

# A 复杂系统基于 Agent 的建模与仿真

■ 廖守亿 王仕成 张金生 著

*Agent-based Modeling and Simulation  
for Complex Systems*



國防工業出版社  
National Defense Industry Press

# 复杂系统基于 Agent 的 建模与仿真

Agent - based Modeling and Simulation  
for Complex Systems

廖守亿 王仕成 张金生 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

复杂系统基于 Agent 的建模与仿真/廖守亿,王仕成,  
张金生著. —北京:国防工业出版社,2015.2

ISBN 978-7-118-09892-1

I. ①复… II. ①廖… ②王… ③张… III. ①软件工具-  
应用-系统建模②软件工具-应用-系统仿真 IV.  
①N945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 023291 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 236 千字  
2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 46.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777  
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776  
发行业务:(010)88540717

# 前 言

复杂性科学是 21 世纪的科学,复杂系统及其研究方法是近代以来科学方法论的又一场革命,将为人们提供全新的了解自然界奥秘的手段。如何认识复杂系统和复杂性?复杂性是如何引起的?如何对复杂系统进行分析研究与控制?这些问题都是近 20 年来多个学科领域研究的热点。复杂系统结构复杂,内部含有大量交互成分,并且交互过程频繁,难以用解析法、数值分析方法或其他形式化、半形式化方法来解决,系统仿真方法是目前最有效的解决途径。但同时国内外在自然、社会、经济、政治、军事、管理、生物以及工程(特别是航天工程)等领域复杂系统的研究表明,传统的建模方法不能很好地刻画复杂系统,而采用基于 Agent 的建模与仿真方法(Agent-based Modeling and Simulation, ABMS),就能够将复杂系统中个体的微观行为与系统的整体属性——宏观“涌现性”有机地结合起来,已被证明是一种有效的建模方式,是复杂系统分析研究的方法论。

目前,ABMS 方法学是最具有活力、有所突破的仿真方法学,已经成为当前系统仿真领域的研究热点和研究方向,成为复杂系统建模与仿真的方法论。复杂系统由大量的相互交互的个体组成,个体之间的交互和个体的行为是系统之所以复杂的原因。ABMS 方法学将复杂系统中的组成实体按照 Agent 的思想/方式来建模,并通过自底向上的方式逐步构建整个系统,通过对 Agent 的自主行为及其之间的相互交互关系、社会性的刻画与描述,构建微观到宏观的联系进而得到整个系统的行为表现。这种建模仿真技术,在建模的灵活性、层次性和直观性方面较传统的建模技术都有明显的优势,很适于对诸如生态系统、经济系统以及人类组织等系统的建模与仿真。因此,ABMS 方法通过从个体到整体、从微观到宏观来研究复杂系统的研究思路,克服了复杂系统难于自上而下建立传统数学模型的困难,有利于研究复杂系统具有的涌现性、非线性和复杂关联性等特点,具有明显的优势。

ABMS 方法是一种自顶向下分析、自底向上综合的有效建模与仿真方法,它继承了面向对象建模的一般形式和所有优点,并且由于建模基本元素具有更高的主动性、自治性和智能性,使得这种建模方法能够实现更加复杂、传统方法无法完成的仿真建模分析,如对人类的学习、合作、协商等行为的仿真,对自然、生态中的演化行为的仿真等。

然而,ABMS 方法虽然在众多领域进行了广泛的研究与应用,但对 ABMS 方法的内涵及研究内容尚没有形成统一的认识,对于 ABMS 的研究,国外的研究带有明显的生物学、经济学和社会学的痕迹,国内的研究则大多是基于具体项目的研究,在建模与仿真的方法论与系统性、仿真的可重用性与互操作性、建模仿真工具等方面考虑得不多,或不够系统全面,可以说目前尚处于“百家争鸣”的状态。

本书内容是在作者多年从事复杂系统建模与仿真研究的基础上撰写而成,试图提出基于 Agent 的建模与仿真的通用研究框架,规范研究内容,使 ABMS 的研究具有系统性,真正使 ABMS 成为复杂系统研究的方法论,并试图利用 ABMS 研究卫星系统及空间对抗的仿真。全书共分 7 章。第 1 章为绪论,第 2 章为复杂系统理论讨论,第 3 章为基于 Agent 的建模与仿真方法学,第 4 章为基于 Agent 的模型框架描述,第 5 章为基于 Agent 的行为建模,第 6 章为基于 Agent 的建模与分布仿真;第 7 章为基于 Agent 的卫星系统建模与仿真。

