

标准化学科构建基础：学科交叉特征与知识体系 ——基于 WoS 数据库期刊学科分类

顾兴全^{1,2}

(1.中国计量大学质量与安全工程学院; 2.中国计量大学标准化教育研究中心)

摘要：标准化学科建构的问题在30年前就已经被专家学者提出，但标准化能否成为一门学科的争论从未间断。从国内外有关标准化学科理论文献研究来看，标准化学科难以建构的根源在于缺乏领域内学科基础和理论知识体系的共识。本研究基于Web of Science核心集合数据库(1992–2017)7036篇学术论文作为分析数据源，利用大数据、知识图谱技术和共现分析等分析方法对标准化研究的学科交叉特征和研究主题进行分析，以期为发现标准化学科的研究范式进行有益探索。研究表明，标准化研究主要涉及社会科学学科群、电子信息工程学科群、物理化学学科群和环境科学学科群等四大学科群，其中，社会科学学科是整个标准化研究中影响力最大的核心基础学科。同时也发现，社会科学学科领域的标准化研究涉及创新、法规、治理、政策、安全、可持续发展等研究主题；电子信息工程学科领域的标准化研究聚焦于互操作性等研究主题；物理化学学科领域的标准化研究涉及内标、不确定度、比对、参考标准物质等研究主题；环境科学学科领域的标准化研究涉及环境质量标准、再生比例标准、可持续性等研究主题。随着人类发展和技术进步，各学科领域对标准化研究的影响力，以及标准化研究的主题也会随之发生变化，但其学科基础和基本研究主题将保持相对稳定。

关键词：标准学，学科交叉，知识体系，研究主题

DOI编码：10.3969/j.issn.1674-5698.2023.10.001

Establishing the Standardization Discipline Basis: Cross-disciplinary Characteristics and Knowledge System —Based on Discipline Classification in WoS Database Journal

GU Xing-quan^{1,2}

(1.School of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University;
2. Research Center for Standardization Education, China Jiliang University)

Abstract: The construction of standardization discipline has been put forward by experts and scholars 30 years ago, but the debate on whether standardization can become a discipline has never stopped. From the domestic and foreign research on standardization discipline, the reason for the difficulty in constructing the discipline is a lack of consensus on discipline basis and knowledge system. Based on 7,036 academic papers from the Web of Science core collection database (1992–2017), this paper analyzes the cross-disciplinary characteristics and themes of standardization research by using the analysis methods such as big data, knowledge mapping technology and co-occurrence analysis, with a view to exploring the research paradigm of standardization. The results show that standardization research mainly involves four major discipline groups: social science discipline group, electronic information engineering discipline group, physical and chemistry discipline group and environmental science discipline group. Among them, social science discipline is the most influential core basic

基金项目：本文受国家市场监督管理总局标准创新管理专项(项目编号: 2022[BC02]001) (项目编号: 2022[BC02]002) 资助。

作者简介：顾兴全, 副教授, 研究方向为标准化教育与战略、服务质量与可持续发展标准化、标准数字化及应用。

discipline in the whole standardization research. At the same time, it is also found that standardization research in the subject area of social science involves research topics such as innovation, regulation, governance, policy, safety, and sustainable development; Standardization research in the subject area of electronic information engineering focuses on research topics such as interoperability; Standardization research in the subject field of physical and chemistry involves research topics such as internal standards, uncertainty, comparison, and reference materials; Standardization research in the subject field of environmental science involves research topics such as environmental quality standards, regeneration ratio standards, and sustainability. With the advancement of human beings and technological progress, the influence of various subject areas on standardization research and the themes of standardization research will also change, but its discipline basis and basic themes will remain relatively stable.

Keywords: standardology, interdisciplinary, knowledge system, themes

0 引言

随着人类进步和技术发展,特别是信息技术的发展,社会生产和生活持续不断地扩大与复杂化,标准化工作的必要性和重要性更加毋容置疑。标准化工作的效率越来越取决于标准化学科的完善程度和理论水平。我国无论是高质量发展还是实现国家治理体系和治理能力现代化都对标准化学科理论建设提出了更高的要求,也为构建中国特色的标准化学科提供了难得的历史机遇。

国内外学者已在标准化学科理论等方面做了一系列的探索研究。魏尔曼 (Lal C. Verman) (1973) 最早提出“标准化是一门新学科”^[1]。钱学森 (1979) 提出了“标准学”概念,并提出标准学是“介于自然科学和社会科学之间,社会科学成分更大一些”的论断。他指出“标准学还是尚在研究的东西,尚未建立自己的知识体系”^[2]。进入21世纪以来,许多学者从不同的角度探讨了标准化学科的知识体系框架。劳伦斯·布施则认为标准化研究有现象学的方法、历史学的方法以及深入技术细节的方法,并指出标准的多重含义导致现象学的研究方法非常实用,而采用历史学的方法和深入技术细节的方法研究标准化需要涉及的内容实在太庞大了,不是一个人能够完成的事情^[3]。沈君等 (2012) 提出标准学知识体系应该以技术标准为核心进行构建^[4]。梁正等 (2012) 认为标准学具有技术、经济和社会3个属性^[5]。Henk J.de Vries (2012) 提出标准化的研究范围应集中在4个方面:标准自身、标准制定、标准采用和标准使用等方面。他认为标准化研究的基

础学科主要是数学和社会学,应用学科是药学、商学、公共管理、建筑学等,与具体的标准活动相关的应用学科有政策学、设计学、技术与社会学研究、信息科学等。他还指出标准化研究具有多学科性,而且标准化理论和学科建设仍然不成熟,需要花大力气进行建设^[6]。李上等 (2013) 提出标准学研究应涉及科学、技术和工程3个方面^[7]。吴学静等人 (2013) 提出标准学应由基础知识、通用知识和专门知识组成^[8]。基于以上学者的观点,我们至少可以归纳出:(1)经过不到半个世纪的努力,标准化学科理论研究已经有了发展,但学术领域对标准化学科理论的研究几乎是从本世纪才开始的。(2)标准化研究具有多学科性,与其他学科的交叉渗透趋势越来越明显,但学科之间的融合在国内外标准化研究中尚未充分展开。(3)标准化研究方法集中在现象学,采用历史学的方法和深入技术细节的方法几乎鲜有人运用,由此标准化学科理论研究需要在研究方法上有所突破。

综上所述,虽然经过40多年的发展,当前的标准化学科理论研究无论在业界还是学术界依然是一个共识度较低的领域,依然面临着学科基础和理论体系不清晰等诸多问题,标准化是否能成为一门学科的争论也从未间断,所有这些问题归根结底是由于标准化学科基础和理论知识体系的“共识”不足造成。为此,本文试图借助科学计量学、知识图谱技术等方法和技术,梳理国际上标准化研究学科交叉的整体发展特征与态势,展示国际标准化研究学科基础、涉及的主要学科领域,分析和评估标准化研究的学科交叉特征,揭示标准化研究

