

航天电子侦察技术

Aerospace Electronic
Reconnaissance Technique

■ 姜道安 石荣 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

航天电子侦察技术

Aerospace Electronic Reconnaissance Technique

姜道安 石 荣 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

航天电子侦察是电子对抗的重要组成部分之一,在现代信息高技术战争与国家安全中发挥着关键性作用。本书在对航天电子侦察的任务、分类、主要特点,以及航天电子侦察系统组成与有效载荷进行概述的基础上,回顾了世界各国在航天电子侦察领域的发展历程,重点针对航天电子侦察中的信号分析处理技术、测向与定位技术、电子侦察有效载荷技术,以及整个航天电子侦察的技术体系进行详细阐述,最后对航天电子侦察技术的未来发展趋势进行了展望。

本书适合从事航天电子侦察、电子对抗、信号分析处理和无源定位等技术研发的工程技术人员、研究人员及相关学者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

航天电子侦察技术/姜道安,石荣著. —北京:国防工业出版社,2016.1

ISBN 978-7-118-10585-8

I. ①航... II. ①姜... ②石... III. ①航天器—
电子侦察 IV. ①V443②TN971

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第022747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)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 16 字数 305 千字

2016年1月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 68.00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

前 言

航天电子侦察属于电子对抗这一大的学科门类,是电子侦察活动从陆地、海洋、空中向太空扩展的必然发展。溯本清源,电子对抗又称为电子战(EW),是使用电磁能和定向能控制电磁频谱和攻击敌方的军事行动,它包含三大组成部分:电子攻击(EA)、电子防护(EP)和电子支援(ES)。其中的电子支援是指由作战指挥官分派或在其直接控制下,为搜索、截获、分析、识别和定位有意或无意的电磁能辐射所采取的行动,目的是立即识别威胁。电子支援为电子战行动、威胁规避、目标指示和其他战略战术行动作出决策提供所需要的信息。所以细细梳理下来,航天电子侦察属于电子战中的电子支援这一学科分支。

航天电子侦察从1960年诞生以来,已经走过了半个多世纪的发展历程,由小到大,从弱至强。从技术的实际应用看,在现代信息高技术战争和国家安全中发挥着越来越重要的重用;从技术的理论基础方面看,在电子战中的电子支援这一学科分支中也形成了自己独有的专业特色。所以世界各国对航天电子侦察相关的科研技术发展型号装备研制都投入了大量的人力、物力和财力,并将航天电子侦察作为重点方向纳入到了未来信息高技术发展规划之中。本书也是在这一大的发展背景下,完全基于已经公开的文献资料,重点从基础理论和技术研究的角度,对航天电子侦察这一既海阔天高又厚重精深的技术专业做一个初浅的梳理,它之所以海阔天高是因为它的未来发展充满了挑战与活力,期待着广大科研技术人员去开拓更加广阔的领地;它之所以厚重精深是因为50多年的沧海桑田,前面一代代先行者们通过他们不懈的奋斗为这一专业奠定了坚实的基础并积累了宝贵的经验,所以本书也希望在有限的篇幅中尽可能多地反映上述特点。

本书的组织编排共分5章。第1章为绪论,主要介绍航天电子侦察的任务、分类、主要特点,以及在现代战争与国家安全中的重要作用,对航天电子侦察系统及其组成、电子侦察有效载荷进行了分析,回顾了航天电子侦察的诞生与发展历程,以及世界各国在航天电子侦察领域的发展状况,同时梳理了航天电子侦察的整个技术体系,为后续各章的阐述奠定基础。从第2章到第4章,重点从三个方面对航天电子侦察技术进行了比较全面的阐述,在航天电子侦察中的信号分析处理技术方面主要讲述常用的统计信号分析处理方法、目标信号的截获与检测、信号参数估计、信号的分选与辐射源个体识别等;在航天电子侦察的测向与定位技术方面主要讲述航天电子侦察中的常用测向方法、干涉仪测向技术的发展,航天电子侦察中的测向定位、时差定位、时差/频差联合定位等典型星载定位

