

航空通信导航干扰因素的分析 and 处理方法

吴 军

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 710072

摘 要: 航空通信导航系统是保障飞行安全与效率的核心支撑。自然环境中的雷电、电离层扰动,电磁环境中的同频干扰、谐波干扰,人为操作失误以及设备老化等因素,均会对系统性能产生不利影响。通过构建多维度监测体系、优化电磁频谱管理、强化人员技能培训及推进设备智能化运维等处理方法,可有效降低干扰风险,提升航空通信导航系统的可靠性与稳定性,为航空运输安全提供坚实保障。

关键词: 航空通信; 导航干扰因素; 处理方法

引言

在民航运输业蓬勃发展的当下,航空通信导航系统的稳定性直接关乎飞行安全与运行效率。然而,复杂多变的自然环境、日益密集的电磁环境、人为操作疏漏及设备性能衰减等问题,给航空通信导航带来诸多挑战。本文基于对航空通信导航系统的深入剖析,系统探讨各类干扰因素作用机理,并针对性提出处理方法,旨在为提升航空通信导航系统抗干扰能力、保障航空运输安全提供理论与实践参考。

1 航空通信导航系统概述

航空通信导航系统作为保障航空器安全、高效运行的核心支撑体系,是现代航空运输不可或缺的关键基础设施。通信系统主要承担着飞机与地面控制中心、飞机与飞机之间的信息交互任务,借助甚高频通信、高频通信、卫星通信等多种技术手段,实现语音与数据的实时传输。甚高频通信凭借其稳定可靠的近距离通信能力,在航空管制指挥中发挥重要作用,机组人员与地面塔台之间的指令传达、飞行状态报告等都依赖这一通信方式;高频通信则利用电离层反射原理,突破距离限制,为远距离飞行的航空器提供通信支持;卫星通信更是借助通信卫星构建起全球覆盖的通信网络,满足跨洋、极地等特殊区域的通信需求,使航空器无论身处何地都能与地面保持紧密联系。导航系统为航空器在复杂空域环境中的精确飞行提供指引,其核心功能是确定飞机的位置、航向、高度等关键飞行参数。仪表着陆系统通过地面发射设备向空中发射信号,引导飞机沿着特定下滑道和航向道安全着陆;全球卫星导航系统,如美国的GPS、中国的北斗等,凭借分布在太空的卫星星座,通过多颗卫星信号的接收与解算,为飞机提供高精度的三维定位信息,在飞行的各个阶段都能辅助飞行员进行航线规划与导航;惯性导航系统则利用陀螺仪和加速度计,通过

对飞机运动状态的持续测量和积分运算,自主推算飞行轨迹,不受外界信号干扰,成为卫星导航的重要补充。航空通信导航系统通过高度集成化、智能化的设计,将通信与导航功能有机融合,不仅实现了对飞机的有效监控与管理,还大幅提升了空域资源利用率和飞行安全性。随着航空技术的不断发展,通信导航系统正朝着更高精度、更强抗干扰能力、更智能化的方向演进,为航空运输业的持续繁荣保驾护航。

2 航空通信导航干扰因素分析

2.1 自然环境因素

自然环境作为航空通信导航系统运行过程中不可控的外部条件,对其性能和稳定性有着多维度的复杂影响。大气电离层的动态变化堪称首要挑战,当太阳活动剧烈时,大量带电粒子轰击电离层,导致电离层电子密度异常升高,引发短波通信信号的严重衰减、相位抖动以及频率偏移,造成通信链路中断或导航定位精度显著下降。例如,在太阳耀斑爆发期间,高频通信频段的信号传输质量会在短时间内急剧恶化,使地面与航空器之间的语音和数据通信受到严重干扰。气象条件也是关键干扰源。雷暴天气中,强烈的对流活动产生的闪电会释放高强度的电磁脉冲,这些脉冲在极短时间内形成宽频带干扰,能够轻易突破通信导航设备的电磁防护屏障,干扰接收机的正常工作,致使信号误码率大幅提升。暴雨、沙尘等恶劣天气会对微波通信产生散射和吸收作用,使得微波信号在传输过程中能量损耗加剧,通信距离和质量受到严重限制。高空大气湍流引起的折射率不均匀分布,会使电波传播路径发生弯曲和扩散,导致通信信号强度波动,影响导航系统的测角和测距精度,增加航空器偏离预定航线的风险^[1]。

