



咨 询 通 告

中国民用航空局空管行业管理办公室

编 号：AC-115-TM-2015-03

批准日期：2015年12月30日

民用航空导航技术应用政策

序

导航（Navigation）技术是国际民航组织空中航行系统的重要组成部分，是卫星、机载及地面各种定位与导航技术的结合，为航空器提供飞行引导信息，使其能够安全、正常飞行，是现代民用航空安全高效运行的基础。合理利用各种导航技术，提供更加精确可靠、安全高效的导航手段，能有效提高空中交通安全水平、空域容量与运行效率。

民航局已经成立航行新技术应用与发展委员会，未来 15-20 年，将是导航传统技术与新技术协同发展、平稳过渡的关键时期。从传统导航技术向新技术过渡是一项复杂的系统工程，点多面广线长，涉及单位众多，应统一规划，整体实施，加强管理，协同推进。

本规范立足中国民航导航技术现状与发展需求，依据中国民航总体发展战略与规划，根据空中航行服务需求，结合国际民航组织《全球空中航行计划》与《航空系统组块升级》的要求编制，是指导中国民航导航技术应用与发展的纲领性文件。政策明确了导航技术应用与发展的基本原则、总体目标与应用策略，旨在为各种导航技术的规划与应用提供指南，以推动各种导航技术的协同发展和全面应用，促进民航持续安全与科学发展。

目 录

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 1 | 概述 | 1 |
| 1.1 | 导航的作用 | 1 |
| 1.2 | 导航技术的分类 | 1 |
| 1.2.1 | 导航技术的分类 | 1 |
| 1.2.2 | 导航技术的比较 | 1 |
| 2 | 发展现状与需求 | 2 |
| 2.1 | 发展现状 | 2 |
| 2.1.1 | 国内现状 | 2 |
| 2.1.2 | 国外现状 | 5 |
| 2.2 | 发展需求 | 7 |
| 3 | 应用政策 | 8 |
| 3.1 | 目标与原则 | 8 |
| 3.2 | 技术应用策略 | 9 |
| 3.2.1 | 近期（至 2020 年） | 10 |
| 3.2.2 | 中期（2021 年~ 2030 年） | 12 |
| 3.2.3 | 远期（2030 年以远） | 13 |
| 3.3 | 技术应用路线图 | 13 |
| 3.3.1 | 陆基导航系统 | 13 |

| | | |
|-------|--------------------|----|
| 3.3.2 | 全球卫星导航系统 | 14 |
| 3.4 | 通用航空 | 15 |
| 4 | 配套措施 | 16 |
| 4.1 | 法规和标准 | 16 |
| 4.2 | 新技术的运行试验与验证 | 17 |
| 4.3 | 人员培训 | 17 |
| 4.4 | 交流与合作 | 17 |
| 5 | 政策的修订 | 18 |
| 附录 1 | 缩略语 | 19 |
| 附录 2 | 参考文献 | 21 |
| 附件 1 | 术语解释 | 25 |
| 附件 2 | 民用航空导航技术概述 | 26 |
| 附件 3 | 国外导航技术与应用政策 | 38 |
| 附件 4 | 全球卫星导航系统国际发展 | 55 |

民用航空导航技术应用政策

1 概述

1.1 导航的作用

导航为航空器提供方位、距离和坐标等信息，引导航空器按预定路径飞行。导航是确保航空器安全、准确、高效运行的必要手段。民用航空导航为在航路上飞行的航空器提供飞行引导，为进入机场终端区和进近着陆过程中的航空器提供起飞和着陆引导。

1.2 导航技术的分类

目前应用于民航的导航技术主要包括仪表着陆系统（ILS）、甚高频全向信标（VOR）、测距仪（DME）、无方向信标（NDB）、全球卫星导航系统（GNSS）和惯性导航系统（INS）等（详见附件 2）。

1.2.1 导航技术的分类

按照设施类型，导航技术分为他备式导航和自主式导航，其中他备式导航又可分为陆基导航和星基导航：

- NDB、VOR、DME 和 ILS 属于陆基导航。
- GNSS 属于星基导航。
- INS 属于自主式导航。

1.2.2 导航技术的比较

对各种导航技术进行比较，得出如下结论（详见附件 2）：

1、陆基导航

优点：导航信号发射源在地面，系统可靠性高。

缺点：精度较低，覆盖范围有限，独立设备无法进行定位。

2、星基导航

优点：导航信号发射源在外层空间，全球或区域性覆盖，导航定位精度较高。

缺点：信号易受射频干扰或电离层变化影响，完好性需要增强。

3、自主式导航

优点：不需要外界信号源，不受外界环境干扰。

缺点：误差随时间积累不断增大，导航精度不恒定。

2 发展现状与需求

2.1 发展现状

2.1.1 国内现状

国际民航组织（ICAO）于 2012 年召开的第十二届航行大会通过并颁布了《全球空中航行计划》第四版，提出了“航空系统组块升级”（ASBU）方案，以促进全球航空运输系统的统一性和互用性。为确保 ASBU 的顺利实施，《全球空中航行计划》第四版中提出了导航技术应用路线图，并要求各成员国根据自身发展情况制定相应的技术发展规划。美国、欧洲、澳大利亚等国家和地区结合自身情况制定相应的导航技术应用政策和发展战略，在如何从传统导航技术向导航新技术发展过渡以及协同应用方面提出了具体策略。

中国民航高度重视导航技术发展与应用，一方面不断加强传统导航基础设施布局与完善，以适应快速增长的空中航行服务需求；另一方面不断加大对导航新技术的研究与应用投入，大力推广基于性能的导航（PBN）应用，全力推进北斗卫星导航系统的全球应用。

1、陆基导航基础设施建设初具规模

截止 2015 年 1 月，全国主要航路航线及机场终端区已建设多普

勒 VOR (DVOR) 313 套, DME 524 套, NDB 376 套, ILS 291 套。

全国国际航路及国内主要航路基本实现 8400 米以上航路 DVOR/DME 信号覆盖, 为传统空中交通服务 (ATS) 航路提供了较好支持, 中西部地形复杂地区导航信号覆盖存在部分盲区。目前, 已经实施 RNAV2、RNAV5 运行的 6 条航路附近区域的 DVOR、DME 等导航信标已成为支持 PBN 运行的 DVOR/DME 或 DME/DME 陆基导航源。

全国各机场终端区范围内建立了基于 DVOR/DME 和 NDB 的标准仪表进离场程序, 主要基于 GNSS (GPS) 导航源的 PBN 进离场程序, 以及基于 ILS、DVOR、NDB 和 GNSS (GPS) 的精密和非精密进近程序; 部分机场终端区具备了 DME/DME 支持的 RNAV1 进离场程序运行条件。

2、星基导航技术研究与应用推进迅速

当前, 全球导航卫星系统以美国的 GPS 系统为主, 中国北斗卫星导航系统 (BDS) 已于 2012 年实现亚太地区覆盖, 并将在 2020 年达到全球覆盖能力。欧盟的 Galileo 系统和俄罗斯的 GLONASS 系统尚不具备运行条件或存在不足。

为适应国际民航组织全球发展战略的需要, 根据国际民航组织相关标准、实施规划和建议措施, 借鉴欧美各主要国家对卫星导航应用的经验, 中国民航开展了一系列的卫星导航应用和试验工程, 推动了卫星导航新技术在民航的应用, 包括:

(1) 卫星导航地基区域完好性监视系统 (GRIMS)

依托民航全球卫星导航系统完好性监测系统工程的建设, 初步建成了自主知识产权的 GPS 卫星完好性地面监测网。在北京、乌鲁木齐、拉萨、哈尔滨、上海、三亚、昆明建设了地面参考站, 各站点通

过民航 ATM 网络将监测数据实时发送给位于北京的主控站。主控站依据 ICAO 对 GNSS 的完好性需求标准，监测我国空域内所有飞机可见的 GPS 卫星的完好性状态。

（2）WGS-84 坐标过渡

民用航空使用 WGS-84 坐标是保证飞行安全、从传统陆基导航向星基导航逐步过渡、应用 PBN 和 ADS-B 等新技术的一项基础性工作，WGS-84 坐标的过渡和实施是新技术应用的前提和必要条件。中国民航根据 ICAO Doc9674-AN/946 《世界大地测量系统-1984（WGS-84）的要求》，于 2009 年完成了民航 WGS-84 坐标过渡工作，为民航 PBN 运行奠定了坚实基础。

（3）地基增强系统（GBAS）试验

为推动卫星导航新技术的应用，中国民航开展了 GPS GBAS 试验工程研究。GBAS 系统主要由参考接收机、数据处理设备及 VDB 发射终端组成。GBAS 数据处理设备通过处理参考接收机数据计算 GPS 卫星差分 and 完好性数据，并经 VDB 发射终端送至机载接收机给出精确、可靠的飞机定位结果，供飞机进近和着陆参考或使用。目前在上海浦东机场、天津滨海机场分别安装了国内外工业界研制的 GBAS 系统，并已开展相关验证和评估工作。

（4）接收机自主完好性监测（RAIM）可用性预测系统

组织开发了 RAIM 可用性预测系统。通过接收 GPS 卫星历书信息、包含 GPS 卫星可用性信息的 NOTAM 报文，根据特定的机场位置、航路航线及飞行时刻等信息，为航空公司签派提供航班 RAIM 可用性信息。目前系统已搭建完成并经批准正式运行，可为航空公司签派和管制员提供 RAIM 可用性的预测信息。

3、国产导航技术与装备能力逐步提升

我国工业界在陆基导航技术领域，已具备 DVOR、DME、NDB 和指点信标（MB）等设施设备的研发与生产能力，并获得了行业使用许可；在星基导航技术领域，已研发生产出卫星导航地基增强系统等相关产品，并在部分机场成功完成技术验证。我国自主设计研发的北斗卫星导航系统建设工作稳步推进，已实现了区域服务，并计划于 2020 年提供全球服务。

4、导航新技术测试验证与评估工作亟需加强

民用航空新技术应用的标准大多为等效采用 ICAO 和 FAA 标准，在技术验证、系统认证等方面的相应体系尚需进一步完善。目前，自主研发的 GRIMS 系统、GBAS 系统、RAIM 可用性预测系统等基于卫星导航的应用系统自主技术标准还在研制过程中，相应的技术测试验证环境与系统认证能力还需进一步建立，以进一步推进我国民航导航系统应用以及自主导航产业的发展。

2.1.2 国外现状

1、美国

联邦航空局（FAA）采用多种导航手段，包括 NDB、VOR、DME、ILS、广域增强系统（WAAS）和局域增强系统（LAAS），并规定了不同飞行阶段可用的导航源，形成了一个混合的、通用的、民用/军用无线电导航系统，满足不同的用户需求。

美国未来的民用航空无线电导航系统将继续从陆基导航系统向星基导航系统发展，提高导航服务的精度、提高安全性、扩展覆盖。过渡计划将以导航系统服务性能为基础对导航辅助设施进行缩减，同时为保障卫星导航系统被干扰的情况下运行中断导致的安全问题，保持足够的地基导航设备以满足安全性需求，保证商业飞行运行的能力和效率。FAA 建议保留目前部分导航设施，为航路导航、非精密进近

(NPA)和精密进近提供冗余和备份能力,将保留现存的测距设备网络并适当补充和优化以提供冗余的 RNAV 能力,保留和维持现有的仪表着陆系统,支持各种恶劣条件下的精密进近飞行。

2、欧洲

由于星基导航技术的迅速发展及其在未来全球导航中的重要作用,欧洲共同体准备逐步建立混合导航系统架构,即以 Galileo 为基础的 GNSS 为主,同时以陆基导航作为 GNSS 的所有飞行阶段备份。

2008-2015 年,航路逐步向完全的 RNAV 导航过渡,根据需求部署更多的 DME 设备并优化现有设备布局,来增加 DME 设备覆盖保证航路和终端区 RNAV 运行。此阶段 ILS 设备为普遍的和多数机场的 I 类进近导航手段,ILS 设备为 II/III 类运行的唯一手段;I 类 GBAS 系统将在本阶段可用;根据国际民航组织要求,所有跑道都应具备基于 SBAS 或 Baro-VNAV 垂直引导能力。

2015-2020 年,航路过渡到完全的精密 RNAV 导航运行,对于部分低高度地区和 DME/DME 信号无法覆盖区域采用基于 GNSS 的 RNAV,所有的商用航空器都强制要求具备基于 DME/DME RNAV 导航和 GNSS RNAV 导航的能力。Galileo 和增强的 GPS 将在本阶段可用,逐步开展基于 GPS 和 Galileo 的多星座运行。ILS 继续保持进近和着陆的主要导航手段,MLS、I 类 GLS 和 LPV 200 将根据需求继续研究和在部分机场引入;预计 II/III 类 GLS 在本阶段可用,增加机场 GBAS 地面设备和航空器 GNSS 着陆系统 (GLS) 能力。

2020 年以后,多星座和多频 GNSS 卫星导航环境初步具备支持航路导航能力,减少和退役 VOR 和 NDB 设备,要求通用航空具备 GNSS 和 DME/DME 能力。ILS 将作为进近和着陆的重要手段,继续推广 MLS、I 类 GLS 和 LPV200 的应用,在没有 ILS 的机场增加 RNP

APCH/LPV 和 GBAS 系统，推动基于 GPS/Galileo/SBAS 的应用。

3、澳大利亚

澳大利亚计划在 10 到 15 年内使其导航系统由现在的陆基导航发展到基于 GNSS、INS 和 ILS 的导航系统，其他陆基导航作为此系统的备用系统。此计划与 ICAO 的亚太区域计划和美国的计划类似。

2.2 发展需求

中国民航正在实施民航强国战略，要求加快建设现代空中交通服务系统。截至 2014 年底，民航全行业运输飞机在册总数 2370 架；通用航空企业适航在册航空器总数 1798 架；共有颁证运输机场 202 个；共有定期航班航线 3142 条，航线里程 703.11 万公里；2014 年全行业完成运输总周转量 748.12 亿吨公里，比上年增长 11.4%；民航全行业完成旅客运输量 3.92 亿人次，比上年增长 10.7%；民航运输机场完成旅客吞吐量 8.32 亿人次，比上年增长 10.2%；全国运输机场起降架次 793.31 万架次，比上年增长 8.4%。到 2020 年，我国民航空中交通流量将达到 2010 年的 3 倍以上，民航运输机队规模将达到 4000 架，通用航空机队规模将达到 5000 架，航空器年起降架次将超过 1500 万，运输总周转量将达到 1700 亿吨公里以上，旅客运输量将超过 7 亿人次，航班正常率将提高到 80% 以上。

空中交通分布的总体格局不会发生根本性的变化，在交通活动的分布上仍将维持东重西轻、东密西疏的格局。国际航空运输将成为新的增长点，飞行量占我国空中交通总量的比重将超过 20%，欧亚和北极航路交通量的增长将是我国国际飞行活动的重要增长点。

在有限的空域资源内，为了满足飞行流量快速增长的需求，导航系统必须能够提供与指定空域需求相当的性能。

在保证安全的同时，导航技术还必须促进空中交通用户提高运行

效率，降低空中交通管理的运行成本。

导航技术的性能需求是根据飞行阶段和航空器与地形、航空器之间的接近程度，以及空中交通管制程序来规定，并需满足 ICAO 的性能要求。包括：

- 适应性：应有能力为全球范围内、有需求的所有类型的航空器提供全天候运行服务；
- 可靠性：应能在失效、故障或中断的情况下及时提供告警，并有能力从临时的失效、故障或中断中恢复；
- 可用性：应为飞行的各个阶段提供有效的引导与过渡信息，同时对机组的操作程序、信息显示和工作负荷造成的影响尽可能地小。
- 电磁兼容性：无线电导航系统必须工作在适当的无线电频段内，有适当的可用的无线电频谱支持，并具有良好的抗电磁干扰能力和电磁兼容性。

为满足上述发展需求，导航设施和应用面临的挑战主要包括：

- 空域受限和机场容量趋于饱和；
- 特殊机场众多；
- 行业发展协调度不够；
- 东西部发展不均衡；
- 导航基础设施部署不完善。

3 应用政策

3.1 目标与原则

为满足空中航行服务对导航技术应用的需求，提高空中交通安全保障能力，提升运行效率，实现国家核心战略在民航行业落地，保障

民航的安全运行和快速发展，中国民航对导航技术的应用应实现如下目标：

- 提高空中航行安全与效率；
- 全力推进国产自主导航技术；
- 提高新技术的应用水平；
- 优化导航基础设施布局；
- 适应通用航空持续快速发展需求。

结合我国国情和民用航空发展需求，导航技术应用的总体原则是：

- 统一规划，提高效率；
- 法规先行，确保安全；
- 程序跟进，促进应用；
- 空地协同，有序推进；
- 新旧互补，平稳过渡；
- 自主创新，接轨国际；
- 技术验证，完善规范；
- 需求优先，适应发展。

3.2 技术应用策略

基于中国民航运输航空运行需求和导航技术发展现状，民用运输航空导航技术应用的总体策略为：

- 完善陆基导航设施布局，满足传统仪表运行和 **PBN** 运行需求；
- 稳步推进星基导航技术的应用；
- 从陆基导航向星基导航过渡，维持运行安全所需的陆基导航系统。

未来一定时期内，中国民航导航技术应用政策分近期（至 2020

年)、中期(2021-2030年)和远期(2030年以远)三个阶段,具体应用政策为:

3.2.1 近期(至2020年)

在主要航路和终端、进近以陆基导航设施为主用导航源,推动GNSS导航技术的应用,积极开展北斗卫星导航系统的性能评估和试验验证,积极推进北斗卫星导航系统民航应用及国际标准化工作。

1、航路运行

继续完善和优化航路陆基导航设施布局,稳步推进GNSS在航路导航的应用,满足ATS航路需求。

- 适当减少和限制NDB设备的使用;
- 继续保持现有航路VOR/DME设施规模,对性能老化的设施设备及时进行更新,根据需求补充现有航路及终端区VOR/DME设施,实现满足ATS航路最低运行标准的VOR/DME覆盖网;
- 主要依托现有DME台站资源并适度补充,实现主要航路DME/DME陆基导航源对PBN运行的支持,实现东部航路(线)(G212航路(线)(哈尔滨-北京-太原-西安-成都-昆明)(含)以东)和西部航路(线)(G212航路(线)(哈尔滨-北京-太原-西安-成都-昆明)以西)中雷达管制航路(线)的7200米以上DME/DME更新区的双重覆盖,满足RNAV 2运行规范要求;
- 建设完善航路GNSS RAIM可用性预测系统,支持基于GNSS的PBN运行。

2、终端运行

加强支持终端运行的VOR/DME的配置和建设,稳步推进基于

GNSS 的 PBN 终端运行。

- 适当减少和限制 NDB 设备的使用；
- 加强 VOR/DME 设施建设，优化布局；
- 重点依靠现有 DME 台站资源并适度补充，在满足条件的国际枢纽机场和繁忙机场实现 DME/DME 导航源对 PBN 程序的支持，满足 RNAV 1 运行规范要求；
- 建设完善 GNSS RAIM 可用性预测系统，支持基于 GNSS 的 PBN 终端运行；
- 开展利用 GBAS 的灵活终端运行技术的研究和试验，优先考虑在有特殊需求的机场实施提供 GBAS 的导航定位服务。

3、进近运行

ILS、VOR/DME 将继续作为进近和着陆的主要导航手段。稳步推进 GNSS 及其增强系统的应用。

- 适当减少和限制 NDB 设备的使用；
- 运输机场的每条跑道应具备精密进近导航方式，单跑道机场以及多跑道机场的主降跑道，还应具备基于陆基导航或卫星导航的非精密进近方式；
- 所有条件许可的机场，应当装备双向仪表着陆系统；
- 在有运行需求的机场加强仪表着陆系统 II/III 类运行的布局和建设；
- 逐步推进并优先考虑在有特殊需求的机场实施提供 GBAS I 类精密进近引导服务；
- 开展基于 GPS 和北斗卫星导航系统的双模 GBAS 试验验证；
- 鼓励解决特殊机场进近运行问题的技术应用。

3.2.2 中期（2021年~2030年）

完善陆基导航设施布局，满足仪表运行和 PBN 运行需求，推进北斗卫星导航系统的机载和地面设备建设，完善北斗卫星导航系统的运行程序及相关规范，积极推进基于北斗卫星导航系统和其它卫星导航系统混合运行的 PBN 运行，稳步推进从陆基导航向星基导航过渡。建议开展 SBAS 的研究和试验工作。

1、航路运行

- 逐渐淘汰 NDB 设备，有特殊需求的除外；
- 继续维持 VOR/DME 规模，根据航路、航线调整需求，适当调整和补充；
- 根据航路航线网规划需求，优化 DME/DME 网络覆盖，支持 RNAV 2 航路运行；
- 建设和完善 GNSS 的航路运行程序及相关规范；
- 根据 GNSS 的发展，稳步推进基于 GNSS 的航路运行。

2、终端运行

- 逐渐淘汰 NDB 设备，有特殊需求的除外；
- 继续维持 VOR/DME 规模，根据终端运行需求，适当调整和补充；
- 根据航路/航线网规划和终端运行需求，完善终端运行的 DME/DME 网络，支持监视覆盖下 RNAV 1 终端运行；
- 根据 GNSS 的发展，稳步推进基于 GNSS 的终端运行。

3、进近运行

- 逐渐淘汰 NDB 设施，有特殊需求的除外；
- 继续维持 ILS 设施规模，根据运行需求，适当增加 ILS 设施；
- 在不具备建设 ILS 设施的机场建设基于 GPS 和北斗卫星导航

系统的双模 I 类 GBAS, 在大型枢纽机场建设双模 I 类 GBAS 作为 ILS 备份;

- 在指定机场开展 GBAS 的 II、III 类精密进近的试验和验证; 验证通过后, 逐步推进 GBAS 在有特殊需求机场的 II、III 类精密进近引导应用;
- 鼓励解决特殊机场进近运行问题的技术应用。