作者要感谢互联网上所有无私共享研究成果的科研工作者,他们提供的资料和研究成果以及相互之间的交流,使作者能够方便地了解到所有相关研究领域的最新进展,为研究的顺利开展提供了坚实的保障。

本书适合从事复杂系统建模与仿真、卫星系统仿真、军事对抗等相关专业的科技人员参考,也可作为高等院校相关专业研究生教材或参考书。

由于水平有限,对一些问题的认识还有片面性,况且有些理论方法和技术尚处于发展过程之中,难免存在疏漏和不当之处,恳请同行专家和广大读者批评指正。

廖守亿

2014 年 10 月于西安

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 背景 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 应用背景 .....	2
1.2 相关研究领域概述 .....	4
1.2.1 复杂系统与复杂性 .....	4
1.2.2 系统建模与仿真 .....	4
1.2.3 基于 Agent 的建模与仿真方法 .....	9
1.2.4 卫星系统建模与仿真 .....	17
第 2 章 复杂系统理论讨论 .....	21
2.1 复杂系统与复杂性 .....	21
2.1.1 现代系统科学、非线性科学与复杂性科学 .....	21
2.1.2 复杂系统与复杂性 .....	29
2.1.3 复杂系统理论的综合分析 .....	35
2.2 几种典型的复杂系统理论 .....	37
2.2.1 开放复杂巨系统理论 .....	38
2.2.2 复杂适应系统理论 .....	40
2.2.3 复杂工程系统理论 .....	47
2.2.4 其他关于复杂系统与复杂性研究 .....	51
2.2.5 复杂系统与复杂性研究思路 .....	51
2.3 空间系统复杂性分析 .....	52
2.3.1 空间系统复杂性 .....	52
2.3.2 空间系统复杂性研究思路 .....	54
2.4 复杂系统建模与仿真 .....	55
2.4.1 涌现 .....	55
2.4.2 复杂系统建模与仿真必要性 .....	56

2.4.3	复杂系统建模与仿真研究方向 .....	57
2.4.4	复杂系统分布仿真 .....	58
<b>第3章</b>	<b>基于 Agent 的建模与仿真方法学 .....</b>	<b>60</b>
3.1	Agent 和基于 Agent 的建模与仿真 .....	60
3.1.1	Agent .....	60
3.1.2	Agent、多 Agent 系统和建模与仿真技术的结合 .....	64
3.1.3	ABMS 的主要概念与思想 .....	64
3.1.4	ABMS 的特点 .....	65
3.1.5	ABMS 的应用范围 .....	66
3.1.6	ABMS 中 Agent 的概念与结构 .....	67
3.2	ABMS 概念化框架 .....	68
3.2.1	Agent 模型的建立 .....	69
3.2.2	基于 Agent 的建模与仿真综合环境 .....	70
3.2.3	基于 Agent 的模型校核与确认 .....	70
3.3	基于 Agent 的模型校核与确认讨论 .....	70
3.3.1	基于 Agent 的模型校核与确认方法 .....	71
3.3.2	基于 Agent 的模型有效性确认方法探讨 .....	73
3.4	复杂系统及 ABMS 的形式化描述 .....	74
3.4.1	消息 .....	74
3.4.2	元 Agent .....	74
3.4.3	组合 Agent .....	76
3.4.4	复杂系统及基于 Agent 的仿真形式化描述 .....	77
3.5	基于 Agent 的建模与仿真研究步骤 .....	78
3.5.1	目标系统复杂性特征与仿真需求分析 .....	78
3.5.2	合理选择抽象层次 .....	78
3.5.3	消息流分析 .....	81
3.5.4	对 Agent 进行建模 .....	81
3.5.5	分布 Agent .....	81
<b>第4章</b>	<b>基于 Agent 的模型框架描述 .....</b>	<b>83</b>
4.1	基于 Agent 的模型框架 .....	83
4.1.1	形式化的必要性 .....	83
4.1.2	Z 规范语言 .....	84

