

# 贵阳机场双跑道自动观测数据归档 及气象要素精细化预报系统的 设计与实现

唐枫, 邓小光, 黄金全

民航贵州空管分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年8月7日; 录用日期: 2025年9月1日; 发布日期: 2025年9月16日

## 摘要

本文设计并实现了贵阳龙洞堡机场双跑道自动观测数据归档及气象要素精细化预报系统。针对多跑道运行气象保障需求, 系统构建了数据归档模块, 对多源异构气象观测数据进行标准化整合与高效管理。核心是基于深度神经网络构建了精细化预报模型, 利用ECMWF数据驱动, 生成了双跑道四个端头逐小时气象要素预报。测试表明模型对常规天气要素的预报精度基本满足业务需求, 并通过可视化模块便捷展示历史数据与预报结果, 有助于提升贵阳机场双跑道运行的气象服务精细化水平和保障能力。

## 关键词

双跑道, 精细化预报, 深度神经网络, 可视化系统

# Design and Implementation of the Automatic Observation Data Archiving and Refined Meteorological Element Forecasting System for Guiyang Airport's Dual Runways

Feng Tang, Xiaoguang Deng, Jinquan Huang

Guizhou Air Traffic Management Branch, Civil Aviation Administration of China, Guiyang Guizhou

Received: Aug. 7<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 1<sup>st</sup>, 2025; published: Sep. 16<sup>th</sup>, 2025

文章引用: 唐枫, 邓小光, 黄金全. 贵阳机场双跑道自动观测数据归档及气象要素精细化预报系统的设计与实现[J]. 人工智能与机器人研究, 2025, 14(5): 1136-1142. DOI: 10.12677/airr.2025.145107

## Abstract

This paper designs and implements an automatic observation data archiving and refined meteorological element forecasting system for the dual runways of Guiyang Longdongbao Airport. To address the meteorological support requirements for multi-runway operations, the system constructs a data archiving module that standardizes and efficiently manages multi-source heterogeneous meteorological observation data. The core innovation is a refined forecasting model based on deep neural networks, driven by ECMWF data, which generates hourly meteorological element forecasts for all four runway ends. Testing demonstrates that the model's forecasting accuracy for conventional weather elements generally meets operational requirements. The system also features a visualization module for convenient display of historical data and forecast results, contributing to enhanced meteorological service refinement and operational support capabilities for Guiyang Airport's dual-runway operations.

## Keywords

Dual Runways, Refined Forecasting, Deep Neural Network, Visualization System

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

随着民航运输量的持续增长，多跑道运行模式已成为提升机场容量的关键手段，而气象服务的精细化水平直接关乎跑道运行安全与效率。国内研究表明，双跑道气象保障面临两大核心挑战：一是多源异构观测数据的高效整合与标准化应用不足，申红喜等[1]指出多跑道气象服务需解决数据采集基准点选择、独立跑道数据分离等基础问题；二是气象要素预报的时空精度亟待提升，陈云峰等[2]强调跑道风场预报需实现“分钟级时间分辨率与百米级空间分辨率”，以满足独立跑道调度需求。目前国内学者针对机场气象观测与精细化预报开展了多角度研究。黄盛军等[3]基于昆明机场跑道切换数据，建立了风场预警模型，为跑道切换期间的安全与效率提供气象支持。黎倩[4]利用激光测风雷达对高原河谷机场低层湍流结构进行精细化观测，反演湍流耗散率等参数，揭示了湍流日变化特征及其对飞行安全的影响。马松松等[5]设计了咸阳机场重要天气精细化预报产品发布系统，通过模块化功能实现高效气象产品发布，辅助用户决策。吴长乐[6]提出五边精细化管理方法，通过建立切入位置与追赶距离的对应关系优化管制间隔，提升塔进协同效率。王彦斌[7]针对近距错列平行跑道，耦合气象条件提出尾流间隔动态缩减算法，为跑道容量提升提供技术支撑。秦文琦[8]指出精细化预报需贯穿航班起降全流程，保障民航运行安全。王智[9]耦合 WRF 模式与 CFD 技术构建精细风场模型，应用于低空风切变告警系统布点评估。

## 2. 业务需求简述

贵阳龙洞堡国际机场(以下简称贵阳机场)作为我国西南地区重要的航空枢纽，东跑道(19L/01R)与西跑道(19R/01L)间距为 365 米，其双跑道运行受山地地形与城市热岛效应双重影响，局地风切变、湍流频发，同时双跑道的高效运行需匹配差异化的气象服务。本文基于国内前沿实践，结合贵阳机场运行实际，设计并实现一套融合自动观测数据智能归档与气象要素精细化预报的双跑道专用系统。

### 3. 系统总体架构

贵阳机场双跑道自动观测数据归档及气象要素精细化预报系统的总体架构分为三个部分，如图 1 所示，按照数据归档 - 模型预报 - 可视化展示的流程进行设计，并基于 Python 编程语言和深度神经网络算法开发。

