

科学计量 研究方法论

庞景安 编著

 科学技术文献出版社

科学计量研究方法论

庞景安 编著

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

图书在版编目(CIP)数据

科学计量研究方法论/庞景安编著. -北京:科学技术文献出版社,1999.10

ISBN 7-5023-3342-8

I. 科… II. 庞… III. ①计量学-研究 ②计量-研究方法
IV. TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 20920 号

出 版 者:科学技术文献出版社

图 书 发 行 部:北京市复兴路 15 号(公主坟)中国科学技术信息研究所
大楼 B 段/100038

图 书 编 务 部:北京市西苑南一院 8 号楼(颐和园西苑公汽站)/100091

邮 购 部 电 话:(010)68515544-2953

图 书 编 务 部 电 话:(010)62878310, (010)62877791, (010)62877789

图 书 发 行 部 电 话:(010)68515544-2945, (010)68514035, (010)68514009

门 市 部 电 话:(010)68515544-2172

图 书 发 行 部 传 真:(010)68514035

图 书 编 务 部 传 真:(010)62878317

E-mail:stdph@istic.ac.cn;stdph@public.sti.ac.cn

策 划 编 辑:庞美珍

责 任 编 辑:庞美珍

责 任 校 对:李正德

责 任 出 版:周永京

封 面 设 计:博 金

发 行 者:科学技术文献出版社发行 新华书店总店北京发行所经销

印 刷 者:北京国马印刷厂

版 (印) 次:1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开 本:850×1168 32 开

字 数:464 千

印 张:17.125

印 数:1~1000 册

定 价:35.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

(京)新登字 130 号

内 容 简 介

该书是一部系统介绍科学计量研究理论与方法的学术专著。

该书在对科学计量学形成与发展作简要说明的基础上,全面系统介绍了科技管理领域中重要的计量研究理论与方法,包括科学计量指标体系、科技统计方法、文献计量研究、引文分析方法、科学能力论,以及科学价值评价和科学选择原理等。在阐述理论基础的同时,注重说明实际应用的意义,并附有大量应用实例和数据图表。

全书观点新颖、内容翔实、深入浅出、突出实用,可供各级科技管理部门、科研领导机构,图书情报部门,以及科学学工作者和大专院校师生学习参考。

科学技术文献出版社 向广大读者致意

科学技术文献出版社成立于 1973 年,国家科学技术部主管,主要出版科技政策、科技管理、信息科学、农业、医学、电子技术、实用技术、培训教材、教辅读物等图书。

我们的所有努力,都是为了使您增长知识和才干。

前 言

科学计量研究是以科学体系本身作为研究对象,综合运用各种数量技术,对其进行定量化研究的特殊计量方法。通过开展科学计量研究,可以深入了解科学体系的内部结构,分析科学系统的运行规律,揭示科学活动的发展趋势。经过许多科学家的钻研探索,日益丰富的科学计量研究方法已构成现代科学学的重要组成部分,形成一门理论性强、应用广泛的新兴学科——科学计量学,对科学学、管理学、信息科学及相关领域的理论与实践产生了深刻的影响。

人类对科学本身的计量研究,最早发端于 19 世纪下半叶,当时主要是以科学文献为媒介,应用统计分析方法,对科学家及其科学成果的分布状况进行定量研究。本世纪 60 年代以后,随着现代化工业技术的飞速发展,科学计量研究开始突破狭隘的理论圈子,进入了广阔的科学管理应用领域。科学计量研究的理论和方法,被越来越多地应用于诸如科学基金项目评审、科技成果价值鉴定、科研机构绩效评估、学术期刊质量优劣排序,以及学科发展方向的选择、国家科技发展规划的制定等宏观科技管理活动中。人们运用大科学观,越来越重视探讨在整个社会的大背景中,科学活动的定量化规律。

