

广义量化引论

G

Y

L

H

Y

L

郭俊义 著

江西高校出版社

广义量化引论

郭俊义 著



江西高校出版社

广义量化引论

郭俊义著

江西高校出版社出版 南昌市洪都北大道16号

江西省新华书店经销 江西印刷公司印刷

开本850×1168 1/32 印张10.375 字数238千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷 印数1—3000册

ISBN7—81033—053—5/0·5 定价：5.95元

内 容 简 介

本书旨在研究定性和定量分析问题的统一描述，以及这两者之间相互转化的一般理论与方法，并对广义量化方法的实际应用作了介绍。

该书把人类经验知识和近代科学技术成果紧密结合起来，为社会科学研究方法和自然科学研究方法统一化，提出了一个理论框架，并给出了一系列可操作的具体方法。这些方法的核心是如何利用近代科技先进成果去建立与求解定性与定量分析问题的模型。

本书的应用领域十分广泛，不但可作为系统科学、情报学、软科学、管理学、计算机科学、思维科学、心理学等学科研究工作者的工具书，而且也可作为上述专业大学生的教材，还可作为一本科普读物奉献给广大对近代科技与社会研究有兴趣的读者。

前言

广义量化引论是一门崭新的学科，是综合利用现代计算机模拟技术和近代各个学科研究领域中的某些最新理论和技术成果，而形成的应用性很强、使用范围甚广、形式相对具体的一种可操作的认识论和方法论；是研究复杂巨系统的有效工具之一；是社会科学研究方法和自然科学研究方法统一化的一座桥梁；是人类经验知识和科学技术紧密结合的定性、定量分析方法的一种理论升华。总之，这门由近代科技先进成果组合成的学科，毫不夸大地说，它可以应用到许多不同的学科和专业领域中去。

广义量化引论的核心是利用近代科学技术的最新成就，特别是现代电子计算机模拟技术和人工智能、符号学、语言学、思维科学、近代数学、逻辑学等各个研究领域中的最新成果，把人类经验知识、洞察能力、直观判断等进行科学的处理，然后将处理的结果作为广义量化模式的初始输入，通过广义规则的变换，即可获得研究系统的有用信息。因此，广义量化理论和方法既尊重和利用了专家经验知识和直观判断，但又不迷信他们的经验与直感，而是通过科学的广义量化去获得相对科学的有用信息。

广义量化分析思维的产生可以追溯到1980年我在军事科学院从事计算机模拟作战应用研究时期，那时所遇到的问题是：对有形的物质（或技术的）因素可以量化，但对无形的因素（如：指挥艺术、人的勇敢程度、疲劳程度、阶级觉悟等等精神因素）很

难量化。于是，我在“关于作战模拟的‘自动决策’概述”一文中（见《系统工程理论与实践》，1982年，第2期14—19页）提出利用人工智能技术对指挥员的素质和士兵精神状态、心理活动等无形的非物质因素进行描述。此外，我在“试论作战模拟中的量化问题”一文中（见《系统工程理论与实践》，1981年，第3期38—41页）也提出了对量化进行广义理解的思想，并初步地讨论了量化的分类和方法，而且特别强调利用模糊数学和数理逻辑的命题演算等方法去模拟能够模拟的人思维过程的原理与途径。

1985年我在中国国防科技信息中心从事武器装备论证和发展规划的构模过程中，又遇到了与在军事科学院工作中类似的情况，即复杂巨系统一般都包括无形的非物质的精神因素和有形的物质因素两大类，这两类因素又包括若干相互联系、相互制约、相互协同、相互依赖的要素（或子系统）。不但这诸多要素间都存在上述关系，而且各类要素间（如人与物），要素与系统间，系统与环境之间也存在上述类似关系。对这种复杂巨系统的处理方法，我在《计算机模拟理论、方法及其应用》（宇航出版社1988年8月）和《军事系统工程》（国防大学出版社，1989年2月）这两本书中，分别提出了所谓的“泛数学”方法与“软硬兼施”方法。实际上这两种方法的目的与途径是一致的，即把传统的定性、定量相结合的分析方法中的定性分析过程进行规范化、科学化、计算机化、数值化，尽量避免人的主观因素所导致的偏差。这两种方法虽比传统的定性定量相结合的分析方法进了一步，但都存在一个共同的缺陷是可操作性差，逻辑推理还只限于人的抽象思维过程，尚不能搬到计算机上进行具体演算（操作）。不过这两本书还是为建立广义量化理论奠定了基础。

