

# 我国天基信息实时智能服务系统发展战略研究

李德仁<sup>1,2</sup>, 沈欣<sup>1,2</sup>

(1. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079; 2. 地球空间信息技术协同创新中心, 武汉 430079)

**摘要:** 天基信息实时智能服务系统 (PNTRC) 是指卫星通信、卫星导航与卫星遥感集成的下一代天基系统, 通过多载荷集成、多星协同、天地网络互联, 依托智能移动终端将数据和信息按需地送达各类军民用户, 服务于国民经济与国防建设主战场。本文从 PNTRC 的重大战略需求入手, 梳理了国内外卫星通信、卫星导航、卫星遥感的发展现状, 凝练了我国天基信息系统存在的问题, 阐述了 PNTRC 基本概念、建设目标和技术体系, 在分析 PNTRC 与现有 (或规划中) 天基系统的关联关系的基础上, 论证了相应系统建设的可行性。研究提出, 系统建设按照“先局部、再区域、到全球”的路线图, 可采取“三步走”策略; 系统建设应纳入国家科技发展的总体规划, 采用军民共建共享共用的运行模式; 系统建设应加强与现有和规划中的“通导遥”卫星及地面通信系统的对接与融合。

**关键词:** 天基信息; 实时智能服务; 系统建设; 技术体系; 战略需求

**中图分类号:** V57 **文献标识码:** A

---

## Research on the Development Strategy of Real-Time and Intelligent Space-Based Information Service System in China

Li Deren<sup>1,2</sup>, Shen Xin<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Real-time and intelligent space-based information service system is a next-generation space-based system that integrates satellite communications, satellite navigation, and satellite remote sensing. It delivers space-based information to civil and military users as required in real time, relying on multi-load integration, multi-satellite collaboration, and interconnection between space and ground networks. This paper first analyzes the strategic requirements for real-time and intelligent space-based information services, then reviews the development status of satellite communications, satellite navigation, and satellite remote sensing in China and abroad, and summarizes the existing problems. Moreover, it expounds the basic concept, objectives, and technical architecture of the real-time and intelligent space-based information service system, and analyzes the relationship between this system and the existing (or planned) space-based information system, thus demonstrating its feasibility for construction. The real-time intelligent space-based information service system can be established through three steps and developed first locally, then regionally, and finally globally. This system should be incorporated into the overall planning for national science and technology development, and be constructed and shared

---

收稿日期: 2019-09-19; 修回日期: 2020-01-15

通讯作者: 李德仁, 武汉大学教授, 中国工程院院士, 中国科学院院士, 研究方向为地球空间信息学; E-mail: drli@whu.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“天基信息实时服务系统 (PNTRC) 发展战略研究” (2017-ZD-01)

本刊网址: [www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae](http://www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae)

mutually by civil and military parties. During the construction of this system, communicating and integration with existing and planned communications, navigation, and remote sensing satellites as well as with the ground communication systems should be strengthened.

**Keywords:** space-based information; real-time intelligent service; system construction; technical architecture; strategic requirements

## 一、前言

天基信息系统利用卫星通信、卫星导航和卫星遥感手段,实现地球表面自然和人类活动的实时观测,通过数据处理获取信息知识来满足经济建设、国防建设和大众民生的需求。目前,我国卫星通信、导航、遥感系统均取得了“从无到有”的巨大发展,但还存在系统孤立、信息分离、服务滞后的问题 [1],导致天基信息系统服务的时效性、广域性、连续性无法完全满足现代化军事斗争与灾害应急需要,天基信息大众化服务的格局有待形成。

2017 年,中国工程院启动实施了“天基信息实时服务系统发展战略研究”咨询项目。本文作为项目研究成果的学术性展示,以我国天基信息实时智能服务的重大战略需求为切入点,在分析当前天基信息服务差距的基础上,梳理天基信息系统建设现状和最新进展,明确我国天基信息实时智能服务系统(PNTRC)建设的目标,并对系统建设的可行性、技术体系进行论证,针对性提出我国未来 PNTRC 发展的战略建议。

