文章编号：1674－9057（2011）04－0610－05

基于 COMPASS－G2 的地基增强系统构建与测评

明朝辉[1,2]，韩松臣[1]，何运成[1,3]，张 明[1]

（1. 南京航空航天大学 民航/飞行学院，南京 210016；2. 江苏教育学院 数学系，南京 210013；
3. 中国民航科学技术研究院航行技术室，北京 100028）

摘 要：中国民用航空局（CAAC）实施基于性能的导航（PBN）的关键技术是北斗（COMPASS－G2）及其地基增强系统（GBAS）。本文阐述了 GBAS 的组成和工作流程，构建了基于 COMPASS 的 GBAS 仿真系统，给出设计方案和开发程序图。通过静止测试、机场跑道跑车试验和机场区域跑车测试3种方法，分析所采集数据，验证信号增强的效果。在 GBAS 改善信号精度的基础上，建构用于终端区指导飞行器精密进近（GLS）的北斗着陆系统性能评估体系。给出了评估北斗系统指导进近性能的地面和空中检验方法。

关键词：PBN；COMPASS；GBAS；实验系统；完好性

中图分类号：TP302.1；TP391 **文献标志码**：A

中国民用航空局(CAAC)2009－10 颁布的《中国民航基于性能的导航(PBN)实施路线图》[1] 提出,2012 年前实现 PBN 重点应用,2013—2016 年实现 PBN 全面应用。预计 GNSS(全球导航卫星系统)及其增强系统将具备精密进近能力,GNSS 将成为 PBN 运行的主要导航设施,CAAC 将在多边合作基础上使用 GNSS,包括北斗及其增强系统。

国内外机构和学者已对局部增强系统进行了研究[2－7]，民用方面主要集中在基于 GPS 星座的 LAAS 系统应用优化方面，军用方面如美国 DoD 提出的 JPALS（joint precision approach and landing system）就是基于 GBAS（地基增强系统），由 Raytheon 开发的最新高精度精密进近着陆系统。国外相关研制机构对其关键技术和核心算法采取技术封锁措施。国内的研究机构主要是北京航空航天大学和中国电子科技集团 20 研究所，但工作侧重点在卫星导航星座布局规划仿真和硬件建设方面。对于民用航空使用北斗系统导航,所需信号的精度、完整性、连续性、可用性分析评估等较少涉及。

本文构建了一个基于 COMPASS 的 GBAS 仿真系统，给出了评估系统指导飞行器精密进近性能的方法。

1 PBN 任务需要 GNSS 及其增强系统

目前世界研发的最新航空运输技术是 PBN[1]。PBN 是 ICAO 整合 RNAV（区域导航）和 RNP（所需导航性能）提出的一种新型运行概念：它将 GNSS 与机载设备结合，为从航路、终端区到进近着陆的所有飞行阶段，提供更为精确、安全的飞行方法和更高效的空中交通管理模式。能有效保证飞行安全,增加空域容量,减少地面导航设施的整体投入。PBN 的主要技术支撑是 GNSS[3]。

GNSS 为包含 1 个或多个星座，能提供定位、测速和授时(PVT)的卫星导航系统，目前有 GPS 和 GLONASS2 个核心星座及其增强系统,能提供

收稿日期：2011－03－05

基金项目：国家自然科学基金项目（60776813；60979018）；国家空中交通管制委员会科研项目（GKG200802015）；江苏省科技成果转化项目（2008063）

作者简介：明朝辉（1978—），男，博士研究生，讲师，研究方向：空中交通管理系统，sunmoon101010@163.com。

引文格式：明朝辉，韩松臣，何运成，等. 基于 COMPASS－G2 的地基增强系统构建与测评［J］. 桂林理工大学学报，2011，31（4）：610－614.

稳定运行支持的星座是 GPS 星座。2011 年，我国“北斗二号”（COMPASS－G2）完成第一阶段组网，预计 2015 年完成第二阶段组网，提供全球导航定位服务。

由于本身设计的原因限制了 GNSS 的性能（表 1），单独的 GNSS 无法完全满足民航飞行在精度、完好性、连续性和可用性上的需求（表 2），必须进行系统的增强才能满足 PBN 的要求。GNSS 外部增强系统包括机载增强系统 ABAS、星基增强系统 SBAS 和地基增强系统 GBAS。文献［1］明确指出：GBAS 可以为 RNAV 和 RNP 运行提供有效的服务，CAAC 将使用 ABAS 和 GBAS 增强系统以满足 PBN 运行要求，而不使用 SBAS。

