

海洋交通运输行业卫星通信应用需求分析

李 振, 赵玉民, 薛广月, 艾云飞, 刘法龙

(中国交通通信信息中心, 北京 100011)

摘 要: 随着现代卫星通信系统和卫星通信技术的快速发展, 卫星通信在我国交通运输领域的应用需求日益强烈, 尤其是在深远海的水上交通方面。论述国内外主要通信卫星系统发展和应用的情况, 结合我国水上卫星通信现状及存在的问题, 分析海上交通安全监管、安全应急通信和船舶航行宽带接入等九大卫星水上应用服务需求, 探讨卫星通信水上交通应用及其发展趋势, 并为我国建设自主可控的天地一体化的卫星通信网络水上应用部分提出参考建议。

关键词: 卫星通信; 水上交通应用; 天地一体化

中图分类号: TN927+.2

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021010

The Requirements Analysis of Satellite Application in Marine Transportation Industry

LI Zhen, ZHAO Yumin, XUE Guangyue, AI Yunfei, LIU Falong

China Transport Telecommunications & Information Center, Beijing 100011, China

Abstract: With the rapid development of modern technologies and satellite communication, the need to apply satellite communication in the transport field in China has become stronger and stronger. The development and application status of the major satellite communication systems in China and abroad was introduced, and nine major application services of traffic navigation monitor at sea, emergency communications, broadband access of ship etc were studied, and the application of maritime satellite communications and the development tendency were explored, took into account the status and existing problems of maritime satellite communications in China. Based on the above, recommendations on the construction of an independent and controllable space-terrestrial integrated satellite communication network in China for maritime applications were provided.

Keywords: satellite communication, application of marine traffic, space-ground integration

1 概述

交通运输行业点多、线长、面广, 对卫星通信、导航、遥感技术需求均十分迫切, 是卫星信息技术应用最广泛和最重要的领域, 尤其是在远洋船舶和国际航班民航上的应用需求更加突出。我国已发展成为高度依赖海洋的外向型经济, 对海洋资源、安全的依赖程度日趋上升, 海洋战略地位日益凸显^[1]。

推动卫星通信技术在交通运输行业的深度应用, 是新常态下推动现代综合交通运输发展的迫切需求, 是新时代利用科技手段做好交通服务的重要保障, 是全面建成社会主义现代化强国的重要支撑。

随着全球航运业的不断发展, 船舶数量逐渐增加, 并向大型化和高速化发展, 对船舶安全、航行安全、海事监管提出了挑战。对于深远海航行船舶, 卫星通信仍是解决深远海船舶安全航行的重要手段, 也将在未来发挥越来越重要的作用。

2 国外主要通信卫星系统发展情况

符合交通运输全球范围活动的行业应用, 较为典型的国外全球卫星通信系统有Inmarsat、Iridium、GlobalStar、Orbcomm等, 以及新兴低轨星座OneWeb、Starlink、Telesat等。

(1) Inmarsat

Inmarsat目前在轨在役的三代星、四代星和五代星共计12颗卫星,在世界160多个国家和地区无障碍地为海、陆、空上百万用户提供全方位安全与信息通信服务。海事卫星系统是最早符合IMO《国际海上人命安全公约》(SOLAS)要求的海上遇险安全通信的卫星系统。同时,也是国际民用航空组织(International Civil Aviation Organization, ICAO)认可的航空安全通信的规范体系。它具有公益性、国际化、全球覆盖等突出特点,被广泛应用于海上航运、航空运输、陆地应急(政府突发事件为主)、军事指挥、野外作业等领域。

(2) Iridium

Iridium系统是美国摩托罗拉公司提出的一种利用低轨星座实现全球个人卫星移动通信的系统,卫星具有星间通信链路,能不依赖地面转发为地球上任意位置的终端提供连接。目前Iridium二代由81颗卫星组成,其中75颗在轨卫星(66颗运营组网卫星,9颗在轨备份卫星),6颗地面备份卫星。Iridium还搭载了SBD(短数据传输系统)服务载荷、ADS-B(飞行信号跟踪系统)业务载荷(业务由Aireon公司运营)、AIS(船舶自动识别系统)载荷(ExactEarth 搭载),提供飞行监视和追踪、船舶位置监控服务^[2]。

