存在的技术热点与技术形态,这也是利用本文构建的方法体系所产生的技术机会较为切实可行的原因之一。

3.3 技术机会识别

在进行关联规则挖掘之后,结合多维技术创新地图可进行两个层级的技术机会识别过程分析。

第一层级:结合所研究领域或行业特征,以挖掘形成的关联技术创新要素为基础,直接与多维技术创新地图的创新法则进行耦合,通过分析现有技术条件提出技术机会。

第二层级:结合所研究领域或行业特征,从时间、空间、机理、材料、环境等维度分析挖掘所形成的技术创新要素,结合领域专家经验与创新要素特征以确定技术创新要素的维度,与创新法则耦合形成多维技术创新地图,进而通过维法分析提出技术机会。

4 应用分析

以往研究技术机会分析的案例多通过产品创新过程体现而较少涉及工程领域创新。为凸显本研究过程的普适性,特以煤层气开采技术创新为例进行应用分析。

煤层气是与煤炭伴生、以甲烷为主要成分、热值与常规天然气相当的非常规天然气。采煤之前先开采煤层气,不仅可以降低环境污染,而且可以从根本上治理矿井瓦斯隐患、减少煤矿灾害,已经成为能源行业中发展空间巨大的新兴产业之一^[24]。但由于我国地质环境特殊,煤层气开采受赋存条件影响较大,与其他行业相比特征迥异:其一,开采影响要素多、动态复杂性高;其二,开采模式可移植性差,不同赋存条件需要不同的自主创新技术。

有鉴于此,本研究拟通过关联规则挖掘并构建多维技术创新地图,识别煤层气开采潜在的技术机会,为我国政府以及相关企业与科研机构把握技术发展规律、制定科技发展计划、开展技术研发与申请相关专利等提供决策理论与实践应用支持。

4.1 创新要素提取

(1) 专利检索方案制定

由于煤层气开采在不同的地质区域开采模式不同,且国外的煤层气开采技术发展阶段及方向与我国有较大差别,因此,本文研究所需的专利数据以我国专利为主。为尽可能提高专利数据检索的完整性和科学性,在制定检索表达式的过程中,首先通过咨询多位煤层气领域的专家学者,选取该技术领域公知的技术术语作为检索词进行初步检索,进而在专利文献研读与领域专家指导的基础上,对检索词以及词间关系进行修正,并采用随机阅读查准的方式对检索词进一步测试,最终形成科学合理的检索表达式。本研究最终确定的专利检索方案见表3。

表3 专利检索方案

项目名称	内容
检索平台	中国知识产权网专利信息服务平台(http://search.cnipr.com)
检索时间	2016年9月
数据库范围	中国发明专利,中国实用新型专利
时间范围	2007年至2016年(按申请日期)
检索表达式	名称,摘要,主权项='煤层气开采'or'煤层气抽采'or'瓦斯抽采'or'瓦斯抽放'

（2）创新要素挖掘

专利中的关键词作为技术的直观体现，也是创新要素的直接来源，因此该过程需要依据专利并结合该领域的特征进行技术关键词挖掘。

首先，依据制定的专利检索方案对专利进行检索、收集、筛选并汇总后，收集到专利 3627 项（其中发明专利 2466 项、实用新型专利 1161 项）。以收集到的专利数据为基础，进行技术趋势的 IPC 大类分析，如图 2 所示。其中 E21B43/00（从井中开采油、气、水、可溶解或可熔化物质或矿物泥浆的方法或设备）占据了绝对数量优势，说明当前的技术趋势侧重于研究煤层气开采方法与设备。

其次，在明晰当前煤层气领域的技术发展趋势之后，对收集到的 3627 项煤层气相关专利利用自然语言分析进行处理，研究关键词所处的技术大类排行，如表 4 所示。技术大类的排行体现了当前煤层气技术密集区的分布，可以为后续关键词的确定提供参考范围。

