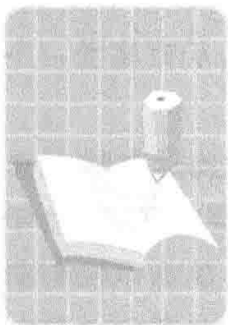


错误系统优化方法研究

熊海鸥 著



前 言

矛盾是事物发展的动力,错误和正确作为矛盾双方,在人类认识史和实践史中占据重要地位,人类对错误的研究从未间断。人们在追求发展的过程中总是喜欢正确,希望正确。因此,为了寻求正确必须避免错误、消除错误,并从根本上研究导致错误出现的原因和规律以及消除错误的方法。通常情况下,一个无错误系统往往会由于时间的推移、自然条件的改变、科技的发展等原因转化为一个有错误系统,所以当确定了一个无错误系统后,仍需要人们不断消除后续可能发生的错误。

本书以系统的错误为研究对象,以消避错理论为突破口,以一般系统理论和数理逻辑学为基础,采用抽象概括、文献研究、归纳演绎、概念模型和逻辑推理等理论方法进行研究。

本书首先对消避错的相关理论进行了探讨,研究如何通过错误系统论域以及错误系统元素变换来消除系统错误。其次,在研究系统结构的基础上,给出了一般系统结构的状态方程和一般系统的结构图及其功能函数,并分析了系统错误的静态以及动态基本结构。再次,通过大量观察现实世界中的各类系统,分析其组成结构,探索组成各种复杂系统的基本结构,归纳各种系统基本结构的本质,并对各种系统基本结构的本质特征进行了严格的数学定义。最后,系统地介绍了错误系统结构的增加、置换、相似、分解和毁灭等五种基本变换类型,为错误系统的优化奠定了良好的基础。

本书从判别系统错误的需求出发,研究了一般判别规则的特性,并对其判别规则进行分类,进而构建了一个有机的判别规则体系;同时通过对错误系统判别规则的约简以及优化,提高错误系统错误值判别的准确度,进一步消除或者避免错误,并优化错误系统。错误函数是定量描述错误的主要数学工具,本书研究了错误函数的一般性质和种类,给出了错误函数的定义,根据实践中错误值可能的范围以及判别对象的差异,对错误函数进行了分类,并进一步研究了和式型错误函数和向量型错误函数。本书还研究了错误函数与判别规则之间的关系,根据不同类型的判



别规则,对错误函数的具体建立以及 AHP-ERROR 模型的建立和错误值的计算进行了初步的探讨,解决了定量和精确描述错误的问题。

本书通过研究论证了可以通过错误系统元素、错误系统结构、错误系统论域、错误系统规则、错误系统函数单一变化以及综合变化对系统消避错,从而建立一个无错误系统。

值本书出版之际,向郭开仲教授,广州航海学院科技处、广州航海学院港航学院的领导与老师表示诚挚的谢意。本书是 2019 年广州市教育科学规划课题“基于 CDIO 的创新应用型人才培养模式研究”(201912027)、2018 年广州航海学院创新强校项目(F410608)和(G410217)课题的部分成果,以及 201 年 7 广州航海学院创新强校项目—物流工程重点专业建设项目的阶段性成果。因笔者学术水平、科研视野有限,本书难免存在疏漏或者不足之处,恳请专家、学者及相关人士批评指正。

著 者

作者简介

熊海鸥,1981年出生,博士,广州航海学院教师。研究方向:系统优化、系统决策。先后在《数学的实践与认识》和《模糊系统与数学》等国家级刊物发表科研论文20余篇,参与多项国家自然科学基金和国家社会科学基金,主持广东省科技计划项目、广东省教育厅项目和广州航海学院“创新强校”项目。现主要讲授的课程有“物流系统工程”“物流学”“运筹学”“物流系统仿真”等。



目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 研究背景及研究意义	(1)
1.2 文献综述	(3)
第二章 基本概念	(11)
2.1 系统与错误系统	(11)
2.2 判别错误的规则	(13)
2.3 错误函数	(13)
2.4 小结	(15)
第三章 错误系统论域及元素	(16)
3.1 错误系统论域	(16)
3.2 错误系统元素	(21)
3.3 小结	(27)
第四章 错误系统结构	(28)
4.1 一般系统结构的状态方程	(28)
4.2 一般系统结构图及其功能函数	(33)
4.3 系统错误基本结构	(37)
4.4 错误系统结构变换	(39)
4.5 小结	(95)
第五章 错误系统规则	(97)
5.1 判别错误规则函数	(97)

