

气象设备保障中设备维护和维修管理研究

崔绍桐

中国民用航空华北地区空中交通管理局 北京 100621

摘要：气象设备作为气象监测与预报的基础支撑，其稳定运行直接关系到气象数据的准确性与灾害预警的时效性。本文简要介绍了气象设备保障的重要性，分析了气象设备保障常见问题，并针对气象设备保障中设备维护和维修进行了讨论，提出了日常巡检与预防性维护、定期校准与性能验证、故障诊断与快速维修等有效措施，以提升设备运行稳定性，为气象防灾减灾提供坚实技术保障。

关键词：气象设备保障；设备维护；维修研究

引言

随着全球气候变化加剧，极端天气事件频发，社会对气象监测的时空分辨率与数据质量提出更高要求。然而，传统气象设备维护模式以“人工巡检+被动维修”为主，存在故障发现滞后、维修资源浪费、备件储备不足等痛点，难以满足高强度、连续性监测需求。因此，探讨气象设备保障中设备维护和维修管理，结合物联网、大数据、AI等新技术发展趋势，提出新的转型路径至关重要。

1 气象设备保障的重要性

在现代社会，气象灾害的频发与极端天气的增多，使得气象信息的精准性与及时性成为防灾减灾、资源调配、生产生活决策的核心依据，而这一切都离不开稳定运行的气象设备网络。从地面观测站到高空探测雷达，从卫星遥感系统到海洋气象浮标，每一类设备都是捕捉大气运动“脉搏”的传感器，其可靠性直接决定了气象数据的完整性、准确性和时效性。例如，雷达回波的微小偏差可能导致暴雨预警范围缩小，卫星云图传输延迟可能使台风路径预测滞后，而自动气象站故障则可能造成区域性气温、降水记录缺失，这些都将直接影响气象预报模型的训练效果和灾害预警的提前量，甚至可能引发连锁反应，威胁人民生命财产安全。此外，在全球气候变暖背景下，极端天气事件更趋频繁，气象设备作为监测气候变化的“哨兵”，其长期稳定运行是积累气候数据、验证模型预测的基础^[1]。如北极气象站的持续观测为研究海冰消融提供了关键数据，深海浮标网络则帮助科学家追踪海洋热含量变化，这些工作都依赖于设备保障团队对设备的长期维护与校准。而随着数值预报模式分辨率的提升和人工智能技术的应用，气象数据的需求量呈指数级增长，这对设备的数据采集频率、传输速度与存储容量提出了更高要求。新一代相控阵雷达可实现每

分钟一次的扫描，产生海量数据，需通过高速光纤网络实时传输至数据中心；量子传感技术的突破使温度测量精度达到毫开尔文级，为气候研究提供了更精细的观测手段。

2 气象设备保障常见问题

2.1 设备供电系统的稳定性问题

现代气象设备的稳定运行高度依赖供电与通讯系统的可靠性，而太阳能-蓄电池联合供电模式虽具备环保、可持续等优势，却在极端环境与复杂工况下暴露出多重稳定性隐患，成为制约气象监测数据连续性的关键瓶颈。（1）从供电系统本身来看，太阳能板作为能量采集的核心部件，其发电效率极易受环境因素干扰。在北方高纬度地区或高海拔站点，冬季积雪覆盖太阳能板表面是常见问题——厚度超过5厘米的积雪可使发电效率骤降80%以上，若未配备自动融雪装置或人工清理不及时，可能导致设备连续数日无法充电，直接耗尽蓄电池储备能量。（2）目前气象设备广泛使用的铅酸蓄电池对温度极为敏感，其标称容量通常基于25°C环境设计，但实际运行中，低温会显著抑制电池内部化学反应速率。相关数据表明，当环境温度降至-20°C时，蓄电池可用容量可能减少40%-60%，导致设备在连续阴雨天气下因电量不足而停机。更严峻的是，蓄电池老化问题普遍存在——某省级气象局对辖区内500个自动气象站的统计显示，供电故障占设备停机总时长的35%，其中60%直接源于蓄电池容量衰减或内阻增大^[2]。这类故障往往具有隐蔽性：初期表现为续航时间缩短，但未引起重视，直至某次极端天气过程中电量耗尽，才暴露出电池已接近报废状态。（3）作为连接太阳能板、蓄电池与负载的“中枢”，控制器需承担过充保护、过放保护、温度补偿等关键功能，但其电子元件易受雷击、静电或电压波动影响。在雷暴频发地区，控制器因感应雷击损坏的案例屡见不鲜——某南方气象站曾因

