Computer Science and Application 计算机科学与应用, 2026, 16(11), 193-204
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/csa
https://doi.org/10.12677/csa.2026.1611336

Hans汉斯

双流机场气象设备全生命周期数字化管理系统设计与实现

张　笛，黄　巧，郭忠立

民航西南空管局气象中心，四川 成都

收稿日期：2026年10月9日；录用日期：2026年11月9日；发布日期：2026年11月16日

摘　要

针对双流机场气象设备种类多、分布分散、状态监测入口不统一以及运行资料关联不足等问题，设计了一套设备全生命周期数字化管理系统。以“设备身份证”作为统一对象模型，分层接入串口状态码和业务文件，利用心跳、文件更新时间和状态优先级判断设备运行状态，并配置语音短信告警和档案管理功能。系统可以实现自动观测设备状态采集、状态码解析和异常通知，支持多类气象业务系统监控，以及四川、重庆、云南、贵州和西藏多个天气雷达站点的基数据监控。系统将运行监控、主动告警和生命周期档案放在同一管理流程中，可为设备异常发现、故障处理和资料查询提供统一入口。

关键词

气象设备，全生命周期数字化管理，状态监控，主动告警

Design and Implementation of a Full-Lifecycle Digital Management System for Meteorological Equipment at Shuangliu Airport

Di Zhang, Qiao Huang, Zhongli Guo

Meteorological Center, Southwest Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation Administration of China, Chengdu Sichuan

Received: October 9, 2026; accepted: November 9, 2026; published: November 16, 2026

Abstract

To address issues such as the variety of meteorological equipment at Shuangliu Airport, its

文章引用: 张笛, 黄巧, 郭忠立. 双流机场气象设备全生命周期数字化管理系统设计与实现[J]. 计算机科学与应用, 2026, 16(11): 193-204. DOI: 10.12677/csa.2026.1611336

scattered distribution, non-unified state monitoring interfaces, and insufficient correlation of operational data, a digital management system for the entire lifecycle of equipment was designed. Using the "equipment ID card" as a unified object model, the system hierarchically integrates serial port status codes and operational files. It determines equipment status through heartbeat signals, file update timestamps, and status priority, while enabling voice SMS alerts and archive management. The system automates state data collection, status code analysis, and anomaly notifications, supporting monitoring of multiple meteorological business systems. It also enables base data monitoring for weather radar stations in Sichuan, Chongqing, Yunnan, Guizhou, and Xizang. By integrating operational monitoring, proactive alerts, and lifecycle archives into a unified management process, the system provides a centralized interface for detecting equipment anomalies, handling faults, and querying data.

Keywords

Meteorological Equipment, Full Lifecycle Digital Management, Condition Monitoring, Proactive Alert

Copyright © 2026 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

航空气象业务涉及多种观测设备和业务系统，设备运行状态与数据传输情况会直接影响天气观测、预报服务和运行监视。相关观测和报告需要符合国际民航组织关于航空气象服务的技术规范[1]，并遵循世界气象组织关于气象仪器和观测方法的相关要求[2]。在航班运行密度较高、天气变化较快的情况下，设备能否持续运行、数据能否及时传输，以及故障能否尽快发现和处理，都是机场气象保障需要解决的问题。

双流机场使用的气象设备数量较多，分布在不同位置，接口形式和运行周期也不一致，主要包括自动观测系统、天气雷达[3]、风廓线雷达、微波辐射计、葵花卫星、闪电定位仪、大气电场仪和天气雷达与航迹融合显示系统等。设备管理既要看传感器和通信链路的状态，也要确认业务系统输出的数据文件是否按时更新。以人工巡检、分散界面查看和独立档案为主的管理方式，难以把设备状态、告警、维护记录和技术资料对应起来。发生通信中断、数据延迟或设备异常时，值班人员往往需要在多个界面和资料中交叉查找，异常发现和故障定位都比较耗时，后续维护也不容易追溯。

围绕气象设备运行监控、故障诊断与运行质量评价，已有研究主要从设备健康评价[4]、运行状态综合判定[5]、多传感器冗余观测[6]和观测数据质量判识[7]等方面展开。这些研究为气象设备状态感知、异常识别和运行质量评价提供了重要的理论与技术基础。然而，现有研究多聚焦于单一设备类型、单类状态信息或特定故障诊断任务，运行监控、故障处置与技术档案管理之间的关联仍不够紧密。在实际运维过程中，设备实时状态、告警信息、维护记录和技术资料往往分散在不同系统或独立管理环节中，影响异常定位、故障处理和历史追溯效率。

基于上述问题，本文设计并实现了一套面向双流机场气象设备的一体化运维监控与数字档案系统。本文所讨论的"全生命周期"主要覆盖设备投产建档、日常运行监控、故障记录、维护维修、升级改造、检定校准、配置管理以及技术资料归档、查询和更新等管理环节，重点关注设备运行阶段与运维资料之间的数字化衔接。系统以"设备身份证"为统一对象，融合设备身份、串口状态码、通信心跳、业务文件

更新时间、告警记录和技术档案等多源异构数据，通过统一状态模型和对象关联机制，实现运行监控、异常告警、维护记录与数字档案之间的协同管理。本文的主要工程工作在于构建面向机场气象业务的统一设备对象模型，建立多源异构运行数据的接入与状态融合机制，并实现监控结果与数字档案调阅、维护记录之间的联动。