5.2	判别错误规则的几种特性	(98)
5.3	判别规则与判别对象之间的关系	(100)
5.4	系统错误的判别规则体系	(104)
5.5	错误系统规则的约简	(106)
5.6	错误系统判别规则建立的具体步骤	(109)
5.7	小结	(111)
第六章	错误函数	(112)
6.1	错误函数的相关定义	(112)
6.2	错误函数的形式	(112)
6.3	错误函数与判别规则之间的关系	(117)
6.4	AHP-ERROR 模型	(124)
6.5	小结	(126)
第七章	错误系统优化方法研究	(127)
7.1	错误系统优化方法	(127)
7.2	小结	(134)
参考文献	(135)



第一章

绪论

1.1 研究背景及研究意义

随着科学技术的日新月异以及物质生产的集约化和专业化,系统的复杂性也日益增加。从 20 世纪 40 年代开始,系统科学迅速发展成一个跨学科的科学分支,各个领域都试图从系统的角度研究其客体对象的系统优化问题,尤其是通信、运输、能源和水利等类型的系统。此类系统比较复杂,牵一发则动全身,因此研究基于系统的优化问题尤为重要。

古往今来,人们在为科学家和发明家树碑立传时,往往只是突出他们的成果和智慧,注重他们的成功以及正确的思维过程和思维方法,而极少挖掘他们在通往成功的路上所犯的 error 和曾经失败的原因,更缺乏对错误进行多维的研究、立体的思考和全方位的分析,这不能不说是一种缺失。

在客观世界中,错误无处不在。无论是发达国家还是落后国家,无论是先进团体还是落后团体,无论是举世公认的伟人还是平凡人,无论在科学研究领域还是在实践领域,也无论在远古时期还是在当今世界,都毫不例外地会出现各种各样的错误。错误不但无处不在,而且有时作用显著。如全球变暖是人类无节制地排放二氧化碳等温室气体造成的,如果不采取措施加以遏制,地球将会面临海平面上升、沙漠化加剧、洪水频繁等诸多生态灾难。美国次贷危机导致雷曼公司倒闭,而其倒闭的直接原因则是在次贷危机之前持有太多次级金融产品[抵押贷款证券(Mortgage Backed Securities, MBS)和担保债务凭证(Couateralized Debt Obligation, CDO)],更为致命的是,该公司采用了根据市场金融工具定价的记账方法(Mark-to-Market or Fair Value Accounting),由于他们所选择的金融工具本身就有很大的风险系数,随着次级危机浮出水面,该公司资产大幅的减值,倒闭就不足为奇。美国 RAND 公司认为,全世界倒闭的大中型企业中 85% 以上是由于决策错误。2003 年 2 月 1 日,载有 7 名宇航员的美国哥伦比亚号航天飞机在结束了为期 16 天



的太空任务之后返回地球,但在着陆前发生意外,航天飞机解体坠毁,当时机上7名宇航员全部罹难。根据美国航天专家的分析,隔热瓦脱落可能是哥伦比亚号航天飞机坠毁的原因。一片小小的隔热瓦致使7名宇航员丧失了宝贵的生命并造成了大约12亿美元的巨大经济损失。这些都不得不令人反思:一个小小的错误是如何导致如此巨大的灾难的呢?正如古语所云:千里之堤,溃于蚁穴!

唯物辩证法指出,在认识事物的时候,既要看到事物统一的一面,又要看到事物对立的一面,要坚持全面的、发展的、运动的观点。真理和错误是既对立又统一的两个方面,前者往往成为科学家与探险者的路标和向导,后者常启迪人们“反弹琵琶”“逆向思考”,踏向正确之路。焦耳曾信奉永动机理论,废寝忘食地研究永动机,在多次失败之后,他开始从反面思考机器运动时热与功的转化,发现了能量守恒与转化定律。爱迪生试制电灯时,做过5万多次失败的试验,但他说:“我收获甚大,我从中知道5万多种方法是行不通的。”错误的作用由此可见一斑。那么错误有规律吗?难道错误就真的像墨菲定理(Murphy's Law)所讲的一样,所有可能出错的事情最终都会出错吗?可不可以应用一种或多种工具来研究错误产生的机制呢?

