技术与标准匹配视角下中国集成电路技术机会识别研究*

许学国[1]　刘凤梅[1]　周诗雨[2]
（1.上海大学管理学院，上海 200444；2.洛阳理工学院经济与管理学院，洛阳 471023）

摘要：集成电路是人工智能、高性能计算、6G等前沿技术的基石，已成为大国科技竞争与产业链安全的战略制高点。识别中美集成电路技术布局差异、挖掘中国潜在技术机会，对推动我国实现集成电路产业自主可控、高质量发展具有重要意义。本研究基于中美集成电路的论文、专利与标准数据，运用高频关键词统计、共现网络、主题聚类方法系统识别并对比中美两国集成电路技术布局特征与发展差异。研究结果表明，中国侧重“材料—物理性能—器件”的基础探索，而美国聚焦于“工艺—设计—系统”的全链条融合；美国已形成科研与技术研发高度协同的成熟生态，而中国虽基础研究活跃但成果向技术应用转化尚显不足。通过技术与标准的匹配分析，本研究识别出中国集成电路领域四类关键技术机会：半导体材料与功能薄膜技术、CMOS电路设计与高速信息处理技术、先进器件结构与互连工艺技术、先进封装与异构集成技术。本研究可为我国集成电路技术攻关与标准布局提供重要参考依据。

关键词：技术机会识别；中美技术布局；技术与标准匹配；集成电路
中图分类号：F273.1　DOI：10.3772/j.issn.1673−2286.2026.06.008
引文格式：许学国，刘凤梅，周诗雨. 技术与标准匹配视角下中国集成电路技术机会识别研究[J]. 数字图书馆论坛，2026，22（6）：81−90.

当前全球科技竞争日益加剧，集成电路作为“现代工业粮食”，已成为各国高科技竞争的战略制高点[1]。近年来，美国围绕集成电路领域出台一系列管制政策，联合盟友实施全链条技术围堵，使我国在产业链关键环节面临“卡脖子”风险。在此背景下，精准识别技术机会，对突破外部技术封锁、提升自主创新能力具有重要意义。

技术机会泛指整体或特定领域实现技术进步的潜在空间[2]。技术机会识别是在分析科学与技术关系的基础上，通过识别技术与科学、科学与科学、技术与技术之间的互动关系，发现潜在技术可能性的过程。早期技术机会识别多采用德尔菲法、形态分析等定性方法[3]，主观性较强且难以实现大规模分析应用。随后，技术空白分析和专利地图方法逐渐成为主流[4]。近年来，论文与专利数据融合分析受到重视。Shibata等[5]指出，有学术论文产出却几乎没有对应专利成果的领域可能蕴藏短期技术机会。Wang等[6]引入基于主体—行为—客体（Subject-Action-Object，SAO）结构、潜在狄利克雷分布（Latent Dirichlet Allocation，LDA）模型、生成式拓扑映射（Generative Topographic Mapping，GTM）专利地图，提高识别效率与语义解释能力。但Magnus等[7]指出，现有技术发展研究多依赖专利数据，忽略论文和标准的贡献。此外，现有研究多聚焦单一国家，主要基于论文、专利数量指标刻画技术发展特征，对不同国家技术布局的比较及文本语义关联的分析不足。

收稿日期：2026−05−23
*本研究得到数智赋能河南省制造业现代化产业体系转型升级的内生机制与实践路径研究（编号：262400411107）资助。

同时，技术竞争已由论文和专利延伸至标准。标准是技术控制、市场话语权与产业主导的核心工具[8]，其话语权直接影响国家在全球产业链中的议价能力与竞争位势。然而，现有研究对标准的关注不足。基于此，本研究旨在探索在技术主题与标准体系语义匹配框架下的中美集成电路技术布局差异，并挖掘我国可重点布局、追赶或抢占的技术机会，为我国集成电路技术攻关与标准布局提供参考。

1 文献综述

1.1 技术识别

技术识别是技术预测、布局分析和战略制定的基础，现有研究多基于论文和专利数据，采用引文分析、网络分析、主题挖掘等方法。论文是科学知识创新的产出，其文本和引文是识别新兴技术和前沿热点的关键数据源。王桂芳等[9]通过论文高频关键词分析生物核磁领域前沿技术；Kajikawa等[10]利用引文聚类识别能源技术领域的研究结构和演化路径。专利直接反映技术研发与应用活动，其文本和引文广泛用于技术主题和核心技术识别。吴雷等[11]基于专利文本的深度语义挖掘识别集成电路颠覆性技术；秦浩等[12]融合语义与引文特征识别潜在颠覆性技术。但引文分析存在时滞性，且共词分析难以捕捉词语间的逻辑关系[13]。为克服这一局限，主题模型被广泛应用。LDA模型可识别潜在技术主题，并通过困惑度确定最佳主题数量[14]。但该模型需预设主题数量，具有一定主观性。尹航等[15]指出，BERTopic相较于LDA模型，无需人为设置主题数量，且弥补了LDA模型在词间语义关联上的不足，可以从语义层面提取技术术语。GTM专利地图将识别出的空白点反向映射到实际数据，实现对空白点的解释[16]。此外，亦有学者从海量专利中筛选核心技术。刘志迎等[17]构建国际专利分类号（International Patent Classification，IPC）共现网络并计算节点中心度，将处于核心位置、与其他技术领域联系紧密的IPC类别识别为关键核心技术。

现有研究为技术主题识别与技术布局刻画奠定了基础，但仍存在两个方面不足：一是多依赖论文或专利的单一数据，难以兼顾科学研究与技术研发；二是传统引文、关键词及IPC分类侧重显性关联，对文本深层语义挖掘不足。基于此，本研究融合中美集成电路领域论文与专利数据，引入多语言Sentence-BERT预训练模型和BERTopic模型进行语义表征与技术主题识别，系统刻画中美两国集成电路产业技术布局特征，为后续开展技术主题与标准文本匹配、挖掘领域潜在技术机会奠定基础。