的基础学科领域,以及各个学科领域所重点关注的研究主题,为构建标准化学科寻求学科基础和理论知识体系的共识进行有益探索。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

为了探索标准化研究所涉及的主要学科及其关注的研究主题,本研究在国际权威数据库Web of Science核心集合数据库中检索标题中含有“standard or standards or standardization or standardisation”的论文,共检索和下载29,984篇文献,筛选出含有作者关键词字段(DE)和学科字段(WC)的文献21,242篇,选取作者关键词中包含“standard”字段的7036篇学术论文作为分析的数据源。然后,利用python genism,基于Topic model并采用LSI(Latent semantic indexing,潜层语义索引)进行文档主题聚类,筛选出与本研究主题相关的文献4947篇作为本研究样本,检索得到的文献的最终时间跨度为1992–2017年。

1.2 研究方法

共词分析法:构建学科网络。共现分析的基本思想是共同出现的特征项间存在着某种关联,关联程度可用共现频次测度^[9]。学术论文中同时包含2个及以上的学科类别,反映出这些学科之间存在着一定的关联性。由于以标准化或标准为研究主题的学术论文通常被归属到不同的学科领域,因此基于期刊学科分类视角分析标准化研究主题的学术论文所属的学科能够体现标准化研究的学科交叉性。为避免遗失一些重要的中低频学科词,本研究将标准化研究主题的学术论文所属的全量学科而不是传统的高频学科作为待分析学科词语候选集。具体方法如下:首先从文献中提取学科词并统计共现关系强度,本研究将强度阈值设定为2,然后生成共现矩阵。与基于高频词构建的矩阵相比,本方法构建的矩阵包含了领域内所有学科关联所涉及的节点,且矩阵中所有关联均为可靠关联,因此更为全面可靠。

学科交叉特征识别方法:识别学科交叉特征。

学科交叉之处是科学新的生长点,最有可能产生重大的科学突破,使科学发生革命性的变化^[10]。一门学科与众多相关学科的研究处于一种交叉关系,吸取相关各个学科的营养,不断完善,在交叉中获得发展,是学科不断成熟的一种体现^[11]。因此,标准化学科交叉特征研究是探测标准化学科是否成熟发展的一种有效视角。本研究采用的学科交叉特征指标主要有中介中心性、信息熵和度中心性,分别测度学科核心边缘结构、学科多样性及学科影响力。

K-core分解法。K-core值是复杂网络分析中常用的参数之一,而且是一种比较稳定和简单的参数。其定义为:如果一个子网络中,每个节点至少与子图中K个其他节点相连,则这个子网称之为总网络的K-core^[12]。由于K-core值可揭示节点的核心程度,故其可用于划分网络层次(称为K-shell)^[13]。本文先将共词网络按K-core值划分多个子层,然后依据各层聚类系数和密度为参数融合成几个大层。

本研究应用了UCINET6、Netdraw2.084和Gephi0.9.2软件,分别对标准化研究的学科领域层次进行了K-core分析,对学科领域进行了分区模块化等分析及其可视化,对学科领域与学科群的中心性进行了分析等。

2 结果分析

2.1 标准化研究学科交叉结构特征分析

2.1.1 基础学科群

从20世纪90年代起,医药化学、化学跨学科、药学与药理学等学科开始对标准化领域的内标法等问题开展研究。截至2017年,关注标准化问题相关研究的学科领域达到232个,其中共现2次及以上的有207个学科领域。我们利用Ucinet和Netdraw软件,对标准化研究的相关学科共现二值矩阵进行K-core的分析来寻找标准化研究的学科交叉网络。通过K-core分析,有6个核被识别出。由于K-core值为1的节点主要是与孤立的节点或度为1的节点,并非学科领域网络重点,因此本研究选取K-core的值为2~6,最终的学科领域网络中包

含174个节点,再将各K-shell层中节点数据导入到Ucinet中计算聚类系数和平均密度,结果如表1所示。依据聚类系数和密度对层进行融合,并将标准化领域学科网络划分为基础学科群、外围学科群和边缘学科群。由于同一层次节点在关系构成、网络地位上有共性,因此本文将高密度关联构成的内核层称之为学科网络的基础层,既标准化研究的基础学科群。

表1 K-shell 子层的聚类和密度

K-shell	聚类系数	密度
6-shell	0.470	0.2121
5-shell	0.463	0.1105
4-shell	0.479	0.0714
3-shell	0.314	0.0359
2-shell	0.600	0.0338

通过表1,我们可以看出,6-shell、5-shell的聚类系数和密度相近。4-shell、3-shell的聚类系数和密度相近,但相对于6-shell、5-shell,其聚类系数不降反升;而2-shell的聚类相对4-shell和3-shell又极剧升高。依据这种变化我们进行子层融合,最终将大层划分为6-shell加5-shell、4-shell加3-shell、2-shell。由此我们将标准化研究领域学科网络划分为基础学科群(K -core值为5~6)、外围学科群(K -core值为3~4)和边缘学科群(K -core值为2)。

其中,基础学科关联网络中包含79个节点,即含有79个学科领域。外围学科群和边缘学科群分别含有69个学科领域和26个学科领域。基础学科群是标准化研究学科领域中的稳定内核,相对于外围学科群和边缘学科群,基础学科群具有高频、高点度和高中心性的特点,它反映了标准化研究涉及的绝大多数学科领域都可纳入其范畴。基础学科群作为标准化研究学科领域的稳定内核,标准化研究所属学科

领域必然在基础学科群中有所反映,因此,本文将

以基础学科群作为研究重点,以揭示标准化研究公认的、核心的基础学科构成,从而取得学术共同体对标准化学科构建的共识。在基础学科关联网络基础上,利用Gephi0.9.2软件中的分区模块化算法($Q=0.411$)将基础学科群拆分成4个子学科群,即学科群A、学科群B、学科群C、学科群D,根据学科群领域,将各学科群分别命名为环境科学学科群、电子信息工程学科群、物理化学学科群和社会科学学科群。标准化领域基础学科关联网络及学科群如图1所示。

在图1学科关联网络图中,颜色相同的节点表明它们属于同一学科群。节点的大小反映节点在网络中的中介中心性大小,由此显示各学科领域在整个网络中的影响力。图1全面展示了标准化研究涉及的主要学科领域的基本格局,我们可以清晰看到主要有四大学科群关注标准化研究,分别为:学科群A(中介中心性前5的学科领域)为环境科学、土木工程、机械工程、环境工程、能源与燃料等。学科群B为计算机科学跨学科应用、电子电气工程、信息系统、医学信息学、统计学等。学科群C为化学物理、分析化学、生物化学研究方法、化学多学科、仪器仪表等。学科D为经济学、社会学、商业、伦理学、公共环境与职业健康等。

