基于标准必要专利的产业技术轨道识别与演化研究*

陈可鑫　董坤　慕青秀　崔子航
（山东理工大学信息管理学院，淄博 255049）

摘要：准确识别产业技术轨道并揭示其演化规律，是科学研判技术发展趋势、前瞻布局产业创新的关键基础。本研究通过构建基于国际专利分类号（International Patent Classification，IPC）共现加权和CiteRank算法加权的双加权专利引证网络，融合聚类分析与搜索路径计数（Search Path Count，SPC）算法识别技术主路径，利用多维指标评估标准必要专利角色，划分技术轨道类型并解析其演化特征与研判未来趋势。无线通信领域的实证研究表明，该方法能依据标准必要专利将产业技术轨道划分为引领型、前沿型、边缘型等多种类型，系统揭示各类型产业技术轨道的结构特征、演进规律与发展潜力，从而为产业技术预见、创新布局与标准制定提供量化工具。

关键词：技术轨道；主路径识别；标准必要专利；双加权引证网络；演化分析
中图分类号：G350　DOI：10.3772/j.issn.1673-2286.2026.01.003
引文格式：陈可鑫，董坤，慕青秀，等. 基于标准必要专利的产业技术轨道识别与演化研究[J]. 数字图书馆论坛，2026，22（1）：20-30.

在当今全球经济与技术深刻变革的背景下，精确识别产业技术轨道，成为把握产业发展方向与演进趋势的关键前提。随着技术标准与专利技术的联系日益紧密，技术专利化、专利标准化、标准国际化已成为技术标准发展的最新态势[1]，强化标准与专利两种战略性创新资源协同发展的重要意义日趋凸显[2]。标准必要专利作为构成技术标准的关键部分，其包含的技术方案需经产业界广泛协商与认可，这使其成为产业技术共识的集中体现与具体载体，从而能够清晰界定技术路径的核心方向与边界。将标准必要专利应用到产业技术轨道识别和分析，有助于深入挖掘技术路径中的核心要素与节点，从而为把握技术演进主线、保障重点领域技术安全提供依据。

现有研究在识别技术轨道时，大多仍依赖普通专利数据，忽略了标准必要专利作为权威性、共识性技术载体的作用价值。为此，本研究将标准必要专利引入技术轨道分析，通过构建双加权专利引证网络，结合聚类与主路径分析，揭示技术演进的核心路径与规律，进而研判各类技术轨道的未来发展趋势，为产业技术的超前布局与风险预判提供决策依据。

1　文献综述

1.1　技术轨道的概念及识别方法

技术轨道概念由Nelson等[3]提出，旨在描绘和阐释产业发展进程中技术的累积与演化特性。受美国杰出科学哲学家Kuhn的“科学范式”理论启发，Dosi[4]进一步发

收稿日期：2025-11-07
*本研究得到山东哲学社会科学领军人才“111”培育项目“山东省重点产业关键核心技术识别及预测方法研究”（编号：25CLJJ40）、山东省高等学校青创团队计划支持项目“山东省重点产业关键核心技术精准布局研究”（编号：2022RW057）资助。

展了这一概念，指出技术轨道是由技术范式内在原理所界定的技术进化路径。国内学者方曙等[5]认为技术轨道是一条基于技术历史发展线索，描绘其发展历程，从中提炼出未来可能产生重大影响的技术所形成的轨迹。

技术轨道识别是研究技术发展和演化的重要工具，通过识别技术轨道可以分析特定技术领域内技术发展的路径和模式。早期研究利用S曲线法、专利数量计量等方法分析技术轨道[6-7]，但前者易受主观判断影响，后者难以揭示技术演化的内在路径结构。1989年，Hummon等[8]提出了主路径思想，借用深度优先搜索算法并结合穷举搜索算法，利用遍历数提出了搜索路径链接计数（Search Path Link Count，SPLC）、搜索路径节点对数（Search Path Node Pair，SPNP）、节点对投影统计数（Node Pair Projection Count，NPPC）3种从网络中提取关键路径的算法。Batagelj[9]在此基础上提出了进一步增强主路径分析的方法，即搜索路径计数（Search Path Count，SPC）方法，并且认为SPC方法优于其他方法。近年来，越来越多的学者将主路径方法与聚类分析、文本挖掘等方法结合，或者通过整合专利、论文、网络新闻等多源数据进行更准确的识别和预测。例如Li等[10]将基于专利引证网络的主路径分析和Twitter数据挖掘相结合来监测新兴技术的出现并确定这些新兴技术的变化趋势。

1.2　标准必要专利相关研究

标准必要专利是指技术标准中包含的必不可少和不可替代的专利，即为实施技术标准而不得不使用的专利[11]。标准必要专利是专利与标准融合的重要产物，标准和专利之间的交互关系、影响力和协同效应对推动科学技术发展至关重要，标准化工作能促进专利的研究进展，专利也能驱动标准化进程[12]。现有关于标准必要专利的研究多关注标准必要专利的市场影响、技术特征以及管理制度等，而标准必要专利在技术分析预测中的应用研究较少。张梦诗等[13]从国家、企业、技术3个层面分析人工智能领域标准必要专利的分布特征，对我国人工智能技术发展现状进行分析并进一步提出了相关建议。Chang[14-15]分别以光网络、人工智能标准必要专利为基础进行分析，构建技术网络，讨论相关技术分布，并预测光网络和人工智能技术发展趋势。