表 1　GNSS 定位精度（民用）的局限

Table 1　Positioning precision limit of GNSS

信号精度	GLONASS	GPS*（SA 停止后）	GALILEO（前景不明）	BD－2
水平/m	10～15	5～10(95% 置信度)	<10	10～7.5
垂直/m	25	22(95% 置信度)	<15	30
授时/ns	20～30	40(95% 置信度)	20	50

注：＊表示未来可能会有精度下降。

2　COMPASS－GBAS 系统组成和构建

GBAS（ground based augmentation system，地基增强系统）包括空间系统、地面系统和机载系统 3 部分[4]。空间部分包括相关星座，如 GPS、COMPASS－G2 和 GLONASS，地面系统可以提供相关星座增强信息，机载增强系统通常采用多模式接收机（MMR），集成 GBAS 和 ILS 接收机功能。GBAS 系统的基本组成见图 1。

GBAS 地面部分包括位于已知位置的基准接收机和中央处理设备。中央处理设备计算观测到的卫星伪距修正量，同时监控信号完好性和可用性，用 VHF 数据广播（VDB）信息发送给用户。一套 GBAS 设备可以为其所在机场所有跑道端提供服务。GBAS 采用差分技术（DGPS），利用 2 个卫星接收机测量的位置信息（或距离信息）及其他导航信息的相关性能消除大部分卫星钟误差、星历误差及大气延迟误差，提高导航定位精度。它可以满足非精密引进以及Ⅰ、Ⅱ类精密引进着陆要求，是目前先进国家研究开发的最新的飞机着陆系

表 2　美国联邦航空局 FAA 对进行精密进近的导航系统要求

Table 2　FAA requirements for LAAS

LASS Precision Operation	Accuracy(95% 置信度)		Integrity			Continuity	Availability
	Horizontal/m	Vertical/m	Time-to-Alert/s	Alert limit/m	P_{HMI}/Approach	Failure rate	
CAT Ⅰ	16.0	7.7	3	H:40 V:10－15	2×10^{-7}	5×10^{-5}/Approach	0.99～0.999 99
CAT Ⅱ	6.9	2.0	2	H:17.3 V:5.3	2×10^{-9}	4×10^{-6}/15 s	0.99～0.999 99
CAT Ⅲ	6.1	2.0	2	H:15.5 V:5.3	2×10^{-9}	10^{-7}/Last 15 s	0.99～0.999 99