## 二、开展 PNTRC 建设的战略需求

为抢占天基信息实时智能服务这一航天强国发展的战略制高点,亟需加强天基系统的军民功能结合,将现有的通信、导航、遥感卫星以及地面通信网进行深度融合。开展 PNTRC 建设的必要性主要体现在以下四方面。

(1) 建设 PNTRC 是应对日益复杂的国际形势,满足全球运动目标实时跟踪、固定目标实时监测等重大需求的必要举措。我国战略利益从本土延伸至全球,迫切需要实时地获取国土周边甚至全球范围内热点区域、重点目标的态势和变化信息。然而,我国现有天基信息系统的响应速度仍停留在小时级,难以满足上述需求,与世界航天强国的技术差距明

显。PNTRC 卫星具备与高轨、低轨通信卫星的数据传输链路,数据获取后经在轨智能处理,通过卫星通信网、地面网为我国军民用户提供快速、准确的天基信息服务 [2]。

(2) 建设 PNTRC 是破解北斗系统海外建设地基增强站受限难题的有效途径,从而大幅提升北斗系统综合效能。为提升卫星导航系统的实时定位精度,目前主要采用地基导航增强技术 [3],可实现分米级的实时导航精度,但我国在海外建设北斗地基增强站受到竞争国家的长期阻挠。PNTRC 空间飞行器搭载了星基导航增强载荷,可对北斗系统信号进行增强,从而提供我国在全球范围内遂行各类军民行动所需的分米级导航位置服务能力。

(3) 建设 PNTRC 可掌握通信/导航/遥感集成服务这一新兴科技制高点,支持我国在空间科技领域的“弯道超车”。目前,航天强国在卫星通信、卫星导航、卫星遥感领域的竞争空前激烈,但未见有“通导遥”一体的天基信息系统方案。鉴于现状,我国应当抓住这一难得机遇,超前谋划系统建设,以通信/导航/遥感集成应用为核心突破方向,为全面提升我国空间科技竞争力、引领世界空间科技发展奠定基础。

(4) 建设 PNTRC 是带动我国卫星通信、卫星导航、卫星遥感等产业创新发展、推动形成空间经济发展新动能的重要举措。PNTRC 将为我国卫星应用产业的发展注入新活力、开辟新方向,全面带动遥感应用、导航移动终端、位置服务、低轨卫星通信等新兴产业发展,推动形成“互联网+航天”的全新业态 [4],产业的年产值预期可达万亿元规模。

## 三、国内外天基信息系统发展现状及面临的问题

### (一) 国外发展现状

美国、欧洲、俄罗斯等航天强国或地区较早建

成了以通信、导航、遥感 3 类卫星为骨干的天基系统。近年来，低轨移动通信卫星、商业遥感卫星因其在性能和效能方面具有良好的预期，成为天基系统的新兴热点；通过错位竞争，在技术与市场方面与传统卫星系统初步形成鼎立态势。

在卫星移动宽带通信方面：①自 20 世纪 90 年代以来，国外陆续建成了以“瑟拉亚”（Thuraya）、“国际移动卫星”（Inmarsat）、“地网星”（TerreStar）为代表的高轨卫星移动通信系统 [5]；②传统的低轨移动通信卫星以“铱”星（Iridium）、“全球星”（Globalstar）等为代表，工作频段以 L、S 低频段为主，业务以中低速率为主，支持面向手持移动通信和低功耗小型化物联网服务；③当前，低轨通信网络朝着多业务宽带卫星移动通信系统方向发展，一网（OneWeb）、太空探索技术（SpaceX）等公司分别设计了低轨宽带通信星座 [6]，工作频段采用 Ku、Ka 等高频段，系统卫星数量多，以中高速业务为主，支持互联网接入、网络节点互联以及基站回程等服务。

导航卫星系统主要分为全球系统、区域系统和星基增强系统。全球系统和区域系统的差别在于提供服务的覆盖范围不同；星基增强系统重点在于利用卫星实现增强服务。全球系统主要有：已投入运行的美国全球定位系统（GPS）、俄罗斯全球卫星导航系统（GLONASS），以及正在建设中的欧洲伽利略卫星导航系统（GALILEO）。区域系统主要有：日本准天顶卫星系统（QZSS）、印度区域导航卫星系统（IRNSS）等。星基增强系统主要有：美国广域增强系统（WAAS）、俄罗斯卫星差分改正监测系统（SDCM）、欧洲地球静止卫星导航重叠服务系统（EGNOS）、日本多功能运输卫星增强系统（MSAS）等 [7,8]。

