



中國人民大學

學報

工作论文系列

Working Paper Series

科学问题视角下  
学科交叉融合路径的语义表征研究

肖 玥 索传军

JRUCWP20260032

2026. 04. 03

- \* 本刊编辑部将那些已通过审稿程序而处于“拟录用”状态的稿件制作成线上展示的工作论文，旨在及时传播学术研究成果而促进学术进步。编辑部还将继续与作者共同努力，修改完善论文，并在其达到刊发标准之后择期正式刊发。当然，若工作论文被发现存在严重的质量问题，则仍有可能被退稿。

# 科学问题视角下 学科交叉融合路径的语义表征研究

肖 玥 索传军

**[摘要]** 科学问题是科学研究的起点，解决问题是开展研究的根本动力。学科交叉研究的历程，本质上是不同学科的学者从多维度视角出发解决同一问题的过程。从科学问题视角出发刻画学科交叉融合路径，不仅能够纵向凸显各学科解决问题的过程，还能横向反映出以问题为单位的学科交叉情况，有助于实现语义层面和细粒度的学科交叉融合路径的挖掘、计量和评价。首先，论述科学问题的解决过程，从而揭示基于该过程形成的学科交叉融合路径。其次，基于学术文献，探索学科交叉融合路径对科学问题研究过程和学科交互关系的双重语义表征形式；建立“知识单元—学科”关系，实现知识单元层面的路径挖掘和学科交叉关系体现。之后，借助语义三元组构建学科交叉融合路径的语义表征框架，阐明三元组的含义与表征，实现学科交叉融合路径的结构化刻画。最后，以“智慧养老”领域为实例，验证科学问题视角下学科交叉融合路径及其表征框架的科学性和可行性，展示其所具备的反映问题解决和学科交融的双重作用。

**[关键词]** 学科交叉路径；科学问题；表征框架；语义三元组；学科交叉关系

## 一、引言

科学活动论认为，科学不仅是一种客观知识体系，还是一种特殊的人类活动。<sup>①</sup> 科学活动的本质在于永无止境地发现与探索，是由一系列动态的、非线性的环节所构成的发展序列，必然具备符合自身逻辑的进程。学科交叉融合作为一类科学活动，客观存在着各学科知识为解决同一问题而汇集并交叉融合的过程。<sup>②</sup> 在这一过程中，学科知识并非无目的地游走，而是围绕超出单一学科范围或研究实践领域的问题，将来自两个以上的学科或者专业知识团体的信息、数据、方法、工具、观点、概念和理论进行整合或重组。<sup>③</sup> 形成了以问题域为导向、以方法论为核心的演进规律。<sup>④</sup> 学科交叉融合路径就是将多学科知识单元，按照问题解决的需要进行重新结构化的过程，同时也是科学

---

**作者：**肖玥，中国人民大学信息资源管理学院博士研究生，xiaoyue13@ruc.edu.cn；索传军（通讯作者），中国人民大学信息资源管理学院教授，博士生导师，suocj@ruc.edu.cn。

① 刘大椿：《从中心到边缘：科学、哲学、人文之反思》，4-5页，北京师范大学出版社，2006。

② 周源、董放、刘宇飞：《融合新兴领域知识融合过程研究——以生物信息领域为例》，载《图书情报工作》，2019（8）。

③ National Academy of Sciences, National Academy of Engineering and Institute of Medicine. *Facilitating Interdisciplinary Research*. The National Academies Press, 2005.

④ 马费成、张帅：《我国图书情报领域新兴交叉学科发展探析》，载《中国图书馆学报》，2023（2）。

问题消解的过程，目的是创造出实质性成果。<sup>①</sup> 记录和描述学科交叉融合路径的主要载体之一是学科交叉研究文献，表现为关于一个或一组科学问题的描述、求解和说明。遵循图书情报学以文献为核心研究内容的范式，对学科交叉融合路径的描述应基于记载其规律的文献开展。因此，若能从科学问题探索的视角出发，围绕文献中不同学科概念、理论、方法、技术、工具等知识单元，精细化和结构化地描述其是通过何种方式有序作用于复杂问题，实现知识整合并产生出问题的“解”这一过程，就能有效表示出学科交叉融合的内容、方式与过程，梳理出复杂性问题的解决路径，为识别、计量和评价学科交叉研究提供创新思路和方法。

当前学界对学科交叉融合路径的描述大体包括三条思路，分别为：案例叙事、计量图谱和阶段模型。案例叙事侧重剖析典型交叉项目的技术整合细节，注重阐述学科交叉研究活动的开展过程<sup>②</sup>、影响交叉研究活动开展的各项因素<sup>③</sup>等，与基于学术文献的表征路径存在明显差异；计量图谱借助文献引证、作者合作、关键词共现和文本聚类等方式反映学科之间的交叉关系<sup>④</sup>，以关键词和主题词指代理论、方法、工具等学科知识单元，能够直观体现出学科交汇的密集区，为学科交叉知识的识别与大规模数据级计量做出了关键性贡献，但难以展现语义层面的交互逻辑；阶段模型则通过知识结构、活动轨迹等视角描述领域知识流动过程<sup>⑤</sup>和交叉学科的构建过程<sup>⑥</sup>，揭示学科交叉融合的线性演进规律，注重对阶段的抽象总结，但容易遗漏知识单元等细节。总体来看，三种思路仍存在一定不足：一是较少从学科交叉融合的根本目的出发——对科学问题的消解作用，来梳理其发展脉络；二是对学科交叉关系的挖掘，仍以引文和文献外部特征为主，较少通过知识单元之间的交互关系来反映学科交叉关系；三是缺少对学科交叉融合路径细粒度和结构化的表示框架，对其构成实体与关系缺乏统一的描述规范，不仅使得路径的系统性、操作性和可复现性受限，还难以支持语义层面的量化分析。

面对上述困境，现有研究常借助主谓宾语三元组结构（Subject-Action-Object, SAO）进行信息表征，尤其在新兴技术识别、技术主题分析与专利演化轨迹挖掘中已有成熟应用。<sup>⑦</sup> 这一方式既能够以高度结构化的形式直接描述知识之间的具体作用、影响与因果机制，又克服了叙事分析与阶段模型无法大规模计算的固有局限。本文旨在实现精炼且结构化地描述学科交叉融合过程，核心是准确描述学科知识单元之间的关系，SAO方法的特点恰好契合这一目标。因此，本研究借助这一方式对科学问题视角下的学科交叉融合路径进行语义描述，以清晰呈现知识流动与演化轨迹，支持知识图谱构建与自动化处理，从而为后续的路径可视化、量化分析及知识发现奠定基础。

鉴于此，本文首先以科学问题的消解过程为切入点，系统解构学科交叉融合路径的形成逻辑；其次，基于学科交叉研究文献，从科学问题视角出发分析该路径与文献结构的对应关系，阐明路径的表现形态与类型，同时从学科交互视角出发，利用“知识单元—学科”关系实现该路径对于学科交融情况的表征；之后，借助SAO结构实现路径的结构化表示，解析三元组内涵，从而建立语义

① G. Zaman, and Z. Goschin. “Multidisciplinarity, Interdisciplinarity and Transdisciplinarity: Theoretical Approaches and Implications for the Strategy of Post-Crisis Sustainable Development”. *Theoretical & Applied Economics*, 2010, 17 (12): 5-20.

② B. Feldhoff, et al. “Bridging Theories and Practices: Boundary Objects and Constellation Analysis As Vehicles for Interdisciplinary Knowledge Integration”. *Sustainability*, 2019, 11 (19): 5357.

③ D. J. LANG, et al. “Transdisciplinary Research in Sustainability Science: Practice, Principles, and Challenges”. *Sustainability Science*, 2012, 7: 25-43.

④ 黄颖等：《跨学科的三维测度——外部知识融合、内在知识会聚与科学合作模式》，载《科学学研究》，2019（1）。

⑤ 商宪丽等：《基于引文内容分析的交叉领域知识内化过程研究》，载《情报科学》，2023（2）。

⑥ 蒋颖、逯万辉：《来源学科视角下的交叉学科发展机制研究——基于计算语言学的考察与分析》，载《图书情报知识》，2022（4）。

⑦ 李欣等：《基于SAO结构语义挖掘的新兴技术演化轨迹研究》，载《科学学与科学技术管理》，2018（1）。

知识层面学科交叉融合路径的结构化表征框架；最后，通过实例验证本文所提出思路和方法的可行性，以期突破传统文献计量学在语义挖掘上的局限性，为学科交叉融合路径的描述提供新视角，为基于科学问题的学科交叉融合计量与评价研究提供理论基础。

## 二、文献综述

当前，学界已逐步从测度学科交叉程度向描述学科交叉过程发展，计量学也从“引用形式的度量”向“语义知识的度量”转变<sup>①</sup>，注重对全文本知识单元和语义信息的提取和分析，强调知识内容在学术评价中的重要性<sup>②</sup>。因而，学界不断探索全文本计量的方法和量化范畴。

对于文本知识提取，相关研究整体表现出抽取范围不断扩大、抽取精细度不断提高的特征。在科研贡献句层面，章成志、蔡乐等通过挖掘创新研究评价句，分析其内容特征与规律<sup>③</sup>，并实现贡献类型的划分<sup>④</sup>。Le等从论文施引句入手，识别研究的问题、方法和结论，从而评价被引文献的贡献程度<sup>⑤</sup>。随着研究的不断深入，科研贡献的挖掘逐渐细化至词语级，将提取对象聚焦至通用实体和领域实体两个方面<sup>⑥</sup>。其中，通用实体主要包括：问题、方法、目标、实验设置、结果、任务、实验、消融分析、基线、代码、算法、理论、数据集、研究范畴、评价指标等<sup>⑦⑧</sup>；领域实体则针对不同学科进行划分，如医学领域包含的基因、病毒、药物等<sup>⑨</sup>。

相应地，文本知识的表示方式和提取方法也不断更新。温有奎等较早构建出学术成果创新点本体模型，利用创新要素之间的语义关系实现了创新点的挖掘<sup>⑩</sup>；索传军等提出用知识元表示学术本文中常识知识、引证知识和创新知识的方法，明确了其描述规则<sup>⑪</sup>。文本知识提取方法也经历了从基于规则的抽取、利用机器学习方法和深度学习实现抽取，到基于预训练模型抽取的演进过程。随着大语言模型的诞生，利用大模型提示学习和微调实现抽取的研究逐步开展。例如，孙蒙鸽等提出一种基于大模型提示学习的知识实体抽取策略<sup>⑫</sup>；刘启刚等提出了基于大模型的多关系联合抽取方法，探索了大模型在研究问题和研究方法抽取中的应用<sup>⑬</sup>。

在通用性文本语义知识提取的研究基础上，不少学者探索了学科交叉知识的提取与计量分析方法，包括：一是基于引文内容的学科交叉知识提取，李长玲等基于知识势能、“知识中间人”等理论识别学科交叉相关知识组合，从而发现潜在合作可能性大的跨学科知识生长点<sup>⑭</sup>；徐庶睿等深入

① P. Knoth, and D. Herrmannova. "Towards Semantometrics: A New Semantic Similarity Based Measure for Assessing A Research Publication'S Contribution". *D-Lib Magazine*, 2014, 20 (11): 8.

