

“十三五”普通高等教育卫星通信类规划教材

WEIXING DONGZHONGTONG JISHU



卫星
动中通
技术

沈晓卫 贾维敏 张峰干◎编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

“十三五”普通高等教育卫星通信类规划教材

卫星移动通信技术

沈晓卫 贾维敏 张峰干 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书系统地介绍了卫星动中通技术。根据近几年卫星动中通的发发展现状,作者结合课题组长期积累的研究成果,全面对卫星动中通的相关概念和关键技术进行了介绍,具有较高的应用价值。本书主要内容包包括卫星通信、动中通天线系统、测控系统、稳定隔离技术、闭环跟踪技术等。

本书可作为高等院校和科研院所相关专业的本科生教材或参考书,也可作为从事卫星动中通的工程技术人员和科技工作者的技术和业务参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

卫星动中通技术 / 沈晓卫, 贾维敏, 张峰干编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2020. 4
ISBN 978-7-5635-6002-8

I. ①卫… II. ①沈… ②贾… ③张… III. ①卫星移动通信—通信技术—研究 IV. ①TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 031630 号

策划编辑: 张向杰

责任编辑: 满志文

封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 356 千字

版 次: 2020 年 4 月第 1 版

印 次: 2020 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6002-8

定 价: 39.80 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

卫星通信相当于将卫星中继站搬到地球外,具有覆盖范围广、通信距离远、线路稳定可靠等优点,使得任何人在任何时间、任何地点与任何人进行通信成为可能。近年来,受运动中远程、宽带多媒体应急通信需求的驱动,一种新的卫星通信技术——动中通卫星通信应运而生,并得到快速发展。动中通卫星通信的实质是基于固定卫星服务资源而实现的宽带移动卫星通信,可集成于飞机、轮船、汽车等移动载体上,能在快速运动中实时传递语音、数据和视频等多媒体信息。动中通具有机动灵活、通信能力强、可靠性高等特点,在军用和民用两方面都具有广阔的应用前景。

2000年以来,国内外出现了众多研制动中通的单位,但国内外系统介绍动中通的书籍并没有。作者结合课题组多年来从事卫星动中通系统的教学科研基础,对动中通系统的相关技术及应用进行了梳理总结,重点阐述了动中通系统更为关注的测控系统、稳定隔离技术、闭环跟踪、测试方法等内容。

全书共由9章组成,第1章从系统的角度阐述了卫星动中通系统的基本概念、特点、分类,以及动中通系统的发展状况;第2章重点介绍了卫星通信和卫星地球站相关基础概念;第3章涉及动中通系统的组成和工作原理;第4、5、6章分别介绍了动中通系统中的天馈分系统、通信分系统和测控分系统;第7章和第8章重点介绍了动中通的稳定隔离技术和闭环跟踪技术;第9章讨论了动中通系统的测试方法,包括天线性能测试、天馈罩测试、测控性能测试和车载综合运行测试。

全书由沈晓卫、贾维敏和张峰干统稿,姚敏立教授负责审稿。在编写过程中,作者参考了多年的科研成果和课题组部分博硕士论文,同时还引用了诸多文献资料,在此谨向原作者表示衷心感谢。

由于动中通系统涉及技术多、知识面宽,加上时间仓促和作者水平有限,本书在编写过程中难免存在一定的纰漏与不足之处,恳请各位专家、同仁及读者批评指正。

作 者
2019年7月于西安

目 录

第 1 章 卫星动中通简介	1
1.1 卫星动中通相关概念	1
1.1.1 卫星动中通基本概念	1
1.1.2 卫星动中通主要工作频段	3
1.1.3 卫星动中通工作特点	3
1.1.4 卫星动中通技术要求	4
1.1.5 卫星动中通分类	4
1.1.6 卫星动中通使用规定	6
1.2 动中通的发展与现状.....	10
1.2.1 国外动中通的现状及现状.....	10
1.2.2 国内动中通的现状及现状.....	15
1.2.3 卫星动中通发展趋势.....	19
1.3 动中通典型应用.....	22
第 2 章 卫星通信基础	24
2.1 卫星通信的基本概念.....	24
2.1.1 卫星通信的定义.....	24
2.1.2 卫星通信系统的分类.....	25
2.1.3 卫星通信的优缺点.....	27
2.1.4 卫星通信法规.....	27
2.2 卫星通信系统组成及工作过程.....	29
2.2.1 卫星通信系统的组成.....	29
2.2.2 卫星通信系统的工作过程.....	34
2.2.3 卫星通信的多址方式.....	34
2.3 卫星地球站.....	38
2.3.1 卫星地球站分类.....	38
2.3.2 卫星地球站功能组成.....	39
2.3.3 卫星地球站对星指向角.....	40
2.4 卫星链路预算.....	42
2.4.1 卫星链路参数.....	42
2.4.2 链路性能参数.....	43

