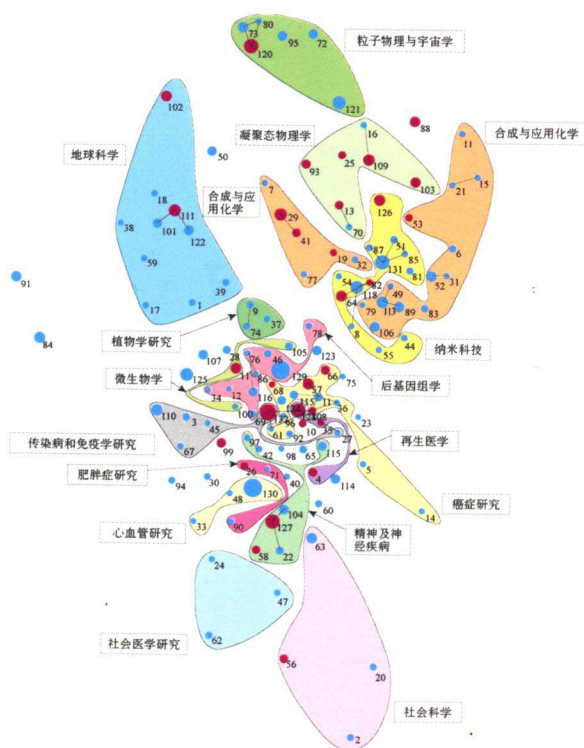


Mapping Science Structure

科学结构地图 2012

潘教峰 张晓林 王小梅 韩 涛 王 俊◎著



科学出版社

Mapping Science Structure

科学结构地图 2012

潘教峰 张晓林 王小梅 韩 涛 王 俊◎著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是继《科学结构地图 2009》之后,第二次运用文献计量学的理论和方法绘制科学结构地图并开展相关研究,旨在揭示科学结构、监测科学发展趋势。本书通过 ESI 高被引论文的同被引聚类分析揭示了科学研究结构,通过“科学结构地图 2009”与“科学结构地图 2012”的时序比较分析了研究领域的变迁和学科的发展,运用复杂网络分析法辅助识别了重点研究领域,通过计量方法度量了研究领域的学科交叉性,并通过学科多样性和网络凝聚性揭示了知识整合的广度和强度。基于科学结构地图,从论文份额、国际合著率等角度描绘了中国及代表性国家的研究活跃程度、国际合作情况等。

本书有助于读者了解科学发展的整体态势和中国在世界前沿研究领域的发展水平,可供科技决策者、各级科技管理人员、科技研究人员、高等院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

科学结构地图. 2012/潘教峰等著. —北京:科学出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-03-036564-4

I. ①科… II. ①潘… III. ①科学体系学-研究 IV. ①G304

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 018577 号

责任编辑:邹 聪 杨婵娟 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:赵德静 / 封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:19 1/2

字数:452 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

科学技术是人类智慧的伟大创造，是人类文明进步的基石和原动力，是人类应对重大挑战、破解发展难题、实现永续发展的有力武器。科学技术知识体系有其内在的规律和革命性，在强大的社会需求和自身内在矛盾的双轮驱动下，加速交叉、融汇、拓展、演变，不断产生新的关联和突破口，不断聚生出新的研究方向和前沿。把握科学的总体结构，发现科学不同领域发生、发展、转移、汇聚、湮灭的规律，及时探测和发现新问题、新焦点、新领域的萌生、崛起、扩展、形成的趋势，对于认知科研规律、规划研究布局、凝练研究重点、选择研究路径等，都有重要意义。

