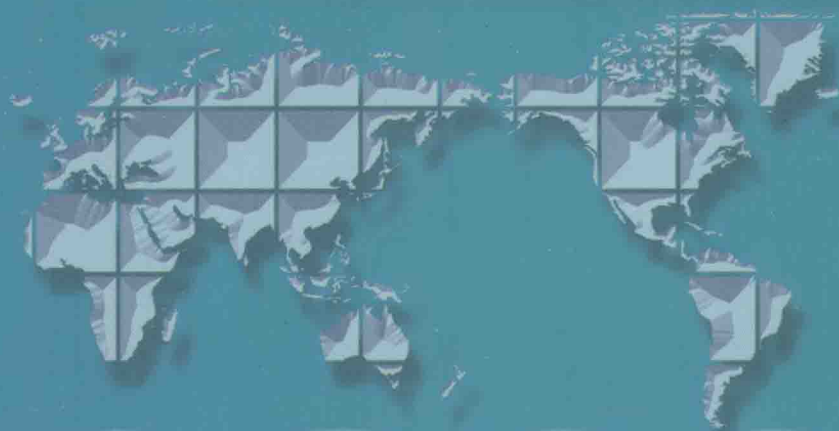


空间态势感知系列丛书

空间态势 感知导论

耿文东 杜小平 李智 著
马志昊 吴钰飞 耿歌



国防工业出版社

National Defense Industry Press

—— 空间态势感知系列丛书

空间态势感知导论

耿文东 杜小平 李智 著
马志昊 吴钰飞 耿歌

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

空间态势感知导论/耿文东等著. —北京: 国防工业出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-118-09932-4

I. ①空… II. ①耿… III. ①信息系统—研究
IV. ①G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 012184 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 18 字数 400 千字

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 52.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

自从新世纪空间态势感知的概念诞生以来,国内外众多专家、学者在这一领域辛勤地耕耘着,并且取得了丰硕的成果,为我们能够深入开展这一领域的研究打开了一扇窗口。

但由于空间态势感知形成与发展时间不长,使得该领域的有关概念、内涵等基本问题尚未统一,空间态势感知的理论及其体系尚未完全形成,空间态势感知的技术及其体系还不是十分清晰,空间态势感知的装备及其理论梳理还不够系统,空间态势感知的信息流程及信息应用研究还不够深入。

针对上述问题,作者历时五年时间进行了相关的探索性研究工作,试图撰写一部总体框架完整、知识体系完善、内容衔接有序、章节结构合理、叙述条理清晰的著作。然而,空间态势感知是集宇航技术、信息技术、材料技术、传感器技术及数学物理学等多学科于一身的复杂体系,尽管作者查阅了大量的相关资料,借鉴了众多的研究成果,但限于知识储备与能力欠缺,作为空间态势感知领域的首部专著,书中的缺点和错误在所难免,许多观点也仅为一家之言,因此,真诚希望关注空间态势感知问题的专家、学者与同仁不吝指正。同时,作为导论类著作,主要目的是明确定义、澄清概念、确定内容、理顺关系、划定边界与构建体系,所以对诸多技术问题并没有给出详细推导,如有需要的读者朋友请自行查阅相关资料并见谅。

本书作为“空间态势感知系列丛书”(主要由《空间态势感知导论》、《空间态势感知基础》、《空间目标分析》、《空间环境分析》、《空间态势感知原理》、《空间态势感知系统》、《空间态势感知理论》、《空间态势感知技术》与《空间态势感知应用》等著作组成)中建架立构的第一部著作,由四篇、12章组成。主要内容包括空间态势感知的基本问题、空间态势感知理论体系,空间态势感知技术体系、空间目标特性、空间环境及效应、信息获取技术、信息处理技术、信息管理技术,空间态势感知装备体系、空间态势感知系统与空间态势感知信息流程、信息产品及其应用等,以及美国空间态势感知的力量编成、指挥体系、主要产品和申请与分发流程四个附录。参加本书撰写