2.4.3 链路设计·····	44
第3章 动中通系统组成及原理 ·····	48
3.1 动中通的工作原理·····	48
3.1.1 工作原理·····	48
3.1.2 总体技术·····	49
3.2 动中通的基本组成·····	50
3.2.1 功能维组成·····	50
3.2.2 空间维组成·····	51
3.3 动中通的工作流程·····	52
第4章 天馈分系统 ·····	54
4.1 天线技术·····	54
4.1.1 天线功能·····	54
4.1.2 动中通天线分类·····	54
4.2 天线的电参数·····	57
4.3 动中通天线发展现状·····	64
4.4 动中通反射面天线·····	71
4.4.1 典型的动中通反射面天线·····	71
4.4.2 反射面天线分类·····	73
4.4.3 馈源·····	76
4.4.4 正交模耦合器·····	78
4.5 动中通低轮廓天线·····	78
4.5.1 典型的动中通低轮廓天线·····	78
4.5.2 平板天线·····	88
4.6 天线极化技术·····	91
4.6.1 极化匹配原理·····	91
4.6.2 动中通变极化方式·····	92
4.6.3 电子变极化原理·····	92
4.6.4 电子电动变极化器·····	94
第5章 通信分系统 ·····	96
5.1 基本组成·····	96
5.2 调制解调与编码技术·····	97
5.2.1 调制解调技术·····	97
5.2.2 信道编码技术·····	102
5.2.3 调制解调器·····	105
5.3 变频器·····	107
5.3.1 上变频器·····	107

5.3.2 下变频器	109
5.4 功率放大器	113
第 6 章 测控分系统	116
6.1 测控系统原理	116
6.1.1 控制方法分类	116
6.1.2 动中通主要测控方式	119
6.1.3 测控系统基本组成	120
6.1.4 测控流程	121
6.2 测量单元	122
6.2.1 GPS 模块	123
6.2.2 倾斜仪	124
6.2.3 微机械陀螺	125
6.2.4 加速度计	127
6.2.5 微惯性测量单元	127
6.2.6 微机械航姿参考系统	128
6.2.7 微惯性导航系统	130
6.3 天线控制器	131
6.3.1 主要任务	132
6.3.2 基本组成	133
6.3.3 工作流程	135
6.4 伺服系统	137
6.4.1 伺服系统基本组成及分类	137
6.4.2 伺服控制器	140
6.4.3 位置检测元件	142
6.5 电动机伺服系统	148
6.5.1 步进电动机	148
6.5.2 直流伺服电动机	151
6.5.3 控制策略	156
第 7 章 稳定隔离技术	159
7.1 坐标系定义	159
7.2 姿态表示方法	161
7.2.1 欧拉角	161
7.2.2 四元数	162
7.2.3 旋转矩阵	162
7.3 典型指向稳定系统	163
7.3.1 稳定原理和数学模型	163
7.3.2 两轴天线指向稳定的原理性缺陷	165