4.1.3	基于 Agent 的模型框架 .....	84
4.2	基于 Agent 的模型形式化描述 .....	85
4.2.1	实体与环境 .....	85
4.2.2	对象 .....	86
4.2.3	Agent .....	88
4.2.4	基于 Agent 的建模 .....	90
4.3	Agent 模型实现的一些细节 .....	93
4.3.1	自治性的实现 .....	93
4.3.2	反应性的实现 .....	94
4.3.3	社会性的实现 .....	94
<b>第 5 章</b>	<b>基于 Agent 的行为建模 .....</b>	<b>95</b>
5.1	行为动画与行为模型 .....	95
5.1.1	行为动画 .....	95
5.1.2	行为模型 .....	96
5.1.3	行为分类 .....	97
5.1.4	行为建模的要求 .....	97
5.2	Agent 的内部状态 .....	98
5.3	基于 Agent 的行为建模 .....	98
5.3.1	行为定义 .....	99
5.3.2	行为约束定义与描述 .....	100
5.3.3	基于 Agent 的行为模型 .....	101
5.4	基于 Agent 的行为抽象 .....	102
5.4.1	一阶时态逻辑 .....	103
5.4.2	行为聚合 .....	103
5.4.3	行为分解 .....	104
5.4.4	行为特化 .....	106
5.4.5	行为泛化 .....	107
5.4.6	基于 Agent 的行为模型综合 .....	107
5.5	基于 Agent 的行为模型描述 .....	107
5.5.1	目标 .....	108
5.5.2	行为 .....	108
5.5.3	组件行为 .....	109
5.6	预警卫星预警行为建模 .....	110



5.6.1	空间预警系统	110
5.6.2	预警卫星的工作过程	110
5.6.3	预警卫星预警行为建模	111
<b>第6章</b>	<b>基于 Agent 的建模与分布仿真</b>	<b>115</b>
6.1	基于 Agent 的建模与分布仿真软件框架	115
6.1.1	模式	115
6.1.2	软件设计模式	115
6.1.3	ABMS 设计模式	116
6.1.4	基于 Agent 的建模与分布仿真软件框架	117
6.1.5	仿真基础服务 Agent 模型	119
6.1.6	Agent 仿真模型	121
6.2	基于 Agent 的分布仿真控制结构	124
6.3	基于 Agent 的分布仿真的时间同步	125
6.3.1	逻辑进程 LP 范式	125
6.3.2	时间管理服务	132
6.3.3	基于 Agent 的分布仿真中的时间同步机制	132
6.4	基于 Agent 的分布仿真中的通信	133
6.4.1	Agent 的环境	133
6.4.2	Agent 通信语言	137
6.4.3	通信协议	143
6.4.4	通信系统结构	144
6.4.5	基于 XML 的通信框架	147
6.4.6	通信系统的特点	150
6.5	基于 Agent 的分布仿真环境实现	151
6.5.1	系统设计原则	151
6.5.2	主要的类设计	153
6.5.3	应用开发举例	157
<b>第7章</b>	<b>基于 Agent 的卫星系统建模与仿真</b>	<b>161</b>
7.1	卫星系统的构成形态	161
7.1.1	单卫星系统	161
7.1.2	多卫星系统	162
7.2	基于 Agent 的多卫星系统建模与仿真	162

7.2.1	基于 Agent 的多卫星系统建模 .....	163
7.2.2	基于 Agent 的多卫星系统模型分类 .....	163
7.2.3	基于 Agent 的多卫星系统仿真 .....	171
7.2.4	运行实例 .....	173
7.3	基于 Agent 的单卫星系统建模与仿真 .....	175
7.3.1	单卫星系统的分系统 Agent 分解 .....	175
7.3.2	单卫星系统的分系统级 Agent 的配置与仿真任务 .....	176
7.3.3	卫星 GN&C 分系统建模与仿真及软件实现 .....	177
7.3.4	通信有效载荷 & 分系统建模与仿真及软件实现 .....	186
附录 Z 语言的符号规范表 .....		193
参考文献 .....		194

