

# 低轨卫星通信的探讨及建议

陈龙

(中国移动通信集团设计院有限公司重庆分公司, 重庆 400000)

**摘要:**为解决传统卫星通信覆盖范围、时延、损耗以及成本等方面存在的问题与劣势,首先对低轨卫星通信网络的构架、特点做出分析,并研究低轨卫星通信系统的发展趋势与展望。在此基础上,进一步分析低轨卫星通信的发展对策与建议,以期为相关人员提供参考。

**关键词:**低轨卫星通信;网络架构;发展建议

中图分类号:TN927.2

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2023)12-0139-03

## 0 引言

低轨卫星(LEO)通信作为构建6G重要的技术之一,其覆盖范围更广,同时在传输损耗、时延以及成本等方面有着明显的优势。鉴于此,当前应加强对低轨卫星通信技术的研究与应用,积极构建起空、天、地、海一体化的通信系统。此外,低轨卫星通信现已成为地面通信领域中的关键组成部分,特别在海洋、沙漠等无线网络很难覆盖的区域有着广泛的应用。低轨卫星通信系统如图1所示。

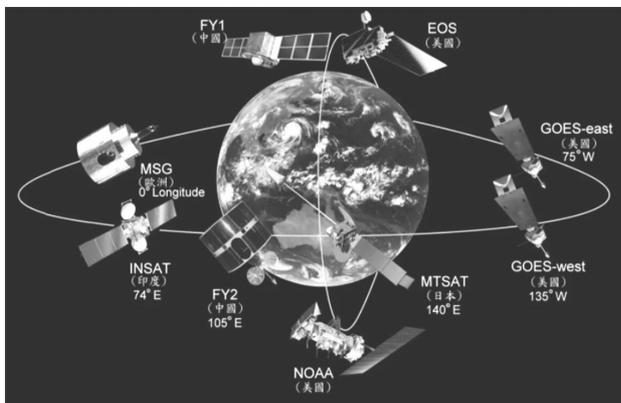


图1 低轨卫星通信系统

## 1 低轨卫星通信网络架构与特点分析

借助不同类型的低轨卫星与星座,可以构建起低轨卫星通信网络的骨干通信网。其中,物理传输介质主要以星间链路(ISL)与星地链路(SGL)为主,进而可以和中、高轨卫星网络进行互联互通,实现信息的实时接收、传输与处理<sup>[1]</sup>。

### 1.1 基本架构

对于低轨卫星通信网络而言,主要分为3个不同的部分:空间段、地面段以及用户段。①空间段是由很多低轨卫星所构成,其功能主要进行信息的接收与转

发,一些卫星有着星上处理(OBP)的能力。②地面段是由各种类型的关口(Gate way)、测控单元以及网络控制中心(NCC)等部分组成。③各种类型的用户终端组成了用户段,终端类型主要以手持终端、IOT终端为主。就低轨卫星通信网络来说,最主要的功能是为各类型的用户终端提供相应的接入能力,进而可以和地面网络互联,图2为网络架构示意图。网络架构又可按照有无星间链路的情况,划分为天星天网以及天星地网不同的类型。其中,天星天网主要以 Iridium 与 Starlink 作为代表,有着一定的星上处理功能,用户能够接入卫星互联网,这一过程中无须进行大量关口站的建设。天星地网的代表是 Globalstar 与 OneWeb,卫星间无须组网,因而在技术方面相对简单,维护管理工作较简便。

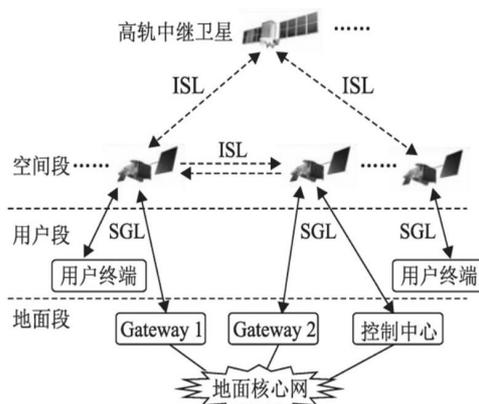


图2 低轨卫星通信网络架构

### 1.2 网络特点

相比于传统卫星通信而言,低轨卫星通信能够打破地理条件的限制,在维度方面有着明显的优势。同时,其覆盖范围更加广泛、运行与维护成本较低,且部署周期比较短。但是,因为受到暴露性特点以及无线传输方式等因素的影响,安全性、稳定性存在一定的弊

端。总体而言，低轨卫星通信有着以下4个方面的优势：首先，卫星的数量较多、业务广泛，有着较强的可靠性<sup>[2]</sup>。整个体系容量极大，由几百甚至几万个容量有限的单颗卫星进行叠加。低轨卫星通信不仅包含了宽带、窄带通信、物联网等业务，同时还具有对地监测等方面的功能。同时，低轨卫星通信网络在冗余性与抗毁能力方面有着突出的优势。其次，传输路径短，损耗较小。假设其轨道高度是900km，在信号空间传输损耗比方面，可以比传统GEO通信卫星损耗少32dB左右，还能有效减少地面设施的成本。因为路径的缩短，使得端到端的信息传输时延有了很大的改进，基本和地面光纤相近。再次，覆盖范围广是一个重要的优势与特点。低轨卫星通信网络能够适应全天候、复杂的地形环境，如山区、丛林以及峡谷地形，其实时通信能力更强大。最后，运动速度快、信道多也是其明显的优势。