综上所述，在理论框架构建、方法论创新、实践应用探索等多个维度，现有研究成果为技术轨道探究、标准必要专利研究提供了坚实而丰富的支撑，但仍存在以下不足：①多数研究倾向于通过非加权或单一加权专利引证网络来进行技术轨道识别，忽略了专利技术关联的多模态特征，因而无法全面准确地反映技术发展的真实轨迹；②标准必要专利信息在技术分析和预测中的应用尚显不足，在揭示技术发展规律和趋势方面未能充分发挥其潜力。鉴于此，本研究利用国际专利分类号（International Patent Classification，IPC）共现次数及CiteRank算法构建双加权专利引证网络，运用聚类分析及SPC算法识别技术关键路径，通过多维度指标定量评估标准必要专利在技术轨道中的角色，划分技术轨道类型，分析各类型技术轨道的演化特征及未来发展趋势等，并以无线通信领域为例进行实证研究。

2　研究方法

在基于标准必要专利的产业技术轨道研究中，准确界定标准必要专利是开展后续研究的重要前提。这类专利通常由持有者在标准制定过程中声明，并经标准化组织记录公示。国际上，欧洲电信标准化协会（European Telecommunications Standards Institute）、电气电子工程师学会（Institute of Electrical and Electronics Engineers）等权威标准化组织系统收录和管理相关专利声明信息，部分商业专利数据库会对上述信息进行整合、验证与更新，形成经过认证的标准必要专利数据集。标准必要专利主要分布在通信、计算机和生物医学等专利密集型领域[16]，其中通信领域因产品高度依赖通信协议标准，对技术标准需求更大，其标准必要专利数量远超其他行业[17]。基于上述界定与数据，为系统揭示标准必要专利所承载的产业主流技术路径及其演化过程，本研究提出一种基于标准必要专利的产业技术轨道识别与演化分析方法，整体研究框架如图1所示。①双加权引证网络构建。制定检索式获取专利数据集，利用专利引证数据，使用IPC共现次数和CiteRank算法对引证网络进行双加权，构建双加权引证网络。②引证网络聚类及技术主路径识别。使用K-Means算法对专利引证网络进行聚类，使用SPC算法对聚类后的每个群组分别提取主路径。③技术轨道分类及演化分析。通过多维度指标定量评估标准必要专利在技术路径中的角色，划分技术轨道类型，分析各类型技术轨道的演化特征及未来发展趋势。

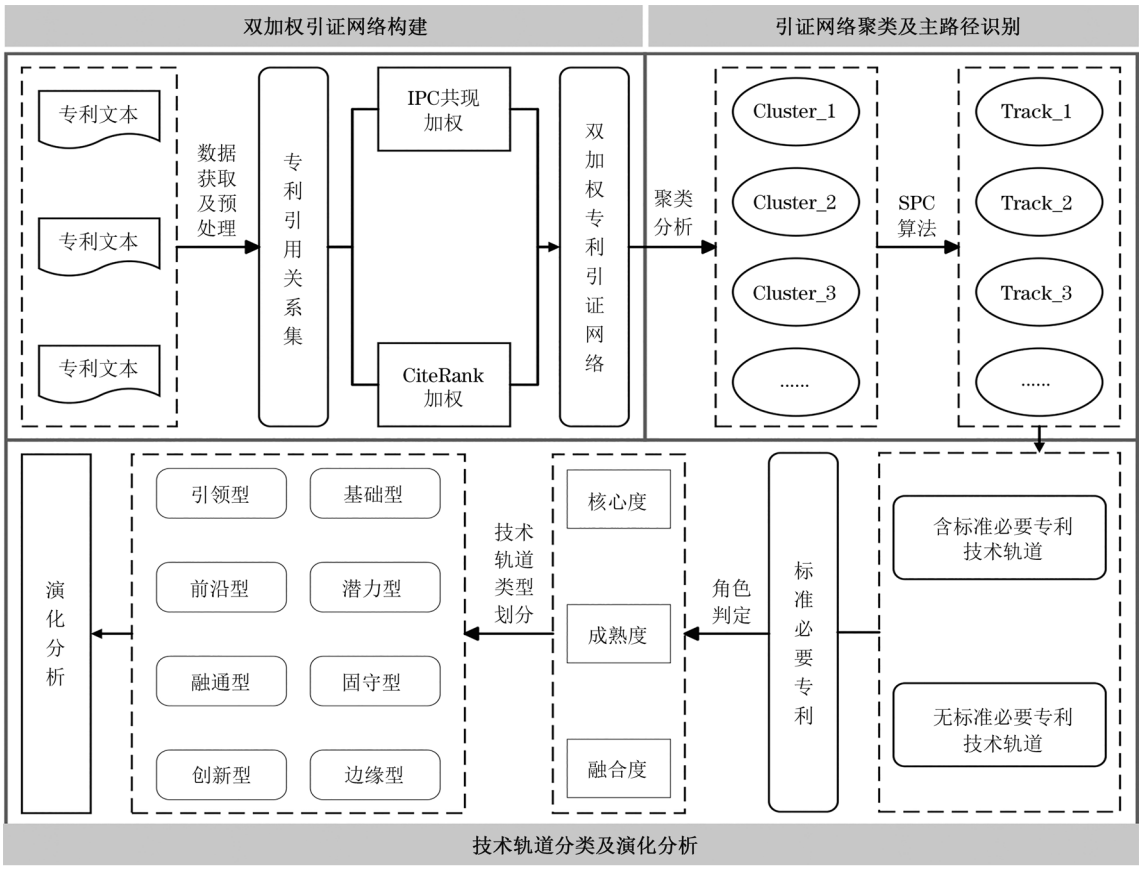

图1　研究框架

2.1　双加权专利引证网络构建

2.1.1　数据获取

本研究以专利数据为分析对象，利用专利间的引证关系研究产业技术轨道的演化特征。选择合适的数据库作为数据来源，确定合适的专利检索策略，获取特定字段信息，经过去重、字段清洗等预处理，获得研究所需的规范化专利引用关系集。智慧芽专利数据库中的标准必要专利数据源收录了经美国国家标准协会（American National Standards Institute）、欧洲标准协会（Comité Européen de Normalisation）等多个国际标准化组织认证的标准必要专利数据，数据源全面可靠，故本研究基于智慧芽标准必要专利数据源获取标准必要专利数据。

