

通信导航设备日常维护技术研究

吴东蓄

93108 部队, 黑龙江 161007

摘要: 通信导航设备是保证民航飞行安全和空管运行的基础设施, 运行可靠性很大程度上取决于科学规范的日常维护。本文从设备维护的基础理论出发, 对甚高频通信、仪表着陆系统、全向信标、测距设备等关键设备的维护特性进行分析, 对巡检测试、故障诊断、环境保障等核心技术环节进行梳理, 提出基于状态监测和预防性维护相结合的设备管理策略, 提出维护质量闭环控制和备件管理的优化路径, 为提高通信导航设备运行保障能力提供技术参考。

关键词: 通信导航设备; 日常维护; 故障诊断

0 引言

通信导航设备长期处于不间断运行状态, 设备性能缓慢劣化如果不能及时发现和处理, 会演变为影响空管安全的运行隐患。日常维护属于设备全寿命周期管理的基础部分, 科学化水平直接影响故障出现率和设备可用率。传统经验式维护模式在设备集成度越来越高、电磁环境越来越复杂的背景下已经不能满足要求, 必须建立以标准规范、状态数据为基础的系统化维护技术体系。本文从维护基础、巡检测试、故障处置、管理优化四个方面展开研究, 以期给通信导航设备日常维护提供技术参考。

1 通信导航设备维护的基本范畴与技术要求

1.1 设备类型与维护特点

通信导航设备包含甚高频地空通信系统、仪表着陆系统、全向信标与测距设备、二次雷达等, 各个设备的功能定位和运行环境存在较大差别, 其维护特点也各不相同。甚高频通信设备以收发信机为主, 维护重点是射频功率、接收灵敏度、驻波比、音频信号质量的定期测试和校准。仪表着陆系统对于航向道和下滑道波束的完整性要求很高, 航向信标天线阵的幅相一致性、下滑信标反射面的平整度等都会被当作维护检查的重点。全向信标和测距设备的维护主要是对方位误差进行监测、对应答延时进行测试、对识别信号的有效性进行验证。各种设备的功能不同, 但是维护工作都遵循周期性检测、预防性更换和故障后修复相结合的共同逻辑框架。

1.2 维护标准与技术规范

通信导航设备日常维护要严格按照国际民航组织、民航局颁布的技术标准和管理规定执行。维护规程对日巡视、周检查、月度测试、季度校验的内容及合格标准做了规定。甚高频

收发信机日检项目一般包括工作信道监听、面板指示灯状态确认、发射功率快速检测; 月检则用综合测试仪测量发射机载波功率、调制指数、接收机灵敏度等定量指标, 逐项记录并与基准值比较, 偏差超过容限时启动深度检修。技术规范的刚性约束保证了维护工作标准化的执行, 防止由于人员不同造成的质量波动。

2 日常巡检与预防性维护技术

2.1 巡检内容与执行规范

日常巡检是设备状态感知的第一道防线, 执行质量的好坏直接影响到隐患的发现是否及时。巡检内容有设备面板状态巡视、机房环境参数记录、线缆连接紧固性检查、设备表面清洁等基础项目。面板巡视逐台观察指示灯颜色、闪烁模式, 异常指示如驻波比告警、电源模块故障等立即记录上报。机房环境参数包含温度、湿度、洁净度, 空调系统运行状态也属于巡检范畴, 温度偏离标准区间会加快电子元器件的老化速度。室外天线单元及传输线缆巡检时要检查天线物理结构是否倾斜、馈线防水密封是否完好、接插件有无氧化锈蚀痕迹。巡检路线的规划要覆盖台站内全部在用设备, 检查顺序按照信号流向依次进行, 使巡检过程逻辑清楚、疏漏概率低。

2.2 性能参数测试技术

性能参数测试属于预防性维护的主要内容, 它的目的是提前发现设备性能的渐进性变差。发射机测试主要测量射频功率、频率准确度、调制特性等指标。以甚高频发射机为例, 在假负载条件下用射频功率计测量载波功率, 用频率计读取工作频率, 频率偏差应控制在允许范围内。接收机测试主要检测灵敏度和选择性, 用射频信号源输出一定电平的调制信号馈入接收机输入端, 在音频输出端测量信噪比, 以此来判断灵敏度是否满足运行要求。全向信标的方位精度测试, 通过监测天线在远场辐射的调

制信号,用外场测试仪测量指定方位点的调制深度,与理论值比较后计算方位误差。测距设备的询问应答测试可以反映应答延时和接收灵敏度,用脉冲信号源模拟机载询问信号,测量地面信标的应答效率和延时稳定性。定期测试得到的数据经过整理分析形成性能趋势图,给预防性维护决策提供量化的依据。