(3) GlobalStar

GlobalStar是由美国劳拉公司和高通公司倡导发起的卫星移动通信系统,空间段由48颗卫星加8颗备份卫星组成,轨道高度约为1 414 km,覆盖南北纬70°之间地区,分布在8个倾角为52°的圆形轨道平面上,每个轨道平面有6颗卫星和1颗备用卫星。在全球范围内,向用户提供语音、传真、数据、短信息、定位等服务,为交通运输、油气开采、森林防护、紧急救援等多个领域用户提供完整的系统解决方案^[3]。

(4) Orbcomm

美国Orbcomm公司是全球领先的天基物联网星座运营商,是专注于工业交通运输、物流领域的机器对机器(Machine to Machine, M2M)、物联网(Internet of Things, IoT)业务的卫星网络运营商及系统终端解决方案公司。2004年,美国海岸警卫队授予Orbcomm公司一份AIS演示验证卫星合同,以此为契机Orbcomm公司完成了卫星AIS关键技术的验证。此后,Orbcomm公司又陆续发射了6颗具备AIS功能的卫星,并开始拓展卫星AIS商业信息服务。2009年,Orbcomm公司与全球岸基AIS网络的商业船运信息提供商劳埃德船级社达成全球AIS商业分销协议,成为全球首个提供商业卫星AIS信息服务的公司^[4]。

(5) OneWeb

OneWeb系统使用Ku及Ka波段低地球轨道卫星,Ku波段用于用户通信,Ka波段用于关口站通信。OneWeb计划以47 844颗卫星量级完成全球网络的覆盖,目前OneWeb星座已发射了74颗卫星。地面段预计需要50个或更多的关口站^[5]。

(6) Starlink

Starlink系统计划将Ku波段用于用户链路,Ka波段用于馈线链路,计划2019–2024年在太空搭建由约1.2万颗卫星组成的“星链”网络提供互联网服务,其中1 584颗卫星将部署在地球上空550 km处的近地轨道^[6]。

SpaceX采用一箭60星发射,2020年10月完成第15次发射。目前在轨小型低地球轨道卫星近900颗,已远远超过Iridium的75颗卫星星座的规模,成为在轨数量最多的卫星运营商。

(7) Telesat

加拿大通信卫星公司Telesat系统空间段由不少于117颗卫星组成,卫星分布在两组轨道面上:第一组极轨道,由6个轨道面组成,倾角99.5°,高度1 000 km,每个平面至少12颗卫星;第二组倾斜轨道,由不少于5个轨道面组成,倾角37.4°,高度1 200 km,每个平面至少有10颗卫星^[6]。同一轨道组内的同一平面内或相邻平面内及在两个轨道组间的相邻卫星,都将通过激光卫星间链路进行通信。

3 国内卫星通信系统发展情况

经过近几年的发展,我国通信卫星资源增长迅速,新增卫星5颗,为我国海上卫星通信需求提供了有力保障。目前,我国由中星、亚太、亚洲、天通系列构成的在轨商用通信卫星已达20多颗,信号覆盖了全球75%以上的国家和地区。2016年,“天通一号”卫星的发射拉开我国卫星移动通信的序幕,面向全球覆盖的天通2号、3号已在建设之中。2017年,通信总容量为20 Gbit/s的中星16号HTS的发射标志着我国进入宽带卫星通信时代,2020年7月,通信总容量为40 Gbit/s的亚太6D卫星发射成功,送入预定轨道^[7]。

国内相继规划了一些低轨通信卫星系统,在民商卫星星座进行了大量的论证设计,并相继开始了试验星的发射工作。

4 我国水上卫星通信现状及存在问题

受技术限制,公众通信网络无法覆盖远海,交通运输行业中的水上交通运输对卫星通信需求最为迫切,

在我国水上通信领域，卫星通信特别是北斗短报文通信和国产甚小口径卫星终端站（Very Small Aperture Terminal, VSAT）通信应用已非常普遍。交通运输领域已经建成了以海事卫星网络、交通应急宽带卫星网络、北斗卫星、搜救卫星、AIS船舶自动识别系统岸基网络、高速公路光纤网以及ADS-B空域监控地基网为基础的海陆空一体化通信信息及监管网络体系基础设施。卫星通信网络在我国交通运输行业信息化发展中发挥了巨大的作用，但在低轨通信领域我国仍处于筹划与试验阶段，行业卫星技术应用能力未达到预期。

