

# 南宁机场二跑道自动气象观测系统信号传输方案

麦秀湖, 李庆达

中国民用航空中南地区空中交通管理局广西分局气象台, 广西 南宁

收稿日期: 2025年3月28日; 录用日期: 2025年4月21日; 发布日期: 2025年4月28日

## 摘要

南宁机场第二跑道建设是区域航空枢纽升级的关键工程, 其自动气象观测系统(Automated Weather Observing System, AWOS)的信号传输可靠性直接关系到航班运行的安全与效率。鉴于传统信号传输存在单点故障风险高、冗余设计不完善等问题, 文章提出一种三级容错架构方案, 通过主/备用设备分离、双链路并行传输及独立供电设计, 系统性降低了故障概率, 提升了信号传输的稳定性与可靠性, 为南宁机场二跑道的安全运行筑牢气象数据传输保障。

## 关键词

自动气象观测系统, 三级容错架构, 主/备用设备, 双链路传输, 独立供电

# Signal Transmission Scheme for the Automatic Weather Observing System at Nanning Airport's Second Runway

Xiuhu Mai, Qingda Li

Meteorological Office of Guangxi Branch, Central and Southern Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation Administration of China, Nanning Guangxi

Received: Mar. 28<sup>th</sup>, 2025; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2025; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

The construction of the second runway at Nanning Airport is a critical project for the upgrade of the regional aviation hub. The reliability of the signal transmission of the Automated Weather Observing System (AWOS) directly impacts flight safety and efficiency. Given the high risk of single-point

failures and inadequate redundancy design in traditional signal transmission systems, this paper proposes a three-level fault-tolerant architecture. This scheme systematically reduces the probability of failures and enhances the stability and reliability of signal transmission by separating primary and backup equipment, implementing dual-link parallel transmission, and designing independent power supply systems. This approach ensures robust meteorological data transmission, thereby safeguarding the safe operation of the second runway at Nanning Airport.

## Keywords

Automated Weather Observing System (AWOS), Three-Level Fault-Tolerant Architecture, Primary/Backup Equipment, Dual-Link Transmission, Independent Power Supply

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

依据《广西壮族自治区综合交通运输发展“十四五”规划》目标, 南宁吴圩国际机场第二跑道建成后, 航班密度预计增长 40%, 这一发展趋势对气象数据的实时性与可靠性提出了更为严苛的要求。然而, 当前主流自动气象观测系统(AWOS) [1]的信号传输架构仍存在显著缺陷: 1) 设备层单点故障扩散风险: 设备点传感器信号依赖共用传输节点(如 Moxa NPort 6450-T, 简称 Moxa) [2], 一旦传输设备故障, 多传感器数据链路同时中断; 2) 传输层抗干扰能力不足: 传感器信号通过单一传输路径(如有线光缆或无线链路)易受施工损毁、电磁干扰等环境影响, 导致数据丢失[3]; 3) 供电层系统性失效隐患: 通常采用两组不间断电源系统(Uninterruptable Power Supply, 简称 UPS)接入静态转换开关(Static Transfer Switch, 简称 STS)后输出至配电柜进行传感器供电[4], 集中式供电设计(如 STS)若发生故障, 将引发设备组群大面积断电, 降低机场运行标准。

针对上述问题, 本文以南宁二跑道 AWOS 建设为背景, 首次提出设备层、传输层和电源层的协同冗余设计, 其创新性体现在: 1) 全链路物理隔离: 主/备用传感器、传输设备及供电系统均采用独立物理部署, 规避故障扩散风险[5]; 2) 资源灵活复用: 主/备用传感器按功能兼容性分组部署, 备用设备可在多场景下复用, 在有限冗余资源下最大化容错覆盖范围; 3) 环境自适应双链路互补: 传感器采用双路信号输出, 光纤链路抗电磁干扰能力强, 无线链路支持视距通信, 双链路并行传输配合系统切换优先级逻辑设计, 能够有效应对复杂环境(如极端天气、施工干扰)。通过上述技术突破, 系统性解决传统 AWOS 架构的可靠性短板, 为高密度机场的气象保障提供参考。

## 2. AWOS 总体框架

南宁机场二跑(22L-04R) AWOS 框架详见图 1, 系统由室外传感器、传输设备、数据处理单元等硬件构成。室外部分配备多种传感器, 包括 2 套 CL31 云高仪、3 套 AWS310 独立风站、2 套 AWS310 气象站、3 套 FD70 前向散射仪、3 套 FD70P 天气现象前向散射仪、1 套 TSS928 闪电定位仪和 1 套大气电场仪; 传输设备方面, 配备 12 个 Moxa, 4 台无线交换机, 3 对无线网桥。室内部分包含 2 台外场交换机、1 台核心交换机、1 台防火墙和 2 台 CDU 数据处理服务器。

