



国防特色学术专著·控制科学与工程

National Defense Monograph



复杂系统的脆性理论及应用

金鸿章 韦琦 郭健 等著

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防特色学术专著·控制科学与工程

复杂系统的脆性理论及应用

金鸿章 韦琦 郭健 等著

西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书主要介绍了与复杂系统脆性理论相关的研究方法和成果,其内容涵盖了与复杂系统脆性理论相关的各种定义和模型,以及该系统在相关领域的应用成果。

全书共分15章,包括复杂系统的一般理论及其相关的研究内容,复杂系统脆性理论,基于熵的原理、元胞自动机原理、突变理论和适应性 Agent 图理论对复杂系统脆性理论的研究,系统脆性的自组织临界性分析,复杂系统脆性理论在煤矿事故、非典型性肺炎、舰船电力系统、通信系统和电力系统中的应用。

本书可作为高等学校控制科学与工程类专业的研究生教材或参考书,也可供从事复杂系统研究的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂系统的脆性理论及应用/金鸿章,韦琦,郭健等著. —西安:西北工业大学出版社,2010.4

(国防特色学术专著·控制科学与工程)

ISBN 978-7-5612-2690-2

I. ①复… II. ①金…②韦…③郭… III. ①复杂性理论—脆性—研究 IV. ①TP301.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 242725 号

复杂系统的脆性理论及应用

金鸿章 韦琦 郭健 等著

责任编辑 王蓁

*

西北工业大学出版社出版发行

西安市友谊西路 127 号(710072) 发行部电话:029-88493844 传真:029-88491147

<http://www.nwpup.com> E-mail: fxb@nwpup.com

陕西向阳印务有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:515 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5612-2690-2 定价:45.00 元

前言

从人类科学发展的历史来看,近代科学对客观世界的探索经历了一个由简单到复杂,由单一、具体逐渐到整体、抽象的过程。人们研究的对象从质点、质点组、刚体到人体、社会,从机械运动、物理运动、化学运动到生物运动、思维运动、社会发展,从宏观物体到微观粒子、宇宙天体,越来越复杂。研究方法也包括了实验、理论计算、定性分析,甚至直觉判断等各种手段。

开放的复杂巨系统的概念是由我国著名科学家钱学森院士于20世纪80年代末总结和提炼出来的。钱学森、于景元、戴汝为3人署名的论文《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》在《自然杂志》1990年第1期发表,首次向世人公布了这一新的科学领域及其基本观点:对于自然界和人类社会中一些极其复杂的事物,从系统学的观点来看,可以用开放的复杂巨系统来描述。

随着科学技术和社会需求的发展,系统越来越大,功能也越来越复杂,一旦系统的某个局部发生问题,就可能导致整个系统的崩溃。例如一个地区的电力系统,由于某个电器元件的故障,导致了某个地区电力系统的崩溃,给当地造成了巨大的社会影响和经济损失。

复杂系统的脆性研究是在这样一个背景下提出的:2001年,原国防科学技术工业委员会(以下简称原国防科工委)副主任、国家航天局局长栾恩杰,根据复杂大系统经常由于一个局部的因素引起全局崩溃的问题,提出了复杂系统脆性的新思想,并认为应该对复杂系统脆性进行研究。

2002年,“复杂大系统的脆性研究”项目在原国防科工委基础研究项目基金资助下,正式批准立项研究。

由于复杂系统脆性理论是新提出的,因此,初期的研究工作是十分困难的。在金鸿章教授的组织下,集中了以博士研究生为主体的研究团队,进行了数年的研究。金鸿章教授提出了脆性理论研究的总体思想,并提出了用熵的理论和系统突变的理论进行系统脆性研究的思想。在他的指导下,韦琦博士和郭健博士分别在这两个方向上进行了研究。该阶段的研究工作奠定了复杂系统脆性理论的研究基础,为后续的研究创造了条件。

