



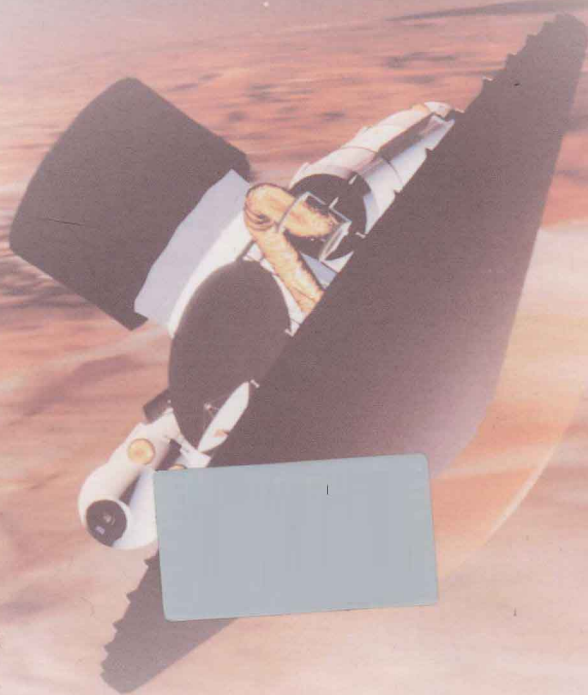
中国科协学会学术部 编

新概念航天器

新

观点新学说学术沙龙文集

49



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

新观点新学说学术沙龙文集④9

新概念航天器

中国科协学会学术部 编



中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

新概念航天器/中国科协学会学术部编. —北京:
中国科学技术出版社, 2012. 6
(新观点新学说学术沙龙文集; 49)
ISBN 978 - 7 - 5046 - 6113 - 5

I. ①新… II. ①中… III. ①航天器 IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 132092 号

选题策划 赵 晖
责任编辑 赵 晖 夏凤金
责任校对 凌红霞
责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010 - 62173865
传 真 010 - 62179148
投稿电话 010 - 62103182
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm × 1092mm 1/16
字 数 200 千字
印 张 7.75
印 数 1—2000 册
版 次 2012 年 9 月第 1 版
印 次 2012 年 9 月第 1 次印刷
印 刷 北京金信诺印刷有限公司

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6113 - 5/V · 63
定 价 18.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)
本社图书贴有防伪标志, 未贴为盗版

序 言

航天器又称空间飞行器,包括按照天体力学的规律在太空运行,执行探索、开发、利用太空和天体等特定任务的各类飞行器。航天器的研究与开发始于20世纪50年代,它的出现使人类的活动范围从地球大气层扩大到浩瀚的宇宙空间,引发了人类认识自然和改造自然能力的飞跃,对社会经济和社会生活产生了重大影响。随着科技的进步,为了适应现代天文物理学以及空间科学探索和行星际探测新的需求,为了满足空间开发应用的迫切要求,以及适应我国空间技术的不断发展和提高,必然会出现许多与当前传统航天器有着比较大差别,甚至有根本性变化的新概念航天器。由中国科协主办,中国宇航学会、中国空间技术研究院总体部联合承办的第49期新观点新学说学术沙龙“新概念航天器”于2010年12月在北京举办。来自我国航天领域的资深院士、知名专家、学者以及年轻科技工作者,针对新概念航天器这个主题展开研讨,各抒己见,集思广益,通过广泛交流取得共识,以期推动我国新概念航天器的发展和研究。

本次沙龙共有5个主题发言,即:《空间星座和天地网络一体化》、《金星探测技术探讨》、《几类新概念航天器技术的发展与展望》、《国外快速响应小卫星技术的发展应用与启示》、《“试验卫星三号”及先进微小卫星技术》,以及3个专题发言,即:《高分辨率天基复合雷达系统》、《空间核电源技术的发展》、《GEO碎片探测与清除系统》。讨论的重点有四个方面:一、新概念航天器的内涵;二、新概念航天器相关研究与发展;三、新概念航天器有哪些关键技术;四、新概念航天器发展策略的建议。围绕8个报告和4个重点讨论的方面逐步定位“新概念”,提出了一些新概念航天器、关键技术和发展建议。通过讨论认为,对于“新概念航天器”的定义和理解是多方面的,很难下一个确切的定义,只能界定一个属于“新概念”的范畴,但沙龙达到了“开展交流、广泛研讨、推动发展”的预期目的。