## 3. 信号传输容错架构实现

依据 AWOS 总体框架, 本方案通过构建设备层 - 传输层 - 电源层三级容错架构, 系统性提升 AWOS

信号传输的可靠性。以下从设备隔离、双链路传输及独立供电三方面详细阐述实现过程。

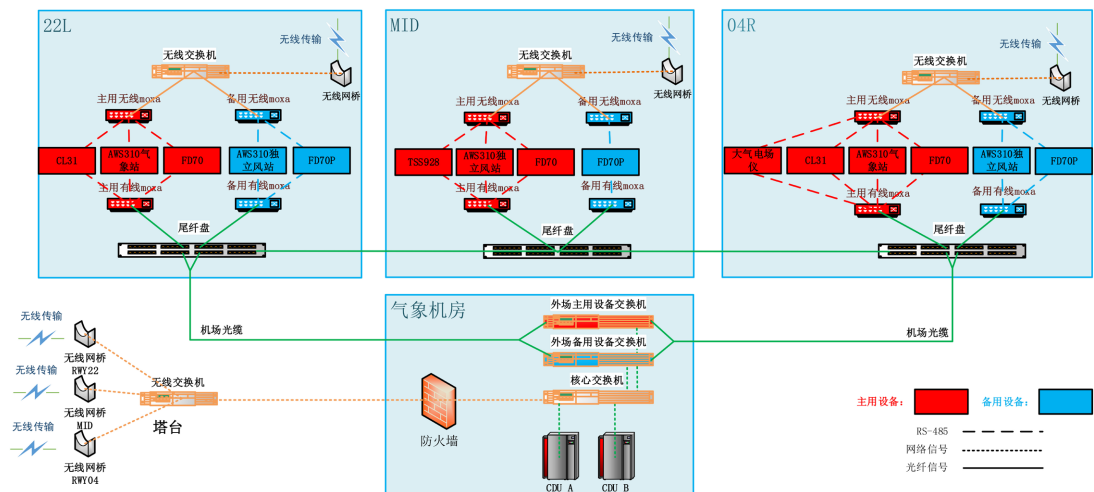


Figure 1. Architecture diagram of AWOS for the second runway of Nanning airport  
图 1. 南宁机场二跑道 AWOS 架构图

3.1. 设备层容错架构设计

设备层通过双通道信号输出、主/备用传感器冗余部署及传输设备物理分离，消除单点故障扩散风险。

3.1.1. 双通道传感器信号输出设计

传感器输出遵循串口协议，传统 AWOS 采用单一信号输出端口，需通过内线架或防雷器进行信号分路，然后分别进行有线和无线传输。此设计存在显著缺陷：当某一传输路径受干扰时，分路信号可能因物理耦合引发串扰，造成数据完整性受损。相比之下，二跑传感器采集的原始数据通过双通道输出接口（数据口与维护口）实现并行信号传输，分别接入有线和无线传输链路（见图 1），通过双通道隔离保障信号源的独立性。例如，CL31 云高仪的原始数据通过数据口传输至有线链路，维护口同步推送至无线链路，任一链路中断时另一路径仍可保障信号完整性。

3.1.2. 主/备用传感器冗余设计

根据跑道 22L-04R 的部署需求，三个设备点(22L、MID、04R)的传感器划分为主用与备用两组(见表 1)。主/备用传感器基于功能兼容性分组部署，CDU 服务器优先采用主用传感器信号，当主用传感器发生故障时，系统自动切换至功能匹配的备用传感器(如 22L 中 FD70P 替代 FD70、AWS310 独立风站替代 AWS310 气象站)。

Table 1. Division of primary and standby sensors for the second runway of Nanning airport  
表 1. 南宁机场二跑道主/备用传感器划分表

设备点	22L	MID	04R
主用传感器	CL31、AWS310 气象站、FD70	AWS310 独立风站、FD70、TSS928	CL31、AWS310 气象站、FD70、大气电场仪
备用传感器	AWS310 独立风站、FD70P	FD70P	AWS310 独立风站、FD70P