在后续的研究中,金鸿章教授带领的研究生团队在复杂系统脆性理论的充实、完善和应用方面进行了研究。这里面包括林德明博士、阎丽梅博士、薛萍博士、吴红梅博士和李琦硕士的研究工作。事实上,本著作是金鸿章教授和他的研究生团队的集体研究成果,著作内容也是他们学位论文的综合。

复杂系统的脆性研究是针对系统中的某一个行为特性的研究,它是复杂系统理论研究的一个重要组成部分。脆性是复杂系统在产生和发展过程中所固有的,

而且是隐性的,不易为人们所察觉的。人们需要通过不断的努力,从宏观和微观的角度上去认识它,以便及时地在复杂系统设计的初期,以及在复杂系统发展的过程中,评价与分析其脆性问题。只有充分地认识脆性问题,才能驾驭它,以免造成不必要的损失。

复杂系统脆性是复杂系统的一个重要属性。对复杂系统脆性的研究则是以复杂系统为研究对象,针对复杂系统崩溃行为的研究,是复杂性研究的一个重要课题。目前,在这方面已经取得了一定的成果:归纳总结了复杂系统脆性的定义及其性质;建立了包括多米诺骨牌模型,金字塔、倒金字塔模型,二维元胞自动机等几种复杂系统脆性基本模型;建立了复杂系统脆性研究的理论基础,建立了脆性联系熵的概念,并应用其对复杂系统进行分析;以突变级数法为基础,建立了对复杂系统脆性的评价方法,并初步应用到舰船电力系统、煤矿事故系统、通信系统和电力系统的脆性分析研究中。

全书共分15章。第1章主要介绍了与复杂系统脆性理论相关领域的研究现状,目前所做的研究及其研究所带来的影响。其中林德明博士对国内外的发展现状及课题组所做的工作进行了总结性的研究,而韦琦博士对复杂系统脆性理论与相关学科的关系进行了研究。第2章介绍了复杂系统的基本理论及与脆性相关的内容,为后续的研究奠定基础。郭健博士在对复杂系统的发展进行阐述的基础上,对复杂系统的特性、复杂系统的判断与描述及复杂系统的故障诊断进行了研究。第3章阐述了复杂系统脆性的基本理论,以及复杂系统脆性的含义、复杂系统脆性的相关定义、复杂系统脆性的特性、脆性模型、复杂系统脆性源等级判别的方法。其中林德明博士给出了复杂系统脆性的语言描述和数学描述,并且给出了复杂系统脆性的相关定义,又对复杂系统脆性源等级判别进行了研究。韦琦博士对复杂系统脆性模型进行了研究。郭健博士对复杂系统脆性的特性、脆性过程进行了研究。第4章主要是利用熵的理论对复杂系统脆性理论进行研究,建立了复杂系统脆性联系熵、脆性风险熵,对子系统之间的非合作博弈现象进行了详细的分析。其中韦琦博士在对熵及信息熵原理研究的基础上,对复杂系统脆性联系函数、脆性联系熵及子系统之间的非合作博弈进行了研究。李琦硕士对复杂系统的脆性风险熵进行了研究。第5章主要利用元胞自动机理论建立了复杂系统的脆性模型并进行了仿真,同时也对平均状态参数与脆性源总数、激发规模之间的关系进行了研究。阎丽梅博士利用元胞自动机理论对复杂系统的脆性模型、脆性激发方向的模拟、复杂系统的脆性源等方面进行了研究。第6章主要利用突变理论对复杂系统脆性进行了研究,通过两种不同的方法建立了脆性势函数,并进行了脆性分析,通过突变级数法建立了脆性评价指标。郭健博士利用突变理论中的脆性势函数对复杂系统进行了脆性分析,并利用突变级数评价法建立了脆性评价指标,同时又利用系统之间的演化关系对复杂系统进行了脆性分析。第7章利用适