这本文集根据会议记录整理,尽可能真实反映发言专家、学者的观点,但难免有遗漏和不准确之处,有待进一步修正和补充。希望这本文集的出版能够对

于正在进行“新概念航天器”研究的科研人员有所启发,能够对于推动我国新概念航天器的创新与发展起到积极的作用。

作为本期沙龙的领衔科学家,借此文集出版的机会,衷心地感谢各位院士、专家、学者的积极参与,感谢中国科协长期以来对我国航天事业的关注与支持,感谢中国宇航学会、中国空间技术研究院、中国空间技术研究院总体部等有关单位为沙龙的成功举办所付出的辛勤努力!

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Yang Liang, the author of the preface.

2012 年 8 月

倡导自由探究

鼓励学术争鸣

活跃学术氛围

促进原始创新

目 录

空间星座和天地网络一体化	陈忠贵 (3)
金星探测技术探讨	顾 征 (17)
高分辨率天基复合雷达系统	郭佳佳 (31)
空间核电源技术的发展	朱安文 (39)
几类新概念航天器技术的发展与展望	赵会光 (49)
GEO 碎片探测与清除系统	刘永健 (63)
国外快速响应小卫星技术的发展应用与启示	崔玉福 (70)
“试验卫星三号”及先进微小卫星技术	张世杰 (83)
沙龙总结	范本尧 戚发轫 孙泽洲 (101)
专家简介	(105)



会议时间

2010 年 12 月 11 日

会议地点

中国空间技术研究院

主持人

范本尧 孙泽洲

范本尧：

本次沙龙的主题是新概念航天器。为适应现代天文物理学以及空间科学探索和行星际探测新的需求,满足空间开发应用的迫切要求,以及适应我国空间技术的不断发展和提高,必然会出现许多与当前传统航天器有着比较大差别和有根本性变化的新概念航天器。这次由中国科协主办,中国宇航学会、中国空间技术研究院总体部联合承办的第 49 期学术沙龙,就是为了针对新概念航天器这个主题展开研讨。大家可以各抒己见,集思广益,通过广泛的交流取得共识,以期推动我国新概念航天器的发展和研究,进一步开展关键技术的攻关以及型号的立项,以便取得实质性成果。

本次沙龙一共有五个主题发言,三个专题发言,在每个发言之后展开讨论。重点发言的题目分别是“空间星座和天地网络一体化”、“金星探测技术探讨”、“几类新概念航天器技术的发展与展望”、“国外快速响



应小卫星技术的发展应用与启示”、“‘试验卫星三号’及先进微小卫星技术”；还有三个专题发言“高分辨率天基复合雷达系统”、“空间核电源技术的发展”、“GEO 碎片探测与清除系统”。

希望主题发言和专题发言主要是围绕这项工作有什么新创造，围绕新概念航天器论述，不是汇报工作，而是说你这个项目为什么是新概念，有什么新观点、新创造，而不是传统航天器，然后大家可以开展讨论。

讨论的重点有：

第一，新概念航天器的内涵，什么是新概念航天器，我们要取得共识。它跟现在目前传统的航天器有什么差别，是不是每个新的型号都叫“新概念”，与会的专家可以各抒己见，确定我们有哪些种类、哪些类型属于新概念航天器，这是需要大家交流的。