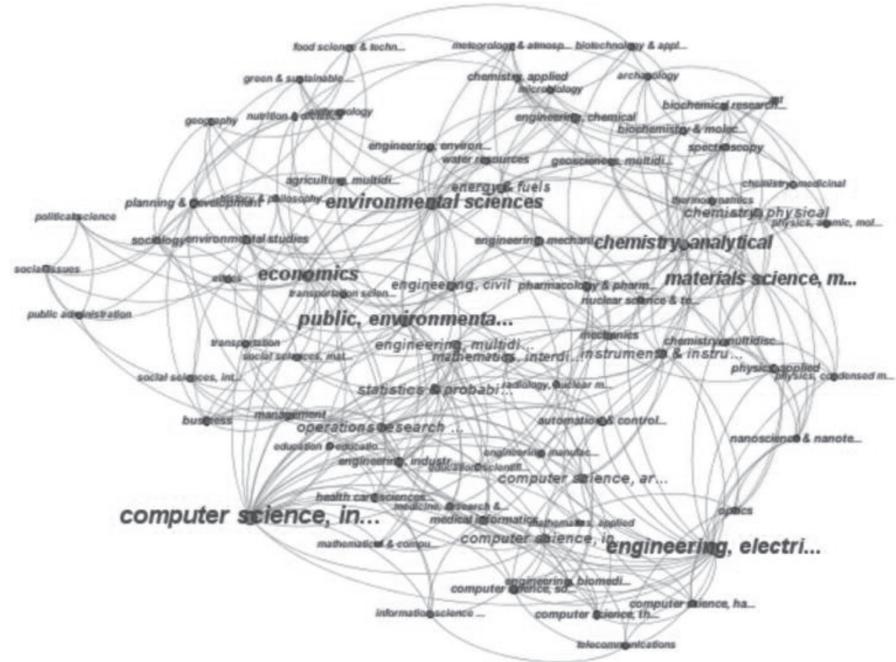


图1 标准化领域基础学科关联网络及学科群

2.1.2 标准化研究学科交叉结构特征

学科群的中介中心性能够反映每个学科群体在整个关联网络中的地位。从表2可以看出,社会科学学科群有较高的中介中心性,而环境科学学科群的中介中心性最低,电子信息工程学科群和物理化学学科群的中介中心性差距较小,这反映出社会科学学科群是标准化研究基础学科群中最核心的学科群。虽然社会科学学科群的中介中心性平均值高达15.609,但它的度中心性平均值仅为3.913,低于电子信息工程学科群、物理化学学科群和环境科学学科群。这说明社会科学学科群具有明显的桥梁作用,在标准化研究中的学科地位最为突出。这一结论验证了钱学森关于“标准学社会科学成分更大一些”的论断。电子信息工程学科群和物理化学学科群的中介中心性和度中心性都比较高,这说明虽然这两个学科群在标准化研究中的桥梁作用没有社会科学学科群那么显著,但它们是标准化研究中的主流学科群。环境科学学科群中介中心性和度中心性都不是很高,这说明环境科学学科群在标准化研究中尚未形成主流且学科地位还不突出。信息熵可以识别学科群体的多样性,即学科交叉程度。通常,信息熵越大,各学科在学科群体内的平均分布程度越高,也就是学科交叉程度越大^[14]。从表2可以看出信息熵较大的学科群体是电子信息工程学科群和社会科学学科群,信息熵分别为1.264和1.205。最小的是环境科学学科群,其信息熵为0.915。这表明电子信息工程学科群和社会科学学科群的学科平均分布和学科交叉程度均较大,而环境科学学科群体内的学科相对较单一。另外,电子信息工程学科群与社会科学学科群的信息熵差异较小,但它们的中介中心性和度中心性之间有较大的差异,社会科学学科群有较高的中介中心性,而电子信息工程学科群有较高的度中心性,这说明社会科学学科群在标准化研究中具有全局性的影响力,而电子信息工程学科群在标准化研究中具有较大的局部影响力。其中,社会科学学科群既有高的中介中心性,又有高的信息熵,这进一步说明社会科学在整个标准化研究中具有基础性地位。

表2 基础学科各学科群中心性平均值

学科群	中介中心性平均值	度中心性平均值	信息熵
社会科学学科群D	15.609	3.913	1.205
电子信息工程学科群B	9.696	5.913	1.264
物理化学学科群C	8.053	5.684	1.163
环境科学学科群A	3.000	4.727	0.915

2.2 标准化研究涉及的主要学科群体及其关注的主题

2.2.1 社会科学学科群

从图1和表3可以看出,社会科学学科群中经济学、社会学、商学、伦理学、公共环境与职业健康联系紧密,其中经济学是涉猎标准化研究最为核心的学科,它出现的词频数为239次,中介中心性和度中心性分别高达123.112和11.000,是连接社会科学学科群与其他学科群之间的桥梁性学科,这也说明经济学在标准化研究中的影响力最大,具有核心性、基础性和桥梁性学科的地位。其次,社会学对标准化研究的影响力仅次于经济学。它出现的词频数仅为37次,但其中介中心性和度中心性分别高达50.538和6.000,这说明在标准化研究中社会学尚未形成主流,但它在标准化研究领域中的学科地位是比较显著的,是桥梁性和基础性作用最为显著的学科之一。我们还发现,标准化在社会科学领域主要涉及标准、标准化、标准制定、法规、创新、认证、治理、评定、可持续标准、认可、技术标准、符合性、政策、质量等主题。其中,对于经济学,主要关注标准、可再生能源比例标准、标准化、可再生燃料标准和最小质量标准等主题。社会学的关注主题是治理、标准化、私有标准、标准、认证、反标准化、可持续标准等主题。商学以标准化、标准、会计标准、国际财务报告准则、标准制定、法规等为主题。标准化在社会科学领域的研究主题随社会问题的变化而变化,诸如:可再生能源、治理、可持续发展等研究主题。

2.2.2 电子信息工程学科群

从表4可以看出,电子信息工程学科群是计算机、电子电气工程、信息系统、医学信息学等为核心的学科研究群体。标准化在电子信息领域的研究主要涉及标准、标准化、校准、不确定度、互操作性、溯源、参考标准、安全性、比对、创新、国际标准、