7.4	三轴天线波束稳定隔离方程推导	166
7.4.1	波束对准量干扰分析	166
7.4.2	隔离载体扰动补偿方程	166
第8章	闭环跟踪技术	169
8.1	卫星信号检测	169
8.1.1	信标信号检测方法	169
8.1.2	数字调谐器检测法	173
8.1.3	调制解调器检测法	174
8.2	跟踪方法	178
8.2.1	步进跟踪	178
8.2.2	基于梯度法的改进步进跟踪	180
8.2.3	圆锥扫描跟踪	183
8.2.4	单脉冲跟踪	185
8.2.5	伪单脉冲跟踪	188
8.3	初始对星方法	192
8.3.1	静态初始捕获	192
8.3.2	动态初始捕获	194
8.4	阴影检测方法	194
8.4.1	阴影检测	195
8.4.2	阴影控制	200
第9章	卫星动中通性能测试	202
9.1	天线性能测试	202
9.1.1	天线增益测试	202
9.1.2	天线 G/T 值测试	204
9.1.3	交叉极化隔离度测试	206
9.1.4	旁瓣特性测试	207
9.1.5	电压驻波比测试	209
9.1.6	收发隔离度测试	210
9.2	天线罩测试	210
9.3	测控性能测试	211
9.3.1	天线跟踪精度	211
9.3.2	天线失锁率	212
9.3.3	天线开通时间	212
9.3.4	再捕获时间	213
9.4	车载综合运行测试	214
9.4.1	静态启动测试	214
9.4.2	静态切星测试	214

9.4.3	动态启动测试	215
9.4.4	动态切星测试	215
9.4.5	动态直线测试	216
9.4.6	动态转圈测试	216
9.4.7	动态 S 弯测试	217
9.4.8	动态颠簸测试	217
9.4.9	动态遮挡测试	218
9.4.10	动态跟踪精度测试	218
9.4.11	动态失锁率测试	219
参考文献		220

第 1 章 卫星移动通信简介

1.1 卫星移动通信相关概念

1.1.1 卫星移动通信基本概念

长期以来,人类有一个美好的梦想:任何人在任何时间、任何地点与任何人进行任何方式的通信。随着第三、四代移动通信的发展,这个梦想成为现实。但是,上述通信方式往往受边远山区、海上、空中和灾区等地域的制约。卫星通信相当于将中继站搬到地球外,具有覆盖范围广、通信距离远、线路稳定可靠等优点,使得任何人在任何时间、任何地点与任何人进行通信成为可能。

在卫星通信发展的过程中,静止卫星通信系统开发最早,技术最成熟。如国际海事卫星组织(INMARST)的第一、二、三代卫星通信都采用静止轨道卫星,北美卫星移动通信系统——MSAT 以及正在建设的亚洲蜂窝系统——ACeS 也都采用同步轨道卫星。移动卫星通信是指利用卫星转发器构成的通信链路,在移动体之间或移动体与固定体之间建立的通信。目前的移动卫星通信系统有海事卫星移动通信系统(Marine Mobile Satellite System, MMSS)、航空卫星移动通信系统(Aeronautic Mobile Satellite System, AMSS)和陆地卫星移动通信系统(Land Mobile Satellite System, LMSS),如图 1-1 所示,移动卫星通信系统是第三代移动通信系统的重要组成部分。

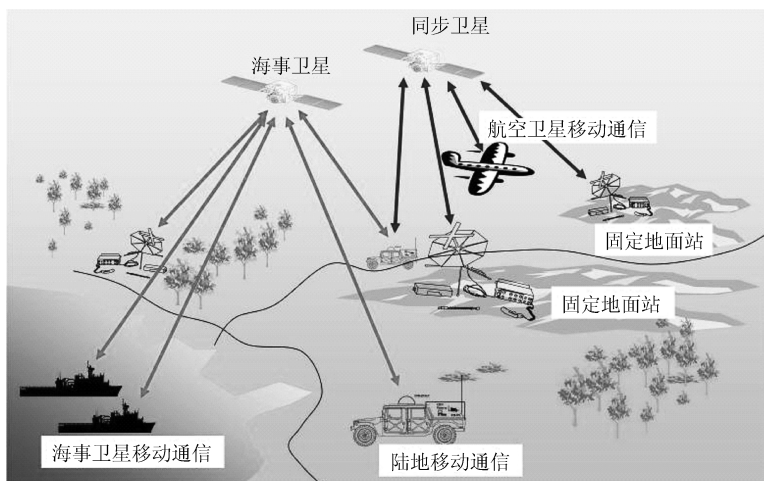


图 1-1 卫星移动通信系统

根据国际电信联盟(International Telecom Union, ITU)的规定,用于卫星移动通信业务的频段有 VHF、UHF、L、S,其中 VHF、UHF 只能用于非静止轨道卫星系统,只有 L、S 频段可用于静止轨道的卫星移动通信系统。而 L、S 波段的可用带宽只有几十兆赫兹,只能实现话音和低速的数据通信,远远不能满足实际需求,卫星通信技术必须向更高频段延伸。卫星通信的无线电频段资源如图 1-2 所示。

