

航空通信导航干扰因素的分析及解决

叶 萍

天津七六四通信导航技术股份有限公司 天津 300380

摘要: 航空通信导航系统是保障航空安全的核心,但易受多种因素干扰。本文先概述系统组成、关键性能指标及干扰影响路径,接着分类分析自然环境、人为设备、系统内部和管理因素等干扰源。随后提出抗干扰技术优化、频谱管理与监测、设备维护与标准化等解决方案,以及跨部门协同、人员培训与应急演练等管理路径与政策建议,旨在提升系统抗干扰能力,保障航空运行安全。

关键词: 航空通信导航;电磁干扰;信号抑制;抗干扰技术

引言:航空业快速发展,航空通信导航系统的重要性愈发凸显。它如同航空运行的“神经中枢”,为航空器提供通信与导航服务,确保飞行安全有序。然而,该系统在实际运行中面临诸多干扰,这些干扰来源广泛、形式多样,严重影响系统性能,甚至威胁飞行安全。深入分析干扰因素并探寻有效解决策略,成为保障航空通信导航系统稳定运行、推动航空业健康发展的关键所在。

1 航空通信导航系统概述

1.1 系统组成与工作原理

航空通信导航系统是保障航空器安全运行的核心支撑体系,主要由通信子系统、导航子系统、监控子系统及数据处理中心等部分组成。其中,通信子系统负责航空器与地面管制中心、航空器之间的语音和数据传输,采用VHF/UHF频段、卫星通信等多种传输模式;导航子系统通过ILS仪表着陆系统、VOR甚高频全向信标、GPS/北斗卫星导航系统等设备,为航空器提供实时位置、速度、航向等关键导航信息;监控子系统依托雷达、ADS-B自动相关监视技术,实现对航空器运行状态的全程跟踪;数据处理中心则对各类信息进行整合分析,为管制决策提供依据^[1]。其工作原理以“信号发射-传输-接收-解析”为核心链路,地面设备与机载设备协同工作,通过标准化的信号协议建立稳定连接,确保航空器在起飞、巡航、进近、着陆等全飞行阶段获得连续、可靠的通信导航服务,是维系航空运行秩序和安全的生命线。

1.2 关键性能指标

航空通信导航系统的关键性能指标直接决定了运行安全性和可靠性,主要涵盖信号稳定性、传输时延、定位精度、抗干扰裕量、覆盖范围及可用性等核心维度。信号稳定性以信号幅值波动范围、相位抖动程度为评价标准,要求在复杂环境下信号失真度低于5%,确保接收端能准确解析信息;传输时延是保障实时通信导航的关

键,民航空中通信时延需控制在100ms以内,导航信号时延误差不得超过10ms,避免因信息滞后导致管制决策失误;定位精度根据飞行阶段需求不同有所差异,进近着陆阶段定位误差需小于1米,巡航阶段不超过10米;抗干扰裕量反映系统抵御外部干扰的能力,通常要求不低于20dB,确保在干扰环境下仍能维持基本功能;覆盖范围需满足全球或特定航线的连续覆盖需求,无信号盲区;可用性则要求系统全年运行故障率低于0.1%,故障修复时间不超过30分钟,最大限度保障飞行安全。

1.3 干扰对系统的影响路径

干扰对航空通信导航系统的影响通过多条路径渗透,直接威胁系统正常运行。首先是信号传输链路干扰路径,干扰信号通过空间辐射、电磁耦合等方式侵入通信导航信号传输通道,与有用信号叠加,导致信号信噪比下降,出现失真、误码等问题,严重时会造成信号中断;其次是设备硬件干扰路径,干扰信号通过电源接口、信号接口等侵入设备内部,影响射频模块、基带处理模块等核心部件的工作稳定性,可能导致设备性能下降甚至硬件损坏;再者是系统协议干扰路径,恶意干扰信号可能模仿合法信号的协议格式,对系统进行欺骗式干扰,导致接收端解析出错误的导航、通信信息,误导航空器运行;最后是数据处理干扰路径,干扰信号可能影响数据传输的完整性,导致数据处理中心接收错误数据,进而做出错误的管制决策。

2 航空通信导航干扰因素分类分析

2.1 自然环境干扰

自然环境干扰是航空通信导航系统面临的常见外部干扰源,主要源于大气现象、天体活动及地理环境等自然因素。大气中的雷电活动会产生强烈的电磁脉冲,其覆盖频段广、能量强,可通过空间辐射直接干扰通信导航信号,同时雷电击中地面设备或航空器还可能损坏硬

