

现代商用卫星 通信系统

◎ 北京米波通信技术有限公司 编著

COMMERCIAL
SATELLITE

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

现代商用卫星通信系统

北京米波通信技术有限公司 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统地阐述了卫星通信领域几个主要商用卫星通信系统,以各卫星通信系统的标准协议为基础,以现代商用卫星通信系统的应用情况和技术为主题,结合编者在卫星通信系统方面几十年的工程经验和试验数据,重点对系统架构、技术体制、通信原理和通信流程等进行深入研究,从各移动卫星通信系统的基本概况、发展历程、业务类型、系统结构、无线接口、信道类型、通信流程和基本帧格式等方面进行了有针对性、较为翔实和深入的介绍与分析。

本书对各商用卫星通信系统阐述体系完整、内容详尽,有助于广大读者理解现代商用卫星通信系统的整体脉络和发展趋势。适合通信行业工程技术人员、通信协议分析研究人员和对卫星通信系统感兴趣的读者。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代商用卫星通信系统/北京米波通信技术有限公司编著. —北京:电子工业出版社, 2019.8

ISBN 978-7-121-36903-2

I. ①现… II. ①北… III. ①卫星通信系统—研究 IV. ①V474.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 123425 号

责任编辑:张 迪(zhangdi@phei.com.cn)

印 刷:北京富诚彩色印刷有限公司

装 订:北京富诚彩色印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:11 字数:282 千字

版 次:2019 年 8 月第 1 版

印 次:2019 年 8 月第 1 次印刷

定 价:69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254469, zhangdi@phei.com.cn。

本书编委会

编委会成员：

甄霄宇 雷 永 王 雪 万彩宁

王 宁 周 乐 常淑燕 张艳妮

及文莲 徐美芳



前言

卫星通信具有覆盖范围广、通信距离远、不受地理条件限制、组网灵活等优点，使得其成为地面网络的有效补充。在地面网络信号覆盖不佳的地方，卫星网络成为用户实现互联互通的最佳选择。现代商用卫星通信系统，作为远程通信的重要通信手段，包括国际海事卫星（Inmarsat）通信系统、图莱亚（Thuraya）卫星通信系统、铱星（Iridium）卫星通信系统和 VSAT 卫星通信系统，基本占据了目前全球 90% 以上的卫星通信市场，近年来在各行各业得到了广泛应用，相应的通信技术也得到了迅速发展。

国际海事卫星通信系统在移动卫星通信服务的海上和航空市场份额均约为 75%，居于世界领先地位，航空终端中有 65%~70% 是政府用户；陆地卫星通信市场份额约占 30%，居世界第二位，陆地移动终端中有 60%~65% 是政府用户，目前仍保持着 22% 的年增长率。图莱亚卫星通信系统支持语音、传真、数据、短信、GPS 定位，在欧洲、北非、中非、南非大部、中东、中亚、东亚、南亚等区域得到广泛应用。目前，铱星卫星通信系统也处于高增长期，用户数量和营业收入均创历史最高水平，截至 2016 年 9 月，终端用户数量已超过 50 万，其中包含大约 90% 的商业用户和 10% 的美国政府用户。铱星卫星通信系统的应用范围迅速拓展，已涉足水运、航空、军队、政府、物流服务和资产跟踪等诸多领域。目前国际市场上主流的 VSAT 厂商有 12 家，各家 VSAT 体制互不兼容和互通，在众多的 VSAT 制造厂商中，美国的 ViaSat 和 iDirect 公司的 VSAT 产品占据很大的市场份额，且主推的 iDirect Evolution 系列和 ViaSat LinkWayS2 卫星通信系统为典型的星状网和网状网，是 VSAT 系统的典型代表。

虽然现代商用卫星通信技术快速发展且被广泛应用，但目前尚无有针对性、较为翔实和深入的卫星通信系统方面的书籍。本书编委长期致力于对卫星通信系统，尤其是现代移动卫星通信系统的研究，在系统体系结构、通信流程等方面有较为深入的研究和认识，希望能将相关方面的知识与本行业的从业者进行探讨和共同学习。本书结合目前现代商用卫星通信系统的应用情况和技术，从各移动卫星通信系统的基本概况、发展历程、业务类型、系统结构、无线接口、信道类型、通信流程和基本帧格式方面进行了详细介绍与分析。