② 孙震、冷伏海、张晋辉：《基于知识元的科学计量方法及其实证研究》，载《图书情报工作》，2017（23）。

③ 章成志、李铮：《基于学术论文全文的创新研究评价句抽取研究》，载《数据分析与知识发现》，2019（10）。

④ 蔡乐、罗卓然、陆伟：《学术论文科研贡献类型自动识别研究》，载《情报理论与实践》，2023（6）。

⑤ X. Q. Le, et al. "CiteOpinion: Evidence-based Evaluation Tool for Academic Contributions of Research Papers Based on Citing Sentences". *Journal of Data and Information Science*, 2019, 4 (4): 26 - 41.

⑥ Y. Ding, et al. "Entitymetrics: Measuring the impact of entities". *PloS one*, 2013, 8 (8): e71416.

⑦ J. DSouza, S. Auer. "Nlpcontributions: An Annotation Scheme for Machine Reading of Scholarly Contributions in Natural Language Processing Literature". *arXiv preprint*, 2020: 2006.12870.

⑧ 余丽等：《基于深度学习的文本中细粒度知识元抽取方法研究》，载《数据分析与知识发现》，2019（1）。

⑨ O. Babko-Malaya, et al. "Modeling Debate within a Scientific Community". 2013 *International Conference on Social Intelligence and Technology*, IEEE, 2013: 57 - 63.

⑩ 温有奎、吴广印：《碎片化科研创新点动态挖掘研究》，载《数字图书馆论坛》，2014（7）。

⑪ 索传军、盖双双：《知识元的内涵、结构与描述模型研究》，载《中国图书馆学报》，2018（4）。

⑫ 孙蒙鸽等：《面向短文本—多领域科技实体抽取的提示工程构建研究》，载《数据分析与知识发现》，2026（1）。

⑬ 刘启刚等：《大语言模型赋能“问题与方法”学术图谱构建与应用研究》，载《数据分析与知识发现》，2025（11）。

⑭ 李长玲、高峰：《跨学科潜在知识生长点识别与创新趋势预测研究》，165 - 167 页，人民出版社，2024。

挖掘引文内容中的术语，开展术语层面的学科交叉测度<sup>①</sup>；张艺蔓等将引文内容分析与全文本引文分析相结合，探测学科知识流动情况<sup>②</sup>。二是基于全文本的学科交叉知识提取，MaO等通过识别和测量不同学科知识单元的关系，分析其知识扩散过程<sup>③</sup>；孔玲等通过挖掘学科交叉术语，并对其特征计算，探索学科交叉知识扩散和融合规律<sup>④</sup>。从提取知识的内容层面来看，学者们重点以学科交叉研究中的“问题”和“方法”为挖掘点，分析学科之间的跨域流动情况<sup>⑤⑥</sup>。

在借鉴已有研究的基础上，本文进一步从学科交叉研究全本文角度出发，探索学科交叉知识单元的提取、表示和分析的方法，以期进一步完善学科交叉语义知识的挖掘与量化研究。

### 三、科学问题视角下学科交叉融合路径的形成逻辑

基于发生学原理，科学问题是学科交叉的逻辑起点，学科交叉的动力源于复杂现象世界的问题及问题解决<sup>⑦</sup>。因而，学科交叉融合路径始终围绕科学问题的提出和消解过程动态发展。同时，任何科学活动都遵循“提出问题—提出假设—验证假设”的基本步骤，使得学科交叉融合路径也存在特定的阶段性规律。

#### （一）科学问题的提出与消解过程

科学问题是指一定时代的科学家在特定的知识背景下提出的关于科学知识和科学实践中需要解决而尚未解决的问题<sup>⑧</sup>。一旦科学问题被清晰表述，就具备了特定的内部结构。我国学者对科学问题结构的认识基本已达成共识<sup>⑨</sup>，广泛认同林定夷对科学问题一般性结构的观点，即科学问题是由问题的指向、疑项和应答域预设三个要素构成的<sup>⑩</sup>。其中，疑项均可以转换为“……是什么？”的形式，将不同问题的差异集中体现在指向和预设两个方面。问题的指向还可以进一步拆分为问题对象和问题指向，前者指问题依附的研究对象，后者具体指问题求解的未知部分。例如，“基于科学问题视角构建学科交叉融合路径的原因是什么？”中“学科交叉融合路径”是问题对象，“原因”是问题指向，另一项要素“基于科学问题视角”即为应答域预设，是人为设置的问题解的存在域。对科学问题的这一划分方式，已在理论和实践层面得到广泛论述和证实<sup>⑪</sup>，其合理性得到学界认可。因此，结合已有研究，本文定义科学问题的基本结构包括问题对象  $X$ ，问题指向  $\vec{X}$  和问题预设  $T_r$  三个要素：①问题对象  $X$ ，指科学问题所研究的现实事物、现象或领域，限定了研究活动的直接作用范围；②问题指向  $\vec{X}$ ，指问题求解所寻求的具体未知内容或关系，即问题面向的最终目标，它明确了疑项中的核心探究方向；③问题预设  $T_r$ ，在问题学领域也称应答域预设，是指提问者在问题中预先设定的、对答案存在范围或性质的假定或限制，它是一种主观的认知框架，预先划定了寻求答案的主要方向和边界，可以视作理论背景、研究视角和研究方法等预设性要素在问题中的具

① 徐庶睿、卢超、章成志：《术语引用视角下的学科交叉测度——以 PLOS ONE 上六个学科为例》，载《情报学报》，2017（8）。

② 张艺蔓、马秀峰、程结晶：《融合引文内容和全文本引文分析的知识流动研究》，载《情报杂志》，2015（11）。

③ J. Mao, et al. “Quantifying Cross-Disciplinary Knowledge Flow from the Perspective of Content: Introducing an Approach Based on Knowledge Memes”. *Journal of Informetrics*, 2020, 14 (4): 101092.

④ 孔玲等：《跨学科知识扩散视域下学科交叉科学术语识别与特征计算》，载《图书情报工作》，2024（12）。

⑤ 黄晓捷等：《基于“问题—方法”知识元挖掘的学科知识流动研究》，载《图书情报工作》，2024（8）。

⑥ 陈果、彭家彬、肖璐：《基于“问题—方法”知识抽取的科研领域知识演化研究：以人工智能为例》，载《情报理论与实践》，2022（6）。

⑦ 罗生全：《学科交叉的源动力与创新机制》，载《南京社会科学》，2022（9）。

⑧ 沈振东：《科学问题问题域、应答域的难度系数集消解途径研究》，载《宁德师范学院学报（哲学社会科学版）》，2021（2）。

⑨ 索传军、牌艳欣：《科学问题谱系构建研究》载《中国图书馆学报》，2025（1）。

⑩ 林定夷：《科学中问题的结构与问题逻辑》，载《哲学研究》，1988（5）。

⑪ 索传军、李木子：《我国学术论文研究问题探析——基于 2015—2020 年图情领域 CSSCI 发表论文的实证研究》，载《图书情报工作》，2021（19）。

体表现。以上三个要素在具体问题中的表示形式如图 1 所示。

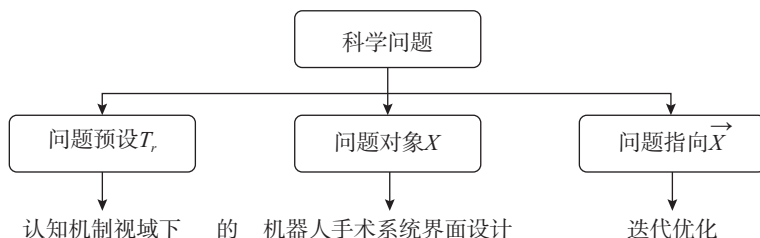


图 1 科学问题的结构

科学问题的求解路径始终受到问题预设的约束，表现为“ $P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$ ”的过程<sup>①</sup>，即科学问题经过试探性解决方案的探索，不断得出其类真解，并尝试排除错误，在得到进步性理论时才标志着其暂时性消解。其中，试探性解决方案是在问题预设框架中产生的，通常是特定的科学共同体在特定时间所掌握的真理性理论<sup>②</sup>；而进步性理论不仅是该解决方案的有效修正，也是科学问题在特定时间和研究背景下的真解。因而，科学问题的消解路径必然要经过以下关键环节：提出科学问题—设置解决方案—得出解决结果。

## （二）科学问题视角下学科交叉融合路径的产生与表示

当科学问题超出单一学科范畴、更多发生在某一学科结构外时，需要开展跨学科深度协同，自然形成了学科交叉研究。科学问题不仅是学科交叉研究的出发点，更决定着学科交叉融合路径的发展形态。因而，对应于科学问题的消解路径，学科交叉研究问题的产生和提出是学科交叉融合路径的起点，其问题解决的过程和结果就是路径的发展过程。

王续琨提出“相关学科的相互促动作用，其实是概念、理论、方法的扩散过程，即概念、理论、方法等知识从一门学科传输到其他学科的过程”。<sup>③</sup> 因此，解决学科交叉研究问题的核心是学科知识单元之间的交互，可以将各知识单元视为问题解决过程中的解决方案。学科交叉融合路径相应表现为：面向不同学科交叉研究问题，各学科有针对性地提供知识单元，共同作为学科交叉解决方案。

若想将这一阶段实现语义表征，需要明确两个问题。一是，学科交叉解决方案的内容是什么，二是，各学科通过什么方式向问题提供解决方案。对于问题一，解决方案内容是指为消解科学问题做出实质性贡献的各学科知识单元之和。对于问题二，各知识单元作为解决方案时会存在多种利用方式，如借鉴、参考、利用、结合等，不同利用方式不仅影响知识单元的作用效果，也决定了各学科融合深度的差异。据此，可以将不同学科利用不同方式面向同一问题输出知识单元的过程表示为：“ $P_i \xrightarrow{U_i} S_i$ ”。其中， $P_i$  代表第  $i$  个学科交叉研究问题； $U_i$  表示第  $i$  种解决方案利用方式； $S_i$  表示第  $i$  个学科交叉解决方案，同时也是第  $i$  个学科知识单元。