高分辨率遥感卫星主要分为光学成像和合成孔径雷达（SAR）成像两类。自 1999 年美国 Ikonos-2 卫星成功商业运行以来，国外在此领域的技术和应用取得了长足发展 [9]。相关产业集中在美国、欧洲、日本等航天强国或地区，应用模式趋于成熟。代表性的卫星系统有：美国伊科诺斯（Ikonos）、地眼（Geoeye）系列，法国地球观测系统（SPOT）系列，德国雷达遥感卫星系统（TerraSAR），日本先进对地观测卫星（ALOS）等，最高的成像分辨率已经发展到亚米级。

## （二）国内发展现状

我国航天领域经过 60 余年的发展，形成了覆盖通信、导航、遥感的卫星谱系。随着高分辨率对地观测系统国家科技重大专项（简称“高分专项”）、《国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015—2025 年）》（简称“中长期发展规划”）的有力推进，2020 年我国在轨运行卫星数超过 200 颗。

在卫星移动通信方面：① 2016 年 8 月，“天通一号”01 星发射入轨，迈出了我国区域卫星移动通信系统建设与应用的第一步；② 2017 年 4 月，我国首颗高通量通信卫星“实践十三”号发射入轨，实现了偏远地区的移动通信基站接入及众多行业应用；③ 国家“科技创新 2030”重大工程中部署了“天地一体化信息网络”项目，旨在建成天地一体化信息网络体系 [6]。目前，卫星通信应用仍以卫星广播和固定类业务为主，而卫星移动通信主要用于语音、窄带通信，用户分布在国防、应急行业、野外作业等方面，应用成本较高，大众化应用尚不广泛。

在卫星导航方面，我国通过北斗卫星导航系统建设，成为继美国、俄罗斯后第三个拥有自主卫星导航系统的国家；继 2000 年、2012 年向中国和亚太地区提供服务后，2020 年具备面向全球提供导航服务的能力 [2]。目前，北斗系统的行业应用处于规模化应用发展期，在移动通信技术的推动下，大众应用市场前景良好、潜力较大。

在高分辨率遥感卫星方面，“资源”“环境”系列卫星相继发射入轨；在“高分专项”的支持下，高分辨率遥感卫星研制和应用技术取得重大突破，对地观测分辨率已达到米（亚米）级。投入应用的先进遥感卫星的最高分辨率优于亚米级，遥感信息处理速度已达分钟级。相关成果的规模化应用，主要集中在国防、国土、规划、林业、农业、电力、水利、石油化工等行业领域；但应用方式仍以提供基础数据为主，直接产值低于导航和通信应用，且大众化应用模式尚在探索阶段。

## （三）国内面临的问题

我国航天领域技术与应用进展显著，但相比世界航天强国仍有差距，最为典型的是，我国尚不具备在全球范围内提供“快、准、灵”的天基信息综合服务能力。

（1）我国天基信息服务的实时性与世界先进水

平存在差距,与经济社会发展的现实需求存在差距,尚无法全面保障国家安全、抢险救灾、远程调度等重大行动对关键信息时效性的亟需。

(2) 现有天基信息系统的广域连续监视能力薄弱,尚不具备对全球重点运动目标跟踪监视、固定目标变动监测的综合能力。

(3) 北斗系统的海外地基增强站建设受阻,制约了我国自主导航系统在境外的精确导航定位精度,无法满足“一带一路”建设和全球利益保障的信息支援需求。

(4) 现有通信、导航、遥感卫星系统各成体系,天基信息数据回传的瓶颈现象突出,严重制约信息获取和处理的效率;卫星移动通信能力不足以保障天基信息高速传输,使得“通导遥”信息分离、天基信息服务能力滞后。