表3 社会科学中介中心度排名前5的学科及其核心主题

学科群	学科领域	标准化领域关注的主题	频次	中介中心性	度中心性
社会科学 学科群	经济学 economics	标准 standard (25)	239	123.112	11
		可再生能源比例标准 renewable portfolio standard (18)			
		标准化 standardization (14)			
		可再生燃料标准 renewable fuel standard (10)			
		最小质量标准 minimum quality standard (9)			
		食品标准 food standard (8)			
		劳动标准 labour standard (7)			
		法规 regulation (7)			
		贸易 trade (6)			
		创新 innovation (6)			
社会科学 学科群	社会学 sociology	治理 governance (7)	37	50.538	6
		标准化 standardization (5)			
		私有标准 private standard (4)			
		标准 standard (4)			
		认证 certification (4)			
		反标准化 de-standardization (3)			
		可持续标准 sustainability standard (2)			
		食品标准 food standard (2)			
		公平贸易 fair trade (2)			
		标准化 standardization (24)			
社会科学 学科群	商学 business	标准 standard (18)	84	29.202	5
		会计标准 accounting standard (15)			
		国际财务报告准则 ifrs (9)			
		标准制定 standard setting (9)			
		法规 regulation (8)			
		标准 standard (5)			
		研究伦理学 research ethics (3)			
		合作 collaboration (3)			
		企业社会责任 corporate social responsibility (3)			
		负责任研究行为 responsible conduct of research (2)			
社会科学 学科群	伦理学 ethics	标准 standard (30)	23	23.536	3
		标准化 standardization (13)			
		标准预防 standard precautions (7)			
		认可 accreditation (5)			
		健康 health (5)			
		法规 regulation (5)			
		公共健康 public health (5)			
社会科学 学科群	公共, 环境与职业健康 public, environmental & occupational health	标准 standard (30)	152	20.5	5
		标准化 standardization (13)			
		标准预防 standard precautions (7)			
		认可 accreditation (5)			
		健康 health (5)			
		法规 regulation (5)			
		公共健康 public health (5)			

可靠性和稳定性等问题。其中,电子与电气工程是电子信息工程学科群中涉猎标准化研究最为核心的学科,它出现的词频数为287,度中心性和中介中心性分别高达18.000和41.179,是连接电子信息工程学科群与其他学科群之间的桥梁性学科,这也说明电子与电气工程是电子信息工程学科领域研究标准化的核心学科。同时,我们也注意到跨学科计算机应用出现的频数和度中心性虽然不是最高,但它的中介中心性高达60.420,与社会科学学科群中的公共环境职业健康、经济学、环境科学学科群中的

土木工程、物理化学学科群中药理学和药学等都有密切关系,是电子信息工程学科群中桥梁性和影响力最大的学科。这也反映出跨学科计算机科学在电子信息工程学科领域中对标准化研究的学科地位是基础性的,甚至是所有学科群中研究标准化的重要基础学科之一。从表4可以进一步看出,计算机科学主要研究标准、标准化、互操作性、元数据标准等。电子电气工程学研究的主题是标准、标准化、标准单元、不确定度、校准等。信息系统主要是研究标准、标准化、安全、互操作性、电子标签、数据标

表4 电子信息工程中介中心度排名前6的学科及其核心主题

学科群	学科领域	标准化领域关注的主题	频次	中介中心性	度中心性
电子信息工程学科群	计算机科学，跨学科应用 computer science, interdisciplinary applications	标准 standard (25)	91	60.42	14
		标准化 standardization (9)			
		互操作性 interoperability (8)			
		元数据标准 metadata standard (3)			
		参照标准 reference standard (3)			
		卫生信息交换标准 hl7 (3)			
	电子与电气工程 engineering, electrical & electronic	标准 standard (41)	287	41.179	18
		标准化 standardization (20)			
		标准单元 standard cell (12)			
		不确定度 uncertainty (12)			
		校准 calibration (10)			
	信息系统 computer science, information systems	标准 standard (28)	109	24.263	10
		标准化 standardization (15)			
		安全 security (10)			
		互操作性 interoperability (9)			
		电子标签 rfid (3)			
		数据标准 data standard (3)			
	医学信息学 medical informatics	标准 standard (20)	57	22.319	7
		互操作性 interoperability (7)			
		卫生信息交换标准 hl7 (6)			
		参照标准 reference standard (4)			
		标准化 standardization (4)			
	统计学 statistics & probability	标准化 standardization (6)	70	20.789	7
		标准 standard (4)			
		校准传递 calibration transfer (3)			
		质量管理体系 quality management system (2)			
		质量管理体系国际标准 ISO 9001:2008 (2)			
	人工智能 computer science, artificial intelligence	标准 standard (4)	54	19.443	9
		标准化 standardization (3)			
		人工神经网络 artificial neural networks (3)			
		基因算法 genetic algorithm (3)			
		校准传递 calibration transfer (3)			

准等。医学信息学的研究涉及标准、互操作性、卫生信息交换标准、参照标准等。

2.2.3 物理化学学科群

从表5可以看出,物理化学学科群主要涉及物理、化学、生物化学、仪器仪表等。从主题词频统计可以得出,标准化在物理化学领域的研究主要集中在标准、标准化、内标法、校准、不确定度、标准添加法、标准参考物质、质谱法、溯源、比对、计量学、稳定性等主题。其中,分析化学是物理化学学科群中涉猎标准化研究最为核心的学科,出现的词频数为360,度中心性和中介中心性分别高达9.000和24.900,是连接物理化学学科群与其他学科群之间的桥梁性学科,这也说明分析化学是物理化学学科领域研究标准化的核心学科之一。另一个核心

学科领域是生物化学研究方法,出现的词频数为231,中介中心性为15.808,度中心性高达24.186,这说明生物化学研究方法是物理化学学科群中研究标准化影响力最大的学科领域,也是连接物理化学学科群与其他学科群之间的桥梁性核心学科之一。同时,我们也注意到物理化学学科出现的频数和度中心性虽然不是最高,但它的中介中心性高达27.651,与社会科学学科群中的公共环境职业健康、经济学,环境科学学科群中的土木工程等都有密切关系,是物理化学学科群在整个标准化研究学科网络中桥梁性和影响力最大的学科。这也反映出物理化学是物理化学学科群中研究标准化的核心基础学科之一。从表5可以进一步看出,物理化学主要是研究标准、热容量、内标法等主题。分析