通过科学问题的求解路径可知，科学问题解决逻辑和科学理论演进逻辑是相互交织、互为发展的<sup>④</sup>。由此可知，科学问题的消解一定存在科学理论的进步，新理论，即新生知识，就是科学问题的解。在学科交叉融合过程中，新生知识是由解决方案经过实验研究或理论推理过程得到的科学观点、结论或新的科学发现，即学科交叉解决结果。在这一过程中，不同解决方案会对解决结果的产

① 卡尔·波普尔：《客观知识：一个进化论的研究》，321页，上海译文出版社，2015。

② 张怡：《科学问题的动力学研究》，载《哲学研究》，1993（2）。

③ 王续琨：《科学学科学引论》，130页，人民出版社，2017。

④ 沈振东：《科学问题的逻辑构型与问题消解的路径》，载《自然辩证法研究》，2023（7）。

生存在差异性的贡献，即解决结果会有不同的生成方式。

与“设置解决方案”阶段相类似，对学科交叉解决结果产生过程的描述不仅要包含结果的内容，还要阐明不同结果的生成方式，如发现、提出、验证、有效改善等。因此，学科交叉解决方案通过有机融合生成解决结果，即学科交叉融合路径的“得出解决结果”阶段可以表示为：“ $S_i \xrightarrow{G_i} R_i$ ”。其中， $G_i$ 表示第*i*种解决结果生成方式； $R_i$ 表示第*i*个学科交叉解决结果。

综合以上分析，从提出科学问题，到利用多学科知识单元进行解决，并产生交叉性解决结果的过程来看，学科交叉融合路径可以表示为：“学科交叉研究问题 $\xrightarrow{\text{利用方式}}$ 学科交叉解决方案 $\xrightarrow{\text{生成方式}}$ 学科交叉解决结果”，即“ $P_i \xrightarrow{U_i} S_i \xrightarrow{G_i} R_i$ ”。

#### 四、学科交叉融合路径语义表征的理论依据分析

科学问题视角下的学科交叉融合路径具备双重作用：一是，显性展现科学问题解决过程，通过描述学科交叉研究问题从提出到解决的过程，体现问题求解的路径；二是，隐性揭示不同学科交叉融合过程，学科交叉研究与其他研究的差异就在于，利用多学科知识共同探究同一问题，发挥核心作用的是学科知识单元，因而，通过知识单元的所属学科，能够反映出在问题解决过程中各学科交叉融合关系。

为实现以上两类作用，本文相应开展以下两项研究：一是，实现学科交叉融合路径对问题解决过程的完整描述。学术文献是记录科学活动过程和结果的重要载体之一，能够通过细粒度的语义知识单元描述从问题提出到问题解决的全过程<sup>①</sup>。本文基于学术文献内容实现路径的语义化和结构化表征。二是，通过建立“知识单元—学科”关系，借助学科交叉融合路径中的解决方案，即各学科输入的知识单元，展现在问题解决过程中涉入的学科，从而进一步体现学科之间的交叉关系以及各学科对科学问题解决的贡献。

##### （一）学科交叉融合路径对科学问题的表征

为利用学术文献描述学科交叉融合路径，本文首先将学科交叉融合路径映射至文献结构中，明确该路径在文献层面的表现；其次，具体分析路径的类型与表现形态，以及该路径中实体及其关系的类型，以实现学科交叉融合路径在语义层面的细粒度和结构化表示。

##### 1. 学科交叉融合路径的文献结构映射

根据学科交叉融合路径的表示形式，可以将该路径的构成抽象为学科交叉研究问题、学科交叉解决方案和学科交叉解决结果三类实体，以及学科交叉研究问题和学科交叉解决方案之间的利用方式、学科交叉解决方案和学科交叉解决结果之间的生成方式两类关系。逐一分析实体及其关系在学术文献中的具体表现，建立学科交叉融合路径与学术文献的映射关系。

（1）学科交叉研究问题。在学术文献中，学科交叉研究问题通常以陈述句形式展现，表现为经过高度凝练的学术文献标题<sup>②</sup>，既传递作者在论文中探讨的核心问题，又能够帮助读者通过题目信息预见作者将要回答的问题<sup>③</sup>。因此，通过阅读、分解和分析学术文献标题，能够获得学科交叉研究的问题对象、问题指向和问题预设要素。

（2）学科交叉解决方案。除标题外，学术文献的主要介绍性内容整体可以分为摘要和正文两大部分。正文基本可以结构化为引言、材料与方法、结果与讨论（Introduction, Materials and Meth-

① 黄晓捷等：《基于“问题—方法”知识元挖掘的学科知识流动研究》，载《图书情报工作》，2024（8）。

② 陈红琳、魏瑞斌：《期刊论文标题与关键词表达信息的差异性分析》，载《现代情报》，2019（7）。

③ 程齐凯等：《学术文本词汇功能识别——基于标题生成策略和注意力机制的问题方法抽取》，载《情报学报》，2021（1）。

ods, Result and Discussion, IMRaD)<sup>①</sup>。摘要是正文内容的梗概，具有与其相类似的结构，主要包含目的、方法、结果和结论四大要素<sup>②</sup>。学科交叉解决方案对应于文献的“方法”部分，常表现为正文的“研究方法”、“理论基础”、“研究设计”等章节，在摘要中相应属于方法句。结合本文对学科交叉解决方案的定义，其具体对应为方法句中参与问题消解的若干理论、方法、技术、工具等知识单元。

(3) 学科交叉解决结果。根据正文和摘要的基本结构，学科交叉解决结果大多位于“结果”部分，具体表现为语义表达相对完整的针对特定科学问题的解。例如，“基于多核 LSSVM 的谷物蛋白质二级结构预测与优化”的解就是摘要结果句中描述的设计方案的实践结果。正因其语义信息较为完整，学科交叉解决结果通常最大程度可以拆解为若干短文本，即结果句中具有完备知识表达的研究发现或研究结论等。

(4) 学科交叉研究问题和学科交叉解决方案之间的利用方式。这一关系是对学科交叉解决方案在具体问题中的应用方式的描述，这意味着：一方面，其通常与解决方案共同出现，与解决方案形成一一对应的关系；另一方面，在学术文献中，与方案同样位于方法句中。例如，“使用多特征融合方式对蛋白质序列进行特征提取”中的“使用”，就是问题和解决方案之间的利用方式。

(5) 学科交叉解决方案和学科交叉解决结果之间的生成方式。与利用方式的表现形式相似，这一关系是对如何产生解决结果的描述，因而常与解决结果相连，出现在结果句。例如，“显著提高了谷物蛋白质二级结构预测的 Q3 准确率”中“显著提高”就是解决方案和结果之间的生成方式。

根据以上分析，可以得出学科交叉融合路径在学术文献层面的表现。以具体学术文献为例，直观展示其映射关系，如图 2 所示。

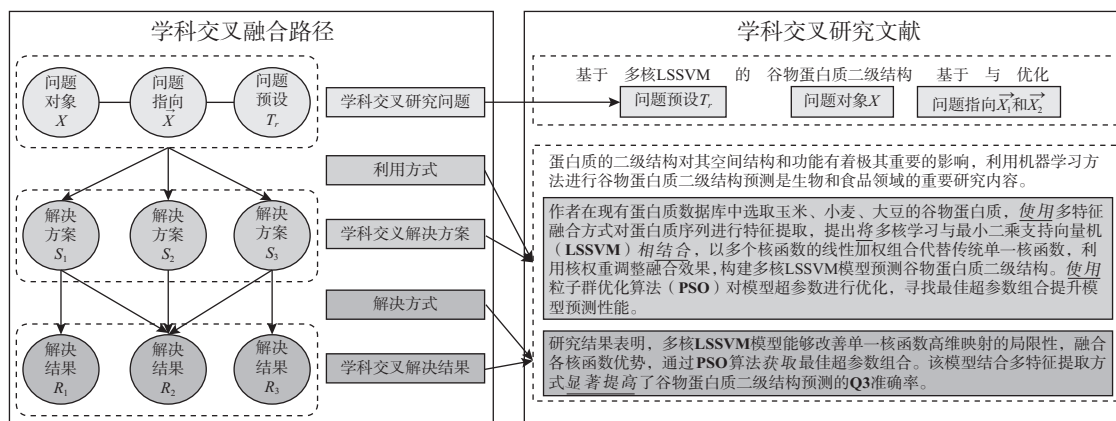


图 2 学科交叉融合路径与学术文献结构的映射关系

## 2. 学科交叉融合路径的类型与表现形态

从科学问题的构成来看，只要任意一项问题要素具备多学科属性，该问题就属于学科交叉研究问题，都需要调用多学科知识来开展研究。但是，根据问题要素交叉属性的差异，会产生不同的交叉融合路径。

对科学问题构成要素逐一开展分析：①问题对象，是研究的核心，存在大量由其产生的交叉研

① 金丹等：《从 EI 收录谈科技论文英文摘要的规范化写作》，载《编辑学报》，2014（S1）。

② 全国文献工作标准化技术委员会：《文摘编写规则：GB6447—86》，参见：<http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&heno=8713727404B8704955E5CAF11EE3EB59>。

究，如“机器人手术系统界面设计”是多学科关注对象，以此为中心会产生学科交叉。不少研究已经证实存在这一交叉研究类型，王续琨将其归纳为内需外引型交叉研究<sup>①</sup>。②问题指向，决定了研究所要解决的具体问题。当问题对象属于单一学科范畴，但具体问题设定处于多学科交界处时，问题指向具备多学科属性。例如，“数字图书馆的版权合理使用规则”中“数字图书馆”属于单一学科研究对象，但正因其问题指向涉及法学，因而需调用法学知识开展研究。③问题预设，突出表现为，将交叉性研究视角或理论知识引入某一问题中。例如“基于多核 LSSVM 的谷物蛋白质二级结构预测与优化”，正因问题预设利用“多核 LSSVM”这一计算机科学技术，来解决食品科学与工程中的“蛋白质二级结构预测和优化”问题，使得该问题具有跨学科属性。