下文首先分析气象设备监控与运维管理中的主要技术方法，并据此说明本文系统的设计依据；随后介绍系统总体架构、“设备身份证”对象模型、数据流和存储设计，重点说明多源异构数据接入、状态码解析、心跳监控、文件更新时间监控、状态优先级判定、主动告警及数字档案联动的实现方式，最后结合运行界面分析各功能模块之间的协同关系。

2. 系统设计

2.1. 气象设备监控与运维管理技术分析

气象设备监控通常围绕状态采集、运行质量评价、异常识别和故障处置等环节展开。从技术路径看，现有研究主要包括设备健康评价与故障预判、运行状态综合判定、多传感器冗余观测以及观测数据质量判识等方向。

在设备健康评价与故障预判方面，基于 PHM 的自动气象站健康评价方法通过提取设备运行特征，对设备健康状态进行评估，并对潜在故障进行预判[4]。在运行状态综合判定方面，相关研究通过综合多个运行参数和设备状态信息，对气象观测设备的整体运行状态进行评价[5]。在观测信息可靠性保障方面，多传感器冗余观测技术通过设置冗余测量和一致性判别机制，降低单个传感器异常对观测结果的影响[6]。在数据质量控制方面，基于自动站运行状态的数据质量判识方法主要用于识别观测数据中的缺测、异常和不一致问题[7]。上述研究分别从设备健康、状态判定、信息可靠性和数据质量等角度提供了技术支撑，但其研究对象和处理流程通常围绕某一类设备或某一类数据展开。

与气象设备监控系统不同，通用 IT 运维监控系统主要面向主机、网络、数据库、应用服务和日志等 IT 资源，通常采用指标采集、日志分析、服务探测、事件管理和告警聚合等技术手段。这类系统在资源可观测性、事件集中管理和告警通知方面较为成熟，但其监控对象、数据来源和运维流程主要针对标准化 IT 资源，难以直接适配机场气象设备的串口状态码、通信心跳、业务文件更新和专业技术档案等业务数据。

因此，机场气象设备运维管理需要在借鉴现有状态监控、故障诊断和告警管理方法的基础上，进一步解决多源异构数据统一接入、设备状态综合判定以及运行监控与技术档案协同管理等问题。本文系统不以替代已有的单项故障诊断算法或通用 IT 运维平台为目标，而是面向机场气象业务场景，将串口状态码、通信心跳、业务文件更新时间、告警记录和数字档案统一映射到“设备身份证”对象中，并通过状态优先级、文件新鲜度和告警规则形成设备整体运行状态。

在此基础上，系统将设备状态监控、主动告警、维护记录和技术档案组织到同一业务流程中，使值班人员能够根据设备状态进入对应的告警处置、故障记录和资料查询环节。与已有研究和通用运维系统相比，本文系统的设计重点不在于提出新的单一诊断算法，而在于面向机场气象设备运行管理过程，实现多源异构数据融合、统一设备对象建模以及监控信息与数字档案之间的流程联动。LoRa 自动气象站故障诊断装置的研究为特定通信条件下的故障监测提供了实现参考[8]；民航气象设备维修管理研究体现了维修流程规范化和业务协同的需求[9]；气象自动观测设备预防维修研究则为设备维护策略的制定提供了参考[10]。

2.2. 系统总体架构

系统采用分层架构，包含数据采集层、数据传输层、数据处理层与用户展示层。

数据采集层负责获取自动观测设备与业务系统的运行信息。自动观测设备通过传感器状态码反映自身运行状态，相关数据经 RS-232 串口单向接入；天气雷达、葵花卫星、闪电定位仪、微波辐射计与风廓线雷达等业务系统按照自身业务周期生成数据文件，系统通过文件监控方式获取其运行信息。两类接入形态分别对应实时数据采集与周期性文件共享。

数据传输层负责将采集信息传输至系统处理模块。自动观测设备采用串口单向传输方式，业务系统数据通过内网文件目录进行共享。跨网段场景遵循单向传输与不跨网段的隔离约束，避免系统直接干预业务系统运行。

数据处理层负责完成状态码解析、状态优先级判定、心跳计算、文件新鲜度判断、数据存储与告警判定。系统将不同来源的状态信息转换为统一的数据结构，并依据预设规则形成设备整体运行状态。

用户展示层以跑道图叠加设备状态标识的方式呈现设备分布与运行态势，并集成状态码详情、文件监控卡片、告警信息与档案入口，使值班人员能够在同一界面完成设备状态查看、异常信息获取与技术档案调阅。