方法,建立了电子侦察定位与卫星导航定位的统一理论模型,并从运动单星的角度分析了单站定位技术在航天电子侦察定位中的应用;在航天电子侦察有效载荷技术方面,主要从天线、接收机和星载数字处理与软件等各个方面对常见的有效载荷分系统进行介绍,同时对航天电子侦察中有效载荷抗辐射的特殊要求进行概述。第5章对航天电子侦察技术的发展进行展望,描绘了未来一段时期内航天电子侦察技术的总体发展趋势。

在编写本书的过程中参考了大量的技术文献,这些文献可供感兴趣的读者进一步开展研究工作时进行参考。另外,本书的编写也得到了电子信息控制重点实验室多位领导和专家的支持与帮助。首席专家周彬对本书进行了审阅并提出修改建议;重点实验室的华云主任、刘江副主任、何俊岑副主任,技术发展部的顾杰主任等对本书的编写给予了大力支持与帮助;刘永红老师为本书的策划、编辑与出版做了大量的工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中疏漏和不当之处在所难免,恳请读者批评指正!

作者

2015年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 航天电子侦察概述	1
1.1.1 航天电子侦察的任务	1
1.1.2 航天电子侦察的分类	2
1.1.3 航天电子侦察的主要特点	3
1.1.4 航天电子侦察在现代战争及国家安全中的重要作用	4
1.2 航天电子侦察系统与有效载荷	6
1.2.1 航天电子侦察系统及其组成	6
1.2.2 航天电子侦察有效载荷	7
1.3 航天电子侦察的诞生与发展概况	9
1.3.1 航天电子侦察的诞生过程	10
1.3.2 美国航天电子侦察的发展历程	11
1.3.3 苏联/俄罗斯航天电子侦察的发展历程	15
1.3.4 法国航天电子侦察的发展历程	16
1.4 航天电子侦察的技术体系	18
1.5 本书的主体架构	22
第 2 章 航天电子侦察的信号分析处理技术	24
2.1 常用的统计信号分析处理方法	24
2.1.1 傅里叶变换、相关分析与谱估计	24
2.1.2 高阶统计量分析	32
2.1.3 时频域综合分析	36
2.1.4 循环统计量分析	42
2.2 目标信号截获与检测技术	43
2.2.1 信号检测的基本理论	44
2.2.2 时域检波与包络提取	45
2.2.3 基于匹配滤波与相关的检测方法	56
2.2.4 频域与时频域综合检测	59
2.2.5 其他的信号检测方法	65

2.3	目标信号参数估计技术	67
2.3.1	参数估计的基本理论	67
2.3.2	基于时频域特征的分类参数提取与类别判断	68
2.3.3	用于信号调制类型识别的特征参数估计	71
2.3.4	脉冲信号的参数估计	74
2.3.5	模拟连续波信号的参数估计	80
2.3.6	数字连续波信号的参数估计	82
2.3.7	直接序列扩频信号的参数估计	92
2.3.8	跳频信号的参数估计	102
2.3.9	其他信号的参数估计	104
2.4	信号分选与辐射源个体识别技术	105
2.4.1	雷达脉冲信号分选	106
2.4.2	通信网台的分选	107
2.4.3	辐射源个体特征参数估计与个体识别	108
第3章	航天电子侦察的测向与定位技术	115
3.1	航天电子侦察中常用的测向技术	116
3.1.1	振幅法测向	116
3.1.2	基于相位差测量的干涉仪测向	118
3.1.3	基于阵列天线的测向	121
3.2	干涉仪测向技术的发展	122
3.2.1	对单频信号相位差测量精度与影响因素分析	122
3.2.2	普遍意义下干涉仪通道间相位差测量精度分析	127
3.2.3	干涉仪的时差分析理论与单基线干涉仪测向	135
3.2.4	对宽带调频信号的单基线干涉仪测向	137
3.2.5	对频域非完整信号的单基线干涉仪测向	140
3.3	航天电子侦察中的测向定位	144
3.3.1	所测来波方向与地球表面相交实现定位	145
3.3.2	多次测向后的测向交叉定位	146
3.4	航天电子侦察中的时差定位	148
3.4.1	时差参数 TDOA 的估计方法	148
3.4.2	三星与四星时差定位	152
3.5	航天电子侦察中的时差/频差联合定位	154
3.5.1	时差/频差参数 TDOA/FDOA 的估计方法	154
3.5.2	双星时差/频差联合定位	156
3.5.3	星下形式的双星时差/频差联合定位	158