1.2 技术机会识别

技术机会识别是精准捕捉产业机会窗口、实现核心技术突破的关键环节。现有研究主要从技术内在演进规律和技术外部差距两大维度对技术机会进行识别。在技术内在演进规律维度，已有研究主要通过空白点、创新元素组合和来源轨迹识别技术机会。冯家琪等[16]通过关键词向量链路预测模型构建标准与专利映射关系，将高相似性的标准空白点识别为潜在研发方向；刘鹏等[18]基于集成电路专利文本，挖掘尚未形成但具有较高组合概率的创新元素组合，并将其界定为潜在关键核心技术创新机会；Chen等[19]利用SPLC算法提取光刻技术主路径，通过知识来源轨迹寻找技术突破口。在技术外在差距维度，已有研究主要通过比较科学研究与技术应用不同步的程度，识别尚未充分转化的潜在机会领域。Shibata等[5]提出科技差距模型，将科学研究活跃但专利应用不足的领域视为潜在技术机会；Liu等[14]进一步映射论文与专利演化路径，通过比较主题相似度，识别科学研究领先于技术应用的路径并将其视为技术机会。

现有技术机会识别研究已形成技术空白挖掘、技术轨迹推演与技术差距测度等研究路径，但仍存在不足：一是数据多局限于论文和专利，极少考虑标准数据，缺乏市场准入和话语权的考量；二是测度方法重数量、轻语义，缺乏深层语义匹配分析，难以充分刻画不同文本间语义关联；三是研究对象多集中于单一国家，较少关注国家间技术布局差异及技术与标准的关系，难以从全球竞争格局中识别潜在技术机会。基于此，本研究融合论文、专利与标准数据，通过比较中美技术布局差异及技术与标准语义匹配关系，识别中国集成电路领域的潜在技术机会。

2 研究设计与研究方法

2.1 研究框架

企业创新布局中，技术创新与标准战略协同推进，

有助于企业持续增强核心竞争力[20]。技术是标准形成的基础，经过验证并形成共识的技术知识通过规范化、制度化转化为技术标准；标准又通过技术指标、工艺规范与接口体系约束技术轨道，引导研发与迭代。由于知识实体间的内在关联可通过语义匹配量化表征[21]，本研究借助语义匹配，刻画技术主题与标准体系在技术对象、性能指标、工艺方法及应用场景上的关联，并基于此构建融合论文、专利与标准多源数据的研究框架，按数据处理、技术布局分析、技术机会识别三个步骤展开。①数据收集与预处理。对论文、专利、标准数据进行清洗，通过专业术语合并、噪声词过滤、分词，得到干净文本。②技术布局分析。基于词频统计得到中美论文与专利的高频关键词及其出现概率，采用多语言Sentence-BERT预训练模型生成语义向量，结合K-Means聚类和BERTopic模型提取中美集成电路核心技术主题，分析两国技术布局特征及差异。③技术机会识别。基于Sentence-BERT语义向量，将标准文本与技术主题映射至同一语义空间，利用余弦相似度计算技术主题与标准间的语义匹配度，据此识别中国集成电路领域的潜在技术机会。

2.2　数据收集与预处理

首先，根据产业特征构建检索式，从Web of Science获取论文数据；从IncoPat获取专利数据；从万方标准数据库获取中国标准数据，从联合电子设备工程委员会（Joint Electron Device Engineering Council，JEDEC）数据库、电气电子工程师学会（IEEE Electronic Library，IEL）数据库获取美国标准数据。其次，对原始数据进行去重、缺失值剔除，构建融合通用停用词与领域专属噪声词的过滤词典，剔除无实际技术意义的虚词与高频冗余词；并规范领域专业术语，统一技术概念表述。最后，对文本进行标准化、分词、去停用词、术语合并、噪声词过滤等处理，形成高质量技术语料库。

2.3　中美技术布局分析

本研究融合Sentence-BERT预训练模型、K-Means聚类方法和BERTopic模型，对中美两国论文、专利文本进行关键词提取与主题聚类，分析两国技术布局特征。具体步骤为：利用Sentence-BERT生成文本语义向量，通过K-Means聚类与肘部法确定中美技术主题的最优聚类数，将聚类结果输入BERTopic模型，调用c-TF-IDF（Class-based TF-IDF）算法提取各聚类的代表关键词和主题标签。相关计算方法如下。

（1）高频关键词提取与概率计算。采用词频统计提取中美论文与专利文本的高频关键词。对于给定的文本集合$D=\{d_1,d_2,\cdots,d_n\}$，进行分词、停用词过滤，得到词汇集合$W=\{w_1,w_2,\cdots,w_n\}$。统计词汇w_i在文本集合中的总频次c_i，并计算其出现概率p_i，计算方法如式（1）所示。

$$p_i=\frac{c_i}{\sum_{j=1}^{n}c_j} \tag{1}$$

其中，$\sum_{j=1}^{n}c_j$为所有词汇的总出现频次。

根据概率值降序排列分别得到中美论文和专利的Top100关键词及概率。

（2）论文–专利数据融合的语料库构建。合并同一国家的论文与专利，形成中国融合语料库$D_{\mathrm{CN}}=D_{\mathrm{CN_paper}}\cup D_{\mathrm{CN_patent}}$和美国融合语料库$D_{\mathrm{US}}=D_{\mathrm{US_paper}}\cup D_{\mathrm{US_patent}}$，分别反映中国和美国的整体技术布局。