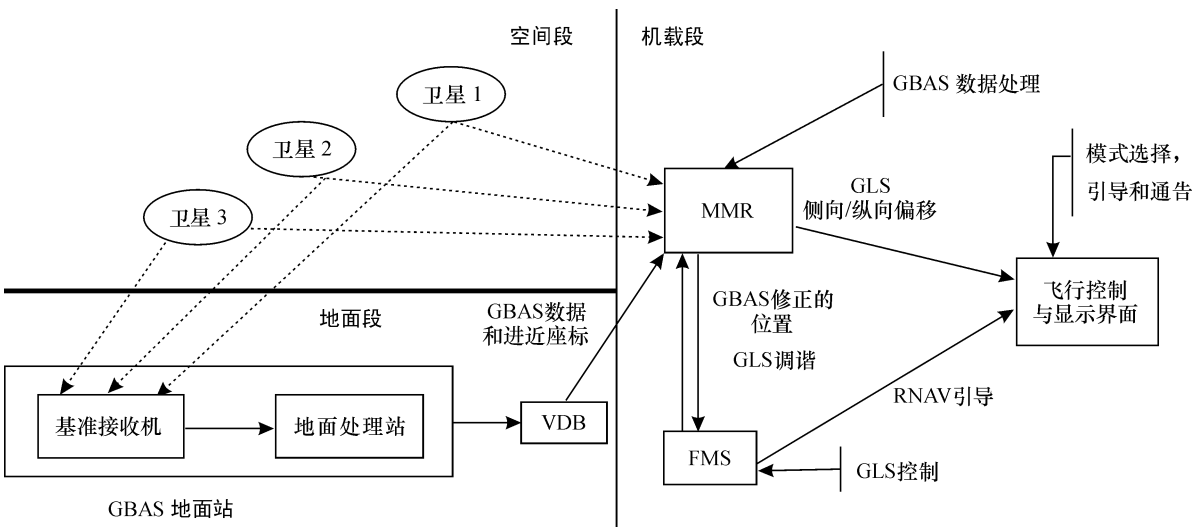


图 1　GBAS 系统基本组成

Fig. 1　Basic components of GBAS

统。其指导飞行器 PBN 飞行的工作流程是：

（1）基准接收机接收信号并计算卫星的位置；

（2）地面处理设施计算出差分校正信息；

（3）地面处理设施将计算结果发送到数据广播电台；

（4）数据广播电台在服务区内发射局域增强信号；

（5）信号经过机载设备处理，将数据发送给飞行管理系统（FMS）引导飞行器飞行。

在 COMPASS－G2 卫星完好性监测工作基础上，机场 GBAS 原型依据 ICAO 和 RTCA[5-6] 的相关标准开发。所建立机场 GBAS 系统能为机场提供 COMPASS－G2 增强信号，为下一步通过数据采集和跑车试验验证信号增强效果作准备。GBAS 系统设计方案见图 2。

系统设计流程：（1）系统实施方案；（2）系统概要设计；（3）概要设计评审；（4）系统详细设计；（5）详细设计评审。软件开发流程：（1）开发；（2）调试；（3）测试；（4）实验室系统测试；（5）实验室系统评估。

3 用于精密进近的终端区 COMPASS－GBAS 综合评估系统

COMPASS－GBAS 构建后，通过分析静止测试、机场跑道跑车试验和机场区域跑车测试 3 种方法所采集的数据来验证信号增强的效果，如：伪距单点定位精度；伪距差分定位精度和载波相位差分定位精度；完好性保护水平 VPL、HPL 值和 VDB 数据信号成功率；得出跑车试验结论，验证系统总体构架、数据流程以及核心算法的正确性。系统跑车试验方案见图 3。

系统地面验证流程：（1）静态测试；（2）跑车试验；（3）数据分析；（4）验证总结。

在差分定位提高 COMPASS 信号精度的基础上，可以建立终端区 GBAS 用于精密进近的着陆评估仿真平台。该平台主要通过增加系列完好性监视算法，提高 COMPASS 及其增强系统的完好性、可用性、连续性指标，使机场 GBAS 覆盖空域范围内的、配置相应机载设备的飞机获得 CAT I 甚至更高精密进近着陆引导标准服务。

基于 GBAS 的着陆系统（GLS）对比传统仪表着陆系统（ILS）：除了满足 ILS 胜任的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类精密进近着陆要求外，还支持 RNP 操作、ADS－B 数据链技术；支持复杂的终端区操作和场面活动应用；能灵活选择进近路径，减少敏感/关键区，为 FMS 提供 PVT（位置、速度、时间）导航方案。