在1987年至1989年这两年多的时间里，我给研究生们讲授了

“广义量化分析”的思想与方法及其应用。尔后，分别在北京科技情报学会、航天部 707 所、山东大学计算机科学系、海军论证中心科技信息中心的报告和演讲中正式提出了广义量化的概念。特别是在 1989 年 10 月 10 日在钱学森同志领导的“系统学”讨论例会上，全面地论述了广义量化分析的理论、方法及其应用。当我的报告结束后，很快收到了来自各方面专家的信息。这些信息进一步鼓舞着我创立了这门学科。

这里还特别提到的是，我感谢山西省副省长乌杰同志、包头市副市长欧宇光同志和包头市税务局的一些同志的帮助，他们以具体问题的解决来促进这一学科的健康成长。通过我们合作项目所取得的一些结果，大大的丰富了这本书的内容，增强了理论与方法的说服力，回答了一些同志的质疑。众所周知，世界上任何一种新事物的成长都不是一帆风顺的，会遇到这样或那样的阻力和困难。新事物的产生、成长到成熟总有一个过程，在这个过程中难免还存在一些问题。因此，我衷心地希望各方面的专家，学者与广大读者对本书不妥之处提出批评与指正！

在本书的写作过程中，得到了不少专家、学者直接或间接的帮助，书中引用了他们的有关论述和研究成果。他们的种种帮助对我的思维和写作起了巨大的作用。他们的名字与著作将在附录中详细地提到，就不在此一一列举了，谨向他们表示衷心地感谢！

著名的国防系统分析专家余潜修教授，对书稿进行了审阅，并提出很多有益的意见，对此表示深切地谢意！刘英、黄辉、郭英、郭安昌同志为本书也做了许多工作，在此一并致谢。

郭俊义

1990 年 1 月 于广州

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1 概述.....	(1)
§ 2 基本概念.....	(4)
2.1 量与量化	(4)
2.2 广义量与广义量化	(6)
§ 3 广义量化分析的研究对象与内容.....	(18)
3.1 研究对象	(18)
3.2 研究内容	(19)
§ 4 广义量化分析的研究方法.....	(20)
§ 5 广义量化分析的意义.....	(23)
第二章 初等广义量化分析	(24)
§ 1 概述.....	(24)
§ 2 数学方法的推广.....	(25)
2.1 广义量化的特殊形式——数学的新用途	(25)
2.2 对数学内涵的新认识	(27)
§ 3 定性问题的科学化.....	(30)
3.1 专家评估法	(30)
3.2 专家评估法的种类	(31)
§ 4 定量问题的简化——定性化描述.....	(47)
§ 5 一种新的定性定量相结合的方法.....	(49)
5.1 层次分析法的原理	(50)

5.2	层次分析的基本方法	(71)
5.3	层次与排序的规范方法	(91)
5.4	反馈系统的排序	(105)
5.5	标度与多准则方法	(119)
第三章	定性问题的建模与算法	(137)
§ 1	谓词演算	(137)
1.1	命题逻辑	(138)
1.2	句法和语义	(139)
1.3	连词与量词	(141)
§ 2	谓词公式	(143)
2.1	定义	(143)
2.2	合适公式的性质	(144)
2.3	推理规则	(146)
§ 3	置换与合一	(146)
§ 4	归结原理	(150)
4.1	化为子句的步骤	(150)
4.2	归结推理规则	(154)
4.3	含有变量子句的归结	(156)
§ 5	谓词演算在广义量化中的应用	(158)
5.1	归结反演	(158)
5.2	归结搜索策略	(161)
§ 6	简化策略	(164)
6.1	重言式消去法	(164)
6.2	谓词估算消去法	(164)
6.3	包孕消去法	(165)
§ 7	改进策略	(165)