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1.1 Background .....	1
1.1.1 Research Background .....	1
1.1.2 Application Background .....	2
1.2 Introduction for Research Domains .....	4
1.2.1 Complex Systems and Complexity .....	4
1.2.2 System Modeling and Simulation .....	4
1.2.3 Agent – based Modeling and Simulation .....	9
1.2.4 Modeling and Simulation for Satellite System .....	17
<b>Chapter 2 Complex Systems Theories Discussion</b> .....	21
2.1 Complex Systems and Complexity .....	21
2.1.1 Modern System Science, Nonlinearity Science and Complexity Science .....	21
2.1.2 Complex Systems and Complexity .....	29
2.1.3 Comprehensive Analysis of Complex Systems Theories .....	35
2.2 Typical Complex Systems Theories .....	37
2.2.1 Open Complex Giant Systems Theory .....	38
2.2.2 Complex Adaptive Systems Theory .....	40
2.2.3 Complex Engineered Systems Theory .....	47
2.2.4 Other Researches on Complex Systems and Complexity .....	51
2.2.5 Research Routine for Complex Systems and Complexity .....	51
2.3 Complexity Analysis for Space System .....	52
2.3.1 Complexity of Space System .....	52
2.3.2 Complexity Research Routine for Space System .....	54
2.4 Modeling and Simulation for Complex Systems .....	55
2.4.1 Emergence .....	55

2. 4. 2	The Necessity of M&S for Complex Systems	56
2. 4. 3	The Hot Topic of M&S for Complex Systems	57
2. 4. 4	Distributed Simulation for Complex Systems	58

### **Chapter 3 Methodology of Agent – based Modeling and**

	<b>Simulation</b>	60
3. 1	Agent, Agent – based Modeling and Simulation	60
3. 1. 1	Agent	60
3. 1. 2	Agent, Multi – Agent, Modeling and Simulation	64
3. 1. 3	Main Ideas of Agent – based Modeling and Simulation	64
3. 1. 4	Characteristic of Agent – based Modeling and Simulation	65
3. 1. 5	Application Domains of Agent – based Modeling and Simulation	66
3. 1. 6	Concept and Structure of Agent	67
3. 2	The Concept Framework for Agent – based Modeling and Simulation	68
3. 2. 1	Agent Model	69
3. 2. 2	Synthetically Environment for Agent – based Modeling and Simulation	70
3. 2. 3	Verification and Validation for Agent – based Models	70
3. 3	Discuss on Verification and Validation for Agent – based Models	70
3. 3. 1	Verification and Validation Method of Agent – based Models	71
3. 3. 2	Discuss on Validation Method for Agent – based Models	73
3. 4	Formal Description of Complex System and ABMS	74
3. 4. 1	Message	74
3. 4. 2	Meta – Agent	74
3. 4. 3	Aggregation – Agent	76
3. 4. 4	Formal Description of Complex System and Agent – based Simulation	77
3. 5	Research Procedure of ABMS	78
3. 5. 1	Analysis on System Complexity and Simulation Requirement	78
3. 5. 2	Levels of Abstraction Selection	78

3. 5. 3	Analysis on Message Flow .....	81
3. 5. 4	Models of Agent .....	81
3. 5. 5	Distributed Agent .....	81
<b>Chapter 4</b>	<b>Description of Agent – based Models Framework .....</b>	<b>83</b>
4. 1	Agent – based Models Framework .....	83
4. 1. 1	The Necessity of Formal Description .....	83
4. 1. 2	Z Formal Language .....	84
4. 1. 3	Agent – based Models Framework .....	84
4. 2	Formal Description of Agent – based Models .....	85
4. 2. 1	Entity and Environment .....	85
4. 2. 2	Object .....	86
4. 2. 3	Agent .....	88
4. 2. 4	Agent – based Modeling .....	90
4. 3	Implementation Details of Agent Models .....	93
4. 3. 1	Autonomous .....	93
4. 3. 2	Reactiveness .....	94
4. 3. 3	Sociality .....	94
<b>Chapter 5</b>	<b>Agent – based Behavior Modeling .....</b>	<b>95</b>
5. 1	Behavioral Animation and Behavioral Model .....	95
5. 1. 1	Behavioral Animation .....	95
5. 1. 2	Behavioral Model .....	96
5. 1. 3	Classification of Behavior .....	97
5. 1. 4	Requirements of Behavior Modeling .....	97
5. 2	Internal Status of Agent .....	98
5. 3	Agent – based Behavior Modeling .....	98
5. 3. 1	Definition of Behavior .....	99
5. 3. 2	Definition and Description of Behavior Constraints .....	100
5. 3. 3	Agent – based Behavior Models .....	101
5. 4	Agent – based Behavior Abstraction .....	102
5. 4. 1	First – order Temporal Logic .....	103
5. 4. 2	Behavior Aggregation .....	103
5. 4. 3	Behavior Decomposition .....	104