应性 Agent 图理论建立了复杂系统脆性关系的图形表示,即脆性行为的适应性 Agent 图模型。林德明博士利用复杂适应系统理论和适应性 Agent 图的相关理论,对复杂系统脆性关系的图形表示,即脆性行为的适应性 Agent 图模型进行了研究。第 8 章主要研究的是煤矿事故脆性模型,同时对矿山系统与其他系统之间的脆性联系也进行了研究。吴红梅博士在对煤矿事故现状、煤矿事故特点与脆性特点进行比较的基础上,对煤矿事故发生的机理进行了描述,并对矿山系统之间的联系进行了研究。第 9 章对系统脆性的自组织临界性进行了研究,同时对系统脆性与自组织临界性、幂律及长程关联间的关系进行研究,建立了脆性激发的判断条件。阎丽梅博士在对自组织临界性的相关理论进行研究的基础上,对复杂系统脆性与幂律的关系、复杂系统脆性与长程关联间的关系进行了研究,并给出了系统脆性激发的判断条件。第 10 章基于图论对系统脆性模型的建立,对电力变压器的脆性源进行了研究。阎丽梅博士对系统脆性模型的建立和电力变压器的脆性源评价进行了研究。第 11 章主要是利用尖点突变对非典型性肺炎进行了分析。郭健博士在突变理论对复杂系统脆性问题进行研究的基础上,将其应用到了存在于非典型性肺炎危机事件中的脆性研究。第 12 章主要是对舰船电力系统中存在的脆性问题进行了分析,对舰船电力系统的脆性行为进行了描述,并对舰船电力系统脆性进行了适应性 Agent 图分析。林德明博士将其利用 Agent 图理论建立的脆性模型应用到了对舰船电力系统的脆性分析及研究中,并对舰船电力系统的脆性及脆性行为进行了分析。第 13 章根据所建立的煤矿系统的脆性模型,对煤矿系统的内部脆性模型和外部脆性模型分别进行了分析和研究。吴红梅博士在对煤矿系统的内部系统及外部系统进行研究的基础上,分别建立了煤矿事故系统的外部脆性模型和煤矿事故系统的脆性模型。第 14 章建立了通信系统的脆性风险模型、通信系统内部的脆性关联结构模型、通信系统的脆性底层模型和通信系统的模糊综合评价方法。薛萍博士将利用熵理论和模糊综合评判方法建立的脆性模型和脆性风险评估应用到对通信系统的脆性研究中,并给出了通信系统脆性风险评价实例。第 15 章对电力系统脆性的自组织临界性的证明、电力系统自组织临界性形成的模拟、电力系统自组织临界态的临界点、电力系统脆性源的辨识等方面进行了研究和分析。阎丽梅博士将其利用临界性相关理论及元胞自动机理论对复杂系统脆性研究的成果应用到对电力系统的脆性研究中,并对电力系统脆性激发的触发条件、脆性模型及脆性源的辨识等方面进行了研究。

荣盘祥博士在复杂系统的结构、基于元胞自动机的复杂系统脆性问题、复杂系统的脆性与系统演化分析和基于脆性联系熵的复杂系统性的研究方面做了更深入一步的研究,对脆性理论的完善做出了贡献。王辉博士后在复杂系统的流型分析和可修复复杂系统的脆性分析方面进行了研究。

笔者特别感谢栾恩杰副主任提出复杂系统脆性的思想,他的这一思想为复杂

系统脆性研究奠定了基础。在研究工作最困难的初期,栾副主任多次对研究工作提出了指导性的意见。在此对栾副主任表示最诚挚的感谢!