分析科学结构的常见方法包括学科分类、主题聚类、共词聚类，以及专家规划与评价等。本书通过研究论文间的引用关系，分析科学家根据研究需要自然引用文献所产生的内容关联性，尤其是论文同被引所揭示的文献之间的潜在关联性，可在一定程度上排除用已有学科分类、常用词汇、项目、作者或机构等归类所存在的主观和先验影响，可能发现潜在的、尚未被科学界认识或承认的科学方向和前沿。我们借鉴经济合作与发展组织（Organization for Economic Co-operation and Development, OECD）《抓住科学演化本质，制定新的科学指标及学科分布图》的方法，利用汤森路透集团的基本科学指标库（Essential Science Indicators, ESI）中的高被引论文和科学引文数据库（Science Citation Index, SCI）、社会科学引文数据库（Social Science Citation Index, SSCI）中的施引论文，揭示出由同被引关系聚类形成的研究领域及其相互关系，分析了这些领域的学科交叉性和新颖性，分析了中国和其他代表性国家在各个领域的活跃程度。我们曾利用

ESI 2002~2007 年数据进行分析, 出版了《科学结构地图 2009》(科学出版社, 2010)。本书利用了 ESI 2004~2009 年的数据, 并对研究方法进行了改进。采用平行映射法改进可视化方法, 使两个时期科学结构地图纵向可比; 采用科学结构时序演变分析方法揭示研究领域的演变; 引入学科多样性和网络凝聚性反映研究领域学科交叉的程度; 引入复杂网络分析方法辅助重点研究领域的确定; 新增机构合著网络分析, 从更微观的角度展现科学研究合作的特征。

我们要再一次指出, 引用关系只揭示了科学研究中复杂关系的一个侧面, 引用关系所汇聚的领域往往涉及交叉、变化和非共识的方向, 引文数据滞后于当前科研活动, 且我们所使用的数据比较偏重基础科学和生物医学领域。因此, 分析结果肯定存在不完善之处。我们希望读者提出宝贵的意见, 我们也将丰富科学结构及其演变的揭示角度和方法, 提高科学结构分析的时效, 将科学结构分析与其他分析方法密切结合, 更有力地支持科技决策和科技创新。

目 录

前言

第一章 引言	001
第二章 研究方法	004
一、利用同被引聚类确定研究领域	004
二、可视化方法	005
三、研究领域的演变分析	006
四、重点研究领域的确定	009
五、研究领域学科交叉性分析	009
六、机构合著网络分析	012
第三章 科学结构及演变	013
一、科学结构地图	013
二、科学结构中的重点研究领域	018
三、基于科学结构地图观察科学研究的动态发展	020
第四章 研究领域的学科交叉性	030
一、在科学结构地图中观察学科交叉性	030
二、学科交叉度	036
第五章 中国及代表性国家科学研究活跃度	039
一、世界总体情况	039

二、按研究大类观察国家科研活跃度	043
三、按研究领域在科学结构地图中观察国家科研活跃度	065
四、小结	108
第六章 中国及代表性国家国际合作	110
一、世界总体情况	110
二、按研究大类观察国际合作	114
三、按研究领域在科学结构地图中观察国际合作	119
四、机构合著网络分析	132
五、小结	143
第七章 结语	144
附录 A 三维科学结构地图	147
附录 B 132 个研究领域详细信息	149
附录 C 研究领域的内容分析	157
附录 D 各国在各研究领域中的核心论文份额及国际合著情况	291
致谢	305

第一章

引言

对科学知识体系结构及其演化规律的研究一直是科技界发现研究热点、遴选优先领域、规划学科发展和制订科学政策的重要基础。近年来,科学结构地图分析开辟了科学结构特征和演化研究的新途径。绘制科学结构地图,可以快速、全面和形象地把握科学总体态势,分析各个国家、机构在不同学科或主题上的优势领域和发展重点,揭示各类科学主题和主体之间的动力关系,鉴别主题融汇趋势和潜在突破领域,辅助确定未来研发方向和创新机制,有效支撑科技发展规划和战略决策分析。通过周期性绘制科学结构地图,可以追踪各个国家科研优势领域的动态变迁过程,监测研究领域的演化路径和变化趋势。因此,继《科学结构地图 2009》之后,中国科学院科学结构地图课题组开展了第二次科学结构地图绘制及相关研究工作,期望达到揭示科学结构、监测科学发展趋势的目的。