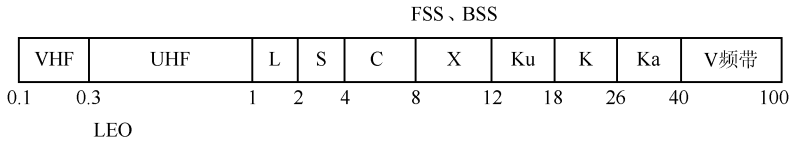


图 1-2 卫星通信的无线电频段资源

近年来,受运动中远程、宽带多媒体应急通信需求的驱动,一种新的卫星通信技术——卫星动中通(Satcom On-the-Move, SOTM)应运而生,并得到快速发展。卫星动中通是“运动中的卫星地面站通信系统”的简称,如图 1-3 所示,属于一种特殊的地球站,是基于固定卫星服务(Fixed Satellite Service, FSS)资源而实现的宽带移动卫星通信。ITU 分配给固定卫星业务和广播卫星业务(Broadcast Satellite Service, BSS)的 C、Ku、Ka 波段的可用频谱带宽很大,C 波段可用单向带宽为 500~800 MHz, Ku 频段可用单向带宽 500~1 000 MHz,而 Ka 频段的可用单向带宽达 3 500 MHz,对于动中通要求的通信速率是完全能够满足的。

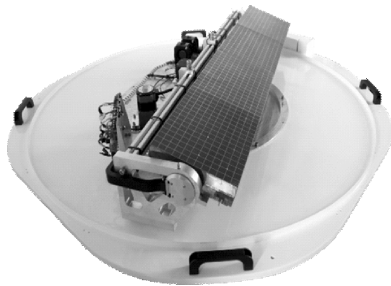


图 1-3 卫星动中通系统

同步轨道通信卫星位于距地球表面约 36 000 km 的赤道上空,其上有转发器和天线,它接收地面站发来的信号,经过放大和下变频等处理后,由转发器发回地面。为防止收发之间的相互影响,收发采用不同频率和不同极化(极化正交)。与静止状态的卫星地面站一样,动中通天线波束在运动状态下必须时刻与卫星保持方位、俯仰和极化的三维对准,才能正常工作。但动中天线的增益高、波束窄,且置于不停运动的载体上,因此,要求天线在运动过程中,必须具有波束稳定和自动跟踪卫星的能力和精度。

如图 1-4 所示,动中通系统集成于飞机、轮船、汽车等移动载体上,很好地解决了各种车辆、轮船等移动载体在运动中通过地球同步卫星,实时不断地传递语音、数据、高清晰的动态视频图像、传真等多媒体信息的难关,是通信领域的一次重大的突破,是当前卫星通信领域需求旺盛、发展迅速的应用领域,在军民两个领域都有极为广泛的发展前景。