本书共为 5 章，第 1 章介绍海事四代 BGAN 卫星通信系统；第 2 章介绍海事四代

GPS 卫星通信系统；第 3 章介绍图莱亚卫星通信系统；第 4 章介绍铱星卫星通信系统；第 5 章介绍 VSAT 卫星通信系统，以目前商用市场占有率较大且具有典型技术特征的 iDirect 和 ViaSat LinkWayS2 系统进行重点介绍。

本书内容主要针对现代商用卫星通信系统，对其系统架构、技术体制、通信原理和通信流程等相关通信方面的内容进行深入研究与解析，可作为高等院校通信类、电子类本科或研究生进行卫星通信系统研究学习或者从事通信行业工程技术人员进行项目实践的参考书籍。

本书重点参阅了各卫星通信系统的标准协议，并结合了编者在卫星通信系统方面几十年的工程经验和试验数据。本书由北京米波通信技术有限公司编委会编写，参与人员均为工程技术人员，长期从事卫星通信设备、通信对抗及情报分析处理等领域技术开发工作，公司承担了多项国家及军队研制任务，积累了丰富的卫星通信及相关领域技术研究和工程实践经验。本书的编写工作同时得到了王剑高工的悉心指导，以及其他同事们的支持和帮助，在此特向上述所有人员表示感谢。

书中标注部分的参考资料可通过扫描书本最后一页中的二维码获取。

卫星通信技术正处于一个快速发展期，很多东西都是发展变化的，加之编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，敬请读者批评和指正。

北京米波通信技术有限公司编委会

2019 年 4 月



目录

第 1 章 海事四代 BGAN 卫星通信系统	1
1.1 概述	1
1.1.1 发展历程	1
1.1.2 业务类型	2
1.2 系统结构	2
1.2.1 空间段	3
1.2.2 地面段	7
1.2.3 用户段	9
1.3 无线接口	12
1.4 信道类型	13
1.4.1 前向信道	13
1.4.2 反向信道	15
1.5 通信流程	18
1.5.1 概述	18
1.5.2 开机注册	20
1.5.3 附着	21
1.5.4 电路域用户主叫	24
1.5.5 电路域用户被叫	26
1.5.6 挂机	30
1.5.7 用户终端发起的数据业务流程	32
1.5.8 解除附着	34
1.5.9 注销	35
1.5.10 帧格式	36

第 2 章 海事四代 GPS 卫星通信系统	39
2.1 概述	39
2.1.1 发展历程	39
2.1.2 业务类型	40
2.2 系统结构	40
2.2.1 概述	40
2.2.2 组成	41
2.3 无线接口	43
2.3.1 馈电链路	44
2.3.2 用户链路	44
2.4 信道配置	47
2.4.1 频率范围	47
2.4.2 信道类型	47
2.4.3 信道参数	50
2.5 通信流程	52
2.5.1 概述	52
2.5.2 开机注册	53
2.5.3 终端主叫	56
2.5.4 终端被叫	58
2.5.5 挂机	60
第 3 章 图莱亚 (Thuraya) 卫星通信系统	62
3.1 概述	62
3.1.1 发展历程	62
3.1.2 业务类型	63
3.2 系统结构	63
3.2.1 概述	63
3.2.2 组成	63
3.3 无线接口	68
3.4 信道类型	68
3.4.1 频率范围	68

3.4.2	物理信道	69
3.4.3	逻辑信道	71
3.4.4	物理信道和逻辑信道映射	76
3.5	通信流程	79
3.5.1	概述	79
3.5.2	开机注册	79
3.5.3	用户主叫	84
3.5.4	用户被叫	88
3.5.5	关机	92
3.6	帧格式	94
3.6.1	电路域帧格式	94
3.6.2	分组域帧格式	95
第 4 章	铱星卫星通信系统	97
4.1	概述	97
4.1.1	发展历程	97
4.1.2	业务类型	98
4.2	系统结构	102
4.2.1	概述	102
4.2.2	组成	102
4.3	无线接口	111
4.3.1	星际链路	111
4.3.2	馈电链路	112
4.3.3	用户链路	112
4.4	信道类型	116
4.4.1	频率范围	116
4.4.2	信道类型概述	116
4.4.3	信道参数	117
4.5	通信流程	118
4.5.1	概述	118
4.5.2	开机流程	122

