DOI：10.19789/j.1004-9398.2024.06.003
文献引用：李娟，刘倩，时骥，等．基于学科交叉测度的交叉研究评价：以首都师范大学交叉项目评估为例[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2024，45（6）：21-29. LI J，LIU Q，SHI J，et al. Cross-disciplinary research evaluation based on interdisciplinary measure：taking the evaluation of cross-disciplinary projects at Capital Normal University as an example[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2024，45（6）：21-29.

基于学科交叉测度的交叉研究评价：以首都师范大学交叉项目评估为例

李　娟[1]，刘　倩[2]，时　骥[1]，唐　舜[1,3*]

（1. 首都师范大学交叉科学研究院，北京　100048；2. 首都师范大学图书馆，北京　100048；3. 首都师范大学数学科学学院，北京　100048）

摘要：基于香农多样性指数、Rao-Stirling多样性指标和学科间相似度构建了一套适用于交叉研究评价的学科交叉测度，对首都师范大学21个团队在2019—2022年承担的交叉研究项目进行评估，探索构建适应学科发展需求的交叉研究评价手段。

关键词：多样性指标；学科交叉测度；交叉研究评价
中图分类号：G304；G353.1　　**文献标志码**：A

Cross-disciplinary research evaluation based on interdisciplinary measure：taking the evaluation of cross-disciplinary projects at Capital Normal University as an example

LI Juan[1]，LIU Qian[2]，SHI Ji[1]，TANG Shun[1,3*]

（1. Academy for Multidisciplinary Studies，Capital Normal University，Beijing　100048；2. Capital Normal University Library，Beijing　100048；3. School of Mathematical Sciences，Capital Normal University，Beijing　100048）

Abstract：This paper constructs a set of interdisciplinary measures suitable for cross-disciplinary research evaluation based on Shannon diversity index，Rao-Stirling diversity index，and similarity measure of disciplines. We evaluate the cross-disciplinary research projects undertaken by 21 teams at Capital Normal University from 2019 to 2022，and explore the construction of cross-disciplinary research evaluation methods that meet the needs of disciplinary development.

Keywords：diversity index；interdisciplinary measure；cross-disciplinary research evaluation
CLC：G304；G353.1　　**QC**：A

0　引　言

随着人工智能、大数据和云计算等新兴科技在经济转型和产业结构调整中发挥越来越关键的作用，横跨多领域、多学科的前沿交叉研究日渐成为科技创新的重要依托。作为国家战略科技力量的重要组成部分，高校也积极开展了以交叉研究为核心的有组织科研，加强学科交叉融合发展是国家推

收稿日期：2024-07-08
*通信作者：tangshun@cnu.edu.cn

进高校“双一流”建设的重要内容[1],对交叉研究的评价也越来越受到高校科研组织工作者的重视。高校科研成果的产出形式以论文、专著和专利为主,文献计量学在成果评价中发挥了基本而重要的作用。随着跨学科交叉研究的兴起,文献计量学中也诞生了大量研究学科交叉属性的方法,从不同角度回答了“如何评价科学研究的交叉程度”这一核心问题。例如:(1)对成果标题、关键词、引文来源和完成人学科背景[2-3]等信息进行直观分析,或通过问卷搜集成果完成人和评议专家的主观描述,以此分析成果的交叉属性。此类方法的优点是易于理解和实践,不足是缺乏客观细致的量化分析,导致对成果交叉属性的判定不够精准。(2)结合成果论文、参考文献、施引文献的研究主题分布情况对交叉研究的复杂度和广度进行量化分析[4],研究成果和研究所使用的技术方法归属的学科门类数量越多,相关交叉研究的复杂度和广度就越高。此类方法的优点是较为全面地评估了成果的学科丰富性和影响力,不足之处是没有对不同学科间的关联程度以及由此带来的交叉研究均衡性和差异性问题进行更加细致的考量。(3)基于多样性指标对交叉研究所涉及的学科丰富性、均衡性和差异性进行综合分析[5-8],此类方法多用于参考文献的多样性分析[9]。通常情况下,从研究者所属学科外转引的参考文献数量越多,说明该项研究的交叉程度越高。但不同引文对研究所起到的实际作用是不同的,引用的位置和引用的次数等信息能够反映引文与研究的关联程度以及对研究的重要程度,这些信息在交叉研究的评价中还没有深入利用。

本文基于香农多样性指数、Rao-Stirling多样性(R-S多样性)指标和学科间相似度构建了一套适用于交叉研究评价的学科交叉测度,使用文本搜索技术提取参考文献的引用位置和引用次数信息纳入指标设计,从交叉研究的丰富性、均衡性和差异性等维度对首都师范大学21个团队在2019—2022年承担的交叉研究项目进行评估,探索构建适应学科发展需求的交叉研究评价手段。