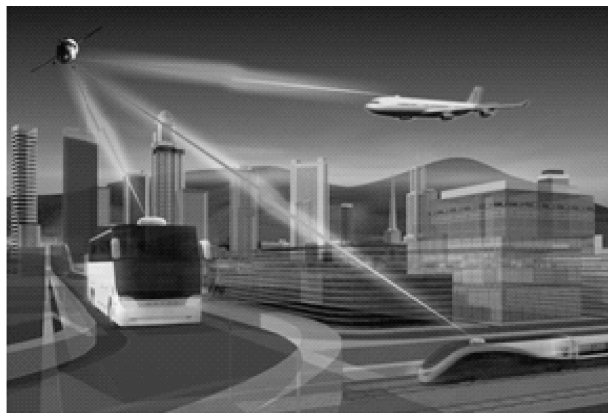


图 1-4 动中通卫星通信

1.1.2 卫星动中通主要工作频段

动中通工作频段的选择是一个十分重要的问题,它将影响系统的传输容量、动中通的发射功率、天线尺寸和设备的复杂程度。当前,卫星通信频段主要包括 C、Ku 和 Ka 波段,不同的频段有不同的特点。一般来说,频段越低,电波进入雨层中引起的衰减越小,绕射能力越强,对终端天线的方向性要求也低,它较适合于移动通信环境,但缺点是带宽较小。而频段越高,情况正好相反。人们早期使用的 L、S 频段就处于低端,传递话音、文字等低速率信息不成问题,但很难满足当今社会多媒体视频等宽带内容的传输需求。而 C、Ku 频段相对较高,它们传输容量较大,是目前卫星通信领域的主流频段。但因波束宽度较窄,对星愈加困难,需要更复杂、灵敏度更高的对星算法,成本也相应增加。

C 波段由于大多数卫星通信系统都在使用,目前已显得十分拥挤,并且与地面微波终端通信系统相互干扰的矛盾也十分突出,况且 C 波段天线接收尺寸很大,不适合用作移动通信。动中通系统在为我国车载、机载、可搬移式或便携式移动平台地球站所用时,必然要求天线口径较小。Ku 波段频率高,天线增益大,天线尺寸可做得小,非常适用于卫星移动通信,况且较小口径天线移动站更容易通过桥洞和隧道,更具机动灵活性。近年来,随着卫星宽带多媒体业务需求的快速增长,相对空闲的 Ka 波段(20~40 GHz)成为全球各地的首选频段。Ka 波段具有可用带宽宽(第三区上行、下行带宽均为 3 500 MHz)、传输容量大、干扰少、设备体积小等特点,特别适用于高速卫星通信。国内外对 Ka 频段动中通系统的需求日益增多,因此欧美等卫星强国已相继将动中通频率的合法使用范围扩展到了 Ka 频段。随着 2018 年中星 16 号的在轨运行,我国正式步入使用国产 Ka 频段宽带卫星进行多媒体通信的崭新时代。工业和信息化部无线电管理局也相应制定我国《对地静止轨道卫星固定业务 Ka 频段设置使用动中通地球站相关规定》。目前,国内外已经出现了多款 Ka 频段的动中通产品。

1.1.3 卫星动中通工作特点

动中通优点主要表现在以下几个方面。

1. 机动性能强

动中通的终端有车载、船载、航空终端等多种形式,因而具有极强的机动能力,这一特点使得动中通在军民领域得到广泛应用。

2. 使用方便

由于动中通系统的通信终端之间是靠卫星链路联接的,因此,动中通的通信距离远,覆盖面积大,而且其终端设备不因通信距离的远近和地理环境的变化而变化,这使得动中通系统的使用十分方便。

3. 可靠性高

动中通的信号主要在宇宙空间中传播,其信道特性基本稳定,只要终端与卫星间的信号传输满足技术要求,通信质量就有保证,其受地理条件的影响很小。因此,动中通相对于其他通信手段具有明显的优势。

4. 功能强大

动中通系统绝大多数工作于微波波段,可供使用的频带很宽(100~500 MHz),加上卫星能源(太阳能电池)充足和卫星转发器的功率足够高,因而动中通系统传输的业务种类越来越多样化,不仅可以传输语音和数据,还可以传输图像等信息。

在动中通体制下,位于卫星天线波束辐射区域内的任何终端之间都可以同时进行通信,因此,系统能以广播的方式工作,且便于实现多址联接,这就为组网提供了极高的效率和巨大的灵活性。

然而,受目前技术的限制,动中通仍存在一些不足,主要是在转播环境比较复杂(建筑物、桥梁、山区等)的情况下,会出现信号中断的现象。

1.1.4 卫星动中通技术要求

动中通设备特点:①安装于载体上;②在运动中使用;③利用 FSS 频段资源。根据以上三个特点,当前动中通系统的应用层面应满足以下要求:

- (1) 高度低,满足过涵洞的要求、通过性好;
- (2) 造价低,便于推广;
- (3) 嵌入式,使用方便,对载体改动小,不干扰载体上的其他设备;
- (4) 功耗低,对载体电源要求小;
- (5) 重量轻,对载体结实程度要求低,不需要加固改装车体,保证载体完整性;
- (6) 无人值守,完善的监控,人机分离,操作“傻瓜”化,方便用户使用;