3.2.3 远期 (2030 年以远)

逐步过渡到以 GNSS 为主用导航源、陆基导航设施为备份导航源的导航系统构架, 积极开展以北斗卫星导航系统为核心, 兼容 GPS、Galileo 的我国民航卫星导航体系的建设, 推进北斗卫星导航系统的全球应用。

3.3 技术应用路线图

3.3.1 陆基导航系统

3.3.1.1 甚高频全向信标 (VOR)

VOR 继续用于支持终端和航路的运行。

保持必要的 VOR 台 (站) 作为 GNSS 的备份手段。

3.3.1.2 测距仪 (DME)

DME 首先用于支持终端和航路 PBN 的运行, 继续保持现有 DME 台 (站) 的使用和更新。

DME/DME 作为 GNSS 的重要备份手段。

鼓励将 DME 作为仪表着陆系统配套设备, 提供距离信息。

3.3.1.3 指点信标 (MB)

MB 将逐渐被 DME 取代。

根据特殊运行需求, 可保持必要的与仪表着陆系统配套的指点信标台 (站) 的使用和更新。

3.3.1.4 无方向信标（NDB）

NDB 在运输航空的使用范围将逐渐减少。

根据特殊要求和通用航空发展需要，可新建和装备 NDB 导航设施。

3.3.1.5 仪表着陆系统（ILS）

ILS 用于精密进近，将继续保持使用和更新。

继续保持现有的仪表着陆系统 II/III 类运行，在有运行需求的机场加强仪表着陆系统 II/III 类运行的布局和建设。

3.3.1.6 其它陆基导航设施

根据民用航空的发展，不再考虑和发展微波着陆系统（MLS）、塔康（TACAN）和罗兰-C（Loran-C）等其它陆基导航设备。

在某些特殊地形条件，确实需要引入其它陆基导航设备的，可在充分论证后，根据需要建设。

3.3.2 全球卫星导航系统

3.3.2.1 卫星星座

全球卫星导航系统将包括 GPS、北斗、GLONASS 和 Galileo 等 4 个卫星星座，每个星座将至少为民用航空提供 2 个导航信号，形成具备兼容和互操作能力的多频多星座 GNSS。

积极推动我国北斗卫星导航系统应用于民航所必要的地面和机载设备研制、系统和运行标准制定、以及应用示范等工作。在我国北斗卫星导航系统满足民航应用需求后，建立以我国北斗卫星导航系统为核心、兼容 GPS 等卫星星座的应用体系。

在具备适当的增强手段、满足民用航空运行需求的条件下，GPS 可作为航路、终端（进近）飞行阶段 PBN 运行的导航源。

在 GLONASS 和 Galileo 达到如下要求后，根据国际民航组织的

政策发展和实际运行需求决定其应用：

- 系统达到全运行能力；
- 具有完备的系统和运行标准；
- 具有必要的机载（和地面）设备支持；
- 系统所有者或提供运行者承诺对民用航空负责。

3.3.2.2 卫星导航增强系统

继续加强卫星导航完好性监视和增强的技术研究，鼓励建设和完善自主知识产权的卫星导航增强系统，推进相关试验、验证和应用。

卫星导航增强系统与卫星星座共同为民用航空提供导航服务：

- 机载增强系统（ABAS）：RAIM 将作为航路到非精密进近飞行阶段 GNSS 的完好性监测有效手段，继续完善 RAIM 可用性预测服务，鼓励 ABAS 支持 I 类精密进近的技术研究；
- 地基增强系统（GBAS）：GBAS 将作为 ILS 的备份系统和有特殊需求机场的精密进近引导主用系统，鼓励自主知识产权的 GBAS 系统的试验、验证和应用。
- 地基区域增强系统（GRAS）：在可预见的未来，将不发展和使用 GRAS 系统。
- 星基增强系统（SBAS）：将视其技术发展和国际应用情况确定其应用策略。

推进自主 GNSS 完好性监测网的建设，鼓励与相关 GNSS 完好性监测（增强）系统信息共享，提供 GNSS 完好性的参考。

3.4 通用航空

结合我国国情和通用航空的发展需求，通用航空导航技术应用的总体原则是：

- 导航设施统一规划、分别实施的原则；

- 导航设施资源共享的原则；
- 导航设施建设分工协作的原则；
- 新技术先试验再推广的原则；
- 政府和用户最大化成本效益的原则；
- 鼓励导航技术国产化的原则。

基于中国民航通用航空运行需求和导航技术发展现状，NDB、VOR/DME 等陆基导航设施可作为满足中国民航通用航空运行的导航源，也不排除使用其他的导航源。在运行试验与验证基础上，鼓励星基导航技术，特别是我国北斗卫星导航系统，在通用航空的应用。具体策略是：

- 根据通用航空的发展需求，有计划地推进 NDB、VOR/DME 等陆基导航设施建设，为通用航空飞行活动提供导航能力；
- 鼓励应用适合通用航空运行的新型陆基导航技术；
- 鼓励应用星基导航系统，在指定区域开展星基导航系统的试验和验证工作；
- 在试验和验证的基础上加速推进星基导航系统的应用；
- 鼓励北斗卫星导航系统在通用航空中的应用；
- 鼓励通用航空使用运输航空导航技术。

4 配套措施

4.1 法规和标准

民航局会同有关机构与部门加强对以卫星导航技术为代表的导航新技术试验和验证，根据验证结果制定相应的专项实施规划，指导导航技术的具体实施，并制定相关的规章、规范与技术标准，涵盖机载及地面设备标准、航空器适航资格、人员培训、运行程序、审定批

准、监督检查等各方面，保障导航技术顺利实施、有效推进和安全运行。

民航局将研究建立政策、法规、标准和规划，鼓励并加快推进北斗卫星导航系统在中国民航的应用，逐步向全球民航应用推广。

民航局将适时推进航空电信技术规范研究机构的建立，并鼓励技术规范与标准研究的国际交流与合作，努力推进与欧美航空标准化组织的互认合作。

4.2 新技术的运行试验与验证

民航局鼓励和支持国内有关单位加强对应用于空中航行服务的导航技术创新，加大重大工程建设项目中对导航新技术的预研、评估与验证资金投入，并对导航新技术的验证实施统一管理。在导航新技术满足所需性能要求后，根据运行需求稳步推进其应用。鼓励应用导航新技术的国产设施设备的研发与验证。

4.3 人员培训

在导航系统投入运行前，各单位要积极开展专业技术人员培训，并保证人员培训所需经费。人员培训可由局方授权或指定单位承担，也可由运行单位根据需要自行组织，培训对象包括飞行员、空中交通管制员、签派员、机务维修人员、航空电信人员以及其他有关人员，以保证导航设备（系统）安全、可靠、高效运行。

4.4 交流与合作

民航局将不断深化导航技术应用领域的国际交流与合作，鼓励研究机构、工业界等各种层面的技术交流与合作。及时了解、跟踪国际导航技术发展趋势，保持与国际民航组织和世界主要国家导航技术发

展同步，加强与周边国家的协调合作。加强行业内外导航技术应用交流，在吸收和转化已有成熟技术的基础上，充分利用社会资源和技术力量，鼓励创新，提高中国在导航技术应用领域对国际航空的贡献。

全力推进北斗卫星导航系统在在在国际民航的应用，加强北斗相关法规、标准、技术与设施设备的国际交流与合作，研究制定详细政策，鼓励工业界与科研机构针对北斗卫星导航系统的国际交流合作。

5 政策的修订

本政策是根据国际民航组织的建议措施和地区发展规划，结合中国民航的现状和发展需要而制定的。鉴于政策制定所依据的环境可能发生变化，这些变化包括国际民航组织的建议措施和地区发展规划出现大的调整、中国民航的应用需求发生变化、导航技术本身出现大的调整或出现新的导航技术等。当出现上述变化时，将依据这些变化及时修订本政策。

附录 1 缩略语

| | |
|---------|---|
| VOR | Very High Frequency Omni-directional Range (甚高频全向信标) |
| DME | Distance Measuring Equipment (测距仪) |
| MB | Marker Beacon (指点信标) |
| ILS | Instrument Landing System (仪表着陆系统) |
| MLS | Microwave Landing System (微波着陆系统) |
| TACAN | Tactical Aircraft Navigation System (塔康) |
| Loran-C | Long Range Navigation - C (罗兰-C) |
| NDB | Non Directional Beacon (无方向信标) |
| GNSS | Global Navigation Satellite System (全球卫星导航系统) |
| GPS | Global Position System (全球定位系统) |
| GLONASS | Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (全球导航卫星系统) |
| ABAS | Aircraft-Based Augmentation System (机载增强系统) |
| GBAS | Ground-Based Augmentation System |

| | |
|-------------|---|
| | (地基增强系统) |
| GRAS | Ground-based Regional Augmentation System (地基区域增强系统) |
| SBAS | Satellite-Based Augmentation System (星基增强系统) |
| RAIM | Receiver Autonomous Integrity Monitoring (接收机自主完好性监测) |
| RNAV | Area Navigation (区域导航) |
| PBN | Performance Based Navigation (基于性能的导航) |

附录 2 参考文献

[1] 中华人民共和国民用航空法，1995 年 10 月 30 日中华人民共和国主席令第五十六号公布。

[2] International Standards and Recommended Practices, Aeronautical Telecommunications, Annex 10 to The Convention on International Civil Aviation.

[3] International Standards and Recommended Practices, Air Traffic Services, Annex 11 to The Convention on International Civil Aviation.

[4] ICAO Doc9613, Performance based Navigation Manual, Third Edition 2008.

[5] ICAO Doc 9750, Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems

[6] ICAO The Regulation of Global Aviation Navigation, Communication and Surveillance by Satellite and the Role of ICAO, 1999

[7] U.S. Department of Transportation, Volpe Center, Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System, September 2001.

[8] U.S. Department of Defense and Department of Transportation, Federal Radionavigaton Plan, 2001.

[9] U.S. Department of Defense and Department of Transportation, Federal Radionavigaton System, 2001.

[10] FAA, Navigation and Landing Transition Strategy.

[11] FAA, Roadmap for Performance Based Navigation.

[12] FAA, AC 90-45A CHG 2, Approval of Area Navigation Systems for use in the U.S. National Airspace System, 1975.2.21.

[13] FAA, AC 90-58C, VOR Course Errors Resulting from 50 kHz Channel Mis-Selection, 1975.4.7.

[14] FAA, AC 90-92 CHG1, Guidelines for the Operational Use of Loran-C Navigation Systems Outside the U.S. NAS, 1993.2.5.

[15] FAA, AC 90-94, Guidelines for using Global Positioning System Equipment for IFR En Route and Terminal Operations and for Nonprecision Instrument Approaches in the U.S. National Airspace System, 1994.12.14.

[16] FAA, AC 90-96A, Approval of U.S. Operators and Aircraft to Operate Under Instrument Flight Rules (IFR) in European Airspace Designated for Basic Area Navigation (B-RNAV) and Precision Area Navigation (P-RNAV), 2005.1.13.

[17] FAA, AC 90-97, Use of Barometric Vertical Navigation (VNAV) for Instrument Approach Operations Using Decision Altitude, 2000.10.19.

[18] FAA, AC 90-100, U.S. Terminal and En Route Area Navigation (RNAV) Operations, 2005.1.7.

[19] FAA, Federal Radio Navigation PLAN, 2010

[20] FAA, NextGen Goal: Performance Based Navigation, 2009.4.24

[21] EUROCONTROL, Navigation Strategy for ECAC.

[22] EUROCONTROL, Transition Plan for the Implementation of the Navigation Strategy in ECAC 2000-2015+.

[23] EUROCONTROL, Navigation Domain Action Plan.

[24] ASTRA, Australian ATM Strategic Plan, 2007 Edition.

[25] 中国民用航空总局空中交通管理局, 中国民航空中交通管理系统中长期发展规划, 2002年11月。

[26] 中国民用航空总局空中交通管理局, 中国民航空管保障设

施和新技术发展十一五规划，2004年6月。

[27] 中国民用航空总局飞行标准司，咨询通告，编号：AC-91FS-01，使用全球定位系统（GPS）进行航路和终端区 IFR 飞行以及非精密进近的运行指南，2005年7月11日。

[28] 中国民用航空总局飞行标准司，咨询通告，编号：AC-121FS-13，在终端区实施区域导航的适航和运行批准，2004年1月5日。

[29] 中国民航新一代空中交通管理系统发展总体框架，2007年8月

[30] 中国民用航空局，中国民航发展第十二个五年规划，2011年5月10日

附件

附件 1 术语解释

全球卫星导航系统 (GNSS): 全球定位和授时系统, 包括一个或多个卫星星座, 机载接收机以及必要完好性监视和增强系统, 能为运行提供所需的导航服务。

全球定位系统 (GPS): 由美国运行的卫星导航系统。

全球导航卫星系统 (GLONASS): 由俄罗斯运行的卫星导航系统。

北斗卫星导航系统 (BDS): 由中国运行的卫星导航系统。

伽利略卫星导航系统 (Galileo): 由欧盟运行的卫星导航系统。

空基增强系统 (ABAS): 用户利用来自机载导航设备信息进行增强的系统。

星基增强系统 (SBAS): 用户从星基发射机接收增强信息的广域覆盖增强系统。

地基增强系统 (GBAS): 用户直接从地基发射机接收增强信息的系统。

地基区域增强系统 (GRAS): 用户直接从覆盖某一区域的一组地基发射机中的一个接收增强信息的系统。

完好性: 系统所提供信息的准确度的可信程度, 包括系统为用户提供及时有效的警告的能力。

附件 2 民用航空导航技术概述

1 导航的作用

民用航空的基础是导航技术。对于航空运输系统来讲，导航的基本作用就是：引导飞机安全准确地沿选定路线、准时到达目的地，为空域提供基准，确定空域、航线的关键位置点。航空导航应用的安全性要求高，需达到精准导航的要求，空中交通管理可称为航空导航的最高端应用。空管的发展推动着航空导航新技术和装备的研发，而航空导航技术也不断地满足空管的发展需求，从而促进了世界民用航空事业的发展。

2 民用航空导航技术的发展

民用航空导航技术是顺应不同时期的航空需求而不断发展的。随着民用航空系统的发展历程，民用航空导航技术经历了如下几个阶段：

早期（20 世纪 20 年代至 30 年代初时）民用航空导航方式为目视导航，起初航空导航主要利用地形地物作参照物或者观察太阳和星体目视导航，该手段导航误差较大。

中期（30 年代）开始发展仪表导航，飞机上安装简单的仪表，依靠人工计算飞机当时的位置，提高了导航精度。随着航空运输的广泛应用，需提高航空导航的覆盖范围。

随之，中后期（20 世纪 30 年代至 60 年代）民用航空导航发展了航路全程覆盖的导航技术，出现了覆盖航路的无线电导航，40 年代初开始研制超短波的伏尔导航系统和仪表着陆系统，此阶段航路飞行由完全依靠目视地形特征方式变为使用仪表飞行，50 年代初惯性

导航系统用于飞机导航，50年代末出现了测距仪，60年代末为提高着陆飞行能力继而研制了微波着陆系统，此阶段基本实现了全飞行阶段的仪表飞行。

为了满足不同空管运行的需求，近代（20世纪70年代）提出了区域导航运行概念，即针对不同的运行环境（如航路、终端区、洋区等）达到相应的导航性能要求，区域导航催生了组合导航技术；随着航空运输量的不断提升，进入了现代导航时代（20世纪70年代至今），空管中的导航主要依靠全球定位导航系统，空中交通管理从地面指挥向空地协同发展，确保航空飞行更安全、更密集、更灵活。

随着空管运行需求的日益提高，卫星导航增强技术（20世纪80年代中期至今）的提出和组合导航技术（20世纪80年代至今）的发展将不断满足高性能的空管导航要求；针对不同国家乃至地区采用的民用航空导航系统各不相同，为了统一规范，进一步提升空管运行能力，国际民航组织提出了基于性能导航运行概念（2007年至今），即依据航空导航的能力实施空管运行，从而能够提高空域容量和飞行灵活性，同时结合日益成熟的卫星导航系统为民用航空提供有效的定位导航授时服务，实现全球统一、精密化的空中交通管理。

3 民用航空导航系统的分类

按照设施类型，导航技术分为自主式导航和他备式导航，他备式导航又可分为陆基导航和星基导航：

- NDB、VOR、DME 和 ILS 属于陆基导航。
- GNSS 属于星基导航。
- INS 属于自主式导航。

4 陆基导航

目前，中国民用航空使用的陆基导航系统主要包括无线电信标 NDB、甚高频全向信标 VOR、仪表着陆系统 ILS、测距仪 DME、甚高频全向信标/测距仪 VOR/DME 等，根据导航定位原理分别对各导航系统的研制背景、工作原理、应用情况及发展作以简单介绍。

4.1 无线电信标 (Nondirectional Beacon, NDB)

在 20 世纪 30 年代初出现了航空无线电信标。航空无线电信标又称无方向信标 (Nondirectional Beacon, NDB)，工作频率为 0.19 MHz 至 1.75 MHz，额定覆盖平均半径为 46.3-278 公里。它的工作原理是利用机载设备无线电定向机 (Automatic Direction Finder, ADF) (或无线电罗盘) 测量 NDB 相对于飞机轴线的方位，它主要用于飞机着陆时寻找初始进近点。

NDB 主要应用于航空无线电导航的初期阶段，为区域航空飞行提供可靠和精确测向信息，其缺点为误差不固定，并且无法提供高精度的全面导航信息。至 2011 年底，中国民航目前运营的 NDB 设备共有 378 套。

4.2 甚高频全向信标 (Very High Frequency Omni-directional Range, VOR)

在航路导航方面，VOR 于 1946 年出现并在 1949 年为国际民航组织所接受。其全称为甚高频全向信标，工作频率为 11.975 MHz-117.975 MHz。VOR 提供的信号必须在 40 度仰角以下，为使一部标准的机载设备在最大规定服务半径上、以最低的服务电平满意的工作，要求 VOR 信号的空间场强或功率密度应为 90 微伏/米或 -107 分贝瓦/米²。VOR 的工作原理是通过发射两个 30Hz 的正弦波，并根据此两正弦波的相对相位与飞机相对于地面台的方位成正比的原理

而实现测方位，从而为飞机提供准确的方位信息。

航空无线电信标相比，VOR 精度较高，能够使驾驶员保持既定航线飞行，因此很快被航空界所接受。20 世纪 60 年代，VOR 地面台技术被全面改进为多普勒 VOR (DVOR)，以减小场地误差。但是 VOR 只能提供飞机指示方位，还需进一步能够提供水平位置导航信息的设备。

4.3 仪表着陆系统 (Instrument Landing System, ILS)

利用信号引导航空器进近下滑、着陆的无线电系统称为仪表着陆系统，该系统于 1939 年研制成功，是专门用于引导飞机着陆的仪表式系统，它有别于早期依据地标地物等目视基准的飞行着陆系统，是完全用仪表控制实现着陆，是目前应用最为广泛的飞机精密进近和着陆引导系统。仪表着陆系统的地面设备包括航向台、下滑台和指点信标，机载接收机分为航向/下滑接收机和指点信标接收机。它的工作原理是由地面发射的两束无线电信号实现航向道和下滑道指引，建立一条由跑道指向空中的虚拟路径，飞机通过机载接收设备，确定自身与该路径的相对位置，使飞机沿正确方向飞向跑道并且平稳下降高度，最终实现安全着陆。

目前，ILS 是国际民航组织 (ICAO) 标准精确进场着陆设备，全球民用航空现役 ILS 地面设备已超过 2000 套，其中美国共计有 1077 套，我国拥有 238 套。目前，仪表着陆系统是我国民航机场的主要着陆引导保障设备。

ILS 系统的缺陷主要在于其建站和维护过程对场地和空域资源的过分消耗，使其难以应用在一些自然条件较苛刻的区域。

4.4 测距仪 (Distance Measuring Equipment, DME)

1952 年，ICAO 采纳了美国建议的系统作为标准，DME 成为

ICAO 的标准导航系统。DME 是为飞机提供距离信息的近程航空导航系统，工作频率为 960MHz-1215MHz，采用脉冲信号体制，有 252 个工作信道。在作航路导航时，一个地面台可覆盖约 370 公里的半径范围，在终端区和作精密进近时，覆盖约 45 公里半径。误差随飞行距离而累加，为飞行距离的 3%。它的工作原理是通过测量机载设备与地面台之间询问-应答脉冲的传播时间而测出飞机离地面台的距离。DME 于 1961 年正式投入使用。

4.5 VOR/DME

VOR 作为低频无线电测距的替换来提供一个飞机到 VOR 发射机的方向，搭配的 DME 提供飞机到 DME 发射机的距离。VOR 与 DME 通常组合使用，该组合系统被认为是当今安全和可信赖的民用航空导航的基础。

目前，美国共计有航空 VOR/DME 设备 1012 套，我国拥有 VOR/DME 设备 270 套。对于空中航路导航，民用航空主要采用 VOR/DME，也是目前我国民用航空的主要无线电导航系统。表 1 总结了几种常用系统及主要性能指标。

表 1 几种常用的陆基导航系统主要性能

| 性能 系统名称 | 工作频率 (MHz) | 作用距离 (Km) | 误差 (m) |
|------------|-----------------|----------------|--------------|
| NDB | 0.19-1.75 | 46.3-278 | 不稳定 |
| VOR | 11.975-117.975 | 370 | 1.4° 90 米 |
| DME | 960-1215 | 航路 370 | 3%D* |
| | | 终端 45 | |