如图 1 所示，数据采集、传输、处理和展示各层按照统一流程衔接，设备状态、告警信息和生命周期档案由同一系统管理。

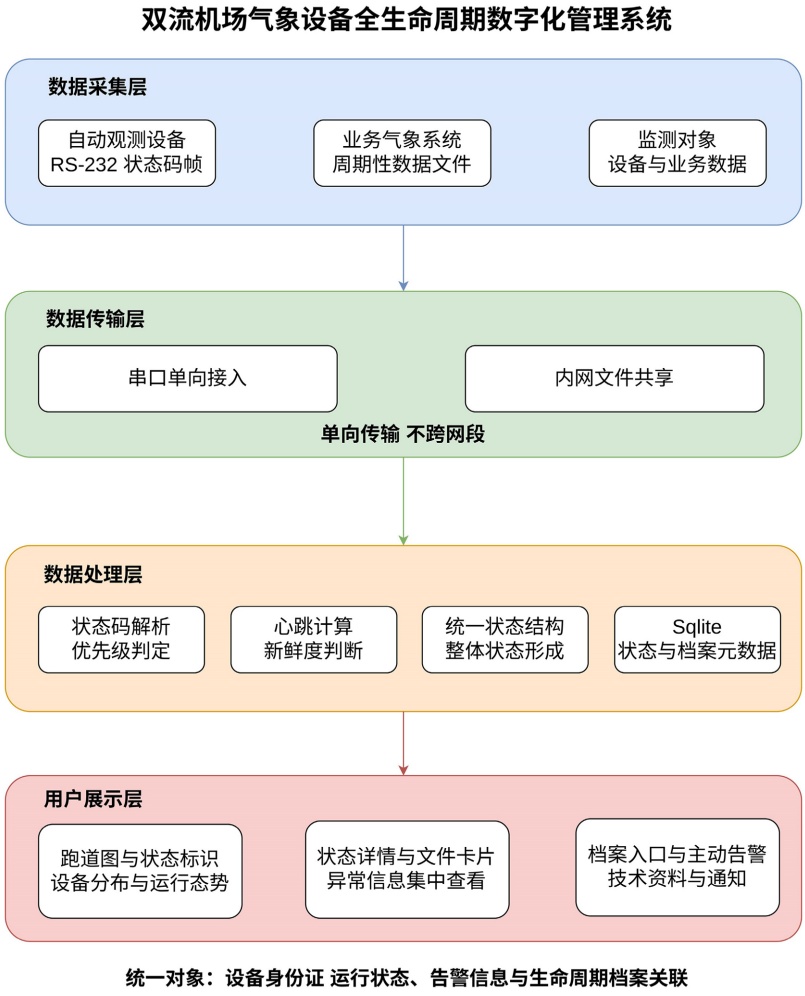


Figure 1. Hierarchical architecture diagram
图 1. 分层架构图示

2.3. “设备身份证”对象模型

系统以“设备身份证”作为气象设备的统一对象模型。每台设备对应一个独立对象，包含标识属性、静态档案属性、动态运行属性与关联属性。

标识属性包括设备编号、设备类型、设备型号与安装位置，用于确定设备在系统中的唯一身份。系统既支持 LT31 能见度仪、AWS310 自动站与 CL31 云高仪等自动观测设备，也支持天气雷达、风廓线雷达与其他业务系统。对于自动观测设备，系统重点管理设备状态码与通信心跳；对于业务系统，系统重点管理数据文件更新时间与运行状态。

静态档案属性用于记录设备投产、故障、维护维修、升级改造、线路资料、备案材料、典型案例、检定校准与配置文件等生命周期资料。不同类别的档案通过设备对象与档案索引建立关联，支持后续查询、更新与历史追溯。

动态运行属性用于记录设备当前状态码、心跳倒计时、文件更新时间、整体状态与告警信息。关联属性用于连接历史维护记录、故障案例与处置过程。

“设备身份证”使同一设备在跑道图、详情页和档案页面中使用同一个标识，设备状态、技术资料和维护记录也能对应起来。

2.4. 系统数据流与存储设计

系统数据流由设备状态采集、业务文件监控、状态处理与档案存储等环节构成。自动观测设备通过 RS-232 串口上送状态码帧，系统完成数据解析后，将状态码写入设备状态表并更新心跳计数器；业务系统按照自身业务周期生成数据文件，系统通过定时扫描目录、获取最新文件修改时间，判断业务数据的更新状态。

采集得到的设备状态与文件监控状态经过统一的优先级规则处理后，形成设备整体运行状态，并同步更新界面显示与告警判定结果。生命周期档案以 PDF 文件形式存储于本地文件系统，设备档案名称、文件路径、分类信息与更新时间等元数据存储于 SQLite 数据库，从而实现档案实体与设备对象的关联管理。

系统采用数据实体与文件实体分离的存储方式。数据库负责保存设备对象、档案目录、文件路径与运行状态等结构化信息，本地文件系统负责保存 PDF、线路图与配置资料等实际文件。这种做法便于检索设备档案和维护文件，也避免把较大的档案文件直接存入数据库。

2.5. 系统安全与应用边界

系统部署于机场气象业务内网，自动观测设备通过 RS-232 串口向系统提供状态信息，业务系统通过指定文件目录提供业务数据。对于跨网段数据接入场景，系统遵循单向传输与不跨网段的隔离要求，仅读取、解析与展示外部提供的状态信息和业务文件，不修改原有业务系统的运行参数。

在告警处理方面，系统通过独立的语音与短信模块向值班人员发送通知，告警模块与数据采集模块保持功能分离。系统应用边界限定于设备状态监控、异常通知与生命周期档案管理，避免对原有业务系统形成运行干预。

3. 关键技术

3.1. 串口数据采集与状态码解析

自动观测系统数据通过 RS-232 串口接入，通信参数为 9600 波特率、8 数据位、无校验位与 1 停止位。数据帧由起始标识、设备类型、设备编号、时间信息与状态码字段构成。