第二，新概念航天器相关研究与发展。国内外都有哪些，如果专家发言不全大家可以再补充。

第三，新概念航天器有哪些关键技术，我们需要解决哪些问题，这也需要大家来讨论、补充。

第四，新概念航天器发展策略的建议，对我们国家新概念航天器发展各位专家有什么建议都可以提出来，加快我国新概念航天器的发展和进步，上一个新台阶。



空间星座和天地网络一体化

◎ 陈忠贵

目前空间星座系统已广泛用于全球卫星导航、全球移动通信、空间遥感等领域,解决相关服务的全球、全时段连续覆盖要求,我今天所讲的“空间星座和天地网络一体化”,是结合导航卫星系统来说的。目前已有和正在建设的全球卫星导航系统主要有美国的 GPS、俄罗斯的 GLO-NASS、欧洲的伽利略和中国的北斗卫星导航系统。全球卫星导航系统组成主要是由空间段、地面控制段、地面应用段三部分,同时通过不同的无线电信号和地面有线设备,形成一个星间、星地、站间互联互通的天地一体化网络。

1. 系统组成和主要功能特点

全球卫星导航系统主要是由空间段、地面控制段、地面应用段等三部分组成。

空间段主要是由分布于不同轨道面上的卫星组成的,对于卫星导航系统来说,其星座中每颗卫星的标准服务波束都是全球波束,相对于地面的轨道高度 20000km 左右,标准的星座配置 24 颗星可满足连续覆盖和精度要求,加上备份星,大多在 30 颗星左右,卫星再多意义也不大,效益不会太高。GPS 卫星导航系统星座由 24 颗星分布在 6 个轨道面组



成,轨道高度 20184km,轨道倾角 55° ; GLONASS 导航星座由均布在三个轨道面上的 24 颗卫星组成,轨道高度 19100km,轨道倾角 64.80° ; 伽利略导航星座由均布在三个轨道面上的 27 颗卫星组成,轨道高度 23616km,轨道倾角 56° 。

北斗导航系统的建设分为两步,首先建成区域卫星导航系统,星座系统的配置为 5GEO + 3IGSO + 4MEO 卫星,即 5 颗地球静止轨道(GEO)卫星、3 颗倾斜同步轨道(IGSO)卫星和 4 颗中圆轨道(MEO)卫星。GEO 卫星分别定点在东经 58.75° 、 80° 、 110.5° 、 140° 和 160° 。IGSO 卫星轨道倾角 55° ,三颗 IGSO 卫星星下点轨迹重合,交叉点经度为东经 118° ,相位差 120° ,MEO 卫星从标准 Walker24/3/1 星座中选取,作为全球系统的先导试验。在区域系统建成和应用后,开始全球系统的建设,其星座系统除保留区域系统的 5GEO + 3IGSO 卫星外,将 MEO 卫星星座扩展为 24 颗星,均布在三个轨道面上,轨道高度约 21500km,轨道倾角 55° 。

地面控制段由主控站、注入站以及重点分布在国内加上部分全球的多个监测站等组成(图 1)。

通过监测站网络对卫星下行的导航信号进行接收、处理,主控站收集监测站的这些信息进行星座系统卫星的轨道确定和时间同步处理生成导航电文,由上行注入站注入卫星,卫星接收、存储导航电文,适当处理后按星上时间进行扩频、调制生成导航信号,向用户发播。这里的关键是监测站的数量和分布,卫星信号监测站越多、分布越均匀对卫星导航的定位精度越有利,由于我国地面监测站的布站主要是在国内,在国外不是很容易,需要通过各种合作的方式开展相关的国外布站工作,但在短期之内不可能形成全球网络,同时由于各种因素的影响,存在着较大的风险,这势必会对定位精度有影响,解决这个问题的途径之一,就是