（3）基于Sentence-BERT语义嵌入与K-Means聚类进行技术主题识别。

首先，采用多语言Sentence-BERT预训练模型对文本进行语义编码，对于文本d_i，其语义向量$\boldsymbol{e}_i$计算方法如式（2）所示。

$$\boldsymbol{e}_i=\mathrm{SentenceBERT}(d_i),\ \boldsymbol{e}_i\in\mathbb{R}^h \tag{2}$$

其中，d_i表示第i篇论文或专利文本。

其次，采用K-Means聚类与肘部法确定最优主题数。当聚类数为K时，类内平方和（WCSS）计算公式如式（3）所示。

$$\mathrm{WCSS}(K)=\sum_{k=1}^{K}\sum_{\boldsymbol{x}_i\in C_k}\left\|\boldsymbol{x}_i-\boldsymbol{\mu}_k\right\|^2 \tag{3}$$

其中，C_k表示第k个聚类，$\boldsymbol{x}_i$表示样本点，$\boldsymbol{\mu}_k$表示第k个聚类中心，K表示聚类数量。WCSS为样本点与聚类中心之间的离散程度，其值越小，表明聚类内部越紧密。

最后，通过遍历不同聚类数，计算类内平方和。当K增加到某一临界值后，WCSS下降速度明显减缓并形成“肘部”，采用最大弦距法自动识别肘点，得到最优主题数。

（4）BERTopic主题提取。在最优主题数基础上，采用BERTopic提取技术主题，依托框架内置的c-TF-IDF算法计算主题关键词权重，并依据权重筛选得到主题关键词集合。主题关键词权重计算方法如

式（4）所示。

$$\mathrm{cTFIDF}(t,c)=\mathrm{TF}(t,c)\times\ln\left(\frac{M}{\mathrm{DF}(t)}\right) \quad (4)$$

其中，$\mathrm{TF}(t,c)$为词项t在主题c中的频率，$\mathrm{DF}(t)$为包含词项t的主题数，M为主题总数。

2.4 基于技术与标准匹配的中国技术机会识别

基于中美技术布局，利用多语言Sentence-BERT预训练模型生成语义向量，结合余弦相似度测度中美技术主题与标准的语义匹配度，归纳中美技术与标准的四类匹配模式，识别中国潜在技术机会。具体步骤如下。

第一步，标准文本语义表示。采用与技术主题相同的多语言Sentence-BERT预训练模型对标准文本进行语义编码，生成标准语义向量集合$S=\{\boldsymbol{s}_1,\boldsymbol{s}_2,\cdots,\boldsymbol{s}_q\}$，其中$q$为标准条目总数量。

第二步，技术与标准匹配度计算。采用余弦相似度计算技术主题与标准间的匹配程度，余弦相似度取值范围为[0，1]，值越接近1，二者语义匹配度越紧密。

第三步，技术与标准匹配模式归纳。基于中美技术主题与标准体系的余弦相似度，划分4类匹配模式。设定中美技术主题向量集合分别为$\boldsymbol{T}_{\mathrm{CN}}$和$\boldsymbol{T}_{\mathrm{US}}$，标准向量分别为$\boldsymbol{S}_{\mathrm{CN}}$和$\boldsymbol{S}_{\mathrm{US}}$，中国技术—中国标准、中国技术—美国标准、美国技术—美国标准、美国技术—中国标准4类匹配模式的计算方法如式（5）~（8）所示。

$$\mathrm{Match}^{i}_{\mathrm{CN-CN}}=\mathrm{similarity}\left(\boldsymbol{t}^{i}_{\mathrm{CN}},\boldsymbol{s}_{\mathrm{CN}}\right) \quad (5)$$

$$\mathrm{Match}^{i}_{\mathrm{CN-US}}=\mathrm{similarity}\left(\boldsymbol{t}^{i}_{\mathrm{CN}},\boldsymbol{s}_{\mathrm{US}}\right) \quad (6)$$

$$\mathrm{Match}^{i}_{\mathrm{US-US}}=\mathrm{similarity}\left(\boldsymbol{t}^{i}_{\mathrm{US}},\boldsymbol{s}_{\mathrm{US}}\right) \quad (7)$$

$$\mathrm{Match}^{i}_{\mathrm{US-CN}}=\mathrm{similarity}\left(\boldsymbol{t}^{i}_{\mathrm{US}},\boldsymbol{s}_{\mathrm{CN}}\right) \quad (8)$$

第四步，置换检验。为检验技术与标准匹配差异的统计可靠性，计算各技术主题与中美每份标准文本的余弦相似度，以两国匹配度均值之差为检验统计量。在保持中美标准文本数量不变的条件下，随机置换标准文本国家标签并重新计算差值，重复5 000次构建零假设下的经验分布，计算95%置换区间及双侧经验p值，判断匹配差异是否显著。

第五步，中国技术机会识别。考虑不同技术领域文本规模和语义特征存在差异，匹配度的绝对数值不具有统一阈值，因此以全部技术主题与中美标准的匹配度为参照，采用第25（Q25）、第50（Q50）、第75（Q75）百分位数划分相对阈值，并结合技术主题布局和置换检验，将技术机会划分为3类。①标准空白型技术机会。中美任一国某技术已形成独立主题，且与中美标准体系的匹配度均低于Q25，说明该技术已有一定基础，但两国现有标准体系对其覆盖均较低。②技术短板型技术机会。美国已形成独立技术主题而中国尚未形成对应主题，该技术主题与美国标准体系的匹配度不低于Q50，且置换检验显示其与美国标准体系的匹配程度显著高于中国，表明美国已形成较明显的技术与标准优势，而中国技术积累相对不足。③技术布局优化型技术机会。美国已形成技术主题而中国尚未形成对应主题，该技术主题与中国标准体系的匹配度不低于Q75，且置换检验显示其与中国标准体系的匹配程度显著高于美国标准，表明我国可能在标准层面通过预研、引进转化对该技术方向开展前瞻性布局，但国内专利端的技术创新产出尚未跟进。