的有耿文东、杜小平、李智、马志昊、吴钰飞与耿歌等同志。其中，耿文东负责总体设计和全书的统稿，并撰写了第一篇、第3章、第9章~11章；第4章的第4.4、4.5节；第6章的6.1、6.3~6.5节；第7章的7.1~7.4、7.6节。杜小平负责第4章的4.1~4.3节；第5章；第6章6.2节。李智负责第12章。马志昊负责第7章的7.5节。吴钰飞负责第8章。长春理工大学外国语学院耿歌负责附录1~4的解译，以及其他外文资料的编译。

书中涉及的“空间作战”、“空间攻防”与“控制空间”等术语均指以美国为首的西方国家的理念，不代表作者研究空间态势感知的立场，我们研究空间态势感知的目的是和平利用空间和保障自身航天器的安全。正因为如此，书中几乎没有涉及美军所谓的空间作战问题，这也许会使关注空间作战或空间攻防的友人们觉得本书不够精彩，对您的失望深表歉意。本书引用了黄培康、张光义、何友、柳仲贵等专家诸多文章著述，也参考了众多作者的文献资料，在此深表谢意！

感谢装备学院科研部的大力支持与多方面资助，使本书得以与广大读者见面！

感谢龚建村、陈曾平、王东亚、赵治、张艳、肖志力与秦大国等专家的指导！

感谢装备学院曾峦、于小红、罗小明、尤凤宇与阴鸣馨等老师的支持！

感谢出版社所有老师的辛勤劳动！

谨以此书献给所有为空间安宁而监视空间的人们！

耿文东

2014年8月15日于怀柔

第一篇 空间态势感知理论

第1章 绪论	3
1.1 概述	3
1.1.1 空间界定	3
1.1.2 产生背景	4
1.1.3 发展历程	7
1.2 空间态势感知概念内涵	8
1.2.1 空间态势感知概念与原理	8
1.2.2 空间态势感知系统组成	9
1.2.3 空间态势感知地位作用	13
1.2.4 空间态势感知对象	15
1.2.5 空间态势感知的能力	17
1.2.6 空间态势感知任务	17
1.2.7 空间态势感知的活动	18
第2章 空间态势感知理论体系	21
2.1 空间态势感知理论体系架构	21
2.1.1 空间态势感知理论体系逻辑起点	22
2.1.2 空间态势感知理论发展逻辑关系	24
2.2 空间态势感知关注范围	25
2.2.1 空间态势感知关注空间范围	25
2.2.2 空间态势感知研究范围	26

第二篇 空间态势感知技术

第3章 空间态势感知技术体系	29
3.1 空间态势感知技术概念	29
3.2 空间态势感知技术体系架构	30

第4章 空间目标特性	31
4.1 概述	31
4.1.1 空间目标基本情况	31
4.1.2 目标特性研究现状	34
4.1.3 目标特性研究意义	35
4.2 空间目标轨道特性	36
4.2.1 空间目标轨道类型	36
4.2.2 空间目标轨道要素	38
4.3 空间目标光学特性	42
4.3.1 空间目标几何特性	42
4.3.2 空间目标材质特性	43
4.3.3 空间目标散射、辐射与偏振特性	44
4.4 空间目标雷达特性	51
4.4.1 空间目标雷达散射截面积	51
4.4.2 空间目标雷达极化特性	56
4.4.3 空间目标雷达多散射中心特性	59
4.4.4 空间目标角闪烁特性	62
4.5 空间目标无线电信号特性	63
第5章 空间环境及其效应	65
5.1 空间环境构成与特点	65
5.1.1 空间环境构成	65
5.1.2 空间环境主要特点	66
5.2 空间环境效应	71
5.2.1 太阳辐射和地气辐射效应	71
5.2.2 高层大气效应	73
5.2.3 电离层环境效应	74
5.2.4 空间磁场效应	75
5.2.5 宇宙射线效应	77
第6章 空间态势感知信息获取技术	81
6.1 概述	81
6.2 光学信息获取技术	83
6.2.1 被动光学信息获取技术	84
6.2.2 主动光学信息获取技术	91

