

应急协同决策理论与方法

Theory and Method of Emergency Collaborative Decision-Making

曹杰 朱莉 刘明 蔡玫 著



科学出版社

应急协同决策理论与方法

曹杰 朱莉 刘明 蔡玫 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书集中关注应急管理活动中的协同决策问题,主要包括五个部分:第一部分以协同理论为出发点,简要阐述了应急协同决策的核心特征及关键步骤,系统地提炼出应急协同决策过程中所需关注的关键问题及可采取的研究方法;第二到第四部分分别围绕跨区域应急协同决策、基于互馈效应的应急协同决策和不确定信息下的应急协同决策等问题进行理论建模和方法设计;第五部分介绍应急协同决策问题中典型智能优化算法的设计与应用。

本书在帮助学生了解应急协同决策相关学术前沿、构架应急管理教学和科研桥梁等方面具有重要作用,可作为高等院校管理类学科的本科高年级教材,也可作为管理科学与工程、行政管理及公共管理等专业的研究生教学参考书,同时还可作为政府、企业管理部门相关人员开展本行业领域应急协同管理与决策的入门工具书。

图书在版编目(CIP)数据

应急协同决策理论与方法 / 曹杰等著. —北京: 科学出版社, 2015.11

ISBN 978-7-03-046247-3

I. ①应… II. ①曹… III. ①突发事件—应急对策—研究 IV. ①X4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 264532 号

责任编辑: 曾佳佳 胡 凯 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 许 瑞

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>

三河市骏志印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 11 月第一次印刷 印张: 19

字数: 450 000

定价: 99.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

近年来，国内外各类非常规突发事件频繁发生，严重影响了社会经济的稳定健康发展和人民群众的生命财产安全，改进应急管理决策方法，提高面向各类突发事件的应急响应能力，已然成为社会各界关注的重点领域。在此背景下，如何协调组织社会多方面资源以有效防范和控制各类突发事件的发生及蔓延，如何全面开展科学的应急协同管理研究，则成为当前应急管理领域亟须解决的关键科学问题。

《应急协同决策理论与方法》一书针对应急管理决策过程需要多方高度协同的典型特征，在深入理解协同概念和应急协同理论的基础上，应用定性与定量分析相结合、静态与动态研究相结合、多学科理论方法相融合等方法，研究了应急资源有限和应急管理环境复杂多变等情境下的关键协同决策问题，包括：跨区域应急协调联动体系、面向灾害的应急协同决策系统、不确定信息下科学的决策模式以及有效的协同决策优化算法。特别地，本书所介绍的应急协同决策理论方法充分吸收了超网络理论、时空网络理论、模糊理论、本体理论、决策理论以及智能优化算法等理论方法之精华，并将其综合应用于应急协同决策中，这一创新性的应用不仅有助于更加科学地认识应急协同决策过程，促进应急协同管理理论在实际应急决策中全面有效的实施，同时对于帮助学生了解相关学术前沿、培养创新思维都有重要作用。

本书主要包括以下内容：

第一部分(第1章)：应急协同决策概述。首先介绍协同的基本概念和相关方法，再将其应用于应急决策场景来讨论应急协同决策的核心特征和关键步骤，最后提炼出应急协同决策过程中所需关注的关键问题及可采取的研究方法。

第二部分(第2、3章)：跨区域应急协同决策理论与方法。一方面，以超网络理论为基本研究方法，讨论跨区域应急协同决策所具有的超网络机制和特征，在构造跨区域应急协同一般超网络结构和模型的基础上，深入探讨差异化因素下的跨区域应急协同超网络模型构建方法及其求解分析；另一方面，选择近年来真实的跨区域应急协同案例为分析对象，对所构建的跨区域应急协同超网络模型实施应用实证分析，并结合系统动力学方法深入探讨影响跨区域应急协同决策的关键因素。

第三部分(第4、5章)：互馈效应下的应急协同决策理论与方法。考虑外在灾害环境变化与应急响应活动之间的互馈效应，分别选用超网络视角和时空网络视角分析这一现象，讨论灾害网络与应急响应网络间的动态协同交互作用，并在互馈优化过程中不断调整，以实现更高效的应急决策。首先，构造面向灾害考虑互馈效应的应急协同超网络结