2.1.2　基于IPC共现的引证关系加权

IPC是全球通用的专利分类体系，用于对专利的技术主题进行系统性编码。传统引证网络仅关注直接引用关系，而通过IPC共现次数加权引证边，能够捕捉技术领域的间接协同效应，也可以强化核心节点。频繁共现的技术组合对应的专利更可能处于技术轨道枢纽位置，加权后能够凸显其影响力。基于此，选择使用IPC小类共现情况对引证网络的边进行加权。加权系数具体计算公式如式（1）所示。

$$w=\frac{c}{a}\times\frac{c}{b} \tag{1}$$

式中：a为施引专利涉及的IPC小类总数量；b为被引专利涉及的IPC小类总数量；c为二者涉及的相同IPC小类的数量。

2.1.3　基于CiteRank算法的引证关系加权

CiteRank算法是专为学术文献或专利引用网络设计的节点重要性排序算法，由传统PageRank算法改进而来，核心创新在于引入时间衰减机制与引用强度差异化处理，其目标是通过量化文献的长期影响力与时效性，更精准地识别关键技术节点[18]。

张勇等[19]详细介绍了CiteRank算法的使用方式。在

实际计算中，通过级数展开直至收敛（平均值的相对误差小于10^{-10}）得到每件专利的CiteRank值。本研究借助Python程序计算引证网络中被引专利节点的CiteRank值，将每个节点的CiteRank值按照该节点被引的链路数，分配给每个链路，作为该引证网络中边的权重。

2.1.4　双加权引证网络构建

首先，基于IPC共现情况对引证网络进行一次加权；其次，采用CiteRank算法计算每个节点的CiteRank值，将每个节点的CiteRank值按照节点间的IPC共现权重分配给其对应的引证关系边，从而构成双加权引证网络。具体构建过程如下。

（1）归一化IPC共现权重。对每个被引专利的所有关联边（所有施引专利到该被引专利的边），计算其IPC共现权重的归一化值。具体计算方法如式（2）所示。

$$w_e^* = \frac{w_e}{\sum_{k \in E_v} w_k} \tag{2}$$

式中：w_e、w_k表示边e、边k的IPC共现权重；E_v表示与被引专利v相连的所有边。这一步确保每个被引专利相连的所有边的IPC共现权重总和为1，从而可以按比例分配CiteRank值。

（2）按比例分配CiteRank值。对于每条边e，其分配的权重计算方法如式（3）所示。

$$W_e = \text{CiteRank}_v \times w_e^* \tag{3}$$

式中：CiteRank_v表示被引专利v的CiteRank值。

2.2　专利引证网络聚类分析及技术主路径识别

为从大规模专利引证网络中识别出清晰、多层次的技术轨道结构，首先对全局网络进行聚类分析，将复杂的全局网络分解为结构更清晰、主题更聚焦的子网络。其次在各子网络内识别表征其核心演进脉络的技术主路径，以提升技术轨道识别的全面性与准确性。

2.2.1　专利引证网络聚类分析

为识别专利引证网络中的技术群体，采用Node2Vec与K-Means相结合的方法进行聚类分析。首先，利用Node2Vec算法生成专利节点的低维稠密向量表征，通过有偏随机游走捕捉网络中的局部结构与高阶邻域信息，并借助Skip-gram模型将节点映射为连续向量，从而保留引证强度与IPC共现等多维异质关联。其次，采用K-Means算法对向量化节点进行聚类，对数据进行标准化处理，并依据轮廓系数确定最佳聚类数。经随机初始化中心后，迭代执行节点分配与中心更新，直至簇中心稳定。该方法兼顾网络表示能力与聚类效率，能够系统识别技术子社区、揭示技术集聚区域与潜在关联，为技术重点研判与布局分析提供量化依据。

2.2.2　技术主路径识别

在获得表征不同技术社区的聚类子网络后，需要进一步从每个子网络中提取其核心的技术演进路径。为此，选择SPC算法在各子网络内识别技术主路径。该方法的核心优势在于能够基于网络中所有可能的搜索路径，量化每条引证链接在知识流动中的全局重要性，从而识别承载最多技术知识流的关键路径，而非仅依赖局部拓扑特征[20]。具体包括以下3个步骤。①SPC值计算。遍历网络中所有可能的起点到终点的路径，统计每条链接被经过的次数，该次数即为SPC值，SPC值越高的链接，在整体知识传播中的作用越关键。②核心路径提取。首先，识别出SPC值最高的链接作为骨干。其次，以此链接为起点，分别向前和向后进行定向搜索，寻找与之连接且SPC值较高的相邻链接，逐步延伸形成向前路径与向后路径。③路径合并与确定。将向前与向后搜索得到的路径进行合并，形成完整的关键主路径。该路径能够表征该技术领域在特定时间窗内最重要、最连续的知识传承与发展脉络。

本研究利用Pajek软件实现上述SPC算法。将聚类所得的子网络以“.net”格式导入Pajek，运行标准全局搜索流程，即可自动识别并输出技术主路径的节点与链接集合，并进行可视化，直观地呈现专利引证网络中的关键技术演化路径。

2.3　基于标准必要专利的产业技术轨道分类与演化分析

主路径反映的是技术发展的核心脉络，而进一步将标准必要专利作为关键观测变量引入技术轨道分类与演化分析，可以深入剖析标准必要专利在每条已识别技术轨道内部所承担的结构性功能及其所体现的技术属性。下文将通过构建核心度、成熟度等量化指标，系