复杂系统脆性理论是一个崭新的理论。一个新理论的创立,不是仅靠几个人在几年的时间内能完成的。虽然我们对此进行了6年多的研究,但这还是很初步的研究工作,许多理论问题还须进行更深入的探讨。我们提出的部分理论有可能是不完善、不严密,甚至是不正确的。可喜的是目前已经引起了国内外一些学者对该项研究的注意,并在此基础上对复杂系统的脆性理论及在各个领域的应用进行了更深入、更广泛的研究。笔者希望本著作的出版能起到抛砖引玉的作用,引起更多的学者对复杂系统脆性理论研究的兴趣,进而推进该理论的研究工作,使其进一步完善。

著者

2009年3月于哈尔滨工程大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 复杂系统脆性理论研究的目的是和意义	1
1.1.1 复杂系统脆性理论研究的提出	1
1.1.2 研究的目的是和意义	2
1.2 国内外相关领域研究现状	3
1.2.1 国内外发展现状	3
1.2.2 本课题组所做的研究工作	4
1.2.3 本课题产生的影响	5
1.3 复杂系统脆性理论研究的内容	7
1.3.1 复杂系统脆性理论研究的对象	7
1.3.2 复杂系统脆性理论研究的内容和方法	8
1.4 复杂系统脆性理论与相关学科的关系	10
参考文献	11
第 2 章 复杂系统的一般理论及相关的研究内容	16
2.1 复杂系统的发展	16
2.2 复杂系统的特点及特性	17
2.2.1 复杂系统的组成特点——层次结构	17
2.2.2 复杂系统的特性	18
2.3 复杂系统的判断与描述	19
2.3.1 复杂系统的语言描述	19
2.3.2 复杂系统的定性描述	19
2.3.3 复杂系统的判断	22
2.3.4 复杂系统子系统重要度的定义	24
2.4 复杂系统的故障诊断	26
本章小结	28
参考文献	28
第 3 章 复杂系统脆性理论	30
3.1 复杂系统脆性的含义	30
3.1.1 复杂系统脆性的语言描述	30
3.1.2 复杂系统脆性的数学描述	31
3.2 复杂系统脆性的相关定义	31
3.2.1 系统的崩溃指标	31

3.2.2	脆性过程	35
3.2.3	脆性关联性	36
3.2.4	脆性基元	37
3.3	复杂系统脆性的特性	39
3.4	复杂系统脆性模型	40
3.4.1	多米诺骨牌模型	40
3.4.2	金字塔模型	40
3.4.3	倒金字塔模型	41
3.4.4	元胞自动机模型	42
3.5	复杂系统脆性源等级判别	42
3.5.1	复杂系统脆距	42
3.5.2	复杂系统脆性时间	45
3.5.3	子系统崩溃产生的后果	49
3.5.4	脆性源等级判别	50
3.5.5	食物链网中的脆性源等级分析	51
	本章小结	52
	参考文献	52
第4章	基于熵的原理对复杂系统脆性理论的研究	54
4.1	熵及信息熵原理的简介	54
4.1.1	熵概念的提出	54
4.1.2	负熵的概念	55
4.2	复杂系统脆性联系函数	56
4.3	复杂系统脆性联系熵	57
4.3.1	集对分析理论概述	57
4.3.2	集对分析理论的应用	58
4.3.3	脆性联系熵	59
4.4	脆性风险熵	60
4.4.1	脆性风险熵的概念	60
4.4.2	脆性风险熵的性质	61
4.5	子系统之间的非合作博弈	67
4.5.1	博弈论概述	67
4.5.2	博弈问题的主要概念	67
4.5.3	囚徒困境	68
4.5.4	复杂系统脆性与非合作博弈	69
4.5.5	系统演化的脆性熵变	70
4.5.6	子系统的脆性非合作博弈策略	71
4.5.7	复杂系统脆性模拟仿真	71
4.5.8	仿真结果及分析	72
	本章小结	74