最终，结合技术发展趋势与技术大类排行确定

有效的技术关键词 326 个，即为煤层气开采技术创新所需的核心创新要素。

4.2 创新要素关联规则挖掘

由于关联规则反映了事物之间的关联性，因此可通过对技术创新要素组合的频次分析，探寻出关联度较高的技术创新要素组合，得到煤层气开采技术的核心组成。同时，在进行关联规则分析时，最小支持度的阈值太小可能导致提取的技术要素较为繁多致使关联规则的显著性降低，最小信度的阈值太小则会造成产生的关联规则确定效果降低。因此，结合煤层气开采技术创新要素与搜集专利的数量，本研究设定最小支持度与最小置信度分别为 1% 和 10%。煤层气开采技术创新要素关联规则挖掘的结果见表 5。

基于关联规则挖掘形成的创新要素组合不仅体现了煤层气开采技术的核心组成，亦是煤层气开采技术领域较为成熟且常用的技术手段，因此，以上述创新要素为基础形成的技术机会在技术方面能够

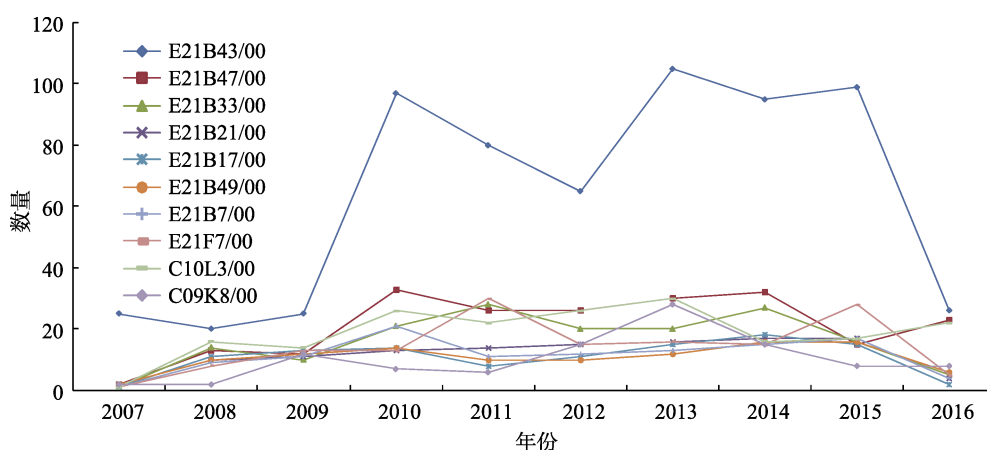


图 2 IPC 大类技术趋势分析

表 4 关键词技术大类排行

排名	技术大类	数量	百分比（%）	关键词
1	水力，采煤工作面，割缝	852	23.49	水力压裂、泡沫压裂、酸化压裂...
2	钻孔，动力系统，定位系统	533	14.70	射孔、筛管完井、穿层钻孔、声波...
3	地面钻井，水平井，围岩，裂隙带	325	8.96	注气、丛式井、U 型井、大位移井...
4	排水，管路设置，自动放水	174	4.80	水动力条件、井底流压、稳压装置...
5	高压软管，高压水泵，射流	145	4.00	水合物、自动控温水浴、电动调节阀...
6	流量计，传感器，控制器	133	3.67	CO 传感器、甲烷传感器、乙炔传感器...
7	分离装置，除尘装置，连接装置	64	1.76	除尘器、扩散管、减压防爆、缓冲罐...
8	分离器，工作液体，水渣混合物	55	1.52	压裂液、顶替液、携砂液、钻井液...
9	钻孔布置，聚氨酯，开采装置	46	1.27	树脂包衣支撑剂、套压、表面活性剂...
10	密封质量，泡沫，硫酸钠，阻燃剂	41	1.13	人造陶粒、封隔器、高活性聚合物...