6.3	空间目标雷达探测技术	97
6.3.1	单脉冲雷达技术	97
6.3.2	相控阵雷达技术	98
6.3.3	双(多)基地雷达技术	105
6.3.4	宽带雷达技术	107
6.3.5	战技指标及其与目标匹配性分析	108
6.4	空间目标雷达测量技术	112
6.4.1	空间目标尺度信息测量技术	112
6.4.2	空间目标特性信息测量技术	126
6.5	空间目标无线电侦测与定位技术	132
第7章	空间态势感知信息处理与认知技术	136
7.1	空间目标信息处理技术	136
7.1.1	空间目标尺度信息处理技术	136
7.1.2	空间目标特性信息处理技术	139
7.2	空间态势感知的认知技术	145
7.2.1	空间目标识别技术	145
7.2.2	空间态势估计技术	148
7.2.3	空间威胁估计技术	151
7.3	信息融合技术	156
7.3.1	概述	156
7.3.2	发展历程	158
7.3.3	信息融合技术类型	160
7.4	空间目标编目技术	166
7.4.1	概述	166
7.4.2	空间目标编目与更新	167
7.5	空间态势描述技术	168
7.5.1	空间态势描述形式	168
7.5.2	空间通用态势图内涵	168
7.5.3	态势信息接入与精练处理技术	170
7.5.4	空间态势数据库技术	171
7.5.5	态势信息综合显示与标绘技术	173
7.6	群目标技术	174
7.6.1	概述	174

7.6.2	概念内涵	176
7.6.3	基本架构	178
第8章	空间态势感知信息管理技术	179
8.1	任务规划技术	179
8.1.1	概述	179
8.1.2	空间态势感知任务规划建模	180
8.1.3	空间态势感知任务规划算法	184
8.2	信息情报管理技术	187
8.2.1	数据库的设计	187
8.2.2	数据库实现方式	188
8.3	信息分发技术	189
8.3.1	信息分发网络架构	189
8.3.2	信息分发模式	191
8.3.3	Pub/Sub 通信范型	193

第三篇 空间态势感知装备

第9章	空间态势感知装备体系	197
9.1	空间态势感知装备概念	197
9.2	空间态势感知装备体系架构	197
9.3	空间态势感知装备类型	198
第10章	空间态势感知信息获取装备	201
10.1	空间目标地基信息获取装备	201
10.1.1	典型地基光学信息获取装备	202
10.1.2	典型地基雷达信息获取装备	205
10.2	空间目标天基信息获取装备	215
10.3	无线电侦测系统	220
10.4	信息处理、显示与管理装备	220
10.5	空间环境监测系统及机构	221

第四篇 空间态势感知应用

第11章	空间态势感知信息流程及信息产品	227
11.1	概述	227

11.2	空间态势感知信息流程	227
11.3	空间态势感知信息产品	231
第 12 章	空间态势感知信息应用	234
12.1	支持航天发射任务	234
12.2	辅助轨道维持	234
12.3	支持轨道机动	235
12.4	空间碎片规避	236
12.5	空间交会对接	238
12.6	航天员出舱	238
12.7	航天器陨落预报	239
附录 1	美国空间态势感知的力量编成	241
1.1	空军空间态势感知力量编成	241
1.2	陆军空间态势感知力量编成	249
1.3	民用空间态势感知力量编成	250
附录 2	美国空间态势感知指挥体系	251
2.1	空间态势感知的指挥体系及机构设置	251
2.2	美国空间态势感知数据流程	256
附录 3	美国空间监视系统的应用	259
3.1	美国空间态势感知的主要任务	259
3.2	美国空间态势感知的应用目标	262
附录 4	美国空间监视网数据产品申请与分发流程	264
4.1	数据产品的申请流程	264
4.2	数据产品分发方式	267
参考文献		269

空间态势感知导论

第一篇 空间态势感知理论

第1章

绪论

1.1 概述

空间优势就是我们的目标——它要求我们把同样的紧迫感放在冲突发生时获取和保持对敌方制空权和制天权上。这个目标需要对空间这个介质的全面理解，我们将追求的是能带来空间优势的强大的空间态势感知能力^[1]。