为什么要研究一般的错误系统和错误发生的机制以及错误系统的优化呢?防患于未然是人们经常用的成语,用来形容人们做事情之前应当有预见性。怎么才能具有预见性呢?这就要求对所涉及的系统和系统的外界环境有清晰的认识,了解越透彻,对可能发生的状况的预见就越准确。同样的,对于有错误倾向的系统,如果能够了解系统的子系统、系统成分、系统的结构、系统所包含的各种各样的时滞以及系统随时间变化的动态特性,决策者就能够提前介入系统,提出相应的方案,从而避免系统随着时间向恶化的方向发展。如果能将具有错误倾向的系统构造成一个可仿真的模型,就能验证和比较多个方案,从而可以找到避免错误的最优方案,实现系统的优化。

采取定性与定量相结合的方式研究错误,就是对含有错误的系统进行研究,找出致错的结构部分并加以改良。系统工程的研究实践表明结构决定系统行为,如果决策者能通过适当的决策和政策改变系统的现有结构,提前介入具有错误倾向的系统,那么造成错误、灾难和灾害的根本结构和各种诱因就不再存在,从而避免它们的发生。一个优秀的领导者或决策者与普通管理者的不同之处就在于他们能够对所在的环境有一个系统的认识,能够通过各种策略改变系统原来的结构,使系统能够在其掌控之中,他们所做的工作就是治无患之患,从而保障系统总是向着所期望的方向发展。

然而由于人们所生活的地球在日新月异地变化着,技术的创新、人口的增长以及无处不在的经济活动使人们所生活的这个复杂的社会经济大系统变得异常复杂,所以人们对一般错误的研究会面临巨大的挑战,这种研究包括对错误的规律、

致错机制、系统结构和相互作用等多方面的研究。系统的复杂性来自两个方面：一是组合复杂性，二是动态复杂性，其中动态复杂性是造就复杂大系统最为主要的原因。

在一个系统中，由于时间、空间的不停变动，系统的错误也是动态发展的，由于系统与外界环境、系统内的子系统之间以及系统各个成分之间是紧密耦合的，系统中的任何一个子系统发生问题都会造成整个系统的紊乱。系统的错误往往是非线性的，并且由于系统内部的自组织的功能，错误系统也具有自适应能力，系统自身会不断进化。从消避错理论的角度来讲，对系统的消避错方法需要根据系统的变化不断作出新的调整。正是因为错误系统具有复杂多变性，所以需要进行更深一步的研究和探讨。

目前，国内外不少学者对错误开展研究。既有从哲学上定性研究错误的，也有在各个专业领域中研究特定类型错误的，如医学中的“误诊学”、法学中的“犯罪心理学”、思维科学中的“反常思维”、计算机科学中的“容错理论”、自动化及其相关领域的“故障诊断”、管理中的“企业诊断”以及语言教学中“错误分析”等。这些研究从各个角度对错误进行了剖析，但这些研究仅是定性地对错误进行分析，缺乏定性和定量相结合的考量。

本书采取定性与定量相结合的方式研究错误，结合一般系统理论揭示系统错误的传递与转化规律，通过错误系统元素、错误系统结构、错误系统论域、错误系统规则、错误系统函数单一变化以及综合变化对系统消避错，从而建立一个无错的系统，并在此无错系统上，以包含于系统目的功能中的某一固有功能为目标，建立优化模型，对错误系统进行优化，在更高层次上深化人们对错误的认识，弥补现有对错误研究的不足，减少或消除错误给人们带来的损失和灾难。

1.2 文献综述

1.2.1 一般系统理论的发展

一般系统理论是 L. V. Bertalanffy^[1] 在 20 世纪 40 年代提出系统概念之后努力倡导的一个研究领域，它以一般系统，即自然界和社会中存在的一切系统为研究对象，研究不同系统所服从的共同原理与规律——一般系统原理及规律。此后，在一般系统研究的范畴内，就如何揭示一般系统原理及规律这一问题，国内外学者进行了不懈的努力，并取得了一定的理论成果：1946 年，美国学者莫尔斯 (P. M. Morse) 和金博士 (G. E. Kimball) 编写了“*The Methods of Operations Research*”；1948 年，美国科学家维纳 (Norber Wiener) 编写了“*Cybernetics or Control and*

Communication in the Animal and the Machine”；同年，香农(C. E. Shannon)编写了“Mathematical Theory of Communication”，分别标志着运筹学、控制论和信息论学科的诞生。

20世纪七八十年代，产生了系统自组织理论。比利时物理化学家普利高津于1969年提出了耗散结构理论，与此同时，德国物理学家哈肯提出了协同学。耗散结构理论和协同学从宏观、微观以及两者的联系上回答了系统自动走向有序结构的基本问题，其成果被称为自组织理论。20世纪70年代还有一些理论对系统科学的发展有着重要的意义。德国科学家艾根吸收了进化论思想和自组织理论，于1979年提出了超循环理论，把生命的起源解释为自组织现象，提出了自然界演化的自组织理论。法国数学家托姆于1972年发表了《结构稳定性与形态发生学》，对突变现象及其理论作出了系统的、深刻的阐述，创建了突变论^[2-9]。