为适应当前科技管理水平飞速发展的新形势,满足国家对高水平科技管理人才的需求,中国科技信息研究所自 1995 年开始为研究生开设这门课程。本书就是在几年的科研和教学工作基础上,集中学科的理论知识和应用实践经验编写而成。希望读者通过阅读本书能对科学计量研究的理论基础和实用方法有一个概括的了解。全书按所论中心内容划分为八章,各章自成体系,又互相联系、支持,构成一个有机的整体,涵盖科学计量研究的基本内容及相关领域。主要内容包括:统计学基础、文献计量研究、引文分析方法、科学能力论、科学价值论以及科学选择的原理和实践等。每章后面附有相关参考

文献,便于读者查阅原文,了解学科发展的轨迹。全书力求简明易懂,理论联系实际,不过多涉及理论公式的推导,而注重介绍经验成果的应用,使读者不必具备较深的数学基础,就可以通晓全文、学以致用,对实际工作有所帮助。

本书的编写和出版得到了中国科技信息研究所研究培训中心和信息分析中心的各位领导和同志们的关心和支持,为我提出许多宝贵意见和建议,提供有用的材料和数据。在此,谨向上述所有同志表示衷心地感谢。

科学计量研究虽然取得了一些进展和成果,但需要研究和探讨的领域还很多,不少问题的研究也远非完善,有待进一步地深化。由于著者水平和时间所限,书中一定存在许多疏漏和错误,希望读者不吝赐教、批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 科学计量学概述	(1)
第二节 科学计量研究的原理和方法	(9)
第三节 科学计量研究的发展	(16)
第二章 统计学基础	(28)
第一节 经验统计方法	(28)
第二节 概率论初步	(48)
第三节 数理统计基础	(64)
第四节 科学技术统计原理	(86)
第五节 国家科技统计工作的组织和管理	(102)
第三章 文献计量研究	(123)
第一节 概述	(123)
第二节 科技文献的老化规律	(128)
第三节 布拉德福文献分散定律	(154)
第四节 齐普夫词频——等级分布	(176)
第五节 文献计量学理论模型研究	(193)
第四章 引文分析方法	(213)
第一节 引文分析的基本概念和方法	(213)
第二节 科学期刊的引文分析	(232)
第三节 引文网络与聚类分析	(248)
第四节 引文分析在科技管理中的应用	(261)
第五章 科学发展规律	(290)
第一节 科学知识数量增长规律	(290)
第二节 科学学科发展规律	(310)
第三节 科学中心转移规律	(327)

第四节	未来科学发展的主要趋势·····	(337)
第六章	科学能力论·····	(344)
第一节	社会的科学能力·····	(344)
第二节	科学生产率的洛特卡分布·····	(352)
第三节	杰出科学家的社会年龄分布·····	(373)
第四节	科学发现的当采模型·····	(393)
第五节	重大科技成果的威布尔分布模型·····	(402)
第七章	科学价值论·····	(415)
第一节	科学价值系统·····	(415)
第二节	科学奖励系统·····	(428)
第三节	国内外的科技奖励制度概述·····	(438)
第四节	科学评价体系研究·····	(443)
第八章	科学选择原理·····	(466)
第一节	科学选择的概念·····	(466)
第二节	科学选择的理论方法研究·····	(474)
第三节	科学选择标准及实施过程·····	(487)
第四节	科学选择的应用·····	(501)
附表	·····	(531)

第一章 绪 论

科学计量研究,顾名思义,是以科学本身作为对象进行的定量研究。这里所指的“科学”,不仅指作为知识体系的科学,而且也包括作为社会活动的科学。科学计量研究以社会环境为背景,运用数学方法计量科学研究的成果,描述科学的体系结构,分析科学系统的内在运行机制,揭示科学发展的时空特征,探索整个科学活动的定量规律性,被人们称为“科学的科学”。

国际科学计量学与信息计量学学会会长,德国著名科学学家克雷奇默(H. Kretschmer)博士指出:“鉴于科学发展加速的图景不能只依靠增加科学家人数的方式达到,而只能由科学过程的有效而精心的组织去实现。于是,现在最重要的问题是要求人们具有‘科学学’的知识。”^[9]而科学计量研究正是构成科学学中最重要和最深刻的一部分内容。随着此类研究的不断深入,正在逐步演化和形成科学学中专门进行定量描述的一个分支学科——科学计量学,标志着科学学已经进入常规科学的成熟阶段。

