

民航空中交通管制通信系统可靠性分析与研究

周 宇

民航西南空管局 四川 成都 610000

摘 要：在民用航空蓬勃发展的当下，空中交通流量持续攀升，航空安全愈发成为重中之重。本文首先概述了该通信系统的组成与架构，接着详细探讨了影响其可靠性的设备、环境和人为等因素，明确了可用性、可靠性函数及平均故障间隔时间等关键可靠性指标。在此基础上，针对性地提出了设备管理与维护、环境优化、人员管理与培训等提高系统可靠性的措施，旨在为民航空中交通管制通信系统的稳定运行提供理论支撑和实践指导，保障民航飞行的安全与顺畅，推动民航事业的持续发展。

关键词：民航空中交通管制；通信系统；可靠性分析；研究

引言：民用航空业的蓬勃发展对空中管制通信系统的可靠性提出了严苛要求。空中管制通信系统作为保障飞行安全、指挥飞机有序运行的关键环节，其稳定性直接关系到民航运输的效率与安全。在复杂多变的航空运行环境中，诸多因素如设备老化、恶劣环境以及人为操作失误等都可能对通信系统的可靠性产生负面影响。因此，深入剖析该系统的可靠性，探究影响因素，并寻求有效的改进措施，对于提升民航整体运行水平、降低安全风险具有至关重要的意义，也是适应民航业高速发展的必然需求。

1 民航空中交通管制通信系统概述

民航空中交通管制通信系统是保障民航飞行安全与秩序的关键基础设施，涵盖多种通信技术手段。其中，甚高频通信系统凭借其在118.00MHz-136.975MHz频段的稳定信号和相对较短的通信距离（约200-300公里），成为机场终端区和低空飞行区域管制通信的主力军，实现飞机与塔台、进近管制间的高效沟通。高频通信系统工作于2MHz-30MHz频段，虽通信距离远，能满足远程和跨洋飞行需求，但易受电离层及太阳活动干扰，通信质量稳定性欠佳。卫星通信系统借助人造地球卫星作为中继站，具有覆盖广、不受地理条件限制的优势，为偏远地区飞行提供可靠通信保障。

2 影响民航空中交通管制通信系统可靠性的因素

2.1 设备因素

2.1.1 设备老化

随着使用时间的增长，民航空中交通管制通信设备会出现老化现象。电子元件性能逐渐衰退，如电阻、电容的参数发生变化，影响电路的稳定性。机械部件磨损，像通信设备的散热风扇、传动装置等，降低设备的散热效率和运行精度。这不仅导致信号传输质量下降，还会增加设备的故障率，严重威胁通信系统的可靠性，

是不可忽视的重要因素^[1]。

2.1.2 设备故障

设备故障是影响通信系统可靠性的关键因素之一。通信设备的硬件可能出现多种故障，例如甚高频电台的发射模块损坏，无法正常发送信号；卫星通信天线的指向机构故障，导致信号接收不稳定。软件方面，通信协议栈的漏洞、操作系统的崩溃等问题也时有发生。这些故障会造成通信中断、数据丢失或传输错误，直接影响空中管制员与飞行员之间的信息交互，对飞行安全构成极大风险。

2.1.3 设备的兼容性

在民航空中交通管制通信系统中，设备的兼容性问题较为突出。不同厂家生产的通信设备，其硬件接口、通信协议和数据格式往往存在差异。当这些设备组合在一起使用时，可能出现连接不稳定、数据传输错误等情况。例如，新购置的通信终端与现有的通信网络设备不兼容，导致信息无法准确、及时地传输，进而影响整个通信系统的协同工作能力，降低系统可靠性，增加运行风险和维护成本。

2.2 环境因素

2.2.1 电磁干扰

机场及周边区域存在大量电磁源，如雷达、通信基站等，这些设备产生的电磁信号会对管制通信系统形成干扰。强电磁干扰可能致使通信信号出现误码、失真甚至中断，严重影响通信质量与稳定性。例如，在飞机起降阶段，众多电子设备同时运行，电磁环境复杂，通信系统极易受到干扰，使得管制员与飞行员之间的指令传递受阻，危及飞行安全，成为影响系统可靠性的关键环境因素之一。

2.2.2 气象条件

气象条件对民航空中交通管制通信系统可靠性影响

显著。恶劣天气如暴雨、暴雪、沙尘等会削弱通信信号强度,增加信号传输的衰减和散射。雷电天气可能引发电磁脉冲,直接损坏通信设备。大雾天气会降低微波通信的可见度,影响通信链路的稳定性。此外,极端气温变化也可能导致设备性能异常,如高温使设备散热困难,低温造成电子元件参数漂移,从而影响通信系统正常运行,降低其可靠性。

