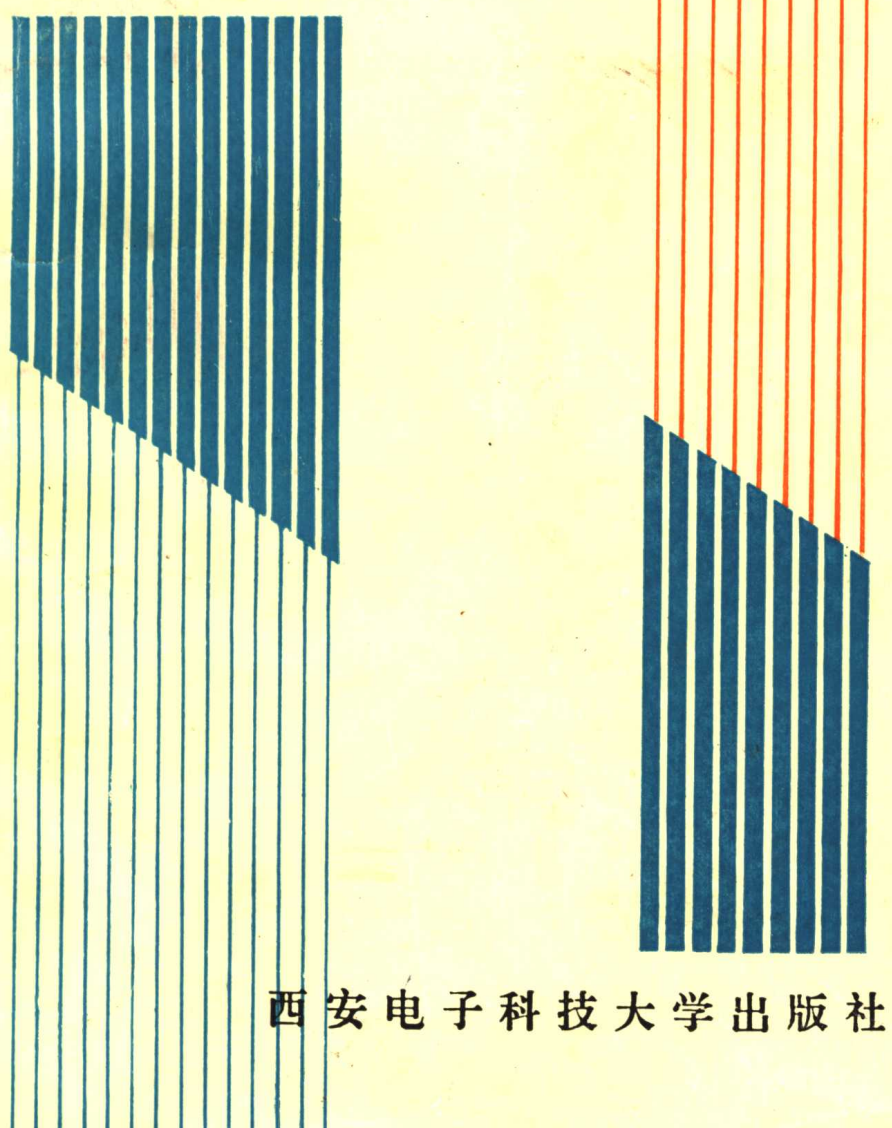


系统核与核度理论 及其应用

许进 著

The cover features two large, stylized rectangular blocks. The left block is composed of a series of vertical stripes, with the top portion being dark blue and the bottom portion being light blue. The right block is also composed of vertical stripes, with the top portion being dark blue and the bottom portion being light blue. The stripes are of varying widths and are arranged in a way that creates a sense of depth and movement. The background is a light cream color.