第一节 科学计量学概述

人类对科学本身的定量研究,可以上溯到 19 世纪下半叶,至本世纪 60 年代得到广泛的发展,受到各国科学家和科学组织、机构的重视。70 年代,我国的科学学工作者开始全面、系统地将国外有关科学计量学的研究成果介绍到国内,使科学计量学研究在我国蓬勃发展起来。人们普遍认为,科学计量学的出现,揭开了 20 世纪科学发展史新的一页,现代科学进入了“自我认识”的新时期。

一、科学计量学的形成

科学计量学是伴随着科学学在现代科学技术革命的历史背景下孕育形成的。从 19 世纪末开始,自然科学首先在物理学领域爆发了伟大的革命。20 世纪初叶,著名物理学家爱因斯坦创立了相对论,揭示了空间、时间、物质运动之间的统一性。20 世纪 20 年代,法国的德布罗意、德国的海森堡和奥地利的薛定谔等物理学家,建立了量子力学体系,成功地揭示了微观世界的基本规律。同时期,生物学也发生了革命。自然科学的革命为新的技术革命开拓了广阔的道路。

20 世纪 40 年代以后,以原子能工业、电子计算机、空间技术和遗传工程为标志的现代技术革命全面展开。当前,以信息技术为基础的“信息高速公路”,更是以空前未有的迅猛之势席卷全球。

现代科学技术革命不仅从根本上改变了社会生产力的结构,刷新了劳动生产率,引起了社会政治、经济和文化生活各个方面的深刻变化;同时,也对科学本身产生深远的影响,形成一个高度分化又高度综合的自然科学体系。我国著名科学家钱学森指出,“当现代科学技术已经发展到高度综合而又从基础到应用的严密结构的体系,就应该有一门代替消亡了的自然哲学的学问,它专门研究科学技术体系的组织结构,研究体系的逻辑性和严谨性,研究科学技术与哲学的联系等。这也可以称为‘科学的科学’^[7]。”显而易见,正是由于现代科学体系的形成和发展,改变了人们已往的思维方式和认识观,促使人们开始重视运用科学的方法对科学技术本身的规律性进行分析探索、计量研究,科学计量学也由此应运而生。

现代数学的伟大成就不但使数学本身更加完善、丰富;同时,进一步推动数学的理论方法不断向其它学科渗透、深化,为它们提供解决问题的手段和方法。

马克思指出:“一种科学只有在成功地运用数学时才算达到了真正完善的地步”。随着经典数学、随机数学和模糊数学的不断发展,数学方法已经广泛应用于各门科学的研究之中,尤其是社会科学中

的许多学科,如经济学、管理学和社会学等。各门学科的数学化和计量化已成为现代科学技术发展的重要趋势。科学学的发展同样也不例外,迟早会出现自己定量研究的分支学科。因此,科学计量学的形成也就成为历史发展的必然。

现代科学活动日益社会化和科研规模的不断扩大,是促进科学计量学形成的社会条件和动力。第二次世界大战以来,许多国家的科学研究活动,已经从企业规模扩大到国家规模,甚至国际规模,科学研究活动的社会化程度越来越高。一些大型科研项目,例如,核弹的研制,空间技术开发,修建“信息高速公路”等,往往耗资几十亿,几百亿,甚至几千亿美元;动用几十万科技人员,参加单位几个,历时几年到十几年;科学研究、技术开发和社会生产密切结合,协同发展。这些大型科研项目的实施和运行,必然形成全社会的科研系统,对整个社会的经济、政治、法律以及人民生活、工作带来深远的影响。全社会的科研系统已经发展到高度分化而又高度综合的程度,形成一个从科学研究到技术开发再到生产应用的多层次,多序列的复杂结构。这就迫使人们必须专门研究科研系统的有效管理、探讨科研工作的规律性等,由此而产生了科学学中的许多分支学科,例如科学社会学、科学政策学、科学管理学和科学计量学等,以完成对社会科研系统科学定量化管理的现实任务,最大限度地发挥科学系统的功能和效率。

