



科学学与科技管理的 数学原理

The Principia Mathematica of the Science of Science
and Management of Science and Technology

谷兴荣 著



科学学与科技管理的 数学原理

The Principia Mathematica of the Science of Science
and Management of Science and Technology

谷兴荣 著

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

科学学与科技管理的数学原理/谷兴荣著. —北京: 中国人民大学出版社, 2013. 10
国家社科基金后期资助项目
ISBN 978-7-300-17498-3

I. ①科… II. ①谷… III. ①数学理论-应用-科学学-研究 ②数学理论-应用-科学技术管理-研究 IV. ①G301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 259137 号

国家社科基金后期资助项目

科学学与科技管理的数学原理

谷兴荣 著

Kexuexue yu Keji Guanli de Shuxue Yuanli

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010-62511242 (总编室)		010-62511398 (质管部)
	010-82501766 (邮购部)		010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)		010-62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn http://www.ttrnet.com (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		
规 格	165 mm×238 mm 16 开本	版 次	2014 年 1 月第 1 版
印 张	38.25 插页 2	印 次	2014 年 1 月第 1 次印刷
字 数	653 000	定 价	88.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

国家社科基金后期资助项目 出版说明

后期资助项目是国家社科基金设立的一类重要项目，旨在鼓励广大社科研究者潜心治学，支持基础研究多出优秀成果。它是经过严格评审，从接近完成的科研成果中遴选立项的。为扩大后期资助项目的影响，更好地推动学术发展，促进成果转化，全国哲学社会科学规划办公室按照“统一设计、统一标识、统一版式、形成系列”的总体要求，组织出版国家社科基金后期资助项目成果。

全国哲学社会科学规划办公室

前 言

《科学学与科技管理的数学原理》是用定量的方法研究科学学理论的相关问题。因此，它以科学计量学为中心，而且与经济学、管理学，特别是技术经济学（也有人称为科技经济学）、科技管理学密切相关。因此，本书是一本运用数学方法研究科学技术的体系结构、运行机制、发展规律、社会功能等问题的学术专著。

科学技术发展的计量研究源远流长，可以追溯到 100 多年以前。马克思是揭示定量研究在科学演化中的作用和地位的第一人。他说，科学只有她成功地应用数学的时候，才算达到了完善的地步。科学史表明，任何科学都有自己的演化历史；任何科学都会在演化过程中产生自己的专门进行定量描述的分支学科。

科学的定量研究，最早散见于 19 世纪中叶以后少数自然科学家的著作之中。瑞士植物学家阿尔丰沙·德堪多和英国博物学家高尔顿是科学发展统计分析的创始人。他们的目的，是试图用统计的方法，来确定科学家共同体中的创造性成果的分布状况，并进而研究社会因素、自然因素对科学家成长所产生的有利和不利影响。大家知道，在马克思主义诞生以前，把科学作为特殊的社会建制并进行定量的研究，是一直不被重视，也一直不被人们看做一项专门的研究课题的。而这两位学者则堪称是“少数情况下的特例”。

到 20 世纪初，继续对科学进行经验统计方法研究的是苏联学者菲利浦琴科和美国学者洛特卡（1880～1949）等。特别是洛特卡，他把前人的统计方法大大发展了一步，其研究的方向也转向了科学人数和他们所发表的科学文献量之间的数量关系。

英国的贝尔纳在 20 世纪 40 年代出版的《科学的社会功能》一书，是科学计量学诞生的标志。在这本书里，贝尔纳用大量篇幅定量地阐述了科

科技进步中的人才、经费和实验条件问题以及科技的经济社会功能问题,因此,也有人称此书为科学活动的定量报告书。

之后,第二代科学学代表人物,美国的普赖斯,在他的代表作《小科学·大科学》等书中也用坐标图表述过科技人员和科研经费增长情况以及科技对经济的影响。

我国科学学界最负盛名的赵红州先生的文稿中,特别是在他的代表作《科学能力学引论》中,有不少关于科技进步中的人、财、物问题和科技的社会经济功能问题的计量研究。我国一批科技管理和科技实际工作者,从自己的切身体验出发,针对工作中的某些具体问题,写了大量关于科技发展中的经济问题与管理问题的文章,其中定量分析的文章占相当大的比重,有力地推动了科技经济学的发展。