#### 四、PNTRC 建设构想

面向军民共用的天基实时智能服务需求,PNTRC 由数百颗具有遥感和导航增强功能的低轨高分辨率光学和雷达小卫星组成天基网络,协同在轨运行的高分辨率遥感卫星、北斗导航卫星和正在建设的卫星通信网,并与地面互联网、移动网整体集成。在天基大数据、云计算、人工智能(AI)、第五代移动通信(5G)技术的共同支撑下,PNTRC 为包括专业用户和大众用户在内的军民用户提供从卫星到智能终端的快速、准确、智能化、实时的天基信息服务。

##### (一) 建设目标

①在遥感信息精度方面,空间分辨率要达到分米级,时间分辨率要达到分钟级,数据处理速度优于 1 min。②在实时导航定位精度方面,要达到分米级。③在覆盖范围和通信能力方面,要具有面向全球范围的语音、视频和图像通信功能,天基信息从卫星到智能终端的传输时间优于 1 min。④在服务能力方面,要具备向用户提供快速、准确、智能化的空天信息服务功能,支持各类卫星系统的信息联通、时空融合、服务畅通。

##### (二) 技术体系

PNTRC 建设涉及平台与载荷、信息传输处理

服务、支撑保障三方面的七大关键技术攻关:低轨星基导航增强、天地一体化网络通信、多源成像数据在轨处理、天基信息智能服务、天基资源调度与网络安全、多载荷集成一体化平台、空天地一体化的时空基准构建。

PNTRC 作为北斗卫星的增强系统,用于提升北斗系统的实时导航定位精度;作为天基通信网的接入节点,采用天基网络的星间、星地链路传输数据,支持天基通信卫星应用效能的充分发挥;作为高分辨率卫星系统的有益补充,进一步提高遥感信息响应时效性。拟建系统和在轨系统之间的关联关系见图 1。

##### 1. 与卫星导航系统的关联关系

PNTRC 既是现有全球导航卫星系统(GNSS)的用户,又是现有 GNSS 的扩展和补充。一方面,低轨卫星导航增强系统、成像数据在轨处理系统需要接收导航卫星发射的卫星导航信号,用于计算精密轨道和精密时间同步;另一方面,低轨卫星导航增强系统也能自主生成测距信号并与现有的卫星导航信号联合定位,进一步提升现有卫星导航信号系统的服务性能。低轨卫星距离地面近、信号空间衰减小、几何位置变化迅速,有利于缩短精密定位的收敛时间。

##### 2. 与卫星通信系统的关联关系

“十三五”时期,国家“天地一体化信息网络”重大工程启动实施,中国航天科技集团有限公司正在建设“鸿雁”网络,中国航天科工集团有限公司正在建设“虹云”网络。这类卫星通信网络将为 PNTRC 提供关键的天基数据传输通道。PNTRC 卫星配置了星间传输链路,可作为卫星通信网络的接入节点,进行海量高分辨率数据的快速传输。

低轨通信卫星可为 PNTRC 导航增强载荷提供搭载平台:轨道高度在 1000 km 左右,组网后易于无缝对地覆盖;导航增强载荷体积小、功耗低,对平台约束小。发挥低轨通信卫星星座的轨道分布和平台特性,便捷搭载星基导航增强载荷,使得通信-导航增强的功能集成具有良好的工程实施性。

##### 3. 与现有高分辨率遥感卫星系统的关联关系

PNTRC 作为现有高分辨率遥感卫星系统的有效补充,可缓解甚至消除现有系统因卫星数量有限、依赖过境传输导致时效性不佳等问题,从而显著提升国家卫星遥感信息系统的响应速度。仿真试验表