表5 煤层气技术创新要素关联规则分析结果

创新要素 A	频次 (支持度)	创新要素 B	频次 (支持度)	置信度
压裂	285 (7.86%)	压裂液	210 (5.79%)	53.32%
煤储层	362 (9.98%)	压裂	285 (7.86%)	45.58%
围岩	95 (2.62%)	钻孔	134 (3.69%)	36.83%
地面	167 (4.60%)	压裂	285 (7.86%)	32.97%
地面	167 (4.60%)	钻井 (水平井、U 型井、丛式井等)	185 (5.10%)	30.57%
煤储层	362 (9.98%)	驱替	175 (4.82%)	27.57%
煤储层	362 (9.98%)	机械波	173 (4.77%)	19.69%
驱替	175 (4.82%)	流体 (气体、液体)	65 (1.79%)	19.45%
煤储层	362 (9.98%)	流体 (气体、液体) 冲刷	152 (4.19%)	19.13%
煤储层	362 (9.98%)	微生物解析	73 (2.01%)	10.77%

较好地契合企业的技术实施能力并充分利用当前企业的技术积累。

4.3 技术机会识别

依据得出的煤层气开采技术创新要素的关联规则并结合多维技术创新地图, 可进行以下两个层级的技术机会识别路径构建。

4.3.1 第一层级的技术机会分析

第一层级的技术机会识别路径构建是以关联规则挖掘结果为基础, 对关联技术关键词实施创新法则的变换从而产生技术机会, 具体见表 6。第一层级所形成的技术机会数量有限且部分关联技术难以产生较为便捷易行的新技术方案。

4.3.2 第二层级的技术机会分析

第二层级的技术机会识别路径构建, 需要将关联规则挖掘产生的技术创新要素进行维度划分, 进而与九法耦合形成多维技术创新地图, 最终通过维法分析识别潜在的技术机会。具体步骤如下:

(1) 维度划分

结合该领域专家对煤层气开采技术创新要素以及多维技术创新地图中各个维度的认知, 将关联规则挖掘形成的技术创新要素划分为空间维、机理维与材料维三类, 见表 7。其中, 空间维从技术实施方位考察了煤层气开采技术创新要素, 包括地面、煤储层、围岩三类; 机理维从改变煤层气开采系统的工作方式或要素间作用原理考察了煤层气开采技术创新要素, 包括钻井 (U 型井、丛式井等)、压裂、流体冲刷等; 材料维从改变煤层气开采系统所需物质考察了煤层气开采技术创新要素, 包括压裂液、置换气体及其他相态 (液态、固态、超临界态等)。

(2) 多维技术创新地图构建

在创新要素归类的基础上, 将各创新要素映射至空间坐标系, 其中 X 轴为空间维、Y 轴为材料维、Z 轴为机理维, 进而将创新法则与维度耦合形成基于煤层气开采技术创新要素的多维技术创新地图, 如图 3 所示。

从构建的煤层气多维技术创新地图中可以看出, 煤层气开采技术创新过程事实上是材料维、机理维、空间维与创新法则的耦合, 且已经存在的煤

表6 第一层级的技术机会形成

关联技术关键词组合			创新法则	技术机会描述
煤储层	压裂	组合与集成 (增产技术的组合与集成)		实施分段压裂技术并与其他增产技术 (振动、爆破等) 集成, 提高产气效率
		自服务 (利用煤岩自身的缝隙实现煤层气解吸)		选取两口或多口煤层气井同时启泵压裂, 产生缝间应力干扰作用, 利用煤岩大量发育的面、端割理系统, 达到相比于两口或多口煤层气井单独压裂时得到的更大增产改造体积波及范围的效果
地面	钻井	局部优化 (固井方式局部优化)		局部固井, 缓解因地层移动导致的套管破裂问题, 同时还可以在局部地区增设悬挂器装置, 进一步有效防止对地面采动井工艺结构的破坏
煤储层	机械波	动态化 (增产过程动态化)		产生的机械波随煤层气含量、解吸速度的变化而变化, 从而节约能源, 保护煤层