我国水上通信系统结构如图1所示。

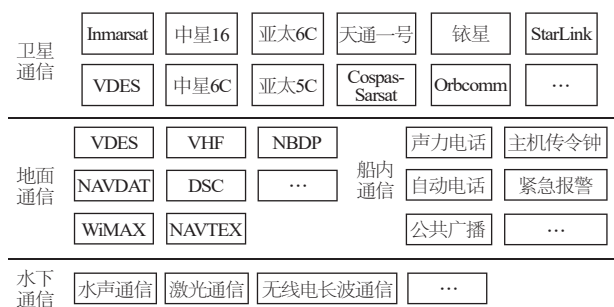


图1 我国水上通信系统结构

目前，在船舶通信领域国内整体呈现散、小、弱的状态。我国还未有自主的交通专用卫星系统，卫星技术服务于交通运输行业精细化程度不够，行业政策对卫星系统推广应用支撑不足，行业应用系统性、整体性有待加强。我国虽已计划开展低轨网络建设，但与国外卫星通信系统相比仍有差距。国内卫星技术在交通运输行业的应用普及率偏低，亟须建立覆盖全球的天地一体化卫星基础信息网络为远洋运输、航空运输、道路运输、船队/车队安全运营提供优质服务；支撑行业快速发展，形成良好的研发、生产、制造、运营的生态链，以满足行业对天地一体化融合通信、高精度定位导航等业务需求。

我国至今尚无全球组网的卫星通信系统，水上通信的通畅性、安全性及保障能力远低于陆地，已成为我国现代综合交通运输体系中的短板，主要体现在以下几个方面。

(1) 我国现有卫星通信系统无法解决面临的问题

我国已有、在建及规划的低轨卫星通信系统载荷配置以透明转发为主，星上透明转发服务时延大且不便灵活组网，需要大量的地面信关站，面临国外建站的难题。因此，目前我国现有通信卫星无法解决交通现存的深远海航行、智慧船舶等水上通信保障问题。

(2) 通信覆盖能力不足，对重点海空全域监管能力薄弱

现有的交通应急通信卫星系统仅能覆盖我国陆地及领海海域，还不能满足“我域全船，我船全域”的国际化治理服务，导致对我国船舶在国家重要战略通道、国际重要航道、国际重点海空全域的安全监管能力薄弱。

(3) 深度参与全球海上治理的影响力及话语权较弱

目前，我国在交通运输安全通信方面缺乏卫星承载验证案例，在国际标准制定及通信治理等方面缺乏话语权。

(4) 我国空间规划尚无满足交通安全通信业务需求的卫星通信系统

目前列入国家空间规划的全球低轨星座卫星网络，主要满足全球或区域宽带商业互联网应用需求，使用Ku、Ka和Q/V等波段，不具备水上安全通信需要的抗风霜雨雪能力，无法满足交通监管、海空航行安全和救助的公益性服务需求。

5 海上卫星通信的应用需求

5.1 全球深远海航行通信

对于深远海航行船舶，以当前的技术手段和技术能力，卫星仍是解决深远海船舶安全航行的主要载体。我国海上通信尚处在较低层次的应用阶段，只能基本满足海事活动必要的业务通信需求。远海航行船只的通信保障、搜救只能依赖国外的卫星通信系统，价格高昂，受制于人，而且现阶段国内尚没有实现全球覆盖的卫星通信系统。此外，现有各种通信系统之间相互孤立，缺乏统一的协调管理机制，不能保障整个海上通信系统合理、高效地运行。我国要成为海洋强国，需尽快构建自主可控的全球卫星通信网络及与其匹配的设备和应用系统，实现全球覆盖，提供深远海航行包括南北极在内的全球宽带接入服务，以及高速数据接入服务能力，使海洋用户享受到与陆地地面网络近似的体验，实现远洋运输船舶航迹监控、CCTV监控、生产信息在线监控、运营数据实时监控、预警信息实时监控“五控一体”的可视化运营管理，保障企业对自有船舶的安全管理。同时支持手机直接接入卫星网络，可为政府船只、远洋商船、海上渔民、旅游邮轮、科学考察船提供高清语音服务、微信等即时通信服务、电子邮件服务等。

5.2 海上安全或热点信息播发

为了保证我国船舶在近海、深远海和北极航道的水上航行安全，充分利用卫星广域覆盖的特点，能够提供全球覆盖（含南北极）的数据传输通道，且满足船舶监管的实时性要求。针对热点区域，支持完成气象信息广