西安电子科技大学出版社

系统核与核度理论及其应用

许 进 著

西安电子科技大学出版社

1994

(陕)新登字 010 号

内容简介

“系统的核与核度理论”是本世纪 90 年代诞生的一种研究系统的新方法,虽然仅有三年历史,然而,不管在自身理论方面,还是在应用方面,都取得了比较丰富的结果。本书较系统地介绍了“系统核与核度理论”的产生背景,已获的理论结果及其应用状况。全书共分十二章,第一章绪论之后,为使本书自成体系,在第二章安排了本书所用到的有关图论方面的基础知识。从第三章到第八章属理论部分,论述了系统核与核度的基本理论,核度与系统的最值网络结构,系统与补系统间的核度,核与核度的优化理论,子核与核度的计算,核、核度与图的连通性。第九~十二章属应用部分,介绍核与核度理论在神经网络、信息交流网络系统、可靠通讯网络的优化设计以及在群体人际关系研究中的应用。

本书通俗易懂、语言流畅,论证严谨,适合从事管理科学、系统科学、应用数学、社会心理学、神经网络等专业的科技人员、大学老师,特别是博士生、硕士生及本科高年级学生阅读。

系统核与核度理论及其应用

许进 著

责任编辑 梁家新

西安电子科技大学出版社出版发行

西安电子科技大学印刷厂印刷

新华书店经销

开本 850×1168 1/32 印张 6 24/32 字数 160 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷 印数 1-3 000

ISBN 7-5606-0351-3/O·0022 定价: 6.50 元

序

现代社会发展的趋势是社会活动越来越复杂，越来越多变，社会活动的影响越来越大。因而，随着社会的发展，将会出现越来越多的“大企业”系统、“大项目”系统、“大科学”系统。这些系统的特点是规模庞大、结构复杂、影响因素众多。相互关系复杂，这就迫使从事系统工程的科学工作者们面对现实，创造新的方法、新的工具和新的理论，以适应其发展。从目前系统工程现有的理论和方法来看，很难适应当前社会发展的需要，特别是在定量方面以及定性定量相结合方面。

本书作者在作博士论文期间，依据大量的自然现象、社会现象和理论上的需要，提出了研究系统科学的一种新方法——系统的核与核度法。这种采用定性定量相结合研究系统的新方法，能够抓住系统的关键、系统的本质。通过参数核度进一步刻画系统的所谓“中心”——系统的核，为系统分析研究开辟了一个新领域。

另外，系统核与核度理论的诞生，解决了行为科学家、哲学家以及社会科学家们一直关注的难题：如何定量刻画系统的所谓“中心”。行为科学家、哲学家以及社会科学家们一直认为一个系统存在一个所谓“中心”，那么，这个“中心”如何寻找，如何刻画？怎样给出定量分析？这些问题一直未能得到很好的处理。系统核与核度方法，充分利用网络图与规划论等数学工具，较好地处理了这个问题。

在系统核与核度的理论研究方面，目前已经取得了比较可喜的成果，弄清了核度的取值范围，给出了求核与核度的算法，获得了在核度及网络顶点数固定条件下系统网络可能具有的最大的

12A03/69

- 1 -

或最小的网络结构及相应的构造方法。研究了在核与核度意义下的优化理论，并讨论了核度与连通度等参数之间的相互关系及优化问题等。

在应用方面也取得了较好的成果，将系统核与核度应用于可靠通讯网络的优化设计、管理科学中的组织行为问题，社会心理学、信息交流网络系统，特别是本书作者最近在博士后期间，将核度理论应用于人工神经网络的研究，已取得令人满意的结果。

系统核与核度理论研究刚刚开始，目前仅对网络图是简单无向图的情况的研究相对比较成熟，但对诸如赋权网络、有向赋权网络在本书中尚未涉及。希望通过本书，能吸引更多的读者参加这一领域的研究，使系统核与核度理论更加充实、完善，应用更加广泛，以促进我国系统科学的蓬勃发展。