2.2.3 地理环境

地理环境因素给民航空中交通管制通信系统带来诸多挑战。山区地形可能阻挡通信信号的传播,形成信号盲区,导致通信中断或质量下降。在海洋、沙漠等偏远地区,通信基础设施建设难度大,信号覆盖范围有限且稳定性差。同时,地理环境中的矿物质分布等因素还可能影响地波通信的效果。

2.3 人为因素

2.3.1 操作失误

管制员和通信技术人员在日常工作中的操作失误对通信系统可靠性影响显著。例如,管制员在繁忙时段可能因误调通信频率,致使飞行员接收不到正确指令,引发飞行混乱。通信技术人员在设备维护或故障排查时,若操作不当,可能损坏设备部件,影响设备正常运行,进而破坏通信系统的稳定性。

2.3.2 人员培训不足

人员培训不足严重制约着民航空中交通管制通信系统的可靠性提升。部分工作人员对新型通信设备的操作流程和技术原理掌握不够,无法充分发挥设备性能,也难以在设备出现故障时进行快速有效的诊断和修复。在面对复杂通信环境和突发状况时,缺乏足够培训的人员可能会应对失措,做出错误决策,延误通信恢复时间,从而增加了通信系统出现故障和不稳定情况的风险,给飞行安全带来潜在威胁。

2.3.3 安全意识缺乏

安全意识缺乏是人为因素中不容忽视的一点。一些工作人员未能充分认识到民航空中交通管制通信系统可靠性的重要性,在工作中抱有侥幸心理,忽视安全规范和操作流程。如不按时对通信设备进行巡检,对设备的轻微故障隐患未及时报告和处理。在通信过程中,也可能因为注意力不集中,导致信息传递错误或遗漏。

3 民航空中交通管制通信系统可靠性指标

3.1 可用性

3.1.1 定义与计算方法

可用性指民航空中交通管制通信系统在特定条件和时间内正常运行并能提供服务的能力。计算方法通常是系

统正常运行时间与总运行时间的比值,例如一个月内系统运行总时长为720小时,故障停机时间为20小时,可用性则为 $(720-20) \div 720 \approx 0.972$ 。这一数值越高,表明系统能更稳定地投入使用,为管制工作提供持续通信保障,涵盖设备、链路及软件等综合运行情况的量化反映^[2]。

3.1.2 在民航空管中的重要性

在民航空管领域,可用性至关重要。空中交通依赖管制员与飞行员间准确及时的通信,高可用性确保通信顺畅,减少指令传达延误与错误,避免飞行冲突和事故风险。例如在繁忙机场高峰时段,系统可用性低将致通信中断,航班起降秩序混乱。高可用性有助于维持航空运输高效运转,增强公众对民航安全的信心,是保障飞行安全与正常运行不可或缺的关键指标,对整个民航系统稳定意义重大。

3.2 可靠性函数

3.2.1 可靠性函数的概念

可靠性函数是用于描述民航空中交通管制通信系统在规定条件下,随时间推移完成规定功能的概率变化的数学表达式,记为 $R(t)$ 。它以时间为变量,起始于系统投入运行时刻,综合考虑设备老化、环境影响、维护措施等因素,呈现出系统正常运行概率的动态变化过程。比如,通过对设备历史故障数据和运行时长的统计分析,构建出符合其特性的可靠性函数模型,以此量化评估系统在不同时刻的可靠程度。

3.2.2 与系统可靠性的关系

可靠性函数与民航空中交通管制通信系统可靠性紧密相连。它直观地反映了系统可靠性随时间的变化趋势,是系统可靠性的量化体现。当可靠性函数曲线较为平稳且数值较高时,表明系统在相应时间段内可靠性强,故障发生概率低;反之,曲线下降则意味着可靠性降低,需采取维护或更新措施。

3.3 平均故障间隔时间(MTBF)

3.3.1 计算与意义

平均故障间隔时间(MTBF)的计算是将系统在一定时期内总的运行时间除以故障次数。例如,系统运行5000小时,发生5次故障,MTBF即为1000小时。其意义重大,MTBF越长,表明系统的稳定性越高,故障发生的频率越低。在民航空中交通管制通信系统中,高MTBF可减少通信中断风险,保障管制指令的持续传递,提升飞行安全性和运营效率,为航空运输的顺畅进行提供有力支撑。

4 提高民航空中交通管制通信系统可靠性的措施

4.1 设备管理与维护

4.1.1 设备选型与更新

在设备选型方面,应优先选择具有高可靠性、稳定性且符合国际民航标准的通信设备,参考其他先进民航机构的应用经验和设备口碑,对不同厂家产品进行对比评估。同时,要结合民航发展趋势考虑设备的可扩展性和兼容性。对于更新设备,需依据技术发展和设备老化情况制定合理计划,及时淘汰老旧、故障频发的设备,引入新技术设备,如新型甚高频电台,提升通信系统性能和可靠性,保障航空通信需求。