(7) 符合法规,动中通本质上也是一种特殊的卫星地球站,必须满足卫星通信对地球站的各项要求,但是动中通天线一般较小,很难满足卫星通信组织指定的对地球站的各项要求。

1.1.5 卫星动中通分类

1. 按照安装载体分

动中通按照载体区分,可以分为车载动中通(VMES)、船载动中通(ESV)和机载动中通(AES)三类,如图 1-5 所示。不同的动中通工作环境不同,其中车载动中通工作时载体运动比较复杂、容易受到阴影的影响,对测控要求最高,可应用于汽车、高速列车等;船载动中通

姿态变化较慢,几乎不受阴影的影响,且对天线控制较低,可应用于远洋船、内河船及近海船等;机载动中通姿态变化较大,但不需要考虑阴影的影响,可应用于无人机、有人机、直升机等。因此,不同的安装载体往往采用不同的动中通测控方法。

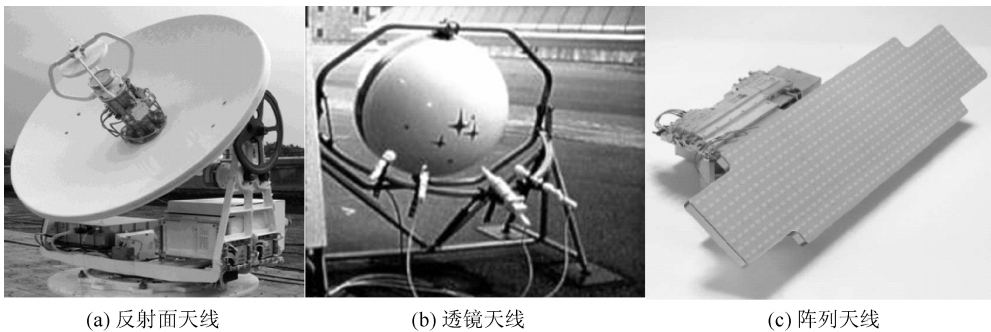


图 1-5 不同的动中通载体

2. 按照天线类型分

天线是反映动中通技术水平高低的主要组成部分,从不同的角度可以有不同的分类。

(1) 根据天线结构形式,可以划分反射面天线、透镜天线、阵列天线,如图 1-6 所示。



(a) 反射面天线

(b) 透镜天线

(c) 阵列天线

图 1-6 不同的天线结构

根据天线高度可以分为高轮廓动中通、中轮廓动中通和低轮廓动中通,如图 1-7 所示。早期动中通普遍采用抛物反射面天线,此类天线已经是发展得比较成熟的产品。它的优点是易于实现高增益、低旁瓣和低交叉极化性能,缺点是天线大都具有圆对称的口径,直径约 1 m(0.8~1.2 m),轮廓高、安装不便,在大型车辆上使用,常常要对车辆进行改造,较难适应在小型车辆上的应用。为实现动中通天线的通用化应用,小型化、低剖面的天线系统设计成为目前动中通天线的主要发展方向。同时,近几年现代微电子技术、机械加工技术的快速发展,也为传统抛物反射面天线动中通系统向低成本、低剖面、高性能方向发展提供了有力的支持。中轮廓动中通主要以椭圆口径的反射面天线和透镜天线为主,产品以椭圆波束反射面天线和半球透镜天线呈现。它的优点是实现大口径高增益,可以在较低的尺寸下实现较好的电气性能,缺点是俯仰面的旁瓣性能下降。低轮廓动中通主要有透镜天线、反射面天线、阵列天线三种形式。它的优点是具有轮廓低、机动性好、体积小、易于安装、重量轻等特点,并且低轮廓动中通的风阻小,适宜高速运动形式的载体平台应用,缺点是不容易实现大口径高增益,且馈电复杂。