播、海上灾害信息、海上安全信息播报、渔业信息等信息播发推送；保证全天候运行、稳定高效的安全信息服务能力，覆盖我国内河、近海、深远海、重点海域、重点航道、南北极航路，为船舶全球海上航行提供稳定可靠、实时高效的通信联络、安全预警和助航服务。船舶实时信息的“及时发布、顺畅传播、保证接获、认真处置”对深远海安全航行具有至关重要的意义。

5.3 全球集装箱多式联运物流跟踪

以集装箱为载体的多式联运作作为国家交通物流发展战略的重要组成部分，对于降低物流成本具有重要作用。当前我国多式联运进入提速发展时期。面向多式联运承运人，以卫星通信、物联网技术为依托，建立安全可靠的信息监管和共享通道，对集装箱进行实时跟踪监管，建立客户、运输从业人员以及政府监管部门之间运输计划、运载工具、在途信息、作业节点状态、货物状态、运力资源分布等信息的自动化采集和互联共享，提升多式联运业务衔接效率，是打造高效现代物流系统，落实交通强国战略的重要举措。

5.4 海上交通安全监管

我国海岸线悠长、经济海域宽广且专属岛礁众多，全面实时监管有一定难度。船舶进入港口/航道前，需要向海事局/航道局等管理单位进行备案及引航申请，但有部分非法入境船舶故意关闭船上AIS系统、VHF等导通/识别设备，甚至后台协助篡改AIS位置数据等，偷偷进入我国港航海域从事非法作业，针对这类情况，需要除AIS以外的其他监管系统协同监督^[8]。

随着船舶流量越来越大，通航环境越来越复杂，加之近年来极端天气频发，亟需安全、可靠的卫星通信网络支持。

水上交通安全对于卫星通信的支持具体需求主要以下几个方面。

(1) 水上监管目标信息的快速感知与获取

水上安全监管涉及港口、船舶、设施和通航环境等众多对象，如何有效利用现代通信技术手段实现全天候、全水域和全维度的目标识别与跟踪进行有效监管，是水上交通安全现代化发展的要求。通过卫星网络加强水上监管目标的信息感知范围和目标识别速度，为后续的水上监督、管理、预警和及时处置提供支撑。

(2) 水上监管信息的安全传输

水上安全监管传输的信息会涉及船舶状态、吨位、运载货物、客船载客信息、船员信息、运输计划，数据既蕴含着商业价值又涉及区域及国家经济安全。因此，需要在

自主可控的卫星通信网络体系下实现数据的安全传输。

(3) 卫星通信系统带宽可动态配置

船舶在全球的分布密度并不平衡，对于内河航道，沿海港口、近海船舶密度较大，总的带宽与并发接入需求较高。部分港口，如渔业捕捞对带宽的需求与季节、政策相关，因此卫星通信系统应当具备一定的动态配置能力，需根据周期性规划或突发事件需求，灵活调整区域带宽服务能力^[9]。

5.5 航行数据信息服务

甚高频数据交换系统（VHF Data Exchange System, VDES）是船舶自动识别系统的加强和升级版系统，在集成了现有AIS功能的基础上，增加了特殊应用报文和宽带甚高频数据交换功能，增加双向通信能力；同时扩展广播等信息播发能力和气象导航等专用信息通道，解决AIS系统信号碰撞造成的可靠性不强问题，对推动水上无线电数字通信产业发展有重要意义。VDES分为岸基和卫星两部分，其中卫星网络目前全球尚未形成体系，未来VDES将取代AIS系统成为海上船舶间、船岸间数据通信的核心。

近海航行船舶可通过VDES岸基台站实现船岸通信，受通信频率特性制约，对于深远海航行船舶，船舶自身VDES无法与岸基基站有效通信，需要借助卫星VDES实现船岸通信。全球覆盖的VDES系统对于保护我国船舶航行数据信息安全，为我国周边海域、一带一路沿线国家提供通信服务将发挥重大作用^[10]。

5.6 安全应急通信

在开展遇险船舶、人员搜救的过程中，搜救现场及时沟通协调、合理调度对于提高搜救效率至关重要。我国应发展自主可控的多种卫星网络融合的通信系统，为远洋船舶提供包括遇险位置实时上报、救援视频实时直播、应急语音通信、危险海域航行广播告警等立体性综合性服务和安全保障。

针对海上环境的特殊性，为保障航行安全和海上搜救海域空间广、不确定性大，搜救对象比例加大、搜救响应时间紧的要求，在应急救援通信和信息传输中考虑星基和岸基融合通信，确保不同通信装备、不同通信系统间实现信息的高效传输、无缝接入和便捷的网络互联，提供海上搜救协调和安全应急通信服务，满足全天候全天时全覆盖不间断的安全应急通信需求。