3 实证研究

3.1 数据样本

本研究聚焦集成电路，通过相关资料提炼核心关键词，并分别制定论文、专利、标准检索式。论文源于Web of Science，检索式为TS=（“integrated circuit*” OR “semiconductor chip*” OR “microchip*” OR “VLSI” OR “ULSI”）AND PY=（2015–2025），涉及领域为“Engineering Electrical Electronic”“Physics Applied”“Materials Science Multidisciplinary”“Computer Science”“Electrochemistry”，以论文发表机构所在国家为准，获取中国论文64 757篇、美国论文29 188篇。专利源于IncoPat，检索式为TS=（“integrated circuit*” OR “semiconductor chip*” OR “microchip*” OR “VLSI” OR “ULSI”）AND AD=（20150101–20251231），限定为有效发明专利，获取中国专利24 251件、美国专利35 042件。中国标准通过万方标准数据库进行检索，通过高级检索限定国际标准分类号为31.080和31.200，且发布时间为2015年1月1日—2025年12月31日，共获得354条中国标准。美国标准数据来自JEDEC数据库和IEL数据库。JEDEC数据库面向微电子产业，收录了正式标准、联合标准、技术要求、设计指南、测试方法等，为保证研究样本具有

明确的标准属性，本研究限定文档类型（Document Types）为JESD（JEDEC Standard）、JEP（JEDEC Publication）、JS（Joint Standard）进行标准检索后，通过人工核验剔除检索技术要求、程序等非标准类文档以及非集成电路领域的文档；在IEL中，本研究检索时限定国际标准分类号为31.080和31.200，且发布时间为2015年1月1日—2025年12月31日。通过两个数据库的检索共获得362条美国标准。考虑中美标准在数据库来源、收录范围及语言体系的差异，为保证可比性，统一采用国际标准分类号31.080和31.200；并对标准文本进行英译（优先采用官方英文版本，无官方译本的中国标准依据原文通过机器翻译）并参照ISO、IEC及IEEE标准术语体系进行规范与人工校对，以降低语言与数据库差异带来的偏误。利用Python进行分词、去停用词等预处理，形成后续分析文本数据。

3.2　中美集成电路技术布局分析

3.2.1　技术关键词分析

根据预处理数据，分别提取中美论文和专利的高频关键词及其概率。从中美集成电路论文和专利Top20高频关键词分别如表1和表2所示。论文层面，两国均涵盖power（功率）、design（设计）、integrated（集成）、circuit（电路）等，中国论文高频词集中于surface（表面）、optical（光学）、properties（性能）、temperature（温度）、materials（材料）等基础物理与材料特性，美国更侧重data（数据）、energy（能量）、model（模型）、CMOS（互补金属氧化物半导体）等应用导向与系统集成。专利层面，两国均涵盖integrated（集成）、circuit（电路）、semiconductor（半导体）、layer（层）、chip（芯片）等；中国专利突出connected

表1　中美集成电路论文Top20高频关键词

中国论文				美国论文			
关键词	概率	关键词	概率	关键词	概率	关键词	概率
high	0.005 5	temperature	0.002 7	power	0.005 3	low	0.002 4
power	0.004 0	energy	0.002 6	design	0.004 8	between	0.002 4
surface	0.003 6	work	0.002 6	high	0.004 4	work	0.002 3
nm	0.003 3	integrated	0.002 6	nm	0.003 5	μm	0.002 3
efficiency	0.003 1	between	0.002 5	integrated	0.003 2	circuits	0.002 3
optical	0.002 9	current	0.002 4	circuit	0.002 8	temperature	0.002 3
design	0.002 9	light	0.002 4	optical	0.002 7	current	0.002 2
properties	0.002 9	circuit	0.002 4	data	0.002 5	surface	0.002 2
low	0.002 7	model	0.002 3	energy	0.002 5	efficiency	0.002 2
μm	0.002 7	materials	0.002 2	model	0.002 5	CMOS	0.002 1

表2　中美集成电路专利Top20高频关键词

中国专利				美国专利			
关键词	概率	关键词	概率	关键词	概率	关键词	概率
circuit	0.033 5	control	0.006 1	circuit	0.032 9	least	0.007 9
integrated	0.019 6	data	0.006 0	integrated	0.022 0	IC	0.007 6
chip	0.012 5	surface	0.005 9	semiconductor	0.019 1	between	0.007 0
layer	0.010 5	substrate	0.005 8	layer	0.018 5	data	0.006 8
semiconductor	0.009 9	output	0.005 4	chip	0.013 0	power	0.006 6
signal	0.009 1	field	0.004 9	substrate	0.012 4	portion	0.006 6
connected	0.007 5	unit	0.004 9	surface	0.011 0	conductive	0.006 4
module	0.007 5	end	0.004 9	signal	0.010 4	each	0.006 4
voltage	0.006 8	plurality	0.004 5	plurality	0.010 2	voltage	0.006 4
power	0.006 8	relates	0.004 3	region	0.007 9	memory	0.006 1