汪应洛

一九九四年七月

前 言

仔细观察和思考自然界和现实社会中的系统，我们不难发现：几乎每一个系统都存在若干个主要素，如果去掉它们，对该系统在稳定性上，甚至在生存性上将受到很大的影响。为了对这种现象进行深入细致的研究，我们形象地称这些主要素为该系统的核，而衡量系统核的工具叫做系统的核度。实际上关于这种现象，行为科学家、哲学家以及社会科学家们早就有所发现，他们认为一个系统总存在一个所谓的“中心”，列宁在他的《哲学笔记》中称这个“中心”为“纽结”，毛泽东在《矛盾论》中称这个“中心”为“主要矛盾”。那么，如何寻找“主要矛盾”，或者如何寻找系统的“中心”，怎样定量性地刻画这个“中心”，是行为科学家、哲学家以及社会科学家们一直关心和关注的问题。作者经过几年的研究，终于以图论等方法为主要工具，给出了刻画系统的“中心”的有效方法——系统的核与核度理论。系统核与核度理论的建立和较为深入的研究，使我们意外地发现，这一理论不但可以作为研究系统科学的新方法和新工具，而且在诸如神经网络、信息交流网络系统、社会心理学、可靠通讯网络的优化设计等方面具有良好的应用，并且可以作为衡量图的连通性的参数，添补了过去图的连通度的许多不足。

系统核与核度概念产生的另一个主要来源是受我国学者欧阳克智教授称为“图的相对断裂度”概念和国外几位学者称为“离散数”(scattering number)概念的启发：去掉网络图的若干个顶点，使图的连通分支数相对增大。

本书是在作者工学博士学位论文和发表的十余篇学术论文的基础上产生的，主要论述是围绕着系统主要素构成的网络图是无

向连通图的基础上展开的。关于系统主要素构成的网络图是有向并且赋权值的情况，本书没有涉及，应该说本书的内容还不太成熟，还不到写一本较系统专著的时候。考虑到对于系统网络图是无向图的条件下，内容相对完善，作者还是将所获结果奉献给读者，其目的是为了抛砖引玉，引导讨论，以促使系统核与核度理论的成熟、完善、应用的扩大。但由于作者才疏学浅、孤陋寡闻，书中难免有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

本书在研究与写作过程中得到我的博士导师、西安交通大学管理学院院长、中国系统工程学会副理事长汪应洛教授，我的博士后导师、原西安电子科技大学校长保铮院士，我的硕士导师、西北工业大学王自果教授三位恩师的亲切关怀和指导，在此一并表示衷心地感谢。

西安交通大学管理学院副院长、博士导师席酉民教授在本书写作过程中给予热情指导，提出许多宝贵意见，在此特表示衷心地感谢。

在本书写作过程中也曾得到我的老师、陕西师范大学校长王国俊教授，陕西师范大学数学系主任魏遑荪教授，西安石油学院欧阳克智教授，西安电子科技大学吴顺君教授、焦李成教授等的关怀和鼓励，在此一并表示衷心地感谢。

许 进

1994年8月12日

于西安电子科技大学

谨以此书

献给我敬爱的导师

汪应洛教授

目 录

序

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 系统核的概念及意义	(2)
§ 1.2 研究系统方法概论	(3)
§ 1.3 系统核与核度研究状况及本书内容简介	(5)
参考文献	(9)
第二章 图论中的有关概念与理论	(12)
§ 2.1 图的概念	(12)
§ 2.2 子图及其运算	(15)
§ 2.3 路、圈及图的连通性	(18)
§ 2.4 关联矩阵和邻接矩阵	(19)
§ 2.5 树	(22)
§ 2.6 连通度	(23)
§ 2.7 匹配与独立集	(25)
参考文献	(29)
第三章 系统核与核度的基本理论	(30)
§ 3.1 系统核与核度概念的引入	(30)
§ 3.2 几类特殊图的核度	(35)
§ 3.3 联图的核度	(37)
§ 3.4 核度的取值范围	(40)
§ 3.5 树的核度算法	(43)
§ 3.6 核度与网络图的结构	(46)