7.1	支持集策略	(166)
7.2	线性型输入策略	(167)
7.3	模型策略	(170)
7.4	组合策略	(173)
7.5	有序策略	(174)
§ 8	由归结反演求取答案的算法	(175)
8.1	问题求解中的谓词演算	(176)
8.2	答案求取过程	(178)
8.3	含有全称量化变量的目标公式	(183)
§ 9	谓词演算在问题求解中的应用	(188)
§ 10	中间——结局分析	(199)
10.1	目标与方法	(200)
10.2	GPS工作步骤与算法	(201)
第四章	定性与定量问题的建模与求解	(206)
§ 1	基本概念	(207)
1.1	变量的分类	(207)
1.2	量化的形式	(208)
§ 2	定性与定量问题的相互转化方法	(211)
2.1	定量量转化成定性量的方法	(212)
2.2	定性量转化成定量量的方法	(220)
2.3	定性与定量混合问题转化成定量问题的 方法	(243)
2.4	定性与定量混合问题转化成定性问题的 方法	(245)
第五章	广义量化中主因素和亲近度分析	(280)
§ 1	问题的提出与求解	(280)

§ 2	最大相关准则	(288)
§ 3	定性与定量混合问题的主因素分析理论	(292)
§ 4	主因素分析与对应分析的等价性	(296)
§ 5	广义亲近度	(301)
§ 6	广义亲近度的提出与算法	(305)
§ 7	多维空间的情况	(310)
§ 8	应用案例	(314)
参考文献		(318)

[illegible]

第一章 绪 论

§1 概述

“话说那天下大事，分久必合，合久必分”。

——罗贯中

科学史家柯伊莱指出：“牛顿用他的经典力学把分割天体和地球之间的壁垒推倒，并且把两者结合起来，统一成为整个的宇宙。”“但他却把我们的世界一分为二，即分成一个物理的，量的世界；一个生物的，质的世界。于是形成了两个世界，两种科学，两类文化，两者之间存在着巨大的鸿沟。”对于两个世界的认识论与方法论也有两种，这就是自然科学和社会科学的研究对象和方法。自然科学的研究对象是物质世界的规律性，其方法是用数理分析工具去研究其数量关系，进行数学演算与逻辑推理。而社会科学的研究对象是非物质的精神世界的种种关系与各种规律性。所采用的方法是通过对大量事实的观察、整理、归纳、分析、总结，运用思辩定性的描述。之所以如此，是因为社会现象要涉及人的利害关系，因此人的思想意识，思维方式往往来自个人方面的主观因素，这些因素之间相互作用，相互联系，相互制约，相互依赖，有时又相互排斥，有时也相互协同。总之，这些无形的众多要素之间的各种复杂的关系，目前还没有发明一种数

学方法去描述它们。由于社会科学研究的问题要涉及到一些难以琢磨的，变化“无常”的人的思维过程。因此，有人称社会问题是一种复杂巨系统问题。

对于复杂巨系统的研究目前还没有纯定量的数学方法，即使有些问题经过简化可以建立一种数学模型，但由于这种系统包括一些不确定性因素，模糊因素，甚至是不可知因素，而且变量众多，这些变量之间多半是一种非线性的关系，要求出这种复杂问题的全局最优解，目前还难以做到。再退一步，假定一个多维的非线性问题存在最优解，但所用计算机的存贮量和计算速度也大得惊人，目前尚不存在这样适合复杂巨系统问题求解的计算机。还可退一步，我们假定通过这种方法勉强搬上计算机进行运算，但由于费时过多，花费过大，甚至所需费用远远超过研究该系统带来的收益。那么，对这种问题我们怎么办？人们很早就提出了定量与定性相结合的分析方法。对该方法有人作了如下解释：