国内外众多研究机构和学者以绘制科学结构地图为手段,对科学结构的特征和动态演化开展了大量方法研究和应用研究。按照 Small^① 的划分,科学结构分为专题领域科学结构(local maps)和全领域科学结构(global maps)。专题领域科学结构的应用研究非常丰富。然而,限于数据量、成本、效率等因素的约束,全领域的科学结构研究明显少于专题领域研究,在中国更是寥寥无几。Klavans 和 Boyack^② 总结并对比分析了截至 2009 年的 20 个典型的全领域科学结构研究案例。结果发现,虽然使用的数据和方法不同,但是 20 个典型案例中的全领域科学结构是一致的,科学具有“共识性

① Small H. 1997. Update on science mapping: creating large document spaces. *Scientometrics*, 38 (2): 275~293

② Klavans R, Boyack K W. 2009. Toward a consensus map of science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (3): 455~476

结构 (consensus map of science)”,从而表明全领域科学结构具有科学性。Klavans 和 Boyack^① 还研究证明,由于全领域科学结构能反映领域之间的知识关联与交叉,所以即使是针对一个专题领域进行分析,全领域科学结构地图比仅仅基于专题领域数据绘制的专题领域科学结构地图,能更加准确地反映该领域的发展全貌,尤其在揭示该领域与其他领域的相互作用和揭示该领域在复杂问题环境中的实际变化趋势上更具优势。

本书主要运用文献计量学的理论和方法绘制科学结构地图,并运用复杂网络分析法、社会网络分析法识别重点研究领域、探究研究领域的学科交叉性及分析机构合著情况。

绘制科学结构地图的理论基础是科学论文同被引分析。论文引证是科学家信息交流的一种直接表现,体现了知识的相互作用及知识的流动、融汇和演变。同被引则指一组论文共同被其他论文引用,反映了在学科分类、发表期刊、作者机构、研究项目等方面看似毫无关联的该组论文可能存在着某种关系;当该组论文同时被引用的次数逐渐增加时,它们之间的内在关联不断加强。因此,同被引现象通过作者自发的引用行为反映了科学研究内容和科学研究活动的聚合关系。具有内在关联的论文通过同被引聚合在一起,反映了科学研究内容的自组织与科学结构的演变。利用同被引关系的聚类分析,可以超越传统的学科分类构建科学结构地图,了解科学研究的结构及其变化。

本书以 ESI 为信息源,提取了 2004~2009 年 8529 个研究前沿,其中包含 40203 篇高被引论文,通过同被引分析对它们进行聚类,得到了 132 个研究领域,即相互关联的高被引论文簇。通过研究领域的关键词分析,以及相关领域专家对这些研究领域的分析,确定了这些研究领域的名称。在此基础上,通过“科学结构地图 2009”与“科学结构地图 2012”的时序比较,分析了研究领域的变迁和学科的发展,并进一步分析了中国及代表性国家的研究活跃程度、国际合作情况。本书希望提供一种客观和系统的分析方法,为科学家和决策者提供一种新视角来观察科学研究结构和科学发展态势。

本书采用的分析方法参照了 OECD 和日本科学技术政策研究所 (National Institute of Science and Technology Policy, NISTEP) 关于科学结构演化的类似研究^{②~④}。

本书的结构如下:第一章,引言;第二章,研究方法,介绍绘制科学结构地图的理论和方法;第三章,科学结构及演变,绘制了 132 个研究领域、16 个研究大类组成

① Klavans R, Boyack K W. 2011. Using global mapping to create more accurate document-level maps of research fields. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62 (1): 1~18

② Igami M, Saka A. 2007. Capturing the evolving nature of science, the development of new scientific indicators and the mapping of science. <http://www.oecd.org/dataoecd/11/40/38134903.pdf> [2007-04-25]

③ NISTEP. 2008. Science map 2004. <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep100e/pdf/rep100e.pdf> [2008-07-24]

④ NISTEP. 2009. Science map 2006. <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep110e/pdf/rep110e.pdf> [2009-02-02]