统评估标准必要专利在特定轨道中的结构性角色与技术特征，揭示标准必要专利对特定技术轨道的影响，并据此对技术轨道进行系统性分类与演化分析。

2.3.1 含标准必要专利的产业技术轨道演化分析

首先，构建指标，对标准必要专利在技术轨道中的位置、对技术轨道的作用等进行定量测度，判定其在技术轨道中的角色；其次，根据指标测度结果，对产业技术轨道进行类型划分，并分析各类型技术轨道的演化特征及未来发展趋势等。

2.3.1.1 标准必要专利在技术轨道中的角色判定

判定标准必要专利在技术轨道中的角色，需从结构、时间、空间3个维度进行综合考量。结构维度关注专利在网络中的中心性与路径依赖强度，体现其对技术“骨架”的支撑作用；时间维度关注其技术成熟阶段，反映标准化时机对创新节奏的影响；空间维度关注其跨领域融合程度，决定轨道的扩展潜力。基于此，构建核心度、成熟度、融合度三维测度体系，系统揭示标准必要专利对技术轨道的全局影响，进而对各类技术轨道进行演化分析。

（1）核心度。该指标主要从技术轨道中与标准必要专利直接关联的专利数量占比及路径关键度两个维度对标准必要专利进行测度，综合反映标准必要专利在技术主路径中的地位，其中路径关键度体现标准必要专利是否为维持主路径连通性的关键节点。核心度越高，表明标准必要专利在技术轨道中的角色越重要，计算方法如式（4）所示。

$$C=\alpha\cdot\frac{n}{N-1}+\beta\cdot K \tag{4}$$

式中：C为标准必要专利在主路径中的核心度；n为主路径中与标准必要专利直接关联的专利数量；N为主路径中的专利总数量；K为路径关键度，若移除标准必要专利后主路径断裂则K=1，否则K=0；α和β为权重系数，经敏感性分析，α取值0.3，β取值0.7。

对于包含多个标准必要专利的技术轨道，以各标准必要专利直接关联的专利数量占轨道内所有标准必要专利直接关联专利总数的比例为权重，对各标准必要专利的核心度进行加权平均，获得最终的标准必要专利核心度。

（2）成熟度。该指标主要从两个维度对标准必要专利进行测度，综合衡量标准必要专利所代表技术的稳定性和发展阶段：一是标准必要专利出现时间与技术轨道生命周期跨度的相对关系，反映技术验证周期；二是标准必要专利的标准覆盖程度，用标准数量占比体现技术被行业标准采纳的广度。成熟度高表明技术已被充分验证且被广泛标准化，具备长期稳定性，计算方法如式（5）所示。

$$M=\gamma\cdot\frac{\Delta T}{S}+\varepsilon\cdot\frac{B/\overline{B}-\min\left(B/\overline{B}\right)}{\max\left(B/\overline{B}\right)-\min\left(B/\overline{B}\right)} \tag{5}$$

式中：M为标准必要专利在主路径中的成熟度；ΔT为标准必要专利出现的时间与主路径截止时间的差值；S为主路径的时间跨度；B为标准必要专利相关的标准数量；$\overline{B}$为引证网络中所有标准必要专利相关的标准平均数量；γ和ε为权重系数，经敏感性分析，γ取值0.8，ε取值0.2。由于$B/\overline{B}$存在极端值，对其进行0~1标准化，以限制其对结果的放大效应。

对于包含多个标准必要专利的技术轨道，最终的成熟度采用加权平均法计算，其中权重为各标准必要专利所对应的标准数量占轨道内所有标准必要专利对应标准数量总和的比例。

（3）融合度。该指标通过分析标准必要专利的跨领域技术整合能力，衡量其在技术主路径中的创新性和多样性，IPC覆盖度体现技术融合的广度。融合度越高表明标准必要专利涉及的技术领域越多元，具备更强的交叉创新潜力，计算方法如式（6）所示。

$$I=\frac{F/\overline{F}-\min\left(F/\overline{F}\right)}{\max\left(F/\overline{F}\right)-\min\left(F/\overline{F}\right)} \tag{6}$$

式中：I为标准必要专利在主路径中的融合度；F为标准必要专利涉及的IPC小类数量；$\overline{F}$为引证网络中所有专利涉及的IPC小类平均数量。由于$F/\overline{F}$可能大于1，对其进行0~1标准化，将其与上述两个指标控制在同一量级内。

对于含有多个标准必要专利的技术轨道，融合度采用相同的加权平均法计算，其中权重为各标准必要专利涉及的IPC小类数量占轨道内所有标准必要专利涉及IPC小类总数的比例。

2.3.1.2 产业技术轨道分类及演化分析

首先，对每条已识别的技术主路径，计算其包含的

所有标准必要专利的核心度、成熟度与融合度3个指标的加权平均值，以此表征技术轨道的整体技术结构与地位。其次，将已标准化至[0，1]区间的指标按设定阈值划分为“高”或“低”。为确保阈值选择的客观性与分类稳健性，在以理论中点为基准的同时，通过对比更宽松与更严格阈值下的结果进行敏感性分析，据此确定最优标准。最后，依据3个指标“高”“低”状态的组合关系，将技术轨道划分为8种类型（见表1）。