2.3 环境保障与供电系统维护

机房环境和供电系统稳定是设备正常工作的基本条件,任何一个环节出现问题都会造成设备停机。环境保障方面,空调设备滤网定期清洗或者更换,制冷剂压力、压缩机运行电流按维护周期检查,机房温度传感器校准准确。供电系统维护以不间断电源装置为主,定期对蓄电池组进行放电容量测试,记录每节电池的端电压和内阻,个别电池电压偏低或者内阻异常升高时及时更换,防止单节电池故障造成整组电池无法正常放电。柴油发电机在空载运行的基础上定期做带载试验,燃油储存量、机油液位、冷却液浓度都属于检查项目。防雷接地系统的接地电阻应在雷雨季节前测量,阻值超标时应检查接地体腐蚀情况并采取降阻措施。

3 典型故障诊断与维护修复技术

3.1 故障定位的逻辑方法

故障诊断的准确性、速度取决于定位逻辑是否合理。对于突发的设备停机故障,一般从信号流向逐段排查,从设备外部条件入手逐步向内部模块深入。以甚高频通信系统接收通道无声故障为例,在接收机射频输入端注入标准测试信号,音频输出正常说明故障在天线和馈线部分,再检查天馈线驻波比和馈线连接是否松脱;如果注入信号后仍无输出,则故障在接收机内部,继续在混频级输入端注入信号区分射频通道和中频通道的问题。对于间歇性故障,由于出现的时机无法预测,诊断难度大,可以利用长时间记录设备状态的方法来捕捉故障时刻的异常参数,或者使用温度变化法来辅助判断热敏元件是否存在不稳定因素。故障定位的逻辑层次清楚,才能避免盲目更换模块造成维修效率低下的问题。故障树分析法可以给复杂故障定位提供结构化的思维框架,把故障现象设为顶事件,逐级分解可能成因直到不可分解的基本事件,各层级之间用逻辑门连接,排查时按概率高低排序验证。多台设备同时出现同类告警时,故障源一般在公共单元,即电源母线、时钟源或者天线共用器上,而不是各个终端设备本身。

3.2 模块级维修与更换策略

现代通信导航设备大多采用模块化设计,故障修复方式以在线更换故障模块为主,离线修复为辅。模块更换要遵循对号更换原则,保证替换模块的型号、版本号、参数配置与原模块一致。更换时操作人员必须戴防静电手环,防止静电敏感器件在触摸时受损。模块更换完毕后要对相关功能进行恢复测试,保证发射功率、接收灵敏度等主要指标恢复到标准范围。现场无法修复的模块送至维修中心进行板级故障排查,常见的故障点有电解电容容量衰减、功率管击穿、连接器接触不良等。更换下来的故障模块建立维修档案,记录故障现象、损坏元器件、修复方式,为同类设备维修提供经验参照。从策略上来说,对于已经达到规定使用年限或者性能劣化趋势明显的模块,即使没有出现故障也纳入预防性更换计划,在定期检修窗口集中更换,降低突发故障停机的风险。模块更换后测试指标仍不达标,应检查模块与背板连接器接触是否可靠,供电电压是否达到模块输入端标称值。备件模块在存储期间要定期上电老化测试,防止长时间静置造成电解电容性能下降。

3.3 防雷与电磁兼容维护

通信导航设备台站大多处在开阔高地或者机场塔台顶端,雷击风险高,防雷维护是设备保护的重要防线。电源防雷器在多次泄放雷电流之后性能变差,需要定期检查防雷器的状态指示窗口,出现脱扣指示时应及时更换。信号线路防雷器安装在设备输入端,插入损耗和驻波比的变化会影响信号质量,需要在维护时用网络分析仪测试其电气性能。天馈线防雷接地线的连接点由于长期日晒雨淋而产生氧化层,需要打磨处理后重新紧固并涂导电膏。电磁兼容维护上,随着台站加装设备的增多,机柜内设备间的电磁干扰问题也应引起注意。维护时应检查机柜接地母线的连续性、设备外壳与机柜的搭接电阻是否合格,电缆的屏蔽层应与连接器外壳良好,防止由于屏蔽不良造成设备间相互干扰。防雷接地系统的等电位连接也不能忽略,所有进入机房的金属管线、线缆外屏蔽层应就近与汇流排可靠连接,使雷电流得到均衡分配和快速泄放。设备加装或者移位之后,需要重新测量机柜内各个频段的背景噪声水平,保证没有新的电磁干扰源被引入。