“依靠专家提出他所研究领域，或由多种领域中专家一起提出他们共同研究问题的物理背景；其次，再请数学工作者（或系统工程工作者），按照专家们所提出问题的目的要求、研究范围和条件，去建立数学模型，并寻求对模型的算法；然后，编制计算机程序和上机计算，以及求出计算结果；结果获得后交专家（或专家们）去判断。如果专家（或专家们）认为结果与他想象的结果一致，那么，就算定量与定性相结合的分析方法大功告成；否则，再请数学工作者修改某些参数或计算机程序，乃至修改模型，直至计算结果最终与专家判断一致为止。”

不难看出上述对定量和定性相结合分析方法的解释（实际上我们以前也是如此做的）存在如下问题：

1. 在逻辑上是很不完备的。这是因为上述解释与做法是以先

验的专家经验为主的判断方法。计算结果正确与否？似乎没有客观标准，计算结果是为证明专家意见正确作佐证用的。既然如此，干脆专家说了算就是了，何必让数学工作者去做这种“御用文人式”的工作呢？因此，其科学性是很差的，逻辑上存在着严重的缺陷和不完备性。

2. 对同一个问题请同一领域中的专家进行定性分析与判断，也往往由于他们的经验不同，知识面不同，在素质方面存在的差异，而产生不同的分析结果。有时甚至是完全相反的结果。对同一个问题产生不同的答案，这是不便于决策者与决策机构进行决策的。

3. 即使是同一个专家对同一个问题进行定性分析与判断时，也往往因为他的心理状态和情绪的变化，或其所处条件的变化，而得出不同的判断与结果。

4. 至于多领域、多专业的专家用各自熟悉的专业知识与经验去定性分析共同关心的同一个问题时，由于他们看问题的角度不同，方向不同，方式方法不同，也会得出差异很大的结果。流传已久的瞎子摸大象的故事，就是说明这一问题一个最好、最简单的实例。

5. 由于定性分析方法是纯脑的抽象思维过程，人们除了获得其最终思考结果外，对思考过程中的一些中间环节是很难观察到的，况且人的思维过程又往往是在极短暂的时间里完成的，就是思考问题的个人也难以记下自己在思维过程中的任何一个中间环节的结果。这样就不便于对思维中间结果进行观察与控制，最后输出的最终思维结果，因为中间思维环节中出现而导致的偏差就不能得到及时的纠正。

6. 专家的定性结果，往往是以模棱两可的模糊性自然语言去

描述的一种宏观大趋势。这种结果使人感到遥远和抽象，不具体。更谈不上精确性与可靠性了。例如，人们可以用定性方法去预测一个地区将会发生火灾，但什么时间发生火灾？他给不出具体的时间数量值。因此，这一定性分析结果等于零，没有多大的实用价值。

广义量化分析方法，就是在上述背景下产生的一种分久必合的统一研究社会科学和自然科学的方法论。它是一种跨学科研究的交叉学科，是一门把人类经验知识和一般科学理论相结合的研究广泛系统的可操作性学科。

§2 基本概念

2.1 量与量化

人类在进化的蒙昧时期，就有一种天赋，这种天赋就是人们对其眼前事物有着量差异的直觉，有人称之为数觉。由于人类有此天赋，所以在一个小的范围（集合）内，增加或减去一样东西的时候，尽管他未曾直接知道增减，但也能辨认出这其中的变化。这种变化实际上是一种定性的直觉。如果具体化就是数觉。由此我们可以导出量的概念，即表征事物数量差异的一种直觉，这种直觉在后来人们用数值多少去表征。久而久之，人们对量的存在形式就简单地理解成量就是数，数就是量的唯一存在形式。对量的如此理解，是一种狭义的定义量的方法。多数人认为数学方法就是研究这种数量关系和空间形式的一门学问。其实，并不尽然，在数学的发展过程中，人们早已提出了“对应”的概念，也即一个集合A与另一个集合B进行比较时，人们就将集合A中所包含的元素进行编号为： $a_1, a_2 \dots a_N$ 等等 同时也将B集合中元