表1　技术轨道演化特征

技术轨道名称	测度指标			核心特征
	核心度	成熟度	融合度	
引领型技术轨道	高	高	高	以成熟且能跨领域整合的标准必要专利为核心，其主导的多技术协同发展路径将持续定义下一代系统架构与标准
基础型技术轨道	高	高	低	标准必要专利覆盖广、稳定性强，但技术融合有限，主要提供底层支撑，若难与人工智能等新技术融合，其主导力可能下降
前沿型技术轨道	高	低	高	标准必要专利处于快速成长期，具备强技术交叉融合潜力，密集的研发投入有望孕育颠覆性技术创新并塑造未来产业格局
潜力型技术轨道	高	低	低	标准必要专利虽占核心地位，但技术尚不成熟且创新受限，正处突破瓶颈、向主流轨道演进的关键时期
融通型技术轨道	低	高	高	标准必要专利作为辅助模块，通过协同创新提升影响力，未来有望广泛嵌入各系统，成为关键赋能支撑
固守型技术轨道	低	高	低	标准必要专利创新乏力且局限于特定领域，易被新技术替代，可能随技术演进逐渐边缘化
创新型技术轨道	低	低	高	标准必要专利处于非关键位置且不稳定，但跨领域整合潜力大，其长期价值取决于能否实现从概念验证到规模化应用的突破
边缘型技术轨道	低	低	低	标准必要专利影响力弱且技术不成熟，主要依附于主流技术或细分市场，在技术收敛趋势下易被整合或淘汰

2.3.2　无标准必要专利产业技术轨道演化分析

为全面揭示产业技术轨道的整体演化规律，将无标准必要专利产业技术轨道作为关键对照，通过系统比较两类轨道的演化特征，进一步明晰标准必要专利在技术轨道中的关键作用。无标准必要专利产业技术轨道多处于早期探索或边缘领域，因缺乏标准化共识发展路径呈分散化、碎片化，其创新方向虽更为多样，有利于探索不同技术路径与潜在突破，但是容易导致技术资源分散、研发效率降低，并且由于技术传播相对缓慢，企业间兼容性不足，市场影响力有限。

3　实证研究

无线通信是现代通信的核心领域，该领域专利密集、标准必要专利竞争激烈，是我国《“十四五”国家信息化规划》等重点政策明确指明的战略性方向，也是全球技术竞争的制高点。无线通信技术经历了从2G到5G的代际演进，应用场景已从传统通信扩展至智能交通、工业互联网等众多领域。因此，本研究选取无线通信技术作为实证研究对象，以深度解析其技术轨道演进规律。

3.1　无线通信领域双加权专利引证网络构建

3.1.1　数据获取及预处理

选取智慧芽专利数据库作为专利数据来源。构建检索式为DESC_F:（“无线通信”），专利类型设定为“发明申请”与“授权发明”，申请时间设定为2010年1月1日—2024年12月31日，检索日期为2025年2月20日。共检索到161 413件专利，包含99 673组简单同族专利，24 390件标准必要专利。每组简单同族专利仅保留公开（公告）号最早的专利数据，下载公开（公告）号、标题、摘要、IPC、引用专利、标准必要专利信息等字段，并根据引用专利信息补充未检索到的相关专利。对下载的数据进行清洗规范，步骤如下：①删除重复及无关的专利记录；②检查数据的完整性，对于存在信息缺失的数据，通过星河智源专利数据库、incoPat全球专利数据库等进行补齐，对于少量补齐困难、仍缺失关键信息的数据予以删除，以保证数据的可靠性和有效性。

3.1.2 双加权专利引证网络构建

统计各专利的IPC小类，根据式（1）计算引证网络中各边的IPC共现加权系数。借助Python程序计算引证网络中被引专利节点的CiteRank值。

结合引证网络中各边的IPC共现权重及被引专利节点的CiteRank值，根据式（2）、式（3）计算双加权专利引证网络的边权重。

经计算，无线通信领域专利引证网络共包含310 987对引用关系，规模庞大、结构复杂，边权重分布广泛，最小为0.01，最大为6.92，平均为0.29。为排除偶然或弱关联对核心技术路径识别的干扰，筛选边权重大于平均值0.29的引用关系，构建精简后的网络，最终保留119 723对引用关系，以聚焦具有实质性技术关联的演进路径。

3.2 引证网络聚类及技术主路径识别

采用Node2Vec结合K-Means算法对精简后无线通信领域专利引证网络进行聚类分析。首先利用Node2Vec生成节点嵌入向量，扩大上下文窗口至15并进行负采样以优化表示。其次对向量标准化，采用K-Means算法确定最优聚类数为20，并基于邻居关系进行后处理优化。再次对聚类结果进行质量评估，类内边比例达80.80%，表明聚类能有效识别技术关联紧密的专利群组。最后通过t-SNE算法降维，保存各聚类子图用于后续分析。

各群组节点与边数量如表2所示。由于Cluster_5仅包含8个节点且规模过小，为保证技术轨道识别与演化分析的代表性，将其剔除并聚焦于其他19个规模较大的群组进行研究。聚类完成后，借助Pajek软件进行技术主路径识别。首先，将每个聚类子网络导入Pajek软件，为聚焦于最大连通成分进行核心分析，选取其最大连接组件；其次，为确保路径搜索的可行性与效率，对网络中的强连通组件进行收缩并移除可能的环路；最后，调用软件中的SPC算法执行全局路径搜索，依据SPC值自动识别出关键路径。通过上述过程，共识别出19条技术主路径，每条主路径均由系列高SPC值的专利引证链接构成，代表了无线通信领域中多条明确且重要的技术演进路线。在智慧芽标准必要专利数据源中检索19条技术主路径涉及的专利节点，识别其是否为标准必要专利，最终得到含标准必要专利的技术主路径8条，无标准必要专利的技术主路径11条。