5. 4. 4	Behavior Specialization .....	106
5. 4. 5	Behavior Generalization .....	107
5. 4. 6	Composition of Agent – based Behavior Models .....	107
5. 5	Agent – based Behavior Model Representation .....	107
5. 5. 1	Target .....	108
5. 5. 2	Behavior .....	108
5. 5. 3	Component Behavior .....	109
5. 6	Early Warning Behavior Modeling of Early Warning Satellite .....	110
5. 6. 1	Space Early Warning System .....	110
5. 6. 2	Work Procedure of Early Warning Satellite .....	110
5. 6. 3	Early Warning Behavior Modeling .....	111
<b>Chapter 6</b>	<b>Agent – based Modeling and Distributed Simulation .....</b>	<b>115</b>
6. 1	The Software Architecture of Agent – based Modeling and Distributed Simulation .....	115
6. 1. 1	Pattern .....	115
6. 1. 2	Software Design Pattern .....	115
6. 1. 3	Agent – based Modeling and Simulation Design Pattern .....	116
6. 1. 4	The Software Architecture of Agent – based Modeling and Distributed Simulation .....	117
6. 1. 5	Agent Model of Simulation Basis Service .....	119
6. 1. 6	Simulation Agent Model .....	121
6. 2	The Control Architecture of Agent – based Distributed Simulation .....	124
6. 3	Clock Synchronization of Agent – based Distributed Simulation .....	125
6. 3. 1	Logical Process .....	125
6. 3. 2	Time Management Service .....	132
6. 3. 3	The Clock Synchronization Mechanism of Agent – based Distributed Simulation .....	132
6. 4	Communication in Agent – based Distributed Simulation .....	133
6. 4. 1	The Environment of Agent .....	133
6. 4. 2	The Communication Language between Agents .....	137
6. 4. 3	Communication Protocol .....	143

6. 4. 4	Architecture of Communication System .....	144
6. 4. 5	The XML –based Framework of Communication System .....	147
6. 4. 6	The Characteristic of Communication System .....	150
6. 5	The Implementation of Agent –based Distributed Simulation Environment .....	151
6. 5. 1	The Principles of System Design .....	151
6. 5. 2	The Main Classes .....	153
6. 5. 3	The Example of Application Developing .....	157

**Chapter7 Agent –based Modeling and Simulation for Satellite Systems .....** 161

7. 1	Satellite Systems .....	161
7. 1. 1	Single Satellite System .....	161
7. 1. 2	Multi –satellite System .....	162
7. 2	Agent –based Modeling and Simulation for Multi –satellite Systems .....	162
7. 2. 1	Agent –based Modeling for Multi –satellite Systems .....	163
7. 2. 2	Agent –based Models for Multi –satellite Systems .....	163
7. 2. 3	Agent –based Simulation for Multi –satellite Systems .....	171
7. 2. 4	An Example .....	173
7. 3	Agent –based Modeling and Simulation for Single Satellite .....	175
7. 3. 1	Agent Models of Branch System of Satellite .....	175
7. 3. 2	Configuration of Agent Models of Branch System of Satellite .....	176
7. 3. 3	Modeling and Simulation of GN&C Branch System of Satellite and Software .....	177
7. 3. 4	Modeling and Simulation of Communication Payload of Satellite and Software .....	186

**Symbol Specification Table of Z Language .....** 193

**References .....** 194

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 背 景

### 1.1.1 研究背景

首先让我们试着回答以下几个问题:

为什么苏联政权以及它对东欧的统治会在 1989 年的几个月内轰然坍塌?为什么冷战结束,世界反倒硝烟四起?为何中美关系能够长期维持既对抗又共处的局面?

人类是如何组织产生人类社会的?鸟类是如何聚集成群的?蚂蚁是如何形成王国的?