4.5.3	通信流程概述	124
4.5.4	切换流程	130
第 5 章	VSAT 卫星通信系统	134
5.1	iDirect 系统	134
5.1.1	概述	134
5.1.2	系统特点及应用	135
5.1.3	系统组成	137
5.1.4	网络结构	143
5.2	通信体制	143
5.2.1	通信频段	143
5.2.2	通信体制概述	144
5.2.3	信道处理过程	146
5.2.4	前/反向数据封装格式	148
5.2.5	通信流程	149
5.3	LinkWayS2 系统	150
5.3.1	概述	150
5.3.2	实例应用	151
5.3.3	系统组成	154
5.3.4	网络结构	157
5.3.5	通信体制	160
5.3.6	通信流程	163
5.3.7	备份	164
参考资料		166

第 1 章

海事四代 BGAN 卫星通信系统



国际海事卫星组织成立于 1979 年，国际海事卫星通信系统是当前国际上应用最广泛、市场占有率最高的全球移动卫星通信系统，也是目前唯一作为强制性的海上遇险安全通信标准、纳入《国际海上人命安全公约》的移动卫星通信系统。海事卫星的发展历经多次技术的升级与革新，已从第一代的模拟信号通信发展到第二代、第三代的数字通信，2009 年第四代卫星全球服务（简称海事四代，Inmarsat-4）BGAN（Broadband Global Area Network，宽带全球局域网）正式推出，提供移动卫星 3G 宽带业务。其中 BGAN 和 GSPS（Global Satellite Phone Service，全球卫星电话服务）是海事四代卫星的杰出代表，体制成熟、卫星先进、地面站遍布全球，因此在各行各业得到广泛应用。

1.1 概述

1.1.1 发展历程

海事四代卫星通信系统于 2009 年 2 月实现全面运营，每颗卫星均搭载了 BGAN 和 GSPS 两种通信系统的有效载荷，为世界上南北纬 78° 以内的所有地区提供无缝隙的移动宽带通信服务。

其中，BGAN 具有全球无缝隙的宽带网络接入、移动实时视频直播、兼容 3G 等多种通信能力，最高传输数据速率可达 800kb/s。BGAN 系统可使用户同时进行多种业务应用，如移动实时语音、传真、视频会议等，在政府、石油、新闻媒体、科考探险、野外工程等领域均有广泛应用。

1.1.2 业务类型

海事四代卫星通信系统可为全球用户提供传输速率达到 800kb/s 的网络数据传输、移动视频、视频会议、传真、电子邮件、局域网接入应用，并为用户提供短信、语音信箱、来电显示、呼叫转移、呼叫等待、呼叫保持、电话会议、限制用户组、呼叫限制、预付费等多种附加业务。

BGAN 系统是一个 3GPP 分组交换和电路交换的网络，兼容 3G 手机系统，其所有提供的服务都基于 UMTS（通用移动通信系统）技术，如表 1.1 所示为目前 BGAN 支持的业务。

表 1.1 目前 BGAN 支持的业务

BGAN 支持的业务		数据传输速率	备注
电路域业务	语音	4kb/s	AMBE+2 语音编码
	ISDN	64kb/s	UDI/RDI 数据或 3.1kHz PCM A 律扩展数字音频
	短消息	—	每条最多 60 个字符
分组域业务	标准 IP	最高 800kb/s	IPv4 packets
	流 IP	32、64、128、256kb/s	IPv4 packets
	短消息	—	每条最多 60 个字符