## 2 低轨卫星通信的发展历程与趋势

按照轨道高度的不同，可以将卫星分为3种不同的类型：①低地球轨道（LEO）卫星。②中地球轨道（MEO）卫星。③地静止轨道（GEO）卫星（图3）。在覆盖范围方面，中高轨道卫星有着明显的优势，例如，单颗GEO卫星能够覆盖地球表面1/3左右的面积。但是，在成本、传输时延以及损耗等方面却没有低轨卫星所具有的优势。早在20世纪90年代，摩托罗拉就已经成功建设了世界上第一个低轨卫星星座，即“铱星”。对于“铱星”系统而言，有着6个轨道面，每一个轨道共有11颗不同的卫星，进而组建形成完整的星座，可以覆盖全球范围内的各个区域，也包含了南极与北极。但是，在数据业务能力方面受到一定的限制，并于1999年8月申请了破产保护。在2017年，进一步部署了“铱星”二代。随着科学技术的不断发展，现阶段在卫星制造与火箭发射等方面的技术越来越成熟，并且随着集成电路技术以及通信技术的不断发展，在成本方面有着极大的进步。一方面，对于火箭发射技术而言，马斯克“星链”的创新，实现了火箭的回收，同时还能实现一箭多星，数量能够达到60个。因而，将上万颗卫星送到轨道平面的成本大大降低<sup>[3]</sup>。另一方面，随着集成电路技术的快速发展，卫星逐步朝着小型化、模块化的方向发展，使得卫星质量大幅降低，并且极大地节省了发射成本。除此之外，卫星制造技术的发展，尤其是材料技术、加工制造技术的发展，使得研制周期、成本进一步降低。最后，通信技术的进步，调制和编码技术、频率复用技术的应用，极大地改善了卫星通信系统的性能。近年

来，通过太赫兹、可见光通信星际链路等技术的应用，不仅能够实现卫星之间的大带宽直接组网，同时也有效解决了通信时延等问题。

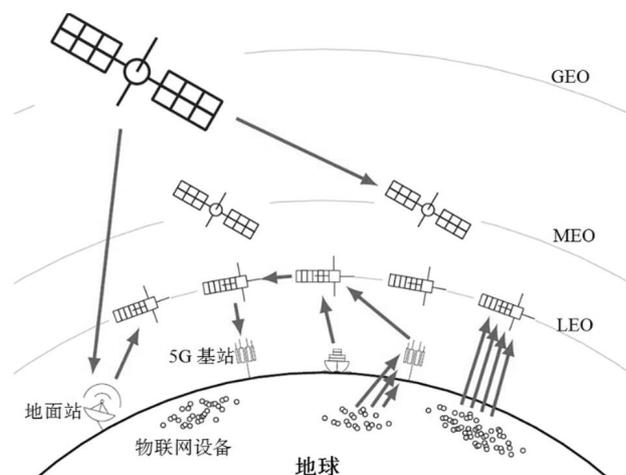


图3 低中高轨道卫星

上述分析可以看出，随着科学技术的快速发展，在成本、时延等方面的问题得到了有效的解决，并且低轨卫星通信逐渐受到了业界的广泛关注。由于低轨卫星通信有着良好的宽带互联网接入功能，通常也将其称为“卫星互联网”。近几年来，LEO星座建设工作有序开展，如Starlink（星链）以及OneWeb、TeleSat等计划，我国也进行了“虹云”与“鸿雁”等LEO星座的建设（表1）。

表1 我国LEO星座建设

时间	名称	计划数量	轨道高度/km	频段
2016	鸿雁	324	1100	L/Ka
2018	虹云	156	1040	Ka
	银河 Galaxy	1000	500-1200	Q/V/Ka

近几年来，随着支持性政策文件的实施，我国工信部、国防科工局等单位进行了大量的尝试，有效促进了卫星通信产业的进步与发展。同时，越来越多民间资本的进入，使得卫星通信领域的发展逐步加快。在2020年4月份，随着新基建范围的首次官宣划定，进而将卫星互联网纳入新基建领域，5G、物联网等通信网络基础设施的建设工作得到了极大的发展。仅在2020年一年时间里，我国卫星发射次数达到了39次。但是，主要以导航、遥感领域为主，通信卫星的数量比较少。预计到2022年底，低轨卫星数量可以超过800颗。

## 3 低轨卫星通信网络的发展对策研究

### 3.1 加强中低轨道频段资源布局

一方面，我国应当加强对ITU规则的研究，并开展频率协调与双边合作。如此一来，便可在低轨星座部署

工作中占尽先机<sup>4</sup>。另一方面,要对目标轨道、施效潜力以及长远需求做出全面的分析,对中低剩余轨道资源进行统筹规划,加速混合异构轨道的创新,不断提高中低轨星座组网的效能。除此之外,还要加强对 EHF(Q/V/W)以及太赫兹、激光等领域的研究,做好更高频段的频率资源的利用。