构和时空网络结构,提出应用超网络方法和时空网络方法研究灾害下应急协同决策所各自面临的关键问题及可以考虑的解决方案,并基于所构造的超网络结构和时空网络结构探讨面向灾害的应急协同网络模型构建方法,最后对模型进行求解并实施算例仿真分析。

第四部分(第6~8章):不确定信息下的应急协同决策理论与方法。从信息不确定的三方面特征入手,建立了异构多源信息下的数据集成协同决策技术,并采取本体匹配的方法以实现异构多源信息场景下的应急协同决策优化;研究了不确定环境下模糊信息的处理方法与模糊协同决策技术,构建了一些典型的应急模糊协同决策模型;研究了决策信息缺失或不完备状态下的应急协同决策问题,构建了应急序贯协同决策方法。

第五部分(第9、10章):应急协同决策中的智能算法设计与应用。基于应急协同决策优化算法设计过程中对速度与精度的权衡要求,选择决策优化中最为常见的遗传算法和粒子群算法为例,分别对算法求解速度和求解精度方面进行协同优化改进,并结合应急决策案例验证所设计协同算法的优化效果。一方面,针对遗传算法虽对决策问题总体把握能力较强,但局部搜索能力较差,因而优化求解时存在收敛速度缓慢的特点,提出将遗传算法和局部搜索算法相结合的混合遗传算法;另一方面,针对粒子群算法虽结构简单、求解速度较快,但容易出现求解局部最优的早熟现象,提出通过控制关键算法参数来实现跳出局部最优的改进粒子群算法。

《应急协同决策理论与方法》可作为高等院校管理类学科的本科高年级教材,也可作为管理科学与工程、行政管理及公共管理等专业的研究生教学参考书,同时还可作为政府、企业管理部门相关人员进行本行业领域应急协同管理与决策的入门工具书。

《应急协同决策理论与方法》的推广可全面普及应急协同决策理论方法知识体系,提高全社会应急协同管理决策意识,促进交叉领域合作创新思维的培养,在知识传播方面具有良好的社会效益,在全面降低突发事件应对损失方面起到间接提高经济效益的作用。

本书的出版得到了国家自然科学基金面上项目“紧急情境下复杂动态应急决策模型与方法研究”(项目编号:71273139)、“基于异构救援网络的灾后应急物流建模与优化研究”(项目编号:71571103)和国家自然科学基金青年项目“基于超网络的灾害下城市群应急资源调配优化研究”(项目编号:71101073)、“基于时空网络的季节性流感药品采购与供应交互式协调优化”(项目编号:71301076)、“多粒度语言词计算理论及其在‘情景-应对’型应急决策中的应用”(项目编号:71401078)的资助,也得到了江苏省气象灾害预报预警与评估协同创新中心和科学出版社的大力支持,在此表示感谢!

由于时间仓促和作者水平有限,书中不当之处在所难免,请读者批评指正。

目 录

前言

第一部分 理论基础与篇章导引

第 1 章 应急协同决策概述	3
1.1 协同理论	3
1.2 应急协同决策	11
1.3 应急协同决策的关键问题及研究方法	16
参考文献	20

第二部分 跨区域应急协同决策理论与方法

第 2 章 跨区域应急协同决策的超网络理论与方法	23
2.1 跨区域应急协同的一般超网络方法	23
2.2 跨区域应急协同的一般超网络模型	36
2.3 考虑差异化因素的跨区域应急协同超网络方法	44
2.4 考虑差异化因素的跨区域应急协同超网络模型	54
参考文献	64
第 3 章 跨区域应急协同决策方法的实证应用研究	69
3.1 跨区域应急协同的超网络应用实证——以太湖蓝藻事件为例	69
3.2 跨区域应急协同的动力学实证——以甲型 H1N1 流感疫情为例	78
参考文献	94

第三部分 互馈效应下的应急协同决策理论与方法

第 4 章 超网络视角下面向灾害互馈效应的应急协同决策	99
4.1 考虑互馈效应的灾害应急协同超网络结构	99
4.2 考虑互馈效应的灾害应急协同超网络模型	106
参考文献	116