系统通过 pyserial 实现串口通信，并设计串口自动重连机制。当串口连接断开或通信异常时，系统自

动尝试重新建立连接，减少因物理链路波动造成的数据采集中断。

状态码解析模块针对 LT31 能见度仪、AWS310 自动站与 CL31 云高仪等设备建立状态码定义表，对设备状态码进行分类解析，并显示状态码的中文与英文含义。对于一台设备同时上送多个传感器状态码的情况，系统参考气象观测设备运行状态综合判定方法确定设备整体状态[5]，结合多传感器冗余观测方法处理传感器间的状态信息[6]，并依据自动站运行状态数据质量判识方法识别异常数据[7]，最终将多个状态归约为一个设备整体状态，实现设备内部多传感器状态的统一表达。

3.2. 状态优先级判定与心跳监控

系统将设备运行状态按照以下优先级进行判定：error (A/E) > warning (W) > maintain (C/I/S/X) > normal (0/1/2/4/8) > unconfigured (/)。

当一台设备包含多个传感器状态时，系统选取优先级最高的状态作为设备整体状态。例如，当设备中某一传感器出现故障，而其他传感器状态正常时，系统仍将该设备判定为故障状态，避免异常信息被正常状态覆盖。

系统对双流机场 16 台自动观测设备设置 150 s 心跳倒计时。设备每次上送有效状态数据时，心跳计时器重新计时；在规定时间内未接收到新的数据时，系统将设备判定为通信异常，并触发相应告警。

状态码用于判断设备内部自检结果，心跳用于判断通信链路是否仍在传输。结合两项信息后，系统可以区分设备自身故障和数据传输中断。

3.3. 文件新鲜度监控与主动告警

对于天气雷达、葵花卫星、闪电定位仪、微波辐射计与风廓线雷达等业务系统，系统采用定时扫描文件目录的方式进行运行监控。系统每 60 s 扫描一次指定目录，并获取目录内最新文件的修改时间。

根据最新文件与当前时间之间的间隔，系统设置 30 min 与 12 h 两个文件新鲜度阈值，并据此划分三个运行状态：最新文件更新时间距当前时刻不超过 30 min 时判定为正常；超过 30 min 且不超过 12 h 时判定为告警；超过 12 h 未更新时判定为故障。这种方法不需要改动业务系统，只监测其输出文件，适合业务系统较多且接口标准不完全一致的场景。

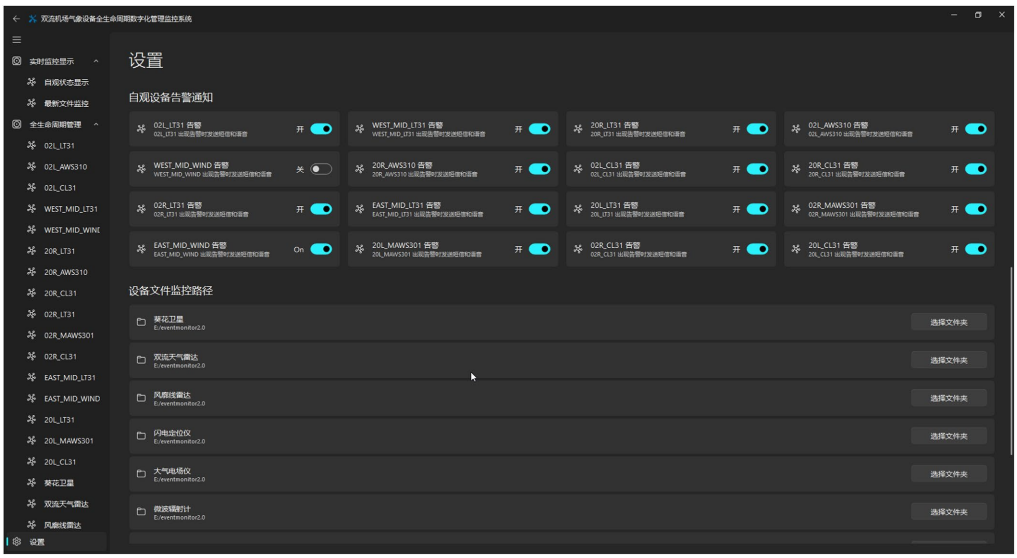


Figure 2. AWOS equipment alarm notification configuration interface
图 2. 自观设备告警通知配置界面

语音与短信模块也通过串口进行通信，当设备状态达到告警或故障级别时，系统按照预设号码列表执行语音拨号与短信通知。为避免同一设备连续异常时重复发送告警，系统设置 30 min 防抖机制，同一设备在防抖时间内不重复发送相同类型告警。如图 2 所示，系统提供告警通知参数配置界面，并按照配置界面发送通知，可手动控制需告警设备。同时限制同类告警的重复发送[8]。

3.4. 全生命周期档案管理

系统采用 SQLite 管理设备档案元数据，档案分类包括投产信息、故障情况、维护维修、重大升级改造、供电线路图、通信线路图、施工图、备案材料、设备典型案例、系统升级、检定校准与配置文件等，如图 3 所示。



Figure 3. Full life cycle management of meteorological equipment (Shuangliu Weather Radar)
图 3. 气象设备全生命周期管理(双流天气雷达)



Figure 4. Local preview of archive files
图 4. 档案文件本地预览

档案文件以 PDF 形式保存在本地文件系统中，数据库记录文件名称、所属设备、档案分类、存储路径与更新时间等信息。系统通过 PyMuPDF 实现 PDF 文件预览，如图 4 所示。值班人员可以在设备详情页面直接调阅相关资料。