20世纪80年代以来，非线性科学和复杂性研究的兴起对系统科学的发展起到了非常积极的推动作用。国际学术界对复杂性研究的一个突出的标志是1984年成立的圣菲研究所，它提出：适用性就是复杂性。该研究所注重研究复杂适用系统，并研制出相应的系统软件平台。

以钱学森为代表的中国学派，提出了开放的复杂巨系统理论及其综合集成方法，把基点放在了“人的因素”上，人的智能行为和价值取向决定了这类系统。复杂巨系统理论强调人对系统的结构、功能和演化的重要作用，其观点可以归纳为：人的行为造就了复杂性。综合集成方法明确指出，人机结合必须以人为主，而不是以计算机为主，更不是单纯依靠计算机。它采取了与迄今居于主流地位的西方学派的根本不同的技术路线，成为处理复杂系统的一种新方法。

国外的著名系统工程研究机构包括国际应用系统分析研究所(IIASA)，它利用系统的方法分析全球问题，提出了不确定模型和动力学过程、决策支持方法以及风险管理和公平问题的新观点。研究的问题主要集中在给定生态系统的动力学研究：大气层、水资源、生物圈和土壤同人类的关系。它特别关注有毒物质和污染物的发散、转化和传输问题，水资源的可用性和质量问题，生物资源的退化和补救问题，以及土地使用和覆盖变化的原因和影响^[10-12]。LAND公司是美国最重要的以军事研究为主的综合性战略研究机构，其系统分析的方法最先为军事决策服务，而后拓展到社会政策计划和分析上。

作者查阅了大量的文献后，发现近几年来关于一般系统理论的学术文献并不多见，尤其是国外的研究现状，从理论角度进行归纳，其研究主要集中在两个方面：一是关于系统结构的研究；二是关于系统功能的研究。

1. 一般系统结构的研究

一般系统理论认为：系统概念的本质是系统结构，一切系统研究在很大程度上就是系统结构的研究。没有系统结构的研究，就无法取得对系统行为及规律的本

质理解。美国系统哲学家拉兹洛(Ervein Laszlo)说:“全部科学的目标是发现有序的时间结构和空间结构。”19世纪下半叶,化学结构学的创立,不仅解决了当时化学的一系列问题,而且也成为有机化学的主要理论。在数学上,20世纪30年代,法国布尔巴基学派提出了体现数学完整性和统一性的各种结构概念,使数学取得了很大的进步。布尔巴基学派认为,数学研究有3种基本结构:

- (1) 代数结构——运算——来自数量关系;
- (2) 序结构——先后顺序——来自时间观念;
- (3) 拓扑结构——连续性和分离性——来自空间概念。

20世纪70年代的耗散结构理论,本质上是结构产生的理论,它综合了现代科学多方面的成就,探讨了远离平衡态的、非线性的和不可逆的自组织结构的性质及其形成、稳定和演变的规律。

目前,国内外文献关于一般系统结构的研究主要体现在以下几个方面:一是从数学角度研究一般系统结构,主要是林福永提出的一般系统结构理论^[13-22]。一般系统结构理论从数学上提出了一个新的一般系统概念体系,特别是揭示系统组成部分之间关联的新概念,如关系、关系环和系统结构等。在此基础上,该理论抓住了系统环境、系统结构和系统行为以及它们之间的关系和规律等一切系统都具有的共性问题,从数学上证明了系统环境、系统结构和系统行为之间存在固有的关系及规律,在给定的系统环境中,系统行为仅由系统基层上的系统结构决定和支配。这一结论为系统研究提供了精确的理论基础。在这一结论的基础上,一般系统结构理论从理论上揭示了一系列的一般系统原理与规律,解决了一系列的一般系统问题,如系统基层的存在性及特性问题、是否存在从简单到复杂的自然法则的问题以及什么是复杂性根源的问题等,从而使系统论发展到具有精确的理论内容并且能够有效解决实际系统问题的高度。但是该理论并没有对如何描述系统的结构作出规定,即系统要素之间通过什么样的关联关系相互作用。二是对一般系统结构理论的进一步延伸和深化。余运洋等^[23]给出了一般系统要素之间关联的定义,并在此基础上,对一般系统结构理论中的关联问题进行了分类描述;郭亚军等^[24]基于一般系统结构理论,发展了金鸿章教授等提出的脆性定义,并且证明了脆性是一般系统都具有的共同属性;林福永等^[25,26]应用一般系统结构理论,研究了复杂网络的关系流和复杂网络行为及功能之间的关系及规律,并得到了两个复杂网络关系流与行为关系定理和一个复杂网络关系流与行为关系模型,认为复杂网络行为或功能仅由它的输入流和基层上的关系流集,特别是其中的关系回路来决定和支配。在此基础上,提出了全面关系流管理(Total Relationship Flow Management, TRFM)理论及方法,TRFM模型涉及组织行为与全面关系流的一系列关系和规律,通过对模型的进一步数学分析,推导出相关的关系及其规律,这将有助于管理成为一门精确的科学。三