第 5 章 时空网络视角下面向灾害互馈效应的应急协同决策	119
5.1 考虑互馈效应的“演化-预测-配置”应急协同决策模式.....	119
5.2 考虑互馈效应的应急协同决策机制分析.....	131
5.3 考虑互馈效应的应急协同时空网络模型.....	134
5.4 考虑互馈效应且具模糊需求的应急协同时空网络模型.....	146
参考文献.....	155

第四部分 不确定信息下的应急协同决策理论与方法

第 6 章 面向不确定信息的应急本体集成协同决策	159
6.1 应急本体集成协同概述.....	159
6.2 不确定信息下本体匹配的应急协同决策.....	165
参考文献.....	172
第 7 章 面向不确定信息的应急模糊协同决策	175
7.1 应急信息模糊协同决策概述.....	175
7.2 不确定信息下应急物资调度协同决策方法.....	195
7.3 不确定信息下基于模糊案例推理的应急协同决策方法.....	205
参考文献.....	214
第 8 章 面向不确定信息的应急多属性协同决策	218
8.1 应急多属性协同决策概述.....	218
8.2 集成 ANP/D-S/TOPSIS 的应急协同决策方法.....	227
8.3 集成 ANP/D-S/改进型 TOPSIS 的应急协同决策方法.....	236
8.4 集成 DEMATEL/ANP/D-S/改进型 TOPSIS 的应急协同决策方法.....	243
参考文献.....	250

第五部分 应急协同决策中的智能算法设计与应用

第 9 章 混合遗传算法的设计与应用——以应急物资配送决策为例	255
9.1 遗传算法概述.....	255
9.2 具有多旅行商模式的应急物资配送决策问题.....	268
9.3 面向多旅行商模式应急物资配送决策的混合遗传算法.....	272
参考文献.....	279
第 10 章 改进粒子群算法的设计与应用——以多目标应急物资配送决策为例	281
10.1 粒子群算法概述.....	281
10.2 面向多目标应急物资配送决策的改进粒子群算法.....	288
参考文献.....	296

第一部分

理论基础与篇章导引

第 1 章 应急协同决策概述

近年来,国内外各类突发事件频繁发生,严重影响社会和人民生命财产安全,提高突发事件的应急应对能力已成为全世界关心的热点问题。整个应急管理体系涉及预防准备、监测预警、处置救援和恢复重建等活动,面向复杂突发事件场景的真实应急管理体系中存在多种需要协同优化决策的因素,如跨区域跨部门应急决策需要协同、动态灾害影响下的应急决策需要协同、基于不确定信息的应急决策需要协同等。本章内容以协同理论为出发点,首先介绍协同的基本概念和相关方法,再将其应用于应急决策场景来讨论应急协同决策的特征和关键步骤,最后提炼出应急协同决策过程中所需关注的关键问题及可采取的研究方法。整个篇章在本书内容体系中充当了基础理论介绍和逻辑导引的作用。

1.1 协同理论

协同学源于希腊文,意为“协调合作之学”,起初只限于研究非平衡开放系统在时间和空间方面的有序。后来,德国物理学家哈肯结合概率论、信息论和控制论等相关理论,创建了经典的协同理论:协同即系统在外参量的驱动和子系统之间的相互作用下,以自组织的方式在宏观尺度上形成空间、时间或功能有序结构的条件、特点及其演化规律^[1]。其基本思想是:在生命或非生命开放系统内的各个子系统,当它们处于一定条件时,会凭借非线性的相互影响产生协同作用和相干效应,在一定范围内经由涨落达到一定的临界点,通过自组织而使系统产生新的有序,使旧的结构发展成为在时间、空间、性质、功能等诸方面都发生根本变化的新结构系统。协同学把系统的有序或高级有序的方式称为“自组织”,过程称为“相变”,状态称为“涨落”。把影响系统有序的关键因素称为序参量,非关键因素称为控制参量。序参量支配着各子系统的行为,又为各子系统所支持,它们之间的协同竞争通过各子系统的相干作用表现出来,影响和决定系统自组织的程度和方向,进而决定系统的有序程度。

1.1.1 协同的基本概念

1. 序参量和相变

在远离平衡状态的系统中,子系统总是存在着自发的无规则独立运动,同时又受到其他子系统对它的共同作用,即存在着子系统之间关联而形成的协同运动^[2]。在临界点前,子系统之间的关联弱到不能束缚子系统独立运动的程度,因此子系统本身无规则的