参考文献	74
第 5 章 基于元胞自动机原理对复杂系统脆性理论的研究	76
5.1 元胞自动机基础理论	76
5.2 基于元胞自动机的系统的脆性研究	79
5.2.1 基于元胞自动机的系统的脆性模型	79
5.2.2 系统脆性模型的仿真	81
5.2.3 系统激发方向的模拟	81
5.2.4 系统的脆性源	83
5.2.5 平均状态参数与脆性源总数间的关系	84
5.2.6 平均状态参数与脆性平均激发规模的关系	85
5.2.7 状态参数分布与脆性激发的关系	88
本章小结	89
参考文献	90
第 6 章 基于突变理论对复杂系统脆性理论的研究	91
6.1 突变理论概述	91
6.1.1 突变理论简介	91
6.1.2 突变理论的研究对象	92
6.1.3 突变理论的应用领域	92
6.2 突变理论的基本原理	93
6.2.1 齐曼突变机构	93
6.2.2 齐曼突变机构的图形分析	95
6.2.3 突变的类型	95
6.3 基于脆性势函数对复杂系统的脆性分析	96
6.3.1 建立脆性势函数	97
6.3.2 对复杂系统的脆性分析	100
6.4 突变级数评价法	101
6.4.1 突变级数评价法原理	101
6.4.2 突变级数评价法与层次分析法的区别	104
6.4.3 建立脆性评价指标	104
6.5 基于系统之间的演化关系对复杂系统的脆性分析	105
6.5.1 两个系统之间的演化关系	106
6.5.2 一个系统与两个系统之间的演化关系	109
6.5.3 脆性分析的说明	110
6.5.4 对两个典型的非线性系统的分析	111
6.5.5 复杂系统变点的确定	113
6.5.6 复杂系统变点有无的确定	115
本章小结	115
参考文献	116

第 7 章 基于适应性 Agent 图理论对复杂系统脆性理论的研究	119
7.1 复杂适应系统理论	119
7.1.1 圣塔菲研究所与 CAS 理论	119
7.1.2 CAS 理论的核心思想	120
7.1.3 CAS 理论的基本概念	120
7.1.4 CAS 理论的主要特点	122
7.2 适应性 Agent 图	124
7.2.1 有向图的基本概念	124
7.2.2 适应性 Agent 图的基本定义	126
7.2.3 适应性 Agent 图的矩阵表示	127
7.3 适应性 Agent 图的行为特性	128
7.3.1 适应性 Agent 图的动力学模型	128
7.3.2 适应性 Agent 图的频域分析	130
7.3.3 最大 Lyapunov 指数	133
7.4 适应性 Agent 图的适应性行为	134
7.4.1 复杂适应系统的适应性	134
7.4.2 适应性 Agent 图的控制器	138
7.5 复杂系统脆性关系的图形表示	140
7.5.1 脆性行为的赋权有向图模型	140
7.5.2 脆性图的崩溃路径	143
7.6 最大崩溃路径的蚁群算法	145
7.6.1 蚁群系统算法	145
7.6.2 改进的蚁群算法	148
7.7 脆性行为的适应性 Agent 图模型	151
7.7.1 脆性行为的适应性 Agent 图	151
7.7.2 适应性 Agent 图的动态行为分析	157
7.7.3 适应性 Agent 图的负熵流	158
7.7.4 崩溃同步的充分条件	160
本章小结	161
参考文献	162
第 8 章 煤矿事故脆性模型的研究	164
8.1 煤矿事故现状的介绍	164
8.2 煤矿事故特点与脆性特点的比较	165
8.3 煤矿事故发生机理描述	166
8.3.1 煤矿主要事故分类	166
8.3.2 煤矿事故主要原因分析	167
8.4 矿山系统内部各因素之间的联系	167
8.4.1 安全成本系统	169