*D 为飞行距离

目前，陆基无线电导航系统至今仍被广泛应用，而且在空中交通

管理中发挥重要的作用。陆基无线电导航系统存在以下缺陷：首先飞机只能沿陆基导航台定义的航路折线飞行，作用距离有限且易受地形遮挡，该方式将延长飞行时间，降低飞行效率，精度低，增加航路拥堵率；其次，移动一个地面导航台可能影响数条相关航路和飞行程序，陆基导航设备无法在航路、进近和复飞程序中复用；随着飞机离导航台距离的增加，保障航路导航精度要求陆基导航台分布达到一定的密度，势必导致建站与维护的费用增加；此外，陆基导航强烈抑制了航空导航设备的灵活性和先进航电设备的应用，成为整个空中运输系统的瓶颈。以全球定位系统（Global Positioning System, GPS）为代表的星基导航系统就是在这种情况下产生的。

5 星基导航

民用航空星基导航系统包括全球导航卫星系统和卫星导航增强系统，下面将就导航定位原理分别对各导航系统的研制背景、工作原理、应用情况及发展作以简单介绍。

5.1 全球导航卫星系统

1964年，美国海军和空军分别提出了“Timation”计划及621B计划，采用伪码（Pseudo Random Noise, PRN）测距，开启了卫星导航系统研制的先河。1973年美国国防部成立联合工作办公室（Joint Program Office, JPO），JPO综合TRANSIT、Timation和621B等方案的优点，提出发展NAVSTAR/GPS（Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System）项目。GPS导航系统的基本原理是测量出已知位置的卫星到用户接收机之间的距离，然后综合多颗卫星的伪距解算接收机的具体位置。

GPS系统建设历时二十多年。1978年2月22日，第一颗GPS

试验卫星发射成功；1989年2月14日，第一颗GPS工作卫星发射成功；1993年12月8日，美国宣布GPS系统具备初步工作能力；1994年3月10日，24颗工作卫星全部进入预定轨道；1995年4月27日GPS系统具备完全工作能力，全面投入正常运行。GPS以全球性、全时空、全天候、高精度、实时等特点，彻底变革了传统意义上的导航概念，它的推广应用有力地促进了民用航空的发展。

迄今为止，全世界使用的导航定位系统主要是美国的GPS系统。然而，过度依赖GPS蕴涵着巨大的风险：美国可以随时切断局部区域的导航信号，或者人为注入干扰信号来降低局部GPS信号的精度。因此，世界各国也相继积极发展和建设各自的卫星导航系统。20世纪70年代苏联开始开发全球定位系统GLONASS，主要用于军事领域，1995年系统完全建成。该系统由于历史原因没能得到及时的维护，一直处于降效运行状态，目前仍无法实现全球范围内的实时导航定位。欧盟于2002年正式批准Galileo计划战略科研项目，2005年12月28日，伽利略计划的首颗实验卫星“GIOVE-A”被顺利送入太空轨道，Galileo项目在进程中始终受到经费不足和政治因素的困扰，在问题中不断前行；中国早在60年代末就开展了卫星导航系统的研制，70年代后期以来国内先后提出过单星、双星、三星和3~5星的区域性系统方案，以及多星的全球星基导航系统系统的设想，并考虑到导航定位与通信等综合运用问题，最后确定为有源三维双星系统——北斗卫星导航系统。按照组网发射计划，至今已发射8颗北斗导航卫星。目前改进型的“北斗二号”系统正在研制建设中，与GPS原理基本一致的、覆盖中国本土的新一代区域性卫星导航定位系统存在诸多优势，可有效避免电磁干扰，实现无源定位；此外，印度也正在开发能与GPS、GLONASS和Galileo系统相连接的卫星导航系统“地

区导航卫星系统” (Indian Regional Navigational Satellite System, IRNSS); 日本投入 2000 亿日元, 建成由 3 颗卫星组成的“准天顶卫星系统”, 该系统可以和 GPS 并用, 定位精度高达十几厘米; 加拿大的主动控制网系统(CACs)、德国的卫星定位导航服务系统 (Satellite Positioning Service of the German state Survey, SAPOS) 等都正在实施中。

目前的卫星导航系统还暂有 GPS 卫星和 GLONASS 卫星可提供定位服务, 当 Galileo 系统和中国北斗导航定位系统达到运行能力后, 将出现多系统共存的局面。多系统组合, 充分利用所有测距资源将是未来卫星定位系统发展的趋势, 也是提升全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 性能的重要方法。未来五到十年间, 所有的 GNSS 用户都将会接收到更多卫星导航系统的信号, 多数民用用户接收机将升级为多模, GNSS 系统整体的精度、完好性和可用性将有长足提高。

GNSS 提供四维导航服务的不确定性来源为传播延迟、时钟误差、多径效应、卫星星历误差和几何误差等。因此, 不通过增强系统的 GNSS 可满足国际民航组织所要求的部分区域导航, 并作为洋区导航的主要手段, 航路、终端和非精密进近的补充。为了进一步提升 GNSS 作为必备导航系统和唯一导航系统的能力, 民用航空引进卫星导航增强系统, 将在下文做简要介绍。

5.2 卫星导航增强系统

将全球卫星导航系统应用于民用航空导航, 保障安全性至关重要, 为此完好性保证能力是用户最为关注的性能需求。从 20 世纪 80 年代中期开始, 人们对如何增强 GPS 完好性以满足民用航空导航需要这一问题展开了广泛研究, 并取得了一些成果。GPS 完好性增强

方法综合起来可分为两类。一类是内部增强方法，即利用 **GPS** 接收机内部的余度信息，或飞机上的其它辅助信息（如气压高度表、惯导等），来实现 **GPS** 卫星故障的检测和排除，这一方法一般称为接收机自主完好性监测（**RAIM**）。另一类是外部增强方法，即在地面设置监测站，监测卫星的状况，然后广播给用户，主要包括星基增强系统和地基增强系统，由于系统同时利用广域差分或局域差分技术提高精度，因此，系统的完好性监测主要是对广播给用户的误差改正数的监测。

1、接收机自主完好性监测（Receiver Autonomous Integrity Monitoring, RAIM）

接收机自主完好性监测概念最早由 R. M. Kalafus 于 1987 年提出。**RAIM** 是指用户接收机利用多余观测量为定位解自主地提供完善性监测，其目的是在导航过程中检测出发生故障的卫星，并保障导航定位精度。其基本功能包括故障检测(**FD**)及故障排除(**FE**)两个部分。故障检测部分检测对于当前飞行阶段不可接受的定位误差，在检测基础上，故障排除部分识别并排除导致定位误差的故障源，确保导航的连续性。

RAIM 算法有不同方法实现，其中之一是进行各种可见卫星定位子集的一致性检查。如果非一致性，可以给飞行提供预警。目前，**RAIM** 技术在国外已有了较成熟的发展，并已应用于许多航空 **GNSS** 接收机。**FAA** 已规定，所有航空用的 **GNSS** 接收机必须具有 **RAIM** 功能，并且已批准具有 **RAIM** 功能的 **GPS** 接收机在越洋和边远区域航行阶段可作为主用导航系统，在本土航路、终端区和非精密进近阶段可作为辅助导航系统。

2、星基增强系统（SBAS）

星基增强系统 (SBAS) 的目标是改善 GNSS 系统的完整性和精度, 主要用于飞行器导航, 尤其是在飞机的着陆阶段。SBAS 卫星会向地球广播修正消息, 使接收机可以利用此类信息来改善精度和完好性。

美国、欧洲和亚洲都在开发自主的 SBAS 系统。1992 年, 美国联邦航空局 (FAA) 针对航空用户对飞行与着陆的要求, 提出了利用 GEO 转发广域差分改正信号, 这一思想构成了 GPS 广域增强系统 (Wide Area Augmentation System, WAAS)。此后, 欧洲建成并开始运行对地静止导航覆盖服务 (EGNOS, European Geostationary Navigation Overlay Service) 系统。日本的多功能卫星增强系统 (Multi-functional Satellite Augmentation System, MSAS), 以及印度的 GPS 辅助地理增强导航 (GPS Aided Geo Augmented Navigation, GAGAN) 系统也都已进入不同的开发和应用阶段。除 MSAS 外, 日本现在还在开发准天顶卫星系统 (QZSS), 作为 GPS 的一种增强服务, QZSS 将为日本地区提供位于天顶方向附加测距源。

美国 WAAS 从 2003 年 7 月 10 日正式投入使用时就已经具备了 LNAV/VNAV 和部分 LPV 导航能力。目前, LPV 可用性为美国本土的覆盖范围 100%, 阿拉斯加的覆盖范围 81.22%; LPV-200 可用性为美国本土的覆盖范围 100%; 阿拉斯加的覆盖范围 70.90%。欧洲的 EGNOS 系统, 与 WAAS 原理相同, 覆盖整个欧洲。不同的是, EGNOS 整合了美国的 GPS 和俄罗斯的 GLONASS 两套定位系统信号, 并加以修正。日本的 MSAS 系统从 1996 年开始实施, 主要目的是为日本空域的飞机提供全程通信和导航服务, 于 2007 年 6 月 30 日宣布达到 IOC。

3、地基增强系统（GBAS）

以 WAAS 为代表的星基增强系统仅能满足 I 类精密进近的需求，对于精度、完善性等性能需要更高的 II 类、III 类精密进近，必须寻求新的增强方式。在局部地区，利用局域差分原理，可得比广域差分更高的精度，满足机场等对进近精度要求高的应用区域。这种技术被称为地基增强系统。

美国 Continental 航空公司已有 9 架 737NG 飞机加装了 GBAS 机载设备，此外，所有 2008 年 1 月以后交付的 737NG 飞机都装备有 GBAS 机载设备，所有新交付的 787 都将 GBAS 机载设备作为标准配置。Continental 航空公司已经执行了超过 200 次的目视 GBAS 进近程序，并且飞行员反应良好。EUROCONTROL 已将 GBAS 列入欧洲单一天空空管研究计划（Single European Sky ATM Research, SESAR）核心系统，在数个机场部署了 GBAS 测试系统，并开展了 GBAS 平行进近的研究。法国于 2006 年对安装在 Toulouse 的 GBAS CAT I 地面站进行了空间信号验证，并持续对 GBAS 性能进行监视。该 GBAS 的性能将被继续维持，用于 Airbus 的 GLS 验证。法国将加大 GBAS CAT II/III 的研发活动，并已开展了 2 项相关研发项目。

6 自主式导航

从 20 世纪 20 年代末开始，陆基无线电导航逐渐成为航空的主要导航手段，但由于需要地面系统或设施的支持，无法实现自主定位和导航，限制了航空导航的发展。具有自主导航能力的惯性导航系统（INS）于 60 年代在航空领域投入使用。并为民用飞机提供连续性好、短期精度高和实时的导航信息，使得民航越洋导航成为可能。

INS 是一种不依赖于外部信息、也不向外部辐射能量的自主式导航系统。惯导的基本工作原理是以牛顿力学定律为基础，通过测量载体在惯性参考系的加速度，将它对时间进行积分，且把它变换到导航坐标系中，就能够得到在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。但 **INS** 存在很大的缺陷，即其误差随时间不断累积，在一定时长后需要重新对准。显然，随着航空运输量和航时的不断提高，单一导航设备很难全面满足各个航段的导航需求，为此以惯性导航为核心的组合导航受到航空界的高度重视。

由于惯性导航能够提供较全面的导航和姿态参数，并不受外界干扰，成为组合导航的参考系统，与 **GNSS**、**VOR/DME** 和气压高度表等其它导航设备一起构成了组合导航系统。而惯导系统定位误差随时间积累的不足可以由其他导航系统弥补。飞行管理系统是组合导航系统在民航中的集中体现，它将不同数据源的导航信息和姿态信息进行融合，通过飞行姿态控制和飞行性能管理实现机载信息的综合处理，为飞行员提供有力和可靠的指导。

附件 3 国外导航技术与应用政策

1 美国的导航技术与应用政策

上世纪 90 年代，美国的无线电导航政策逐渐明确了在交通运输中快速推进 GPS 及其增强系统的使用，进而取代现有的陆基无线电导航系统。然而，在 90 年代末由于以下几个原因导航技术政策发生了变化：(1)现有的卫星导航系统是由一个国家控制和运行的系统，而且是以国家安全和战略作为首要目标的系统。为了保证导航信息的连续，世界交通运输，尤其是航空运输完全依赖于这种系统风险太大；(2)覆盖范围大是卫星导航系统的主要优势，但是如果系统出现故障或受到破坏，将使众多用户的航行受到影响，因此，不能单纯依靠卫星导航系统；(3)卫星导航抗干扰能力较低，尤其对恐怖分子攻击的承受能力差。

尽管 ICAO 和国际海事组织 (IMO) 正在设法逐步解决或减轻卫星导航系统的这些弱点的影响，但是急切要用卫星导航系统完全取代陆基导航系统的想法目前还不切实际。陆基导航仍然有存在和继续使用的理由：(1)陆基无线电导航系统已建成有成熟的基础设施，覆盖了世界交通运输的主要航路，使人们熟悉而且已建立高信任度的导航手段；(2)陆基无线电导航系统是由世界各国分头建立和运行的，并按国际协议和标准而划一地建设系统，因而已经在国家主权和国际通航方面实现了比较好的平衡；(3)陆基无线电导航系统由于信号功率大，作用距离近，不易受大干扰；同时整个系统的抗干扰能力较强。

目前美国的无线电导航政策已修改为：交通运输逐步过渡到以卫星导航作为主要导航系统，而陆基无线电导航作为冗余和备用系统。当然在实施这项政策时需要相当时间的过渡，最终保留一定数量的陆

基无线电导航系统,以备卫星导航系统失效时可为交通运输提供最基本的导航服务。这意味着陆基导航系统将保留,以下分别介绍美国导航技术现状及应用政策。

1.1 美国导航技术现状

目前美国拥有的 5000 个地基导航设施组成了其国家导航基础能力,可逐步实现用广域的导航服务取代只为当地提供导航的服务模式,同时,仪表着陆可以在任何一个机场进行。综合分析美国的导航体系结构如表 2-1 所示。

表 2-1 美国的导航体系结构

| 飞行阶段 导航方法 | 航路 (远洋+本土) | 终端区 | 进近和着陆 |
|--------------|---------------|-----|-------|
| VOR | √ | √ | × |
| DME | √ | √ | × |
| MB/NDB | √ | × | × |
| TACAN | √ | √ | × |
| ILS | × | × | √ |
| MLS | × | × | √ |
| LOCAN-C | √ | √ | √ |
| INS | √ | √ | √ |
| GPS | √ | √ | √ |
| WAAS | √ | √ | × |
| LAAS | × | × | √ |
| 组合导航 | √ | √ | √ |

注:上表中√表示可用,×表示不可用。

结合美国导航技术体系结构表,以下分别详细介绍陆基导航及星基导航的技术现状。

1.1.1 美国陆基导航技术现状

I、 NDB

NDB 是 20 实际 30 年代甚至是 40 年代主要的无线电导航系统,至 1996 年在美国有 1700 台 NDB 工作,其中 FAA 操控的有 700 台,军用 200 台,非政府机构 800 台,系统用户包括民航飞机、大部分军

用飞机和许多通用航空飞机。NDB 系统依靠地波工作，在低、中频段一般可以传播几百海里。但是低、中频段不仅有地波，还有由电离层反射造成的天波。因此，由于天波干扰，NDB 作用范围比地波传播距离近，而且还有夜间效应。NDB 的主要缺陷有二：其一、精度有限；其二，路径弯曲；因此，NDB 只能作为航空备用系统。

II、 VOR

VOR 是民用航空最为普及的导航系统，不仅用作航路导航，也作为非精密进近引导。现阶段全球大部分地区的空中航路和宽度就是按照 VOR 及其使用误差来划定的。在美国，不仅所有民航飞机装有 VOR 机载设备，69%的通用飞机有 1 部以上的 VOR 机载设备，其 VOR 用户超过 20 万。但是，随着空管新技术的大规模应用，以 VOR 构成的陆基无线电导航系统：VOR/VOR 和 VOR/DME，导航精度已无法支持较高要求的 PBN 飞行。

III、 TACAN 与 DME

TACAN 是 1956 年研制成功的用于为海军飞机提供相对于军舰位置的系统，由舰载台和机载设备组成。由于能够同时为飞机提供方位和距离，因此可以实现二维定位。民用航空出于飞行安全的角度出发，也需要飞机的二维定位信息，于 1959 年决定直接采用 TACAN 的测距部分，形成了测距器(DME)。现在的 DME 系统又分为 DME/N 和 DME/P 两种。FAA 和美国交通部 DoD 目前运营了超过 100 个独立的 TACAN 站来支持 NAS 下的军事飞行运作。DoD 还运营了大约 30 个位于海外军事设施的固定 TACAN 站，并为全球部署保持了超过 90 个移动 TACAN 和两个移动 VORTAC。

民航方面，到目前为止以 VOR 和 DME 为核心，采用三种不同组合系统支持航路飞行，VOR/VOR、VOR/DME 和 DME/DME。现

阶段，有较多的 VOR/VOR 和 VOR/DME 系统用于民航航路的导航。但是随着 PBN 计划的实施，将更多的采用 DME/DME 组合的导航方式。

IV、ILS 仪表着陆系统

ILS 是精密进近和着陆系统，包含定位信标设备（localizer），下滑道设备和甚高频无线电指向标（marker beacons）或者低功耗的 DME(或者几者的集合体)。ILS 在美国和其他国家是标准的精密进近的系统。FAA 运营了超过 1200 个 ILS 系统，其中，大约 100 个是 CAT II 或 CAT III 系统。另外，DoD 在美国运营了大约 160 个 ILS 设备。非美国的赞助商在美国运营的 ILS 设备少于 200。

V、微波着陆系统（MLS）

MLS 最初是作为 ILS 的替代和补充的全天气，精密着陆系统。MLS 有很多运行优势，包括为避免伏击机场干扰干扰的多种可选择频道，在全天气的出色性能，以及很小的机场的占地。尽管一些 MLS 系统在 1990 年就开始运行，但是最初他的设计者预想的广泛部署一直没有实现。基于 GPS 系统，尤其是 WAAS，使得其具有相同程度的定位精度，并且不需要在机场布置设备。GPS/WAAS 显著的降低了精密进近着陆的实施成本，因此，在北美引进的大多数 MLS 系统已经关闭。

IV、罗兰-C 系统

美国于 2009 年 12 月经过确认，海上导航已经不需要 Loran-C，并且 Loran-C 不需要作为 GPS 的备份，此后 USCG 在联邦公报发布声明 2010 年 2 月 8 号终止 Loran-C 信号的发送。

1.1.2 美国星基导航技术现状

GPS 是美国政府拥有的，由美国国防部运行的一个两用的天基

PNT 系统，能够满足国防和国土安全、民用、商用和研究需要。GPS 提供两个层次的服务：L1 频段上使用 C/A 码的 SPS 以及 L1 和 L2 频段上使用 P(Y)码的 PPS。GPS SPS 不能满足民用 PNT 应用的所有用户不同的性能要求。为满足特殊用户的性能要求，需采用各种差分技术对 GPS 进行增强。

目前，GNSS 及相关技术在民航的应用首先解决 GNSS 在民航应用的特殊性问题，即如何围绕完好性监测开展相关的增强技术。为此，美国相继开展了以 GPS 广域增强系统（WAAS）、局域增强系统（LAAS）和机载增强系统（ABAS）的研究工作。以下分别介绍 GPS 及其增强技术的发展现状。

I、GPS 技术现状

2000 年 5 月 1 日，美国宣布停止使用 GPS SPS 信号中的 SA，亦即决定停止故意降低 GPS 民用精度的措施。这样，使 GPS 民用空间信号的水平定位精度从 100m（95%）提高到 13m（95%），定时精度提高到 40ns（95%）。

现阶段，美国正在进行的 GPS 现代化，要在 L2 载频上调制被称为 L2C 的民用码信号，以消除电离层延迟，进一步提高民码的精度，满足高端用户的需求。与 L2 上的军用 P(Y)码不一样，L2C 上的 P(Y)码主要用于辅助 L1 上的 P(Y)码信号消除电离层延迟。

2005 年-2010 年，GPS Block II R 和更前一批的卫星逐渐到了使用寿命，要陆续用更新一代的 Block II F 卫星取代。Block II F 与 GPS Block II R-M 相比，主要是增发了 L5 载频信号，这是专门为与生命安全有关的民用，尤其是民航设置的。民航部门认为，L2 频段附近有大功率对空监视雷达在工作，因而 L2 有可能被干扰，因此还需要有一个更加可靠的民用信号。为了保障 L5 的可靠性，其功率将比 L1

C/A 码大 6dB，扩频码速率也更高。GPS 现代化过程中，设计理念与原有的 L1 C/A 码和 P(Y)码相比已有了全新的改变，因而具有更好的自相关和互相关特性、更低的信号检测门限以及其他更好的性能。

对于民用航空来讲，该政策将是接收机自主完好性监测 (RAIM) 的覆盖空洞明显减少，提高了 RAIM 的可用性，从而提高了 GPS 系统航空应用的完好性。其次，停止 SA 对 GPS 用于飞机的非精密进近也会带来一定的好处，同时还有可能减少非精密进近对净空区的要求，从而使 GPS 可用于更多的机场。

II、广域增强系统 (WAAS)

WAAS 是 FAA 运营的星基增强系统，能提高导航精度、可用性、完好性以及起飞、航路、到达和进近阶段的飞机导航的连续性。尽管 WAAS 主要为航空应用设计，WAAS 在其他使用导航接收机的领域也广泛可用。

FAA 在 2003 年启用 WAAS。WAAS 服务支持起飞、航路、到达和进近操作，包括非精密进近和有垂直引导的进近程序。WAAS 服务支持诸如 RNP 起飞和到达程序的先进能力，使得航路导航、平行跑道操作和机场表面操作更加高效。

随着 GPS 现代化进程，WAAS 将改进成利用 GPS 现代化的 L5 信号，代替现在的半无码的 L2 信号，以提高电离层校正精度。新的双频率 WAAS 航空电子设备使用 L1 和 L5 来促进 LPV 服务的可用性。

III、局域增强系统 (LAAS)

LAAS 是 FAA 开发的 GBAS 系统，最初为支持 CAT I 精密进近提供精度、可用性、完好性、覆盖范围和连续性，最终要支持 CAT II 和 III 精密进近。现有的 ILS 系统，单独的 LAAS 地面基准站可以对机场所有跑道末端提供精密进近的能力。LAAS 通过对用户提供由甚