为什么纽约股票市场会在 1987 年 10 月的一个星期一这一天暴跌五百多个百分点?为什么在 1998 年爆发了亚洲经济风暴,进而导致全球经济波动?

生命是什么?难道生命是一种特殊的碳水化合物?生命是如何起源的?如果不是上帝创造的话,那原始的液态氨基酸和其他简单分子是如何在 40 亿年前转化为最初的活细胞的?

大脑是什么?感情、思想、目的和意识这样不可言喻的特征是如何产生的?眼睛这样复杂精妙的结构是单纯的随机进化和自然选择的结果吗?

.....

这些问题有唯一一个共同点,那就是,它们都有一个共同的答案:“无人知晓”,至少在当前是一切常规科学所无法解释的。它们也许看上去甚至不是什么科学问题,然而这些系统都同属一种系统,即复杂系统<sup>[1]</sup>。

认识和控制这些复杂系统,对于整个社会、经济、军事、生态等都都有着重要的意义。复杂系统结构复杂,内部含有大量交互成分,并且交互过程频繁,难以用解析法、数值分析方法或其他形式化、半形式化方法来解决,仿真方法是目前最有效的解决途径。

仿真的意义在于模型的有效性,因此用仿真的方法来研究复杂系统,首要问题是对研究的目标对象建立合理的仿真模型。当前国内外的研究表明,已有的基于还原论的建模方法不能很好地刻画复杂系统<sup>[2-8]</sup>,或者说在研究复杂系统



时这些建模方法是失效的。而采用基于 Agent 的建模与仿真 (Agent - based Modeling and Simulation, ABMS) 方法, 将复杂系统中的交互个体用 Agent 来建模, 并对个体之间以及个体与环境之间的交互进行建模, 就能够将复杂系统中个体的微观行为与系统的整体属性——宏观“涌现性”有机地结合起来, 已被证明是一种有效的建模方式<sup>[9-12]</sup>。

仿真必须通过在计算机上执行模型来实现, 才能达到对目标系统的理解与控制的目的。由于复杂系统的固有特点, 传统的冯·诺依曼 (Von Neumann) 结构的顺序机难以胜任复杂系统仿真的要求<sup>[13]</sup>, 必须研究复杂系统仿真模型的并行性, 在分布或并行环境中执行, 这就是并行与分布仿真。当前计算机硬件以及计算机网络的快速发展为此提供了计算资源, 同时并行分布仿真算法的大量研究成果, 使得复杂系统的分布仿真成为可能。

因此, 研究基于 Agent 的建模与仿真方法具有重要的理论与现实意义。

## 1.1.2 应用背景

传统基于 Agent 的建模与仿真方法带有明显的生物学、经济学痕迹, 其主要应用领域是人工生命、人工社会等, 本书的目的是将该方法应用到空间对抗与卫星系统建模与仿真领域。

### 1.1.2.1 空间对抗

现代航天技术的发展, 终将使外层空间成为继陆、海、空的第四战场。充分利用外层空间资源为战场提供通信、导航定位、预警和侦察监视等服务, 正在成为当前军事行动的基础。正如航空技术的发展导致空战一样, 航天技术的发展也必然导致空间作战 (也称天战)。1991 年的海湾战争是人类战争史上第一次大规模使用军用航天系统的局部战争。在这场战争中, 以美国为首的多国部队投入了 70 多颗卫星, 组成了以空间侦察监视系统、空间通信保障系统、空间导航定位系统、空间气象保障系统四个直接用于作战支持的航天系统。通过这场战争, 人们已经认识到航天系统对于作战的支持是联合作战行动中关键的、必不可少的因素, 对于保障战略和战术行动的成功和取得战争的胜利具有重要的作用。

以海湾战争为标志, 空间作战这一崭新的战争形态已登上了人类战争舞台。当然, 海湾战争这一大规模使用航天系统进行作战支援的战争, 虽被人们称为战争史上的第一场天战, 但这仅仅是初级阶段的天战。随之将出现以空间控制与反控制、空间打击与反打击、空间支持与反支持为主要内容, 以天一天对抗、天一地对抗为主要形态的天战高级阶段。高级阶段的天战不仅对陆战、海战、空战提供更有效更紧密的作战支持, 而且会直接进行空间打击与格斗, 实现空间对抗。