3.6	卫星电子侦察定位与卫星导航定位的统一理论模型	160
3.6.1	两种定位的基本数学模型概述	161
3.6.2	多星条件下的统一定位理论模型	162
3.6.3	单星只测频定位与单星导航定位的统一理论模型	165
3.6.4	统一理论模型的应用	166
3.7	从新的视角来理解基于运动学原理的单站定位	167
3.7.1	基于运动学原理的单站无源定位基本原理	168
3.7.2	从测向交叉定位的角度来解释切向运动测距	169
3.7.3	从时差频差联合定位的角度来解释径向运动测距	173
3.7.4	小结	174
第4章	航天电子侦察的有效载荷技术	175
4.1	大型星载侦察接收天线	176
4.2	星载电子侦察接收机	185
4.2.1	主要的电子侦察接收机类型	185
4.2.2	超外差接收机与零差拍接收机	187
4.2.3	宽带数字接收机	189
4.3	星载计算机、软件与操作系统	190
4.3.1	星载计算机与星载软件	190
4.3.2	实时操作系统总体架构及航天应用要求	192
4.3.3	典型的星载实时操作系统 VxWorks	193
4.4	有效载荷设计的抗辐射特殊要求与措施	196
4.4.1	太空辐射环境与产生的效应	196
4.4.2	卫星抗辐射加固	199
4.4.3	针对可编程逻辑器件的单粒子效应防护方法	201
4.4.4	高可靠的容错技术	203
第5章	航天电子侦察发展展望	205
5.1	基于电磁云的天地一体化航天电子侦察体系的构建	205
5.1.1	电磁频谱在现代战争中的作用与地位	205
5.1.2	云计算及其军事应用	207
5.1.3	电磁云——基于云架构的电磁态势感知	209
5.1.4	从电磁云到天地一体化航天电子侦察体系	212
5.2	研发数字化、软件化、综合化的电子侦察大型卫星	214
5.2.1	数字化促进软件化,软件化促进综合化	214
5.2.2	软件化带来的可重构也有利于大卫星可靠性的提高	217

5.3	探索协同化、网络化、快速响应的电子侦察微纳卫星·····	219
5.3.1	微纳卫星的迅猛发展·····	219
5.3.2	典型的微纳卫星简介·····	222
5.3.3	研发微纳电子侦察卫星所面临的挑战·····	226
5.3.4	对发展微纳电子侦察卫星的一些思考·····	227
5.4	认知电子战给航天电子侦察所增添的智能化特点·····	232
5.4.1	对“认知”一词的理解与认知科学的发展·····	232
5.4.2	电子战中的认知及其发展历程·····	234
5.4.3	从认知无线电、认知雷达到认知电子战·····	238
5.4.4	航天电子侦察中的“认知”展望·····	241
5.5	新的信号处理技术与测向定位方法的应用·····	242
	参考文献·····	244

第1章 绪论

1.1 航天电子侦察概述

1.1.1 航天电子侦察的任务

电子侦察是电子对抗的重要组成部分之一,是指使用各种电子技术手段,对对方无意或有意辐射的电磁信号进行搜索、截获、测量、分析、识别,以获取对方电子信息系统及电子设备的技术参数、功能、类型、型号、地理位置、用途以及相关武器和平台类别等情报信息的侦察。随着电子技术的发展和应用需求的牵引,电子侦察的内涵与外延也在发生变化,除了对相关技术参数的获取之外,对于承载在各种信号上的信息的提取、分析、解译与利用也逐渐成为电子侦察任务的重要组成部分。

顾名思义,航天电子侦察是电子侦察的一个子类,概要来讲,是以天基平台(包括卫星、空间站、宇宙飞船等,但主要指卫星)上搭载的电子侦察设备(又称为电子侦察有效载荷)为基础实施的侦察活动,是电子侦察从陆、海、空作战平台和武器装备向航天领域的必然扩展。具体来说,航天电子侦察是利用天基平台上的电子侦察设备对陆、海、空平台难以截获的雷达、通信和武器系统等辐射源目标所辐射的电磁信号进行侦察,获取侦察情报和进行打击效果评估,为电子信息作战提供情报支援,主要包括信号普查、信号特征参数测量、信号承载的信息内容提取、辐射源定位和对地面目标的监视等。航天电子侦察可以巧妙地运用于和平时期和战争时期,其覆盖范围广,运行轨道高,不受地面防空武器的威胁以及国界和地理条件的限制,具有一定的隐蔽性,所以航天电子侦察受到世界各国的普遍重视,并获得大力发展。