——兰斯罗德

美国原空军航天司令部司令

1.1.1 空间界定

地球表面为大气层笼罩的空间领域，是各国从事航空活动的空域，本国所对应的空气空间是该国的领空，该地面国拥有排他的主权，外国航空器未经许可不得进入。尽管如此，地面国空域范围的界定，尤其是高度仍然模糊不清。

人类第一颗人造地球卫星的入轨带来了空间概念的重新定义。1961年，联合国大会中提出了“外层空间”（Out Space）的概念，之后又把外层空间下面的部分称之为“空气空间”（Air Space）。自此，领土以上的空间部分就有了空气空间和外层空间的区分。随着科技的不断发展，外层空间的定义也在逐步完善。例如，物理学家将大气分为5层：对流层（海平面至10km）、平流层（10~40km）、中间层（40~80km）、热成层（电离层，80~370km）和外大气层（电离层，370km以上）。地球上空的大气约有75%在对流层内，97%在平流层以下，平流层的外缘是航空器依靠空气支持而飞行的最高限度。人造卫星的最低轨道在热成层内，其空气密度为地球表面的1%。在1.6万km高度空气继续存在，甚至在10万km高度仍有空气粒子。所以，曾经把外层空间定义为地球大气环境以外的所有空间部分是不准确的。从科学意义上讲，空气空间和外层空间没有明确的界限，它们是融合在一起的。联合国和

平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会指出,目前还不可能提出确切和持久的科学标准来划分外层空间和空气空间的界限。

目前,有关国际组织在国际条约中使用了“外层空间”术语。如1963年联合国大会通过的《各国在探索与利用外层空间活动的法律原则的宣言》,确定了外层空间供一切国家自由探测和使用,以及不得由任何国家据为己有这两条原则,所使用的就是“外层空间”这一概念。外层空间委员会先后草拟的5项有关外层空间的国际条约,即《关于各国探索和利用包括月球和其他天体在内外规范应用层空间活动的原则条约》(简称《外层空间条约》)、《营救宇宙航行员、送回宇宙航行员和归还射入外层空间的物体的协定》、《关于登记射入外层空间物体的公约》等,均使用的是“外层空间”术语。从严格的科学观点来说,空气空间和外层空间没有明确的界限,而是逐渐融合的。但从近年来,趋向于以人造卫星离地面的最低高度(100km,即目标能够绕地球飞行一周的最低高度)为外层空间的最低界限,实际上还是使用了外层空间概念。

从中英文习惯来说,英文“Space”在中文里通常翻译为“太空”或“空间”,而“Out Space”常常译为“外空”、“外太空”与“外层空间”。笔者认为“Space”应该是“Out Space”的简写版,或者叫省略版。通过上述分析,可以认为“空间”应该是“外层空间”、“外空”、“外太空”与“太空”的简称。因此,在本书中采用了“空间”的概念,并且如无特殊说明,即使个别参考文献使用的“外层空间”、“外空”、“外太空”与“太空”,也均为“空间”的含义。

1.1.2 产生背景

人类社会发展的历史,就是伴随着科学技术的进步,不断拓展由陆地到海洋、到空中、再到外层空间的历史,空间已成为人类新的关注点。正如美国人所言:“21世纪,国家对空间能力的依赖就像19世纪和20世纪工业的生存与发展对电力和石油的依赖一样,将进一步成为国家安全和利益的‘重心’”。因此,全面系统地掌握空间环境下的空间目标及其态势情况已经刻不容缓,大力发展空间态势感知能力势在必行。

1. 空间目标显著增多

空间拥有太阳风、高能粒子束、磁场与等离子体等复杂多变空间环境,以及充斥其中的大大小小的自然天体。

1957年10月4日苏联成功发射第一颗人造卫星,揭开了人类历史由地球迈向空间的第一页。此后短短半个世纪里,人类的空间探索活动突飞猛进,

取得了辉煌的成就。人类不仅成功登陆月球,而且还将研究的触手伸向火星等更为遥远的星球。截止到2012年底,环绕地球飞行的各类人造物体,包括人造卫星、航天飞机、国际空间站、空间实验室等近6000个。