1 重点研究专题/引导课题概览

为进一步整合学校各院系、实验室、研究中心资源,促进团队发展和学科交叉融合,首都师范大学交叉科学研究院于2019年面向全校设立重点研究专题和引导课题,共有来自7个院系的40多个团队申请立项,最终资助21项,相关立项内容如表1所示,这些项目体现了鲜明的交叉研究特色。项目推动首都师范大学在智能影像学、生物信息学、脑信息科学、大数据科学等领域若干科学问题和关键技术研究中取得重要突破,相关成果发表于*Nature Communications*、*National Science Review*、*Science China*(*Mathematics*)、*New Phytologist*、*Biometrics*和*Systematic Biology*等国际知名期刊,支撑学校获批国家重点研发计划项目、国家科技创新2030新一代人工智能重大项目、国家自然科学基金重点项目等30余个重要科研项目。项目结题后,交叉科学研究院对各团队提交的成果进行了分析和评估。

表1 首都师范大学重点研究专题/引导课题

项目编号	项目名称	承担院系
1	微分方程的定性理论与数值模拟	数学科学学院
2	复杂结构数据的概率统计分析	数学科学学院
3	卫星遥感成像理论与在轨处理硬件加速研究	资源环境与旅游学院
4	基于深度学习的成像过程数学建模与重建算法研究	数学科学学院
5	视觉、语言及其多模态表征学习和课堂教学分析诊断	信息工程学院
6	生物学大数据分析的统计学理论和方法的建立与应用	生命科学学院
7	基于量子信息与张量网络的机器学习新方法及其应用	物理系
8	古昆虫形态信息采集分析及系统演化和群落生态重建	生命科学学院
9	机器人核心基础软件形式化分析与安全验证	信息工程学院
10	多源成像智能模式识别与数据可视化研究	文学院
11	基于组学大数据的进化树构建新方法研究	生命科学学院
12	空间数据、时空数据、网络数据和函数型数据中的概率统计分析	数学科学学院
13	细胞间跨膜电信号识别分子的创建与信息存储分析	生命科学学院
14	计算机视觉算法模型与网络架构	信息工程学院
15	基于时空大数据技术的多维多尺度贫困动态监测与评价	资源环境与旅游学院
16	太赫兹成像技术中的数学建模与算法	化学系
17	代数几何中的同调方法和不变量理论	数学科学学院
18	基于多视图学习的心理压力自适应调节方法研究	信息工程学院
19	受脑认知神经机制启发的智能推理机关键算法与原型系统研究	心理学院
20	精细角度分辨率下的光场成像模型与算法研究	资源环境与旅游学院
21	复杂曲面物体太赫兹层析成像	物理系

2　学科交叉测度

2.1　数据说明

基于对成果论文及相关参考文献的研究,本文的学科交叉测度方法需要对测度论文及其引文进行学科类别的划分。为了统一标准,本文采用web of science数据库给每篇论文划定的类别确定论文的学科类别。Web of science类别共包含21个学科组,254个学科类别,其中1个学科类别可能属于多个学科组。由于只有被web of science数据库收录的论文,如科学引文检索(science citation index,SCI)和社会科学引文检索(social sciences citation index,SSCI)等,才可以依据本方法进行学科交叉测度计算,因此被纳入计算范围的参考文献也需要被web of science数据库收录。所评估项目的成果论文覆盖率和单篇测度论文纳入的参考文献覆盖率计算结果如表2所示,测度论文和参考文献的覆盖率分别为32%~100%和20%~100%。文中学科交叉测度的计算结果与项目测度论文和参考文献的覆盖率强相关,二者的覆盖率越高,学科交叉测度的计算结果就越有参考价值。总体而言,本文所考察的21个交叉项目的测度论文覆盖率和参考文献覆盖率的平均值都超过70%,计算结果有参考价值。

表2　测度论文和参考文献覆盖率

项目编号	论文			参考文献		
	统计数/篇	测算数/篇	覆盖率/%	统计数/篇	测算数/篇	覆盖率/%
1	28	25	89	791	560	71
2	43	32	74	1 112	895	80
3	5	4	80	174	94	54
4	22	21	95	866	655	76
5	31	10	32	531	244	46
6	23	21	91	1 218	1 150	94
7	10	7	70	383	329	86
8	12	12	100	818	580	71
9	25	8	32	310	104	34
10	3	1	33	20	4	20
11	10	5	50	215	184	86
12	9	8	89	316	240	76
13	3	2	67	99	99	100
14	20	11	55	482	334	69
15	11	6	55	246	147	60
16	12	12	100	609	588	97
17	12	12	100	303	194	64
18	10	4	40	270	123	46
19	7	7	100	387	327	84
20	5	3	60	107	66	62
21	26	22	85	824	778	94