2.2 电磁干扰因素

在现代电磁环境日益复杂的背景下,电磁干扰对航

空通信导航系统构成了严峻威胁。随着电子设备的广泛应用,不同频段、不同类型的电磁信号充斥在空中,形成了密集的电磁频谱环境。无意电磁干扰主要来自于各类非航空专用电子设备,如工业、科学和医疗设备,这些设备在运行过程中会产生电磁辐射,当辐射频段与航空通信导航频段重合或相近时,就会形成同频干扰或邻频干扰。例如,某些大功率工业电焊机工作时产生的电磁辐射,会干扰附近机场甚高频通信系统,造成语音通信模糊不清。有意电磁干扰则更具针对性和破坏性,常见于电子对抗场景。敌方通过专用干扰设备发射大功率、宽频带的干扰信号,采用压制式干扰或欺骗式干扰手段,破坏航空通信导航系统的正常工作。压制式干扰通过发射强大的电磁能量,覆盖目标频段,使接收设备的信噪比急剧下降,无法有效接收有用信号;欺骗式干扰则模仿真实信号特征,向航空器发送虚假的导航信息,误导飞行轨迹。复杂电磁环境中,多个干扰源之间还可能产生互调干扰,形成新的干扰频率,进一步加剧电磁干扰的复杂性和危害性,严重影响航空通信导航系统的可靠性和安全性。

2.3 人为因素

人为因素在航空通信导航干扰中扮演着不容忽视的角色,其影响贯穿于系统运行的各个环节。操作失误是较为常见的问题,航空通信导航设备操作流程复杂,涉及众多参数设置和功能切换。若操作人员对设备原理理解不透彻、操作不熟练,在设置通信频率、调整天线方向或校准导航参数时出现错误,就会直接导致通信中断、导航定位偏差等问题。例如,错误设置甚高频通信频率,会使航空器与地面管制部门失去联系,增加空中交通管理的风险。维护不当也是引发干扰的重要原因。通信导航设备需要定期进行维护保养,若维护过程中未严格按照操作规程进行,如未能及时清理设备内部积尘、检查和更换老化部件,可能导致设备性能下降,产生内部电磁干扰。设备安装位置不合理,靠近强电磁辐射源或存在信号反射遮挡,也会因外部环境影响而产生干扰。未经授权的非法操作,如私自改装设备、擅自使用非标准频段的通信设备,不仅会破坏航空通信导航系统的正常秩序,还可能产生有害电磁辐射,干扰其他正常运行的设备,对航空安全构成严重威胁^[2]。

2.4 设备自身因素

航空通信导航设备自身的性能和状态是决定系统可靠性的关键内在因素。硬件故障是引发干扰的直接原因之一,设备内部的电子元器件在长期运行过程中,受温度、湿度、振动等环境因素影响,会逐渐老化、损坏。

例如,接收机前端的低噪声放大器性能下降,会导致信号放大过程中引入过多噪声,降低信噪比,影响信号接收质量;发射机功率放大器的非线性失真,会产生谐波分量,干扰其他频段的通信和导航信号。软件缺陷同样不容忽视,通信导航设备的控制软件和数据处理算法若存在漏洞或错误,可能导致设备运行异常。软件在处理复杂信号或多任务时出现逻辑错误,会使设备无法准确解析和处理通信导航信号,造成数据传输错误、导航解算偏差。设备的抗干扰设计不完善,缺乏有效的电磁屏蔽措施、滤波电路性能不佳或信号处理算法对干扰抑制能力不足,都会使设备在面对外部干扰时难以正常工作。设备的兼容性问题也可能引发干扰,不同厂商生产的通信导航设备在接口协议、信号格式等方面存在差异,若集成使用时未进行充分的兼容性测试和优化,容易产生信号冲突和干扰,影响整个航空通信导航系统的协同工作。

3 航空通信导航干扰处理方法

3.1 加强对自然环境的监测与应对

(1) 构建多维度、高精度的自然环境监测体系是应对航空通信导航干扰的关键。利用气象雷达、电离层探测仪、卫星遥感等设备,实时监测雷暴、太阳耀斑、电离层暴等自然现象。雷暴产生的强电磁脉冲会对通信信号造成剧烈干扰,通过气象雷达对雷暴的路径、强度进行动态追踪,能够提前预判其对航空通信导航的影响范围与程度,使机组提前采取规避措施。(2) 针对太阳活动引发的电离层扰动,部署电离层测高仪、电离层斜向返回散射探测系统,持续监测电离层电子密度、临界频率等参数变化。当太阳耀斑爆发导致电离层出现异常时,依据监测数据及时调整通信频率与调制方式,切换至受影响较小的频段,维持通信链路稳定,避免因电离层异常反射、吸收信号造成通信中断或导航定位误差增大。(3) 建立自然环境与航空通信导航干扰的关联分析模型,整合长期监测数据,运用大数据与人工智能算法,挖掘自然现象与干扰之间的潜在规律,从而实现对干扰事件的精准预测与提前预警,为航空系统的安全运行提供有力保障。