因此，科学问题的三个要素都可能具备多学科属性，根据引发学科交叉研究的主要源头，可以将其划分为问题对象交叉、问题指向交叉和问题预设交叉，如图 3 所示。

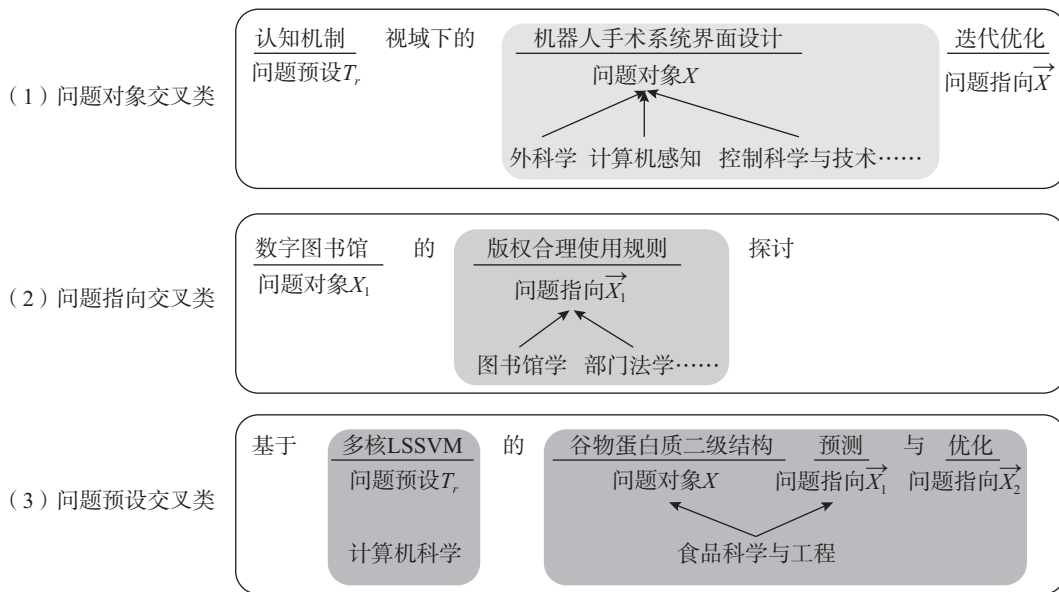


图 3 基于科学问题要素交叉属性的学科交叉融合路径类型划分

基于以上三种交叉类型，会相应形成三种学科交叉融合路径的表现形态：①基于问题对象交叉产生的“辐集聚焦型”学科交叉融合路径。当问题对象具有交叉属性时，围绕其形成的科学问题数量和种类均较为丰富，会引起两门以上的学科从多角度、多途径、全方面地协同攻关，形成多学科向中心辐射渗透的研究网络形态。②基于问题指向交叉产生的“双翼交融型”学科交叉融合路径。这一交叉类型使得研究问题多位于学科交界处，通常需要两门或多门学科通过双向互动、各取所长来共同解决问题，形成以个别学科为主的互补研究形态。③基于问题预设类交叉产生的“定向引入型”学科交叉融合路径。这种交叉类型通常是将某一学科成熟的理论、方法、技术转移至另一个学科，或者将新的交叉型背景知识作为预设，探讨其可能存在的新解，从而形成有针对性地引入部分知识的研究形态。三种形态的表现形式如图 4 所示。

### 3. 学科交叉融合路径构成实体及其关系的类型

基于学科交叉融合的类型，能够预先判断各学科的涉入情况，从而对学科交叉融合路径的基本形态形成认知。但是，从学术文献中抽取出的路径并非单一轨迹，而是由涉入知识单元与交叉方式

<sup>①</sup> 王续琨：《交叉科学结构论》，458 - 459 页，大连理工大学出版社，2013。

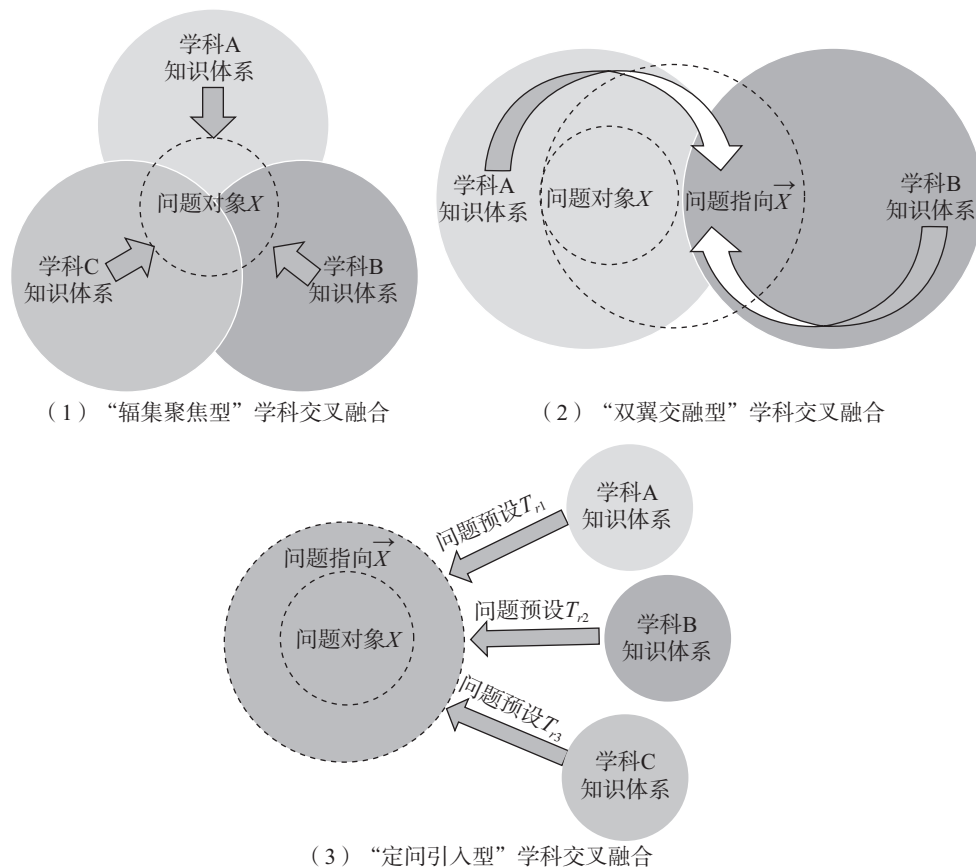


图4 科学问题视角下学科交叉融合路径的表现形态

等多方因素共同决定的。本文在明确学科交叉融合路径基本形态的基础上，总结路径结构中其他两类实体（学科交叉解决方案实体和学科交叉解决结果实体）和两类关系（利用关系和生成关系）的类型，能够进一步提高学科交叉融合路径刻画精细度。

(1) 学科交叉解决方案。知识体系的基本构成包括概念或术语体系、理论体系和方法论<sup>①</sup>，学术文献的创新基础通常为方法、理论、模型、算法、体系等<sup>②</sup>，这也是学科交叉研究中实现知识流动的主要知识单元。本文结合上述常见知识单元类型，参考中国科学院文献情报中心开发的科技文献知识 AI 引擎 (SciAIEngine) 中对命名实体的分类<sup>③</sup>，将学术文献中常见的学科交叉解决方案总结为五种类型，分别是方法模型、工具设备、技术算法、理论原理和软件系统。

(2) 学科交叉解决结果。学术文献通常具备研究问题、研究目的和研究结果的逻辑一致性<sup>④</sup>，因而可以根据问题求解目标的类型对解决结果进行相应划分。学术文献中的问题类型大体可以划分为“是什么—理解型”、“为什么—探究型”和“怎么做—解决型”三种类型<sup>⑤</sup>，基于此可以进一步

① 索传军、肖玥：《交叉学科的学科特征分析与评价》，载《中国人民大学学报》，2023（6）。  
 ② 曹树金等：《科技论文创新知识图谱构建与应用设计——以情报学期刊论文为例》，载《中国图书馆学报》，2025（1）。  
 ③ SciAIEngine：《中文科研实体识别 V3》，参见：[http://sciengine.las.ac.cn/NKRD\\_NER\\_SCI\\_CN\\_V3](http://sciengine.las.ac.cn/NKRD_NER_SCI_CN_V3)。  
 ④ I. Newman, and D. M. Covrig, “Building Consistency Between Title, Problem Statement, Purpose, & Research Questions to Improve the Quality of Research Plans and Reports”. *New Horizons in Adult Education and Human Resource Development*, 2013, 25 (1): 70 - 79.  
 ⑤ 索传军、赖海媚：《学术论文问题知识元的类型与描述规则》，载《中国图书馆学报》，2021（2）。

将解决结果归纳为：①理解型：观点认知类和现象描述类；②探究型：原理探究类和对比解释类；③解决型：方法设计类和实证应用类。

(3) 学科交叉研究问题和学科交叉解决方案之间的利用关系。这一关系是指在解决学科交叉研究问题时对原有知识单元的改造利用程度。通过对学术文献中常见描述进行分析，可以将其按照改造程度由低至高划分为三个阶段，分别是移植移用、互补结合、参考借鉴。

(4) 学科交叉解决方案和学科交叉解决结果之间的生成关系。这一关系既是描述知识单元对于新生知识的创造性生成方式，也用于体现知识单元之间的融合效果。前者学界也常称为知识创新方式，参考其分类<sup>①</sup>，结合常见的学科交叉融合效果，将该关系划分为验证归纳、改进优化和探索发现三类。

根据以上实体特点与分类，能够实现对于学科交叉融合路径中构成实体和关系的明确描述，为后文学科交叉融合路径的表征框架构建提供了分类框架。

## (二) 学科交叉融合路径对学科关系的表征

学科交叉融合路径不仅能直观展现出科学问题从提出到解决的过程，同时也能反映不同学科的涉入和融合情况，对学科交叉研究中涉入学科及其数量和程度的体现，也是构建该路径的出发点和根本目标。在学科交叉融合路径中，最能直观展现学科交互的是由知识单元构成的解决方案节点，每个知识单元都有其对应的所属领域，这也是一个学科区别于其它学科的本质特征。因此，若能建立“知识单元—学科”的直接关系<sup>②</sup>，就可以将知识单元节点转化为学科，从而观察不同学科在问题解决过程中的融合情况。

基于从学术文献中抽取出的各类知识单元，建立或借助已有的学科术语表，就能够建立起“知识单元—学科”关系。众多学科已颁布专业性较强的术语表，为本文提供了广泛的使用空间。其中，涵盖范围最广、收录词条最多、权威性最高的术语表主要为：全国科学技术名词审定委员会审定发布的各学科术语词表及其配套术语知识服务平台——术语在线，以及由各学科专家撰稿的大型综合性百科全书——《中国大百科全书（第三版）》（下文简称《中国大百科全书》）。其中，《中国大百科全书》按学科分类收条，涵盖国家颁布的全部学科门类、一级学科和多个知识领域<sup>③</sup>，能够直观获取每项知识的所属学科。考虑到数据获取便利性、分类计算可操作性和学科覆盖广泛性等条件，将《中国大百科全书》作为本文学科术语表的主要数据来源，将术语在线网站作为辅助参考数据来源，建立“知识单元—学科”映射关系表。在此基础上，还需要对齐知识单元的学科分类。为最大限度保留各学科专家对知识单元的归类，本文采用与《中国大百科全书》分类相似度最高的《中华人民共和国国家标准学科分类与代码》（GB/T 13745—2009）为学科分类标准，以其62个一级学科为标准进一步规范化学科术语表。

基于以上分析，本文借助学科术语表设置解决方案的学科属性，从而展现学科交叉融合路径所具备的“学科交融”表征属性。同时，本文构建的学科术语表具有较强的灵活性，能够实时更新内容并根据研究需要应用于多种学科分类体系。

## 五、学科交叉融合路径的语义三元组表征方法

本文利用SAO结构，将学科交叉融合路径表示为“学科交叉研究问题—学科交叉解决方案—

<sup>①</sup> C. M. Christensen. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business School Press, 1997.

