

民航通信导航监视系统可靠性提升路径研究

叶 萍

天津七六四通信导航技术股份有限公司 天津 300380

摘要: 本文聚焦民航通信导航监视系统可靠性提升路径。先阐述系统组成、功能及可靠性核心指标,接着从技术、管理、风险控制三方面提出提升路径。技术上涵盖设备冗余、智能化监测等;管理上包括全生命周期管理、人员能力建设等;风险控制上有风险识别评估、缓解策略等。旨在为提升系统可靠性提供全面参考,保障民航运输安全高效运行。

关键词: 民航通信导航监视; 系统可靠性; 风险管控

引言: 民航通信导航监视系统作为保障航班安全高效运行的核心基础设施,其可靠性至关重要。该系统由通信、导航、监视三大子系统构成,各模块协同为航空运行提供全方位技术支撑。然而,复杂运行环境与多样化需求给系统可靠性带来挑战。因此,深入研究系统可靠性提升路径,对保障民航运输安全、提升运行效率、推动民航事业持续发展具有重大现实意义。

1 民航通信导航监视系统可靠性理论基础

1.1 系统组成与功能分析

民航通信导航监视系统是保障航班安全高效运行的核心基础设施,主要由通信子系统、导航子系统和监视子系统三大模块组成,各模块协同配合实现全流程航空运行保障。通信子系统涵盖地空通信、地地通信等核心组件,负责机组与空管、空管各部门间的语音及数据信息传输,是指令传达和状态反馈的关键载体;导航子系统包含仪表着陆系统、甚高频全向信标、卫星导航接收设备等,为航班提供起飞、巡航、进近、着陆全阶段的精确位置与航向指引;监视子系统以二次雷达、自动相关监视系统为核心,实时捕捉航班位置、速度、高度等动态信息,支撑空管部门实施空域交通管制^[1]。该系统的核心功能是构建稳定、精准、高效的航空运行保障链路,确保空域资源合理利用,防范空中交通冲突,为航班安全起降和顺畅运行提供全方位技术支撑,是民航运输体系安全防线的重要基石。

1.2 可靠性核心指标

民航通信导航监视系统可靠性核心指标是衡量系统运行稳定性与保障能力的关键标尺,主要涵盖平均无故障工作时间、平均修复时间、可用性、可靠度及故障率等核心参数。平均无故障工作时间(MTBF)反映系统在规定条件下持续稳定运行的能力,是评估设备耐久性的核心指标,行业内核心设备通常要求MTBF不低于10000小时;平均修复时间(MTTR)衡量系统故障后恢复正常

运行的效率,直接影响航班运行中断时长,优质运维体系可将关键设备MTTR控制在30分钟以内。可用性即系统正常运行时间占总运行时间的比例,民航核心系统要求可用性不低于99.99%;可靠度指系统在规定时间内完成规定功能的概率,需结合航班运行全场景动态评估;故障率则反映单位时间内系统发生故障的概率,是预判系统运行风险的重要依据。这些指标相互关联,共同构成系统可靠性的综合评估体系,为系统优化提供量化依据。

2 民航通信导航监视系统可靠性提升的技术路径

2.1 设备冗余与容错设计

设备冗余与容错设计是提升民航通信导航监视系统可靠性的核心技术手段,通过构建多备份架构与故障自动切换机制,降低单点故障对系统整体运行的影响。在核心设备层面,采用“主用+备用+冗余”三级备份模式,对通信电台、雷达收发设备、卫星导航接收模块等关键设备配置冗余单元,确保主用设备故障时,备用设备可在毫秒级完成切换,保障服务不中断。在系统架构层面,实施链路冗余设计,地空通信链路采用甚高频(VHF)与卫星通信双链路备份,导航信号传输采用多路径路由设计,避免单一链路中断导致的功能失效。同时融入容错设计理念,通过硬件电路容错(如容错芯片、冗余电源)与软件容错(如程序异常捕获、数据校验纠错)相结合的方式,提升系统对局部故障的容忍能力。冗余与容错设计需基于系统负载特性精准配置,既要避免资源浪费,又要确保备份设备与主用设备的同步性,实现系统可靠性与运行效率的平衡。

2.2 智能化监测与故障预测

智能化监测与故障预测技术通过整合物联网、大数据、人工智能等先进技术,实现对民航通信导航监视系统运行状态的全时段、全维度感知与故障预判,打破传统“事后维修”的被动模式。在监测层面,构建分布式监测网络,在核心设备、传输链路、关键节点部署传感