高频数据广播的本地差分校正来增强 GPS。2009 年 9 月，第一个由 FAA 设计的支持 CAT I 精密进近的系统认证通过。另外 LAAS 作为 NextGen 计划授权的技术，正在探索平行跑道紧密间隔操作和尾流（wake turbulence）避免。国防部也利用 LAAS 系统设计和认证的经验来促进联合精密进近和着陆系统（JPALS）的发展。FAA 目前正在研究并处于制定 LAAS CAT II/III 精密进近能力的标准和要求的进程中。

IV、联合精密进近与着陆系统（JPALS）

JPALS 是基于 GPS 的海、陆、空联合精密进近和着陆的系统，用以替代已老化和过时的飞机着陆系统，满足美国国防的高度机动迅速作战的战略要求。JPALS 具备高效协同联合作战的着陆能力，并能同时为民航飞机提供着陆设施。JPALS 支持无人机，使用安全的超高频（UHF）数据链为军方授权用户提供通信服务，并为适当的飞机提供附加信息来计算着陆的导航数据。海上 JPALS 采用双向超高频数据链进行通信；陆地 JPALS 则使用单向的超高频数据链广播为精密进近和着陆操作服务，同时还提供民用模式，播发符合 ICAO 标准的 GBAS 甚高频广播数据。

V、全国差分 GPS(NDGPS)

NDGPS 使用陆基参考站通过当地指向标的无线电信标频率发送校正信息，来提供增强的精度和完好性信息，目前部署计划主要分两步：首先实现仅覆盖美国大陆的全国单一站覆盖，在此基础上实现美国全国双重站覆盖。其中，单一站覆盖预计 2012 年后完成，从而使美国大陆任何地方的用户将能够收到至少一个 DGPS 差分校正广播。全国双重覆盖预计在 2014 年后完成，实现覆盖范围内平均 2 个 DGPS 广播。

VI、高精度 NDGPS (HA-NDGPS)

高精度 NDGPS 的研究计划目标是在最大程度使用现有设施的基础上, 开发低成本技术以获得分米精度以内的导航服务。其技术指标为在美国范围内保证 2-15cm 精度和 1s 的告警时间。目前, HA-NDGPS 尚处于技术论证阶段。

1.2 美国导航技术应用政策

未来 FAA 的无线电导航系统将从陆基导航系统向星基导航系统发展, 提高导航的精度、安全性和可用性, 同时将考虑 GPS 的可靠性, 寻求合适的备份导航系统。其过渡计划将以导航系统服务性能为基础对导航辅助设施进行缩减, 对导航系统进行优化, 凸显系统的运行能力和对商航与通航等不同机载设备的适用性。

为确保地基导航设备满足 NAS 安全性需求, 保证商业飞行运行的能力和效率, FAA 保留目前部分导航设施, 为航路导航、NPA 和精密进近提供冗余和备份能力。FAA 将保留现存的 DME 网络以提供冗余的 RNAV 能力, 保留一小部分 VOR 和 NDB 作为最小运行网络, 提供导航系统备份能力。保留部分支持 CAT I 的 ILS 和所有支持 CAT II/III 运行的 ILS, 作为卫星导航的备份, 在 GPS 受到干扰时提供精密进近能力。

未来的星基导航系统包括 GPS 及其增强系统:

- Global Positioning System (GPS)
- 增强精度、可用性、连续性、覆盖能力和完好性
 - Wide Area Augmentation System (WAAS)
 - Local Area Augmentation System (LAAS)
- 具有垂直导航辅助的 WAAS 飞行程序
 - LNAV/VNAV
 - LPV

使用 WAAS 和 LAAS 增强的卫星导航系统的优势是将提高导航和着陆能力，提高安全性，同时避免替换、扩展和维护现有地基导航设备的费用。WAAS 和 LAAS 的发展将作为在 NAS 空域内提供直飞航路的基础，能够为 NAS 中的大部分跑道提供精密进近引导信号的同时减少机载设备的种类。

导航系统的过渡包括三个方面：

- **GPS/WAAS:** 提供航路导航和精密进近（水平和垂直引导）能力
 - 提高安全性
 - 将进近飞行程序扩展到尽可能多的跑道
 - 支持没有安装惯导和飞行管理系统的飞机航路 RNAV 运行
- **GPS/LAAS:**
 - 发展与 ILS CAT I/II/III 相当的精密进近能力
 - 提供多跑道精密进近覆盖
 - 发展先进的进近程序以避免障碍、支持复杂空域并减低噪音
 - 提供边远地区覆盖，填充 WAAS 性能不足的地区
 - 支持场面移动精确导航
- 设备

如图 2-1 所示，描述了 FAA 的导航过渡计划：

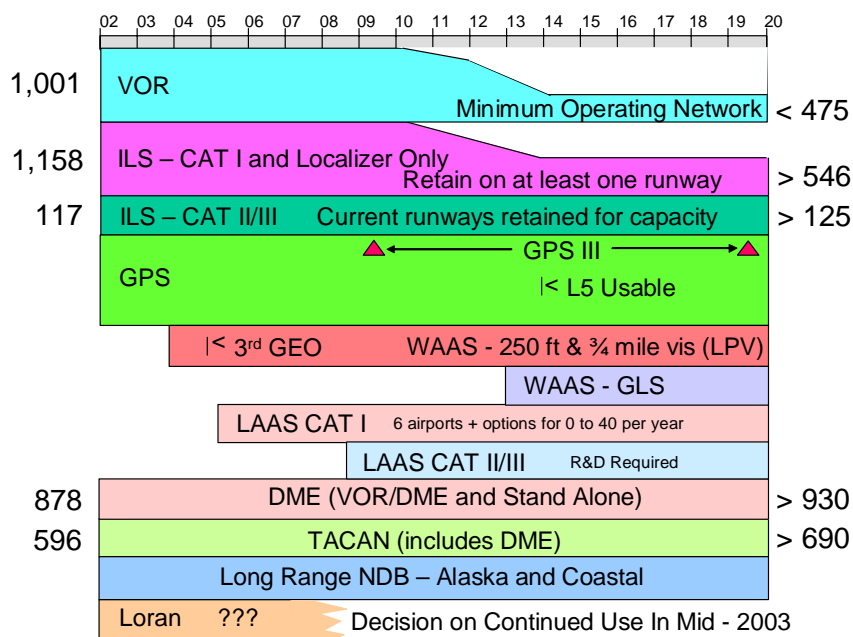


图 2-1 FAA 导航过渡计划

RNP 是向卫星导航过渡的重要概念。RNP 是航空导航系统性能的一个度量，RNP 使用全部导航系统性能来支持飞行程序和飞行运行，将有助于航空器综合使用各种不同的导航系统。RNP 能够更有效地利用空域，增加了进近和着陆的安全性。

RNAV 是 NAS 向自由飞行发展的基础。RNAV 的目标是解除由于依赖地基导航系统带来的限制。向 RNAV 的进化将使空域能容纳更多的飞机、提高进近和离港能力、降低间隔，因此增加了容量。使用由 WAAS、LAAS 增强的 GPS 将提供比陆基导航系统更精确的导航能力。卫星导航系统将成为 RNAV 运行的基本系统。空域结构可以 RNAV 为基础，消除基于陆基导航系统位置而带来的低效率。

RNP-RNAV 的价值已获得 FAA 及航空界的共同认可，其中 FAA 制订了 RNP-RNAV 的演进路线图，指导到 2020 年为止的 RNP-RNAV 发展。路线图共分一期期（-2006）、二期（2007-2012）和三期（2013-2020）三个阶段，并为每个阶段定义了在各飞行阶段的运行能力。

据美国 2006 年 7 月第二版的基于性能导航路线图 (P-BNAV ROAD MAP), 分三个阶段: 一期重点在实现运营商对现有飞机和新购置飞机的投资价值, 以及 FAA 星际导航和常规导航基础设施的投资价值。组织大规模的区域导航 RNAV 实施, 航路终端进近程序引入 RNP。二期重点在转向以实施 RNP 程序主导的运行, 改善航班效率, 增加机场可进入性。二期战略广泛采用 RNAV, 改善国家空域系统 NAS 航班运行。三期重点在将 RNP RCP RSP RTSP 一体化完成 NAS 基于性能的运行, 优化空域, 增强自动化, CNS 基础设施现代化。

在 NextGen 中, 通过全球卫星导航系统 (GNSS) 提供的定位、导航和授时 (PNT) 服务, 以满足航空预期流量、节能环保、正常效率和绩效提升的运行方式。目前按照国际民航组织定义的全局卫星导航系统(GNSS), 只有美国的 GPS 及其星基增强系统 (SBAS) 以及地基增强系统 (GBAS), 可以提供全球范围的 PNT 服务。此外, 地基增强系统(GBAS)也是基于性能导航(PBN)和自动相关监视(ADS-B)服务的关键技术和设施, 并且为基于航迹的运行 (trajectory-based operations)、区域导航 (RNAV)、所需导航性能 (RNP)、精密进近、近距离平行运行 (CSPO) 以及其它民用航空先进运行方式提供支持。为保障 NextGen 实施的安全、完好、协同和精确, 同时考虑 GNSS 自身技术特点, 基于美国国家空域系统 (NAS) GPS 所提供的 PNT 服务必须进行增强, 以缓解由 GNSS 射频干扰 (RFI) 导致的精度损失和不安全隐患。

根据美国联邦无线电导航计划 (FRP), NextGen 将积极推进卫星导航技术应用, 以及其先进的空域优化结构和空管运行模式, 同时对改进型的传统设施作为互补和备份进行并行建设。

2 欧洲的导航技术与应用政策

2.1 欧洲的导航技术现状

欧洲空管导航技术原理体系与美国基本相同，不同之处在于欧洲采用 GALILEO 卫星导航系统，通过建立通用数据交换网络、雷达监视网络和广播式自动相关监视系统，实现对欧洲高空空域的统一协调指挥，以最大程度地提高空域安全、容量和效率。

欧洲的导航体系结构为下表 3-1 所示。

表 3-1 欧洲的导航体系

| 飞行阶段 导航方法 | 航路 (远洋+本土) | 终端区 | 进近和着陆 |
|--------------|---------------|-----|-------|
| VOR | √ | √ | × |
| DME | √ | √ | × |
| MB/NDB | √ | × | × |
| TACAN | √ | √ | × |
| ILS | × | × | √ |
| MLS | × | × | √ |
| LOCAN-C | √ | √ | √ |
| INS | √ | √ | √ |
| Galileo | √ | √ | √ |
| EGNOS | √ | √ | √ |
| 组合导航 | √ | √ | √ |

注：上表中√表示可用，×表示不可用。

2.2 欧洲的导航应用政策

Eurocontrol 于 2008 年 5 月 15 颁布的《Navigation Application & Navaid Infrastructure Strategy for the ECAC Area Up to 2020》，从航路、终端区、进近和着陆及导航设施评估 4 个方面对欧洲导航技术体系的发展进行了规划，特别地其导航的空管应用过渡时期如图 3-2 所示：

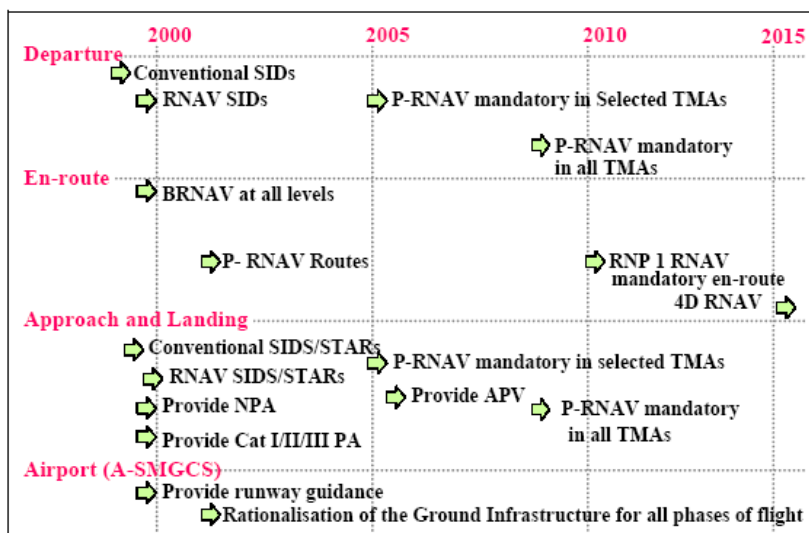


图 3-2 欧洲导航过渡规划

- 航路导航和终端区导航

航路导航的目标是到 2020 年最终实现 4D 航迹(4D trajectories)，过渡阶段的导航性能改进收录在高级 RNP 1 规范和 ICAO 的 PBN 手册中。

终端区导航方面，通过所需到达时间 (RTA) 功能的引入，飞行效率和性能将得到改善，使得终端区米级的导航成为可能。

- 进近和着陆导航

在进近和着陆导航方面，到 2016 年为止将通过增加垂直指导进近 (VGA) 的应用和剔除所有的非精密进近 (NPA) 来改善系统的安全，新技术的引进将同时改善飞机进场、机场容量和安全性能，最终普及 CAT I/II/III 的应用。

- 导航系统基础设施的改进

空间和地面对 GNSS 的增强确保了基于 RNAV 的应用实现，而陆基导航系统仅作为冗余备份系统被保留，对 RNAV 不起任何贡献。图 3-3 是导航基础设施的过渡规划。

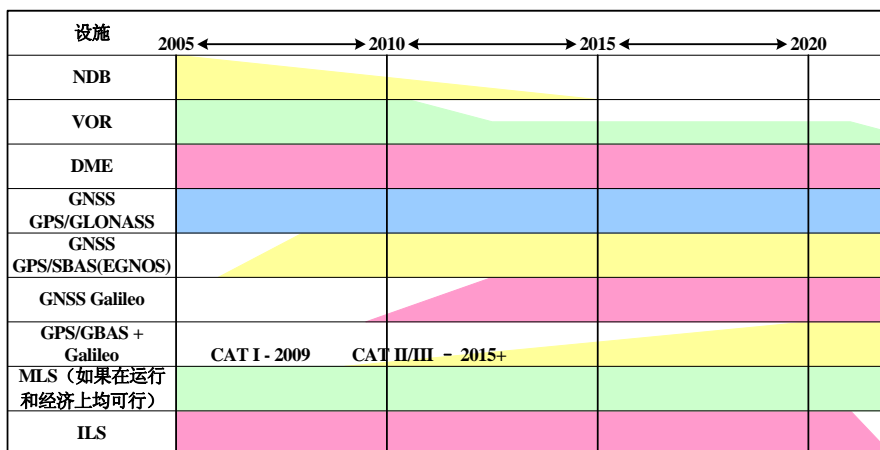


图 3-3 欧洲导航基础设施过渡规划

下面逐项介绍欧洲在导航各个方面的过渡计划。

● 终端区的 P-RNAV 应用

欧洲从 2003 年开始实施终端区的 P-RNAV 应用，通过 RNAV 终端区程序提高运行效率，降低环境影响，提高飞行安全性，减小飞机碰撞风险。此计划在 2003 年完成了 P-RNAV 的安全评估，从 2003 年到 2010 按照计划实施。

● 中期的 RNP-RNAV 应用

RNP-RNAV 的运行需求旨在提高飞行器运行效率并通过缩小航路间隔增加空域容量。欧洲计划对 RNP-RNAV 的潜在优势进行调查并量化分析。

其计划为：

2004 年 RNP-RNAV 的应用计划，RNP-RNAV 航路间隔和 TMA。

2005 年完成 RNP 应用安全性验证。

2006 年完成 RNP-RNAV 程序设计指南，RNP-RNAV 能力验证仿真和测试，机载 RNP-RNAV 报告，RNP-RNAV 安全报告。

2007 年完成 RNP-RNAV 性能需求报告，RNP-RNAV 安全性验证，可行性分析，RNP-RNAV 实施计划，实施移交以及最终的实施策略。

● 4D RNAV 长期应用计划

欧洲从 2006 年开始 4D RNAV 长期应用计划的实施，可以实现飞机精确的 4D 轨迹飞行，其作用是增加空域容量，提高飞行各阶段运行效率。其可行性已有 PHARE 验证过。此计划为：

2006 年完成那个评估 4D RNAV 在 ATM 中的潜在优势

2006 -2008 年完成 4D RNAV 应用的运行和技术需求

2008 年 6 月通过 TBD 完成安全性评估

2008 年 6 月以后 4D RNAV 开始进入具体实施阶段。

- RNAV 非精密进近

RNAV 进近可以代替传统的非精密进近（NDB/VOR/LLZ）提高安全性，可在不适合安装精密进近和着陆的机场提高能见度差时的机场容量和运行效率。欧洲在 2004-2007 年实施 RNAV 进近计划。2005 年完成 RNAV 的优势评估和实施代价评估，2006 年完成 RNAV 的运行和技术需求分析，以及 RNAV 进近（LNAV/VNAV，APVI，APVII）的完好性、连续性和反向需求分析，2006 年 7 月完成其安全性评估。

- RNAV 进近

欧洲在 2005 年完成 ILS/MLS/GLS 混合模式的运行分析研究，对 GBAS CAT I 的安全性评估，GBAS CAT-II/III 的运行分析，完成 GNSS CAT II/III 的运行可行性分析。于 2007 年完成增强 GNSS PA 的安全性评估，并于 2009 年完成 CAT II/III 的 GBAS 标准的运行验证。

- 导航电子设备

在导航电子设备方面，欧洲对支持 RNAV 进近、RNP-RNAV、4D RNAV 以及其它的数据链和地面设备都进行了研究和规划，并在此基础上对 P-RNAV，RNP-RNAV，4D RNP-RNAV 的轨迹跟踪性能和支持 RNAV 进近的 GNSS CATI/II/III 性能进行详尽规划。

- RNAV 运行的导航基础设施

欧洲于 2004 年完成导航系统可靠性、失效模式和失效频率数据库, 导航系统、安装/维护费用数据库, 支持 P-RNAV 的基础设施需求指南, RNP-RNAV 的导航需求的建立, SBAS 在 P-RNAV 中的应用; 于 2005 年完成 NAV 基础设施的飞行标准说明书, 山区接收静地卫星信号的有关问题评估, 现有 NAV 基础设施与 RNP-RNAV 需求之间的评估; 于 2007 年完成 SBAS 支持 RNP-RNAV 的应用, RNP-RNAV 的导航基础设施报告, 现有 NAV 基础设施与 4D-RNAV 需求之间的评估, SBAS 支持 4D-RNAV 的应用; 2008 年完成 4D-RNAV 的导航基础设施报告, RNP-RNAV 导航基础设施的实施计划。

- GNSS 支持飞行所有阶段

欧洲计划对 GNSS 支持飞行所有阶段的能力进行验证和评估, 其实施计划为:

2004 年开发 EGNOS 信号评估工具和 GBAS 性能评估工具;

2005 年完成 EGNOS 中 APV 的技术需求分析, GBAS CAT-II/III 的技术可行性的评估, GBAS 信号评估, GBAS 满足 CAT I 运行需求的初步确认验证;

2006 年完成 SBAS 信号确认分析, SBAS 满足 APV 技术需求的确认分析, GBAS 满足 CAT I 运行需求的最终确认验证, GNSS 的脆弱性分析;

2009 年完成 GBAS CAT-II/III 的标准和 Galileo 系统性能的验证。

3 澳大利亚的导航技术与应用政策

澳大利亚从 2000 年起启动其导航系统发展计划, 预期在 10 到 15 年内实现由陆基导航到星基导航和组合导航系统的过渡, 并将陆基导航作为此系统的备用系统。此计划与 ICAO 的亚太区域计划和美

国的计划类似，具体如图 3-4 所示，主要分为三个阶段：

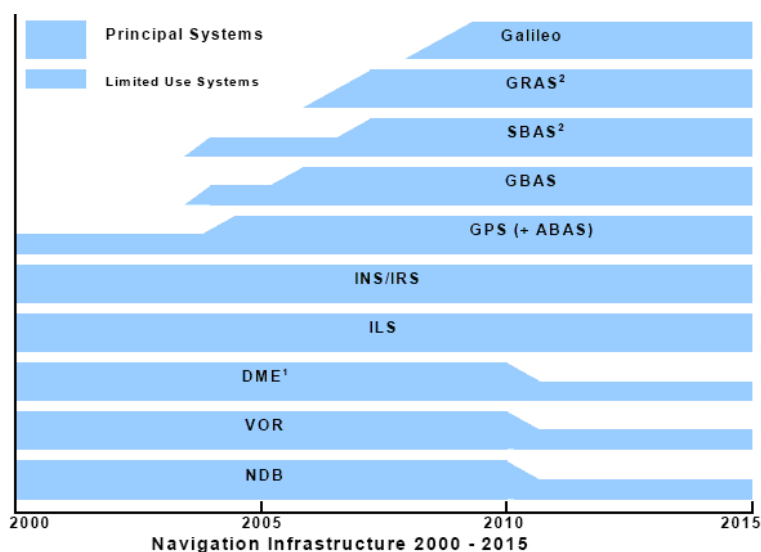


图 3-4 澳大利亚导航系统发展计划

● 一期（-2005）

澳大利亚研制的 TSO-C145 和 C146GPS 接收机可支持 GNSS 作为“唯一”导航系统的要求，其相关性能已通过 ASTRA 测试，与澳大利亚现役的航路和 NPA 导航系统并驾齐驱；并与此同时完成 GRAS 精密进近功能。

● 二期（2006-2010）

将 SBAS、GRAS 和 Galileo 系统纳入运行架构。通过 WAAS 和 MSAS 的静地卫星对澳洲本土 SBAS 进行支撑，通过建立地面监测网实现 SBAS 的全部功能；同时建立 GRAS 地面网络，开展基于 MEMS 的组合导航运行设备。