是基于图论和矩阵理论研究一般系统结构。韩光臣等^[27]提出了描述复杂系统的 SMBD 模型,该模型引入面向对象的建模思想,将复杂系统抽象为一个由三元组描述的有向图,并给出了有向图的矩阵化表示和层次分解方法,从而使该模型具有良好的可扩展能力;马文钰等^[28]利用有向图及邻接矩阵的关系、结点的度及邻接矩阵的运算性质,将有向图中结点间的序关系转化为系统要素间的层次结构;Xin-bo AI 等^[29]针对由于系统的复杂性,专家一般不能准确有效地识别系统要素之间的关系这一问题,将灰色关系分析(GRA)与解释结构模型(ISM)相结合,从而得到系统的结构。要研究一个系统,首要的一步往往是建立系统的结构模型。蔡长林等^[30-33]针对一般的系统结构模型的建立方法步骤烦琐,且计算量大的缺点,给出了系统由可达矩阵进行区域划分、强连通子集划分以及等级划分的充分必要条件,从而使得对系统结构模型的建立和分析直接由系统可达矩阵的简单运算即可得到,其方法方便、简捷;然后基于在现实情况下,对系统要素相邻(或可达)的程度或可能性进行明确判断的困难性,将解释结构模型推广到模糊系统,提出了模糊解释结构模型。在此基础上,作者首次引入非超系统的概念,认为一般系统不一定是非超系统,但可以由某个非超系统扩展出来,并给出了判定一个系统是非超系统的充分必要条件,证明了任何一个非超系统具有超级扩展的存在性定理,还构造出了全部超级扩展系统。以上对系统结构的研究基本上都是对系统结构的本质和规律以及如何构造系统结构进行的研究,并没有在此基础上作进一步的延伸和探讨,比如:基于系统的结构,系统要素(或子系统)之间是通过什么方式传递物质、能量和信息的?通过物质、能量和信息的传递,系统要素(或子系统)之间的功能是如何合成的?系统中的错误是如何传递和相互影响的?

2. 一般系统功能的研究

系统功能是系统属性的集中表现,同时又是系统价值存在的基础。目前国内对系统功能的研究主要分为以下几个方面:一是对系统功能一般理论的研究,如对系统功能的概念内涵、哲学内涵,系统功能的构成,系统功能观的研究和探讨等^[34,35]。二是对具体对象系统的系统功能分析、设计、优化和完善等。如对神经系统、信号微机监测系统、机械制造系统、信息处理系统、高校德育系统、课程体系系统等的功能设计、分析和优化,尤其是在医学领域中,对各个具体对象系统的系统功能的研究最多。三是基于系统功能的优化。此类相关研究较少。王新华^[36]提出对系统进行分形、求解、合成的优化方法。分形有 3 种方法,其中一种分形方法是按功能进行分形,即将系统的功能划分为若干部分(每一个分形系统都能独立解决整体系统中的一个或几个功能,并且各分形系统之间的功能是相互独立的),再根据分形系统的性质对分形系统进行 $M+N$ 求解模式,即在 M 个过程中运用 N 种算法的求解模式。最后将各个分形解进行合成,以寻求系

统整体最优。王若恩^[37]提出了系统结构功能的概念和原理,以及系统功能等于系统原功能与结构功能之和的论点,讨论了结构功能与系统功能优化的关系,并强调通过结构变化,调整系统的结构功能,以达到系统优化的目的。系统的功能分为可加和不可加两种类型,在系统功能可加的情况下,研究了系统整体优化与子系统优化之间的关系。以上对系统功能的研究大多集中于针对某一具体对象系统的功能分析、设计和优化,而对一般系统功能的研究文献较少。上述研究存在一个共同特点,就是对系统功能的研究必然与对系统结构的研究结合在一起,但是现有文献很少有针对系统的结构如何影响系统功能的合成及其发挥展开研究的。

