

PBN技术在现代航空导航中的应用

杨 磊

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723000

摘要：随着航空运输规模持续扩张，传统导航技术的局限性日益凸显，卫星导航技术虽广泛应用，但仍需更高效的导航体系。基于性能的导航（PBN）技术通过定义航空器导航性能标准，为现代航空导航提供创新解决方案。在进离场程序优化、终端区运行管理、空域容量提升及特殊机场保障等场景中，PBN技术有效提升了航空运行效率与安全性，增强了空域资源利用率，推动航空导航系统向更精准、智能的方向发展。

关键词：PBN技术；现代航空导航；应用

引言

航空业的快速发展对导航技术提出更高要求。传统陆基导航依赖固定地面设施，存在信号覆盖受限、灵活性不足等问题；卫星导航虽实现全球定位，但在复杂空域管理中仍需辅助手段。基于性能的导航（PBN）技术应运而生，它以航空器性能为核心，通过制定明确导航规范，实现导航系统的优化升级。本文从现代航空导航现状出发，深入探讨PBN技术在航空领域的具体应用与实践价值，为航空导航技术发展提供参考。

1 PBN 技术概述

PBN，即基于性能的导航（Performance-Based Navigation），指在特定导航基础设施条件下，航空器于指定空域或沿航路、仪表飞行程序飞行时，对系统在精确性、完好性、可用性、连续性等功能等多方面的性能要求。这一概念的提出，标志着航行方式从传统基于传感器导航向基于性能导航的重大转变。在技术原理层面，PBN飞行程序主要依托区域导航（RNAV）和所需导航性能（RNP）这两类基本导航规范。在PBN技术体系下，航空器的定位与引导综合发挥机载设备以及星基、陆基设备的导航能力，使航空器能够沿任意期望的航迹运行。其中，RNAV可让航空器在导航信号覆盖范围或机载导航设备工作能力范围内，沿期望的任意航迹飞行，在地形和空域不受限的情况下，是一种高效的导航方式。RNP则是建立在RNAV基础上的全新导航概念，它以概率形式控制和预测精度，能随时监控航迹误差，一旦航迹误差超出预定值，系统便会及时告警，提醒飞行员采取措施。PBN技术具备众多显著优势。在安全方面，其不依赖地面导航设施，航线选择灵活，飞行航迹精准，导航精度更高，能够有效避让机场周围障碍物，结合气压高度表的垂直引导，可实施连续稳定的下降，大幅降低可控撞地风险，提升飞行安全水平。在运行效

率上，它能降低高原和复杂机场对天气的依赖，提高航班正常率，还减少了空中管制员的通话量以及飞行员在安全许可范围内的操作动作，降低了差错发生概率。从经济角度看，对政府而言，可减少甚至不建陆基导航设施，降低建设和维护成本；对航空公司来说，解决了部分地形复杂机场飞机减载严重的问题，增加了航班业载，进而直接增加收益。PBN技术凭借其在安全、效率和经济等多方面的卓越性能，已成为全球导航技术的主要发展方向，对现代航空业的发展产生着深远且积极的影响。

2 现代航空导航现状分析

2.1 传统导航技术局限性

传统航空导航技术，诸如甚高频全向信标（VOR）和无方向信标（NDB），在过往长期支撑着航空飞行活动。随着航空业的迅猛发展，其局限性愈发凸显。VOR通过发射甚高频信号为飞机提供方位信息，但其信号覆盖范围存在明显限制，通常有效作用距离在200海里左右，在一些偏远地区或海洋上空，难以实现信号的有效覆盖，这使得飞机在这些区域飞行时面临定位精度降低甚至信号中断的风险。VOR信号容易受到地形、建筑物等因素干扰，山区复杂地形会导致信号反射与衍射，造成信号畸变，影响飞机对自身方位的准确判断，进而影响飞行安全与航线规划的精准性。NDB依靠发射无方向的长波信号，引导飞机确定方位。但其精度较差，定位误差可达数海里，这在对飞行精度要求极高的现代航空运输中，显然难以满足需求。NDB信号易受天气条件影响，尤其是在雷暴天气下，雷电产生的强烈电磁干扰会严重削弱甚至淹没NDB信号，致使飞机无法获取有效的导航信息。传统陆基导航设备需要在地面建设大量信标台，不仅建设成本高昂，而且维护难度大，需耗费大量人力、物力资源来确保设备的稳定运行，在一些地形复