笔者对科学学与科技管理的定量研究进行得较早。笔者1975年毕业分配到湖南省郴州地区青山垌水库管理局工作,1977年开始在工作之余以主要精力学习和研究科技哲学。1978年开始转向科学计量学的学习与研究,至今30多年坚持不懈,期间可分为如下几个研究阶段。

第一阶段,1978~1984年,是学习和研究科学学与科技管理的数学原理的初期。

笔者于1978年在湖南自然辩证法研究会首届学术年会上和与会者交流了《科技的经济功能的计量探讨》一文,此文后在《自然信息》上公开发表。1981年,在全国自然辩证法首届学术年会上与陈老师合作,撰写了《科学发展周期律》一文(当时全省被会议录取的两篇文章之一),概括出了科学发展的兴衰周期规律及定量表述公式。《华中工学院学报》上有人撰文称此为“陈谷二氏周期增长律”,并运用于科技预测之中,后被同行广泛引述,并获湖南省教委“六五”期间科研成果奖。1984年,笔者在全国科学计量学研讨会上提出了两个新观点:一是科技发展中的最小因子限制规律,天津《科学学与科技管理》杂志主编何钟秀老师当即邀我写成论文,其后运用数学方法将其写出来,在该刊发表;二是随着科学的继承性发展与变革性发展的交替变化,科学研究的效率出现起伏变化的同时存在着整个历史过程中的科研效率渐退规律。这个观点在会议综述中以一段文字的形式进行了介绍。后来,中国科学院的赵红州教授对此观点表示肯定,并将此论点写成论文,在国家几家重点刊物上发表。

第二阶段,1984~1990年,笔者对科学计量学的学习、了解和研究有所深入,在研究内容上,从科学计量学不断加入科技经济学、科技管理学的计量研究内容。

1990年,笔者已经提出了科学革命的指标构成与数学模型、科学发展因果关系三规律、科学发挥社会功能的循环连锁机制与相互代偿机制等观点,并把这些论文汇集改写成了论著《科学技术发展的计量研究》,在湖南科技出版社出版。北京的赵红州、蒋国华等老教授称该论著为中国科学计量学的拓荒性著作之一。2002年,在中国科学学与科技政策研究会成立20周年之际,研究会编写了一本回忆研究会发展历史的书籍,其中有一页介绍了《科技发展的计量研究》一书的内容。此书曾获湖南省第二届哲学社会科学优秀成果奖。

第三阶段,1991~2005年,笔者的研究重点转向了科学技术的因果性、机制性分析以及科技活动的经济原理分析,修正了一些过去文稿的错误,提高了量化程度。代表作有《科学技术研究的经济学原理》、《科学技术发展的数学原理》。

1993年笔者出版了《科技兴国的定量方法》,1995年出版了《科技转化方法论》,实用性都较强。1996~2000年没有多少这方面的文章与专著,2000年以后才逐步多了起来。

期间,笔者已经先后提出了科学技术投入产出的指标体系、数学方程和基本推论,定量揭示了科学发展纵向变革与科研效益的关系、横向结构波动与科研效益的关系,提出了科研效益的三大递变规律,即依研究深度与复杂程度的增大而使效益降低、科研单项目的投入产出比值在历史发展中的守恒原理(单项目投入大,产生效益也大)、科学发掘“富矿区”的转移与科研效益变化的三大趋向,提出并定量表述了科技研究的三大社会法则,即科学基础研究的追求社会影响最大化法则、技术应用研究追求成果的经济效益最大化法则、科学技术研究追求成果的负面损失不能触动人类社会的根本利益且益损相抵的余额最大化法则,提出并定量揭示了科学技术促进物质文明的线性发展规律、科学技术促进社会平等的U形发展规律,提出了值兴技术的形成转移与发展规律、科学技术中心转移的三大动力机制,等等。把这些观点以单篇论文的形式发表后,整理成了《科学技术研究业经济学原理》与《科学技术发展的数学原理》两部书稿,前者交中国财政经济出版社出版,在全国新华书店发行,销量达万余册,后者在中南大学出版社出版,在社会上产生了良好影响。国防科技大学朱亚宗教授写了6000字的书评,在《科学学研究》上发表。由全国研究会组织编写的学科发展史《科学学在中国》一书介绍了这两本论著。