3.2 优化电磁环境管理

(1) 运用频谱监测技术对航空通信导航频段进行全方位、实时监测,通过高灵敏度的频谱分析仪与监测接收机,扫描空域内的电磁信号分布,精准识别干扰源的频率、强度、调制方式等特征参数。对于非法占用航空频段的干扰信号,结合测向定位技术,快速确定干扰源地理位置,采取技术手段进行压制或阻断,保障航空专

用频段的纯净性。(2) 优化机场及周边区域的电磁设备布局, 依据电磁兼容性理论, 合理规划各类无线通信设备、雷达系统、电子设施的安装位置与发射功率。对可能产生互调干扰的设备, 通过频率规划与隔离措施, 避免设备间信号相互串扰。利用电磁仿真软件对设备布局方案进行模拟分析, 评估不同布局下的电磁环境状况, 选取最优方案, 减少电磁干扰隐患。(3) 引入智能电磁环境管理系统, 该系统能够自动采集、分析电磁环境数据, 根据实时监测情况动态调整设备参数, 实现对电磁环境的自适应优化。例如, 当系统检测到某区域存在干扰信号时, 自动控制受影响设备切换至备用频率或调整发射功率, 降低干扰影响, 确保航空通信导航系统在复杂电磁环境下稳定运行^[3]。

3.3 强化人员管理与培训

(1) 选拔具备扎实电子通信、航空导航专业知识基础, 以及较强逻辑分析与应急处理能力的人员从事航空通信导航相关工作。在招聘环节设置严格的专业技能考核与综合能力评估, 确保人员素质符合岗位要求。入职后, 为员工制定个性化的职业发展规划, 明确不同阶段的能力提升目标, 激励员工不断提升专业水平。(2) 开展常态化、系统化的专业技能培训, 培训内容涵盖航空通信导航设备原理、操作规范、故障排查与处理等方面。邀请行业专家进行授课, 结合实际案例讲解干扰处理方法与经验, 组织员工参与模拟干扰场景的实操训练, 使其熟练掌握设备操作与干扰应对技能。定期举办技术交流研讨会, 鼓励员工分享工作中遇到的问题与解决方案, 促进知识共享与技术创新。(3) 建立科学的绩效考核机制, 将干扰处理的效率与质量纳入考核指标, 对在干扰处理工作中表现突出的员工给予物质奖励与精神激励, 对未能达到考核标准的员工进行针对性培训与辅导。通过绩效考核, 激发员工的工作积极性与责任心, 促使员工不断提升自身业务能力, 保障航空通信导航系统的高效运行。

3.4 完善设备维护与更新

(1) 制定全面、细致的设备维护计划, 明确不同类型航空通信导航设备的维护周期、维护内容与维护标

准。对关键设备如甚高频通信电台、全向信标、仪表着陆系统等, 进行定期巡检、清洁、校准与性能测试, 及时发现并修复设备潜在故障与性能衰退问题。建立设备维护档案, 详细记录设备的维护历史、故障情况与处理措施, 为设备管理与维护提供数据支持。(2) 关注航空通信导航技术的发展动态, 及时引入先进的设备与技术。例如, 采用抗干扰性能更强的新一代通信调制技术、具备智能滤波功能的导航接收机等, 提升设备的抗干扰能力。在设备更新过程中, 充分考虑新设备与现有系统的兼容性, 进行严格的测试与验证, 确保新设备的顺利部署与稳定运行, 避免因设备升级带来新的干扰问题。(3) 建立设备故障应急处理机制, 储备必要的备品备件, 组建专业的应急维修团队。当设备出现故障或遭受干扰时, 应急维修团队能够迅速响应, 依据设备维护档案与故障诊断技术, 快速定位故障原因, 更换损坏部件, 恢复设备正常运行。定期对应急处理机制进行演练与评估, 优化处理流程, 提高设备故障与干扰应对的效率与可靠性^[4]。

结语

综上所述, 航空通信导航系统的干扰因素涵盖自然、电磁、人为及设备等多个层面, 各因素相互交织影响系统运行。通过加强自然环境监测、优化电磁环境管理、强化人员管理培训以及完善设备维护更新等处理方法, 能够显著降低干扰风险。未来, 需持续关注技术发展与行业需求变化, 不断探索创新干扰应对策略, 为航空通信导航系统的安全稳定运行筑牢防线。

参考文献

- [1] 辛伟. 浅谈民用航空机场导航信号干扰因素与应对措施[J]. 数字通信世界, 2021(5): 100-101.
- [2] 孙晨阳. 简述航空通信导航无线电干扰及处理[J]. 科学与信息化, 2021(21): 139-140.
- [3] 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.
- [4] 王祝平. 民用航空机场导航信号干扰因素与应对策略[J]. 科海故事博览, 2024(6): 10-12.