表2 各群组节点及边数量

群组	节点数量/个	边数量/条
Cluster_0	8 893	6 058
Cluster_1	7 773	5 136
Cluster_2	8 120	5 051
Cluster_3	7 207	4 590
Cluster_4	8 150	4 944
Cluster_5	8	8
Cluster_6	5 693	3 534
Cluster_7	6 736	3 982
Cluster_8	8 633	5 891
Cluster_9	9 175	5 992
Cluster_10	8 730	5 512
Cluster_11	8 055	4 963
Cluster_12	6 622	4 099
Cluster_13	6 677	4 142
Cluster_14	6 475	3 889
Cluster_15	6 409	3 789
Cluster_16	8 995	6 216
Cluster_17	15 214	9 782
Cluster_18	7 879	5 097
Cluster_19	6 899	4 057

3.3 无线通信领域产业技术轨道演化分析

3.3.1 含标准必要专利的产业技术轨道演化分析

含标准必要专利的无线通信技术轨道如图2所示，其中形状相同的节点属于一条技术轨道，空心节点为普通专利，实心节点为标准必要专利，轨道序号与群组序号相对应。为划分轨道类型，首先以标准化区间中点0.5为基准阈值，并进一步设置0.4、0.6及样本均值进行稳健性检验。当阈值放宽至0.4时分类结果完全一致，收紧至0.6时一致性降至55.6%，表明部分轨道指标值集中于0.5，该阈值能有效识别临界样本；样本均值下的分类一致性为77.8%，说明0.5与数据整体趋势基本吻合，因此被确定为最终分类标准。

根据各技术轨道的计算结果，构建技术轨道*C-M-I*三维散点图（见图3）。含标准必要专利的无线通信技术轨道可划分为引领型、潜力型、前沿型、固守型及边缘型5种类型。

（1）Track_2 控制信道增强轨道（潜力型）。聚焦控制信道可靠性增强，标准必要专利围绕信令动态冗

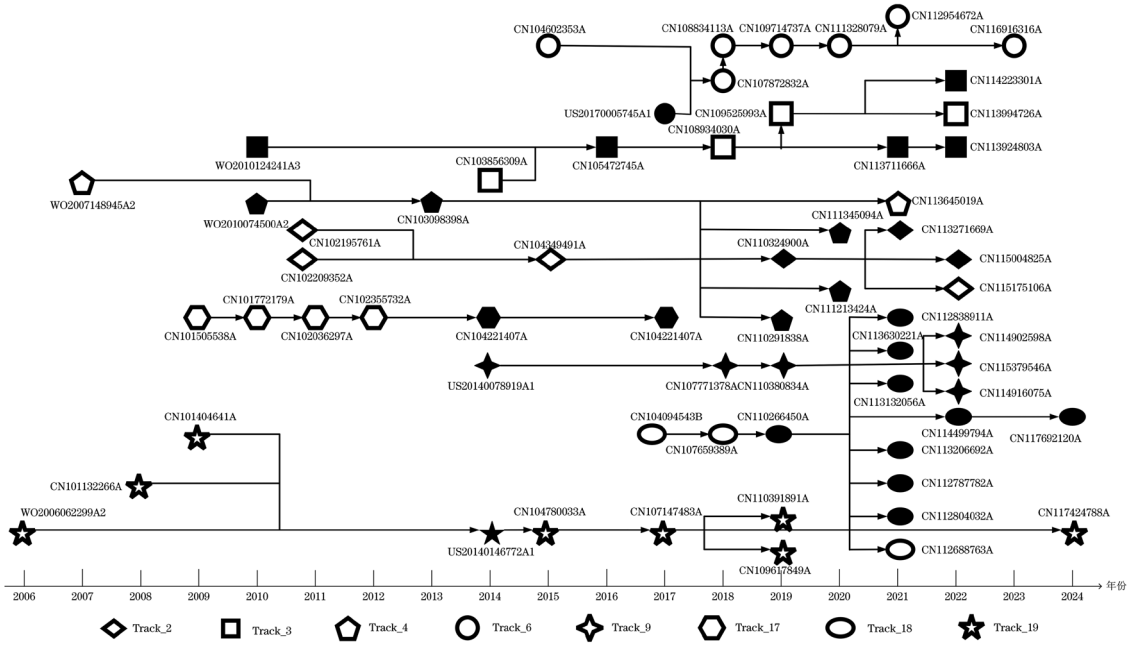

图2　含标准必要专利的无线通信技术轨道

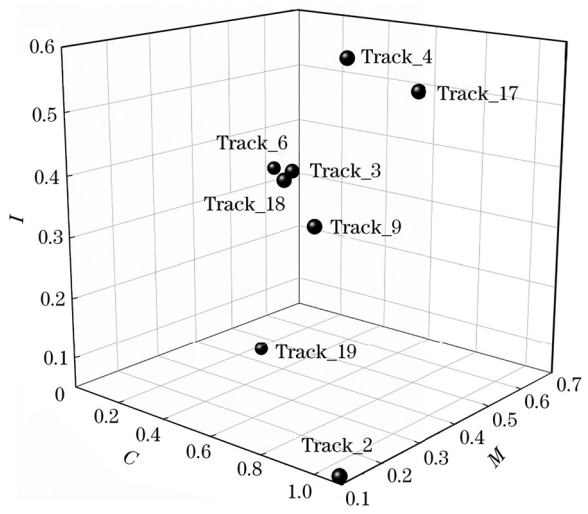

图3　技术轨道*C-M-I*三维散点图

余设计，目前技术成熟度与融合度不高，处于发展阶段。若能持续推进标准化，有望拓展为更重要的技术方向；否则可能长期停留在局部优化层面，难以成为主导路径。

（2）Track_3 无线资源协调轨道（边缘型）。主要针对特定场景的资源协调与干扰管理，标准必要专利的支撑作用较弱，技术路径较为分散。其发展依赖细分市场，易受主流技术影响，如果未来不能形成更具共识的解决方案，可能被其他轨道吸收或替代。