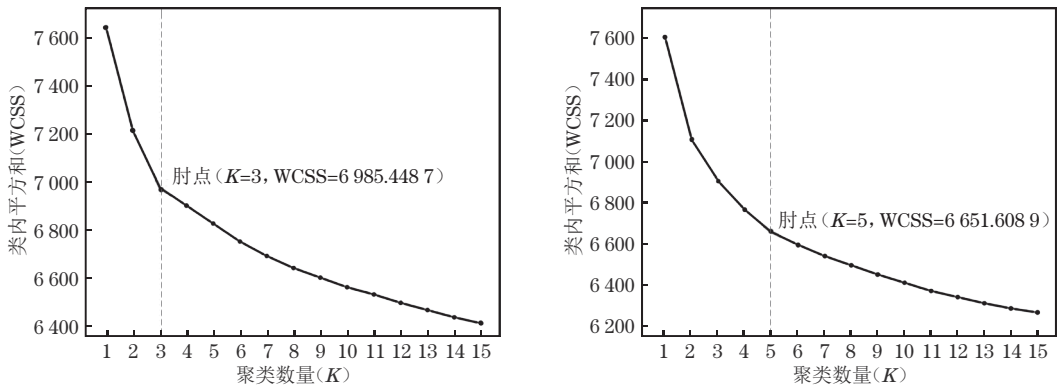
（连接）、module（模块）、control（控制）、output（输出）、unit（单元）等，多对应组件组合、功能模组、信号输出控制，归纳为制造工艺与模块集成方向；美国则更关注region（区域）、portion（部分）、conductive（导电的）、memory（存储器）等，多涉及器件内部区域、导电结构、存储单元，对应器件物理方向。

为揭示中美集成电路论文与专利之间的知识流动与语义关联，本研究将高频关键词导入Gephi，分别构建论文和专利关键词共现网络。关键词共现网络（因篇幅和呈现效果原因未予以展示）显示，中国论文节点主要在materials（材料）、properties（性能）、temperature（温度）、energy（能量）、optical（光学）、efficiency（效率）、surface（表面）等，侧重材料性能、表面特征、热效应、光电特性及能效优化；专利节点集中于circuit（电路）、chip（芯片）、semiconductor（半导体）、layer（层）、substrate（衬底）、voltage（电压）、signal（信号）、control（控制）、module（模块）、output（输出）等，侧重电路结构、芯片器件、层结构、基底设计以及模块控制。整体上，中国在基础材料、物理性能研究与器件结构、模块应用开发均有布局，但论文与专利节点重叠较少，知识转化和技术融合仍有提升空间。美国论文节点集中在materials（材料）、temperature（温度）、energy（能量）、efficiency（效率）、design（设计）、CMOS（互补金属氧化物半导体）、integration（集成）、photonic（光子）、hardware（硬件）等，既关注材料性能和能效，也涉及CMOS、电路设计、系统集成与硬件架构；专利节点则围绕circuit（电路）、chip（芯片）、semiconductor（半导体）、layer（层）、substrate（衬底）、gate（栅极）、memory（存储器）、interconnect（互连）、antenna（天线）、processor（处理器）、controller（控制器）等，突出器件结构、电路互连、存储器、处理器及控制器等技术实现。美国论文与专利的高频关键词对应的技术领域存在一定的关联（如电路设计与电路互连，硬件架构与器件结构），与中国相比，美国论文与专利联系更紧密，基础研究与工程应用衔接程度更高。

综合分析高频关键词与关键词共现网络发现，中国侧重于“材料—物理性能—器件”的基础探索，美国已形成“工艺—设计—系统”全链条融合，我国需提升基础材料与器件研究向先进制造、集成设计与系统应用的转化能力。

3.2.2 技术主题分析

基于以上分析结果，本研究采用肘部法确定最优主题数，为后续技术布局分析奠定基础。由图1可知，随着*K*值增加，中美WCSS均持续下降，中国WCSS曲线在*K*=3时出现拐点，美国WCSS曲线则在*K*=5时出现拐点。因此，中国最优主题数为3，美国为5。



(a)中国　　(b)美国

图1　基于肘部法确定中美技术最优主题数

本研究通过对中美集成电路论文–专利数据融合的语料库进行关键词聚类分析，得到中美集成电路技术布局。中国集成电路技术主题聚类为半导体材料与功能薄膜技术、光电集成电路与高频器件设计技术、集成电路器件与芯片系统集成技术三类（见表3），呈现明显的“材料—器件”驱动特征。美国集成电路技术主题聚类为硅基光电子与先进半导体材料技术、CMOS电路设计与高速信息处理技术、存储与信号处理电路技术、先进器件结构与互连工艺技术、先进封装与异构集成技术五类（见表4），呈现“材料—设计—器件—工

表3　中国集成电路技术主题聚类结果

技术主题	关键词	技术领域
CN-1	high；surface；properties；TiO_2；photocatalytic；ZnO；materials；doping；work；films	半导体材料与功能薄膜技术
CN-2	power；dB；design；model；high；optical；integrated；circuit；nm；frequency	光电集成电路与高频器件设计技术
CN-3	circuit；integrated；integrated circuit；chip；layer；semiconductor；signal；connected；module；voltage	集成电路器件与芯片系统集成技术

表4　美国集集成电路技术主题聚类结果

技术主题	关键词	技术领域
US-1	high；optical；nm；properties；materials；films；silicon；surface；temperature；low	硅基光电子与先进半导体材料技术
US-2	power；design；model；circuit；CMOS；dB；GHz；data；integrated；circuits	CMOS电路设计与高速信息处理技术
US-3	circuit；integrated circuit；integrated；signal；data；voltage；memory；plurality；output；power	存储与信号处理电路技术
US-4	layer；circuit；integrated；integrated circuit；substrate；die；conductive；surface；IC；dielectric	先进器件结构与互连工艺技术
US-5	semiconductor；chip；semiconductor chip；surface；layer；substrate；package；portion；disposed；redistribution	先进封装与异构集成技术