表5 物理化学中介中心度排名前5的学科及其核心主题

学科群	学科领域	标准化领域关注的主题	频次	中介中心性	度中心性
物理化学 学科群	物理化学 chemistry, physical	标准 standard (10)	77	27.651	9
		热容量 heat capacity (7)			
		内标 internal standard (5)			
		氢 hydrogen (4)			
		升华热含量 enthalpies of sublimation (4)			
	分析化学 chemistry, analytical	内标法 internal standard (62)	360	24.9	9
		标准添加法 standard addition (34)			
		标准化 standardization (22)			
		液相色谱质谱联用仪 lc-ms/ms (16)			
		标准参考物质 standard reference material (15)			
		不确定度 uncertainty (14)			
		校准 calibration (12)			
		标准 standard (10)			
生物化学 学科群	生物化学研究方法 biochemical research methods	标准化 standardization (37)	231	24.186	15.808
		内标 internal standard (36)			
		标准 standard (17)			
		液相色谱质谱联用仪 lc-ms/ms (15)			
		质谱分析法 mass spectrometry (15)			
		标准参考物质 standard reference material (14)			
		生物信息学 bioinformatics (11)			
		国际标准 international standard (11)			
	化学, 多学科 chemistry, multidisciplinary	h点标准加法 h-point standard addition (10)	73	21.362	8
		内标 internal standard (9)			
环境科学 学科群	仪器仪表 instruments & instrumentation	标准化 standardization (8)	347	14.455	7
		分光测光学 spectrophotometry (5)			
		标准添加 standard addition (4)			
		标准 standard (4)			
		标准 standard (90)			
		不确定度 uncertainty (39)			
		校准 calibration (32)			

化学主要研究的主题为内标法、标准添加法、标准化、液相色谱质谱联用仪、标准参考物质、不确定度、校准和标准等。生物化学研究方法主要是研究标准化、内标法、标准、液相色谱质谱联用仪、质谱法、标准参考物质等主题。

2.2.4 环境科学学科群

从表6可以得出,环境科学学科群主要涉及土木工程、环境科学、机械工程、环境工程和能源燃料等学科。标准化在环境领域的研究主要集中在标准、标准化、可再生能源比例标准、法规、环境质量标准、可再生燃料标准、认证、可持续性、质量标准、不确定度、空气质量标准、能源效率、安全等主题。其中,环境科学是在环境科学学科群中

涉猎标准化研究最为核心的学科,出现的词频数为224,度中心性和中介中心性分别高达8.000和7.533,是连接环境科学学科群与其他学科群之间的桥梁性学科,这也说明环境科学是环境科学学科领域研究标准化的核心学科。同时,我们也注意到土木工程学科领域出现的频数和度中心性虽然不是最高,但它的中介中心性高达12.633,与社会科学学科群中的公共环境职业健康、经济学,电子信息工程学科群中的跨学科计算机科学,物理化学学科群中药理学和药学等都有密切关系,是环境科学学科群中桥梁性和影响力最大的学科。这也反映出土木工程中的标准化研究尚未形成主流,但它在环境领域中对标准化研究的学科地位是基础

表6 环境科学中介中心度排名前5的学科及其核心主题

学科群	学科领域	标准化领域关注的主题	频次	中介中心性	度中心性
环境科学 学科群	土木工程 engineering, civil	标准 standard (14)	72	12.633	7
		标准化 standardization (6)			
		可靠性 reliability (4)			
		标准火灾 standard fire (3)			
		安全 safety (3)			
		热舒适性 thermal comfort (3)			
	环境科学 environmental sciences	标准 standard (28)	224	7.533	8
		再生比例标准 renewable portfolio standard (19)			
		标准化 standardization (14)			
		环境质量标准 environmental quality standard (10)			
		空气质量标准 air quality standard (7)			
		法规 regulation (7)			
环境科学 学科群	机械工程 engineering, mechanical	不确定度 uncertainty (7)	52	4.233	5
		标准 standard (6)			
		标准化 standardization (5)			
		ISO标准 ISO standard (3)			
		空气动力学 aerodynamics (3)			
		新车正面碰撞安全 巴西国家标准 abnt nbr 15300-1 (2)			
		计算流体力学 computational fluid dynamics (2)			
	环境工程 engineering, environmental	国际标准化 international standardization (2)	58	2.867	6
		测量标准 measurement standard (2)			
		标准 standard (11)			
环境科学 学科群	能源燃料 energy & fuels	标准化 standardization (6)	125	1.7	5
		企业社会责任 corporate social responsibility (4)			
		可持续性 sustainability (4)			
		质量标准 quality standard (3)			
		认证 certification (3)			
		再生比例标准 renewable portfolio standard (21)			
		标准 standard (19)			
		再生燃料标准 renewable fuel standard (9)			
		能源效率 energy efficiency (7)			
		标准化 standardization (6)			

性的。土木工程学主要是研究标准、标准化、可靠性、标准耐火、安全等主题。环境科学主要研究的主题为标准、再生能源比例标准、标准化、环境质量标准、空气质量标准、法规和不确定度等。机械工程学主要是研究标准、标准化、ISO标准、空气动力学、计算流体力学等主题。环境工程主要研究的主题是标准、标准化、企业社会责任、可持续性、质量标准和认证等。能源与燃料学科主要以再生能源比例标准、标准、再生能源标准、能源效率和标准化等为研究主题。

2.3 标准化研究学科交叉演化特征分析

2.3.1 标准化研究基础学科交叉时间跨度的演变

截至2017年,近30年来关注标准化问题相关研究的学科领域达到232个。K-core值为2~6的网

络学科数为174个,其中核心学科数为78个。将78个核心学科领域分区模块化,形成环境科学领域学科群、电子信息工程领域学科群、物理化学领域学科群和社会科学领域学科群等4个基础学科群。1992~2017年各领域标准化研究的基础学科交叉跨度演变和研究主题演变如图2所示。

将标准化研究基础学科以10年为间隔分为3个时间段。第一时间段:1992~1999年;第二时间段:2000~2009年;第三时间段:2010~2017年。通过共现分析并将数据可视化,得到上述3个时间段内学科的变化图,如图3所示。