综上所述,可以看出,在现代科学广阔的学科领域中,科学计量学的兴起,决非偶然,它有着深刻的历史背景和强大的社会动力,它把科学作为一种社会现象来进行定量分析和计量研究,形成科学学研究中一个极具魅力的学科领域。

二、科学计量学的概念

“科学计量学”(英文 Scientometrics, 俄文 Наукометрия)这一新名称,是 1968 年由前苏联学者纳利莫夫(Налимов)和穆利钦科(Мульченко)首次提出的。在当时,类似的定量研究学科还出现了

许多,例如生物计量学(biometrics),经济计量学(econometrics),定量语言学(quantitative linguistics)和文献计量学(bibliometrics)等。前苏联学者将这一术语解释为“研究分析作为情报(信息)过程的科学的定量方法”。^[1]

在此后的20年时间里,出现了许多种有关科学计量学的定义,世界各国的科学学家,从各自的研究工作和领域出发,为科学计量学下着本质相似而表述各异的定义。这表明科学计量学的发展还不够成熟,仅仅是科学学园地里一支新苗。

纵观这些定义,大致可分为三类,随着人们对科学本身规律性认识的不断深入,科学计量学的定义也被赋于更加广泛的内涵。

在初期,人们认为科学计量学类似于哲学和数学,属于一门“元科学”性质的学科。例如:

(1)前苏联基辅的布鲁西洛夫斯基(Б.Я. Брусиловский)把科学计量学定义为“研究科学的数学上正确的方法”(1975)。

(2)前苏联化学家格拉诺夫斯基(Ю.В. Грановский)更是明确地提出:“我们可以把科学计量学看作一门‘元科学’,它能够对各个科学研究方向的有效性作出判断”。(1980)。

随着人们对科学管理的重视,科学计量学又被认为是对科学活动定量评价、评估的有效手段。

(3)前苏联学者基泰戈罗茨基教授(А. И. Китайгородский)认为:“科学计量学是科学事业的‘技术检查科’,它能够揭示出正在集约发展的科学领域。所有这些揭示出来的客观资料,对分配科学资源、培养科研人员等等,都是十分重要的。

(4)前苏联乌克兰科学院著名科学学家多勃罗夫(Г.М. Добров)则认为,“科学计量学乃是关于系统分析和实际科学管理的研究,它应当围绕可以定量评估的一切科学问题。”他还提出一个相当广义的定义,“任何研究科学的定量方法,都是科学计量学。”(1978)

(5)匈牙利著名物理化学家贝克(M. T. Beck)指出,科学计量学

是“研究科学活动、科学生产率,以及科学进步的评价和比较”的科学,是“定量地研究科学技术进步”的科学,是“把处理数据资料的方法,应用于科学学研究。”

由此可见,人们对科学计量学的认识,已不仅仅是停留于科学管理和评价的表面上,而是更多关心科学计量学在揭示科学发展规律,描述科学发展过程,探求科学进步机制的特有功能。

(6)美国费城科学情报研究所所长、第一位普赖斯科学学奖章获得者加菲尔德(E. Garfield)教授认为,“科学计量学的基本之点,是博采各种数量技术,以应用于科学学研究。”(1978)

(7)在1977年1月,前苏联召开了一次题为“科学家及科学团体的活动问题的全苏科学工作者大会。在会议纲领性文件——建议书中指出:“科学计量学乃是定量描述科学发展过程的工具和手段。”

(8)前苏联科学院科学技术史所海通博士(С. Д. Хайтун)在深入研究科学计量学的基础上,提出一个狭义的定义,主张不能把凡是定量地研究科学,都称作科学计量学。在他的专著《科学计量学:现状和前景》(1983)中,海通指出,科学计量学是科学学三方面定量研究之一,即研究科学学分析过程中各种客体参数的定量规律和计量结果(其中包括经验性的科学学规律)。而科学学的定量研究还包括:科学的数学模型,即利用科学计量学所揭示的诸定律规律,用数学关系(模型)来描述各种计量结果;以及决策论,应用上述科学计量学规律和数学模型,寻求科学学研究对象的各种参数值,以便制定优化的科学决策。因此他认为:“科学计量学是科学学的一个分支学科,它的研究对象是科学活动的定量规律性。”