§ 3.7 核度的独立性	(49)
§ 3.8 核与核集的基本性质	(50)
参考文献	(51)
第四章 核度与系统的最值网络结构	(53)
§ 4.1 核度与系统的最大网络	(53)
§ 4.2 最大网络的构造步骤	(58)
§ 4.3 核度与系统的最小网络	(60)
§ 4.4 小结	(66)
参考文献	(67)
第五章 系统与补系统间的核度	(68)
§ 5.1 引言	(68)
§ 5.2 核度与补核度的基本性质	(70)
§ 5.3 核度与补核度的和	(77)
§ 5.4 小结	(80)
参考文献	(82)
第六章 核与核度的优化设计理论	(84)
§ 6.1 核值与最值核度和最值网络	(84)
§ 6.2 最大核度函数	(85)
§ 6.3 最小核度网络结构	(94)
6.3.1 引言	(94)
6.3.2 最小核度图的基本理论	(95)
6.3.3 最小核度图的构造	(99)
§ 6.4 小结	(103)
参考文献	(104)
第七章 子核与核度的计算	(105)
§ 7.1 系统的子核	(105)
§ 7.2 核度的计算	(108)
参考文献	(111)

第八章 核、核度与图的连通性	(112)
§ 8.1 核与核度意义下图的连通性	(112)
§ 8.2 连通度的研究现状	(115)
8.2.1 k -(边)连通图的构造	(115)
8.2.2 极小连通图	(118)
8.2.3 临界连通图	(119)
8.2.4 t -临界 k -连通图	(121)
8.2.5 临界 (k, k) -连通图	(121)
8.2.6 凝聚度	(122)
§ 8.3 图的坚韧性	(123)
8.3.1 引言	(123)
8.3.2 (点)坚韧度	(125)
8.3.3 边-坚韧度	(141)
§ 8.4 核度与连通度约束条件下的极值图	(143)
8.4.1 $h(G)$ 、 $k(G)$ 及 $ V(G) =p$ 给定条件下的 最大边数图	(143)
8.4.2 $h(G)$ 、 $k(G)$ 及 $ V(G) =p$ 给定条件下的 最小边数图	(151)
参考文献	(155)
第九章 最小核度神经网络	(158)
§ 9.1 神经细胞(神经元)的基本结构	(158)
§ 9.2 神经元的数学模型	(160)
9.2.1 神经元模型的类型与构造的基本准则	(160)
9.2.2 MP 模型及其改进	(161)
9.2.3 离散时间—连续信息模型	(163)
§ 9.3 神经网络简介	(165)
§ 9.4 神经网络的拓扑结构	(169)
§ 9.5 生物神经网络的三个结果	(174)

§ 9.6 核度最小图的矩阵特征	(175)
§ 9.7 MCNN 的状态方程	(178)
参考文献	(180)
第十章 信息交流网络系统	(183)
§ 10.1 引言	(183)
§ 10.2 信息交流网络系统的核度分析法	(184)
§ 10.3 信息交流网络系统的优化设计	(186)
参考文献	(187)
第十一章 可靠通讯网络的优化设计	(188)
§ 11.1 引言	(188)
§ 11.2 Harary 在可靠通讯网络设计的贡献	(189)
§ 11.3 核度与可靠通讯网络	(193)
§ 11.4 赋权通讯网络	(195)
参考文献	(196)
第十二章 系统核与核度理论在群体人际关系	
研究中的应用	(197)
§ 12.1 引言	(197)
§ 12.2 群体人际关系分析的新方法	
——系统的核与核度法	(199)
§ 12.3 人际关系的优化设计	(201)
§ 12.4 小结	(204)
参考文献	(204)

第一章 绪 论

半个多世纪以来,“系统”作为一种研究对象,引起了许多不同学科不同专业学者们的兴趣和关注。特别是本世纪 40 年代“系统工程”、“控制论”、“信息论”和“一般系统论”的创立,更促使了众多领域内的专家们“携手作战”,从各自不同的领域展开对“系统”的研究,系统科学目前仍是整个世界范围内科学研究与发展的中心。正是由于这一个原故,有人称我们这个时代为“系统时代”。