的科学结构地图，分析了其中的重点研究领域，通过与“科学结构地图 2009”对比展示了科学结构的演变；第四章，研究领域的学科交叉性，通过分析 132 个研究领域与 14 个学科之间的关系揭示了研究领域的学科交叉性，以及研究大类知识整合广度和强度的分布；第五章，中国及代表性国家科学研究活跃度，通过观察中国及代表性国家在每个研究领域中的论文份额分布，讨论各国在不同研究领域中的相对优势；第六章，中国及代表性国家国际合作，通过国际合著分析度量知识的国际流动，通过机构合著网络分析机构的合作关系；第七章，结语。

本书术语解释：

科学结构地图：或称为科学知识图谱，是显示科学知识结构关系与发展进程的一种图形，反映了科学知识之间的结构、互动、交叉、演化等诸多关系。

高被引论文（highly cited paper）：ESI 对过去 10 年的 SCI 论文被引频次进行统计，将 22 个学科领域中被引频次前 1% 的论文遴选为高被引论文。本书使用了 2004～2009 年的高被引论文。

研究前沿（research front）：ESI 以 SCI 近 6 年的高被引论文为基础，利用论文之间的同被引关系聚类产生的一系列论文集合。

研究领域（research area）：在研究前沿基础上的再次聚类得到的一系列高被引论文集合。

同被引（co-cited）：一组论文共同被其他论文引用。

核心论文（core paper）：研究领域中的高被引论文。

重力模型（gravity model）：对象之间关联强度的可视化方法，基本思想是把对象间关联强度看做原子之间的引力和斥力，当力平衡时，描绘各个对象之间的相对位置。

平均年（mean year）：一组论文的出版年的平均值。

国家核心论文份额：该国发表的核心论文数占全部核心论文数的比例。

国家施引论文份额：该国引用核心论文的论文数占全部引用核心论文的论文数的比例。

国际合著率：一国有多国著者的论文数占该国总论文数之比。

国家论文计数方法：由于存在国际合著论文，一个国家的论文量因为计数方法不同而不同，计算方法包括：①全计数法（complete counting）；②分数化全计数法（complete-normalized counting），也称分数计数法（fractional counting）；③第一作者计数法（straight counting）；④整体计数法（whole counting）；⑤分数化整体计数法（whole-normalized counting）。采用方法②、③、⑤计算时所有国家份额之和等于 100%，采用方法①、④计算时所有国家份额之和超过 100%。本书论文份额统计采用方法②，国际合著率采用方法④。

第二章 研究方法

科学结构地图的计算基础是科学论文同被引分析,通过对高被引论文的同被引关系进行聚类,产生若干研究领域;对所有研究领域进行内容分析并从中确定热点研究领域;利用重力模型可视化方法计算各个研究领域间的关联强度及其相对位置,形成科学研究中各个研究领域的结构图,以帮助了解科学结构及演变趋势。

相比于《科学结构地图 2009》,本书对研究方法进行了改进。为了更加直观地反映科学结构地图的变化及保证两个时期的科学结构地图的连续性,我们改进了可视化方法;开发了科学结构时序演变分析方法以揭示研究领域的演变;在重点研究领域的确定、研究领域的学科交叉性分析上,引入了复杂网络分析方法;在国际合作分析方面,则新增了机构合著网络分析,从更微观的角度展现科学研究合作的特征。

一、利用同被引聚类确定研究领域

本书沿用《科学结构地图 2009》的同被引聚类方法。研究前沿取自 ESI 于 2010 年 7 月公布的 2004 年 1 月至 2010 年 4 月的研究前沿,共 8529 个,其中包含 40203 篇高被引论文。由于 ESI 前 1% 的高被引论文中包含了 SSCI,因此本书的施引论文集选自 SCI 和 SSCI,论文发表时间范围为 2004~2009 年。

通过同被引聚类,形成 132 个研究领域,其中包含 2094 个研究前沿,16397 篇高被引论文(即核心论文)。这些研究领域成为本书的分析对象。在《科学结构地图 2009》的专家判读过程中发现有些研究领域存在划分不细、涵盖主题方向不集中的问题,因此,此次聚类适当调高了部分参数。聚类中设定的 4 个参数分别是:①簇内成员间关系阈值为 0.05;②关系阈值增量为 0.06;③簇内成员数最大值为 100;④簇内