未安装浪涌保护器,导致控制器在雷雨夜被击穿,引发蓄电池过充爆炸,整站设备瘫痪长达72小时。

2.2 管理制度的碎片化

(1) 当前气象设备管理正面临制度性碎片化的深层困境,其核心矛盾在于多部门协同机制缺失与基层管理粗放化的双重叠加,导致设备效能无法充分释放,甚至对气象监测的精准性与灾害预警的及时性构成系统性风险。从跨部门协同层面看,气象设备管理涉及气象、水利、交通、环保、农业等多个领域,各部门基于自身职能需求独立建设监测站点,形成“条块分割、重复建设”的格局。(2) 受限于人力与资金,基层台站普遍存在“重采购轻管理、重建设轻维护”的倾向,设备全生命周期管理链条断裂。在采购环节,部分台站为追求“指标达标”,盲目采购高精度设备,却未考虑后期运维成本与技术支撑能力,导致设备“建而不用”或“用而不管”。(3) 在运维环节,基层台站普遍缺乏标准化流程,设备验收后即进入“放养式”管理状态——既未建立定期校准制度,也未开展性能评估与状态监测。更严峻的是,部分台站为节省成本,使用非标校准设备或委托无资质机构检测,进一步加剧了数据失真风险。(4) 制度碎片化的根源在于管理架构与激励机制的双重缺陷,从管理架构看,气象设备管理缺乏国家级统筹协调机制,导致数据格式、传输协议、精度要求不统一,跨部门数据融合需额外进行格式转换与质量控制,增加了数据处理成本与误差风险。从激励机制看,基层台站的考核体系侧重于设备覆盖率与数据上传率,却忽视数据质量与设备可用率,导致“数据造假”“虚假在线”等乱象频发——某省审计发现,部分台站为完成考核任务,通过人工修改数据上传时间或重复发送历史数据的方式“凑数”,严重损害了气象数据的权威性。

3 气象设备保障中设备维护和维修措施

3.1 日常巡检与预防性维护

(1) 每日巡检中,维护人员需重点检查雨量传感器漏斗是否被树叶、昆虫或灰尘堵塞——此类堵塞会导致降水数据缺失或测量值偏低,尤其在暴雨天气中可能引发灾害预警偏差;温湿度传感器通风口积尘会阻碍空气流通,造成温湿度测量滞后,需用软毛刷清理表面灰尘;风向风速传感器的转动灵活性直接影响数据精度,需手动转动风杯观察是否卡滞,并检查轴承润滑情况。(2) 预防性维护的核心在于对易损件的主动更换,自动气象站的风杯轴承因长期高速转动易磨损,需每2年更换一次,避免因轴承卡滞导致风速数据缺失;雷达的行波管作为高功率微波器件,其性能会随使用时间衰减,需每5年进

行功率测试,若输出功率下降超过10%需及时更换;卫星接收站的馈源膜在紫外线与温差作用下易老化,需按周期更换以维持信号接收效率^[3]。(3) 建立设备健康档案至关重要——通过记录每次维护的时间、内容、更换部件及测试数据,可分析设备故障规律,优化维护周期。例如,某省级气象局通过分析10年维护数据发现,某型号自动站的温湿度传感器故障率在投用第4年显著上升,遂将该部件的更换周期从5年缩短至4年,使数据缺失率下降40%。

3.2 定期校准与性能验证

气象设备对测量精度要求极高,例如温度传感器误差需控制在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内,风速传感器误差不得超过 $\pm 0.5\text{m/s}$,为此,需建立“基层初校-省级复校-国家级抽检”的三级校准体系。(1) 针对温度、湿度、气压等常规传感器,基层需配备便携式校准仪(如高精度数字温湿度计、气压比较仪),每月开展一次现场校准。校准过程中,需模拟实际观测环境:温度校准需在恒温箱中设置 -40°C 至 50°C 的梯度温度,对比传感器读数与标准值,计算误差并修正;湿度校准需通过饱和盐溶液(如氯化锂溶液对应11.3%RH、硫酸钾溶液对应97.3%RH)创造标准湿度环境,验证传感器响应线性度;气压校准则需连接标准气压计,在800-1060hPa范围内多点测试,确保传感器输出与标准值偏差在允许范围内。(2) 对于雷达、卫星接收站、风廓线仪等高精度设备,省级站需配备恒温恒湿箱(温度波动 $\leq \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度波动 $\leq \pm 1\%\text{RH}$)、低速风洞(风速范围0.1-30m/s、均匀度 $\leq 1\%$)、微波暗室(反射率 $\leq -40\text{dB}$)等国家级标准设备,每年开展一次全面复校^[4]。以多普勒雷达为例,复校需覆盖发射机功率(通过功率计测量输出功率是否在标称值 $\pm 2\%$ 以内)、接收机灵敏度(通过噪声系数测试仪验证最小可测信号强度)、天线波束宽度(通过远场测试系统测量主瓣宽度是否符合设计值)等关键参数;同时需在风洞中模拟不同风速(5-30m/s)与风向(0-360°),验证风速传感器输出与标准值的偏差是否在 $\pm 0.3\text{m/s}$ 以内,风向传感器指向误差是否小于 $\pm 2^{\circ}$ 。(3) 每三年对省级计量站的标准设备进行抽检,通过比对国家级标准(如铯原子钟、激光干涉仪)验证省级设备精度,确保校准体系的“基准线”不偏移;同时对重点区域(如沿海、高原)的基层台站设备进行随机抽检,防止校准流程形式化。