1.2 系统结构

海事四代 BGAN 卫星通信系统由空间段、地面段和用户段 3 部分组成，如图 1.1^[1]所示。

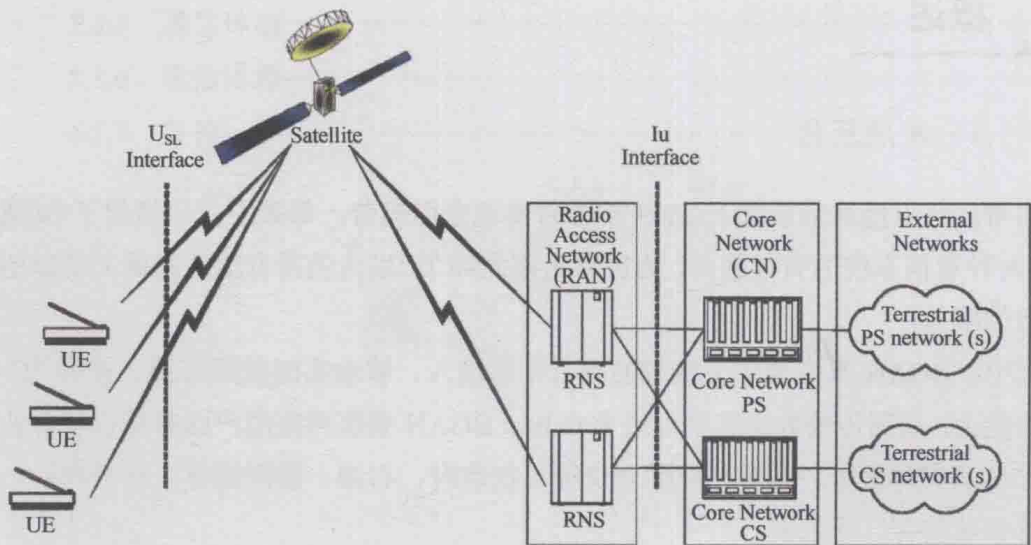


图 1.1 海事四代 BGAN 卫星通信系统

空间段由 4 颗 Inmarsat-4 卫星组成；地面段主要由无线接入网络（RAN）和核心网（CN）组成；用户段由各种卫星终端组成。

1.2.1 空间段

海事四代 BGAN 卫星通信系统的空间段共有 4 颗静止轨道卫星，分别为亚太（Asia-Pacific, APAC）卫星、欧非卫星、中东和亚太卫星、美洲卫星，卫星信息如表 1.2 所示。每颗卫星包含 1 个全球波束、至少 19 个区域波束和 228 个窄点波束，波束的层次结构如图 1.2 所示。每颗卫星的发射重量为 6 吨，太阳能翼展为 45 米，转发器的功率为 14kW。BGAN 系统的用户链路采用 L 频段，馈线链路采用 C 频段，卫星在两波段之间进行透明转发。

表 1.2 卫星信息

卫星名称	卫星位置	覆盖区域	发射时间
亚太卫星（APAC）	东经 143.5°	亚洲和太平洋区	2005-3
欧非卫星（Alphasat）	东经 25.1°	欧洲和非洲地区	2013-11
中东和亚太卫星（MEAS）	东经 64°	欧洲、非洲、中东和亚洲地区	2005-11
美洲卫星（AMER）	西经 98°	南北美洲地区	2008-8