1.2.2 关于错误以及消错学的发展

错误是指与客观事实不符,它与正确、真理形成了一对矛盾的两个方面,构成了人类认识中的一个环节,并且从另一方面激发人们思考问题和探索真理。

不同领域的人们都会对自己所关心领域中出现的错误进行研究。例如,文清源^[39]着力于对错误进行系统分析,并为人们提供了辨错、治错、防错、化错的具体办法,给哲学认识论的研究提供了一个新视角;刘明祥^[40]、刘柏纯^[41]、杨志平^[42]以及张伟与王春福^[43]等分别就刑法中错误的定义、错误的分类,刑法中的认识错误以及刑法中的主体错误进行了定性的分析与探讨;罗帆、余廉^[44]对企业组织管理进行抽样问卷调查,根据问卷统计结果,确定了反映企业组织管理行为、机构管理和人员管理危机征兆的早期诊断指标;RAND公司针对企业管理中的错误进行了研究,收集了企业病案并对商业诊断进行了探讨^[45];高远^[46]、曹慧玲^[47]等研究了第二语言学习者在语言学习过程中所采用的策略和产生错误的原因,并对语言错误进行分类,形成了以原因语料收集、错误确认、错误描述、错误解释和错误评估为内容的错误分析理论;李善良^[48]将错误分析理论推广到数学学习过程中,讨论了数学概念学习中错误的类型;郭秀艳等^[49]从心理学的角度剖析错误记忆发生过程中无意识的作用机制。另外,还有数学中的“归谬法”、医学中的“误诊学”、法学中的“犯罪心理学”和计算机科学中的“容错理论”等。以上都是各学科领域的研究者在局部领域内对错误进行分析,为求获得解决办法所做的努力。然而他们并未从普遍意义上对错误进行研究,更没有从系统科学的角度对系统的错误进行研究,并通过建模找到错误传递、转化的方式及其规律。国外对错误进行分析和研究的机构还有《灾难研究杂志》(Journal of Disaster Research)、《冲突解决方案杂志》(Journal of Conflict Resolution)、《国际冲突管理杂志》(International Journal of Conflict Management)等。

目前,消错和避错的概念在实际应用也有很多例子,比如世界各国都有与灾



害、灾难救援和保障相关的机构和部门,我国有国家减灾委员会办公室,美国有联邦应急管理署(Federal Emergency Management Agency),俄罗斯有民防、应急与减灾部(简称“紧急状态部”),日本有中央防灾会议,法国有内政部的民事安全与保护总局,新西兰有民防与应急管理部(Ministry of Civil Defense and Emergency Management),荷兰有国际紧急救援技术中心,等等。然而这些机构的职能多数是对紧急事态的处理和救援,它们都是“救火”机构,没有一个机构具有真正的“防火”职能,这些行政机构都是在灾害和灾难发生的时候采取相应的措施并投入人力、物力和资金,将灾害和灾难的损失减到最小,它们却投入很少的资金来支持基础的错误机制研究,把社会、经济、自然和生态系统作为一个复杂的大系统进行整体考虑,从而防止错误(灾难)的产生。

20世纪80年代以来,系统工程学学者郭开仲在深入分析错误的基础上,采取定性、定量相结合的综合集成方法,借助数学工具和逻辑工具研究了错误的量化、错误的关系,并对错误发生的原因和机制,传递、转化的方法和规律,预测和消除错误的方法等作了初步的研究。他先后完成了《消错学引论》《判别企业固定资产投资决策错误的理论和方法》《复杂大系统冲突与错误的理论方法及应用》和《错误集论》4本消错理论的专著,在国内外发表有关论文100多篇,特别是完成了消错理论在决策领域的应用方法研究的有关课题^[50-61],使五大中国原创人工智能理论之一的消错学理论得到了进一步的发展。

消避错理论研究的对象是错误;研究的内容是错误发生的原因和机制,错误的传递,转化的方法和规律,预测、避免、减少和消除错误的方法和规律。在理论上,消避错理论既研究一般的错误概念和性质,又研究如何把一个一般的错误抽象为一个对象系统,从而研究系统错误的理论,研究如何建立一种定量化描述错误的方法;在应用上,既研究如何把理论方法应用于实际的应用理论、应用方法和应用技术,又要重点研究和建立有关领域判别、预测、避免和消除错误的专家系统以及专家系统的应用推广等。消避错理论采用数学(高等数学、离散数学、模糊数学、微分方程、数理统计、系统科学和系统工程等)方法研究错误的定量化,采用逻辑(逻辑学、形式逻辑、数理逻辑、模糊逻辑、辩证逻辑和辩证数理逻辑等)方法研究错误的关系,利用各学科的理论、方法和研究成果与错误理论相结合研究各学科领域的错误,建立独具特色的消错学理论体系。消错学的建立为定量化研究错误奠定了理论基础。