与此同时,人类空间活动遗弃的废弃物,如完成任务的火箭箭体和卫星本体、火箭的喷射物、在执行航天任务过程中的抛弃物等,形成了人们常说的空间碎片。空间碎片主要分布在低轨、中轨和地球同步轨道高轨三个密集区,大多数空间碎片分布在距离地球表面322~483km高的低地球轨道上。如果用“密度”来描述空间碎片随高度的分布,可以定量地看到在2000km以下区域、地球同步轨道高度和半同步轨道高度上有3个明显的峰值。空间碎片按一定的轨道环绕地球高速飞行,速度高达6~16km/s,形成一条危险的垃圾带。空间碎片是人类空间活动对空间环境的污染,其数量不断增长,对航天器的安全构成威胁。统计显示,空间碎片的数量正以每年约2%的速度增加。随着航天事业的发展,空间碎片数量与日俱增,滞空时间相当漫长。科学家们预测:到2300年,任何东西都将无法安全进入太空轨道。

2. 空间价值日益凸现

空间,具有地球上无以比拟的轨道资源、太阳能资源、真空资源、微重力资源、矿藏资源,以及无与伦比的深冷、超静、无菌、无尘、强紫外线辐射和无国界性,已成为信息时代人类开发的重要领域。空间,已经给人类的日常生活带来了卫星电视、卫星通信等诸多益处与便利,也是国家经济发展新的增长点。空间,既是国家利益拓展的战略新边疆,又是信息时代战争取胜的制高点,其在军事领域空间的战略地位不断提高,世界各国对空间的重视程度不断加大。

随着空间军事系统和空间军事信息在现代战争中地位作用的日益提高,空间已成为维护国家安全和国家利益所必须占据的战略制高点。可以说,谁控制了空间,谁就拥有了未来战争的主动权。

3. 空间环境不断恶化

随着航天技术的飞速发展,各国发射入轨的航天器及运载器数量不断增加,并且废弃的航天器绝大多数滞留在轨道上,令近地空间变得越来越拥挤,空间环境问题越来越突出。更令人担忧的是,空间目标与空间碎片数量逐渐增多,相互之间撞击的概率越来越大。

在人类航天史上,几次空间碰撞事件的发生都是“极小概率、重大问题”的体现:1983年,美国航天飞机“挑战者”号与一块直径0.2mm的太空碎片(涂料剥离物)相撞,导致舷窗受损而停止飞行。1986年,“阿丽亚娜”号火箭进入轨道之后不久便爆炸,化为564块直径约10cm的残骸和2300块小碎

片, 2 颗日本通信卫星与这枚火箭残骸碎片相撞, 最终完全损毁。此外, 1996 年 7 月, 法国 cerise 卫星被“阿里安”火箭的一块碎片撞中了重力梯度杆, 其上半部分被截断, 严重影响了姿控系统。2009 年 2 月 11 日, 美国的“铍-33”移动通信卫星与俄罗斯已废弃的“宇宙-2251”军用通信卫星在西伯利亚北部上空约 790km 处当空相撞, 巨大的动能使得 2 颗卫星瞬时化作 2 团碎片云。这是人类发展航天事业以来, 历史上首次发生的 2 颗整星相撞事故。这些撞击事件的发生, 加深了人们对空间安全预警探测问题的关注, 引起了各国的高度重视。因此, 如果有一天出现“空间交通警察”、“空间红绿灯”, 绝不是耸人听闻的事情。

4. 空间事件双向评估与空间法核查基本手段

航天科技呈现出纵向深入发展、横向不断扩展趋势。一方面, 全球各层次的航天合作有声有色地在发展, 另一方面, 人类在外层空间的竞争也在加剧, 使得空间环境日益恶化。空间环境问题是全球性的问题, 它会损害所有国家的利益, 谁也不能独善其身。目前, 外层空间环境受到的威胁主要包括空间碎片污染、人为干预导致的污染、放射性空间活动带来的污染等。其中危害最大的是空间碎片。随着越来越多的国家加入开发空间的活动, 使得空间目标数量急剧膨胀, 增加了空间轨道上的危险性。为此, 有关国际组织在规范人类空间活动、协调各国外层空间利益方面进行了不懈努力, 但由于缺乏有效的技术手段支持, 难以实现空间事件的评估与空间法执行情况的核查。