● 三期（2011-2015）

逐步减弱对陆基导航设备的依赖性，将大部分 NDB、VOR 和 DME 站由现役转变为备用导航系统，全面实现陆基导航向星基导航的过渡。

附件 4 全球卫星导航系统国际发展

1 卫星导航系统星座

国际民航组织所认可的全球卫星导航系统 (GNSS) 包括四大核心星座: 美国的 GPS 系统、俄罗斯的 GLONASS 系统、欧洲的 Galileo 系统和中国的北斗卫星导航系统。

1.1 美国 GPS 系统

1978 年 2 月 22 日, 第一颗 GPS 试验卫星发射成功; 1989 年 2 月 14 日, 第一颗 GPS 工作卫星发射成功; 1993 年 12 月 8 日, 宣布 GPS 系统具备初步工作能力; 1994 年 3 月 10 日, 24 颗工作卫星全部进入预定轨道; 1995 年 4 月 27 日 GPS 系统具备完全工作能力, 全面投入正常运行。GPS 以全球性、全时空、全天候、高精度、实时等特点, 使传统的导航概念发生变革。GPS 是导航发展的一项里程碑, 是现代科学的结晶, 它的推广应用有力地促进了各个领域的发展和进步。

各个领域对导航定位服务需求的扩大和要求的提高进一步凸显了 GPS 本身一些局限性, 也促使 GPS 系统的升级, 以提供更高的稳定性、安全性和精度的导航服务。为此, 经过了数年的准备, 2000 年美国公布了分阶段执行的 GPS 现代化计划时间表, 如表 2-1 所示。

表 2-1 GPS 现代化的内容和实施步骤

| 改进时间 | GPS 现代化内容 |
|--------------------------|--|
| 第一阶段 (2000 年 5 月 1 日) | 停止选择可用性(SA) |
| 第二阶段 (2003 - 2006) | 发射 5 颗 Block II R-M 卫星, L1 加 M 码, L2 加 C/A、M |

| | |
|-----------------------|--|
| 第三阶段 (2005 - 2010) | 发射 Block II F 卫星(24+3),L1 加 M, L2 加 C/A、M, L5 |
| 第四阶段 (2013 -) | 发射 GPS block III 卫星,增强 L1 加 M, L2 加 C/A、M, L5 L1 载频上增发 L1C 信号, 卫星可编程设置, 提供完好性信息 |

第一阶段已于 2000 年 5 月 1 日完成。停止选择可用性 (SA) 使 GPS 民用空间信号的水平定位精度从 100 m (95%) 提高到 13 m (95%), 定时精度提高到 40 ns (95%), 其目的是增强与其他卫星导航系统的国际竞争力, 从而为美国争取更广阔的导航服务市场。

第二阶段期限为 2003 年-2006 年。其主要工作是对 Block II R 卫星进行修改, 使得 L2 载频上也可调制民码, 修改后的卫星称为 Block II R-M, 进一步提高民码的精度。同时, 针对现有军码的频谱缺陷, 在 Block II R-M 引入 M 码, 从而将军码和民码的频谱完全分离, 提高了 GPS 的军事可用性。

第三阶段为 2005 年-2010 年。其主要工作是完成 Block II 的更新换代, 具体而言采用 Block II F 替代 Block II R-M, 并在 Block II R-M 的基础上增加了 L5 载频信号, 为民用航空提供便利。GPS Block II R-M 和 Block II F 卫星所新发射的 L2C、M 码和 Block II F 新发的 L5 信号, 其设计理念与原有的 L1 C/A 码和 P(Y)码相比已有了全新的改变, 因而具有更好的自相关和互相关特性和更低的信号检测门限。

在 2008 年之前对 GPS 运行与控制区段进行改造也是 GPS 现代化的重要内容。这方面的工作除了运行与控制区段要随着发射新的 L2C、M 码和 L5 信号作相应升级之外, 增加了如下三个项目的实施: SAASM、AII、WAGE。其中, SAASM 将大大提高 GPS 军用的安全性和便利性, 为 GPS 的全面装备化奠定基础; AII 和 WAGE 都用以提高 GPS 的精度, 只不过 AII 为军民两用, 而 WAGE 则只为军用。

GPS III 是 GPS 现代化的第四阶段。GPS III 将对 GPS 的空间和控制区段进行改进, 以确保可靠和安全地提供更为先进的位置、速度与定时信号, 以服务于不断增长的军事与民用用户需求。GPS III 设计的目的包括: 能提供足够的灵活性和鲁棒性, 以满足今后 30 年的军事和民用需求, 具体要求为: 提高抗干扰能力; 提高安全性; 提高精度; 后向兼容; 有保障的可用性; 可控制的完好性; 系统顽存性; 并提供第 4 种民用信号 (L1C)。

随着 GPS 现代化的进程, GPS 卫星所发射的信号种类将逐渐增加。在 Block II R 以前, 在 L1 上发射 C/A 码和 P(Y)码信号, 在 L2 上发射 P(Y)码信号, 一共 3 种; 在 Block II R-M 中, 在 L1 上增发 M 码, 在 L2 上增发 L2C 和 M 码, 加上原有的 3 种, 使卫星发射信号增至 6 种, 在 Block II F 中, 再增发 L5 民用信号: 在 GPS III 卫星中, 进一步增发 L1 C 信号, 使 GPS 卫星发射的总信号数增至 8 种。下图 2-1 为各个阶段的导航卫星。

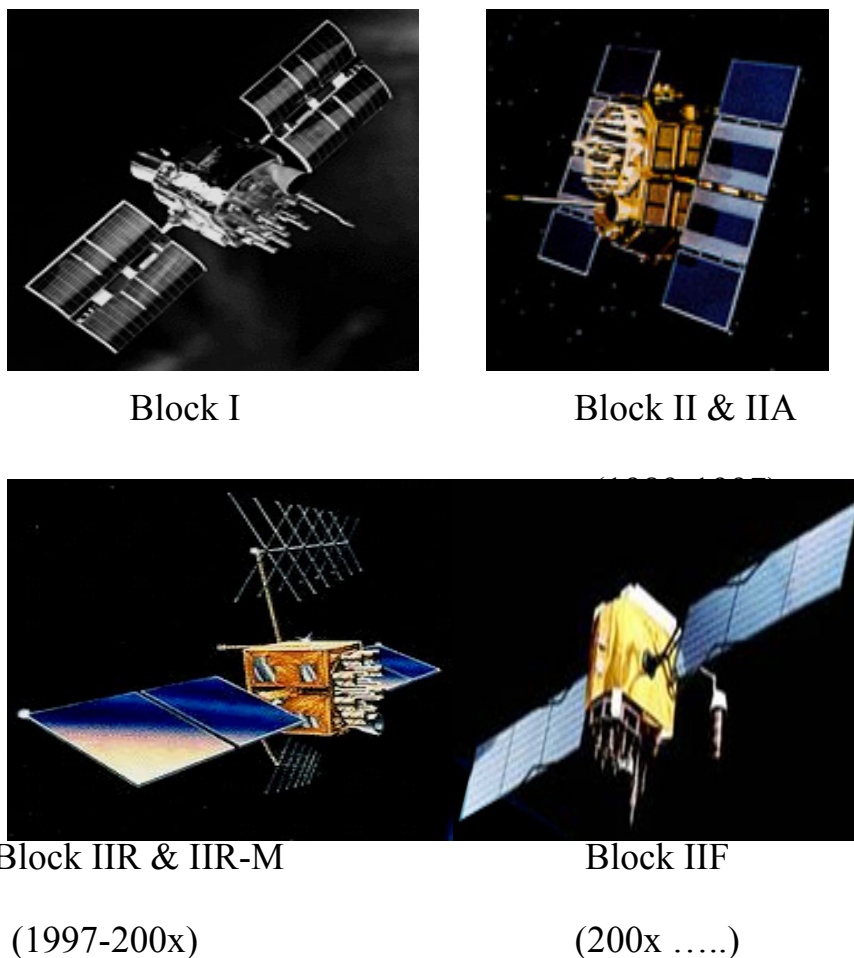


图 2-1 GPS 现代化进程中各阶段导航卫星

1.2 俄罗斯 GLONASS 系统

过度依赖 GPS 蕴涵着巨大的风险，美国可以随时切断局部区域的导航信号，或者人为注入干扰信号来降低局部 GPS 信号的精度。因此，世界各国也相继积极发展和建设各自的卫星导航系统。20 世纪 70 年代苏联开始开发全球定位系统 GLONASS，主要用于军事领域，1995 年系统完全建成。由于历史原因，GLONASS 系统一直处于降效运行状态。尽管 GLONASS 的发展面临许多困难和不利，但它仍然是世界星基导航领域的重要系统之一，GLONASS 也制定有现代化计划，使用新一代的 GLONASS-M 卫星，其特性与 GLONASS 卫星相比，有如下特点：

- ① GLONASS-M 卫星不可预测的加速将比 GLONASS 卫星的有

所减少。

② 寿命从 3 年增加到 7 年。

③ 卫星时钟稳定度提高到 10^{-13} /天。

④ 电源供电从 1000 W 增加到 1450 W。

⑤ 导航载荷质量从 180 kg 增加到 250 kg，功耗从 600 W 下降到 580 W。

⑥ GLONASS-M 卫星增发口民用信号，而 GLONASS 卫星只在 L1 载频上发射民用信号。

⑦ 太阳能帆板定位精度从 5 度提高到 2 度。

GLONASS-M 卫星从 2003 年起已发射 2 颗，到 2015 年达到发射卫星总数 14 颗。同时，俄罗斯还正在研制新一代的 GLONASS-K 卫星，预计从 2015 年开始发射。GLONASS-K 卫星在 GLONASS-M 卫星基础上又有新的特点。它们是：

① 寿命从 7 年增加到 10 年。

② 发射 L3 第三民用信号。这种信号的可靠性与精度都更高，主要针对生命安全服务。

③ 在 L3 民用信号中发射完好性信息。

④ 在 L3 口民用信号中发射全球差分星历相时间校正值，以使移动用户达到亚米级精度。

⑤ 提供搜索救援服务，以和已存在的 COSPAS/SARSAT 一起，缩短其响应时间。

⑥ 卫星总质量从 GLONASS 卫星和 GLONASS-M 卫星的 1514 kg 下降到 850 kg。

⑦ 导航载荷功耗从 580 W 上升到 750 W，卫星电源则从 1450 W 下降到 1270 W。

GLONASS 现代化除了随着卫星的更迭而不断改善卫星性能、功能和寿命之外,还要对地面控制区段实施现代化改造。改善地面控制设施的主要措施是扩展与 GPS 相类似的接收监测站网络以及在主控站(OD&TS)中对软件进行现代化,以对上述监测站产生的单向码和载波相位测量数据进行处理。这种接收监测站网络包括:

- ① 俄罗斯空军的 3 个站。
- ② 原有的 9 个~12 个站。
- ③ 国际合作,主要是从国际 GPS 服务(IGS)获取数据。

GLONASS 卫星还需改善动力学模型,包括提高姿态控制精度以及改善卫星经过掩蔽区时的算法,并对时间保持系统进行现代化,启用新的高稳定的时钟组和更新同步系统。

1.3 欧洲 Galileo 系统

Galileo 系统是欧盟研制的全球卫星导航系统,于 2001 年 4 月 5 日由欧盟交通部长会议批准而正式开始建设。Galileo 被认为是全球首个在公众控制下设计和运行的民用卫星导航系统,它融合了 GPS 和 GLONASS 系统地优点,在与 GPS 保持相似的工作原理基础上,具备独立的技术方案,并形成特有的服务种类、服务质量和服务保障。

Galileo 系统的建立在一定程度上是政治和经济共同催生的结果,是欧盟打破美国对卫星导航垄断,向独立空天安全体系构建迈开的重要一步。Galileo 系统的建成将促进欧洲一体化进程,按照欧洲委员会的文件规定,大量的陆基无线电导航设施现在分布在全欧洲,每个交通运输组织采用不同类型的系统,缺乏统一调度。为此欧洲制订了统一的无线电导航规划(ERNP),以促进共同无线电导航、定位和定时设备的发展,最终实现交通运输导航体制的一体化。

在技术和运行方面, Galileo 系统的建设就美国的 GPS 尚存在完

好性不足，精度亟待提高，可用性有待加强等问题，通过技术突破，建设高性能民用卫星导航服务体系，从而有效支撑相关领域的应用需求。

Galileo 系统将由 3 个轨道面上的 30 颗卫星组成，可覆盖全球，能够连续提供高精度三维定位、测速及时间基准信息，拟最终投资达 33 亿欧元。Galileo 系统是具有区域增强的全球系统，由全球设施、区域设施、局域设施、用户及服务中心 5 部分组成。目前已完成空间、地面与用户部分总体设计，卫星与部分地面设备研制，在轨卫星系统验证等工作，预计 2013 年后，系统将投入正式运行。伽利略计划的批准实施，将使欧洲拥有自己独立的卫星导航系统。Galileo 在确保民用安全性的基础上，具备采取反欺骗、反滥用和反干扰措施和战时对敌关闭能力。

2 卫星导航增强系统

将全球卫星导航系统应用于民用航空导航，其完好性保证能力是用户最为关注的性能需求，因为飞行安全对于用户来说是最关键的。从 20 世纪 80 年代中期开始，人们对如何增强 GPS 完好性性能以满足民用航空导航需要这一问题展开了广泛研究，并取得了许多成果。以 GPS 为例分析卫星导航系统的性能，GPS 的空间信号（Signal in Space, SIS）精度为水平 9 m（95%），垂直 15 m（95%），已经可以满足最高至非精密进近（Non Precise Approach, NPA）飞行阶段的需求，但不能满足精密进近运行需求。

同时，GPS 无法满足最低的民用航空运行完好性需求。虽然 GPS 系统卫星发出的导航电文中已向用户提供了完好性信息，但 GPS 主控站的卡尔曼滤波器滤波周期为 15 分钟，导致一些故障可能需要 30

分钟甚至数小时才能达到稳定状态，并被主控站发现，无法达到民用航空的相关导航性能指标。

在民用航空应用范围中，由 ICAO 定义的增强系统包括机载增强技术（ABAS）、地基增强技术（GBAS）和星基增强技术（SBAS）三种：

- ABAS，将机载的可用信息与从其它 GNSS 元素获得的信息进行集成的一种增强系统，在此主要指 RAIM，即接收机自主完好性监测技术；
- GBAS，用户直接从陆基发射机接收增强信息的增强系统；
- SBAS，一个覆盖广泛的增强系统，用户从星基发射机接收增强信息。

由于 ABAS 在完好性和可用性方面的不足，目前仅用于民航航路到 NPA 飞行阶段的辅助导航系统。而 GBAS 和 SBAS 分别满足最高到 CAT I 和 APV II 的民航运行需求，可作为主用甚至唯一导航系统使用，从而使卫星导航系统替代传统的陆基无线电导航系统成为可能。

2.1 机载增强系统 ABAS

RAIM 技术在国外已有了较成熟的发展，取得了很多有益的分析结果，并已应用于许多航空 GNSS 接收机。FAA 已规定，所有航空用的 GPS 接收机必须具有 RAIM 功能，并且已批准具有 RAIM 功能的 GPS 接收机在越洋和边远区域航行阶段可作为主用导航系统，在本土航路、终端区和非精密进近阶段可作为辅助导航系统。

2.1.1 接收机自主完好性监测

具有 RAIM 功能的接收机可以在航路、终端区和非精密近进作为主要导航手段，相关接收机的使用需得到 FAA TSO 的认证。在使用

GPS 的 WAAS 增强系统进行导航时，具有 RAIM 故障检测及故障排除功能的接收机配置需要满足 TSO-145 标准。在这种配置下的导航性能应满足 RTCA DO-229C 所规定的最低性能要求。这些性能要求包括接收机精度，捕获及跟踪灵敏度，动态特性，首次同步所需时间等在飞行不同阶段的操作。接收机的软件性能应能够满足 DO-178B 中规定。在任何接收机使用之前为确保其 RAIM 功能有效，接收机都要通过与模拟器组合使用测试其 RAIM 算法及功能有效，模拟器用于产生 GPS 的轨道，模拟运动环境，添加故障卫星等。

美国 RTCA 组织修订了卫星导航机载增强设备的最低性能标准，发布 DO-316，对机载增强的故障检测及故障排除的性能需求以及测试流程给出明确的规定。同时，FAA 于 2009 年发布了具备机载增强的 GPS 用作民航辅助导航手段时的技术标准 TSO-196 指出，满足相应的机载增强要求的接收机方可获得 FAA 的认证。

于此同时，美国 FAA 提出 GNSS 发展架构系统（GEAS）规划，将完好性保障系统基本划分为 GNSS 完好性通道 GIC，结合地面监测及机载检测的相对接收机自主完好性监测技术 RRAIM，以及更有效的自主机载接收机完好性监测 ARAIM 三种。

GIC: 利用 GIC 信息，可以有效降低伪距观测误差，减少多故障对民航用户的影响。随着 GIC 系统的发展，未来为保证民航飞行器的飞行安全，实现全球覆盖的 GIC 系统势在必行。但 GIC 仅能够有效处理星历、星钟故障，对对流层异常、飞机周围干扰等故障源无法提供保障；另一方面，GIC 信息更新周期相对较长，无法实现故障的“实时”告警。随着 GIC 系统覆盖范围的扩大，参考站间距与数量的增加，均会导致 GIC 参考站与主控站之间，主控站与用户之间的通信时间延长。从而进一步增加实时告警的难度。

RRAIM: RAIM 算法由于是在接收机内部数据层面进行完好性监测,可以覆盖所有故障源;同时也几乎不存在告警延迟的问题。因此,RRAIM 技术将 RAIM 与 GIC 结合,进行优势互补,从而实现完好性与告警时间的平衡。

ARAIM: ARAIM 将现有的 RAIM 发展为双频体制,增加了对慢增长故障和小故障的监测,提高了 RAIM 的完好性监测性能。

尽管现有技术使得 RAIM 可用性得到了提高,但对航空航路到非精密进近运行阶段而言,仍不能保证 100%可用性;当 GPS 应用于航空精密进近阶段时,其可用性不足的问题就更为严重。为提高 RAIM 可用性,应结合以往算法对几何分布的可用性结果,针对现有可用性限制过于保守改善保护级,达到促进 RAIM 在精密进近阶段可用的目的,满足运行连续性需求,将是未来推动 RAIM 技术发展的研究要点。根据 FAA 的 GNSS 发展体系,RAIM 的发展趋势将是利用双频消除电离层误差,并且利用通过 WAAS 辅助,获得更加完好可靠的增强信息。

2.1.2 RAIM 可用性预测系统

RAIM 可用性预测系统也得到了广泛的应用。上世纪 90 年代末以来,国外相继开发了 RAIM 可用性预测系统,包括美国、澳大利亚、德国、智利以及欧洲的 EUROCONTROL 等。EUROCONTROL 的 RAIM 预测系统称为 AUGUR,由 Integricom 公司开发,其余的都由美国交通部 Volpe 研究中心开发。

1995 年,美国 Joint FAA/Air Force 开发完成 RAIM 预测系统,将 NPA RAIM 失效信息以 M-Series NOTAMs 的形式提供给军航飞行员,以 Aeronautical Information 的形式提供给民航飞行员,如图 3-1 所示为 VOPL 开发的可用性预测系统。随着 RAIM 技术及标准的相继提

出，美国相断开发了针对本国的预测系统及提供全球的预测服务，并将该向服务授权给商业公司。

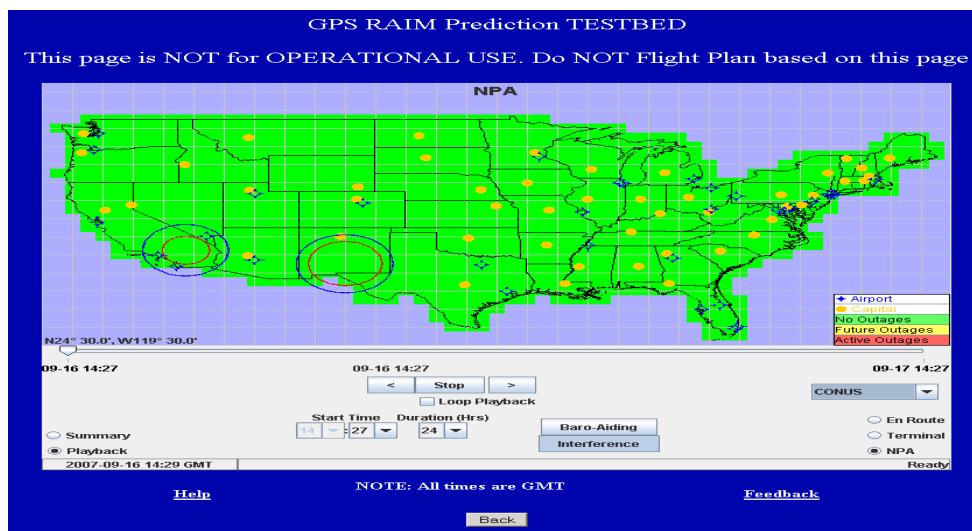


图 3-1 美国的 GPS RAIM 可用性预测系统

1996 年，Airservices Australia 与 Volpe Center 签订了开发卫星失效报告系统的协议。

1998 年，RAIM 预测和失效报告系统在 Brisbane 的 Australian International Notice to Airmen (NOTAM) Office 安装成功。澳大利亚的 RAIM 预测系统，运行在 IBM RISC 6000 工作站上，可为飞行员在飞行计划前提供 GPS 失效信息并预测 NPA 阶段的卫星可用性。飞行员和 ASA 工作人员可通过 National Aeronautical Information Processing System 获取预测信息。预测信息也在 Airservices Australia 网站上发布。这个系统目前可为澳大利亚国内 178 个机场提供服务，另外，还对 East Timor、New Zealand、Pacific Islands、Tonga 地区的机场提供服务。同年，Volpe Center 在 Frankfurt 安装了德国的 RAIM 预测系统，此系统可为 42 个机场提供服务，包括 Netherlands 的两个机场。同年，Stasys Ltd 为 EUROCONTROL 开发了 RAIM 可用性预测系统 AUGUR，由 Integricom 设计，可进行三种模式的查询。