5.7 海上专网信息传输

随着互联网的快速发展，网络办公已深入各行各

业,为了提高办公效率,需通过卫星网络,提供海上航行船舶工作人员与岸上企业或政府部门实现内部网络数据交换,可支持数据容量大,能提供文件实时传输、大数据分发、OA交流等多种功能^[7]。

5.8 北极航道航行通信

北极航道位于欧洲、亚洲和北美洲之间,连接着太平洋与大西洋,是全球海上航行的一条重要便捷通道,包括东北航道、西北航道和中央航道。目前东北航道已开展常态化商业航行,但由于北极地区的气候、水文和航道等通航环境资料还很缺乏,通信基站建设较为落后,无航标及灯塔指示,无海岸电台设施,航行船舶航行警告、遇险报警、船岸间有效通信难以得到保障;加之北极地区通航经验不足,使得北极地区的航行十分危险。

为保障北极航道环境保护、资源利用、航道开发等领域的活动,支持国家海洋战略,通过建设自主可控的低轨卫星通信系统为北极航道的“冰上丝绸之路”提供全方位通信技术服务。

5.9 海上环保监测功能

我国海洋经济发展取得巨大成就的同时,也给海洋环境带来了巨大的威胁。引发海洋环境污染的原因主要包括海上溢油、浒苔、重金属、有机物废物和固体/液体废物污染等,以上污染将造成我国近远海水域环境污染,破坏海洋生态环境,造成巨大的经济损失。鉴于这种情况,我国于近期颁布了一系列的保护条例,明确了海洋保护的细则,如《中华人民共和国防止船舶污染海域的管理条例》《中华人民共和国海洋环境保护法》等。但是,由于海上气象条件相对复杂,当前的技术手段尚不能对海洋环境污染状态进行实时监测和判定,使得监管机构对事故进行调查时,实施定性、定量分析难以进行。因此,利用卫星技术实时对海洋环境污染进行监测是十分必要和紧迫的。

6 展望

未来卫星网络与5G网络以及GEO卫星和非地球同步轨道星座网络的融合应用是卫星通信领域未来的发展方向,很多国家都在积极参与建设新一代智能融合发展卫星网络信息服务体系。我国应抓住机遇,发挥卫星的“高位优势”,打造全球覆盖的交通运输行业应用卫星通信系统,加快部署通信、导航、遥感卫星技术、装备及系统,形成天地一体的全球覆盖、自主可控的交通空间信息基础设施,打造服务“公、水、铁、航”综合交通的信息网络体系,助力我国交通运输高质量发展,为

交通强国建设提供坚实的通信网络支撑。

参考文献：

- [1] 邓拥军,陈萍,谢树磊. 卫星通信在海洋中应用现状与发展建议[C]//第十四届卫星通信学术年会论文集. 北京: [出版社不详], 2018: 454-460.
DENG Y J, CHEN P, XIE S L. Application status and development suggestion of satellite communication in ocean[C]//Proceedings of the 14th Annual Conference on Satellite Communications, Beijing: [s.n.], 2018: 454-460.
- [2] 苗青,蒋照甫,王闯. 下一代铱系统发展现状与分析[J]. 数字通信世界, 2019(7): 21-22.
MIAO Q, JIANG Z P, WANG C. Development situation and analysis of the iridium next system[J]. Digital Communication World, 2019(7): 21-22.
- [3] 全球星系统及其应用[J]. 中国无线电管理, 2002(2): 20-22.
Globalstar system and its application[J]. China Radio Management, 2002(2): 20-22.
- [4] 陶孝锋,李雄飞,翟继强,等. Orbcomm星座卫星系统发展历程及其最新动态研究[J]. 空间电子技术, 2015(2): 29-36.
TAO X F, LI X F, ZHAI J Q, et al. The research of Orbcomm constellations about its development and new dynamic[J]. Space Electronic Technology, 2015(2): 29-36.
- [5] 洪伟权. 卫星互联网发展前景[J]. 通信企业管理, 2020(9): 50-53.
HONG W Q. Prospects for development of Satellite Internet[J]. C-Enterprise Management, 2020(9): 50-53.
- [6] PORYILLOA I D, CAMERON B B G, CRAWLEY C E F, 等. Telesat、OneWeb及SpaceX三个全球宽带低轨卫星星座系统的技术对比[J]. 卫星与网络, 2019(7): 48-61.
PORYILLOA I D, CAMERON B B G, CRAWLEY C E F, et al. A technical comparison of Telesat、OneWeb & SpaceX three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband[J]. Satellite & Network, 2019(7): 48-61.
- [7] 王权,刘清波,王悦,等. 天基通信系统在智慧海洋中的应用研究[J]. 航天器工程, 2019(2): 126-133.
WANG Q, LIU Q B, WANG Y, et al. Application research of space-based communications system in wisdom ocean[J]. Spacecraft Engineering, 2019(2): 126-133.
- [8] 韩松,黄敬尧,刘松. 卫星通信促AIS开启海上数字化通信新时代[J]. 卫星应用, 2016(6): 40-42.
HAN S, HUANG J Y, LIU S. Satellite communications promotes AIS to open a new era of maritime digital communication[J]. Satellite Application, 2016(6): 40-42.