第四阶段,2006年以后,侧重于科学学与科技管理的应用性、分类性数学研究。

笔者提出科技经济社会领域不同事物之间的数学关系应分为三大类,即不同事物之间大小、多少、强弱的比较关系,不同事物之间的因果关系与相关关系,事物发展不同时间之间的时序规律关系。笔者认为计量评价可以解决第一种关系,并且是解决后两者关系的基础,继而把计量评价分为总论与个论两部分。总论包括五点:一是把千千万万种评价指标分为四类,即数量指标,直接从评价对象中提取、无须换算而得到的指标;质量指标,不考虑成本的前提下科技成果的数量指标与活动主体规律之比的指标;效益指标,是由数量指标乘质量指标除以成本所构成的指标;综合指标,是由数量指标、质量指标、效益指标、能力指标四者综合而得的指标。四类指标是依次包含而不互相代替的关系。二是从数学的角度提出评价指标的选择标准与选择方法。三是根据不同指标的相似度简化修改指标分类的数学方法。四是概括理顺不同相关指标的组合建模的数学方法。五是提出评价结果检验诊断的改进方法。武汉大学邱均平教授等同行专家对此撰文给予了充分肯定。

笔者致力于科学学与科技管理的全面量化研究,每年发表5篇以上论文,提出了不少新观点,都用数学方法表述和研究。2010年出版了《科技转化的质量指标与质量管理》一书,这是一个实用性的新领域,同年出版了《科学技术发展的数理结构》专著,对科学学理论做了专题性的相对全面的研究。

30多年来,笔者做过多种工作,也在其他方面承担过一些科研项目,出版过一些书籍,但都是一过而抛,唯一坚持到底的就是科学学与科技管理的计量研究。

在30多年的研究中,最大的欣慰是在湖南省科技厅的关怀下一直坚持了下来,并提出了这么多新论点,尽管还不够成熟,但总能给人以启发和参考吧。最大的遗憾是没有团队,单枪匹马地发表论文,出些发行量不大的书,没有宣传介绍,因而也没有相应的社会影响,更没有使本理论发挥应有的社会经济作用。前面的时间已去,今后要以严谨的态度,将这些理论深化、修正,力争使它成为同行们认可的相对成熟的一门理论科学。

成绩是微不足道的,这些成绩的取得也不是个人的功劳。早在湖南省郴州地区青山垌水库管理局工作时,李郴生、李宙泽等不少领导就给予了帮助和关怀。在郴州地委党校工作时,领导和同志们对笔者都很关心,有几个实际问题都在那里得到了解决,特别是刘笃年校长、李继周主任、陈满泉主任等领导从多方面给予了无微不至的关怀。在湖南省委党校工作15年,得到了一些领导和同事的关心和帮助。到湖南师范大学工作已有

10年，时间不长不短，却已得到不少领导和同事的热情帮助。还有，北京的赵红州教授、蒋国华教授、陈益升教授、王兴成教授，大连理工大学的刘则渊教授、王续琨教授，武汉大学的邱场平教授，《岭南学刊》的李芸老师，《科技与经济》的周红、许贵金老师等，以及原中南矿冶学院的陈念文教授、陈文化教授都曾给予十分热情的指导和帮助。湖南省科委汤笃平处长、吴和清处长、姚德喜主任、焦启运处长、姜郁文总工程师、黄新亮主任等领导给予了不少关照。没有他们的关照，我必定做不出这点成绩。湖南省社科联的陆魁宏教授对我的学习研究也给予了多次关照。他们的恩情不能忘记，没有他们的帮助，我就跨不出这小小的几步，不可能取得这一点点成绩。