<sup>②</sup> 对于知识单元和学科无法一一对应的情况，以《中国大百科全书》的学科分类为准。对于重复词条，保留不同的学科分类，在学科交叉研究路径构建时，根据知识单元的上下文语境以及知识单元所属文献的学科分类共同判断其所属学科。

<sup>③</sup> 中国大百科全书：《〈中国大百科全书〉第三版介绍》，参见 <https://www.zgbk.com/sbjs/>。

学科交叉解决结果” (Problem-Solution-Result, PSR) 语义嵌套三元组, 具体包括: 〈学科交叉研究问题 (问题对象  $X$ , 问题指向  $\vec{X}$ , 问题预设  $T_r$ ), 利用关系, 学科交叉解决方案〉和 〈学科交叉解决方案, 生成关系, 学科交叉解决结果〉两组嵌套三元组。

(一) 表征框架的提出

为支撑科学问题视角下学科交叉融合路径的结构化表征和描述, 从而直观展现学科交叉研究问题从提出到消解的过程以及各学科之间的交互融合情况, 本文通过分析学科交叉研究问题的消解路径与其在学术文献中的表征, 归纳出学科交叉融合路径构成实体和关系的类型, 按照 SAO 结构构建了学科交叉融合路径的语义三元组表征框架。一方面, 该框架从知识单元的语义关系层面出发, 揭示了学科交叉融合路径, 能够支撑从学术文献中挖掘路径的实体与关系, 细化路径描述颗粒度; 另一方面, 能够通过实体和关系所具备的不同类型和学科特征信息, 实现知识单元层面与学科层面的切换, 从不同维度实现对学科交叉融合路径的分类计量和评价。

该框架包含学科交叉研究问题、学科交叉解决方案和学科交叉解决结果三类实体, 学科交叉研究问题和学科交叉解决方案的利用关系以及学科交叉解决方案和学科交叉解决结果的生成关系两类关系。在学科交叉研究问题中, 还包含问题对象  $X$ 、问题指向  $\vec{X}$  和问题预设  $T_r$  三类要素, 其具有交叉属性, 但可能不会同时具备交叉属性, 因而这一属性为非必备项。学科交叉解决方案具有类型与学科两种属性; 学科交叉解决结果具有类型属性。对以上三类实体及其属性、关系进行表征, 构建形成学科交叉融合路径的语义三元组表征框架, 如图 5 所示。

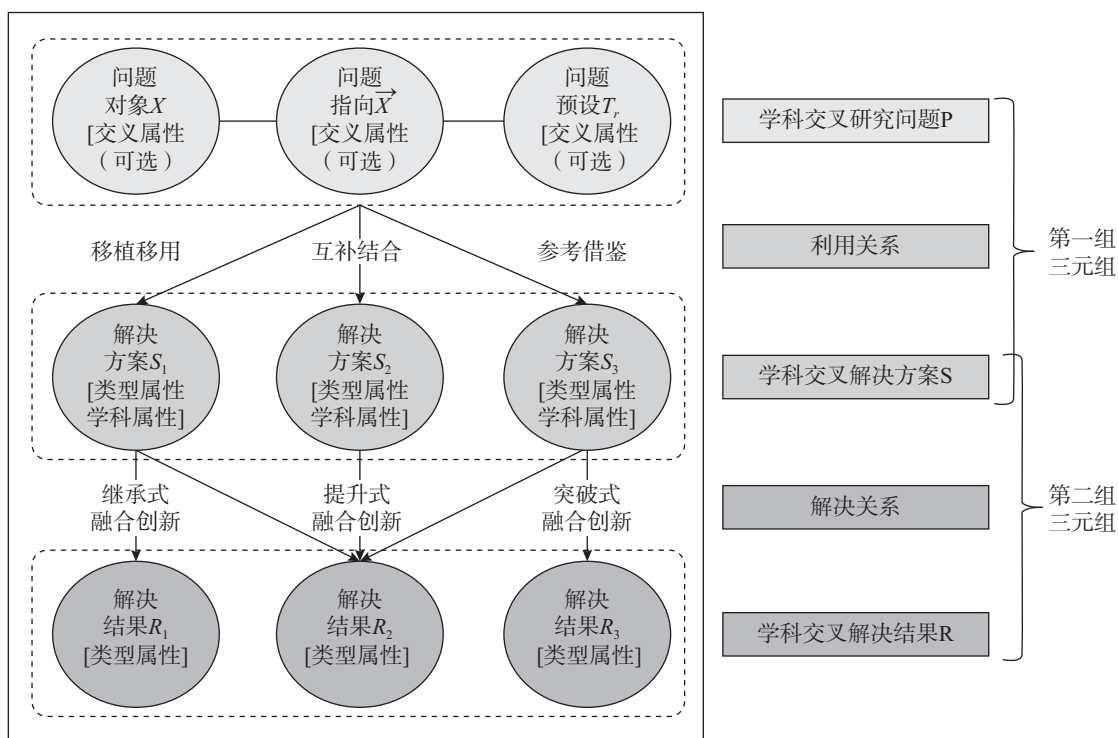


图 5 学科交叉融合路径的语义三元组表征框架

(二) 三元组实体的含义与表征

表征框架中定义了学科交叉研究问题、学科交叉解决方案和学科交叉解决结果三类实体以及学科交叉研究问题实体包含的问题对象  $X$ 、问题指向  $\vec{X}$  和问题预设  $T_r$  三类要素, 见表 1。

(1) 学科交叉研究问题实体。它是指一定时代的科学家在特定的知识背景下提出的关于学科交

叉知识和学科交叉研究实践中需要解决而尚未解决的问题，其对象、指向和预设要素分别对应问题的主要认识对象、求解目标与假定的解答范围。

(2) 学科交叉解决方案实体。在问题学中亦或称消解路径、求解机制，在技术领域也常称技术方案，指用以解决特定学科交叉研究问题而使用的来自不同学科的方法、模型或途径。

(3) 学科交叉解决结果实体。它是指利用交叉研究手段从科学层面、用科学方法对学科交叉研究问题进行消解后得到的答案。

表 1 学科交叉融合路径语义三元组表征框架中实体的含义与示例

实体	要素	含义	示例
学科交叉研究问题 $P$	—	一定时代的科学家在特定的知识背景下提出的关于学科交叉知识和学科交叉研究实践中需要解决而尚未解决的问题	基于多核 LSSVM 的谷物蛋白质二级结构预测与优化
	问题对象 $X$	学科交叉研究问题认识活动的主要对象，属于认识客体	谷物蛋白质二级结构
	问题指向 $\vec{X}$	学科交叉研究问题对象的具体指向和方面，是学科交叉研究问题的求解目标，表现为认识客体未曾探索和解决的客观事物或现象	预测；优化
	问题预设 $T_r$	学科交叉研究问题的研究背景、方法以及假定的解答范围	多核 LSSVM
学科交叉解决方案 $S$	—	用以解决特定学科交叉研究问题而使用的来自不同学科的方法、模型或途径	多特征融合；多核学习；最小二乘支持向量机 (LSSVM)；粒子群优化算法 (PSO)
学科交叉解决结果 $R$	—	利用交叉研究手段从科学层面、用科学方法对学科交叉研究问题进行消解后获得的具有学术意义和实用价值的创造性成果，如数据、现象、事实等	最佳超参数组合；谷物蛋白质二级结构预测的 Q3 准确率

### (三) 三元组实体属性的含义与表征

以上三类实体和要素都具有不同的属性，其定义与示例如表 2 所示。

(1) 学科交叉研究问题实体中各要素具有交叉属性。这项属性决定了研究问题与融合路径的交叉类型，其属性并无下设定分类，而是属于“是否”类二元选项。

(2) 学科交叉解决方案实体具有学科和类型属性。学科属性代表知识单元所属的学科范畴，具体分类依据为本文自建的学科术语表；类型属性指其在知识体系中承担的不同作用，已预先定义方法模型、工具设备、技术算法、理论原理和软件系统五种类型，需要根据实体内涵与表达形式将其对应至不同类型。

(3) 学科交叉解决结果实体具有类型属性。它根据结果内容进行划分，包括观点认知类、现象描述类、原理探究类、对比解释类、方法设计类和实证应用类六种类型。

表 2 学科交叉融合路径语义三元组表征框架中实体属性的含义与示例

实体/要素	实体属性	含义	示例
问题对象 $X$	交叉属性	因问题对象属于多学科共同的认知客体而引发的学科交叉研究	认知机制视域下的机器人手术系统界面设计【问题对象交叉属性】迭代优化
问题指向 $\vec{X}$	交叉属性	因问题指向需要结合多学科知识共同解答而引发的学科交叉研究	数字图书馆的版权合理使用规则【问题指向交叉属性】探讨
问题预设 $T_r$	交叉属性	因问题预设本身为多学科知识或问题预设的所属学科与问题对象和问题指向的所属学科不同而引发的学科交叉研究	基于多核 LSSVM【问题预设交叉属性】的谷物蛋白质二级结构预测与优化