成员数最小值为 6。

科学论文间的引用反映了科学研究的动态交互。同被引是指一组论文同时被其他论文引用。如图 2-1 所示, 论文 A、B、C 同时被论文 1、2、3 引用。如果论文 A、B、C 频繁同被引, 可以推测它们拥有相同或相近的研究主题。

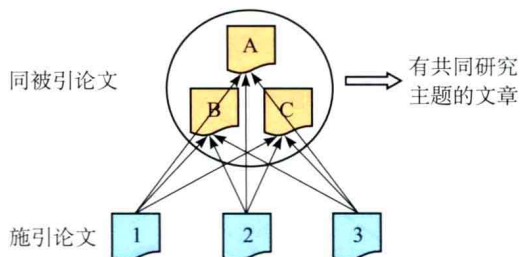


图 2-1 通过同被引分析确定研究领域

注: A、B、C 为核心论文

使用同被引的方法, 计算高被引论文两两之间的同被引关系, 并根据同被引关系对高被引论文进行聚类形成若干论文簇, 称为“研究前沿”(research front, RF); 在此基础上利用同被引关系对上述研究前沿再次进行聚类, 得到的若干论文簇, 称为“研究领域”(research area, RA)。高被引论文、研究前沿及研究领域之间的关系如图 2-2 所示。

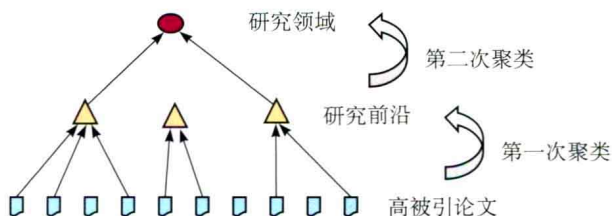


图 2-2 高被引论文、研究前沿、研究领域的关系

本书与《科学结构地图 2009》的聚类数量见表 2-1。

表 2-1 同被引聚类的相关数量

		科学结构地图 2009	科学结构地图 2012
高被引论文层	高被引论文数/篇	53892	56840
研究前沿层	高被引论文数/篇	38117	40203
	研究前沿数/个	6094	8529
研究领域层	高被引论文数/篇	18203	16397
	研究前沿数/个	2300	2094
	研究领域数/个	121	132

二、可视化方法

本书使用重力模型形象描述研究领域之间的相互关系。为了使两次科学结构地图

纵向可比,以跟踪两个时期科学结构的变化,本书采用平行映射^①的方法对重力模型进行了改进。基本思想是:假设两次科学结构地图中的研究领域之间存在虚拟引力,大小正比于研究领域共同核心论文数,如图 2-3 所示。如果固定“科学结构地图 2009”中研究领域的坐标位置,“科学结构地图 2012”的研究领域除了受到自身内部的引力和斥力外,还受到“科学结构地图 2009”中研究领域的引力,即“科学结构地图 2012”中研究领域的相对位置参考了“科学结构地图 2009”,即平行映射。研究领域的绝对位置没有意义,但是研究领域在地图上的位置移动是有意义的。这个方法可以得到时间相异但形态相关的科学结构地图,支持后续科学结构的演化分析。

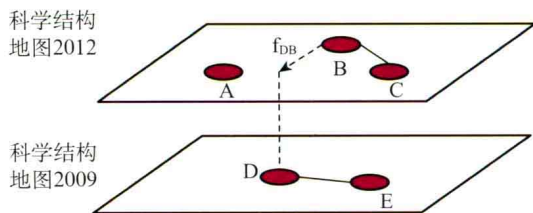


图 2-3 平行映射的基本思路:虚拟引力

注: f_{DB} 是研究领域 D 对研究领域 B 的虚拟引力

重力模型得到的是研究领域的相对位置,本书采用三种方式可视化研究领域的位 置布局。前两种与《科学结构地图 2009》一致,分别是点线图和地形图,都是二维图形。点线图清晰地表达出研究领域的具体位置及关联关系,地形图揭示出研究领域中心论文密度的分布情况。另外,本书对三维地形图进行了尝试,同样使用重力模型对研究领域的相对位置进行布局,但是图形效果使用地理信息系统的三维可视化模块。三维科学结构地图(见附录 A)具有立体感,更加直观。