艺—封装”全链条特征。

3.3　中国集成电路技术机会识别

标准是各国争夺市场话语权的重要手段和竞争制高点[22]。从中美集成电路专利技术主题与标准文本语义匹配热力图（见图2）可知，色块越深技术与标准匹配度越高，中国集成电路器件与芯片系统集成技术（CN-3）与中国标准匹配度高达0.329 6，而半导体材料与功能薄膜技术（CN-1）中国标准匹配度仅为0.014 1，表明中国标准体系对器件与芯片系统集成覆盖较高，但对材料技术的支撑不足，整体呈现集中化特征，协同性不足。美国技术主题与美国标准的匹配度分布在0.116 2~0.200 7，覆盖芯片设计、电路及先进封装等关键环节，整体较为均衡，协同性较好。

为检验中美技术与标准匹配差异是否由随机分组产生，对各技术主题进行5 000次置换检验。置换检验结果如表5所示，各技术主题实际匹配差值均落在95%置换区间之外，双侧经验p值均小于0.01，说明中美技术主题与标准体系的匹配差异显著，通过置换检验。

基于前述技术机会分类，结合国家政策和产业规划交叉验证，识别出中国在集成电路领域存在以下技术机会。

（1）半导体材料与功能薄膜技术（CN-1）。CN-1与中国、美国标准的匹配度分别为0.014 1和0.087 5，均低于全部技术与标准匹配结果的Q25，表明中美现有标

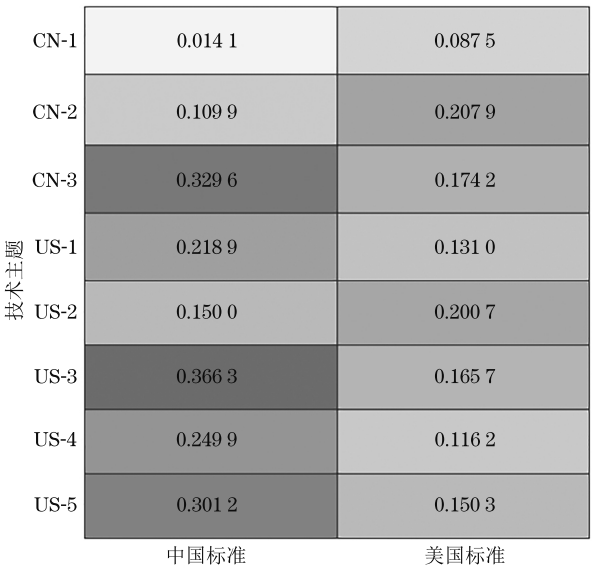


图2　中美集成电路专利技术主题与标准文本语义匹配热力图

准体系对该领域覆盖有限，依据技术机会分类第一条将半导体材料与功能薄膜技术判定为国际标准空白型技术机会。关键词显示，该技术主题主要涉及氧化锌、二氧化钛、功能薄膜、表面性能调控等，已形成独立研究方向，但材料性能、制备工艺等标准仍不足，呈现技术发展快于标准建设的特征。《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划（2024—2025年）》[23]已将集成电路、半导体材料列为关键技术领域标准攻关方向；全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会发布《关于征集2025年度半导体材料国家标准、行业标准、协会标准项目计划的通知》[24]，说明我国相关标

表5　置换检验结果

技术主题	中国标准匹配度	美国标准匹配度	匹配差值（中国−美国）	95%置换区间
CN-1	0.014 1	0.087 5	−0.073 3**	[−0.008 1，0.008 1]
CN-2	0.109 9	0.207 9	−0.098 0**	[−0.012 0，0.011 4]
CN-3	0.329 5	0.174 2	0.155 3**	[−0.019 0，0.018 6]
US-1	0.218 9	0.131 0	0.087 9**	[−0.011 4，0.011 8]
US-2	0.150 0	0.200 7	−0.050 7**	[−0.013 2，0.013 0]
US-3	0.366 3	0.165 7	0.200 6**	[−0.019 9，0.020 1]
US-4	0.249 9	0.116 2	0.133 7**	[−0.014 8，0.015 3]
US-5	0.301 2	0.150 3	0.150 9**	[−0.014 9，0.015 4]

注：“**”表示$p<0.01$。

准建设正加快推进。美国白宫科技政策办公室发布《国家微电子研究战略》[25]同样将新功能或功能增强材料列为首要关键研究领域，提出需规范化半导体材料。可见，中美均重视先进半导体材料，但标准建设仍滞后于技术演进。我国应发挥技术积累优势，加快新型半导体材料、功能薄膜及材料性能评价等国际标准布局，推动技术优势向标准优势转化。

（2）CMOS电路设计与高速信息处理技术（US-2）。US-2与美国标准体系的匹配度为0.200 7，高于其与中国标准体系的匹配度（0.150 0），高于全部技术与标准匹配结果的Q50，且置换检验差异显著，依据技术机会分类第二条判定为技术短板型技术机会。其关键词包括CMOS（互补金属氧化物半导体）、power（功率）、design（设计）、data（数据）等，表明美国已形成覆盖CMOS电路设计、高速信息处理及低功耗计算的较完整技术体系，而中国尚未形成对应独立技术主题，呈现技术与标准差距并存、技术短板更为突出的特征。我国已发布《CMOS集成电路抗辐射加固设计要求》（GB/T 41033—2021）、《集成电路　CMOS图像传感器测试方法》（GB/T 43063—2023）等CMOS相关标准，但面向人工智能算力、低功耗CMOS建模的系统性标准尚不完善。美国依托JEDEC构建了从接口规范到设计方法的配套标准体系（如CMOS半定制设计指南JEP116等）。《信息化标准建设行动计划（2024—2027年）》[26]提出围绕集成电路关键领域，加大先进计算芯片、新型存储芯片关键技术标准攻关，推进人工智能芯片、车用芯片、消费电子用芯片等应用标准研制。我国应同步完善标准体系，加强CMOS先进工艺、电路架构、高速数据处理及EDA工具等关键技术研发，提升标准制定与国际规则参与能力。

