张学福：技术创新要素及其关联识别研究

（一）引言

学科交叉融合已成为当代科技发展的重要特征，尤其在前沿交叉领域，其创新过程呈现出高突变性与高影响力的特点。2023年，总书记在《求是》杂志发表文章指出，需加快构建新发展格局，把握未来发展主动权，使我国在重要科技领域成为全球领跑者，在前沿交叉领域成为开拓者。这一论述凸显了国家层面对交叉学科研究的高度重视。在此背景下，深入探索前沿交叉领域的技术创新过程与内在规律，不仅有助于识别突破性创新的关键切入点，也为多学科融合创新提供了重要机遇。中国农业科学院在学科布局中积极推动前沿交叉与传统农业学科的融合，涉及科研人员的跨学科研究实践与情报学视角下的创新机制分析。

本文立足于前沿交叉领域的融合创新，重点聚焦于创新要素的识别与关联关系的构建，旨在系统揭示影响融合创新过程的各类要素间的相互作用机制，并从微观层面解析创新形成的路径特征。合成生物学作为典型的前沿交叉领域，在医学、能源等领域已取得显著成效，其在农业领域的应用潜力亦亟待深入挖掘。基于科研人员的学科交叉探索与情报学对科学创新过程的表征，本研究试图系统揭示交叉融合的创新规律，进而探索前沿交叉技术与农业等领域融合的创新机会。

（二）理论框架与研究方法

在创新机理分析方面，本研究借鉴新熊彼特理论中的五类创新要素，即产品、技术、市场、资源与组织，以及迈克尔·莫尔所提出的技术创新作为技术制品创始、演进与开发过程的历时性特征，将创新要素系统划分为技术类与非技术类两大类别，其中技术类要素为本研究的重点。基于Dosi技术轨道理论，技术创新过程可简化为科学发现、技术发明与生产应用三个核心环节，其结果是科学、技术、经济及社会等多因素综合作用的产物。创新程度可分为渐进性创新与根本性创新，而跨领域交叉研究则体现出高突变性与高影响力的创新特征。

通过对技术创新要素的系统分析，本研究识别出包括科学发现、方法、对象、应用、经济制度、市场与社会等多类要素，并进一步聚焦于与技术直接相关的核心要素，包括技术理论要素、技术方法要素、技术对象要素与技术应用要素。为全面描述创新过程的时间动态性与领域交叉性，模型中还引入了时间属性与领域属性，以增强模型对创新过程多维特征的表达能力。

在要素关联识别方面，本研究基于技术创新事件的结构化描述，包括事件主语、谓语与宾语三个基本组成部分，通过文本内部与跨文本的关联规则，如包含关系、需求拉动、方法支撑、对象支撑、递进关系与理论指导等，构建了系统的技术创新路径分析框架。该框架既可描述单一要素的创新轨迹，亦可揭示多类要素的协同演化过程，从而支持对技术创新脉络的多层次、多角度分析。

（三）实证分析：以合成生物学为例

本研究以合成生物学为例，基于德温特专利数据库与相关学术论文数据（检索时间截至2023年12月，涵盖6000余条专利与6万篇论文），识别出对象要素7600余个、方法要素3400余个、应用要素3900余个与理论要素5300余个，要素间关联共计25647条。通过要素时间分布与领域分布的可视化分析，发现理论要素与对象要素在创新过程中占比较高，且不同要素在不同时间阶段的分布呈现出明显的动态演变特征。

进一步基于方法要素的单类型路径分析，揭示了DNA组装技术、基因编辑技术与基因合成技术等关键方法的演进脉络。例如，基因编辑技术自2000年的ZFN技术，经TALEN技术（2010年）、CRISPR技术（2015年），发展至2020年的高通量基因编辑平台，体现出技术方法的持续迭代与突破。在多要素路径分析中，对象要素与方法要素的交互作用共同推动了合成生物学的技术发展。本研究通过对合成生物学创新模式的总结，识别出不同要素在交叉融合过程中的作用机制，为前沿交叉领域与传统领域的融合创新提供早期预测与机会发掘的依据。

（四）结论与展望

本研究通过构建技术创新要素识别与关联分析框架，系统揭示了前沿交叉领域融合创新的内在机制与路径特征。研究表明，基于全文内容分析与多源数据融合的方法，能够有效识别技术创新过程中的关键要素及其关联，为融合创新的战略规划与决策支持提供重要参考。未来研究将进一步拓展多模态数据在创新分析中的应用，深化大语言模型在跨学科知识发现与趋势预测中的作用，同时加强创新生态系统的构建与可持续发展战略研究，以推动前沿交叉领域创新能力的全面提升。

（本研究得到国家社科基金重大项目与一般项目的支持，特此致谢。）

章成志：学术文本全文内容视角下的学科交叉研究

（一）引言

学科交叉研究（Interdisciplinary Research, IDR）已成为应对复杂科学问题、推动知识创新的关键途径。当前主流的交叉测度方法多基于论文参考文献、合作网络等结构特征，虽能揭示学科间关联的宏观态势，却难以深入捕捉知识借鉴、概念迁移与理论融合的微观过程。事实上，学科交叉不仅表现为团队合作或文献互引，更实质地体现为对其他学科知识、方法、工具乃至范式的采纳与重构。这些过程往往隐匿于学术文本的全文内容中，无法仅通过题名、摘要或参考文献完全捕捉。

笔者长期从事情报学与自然语言处理的交叉研究，在实践中深刻体会到，仅依靠结构特征难以全面识别和促进有潜力的交叉合作。因此，本文立足于学术文本的深层语义与使用语境，尝试从术语分布、学者行为与算法扩散等多个维度，构建一套基于内容分析的学科交叉测度与推动机制，以补充现有方法之不足，并为交叉学科的建设与发展提供实证依据。

（二）学科交叉的内容维度测度：术语共享与向量建模

学科交叉的本质特征之一是对外来学科知识的吸收与利用。术语作为学科知识的核心载体，其跨学科出现频次与分布模式可作为交叉程度的重要指标。我们提出一种基于术语词典的学科交叉测度方法：通过构建多个学科的术语词典，将各学科所使用的高频术语转化为向量表示，进而通过计算学科间术语向量的相似度，量化其交叉程度。

在实证研究中，我们选取生物学、化学、物理学、计算机科学、数学和心理学等多个学科进行建模与分析。初步结果表明，生物学与化学、计算机科学与数学在术语使用上表现出较高相似性，反映出这些学科间较强的知识交流与融合趋势。进一步分析高频共享术语的内容发现，诸如“血管平滑肌”等术语在物理、化学等多个学科中出现，体现出研究对象的跨学科属性与方法的