独立运动起着主导作用，系统呈现无序状态。随着控制参量的不断变化，当系统靠近临界点时，子系统之间所形成的关联便逐渐增强，同时子系统无规则的独立运动在相对变弱，当控制参量达到阈值时，子系统之间的关联和独立运动从均势转变到关联起主导地位的作用，因此，在系统中便发生了由关联所决定的子系统之间的协同运动，出现了宏观结构或类型。一般的相变是子系统间具有不同聚集状态之间的转变，不同的相具有明显的有序和无序性。

系统的相变是突然发生的，这是一种临界现象。标志相变出现的参量就是序参量。序参量便是系统相变前后所发生的质的飞跃的突出标志，它表示着系统的有序结构和类型，是所有子系统对协同运动的贡献总和，也是子系统介入协同运动程度的集中体现。在相变前，序参量应为零，在临界点，随着系统有序程度的增加而急剧增大。

正确选择序参量会给问题的处理带来极大的方便。序参量来源于子系统间的协同合作，同时，序参量又起着支配子系统行为的作用。其中，协同包含两层含义^[3]：一是子系统之间的协同合作产生宏观的有序结构；二是系统在临界点处，有时会有几个序参量同时存在，此时序参量之间也会自动协调，它们合作起来协同一致地控制系统，系统的宏观结构由几个序参量共同来决定。这里，序参量之间的协同合作决定着系统的有序结构。然而，随着控制参量的继续变化，处于合作中的几个序参量的地位和作用也在变化，序参量之间的竞争也日趋激烈，一旦控制参量达到一个新的阈值时，最终只有一个序参量单独控制系统。实质上，从子系统之间的协同运动来看，是系统达到了更高一级的协同，即更高一层的有序。协同形成结构，竞争促进发展，这是相变过程中的普遍规律。

2. 快弛豫变量(快变量)和慢弛豫变量(慢变量)

在系统中，针对临界行为，系统参量可分为两类，绝大多数参量仅在短时间内起作用，它们的临界阻尼大、衰减慢，对系统的演化过程、临界特征和发展前途不起明显的作用，这类参量称为快弛豫变量(快变量)。另一类参量只有一个或少数几个，它们出现临界无阻尼现象，在演化过程中自始至终都起作用，并且得到多数子系统的响应，起着支配子系统行为的主导作用，所以系统演化的速度和进程都由它决定，这就是慢弛豫变量(慢变量)。

3. 绝热消去法

对于由大量子系统构成的系统来说，要建立数目极多的偏微分方程组，来表示子系统之间耦合或关联关系。在方程中，为了体现演化过程中起支配作用的慢弛豫参量，而忽略快弛豫参量的变化对系统演化的影响，即令快弛豫参量的时间微商等于零，然后将得到的关系式代入其他方程，由此便得到了只有一个或几个慢弛豫参量的演化方程，即序参量方程。这种处理方法就是绝热消去法^[2]。它可以把难以胜数的偏微分方程化为一个或几个序参量方程，使原来难以求解或者无法求解的问题变得简单明了。绝热消去法是非常有用的方法，当系统的演化不能用方程加以描述时，绝热消去的思想仍然可以运用到建立系统模式的分析中。事实上，可以在直观上发现系统演化过程中各种变量变化

的快慢，注意系统的慢变量，或者注意系统的各个变量的寿命长短，就可以大致通过比较忽略的方法寻找序参量。而序参量一旦找到，系统的动力学过程的自组织机制基本就清楚了。在此仅简单说明绝热消去的思想和处理方法，实际处理中的系统会很复杂。

4. 涨落

在系统处于有序状态时，其子系统还是有独立运动在进行的。子系统的独立运动以及它们各种可能产生的局部耦合，加上环境条件的随机波动，都反映在系统宏观量的瞬时值会经常偏离其平均值而出现的起伏上。这种偏离平均值的起伏现象就叫涨落。

在系统进入临界点时，子系统自发的独立运动与它们之间关联所形成的协同运动也进入均势阶段，在这个混乱无序的过渡阶段初期，子系统间各种可能的耦合相当活跃，且这些局部耦合所形成的涨落由于系统的无序和混乱逐渐加剧。每个涨落都包含着一种宏观结构，很多涨落得不到其他大多数子系统的响应，便表现为阻尼大而很快衰减下去，只有那个得到了大多数子系统很快响应的涨落，便由局部波及系统，进而得到放大，最终成为推动系统进入新的有序状态的巨涨落，这种涨落的内容就是出现临界无阻尼的序参量^[4]。