8.4.2 生产系统	177
8.4.3 经济系统与事故系统	178
8.5 矿山系统之间的联系	179
8.6 矿山系统与其他系统之间的脆性联系	180
本章小结	182
参考文献	182
第 9 章 系统脆性的自组织临界性分析	184
9.1 自组织临界性的提出	184
9.1.1 沙堆模型	184
9.1.2 幂律	186
9.1.3 分形	187
9.2 自组织临界性的相关理论	187
9.2.1 自组织临界性的特征	187
9.2.2 自组织临界性与其他理论之间的关系	188
9.2.3 自组织临界性应用的领域	189
9.2.4 脆性与自组织临界性的关系	190
9.2.5 系统脆性与幂律的关系	190
9.2.6 系统脆性与长程关联间的关系	192
9.2.7 系统脆性激发的判断条件	194
本章小结	195
参考文献	195
第 10 章 基于图论的系统脆性分析	197
10.1 系统脆性模型的建立	197
10.1.1 建立系统脆性模型的基础知识	197
10.1.2 系统脆性模型的建模步骤	199
10.1.3 电力系统的脆性建模与分析	200
10.1.4 系统脆性传播的模式	204
10.2 电力变压器的脆性源评价	205
10.2.1 系统脆性源的评价	205
10.2.2 电力变压器的脆性源评价的建立	207
本章小结	210
参考文献	210
第 11 章 复杂系统脆性理论在非典型性肺炎中的应用	212
11.1 动态分维数法描述 SARS 发展过程	212
11.1.1 动态分维数法的原理	212
11.1.2 仿真结果曲线	213
11.2 基于尖点突变模型对 SARS 的脆性分析	216

11.2.1	对 SARS 的直观分析	216
11.2.2	根据滑动 t 检验法确定 SARS 危机事件突变点的有无	217
11.2.3	新增人数的趋势变化	219
11.3	根据多项式的拟合结果对 SARS 的脆性分析	221
11.3.1	SARS 数据的多项式拟合结果	221
11.3.2	基于多项式拟合结果对 SARS 的脆性分析	223
	本章小结	224
	参考文献	224
第 12 章	复杂系统脆性理论在舰船电力系统中的应用	226
12.1	舰船电力系统的脆性	226
12.1.1	舰船电力系统的脆性	226
12.1.2	舰船电力负载的特点	227
12.1.3	舰船电力系统的模型	228
12.1.4	舰船电力系统脆性行为发生的条件	232
12.2	舰船电力系统的脆性行为	233
12.2.1	故障规模与频率的幂律关系	233
12.2.2	脆性行为的动态模型	234
12.3	舰船电力系统脆性的适应性 Agent 图分析	238
12.3.1	网络传输模型	238
12.3.2	舰船电力系统脆性的适应性 Agent 图	239
12.3.3	舰船电力系统脆性分析	241
	本章小结	245
	参考文献	245
第 13 章	复杂系统脆性理论在煤矿系统中的应用	247
13.1	煤矿事故系统的内部系统	247
13.1.1	管理者的层次水平	248
13.1.2	人才结构	249
13.1.3	设备结构	251
13.1.4	技术水平	252
13.2	因素演化	252
13.3	煤矿事故系统的内部脆性模型	253
13.4	煤矿事故系统的外部系统	259
13.4.1	煤炭市场与煤矿事故系统的脆性联系	259
13.4.2	国家政策与煤矿事故系统的脆性联系	260
13.4.3	当地经济与煤矿事故系统的脆性联系	261
13.4.4	煤炭相关产业与煤矿事故系统的脆性联系	263
13.5	各个量的演化情况	263
13.6	煤矿事故系统的外部脆性模型	265