由于笔者水平有限，特别是这些研究成果尚不成熟，缺点错误在所难免，还望读者不吝赐教。

谷兴荣

2013.10

目 录

前 言	1
-----	---

第一编 科学技术的结构演变理论

绪 论	3
I 科学学的计量研究分科与数理科学技术学	3
II 科学技术发展计量研究的历史、现状、问题	9
III 理论创新与基本观点	33
IV 数理科学技术学是科技管理的理论基础	40
第一章 科学技术的要素结构及演变机制	48
I 科学技术的指标、模型与推论	48
II 经济发展的因素指标测算与回归分解模型	72
III 科学技术要素结构波动与研究效益变化规律	94
第二章 科学技术的门类结构与作用机制	108
I 科学技术门类的纵向分类法与管理创新	108
II 科学技术经济的起伏对应原理	117
III 科学技术与经济的供求平衡原理	124
第三章 科学技术的学科结构及演变规律	132
I 科学横向结构的渗透交叉规律	132
II 带头学科、当采学科及其转移规律	143
III 值兴技术群的形成发展与转移规律	158
IV 科学群落的梯度结构及其生产函数	168
第四章 科学技术的知识结构及演变规律	177
I 科学新知识单元的产生及其对知识结构的影响	177
II 科学知识增长的基因组衍生原理	187
III 知识工作的结构特征对生产率的影响	196
IV 科学技术成果质量结构的宝塔式动态稳定规律	205

V	从学位论文统计分析看知识管理研究现状·····	215
第五章	科学技术的区际结构及演变规律·····	222
I	科学技术中予前取后的分化规律·····	222
II	科学技术从高到低的梯度转移规律·····	231
III	科学技术领域此起彼伏的中心转移规律·····	238
IV	科技发展区际关系三大规律的统一原理·····	248
第六章	科学技术结构的弹性替代关系·····	252
I	科学技术指标的波动弹性与替代极限·····	252
II	产业集聚的经济效应区域化与城市化·····	267

第二编 科学技术的运行机制与功能理论

第七章	科学技术发展的动力机制·····	281
I	科技中心转移的三大动力机制·····	281
II	科技发展的逆反发展机制·····	295
第八章	科学技术的连锁代偿机制·····	302
I	科学技术作用社会的循环连锁机制·····	302
II	科学技术作用社会的相互代偿机制·····	315
第九章	科学技术的社会动能分析·····	327
I	科学成果的社会历史影响的评价指标·····	327
II	科技进步与社会平等的 U 形发展规律·····	334
III	科学技术社会化的线性发展规律·····	343
第十章	科学技术的经济效能分析·····	350
I	效用系数与技术成果的经济功能评价·····	350
II	企业继续教育的经济效益评价方法·····	357
III	科技投资的可能度与满意度的经验测算方法·····	361
第十一章	科学技术的社会经济效益变化规律·····	367
I	科学技术研究效益演变的三大基本规律·····	367
II	科学研究效益的线性与非线性规律·····	374
III	科学技术研究效益的最小要素限制规律·····	382
IV	理论科学研究效益的三大变化规律·····	388