（3）先进器件结构与互连工艺技术（US-4）、先进封装与异构集成技术（US-5）。US-4和US-5与中国标准匹配度为0.249 9和0.301 2，均高于Q75且置换检验，表明它们与中国标准体系的匹配度显著高于美国，依据技术机会分类第三条判定为技术布局优化型技术机会。美国在先进器件结构、互连工艺及先进封装领域已形成较强技术优势，而中国虽已具备较强标准关联，但技术主题布局仍显不足，技术与标准协同有待提升。《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》明确提出“在先进存储、先进计算、先进制造、高端封装测试、关键装备材料、新一代半导体技术等领域，结合行业特点推动各类创新平台建设”[27]。《产业结构调整指导目录（2024年本）》[28]将半导体、光电子器件、高密度互连积层板、系统级封装、倒装封装划为国家鼓励类发展核心技术。我国主导制定的GB/T 46280系列标准作为芯粒领域首批国家标准，为推动先进封装、系统架构等提供了有力支撑。未来应重点加强先进器件结构、互连工艺、异构集成及先进封装等关键技术研发，形成独立技术优势，完善全链条标准体系，推动技术与标准协同提升。

4　结语

4.1　研究结论与建议

本研究整合中美集成电路论文、专利及标准数据，通过高频词统计、共现网络分析、主题聚类及技术与标准匹配分析，厘清中美两国集成电路领域的技术布局差异，识别我国潜在技术机会。研究发现，中美集成电路技术发展存在基础探索与系统集成层面的错位格局，中国偏向基础材料、物理特性方向，形成“材料—物理性能—器件”的布局；美国则围绕“工艺—设计—

系统”实现全链条协同布局。相较于美国科研与技术联动紧密的成熟创新生态，我国基础研究产出较为活跃，但基础成果向专利技术落地转化尚有提升空间。与此同时，国内技术创新与标准建设的协同效应仍有待强化，半导体材料与功能薄膜技术领域已具备一定技术积淀，对应的标准建设却相对滞后，技术积累尚未有效转化为国际标准话语权；CMOS电路设计与高速信息处理虽搭建起基础标准框架，但人工智能算力、低功耗CMOS建模等前沿赛道，技术研发与标准储备均存在短板；先进器件结构与互连工艺、先进封装与异构集成方向虽已启动国内标准布局，但尚未形成可对标国际水平的特色技术主题。

基于上述结论，为提升我国集成电路产业的竞争力和自主可控水平，提出以下建议。

（1）政府应构建基础研究与系统集成双轮驱动体系，补齐全链条短板。发挥我国在基础材料和器件物理领域的优势，持续加大研发投入力度，稳固技术根基；同时聚焦工艺设计和系统集成领域，设立专项研发计划，鼓励基础研究团队与芯片设计、制造企业组建联合实验室，定向补齐“工艺—设计—系统”全链条短板，缩小中美技术布局差距。

（2）政府应强化产学研协同，打通基础研究向研发技术转化链路。建立以领军企业为核心的协同创新平台，引导高校和科研院所加强应用基础研究，设立专项转化基金，推动科研成果向专利、工艺标准与产业化方案转化。完善知识产权转化激励机制，提高科研人员的技术成果转化收益，促进科研活动与产业需求衔接。

（3）多方主体应协同统筹技术创新与标准建设，实施差异化布局。针对半导体材料与功能薄膜技术，标准化机构应加快关键性能指标、测试评价方法和制备工艺等相关标准的制定，推动技术优势向国际标准转化。针对CMOS电路设计与高速信息处理技术，企业应加强人工智能芯片、高性能计算和低功耗设计等关键技术攻关，并将标准需求嵌入研发过程，推动技术突破与标准布局同步开展。针对先进器件结构与互连工艺，企业应发挥现有标准布局的牵引作用，形成“标准需求—技术攻关—实验验证—标准迭代”的协同机制。针对先进封装与异构集成，企业、科研机构、标准化机构应围绕芯粒（Chiplet）、异构集成、先进封装接口及封装测试等方向，加强产业链主体协同，推动技术研发、标准研制、产品验证与产业应用衔接。针对不同类型的技术机会实行差异化策略，促进技术创新与标准体系协同发展。

4.2　研究展望

尽管本研究从中美比较视角揭示了集成电路的技术布局差异与我国潜在技术机会，但仍存在拓展空间。未来可从两个方面展开：一是考虑时间维度，追踪中美技术主题与标准匹配度的动态演化，识别技术机会的阶段性变化；二是引入国际标准、政策文件多源异构数据，构建“论文—专利—标准—政策关联”框架，更全面刻画技术创新、标准演进与政策引导的互动关系。

参考文献

[1] 吴菲菲，韩朝曦，黄鲁成. 集成电路产业研发合作网络特征分析：基于产业链视角[J]. 科技进步与对策，2020，37（8）：77–85.

[2] OLSSON O. Technological opportunity and growth[J]. Journal of Economic Growth，2005，10（1）：31–53.

[3] 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.

[4] YOON B，MAGEE C L. Exploring technology opportunities by visualizing patent information based on generative topographic mapping and link prediction[J]. Technological Forecasting & Social Change，2018，132：105–117.

[5] SHIBATA N，KAJIKAWA Y，SAKATA I. Extracting the commercialization gap between science and technology—Case study of a solar cell[J]. Technological Forecasting & Social Change，2010，77（7）：1147–1155.