3.3 故障诊断与快速维修

当气象设备出现数据异常或停机故障时,快速精准的故障诊断与高效维修是保障气象监测连续性的关键环节,实践中需采用“分层排查法”构建系统化诊断流程。

(1) 聚焦电源系统,作为设备运行的“能量基石”,需检查太阳能板输出电压是否稳定(如阴雨天气下输出应 $\geq 12V$)、蓄电池剩余容量是否充足(通过电压表测量,满电状态应为 $13.8V\pm 0.2V$)、接地电阻是否符合标准(接地极与大地间电阻应 $\leq 4\Omega$),避免因供电中断导致数据中断;若电源正常,则转向通讯链路排查,通过测试信号强度、检查SIM卡状态、调整天线方向等步骤,确认数据能否正常上传至中心站;若前两层均无异常,则深入分析传感器数据,通过对比历史趋势(如某站点温度数据突然偏离过去30天均值 $\pm 3^{\circ}C$)、验证参数相关性(如降水时湿度应同步上升至90%RH以上)等方式,锁定故障传感器或采集模块。(2)对于复杂故障或疑难问题,远程诊断系统可发挥“专家外脑”作用。通过在设备中集成物联网模块,实时传输设备运行日志、动态参数曲线及现场视频画面至云端诊断平台。专家团队基于多维度数据,结合设备历史维修记录与环境因素,通过AI辅助分析快速定位故障根源。(3)维修过程中,“安全规范”与“过程追溯”是两大核心原则。操作前必须严格执行“先断电、后操作”流程,对高压设备(如雷达发射机)需使用绝缘手套、验电笔等防护工具,防止触电事故;更换部件时需使用专用工具,避免因工具不当导致二次损坏。(4)维修完成后,需详细记录故障现象、处理步骤、更换配件型号及测试结果,形成电子化维修档案并上传至设备管理系统,为后续故障分析、备件采购及设备寿命评估提供数据支撑。

3.4 技术升级与智能化改造

(1)在自动气象站领域,机械部件的智能监测成为关键突破点——传统风杯、风向标因长期暴露于风沙、雨雪环境中,轴承磨损、转动卡滞等问题频发,导致风速数据缺失或风向偏差。通过在风杯轴、风向标转轴处部署高精度振动传感器,可实时采集转动频率、振幅及加速度等参数,结合边缘计算模块分析振动波形特征:当振幅超过阈值或频率波动超过 $\pm 5\%$ 时,系统自动判定为“潜在磨损”,触发预警信息推送至维护终端;若振动信号中出现周期性冲击(如轴承滚珠剥落特征),则直接判定为“严重故障”,需立即停机更换部件(2)多普勒雷达的发射机、行波管等核心部件在长时间高功率运行下

易产生局部过热,若温度超过额定值(如发射机模块正常工作温度 $\leq 65^{\circ}C$)未及时处理,将导致器件烧毁甚至整机瘫痪。通过在发射机柜体、行波管散热片表面安装红外热成像仪,可实时绘制设备温度场分布图,结合AI算法识别异常热点^[5]。当某区域温度持续30分钟超过设定阈值(如发射机模块阈值为 $70^{\circ}C$),或温度梯度(相邻区域温差)超过 $15^{\circ}C$ 时,系统自动判定为“过热风险”,联动空调系统提高制冷功率,并推送维护工单至技术人员;若温度在10分钟内上升超过 $10^{\circ}C$,则直接触发紧急停机保护,避免设备损毁。(3)传统备件库存管理依赖经验估算,易出现“过度储备导致资金占用”或“储备不足影响维修时效”的矛盾。通过整合设备历史维修记录、运行环境数据及供应商交货周期,利用时间序列分析算法构建备件需求预测模型:模型可动态计算各站点未来6个月的备件需求概率,结合库存成本与缺货成本优化储备量。

结语

综上所述,气象设备保障是连接气象科学与现实需求的桥梁,其重要性不仅体现在保障日常气象服务的精准性,更在于为应对气候变化、防灾减灾、经济决策等提供科学支撑。只有通过专业化、标准化、智能化的保障体系,才能确保气象设备在复杂环境中稳定运行,为构建安全、韧性、可持续的社会贡献力量。

参考文献:

- [1]陈志强,赵紫鑫,崔艳艳,等.气象设备常见故障分析与维修策略研究[J].农业灾害研究,2025,15(11):251-253.
- [2]杨超.气象设备运维管理系统设计与实现[J].电子元件与信息技术,2022,6(08):273-276.
- [3]王裕灿.基于人工智能的气象设备三维点云重建及可视化应用研究[C].中国气象学会.第36届中国气象学会年会摘要集——S13人工智能助力气象高质量发展.河南省气象探测数据中,2025:52-53.
- [4]邹纯丽.基层台站新型自动站气象仪器常见故障与日常维护保障[J].内蒙古科技与经济,2023(20):123-125.
- [5]张能胜,朱仕杰.如何做好基层台站气象仪器设备的管理和维护保障[J].大众标准化,2021(16):182-183.