从随机论来看，涨落是形成有序结构的动力；从动力学来看，系统演化的结局是由边界条件决定的。虽然各种内容的涨落的出现是偶然的，但只有符合边界条件的涨落才会得到响应和放大，才能转变为支配系统的序参量。这里体现了协同学中随机论与动力论的完美结合。

5. 自组织

从无序状态转变为具有一定结构的有序状态，或者从有序状态转变为新的有序状态，首先需要环境提供能量流和物质流作保证，也就是说控制参量需要达到阈值时，这种转变才成为可能，这是必需的外部条件。然而，系统在相变前后的外部环境并未发生质的变化，也就是系统并未从环境中得到怎样组织起来、形成什么样的结构以及如何来维持发展这种结构的信息，因此这是在一定的环境条件下由系统内部自身组织起来的，并通过各种形式的信息反馈来控制 and 强化着这种组织的结果，称这种组织为自组织。自组织概念可以称得上是协同学的核心概念。

1.1.2 协同理论基础

协同强调的是个演变的过程，揭示了复杂、开放的系统内部各子系统之间如何通过非线性的相互作用产生协同效应，使系统从混沌无序状态向稳定有序结构、从低级有序向高级有序演变的一般机理和共同规律。不论是非平衡态还是平衡态，由完全不同子系统构成的系统，在宏观结构上所产生的质变行为（即从旧结构演变为新结构的机理）是相同的。不管是什么关系的演化，在协同论看来，都是大量子系统间相互作用而又相互协调一致的结果，可以说协同导致有序。协同学所研究的这种有序结构是通过自组织方

式形成的，它用序参量来描述一个系统宏观有序的程度，其协同是指在序参量支配下形成的子系统之间的协作运动，它是系统走上有序以及形成演化序列的原因。

1. 协同学基本原理

哈肯把协同学基本原理概括为三个：不稳定性原理、序参量原理和役使原理。不稳定性在新旧结构转换中起重要的媒介作用，由此产生序参量，序参量又导致役使原理。

1) 不稳定性原理

不稳定性原理认为协同学是以探究系统结构有序演化规律为出发点，从相变机制中找到界定不稳定性概念。系统的各种有序演化现象都与不稳定性有关，在旧结构的瓦解和新结构的产生过程中，不稳定性在系统新旧结构交替中充当了媒介，在某种程度上讲，协同学是研究不稳定性理论。

2) 序参量原理

序参量原理主要运用相变理论中的序参量，替代耗散结构理论中熵的概念，作为刻画有序结构不同类型和程度的定量化概念和判据，以描述和处理自组织问题。

3) 役使原理

役使原理又称为支配原理，指在系统自组织过程中，一方属性支配着另一方的属性，使另一方丧失自己原有的某一属性，而以一方属性为自己的新属性；或一方属性同化了另一方的属性，使对方的属性与自己属性相同。

协同学的这三个基本原理存在着紧密的内在联系：当系统的控制参量适当改变时，系统可能成为线性不稳定，有关变量可以划分为稳定和不稳定两种，应用役使原理可以消去快变量，而在不稳定点上，序参量支配系统行为使系统发生结构演化。

2. 协同学相关理论

对于协同学的具体概念、协同发挥效用的具体机理以及协同实现的具体方法等，目前还存在着诸多模糊的理解和认识。与协同密切相关的概念还包括协作、协调和协商。协作(cooperation)是指协同系统中的各子系统互相配合一起工作的合作性行为。协作行为强调多个子系统相互合作的能力，子系统间协作行为的协调程度，对整个协同系统的性能具有重要影响。协调(coordination)是指各子系统对自己的局部行为进行推理分析，并估计其他子系统的行为，以保证系统整体协作行为以连贯方式进行的一种方法。典型协调方法的例子包括子系统之间及时地共享信息、契约合作保证相关子系统行为的同步，避免冗余的问题求解等。协商(negotiation)是指通过结构化地交换信息来改进有关共同观点或共同计划的过程，即协商是协作双方为达成共识而减少不一致性或不确定性的过程。协商也是实现协调和解决冲突的一种方法，一般通过协商来消除干扰协作行为的一些冲突。