器与数据采集终端,实时采集设备运行参数(如电压、电流、温度)、信号质量(如信噪比、误码率)、链路传输速率等数据,通过边缘计算节点实现数据的实时预处理与异常筛选^[2]。在故障预测层面,基于大数据分析构建故障预测模型,利用历史运行数据、故障案例数据训练模型,精准识别设备性能衰减规律,提前预判潜在故障类型、发生时间及影响范围。搭建智能化预警平台,当监测数据超出阈值或模型预测到故障风险时,自动触发分级预警,推送故障处置建议。该技术可将故障处置从“事后修复”转变为“事前预防”,大幅缩短故障影响时长,提升系统运行的稳定性与可控性。

2.3 抗干扰与网络安全技术

抗干扰与网络安全技术是保障民航通信导航监视系统可靠性的关键支撑,针对系统运行中面临的电磁干扰与网络攻击风险,构建全方位防护体系。在抗干扰技术方面,采用频率捷变技术,使通信、导航设备可根据周边电磁环境动态切换工作频率,规避干扰信号;通过信号滤波、放大与屏蔽技术,提升有用信号的抗干扰能力,减少杂波对信号传输精度的影响;针对卫星导航信号易受干扰的问题,部署抗干扰天线与信号验证系统,确保导航信号的真实性和稳定性。在网络安全技术方面,构建分层防护架构,采用防火墙、入侵检测与防御系统(IDS/IPS)阻断非法访问;实施数据加密技术,对传输数据与存储数据进行加密处理,防范数据泄露与篡改;建立安全漏洞扫描与修复机制,定期对系统软硬件进行漏洞排查,及时修补安全隐患。同时强化网络边界防护,严格划分网络安全域,规范数据访问权限,形成“主动防御+被动防护”相结合的网络安全保障体系,抵御各类网络安全威胁。

3 民航通信导航监视系统可靠性提升的管理路径

3.1 全生命周期管理优化

全生命周期管理优化对于提升民航通信导航监视系统的整体可靠性意义重大,它通过全面整合系统从规划到报废全阶段的管理流程,精心构建起一个闭环管理体系。在规划设计阶段,需紧密结合民航运输的当下发展需求以及未来技术发展趋势,深入开展可靠性需求分析。将明确的可靠性指标巧妙融入设计方案之中,并组织专业力量对方案进行全面且细致的可行性与可靠性评审,确保方案既符合实际又具备高可靠性。采购阶段,要建立一套严格且完善的设备选型与供应商评估机制。优先挑选那些资质齐全、技术成熟且在可靠性方面口碑良好的产品,同时强化设备进场检验环节,从源头上保障设备质量。建设阶段,必须严格遵循施工规范,加强对施工质

量的全方位管控,并做好阶段性验收工作,保证系统安装调试精准无误地符合设计要求^[3]。运维阶段实施精细化管理,建立详尽的设备运行档案,定期开展预防性维护、定期检修与状态检修,及时发现并处置潜在故障。报废阶段制定科学的设备淘汰标准,对性能衰减、无法满足运行需求的设备进行规范报废与更新。

3.2 人员能力建设与标准化操作

人员能力建设与标准化操作是提升民航通信导航监视系统可靠性的核心管理保障,通过提升运维、操作及管理团队专业能力,规范操作流程,减少人为因素导致的故障。在人员能力建设方面,建立分层分类培训体系,针对运维人员开展设备原理、故障处置、智能化监测系统操作等专项培训,针对管理人员开展可靠性管理理念、全生命周期管理方法等培训;定期组织技能竞赛、应急演练,模拟各类故障场景,提升人员应急处置能力;建立资质认证与考核机制,将考核结果与岗位聘任、绩效评价挂钩,倒逼人员提升专业能力。在标准化操作方面,制定覆盖设备操作、维护检修、故障处置、数据记录等全流程的标准化手册,明确操作流程、技术要求与安全规范;强化标准化执行监督,通过视频监控、现场检查等方式,及时纠正不规范操作行为;建立操作失误追溯机制,分析失误原因,优化培训与标准化体系。通过人员能力提升与标准化操作落地,减少人为失误,保障系统稳定运行。

3.3 协同运维机制

协同运维机制通过打破民航通信导航监视系统运维过程中的部门壁垒、区域壁垒与政企壁垒,构建多方协同、高效联动的运维体系,提升故障处置效率与系统可靠性。在内部协同方面,整合空管、机场、航空公司等内部相关部门运维资源,建立常态化沟通协调机制,明确各部门运维职责与协同流程,针对跨部门的系统故障,开展联合处置;搭建内部协同运维平台,实现运维数据共享、故障信息互通与处置指令协同。在外部协同方面,加强与设备供应商、技术服务机构的合作,建立供应商驻场服务机制,确保关键设备故障时可获得及时的技术支持;深化与科研院校的协同,推动运维技术创新与成果转化。建立跨区域协同运维机制,针对跨区域运行的通信导航监视系统,加强区域间运维资源调配与技术协作,形成“内部联动、外部协同、跨区互助”的协同运维格局,提升系统运维的整体效能。