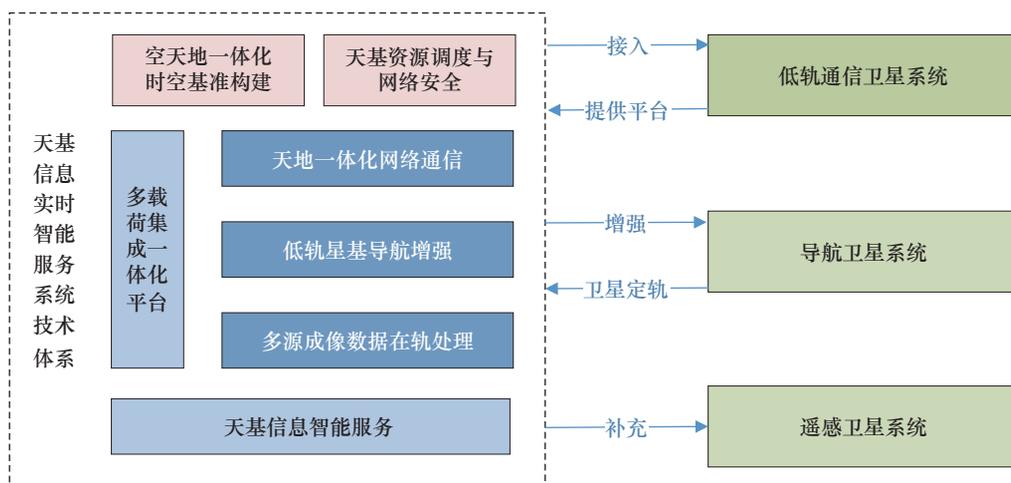


图1 PNTRC 与其他天基系统的逻辑关系

明，针对于全球覆盖、“一带一路”沿线区域的覆盖需求，分别采用 200 颗、80 颗遥感卫星星座方案，即可实现分钟级的高分辨率遥感信息快速获取。另外，PNTRC 卫星所配置的星间链路、在轨数据压缩与快速处理等功能，使其具有接入卫星通信网络来实现遥感数据快速回传的能力。

### （三）建设可行性

从关键技术、配套系统、国家政策等方面初步判断，我国开展 PNTRC 建设的条件基本齐备，预计相关系统建设有望实现我国在空间科技领域的“弯道超车”。

（1）我国亚米级高分辨率遥感卫星研制与处理应用技术已经基本成熟，为 PNTRC 建设提供了核心技术支撑。近年来，相关技术领域取得一系列重大突破，例如：民用遥感卫星最高分辨率达到 0.5 m，实现了大规模的业务化应用；高分辨率天基信息的获取和处理技术经过在轨验证，已经进入工程应用阶段。

（2）低轨星基导航增强技术取得突破性进展，提供了增强北斗系统导航精度、完好性、实时性的新途径，进一步拓宽了北斗系统已经基本形成的全球服务能力。“珞珈一号”低轨导航增强在轨技术验证表明 [10]，利用低轨卫星增强北斗系统，可显著提升其实时定位精度。

（3）低轨卫星通信网络发展势头迅猛，不仅为天基信息快速传输提供数据传输通道，也为导航增强载荷提供了良好的搭载平台。PNTRC 卫星可作

为接入节点，依托在建的卫星通信网络来实现海量高分辨率快速传输。1000 km 左右的轨道高度，为搭载载荷的任务设计、通信 - 导航增强的功能集成设计提供了便利条件。

（4）我国卫星研制和应用体系快速发展，国家政策提出新导向，赋予了 PNTRC 建设和产业化的前提条件。随着“高分专项”“中长期发展规划”的稳步推进，我国应用卫星体系将更为完善。此外，“中长期发展规划”明确提出了“支持民间资本投资卫星研制和系统建设”“鼓励并支持有资质的企业投资建设规划内的卫星”，国有、商业资本纷纷进入航天领域，商业卫星进入新一轮快速发展阶段。这标志着航天领域全面进入产业化发展这一新阶段的到来，也为 PNTRC 的商业化运行提供了市场化资源。

## 五、对策建议

### （一）按照“先局部、再区域、到全球”的路线图，采取“三步走”发展策略

第一步，2020—2022 年，面向我国南海区域和粤港澳大湾区的天基信息实时服务需求，发射约 40 颗低轨高分辨率遥感与导航增强卫星；与现有天基通信网和地面移动通信网融合，将实时天基信息送达军民用户终端，保障特定区域内的国防和经济建设需求。与此同时，应对未来全球系统建设亟需，汇集优势资源和团队，开展 PNTRC “卡脖子”技术的集成攻关和在轨验证。

第二步，2023—2025 年，新增发射 120 颗智能

遥感与导航增强卫星, 建成覆盖国土周边和“一带一路”沿线的区域性 PNTRC 服务系统。

第三步, 2026—2035 年, 新增发射 200 颗智能遥感与导航增强卫星, 建成全球性 PNTRC 服务系统; 与我国其他天基系统打通、融合, 全面保障军民用用户对天基制信息权的需求, 进而开创天基信息全球大众化、商业化应用的新局面。