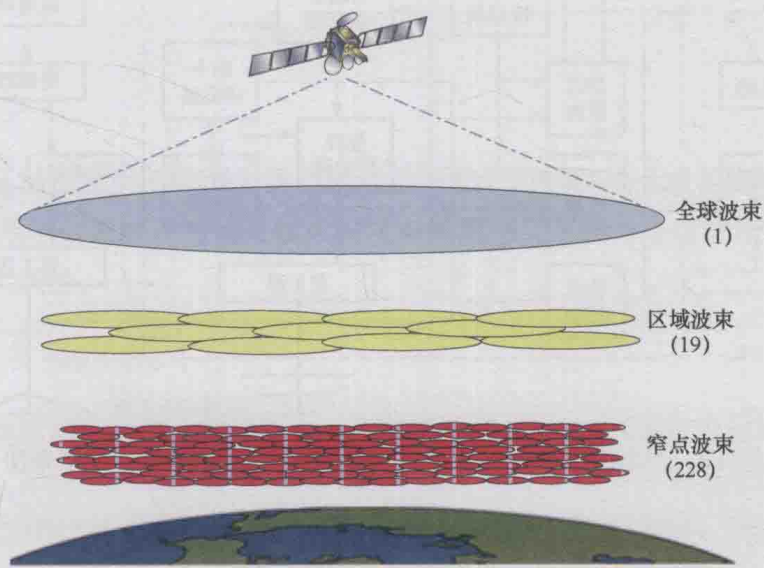


图 1.2 波束的层次结构

海事四代 BGAN 卫星通信系统的通信卫星由空间平台和有效载荷两部分组成，如图 1.3 所示。空间平台又称为卫星公用舱，不仅包括承载有效载荷的舱体，还包括用来维持有效载荷在空中正常工作的保障系统（如结构、电源、轨道控制、温度控制及跟踪遥测指令等分系统）；有效载荷是指用于提供业务的设备，主要包括天线分系统和通信转发器。

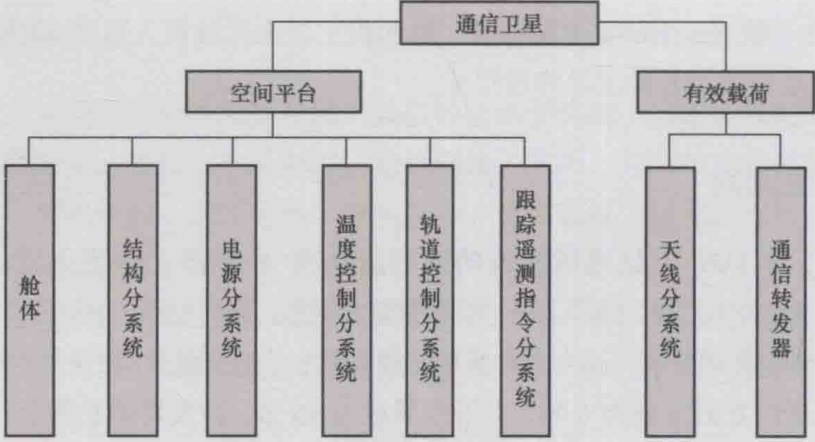


图 1.3 海事四代 BGAN 卫星通信系统的通信卫星组成示意图

海事四代 BGAN 卫星通信系统的通信卫星从功能上讲，主要由电源部分、控制部分、遥测指令部分、天线部分、通信部分五大部分组成，如图 1.4 所示。

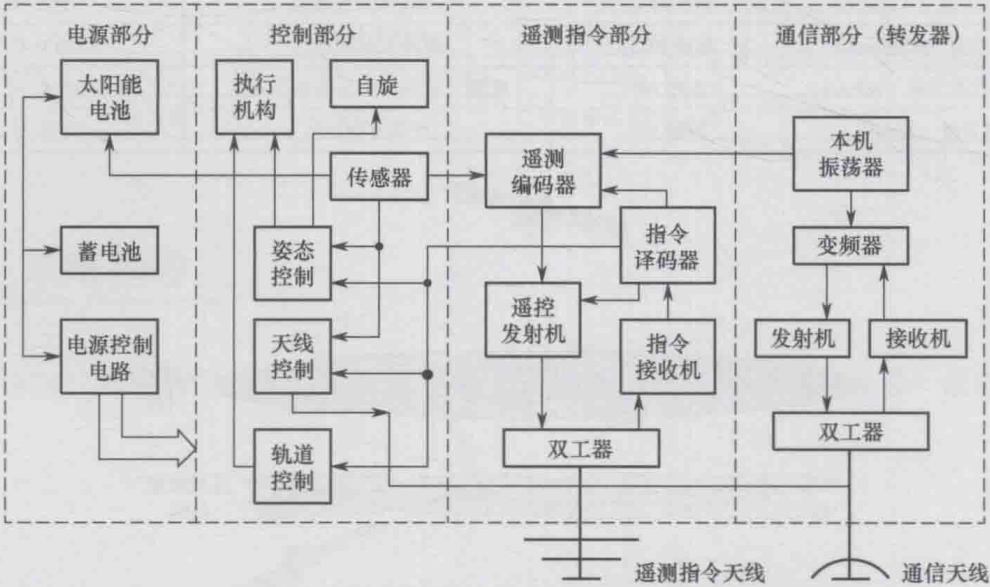


图 1.4 海事四代 BGAN 卫星通信系统的通信卫星功能组成示意图

1. 电源部分

通信卫星的电源体积小、重量轻、寿命长，常用的电源有太阳能电池和化学能电池，平时主要使用太阳能电池。当卫星进入地球的阴影区（星蚀）时，使用化学能电池。太阳能电池由光电器件组成，由太阳能电池直接供出的电压是不稳定的，必须经电压调整后才能供给负载；化学能电池可以进行充电和放电，如镍镉蓄电池。