第一时间段,标准化领域相关研究处于发展初期,涉及的学科数较少,主要有化学、医学、多学科化学、药学与药理学、概率与统计学等5个学科领

域。其中,化学多学科、药学药理学和化学医学联系比较紧密,其他均为独立学科。图3(a)显示的为1992–1999年对标准化相关研究领域的学科交叉共现网络图。

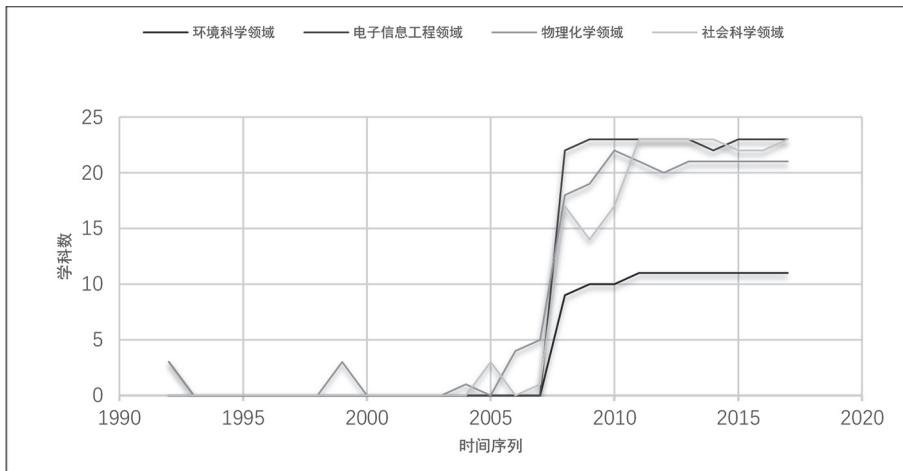


图2 1992–2017年各领域标准化研究的学科交叉跨度演变

第二时间段,标准化领域相关研究处于快速发展期。涉及的学科数急剧增多,主要有农业经济与政策、经济学、食品科学与技术、营养与节食、规划与发展、农业工程、生物技术与应用微生物、能源与燃料、农业、乳品与动物科学、行为科学、兽医学等160个学科领域。21世纪的前10年,即2000–2009年标准化研究领域的学科交叉跨度迅速提升,主要学科数由1个增加为3个,即化学分析、公共环境职业健康和经济学成为3个主导学科。

第三时间段,标准化领域相关研究处于稳步发展期,涉及的学科数稳步增长,主要有仪器与仪表学科、分析化学、电子与电气工程、经济学、多学科

工程学、生物化学研究方法、环境科学、教育与教育研究、管理学、公共环境与职业健康等229个学科领域。近10年来,即2010–2017主要学科由2000–2009的3个增加到12个,即经济学、计算机跨学科应用、公共环境与职业健康、环境科学、电子电气工程学、多学科材料学、物理化学、跨学科应用数学等12个主导学科。

2.3.2 标准化研究在各基础学科领域的交叉演化

(1) 1992–1999年基础学科各领域交叉情况

1992–1999年学术界对标准化领域的研究

于起步阶段,但标准化业内专家已对标准化学科的理论基础和学科地位等问题展开研究。在20世纪70、80年代,国内外曾经有一批标准化业界专家学者对标准和标准化的基本概念和基本原理进行探讨,包括印度的魏尔曼、日本的松浦四郎、美国的约翰·盖拉德(John Gaillard),以及我国的李春田、顾孟洁、郎志正等。虽然魏尔曼(Lal C. Verman)于1973年提出“标准化是一门新学科”,钱学森也于1979年指出“标准学还是尚在研究的东西,尚未建立自己的知识体系”。^[15]但从图3可以看出,21世纪之前,学术界对标准化仅在化学和医学学科领域进行了少量研究。这反映出上个世纪对标准化学科理论的研究主要由该领域的专家开展,而国际学术界还没有广泛把标准化作为一个

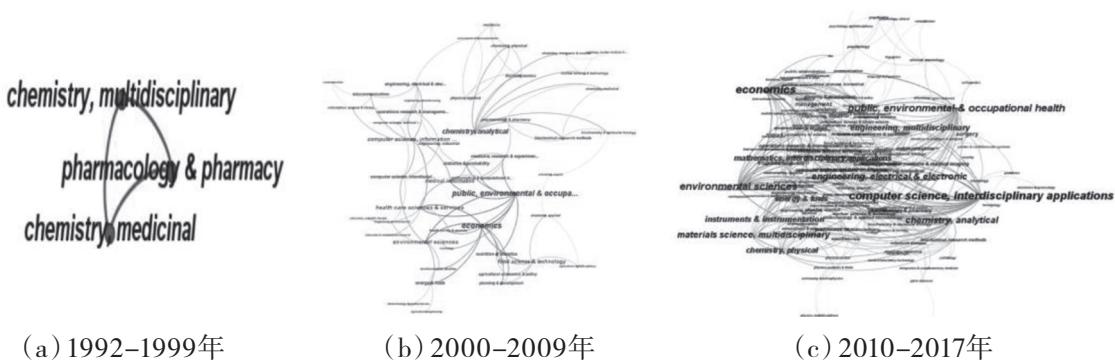


图3 各时间段标准化研究领域的学科交叉网络图

真正的学科或重要研究领域来对待。

(2) 2000–2009年基础学科各领域交叉情况

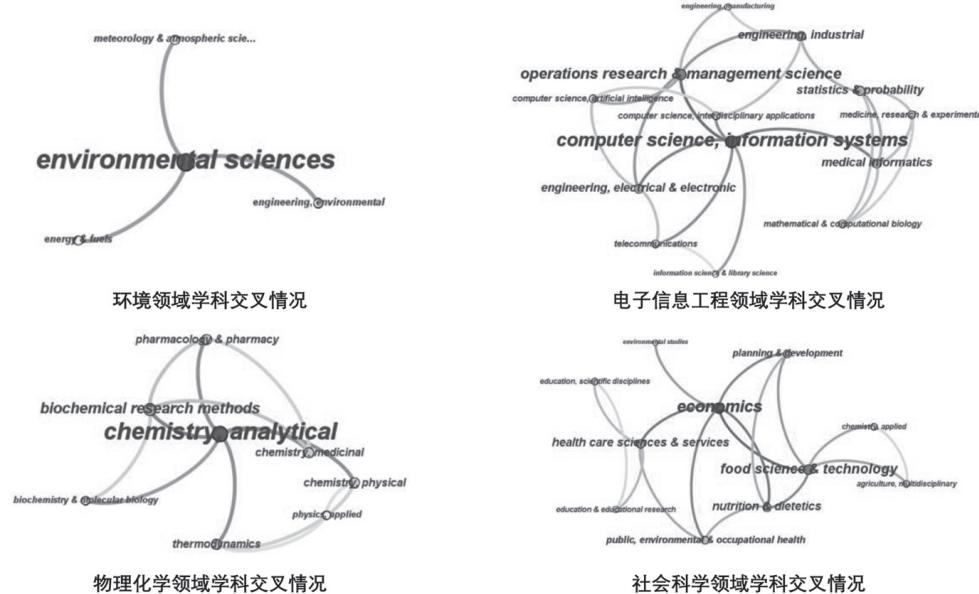


图4 2000–2009年基础学科各领域交叉网络图

从图2和图4可以得出, 2000–2009年是标准化研究领域的高速发展期, 但各领域的发展不平衡且波动较大, 2005–2009年尤为明显。2005年, 社会科学学科领域研究的学科数在4个领域中首次达到高峰。2006年物理化学领域达到高峰。2008年电子信息工程领域达到高峰。2008年4个领域学科数均出现急剧增加。