航天电子侦察的主要任务是利用天基平台上的电子侦察设备,跟踪、搜集对方雷达、通信等辐射源的信号及其参数,确定对方雷达与通信终端的位置、信号特征、作用距离,验证可见光和红外成像等其他侦察手段的侦察情况。其中,雷达辐射源的主要参数包括频率及其变化特性、功率电平、脉冲重复间隔及其调制特性、脉冲宽度及其调制特性、脉内频率或相位调制特性、天线扫描类型、扫描周期、方向图和极化特性等。通信辐射源的主要参数包括工作频段、载波频率、信号带宽、调制样式、数字信号的码元速率及其调制参数、信号持续时间、功率电平、通联关系和通信体制等。根据所侦测到的信号特征参数识别辐射源,推断其

用途、能力、威胁程度和组网关系等,从而获得有价值的情报。在此基础上,对于承载于信号上的信息进行提取,特别是对于通信等信息传输类辐射源,在非合作解跳、解扩和解调的基础上获得传输码流,甚至对传输码流的特征、协议与内容进行分析,为更有价值的情报获取以及电子攻击的引导提供条件。另外,通过航天电子侦察也可以为其他作战打击手段的打击效果评估提供一定的信息与参考,为我军全面获得军事战场的信息优势奠定基础。

1.1.2 航天电子侦察的分类

在传统意义上,电子情报侦察(Electronic Intelligence, ELINT)与通信情报侦察(Communication Intelligence, COMINT)是相互独立的,但航天电子侦察实际上包含了这两类侦察。

(1) 电子情报侦察一方面是对导弹测控信号进行截获与分析,用来监视新型武器的研制,了解其技术战术性能参数等;另一方面对雷达信号进行截获与分析,用来精确测定对方雷达位置以及性能参数,如工作频率、信号强度、脉冲宽度、脉冲重复频率、天线波瓣宽度、扫描方式、极化方式等,为己方发展类似武器、反制武器和制定作战计划提供情报支持。

(2) 通信情报侦察 COMINT 是对通信信号进行截获与分析,测绘对方的电磁战斗序列(Electromagnetic Order of Battle, EOB),即战时对方电子设备的作战编组(性能和配置地点)以及指挥关系,同时也用于侦听通信内容,传回地面后进行破译与分析。

随着技术的发展,航天电子侦察逐渐将电子情报侦察与通信情报侦察融合在一起,世界各国新研制的星载电子侦察有效载荷几乎都同时具备了二者的功能,所以航天电子侦察属于信号情报侦察(Signal Intelligence, SININT)的范畴。

从其他角度考虑,按照不同的分类方法,航天电子侦察还可以分为不同的类型:

(1) 按侦察能力划分,航天电子侦察可分为普查型和详查型两种。

普查型的瞬时侦察覆盖范围可达 2000km 以上,能粗略地测定电磁信号的频率、带宽等参数和辐射源所在位置。详查型能全面测量电磁信号的各种参数,并精确测定辐射源的位置坐标。

(2) 按天基平台所运行的轨道划分,可分为低地球轨道型、同步轨道型和大椭圆轨道型。

低地球轨道平台侦收到的信号电平相对较强,适合于详查和精确定位,主要用于雷达等电子情报的侦察。大椭圆轨道和同步轨道平台能连续覆盖侦察区域,适合于普查,主要用于通信情报的侦察。如前所述,随着技术的发展,对雷达和通信等辐射源的侦察也逐渐走向综合一体化,在高、低轨等各种轨道上都有同时针对雷达、通信等辐射源进行侦察的电子侦察卫星。

1.1.3 航天电子侦察的主要特点

航天电子侦察的主要特点归纳如下:

1. 覆盖范围广,作用距离远

现有的基于陆、海、空平台的侦察会受到地理空间的限制,侦察设备的作用距离一般不超过两三百千米。陆基侦察设备只能对周边国家部署在浅纵深地域的电磁辐射源进行侦察;舰载侦察设备一般也难以远离本土深入前沿纵深海域进行侦察;机载侦察设备虽然具备一定的升空优势,但是其侦察时间又非常受限,尽管大量研发的高空长航时无人侦察机弥补了有人侦察机在侦察时间与空间上的缺陷,但是在作用距离与侦察时间上相对于航天电子侦察来说也没有明显的优势。航天电子侦察利用较高的卫星轨道,具备覆盖范围广、作用距离远的特点,可实施全方位、大纵深、高立体的侦察。

2. 灵敏度要求高,测量精度要求高

由于卫星运行轨道高,航天电子侦察设备监视的战场空间更加广阔,作用距离远也需要星上电子侦察设备具有极强的截获微弱信号的能力,以及处理和分选复杂信号的能力,采用大口径天线以实现极低功率谱密度信号的接收,并保持较高的截获概率等,所以对侦察灵敏度的要求较高。另外,由于侦察距离的增加,侦察系统的位置分辨力要求也相应提高,所以参数测量精度要求高,但受卫星平台设备量和观测口径限制,测量精度的提高也需要付出较大的代价。

3. 对目标的连续侦察时间与轨道高度相关

由于侦察设备是搭载于卫星平台上的,根据开普勒定理,卫星的运行周期与轨道长半轴的1.5次方成正比,轨道高度越低其运行周期越短,所以除高轨卫星之外,电子侦察卫星对同一目标的持续监视时间都比较短,一般长的有十几分钟,而短的只有几分钟,甚至十几秒。如果要保持对同一区域的长期持续性侦察,采用同步静止轨道或者卫星星座组网是比较可行的两条途径。

4. 频谱宽开,获取情报多

一方面,航天电子侦察系统几乎覆盖了整个电磁频谱,工作频段从几十兆赫到几十吉赫;另一方面,航天电子侦察不受战场环境和夜间条件的限制,远距离、全天候侦察的能力大大提高,可以为指挥员快速提供不同范围、不同频段、不同时间、不同地点、不同对象的综合信息,获取的情报信息量大。

5. 侦察具有针对性、实时性、连续性和抗干扰性

航天电子侦察任务一般都具有一定的针对性,对某些地域和目标需要进行重点侦察,这同样要求卫星的飞行轨道和信号接收处理具有针对性;侦察信息需要实时地传回地面才能实现较高的信息利用价值,这又要求其具有一定的实时

性,随着星载实时信号处理技术的快速发展和卫星中继通信的广泛应用,航天电子侦察能快速地形成情报,并能实时或近实时地传递,降低了反应时间,便于捕捉战机和及时组织战略、战役和战术行动;航天电子侦察一般要求卫星具有全天候、全天时长期连续的侦察能力;抗干扰能力的强弱也直接影响到其侦察能力的大小,一个很容易受干扰的侦察卫星在遇到干扰时,就不能有效地执行侦察任务,这是不能接受的。

6. 面临的信号环境复杂

随着无线电技术在军事与民用方面的全面发展,航天电子侦察面临的信号环境也日益复杂,主要表现在:辐射源数量日益增多,电子侦察卫星可能受到成千上万个辐射源的照射,信号密度大;辐射源体制多,信号波形复杂多变;辐射源的频段在不断拓展,不同辐射源如雷达、通信、导航、制导等系统的工作频段在越来越宽的范围上不断重叠,造成信号在频域上拥挤,在时域上交叠,这对航天电子侦察系统的总体设计,以及其信号分析与处理技术提出了较高的要求。

1.1.4 航天电子侦察在现代战争及国家安全中的重要作用

如前所述,电子侦察卫星的众多优势使得它能长期监视敌方雷达、导弹测控、通信终端等电磁辐射源的变化,从而掌握敌方防空反导系统的配置、战略武器系统的试验、作战部队中的指挥控制和新型电子设备的研发情况,从而为我方战略轰炸机、弹道导弹的突防,以及实施有效的电子干扰等作战行动提供准确的情报。通过侦听敌方的超短波和微波通信信号并实施破译,还可以掌握敌方潜在的军事动向和计划企图。历史上的战例表明,在现代战争爆发之前,电子设备的启用次数和工作规律等一般都会出现异常,使用电子侦察卫星可以提前察觉并发现敌方入侵的迹象,为决策当局与指挥机关提供预警时间;为重要军事设施的打击提供支援;掌握雷达等电子装备的部署情况;辅助弹道导弹预警工作;评估打击效果,为战略战役决策提供依据等。历史上的主要战例简要列举如下:

1. 发现电磁异常,提供预警时间

20世纪90年代的海湾战争前夕,美国电子侦察卫星在1990年7月29日早上发现伊拉克的苏制 TALL KING 雷达在停用数月之后突然开机使用。结合当时的情形,情报专家分析之后认为伊拉克军队会有重大调动,并随后用电子侦察卫星跟踪收集与伊军的军用通信、武器和导弹部署等相关的信号情报,从而使美国当局能提前 12~24 小时掌握伊拉克军队入侵科威特的相关情报。

2. 跟踪定位辐射源,支援目标打击

1991年2月8日,根据电子侦察卫星提供的情报,美军派遣 F-16 战机袭击了伊拉克巴士拉以北 160km 处的一个车队。后续其他情报证实,萨达姆就在

这个车队中,但是在袭击中幸免于难。因为在海湾战争期间,美军有意识地保留了萨达姆的部分通信能力,以便作为电子侦察卫星的跟踪信标,电子侦察卫星通过对与萨达姆相关的通信信号的截获与辐射源定位,从而为“斩首行动”提供了目标指示与有效引导。

3. 掌握电子装备部署,评估打击效果

在海湾战争中美军使用的电子侦察卫星至少有6颗,分别属于“水星”“顾问”和“号角”这3种类型。美军通过各种手段引诱伊拉克防空部队开启了大量隐蔽的防空雷达,电子侦察卫星随后截获到这些雷达信号,并对其实施定位,协助各种打击武器对上述雷达进行摧毁。通过电子侦察卫星侦收到的雷达在遭受打击前后的工作信号的对比,可判断该雷达的受损程度,从而对打击效果进行评估。

4. 掌握通信情报,提供决策支持

海湾战争期间美军电子侦察卫星截获了伊拉克军队大量的战场无线通信信号,如卫星电话、背负式步话机、各种通信电台等所发送的信号,通过对通话内容的分析,使伊军导弹发射、飞机坦克出动和雷达使用等情况大都在美军的严密监视之下。在这场战争中美军还监听到苏联军官指挥伊拉克坦克作战的语音,并截获了苏军向伊拉克提供美军侦察卫星过顶时间表的相关信号,从而在与苏联的谈判中占据了主动。

5. 为其他侦察系统提供多源情报信息

海湾战争期间伊拉克曾发射“侯赛因”战术导弹对多国部队进行袭击。于是探测这些导弹的发射便成为美军当时的一项重要任务。按照伊军的导弹操作条例,发射“侯赛因”导弹前,需要首先释放几个高空探测气球,用于测定高空风速,以提高导弹的打击命中精度。伊军一般使用ENDTRAY雷达来跟踪这些释放的探测气球,而这种雷达恰好是北约研制的,因而电子侦察卫星就通过快速捕获该雷达信号来预报“侯赛因”导弹发射时机,从而为多国部队的导弹拦截提供了另一个渠道的情报来源。

6. 打击恐怖主义,确保国家安全

2001年“9·11”事件之后,美国在全球范围内通缉恐怖袭击的主谋、基地组织领导者哈立德·穆罕默德,在一年多的时间里,美军在阿富汗几乎搜遍了每一个角落,但仍然一无所获。2002年10月穆罕默德在巴基斯坦某地与同伙通话联系时,被美军的电子侦察卫星截获到信号。美军利用音频指纹识别技术分析之后,确认该通话者就是哈立德·穆罕默德。于是美军锁定了目标所在区域,缩小了目标捕获范围,在随后的一周之内就成功实施了抓捕行动。

类似于上述的电子侦察卫星的成功应用战例在历史上还有许许多多,由于篇幅的关系在此就不再展开介绍了,但是这些战例都充分证实了航天电子侦察在现代战争及国家安全中所发挥的重要作用。

1.2 航天电子侦察系统与有效载荷

1.2.1 航天电子侦察系统及其组成

从系统工程的角度来看,航天电子侦察系统是执行航天电子侦察任务,具备电子侦察能力的一个综合实体,主要包括电子侦察有效载荷、天基平台子系统、侦察数据地面应用子系统、运行保障子系统等几大部分,如图 1-1 所示。其中电子侦察有效载荷与天基平台子系统构成空间段,是在太空中按照预先设计的轨道长期运行的。下面就对上述各个部分进行简要的介绍。