2.2　学科交叉测度指标设计

2.2.1　论文测度指标

对于被web of science数据库收录的论文,查询刊登这篇论文的期刊,将该期刊所属web of science学科类别的数量(N)作为被测度论文的学科丰富度指标。该指标仅依赖期刊在数据库中的学科分类信息,尽管比较粗糙,但也在一定程度上表征了成果本身的交叉广度,且比较容易通过该数据库功能进行大规模查询和记录。

2.2.2　参考文献测度指标

从逻辑上讲,参考文献的多样性是评估不同知识与技术相结合的最佳依据[10],因此论文的参考文献信息更能反映研究中所涉及技术方法的交叉属性。本小节针对论文的参考文献构建表征其多样性的指标。

多样性(diversity)概念被应用于许多学科的研究,如生态学、经济学和文化研究等,指由不同类别物质所组成系统的3个不同维度属性,即丰富性(variety)、均衡性(balance)和差异性(disparity)。本文考察其在文献计量学中的应用,测度参考文献的学科多样性,具体解释为[11]:丰富性描述论文的参考文献可以被归类到学科类别的数量,学科类别数量越多,多样性越强;均衡性描述参考文献学科分布的均衡度,如果论文中归属各个学科类别的参考文献的数量是相近的,说明该参考文献的学科分布均衡,学科分布越均衡,多样性越强;差异性描述论文参考文献的学科类别差异程度,参考文献所属的学科类别越相似(如数学和应用数学)多样性越弱,越不相似(如数学和生物学)多样性越强。

基于香农多样性指数和学科间相似度,相关计算公式为:

$$V = v,$$

$$B = -\frac{1}{\ln v}\sum_i p_i \ln p_i,$$

$$D = \frac{1}{v(v-1)}\sum_{i,j} d_{ij},$$

式中:V为丰富性;v为参考文献所属学科类别数;B为均衡性;p_i为第i个学科类别在全部参考文献学科类别中所占的比例;D为差异性;d_{ij}为不同学科类别之间的距离。

有别于计算归属同一个学科类别的引文数量

在参考文献总数量中的比例,本文根据引文被引用位置和被引用次数的不同,赋予其不同的权重,对p_i采取如下的加权计算方法。

(1)对给定论文的第l篇参考文献,记录2个量:该参考文献在论文中被引用的次数(n_l);第k次引用时的位置分值$w_{lk}\in\{1,2\}$,如果引用位置在论文引言和结论(introduction和conclusion),w_{lk}=1,如果引用位置在论文正文,w_{lk}=2;

(2)计算第l篇参考文献的引文重要性指数$q_l=\sum_{k=1}^{n_l}w_{lk}$;

(3)计算第i个学科类别的引文重要性指数,假设归属第i个学科类别的参考文献序号集合为L_i,$Q_i=\sum_{l\in L_i}q_l$;

(4)计算所有参考文献的重要性总指数$Q=\sum Q_i=\sum q_l$;

(5)计算第i个学科类别所占比例

$$p_i=\frac{Q_i}{Q}。$$

给定一个学科类别,相比于计算归属该学科类别的引文数量在参考文献总数量中的比例,通过上述方法计算p_i更能反映该学科类别与测度论文之间的关联程度。

在计算差异性指标时,需要知道不同学科类别之间的距离。基于期刊引证报告(journal citation reports,JCR)中期刊之间的引用关系,Leydesdorff和Rafols[12]构建了期刊引用矩阵,然后根据每种期刊所属的学科类别构建学科之间的引用矩阵,得到基于引用关系的学科向量。以学科向量之间的夹角余弦cosθ表征学科相似性,进而定义学科距离

$$d_{ij}=1-\cos\theta。$$

余弦函数cosθ的取值为0~1。cosθ的值越接近1,表明2组学科向量的相似度越高,学科距离越小;cosθ的值越接近0,表明2组学科向量的相似度越低,学科距离越大。例如,数学和应用数学之间的学科距离是0.149 732,数学和生物学之间的学科距离是0.981 047。Leydesdorff及其合作者利用期刊引用矩阵和学科相似性研究科学范畴内的学科结构,以及这些学科结构的动态变化所反映的科学发展的状况[13-15]。本文所使用的学科距离数据基于2019年JCR中的期刊引用矩阵,可在Leydesdorff建立的网页(https://www.leydesdorff.net/wc15/wc19/index.htm)下载。