(9)被誉为科学学之父以及科学计量学奠基者的普赖斯(Derek de Solla Price)则指出:“科学学,就是科学计量学”。(1982)科学计量学是对科学进行数量化地科学分析。

(10)匈牙利著名科学学家,《科学计量学》杂志主编布劳温教授认为,文献计量学和科学计量学的方法非常类似,有时甚至是完全相同的。不过,人们还是可以依照它们所研究的对象和研究目的来区

分它们。文献计量学把图书、期刊等看作正规的有形文献,其主要目的在于定量地分析图书馆等的藏书和文献服务活动,以便增进科学文献、科学情报和科学交流的活力。科学计量学则是分析科学情报(信息)产生、传播和利用的量的规律性,以便有助于更好地理解科学研究(作为一项社会活动)的机制。(1983年)^[1]

可以发现,布劳温的定义与纳利莫夫在1968年的定义有许多相似之处,给人一种历史轮回的感觉,科学计量学的定义又回到了科学情报定量规律性的范畴之中。这主要是因为,迄今为止,绝大多数科学活动规律的揭示都是依靠有形的科学情报(信息)的计量结果得出的,而更深入的科学研究机制及其计量研究方法还有待我们去探索、总结。

综上所述,可以认为科学计量学应该具有更广义的定义,这样有利于学科自身的发展。综合贝克和加菲尔德的要点,科学计量学可被定义为,博采各种数量技术,定量地研究科学技术进步的发展规律和内在机制。

三、文献计量学、科学计量学和情报计量学

文献计量学(bibliometrics)、科学计量学(scientometrics)和情报计量学(informetrics)是三个在研究对象和内容上非常相似的计量化学科。这三个术语分别来自于英文单词 metrics 与 bibliograph、information 与 science 的各自组合,突出表现了所有三门学科都直接与计量原理有关。

文献计量学的早期发展可以追溯到本世纪初叶,欧洲和俄国学者尝试对科学文献作统计分析。例如,科尔(Cole)和伊尔斯(Eales),以及休姆(Hulme)等人的研究,曾用发表的论文数来比较各国的科学生产率。英国伦敦专利局的图书馆员休姆并于1922年首先提出“统计书目学”(Statistical bibliography)这一术语,当时主要是指通过简单计数并用常规的统计方法来揭示“人类文明进程的定量研究手段。”1969年,美国目录学家阿伦·普里查德(Alan Pritchard)参照其

它领域计量学科的命名方法,提出用文献计量学(bibliometrics)这一新名称取代意义含混不清的“统计目录学”一词。该术语的提出,标志着文献计量学的正式形成,受到了图书馆学和情报学界的普遍认可和欢迎,该学科也由此而迅速发展起来。按照普里查德的定义,文献计量学是“将数学和统计学的方法运用于图书及其它交流介质的研究的一门学科”。^[10]

科学计量学如前所述是由前苏联学者纳利莫夫和穆利钦科在1968年首次提出,并由此而发展起来。科学计量学是指关于科学技术进步的计量研究。

情报计量学这个术语最初是由前联邦德国学者奥托·纳克(Otto Nacke)在1979年提出的。该术语一出现,立即受到情报学家们的欢迎,并很快在情报学期刊上得到广泛应用。著名情报学家布鲁克斯建议使用这一术语^[11]。他认为文献计量学范围过窄,应专指对图书馆和书目的定量研究;而科学计量学又主要涉及科学管理和政策的应用。情报计量学不但同时兼容这两类方法相似,目标各异的研究领域,更考虑到由于现代信息技术发展而不断产生的知识表达及传播的新型非文献形式,因此是一个有广阔应用前景的新术语,将得到越来越多学者的重视。

由以上叙述可以看出,文献计量学、科学计量学和情报计量学之间有着非常紧密的联系,它们在许多方面存在相似,甚至重合之处。这三门计量学科都是以文献作为主要研究对象,正如英国情报学家汉森(C. W. Hanson)曾指出的,“科学,信息对于许多人来说都是文献的同义语”。由此而决定了这三门学科在研究方法和研究内容方面有许多是相同的。著名信息科学家塔格—萨克利克(Tagne-Sutcliffe)把它归纳为六个主要方面:

- (1)关于语言、词和词组的频率统计。
- (2)根据论文数量或其它方法确定的作者生产率测度。
- (3)关于出版源,例如期刊论文,科技图书等的统计分布。
- (4)引文分析,包括对作者、论文、期刊、机构和国家被引用量的

分析,及效用评价等。

(5)文献的增长和老化测度。

(6)各种类型的经验公式和计量模型。

尽管文献计量学、科学计量学和情报计量学有许多相似和重合,但是它们之间确实还存在着一些不同和差异。布劳温(Braun)等人指出,这三门计量学科的研究虽然非常类似或相同,人们还是可以依照它们所研究的对象和目的来区分它们。^[1]

文献计量学主要是服从图书馆学研究需要的一门计量学科。它的研究对象是图书、期刊及电子出版物等各类媒介的文献在科学或信息交流过程中的数量变化方面。所以,文献计量学的研究目的和研究范围始终紧紧围绕图书馆和信息机构的藏书与文献服务等方面,并随着图书馆社会功能的拓展而发展。

科学计量学在创始之初,主要研究在科学交流活动中科学文献在数量方面的变化规律。1978年以后,在布劳温教授的倡导和推动下,科学计量学已经在科学的产生、传播和利用的数量规律性方面结出了丰硕的成果。科学计量学的理论和方法已经在科学的社会机制、科学政策乃至整个社会中发挥着重要的作用。

情报计量学的研究对象包括各种事物信息的数量方面,广义的过程信息和知识信息的数量方面,以及知识、信息的定义和测度等内容。显然,情报计量学的内容较文献计量学和科学计量学的研究范围要广泛得多。印度情报学家雷坚(Rajan)把情报计量学的目的系统阐述为为研究和规划;为决策和规划;为组织机构,科研项目、计划和各种活动的管理提供可靠的数据。由此,布鲁克斯认为情报计量学是迄今计量学科中语义最广泛最深奥的一个术语,将作为包罗文献计量学和科学计量学的一个全称术语。^[11]

图 1-1 显示了文献计量学,科学计量学和情报计量学三门学科之间的联系与区别,以及它们各自所属的上位类学科,从中可以看出三门学科的整体位置和宏观趋势。

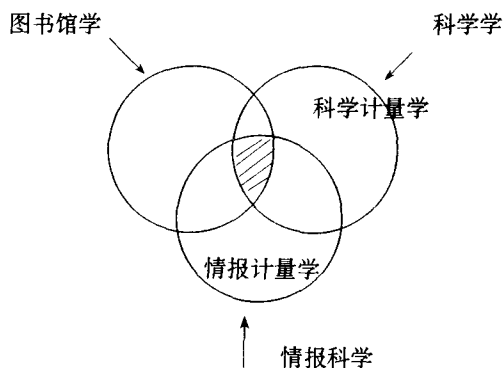


图 1-1 文献计量学、科学计量学和情报计量学的联系与区别

第二节 科学计量研究的原理和方法

所谓科学计量研究方法就是借助有关科学文献产生、传播和利用的定量数据,试图描述科学交流以及研究活动的内在规律,运用数学的语言(数字、符号、图表或公式)和模型去阐述科学过程的理论和实践,经过数学和统计学处理,得出供人们进行分析,预报决策或管理控制的定量结果。

一、科学计量研究基本原理

若把科学计量研究与自然科学研究相比较,就不难发现,它们之间存在许多显著的差异。

(一)在计量对象和研究领域上,科学计量研究比自然科学研究具有更多的不确定性和现象多重性。

这是因为社会中的科学交流现象远比自然现象更复杂多变,不仅影响因素众多,而且各种变量间的互相依赖关系错综复杂,难以分离简化,使常用的数学方法难以处理。所以目前科学计量研究的数学描述都比较简单,过于理想化,自然与实际现象的偏差也就比较大了。