三、研究领域的演变分析

研究领域的演变分析基于韩涛^②提出的基于时间策略的多时间窗聚类结果演化分析方法。该方法基于两次聚类结果公共时间窗内的重叠关系判断演化关系,重叠知识在两个时间窗的聚类结果中传承,以前聚合在一起的知识以后可能分离,或者现在分散的知识可能后来被聚合起来,这种现象正如知识进化理论提出的“遗传继承”。

“科学结构地图 2009”和“科学结构地图 2012”的公共时间窗口是 2004~2007 年。如图 2-4 所示,在公共时间窗口,“科学结构地图 2009”中的研究领域 P 有核心论文 N_P ,“科学结构地图 2012”中的研究领域 Q 有核心论文 N_Q ,两个研究领域有共同的核心论文 N_{PQ} ,定义两个研究领域的重叠度为

^① Igami M, Saka A. 2009. Observation of the evolution of science via the Science Map: methodology and application. Journal of Information Processing and Management, 52 (8): 255~266

^② 韩涛. 2008. 知识结构演化深度分析的方法及其实现. 中国科学院文献情报中心博士学位论文

$$N_{CO} = N_{PQ} / \sqrt{N_P N_Q}$$

重叠度反映了研究领域重叠关系的强弱。重叠度越大，表明研究领域之间的继承关系越强。

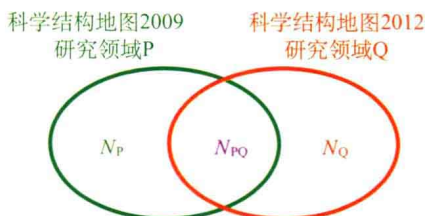


图 2-4 研究领域的重叠

本书基于上述重叠关系模型和重叠度，分析研究领域新增、消失、分化、合并、延续的演变特征，如图 2-5 所示。

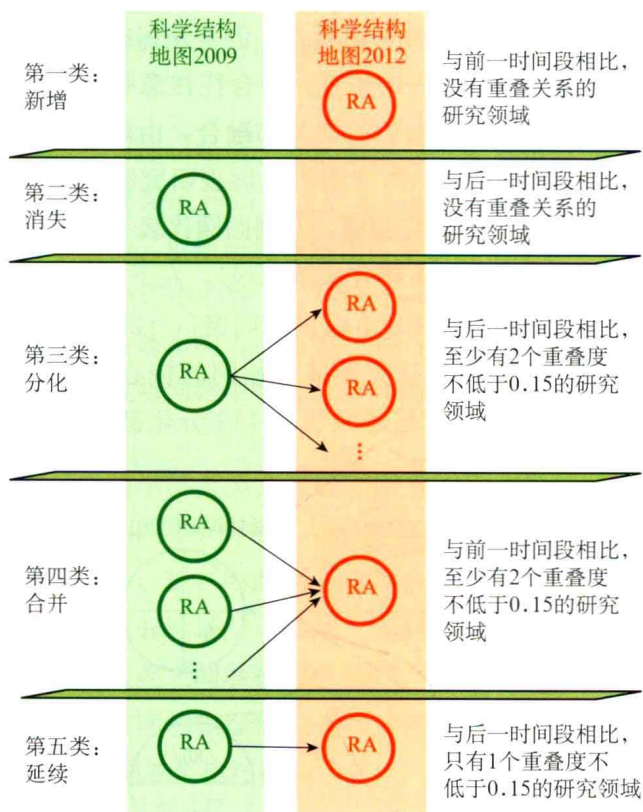


图 2-5 研究领域的演化模式

新增的研究领域不包含前一时期的任何研究领域的论文，即与前期领域的重叠度为0；反之，消失的研究领域的论文在后一时期的任何研究领域中没有出现。严格地说，新增和消失不是绝对的新生和消亡，因为在大多数情况下，新增或消失的研究领域中的论文尽管与另一个时期研究领域中的论文没有重叠，但与另一个时期第一次聚类的