续前表

实体/要素	实体属性	含义	示例	
学科交叉 解决方案 S	类型属性	方法模型	科学研究中用到的具体方法或概念模型	运用技术—组织—环境框架 (TOE 框架) 【管理学, 方法模型】……以过程追踪法 【管理学, 方法模型】探索…… 以企业型政府理论 【管理学, 理论原理】为支撑…… 利用可穿戴设备 【电子与通信技术, 工具设备】、医疗智能家居 【临床医学, 工具设备】、智能护理机器人 【临床医学, 工具设备】…… 将 Hadoop 云平台 【管理学, 软件系统】应用到…… 基于有源 RFID 非接触式自动识别技术 【电子与通信技术, 技术算法】实现……
		工具设备	实验或观测中使用的物理仪器与装置	
		技术算法	解决特定问题的系统知识和清晰指令, 包括计算步骤和流程设计	
		理论原理	支撑科学假设的基础性定律或公理	
		软件系统	集成算法与工具的计算机程序	
	学科属性	基于本文自建学科术语表, 参照《中华人民共和国国家标准学科分类与代码》(GB/T 13745—2009), 将解决方案映射至所属学科		
学科交叉 解决结果 R	类型属性	观点认知类	以系统阐释特定理论立场、主体认知观点或策略建议为主	政策与技术发展、功能与内外环境、反馈与主体协同相适应的对策建议
		现象描述类	以系统性刻画研究问题客观存在的内涵、特点、属性、发展状态等形态与要素为主	我国智慧养老服务效率存在区域非均衡发展的特征
		原理探究类	以揭示研究问题产生原理、影响因素、内在机制、演化规律、发展轨迹等理论为主	智慧养老成功实施的关键在于技术调节、过程调适、主体适度和环境适应四个部件相结合; 技术生成促进机制和动态调整机制
		对比解释类	以借助两个及以上事物或维度对照分析研究问题的异同或不同研究问题之间的关系为主	在政策目标、政策评价、政策视角和激励方式方面差异明显
		方法设计类	以开发、改进新的方法、工具、流程、模型等来提升问题解决效能为主	技术—过程—组织—环境框架 (TPOE 框架)
		实证应用类	以将理论模型、技术方法或研究成果应用于实际场景并验证其有效性为主	电解制氢、重整制氢、光制氢、水解制氢和燃料电池发电 5 个前沿主题

#### (四) 三元组实体关系的含义与表征

本文定义了两类实体之间的关联关系, 具有不同的类型, 其定义与示例如表 3 所示。

(1) 学科交叉研究问题和学科交叉解决方案之间的利用关系。包括移植移用、互补结合和参考借鉴三种类型: ①移植移用是学科交叉研究常见的形成方式, 指将其他领域的知识单元作为工具, 不加改造或略微改造地应用到新的研究问题中<sup>①</sup>; ②互补结合是指将两个或多个知识单元取长补短, 结合起来共同作用于研究问题的一种研究方式, 一定程度上对原知识单元有所改造; ③参考借鉴对于原知识单元的改造程度最高, 只对其基本规律进行简单参照。

(2) 学科交叉解决方案和学科交叉解决结果之间的生成关系。包括验证归纳、改进优化和探索发现三种类型: ①验证归纳发生在现有研究范式或技术轨迹的内部, 旨在直接利用已有知识, 或对已有知识进行局部补充、丰富、发展和扬弃等轻微改造, 或将不同知识简单结合, 从而得出新的事实和结果; ②改进优化类似于“渐进式创新”, 通过引入新的学科视角或新知识, 对已有知识进行改良、改造、升级和扩展等改进性发展, 或完善已有知识的实现逻辑, 从而提升解决问题的性能或能力。③探索发现是一种发现导向的研究。在解释新现象或解决新、老问题过程中, 它通过融合不同知识对问题实现全面解决或得出全新结论, 其成果是产生了突破性和变革性的知识, 包括新事实、新原理、新规律和新方法等。

<sup>①</sup> 姚茹等:《潜在学科交叉主题识别方法研究》, 载《图书情报工作》, 2023 (15)。

表 3 学科交叉融合路径语义三元组表征框架中关系的含义与示例

关系	类型	含义	示例
学科交叉研究问题和学科交叉解决方案之间的利用关系 $U$	移植移用	将其他领域的知识单元作为工具不加改造或略微改造地应用到新的研究问题中	使用多特征融合
	互补结合	将两个或多个知识单元取长补短，结合起来共同作用于研究问题	将多核学习与最小二乘支持向量机结合
	参考借鉴	只参照知识单元的基本规律并将其作用于研究问题	仿照布尔矩阵的构造原理
学科交叉解决方案和学科交叉解决结果之间的生成关系 $G$	验证归纳	直接借助已有知识，或对其进行局部补充、丰富、发展和扬弃，或将不同知识简单结合得出研究结果	验证了采用双层粒子群算法结合代理函数进行沟渠生态单元空间优化配置的有效性 归纳出技术生成促进机制和动态调整机制
	改进优化	通过融入新方式或新知识，对原知识实现改良、修正、优化等改进性发展，从而得出新的研究结果	提高谷物蛋白质二级结构预测的 Q3 准确率
	探索发现	通过融合不同知识对问题实现全面解决或得出全新结论，包括发现新原理、新规律、新方法和新结论	获取最佳超参数组合……提出政策与技术发展、功能与内外环境、反馈与主体协同相适应的对策建议

## 六、基于语义三元组学科交叉融合路径表征的实例应用

本文提出的科学问题视角下学科交叉融合路径的表征思路及其语义三元组表征框架，能够借助学术文献刻画学科知识融合过程，从而展现学科交叉问题解决和多学科交叉互动两类过程，为进一步开展知识层面的学科交叉融合程度计量和评价提供研究基础。为验证本文的理论与模型的适用性和科学性，进一步开展实证研究。

当前，智慧养老已经发展成为一个“文、理、工、医、管”等多学科高度交叉的研究问题<sup>①</sup>。面向该问题产生了大批研究成果，能够为基于学术文献的学科交叉融合路径挖掘提供充分的数据来源。因此，本文选择以“智慧养老”为核心开展的研究问题为例进行实证。

### （一）数据获取与预处理

本文以 CNKI 学术期刊数据库作为数据源，获取以“智慧养老”为研究对象的文献数据。数据获取策略分为三步：①构建检索式：根据前文分析可知，研究问题在文献层面表现为论文标题，因此在检索时重点以标题为检索项。为精准获取直接以“智慧养老”为问题对象开展的研究，确保获取的文献与研究问题高度相关，本研究将检索式构建为  $TI = \text{“智慧养老”}$ ，以获取准确、集中的数据来源，共获得 1435 篇文献。检索时间为 2025 年 9 月 21 日。②筛选有效文献：鉴于本文需要获取具体的科学问题、解决方案和解决结果实体与关系，将数据类型限定为研究型学术文献，排除综述类、报道类等文献；根据本文对学科交叉融合路径的分类可知，智慧养老相关研究属于问题对象交叉产生的“辐集聚焦型”学科交叉融合，因而需要根据科学问题结构规则筛选出问题对象包含“智慧养老”的文献；为提高后续实体和关系抽取效率，利用 SciAIEngine 中文科研实体识别工具，过滤摘要中不存在解决方案实体的文献，最终得到 236 篇有效文献。③数据集预处理：导出有效文献的题录信息，对摘要进行语句拆分，最终获得 236 条标题数据、260 条方法句数据和 292 条结果句数据，共 788 条数据。

### （二）学科交叉融合路径构建实例与分析

在学科交叉融合路径语义三元组表征框架中，实体、问题要素及其关系均在定义、表达特征和

<sup>①</sup> 左美云：《智慧养老产业发展前景和路径》，载《人民论坛》，2024（13）。

位置特征等方面具有较为固定的表达特征,抽取内容较为明确,但相关标注数据较少,需要对文献进行深层语义解析。为平衡抽取准确率和效率,本文在利用大模型提示学习和语义相似度算法进行大规模自动化抽取的基础上,开展人工判断和核验,设计形成四阶段式三元组抽取与分类方案:

(1) 三元组抽取模块。在利用大模型开展三元组抽取的方法中,思维链(Chain of Thought, CoT)是一种通过引导模型模仿人类思维来提高任务完成度的提示学习方法,能够显著增强模型逻辑推理能力<sup>①</sup>。本文基于该方法,全面梳理和提取三元组文本语义描述特征,构建基于其特征的精标注逻辑推理示例,形成针对学科交叉三元组抽取的CoT提示,完成三元组抽取任务。实验结果表明,利用该方法抽取学科交叉三元组结果的F1值为86.11%,能够高效准确地获取学术文献中的学科交叉三元组。基于此,本文从数据集中抽取三元组并依次输出“学科交叉研究问题 $P$ :问题对象 $X$ ,问题指向 $\vec{X}$ ,问题预设 $T_r$ ;学科交叉解决方案 $S$ ;利用关系 $U$ ;学科交叉解决结果 $R$ ;生成关系 $G$ ”。

(2) 解决方案实体的学科属性识别模块。在语义相似度计算方法中,字符串相似度算法适用于拼写相近或格式一致的术语匹配场景;基于统计的方法能够关注文本语义信息,且适应性强。为兼顾知识单元匹配的准确率和效率,本文基于预构建的学科术语表,结合使用基于字符串匹配和基于统计的词语相似度计算方法,综合计算学科交叉解决方案实体与术语表中术语的相似度。具体来说,针对上一模块输出的所有解决方案实体,先调用Rapidfuzz遍历计算学科术语表中术语与实体的字符串相似度,筛选出相似度Top5候选术语,再借助Word2Vec计算实体与候选术语之间的语义相似度,将语义最相近的术语作为最终匹配结果,将术语所属学科直接添加到解决方案实体的学科属性中,输出“学科交叉解决方案 $S_1$ (学科属性)…学科交叉解决方案 $S_n$ (学科属性)”。

(3) 三元组实体和关系的类型划分模块。基于CoT提示方法,将本文已构建的分类规则及特征作为提示输入大模型,利用其逐一对实体和关系进行分类,并输出“〈学科交叉研究问题 $P$ (问题对象 $X$ (交叉属性),问题指向 $\vec{X}$ (交叉属性),问题预设 $T_r$ (交叉属性)),利用关系 $U$ (类型),学科交叉解决方案 $S$ (学科属性,类型属性)〉;〈学科交叉解决方案 $S$ (学科属性,类型属性),生成关系 $G$ (类型),学科交叉解决结果 $R$ (类型属性)〉”。

(4) 人工核验与输出模块。基于上述机器识别结果,邀请2名熟悉样本的专家分别验证抽取结果,并共同商议修正验证不一致之处,最终输出三元组,如:〈基于多源数据的智慧养老服务供需匹配研究(智慧养老服务(交叉属性),供需匹配,多源数据),采用(移植移用),直觉模糊集成算法(管理学,技术算法)〉;〈直觉模糊集成算法(管理学,技术算法),提出(探索发现),基于多源数据的模块化双边匹配决策方法(方法设计类)〉。

根据以上步骤,抽取数据集中的三元组,在格式化处理后通过Neo4j的Cyber语言导入数据库,共得到905个实体节点和1350条关系,构建知识图谱,用以表征智慧养老领域的学科交叉融合路径。为体现学科交叉融合路径反映学科交互和问题解决的双重功能,图6从学科交互视角出发,展示智慧养老领域的学科融合情况;图7从问题解决视角出发,体现学科交叉研究问题的解决过程。由于完整图谱内容较多,节选以“智慧养老服务”为问题对象的部分图谱进行展示。

### 1. 实例分析

通过学科交叉研究形成的知识图谱,不仅能较为直观地看出学科交叉研究问题从提出到解决的过程,还能明显发现各学科引入的具体知识单元。

(1) 交叉融合学科分析。由图6可知,智慧养老领域相关问题引入了25个学科的知识单元,广泛涉及文、理、工、医、管等学科。其中,管理学,计算机科学技术,图书馆、情报与文献学,数学,信息与系统科学相关工程与技术,统计学,电子与通信技术7个学科的知识单元涉入最多,

<sup>①</sup> X. Wei, et al. “Chatie: Zero-Shot Information Extraction via Chatting with ChatGPT”. *arXiv preprint*, 2023: 2302.10205.