（3）Track_4 多载波资源调度轨道（前沿型）。专注多载波调度与资源动态优化，由标准必要专利主导，技术成长较快、融合能力较强，但标准仍在完善中。预计未来可进一步融入大规模天线等新架构，支持6G空天海地一体化网络的演进。

（4）Track_6 D2D干扰管理轨道（固守型）。围绕D2D（Device-to-Device）通信干扰管理与隐蔽传输优化，相关技术已被第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project，3GPP）采纳，较为成熟，但与其他技术融合能力有限。随着6G网络架构演进，若不能适应新的系统需求，其重要性可能逐渐降低。

（5）Track_9 动态波束管理轨道（潜力型）。聚焦波束管理与动态资源调度，全部由标准必要专利构成，目前技术整体处于发展期。若能加快标准化与产业化进程，有望成为重要应用方向；若进展缓慢，则技术影响范围可能受限。

（6）Track_17 信道与载波协同轨道（引领型）。以控制信道与多载波协同调度为核心，标准必要专利持续更新，技术整合与带动能力强。未来通过向太赫兹等新频谱扩展，或结合人工智能算法，可进一步巩固其在系统演进中的核心地位。

（7）Track_18 时频资源绑定轨道（边缘型）。专注于控制信道资源动态绑定的场景化优化，标准必要专利作用有限，目前主要服务于物联网等边缘场景，若主流网络架构持续升级，该轨道未来独立演进的动力可能会逐渐减弱。

（8）Track_19 子载波导频管理轨道（固守型）。

围绕子载波与导频管理展开，技术已比较成熟，但创新多集中于改进型优化。面对6G全频谱接入等新架构要求，如果无法实现突破性设计，可能逐渐转变为辅助性或过渡性方案。

3.3.2 无标准必要专利产业技术轨道演化分析

与已形成稳定主导地位的含标准必要专利轨道相比，无标准必要专利技术轨道的活动多聚焦于垂直领域的局部功能优化，创新布局呈现碎片化，专利多围绕非标准化解决方案展开，缺乏强有力的核心专利形成技术共识，因而长期处于探索阶段。在演化路径上，其发展高度依赖特定市场需求牵引，但由于跨领域融合能力薄弱，难以融入或突破现有主流网络框架，往往作为补充性方案存在，或延续为相对边缘的过渡性方案。

以Track_15 无人机通信干扰管理轨道为例（见图4），该轨道聚焦于无人机通信中的干扰管理与网络部署优化，其技术发展路径呈现显著的分散化特征。相关专利围绕无人机动态接入蜂窝网络等场景化需求展开，在垂直领域内虽具备明确的应用价值，但尚未深度嵌入以标准必要专利为核心的主流技术架构，整体技术路径较为碎片化。未来若能在人工智能自主组网等关键使能技术上取得突破，则有望推动相关协议走向标准化，进而实现向含标准必要专利轨道的演进；反之，若其技术长期受限于场景专用性而无法实现广泛互联，则可能逐渐被5G/6G等核心通信网络的技术体系所整合吸收，最终边缘化。

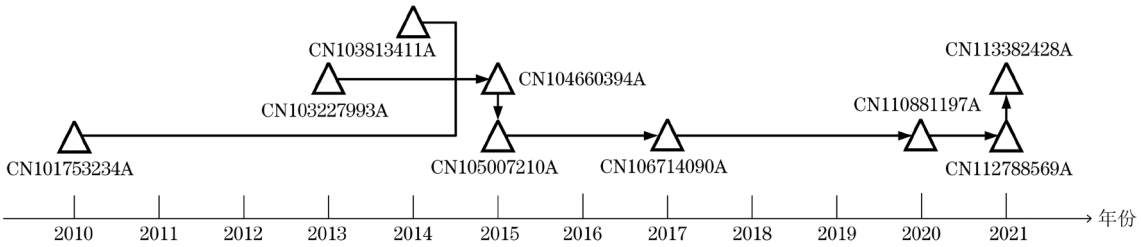

图4 Track_15示意图

为验证所提方法的有效性，将实证分析结果与3GPP标准文献、运营商白皮书及欧洲电信标准化协会技术报告等进行系统对比。调研表明，识别出的19条技术轨道与无线通信实际发展路径高度契合，其中8条含标准必要专利的轨道覆盖了5G-Advanced及6G预研阶段的核心标准化方向。技术轨道分类体系与产业实践中的成熟度分级、影响力评估相符，反映了标准必要专利在技术架构中的支撑作用，演化路径分析也准确揭示了该领域的技术演进规律，从而验证了所提方法的科学性与可靠性。未来随着6G空天地海一体化网络建设与跨领域技术融合的深化，相关技术轨道有望进一步向前沿延伸，逐步形成更具创新性与泛在性的技术生态体系。

4 结语

本研究提出了一种基于标准必要专利的产业技术轨道识别与演化分析方法：首先构建了基于IPC共现和CiteRank算法的双加权专利引证网络；其次利用聚类分析及SPC算法识别了产业技术主路径，并构建多维度指标定量评估标准必要专利在技术主路径中的角色，划分技术轨道类型，分析其演化特征及未来发展趋势；最后以无线通信领域为例进行实证研究，识别出含标准必要专利技术轨道8条（涵盖引领型、前沿型、边缘型等多种类型），无标准必要专利技术轨道11条，在明晰各类轨道历史路径的基础上，进一步对其发展潜力与演进方向进行了研判。

本研究的贡献如下：①提出了一种双加权引证网络的构建方法，将IPC共现情况和CiteRank算法相结合对专利引证网络进行双加权处理，有助于提高技术轨道的识别准确性和结构鲁棒性；②建立以标准必要专利为核心的技术轨道分析框架，该框架不仅实现了对技术轨道的有效识别与分类，还通过多维指标与对比分析，深化了对轨道演化规律的理解。