研究前沿层中的论文有重叠。因此新增和消失更多地体现了高于聚类阈值的研究热点的转移。

分化是一个研究领域 P 演变成多个研究领域 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ，…。合并是分化的逆过程，是一个研究领域 Q 由多个与 Q 有重叠关系的研究领域 P_1 、 P_2 、 P_3 ，…演化而来。本书设置重叠度阈值为 0.15，重叠度不低于阈值才被视作有效的演化分支。在分化、合并中，由于分化或合并前后的研究领域规模可能差距较大，使用上述重叠度公式，可能会忽略规模比较小的研究领域的演化，因此分化的重叠度使用公式 $N_{CO} = N_{PQ} / N_Q$ ，融合的重叠度使用公式 $N_{CO} = N_{PQ} / N_P$ 。

延续是一个研究领域 P 只演变成一个与之有重叠关系的研究领域 Q ，两者之间重叠度大于或等于 0.15。

通过上述方法计算两次科学结构的演化特征，将计算结果提交给领域专家，专家对部分结果进行了修正。

尽管研究领域的演化可以归纳为 5 种模式，但是知识的演化过程中，分化和融合具有相互转化、相互渗透的辩证统一的关系。融合往往意味着另一种形式的分化，再精细的分化也总是伴随着不同学科知识的交叉和融合，由此形成一种演变模式综合交错的演化路径，本书采用图 2-6 所示方式图形化展现研究领域演化路径。图中左列圆圈代表“科学结构地图 2009”的研究领域，右列圆圈代表“科学结构地图 2012”的研究领域。在圆圈内部，上方数字代表研究领域 ID 号，左下方数字代表该研究领域的核心论文数，右下方数字代表该研究领域在公共时间窗口（2004～2007 年）的核心论文数。圆圈之间的箭头代表左右两侧研究领域有相同的核心论文，其数量在箭头上方标注。例如，研究领域 120 的形成是研究领域 113 分化部分与研究领域 105 融合的共同结果。

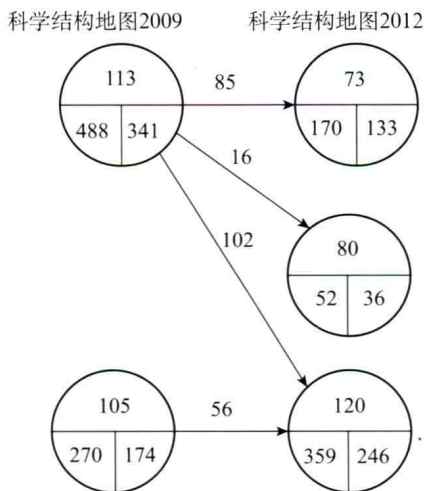


图 2-6 演化路径的展现

四、重点研究领域的确定

《科学结构地图 2009》探讨了热点研究领域,但是热点研究领域只是研究领域的一个重要方面。从复杂网络的角度看,枢纽研究领域也是研究领域的一个重要方面。因此本书除了继续确定热点研究领域外,还结合复杂网络分析方法从另一个角度确定枢纽研究领域。

(一) 热点研究领域

热点研究领域是活动频度高的研究领域,由以下方法确定。

首先,确定热点研究前沿,计算所有研究前沿的篇均被引用次数及其年均增长率,同时计算 ESI 数据库中 22 个学科的篇均被引用次数和年均增长率。被引用次数及年均增长率均大于所属学科平均值的研究前沿被视作热点研究前沿。

其次,通过热点研究前沿确定热点研究领域,评判标准有两条:包含 4 个及以上热点研究前沿;包含热点研究前沿的比例排在前 50%。

(二) 枢纽研究领域

枢纽研究领域是研究领域间知识关联的桥梁,特别是跨越学科关联的枢纽研究领域,它促进了不同学科研究领域间知识的交叉与融汇,形成了一个学科内紧密联系、学科间互有关联的科学结构。枢纽研究领域由 3 个步骤确定。