## (二) 纳入国家科技创新顶层规划, 采用共享共用的运行模式

在融合发展的背景下, PNTRC 的论证建设纳入国家统筹管理, 加强天基信息服务军民用需求和系统顶层设计的统筹协调。创新项目机制, 吸引优势单位, 抢夺发展先机, 力争尽早建成和应用。注重市场规律, 形成“平时采购、战时征用”的系统运行模式, 在确保国防需求的基础上, 更好服务国内经济建设和社会民生, 同步开拓更大的全球应用市场。

## (三) 加强与现有和规划中“通导遥”卫星及地面通信系统的对接与融合

拓宽星基导航增强载荷的搭载渠道, 与已规划立项、尚处规划中的低轨天基系统的卫星平台进行功能对接。与北斗系统功能融合以提供高精度实时导航服务, 破解海外建设地基增强站受限的难题, 全面提升北斗系统的军民应用效能。加强与下一代移动通信网、互联网、天地一体化定位导航授时信息网络的接口对接和应用场景融合, 重点保障天基遥感信息实时传输到军民用用户智能终端的能力需求。通过“天基信息上手机”, 为全球用户提供便捷、泛在的通信、导航、遥感信息服务。

### 参考文献

- [1] 李德仁, 沈欣, 李迪龙, 等. 论军民融合的卫星通信、遥感、导航一体天基信息实时服务系统 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2017, 42(11): 1501–1505.  
Li D R, Shen X, Li D L, et al. On civil-military integrated space-

- based real-time information service system [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, 42(11): 1501–1505.
- [2] 李德仁, 沈欣, 龚健雅, 等. 论我国空间信息网络的构建 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(6): 711–715, 766.  
Li D R, Shen X, Gong J Y, et al. On construction of China's space information network [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(6): 711–715, 766.
- [3] 周建华, 陈俊平, 张晶宇. 北斗“一带一路”服务性能增强技术研究 [J]. 中国工程科学, 2019, 21(4): 69–75.  
Zhou J H, Chen J P, Zhang J Y. Service performance enhancement technologies for BeiDou navigation satellite system along the Belt and Road [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(4): 69–75.
- [4] 李德仁. 论“互联网+”天基信息服务 [J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 708–715.  
Li D R. The “Internet Plus” space-based information services [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 708–715.
- [5] 王健, 范静, 孙治国. 高轨移动通信卫星发展现状与趋势分析 [J]. 卫星应用, 2019 (11): 52–57.  
Wang J, Fan J, Sun Z G. Development status and trend analysis of high orbit mobile communication satellite [J]. Satellite Application, 2019 (11): 52–57.
- [6] 武秀广. 低轨星座卫星通信系统发展概况及思考 [C]. 北京: 第十五届卫星通信学术年会论文集, 2019.  
Wu X G. Overview and consideration of the development of LEO constellation satellite communication system [C]. Beijing: Proceedings of the 15th Annual Satellite Communication Academic Conference, 2019.
- [7] 刘春保. 2018年国外导航卫星发展综述 [J]. 国际太空, 2019 (2): 42–47.  
Liu C B. Overview of the development of foreign navigation satellites in 2018 [J]. Space International, 2019 (2): 42–47.
- [8] 刘春保. 2017年国外导航卫星发展综述 [J]. 国际太空, 2018 (2): 31–36.  
Liu C B. Overview of the development of foreign navigation satellites in 2017 [J]. Space International, 2018 (2): 31–36.
- [9] 孔超, 曹世博. 世界商业卫星遥感产业现状分析 [J]. 中国航天, 2019 (12): 70–74.  
Kong C, Cao S B. Analysis of the current situation of the world commercial satellite remote sensing industry [J]. Aerospace China, 2019 (12): 70–74.
- [10] 王磊, 陈锐志, 李德仁, 等. 珞珈一号低轨卫星导航增强系统信号质量评估 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12): 2191–2196.  
Wang L, Chen R Z, Li D R, et al. Quality assessment of the LEO navigation augmentation signals from Luojia-1A satellite [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(12): 2191–2196.