[6] WANG J，DING Z，LIU Z，et al. Technology opportunity discovery based on patent analysis: a hybrid approach of subject-action-object and generative topographic mapping[J]. Technology Analysis & Strategic Management，2024，36（9）：2070–2083.

[7] MAGNUS B，KNUT B. Development of 5G–Identifying organizations active in publishing，patenting，and standardization[J]. Telecommunications Policy，2022，46（4）：102326.

[8] 刘淑春，林汉川. 我国制造业标准国际化战略对策[J]. 宏观质量研究，2020，8（6）：80–95.

[9] 王桂芳，何涛，马廷灿，等. 基于科技文献的生物核磁领域技术机会识别[J]. 科技管理研究，2016，36（10）：142–147.

[10] KAJIKAWA Y，YOSHIKAWA J，TAKEDA Y，et al. Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy[J]. Technological Forecasting & Social

Change，2007，75（6）：771–782.

[11] 吴雷，周书发，林超然. 基于专利文本深度语义信息挖掘的颠覆性技术识别及预测研究[J]. 情报学报，2025，44（12）：1566–1579.

[12] 秦浩，赵一鸣，马亚坤，等. 融合语义与引文特征的潜在颠覆性技术识别研究[J]. 情报学报，2026，45（5）：643–662.

[13] DING W，CHEN C. Dynamic topic detection and tracking: A comparison of HDP, C-word, and cocitation methods[J]. Journal of the Association for Information Science and Technology，2014，65（10）：2084–2097.

[14] LIU P，ZHOU W，FENG L J，et al. Mapping and comparing the technology evolution paths of scientific papers and patents: An integrated approach for forecasting technology trends[J]. Scientometrics，2024，129（4）：1975–2005.

[15] 尹航，李云柯，王志楠，等. 科技差距视角下技术机会识别方法优化研究[J]. 科学学研究，2025，43（2）：300–310.

[16] 冯家琪，王海燕，吴菲菲，等. 基于标准和专利数据的企业技术研发方向识别研究[J]. 情报杂志，2024，43（3）：106–112，149.

[17] 刘志迎，姚嘉珍. 生物反应器关键核心技术识别与国别差距研究[J]. 科学学研究，2025，43（4）：723–732，786.

[18] 刘鹏，魏晨宇，张珂，等. 融合LangChain和多维技术创新地图的关键核心技术创新机会识别[J]. 情报学报，2026，45（6）：809–827.

[19] CHEN P，DAVID K G，ZHAO D. Identifying technology lock-in and tracing knowledge source trajectories: a case study of lithography[J]. Technology Analysis & Strategic Management，2024，36（10）：2414–2429.

[20] 陆婵. 我国技术标准战略与高科技企业标准工作研究[J]. 科技管理研究，2005（8）：17–20.

[21] BORDES A，GLOROT X，WESTON J，et al. A semantic matching energy function for learning with multi-relational data[J]. Machine Learning，2014，94（2）：233–259.

[22] 苏玺鉴，胡安俊. 人工智能的产业与区域渗透：态势、动力、模式与挑战[J]. 经济学家，2023，（2）：79–89.

[23] 贯彻实施《国家标准化发展纲要》行动计划（2024—2025年）[EB/OL]. [2026–05–18]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6942541.htm.

[24] 关于征集2025年度半导体材料国家标准、行业标准、协会标准项目计划的通知[EB/OL]. [2026–05–18]. http://www.cnsmq.com/index.phpa=show&c=index&catid=29&id=4162&m=content.

[25] 国家微电子研究战略[EB/OL]. [2026–05–18]. https://chinawto.mofcom.gov.cn/article/jsbl/zszc/202404/20240403504419.shtml.

[26] 信息化标准建设行动计划（2024—2027年）[EB/OL]. [2026–05–18]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202405/content_6954255.htm.

[27] 新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策[EB/OL]. [2026–05–18]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content_5535318.htm.

[28] 产业结构调整指导目录（2024年本）[EB/OL]. [2026–05–18]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6923472.htm.

作者简介

许学国，男，博士，教授，研究方向：技术创新管理。
刘凤梅，女，博士研究生，通信作者，研究方向：技术创新管理，E-mail：liufengmei1123@163.com。
周诗雨，女，博士，讲师，研究方向：技术创新管理。

A Study on Identifying Technological Opportunities for China's IC Industry from the Perspective of China-U.S. Technology-Standard Alignment

XU XueGuo[1] LIU FengMei[1] ZHOU ShiYu[2]
(1. School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, P. R. China;
2. School of Economics and Management, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, P. R. China)

Abstract: Integrated circuit (IC) is the foundation of frontier technologies such as artificial intelligence, high-performance computing, and 6G, and has become a strategic high ground in major-power technological competition and supply-chain security. Identifying differences in IC technology layout between China and U.S., as well as China's potential technological opportunities, is of great significance for promoting the independent controllability and high-quality development. Based on Chinese and U.S. papers, patents, and standards in the IC field, this study employs high-frequency keyword analysis, co-occurrence networks, topic clustering, and technology-standard matching to identify China's technological opportunities. The results show that China focuses more on fundamental exploration in materials, physics property, and devices, whereas U.S. maintains advantages across the process, design, system value chain. U.S. has developed a mature ecosystem characterized between scientific research and technological development, while China has active basic research but relatively insufficient translation of research outcomes into technological applications. Through technology-standard matching analysis, this study identifies four categories of key technological opportunities, including semiconductor materials and functional thin films, CMOS circuit design and high-speed information processing, advanced device structures and interconnect processes, and advanced packaging and heterogeneous integration. This research offers an important reference for China's IC technology tackling and standard layout.

Keywords: U.S.-China Technology Layout; Technology-Standard Alignment; Identification of Technology Opportunities; Integrated Circuit