3.1.3. 传输设备物理分离设计

系统传输设备采用 Moxa，支持 RS-232/RS-422/RS-485 协议转换光介质传输，具备四路异步串行通

信接口,可同步处理多传感器数据。如 3.1.1.节所述,主/备用传感器分别配置有线及无线 Moxa,此设计保证主/备用传感器信号路径完全独立,消除了共用传输节点导致的故障扩散风险。设备层的物理隔离与冗余部署为传输层双链路设计提供了硬件支撑,同时为电源层供电故障防护提供了基础,维护了系统的高可靠性。

3.2. 传输层容错架构设计

传输层作为设备层与电源层之间的关键桥梁[6],通过有线-无线双链路并行传输机制,既保障了信号传输的高效性,又实现了故障场景下的快速切换。以下从双链路传输架构与系统信号切换优先级设计两个方面详细阐述传输层的容错实现。

3.2.1. 双链路传输架构

传输层采用有线光纤与无线网桥双链路并行传输架构,有线传输链路通过机场专用光缆将主/备用传感器信号分别接入室内外场主/备用交换机,在接收端通过硬件隔离机制确保两者的数据链路在物理介质上彻底分隔;无线传输链路则通过 5.8 GHz 频段,传输带宽为 300 Mbps 的无线网桥构建点对点微波通信[7]。22L、MID、04R 设备点部署发射端无线网桥,塔台(高度约 90 米)作为中继节点安装接收端网桥,确保视距传输无遮挡。主/备用传感器无线信号经同一无线网桥传输,通过防火墙安全校验后接入核心交换机,保障数据传输安全性。

3.2.2. 系统信号切换优先级

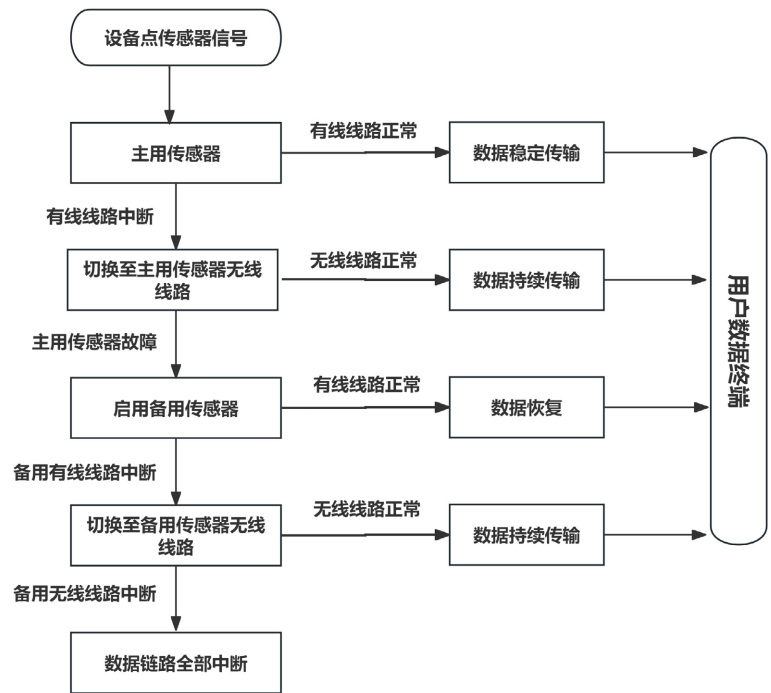


Figure 2. Signal switching priority flow chart  
图 2. 信号切换优先级流程图

结合双链路传输架构,系统通过信号切换优先级逻辑(见图 2)实现故障场景下的信号无缝切换。CDU 服务器优先使用主用传感器的有线传输信号,若主用传感器有线链路中断(如光缆故障),则自动切换至主用传感器的无线传输链路;若主用传感器本身故障(如硬件失效),则启用备用传感器的有线信号;若备用

传感器有线信号亦不可用, 则进一步切换至备用传感器的无线传输链路, 确保数据链路冗余切换。通过分层递进的冗余切换机制, 传输层可在毫秒级内完成链路切换, 在保证气象数据完整性的同时, 实现关键业务的无感知中断。