RAIM 可用性预测系统也允许私营公司运营提供相应的收费服

务, 如 2008 年 10 月 8 日, 美国 Jeppesen 公司获得 FAA 授权成为唯一一家为民航飞行及私人飞行签派提供 RAIM 预测及数据分析的商业公司, 可为全球各地提供预测服务。2009 年 7 月 16 日, 一直提供航空宇航信息及技术支持的商业公司 SHEPHARD 获得 FAA 授权, 为用户提供包括 RAIM 预测在内的飞行计划分析计算。

2.2 地基增强系统 GBAS

卫星导航地基增强系统 (Ground based augmented system, GBAS) 是基于局域差分技术的卫星导航系统的外部增强手段。GBAS 在位置精确且已知的参考站获得测量伪距值, 并利用卫星星历和参考站的已知位置求出伪距计算值 (真实值), 求出两者之差, 称为校正值, 然后把它发给用户。它使一定距离内与参考站同步测量的用户, 可以利用卫星导航校正值对自己的伪距观测值进行校正。当参考站和用户之间的距离间隔小于 50km 时, 差分定位精度可达 1m (95%)。应用于民用航空的 GBAS 系统在局域差分基础上进行完好性监测, 以满足对于性能需要较高的精密进近需求。目前唯一经过认证的 GBAS 系统是美国 FAA 支持研制的 LAAS。

2.2.1 美国的地基增强系统

在局域差分基础上进行完好性监测, 满足对于精度、完好性等性能需要更高的精密进近需求, 是 FAA 支持研制的 LAAS 的基本需求。

1993 年, FAA 研制出 GPS 特殊一类 (Special Category I, SCAT-I) LAAS。在此基础上, Ohio 大学在 FAA 的支持下建立了 LAAS 原型系统。通过大量飞行试验, FAA 证明了 LAAS 具备支持 III 类精密进近的潜在可能。FAA 于 1996 年正式提出开发 LAAS, 并与 Honeywell 公司签订了设备研发合同。2003 年, Honeywell 研制出了 CAT I LAAS 地面系统设备。但随后, FAA 发现 LAAS 中存在未解决的完好性问

题,因此将 Honeywell 的 LAAS 设备研发合同的状态退回到算法研究。经过 6 年的继续研究和开发,2009 年 9 月 30 日,FAA 完成了对 Honeywell 的 Smartpath™ 4000 设备的系统设计许可。

美国 Continental 航空公司已经有 9 架 737NG 飞机加装了 GBAS 机载设备,此外,所有 2008 年 1 月以后交付的 737NG 飞机都装备有 GBAS 机载设备,所有新交付的 787 都将 GBAS 机载设备作为标准配置。Continental 航空公司已经执行了超过 200 次的目视 GBAS 进近程序,并且飞行员反应良好。

美国联邦航空局(Federal Aviation Administration, FAA)已将局域增强系统(Local Area Augmentation System, LAAS)作为下一代空管中飞机引导的核心支撑系统之一和 PNT 服务路线图的组成部分。FAA 的 LAAS 测试原型地面系统已经过改装,以适应 CAT III 空间信号需求。该测试原型的机载系统中 CAT III 报文接收和处理模块已修改完成。初步的测试结果已用于评估监测算法的误警性能。ICAO 的 CAT III GBAS SARPs 修改草案已经完成,并多次经 CSG 审阅。系统技术验证工作已经开始,修订的机载 RTCA MOPS 和 ICD 已经完成并通过最终审核。下一步将开展技术验证的标准草案制定,并验证 SARPs 需求的可行性。

美军 JPALS 系统已经完成了首次演示飞行,证明了与民航的互操作性,可在 GPS 干扰情况下实施精密进近。完成了各种干扰环境下 GPS 性能评估,实施了完整的工程分析、建模和仿真,并建立了原型系统。研究表明多种体系结构可满足 JPALS 需求,并分析了各种体系结构的效益。对 GPS 与 GPS 加惯导的性能进行了比较。海基的系统将在 2014 年达到初始运行能力(IOC),陆基固定机场着陆系统将于 2016 年达到 IOC,陆基移动系统将于 2017 年达到 IOC。

在纽约/新泽西飞行延误工作组报告中将 LAAS 作为主要解决方案，并建议加快其进程。FAA 将首先基于现有成熟技术研发单频 CAT III LAAS，然后根据双导航频率的 GPS 星座进展情况，适时开展双频 CAT III LAAS 研究，以提高可用性。预计在 2010 年完成 CAT III LAAS 地面和机载系统原型，2013 年达到 CAT III 运行能力。

2.2.2 欧洲的地基增强系统

EUROCONTROL 已将 GBAS 列入欧洲单一天空空管研究计划（Single European Sky ATM Research, SESAR）核心系统，在数个机场部署了 GBAS 测试系统，并开展了 GBAS 平行进近的研究。EUROCONTROL 将继续支持 GBAS CAT II/III 研究和标准化，与 ICAO 导航专家组（Navigation Specialist Panel, NSP）的 CAT III 子工作组（CAT III Sub-group, CSG）、欧洲航空安全组织（European Aviation Safety Agency, EASA）等合作研究如电离层、多星座导航、组合导航等关键技术。

Honeywell 的 SLS-3000 GBAS 地面站已经于 2007 年初安装在西班牙 Malaga 机场。在 2008 年 12 月 1 日至 5 日进行了 SLS-4000 的试验，于 2009 年 4 月开始安装工作。同时安装了 Thales 的 GMS 670 GBAS 监测站用于收集数据、实时监视 GBAS 性能和监测干扰。

ENAV 公司正在进行 GNSS 空管应用验证方法的确认工作，使用数学模型进行应用安全评估。将评估 GNSS/ADS 在区域和国际机场的效益，并在意大利中南部进行实施。在 Palermo 安装了 GBAS 和 ADS-B 的地面系统，并进行了 GBAS 设施的测试和应用验证。

法国于 2006 年对安装在 Toulouse 的 GBAS CAT I 地面站进行了空间信号验证，并持续对 GBAS 性能进行监视。该 GBAS 的性能将被继续维持，用于 Airbus 的 GLS 验证。法国将加大 GBAS CATII/III

的研发活动，并已开展了 2 项相关研发项目。

EUROCONTROL 已将 GBAS 列入欧洲 SESAR 核心系统，在数个机场部署了 GBAS 测试系统，并开展了 GBAS 平行进近的研究，如图 3-2。EUROCONTROL 将继续支持 GBAS CAT II/III 研究和标准化，与 ICAO 导航专家组（Navigation Specialist Panel, NSP）的 CAT III 子工作组（CAT III Sub-group, CSG）、欧洲航空安全组织（European Aviation Safety Agency, EASA）等合作研究如电离层、多星座导航、组合导航等关键技术。

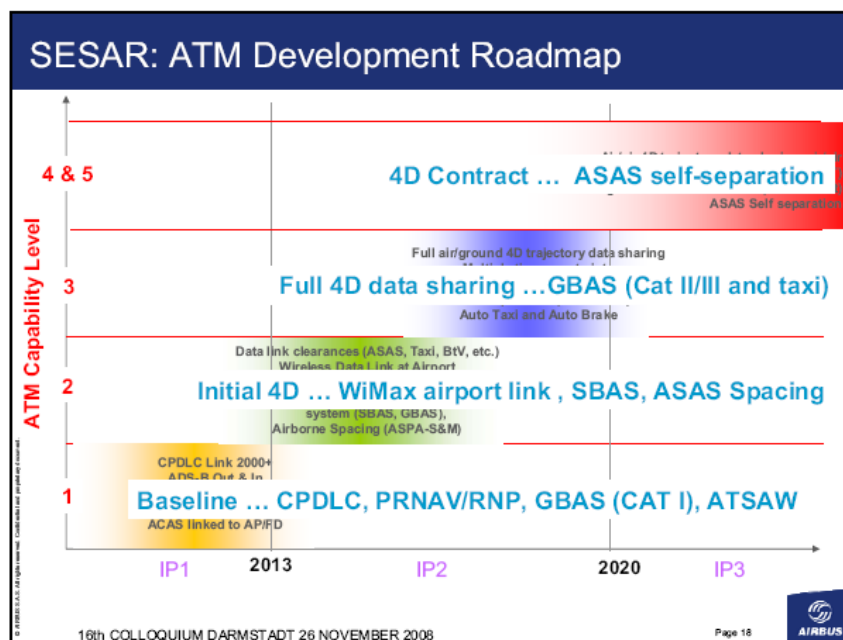


图 3-2 SESAR 路线图中 GBAS 实施规划

2.2.3 澳大利亚的地基增强系统

澳大利亚民航局针对其地域和空域的特殊性，于 1995 年做出将星基导航技术用于其空域进行研究的决定，其运行要求有二：（1）必须确保体制统一，最好与 ICAO 的标准相兼容；（2）必须提供等效于或比陆基导航系统更能适应未来空管导航需求的服务。澳大利亚民航局以当时可用的 GNSS 技术为基础，完成了效费比分析，确立了用 GBAS 作 CAT I 精密进近和用 SBAS 作航路与非精密进近的技术方

案。

在澳大利亚实现 SBAS 的关键问题是缺少可用的 GEO 卫星，为此陆基区域增强系统（Ground-based Regional Augmentation System, GRAS）显得尤为重要，并且采用地空数据链建立增强信息收发网络。目前，澳大利亚已经有用于空中交通管制（Air Traffic Control, ATC）通信的各式甚高频（Very High Frequency, VHF）通信网络，可作为基础网络设备支持 GBAS VDB 技术，从而确立 GRAS 数据链的基础。

GRAS 一方面完成飞机的非精密进近，同时提高交通密集地区 GPS 的完好性，使之上升为主用系统。为了在其余航行阶段（边远地区和越洋区）也使 GPS 提高为主用系统，可在其境内设置一些基准站，用于获得视界内 GPS 卫星的差分 and 完好性信息。由于 GRAS 系统不要求达到 CAT I 的能力，所需的基准站的数量将比美国的 WAAS 要少得多，且基准站也要简单，从而降低成本，并初步满足民用航空的要求。GRAS 可用于航路、终端区及 APV 运行，并已获得 ICAO 的认可。

GRAS 系统组成包括：2 个主控站，分别位于布里斯班和墨尔本；10 个地面基准站，位于 Broome、卡那封、珀斯·佩思、达尔文、Alice Springs、阿德莱德、Thursday I、Mackay、堪培拉、Launceston；VHF 发射机使用现行的话音 VHF 发射站；共有 103 个 VHF 站覆盖澳大利亚，每个站信号覆盖范围 200 海里；主控站通过地面数据网将差分 and 完好性信息传送至各 VHF 站。

GRAS 的各组成部分和其功能如图 3-3 所示。参考站网络和主控站与 SBAS 相像，但用户数据广播则像 GBAS。差分校正和完好性信息以星基增强系统 SBAS（广域）的消息数据送至每个 GRAS VHF 站，每个地面 VHF 站完成对数据的当地校验，格式化为与类似 GBAS

的消息，用与 GBAS 的 VHF 数据广播协议相兼容的，以由 TDMA 管理的 1/16 秒的时隙，每秒一次频率的发射出去。其核心概念是尽量与国际民航标准兼容。

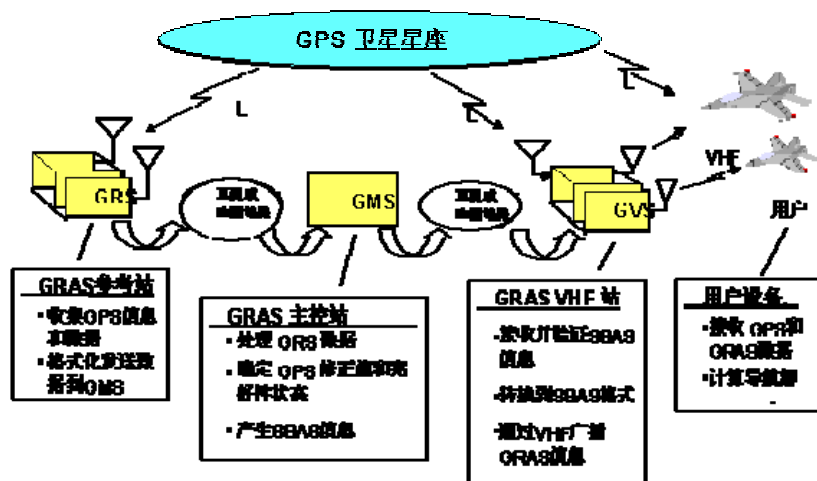


图 3-3 GRAS 系统组成及功能

其中，Honeywell SLS-3000 GBAS 地面站已经于 2006 年安装在悉尼机场，2009 年 SLS-3000 升级为 SLS-4000，并在 Brisbane 安装兼容 RNP 的 SLS-4000，在 Melbourne 安装 CAT III GBAS。Qantas 航空公司共有 14 架具备 GLS 能力的 737-800 型飞机，在未来 4 年内还将交付 31 架并改装剩余 24 架；共有 3 架具备 GLS 能力的 A380 飞机，在未来 4 年内还将交付 17 架。Qantas 已经进行了 1500 个 GLS 进近，GBAS 性能优异，飞行员反应良好。

Airbus 在悉尼成功实施了 A380 的 GLS 进近，飞行管理系统（Flight Management System, FMS）在进近过程中的水平和垂直性能准确且稳定。自动驾驶仪的水平和垂直符合度优异。Airbus 支持国际 GBAS CAT II/III 标准化、验证和规章制定工作。Airbus 正与 RTCA SC-159、ICAO NSP CAT II/III 子工作组、EUROCAE WG-28 GBAS 和 IGWG/LATO 等积极开展 GBAS CAT II/III 标准化工作推进。

2.2.4 其它

根据日本的 GBAS 实施计划，将于 2009 年完成 GABS 原型系统

产品研发，2010 年完成原型系统安装和评估。GBAS 的 GNSS 着陆系统（GNSS Landing System, GLS）试验将使用 Boeing 787 飞机，候选机场和相关规章及实施方案仍在设计当中。

在日本民航局（Japanese Civil Aviation Bureau, JCAB）支持下，电子导航研究中心（Electronic Navigation Research Institute, ENRI）正在进行 CAT-I GBAS 研发。目前正在进行原型系统的设计评估，主要技术问题包括电离层影响、多径效应和布站。日本未来将用 GBAS 提供 CAT-II/III 精密进近和着陆服务，提高机场容量，降低基础设施投资。

根据韩国政府改善航空导航系统计划，所有机场都须满足双向 CAT I 或更高需求。韩国政府正在进行在所有机场安装 GBAS CAT I 的可行性分析，将在 2009 年后期完成。完好性测试平台已经于 2008 年完成，并完成相关的静态测试、车载动态测试和飞行测试。韩国还将研发电离层风暴监视器并加入测试平台。

2.3 星基增强系统 SBAS

20 世纪 80 年代末到 90 年代初，有学者提出建立地面监测网对 GPS 卫星进行观测，可以实时计算卫星星历、星钟和电离层误差校正，将此校正广播给用户，则可以大幅提高被 SA 人为降低的民用用户的定位精度。同一时期，一些学者也提出了通过地面监测网对 GPS 卫星的实时观测对 GPS 卫星的完好性进行监测的 GPS 完好性通道（GPS Integrity Channel, GIC）概念。这两个概念最终融合起来，发展成为星基增强技术。目前已经使用和发展中的 SBAS 包括美国的广域增强系统（Wide Area Augmentation System, WAAS）技术、欧洲静地轨道重叠服务（European GEO Navigation Overlay Service, EGNOS）技术、日本的多功能卫星增强技术（MTSAT Satellite

Augmentation System, MSAS)、印度的 GPS 和 GEO 增强导航 (GPS and GEO Augmentation Navigation, GAGAN) 技术和俄罗斯的差分校正和监测 (SDCM, Differential Correction and Monitoring) 技术。

SBAS 的基本思想是根据误差来源对 GPS 观测误差分别“模型化”, 然后将计算出来的每一个误差源的误差校正参数通过静地轨道 (Geostationary Earth Orbit, GEO) 卫星数据链广播给用户, 对用户的观测误差进行校正。SBAS 一定程度上克服了 GBAS 对参考站和用户之间时空相关性的限制, 可有效提高广域范围内用户的定位精度。

2.3.1 美国的星基增强系统

WAAS 从 2003 年 7 月 10 日正式投入使用时就已经具备了 LNAV/VNAV 和部分 LPV 导航能力。为了实现 LPV 导航能力, FAA 从 2003 年开始对 WAAS 进行了一系列的扩展。为了扩大 LPV 的服务范围并提高其可用性, 新建设了 13 个广域监测站 (4 个在阿拉斯加, 4 个在加拿大, 5 个在墨西哥), 并对广域监测站的接收机 (使用 NovAtel G-II 接收机) 及软件进行了升级, 使用新的信号质量监测算法。同时, 为了改进 WAAS 服务的可靠性, 建设了第 3 个主控站, 确保至少有两个主控站是可用的, 并对主控站软件进行了升级换代。为了扩大 GEO 卫星的覆盖冗余, 对原有 GEO 卫星进行更新换代。新的 WAAS 结构实现了美国本土、阿拉斯加、加拿大和墨西哥的双重覆盖, 提高了系统的可靠性、可用性和连续性。

目前, LPV 可用性为在美国本土的覆盖范围为 100%, 在阿拉斯加的覆盖范围为 81.22%; LPV-200 可用性为在美国本土的覆盖范围为 100%; 在阿拉斯加的覆盖范围为 70.90%。

WAAS 系统工程一共投资 10 亿美元, 每年的维护运行费用 0.5 亿美元。WAAS 系统于 2003 年达到 IOC。此后还继续投资, 主要是

在境外或海岛上增补广域基准站（以及相应的通信链路），增补 GEO 卫星以提高 WAAS 的可用性，以及进行系统升级以适应 GPS 现代化发展。近年来 GPS 航空使用中连续发生的多次 GPS 信号大范围干扰事件进一步表明了 GPS 系统的脆弱性，美国的一些权威机构对 GPS 及其星基增强系统能否作为唯一空中导航系统产生质疑，为此 FAA 正在考虑改造一些陆基导航系统，作为 GPS 的备份。

根据 FAA 卫星导航战略，未来 WAAS（阶段 III 和 IV）的目标是设计和实现双频升级。SBAS L1/L5 的最低运行性能标准（Minimum Operational Performance Standards, MOPS）将于 2013 年完成，相应机载设备将于 2018 年面世。而 GPS III 虽然有完好性需求，但只有 Block III C 卫星具备此功能，到 2030 年才会有 24 颗 Block III C 卫星在轨。考虑到 GPS III 发展的不确定性，FAA 将持续维护 WAAS 到 2040 年。FAA 计划在 2013 年完成 SBAS L1/L5 的 MOPS，而第一颗 GPS L1C 卫星也将于 2013 年发射，因此 L1C 将不会出现在第一版的 SBAS L1/L5 MOPS 里。SBAS L1/L5 MOPS 中除了包含现有对 L1 的需求外，还应包含对 L5 需求和对 L1、L5 组合的需求。如果有需要，可对现有 L1 需求进行修改。有专家建议将 SBAS L1/L5 MOPS 的目标定为 CAT II。如图 3-4 为美国 WAAS 发展进程规划图。

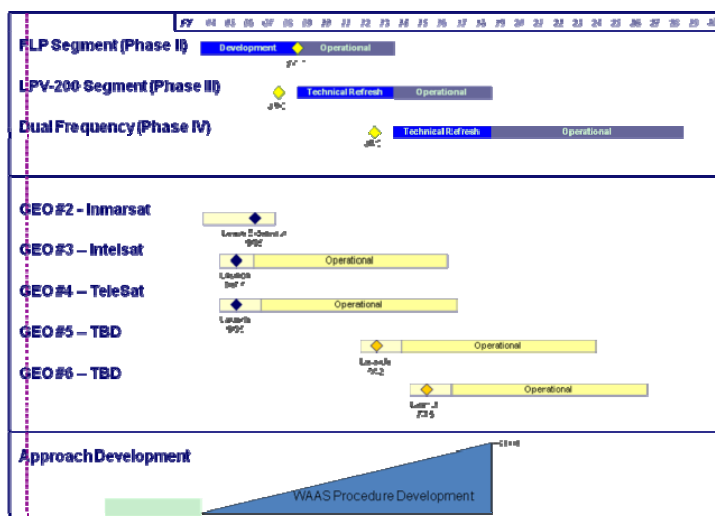


图 3-4 美国 WAAS 发展进程规划

2.3.2 欧洲的星基增强系统

作为欧洲全球卫星导航计划的第一阶段 GNSS-1，由欧洲空间局（European Space Agency, ESA）、欧洲空中航行安全组织（European Organization for the Safety of Air Navigation, EUROCONTROL）和欧委会（European Commission, EC）于 1993 年提出联合共建 EGNOS。此系统包括了对 GPS 和 GLONASS 的增强，第一步建立 EGNOS 系统测试平台（EGNOS System Testbed, ESTB），包括 2 个主控站、33 个参考站、2 颗 GEO、2 个 GEO 地面站和 4 个 GEO 测距站。

EGNOS 建成后包括 3 至 4 颗 GEO、3 个中心站、33 至 50 个参考站和 9 个 GEO 地面站。其目标是增强美国的 GPS 系统和俄罗斯的 GLONASS 系统性能，提高特别应用领域的安全性。EGNOS 由三颗地球同步卫星和地面测控网络构成，可提高定位精度到 5 米。EGNOS 由 EU、ESA 和 Eurocontrol 共同建设，是对 GNSS-1 的重大投入，也是未来欧洲 GALILEO 系统的先驱。