图 1-7 不同高度的动中通系统

3. 按使用频段分类

可分为 C 频段、Ku 频段和 Ka 频段。其中 C 频段雨耗小,可以适用于降雨较多的地区,但天线尺寸较大,适合于对天线体积要求不高的静中通。Ku 频段、Ka 频段与 C 频段相反,适合于对天线体积要求较为严格的载体。当前,多频段成为发展趋势,Ku/Ka 双频段单馈源方法,如图 1-8 所示,可以实现 Ku 与 Ka 铰链工作。



图 1-8 Ku/Ka 双频段动中通

4. 按照测控方法分

动中通通信时需要测控系统控制天线始终对准卫星。根据测控方法可以分为高精度测控系统和低成本测控系统两种动中通。早期动中通一般为高精度测控系统,采用高精度陀螺、航姿系统等惯性器件,给天线波束提供一个基准,通过捷联算法稳定天线。这种动中通测量误差小、精度高、算法更新周期短,能够适应高动态的应用环境。由于采用开环控制,无须利用卫星信号进行跟踪,使得这种测控体制能够适应恶劣的环境,在军事领域受到广泛的关注,但这种方式成本较高。低成本测控系统一般采用微惯性传感器,通过开环稳定,将天线波束稳定在一定的空间坐标系,实现对卫星的粗指向,在此基础上通过闭环跟踪实现波束的精确对准。这种方式可以有效降低系统成本,当前动中通系统大多属于这种工作模式。

5. 按照业务用途分

可分为商用和专用两种。商用主要是供民用汽车、船舶、飞机上,利用载体上的卫星通信天线及其他相关设备提供因特网接入、传输数据、进行通话等服务。专用主要是提供政府、军队和电信部门用于突发事件抢险救灾等应急通信及指挥作战时军事通信服务。

1.1.6 卫星动中通使用规定

关于动中通的使用在国际上有严格的技术规范和操作管理办法。概括起来,对于动中

通的相关标准和管理规定主要从如下四个方面开展：一是明确动中通可以应用的频段范围；二是规范设备的技术性能指标；三是规范动中通设备的使用条件和操作规范；四是明确管制机构、卫星操作者、系统运营商以及动中通用户的具体职责和义务。

1. ITU 框架下可以用于动中通的频段

根据 ITU《无线电规则》频率划分表,通过相关的脚注、建议书、决议等进行梳理可以得出,目前在 ITU 规则框架下,在有 FSS 划分的频段内开展 MSS 应用的频段具体包括以下几点。

(1) 5 925~6 425 MHz 和 14~14.5 GHz 频段

可以用于船载地球站(ESV)与 FSS 卫星通信系统开展通信,具体按照第 902 号决议操作,属于动中通应用。

(2) 14~14.5 GHz 频段

可以用于机载地球站(AES)通信,但其应用的业务类型是卫星航空移动业务(AMSS),而不是 FSS,因此该应用不属于动中通。

(3) 2 区的 19.7~20.2 GHz 和 29.5~30 GHz 频段以及 1 区和 3 区的 20.1~20.2 GHz 和 29.9~30 GHz 频段

在这些频段中,同时有 FSS 和 MSS 划分,且有移动地球站的应用,但其应用的业务类型应该是 MSS,而不是 FSS,因此也不属于真正意义上的动中通。

综上所述,目前在 ITU 有规则地位的动中通应用只有 C 和 Ku 频段的 ESV 通信。但欧美等区域国家的 ESOMPs 应用则涵盖了上述频段内的所有移动平台地球站通信系统。

我国工业和信息化部在 2013 年 1 月 21 日发布了《卫星固定业务通信网内设置使用移动平台地球站管理暂行办法》(工信部[2013]29 号),对 C 和 Ku 频段动中通在技术和操作等方面进行了相关规定,同时对某些场景下具体可用的频段也进行了限制,比如 VMES 和在内陆水域以及距海岸线 125 公里范围内设置使用的 ESV 仅允许使用 Ku 频段低端 14.0~14.25 GHz 发射信号;在距海岸线 125~300 公里内设置使用的 ESV 不得使用 C 频段发射信号。

近年来随着 Ka 频段对地静止轨道(Geostationary Satellite Orbit, GSO)高通量卫星(HTS)的不断发射,国内外对 Ka 频段动中通系统的需求日益增多,因此欧美等卫星强国已相继将动中通频率的合法使用范围扩展到了 Ka 频段。国外 Ka 频段动中通地球站允许使用频率如表 1-1 所示。