第三编 科学技术的传播发展与评价理论

第十二章	科学技术传播与溢出效应·····	401
I	科学技术传播扩散的相关原理·····	401

II	科学技术知识的区域溢出效应·····	406
III	科学技术地域扩散范围的测度方法·····	414
IV	产业间 R&D 溢出效应的比较分析·····	423
第十三章	科学技术的质能状态分析·····	433
I	相对引文率与科学理论成果评价·····	433
II	技术密集度的指标体系与计算方法·····	443
III	科技成果成熟度的度量·····	448
IV	周期利用率与科技发展的宏观状况·····	453
V	科技转化的质量指标与质量瓶颈诊断·····	457
第十四章	科学技术发展与代谢规律·····	468
I	科学技术发展的指数规律、周期规律与统一性原理·····	468
II	科学发展从大涨落向小起伏的转变趋势·····	485
III	科学技术成果的新陈代谢规律·····	491
IV	科学技术成果对接期与新陈代谢速度·····	500
第十五章	科技活动的三大基本法则与行为边界控制·····	505
I	科学技术活动的三大基本法则·····	505
II	科技创新行为边界及控制机制·····	518
第十六章	科学技术评价的四大指标与四大环节·····	524
I	科学技术评价的意义、思路与方法·····	524
II	科学技术研发的数量指标测算·····	528
III	科学技术研发的质量指标测算·····	533
IV	科学技术研发的效益指标测算·····	544
V	科学技术研发综合指标测算·····	552
VI	科学技术研发效益测算的四大环节·····	564
参考文献	·····	584

第一编

科学技术的结构演变理论

绪 论

I 科学学的计量研究分科与数理科学技术学

笔者首次提出数理科学技术学的名称，并把它作为一门学科进行系统研究，笔者将该学科定义为科学学基本理论的数学表述。而数量科技学为运用数学方法，提出科技活动与科技发展的相关问题，进而形成假设，并采集相关数据，选择数学模型，得出测算结果，解释和分析测算结果的一门新兴学科。本学科有自己的独特内容，属于科学学与科技管理的数学原理研究范围。

一、学科名称的缘由

为什么提出数理科学技术学，理由是什么？由于内容的相关性，本学科与科学学、科学技术学、计量、数理、数量等词汇相关。在这个前提下，基于以下三点考虑，笔者提出和选择了数量科学技术学的名称。

（一）科学学与科学技术学的名称比较与选择

科学学一词圈内人非常熟悉，但对社会上的圈外人的影响至今不大，大多不是很清楚，拿该类文章去店里、厂里打印印刷，总是容易把“科学学”印成“科学”。我的科技发展计量研究专著出版过程中，每次的责任编辑都说：内容新鲜有趣。由于圈内人已经习惯了科学学一词，从尊重习惯的传统出发，应该用科学学一词妥当一些。

按照名副其实，名称要尽可能地符合实际内容的要求，科学技术学更合理一些，因为科学学与科技管理的研究从来就没有放弃过技术的内容。

圈外人对科学技术学的理解与接受比科学学一词要容易得多。在我们接触到的外界人当中，很少有知道科学学而不知道科学技术学的，却有不少知道科学技术学而不知道科学学的。

中国自然辩证法研究会已成立科学技术学分会，有一批人以主要精力研究科学技术学，每年都召开学术研讨会，并且有一批论文和专著，也有这方面的研究项目。

在这样的情况下，我们的新学科用到的名词不选科学学，而选用科学

技术学是有根据的。

(二) 计量学与数理学、数量学三名词的比较与选择

计量学与数理学、数量学不是同义词,只能说是近义词,两者之间在内涵上有明显的差别,因此计量学不能代替数理学、数量学,反过来也一样。从字面上讲,计量考察对象的体积、重量、密度、比重、能量强度、功率等的量化数据,自然科学中的计量学就是研究这些问题的,在今天归属于质量技术监督部门。数量学则要考虑上述数据的连续变化过程。数理则着眼于原理推论。

在经济学领域,数理经济学、数量经济学与计量经济学并存,内容上已有明确分工,计量经济学是对已有的经济指标的有关数据进行统计、估计和分析。数量经济学是把经济活动中的问题提出来,并形成假设,采集数据,选择模型,计算得出结果,并解释分析测算结果。数理经济学是对经济学基础理论的数学表述。

因而,在科学学或叫科学技术学领域,三者同样可以并存,并各有自己的不同内涵。本分支学科的研究内容,使我们选择数理一词,而不是计量一词。

(三) “数理”与“科技”的先后次序安排问题

当人们决定选择“数理”与“科技”的概念时,是叫科技数理学,还是叫数理科技学?哪一种称呼合理一些呢?