然而,在我们所处的这个系统时代,人们对“系统”的研究并不是已经非常清楚的,对有些问题的研究或者刚刚开始,或者尚未找到较好的方法。本书所研究的“系统核与核度理论”就是其中一例。“系统的核”本是系统自身固有的基本属性,过去人们一直没有找到合适的方法(或工具)去刻画它、描述它。本书通过应用网络图的方法,建立了研究“系统核”的一套方法体系。由于“系统的核”是系统的核心、系统的关键、系统的主体,因此,本书建立的“系统核与核度理论”自然是一种研究系统科学的新方法和新工具。

作者意外地发现,核与核度理论不但是研究系统科学的一种新方法,而且对可靠通讯网络、社会心理学、网络图的连通性、信息交流网络系统以及神经网络等领域的研究具有非常重要的应用价值,其中有些结果修改了前人的许多不足。

在这一章里,我们将主要给出系统的核与核度产生的背景及系统核的概念;研究系统核的意义,基本思想,并概述目前系统核与核度的研究状况及研究系统方法的状况。

§ 1.1 系统核的概念及意义

行为科学家、哲学家以及系统科学家们等都不同程度地预感到一个系统有一个所谓的“中心”存在，或者说是有一些最关键、最核心的主要素存在。列宁在他的《哲学笔记》中称这个“中心”为问题的“纽结”，毛泽东在《矛盾论》中称为“主要矛盾”。不同的人从不同的领域内选择了他们认为适当的名称，于是，“人各一词，莫衷一是”。为了统一起来，我们把系统的所谓“中心”，或者说是该系统最关键、最核心的主要素等统称为“系统的核”。那么，如何刻画，怎样描述系统的核，如何寻找系统的核，系统的核有何基本属性等许多问题，一直没有得到很好的解决。

对于一个给定的系统，系统的核总是存在的。有些系统的核是很明显的，有些系统的核不那么明显。由于现实生活中的系统类型千姿百态，自然，不同的系统也就有不同类型的核，这就对如何刻画描述系统的核的研究工作带来很大的难度。

通过上面对系统的核给出描述性的定义，我们可以看出，系统的核应该是系统的“主体”，系统的“关键”，系统的“核心”。因此，对于一个给定的系统，如果我们能够寻找到这个系统的核，也就是说，我们抓住了这个系统的“核心”或者“关键”。这对我们更深入地研究系统的基本结构、基本性质等问题是非常有用的，甚至我们解决其它问题也会变得非常简单和容易。正如毛泽东在他的《矛盾论》中所指出的那样：“解决问题要抓主要矛盾，如果我们抓住了主要矛盾，许多问题就会迎刃而解”。由此可见，研究系统的核具有重要的现实实用意义，它对系统科学的深入发展和研究将起到奠基性的作用。

前面我们已经讲过，对系统的核进行研究非常有用，但如何研究具有一定的难度，特别是建立数学模型，更需要花费大气力

去探索。作者经过几年的努力，终于给出一套研究刻画系统核的方法体系。但其基本思想并不复杂，现简述如下。

对于一个给定的系统，欲求其核，我们可从另外一个角度来考虑问题：假如去掉或者破坏掉这个系统的若干个主要素，对于这个系统的破坏性最大，于是，我们就把这“若干个主要素”叫做这个系统的核，并且记作 S^* 。原系统记作 X 。衡量核的一个工具，叫做核度，记作 $h(X)$ ，并定义为

$$h(X) = X - S^*$$

自然，我们事先并不知道 S^* ，我们的任务是寻找 S^* ，基于上述思想， S^* 应该满足

$$h(X) = \max\{X - S', S' \text{是由} X \text{中若干个主要素构成}\}$$

这就是我们研究描述系统核与核度的基本思想。

§ 1.2 研究系统方法概论

研究系统方法自然可分三类：定性、定量以及定性与定量相结合的方法。定性方法属系统论研究范围，它是定量研究的理论基础。定量研究是系统工程的研究内容^[1]，系统工程的方法体系基础就是运用系统思想及各种数学方法、控制理论、信息论及电子计算机等技术工具来实现系统的模型化和最优化，进行系统分析和设计。系统工程的理论基础主要包括运筹学、控制论和信息论等。这表明，对系统进行定量分析的主要工具是用数学来建立模型。按照这种模型进行数学分析，然后再将分析的结果应用于原系统。