此外,学科类别比例p_i和学科距离d_{ij}也用于构建参考文献的R-S多样性指标,该指标整合了多样性测度的3个不同侧面,将丰富性、均衡性和差异性3个维度的指标结合在一起,给出学科交叉测度(RS diversity,D_{RS})[5,16]

$$D_{RS}=\sum_{i,j}p_ip_jd_{ij}。$$

针对首都师范大学21个交叉项目中被web of science数据库收录的成果论文,本文计算论文本身的学科丰富度指标,以及参考文献的丰富性、均衡性、差异性指标和R-S多样性指标,借以评估该批项目的学科交叉水平。

3 交叉项目的测度结果

3.1 成果论文的学科丰富度指标

虽然接受测度的21个项目成果论文篇数有较大差异,论文本身的学科分类也不同,但每个项目测度论文的学科分类基本与项目负责人所在院系的学科相关性较大,对归属同一项目的所有成果论文的学科丰富度指标取平均值,得到项目成果的学科丰富度指标值(表3)。由于交叉学科期刊数量不多,大部分交叉研究论文仍然发表在领域较窄的专业期刊上,这些期刊所归属的学科类别数量普遍不高,本文接受测度的21个项目学科丰富度指标平均值为1.98。

资环学院承担的项目3“卫星遥感成像理论与在轨处理硬件加速研究”成果学科丰富度指标值最高,4篇被测度论文涵盖的学科类别为6个,对应为engineering electrical & electronic(电子与电气工程)、environmental sciences(环境科学)、geochemistry & geophysics(地球化学和地球物理学)、geosciences,multidisciplinary(多学科地球科学)、imaging science & photographic technology(成像科学与摄影技术)和remote sensing(遥感)。平均涵盖学科类别数为4。其中:2篇论文发表在*Remote Sensing*,对应学科类别为geochemistry & geophysics(地球化学和地球物理学)、remote sensing(遥感)、engineering;electrical & electronic(电子与电气工程)和imaging science & photographic technology(成像科学与摄影技术);另外2篇发表在IEEE *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,对应学科类别为environmental sciences(环境科学)、remote sensing(遥感)、geosciences,multidisciplinary(多学科地球科

表3　接受评估的21个项目的交叉测度结果

项目编号	论文篇数	学科丰富度均值	项目丰富性测度	项目均衡性测度	项目差异性测度
1	25	1.56	7.40	0.80	0.62
2	32	1.75	10.25	0.68	0.73
3	4	4.00	12.00	0.87	0.68
4	21	1.81	16.38	0.81	0.74
5	10	2.00	12.90	0.78	0.69
6	21	1.71	10.67	0.75	0.55
7	7	2.14	11.43	0.80	0.55
8	12	1.33	13.75	0.86	0.61
9	8	2.00	8.00	0.80	0.58
10	1	1.00	4.00	0.88	0.72
11	5	1.40	11.20	0.72	0.64
12	8	2.25	9.63	0.73	0.78
13	2	1.50	11.00	0.79	0.37
14	11	2.55	12.91	0.76	0.64
15	6	2.00	22.83	0.84	0.79
16	12	3.25	12.08	0.82	0.39
17	12	1.42	1.83	0.44	0.32
18	4	2.50	22.00	0.84	0.74
19	7	1.86	17.86	0.81	0.67
20	3	2.00	10.00	0.87	0.68
21	22	1.64	10.32	0.82	0.49

学)和 imaging science & photographic technology(成像科学与摄影技术)。

3.2　成果论文参考文献的多样性指标

对接受测度的21个项目的成果论文按照2.2.2节中的公式计算参考文献的丰富性、均衡性、差异性指标和R-S多样性指标,以数学科学学院承担的项目4“基于深度学习的成像过程数学建模与重建算法研究”为例,计算结果如表4所示。数据采集和计算过程使用了计算机文本搜索技术以确定引文的引用次数和引用位置信息,对少量无法实现自动搜索的论文,以人工方式进行数据采集。在对所有成果论文计算完多样性指标后,对归属同一项目的成果论文的多样性指标取平均值,得到项目的多样性指标。

表3所示的21个项目的丰富性指标平均值为11.83。项目15和18在这一指标上表现最为出色,其相关学科类别统计列于表5和6。项目15“基于时空大数据技术的多维多尺度贫困动态监测与评价”所引用的论文涵盖了地理、环境、数学、统计、计算机、电气工程、经济、管理、心理和社会学等多个领域的20余个不同学科类别,项目18“基于多视图学习的心理压力自适应调节方法研究”所引用的论文涵盖了计算机、数学、物理、化学、生物学和医学等多个领域的20余个不同学科类别,充分展现出这2个项目在研究主题、技术工具和应用场景上的交叉广度,这些学科类别之间的关联程度则会在项目差异性测度中进行量化分析。