档案管理模块支持文件上传、文件下载、资料更新与历史记录查询。设备运行状态与技术档案通过“设备身份证”进行关联，值班人员在发现设备异常后，可以直接从状态界面点击按钮进入设备档案，查询线路资料、配置文件与历史故障记录。

4. 系统实现与应用

4.1. 系统实现过程

系统实现以“设备身份证”对象模型为基础，依次完成设备档案数字化、运行数据接入、状态处理与功能协同。设备档案数字化阶段，对投产信息、故障记录、维护维修、升级改造、线路图、施工图、备案材料、检定校准与配置文件等资料进行分类整理，建立设备身份信息与档案索引。运行数据接入阶段，面向自动观测设备开发串口数据采集功能，完成状态码解析、设备心跳监控与运行状态展示；面向天气雷达、葵花卫星、闪电定位仪、微波辐射计与风廓线雷达，四川省局天气雷达基数据接收等业务系统，建立数据文件监控机制。在此基础上，系统实现设备整体状态判定、异常告警与生命周期档案调阅等功能。

系统功能开发完成后，对自动观测设备、语音短信模块与软件开展联调，检查数据采集、状态更新、界面展示与告警通知之间的处理链路。接入实际业务系统后，结合运行场景对文件更新监控、设备状态判定、告警通知与档案查询等功能进行测试与完善。“设备身份证”贯穿档案管理、状态监控和界面展示模块。同一设备在不同页面中使用统一标识，静态档案、动态状态和告警记录可以相互关联。

4.2. 系统功能实现

系统基于 Python 3.8 开发，用户界面采用 PyQt5 与 PyQt-Fluent-Widgets，串口通信采用 pyserial 3.5，数据库采用 SQLite，PDF 文件预览采用 PyMuPDF，运行环境为 Windows 10 与 Windows 11。日志通过 TimedRotatingFileHandler 按天切分并保留 30 天，支撑系统运行追溯。

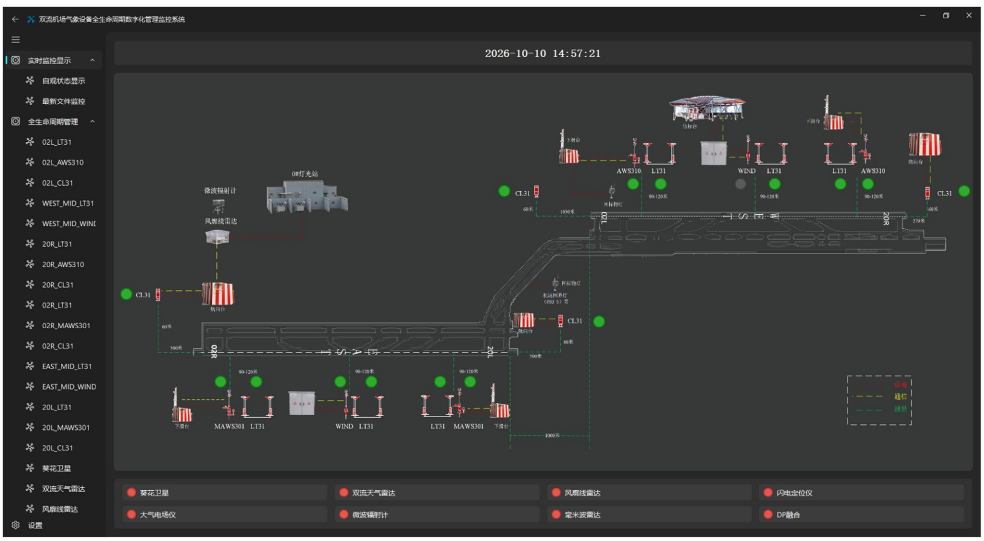


Figure 5. Real time monitoring display interface
图 5. 实时监控显示界面

实时监控界面以机场跑道图为基础，叠加设备位置与状态标识，集中呈现设备空间分布与当前运行状态。点击设备图标后，可进一步查看设备编号、设备类型、状态码、状态含义与关联档案。如图 5 所示，跑道图与设备状态标识构成系统的运行态势入口。

自观状态界面支持大气透射仪 LT31、自动站 AWS310 与云高仪 CL31 等设备的状态码解析与展示。系统对设备状态码进行中文与英文解释，并以不同颜色区分正常、维护、告警与故障状态。如图 6 所示，设备状态码及其语义信息能够在监控界面中集中呈现。