13.7 煤矿事故系统的脆性模型	267
本章小结	268
参考文献	268
第14章 复杂系统脆性理论在通信系统中的应用	270
14.1 通信系统脆性风险模型的研究	270
14.1.1 通信系统脆性风险模型	270
14.1.2 通信系统脆性风险熵	271
14.1.3 脆性风险熵的性质	273
14.2 通信系统内部的脆性关联结构模型	278
14.3 通信系统脆性关联结构的若干性质	281
14.4 通信系统的脆性底层模型	284
14.5 通信系统的模糊综合评判方法	286
14.5.1 建立模糊集合	286
14.5.2 建立隶属度矩阵	288
14.5.3 采用层次分析法建立权重集	289
14.5.4 各风险因素崩溃系数的确定	293
14.5.5 系统脆性风险评估	293
14.6 通信系统脆性风险评价实例	293
14.6.1 通信系统脆性风险层次结构	294
14.6.2 基于可用性的系统脆性风险评价	296
14.6.3 基于可靠性的系统脆性风险评价	298
本章小结	300
参考文献	300
第15章 复杂系统脆性理论在电力系统中的应用	302
15.1 概述	302
15.1.1 电力系统的脆性	302
15.1.2 电力系统脆性激发的触发条件	303
15.2 电力系统脆性的自组织临界性证明及解释	303
15.2.1 电力系统大停电规模与频率的幂律关系	304
15.2.2 电力系统大停电规模分布的分形分维特征	305
15.2.3 检测时间序列的长时间相关性	306
15.2.4 电力系统自组织临界现象的解释	307
15.3 电力系统自组织临界性形成的模拟	309
15.3.1 慢动态	309
15.3.2 连锁事故的快动态	311
15.4 电力系统自组织临界态的临界点	313
15.4.1 电力系统传输模型	314
15.4.2 电力系统临界点的分析	315

15.5	基于元胞自动机的电力系统脆性模型及仿真	319
15.5.1	基于元胞自动机的电力系统脆性模型	319
15.5.2	电力系统脆性的仿真	321
15.6	电力系统脆性源的辨识	324
15.6.1	潮流计算方法	325
15.6.2	三母线电力系统的脆性源辨识	326
	本章小结	328
	参考文献	328

第1章 绪 论

1.1 复杂系统脆性理论研究的目的是意义

1.1.1 复杂系统脆性理论研究的提出

从20世纪40年代到60年代,系统论、信息论、控制论、运筹学、系统工程等理论和方法,先后是为了解决以往科学技术难以解决的复杂系统的问题而被提出来的^[1-3]。关于复杂性的探索,真正开始于20世纪70年代产生的自组织理论。普利高津、哈肯、艾根认为复杂性是物质世界自组织运动的产物,他们坚持以自组织为基础,揭示复杂性的本质和来源^[4-6]。

开放的复杂巨系统理论,是由钱学森院士等人发起研究的系统科学研究新领域^[7]。中国科学家自1980年提出建立系统学的任务以来,20多年过去了,采用从定性到定量的综合集成方法,对复杂系统进行了一定的研究工作。目前普遍认为,复杂系统具有复杂性、开放性、巨量性、进化涌现性、自组织性、层次性、非线性^[8-11]等特点。但是,复杂系统难免要受到来自于系统外部和内部的干扰,这些干扰有大有小,有确定的也有不确定的,有的是可以预测的,有的则是无法预测的。另外,任何事物从产生开始就不是完美的,由于复杂系统自身的硬件与软件存在固有的缺陷,一个极小的干扰就可能使其突然崩溃。在由大量的不同层次的子系统组成的复杂系统内,由于一个子系统崩溃而产生的连锁崩溃效应,最终可能会使整个复杂系统坍塌。

随着科学技术日新月异的发展,我们身边的系统变得越来越复杂、规模越来越庞大、外部环境越来越不确定,因此,针对复杂系统的研究成为系统科学领域的焦点,尤其是复杂系统的安全性研究显得尤为重要。在复杂系统中,往往一个小的扰动或失误,就可能导致整个系统的崩溃,造成不可估量的损失。

1986年1月,美国的“挑战者号”航天飞机在发射73 s后发生爆炸,包括两名女宇航员在内的7名优秀的宇航员全部罹难。这次事故给美国的航天事业造成了沉重打击,在以后的3年中航天飞机都停止飞行。据调查这一事故的总统委员会的报告,事故的原因是:当时佛罗里达州的气温比较低,造成推进器两个底层部件之间的O型密封环膨胀效果减弱,使得密封失效,失效的密封环使炽热的气体泄漏,点燃了外部燃料罐的燃料,进而酿成了这一幕惨剧。2000年8月,被称为“航母终结者”的俄罗斯核潜艇“库斯克号”在一次军事演习中发生爆炸,舰上的118名官兵全部遇难。这次事故引起了人们广泛的关注和猜测,事故的原因也是众说纷纭。2002年俄罗斯正式公布了事故的调查结果:由于易燃物质——过氧化氢——从鱼雷上一个微小的裂缝泄露后与铁锈接触,造成鱼雷发射装置发生爆炸,爆炸引起潜艇隔仓内温度急剧上升至2 000~3 000℃的高温,进而导致整个潜艇爆炸。