1.2.3 系统优化理论的发展

人类自古就有优化的思想。寻求最优既是人类的本能,又是人类有意识的活动。寻求最优,也是动物界普遍的行为能力。蜂巢的结构,使建筑学家叹为观止:

小小的蜜蜂,竟然能用很少的材料创造最大的空间,构筑自己的“住宅群”,蜂巢组成底盘的菱形角度正是实现耗材最少的最优角度。向日葵花盘的转动,使它能尽可能多地吸收太阳光和热,这也是寻求最优的一种表现。

系统优化分为静态优化和动态优化两部分。静态优化通常是指数学规划问题,而动态优化则指最优控制问题。静态的系统优化问题(数学规划问题)的解法一般有 3 种类型:第一类是直接方法,即改进现有的优化方法去解各种系统的最优问题。例如线性规划中的单纯型法,非线性规划中的共轭梯度法、拟牛顿法等。这类方法经常利用优化问题的特殊结构进行求解。第二类是分解(划分)方法,即把原来的系统优化问题分解(划分)为独立的子问题求解,而一个迭代的协调过程使子问题的解逐渐逼近原始问题的最优解。第三类是单纯型法。在工程实践、经济管理、社会工程中经常遇到静态的系统优化问题(很多动态问题也可以用静态优化来分解)。在运输、库存分配、多物流量和国民经济计划问题中经常要求解线性规划问题。

系统优化方法在各种工程系统、经济系统乃至社会系统中得到了广泛的应用。动态规划是贝尔曼在 20 世纪 50 年代中期为解决多阶段决策过程而提出来的。应用这个方法的关键建立在他提出的“最优性原理”的基础之上,这个原理可以归结为用一组基本的递推关系式使过程连续的最优转移。庞特里雅金于 1956—1958 年间创立的最大值原理是解决系统最优控制问题的一种最普遍的有效方法,由于它放宽了求解问题的前提条件,使许多古典变分法和动态规划无法解决的工程技术问题得到了解决。他提出用最优化方法解决实际工程问题可分为 3 步进行:①根据所提出的最优化问题,建立最优化问题的数学模型,确定变量,列出约束条件和目标函数;②对所建立的数学模型进行具体分析和研究,选择合适的最优化方法;③根据最优化方法的算法列出程序框图和编写程序,用计算机求出最优解,并对算法的收敛性、通用性、简便性、计算效率及误差等作出评价。这也是现在系统优化常用的方法步骤。

常见的系统优化方法包括^[62-65]:①线优化方法;②局部参数最优化和整体最优化设计方法;③预测控制中的滚动优化算法;④智能优化方法;⑤神经网络优化方法;⑥遗传算法;⑦模糊优化方法等。系统优化的应用领域十分广泛,如时间最短、能耗最小、线性二次型指标最优、跟踪问题、调节问题和伺服机构问题等。但是由于目前所研究实际系统的规模越来越大,约束条件增多,系统结构越来越复杂,多准则、非线性、不可微和不确定已成为这些复杂系统的基本特征,系统的数学建模难度越来越大。