若从整体系统论的角度，对协同学基本理论可做这样的解释^[2]：组成系统的要素的各个体自身目标、取向，能够在与环境的交流和互动作用中，有目的、有方向地改变自己的行为方式和结构，达到适应环境的合理状态。与协同学紧密关联的还有如下相关

理论。

1) 复杂适应系统理论

复杂适应系统(complex adaptive system, CAS)理论的基本思想是:系统中的个体(元素)被称为主体,是具有自身目的性与主动性、有活力和适应性的个体。主体可以在持续不断地与环境以及其他主体的交互作用中学习和积累经验,并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式,正是这种主动性及主体与环境的、其他主体的相互作用,不断改变着它们自身,同时也改变着环境,才是系统发展和进化的基本动因。整个系统的演变或进化,包括新层次的产生、分化和多样性的出现,新聚合而成的、更大主体的出现等,都是在这个基础上逐步派生出来的。

2) 和谐管理理论

和谐管理就是指在变动的环境中,围绕和谐主题的分辨,以“优化设计”的控制机制和“能动致变”的演化机制为手段,提供问题解决方案,促使组织系统螺旋逼近和谐状态^[2]。其中,和谐主题是指组织在特定环境、特定发展阶段下需要解决的核心问题或要完成的核心任务,而“优化设计”的控制机制和“能动致变”的演化机制,即和谐管理理论的“谐则”与“和则”机制(称之为“双规则”机制),表示和谐管理在寻求复杂问题求解之道时所遵循的两种不同规则。和则、谐则是核心问题或核心任务解决之道。和谐管理理论将“优化设计”对应于“谐”,将“人的能动作用”对应为“和”。

“谐则”定义为有关“优化设计”的机制、规律或者主张,其机制具体可理解为活动安排与资源配置的规范化与结构化过程,其目的就在于对组织中的确定性要素(包括资源与活动)及其间相对确定的关系进行合理安排和调整优化,使之配合合理、运作有序,促进组织的顺畅运转。“和则”定义为有关“人的能动作用”的机制、规律或者主张,其作用就在于针对具有能动特征的行为主体,利用心理的、行为的措施,诱导其尽可能地表现出组织所期望的行为。如何利用价值观、文化、激励机制等影响行为主体的行为,这是“和则”所要解决的主要问题。和谐管理的基本内容包括和谐主题分辨,和则、谐则体系的分析和设计,优化及不确定性消减。和谐管理理论提倡在对研究对象的系统考察过程中,围绕和谐主题,通过“和则”“谐则”的互动耦合,推动组织螺旋式的提升发展和进步。

3) 超网络均衡理论

超网络指一些具有多层、多级、多维、多属性和多准则等特征的多个网络组成的网络^[5],这样复杂的网络结构形式在真实世界里普遍存在,如供应链网络、知识网络、交通网络、电力网络、金融网络、通信网络和社会网络等。以供应链超网络均衡为例,超网络中各交易决策者从个体优化的角度寻求各自效用最大化,并在相互博弈的过程中达到非合作纳什均衡,即任何个体决策者偏离此均衡状态都无法实现最优。此时的网络均衡解实质上是个体协同优化过程的结果,体现了系统中各不同利益主体通过博弈操作实现协同优化状态的过程。

4) 时空网络理论

时空网络图模型(time-space network mode)是一种描述组成网络各要素之间关系的网络流模型,与一般的物理网络连接不同,时空网络最大优势是将时间和空间进行有机结合,构成一个含时间轴和空间轴的二维空间,给复杂动态网络流规划问题的建模和求解带来便利。时空网络方法常被应用于动态交通优化分配问题,该方法的核心就是将物理网络上的节点在离散时间轴上进行复制扩展,离散的时间段表达有利于网络弧的时间扩展以及动态流的机理解析。将一个复杂场景网络流问题构造成时空网络问题,有利于准确刻画其复杂环境的时变性特征,时空网络优化方案的形成恰恰也能够体现外在时变环境下系统协同动态优化的过程。