21个项目的均衡性指标平均值为0.79。绝大部分项目在这一指标上表现良好。

21个项目的差异性指标平均值为0.62。相比于均衡性,21个项目的差异性指标值出现了较为明显的区别,有6个项目的指标值>0.70,也有3个项目的指标值<0.40,如项目16,虽然均衡性指标值很高为0.82,但差异性指标值只有0.39,其参考文献涉及的学科类别之间的关系普遍较近。项目16参考文献涉及的学科类别列于表7,表明所引用论文涵盖的学科数量并不少,如物理化学、应用化学、凝聚态物理、多学科材料科学、纳米科学和纳米技术等,但这些学科都归属于物理、化学、材料等少数几个大的学科领域,学科之间的关联度普遍较高。从差异性角度看,该项目交叉研究的多样性并不突出。

表4 项目4所有测度论文的多样性指标

测度论文编号	参考文献	统计篇数	丰富性	均衡性	差异性	R-S多样性
17	57	44	23	0.828 9	0.756 4	0.713 6
10	30	24	23	0.873 1	0.737 0	0.701 1
19	43	34	22	0.891 8	0.752 3	0.699 2
18	22	19	15	0.886 5	0.778 5	0.698 1
3	46	41	23	0.841 8	0.729 9	0.692 6
1	47	33	22	0.843 7	0.787 1	0.685 7
5	53	29	19	0.799 2	0.777 7	0.668 4
6	39	30	21	0.759 9	0.739 6	0.656 0
21	48	31	15	0.774 6	0.767 7	0.650 4
14	43	38	19	0.907 7	0.751 1	0.650 1
12	35	20	15	0.866 3	0.707 3	0.640 7
8	48	39	12	0.905 5	0.743 4	0.635 0
2	57	49	14	0.772 0	0.778 6	0.620 6
15	48	32	14	0.755 5	0.739 0	0.619 9
4	40	36	13	0.743 0	0.776 1	0.609 1
20	40	28	12	0.806 7	0.780 4	0.600 9
13	37	29	12	0.741 0	0.701 9	0.573 2
11	38	37	14	0.809 6	0.650 3	0.571 2
16	44	38	13	0.665 6	0.786 2	0.558 6
9	20	13	12	0.703 7	0.707 8	0.548 5
1	31	11	11	0.884 0	0.693 5	0.497 6

注:按R-S多样性指标值排序。

表5 项目15参考文献涉及的学科类别

项目编号	学科组合	学科数
3	地理学,自然地理学,电信,电子与电气工程,多学科地球科学,遥感,运输,运输科学与技术,多学科材料科学,分析化学,设备与仪器,计算机科学与信息系统,能源燃料学,市政工程,情报学与图书馆学	15
4	地理学,自然地理学,电信,电子与电气工程,多学科地球科学,成像科学与摄影技术,遥感,多学科工程学,海洋学,海洋与淡水生物学,计算机科学与跨学科应用,计算机科学与理论方法,计算机科学与人工智能,计算机科学与软件工程,计算机科学与信息系统,计算机科学与硬件架构,数学与跨学科应用,渔业,运筹学和管理科学	19
2	城市研究,地理学,自然地理学,多学科地球科学,遥感,多学科社会科学,发展研究,概率统计,环境科学,环境研究,能源燃料学,家庭研究,经济学,区域研究,区域和城市规划,社会学,社会科学与数学方法,餐旅、休闲、运动与旅游,生物多样性保护,数学与跨学科应用	20
1	城市研究,地理学,自然地理学,多学科地球科学,多学科农业,多学科社会科学,多学科心理学,发展研究,公共事业、环境和职业健康,国际关系,环境科学,环境研究,数学,心理学,经济学,计算机科学与跨学科应用,老年病学和老年医学,老年医学,林业,泌尿学和肾脏学,社会学,生态学,区域和城市规划,水资源,植物科学,肿瘤学	26
6	城市研究,地理学,自然地理学,电子与电气工程,多学科地球科学,成像科学与摄影技术,遥感,多学科科学,多学科社会科学,发展研究,概率统计,环境工程,环境科学,经济学,环境研究,教育和教学研究,计算机科学与跨学科应用,能源燃料学,农业经济学和政策,区域和城市规划,区域研究,社会工作,社会学,数学与跨学科应用,水资源,运筹学和管理科学	26
5	城市研究,地理学,自然地理学,电子与电气工程,多学科地球科学,成像科学与摄影技术,遥感,运输,多学科科学,多学科农业,多学科社会科学,发展研究,概率统计,数学与跨学科应用,公共管理,环境工程,环境科学,环境研究,计算机科学与信息系统,经济学,历史学和哲学,农业经济学和政策,情报学与图书馆学,区域和城市规划,水资源,社会公众,社会问题,社会科学与数学方法,社会学,生物多样性保护,可持续发展的环保科学技术	31