基于 COMPASS 的终端区 GBAS 综合开发平台组成见图 4。

4 飞行验证和验证总结

ICAO GNSS SARPs 中 GBAS 达到 CAT I 类精密进近主要技术指标的要求如下。

（1）精度，水平 <16 m（95% 置信度），垂直 <4 m（95% 置信度）；

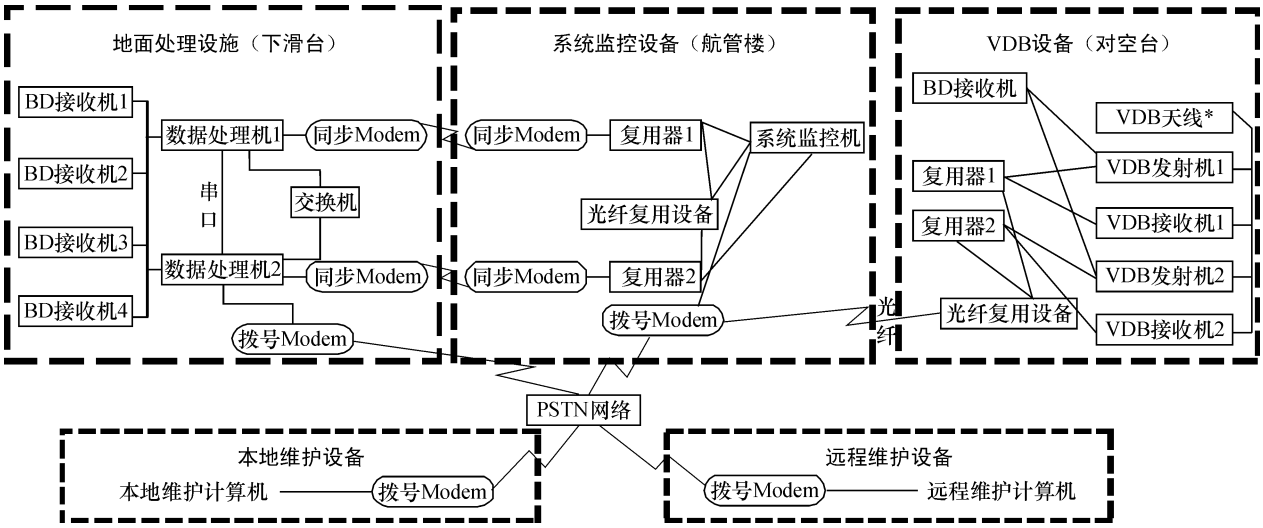


图 2 COMPASS－GBAS 系统设计方案

Fig. 2 Design scheme of COMPASS－GBAS

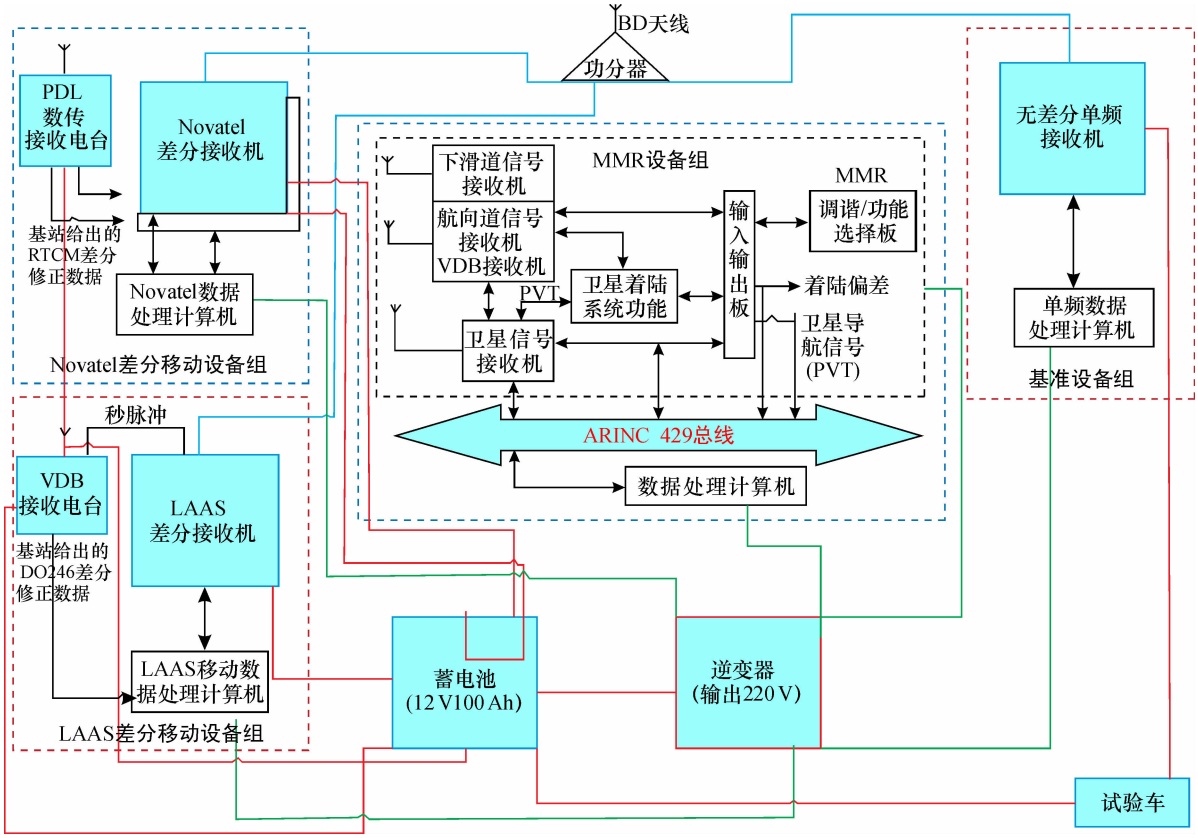


图 3　试验系统装置设计

Fig. 3　Test setting of COMPASS－GBAS

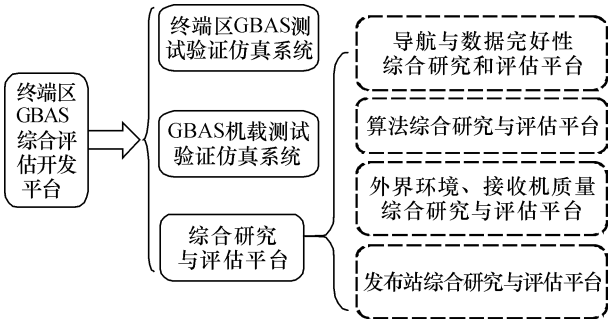


图 4　终端区 GBAS 综合评估开发平台

Fig. 4　Comprehensive evaluation development platform for terminal area GBAS

(2)告警门限,水平 40.0 m,垂直 10.0 m;