EGNOS 的开发和实现过程中有赖于一系列支持系统的建设，特别是 ESTB(EGNOS System Test Bed)系统。组织者利用 ESTB 进行系统的测试、验证等工作。在达到 AOC 之前，ESTB 会允许 EGNOS 潜在用户为 GNSS 的技术应用与整合（如交通服务、时间传递等）提供方便。同时，也可对这些应用提供实时验证。ESTB 在配置上灵活实用，可以对 EGNOS 系统的建设进行完善的试验和分析。

EGNOS 于在 2004 年建成并投入运营。两颗 Inmarsat-3 卫星会用来广播测试信号，便于潜在用户熟悉信号特性并试验它们的可用性。EGNOS 包括三颗同步卫星广播，同时广播测距信号和完好性信息。完好性信息调制在测距信号中，主要包括精确的 GPS 和 GLONASS

卫星位置信息、星载原子钟的精度以及电离层干扰情况。因此，EGNOS 接收机相对普通接收机较复杂，但可给出更为精确的位置结果。

两颗 Inmarsat-3 卫星，一个位于大西洋东部上空，一颗位于印度洋上空，还有一颗 ESA Artemis 卫星定轨在非洲上空。不像 GPS 和 GLONASS 卫星，这三颗卫星无星载信号发生器，而用一只转发器转发来自地面站的上行信号。地面测控系统包括 30 个 RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Station)，4 个控制中心和 6 个上行站。

RIMS 测量 EGNOS 每颗卫星的精确位置，比较每颗 GPS、GLONASS 卫星基于测量信号的位置和其精确位置，计算出差分信息。RIMS 将这些数据通过专用通信网络送交控制中心。控制中心确定每个地面站接收信号的精度以及因电离层影响而产生的误差。所有误差数据整合进输出信号内通过保密信道发送到控制中心。然后上行站将信号传送到卫星。

系统设计时充分考虑了冗余性。如控制中心设了 4 个，任何时间只有一个作为主控站；上行站设了 6 个，只要 3 个就可以分别对 3 颗卫星上传信号。

现存的卫星导航系统不支持安全性应用，在此领域，完好性是最重要的功能之一。EGNOS 针对此种情况，将完好性功能做了很好的设计和实现，有力的满足了这一需求。

Euridis 地面部分包括三个监测站，分别位于南非的 Hartebeeshoek，圭亚那的 Kourou 和法国的 Aussaguel。从三个监测站采集的数据送往 Euridis 的任务控制中心 MCC(Mission Control Centre)，位于法国的 Toulouse，在这里卫星轨道及相关的用户数据解算出来。这些数据被送往位于 Aussaguel 的卫星上行站，送给卫星，

再由卫星转发给用户。

MAGNET (Multimodal Applications of GNSS in European Transport) 产生广域差分校正信息, 其根本目的是支持基于 SBAS (Satellite Based Augmentation System) 的民用航空技术试验, 并为国际民用航空技术标准的发展做贡献。

2.3.3 日本的星基增强系统

基于多功能卫星的星基增强系统 (MSAS) 是由日本气象局和日本交通部组织实施的基于 2 颗多功能卫星 (MTSAT) 的 GPS 星基增强系统, 类似于美国的广域增强系统 (WAAS)。该系统从 1996 年开始实施, 为日本空域飞机提供全程通信和导航服务。

MSAS 系统包括 2 个主站、2 颗 MTSAT 卫星、4 个地面监测站和 4 个测控跟踪站。MSAS 于 2007 年 6 月 30 日宣布达到 IOC。与 WAAS 相似, MSAS 也是由空间段、地面段和用户段构成。空间段由日本自主设计的 MTSAT (Multi-functional Transport Satllite) 卫星构成, MTSAT-1R (PRN129) 位于 140°E 和 MTSAT-2 (PRN137) 位于 145°E 。采用 Ku 波段和 L 波段两个频点。其中, Ku 波段频率主要用于播发高速的通信信息和气象数据, L 波段频率与 GPS 的 L1 频率相同, 主要用于导航服务。MSAS 的地面段构成与 WAAS 的十分相似, 其第一阶段的地面段组成为: 4 个地面监测站 (Ground Monitor Station, GMS) 分别位于日本的福冈、札幌、东京和那霸, 2 个主控站 (Master Control Station, MCS) 分别位于神户和常陆太田以及 2 个监测量测站 (Monitor and Ranging Station, MRS) 分别位于夏威夷和澳大利亚。

MSAS 于 2007 年 9 月完成了地面系统与 2 颗 MTSAT 卫星的集成、卫星覆盖区测试以及 MTSAT 卫星位置的安全评估和操作评估测试 (包括卫星信号功率测试、动静态定位测试和主控站备份切换测试

等)。测试结果表明, MSAS 能够很好地提高日本偏远岛屿与机场的导航服务性能, 满足国际民航组织 (ICAO) 对非精密进近阶段 (NPA) 和 I 类垂直引导进近 (APV-I) 阶段的水平位置误差 (HPE), 垂直位置误差 (VPE) 以及相应的报警限值 (HAL 和 VAL) 的规定, 具备了试运行能力。

2.3.4 其它

俄罗斯空间设备工程研究院于 2002 年起开发 SDCM (Wide-area System of Differential Corrections and Monitoring, 广域差分修正与监控系统), 该系统可覆盖俄罗斯空域, 具备两种功能: GNSS 监测 (包括完好性监测和历史数据的深度分析) 和差分校正。

2006 年, SDCM 的完好性监测部分投入使用。目前, 它在俄罗斯境内建立了 12 个监测站, 在南极建立了 1 个监测站; 未来将在其境内增设 8 个以上的监测站, 在境外增设 5 个以上的监测站。

印度也正在建设本国的卫星导航增强系统, 称为 GAGAN。GAGAN 系统由印度空间局 (ISRO) 和印度机场管理局 (AAI) 联合组织开发。空间星座包含 1 颗位于东经 82 度的 GEO 卫星, 采用 C 波段和 L 波段频率作为载波。其中, C 波段主要用于测控, L 波段频率完全同 GPS 的 L1 和 L5 频率, 用于广播导航信息, 并可与 GPS 进行兼容和互操作。空间信号覆盖整个印度大陆, 能为用户提供 GPS 信息和差分改正信息, 用于改善印度机场和航空应用的 GPS 定位精度和可靠性, 也属于 GPS 星基增强系统。

GAGAN 系统的建设主要包括两个阶段: 即技术验证 (TDS) 阶段和最后操作运行 (FOP) 阶段。在 TDS 阶段主要完成系统指标分配、系统联调和在轨测试等内容, 该阶段已于 2007 年 8 月完成最后的系统精度指标的联调测试, 但并未实现完好性信息和生命安全服务

(SOL) 的测试。FOP 阶段是指在 TDS 内容完成的基础上, 采用 3 颗 GEO 卫星对 GPS 进行增强, 全面完成集成并投入运行, 且能对系统完好性信息和 SOL 服务进行论证。

GAGAN 未来计划为: 1) 实现与美国 WAAS, 欧盟 GALILEO 和日本 MSAS 的完全兼容; 2) 加强国际合作, 在境外增建地面监测站; 3) 空间信号 (SIS) 覆盖区扩展到东南亚和亚太地区; 4) 尽快完善 GAGAN 系统, 为印度区域导航卫星系统 (IRNSS) 的研制提供技术储备。

3 卫星导航系统面临的问题及挑战

3.1 GNSS 脆弱性

航空领域 GNSS 信号的使用, 标志着在理念上的根本性变化, 因为 GNSS 是第一个用于航空的系统, 并且广泛用于其他应用。相比传统的航空系统, GNSS 具备更好的性能和更低的成本, 是一个能被更多用户共享的基础设施。但是, GNSS 无法抵制来自故意和无意的干扰源以及自然的影响, 并呈现出脆弱性。GNSS 的脆弱性描述了基于 GNSS 的服务被破坏的可能性, 描述了航空器运行时出现短暂的 GNSS 信号丢失的影响。GNSS 导航的脆弱性可通过提供备用定位服务来弥补, 以确保航空运输的安全性和规律性。

3.2 GNSS 的干扰因素

3.2.1 无意干扰

3.2.1.1 频带干扰

GPS 和 GLONASS 与国际电信联盟 (ITU) 有文件, 允许使用分配给 RNSS 的频段 1559-1610 MHz 和 1164-1215 MHz, RNSS 在这些频段与 ARNS 共享。RNSS 频段下也有支持 SBAS GEOs 运行在 1559

-1610 MHz 频段的文件。AMRS 的 GBAS VDB 以及 VDL-4, 使用的 108.025 - 117.975 MHz 频段, 与 ARNS 的 ILS 和 VOR 共享。GPS, GLONASS 和 SBAS GEOs 也有 ITU 文件, 使用为未来民用航空应用使用的 1164-1215 MHz 频段。GNSS 接收机必须符合 ICAO 附件 10 中的在有干扰情况下的性能要求, 并且要在 ITU 建议范围内使用。在规定水平以上的干扰可能会导致退化, 甚至服务的丢失, 但是航空电子设备的标准要求, 这种干扰不应该导致 HMI。

GNSS 有很多潜在的干扰源, 从频带内到频带外发射器, 包括移动和固定的甚高频通信, 电视台、某些雷达、卫星移动通信和军事系统的谐波。主要关注是 1559-1610MHz 频带的使用, 通过一些国家允许的点对点的微波连接。国家通过运用有效的频谱管理, 可以大大减少非故意干扰的威胁。

GNSS 的中继器和伪卫星是传送信号的系统, 来补充在高建筑和其他 GNSS 信号无法覆盖的区域。当航空测试设备运行不按照特定条件运行时, 它可能会干扰 GNSS 航空电子设备和 CNS 的地面设备。在某些情况下, 该影响将造成视在范围内的 GNSS 接收机计算出错误的位置。

当前的 GNSS 批准 GPS, GLONASS 和 SBAS 使用一个单一的共同频段, 从而有效消除无意干扰的可能性。

3.2.1.2 自然环境干扰

电离层是大气层上部的区域, 部分是被太阳辐射电离。GNSS 信号的延迟的不同取决于电离层电离粒子的密度, 电离层延迟的变化会导致伪距测量误差, 必须由系统来解决。严重的电离层异常可能会导致一个或多个卫星信号的暂时丢失, 但不会影响大范围的电离层延迟。由闪烁造成的信号跟踪的丢失, 持续时间短, 但他们可能会在

几个小时内反复发生，从而影响 GNSS 信号的连续性。解决方法之一是接收机在闪烁发生后迅速获取卫星信号的能力。闪烁会影响 GNSS 的所有频率，所以多频接收机不能提供更强的保护。另一个缓解措施是使用多个星座，如果接收机能够跟踪更多的卫星，服务中断的可能性大大降低，因为更多的卫星将不受影响。在赤道地区，通常在日落以后和当地午夜前，发生严重的闪烁是很普遍的。适度的闪烁频繁发生，在高纬度地区，在电离层风暴期间能达到很严重的程度。

3.2.1.3 机载系统干扰

GNSS 干扰实例已追踪到机载系统。确定的几个来源，包括甚高频和卫星通信设备和便携式电子设备。正确安装 GNSS 航空电子设备，如屏蔽、天线分离和带外过滤，与其他飞机系统和限制使用便携式电子设备一起安装，可以避免这种干扰。

3.2.2 故意干扰

在几乎所有传统导航服务仍在使用，所有的飞机仍然配备使用传统导航的时代，很少有故意干扰 GNSS 航空服务的动机。然而，由于对 GNSS 的依赖性，故意干扰的威胁可能会增加。

3.2.2.1 作业干扰

GNSS 应用在许多方面：金融，安全和跟踪，交通运输，农业，通信，气象预报，科学研究等。威胁分析必须考虑 GNSS 技术的全部应用，以及可能会影响飞机运行的非航空用户的干扰可能性。也应该考虑非航空服务的减轻干扰的措施。各国必须评估和处理其领空存在的故意干扰的风险。

3.2.2.2 欺骗干扰

欺骗是广播类似 GNSS 信号的信号，引起 GNSS 的航空电子设备计算出错误的位置，并提供错误的引导。GNSS 的欺骗可能低于传统

方式的欺骗，因为它是在技术上要复杂得多。为了避免直接检测，欺骗要求准确、连续的飞机位置信息。匹配欺骗信号和动态的目标接收机，并且保持足够的信号强度，使得接收机保持欺骗信号被锁定，这是非常困难的。如果航空电子设备保持欺骗信号锁定状态，有各种方式可以被检测到：综合航空电子设备能够告知 GNSS 和 INS 或者 DME-DME 的位置差异；飞行员通过正常的监测仪器和显示器的偏差可以发现；雷达环境中，ATC 可以观察到偏差。如果飞机没有偏离轨道，近地警告系统（GPWS）和飞机防撞系统（ACAS）可以提供对地面和其他飞机碰撞的保护。GBAS 数据广播的欺骗和传统着陆手段的欺骗具有同等难度。目前，针对 CAT II/III GBAS 防欺骗的认证计划已经启动。

3.2.2.3 国际化干扰

鉴于 GNSS 具有全球覆盖范围，GNSS 系统的脆弱性将成为国际化议题。当 GNSS 和常规助航服务在国家紧急情况下的中断或退化时，必须具备应急预案措施，以确保航空导航的安全性和效率。

3.2.3 预防措施及方法

3.2.3.1 制定法律法规

有效的频谱管理是减少 GNSS 信号无意和故意干扰的可能性的主要方式。这包括：建立并执行法律法规以控制频谱的使用，并合理评估和分配新的频谱。ICAO 大会和 ITU 条例保护航空使用 GNSS 的频率。然而，对新应用的电磁频谱的重要要求，如移动电话和宽带数据服务，发出的信号强度可能会远高于 GNSS 信号在接收机端的强度。考虑到这些系统有可能干扰目前已安装的 GNSS 接收机，不得分配与 GNSS 相邻的频谱给待开发的相关系统，此外研究多频多模 GNSS 兼容性也将尽可能减少频带干扰。

各国应制定和执行一个强有力的监管框架，管理有意的带内发射机的使用，如 GNSS 的中继器，伪卫星，欺骗和干扰机等，并适度监管能调谐成 GNSS 频带的带外发射机的制定。一些国家审慎监管对 GNSS 中继器和微卫星的使用，但许多其他国家有没有相关的法规。为了确保这些系统对基于 GNSS 的服务没有干扰，各国必须制定进口、销售、所有权和经营权的法规框架，以确保有章可循，对现有 GNSS 用户不产生威胁。

有害干扰源包括用以避免汽车收费或跟踪追查的短程 GNSS 干扰器，应避免相应设备的扩散和改造以对 GNSS 系统和运行产生威胁。这些干扰器的流动性和短程干扰会产生间歇性信号中断，使监测系统和导航设备难以实现对干扰源的识别和定位。各国应制定法规，禁止干扰和欺骗设备的使用，并且监管他们的进口，出口，制造，销售，购买，所有权和使用。于此同时，还应制定有害干扰源的检测流程标准，全面杜绝任何对 GNSS 潜在的威胁。

3.2.3.2 机载设备辅助

GNSS 对干扰的脆弱性，既确保航空服务的安全性和规律性，并阻止那些会扰乱航空器运行的行为。有三个主要方法：利用机载设备，如惯性导航系统（INS），利用地面导航设备和雷达；采用程序方法方法，以及这些方法的组合方式。

对于 GNSS 的脆弱性问题，一些国家已经确认了可替代的定位、导航和授时战略的需求，确定了在 GNSS 信号中断的情况下保持最大限度的空中航行服务的目标。对有效性来说，APNT（Alternative PNT，APNT）战略必须具有全球的应用，必须能负担的起，必须在一个相对短的时间内可用。这意味着利用今天使用的系统和航空电子设备的优势，然后确定必要的现实的演变路径。在 GNSS 更新丢失之后，INS

可提供一个短期的区域导航能力。鉴于目前许多航空运输飞机配备了 INS，并易支持小型支线飞机，将惯性组件和 DME 作为备份导航传感器成为解决 GNSS 脆弱性问题的有效途径。

传统的地面辅助设备可以提供可替代的引导源。在开发一个 APNT 战略，应采取适当考虑下列因素：

a) PBN 运行成为常态。DME 是最合适的地面助航设备，在近距离和中远程支持运行，因为它目前提供了一个多传感器导航系统的输入，允许在航路和终端区空域继续区域导航。这种能力可用于进近运行，如果 DME 的覆盖范围是足够的，最有可能有较高的极小值。VOR/DME 目前为航路 PBN 运行提供了一个有用的备份能力；

b) 对精密进近 (CAT I) 服务最合适的替代是仪表着陆系统 (ILS)。根据威胁评估，交通水平和气候条件，ANS 供应商可能会在一个机场或一个考虑的区域保留 ILS 系统；

3.2.3.3 技术补偿

电离层延迟可以通过使用 GNSS 双频来补偿。由于其影响依赖于频率，双频率的使用允许双频 GNSS 接收机检测和计算这些电离层延迟。SBAS 可以探测，可能危及广播校正的完好性威胁的电离层风暴的影响，并能确保当广播电离层校正不足以补偿这些影响时，LPV 运行不再继续。这种类型的缓解措施是有效的，因为电离层风暴威胁到 SBAS 改正的有效性的情况是罕见的（预计将影响约 1% 时间在中纬度地区的 LPV 服务）。

GBAS 的广播伪距校正针对所有误差源，以及信息的完整性，对本地电离层的严重干扰很有效。然而，如果严重的闪烁引起航空电子设备或者 GBAS 基站不能锁定足够的卫星信号时，GBAS 的服务将丢失。GBAS 的广播不会受到电离层的条件的影响。然而，GBAS 完好

性监测使用的电离层的威胁模型必须符合当地的条件，这可能会导致较低的服务可用性，或者在赤道地区比中纬度地区有更多的选址限制。双频 GBAS 系统可以弥补该缺陷，且没有选址限制。

太阳的日冕扰动可以产生太阳无线电脉冲，这可能会导致在 GNSS 的频率波段的 RF 噪声增加，从而影响对地球向日面的所有卫星信号的接收。在某些罕见的情况下，太阳无线电脉冲的强度和频率波段可以造成 GNSS 接收机失锁，短时无法保持视野中卫星的跟踪。经验表明，这些情况可能会持续长达一个小时，期间大地测量 GNSS 接收机无法接收可见星信号。然而，接收机对此类事件的脆弱性高度依赖他们的设计。相比大地测量接收机，航空 GNSS 接收机一般情况下不会受太阳扰动的影响。

3.3 GNSS 连续性

导航系统的连续性是指在规定的空间内，完成飞机预期的操作过程中，成功执行其导航功能而不中断的能力。更具体的说，连续性指某个系统在操作阶段能够维持其性能，并且假设系统在操作开始阶段可用的情况下，整个操作过程的性能可以被预测的概率。(RTCA/DO 229 D Appendix O)，具体由下面两个参数来界定：

- 在整个预期操作阶段，无意外干扰的情况下，系统执行其要求功能的概率。(ANC-11)
- 系统服务的连续性是指在整個预期操作阶段，无意外干扰的情况下，系统执行其功能的能力。(Attachment D)

只有当操作已经开始时才可以评估连续性要求，检测连续性故障的原因。连续性故障可分为无完好性故障情况下的告警和完好性故障情况下的告警，其主要表现为保护级大于告警限。

3.3.1 影响连续性需求的关键因素

目前和未来 GNSS 系统设计的连续性需求依靠许多运行的条件，一些机场可能需要高的服务连续性然而，其他机场可能能够在低服务连续性条件下运行提供可选 NPA 的安全运行。

3.3.1.1 GNSS 增强系统中影响连续性的因素

SBAS 在全球各地区开始引入并使用，至少在过去某个时期 SBAS 已经成功应用，且无任何关于操作及安全连续性方面的问题发生。在没有安装 SBAS 服务覆盖的国家对于 APV I 可能应用不同的连续值，依赖于几个因素，包括预期运行、流量密度、运行 SBAS 的用户数、空域复杂度和可选辅助导航的可用性。连续性需求值在 Annex 10 中指定为 $1-8 \times 10^{-6} / 15s$ 。

RTCA LASS MOPS DO245A 给出了可能导致 SIS 连续性损耗的因素，主要包括由变送器故障引起的 VDB 损耗，无故障的 VDB 传输损耗或由于保护级超过告警限造成的连续性损耗。

3.3.1.2 GNSS 与 ILS 连续性影响因素的区别

对全球导航卫星系统和 ILS 来说，影响其连续性的因素是有区别的。全球导航卫星系统包括卫星和机载设备，因此，与卫星相关的故障很容易导致连续性损耗，而且可能会同时影响几个 GBAS 的地面站。

而对于 ILS 来说，它只对一个机场产生作用，当 SIS 发生连续性故障时，失效对于 SIS 的最坏的预期影响是从开始产生错误信号，直到飞行员得到警告信息，但这时已经造成了 LOC 和 G/S 偏差。如果没有改善措施来维持操作，如 IRS，将导致自动着陆系统和警告的丧失。

3.3.2 连续性损失的影响与评估

GNSS 地基增强系统 GBAS 地面设施的连续性损耗和其他 GBAS 的具体条件, 可以诱发多个机场和终端。ILS 和 GBAS 之间的主要区别是 GBAS 的可支持多条跑道, 而 ILS 仅能为一个跑道服务。

特别地, 针对精密进近 GAST D (GBAS Accuracy Service Type D, GAST D, 等效于 CAT IIIB) 来说, 一颗卫星故障所带来的影响是不大的, 卫星对飞机的引导及其敏感程度也不会受到太大影响。即使在无故障的条件下, 某架飞机依靠一个给定的卫星的几何定位也可能实现进行 III 类飞行, 尽管这种几何定位对另一架飞机是不合适的。GAST D 地面系统不能实现 SIS 在 ILS 层面上的连续性。保证系统级的连续性的瓶颈在飞机这个层面, 尤其是因为在 GAST D 中对异常的卫星测距条件额外的监测在飞机上进行的。