件设备；电离层扰动是另一重要干扰因素，太阳黑子爆发、耀斑等天体活动会导致电离层电子密度异常变化，影响短波通信信号的传输路径和衰减程度，甚至造成信号中断；恶劣天气如暴雨、暴雪、浓雾等会加剧信号的传播损耗，降低信号强度，影响接收端的信号解析能力；复杂地理环境如高山、峡谷、海洋等会导致信号反射、折射，产生多径干扰，使导航信号定位精度下降，通信信号出现回声、失真等问题。自然环境干扰具有突发性、不确定性和覆盖范围广等特点，对系统的实时应对能力提出了较高要求。

2.2 人为设备干扰

人为设备干扰是由人类活动产生的各类电子设备辐射的电磁信号对航空通信导航系统造成的干扰，分为无意干扰和有意干扰两类。无意干扰来源广泛，包括工业设备如高频焊接机、电力变压器，民用电子设备如手机、对讲机、广播电视发射设备，以及其他交通设备如地面车辆通信设备、船舶导航设备等。这些设备工作时可能辐射出与航空通信导航频段相近的电磁信号，通过频率叠加、电磁耦合等方式侵入系统，影响信号质量^[2]。有意干扰则是人为故意发射干扰信号对系统进行破坏，如非法使用的干扰器、恶意破坏的电子设备等，这类干扰针对性强、功率可控，可能对系统造成严重破坏，甚至威胁飞行安全。人为设备干扰具有复杂性、多样性特点，随着电子设备的普及和技术的发展，干扰源数量不断增加，干扰形式也更加多样，给干扰防控带来较大挑战。

2.3 系统内部干扰

系统内部干扰源于航空通信导航系统自身组成部分之间的相互影响，主要包括设备间干扰、线路干扰和软件干扰等类型。设备间干扰是由于系统内部各设备如通信设备、导航设备、监控设备等工作频段相近、辐射功率较大，导致相互产生电磁耦合，例如导航设备的发射信号可能侵入通信设备的接收通道，造成通信信号干扰；线路干扰则是由于传输线路如电缆、光缆等存在阻抗不匹配、屏蔽性能不佳等问题，导致信号在传输过程中出现泄漏、反射，或受到其他线路信号的串扰；软件干扰主要源于系统软件的设计缺陷、程序漏洞或数据冲突，如数据处理算法不完善导致的信息解析错误，不同软件模块之间的接口不兼容导致的信号传输中断等。系统内部干扰具有隐蔽性强、难以排查的特点，其影响会随着系统复杂度的提升而加剧，直接降低系统的整体性能和运行稳定性。

2.4 管理因素干扰

管理因素干扰是由于航空通信导航系统相关管理工

作的不完善或失误导致的系统干扰问题，主要体现在频谱管理、设备管理、运行管理等多个环节。在频谱管理方面，若频谱规划不合理、频段分配重叠，或对违规使用频谱资源的行为监管不力，会导致不同设备之间的频段冲突，产生干扰；设备管理方面，若设备采购不符合标准、安装调试不规范，或缺乏定期的维护保养，会导致设备性能下降、信号辐射异常，进而对系统产生干扰；运行管理方面，若管制人员操作失误、运行流程不规范，或缺乏有效的干扰预警机制，会导致系统在面临干扰时无法及时应对，加剧干扰造成的影响。另外，跨部门协调不畅、管理责任不明确等问题也会导致干扰防控工作出现漏洞，无法形成防控合力。管理因素干扰虽不直接作用于系统硬件和信号，但会通过间接方式影响系统运行，其危害具有长期性和全局性。

3 干扰解决方案与技术路径

3.1 抗干扰技术优化

抗干扰技术优化是提升航空通信导航系统干扰抵御能力的核心技术路径，主要通过信号处理、频段优化、硬件升级等手段实现。在信号处理技术方面，采用自适应滤波技术可实时识别并滤除干扰信号，提升有用信号的信噪比；跳频通信技术通过快速切换通信频段，避免干扰信号的持续影响，增强通信链路的稳定性；扩频通信技术则将有用信号扩展到更宽的频段，降低单位带宽内的信号功率，使干扰信号难以对其造成有效影响。在频段优化方面，合理选择抗干扰能力强的频段，采用频段隔离技术避免不同设备之间的频段冲突，同时积极推进卫星导航频段的保护与优化。在硬件升级方面，提升设备的电磁屏蔽性能，采用抗干扰能力更强的射频模块和基带处理芯片，增强设备对外部干扰的抵御能力。多源融合导航技术通过整合卫星导航、惯性导航、地面导航等多种导航源信息，可在单一导航源受干扰时保障导航精度，进一步提升系统的抗干扰可靠性。