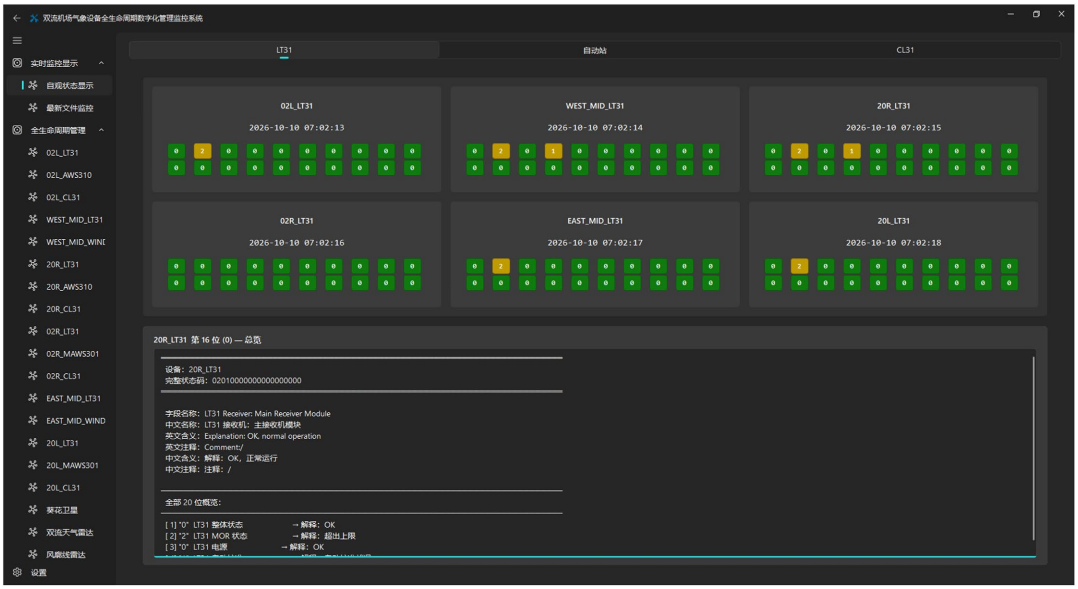


Figure 6. AWOS equipment state display interface (LT31 atmospheric transmittance meter)
图 6. 自观状态显示界面(LT31 大气透射仪)

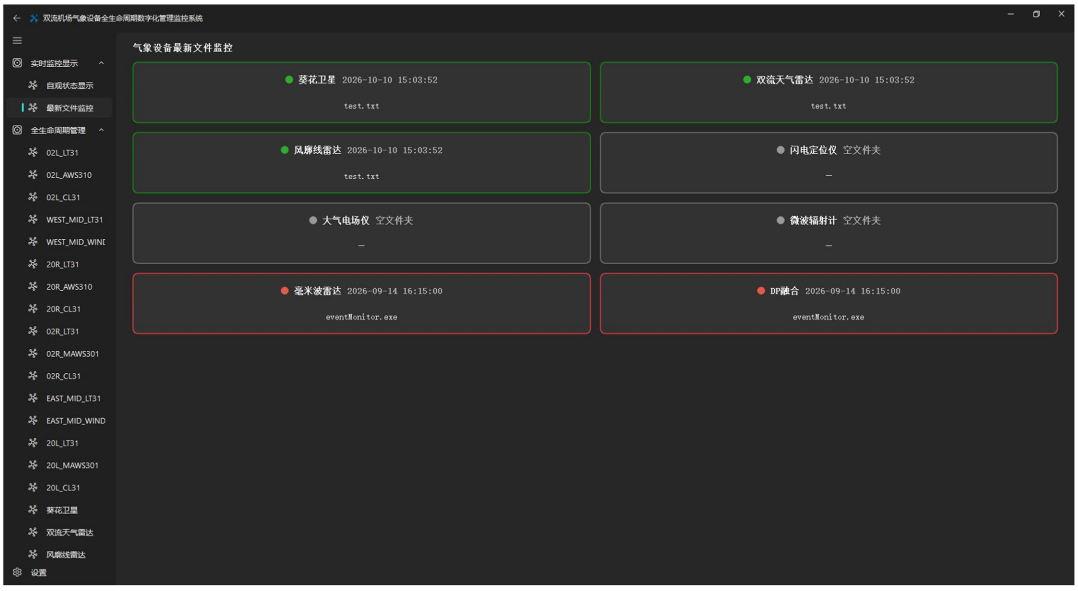


Figure 7. Latest file monitoring of other meteorological equipment
图 7. 其他气象设备最新文件监控

业务系统文件监控界面采用卡片方式展示不同系统的文件更新时间、文件状态与异常信息。当天气

雷达、葵花卫星、闪电定位仪或风廓线雷达数据文件未按周期更新时，界面显示相应状态，便于值班人员快速识别数据链路异常。如图 7 所示，文件更新时间与运行状态在同一监控视图中呈现。

全生命周期管理界面展示设备档案数量、资料分类与档案完善情况。设备详情页面统一关联 12 类生命周期档案，并提供文件预览与资料更新入口。如图 8 所示，系统能够以统计视图呈现设备档案管理情况。