1) 社会科学领域。社会科学领域在此期间学科数波动较大, 但总体呈显著上升趋势。2004–2005年达到3个学科, 再到2008年的17个, 2009年略有回落。公共环境与职业健康、食品科学与技术、健康护理科学与服务、经济学等23个学科中有11个学科共现次数在2次及以上。影响力较大的学科领域为经济学和食品科学与技术。社会学领域标准化研究主题为标准、标准化、食品标准、标准制定、评定、法规、食品安全、生活标准、参考标准等。

2) 电子信息工程领域。电子信息工程领域的学科数由2007年的0个直线上升到2009年的23个, 是这个时期发展最快的学科领域之一。主要包括电子与电气工程、多学科工程学、计算机信息系统、工业工程等23个学科, 其中17个学科之间共现次数

为2次及以上。影响力较大的学科有计算机信息系统、运筹学与管理科学、电子与电气工程、工业工程等学科。电子信息工程领域标准化研究的主题为标准、标准化、校准、互操作性、不确定度、ISO 9000和标准制定等。

3) 物理化学

领域。物理化学领域是最早研究标准化的领域, 2005–2009年呈直线上升趋势。由1999年之前最多3

个学科增加到2009年的22个, 包括分析化学、仪器仪表科学、生物化学研究方法等22个学科, 其中共现次数为2次及以上的学科有10个。在物理化学领域共现网络中影响力较大的学科领域有分析化学和生化研究方法等。物理化学领域标准化研究主题有标准化、标准、内标法、校准、标准添加法、不确定度、参考标准、计量学和标准参考物质等。

4) 环境科学领域。环境科学领域的学科数由2007年的0个上升到2009年10个。分别为环境科学、能源与燃料、机械工程、化工、土木工程、环境工程、气象与大气科学、水资源、绿色与可持续科学与技术、交通科学与技术。其中, 环境科学与环境工程、能源与燃料和气象与大气科学之间共现次数较多, 说明环境科学与这3个学科领域联系紧密, 其他学科相对独立。环境领域标准化研究的主题为标准、标准化、质量标准、环境质量标准、不确定度、法规、水质量标准、可靠性和空气质量标准等。

(3) 2010–2017年基础学科各领域交叉情况

从图2和图5可以得出, 2010–2017年是标准化研究的稳步发展阶段, 各领域学科数相对稳定且波动较小。2011年, 环境科学领域研究的学科数在4个领域中达到最高峰11个并持续稳定。2010年物理化学领域达到最高峰23个, 其后有略微波动, 但

从2013年起保持稳定。电子信息工程领域除2014年略有波动外,其余时间均处于稳定状态。社会科学领域学科数2011年达到最高峰,2014年后略有波动,2016年起又处于上升期。

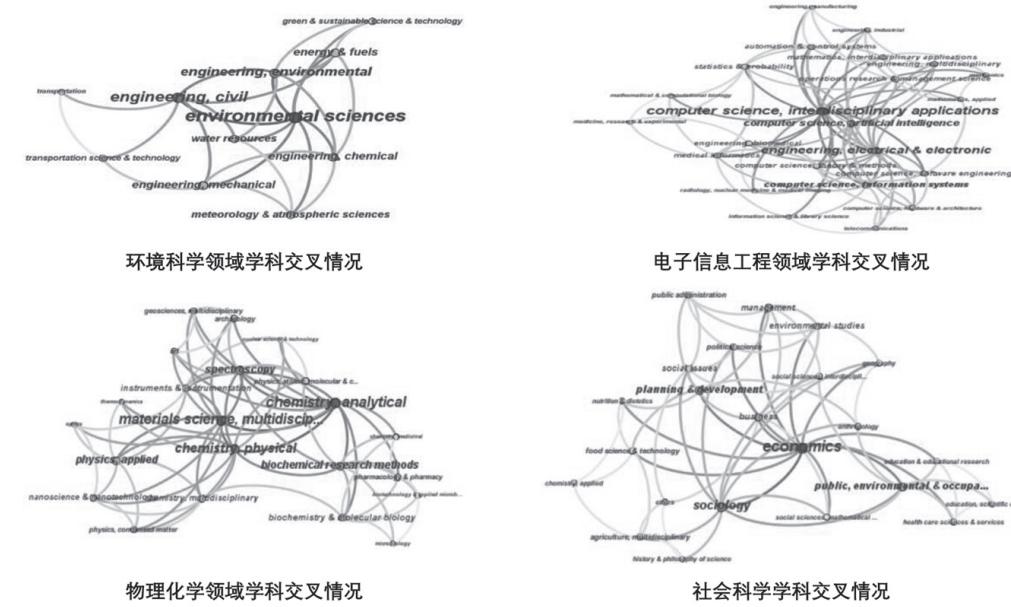


图5 2010-2017年基础学科各领域交叉网络图

1) 社会科学领域。社会科学领域在此期间学科持继续波动,到2011达到最大数23个,之后总体呈相对稳定趋势。影响力较大的学科由经济学和食品科学与技术转变为经济学、社会学、计划与发展和公共环境职业健康等。社会科学领域标准化研究主题有标准、标准化、标准制定、法规、再生能源比例标准、创新、认证、治理、会计标准、评定、可持续标准、认可、技术标准、政策等。

2) 电子信息工程领域。电子信息工程领域的学科数在2010年后除2014年略有下降外基本保持在23个,且学科领域也没有发生变化,是这个时期最早趋于稳定的研究领域之一。影响力较大的学科由计算机信息系统、运筹学与管理科学、电子与电气工程、工业工程等学科转变为计算机科学跨学科应用、电子与电气工程、人工智能计算机科学和计算机信息系统等。电子信息工程领域标准化研究主题为标准、标准化、校准、不确定度、互操作性、溯源、参考标准、安全性、创新、国际标准、比对、稳定性等。

3) 物理化学领域。物理化学领域的学科数在2010年达到高峰后开始波动,但从2013年起处于稳定状态,其学科数保持在21个。这个时期在物理化学领域共现网络中影响力较大的学科由分析化

学和生化研究方法等转变为分析化学、多学科应用材料科学、物理化学等。物理化学领域的标准化研究主题为标准、标准化、内标法、校准、不确定度、标准添加法、标准参考物质、质谱、溯源、液相色谱-串联质谱、国际标准。

4) 环境科学领域。环境科学领域的学科数由2010年的10个上升到2011年11个并保持稳定。11个学科领域分别为环境科学、能源与燃料、绿色与可持续科学与技术、环境工程、机械工程、水资源、气象与大气科学、土木工程、化工、交通科学与技术、交通。这11个学科之间共现次数都在2次及以上,说明环境科学的11个学科领域之间联系紧密。环境科学领域标准化研究的主题为标准、标准化、再生能源比例标准、再生燃料标准、可持续发展、认证、法规、环境质量标准、能源效率标准、质量标准等。