4 可靠性提升的风险控制路径

4.1 风险识别与评估模型

风险识别与评估模型是民航通信导航监视系统可靠

性提升风险控制的基础,通过系统梳理潜在风险,量化风险等级,为风险处置提供精准依据。在风险识别方面,采用文献研究、故障树分析(FTA)、事件树分析(ETA)等方法,结合系统运行历史数据、故障案例与行业经验,全面识别设备故障风险、技术升级风险、运维操作风险、外部干扰风险、网络安全风险等各类潜在风险,建立风险清单,明确风险触发条件与影响范围。在评估模型构建方面,采用定性定量相结合的方法,构建多维度评估指标体系,指标涵盖风险发生概率、影响程度、处置难度等核心要素;基于层次分析法(AHP)、模糊综合评价法等构建评估模型,对各类风险进行量化评分,划分高、中、低三个风险等级。同时,建立风险动态识别与评估机制,定期更新风险清单与评估模型,结合系统运行状态变化、技术升级、环境变化等因素,实时调整风险评估结果,确保风险识别与评估的全面性、准确性。

4.2 风险缓解策略

风险缓解策略针对风险识别与评估得出的各类风险,结合风险等级与影响范围,制定差异化、针对性的处置措施,降低风险发生概率与影响程度。对于高等级风险(如核心设备故障、重大网络攻击),采取规避与强化防护策略,通过冗余备份、强化安全防护、定期全面检修等方式,从源头降低风险发生概率;建立应急处置预案,明确处置流程、责任人员与资源保障,确保风险发生时可快速响应、有效控制。对于中等级风险(如一般电磁干扰、轻微操作失误),采取控制与优化策略,通过规范操作流程、加强监测预警、优化设备运行环境等方式,控制风险发展态势;建立风险跟踪机制,实时监控风险变化,及时调整处置措施。对于低等级风险(如设备轻微性能衰减、环境小幅波动),采取监测与容忍策略,定期开展风险排查,无需过度干预,避免资源浪费。风险缓解策略需注重灵活性与针对性,根据风险动态变化及时调整。

4.3 动态监管与持续改进

动态监管与持续改进通过构建实时、精准的监管体系,持续跟踪系统可靠性提升效果与风险变化,形成“监

管—评估—优化”的闭环改进机制。在动态监管方面,搭建一体化监管平台,整合系统运行数据、故障处置数据、风险评估数据等多维度信息,实时监控系统运行状态、风险处置进度与可靠性指标变化;建立分级监管机制,针对高风险环节与核心设备实施重点监管,加大监管频次与力度;引入智能化监管技术,通过大数据分析 with 人工智能算法,自动识别监管异常,推送监管预警信息^[4]。在持续改进方面,定期开展可靠性提升效果评估,结合监管数据、运行反馈与行业技术发展趋势,分析现有技术路径、管理路径与风险控制路径的不足;建立改进建议收集与落地机制,广泛收集运维人员、技术专家、设备供应商等多方建议,制定改进方案,明确改进目标、责任主体与完成时限;跟踪改进方案落地效果,将改进成果固化为管理制度或技术标准,持续提升系统可靠性。动态监管与持续改进是保障可靠性提升长效性的关键,确保系统适应不断变化的运行环境与发展需求。

结束语

民航通信导航监视系统可靠性的提升是一项长期且系统的工程。通过技术路径的创新应用、管理路径的优化完善以及风险控制路径的有效实施,可显著增强系统的稳定性与保障能力。未来,需持续关注行业技术发展动态,不断优化提升路径,适应民航运输日益增长的需求,为构建安全、高效、智能的民航运输体系提供坚实的技术与管理支撑。

参考文献

- [1]李清栋,叶家全,魏童.中国民航空中导航系统及设施综述和展望[J].无线电工程,2024,54(05):1183-1196.
- [2]谢亚雄,刘畅,余海蓉,陈小尘,吴容,魏庆.民航西南空管XY导航台雷击风险分析研究[J].科技与创新,2022,(23):12-14+17.
- [3]吴昊.如何提高民航通信导航监视系统可靠性[J].通讯世界,2020,27(2):54-55.
- [4]王梦琦,谢春近.浅析提升民航通信导航监视系统的可靠性路径[J].中国设备工程,2024(20):111-113.