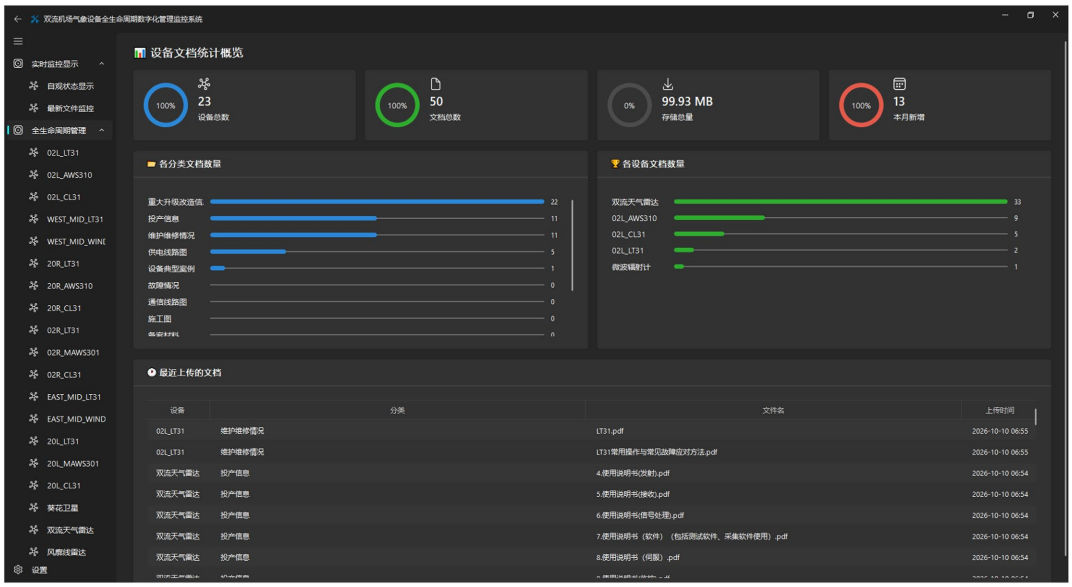


Figure 8. Statistics on the full lifecycle management of meteorological equipment
图 8. 气象设备全生命周期管理统计

系统设置界面包括串口配置、手机号码配置、告警开关与文件监控路径配置，通过参数化设置适应不同设备接口、文件目录与告警对象的运行要求，如图 9 所示。

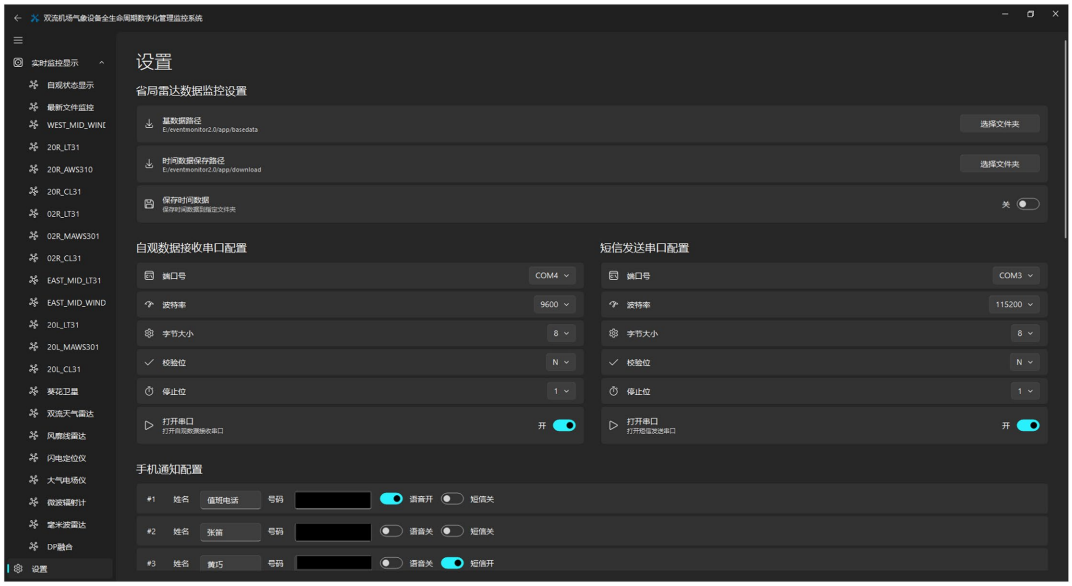


Figure 9. Setting interface (device file monitoring path configuration)
图 9. 设置界面(设备文件监控路径配置)

4.3. 系统运行与应用

系统已实现双流机场自动观测设备状态实时采集、状态码解析与语音短信告警，并对天气雷达、葵花卫星、闪电定位仪、微波辐射计、风廓线雷达与天气雷达与航迹融合显示等业务系统实施运行监控。

在区域雷达基数据监控方面，系统支持四川、重庆、云南、贵州与西藏多个天气雷达站点。系统通过监测雷达基数据文件的更新时间，判断各站点数据是否按照业务周期正常生成，并在监控界面中展示站点状态与异常信息。如图 10 所示，区域雷达站点状态可在统一界面集中查看。