素进行编号为： $b_1, b_2, \dots, b_M$ 等等，然后就构造如下的关系 $a_1 \sim b_1, a_2 \sim b_2, \dots, a_i \sim b_i, \dots$ 。这种关系可简单地理解成“对应”关系。也即集合A的某一个元素 a_i ，在集合B中也必然有一个元素 b_i 与之相对应。数学中“对应”的概念，对我们扩充量概念很有启发。例如，一堆苹果和一群人相比较时，我们不去数人和苹果的具体数目也能定性的知道是苹果多，还是人多这一事实。其方法是每人到苹果堆中只取走一个苹果，然后会发现如果苹果已经拿光，而还有人没有拿到一个苹果，这时我们的直感就告诉我们苹果少于人数。这说明表示事物数量差异的量不一定是数值，还可以是对应关系，或其他什么关系。

总之，早期人们的数量概念比较模糊，量与数很难分开。而且对数概念的理解十分具体，在不利颠哥伦比亚的辛姆珊(Thimshian)族的语言中，对数的描述就很具体。在他们的语言中，共有多种不同的数字：一种是用于树木和长方形物体的；一种是用于小艇的；一种是用来测量的；还有一种是没有特定对象时计数用的。通过上述例子我们可以看到，正是计数才能使具体的、不同质的表达多寡的概念结合为统一的数这一抽象概念。随之而出现比数值意义稍广一些的量概念。即量是表示事物数量差异的一种表征方式，由于它往往是用数值去表示事物在数量方面的不同，故人们模糊地统称为数量这一概念。

有了量概念之后，人们就可研究两种不同事物（或研究对象）之间在数量方面的关系。如有上述对应关系之结果：表达的是苹果多，还是人多这一事实。对事物的数量关系的研究可通称量化。或具体的说，对研究系统内诸要素间的关系，用数学方法把它们联结起来，并求出这种联结关系所出现量的结果，就称量化。目前人们采用的量化方法主要是数学。它包括确定性数学方

法，如，代数、算术、常微分方程、偏微分方程等皆是确定的数学方法。这一类数学方法是指只要给出初始值，就可按给定的数学规则求出确定的定量解答。非确定性数学（也称随机性数学）方法，如，数理统计、概率论、随机过程、更新理论、随机判决函数、马尔可夫过程、半马尔可夫过程等等皆是研究非确定性要素之间，或非确定性要素与确定性要素间，或与系统之间的一种非确定性关系的数学方法。这种数学方法给不出确切的结果，只能给出一种量的统计结果，如数学期望值、方差，或一种量出现（发生）的概率等等；模糊数学方法，这一数学方法是研究系统中模糊要素之间的关系，或模糊要素与其他要素或系统之间关系的一种数学方法。该方法是对系统中无形精神因素量化的一种可行办法。

利用数学方法对研究系统的量化方法，多半是限于对有形的物质（或技术）因素之间的数量关系的描述，尽管模糊数学方法可以对模棱两可的模糊现象进行量化，但却不能进行对人思维中的定性分析问题的过程进行量化。

由上讨论可知，传统量概念与量化方法有很大的局限性，有必要对它们进行拓广，只有如此，量化方法才能应用于范围很广的一些研究领域中去，特别是应用于定性定量相结合的分析研究复杂巨系统中去。

2.2 广义量与广义量化

为了使社会科学研究工作者和自然科学工作者有共同的语言，使定性分析方法科学化、精确化、具体化、计算机化，并且让定性分析与定量分析两种方法有共同的语言，有统一的算法，以及克服传统量和量化的局限性，我们利用语言学与符号学，以及可计算性理论等学科的知识，来研究一种新的量与新的