3 结论与讨论

目前,不论在标准化业界还是在学术界,对标准化的学科基础和理论知识体系尚未达成共识,更没有达成学术共同体对学科构建的共识。有鉴于此,本研究尝试采用大数据、科学计量学和知识图谱等理论和分析方法,基于近30年Wos of Science数据,从标准化研究的基础学科、核心学科领域、

学科交叉特征及其演进等方面探究标准化学科基础和理论知识体系及其变动趋势。

首先,基于Web of Science核心集合数据库筛选出的4947篇文献数据综合分析显示,从1992年起,标准化研究涉及学科领域众多并呈现多学科性和交叉学科性。在过去近30年,标准化研究涉及的学科领域有232个,核心基础学科领域有79个,主要涉及社会科学、电子信息工程、物理化学和环境科学四大学科领域。其中,以经济学和社会学为核心的社会科学学科群是整个标准化研究中最具影响力桥梁性和基础性学科群,但电子信息工程、物理化学和环境科学等学科领域的影响力也不容小觑。建构一门具有广泛共识的标准化学科,其关键是形成标准化学科的研究范式,这一研究范式应主要是“社会科学+电子信息工程学+物理化学+环境科学”模式,追求制定标准和应用标准两大问题以符合人类发展和科技进步的方式得到解决。在标准化研究群体方面,培育专门从事标准化研究的标准化人才。

其次,标准化研究基础学科领域研究主题既存在共性也存在个性。社会科学、电子信息工程、物理化学和环境科学四大领域共有的研究主题有标准化、标准。电子信息工程领域与物理化学领域共有研究主题有标准、标准化、校准、不确定度、溯源、比对、稳定性等。电子信息工程领域突出的研究主题有互操作性、参考标准、安全性、创新、国际标准、可靠性等。物理化学领域比较突出的研究主题有内标法、标准添加法、质谱法、计量学等。环境科学领域和社会科学领域共有的研究主题有标准、标准化、法规、认证、可持续性等。环境科学领域突出的研究主题有可再生能源比例标准、环境质量标准、可再生燃料标准、质量标准、空气质量标准、能源效率、安全等主题。社会科学领域比较突出的研究主题有创新、治理、评定、认可、技术标准、符合性、政策、质量等主题。从学科理论知识体系的视角可以将标准、标准化、互操作性、标准制定、技术标准和国际标准等制定标准的内容归纳为标准化工程学;将创新、法规、治理、政策、安全、可持续性等归纳为标准社会学;

将内标法、标准添加法、质谱法、计量学、校准、不确定度、溯源、比对、不确定度、参考标准等计量学量值传递与溯源的内容归纳为标准计量学;将评定、认可、符合性、认证等合格评定的内容归纳为标准质量学^[16]。

最后,近30年来,标准化研究所涉及的基础学科数在经过快速增长后逐渐趋于稳定状态。在发展初期,对标准化研究影响力较大的学科有多学科化学、药学药理学和化学医学等学科领域。在快速发展期,标准化研究涉及的学科数急剧增多,影响力较大的学科有经济学、公共环境职业健康和分析化学等。在稳步发展期,标准化研究涉及的学科数趋于稳定,但各学科领域对标准化研究的影响力还在变化。这个时期影响力较大的学科有经济学、计算机科学跨学科应用、公共环境职业健康、分析化学、环境科学和电子与电气工程等。相对于快速发展时期来说,影响力较大的学科领域增加了跨学科应用计算机科学、环境科学和电子与电气工程等,其中,跨学科应用计算机科学的影响力超过了公共环境职业健康、分析化学。另外,虽然30年来标准化研究的基础学科数趋于稳定,但各领域发展还不平衡。标准化在物理化学领域研究较早,但电子信息工程领域和社会科学领域后来居上,其所占学科数快速上升且比例最大,而且社会科学领域已经成为对标准化研究影响力最大的核心基础学科领域。与此同时,随着环境问题对全球可持续发展的影响越来越大,环境科学领域也成为标准化研究的新兴领域。

在研究方法上,本研究从历史文献的视角出发,利用Web of Science核心集合数据库文献,借助于大数据和知识图谱分析等方法,将近30年标准化研究的核心学科领域和关键词进行共现分析和时间序列分析,并可视化,进而全面展示了标准化领域基础学科关联网络及学科群,以及各基础学科领域交叉与演进图谱,发现了标准化研究的热点主题,以此建立了其知识体系。不过,由于采用了核心基础学科数据进行分析,难免会忽略中间层和细节层的学科领域数据,这无疑会影响到对学科的微观形态探究。

参考文献

- [1] Verman, Lal C. Standardization: A New Discipline [M]. The Shoe String Press, Inc., 1973.
- [2] 钱学森. 标准化和标准学研究[J]. 标准生活, 2009, (10): 7 (转载自标准化通讯, 1979 (3)).
- [3] Lawrence Busch. Standards: Recipes for Reality [M]. The MIT Press, 2011: 17–76.
- [4] 沈君, 王续琨. 从技术标准研究走向技术标准学[J]. 科技进步与对策, 2014, 13(02): 5–10.
- [5] 梁正, 侯俊军. 标准化与公共管理: 关于建立标准化知识体系的思考[J]. 中国标准化, 2012(01): 59–63.
- [6] Henk J. de Vries. Standardization—A Multidisciplinary Field of Research[J]. Journal of Standards and Standardization, 2011, 2(2): 29–42.
- [7] 李上, 刘波林. 标准化学科知识体系构建研究[J]. 中国标准化, 2013(08): 42–46.
- [8] 吴学静, 白殿一, 逢征虎. 标准学知识体系框架初探[J]. 中国标准化, 2013(12): 58–61.
- [9] Hinze S. Bibliographical cartography of an emerging interdisciplinary discipline: The case of bioelectronics[J]. Scientometrics, 1994, 29(3): 353–376.
- [10] 任英慧, 周传敬. 学科交叉研究快速发展时代科技期刊的应对与发展策略[J]. 中国科技期刊研究, 2007, 18(5): 860–862.
- [11] 朱蔚彤. 国家自然科学基金委员会资助学科交叉研究模式分析[J]. 中国科学基金, 2006, 20(3): 184–189.
- [12] 刘军. 整体网分析讲义: UCINET软件实用指南[M]. 上海: 格致出版社, 2009: 122.
- [13] Zhang G Q, Zhang G Q, Yang Q F, et al. Evolution of the Internet and its cores[J]. New Journal of Physics, 2008, 10(12): 3027–3038.
- [14] Shannon EC. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(4): 623–656.
- [15] 中国标准化协会. 2016–2017标准化学科发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2018, 3.
- [16] 顾兴全. 标准化学科主题及其发展演化—基于Web of Science数据(1992~2017)的文献计量学分析[J]. 标准科学, 2020(12): 70–84.