按照汉语语法规则,前者属于表语或称定语,后者为主语。科技数理学的本质应为数理学,加“科技”二字,即为限定词,即以科学技术为研究对象的数理科学。数理科技学的主体为科学技术学,加“数理”二字,表示运用数理方法,研究科学技术学。因此,我决定称此学科为数理科技学。

现在社会上流行的科学计量学,并不是采用了科学方法的计量学,而是采用了计量方法的科学学,老名词的逻辑次序颠倒了,大家习惯了就算了。人们尚不熟悉的新学科的名词,就应该名正言顺了。

二、科学学计量研究在内容分配上存在的问题

科学学、科学计量学、科学技术统计学等相关学科,在研究内容上存在一些分配不当、重复交叉的现象。

(一) 科学计量学没有明确自己的研究范围,没有明确科学计量学的研究内容与其他相关学科边界

科学计量学与情报计量学、信息计量学、科技经济计量分析等方面的界限模糊,甚至你研究我的内容,我研究你的内容,如被蒋国华等尊为科

学计量学之圣的普赖斯,他重点讨论的却是科技文献的指数规律和科技情报文献的分布规律。布劳温的代表作《科学计量学指标》,内容是科技论文的国家分布、科学论文被引率的地区与作者分布,这些都是文献计量的研究内容。蒋国华先生说:“科学计量学由于历史的原因,出身不同学科领域的研究者又给它起了不同的名字,诸如文献计量学、情报计量学、技术计量学等。但在当代权威科学家默顿和加菲尔德看来,它们都是一门学科——科学计量学。默顿和加菲尔德的这一观点,在七年后,即在1993年9月德国柏林举办的第四次国际文献计量学、信息计量学和科学计量学讨论会上,得到了知名科学计量学家格伦采尔和绍普夫林的再次认同。他们在递交大会的著名论文《小科学计量学,大科学计量学,以及其他》中有极其明确的说明:‘在下文中,凡提到文献计量学一词,若无特别说明,皆用做文献计量学、信息计量学、科学计量学和技术计量学的同义词。’”实际情况是,图书情报科学是比科学学与科技管理更为成熟的科学,图书情报的研究范围包括自然科学、社会科学、文学艺术等各个方面。其研究也包含了计量研究。文献计量学是图书情报科学的一个分支学科,它与图书情报科学的密切程度远远大于同科学学的密切程度。科学与技术的两个计量科学合并在一起是可以的,但不必分别命名,它属于科学学与科技管理的分支学科。所以说,格伦采尔和绍普夫林的上述观点在逻辑上是紊乱的。还有一部分科学计量学的实际研究者,对科技转化、科技创新、科技开发等问题进行计量研究,其实圈外的社会人员大都认为这是科技经济的内容。

科学计量学由于研究范围不明确、研究边界模糊,导致研究内容成了大口袋,包揽一切。把科学技术统计学成果、科技经济学的数学方法研究成果、科技管理学的数学方法研究成果都说成科学计量的内容,实在难以看出科学计量学的独特内容与学科边界。

(二) 科学计量学实际内容尚处于科技数据整理与统计描述的阶段上,缺少深入一步的数理分析

科学计量学60年的发展历史,包含了多个不同时期的代表性名家和代表性成果,例如,20世纪40年代贝尔纳《科学的社会功能》被科学计量学家称为“科学与社会”的定量报告书,20世纪50~60年代普赖斯的《小科学·大科学》等成果,20世纪70~80年代赵红州的《科学能力学引论(第二编)》、《科技史的数理分析》等,20世纪80年代加菲尔德的《科学引文索引》,20世纪80~90年代布劳温和他的《科学计量学指标》,以及2000年以后武汉大学邱均平团队的科技教育评价理论成果,大连理工大学刘则渊、王续琨团队的图论等科学计量学研究成果。从这些代表性