(3)完好性风险,$<2\times10^{-7}$,每次进近;

(4)告警延时,<6 s;

(5)最小允许告警概率,10^{-7};

(6)最小检测概率,0.999;

(7)连续性,优于$(1\sim8)\times10^{-6}$/15 s;

(8)可用性,优于 0.99。

在机场 GBAS 地面系统支持下，依据 ICAO 及 FAA 针对 GBAS 飞行试验的有关规定（ICAO：8071；FAA：8200 LAAS）进行飞行试验。验证空地接口、VDB 覆盖范围及场强情况、进近和离场的引导以及地面滑行引导等，以确认数据正确性、信号覆盖和进/离场能力，实现起降引导。特别要考虑航径偏置设计下的引导特例情况[7]。

比对经过差分的机载 MMR 与基准数据源的误差（NSE）在进近全程中的精准度（水平与垂直方向），是否符合跑车试验的测试结果，是否满足 CAT I 类着陆的精度要求，从而最终确定航空器使用中系统的精度和效用[8]。

5　结束语

终端区 COMPASS－GBAS 着陆系统可为我国“大飞机”的研发提供技术储备和支持。系统结合 PBN 飞行程序，可以支持终端区 CAT I 精密进近飞行要求，为改善机场航班进近状况、降低航班延误率、保障飞行安全和提高系统运行效率发挥作用。未来应研究多星座数据协同处理相关技术，提高相关数据的精度，改进 COMPASS 及其增强系统性能。

参考文献:

[1] 中国民用航空局. 中国民航基于性能的导航实施路线图[Z]. 北京: 中国民用航空局, 2009.

[2] RTCA /DO - 217. Minimum Aviation System Performance Standards for DGNSS Instrument Approach System: Special Category I (SCAT - I) [S]. Washington, DC: RTCA, Inc., 1993.

[3] 韩松臣. 新航行系统导论[M]. 南京: 南京航空航天大学出版社, 2007.

[4] Shively C A. Preliminary analysis of requirements for CAT II B LAAS [R]. Washington, DC: FAA, 2001.

[5] RTCA /DO - 245, (SC - 159/WG - 4). Minimum Aviation System Performance Standards for the Local Area Augmentation System (LAAS) [S]. Washington, DC: RTCA, Inc., 1998.

[6] DO - 253A, (SC - 159/ WG - 4A). Minimum Operational Performance Standards for GPS/Local Area Augmentation System Airborne Equipment [S]. Washington, DC: RTCA, Inc., 2001.

[7] Lee Jiyun. LAAS position domain monitor analysis and test results for CAT II/III operations [R]. Long Beach: FAA, 2004.

[8] Werner W, Zink T, Hahn J. Galileo integrity performance assessment, results and recommendations [C] // The Institute of Navigation. ION GPS/GNSS 2002. Portland: The Institute of Navigation, 2002: 2185 - 2195.

Construction and Performance Estimation of COMPASS-G2 Ground Based on Augmentation System

MING Zhao-hui[1,2], HAN Song-chen[1], HE Yun-cheng[1,3], ZHANG Ming[1]

(1. *College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing* 210016, *China*; 2. *Department of Mathematics, Jiangsu Institute of Education, Nanjing* 210013, *China*; 3. *China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Beijing* 100028, *China*)

Abstract: Fundamental design in Global Navigation Satellite System (GNSS) performance limits the Performance-Based Navigation (PBN) implementation. According to China "COMPASS", "HEIGHT PLANE" major R&D projects and Civil Aviation Administration of China (CAAC) PBN roadmap, BEI-DOU (COMPASS - G2) and its Ground Based Augmentation System (GBAS) is the key technology. A COMPASS - GBAS simulation system is constructed and presents the design scheme and program diagram. Validation of signal enhancement effect is analyzed through 3 test-modes collect data. By GBAS in improving signal precision, evaluation system is established to check aircraft Precision Approach (PA) on terminal area. Ground and airspace inspection methods are used to evaluate the performance of GBAS, and is found to work well in automatic control system nationalization of Air Traffic Control, development and improvement COMPASS - GBAS system.

Key words: PBN; COMPASS; GBAS; experiment system; integrity