采作业方法,运用多种创新法则与空间维、机理维、材料维的创新要素进行耦合可以提出技术机会。具体见表 10。

③ 以往煤层气开采技术创新对煤储层围岩的重视程度不够,同时煤层气产出量低以及煤层后期改

造困难等问题均可将围岩作为突破口进行解决^[29-30]。因此,通过研究煤储层围岩的物性及构造发育程度,结合当前煤层气开采创新技术,提出了潜在的技术机会,具体见表 11。

基于以上的煤层气开采技术创新机会识别过程

表 9 煤层气地面开采存在的技术机会

空间维	机理维	创新法则	技术机会
地面	钻井	智慧化 (开采工艺的智慧化)	使用微型窥视镜监测煤层产气情况,布置钻井抽采管路智能化监控系统,以实现不同井型与不同储层条件下的定时定量排采
	钻井+压裂	组合与集成+局部优化 (机理维的组合与集成、开采过程的局部优化)	将水平井与直井组成复杂结构的连通井组,依据所处矿区的地质条件优化井组中水平井的布置方案并配合水平井压裂形成大面积裂隙网络,以提高煤层排水降压速度,增加煤层气产量

表 10 煤层气储层开采存在的技术机会

空间维	机理维	材料维	创新法则	技术机会
煤储层	压裂	液氮	局部优化 (工序的局部优化)	由于液氮的携砂性能好、增产效果明显,可以利用液氮进行解堵并支撑已经形成的裂隙,优化裂隙导流能力,进而通过重复压裂提高产气量
	压裂	液氮	组合与集成 (空间维的组合与集成)	针对多煤层或煤层间距小的问题,通过液氮压裂对煤层实施冻融裂化,实现下入一次管串结构对多个煤层实施合层开采
	微生物解析+压裂	压裂液	友好化 (对煤储层及周边环境友好)	进行煤层压裂作业使用的压裂液为产氢菌与产甲烷菌混合制成的生物压裂液,产氢菌和产甲烷菌可以在不伤害煤层的情况下对煤储层进行改造,提高煤层气解吸能力
	压裂	压裂液+置换气体及其他相态	柔性化 (相态以及作用关系平化)	将置换气体与压裂液混合制成泡沫压裂液,在提高携砂性能的同时优化了返排效果,减少了对煤储层的伤害
	钻孔		替代 (开采机理进行替代)	使用切割替代钻孔,可以大大增加单次作用的面积,在大幅提高施工效率的同时降低工程量和施工成本
	流体冲刷		智慧化 (开采过程智慧化)	在冲刷终端加装可连续调节的电动阀门,在井下安装矿用温度、一氧化碳浓度、甲烷浓度等多种传感器,依据井下实时状况进行水量调节、流速调节,从而节约资源,优化开采过程
	机械波+驱替	置换气体	组合与集成 (机理维的组合与集成)	在驱替气体泵入煤层之后,对煤层实施高功率电爆震辅助气体驱替,通过在煤层中形成机械波以有效增加煤层内的裂隙数量,提高煤层气产量

表 11 煤层气储层围岩开采存在的技术机会

空间维	机理维	材料维	创新法则	技术机会
围岩	钻孔+压裂	压裂液	组合与集成 (机理维的组合与集成)	不同于以往单纯在围岩内开设钻场开采煤层气,该方案通过在围岩中钻顺层长钻孔,进而在围岩实施压裂以产生更多缝隙,解决压裂应力难以在塑性构造煤中有效传递的问题
	钻井+压裂	压裂液	组合与集成+替代 (钻井替代钻孔并与压裂进行结合)	在距煤层一定距离的顶板或底板围岩层内施工水平井,水平井分段多簇射孔压裂,通过簇与簇、段与段之间的应力场干扰实现裂缝转向,充分形成多级多类裂缝体系,达到缝网改造目的,以突破软煤储层不可强化、深部高应力储层低产的难题