4 维护管理体系与效能优化

4.1 维护记录与性能趋势分析

维护记录是设备全寿命周期状态信息的载

体,它的完整性、规范性决定维护决策的数据基础。每次巡检和测试的数据都要准确记录在案,格式包含测试项目、实测值、基准值、偏差分析和处理措施。长期积累的维护数据可以经统计分析得到设备性能劣化曲线。接收机灵敏度持续下降的轨迹如果呈加速趋势,说明设备即将进入故障高发期,维护间隔要适当缩短或者安排提前检修。性能趋势分析还可以用来优化定期测试的项目频次,对于性能高度稳定的设备可以适当延长测试周期,把维护资源集中到劣化速率较快的设备上,从而达到差异化、数据驱动的维护资源配置。趋势分析的关键在于选择合适的统计指标和时间窗口,发射机功率的月均衰减量、接收机信噪比的季度变化幅度等均属于常用的监测变量。当某项指标的滑动平均值超过预设的警戒线时,系统会发出维护提醒,使维护时机的选择从固定的日历驱动变为设备实际状态驱动。历史故障记录也属于趋势分析的重要素材,同一型号设备在相似运行年限内出现的共性问题,可以为其他台站同型设备的预防性维护提供前置预警,把个案故障的经验上升为群体设备的防护策略。

4.2 备件管理与调配优化

备件供应及时性是影响故障修复时间的因素之一。台站根据设备运行数量、故障历史、备件采购周期来制定备件配置清单。使用频次较高的易损件如电源模块、风扇组件、防雷器等保持一定的库存,核心模块如甚高频收发信机功放单元、全向信标调制器单价高、故障率低,可以采用多台站共享备件库的方式,通过区域调配减少资金占用。备件的存储环境要符合防静电、防潮、温度控制的要求,定期检查库存备件的完好性,对超过存储期限的备件进行返厂检测或者报废处理。备件管理系统要能实时反映库存变动和消耗趋势,给采购计划提供数据支持。区域共享备件库的有效运转依靠清晰的调配流程和响应时限约定,各参与台站要在共享协议中明确备件调用优先级、运输方式和费用分摊细则,保证紧急需求下达后备件能在规定时间内从最近库存点发出。备件储备量的动态调整也不能忽略,当某类设备因为技术改造或者批次更换造成故障率发生明显变化的时候,备件清单应该随之更新,防止已经淘汰的

型号备件长期占用库存资金。备件供应商的评估与管理应纳入备件保障体系,建立多源供应渠道,防止单一供应商断供风险。

4.3 维护安全与人员技能提升

安全是日常维护工作不能逾越的底线。登高维护天线设备时必须实行双人作业制度,佩戴安全带和安全帽,雷雨天气禁止登高和户外设备操作。带电测试时使用绝缘工具,测量高压部位前确认测试表笔绝缘层完好。机房内设气体灭火系统,焊接维修操作在指定区域内进行,配备灭火器材。人员技能上,通信导航设备维护涉及射频、数字电路、传输协议等多方面知识,维护人员要经过设备厂家专门的技术培训,掌握新型测试仪器的操作和设备的工作原理,具备独立完成故障诊断和模块更换的能力。技能考核要同维护人员资质认定相挂钩,以考促学保证持续适岗。维护安全的制度保障还要延伸到作业许可和风险评估环节,每次非常规维护作业前都要进行风险点辨识和安全交底,明确应急处置措施和逃生路线。维护人员技能成长路径要形成梯次递进结构,新入职人员从巡检跟班、简单测试开始,经过考核合格后逐步承担独立排故、设备调试任务,资深维护人员侧重疑难故障分析、技术培训工作。新型设备投入使用前,需要厂家工程师对现场操作人员进行培训并留存培训记录,保证维护人员熟悉新设备的操作界面、故障代码含义和维护注意事项,防止由于操作不当造成设备损坏或者人身伤害。

5 结束语

通信导航设备日常维护的本质是通过制度化、标准化的技术手段,在设备还没有发生影响运行故障之前发现并消除隐患。巡检测试、故障处置、管理优化三者之间是层层递进的维护闭环。随着设备集成度和智能化水平的不断提高,状态监测和故障预警技术会逐渐改变传统的定时维护单一模式,向状态基维护和预测性维护方向发展。无论技术手段怎样更新,维护规范的严格执行、维护人员的专业素质、维护数据的深度利用,始终是通信导航设备安全可靠运行的基础保障。

参考文献:

- [1] 孙兵. 民航通信与导航设备的应用与维保分析 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (14): 115-117.
- [2] 余超. 探讨民航通信与导航设备保养和维护措施 [J]. 中国新通信, 2020, 22(08): 8.
- [3] 孙琪. 浅谈民航通信导航设备维护保养和维修 [J]. 电子世界, 2019, (13): 181-182.

作者简介: 吴东蓄 (1992.06—), 男, 汉, 山西吕梁, 本科, 研究方向: 电子通信。