本研究还存在以下不足：①标准必要专利对技术轨道的作用具有复杂性，判定标准必要专利在技术轨道中的角色特征时使用的指标具有一定的局限性，未来可进一步完善指标体系，以更加精准地揭示标准必要

专利与技术轨道间的复杂作用机制；②在识别主路径时仅考虑了聚类后的类内引用关系，少量类间引用关系未被充分考虑，未来可改进算法以兼顾类间引用关系，更全面地捕捉技术轨道的演化特征，提高技术轨道识别的准确性和可靠性。

参考文献

[1] 高杰，赵炯明，辛明哲，等. 专利与标准融合路径研究及对策[J]. 机械工业标准化与质量，2023（7）：7-11.

[2] 中国标准化研究院.《标准必要专利发展报告（2024年）全文公开发布》[EB/OL]. [2025-11-26]. https://www.cnis.ac.cn/ynbm/llyzlyjs/zhxw/202409/t20240927_58835.html.

[3] NELSON R R，WINTER S G. Evolutionary theorizing in economics[J]. The Journal of Economic Perspectives，2002，16（2）：23-46.

[4] DOSI G. Technological paradigms and technological trajectories：a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change[J]. Research Policy，1982，11（3）：147-162.

[5] 方曙，胡正银，庞弘燊，等. 基于专利文献的技术演化分析方法研究[J]. 图书情报工作，2011，55（22）：42-46.

[6] 李利剑，郭新有，唐娟. 我国钢铁工艺技术创新模式[J]. 科研管理，2008，29（1）：29-33，40.

[7] 缪小明，赵静. 基于专利数据的汽车产业技术轨道研究[J]. 科研管理，2014，35（10）：101-106.

[8] HUMMON N P，DEREIAN P. Connectivity in a citation network：the development of DNA theory[J]. Social Networks，1989，11（1）：39-63.

[9] BATAGELJ V. Efficient algorithms for citation network analysis[EB/OL]. [2025-11-12]. https://arxiv.org/abs/cs/0309023.

[10] LI X，XIE Q Q，JIANG J J，et al. Identifying and monitoring the development trends of emerging technologies using patent analysis and Twitter data mining：the case of perovskite solar cell technology[J]. Technological Forecasting and Social Change，2019，146：687-705.

[11] 李强，龚涛. 我国标准必要专利研究趋势和研究热点的可视化分析[J]. 标准科学，2023（10）：27-35.

[12] 魏晓川，徐琴，黄兴德，等. 基于专利与标准融合的科技项目管理策略研究[J]. 大众标准化，2024（19）：10-12.

[13] 张梦诗，肖国华. 基于标准必要专利的人工智能发展现状研究[J]. 世界科技研究与发展，2024，46（4）：511-523.

[14] CHANG S H. Analyses of the key technologies and development trends of optical networks from the perspective of standard essential patents[J]. Applied Sciences，2021，11（4）：1583.

[15] CHANG S H. Technical trends of artificial intelligence in standard-essential patents[J]. Data Technologies and Applications，2020，55（1）：97-117.

[16] MATTHEW R L. Standard essential patents（SEPs）：costs and benefits of broad application[EB/OL]. [2025-12-27]. https://ccbjournal.com/articles/standard-essential-patentsseps-costs-and-benefits-broad-application.

[17] 崔维军，李璐，韩硕，等. 5G标准必要专利分布特征：国际比较研究[J]. 科技管理研究，2022，42（5）：162-169.

[18] WALKER D，XIE H F，YAN K K，et al. Ranking scientific publications using a model of network traffic[J]. Journal of Statistical Mechanics：Theory and Experiment，2007，2007（6）：P06010.

[19] 张勇，杨赛军，黄华. CiteRank算法在文献多指标排序中的应用[J]. 中国科技资源导刊，2021，53（4）：32-37.

[20] 杨武，陈培，DAVID G，等. 技术轨道延伸与破解技术路径锁定研究：以光刻产业为例[J]. 科学学研究，2023，41（6）：1014-1026.

作者简介

陈可鑫，女，硕士研究生，研究方向：科技情报分析。
董坤，女，副教授，硕士生导师，通信作者，研究方向：产业情报、科技情报，E-mail：kekey111@126.com。
慕青秀，女，硕士研究生，研究方向：科技情报分析。
崔子航，男，硕士研究生，研究方向：科技情报分析。

Identification and Evolution of Industrial Technology Tracks Based on Standard Essential Patents

CHEN KeXin DONG Kun MU QingXiu CUI ZiHang
(School of Information Management, Shandong University of Technology, Zibo 255049, P. R. China)

Abstract: Accurately identifying industrial technology tracks and revealing their evolutionary patterns are key foundations for scientifically assessing technological development trends and proactively planning industrial innovations. This study constructs a doubly weighted patent citation network based on IPC co-occurrence weighting and CiteRank algorithm weighting, integrating cluster analysis with SPC algorithm to identify technical main paths. By utilizing multidimensional evaluation metrics, it assesses the roles of standard essential patents, categorizes technology track types, and analyzes their evolutionary characteristics and future trends. Empirical research in the field of wireless communication demonstrates that this method can classify industrial technology tracks into leading, frontier, marginal, and other types based on standard essential patents, systematically revealing the structural features, evolutionary patterns, and development potential of each type, thereby providing a quantitative tool for industrial technology foresight, innovation planning, and standard formulation.

Keywords: Technology Track; Main Path Identification; Standard Essential Patent; Dual-Weighted Citation Network; Evolution Analysis

（责任编辑：常春）