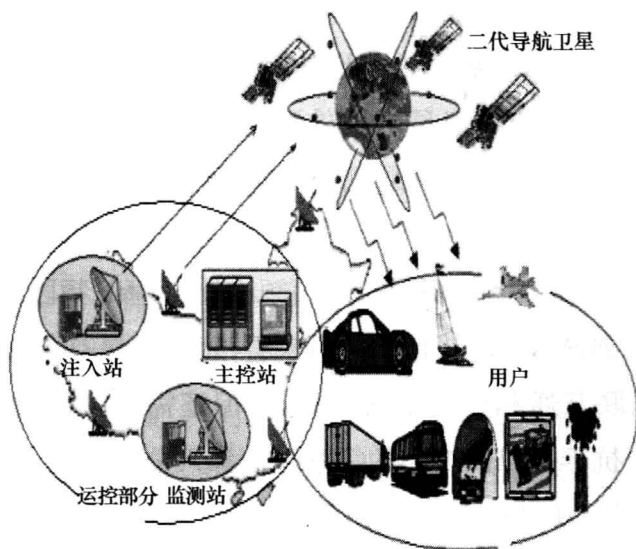


图1 北斗导航卫星系统示意图

在卫星星座中增加卫星与卫星之间的星间链路,用星间链路进行相互之间的测距,加上国内监测站的观测量,也可以满足卫星轨道确定和时间同步的高精度要求。

星间链路对于整个卫星导航星座来说不仅技术复杂,而且成本高,但其作用是明显的:首先,在平时可主要通过地面测量和星间测距进行联合精密定轨和时间同步,提高卫星轨道确定精度,克服我国短期内难以全球布设监测站的问题,必要时可以实现无地面上行自主导航 60 天的功能。这样,可以实现一站式注入,只要一颗卫星进行信息注入,通过星间链路可以传到每一颗卫星上面去,整个星座卫星都能够收到,同时也能够在任意时刻通过星间链路对星座中任意某颗卫星进行星历更新,可以大大缩短星历更新的间隔,星钟的漂移也小了,从而提高导航定位精度。



同时,提高对境外卫星的测控管理能力,全球导航卫星大部分时间运行在我国地面站不可见的境外上空,有了星间链路可以对卫星实施全时段的测控管理,增加了卫星的境外测控能力,还可以提高卫星在境外的生存能力,比如在境外利用星间指令关闭上行接收机,避免干扰和强功率损坏。

美国 GPS 目前已有星间链路,通信频段是用 UHF 频段,但其在 GPS - III 上将选择 Ka 或 V 频段,从目前分析来看,每颗卫星有 4 条链路,基本能保证卫星的互联互通和自主定轨等要求,但还需要从定位精度、通信速率、通信频率、抗干扰以及功能的需求方面深入分析研究。

地面应用段,主要是指各类应用和服务,具体体现在不同类型的用户机,通过接收机接收、处理卫星星座发播的无线电信号和广播信息,确定用户的位置、速度、当前时间以及其他导航参数。对于卫星导航系统来说,可广泛应用于交通运输、武器制导、飞机导航等各个方面。根据服务区域和服务类型不同,卫星导航系统的定位精度可以在 $1 \sim 10\text{m}$ 。

全球卫星导航系统的主要特点:星上有高稳定度的频率基准和精确的时间基准,卫星数量多,全球覆盖,轨道有三种轨道,卫星与卫星之间具有星间链路连为一体等特点。不仅可以提供 RNSS 服务、RDSS 服务、广域差分服务(WASS)等传统卫星导航定位的服务,同时还可以利用其星座分布和时间精准的特点扩展到全球搜索与救援、核爆探测与监视、空间环境探测与监视、数据报文与通信等服务领域。

卫星导航定位服务(RNSS)现在已得到广泛应用,如何充分考虑各种应用需求和技术发展,形成具有兼容、安全与独立特点的卫星导航系统信号体制,将直接关系到北斗卫星导航系统的效益和应用,关系到系统在全球卫星导航市场的竞争力和未来的发展。目前 L 频段卫星导航