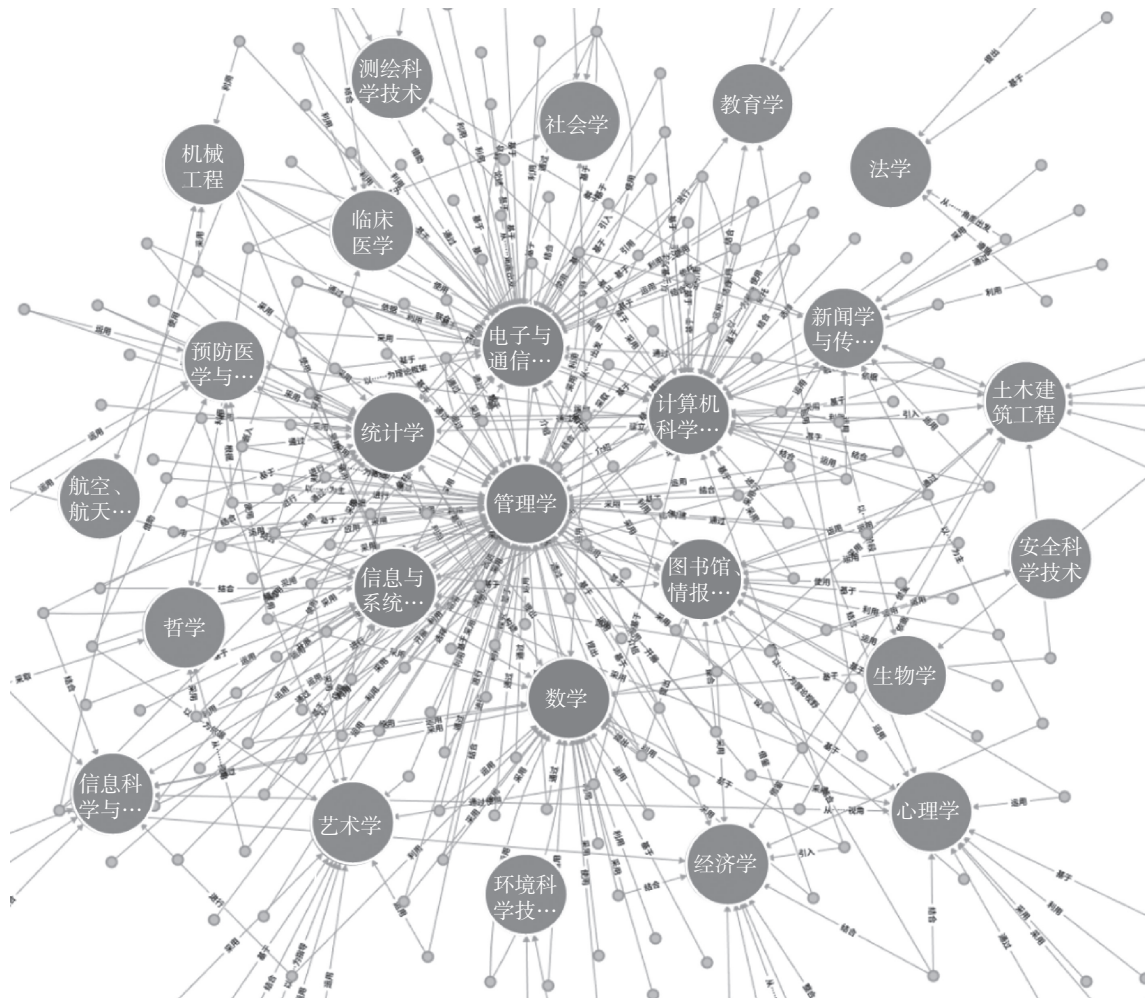


图6 智慧养老领域的多学科融合情况

注：蓝色节点为该领域的核心学科，橙色节点为该领域的其他学科。

是智慧养老学科交叉解决方案的主要来源学科，并且60%以上的研究问题通过移植移用的方式采用以上学科的知识单元，证实其对智慧养老研究发挥着重要作用。

(2) 交叉融合路径分析。根据图7，①从问题解决的角度来看，面向智慧养老服务已经形成关于采用意愿、影响因素、问题、实现路径等具体研究问题，并且从数字平台和区块链等数字化环境以及感知理论和行动者网络理论等理论出发对其进行探索，形成相应的研究预设。针对具体问题，引入了感知质量、新公共服务理论、结构方程模型、物联网、区块链等知识单元，融合产生了诸如智慧养老服务交互设计框架、基于多源数据的模块化双边匹配决策方法、精准识别老年人需求，提高智慧养老服务实用性与易用性等研究结果，多数属于观点认知类和原理探究类研究成果。②从学科融合角度来看，该研究问题吸引了理论原理、方法模型、技术算法、工具设备4种知识类型，分属数学，统计学，管理学，艺术学，信息科学与系统科学，电子与通信技术，教育学，计算机科学技术，土木建筑工程，图书馆、情报与文献学10个学科，平均每个问题采用2个知识单元来解决。对于各学科知识单元，较多使用移植移用方式开展，并多通过继承式融合创新得出研究结果。

以“智慧养老服务”中较为典型的学科交叉融合路径为例进行分析，如图8所示。面向该问题，融合利用多种方法模型和技术算法，不仅实现方法创新，还得出方法验证结果，实现问题解决

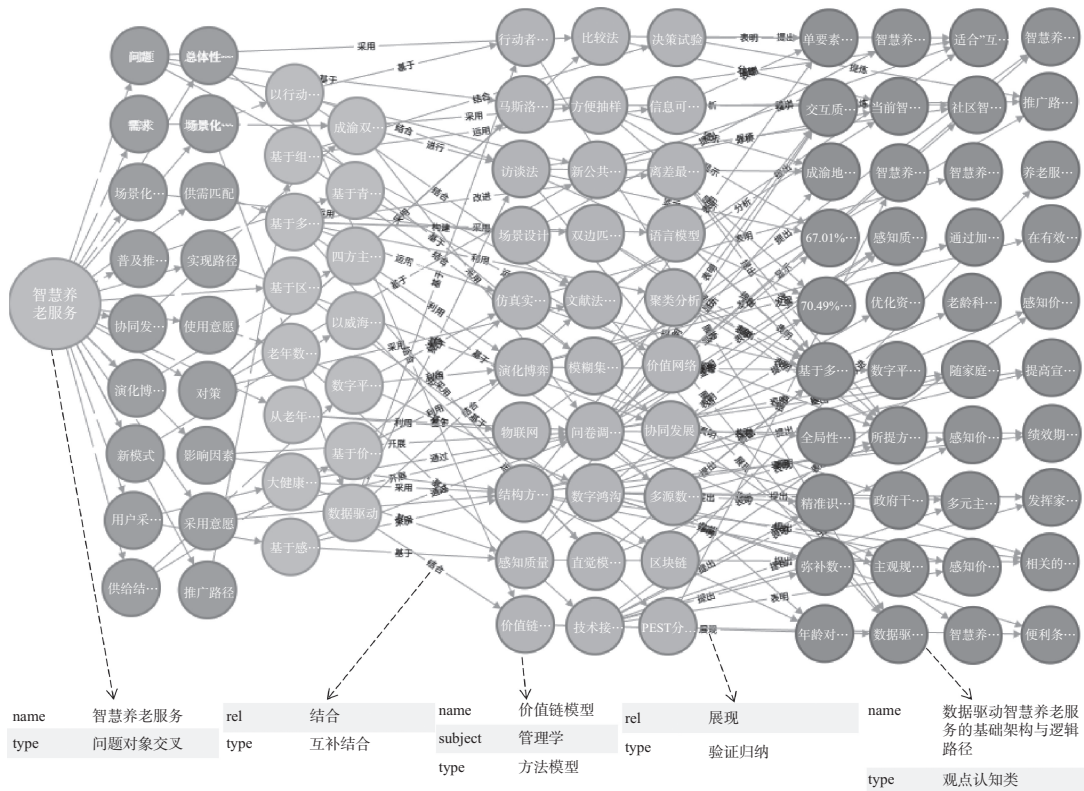


图 7 学科交叉融合路径 (以“智慧养老服务”为例)

注：黄色、橙色和棕色节点分别为学科交叉研究问题中的问题对象、问题指向和问题预设，粉色节点为学科交叉解决方案，紫色节点为学科交叉解决结果。

的完整闭环。该问题利用的知识单元来源于统计学、管理学、数学和信息科学与系统科学，均为智慧养老领域的核心学科；在问题解决过程中，不仅通过移植方式，还对知识单元进行改进性引入，实现原有知识的合理改造。可以发现，该问题促使多学科形成“辐集聚焦”状态，知识单元与问题实现有针对性地融合，是学科知识融合的典型表现。

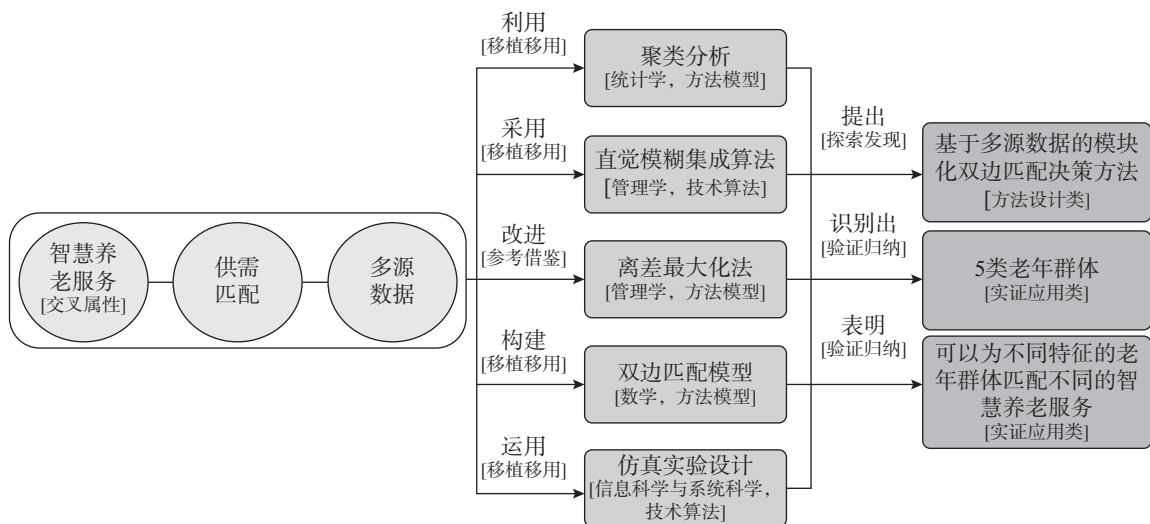


图 8 单条学科交叉融合路径 (以“智慧养老服务”研究中典型路径为例)