评估连续性损失的影响要首先使用性能仿真, 然后使用真正的飞行模拟, 以保证飞行员可以检测故障和安全处理故障。自动着陆系统的连续性适航对于 $DH > 50$ 英尺和对于 $DH < 50$ 英尺, 甚至为 0 英尺时对应操作要求有所不同:

$DH > 50$ 英尺, 适航要求 (CS AWO 202、302) 限制了自动进场/着陆系统的可靠性, 即每一次操作所产生的性能影响应 $< 5 \times 10^{-2}$;

$DH < 50$ 英尺, 引入警报高度 (CS AWO 365) 的概念, 且每次操作所产生的自动着陆系统低于警报高度的损失的概率应 $< 10^{-7}$ 。

依照 AWO 适航规章, 连续性损失评估的重点在于低 DH 操作以及着陆前后几秒钟的飞行阶段。

在低 DH 和低 RVR 的情况下, 飞行员对于连续性损失最可能的处理是避让, 但评估通常包括盘旋案例和着陆或滑行阶段的手动接管案例。Albeit OPS 标准就视觉着陆和滑跑规定在 200 米内正常操作的

RVR。对于 ILS，飞行员在 RVR 低至 75m 时手动安全地完成着陆和滑跑的能力已经得到证明并且非正常操作也被允许，这不仅考虑了特殊失效，还考虑了飞机制导性能。

根据 CSAWO321, 304, 305 和 364 的要求，在警告之前的时间里这两种情况的评估由自动着陆系统和自动地面滑跑控制来实现。

3.3.3 设备的连续性要求

根据 CSAWO172 和 AMC361 的要求：考虑地面设备故障的影响，须考虑“芝加哥公约”附件 10 中的标准和做法，包括连续性监测阈值，发射器切换或关闭时间等。

依照标准 CS25.1309，需要同时对着陆系统和机载设备的连续性失效的影响加以验证，而在飞机外部发生 SIS 失效的概率不在系统安全性评估的考虑范围之内。根据保守估计，不论 SIS 连续性失效事件的概率是多少，只要大于 10^{-9} ，就可判断飞机存在潜在威胁。

3.3.4 连续性威胁预防措施与方法

为确保操作的安全性，空管运行程序必须充分考虑协同工作情况：如果其他航管因素在低能见度条件下的工作受到限制，需构建一个特定的连续性大气分配方法并添加到当前的飞机审批框架中。换言之，当空管的安全性出现问题从而否定 GBAS CAT III 的连续性的假设时，应改由当地的管制定位。若其他航管因素在低能见度条件下的工作受到限制，新的需要将被添加到当前的飞机审批框架。

GLS SIS 的连续性的服务水平提出的标准和措施与特定的适航要求是兼容的。目前服务的连续性数据是没有在飞机认证的 FAR / CS 25.1309 符合规范中正式使用，GLS 的连续性方面需要解决。目前正在制定相关的适航标准，包括：如何识别导致信号的损失的故障模式，并为飞机制造商定义标准进行分析，在此基础上提出一个故障

的测试程序和相关的模拟运行原型系统。

3.4 卫星导航应用的典型问题事例

3.4.1 电离层风暴对 GNSS 增强系统的影响

有关资料显示,过去十年内由于太阳活动频繁导致电离层风暴曾给 GNSS 系统的应用产生一定影响,引起欧美部分地区 GPS 接收机导航定位精度存在不同程度的下降,甚至丧失导航功能,如 2003 年 3 月 26 日美国马萨诸撒州以北部地区许多 GPS 接收机无法跟踪在轨卫星信号,同年 11 月 20 日美国北部地区用户的 GPS 接收机导航定位误差增大了约 25 米;而 2006 年 12 月 6 日风暴期间,全球许多单频接收机功能丧失,而采用载波相位跟踪技术的高精度接收机同样受到很大影响。

3.4.1.1 电离层风暴的影响

电离层风暴将使导航增强系统的精度、完好性、连续性和可用性恶化,其影响体现在三个层次:

主控站的影响:主要表现在电离层建模和精密测轨两个方面。太阳风暴导致电离层电子密度增大,信号幅度闪烁、误码率增加、数据失锁或中断,从而导致穿透点减少,电离层模型精度降低甚至无法建模。电离层风暴将影响星地链路的正常通信,增大误码率导致星基增强系统无法正常工作。由电离层风暴导致卫星信号失锁和观测数据中断,从而使得精密定轨的观测量出现稀疏和不连续性。

监测站:导航卫星的下行注入信号工作在 L 波段,由电离层闪烁引起的信号功率衰减可达 20dB 以上,从而导致参考接收机频繁失锁甚至无法捕获到信号,从而影响了观测数据的连续性和有效性。此外,载波环路周跳和码环路失锁还将导致参考接收机观测数据的精度的下降。

用户端：电离层闪烁导致导航信号能量衰减，从而无法被用户端接收机捕获跟踪；不同程度的衰减和延迟同时进入接收机信号处理系统，将会引起相关峰的畸变，导致信号质量下降，影响用户端的定位精度。

3.4.1.2 典型事例

美国斯坦福大学的研究人员早在 2000 年初就发现了电离层风暴对精度和完好性的威胁。

3.4.1.2.1 对 WAAS 的影响

Datta-Barua 在分析 WAAS 数据时发现了电离层的异常活动，并于 2002 年将其结果公诸于世，首次给出电离层风暴梯度的量级。图 4-1 描述了 2003 年 11 月 20 日 CONUS 东半地区的垂直电离层误差，由图可知电离层延迟误差从东北向西南呈现快速、非线性扩散趋势。

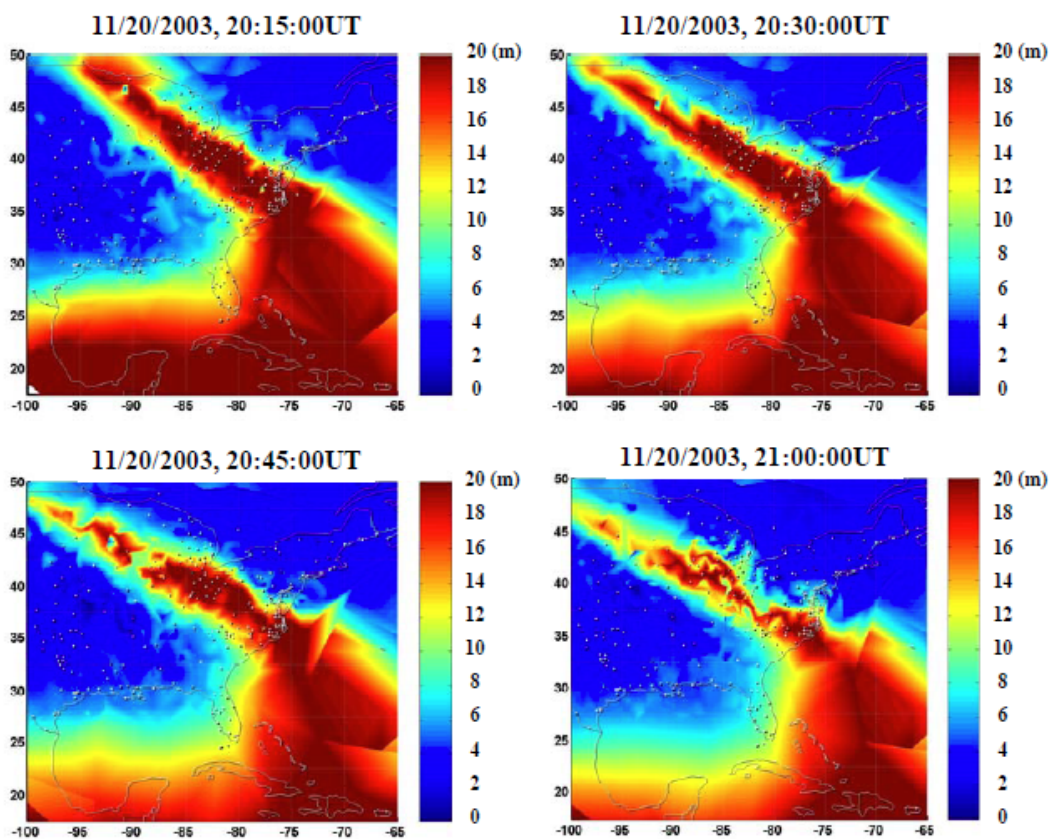


图 4-1 CONUS 东半地区的垂直电离层误差（2003 年 11 月 20 日）

该现象证明, WAAS 的电离层延迟模型无法准确提供用于改正的数据, 为此研究人员引入了 CORS 监测站来增加观测站点, 虽然 CORS 监测站的接收机性能远不及 WRS, 但提高观测数据的样本容量和密度。

通常情况下, 卫星导航增强系统能满足运行所要求的精度、完好性和连续性指标, 但是电离层的剧烈活动会极大程度影响增强系统的性能。这是因为由太阳频繁活动引起的电离层风暴和闪烁将导致 VTEC 的时间非平稳特性, 出现波动和极值情况。

电离层风暴对 SBAS 的影响主要体现在精度和完好性两个方面, 美国 stanford 大学和欧洲宇航局的研究人员分别针对 WAAS 和 EGNOS 构架展开详细分析, 如下:

1、对精度的影响

2003 年 10 月底的电离层风暴使得欧洲北部的定位误差大于 5 米, 而 2003 年 11 月 20 日的电离层风暴造成整个欧洲地区定位精度的下降。研究人员将导航误差和保护级作为时间的函数, 发现较大的定位误差发生在北纬 50 度左右地区, 并且保护级无法包络该定位误差, 从而出现 HMI。部分地区夜间出现 MI, 其时长约为 1-2 小时。

2、对完好性的影响

对完好性的影响: 对 2003 年 10 月底的电离层风暴数据进行分析, 在欧洲大部分地区, 该影响并没有超过 CAT-I 的水平告警限 40m 和垂直告警限 20m。同时对空间可视信号和定位进行分析, 10 月末的风暴造成了大量的 MI, 但是并未对完好性造成影响; 而 2003 年 11 月 20 日的欧洲地区电离层风暴数据分析表明, 最大伪距误差达到 45 米和 15 米, 持续时长达 20UT, 并且垂直误差超过了 20 米, 而由于 $VPL < VAL$, 此时出现 HMI 情况, 即对完好性构成威胁。同样, 10

月 29 日的电离层风暴对 WAAS 的完好性和连续性也构成了一定程度的威胁，其具体表现一些地区的电离层垂直校正误差达到了近 10m，从而使伪距误差达到近 45m，形成 HMI。

3.4.1.2.2 对 LAAS 的影响

2003 年的两次电离层风暴则更加坚定了 LAAS 研究者们对电离层风暴造成完好性威胁的深入探索，具有代表性的是 Dehel 于 2005 年发表的文章，该文章建立并分析了一种电离层异常的几何模型近似，该模型可由一些简单的参数来描述。通过对俄亥俄州 7 个观测站在 2003 年风暴时期的数据，得到 LAAS CAT I 的电离层异常几何模型参数的取值情况，如图 4-2。

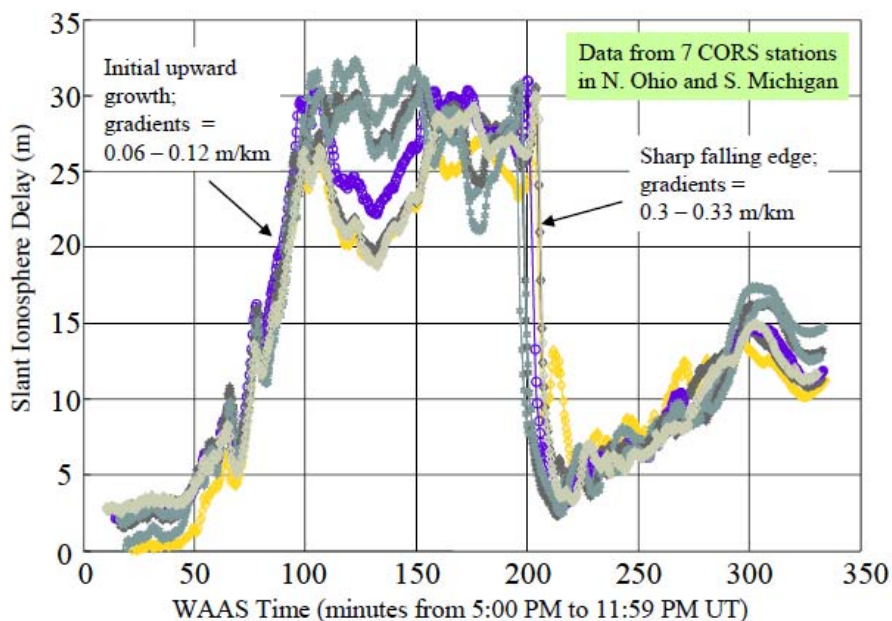


图 4-2 电离层风暴下参考接收机性能分析（7 个监测站）

研究人员更进一步分析 2003 年 10 月 31 日的风暴数据，得到电离层延迟最差情况，如图 4-3 所示，其中 GIVE 达到 6m。

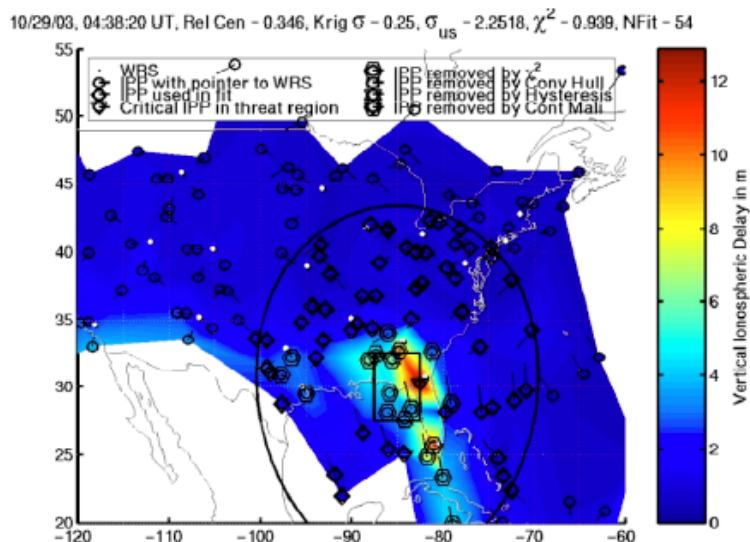


图 4-3 电离层风暴下 TEC 分析

电离层风暴对 GBAS 精密进近的影响则主要体现在电离层的快速去相关特性。Stanford 大学的研究人员在 WAAS 数据建立格网模型的基础上,提出了一种电离层风暴对精密进近影响的威胁模型,该模型假定了电离层活动频繁时其整体朝特定方向快速运动,导致电离层延迟的空间去相关特性,这种去相关特性将极大程度地影响 GBAS 地面站和用户之间传播误差的一致性和误差包络的准确性,从而影响完好性。研究人员对风暴时期的数据的分析结果表明,在现有 LAAS 构架下, CAT I 的完好性和连续性将受到影响; 现有 LAAS 构架在面对强电离层风暴干扰时,不能满足 CAT II 和 CAT III 的完好性和连续性要求。具体而言,研究人员在修正后模型基础上对完好性进行监测,在仅采用地面站监测情况下,其最大误差可达 31m; 而同时采用地面站和机载设备进行监测可有效降低误差和完好性风险,但进一步的监视效果将受到机载完好性监测手段的制约。为此,stanford 研究人员提出了同时采用地面站和 CORS 监测站进行交叉验证的方法,并且开展了一些后续研究工作。

3.4.2 GPS 信号质量问题

3.4.2.1 卫星信号质量问题对导航精度的影响

在导航接收机稳定跟踪期间,假设频率锁定环及载波相位锁定环将多普勒频移及载波相位较好的锁定,那么此时接收机用于跟踪的三个相关器即即时相关器 I_p 、超前相关器 I_e 、滞后相关器 I_l 将分别有如下式所示的输出:

$$(1) I_p = CR(\Delta\tau)$$

$$(2) I_e = CR(\Delta\tau - \tau')$$

$$(3) I_l = CR(\Delta\tau + \tau')$$

其中 C 为幅度常数, $R(\)$ 是伪随机码的自相关函数, $\Delta\tau$ 是本地伪随机码位移与实际伪随码位移的差值, τ' 是超前及滞后相关器的相关间隙。码相位锁定环根据超前及滞后相关器输出是否相等来判定跟踪的状态。当相等时判定为跟踪成功此时即时相关器应输出相关峰,下图可以更明确的表现这一过程的原理:

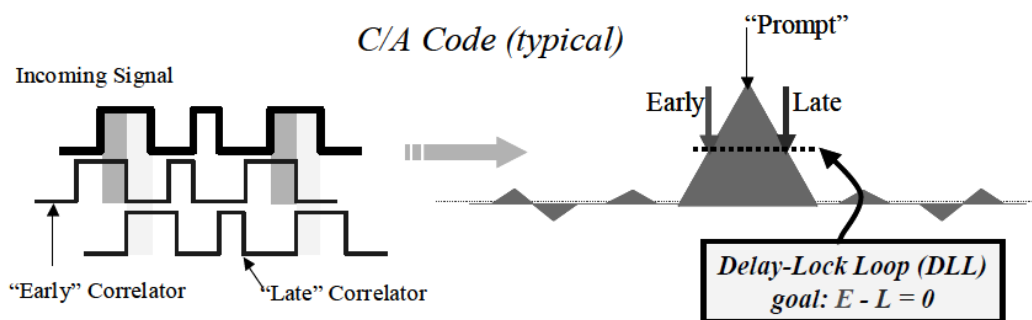


图 4-4 接收机跟踪原理

但实际的相关函数受到接收机内预滤波器的影响并不呈现理论上的三角形,且 C/A 码本身畸变将使实际的相关函数丧失最重要的对称性而呈现如下图所示的状态:

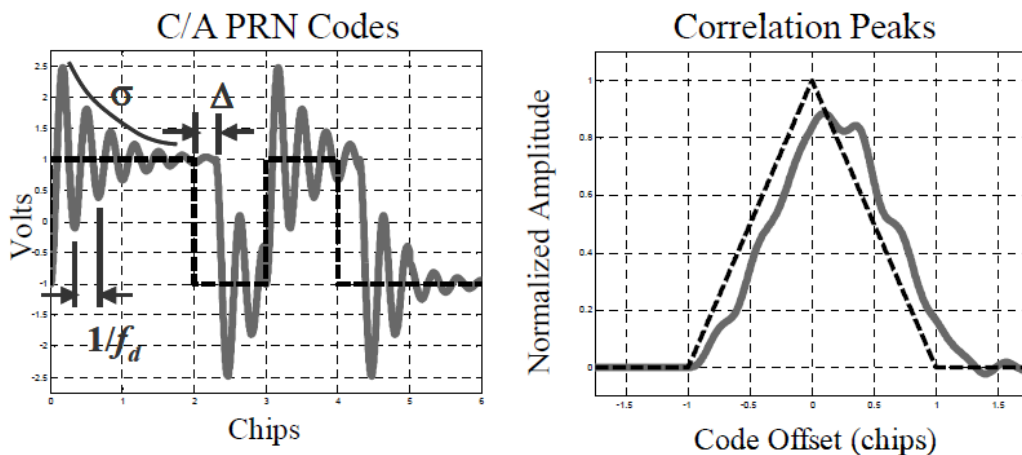


图 4-5 可能的相关函数畸变

如图可见,根据接收机的跟踪原理接收机用于下一步计算伪距的 C/A 码偏移量的误差将在 0 到 0.5C/A 码片范围内有多个可能值,这是卫星信号质量问题导致导航定位的精度丧失的本质原因。

3.4.2.2 典型事例

3.4.2.2.1 卫星信号质量问题对于局域差分定位精度的影响

上一节的内容主要阐述卫星信号质量对普通单接收机导航定位精度的影响,这种影响在局域差分定位时不能够被差分系统消除,反而有可能被放大,从而形成地面站的危险误导信息。

局域差分定位的原理是用户接收机与基站接收机在星历等误差上有很大的相关性故可以通过差分进行消减。但用户端的接收机与基站的接收机的跟踪相关器机制有一定区别,基站为了有效的克服多径效应采用较窄的相关间隙。重新观察图 3-9,当相关间隙足够窄时码偏移估计误差只可能出现在三个极点上,但若采用较宽的相关间隙时则可能出现非极点处的值。当使用差分方式消减误差时实际的测距误差很有可能不但无法被消减反而会被扩大,并且这种影响是无法预测的。为此,局域增强系统中需考虑信号质量对差分及完好性监测的影响,在 GBAS 中专门设立了信号质量监测模块。

3.4.2.2.2 卫星信号质量问题的实例

对于卫星信号质量问题的研究起源于1993年PRN19号卫星信号的畸变。实验表明：当差分定位排除PRN19时的定位误差只有0.5米而包含PRN19时误差达到了3-8米。这也是至今为止对于卫星信号质量问题研究的最好标准。2009年4月GPS Block II R SVN49卫星也发生了信号异常，使得在卫星仰角达到 10° 以上时用户定位误差突然增大了4m。而Block II R的其他卫星也被证明存在类似的问题，可见GPS信号的异常频繁性有所增加。不仅GPS如此，在各导航系统迅猛发展的今天，空间中导航信号越来越多对于导航定位的完好性要求也越来越高，使得卫星信号质量问题的研究的深度有所加强。

4 卫星导航系统应用于民用航空的要求

依据卫星导航系统存在的脆弱性及连续性问题，卫星导航系统在高精度需求的民用航空应用中应具备自主监测能力，实现持续稳定的导航定位服务。若需达到精密进近要求，还应提供完好性增强手段。

目前，我国自主建设的北斗导航系统正在建设中，将为我国的导航定位服务提供更可靠的保障。未来我国北斗导航系统在民用航空中发挥重大作用需满足以下三点要求：首先，能够提供全球性导航服务，实现可靠运行；第二，导航性能符合民用航空的要求确保飞行安全；第三，机载设备及地面设备能够提供持续的完好性监测以支撑系统可靠运行。