分析,可总结出该技术机会识别方法体系具有以下优势:

第一,关注于所提技术机会的实用性。从煤层气开采技术创新机会识别过程中可以看到,基于关联规则挖掘所形成的技术创新要素代表了当前研究的技术热点,同时在进行技术机会识别过程中结合了该领域专家智慧,所涉及的技术与方法皆有章可循,因而利用该方法体系产生的技术机会皆有其理论依据与实践基础,充分利用了当前的技术积累,为企业提供了诸多可行方案。

第二,拓宽了方法体系的应用范围。煤层气开采技术创新属于工程技术领域创新,其难度远高于一般的产品创新,但利用本研究所构建的技术机会识别方法体系仍探索了较多的技术机会,从另一方面表明该方法体系可以进行大范围应用且可以预期能产生较好的效果。

5 结 论

本文系统构建了识别技术机会的方法:通过专利分析技术从海量专利中提取所需技术创新要素,结合关联规则算法研究了创新要素间的关系,利用关联规则分析结果进行了技术机会的初步识别,并构建了多维技术创新地图进行了技术机会的深入识别。

在研究过程中本文提出了多维技术创新地图的方法,即利用创新法则分析多维度下创新要素的变换以挖掘新的创新机会。由于多维技术创新地图的构建需要基于大量数据开展定量分析,不仅避免定性分析中易受专家主观影响等问题,而且能够形成全面完整的技术形态,辅助企业进行技术创新和技术管理。因此,多维技术创新地图的应用有助于企业发现潜在的技术机会并启发他们实现这些技术以获取商业价值。

总体而言,运用多维技术创新地图以及关联规则挖掘技术,本文构建了较为详细的技术机会识别方法,并以煤层气开采技术创新为例进行了应用分析。未来的研究期望能在以下两方面深入进行:

其一,当前研究仅仅从技术视角对技术机会识别进行了研究,较少考虑其经济价值,但具有较好的经济价值应当是一个成功的新技术需要具备的条件。因此,在技术机会分析基础上,需构建技术潜在价值评估体系,以进一步确定方案的优先次序。

其二,在构建多维技术创新地图对技术机会进

行识别时的信息多来源于已有专利,是以过去的信息预测未来的技术。因此,为使技术机会识别更具前瞻性,应当在识别过程中与技术进步趋势进一步结合,实现以未来的信息预测未来的技术。

参 考 文 献

- [1] Aparicio S, Urbano D, Audretsch D. Institutional factors, opportunity entrepreneurship and economic growth: Panel data evidence[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2016, 102: 45-61.
- [2] Becattini N, Cascini G, Petrali P, et al. Production processes modeling for identifying technology substitution opportunities[J]. *Procedia Engineering*, 2015, 131: 14-29.
- [3] Yoon J, Seo W, Coh B Y, et al. Identifying product opportunities using collaborative filtering-based patent analysis[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 107: 376-387.
- [4] Yoon J, Park H, Seo W, et al. Technology opportunity discovery (TOD) from existing technologies and products: A function-based TOD framework[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 100: 153-167.
- [5] Yoon B. On the development of a technology intelligence tool for identifying technology opportunity[J]. *Expert Systems with Applications*, 2008, 35(1-2): 124-135.
- [6] Wang M Y, Fang S C, Chang Y H. Exploring technological opportunities by mining the gaps between science and technology: Microalgal biofuels[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 92: 182-195.
- [7] Seo W, Yoon J, Park H, et al. Product opportunity identification based on internal capabilities using text mining and association rule mining[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2016, 105: 94-104.
- [8] McKelvey M, Zaring O, Ljungberg D. Creating innovative opportunities through research collaboration: An evolutionary framework and empirical illustration in engineering[J]. *Technovation*, 2015, 39-40: 26-36.
- [9] Maine E, Soh P H, Dos Santos N. The role of entrepreneurial decision-making in opportunity creation and recognition[J]. *Technovation*, 2015, 39-40: 53-72.
- [10] Lee C, Kang B, Shin J. Novelty-focused patent mapping for technology opportunity analysis[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2015, 90: 355-365.
- [11] Lee S, Yoon B, Park Y. An approach to discovering new technology opportunities: Keyword-based patent map approach[J]. *Technovation*, 2009, 29(6-7): 481-497.
- [12] Jin G, Jeong Y, Yoon B. Technology-driven roadmaps for identifying new product/market opportunities: Use of text mining and