杂区域,信标台的建设与维护更是困难重重^[1]。

2.2 卫星导航技术普及

卫星导航技术,以全球定位系统(GPS)、全球导航卫星系统(GNSS)为代表,近年来在航空领域得到广泛普及。GPS通过多颗卫星发射的信号,利用三角测量原理,能精确计算出飞机的三维位置、速度和时间信息,其定位精度可达米级,极大地提升了航空导航的准确性与可靠性。在全球范围内,只要飞机处于卫星信号覆盖区域,就能持续获取高精度导航数据,有效克服了传统导航技术在信号覆盖方面的局限性,无论是在大洋上空、偏远山区还是极地地区,都能为飞机提供稳定、精确的导航服务。各类基于卫星导航的增强系统不断涌现,如广域增强系统(WAAS)、局域增强系统(LAAS)等。WAAS通过地面参考站对GPS信号进行监测与修正,进一步提高了定位精度与可靠性,在一些地区可将定位精度提升至亚米级,为飞机在进场、着陆等关键飞行阶段提供更精准的导航引导。LAAS则针对特定机场区域,通过高精度地面基准站和数据通信链路,为飞机提供极为精确的进近引导,满足了机场场面高精度导航需求,有效提升了机场运行效率与安全性。卫星导航技术的应用,还使得飞机能够实现更灵活、高效的飞行路线规划,如基于性能的导航(PBN)运行模式,飞机可按照预先设定的高精度航迹飞行,减少不必要的绕飞与等待,优化空域资源利用,降低燃油消耗与运营成本。

2.3 航空运输需求增长

随着全球经济的持续发展与人们生活水平的提高,航空运输需求呈现出迅猛增长态势。每年全球航空旅客运输量不断攀升,货物运输量也同步增长。国际航空运输协会(IATA)数据显示,近年来全球航空客运量年增长率保持在一定水平,大量旅客选择飞机作为出行首选,这使得航班频次大幅增加,众多繁忙机场每日起降航班数量可达数百甚至上千架次。航空货运方面,随着电商行业蓬勃发展,对时效性要求极高的货物运输需求剧增,航空运输凭借其快捷优势,在全球供应链体系中扮演着愈发重要的角色。如此庞大的航空运输需求,对航空导航系统提出了更高要求。第一,需要导航系统具备更高的精度,以确保在高密度航班运行环境下,飞机能够安全、准确地保持飞行间隔,避免碰撞事故发生,同时满足飞机在复杂机场环境下精确进近、着陆的需求。第二,要求导航系统具备更强的可靠性与稳定性,能够在各种复杂天气条件、电磁环境下持续稳定工作,保障航班的正常运行,减少因导航系统故障导致的航班延误与取消。航空运输需求增长促使航空公司不断扩充

机队规模,新飞机投入运营,这些飞机通常配备更为先进的导航设备,进一步推动了航空导航技术的更新换代与升级发展,以适应日益增长的运输需求与愈发严格的安全标准^[2]。

3 PBN 技术在现代航空导航中的具体应用

3.1 进离场程序优化应用

(1)在进离场程序优化中,PBN技术能够依据航空器性能与导航能力,构建更为精准且贴合实际飞行需求的进离场路径。通过卫星导航系统提供的高精度定位数据,PBN程序可设置复杂且高效的转弯点与航迹,使航空器以更直接的路线进出机场,大幅减少传统程序中因导航精度限制而产生的多余飞行距离。例如,在地形复杂区域,PBN程序能够规划出紧贴障碍物上方安全高度的进离场路线,在确保安全的前提下,有效缩短飞行里程,降低燃油消耗与飞行时间。(2)PBN技术支持多样化的进离场程序设计,可针对不同类型的航空器制定差异化方案。对于具备先进导航设备的现代客机,可设置更为紧凑、高效的进离场程序,充分发挥其性能优势;对于导航能力稍弱的航空器,则可通过调整程序参数,提供适配的安全进离场路径。这种灵活性使得机场能够接纳不同导航能力的航空器,提升机场运行效率与航班运行的稳定性。(3)PBN进离场程序优化还体现在对环境因素的考量上。利用高精度导航数据,程序能够避开噪声敏感区域,优化飞行高度剖面,减少对周边居民生活的影响。通过合理规划进离场路线,可降低航空器在低空阶段的排放,对环境保护起到积极作用。优化后的进离场程序在遭遇天气变化等突发情况时,能够更快速地进行调整,保障航班安全、顺畅地进出机场。