21个项目的R-S多样性测度结果如表8所示。233篇论文中,R-S多样性指标值<0.3的有68篇,占比29.2%;指标值为0.3~0.5的有89篇,占比38.2%;指标值>0.5的有76篇,占比32.6%。项目测度论文的R-S多样性指标值整体分布比较均匀,项目4、5、15和18的测度结果较为优秀,大部分论文的R-S多样性指标值都位于高分区间。项目4的21篇测度论文中有20篇的R-S多样性指标值>0.5,项目5的10篇中指标值>0.5的有7篇,项目15和18的所有测度论文的R-S多样性指标值均>0.5。

表6　项目18参考文献涉及的学科类别

项目编号	学科组合	学科数
1	计算机科学与人工智能,计算机科学与信息系统,计算机科学与软件工程,计算机科学与跨学科应用,电子与电气工程,成像科学与摄影技术,放射学、核医学与医学成像,数学与计算生物学,生物医学工程,神经科学,医学信息学,神经影像	12
4	计算机科学与人工智能,计算机科学与信息系统,计算机科学与跨学科应用,计算机科学与理论方法,电子与电气工程,环境科学,多学科地球科学,成像科学与摄影技术,生物化学研究方法,生物化学与分子生物学,生物物理学,细胞生物学,临床神经学,生物医学工程,数学与计算生物学,多学科科学,纳米科学和纳米技术,神经影像,神经科学,周围性血管疾病,放射学、核医学与医学成像,遥感,电信	23
3	计算机科学与人工智能,计算机科学与信息系统,计算机科学与软件工程,计算机科学与硬件架构,计算机科学与理论方法,计算机科学与控制论,计算机科学与跨学科应用,自动化和控制系统,分析化学,电子与电气工程,设备与仪器,机器人学,电信,应用数学,概率统计,临床神经学,精神病学,多学科科学,生物医学工程,神经科学,运筹学和管理科学,行为科学,心理学,多学科物理学,教育和教学研究,数学	26
2	计算机科学与人工智能,计算机科学与信息系统,计算机科学与控制论,计算机科学与跨学科应用,电子与电气工程,设备与仪器,机器人学,电信,声学,行为科学,临床神经学,发育生物学,内分泌学与新陈代谢,生物医学工程,数学与计算生物学,医学信息学,多学科科学,神经科学,周围性血管疾病,生理学,精神病学,替代医学,心理学,生物心理学,临床心理学,实验心理学,康复医学	27

表7　项目16参考文献涉及的学科类别

项目编号	学科组合	学科数
9	多学科化学、物理化学、多学科材料科学、多学科科学、纳米科学和纳米技术、应用物理、凝聚态物理、聚合物科学	8
11	多学科化学、物理化学、能源燃料学、多学科材料科学、多学科科学、纳米科学和纳米技术、应用物理、凝聚态物理	8
2	多学科化学、物理化学、多学科材料科学、多学科科学、纳米科学与纳米技术、光学、应用物理、物理学-原子能、分子能与化学、凝聚态物理	9
12	物理化学、多学科材料科学、应用物理、凝聚态物理、多学科化学、纳米科学和纳米技术、多学科科学、聚合物科学、能源燃料学	9
1	多学科化学、有机化学、物理化学、多学科材料科学、多学科科学、纳米科学与纳米技术、光学、应用物理、物理学-原子能、分子能与化学、凝聚态物理	10
7	多学科化学、物理化学、教育科学学科、多学科材料科学、多学科科学、纳米科学和纳米技术、光学、应用物理、物理学-原子能、分子能与化学、凝聚态物理、多学科物理学	11
6	生物学、生物物理学、多学科化学、物理化学、结晶学、多学科材料科学、多学科科学、应用物理、纳米科学和纳米技术、凝聚态物理、物理学-原子能、分子能与化学、放射学、核医学与医学成像	12
10	多学科化学、物理化学、纳米科学和纳米技术、多学科材料科学、应用物理、凝聚态物理、结晶学、多学科科学、物理学-原子能、分子能与化学、能源燃料学、聚合物科学、有机化学、多学科物理学	13
4	应用化学、多学科化学、物理化学、化学工程、生物材料科学、多学科材料科学、纺织品材料科学、多学科科学、纳米科学和纳米技术、光学、应用物理、物理学-原子能、分子能与化学、凝聚态物理、多学科物理学	14
3	能源燃料学、多学科材料科学、多学科科学、物理化学、纳米科学和纳米技术、应用物理、凝聚态物理、多学科化学、化学工程、环境科学、涂料与薄膜材料科学、多学科物理学、应用化学、聚合物科学、物理学-原子能、分子能与化学、纺织品材料科学	16
8	多学科化学、物理化学、纳米科学和纳米技术、多学科材料科学、应用物理、凝聚态物理、多学科科学、电子与电气工程、多学科物理学、物理学-原子能、分子能与化学、生物化学和分子生物学、生物物理学、生物学、放射学、核医学与医学成像、能源燃料学、化学工程、环境科学	17
5	多学科化学、纳米科学和纳米技术、多学科材料科学、无机化学与核化学、多学科科学、应用物理、物理化学、凝聚态物理、能源燃料学、环境工程、聚合物科学、化学工程、生物化学和分子生物学、有机化学、物理学-原子能、分子能与化学、环境科学、计算机科学与跨学科应用、概率统计	18