- quality function deployment[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2015, 29(1): 126-138.
- [13] Cho J, Lee J. Development of a new technology product evaluation model for assessing commercialization opportunities using Delphi method and fuzzy AHP approach[J]. *Expert Systems with Applications*, 2013, 40(13): 5314-5330.
- [14] Agrawal R, Shafer J C. Parallel mining of association rules[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1996, 8(6): 962-969.
- [15] Ahn K I. Effective product assignment based on association rule mining in retail[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(16): 12551-12556.
- [16] Djatna T, Alitu I M. An application of association rule mining in total productive maintenance strategy: An analysis and modelling in wooden door manufacturing industry[J]. *Procedia Manufacturing*, 2015, 4: 336-343.
- [17] Kamsu-Foguem B, Rigal F, Mauget F. Mining association rules for the quality improvement of the production process[J]. *Expert Systems with Applications*, 2013, 40(4): 1034-1045.
- [18] Kaur M, Kang S. Market basket analysis: Identify the changing trends of market data using association rule mining[J]. *Procedia Computer Science*, 2016, 85: 78-85.
- [19] Kim J, Han M, Lee Y, et al. Futuristic data-driven scenario building: Incorporating text mining and fuzzy association rule mining into fuzzy cognitive map[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 57: 311-323.
- [20] Lee C, Song B, Park Y. Design of convergent product concepts based on functionality: An association rule mining and decision tree approach[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(10): 9534-9542.
- [21] Paranjape-Voditel P, Deshpande U. A stock market portfolio recommender system based on association rule mining[J]. *Applied Soft Computing*, 2013, 13(2): 1055-1063.
- [22] Czibula G, Czibula I G, Sîrbu A M, et al. A novel approach to adaptive relational association rule mining[J]. *Applied Soft Computing*, 2015, 36: 519-533.
- [23] GeethaRamani R, Sivaselvi K. Altered modular organization in schizophrenia patients and analysis using supervised association rule mining[J]. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 2016, 36(2): 397-412.
- [24] 叶建平, 陆小霞. 我国煤层气产业发展现状和技术进展[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(1): 24-28, 46.
- [25] 陈刚, 秦勇, 杨青, 等. 不同煤阶煤储层应力敏感性差异及其对煤层气产出的影响[J]. *煤炭学报*, 2014, 39(3): 504-509.
- [26] 张遂安, 袁玉, 孟凡圆. 我国煤层气开发技术进展[J]. *煤炭科学技术*, 2016, 44(5): 1-5.
- [27] 范俊佳, 据宜文, 柳少波, 等. 不同煤储层条件下煤岩微孔结构及其对煤层气开发的启示[J]. *煤炭学报*, 2013, 38(3): 441-447.
- [28] 张文静, 据宜文, 卫明明, 等. 不同变质变形煤储层吸附/解吸特征及机理研究进展[J]. *地学前缘*, 2015, 22(2): 232-242.
- [29] 付江伟, 王公忠, 李鹏, 等. 顶板水力致裂抽采瓦斯技术研究[J]. *中国安全科学学报*, 2016, 26(1): 109-115.
- [30] 马耕, 苏现波, 蔺海晓, 等. 围岩—煤储层缝网改造增透抽采瓦斯理论与技术[J]. *天然气工业*, 2014, 34(8): 53-60.

(责任编辑 车尧)