4.1.2 设备维护计划

制定完善的设备维护计划至关重要。需明确维护周期,例如对关键通信设备每月进行一次全面巡检,包括硬件性能检测、软件系统更新等。定期清洁设备,防止灰尘积累影响散热和电气性能;检查连接线缆是否松动,确保信号传输稳定。根据设备使用时长和故障历史,合理安排部件更换计划,提前储备易损部件,在故障发生时能迅速更换,缩短停机时间,保障通信系统持续稳定运行。

4.1.3 设备冗余设计

设备冗余设计是提升可靠性的有效手段。针对关键通信设备,如塔台使用的甚高频通信设备,采用主备冗余配置,当主设备出现故障时,备份设备能迅速自动切换投入使用,确保通信不中断。在传输线路上,设置多条不同路径的线缆或采用多种传输方式(如有线与无线结合),避免因单一线路故障导致通信受阻。通过冗余设计,降低了系统因单点故障而失效的风险,增强了整个通信系统在复杂运行环境下的可靠性和稳定性。

4.2 环境优化

4.2.1 电磁干扰防护

在机场及周边区域,通过合理布局电磁设备,增大不同设备间的间距,减少相互干扰。对通信设备采用屏蔽技术,如安装金属屏蔽罩,阻挡外界电磁信号侵入;优化接地系统,降低接地电阻,使设备外壳电位稳定,有效消散电磁能量。同时,利用滤波器对电源线和信号线进行滤波处理,抑制传导干扰,确保通信系统在复杂电磁环境下稳定运行,保障通信信号的质量与完整性。

4.2.2 气象与地理环境应对

在气象方面,对于易受暴雨、沙尘等影响的通信设施,加强防护外壳建设,提高防水、防尘能力;在雷电多发区,安装性能优良的防雷装置,防止设备遭受雷击损坏。地理环境上,对于山区等信号遮挡区域,合理增设信号中继站,优化信号传输路径;在偏远地区,采用卫星通信等不受地理限制的通信方式作为补充,保障通信的连续性和稳定性,克服自然环境对通信系统的不利影响。

4.3 人员管理与培训

4.3.1 人员操作规范

建立严格的人员操作规范是保障民航空中交通管制通信系统可靠性的基础。明确规定管制员与通信技术人员在设备操作、参数设置、通信流程等方面的标准步骤,例如要求管制员在切换通信频率时必须进行二次确认,防止误操作。制定详细的设备操作规程手册,并定期组织人员学习与考核,确保每位工作人员在日常工作中严格遵循规范,减少因人为操作不当引发的通信故障,提升系统运行的稳定性与可靠性。

4.3.2 人员培训体系建设

构建完善的人员培训体系至关重要。针对新入职员工开展入职培训,涵盖通信系统基础知识、设备原理等内容;为在职人员提供定期的技能提升培训,如新型通信技术应用、复杂故障排查维修等课程;同时组织模拟应急演练培训,提升人员在突发情况下的应对能力。培训方式应多样化,包括理论授课、实际操作演示、在线学习等,通过持续培训,不断提升人员专业素养,使其能更好地维护和操作通信系统,保障其可靠运行。

4.3.3 安全意识培养

通过定期开展安全知识讲座、案例分析研讨会等活动,向工作人员深入剖析通信系统故障引发的航空安全事故,使其深刻认识到自身工作对飞行安全的重大影响,树立牢固的安全责任意识。在日常工作中,营造严谨的安全文化氛围,鼓励员工相互监督、及时纠正不安全行为,将安全意识融入到每一个操作环节,从思想根源上保障民航空中交通管制通信系统的可靠性,降低人为因素导致的安全风险^[3]。

结束语

综上所述,民航空中交通管制通信系统的可靠性是保障民航安全与高效运行的关键所在。通过对系统组成、影响可靠性因素以及相关指标的深入分析,我们明确了提升其可靠性的方向和重点。从设备的精细管理维护、环境的优化改善,到人员的科学管理培训,每一个环节都紧密相扣。

参考文献

- [1]李健涛,朱灿杰,陈学伟,陈涛,赵忠凯.基于ADS-B信号的非合作空中飞行器监视系统[J].科技创新,2020,(27):79-80.
- [2]负恒.空中交通管制中卫星语音通信的应用[J].科技视界,2020,(17):156-157.
- [3]杨挺.我国空中管制现状及国际先进空管体系的应用[J].科技风,2019,(19):226-227.