3.2 频谱管理与监测

频谱管理与监测是防控航空通信导航系统干扰的重要保障措施，通过科学规划频谱资源、实时监测频谱使用情况，从源头减少干扰隐患。在频谱管理方面，建立完善的航空专用频谱规划体系，明确航空通信导航系统的专用频段，严格限制其他设备的频段占用，避免频段重叠导致的干扰；推进频谱资源的动态分配技术，根据系统运行需求实时调整频段资源，提高频谱利用效率；加强跨区域、跨部门的频谱协调，建立统一的频谱管理标准，确保频谱资源的规范使用^[3]。在频谱监测方面，构建全域覆盖的频谱监测网络，部署固定监测站、移动监

测设备和空中监测平台,实现对航空通信导航频段的实时监测;采用先进的频谱分析技术,快速识别干扰信号的来源、频率、功率等关键参数,为干扰排查提供精准依据;建立干扰预警机制,当监测到频谱异常时及时发出预警信号,确保相关部门能够快速响应、及时处置,最大限度降低干扰对系统的影响。

3.3 设备维护与标准化

设备维护与标准化是保障航空通信导航系统稳定运行、减少内部干扰的重要举措,贯穿设备全生命周期。在设备维护方面,建立常态化的设备巡检机制,定期对通信导航设备的硬件部件、传输线路、软件系统等进行全面检查,及时发现并修复设备故障、线路老化、软件漏洞等问题;制定科学的设备校准方案,定期对导航设备的定位精度、通信设备的信号传输质量等进行校准,确保设备性能符合标准要求;加强设备的环境适应性维护,针对不同地域的自然环境特点,采取防护措施,避免设备受恶劣天气、地理环境等因素的影响。在标准化建设方面,制定统一的设备采购、安装、调试标准,确保设备质量和安装精度;建立设备接口标准化体系,实现不同设备之间的兼容互通,减少设备间的干扰;完善设备维护流程标准,规范维护操作行为,提高维护工作的专业性和有效性,从根本上降低因设备问题导致的干扰风险。

4 干扰管理路径与政策建议

4.1 跨部门协同机制

建立健全跨部门协同机制是提升航空通信导航干扰管理效能的关键路径,需要整合航空管理、无线电管理、公安、工业和信息化等多个部门的资源与职责,形成干扰防控合力。首先,建立跨部门协调领导小组,明确各部门的职责分工,定期召开协调会议,统筹推进干扰管理工作,解决跨部门的干扰防控难题;其次,构建统一的干扰信息共享平台,实现各部门之间干扰监测数据、干扰处置经验、设备信息等资源的实时共享,提高干扰排查和处置的效率;再次,建立联合执法机制,针对非法使用干扰设备、违规占用频谱资源等行为,开展跨部门联合执法行动,加大执法力度,形成监管震慑;最后,完善跨区域协同机制,加强不同地区相关部门之间的协作,针对跨区域干扰问题开展联合监测、联合处

置,确保干扰管理工作的全域覆盖。

4.2 人员培训与应急演练

加强人员培训与应急演练是提升航空通信导航干扰应对能力的重要保障,可有效提高相关人员的专业素养和应急处置水平。在人员培训方面,制定系统的培训计划,针对管制人员、设备维护人员、频谱监测人员等不同岗位,开展针对性的专业培训,内容涵盖航空通信导航系统原理、干扰识别技术、干扰处置流程、设备操作规范等;采用理论教学与实践操作相结合的培训方式,邀请行业专家进行授课,组织人员参与实际干扰处置案例分析,提升培训效果;建立培训考核机制,定期对培训人员进行考核,确保其具备相应的专业能力^[4]。在应急演练方面,制定完善的干扰应急处置预案,明确应急响应流程、各部门职责、处置措施等;定期组织开展不同类型、不同等级的干扰应急演练,模拟自然环境干扰、人为设备干扰等多种场景,检验应急预案的可行性和有效性;演练结束后及时进行总结评估,分析存在的问题,优化应急处置流程,提升整体应急响应能力,确保在实际干扰发生时能够快速、有效处置,保障航空器运行安全。

结束语

航空通信导航干扰问题复杂且严峻,关乎航空安全与行业发展。通过抗干扰技术优化、频谱管理与监测、设备维护标准化等技术手段,以及跨部门协同、人员培训与应急演练等管理措施,可有效提升系统抗干扰能力。未来,需持续关注干扰新变化,不断完善解决方案与管理机制,为航空通信导航系统稳定运行筑牢根基,推动航空业迈向更高水平的安全与发展。

参考文献

- [1]王小丹.关于航空通信导航频率干扰问题的探讨[J].网络安全技术与应用,2021(05):91-92.
- [2]蔡官文.关于航空通信导航干扰因素的分析及解决办法[J].中国航务周刊,2021(3):58-59.
- [3]刘晔彤,张新博.航空通信导航干扰因素的分析及解决[J].消费电子,2025(16):65-67.
- [4]黄健.信息通信导航频率干扰问题与策略[J].通信电源技术,2020,37(05):230-231.