### 3.2 提升星、天、空、地海一体化通信能力

首先,我国应当逐步构建起多域一体化网络构架,其中不仅囊括了深空/星际网以及天基骨干网,同时还包含了空基网、陆基网以及海基网等等,提高通信网络的高效协同效果。需要注意的是,通过将激光和量子通信进行融合,可以有效发展高速信息传输技术,并且可以提高数据的保密性、安全性效果。除此之外,还应加强对动态协作组网技术的研究与应用,确保信息可以经过星际链路,进而正确达到目的地。

### 3.3 低成本航天技术的研究与应用

随着全球范围内低轨星座竞争不断加剧,技术人员应当对传统的卫星制造技术进行改进,并加快卫星发射技术的迭代升级,通过流水线量产的方式,或者是“一箭多星”等方式的应用,降低制造成本。例如,OneWeb 公司建立了“卫星工厂”生产线,每天至少可生产 2 颗卫星。SpaceX 公司的卫星生产能力更高,日生产能力可以达到 6 颗甚至更多。为有效降低航天技术成本,应当加强对大数据控制技术、智能装配技术以及 3D 打印技术的应用。除此之外,还应加强对运载火箭的研究,提高其重复利用的次数。

### 3.4 做好与国际社会的合作

合作与竞争具有相互依存的辩证关系,为促进我国低轨卫星通信行业的发展,应该加强与国际社会的合作,避免陷入“军备竞赛”的尴尬境地<sup>5</sup>。鉴于此,应当秉持开放、协作、共享的态度,加强与国际社会的合作与沟通,提高空间通信网络资源的利用效率,避免出现不必要的浪费问题。在此基础上,应当积极参与相关规则的制定,通过各方共同协商等方式,防止太空霸权等问题的发生。

### 3.5 构建智慧卫星移动通信网络

在可预见的将来,卫星网络结构将会变得更加庞大、复杂,同时业务类型与应用场景也会变得更加繁杂。因此,要加强对 AI 等技术的研究,应用 6G 解决各类需求,这就需要将人工智能技术、地面通信技术以及卫星网络等技术有机整合在一起(图 4)。通过对数据智能融合技术与深度处理技术的应用,结合星融网的状

况,加快对多系统、大容量、综合性异构网络构架的研究。除此之外,还应加强对边缘计算、AI 技术和计算等先进技术的合理应用,实现空天资源的高度共享和科学利用。如此一来,便可合理进行通信、导航以及遥感、地理信息服务的科学部署,并且可以提高网络信息服务水平。需要注意的是,应当妥善构建智慧标准协议体系,通过对深度学习的行为做出全面的分析,制定具有个性化的神经网络模型,不断优化通信体验。

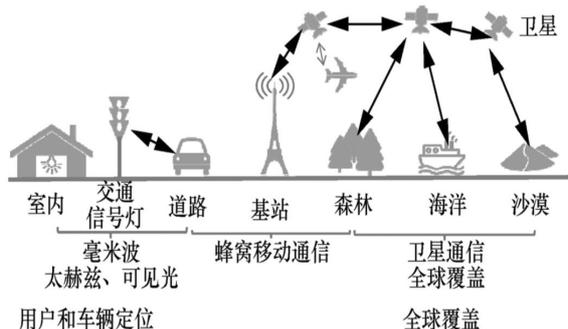


图 4 6G 全球泛在覆盖

## 4 结语

相较于传统的通信网络而言,低轨卫星通信系统在覆盖范围、运行与维护成本、部署速度等方面有着明显的优势。另外,与传统的高轨卫星通信相比,在整体布设、传输模式以及拓扑结构等方面,低轨卫星通信也有着独特的特点。受到物联网、航天产业的发展与带动作用,当前应加速低轨卫星通信领域的研究与应用。同时,还应加强与国际社会的合作,加强中低轨道频段资源布局,提升星、天、空、地海一体化通信能力,促进低轨空间的和平开发与利用。

### 参考文献

- [1] 吴奇龙.低轨卫星通信网络领域国际竞争:态势、动因及参与策略[J].世界科技研究与发展,2020(6):587-597.
- [2] 陈山枝.关于低轨卫星通信的分析及我国的发展建议[J].电信科学,2020,36(6):1-13.
- [3] 赵秋艳,胡朝斌,陈川,等.低轨大规模星座的机遇与挑战[J].空间碎片研究,2020,20(1):1-9.
- [4] 王艳峰,谷林海,刘鸿鹏.低轨卫星移动通信现状与未来发展[J].通信技术,2020,53(10):2447-2453.
- [5] 张明.低轨道卫星系统的发展及面临的挑战[J].中国无线电,2019(3):56-57.

作者简介:陈龙(1989—),男,汉族,四川绵阳人,本科,工程师,主要从事移动通信(5G 无线专业,基站等无线网络勘察设计)专业技术方面工作。