在研究分析系统的结构上，主要采用诸如解析模型法、认识图法^[3]、系统动力学方法^[3]、微分方程^[3]、网络图论^[4]、统计学^[3]等方法。

在系统建模与优化设计上，主要采用诸如网络图论、规划论

(包括线性规划、非线性规划、网络规划、动态规划、整数规划)、对策论、排队论、储存论等等。

对于“大系统理论”，除了上述运筹学，控制论及信息论等许多工具外，还创造了诸如分解协调、分散、递阶控制^[6]等方法。

另外，除了上述对一般系统研究外，对于具有某些特性的系统创立了特殊的研究方法，目前主要有：

1. 普利高津的耗散结构理论^[7]

一个系统称为开放的，如果它与外界进行着物质、信息、能量等的相互交换，在外界条件的变化达到一定的阈值时，可能从原有的混沌无序的混乱状态，转变为一种在时间上、空间上或功能上的有序状态，这种在远离平衡情况下所形成的新的有序结构，普利高津(I. Prigogine)把它命名为“耗散结构”^[7]。耗散结构理论就是研究耗散结构的性质，以及它的形成、稳定和演变的规律的科学。它的研究对象是开放系统，而宇宙中各种系统，无论是有生命的还是无生命的，实际上无一不是与外界有着相互依存和相互作用的开放系统，这一理论涉及范围之广，在科学史上是罕见的。

2. H.哈肯的“协同学理论”^[8]

协同学理论是研究一种所谓的“自组织”系统。这是耗散结构理论的继续与深入，哈肯用统计力学的方法，来解决复杂系统的有序化问题。他严格证明了在一定的条件下，这个有序化的出现是不可避免的。协同学理论目前已广泛地应用于自然科学、社会科学等许多领域。

3. 邓聚龙的“灰色系统理论”^[9]

一个系统如果它的内部结构清清楚楚，我们把这类系统称为“白色”的；若这个系统的内部结构全然不知，则这个系统称为“黑色的”；若这个系统内部结构某些是已知的，某些是未知的，则称这个系统为“灰色的”。关于灰色系统，目前已取得了不少的

成果, 诸如建模的理论与方法、决策分析、预测理论与方法、控制、优化等问题。特别在农业、工业等许多领域内已得到非常广泛的应用。

4. 吴学谋的泛系方法论(Pansystems Methodology)

泛系方法论也叫做泛系理论, 它的侧重从所谓泛系(或广义的系统、关系、对称、生克等及其联系、复合与转化)来进行多层网络型的一种跨域研究。它具有百科可络可乐不可罗的特点, 力图筹建或显生各种学科专题与事物群里里外外多层再现的一种广义的经路、通信网络与交通网络。

随着社会与科学技术的不断发展, 上述方法很难满足对许多维数高、结构复杂的大系统的要求, 特别, 钱学森等人提出“巨系统”的概念^[2], 更是系统科学工作者感到, 创造研究系统的新方法是一项首要的、当务之急的工作。

现实生活中的许多系统很难进行纯定量的描述, 而需要采用定性定量相结合的描述与刻画方法。目前在这方面做的工作很少, 特别对“巨系统”理论, 定性定量相结合的方法尤为适应^[2]。如何建立数学模型, 对复杂的巨系统进行定性定量分析, 是目前系统工程的一个主要问题之一。

§ 1.3 系统核与核度研究状况及本书内容简介

系统的核与核度理论产生于本世纪 80 年代末 90 年代初, 到目前为止只有四、五年的历史。正式出版的第一篇学术论文即“系统的核与核度理论(I)”^[11]是 1993 年的事。到目前为止发表和已定发表的学术论文还不到 20 篇, 但是, 由于系统的核与核度理论:

第一, 它刻画、描述了自然界、社会实际生活中的一种基本客观现象(系统的基本属性)(参见本书 § 3.1 节的讨论);