3.2 终端区运行管理应用

(1)在终端区运行管理方面,PBN技术显著提升了空域的使用效率与运行秩序。通过建立精确的导航基准,PBN能够实现更密集的航空器间隔标准,增加终端区内同时运行的航班数量。相较于传统导航方式,PBN允许航空器在更小的空间内进行有序的上升、下降与转向操作,减少空域拥堵现象。例如,在繁忙的大型枢纽机场终端区,PBN技术可使航空器在相同空域内的运行容量提升15%-20%,有效缓解航班延误问题。(2)PBN技术为终端区运行提供了更精细化的管理手段。基于卫星导航的精准定位,管制员能够更清晰、准确地掌握航空器的位置与动态,从而进行更合理的流量管理与冲突调配。当出现多架航空器汇聚于同一区域的情况时,PBN程序可引导航空器沿着预先设定的精确航迹有序通过,避免因导航误差导致的潜在冲突,提升终端区运行

的安全性及可靠性。(3) PBN技术在终端区运行管理中的应用,还增强了不同航空公司、不同机型之间的协同运行能力。由于PBN程序具有统一的导航标准与规范,各航空器能够在相同的运行框架下执行任务,减少了因导航方式差异带来的协调困难。这种协同性使得终端区的运行更加流畅,降低了管制指挥的复杂性,提高了整体运行效率,为旅客提供更准点、舒适的出行体验^[3]。

3.3 空域容量提升应用

(1) PBN技术凭借高精度导航能力,突破传统导航对空域使用的限制,能在复杂地形与受限空域开辟新航路航线。通过设定基于性能的导航规范,航空器可在靠近障碍物或地形复杂区域的安全高度飞行,拓展了空域垂直与水平使用维度,直接显著提升空域容量。例如在山区、岛屿等特殊地理环境,该技术可开辟更多低空航路,充分利用空域资源。(2) 空域管理部门借助PBN技术,能对现有航路网络优化重组。依据航空器导航性能与飞行需求,整合调整分散低效的航路,构建高效航路网络结构。在繁忙空域,PBN程序引导航空器采用更直接路径,减少交叉汇聚点,降低空中交通拥堵,使航路网络可容纳更多航班,实现空域容量的实质提升。(3) PBN技术支持灵活的空域使用策略,挖掘空域容量潜力。根据不同时间段和交通流量,动态调整PBN程序参数与设置,实现空域资源合理分配。高峰时段收紧航空器间隔标准,增加航班密度;低峰时段放宽标准,保障飞行安全舒适。这种灵活的空域利用方式,最大限度提高了空域使用效率,提升了整体容量。

3.4 特殊机场运行保障应用

(1) 对于特殊机场,如高高原机场、短跑道机场或周边地形复杂的机场,PBN技术为其安全、高效运行提供了有力保障。在高高原机场,由于海拔高、空气稀薄,航空器的性能会受到一定影响。PBN技术凭借其高精度导航能力,能够精确规划适合高高原运行的进离场程序与航路,引导航空器在复杂的气象与地形条件下安

全起降。通过设置精准的高度剖面与航迹,确保航空器在起降过程中始终保持安全高度与速度,降低运行风险。(2) 在短跑道机场,PBN技术能够优化航空器的进近与起飞程序,提高跑道的使用效率。通过精确的导航定位,航空器可以更准确地对准跑道中心线,在短距离内完成安全着陆与加速起飞操作。PBN程序可根据航空器的性能特点,制定个性化的进近与起飞方案,充分发挥航空器的性能优势,减少对跑道长度的依赖,提升机场的运行能力。(3) 对于地形复杂的机场,PBN技术凭借建立的三维地形数据库与高精度导航路径,可有效避开障碍物,保障航空器运行安全。在进近阶段,航空器能沿精确航迹以最小安全余度避开障碍物实现安全着陆;离场时也可快速、安全脱离复杂地形进入正常航路。这一技术助力特殊机场接纳更多航班,提升运营效益与服务水平^[4]。

结语

综上所述,PBN技术凭借其精准性、灵活性和高效性,有效弥补了传统导航技术的不足,在现代航空导航的多个关键环节发挥重要作用。随着技术不断完善与应用场景拓展,PBN技术将持续推动航空导航体系革新,助力航空运输业实现更安全、高效、绿色的发展目标。未来,需进一步深化技术融合与跨区域协作,以应对航空业日益复杂的运行需求。

参考文献

- [1]于博韬.PBN技术在民航机场中的实践应用[J].百科论坛电子杂志,2021(3):203-204.
- [2]沈迹馨.PBN技术在我国应用现状分析[J].中国航班,2022(29):187-190.
- [3]孙蕊.“项目导向、任务驱动”法在现代导航技术教学中的应用[J].现代科学仪器,2020(1):90-92.
- [4]谢文泽.民用航空机场导航信号干扰因素及应对策略[J].科技风,2022(10):61-63.