## 2. 研究方法对比

本文提出的科学问题视角下的学科交叉融合路径及其语义表征框架具有较强的实用性和应用前景，能够从微观逻辑层面入手，结构化描述文本知识单元之间的逻辑关系，并实现“知识单元—学科”的映射，有助于精准提取和分析学科交叉的内容、方式和过程。本文进一步总结了该方法与传统引文分析、关键词共现方法的对学科交叉的表征方式与特点，如表4所示。

表4 本文方法与传统学科交叉表征方法的对比

维度	语义三元组表征方法	引证关系表征方法	关键词共现表征方法
表征单元	学科交叉文献中的语义三元组(研究问题 P—解决方案 S—解决结果 R)	某一领域文献的参考文献或引用句	不同领域之间的关键词或主题词
表征学科交叉关系的方式	基于“知识单元—学科”映射关系，以解决某一科学问题时采用不同学科知识单元的方式，来表征不同学科向该问题领域的汇聚方式，以及不同学科在该领域的交叉融合关系	基于“参考文献—所属期刊—学科”映射关系，以某一领域对其他领域文献的引用关系，来表征领域之间的交叉关系	基于“关键词/主题词—所属文献—期刊—学科”或“文献—主题词—学科”映射关系，以不同领域关键词和主题词之间的共现关系，来表征领域之间的交叉关系
特点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 直接映射：借助权威学科术语表，直接建立知识单元与学科的关系，减少映射环节</li> <li>2. 学科交叉关系微观化：“大事化小”，将学科交叉这一宏观关系，精细化描述为学科知识单元之间的利用关系</li> <li>3. 精准量化学科贡献：借助学科知识的不同利用关系，以及不同学科知识融合后产生的结果，进一步区分在解决某一问题时，不同学科的贡献角色</li> <li>4. 突出“实际上的交叉”：全面展现实际参与问题解决的学科知识单元的交互过程</li> </ol>	<p>共性：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 间接推断：存在学术资源服务商、图书情报机构、教育领域等多种学科分类标准，映射关系复杂，映射链长</li> <li>2. 关系模糊：需要进一步区分引用内容或关键词是“实质性知识融合”还是“研究参考”或“共同的研究背景”</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 直观展现研究主题的宏观分布，形成领域共同研究热点图谱需</li> <li>2. 要对齐关键词：难以处理一词多义及术语的跨学科语境差异问题</li> <li>3. 粒度较粗：单一主题词难以完整表达复杂知识结构，可能丢失关键逻辑关系</li> </ol>

整体来看，本文提出的方法不仅利用学科交叉三元组解构了学科交叉研究问题从产生到解决的微观过程，还通过建立“知识单元—学科”的精确映射，实现了对学科交叉关系的显性与分类刻画，为构建可解释、可计算、可预测的学科交叉关系提供了全新视角。该方法实现了表征学科交叉关系的四大优势：①通过构建和维护学科术语表，破除多种学科分类带来的映射关系混乱问题；②提高了学科关系的解释深度，能够回答“学科交叉是如何发生的”以及“哪些学科知识产生了交叉互补”这一本质问题；③提高了学科交叉的分析精度，通过划分不同的学科知识利用方式和融合方式，能够细粒度地衡量特定学科对某一交叉领域的知识输出强度与模式，从而明确学科对研究结果的贡献程度、揭示新兴交叉领域的形成过程与主导学科的更替；④支持开展大规模信息提取和语义计量，从而实现科学问题视角下的学科交叉测度和评价。

## 3. 应用展望

科学问题视角下学科交叉融合路径的结构化表征框架，其核心理论与应用价值在于将复杂的学科交叉合作过程具象化为可描述、可抽取和可计量的直观知识结构。该框架旨在识别和抽取学科交叉研究文献中的核心内容：研究问题、解决方案、解决结果及其相互关系，挖掘其语义层面的利用关系并将其视为不同学科间的知识交叉融合关系，借助 SAO 结构形成细粒度、结构化的知识表示——PSR 语义嵌套三元组，并将其以知识图谱的形式呈现，展示其“提出问题—求解问题—解决问题”的过程，为描述复杂的学科交叉问题解决过程提供了通用的视角和方法。

从理论上看,该框架实现了从解决科学问题这一组织学科交叉研究的本质目标出发,对其研究过程进行精细化描述,为后续表征学科交叉研究提供了新的思路。具体来看,能够实现对以下内容的表征:①研究问题:该框架通过拆解学科交叉研究问题的结构,能够明确交叉研究聚焦的关键问题,并根据其问题的交叉属性,初步识别该问题下学科交叉类型。②各学科在问题解决过程中的构成与角色:通过挖掘各学科向研究问题输出的具体知识,展现了问题解决过程中不同学科贡献的内容与程度。③学科整合机制:借助各学科知识的整合方式(如概念移植、方法互鉴)以及其解决结果的形成过程,直观描述了学科之间的交互补充关系及其结果形成机制。④研究成果输出形态:该框架不仅描述了学科交叉研究结果的内容,还进一步区分了观点认知、现象描述等不同产出类型,实现其类型和特点的划分。

从应用上看,该框架对研究过程的具体描述,不仅有助于解开学科交叉融合的“黑箱”,而且优化了传统学科交叉关系映射路径,直接建立起“知识单元—学科”关系,提高了学科交叉关系建构和交叉度测度的效率与准确率。其价值体现在以下方面:①对学科交叉组织与管理者的价值:借助本文设计的表征框架,能够实现对学科交叉研究全过程的描述,不仅有助于为跨学科团队提供“研究地图”,明确路径规划;更能够直观发现多学科关注的核心问题和成功研究案例,从而优化资源配置,为后续研究提供经验参考。②对成果转化与实践落地的价值:结构化描述可使研究过程清晰可见,提升学科交叉研究团队的跨领域沟通效率,同时增强问题导向性,通过框架将抽象的学科交叉研究锚定到具体应用场景,实现问题的针对性解决。③对学科发展和建设的价值:借助该框架,能够快速识别新兴交叉领域的生长点和相关成果,寻找“高交叉、低产出”的高潜力学科交叉研究问题,从而优化学科布局与人才培养方向。

在智慧养老场景中,该框架的理论价值与实践价值得到了充分体现。通过系统抽取解决智慧养老相关问题的学科知识单元及其研究成果,既将原本分散的研究整合为一条清晰的问题解决路径,又有效发现了该问题下的核心学科,明确了各学科在研究中的贡献与深度协作过程。例如,对于智慧养老服务供需匹配问题,该框架明确展现出通过融合多学科知识单元,提出了基于多源数据的模块化双边匹配决策方法。从内容展现方面来看,不仅梳理了解决方案的构建过程,促使跨学科团队便捷地向管理者阐释研究价值、相关研究者和读者直观获取研究脉络;更提高了学科知识整合和跨学科合作效率,助推研究与社会需求紧密结合,为后续研究提供了经验参考。从学科交叉测度和评价方面来看,借助该框架,能够直接开展对涉入学科丰富性、均匀性和差异性的测度,同时对其结果的学术价值和社会价值进行直观评价,极大提高了量化评价效率。

## 七、结语

本文探索了从学科交叉研究问题出发描述多学科融合路径在理论层面的科学性,以及通过细粒度和结构化知识单元对该路径进行刻画在方法层面的可行性。具体来说,一是,从科学问题出发探索其提出和解决的过程,为学科交叉融合路径的细粒度和格式化刻画提供新的研究视角;二是,建立“知识单元—学科”映射关系,通过知识单元的利用关系来体现学科对问题解决的贡献关系,对当前研究中常见的学科交叉映射方案实现了一定程度的简化,便于从更深层和细粒度的知识单元角度挖掘学科交叉关系;三是,构建了学科交叉融合路径的语义三元组表征框架,明确了其定义和表征,为实现学科交叉融合路径的语义挖掘提供理论框架,并对其进行实证,验证了框架的实用性和可行性。通过以上研究构建的学科交叉融合路径不仅能体现出科学问题的解决过程,还能反映出不同学科知识单元之间的深度交叉关系,能够为后续大规模路径识别、计量和评价提供研究基础。

## Research on Semantic Representation of Interdisciplinary Path from the Perspective of Scientific Problems

XIAO Yue, SUO Chuanjun

(School of Information Resource Management, Renmin University of China)

**Abstract:** Scientific problems serve as the starting point of scientific research, and their resolution constitutes a fundamental driver of research progress. The process of interdisciplinary research is essentially a process in which scholars from diverse disciplines address a common problem from multiple perspectives. Depicting the interdisciplinary paths from the perspective of scientific problems can not only highlight the problem-solving process within each discipline vertically, but also reveal cross-disciplinary interactions at the level of individual problems horizontally. This approach facilitates the mining, measurement, and evaluation of the semantic level and fine-grained interdisciplinary paths. This study is structured around four main components. First, it analyzes the progression of scientific problems from emergence to resolution, thereby uncovering process-based interdisciplinary paths. Second, leveraging academic literature, it demonstrates the theoretical basis for the semantic representation of interdisciplinary paths and explores the dual representational capacity of these paths. Additionally, a mapping relationship between knowledge units and disciplines is established to facilitate interdisciplinary mining at the level of knowledge units and to articulate relationships among disciplines. Third, a semantic representation framework for interdisciplinary paths is developed using semantic triples, which explicitly define the meanings and representations of entities, attributes, and relations within the triple structure, thereby enabling structured characterization of such paths. Finally, using the field of “smart senior care” as a case study, this paper validates the feasibility and scientific rigor of the proposed interdisciplinary paths and their representation framework from a problem-oriented perspective, demonstrating its utility in capturing both problem resolution and disciplinary integration.

**Key words:** Interdisciplinary path; Scientific problem; Representation framework; Semantic triplet; Interdisciplinary relationship