- [9] 刘政训, 张海博. AIS在海事智能信息化监管中的应用及存在问题探讨[J]. 中国海事, 2019(8): 45-48.

LIU Z X, ZHANG H B. On the application of AIS in Maritime Intelligent IT Management and the Existing Problems[J]. China Maritime, 2019(8): 45-48.

- [10] 姚治萱. VDES通信技术应用及其发展趋势[J]. 世界海运, 2019(2): 34-38.

YAO Z X. The application and development trend of VDES communication technology[J]. World Shipping, 2019(2): 34-38.

[作者简介]



李振 (1983-), 中国交通通信信息中心工程师, 主要研究方向为卫星通信、水上无线电通信和信息化系统建设。

(上接74页)

version 2.0[R]. 1997.

- [7] DoD Architecture Framework Working Group. DoD architecture framework version 1.0[R]. 2004.

- [8] DoD Architecture Framework Working Group. DoD architecture framework version 2.0[R]. 2009.

- [9] 申泓基, 占国熊, 李明浩, 等. 基于DoDAF的系统工程建模方法研究[C]//中国系统工程学会第19届学术年会. 北京: [出版社不详], 2016:1-7.

SHEN H J, ZHAN G X, LI M H, et al. Data-centric and model-based systems engineering with department of defense architectural framework[C]// The 19th Annual Conference of Chinese Society of Systems Engineering. Beijing: [s.n.], 2016:1-7.

- [10] WAGENHALS L W, SHIN I, KIM D, et al. C⁴ISR Architectures: II. A structured analysis approach for architecture design[J]. Systems Engineering, 2000, 3(4):248-287.

- [11] BIENVENU M P, SHIN I, LEVIS A H. C⁴ISR Architectures: III. An object-oriented approach for architecture design[J]. Systems Engineering, 2000, 3(4):288-312.

- [12] DELLIGATTI L. SysML distilled: A brief guide to the systems modeling language[M]. New Jersey: Addison-Wesley Professional, 2013.

- [13] 陈亮. 美国军事卫星通信系统发展研究[J]. 通信技术, 2014(4): 354-358.

CHEN L. Development of the U. S. MILSATCOM [J]. Communications Technology, 2014(4): 354-358.



赵玉民 (1964-), 中国交通通信信息中心高级工程师, 科技部专家库专家、天地一体化卫星联盟理事、中国卫星技术应用大会专家委员会委员, 中国智能交通协会水上交通智能化分会副主任委员, 主要从事卫星通信、信息化技术发展、系统建设、应用开发和管理等工作。



薛广月 (1982-), 中国交通通信信息中心高级工程师, 主要从事卫星应用、北斗导航、信息融合、交通运输大数据等研究工作。



艾云飞 (1987-), 中国交通通信信息中心工程师, 主要研究方向为交通安全、通信信息、交通运输规划与管理。

[作者简介]



李文屏 (1984-), 北京跟踪与通信技术研究所助理研究员, 主要从事卫星通信系统总体设计工作。



白鹤峰 (1971-), 北京跟踪与通信技术研究所研究员, 主要从事卫星系统总体设计工作。



赵毅 (1982-), 中国空间技术研究院西安分院工程师, 主要从事卫星通信系统设计与仿真工作。



武磊磊 (1983-), 北京跟踪与通信技术研究所助理研究员, 主要从事宽带卫星通信系统设计工作。



王晓婷 (1981-), 北京跟踪与通信技术研究所助理研究员, 主要从事卫星通信及天基网络信息体系设计工作。