表 1-1 国外 Ka 频段动中通地球站允许使用频率

国家或组织	频率范围/GHz
美国	上行链路:28.35~28.6、29.35~30 下行链路:18.3~18.8、19.7~20.2
欧洲	上行链路:27.5~30 下行链路:17.3~20.2
英国	上行链路(本土):27.5~27.8185、28.4545~28.8265、29.4625~30 本土之外:27.5~30 下行链路:17.3~20.2
国际电联	上行链路:27.5~30 下行链路:17.7~20.2

2. 在技术、操作和管理等层面对于动中通地球站的几条关键要求

(1) 偏轴 EIRP 密度值要求

动中通的操作须遵守相应的偏轴 EIRP 密度值要求,该要求一般来源于建议书 ITU-RS. 524-9:卫星固定业务中以 6 GHz、13 GHz、14 GHz 及 30 GHz 频带发射的对地静止卫星轨道网络中的地球站轴外等效全向辐射功率密度的最大允许电平。

目前欧美等国家对 Ka 频段动中通地球站偏轴 EIRP 密度的限值,都是基于 ITU-RS. 524-9 建议书。若偏轴 EIRP 密度不满足上述对应值或偏轴角小于 2° 时,应遵守 GSO FSS 卫星网络运营商间的双边协议中商定的值,且在与其他 GSO 卫星网络协调时,卫星运营商应考虑使用多点频率复用技术的动中通地球站潜在集总干扰的影响。经过比较,美国的 EIRP 密度限值规定得更精细,且比欧洲和 ITU 的限值严格了约 0.5 dB,当偏轴角大于 19.1° 后限值放松较多;而共极化信号时欧洲和 ITU 的 EIRP 密度限值相同,在偏轴角大于 48° 后限值才放松较多,但 ITU 并未限制交叉极化信号的 EIRP 密度。

(2) 跟踪精度和指向精度的要求

动中通系统的运营和管理部门必须具备相应的跟踪技术,确保动中通地球站可以时时跟踪目标卫星,在察觉卫星指向误差大于或即将会大于设定误差值(比如 0.2°)时,必须立即降低发射功率或停止发射(比如要求在 100 ms 内必须关闭发射)。

(3) 网络控制功能

动中通地球站应受网络监视和控制设备或等效设备的监视和控制,必须至少能接收来自监控设备的“发射”和“停止发射”命令。在接收到任何“参数改变”命令时,动中通地球站必须立即自动停止发射,因其改变期间可能引起有害干扰,直至收到来自监控设备的“发射”命令后才可发射。此外,监控设备应能监视动中通地球站的运行以确定其是否发生故障。

(4) 自我监测能力

动中通地球站必须能够进行自我监测,并判断发射功率是否超标、跟踪误差是否超出设定范围、设备是否发生故障等,如果有上述之一情况发生,动中通地球站须具备调整设备状态和关闭发射的能力。

(5) 数据记录要求

动中通地球站的运营单位需要按规定时间和频次记录动中通地球站终端的位置和高度、发射频率、信道带宽及使用的卫星网络数据等(比如可以规定 ESV 每 20 分钟、VMES 每 6 分钟、AES 每 1 分钟记录 1 次数据)。

(6) 对主管部门的要求

首先主管部门要有能力确保不同频段、不同平台类型的动中通地球站仅在可运行区域内操作;其次主管部门须掌握动中通地球站应用单位的联系人信息,以保证可以随时追踪任何动中通地球站造成的可疑有害干扰。

3. 车载地球站(ESV)相关规定

在很长一段时期,船舶的卫星通信主要依赖于 1.5/1.6 GHz 卫星通信系统。但在 20 世纪末期,操作者开始在船上安装 4/6 GHz 和 11/12/14 GHz 频段的卫星通信终端,这些终端都是基于传统的 VSAT 网络运行,但是应用了高稳定度的平台以保持其在运动状态下台站天线对 GSO 空间电台的必要跟踪和指向精度。在 ITU 层面,这些终端被称为车载地球站(ESV)。对于需要高通信带宽、实时在线的海上用户而言,ESV 往往成为唯一的解决方案,