频段已基本瓜分完毕,需要我们在国际兼容、安全隔离等方面采取措施,同时国际无线电委员会拟作导航频率的 S、C 频段需要开展应用研究。已有的调制技术都是美国和欧洲提出的,并都申请了专利,卫星设计必须考虑知识产权问题,要研究具有自主知识产权的调制形式、编码方式,这样才能带动我们国家卫星导航应用产业的发展。这是天地一体化、卫星系统与卫星应用一体化需要考虑的重要方面。

卫星无线电测定服务(RDSS),是我国北斗试验系统的主要服务功能(图2),不仅可以定位,同时可以进行数据短报文服务,现在随着全球 RNSS 系统的应用,定位的功能用得比较少了,但报文通信已大量应用,我们现在有3颗 IGSO 卫星和5颗 GEO 卫星,有通信和导航的功能,结合起来怎么为用户服务,如何将容量和服务区扩大,并降低地面使用接收机的发射功率也是需要深入研究的。

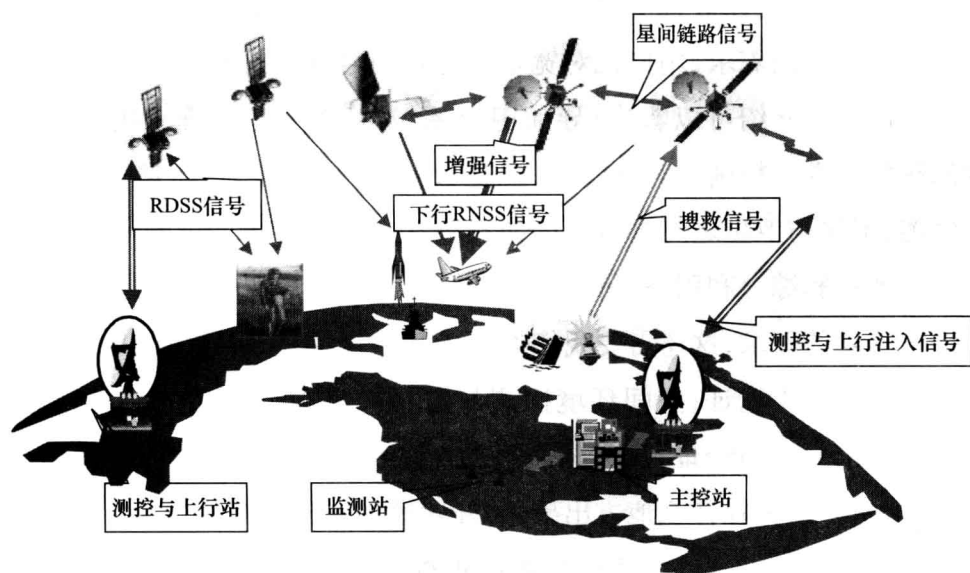


图2 北斗全球卫星导航系统主要功能特点示意图



全球搜索与救援服务,主要解决的是知道你在什么地点出事,另外知道你在什么时间发射的求救信号,这就需要卫星系统有精确的时间和测距功能,并至少有4颗卫星接收。采用UHF频段(406MHz)搜救信号,波长长,可在遮挡严重的复杂环境下具有很好的服务性能。我们可以看到,一些电影里在隧道里面打开搜救,信号发到卫星上就被定位了,区域RDSS系统L波段无法提供UHF频段的服务性能。但利用星间链路的功能,可以直接传到地面搜救服务系统,省去地面中转站的建设。

核爆探测与监视服务,至少有4颗卫星收到以后可以确定核爆时间和位置,卫星导航系统独特的空间分布和精确的位置及时间系统,适合于安装该类载荷。可用于自动、实时监测全球大气层、近地空间核爆,识别核爆信号并自动探测和显示核爆时间、地点、威力、爆高或爆炸方式,及时通过星间链路直接传到地面中心站。