图 1-1 所示为本书结构。

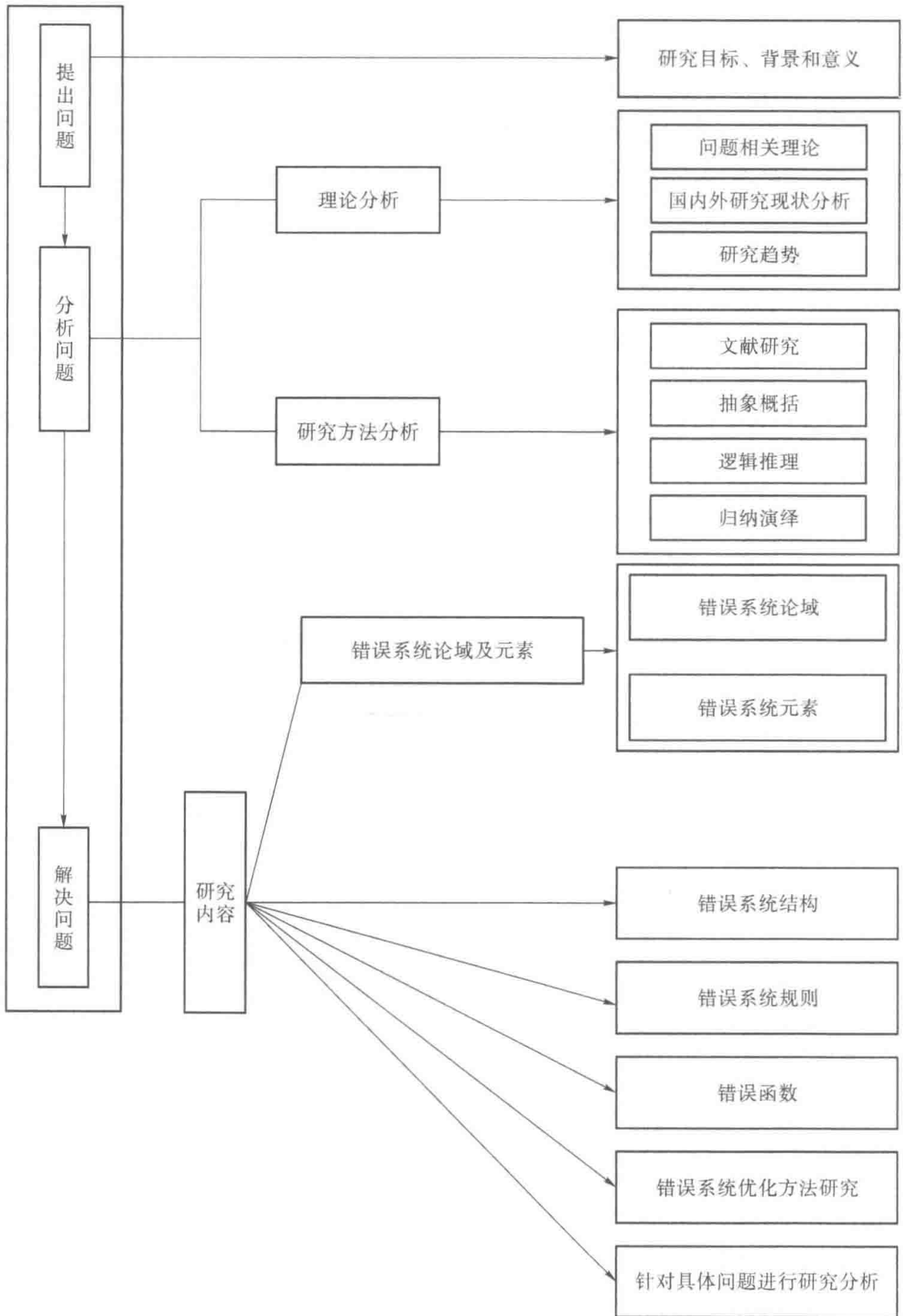
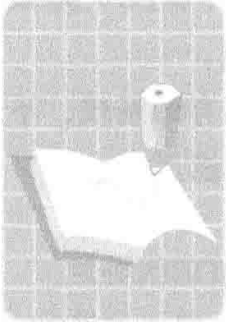


图 1-1 本书结构



第二章

基本概念

2.1 系统与错误系统

2.1.1 系统与研究系统

任何事物,不管是生物还是非生物,宇宙还是人类社会,都可以把事物整体看作一个系统。所谓一般系统,是对系统的共性作出了一定的概括,比如系统的整体性、层次性、关联性、动态性、有序性和目的性等。而一般系统论就是适用于一切系统,而不是某类系统的理论。系统论研究的内容主要是揭示一般系统的“同构性”问题,也就是各个不同性质的系统之间所表现出来的存在方式和运动方式上的一致性,也就是系统共同遵循的规律。

系统论用系统概念把握研究对象,始终把对象作为一个整体看待,并强调系统结构和功能的研究,以及系统、要素和环境三者的互相关系和变动的规律性研究。系统论在思维方式上把分析和综合辩证地结合起来,使系统方法形成如下模式:首先,从整体出发进行系统综合,得到各种可能的系统方案;其次,系统地分析各个要素及其关系,建立数学模型;最后,对数学模型进行优化选择并重新综合形成整体。

总之,人们所研究的系统都有以下条件成立:

(1) 系统具有组成系统的要素(元素)。

(2) 这些要素之间存在某种关系 R , 这种关系 R 把组成系统的要素合成为一个统一的整体,由此可以把系统定义为

$$X = X(\{y_i\}, R)$$

其中, $\{y_i\}$ 是组成该系统要素的集合, R 是某种确定的关系,这里可以称之为系统的机构,即系统 X 是由若干要素和一组确定关系组成的一个有机整体。

定义 2.1.1 在一般情况下,研究一个系统就是考虑该系统所处的环境和该系统所具有的功能以及研究系统的目的。因此,称