2. 控制部分

控制部分包括位置控制和姿态控制两部分。位置控制部分用来消除“摄动”的影响，

以便使卫星与地球的相对位置固定,该部分利用装在星体上的气体喷射装置按照地面控制站发出的指令进行工作。当卫星有“摄动”现象时,卫星上的遥测装置就发给地面控制站遥测信号,地面控制站随即向卫星发出遥控指令,以进行位置控制。

姿态控制使卫星对地球或其他基准物保持正确的姿态。卫星姿态是否正确,不仅影响卫星上的定向通信天线是否指向覆盖区,还会影响太阳能电池帆板是否朝向太阳。

3. 遥测指令部分

遥测指令部分分为遥测和遥控指令两部分。

(1) 遥测部分的作用是在地球上测试卫星系统中各种设备的工作情况,包括表示有关部分电流、电压、温度等工作状态的信号;来自各传感器的信息;指令证实信号及作为控制用的气体压力等。上述各种数据通过遥测部分送往地面监测中心,这些数据传送的方法与通信过程相似,即先通过多路复用、放大、编码等处理后再调制和传输。

(2) 遥控指令部分包括对卫星进行姿态和位置控制的喷射推进装置的点火控制指令,行波管高压电源的开关控制指令,发生故障的部件与备用部件的转换指令,以及其他地面对卫星内部各种设备的控制指令等。指令信号由地面的控制站发出,在卫星转发器内被分离出来,经检波、解码后送至控制设备,以控制各种执行机构实施指令。

4. 天线部分

天线部分包括通信用的微波天线和遥测指令部分用的高频(或甚高频)天线,海事四代 BGAN 卫星通信系统的通信天线根据波束的宽窄又可分为全球波束天线、区域波束天线和窄点波束天线。

5. 通信部分(转发器)

卫星通信系统的主体为卫星转发器,转发器是海事四代 BGAN 卫星通信系统中最重要的一部分,它能起到卫星通信中继站的作用,其性能直接影响卫星通信系统的工作质量。海事四代 BGAN 卫星转发器的天线为口径 9m 的抛物面天线,其实质是一组宽频带收发信机,对其要求是工作稳定且可靠,附加噪声小。

海事四代卫星的有效载荷在 L 频段与 C 频段之间实现信号转发的过程如图 1.5 所示。前向链路上,海事四代卫星的有效载荷进行 C-L 频段信号的转发,C 频段接收天线接收来自卫星接入站(SAS)的 C 频段信号,依次经过 C 频段接收天线、C 频段有效载荷接收部分、C 频段下变频器、前置处理器和 L 频段有效载荷接收部分的处理,最终经 L 频段发射馈电阵和 L 频段反射器将 L 频段信号发射至地面终端。反向链路上,海事四代卫星的有效载荷进行 L-C 频段信号的转发,L 频段接收天线接收来自地面终端的 L 频段信号,依次经