综合上述种种相关理论对协同问题的论述,结合哈肯的协同理论,本书观点同文献[5]一致,认为协同的核心思想如下:一般情况下,协同(collaboration)是指多个子系统或者系统中不同元素围绕一个共同目标,相互作用、彼此协作而产生效益增值的过程。协同的目的是:通过多个子系统的并行性协作行为,避免相互作用中的不利因素,降低子系统之间的负面干扰,全面提高系统整体效益。

1.1.3 协同的基本方法

有关系统的协同性研究有很多方法,单纯从方法的定性定量分类标准上看,可简单分为定性协同决策方法和定量协同决策方法。

1. 定性协同决策方法

定性协同决策方法主要包括头脑风暴法、小组讨论法、德尔菲法和集体意见法等。

1) 头脑风暴法

头脑风暴法一般是针对某个决策问题,由相关决策人员组成一个专家小组,通过组织会议使专家们在相对宽松的氛围中敞开思路、畅所欲言,充分发挥各专家的协同创造性思维来获取决策方案。这种方法要求主持人在会议开始时的发言能激起专家们的思维灵感,促使专家们感到急需回答会议提出的问题,通过各专家之间的信息交流和相互启发,从而诱发专家们产生“思维共振”,以达到想法意见的互相补充并产生“协同组合效应”,使决策方案更加准确有效。头脑风暴法有四项基本原则:①倡导专家各自发表自己的意见,对别人的建议不作评论;②建议发言不必深思熟虑,意见观点越多越好;③鼓励独立思考、奇思妙想;④在多轮发言中可补充完善自己已给的建议。

2) 小组讨论法

小组讨论法是选择所需决策问题相关领域的一些人员成立讨论小组,决策过程如下:①先提供一些与决策问题相关的信息,鼓励小组中各位成员经独立思考后提出决策建议;②接着召开小组会议,让小组成员一一陈述自己的决策方案;③最后全体小组成员对所有备选决策方案进行投票,协同产生大家最赞同的决策方案,并形成对其他备选方案的意见,以供上级决策参考。

3) 德尔菲法

德尔菲法,也称专家调查法,该方法主要通过反复收集专家对某一问题意见的方式做决策,决策步骤如下:①选择和邀请合适数量的相关领域专家,并与这些适当数量的专家建立直接函询联系,通过函询收集各专家意见;②然后对收集的专家意见加以综合整理再匿名反馈给各位专家,再次征询各位专家意见;③这样反复经过四至五轮,逐步使专家的意见趋向一致,以此作为形成最后协同决策方案的依据。在运用此方法时,需要注意的是,要求在选定的专家之间相互匿名。

2. 定量协同决策方法

针对不同的决策问题,现有的定量协同决策方法和技术比较丰富,在此主要基于本书后续章节将要采用的相关研究工具,简要介绍几种常用的定量协同决策方法。

1) 数学规划法

很多决策过程都可抽象定量建模成在一定约束限制条件下寻找总体目标最优的数学规划问题。其中,当约束条件与目标函数均为线性函数时,该决策模型为线性规划问题;若目标函数与约束条件均为非线性函数时,该决策模型是非线性规划问题;若在目标函数与约束条件中考虑时间因素且将决策问题划分为若干时间段时,该决策模型就是动态规划问题;当考虑多个决策目标时,则该决策模型为多目标规划问题。这些多种约束条件下的优化决策问题及相应的数学规划方法,为协同决策提供较为客观的辅助参考方案。

2) 模糊决策法

模糊决策是指在模糊环境下进行决策的数学理论和方法,适用于解决包含大量不确定和模糊信息的问题。在众多实际决策问题中既有客观因素(如决策环境的不确定性等),又有决策者自身的主观因素(如性格、偏好、能力和认知程度等),模糊决策在充分考虑这些主客观因素的基础上采用各种方法把定性指标转化为定量指标,以提高决策的科学性。常用的模糊决策方法有模糊排序、模糊寻优和模糊对策等:①模糊排序是研究决策者在模糊环境下如何确定各种决策方案之间的优劣次序;②模糊寻优同一般数学规划问题类似,也是在给定备选方案集及各种目标函数和限制条件的基础上寻求最优方案的优化,只不过此时目标函数或约束条件是模糊的;③模糊对策问题是决策双方在选取策略时接受一定模糊约束的协同决策方式。