首先,计算研究领域中介中心性(betweenness centrality)^{①②}。在复杂网络中,中介中心性是衡量节点信息传播影响力的重要指标,描述了节点的中介传播能力和桥梁作用。中介中心性越大,说明网络中通过该节点的最短路径数越多,该节点的枢纽作用越大。

其次,计算研究领域的学科大类关联数,用与该研究领域有同被引关系的研究领域所属学科大类数表示。如图 2-7 所示,与研究领域 A 有关联关系的研究领域 B、E、G 分别属于学科大类 I、II、III,因此 A 的学科大类关联数为 3。A 成为学科大类 I、II、III 之间联系的桥梁。研究领域与越多属于不同学科大类的研究领域关联,该研究领域越有可能是这些学科大类之间联系的桥梁。

最后,筛选研究大类之间的枢纽研究领域。判断标准:中介中心性和学科大类关联数都排在前 20% 的研究领域是枢纽研究领域。

五、研究领域学科交叉性分析

学科间的相互交叉和渗透是当今大科学时代的一大特征。严格来讲,每个研究领

① Freeman L C. 1977. A set of measures of centrality based on betweenness. Sociometry, 40 (1): 35~41

② Freeman L C. 1979. Centrality in social networks: conceptual clarification. Social Networks, 1 (3): 215~

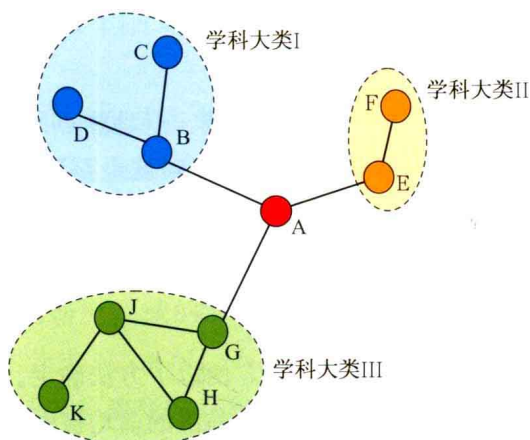


图 2-7 研究领域的学科大类关联数

注：与研究领域 A 有关联关系的研究领域 B、E、G 分别属于学科大类 I、II、III，因此 A 的学科大类关系数为 3。A 成为学科大类 I、II、III 关联的桥梁

域很难完全属于单一学科，只是学科交叉性的广度和强度不同而已。出于延续性和实用性，本书保留了《科学结构地图 2009》中对研究领域所属学科的判定规则，即只要有一个学科的核心论文比例大于 60%，该研究领域属于该学科，否则，属于交叉学科。在此基础上，本书引入了学科交叉度指标——多样性（diversity）和凝聚性（coherence）^①，测度每个研究领域知识整合的广度和强度，进而反映研究领域的学科交叉性。

Porter 等^②指出，学科交叉性的关键概念是“知识整合”。“知识整合”是个动态过程，表现为认知的异质性越来越高，结构的关联性越来越强。因此，本书使用学科多样性和网络凝聚性两个指标揭示研究领域知识整合的程度。

多样性，即学科多样性（disciplinary diversity），从学科的数量（variety）、分布均衡度（balance）、相似性（similarity）三方面描述研究领域的学科异质性（heterogeneity）。凝聚性，即网络凝聚性（network coherence），反映研究领域的论文关联网络的主题相似度和结构紧密度。

本书的研究对象与 Rafols 和 Mayer 的研究对象不同，计算方法也略有不同。

（1）学科多样性。计算研究领域核心论文集的学科多样性，反映该研究领域学科交叉性的广度。计算公式为

$$\Delta = 1 - \sum_{i,j} s_{ij} p_i p_j \quad (1)$$

其中， p_i 是学科类别 i 所属论文在核心论文集合中的比例， s_{ij} 是学科类别 i 与 j 的

① Rafols I, Meyer M. 2010. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience. *Scientometrics*, 82: 263~287

② Porter A L, Roessner J D, Cohen A S, et al. 2006. Interdisciplinary research: meaning, metrics and nurture. *Research Evaluation*, 15: 187~196