同时,在系统完好性和系统安全性上也提出了很高的要求,主要是满足民用航空的需求,用户机对宽带的恶意信号抗干扰能力。

从以上的介绍可以看出,导航卫星系统的特点就是,星上有高稳定度的频率基准和精确的时间基准,卫星数量多,全球覆盖,轨道高度有三种轨道,卫星与卫星之间具有星间链路连为一体等特点。如何提高系统的使用效能和综合利用率,研究满足我国未来2015—2030年间可能潜在的需求和功能要求,这还需要我们讨论。其中包括:S、C频段的导航应用需求与卫星要求论证;空间环境探测与监视的需求分析论证;探测与监视系统需求分析与论证;搜索与救援系统的应用范围、需求的分析与论证,一个是知道你在什么地方出事,另外知道你在什么时候出事。

由导航卫星做这件事情是非常有利的。空间信息一体化,信息在网络之间传输,是全球网络之间的传输还是局部区域的传输,整个星地一



体化怎么做,还有和其他的卫星都相关联,包括通信卫星等,还需要更深入的研究。

2. 主要关键技术

第一个关键技术是自主导航,在平时主要是通过地面测量和星间测距进行联合精密定轨和时间同步,可提高卫星轨道确定精度,克服我国短期内难以全球布设监测站的问题,必要时可以实现无地面上行自主导航 60 天的功能。这样可以实现一站式注入,整个星座主网都能够收到,同时也能够提高每一颗星注入的频率,一天 24 小时,都可以实现。这样通过星间链路就可以形成整网测试,精度更能提高,星钟的漂移也小了。

地面注入站可以在任意时刻通过星间链路对星座中任意某颗卫星进行星历更新,可以大大缩短星历更新的间隔,从而提高导航定位精度。

同时,提高对境外卫星的测控管理能力。全球导航卫星大部分时间运行在我国地面站不可见的境外上空,有了星间链路可以对卫星实施全时段的测控管理,增加了卫星的境外测控能力,还可以提高卫星在境外的生存能力,比如在境外利用星间指令关闭上行接收机,避免满功率损坏。一个地面站就可以做一个观测站,通过地面天线把信息传到一颗卫星上,通过星间链路可以传到每一颗卫星上面去,把信息告诉卫星,它就可以把指令、信息传达出去。

关于自主定轨和时间同步技术研究,这个技术比较难,需要解决自主导航期间的轨道确定和时间同步问题,同时还需要开展自主导航期间的空间段自主健康管理技术研究,一方面保证单星的自主运行和健康管理,同时还需要保证星座系统的完好性监测,主要工作包括:



- 星间链路功能及承载业务需求分析,分析星间链路所需要承载的数据类型;
- 星地联合精密定轨、自主导航自主定轨技术研究;
- 星间链路通信需求与技术研究;
- 自主导航技术研究;
- 空间探测和搜索救援等扩展业务对星间链路需求分析。

第二个关键技术是 RNSS 信号体制,信号体制设计如何在继承已有技术和应用的基础上,充分考虑各种应用需求和技术发展,形成具有兼容、安全与独立特点的卫星导航系统信号体制,将直接关系到北斗卫星导航系统的效益和应用,关系到系统在全球卫星导航市场的竞争力和未来的发展。我们要研究具有自主知识产权的调制形式、编码方式,这可以带动我们国家相关产业的发展;否则,采用国外的技术,不拥有专利,对我们国家的大量应用是不利的,所以这还需要继续研究。

第三个关键技术是 RDSS 体制,这也是一个重要问题,这个体制主要用于定位,现在随着全球系统的应用,定位的功能用得比较少了,但是它有一个快速定位的功能,在体制上还要加强研究。

第四个关键技术是测控体制,要有灵活性,数据速率可变。

第五个关键技术是增强体制,确保卫星导航系统正常运行。

第六个关键技术是搜救系统,我们认为应该用 UHF 公共搜索营救频段,用低频段是比较适合的。主要是基于导航卫星星座的条件,让星地一体化。

全球卫星导航系统通过不同的无线电信号和地面有线设备,形成一个星间、星地、站间互联互通的天地一体化网络。涉及通信频率协调、信号体制制定、系统抗干扰技术、系统服务模式等各种技术,要求高、难度