当前,越来越多的项目评审和奖项评选限定成果考察范围为5篇代表作[17]。基于考察代表性成果的考虑,以每个项目R-S多样性指标值最高的5篇论文为代表,计算多样性指标平均值并按从高到低的顺序排列,详情如表9所示,被测论文数<5篇的项目不列入表中。

除了项目18因为测度论文数<5篇而没有纳入统计,项目4、5和15的R-S多样性指标值整体表现优异的项目都排在前列,其中项目4的5篇代表性论文R-S多样性指标均值>0.7,且这5篇论文全部位于所有项目R-S多样性指标值最高的10篇论文中。此外,项目2的高R-S多样性指标值论文占比虽然并不是特别高,但有足够多的高R-S多样性指标值代表性论文,其中2篇论文排进了所有

表8 项目R-S多样性测度结果

项目编号	R-S值范围								论文篇数
	[0,0.1)	[0.1,0.2)	[0.2,0.3)	[0.3,0.4)	[0.4,0.5)	[0.5,0.6)	[0.6,0.7)	[0.7,0.8)	
1	2	1	6	6	4	2	3	1	25
2	1	1	1	5	11	9	2	2	32
3				1	2	1			4
4					1	4	14	2	21
5			2	1		4	3		10
6			9	4	4	3	1		21
7		1	1	3	1	1			7
8			3		5	4			12
9		1	2	2	1	2			8
10					1				1
11				3	1		1		5
12		1	1		3	2		1	8
13			1	1					2
14			2	1	6	2			11
15						2	3	1	6
16		7	4	1					12
17	10	1	1						12
18							4		4
19				4	2	1			7
20				1	1		1		3
21		3	6	8	5				22

表9 项目代表性论文的R-S多样性指标

项目编号	top1论文	top2论文	top3论文	top4论文	top5论文	R-S多样性平均值
4	0.713 6	0.701 1	0.699 2	0.698 1	0.692 6	0.700 9
2	0.748 2	0.729 7	0.695 7	0.511 4	0.588 2	0.674 6
1	0.712 5	0.685 4	0.668 4	0.649 4	0.591 2	0.661 4
15	0.719 3	0.690 7	0.634 4	0.615 8	0.589 7	0.650 0
5	0.692 6	0.665 2	0.655 0	0.578 5	0.538 6	0.626 0
6	0.614 0	0.562 4	0.559 5	0.526 1	0.494 9	0.551 4
12	0.748 2	0.542 6	0.506 5	0.443 7	0.440 4	0.536 3
8	0.555 6	0.504 1	0.503 3	0.501 0	0.498 8	0.512 6
14	0.524 7	0.508 4	0.494 3	0.489 4	0.484 7	0.500 3
9	0.577 1	0.555 7	0.435 0	0.987 4	0.335 7	0.458 2
19	0.593 4	0.475 7	0.406 9	0.397 3	0.371 1	0.448 9
11	0.622 1	0.446 2	0.391 1	0.359 4	0.348 1	0.433 4
21	0.466 1	0.442 0	0.417 4	0.415 5	0.409 9	0.430 2
7	0.507 8	0.402 3	0.387 1	0.342 7	0.341 8	0.396 3
16	0.310 4	0.244 0	0.243 1	0.233 9	0.213 1	0.248 9
17	0.212 0	0.105 9	0.073 5	0.059 4	0.024 7	0.095 1

注:top1~5论文分别为相应项目中R-S多样性指标值排名第1~5的论文。

项目测度论文的R-S多样性指标值前10名。进一步的分析结果显示,项目2的成果中,R-S多样性指标值较低(<0.4)的论文(8篇)大部分发表于概率论和数理统计领域的专业期刊,研究内容主要为统计理论和方法,作为学科交叉的基础而存在,并不会降低项目2整体的学科交叉水平,这说明使用代表性论文考察项目学科交叉水平是合理和必要的。