例如, 前面提到的美俄卫星相撞事件, 事故发生后美国方面指责俄罗斯的卫星失控导致这次卫星撞击事故, 计划向俄罗斯提出赔偿。但俄罗斯则认为俄方没有责任, 而对此事应该负责的是美国宇航局, 因为它们没有起到监测和预报的作用。由于没有真实有效的数据支撑这次空间事件的评估, 因此, 美、俄双方此次卫星相撞事件的责任问题也只能不了了之。再如, 国际空间法明确规定不允许进行空间武器试验, 但航天大国真正进行空间武器试验时, 到目前为止还没有哪个国家具有如此完善的空间监视能力, 保证拿出有效的证据表明它们进行了这种试验。

5. 空间军事化已成事实

目前, 围绕地、海、空域, 各国均有自己的领空、领土与领海, 唯独还没有领天, 可谓是“天无疆”。然而世界上的大国对于空间资源的开发、利用与安全, 始终在进行着不懈的努力。在各国国土上的空间, 除了自己的航天器之外, 数以千计的他国卫星日夜不停地观察着自己的国土, 获取着海量的国土资源和国防安全等信息。因此, 就在人们享受着航天科技取得的这些成果的同时, 空间武器试验却屡禁不止, 空间军事化、航天器武器化的乌云如

影相随般地笼罩过来,为爱好和平的人们的心头蒙上了一层阴影。曾经的古巴导弹危机事件、中东战争、海湾战争、伊拉克战争与阿富汗战争等,都说明了航天装备在军事领域的重要作用。

为此,空间都有什么,在哪里,是谁的,是什么,能干什么,在干什么,态势怎样,趋势如何,就成为了无法回避而又必须回答的问题,这些问题都需要有效的空间感知手段来实现。这就是空间态势感知产生的背景。

1.1.3 发展历程

空间态势感知概念首次出现在2001版的美国空军条令文件2-2号(AFDD 2-2)^[1]中,规定“空间态势感知作为联合战略的空间因素,是计划人员应该考虑问题之一”,目的是“对敌人的空间性能进行评估,确定敌人的空间系统对战区战役有可能造成的影响”。2004年出版的美国空军《空间对抗作战条令》(AFDD 2-2.1)的篇首中,明确阐述了空间态势感知的定义、地位、作用、内容、组成、需求和任务等。该条令将空间态势感知定义为:空间态势感知是为指挥官、计划者和执行人员提供的对目标、行动和环境充分感知的知识和情报,以制订行动计划。空间态势感知需要尽可能全面地描述在地面和空间环境运行的空间能力。空间态势感知是所有空间活动的基础,并使空间作战成为可能。该版条令认为,空间态势感知涵盖了对从陆地到空间的所有人为与自然环境中空间作战能力全部特性的认知;空间态势感知使有效的防御性和进攻性空间对抗行动成为可能,是所有空间作战行动的基础。空间态势感知的任务包括发现、确认、跟踪、瞄准、交战和评估。2006年11月发布的美军《空间作战条令》重新定义空间态势感知为:为了能在冲突范围中获取和保持空间优势,指挥官、决策者、计划者和作战执行人员需要知道当前和未来的空间事件、威胁和活动,需要知道当前和未来敌、友双方的空间系统(空间、地面和链路)的状态、能力、约束和应用。2009年1月出版的《美军空间作战联合条令》中进一步对空间态势感知的地位、目标及构成要素进行了说明,指出空间态势感知的目的是尽可能地描述在陆地环境和空间领域运行的空间能力,把空间态势感知作为引导空间行动的基础。在2009年2月美俄卫星相撞后,2010年《美国国家空间政策》将空间态势感知能力和基础情报能力赋予了最高优先权,进一步强调空间态势感知在保持对自然干扰以及他国空间能力、活动和企图的持续感知方面的基础支撑能力。

2012年6月19日,美空军发布了空间作战条令3-14号。在该版条令中,将空间态势感知定义为:是其他一切空间活动的基础,对于空间作战所依赖的空间环境和作战环境,以及在全面冲突中我方和敌方空间力量的一切