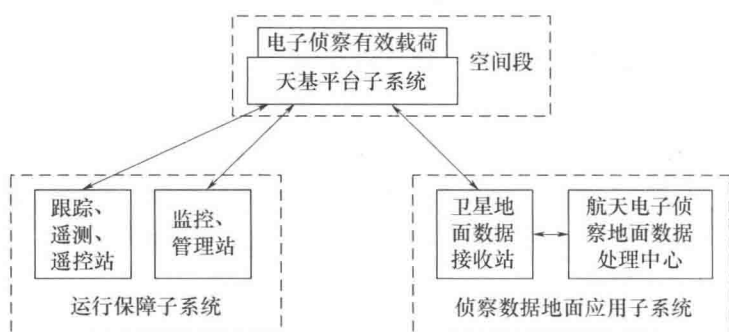


图 1-1 航天电子侦察系统组成框图

1. 电子侦察有效载荷

电子侦察有效载荷是指天基平台上搭载的电子侦察设备,主要包括侦察天线(阵)、微波前端、微波变频器、由模数转换模块和数字信号处理模块等构成的数字综合信号处理机、二次电源等。电子侦察有效载荷是电子侦察卫星区别于其他卫星的主要特征所在。实际上在电子侦察卫星诞生初期,信号的截获与分析都是通过模拟手段来完成的,但是随着数字处理技术的日益成熟,现今的电子侦察卫星有效载荷几乎全部采用了数字处理方式。

2. 天基平台子系统

天基平台子系统是指搭载电子侦察有效载荷,并在太空中运动的平台,包括卫星、空间站、宇宙飞船等,但主要指卫星平台。天基平台子系统虽然不是电子侦察卫星所特有的,但是对于保障整个电子侦察有效载荷的正常工作提供了必要条件,主要包括电源供给、结构支撑、星务管理、平台的姿态控制、轨道调整、热控调节、星载遥测遥控与通信数传等。

如前所述,如果卫星平台上搭载的主要有效载荷是执行航天电子侦察任务的,那么这颗卫星一般称为电子侦察卫星。但是并不是只有电子侦察卫星才能执行航天电子侦察任务,因为电子侦察有效载荷也可以作为一个补充附加性有

效载荷搭载于气象卫星、试验卫星、空间站等天基平台上,同样可以执行航天电子侦察任务。这里需要特别说明的是海洋监视卫星,该卫星上搭载有各种类型的侦察有效载荷,包括可见光成像、红外成像、雷达成像、电子侦察等。海洋监视卫星侦察的对象主要是海上运动的各种舰船和潜艇,侧重于对慢速运动目标的定位,同时还要侦测出目标的航速和航向;接收与分析信号主要是为了识别舰船的类型,进而推测出舰艇编队中船只的组成,所以实时性要求较强。在信号侦收频段上,海洋监视卫星主要侦收舰艇上的各种电磁辐射源,包括航海雷达、防空雷达、通信电台等,因此侦收频段比普通电子侦察卫星更具有针对性。尽管如此,按照前面的定义,海洋监视卫星同样属于我们所讨论的航天电子侦察的范畴,因为该卫星平台上搭载有电子侦察有效载荷,同样会执行航天电子侦察的相关任务。

3. 侦察数据地面应用子系统

侦察数据地面应用子系统是指对卫星上的电子侦察有效载荷回传的侦察结果数据,以及信号采样数据进行二次加工,并输出情报产品的地面子系统。该子系统主要由卫星地面数据接收站和航天电子侦察地面数据处理中心等组成。由于受到卫星星载运算与处理能力的限制,电子侦察有效载荷输出的侦察结果数据往往是一个中间结果或初步结果,需要在地面上在其他数据库的配合下进行进一步的分析处理,这样才能最终形成有价值的、可以直接使用的情报产品。这也是当前与未来一段时间内,大力发展天地一体化航天电子侦察系统的重要方向之一。