4 结论与展望

计算结果显示项目4、2、1、15和5代表性论文的R-S多样性指标均值排名前5名,领先其他项目。基于本文构建的交叉研究测度评价方法,可认为这5个项目在所有被评估项目中具有较高的学科交叉水平。其中前3个(项目4、2和1)的承担单位都是

数学科学学院，这说明数学作为自然科学的基础在交叉研究中能够发挥非常强大的作用。

本文构建的学科交叉测度应用于交叉研究评价存在一定的局限性，如前文所述测度项目的成果论文覆盖率和参考文献覆盖率均不是100%，所以测度结果并不能完全刻画一篇论文或者一个项目的学科交叉程度。文中使用web of science类别字段来表征学科分类，但此标准是基于论文发表期刊来划定的而非论文本身，尽管以论文所在期刊为依据进行相关评价具备一定的现实合理性[18]。

未来，可以将本文构建的快速化、规模化学科交叉测度计算方法与评价交叉研究的传统量表[19]相结合，探索如何解决更好评估交叉研究的成果价值/影响力和交叉研究的创新程度等问题，对交叉研究项目给予更加综合的评价。

参 考 文 献

[1] 教育部，财政部，国家发展改革委.《关于高等学校加快“双一流”建设的指导意见》的通知[EB/OL].[2021-02-21]. https://www.moe.gov.cn/srcsite/A22/moe_843/201808/t20180823_345987.html.

[2] 刘仲林，赵晓春.跨学科研究：科学原创性成果的动力之源：以百年诺贝尔生理学和医学奖获奖成果为例[J].科学技术与辩证法，2005(6)：107-111.

[3] 张琳，孙蓓蓓，黄颖.跨学科合作模式下的交叉科学测度研究：以ESI社会科学领域高被引学者为例[J].情报学报，2018，37(3)：231-242.

[4] 黄颖，高天舒，王志楠，等.基于web of science分类的跨学科测度研究[J].科研管理，2016，37(3)：124-132.

[5] STIRLING A. A general framework for analysing diversity in science, technology and society[J]. Journal of the Royal Society Interface，2007，4(15)：707-719.

[6] POTTER A L, RAFOLS I. Is science becoming more interdisciplinary? measuring and mapping six research fields over time[J]. Scientometrics，2009，81(3)：719-745.

[7] 陈赛君，陈智高.学科领域交叉性及对其测度的Φ指标：以我国科学学研究领域为例[J].科学学与科学技术管理，2014，35(5)：3-12.

[8] KARLOVCEC M，MLADENIC D. Interdisciplinarity of scientific fields and its evolution based on graph of project collaboration and co-authoring [J]. Scientometrics，2015，102(1)：433-354.

[9] ZHANG L，ROUSSEAU R，GLANZEL W. Diversity of references as an indicator of the interdisciplinarity of journals：taking similarity between subject fields into account[J]. Journal of the Association for Information Science & Technology，2016，67(5)：111-112.

[10] PORTER A L，COHEN A S，DAVID R J，et al. Measuring researcher interdisciplinarity[J]. Scientometrics，2007，72(1)：117-147.

[11] RAFOLS I，MEYER M. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity：case studies in bionanoscience[J]. Scientometrics，2010，82(2)：263-287.

[12] LEYDESDORFF L，RAFOLS I. A global map of science based on the ISI subject categories[J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology，2009，60(2)：348-362.

[13] RAFOLS I，POTTER A L，LEYDESDORFF L. Science overlay maps：a new tool for research policy and library management[J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology，2010，61(9)：1871-1887.

[14] LEYDESDORFF L，CARLEY S，RAFOLS I. Global maps of science based on the new web-of-science categories[J]. Scientometrics，2013，94(2)：589-593.

[15] LEYDESDORFF L，WAGNER C S，BORNMANN L. Betweenness and diversity in journal citation networks as measures of interdisciplinarity：a tribute to eugene garfield[J]. Scientometrics，2018，114(2)：567-592.

[16] RAO C R. Diversity：its measurement，decomposition，apportionment and analysis[J]. Sankhya：The Indian Journal of Statistics(Series A)，1982，44(1)：1-22.

[17] 北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会.关于启动2024年度北京市科学技术奖提名工作的通知[EB/OL].[2024-07-05].https://kw.beijing.gov.cn/art/2024/7/5/art_10704_3170.html.

[18] 张学梅.科学计量学视域下跨学科学术评价方法研究进展[J].情报理论与实践，2020，43(7)：171-178.

[19] 马跃，蔡兵，雷斌.交叉学科研究成果评价标准、指标和方法研究[J].技术与创新管理，2007(1)：39-43+47.

（责任编辑：马田田）