通过对以上两起典型的恶性事故的研究,可以发现它们有一个共同点,就是事故都是由于

系统中的一个子系统的某一个部件出现问题,而使某一子系统崩溃,最后导致整个系统崩溃。复杂系统的这一行为特性称为脆性。正所谓千里之堤,溃于蚁穴,像这样的例子在我们周围屡见不鲜。例如一起偶然的交通事故,就可能造成整个北京市的交通堵得一塌糊涂,进而使整个交通系统崩溃。又如在北美曾经发生的大规模停电就是由一个支路的故障引起的。在国防领域,这样的事故也是屡有发生。2003年5月,我国的一艘常规潜艇在训练中失事,造成70名官兵不幸遇难;2007年3月,英国“不倦”号核潜艇在军演中失事。因此,对复杂系统尤其是大型武器装备系统的安全性的研究,引起了原国防科工委的重视。

复杂系统的脆性研究正是在这样一个背景下提出的。2001年9月,前国家航天局栾恩杰局长在一次研讨会上,根据国防系统的特点首次提出了复杂系统脆性(brittleness)的研究任务。2002年,“复杂大系统的脆性研究项目”在原国防科工委基础研究项目基金的资助下正式批准立项,作为针对大型武器装备系统、国防系统等复杂系统的研究课题,由哈尔滨工程大学自动化学院承担。目前,该项目已经通过前国防科工委的鉴定,达到国际先进水平。

脆性研究是针对系统中的某一个行为特性的研究,它是复杂系统理论研究的一个重要组成部分。脆性是复杂系统在产生和发展过程中所固有的,而且是隐性的,不易为人们所察觉的^[12]。人们需要通过不断的努力,从宏观和微观的角度上去认识它,以便及时地在复杂系统设计的初期,以及在复杂系统发展的过程中,评价与分析其脆性问题。只有充分地认识脆性问题,才能驾驭它,避免造成不必要的损失。

1.1.2 研究的目的是意义

(1)为国民经济建设稳定健康发展提供指导意见

复杂系统的脆性概念及其相关理论方法的建立,为国民经济建设的决策者提供了理论上的指导,从宏观战略角度指明了各种复杂系统未来的发展方向。随着社会经济的发展,人们为了追求舒适的生活,各个复杂系统的规模越来越大,复杂程度越来越高。一旦复杂系统中的一个或几个子系统发生崩溃而不能正常的工作,整个复杂系统便可能会丧失了它应有的功能而崩溃。

例如,以一个城市的集中燃气供应系统为例,当其中的关键环节发生故障时,可能会影响整个系统用户的燃气供应。伴随着燃气供应系统的崩溃所出现的连锁反应,反而降低了人们的生活质量。

因此,未来的国家建设必须考虑复杂系统的脆性问题,以保证国民经济建设稳定、健康、和谐地发展。

(2)为国防武器的装备提供指导意见

国防武器装备的建设关系着国家的安定和稳定。例如,在复杂系统脆性理论的基础上,设计武器装备不但要考虑该种装备在一定打击下是否还具备正常工作的能力,而且还要分析此装备一旦崩溃会对其他装备的影响。

此外,在国防武器的设计、采办、配置等各方面,需要各个系统协同完成,任何一个环节出现问题都会影响全局。

(3)提高国家承受解决突发事件的能力

突发事件,是人们对出乎意料发生的事件的总称。通常,突发事件包括各种突发的传染性