过处理器和 L 频段有效载荷发射部分、后置处理器、C 频段上变频器、C 频段有效载荷发射部分的处理后，最终经 C 频段发射天线将信号发射至卫星接入站（SAS）。

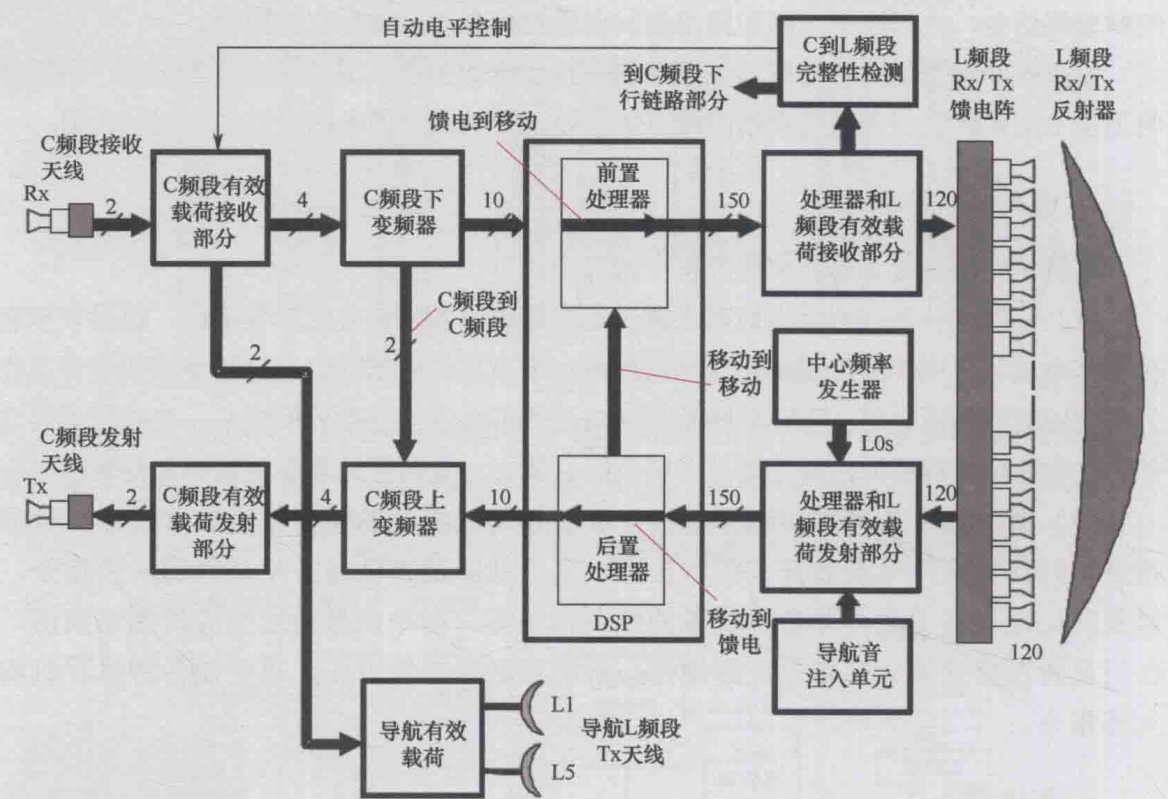


图 1.5 海事四代卫星的有效载荷在 L 频段与 C 频段之间实现信号转发的过程

(1) 在前向 C-L 频段的链路上，其工作过程如下：

C 频段天线先接收来自卫星接入站（SAS）发出的信号，后经滤波传送到 C 频段接收机，接着放大信号再次滤波并由 C 频段下变频器进行下变频，然后经过必要的模数转换后被馈送到 DSP 并分成合适的 200kHz 信道，负责给每个信道分配正确的波束成形系数。信道化的波束成形信号在经过模数转换后被馈送到 L 频段前置处理器，该处理器采用声表面波（SAW）技术滤波并将信号转换到 L 频段，然后馈送给多端口放大器（MPA），MPA 由输入网络（SSPA）和输出网络组成，用于放大信号并将其馈送给合适的馈线单元。MPA 的功能是确保装载更多的各类 SSPA。SSPA 配置成多个 5×4 构型，以提供所要求的备份。

(2) 反向 L-C 频段链路的过程与前向 C-L 频段链路是逆向对称的，其工作过程如下：

由 L 频段天线接收的信号被 LNA 放大，并馈送给 L 频段后置处理器，该处理器完成必需的信号滤波和下变频，生成基带信号，然后传送到 DSP 的模数转换器。DSP 具有必需的信道化和波束成形功能，并把信号传给数模转换器，然后馈送到 C 频段上变频器。高功率 SSPA 被用于 C 频段输出部分，以便向 C 频段天线提供必需的功率。