3) 系统理论方法

系统理论中的耗散结构论认为,如果一个系统处于开放的环境中,并且该系统远离平衡,系统与外界环境不断交换物质和能量,通过能量耗散过程和系统内部的非线性动力学机制来形成和维持宏观时空的有序结构,那么该系统就称为耗散结构系统。从系统理论方法视角研究某体系的协同决策,是指远离平衡态的开放体系在与外界进行物质和能量交换的情况下,如何通过自己内部的协同作用,自发地实现时间、空间以及功能上的有序结构,即属于系统进化的内在动力问题。

如前 1.1.1 节所述,系统协同学通常认为,在远离平衡态的开放系统由无序向有序转化的过程中,系统中不同的参量在临界点处的行为大不相同。根据在临界点附近变化的

快慢程度可将参量分为两类：一类是阻尼大、衰减快，对转变的整个进程没有明显影响的快弛豫参量；另一类是临界无阻尼，在演化过程中起着主导作用的慢弛豫参量。这两类参量相互联系、相互作用、相互制约、相互竞争。虽然慢参量只有一个或几个，但它却控制着系统演化的整个过程，决定着演化结果所具有的结构和功能，代表着系统的“序”，因而也被称为是表征系统有序程度的序参量。序参量支配系统，系统服从于序参量，系统的有序演化过程及相互关联性如图 1-1 所示^[3]。

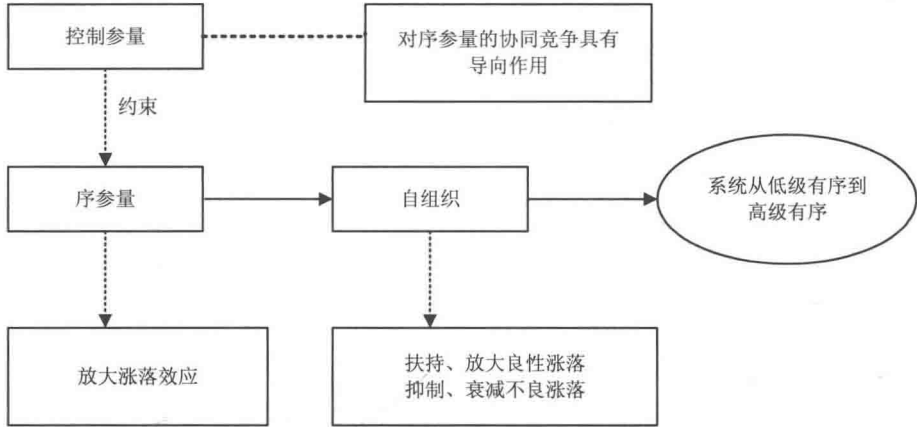


图 1-1 系统的协同有序过程及相互关联性

4) 博弈论方法

博弈论研究的是两个或两个以上决策者行为发生相互作用时的策略方案以及各种策略方案间的均衡问题。从结构上分析，所讨论系统中的各交易决策者构成了博弈参与人主体；而每个参与人由于目的不同，导致策略选择各不相同，这就构成了博弈的策略空间；每个参与人在整个系统中所获得的收益不同，进而形成各自不同的收益函数。目前，应用博弈论方法主要从两方面对系统决策进行协同优化的讨论：一方面是从影响某系统博弈活动复杂程度的因素入手，如博弈方数量、偏好、信息获得、次数、时序等；另一方面则是从关注某系统协同优化实现过程的角度进行分析。

5) 超网络方法

如 1.1.2 节所述，超网络方法是相互作用的多维属性要素构造成相互关联相互交织的不同网络，可利用整个超网络的共享与联动机制来均衡优化配置各关联主体间的孤岛资源。通过超网络中各类主体与要素之间的整合与协同，全面实现 1+1>2 的协同效应。应用超网络方法来实施协同决策通常具备以下几个典型特征：①所研究的整个网络体系本身较复杂，超网络方法有利于对复杂网络结构的抽象与概括，且各子网络间的关联高度密集，既可以是嵌套，也可能是相交，亦可能是重叠；②不同网络的节点关联之间既存在同构同质性，也可能存在异构异质性，且从超网络中抽取的部分子网络也可能存在异质异构的节点或关联边；③超网络整体优化与单个网络个体优化之间可能存在冲突，需要协同；④不同的子网络内部可能存在一定拥塞性。