### 3.3. 电源层容错架构设计

在设备与传输层冗余设计的基础上, 电源层进一步巩固了系统的容错能力。电源层主/备用设备采用 UPS 独立供电架构, UPS 支持满负载供电  $\geq 4$  小时, 满足应急抢修时间。22 L 设备方舱配置三组 UPS: UPS 1 为主用传感器、主用 Moxa、无线交换机及网桥供电; UPS 2 为备用传感器及备用 Moxa 供电; MID 设备接入 UPS 3。04R 设备方舱部署 UPS 1(主用设备)与 UPS 2(备用设备), 分别独立供电, 该设计将主/备用系统的供电链路完全隔离, 确保任一 UPS 故障仅影响对应设备组, 从根源上规避因电力故障引发的系统性瘫痪。通过电源层的独立供电设计, 系统在电力供应层面实现了故障隔离, 进一步加强了设备层和传输层的容错能力。

## 4. 典型容错场景

基于设备层、传输层与电源层的三级联动设计, 本方案在冗余性、环境适应性与故障恢复效率方面展现出显著优势。以下结合典型应用场景及系统响应测试, 验证其容错机制的有效性。

### 4.1. 容错场景

1) 传感器硬件失效: 当 22 L AWS310 气象站因硬件故障无法提供数据时, 系统自动切换至备用 AWS310 独立风站, 持续提供设备点风数据, 避免数据中断。

2) 光缆施工中断: 针对机场施工导致的光缆意外中断(如 22 L 主用传感器链路), 系统优先启用主用传感器的无线传输路径, 确保气象数据实时回传。

3) 传输设备故障: 22 L 传感器主/备用有线 Moxa 因雷击失效, 系统检测到有线数据丢失后, 自动启用无线 Moxa 传输的无线信号。

4) 外场交换机故障: 若气象机房外场主用交换机故障时, 系统自动切换至无线链路, 同步主用传感器数据至 CDU 服务器, 保障数据处理连续性。

5) UPS 供电故障: 主用 UPS(如 22 L 方舱 UPS1)过载宕机时, 备用设备组(AWS310 独立风站、FD70P 等)由独立 UPS 2 供电, 仍可通过有线链路维持基础运行能力。

### 4.2. 系统响应测试

通过人为触发故障(如断开光缆、关闭传感器电源)记录系统响应数据:

- 1) 故障切换时间: 主用链路中断至备用链路启用平均耗时  $\leq 50$  ms;
- 2) 数据传输延迟: 有线链路延迟稳定在 5 ms 内, 无线链路受天气影响延迟波动范围为 5~20 ms;
- 3) 系统可用性: 连续 24 小时压力测试, 数据中断 1.7 秒, 系统可用性达 99.998% (年均不可用时间  $\leq 10$  分钟)。

实际测试表明, 该方案将气象数据传输的可靠性提升至 99.998%, 故障切换时间缩短至 50 ms 以内, 显著优于民航行业标准( $<100$  ms)。

## 5. 结语

本文提出的方案通过设备层、传输层与电源层的协同设计, 系统性解决了传统 AWOS 的单点故障扩散、抗干扰能力不足及供电依赖性强等核心问题。从全生命周期成本效益分析, 本方案体现显著优势:

1) 初期设备成本: 冗余设备与独立供电系统的引入使采购成本较传统方案增加约 10%, 但通过设备功能复用设计, 实现冗余资源利用率最大化; 2) 运维成本优化: 三级容错设计预计将年均故障修复时间从 8 小时缩短至 3 小时, 运维人力成本减少 65%; 3) 预期经济效益: 按 10 年设备生命周期计算, 总成本(含采购与运维)较传统方案降低 11.5%。本方案不仅为高密度机场的气象数据保障提供了技术突破, 其“可靠性提升 - 成本可控 - 效益显著”的综合优势, 也为同类交通基础设施的容错设计提供了可复用的参考范式。

## 参考文献

- [1] 成国永. 湛江新机场自动气象观测系统传输建设探讨分析[J]. 软件, 2022, 43(2): 111-113.
- [2] 刘晓明, 向恩慧. 自动气象观测系统无线传输方案分析[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(28): 158-161.
- [3] 罗程辉, 廖彬武. 银川机场自观系统光纤传输及无线备份传输设计[J]. 科技与创新, 2022(20): 156-158, 162.
- [4] 黄宣钧. 机场自动气象观测系统室外传感器供电配置探讨[J]. 科技创新导报, 2018, 15(6): 6-7.
- [5] 张占文. 气象自动观测系统通讯线路重大故障解决方案的研究[J]. 中国新通信, 2021, 23(4): 151-152.
- [6] 陶霞. 网络通信技术在自动气象观测系统中的应用研究[J]. 科海故事博览, 2022(29): 28-30.
- [7] 杨红. 自动气象观测系统的更新与改造[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(2): 77-80.