为了保证 SSPA 的激励电平保持在指定范围内,而且能够保持其线性,卫星采用功率控制环路对由前向链路 L 频段 SSPA 激励的电流进行采样,并控制 C 频段接收机的增益。

而在反向链路上的自动电平控制电路被应用于 C 频段 SSPA 组上,该有效载荷结合前向和反向链路上的完好性检测设备,检查每个移动单元路线的连续性。对于前向链路来说,一个 C 频段测试载波供给每个 L 频段移动单元路线使用,在输出网络的输出端口分发,并路由到 C 频段链路完好性检测器 (CLIC),CLIC 感应 120 个单元路线的信号并将其馈送给 C 频段分路器,其输出通过 C 频段下行链路传回 SAS,这允许 SAS 用最少的星上硬件来检查每个发射线路的连续性,在返向链路中采用类似的处理过程。

除了主要通信有效载荷,海事四代卫星还携带 1 个导航有效载荷,用于支持星基增强系统的运作,它将以 GPS L1、L5 频率发送卫星导航信号,并为在轨的全球导航卫星通信系统 (如 GPS 和 GLONASS) 实时转播来自地面监测网络的完好性和定位精度增强数据的信息。

1.2.2 地面段

海事四代 BGAN 卫星通信系统的地面段如图 1.6^[1]所示,它由无线接入网络 (RAN) 和核心网 (Core Network, CN) 组成。除此之外,还有网络操作中心 (Network Operations Centre, NOC)、卫星控制中心 (Satellite Control Centre, SCC) 和测控站 (TT&C)。

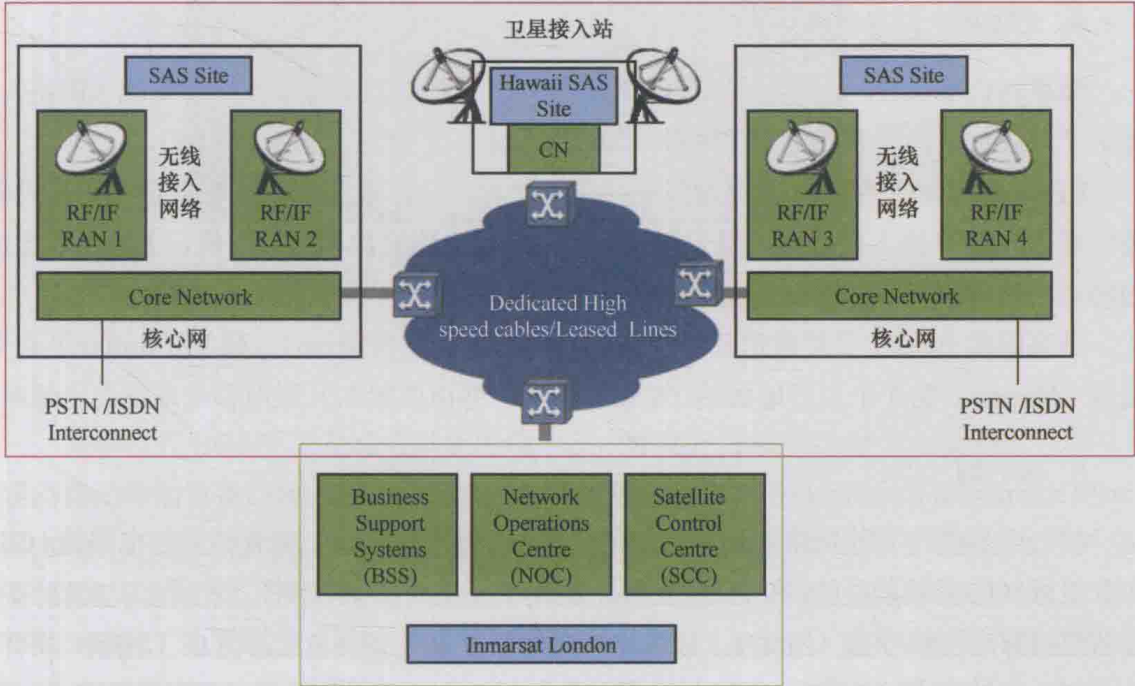


图 1.6 海事四代 BGAN 卫星通信系统的地面段