4. 运行保障子系统

运行保障子系统是指对执行航天电子侦察任务的各个环节的有效运行提供保障的子系统,这一部分相对通用,由卫星跟踪、遥测遥控、指令传输、监控管理等设备组成。其主要任务是对卫星平台进行跟踪测量,控制其准确进入预定轨道,并定期对卫星进行轨道修正和位置保持,同时对卫星运行状态进行监测和控制,以保障整颗卫星能正常执行预定的任务。

近年来,随着数据中继卫星的应用,电子侦察卫星上的数据除了在卫星过顶时回传地面站之外,也可以通过数据中继卫星进行回传,所以运行保障子系统除了地面测控站和监视站等设备之外,数据中继系统也将成为运行保障系统的一个重要组成部分。当然数据中继系统除了可以中继传输电子侦察卫星的遥测遥控信号之外,还可以将电子侦察卫星产生的情报数据通过卫星中继信道实时发回卫星地面数据接收站,这样一来航天电子侦察的实效性将得到本质性的提升,真正做到近实时的“所见并所得”。

1.2.2 航天电子侦察有效载荷

如前所述,航天电子侦察有效载荷是指天基平台上搭载的电子侦察设备,根

据所执行的电子侦察任务的重点不同,其构成有一些差异,但一般情况下主要包括侦察天线或侦察天线阵、微波前端、微波变频器、数字综合信号处理机、二次电源等,如图 1-2 所示。

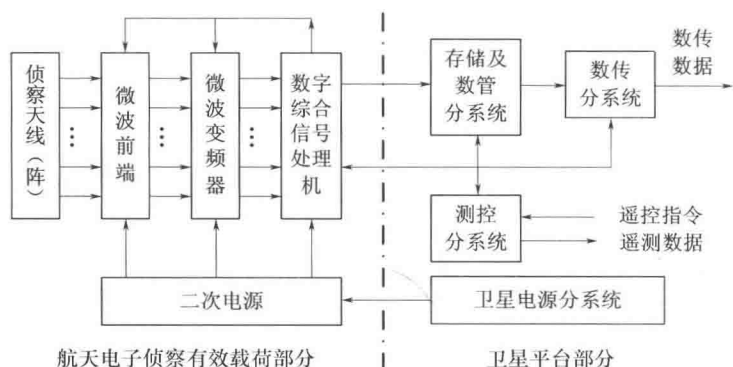


图 1-2 航天电子侦察有效载荷的基本组成框图

当搭载有电子侦察有效载荷的卫星飞经地表辐射源顶部附近的太空区域时,电子侦察有效载荷截获地面、海面 and 近地空间中电磁辐射源发射的无线电信号,由不同功能组成的接收机完成信号的搜索截获、数据采集、信号参数测量和分析、信号达到方向和时间的测量,测量结果经卫星上预处理后存储于存储器中,实时或延时地将数据传输到地面站,由地面数据处理中心完成对数据的最终分析,形成侦察情报。在有条件的情况下,还可以对辐射信号上承载的信息进行非合作解扩、解调、解码,从而获取与信息层相关的情报。整个航天电子侦察有效载荷的工作状态由卫星测控分系统和星务分系统根据地面指令来监控。

从卫星的外形上观察,在上述组成要素中,侦察天线部分是搭载电子侦察有效载荷的卫星平台的主要特征。对于低轨电子侦察卫星来说,一般采用天线阵形式;而高轨电子侦察卫星一般采用大口径天线形式,由于侦察距离作用距离远,采用(超)大型天线是高轨电子侦察卫星接收微弱信号的基础与前提,因此高轨电子侦察卫星又常常被称为大天线卫星,以美国为例,其典型高轨电子侦察卫星的天线尺寸如表 1-1 所列。如大椭圆轨道电子侦察卫星一般采用大型伞状天线,其技术难度在于肋条的展开精度;对地静止轨道电子侦察卫星一般采用大型网格天线,在网格节点上还装有微型电动机,以保证天线的机械均匀性和微波特性。实际应用中高性能高轨电子侦察卫星天线要求的直径往往很大,有的甚至高达 100m 量级,携带有这样大型天线的卫星的发射难度也比较大,当天线折叠起来仍然不能收藏于运载工具中时,则需将天线分成若干部分,分批送入轨道后在卫星上利用空间机器人来装配成整个天线,这类天线称为空间组装型天线。总的说来,大型天线的收拢、展开、变形处理等都是其核心技术。