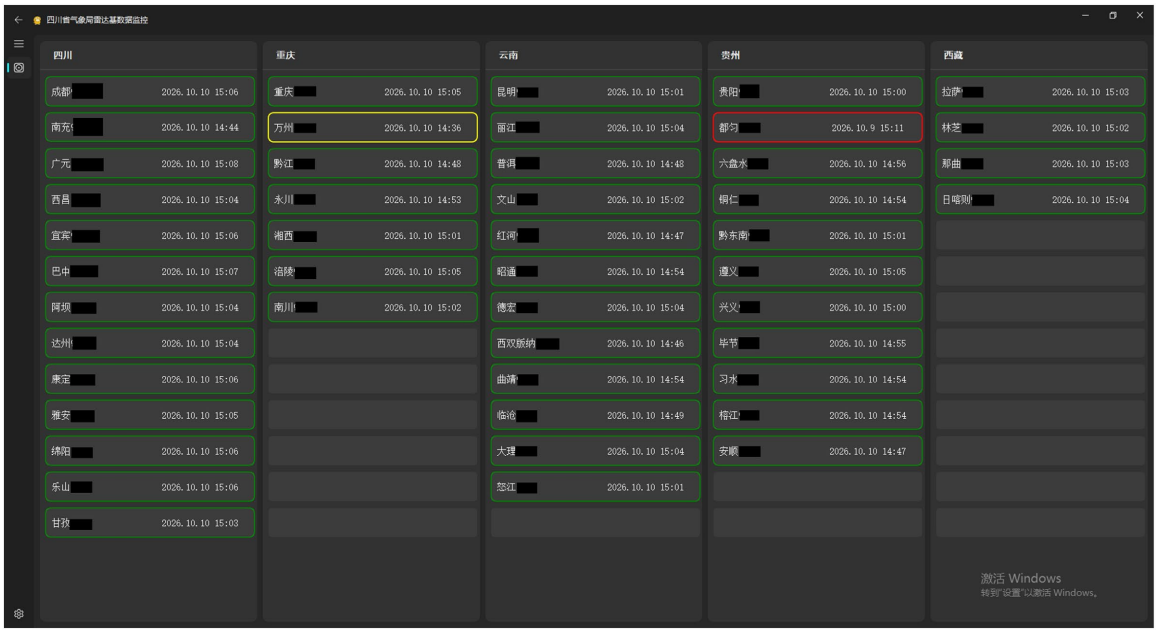


Figure 10. Radar based data monitoring interface of Sichuan Meteorological Bureau
图 10. 四川省气象局雷达基数据监控界面

系统将单台设备状态监控、业务数据更新监测与生命周期档案调阅纳入同一应用流程。值班人员可通过跑道图查看设备分布，通过状态详情页获取运行信息，通过文件监控界面识别业务数据更新情况，并从档案入口调阅线路图、配置文件与维护记录。这样，设备状态、业务文件和技术资料可以在同一流程中相互对应，值班人员能够从统一入口进行异常识别、故障处理和资料查询。

5. 结论与展望

本文面向双流机场气象设备管理，设计了系统总体架构、“设备身份证”对象模型、数据流和存储机制，并实现串口数据采集、状态码解析、心跳监控、文件更新时间监控、状态优先级判定、主动告警和生命周期档案管理。分层架构把自动观测设备状态和业务系统文件纳入同一处理流程，“设备身份证”负责关联设备基本信息、运行状态、告警记录和技术档案。

系统已实现自动观测设备状态实时采集、状态码解析与语音短信告警，支持天气雷达、葵花卫星、闪电定位仪、微波辐射计、风廓线雷达与天气雷达与航迹融合显示等业务系统的运行监控，并实现四川、重庆、云南、贵州与西藏 46 个雷达站点的基数据监控。系统运行界面通过跑道图、状态详情页、文件监控卡片与档案入口组织设备信息，使值班人员能够在统一视图中获取设备分布、运行状态、业务数据更新情况与关联技术资料。

从功能和使用流程看，设备运行监控已经能够与生命周期档案相互关联，设备状态、业务文件和技

术资料通过同一对象组织。“设备身份证”让同一设备在跑道图、状态详情页和档案页面中保持一致，便于异常识别、故障处理和资料查询。

后续研究与系统完善可围绕运维管理闭环、设备运行质量分析与系统扩展能力三个方向开展。运维管理方面，可增加档案版本管理、维护工单关联与设备历史状态查询功能，完善从资料更新、异常发现到故障处置与维护记录的全过程管理。运行分析方面，可综合设备运行历史、告警频次、数据缺失情况与维护记录，建立设备运行质量评价方法，并在数据积累的基础上逐步开展设备运行趋势分析与维护策略优化研究。民航气象设备维修管理研究可为维修流程完善提供参考[9]，预防维修研究可为维护策略优化提供参考[10]。系统扩展方面，可进一步优化模块化架构、数据库结构与权限管理机制，提升系统对新增设备接入、跨机场部署与多级用户协同管理的适应能力。

参考文献

[1] ICAO (2025) Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation. 21st Edition, ICAO.

[2] WMO (2023) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: WMO-No. 8. World Meteorological Organization.

[3] Ryzhkov, A., Zhang, P., Bukovčić, P., Zhang, J. and Cocks, S. (2022) Polarimetric Radar Quantitative Precipitation Estimation. *Remote Sensing*, **14**, Article 1695. https://doi.org/10.3390/rs14071695

[4] 李文博, 李宛桐, 史静, 等. 基于 PHM 的自动气象站健康评价与故障预判方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(8): 256-263.

[5] 李雁, 李峰, 郭维, 等. 气象观测设备运行状态综合判定技术应用[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2016, 16(5): 439-445.

[6] 甘志强, 高涛, 匡昌武, 等. 区域自动气象站多传感器冗余观测技术设计与实现[J]. 电子测量技术, 2022, 45(5): 33-38.

[7] 周青, 贾树泽, 张乐坚, 等. 基于新型自动站运行状态的数据质量判识[J]. 气象科技, 2017, 45(6): 980-987.

[8] 范雯杰, 陈立峰, 熊鸣, 等. 基于 LoRa 的自动气象站故障诊断装置的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 7-14.

[9] 范宸瑜. 民航气象设备维修管理现状与发展初探[J]. 工程管理与技术探讨, 2024, 6(19): 25-27.

[10] 佟宝力高. 气象自动观测设备管理中的预防维修[J]. 造纸装备与材料, 2023, 52(12): 55-57.