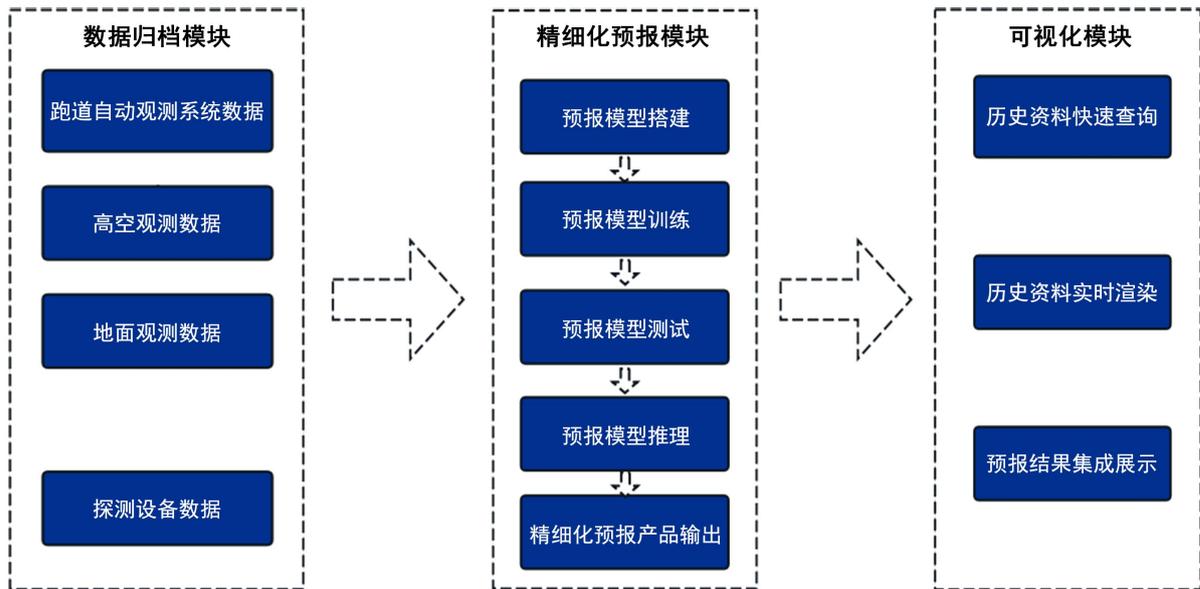


Figure 1. The overall system architecture  
图 1. 系统总体架构

#### 3.1. 数据归档模块

数据归档模块是整个系统设计的底层架构，主要实现三项功能：(1) 对近 5 年的双跑道自动气象观测系统数据进行标准化处理，提取预报员分析和诊断天气过程常用的自动观测系统数据，将每天 41 个不同的自动观测系统数据处理为 1 个集成化数据文件，便于后续预报模型构建以及历史资料可视化展示，该文件包含双跑道自动观测系统的地面风向风速、温度、相对湿度、气压、能见度、RVR、降水量、云高共计 8 类气象要素，时间分辨率为 1 分钟。(2) 收集整理归档近 5 年的 Micaps 格式的中国区高空观测数据、地面观测数据、探空数据，以及贵阳机场风廓线雷达、微波辐射计等探测设备数据，作为预报模型搭建的基础数据。(3) 通过 MOXA 卡自动获取每日双跑道的自动气象观测系统探测数据，并进行标准化归档处理，同时自动收集整理每日上述第(2)项中的各类气象数据资料并归档。

#### 3.2. 精细化预报模块

##### 3.2.1. 深度神经网络模型构建

精细化预报模块作为整个系统的核心模块，构建基于深度神经网络的双跑道气象要素精细化预报模型。首先准备模型数据集，提取近 5 年欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 ERA5 再分析数据中，贵阳龙洞堡机场邻近格点的逐小时 10 米 U 风、10 米 V 风、2 米温度、2 米露点、海平面气压、总云量、低云量、降水量数据作为 X，近 5 年双跑道四个端头的自动观测系统(即：东跑道 19L、01R，西跑道 19R、01L)的整点风向风速、气温、相对湿度、海平面气压数据作为 Y，组成包含东西跑道 43800 条整点数据的数据集。根据模型搭建和训练的需要，将上述数据集划分为训练集(35,040 个样本，80%)和测试集(8760

个样本, 20%), 分别用于模型的训练与测试。采用 Keras 框架构建深度神经网络的线性预测模型, 模型采用顺序(Sequential)结构, 包含一个输入层、五个隐藏层和一个输出层, 各层神经元数量分别为 240-360-360-240-120, 通过这种对称收缩的结构设计, 在保证模型容量的同时有效控制参数规模, 采用线性函数作为激活函数, 建立 ERA5 数据与双跑道气象要素的关联性。

### 3.2.2. 深度神经网络模型测试

模型构建好后, 将 35,040 个训练集样本输入模型进行训练。通过训练, 发现选择 500 作为训练次数 (epoch) 时, 在模型性能和训练时间之间获得较好平衡。模型训练完成后, 为了定量评估模型的预报性能, 需要对模型进行测试。将测试集的 8760 个样本输入模型进行测试, 得到 8760 个的测试输出结果。对测试结果进行分析, 结果如下(表 1):

**Table 1.** Model training test results

**表 1.** 模型训练测试结果

气象要素	跑道编号	MAE	RMSE
风向(单位: °)	19L (东跑道)	17.8	25.1
	01R (东跑道)	19.2	27.3
	19R (西跑道)	21.5	29.8
	01L (西跑道)	23.1	31.3
风速(单位: m/s)	19L (东跑道)	0.92	1.32
	01R (东跑道)	0.98	1.44
	19R (西跑道)	1.20	1.68
	01L (西跑道)	1.30	1.82
气温(单位: °C)	19L (东跑道)	0.82	1.10
	01R (东跑道)	0.88	1.20
	19R (西跑道)	1.05	1.42
	01L (西跑道)	1.15	1.58
相对湿度(单位: %)	19L (东跑道)	3.15	2.58
	01R (东跑道)	2.25	1.72
	19R (西跑道)	3.40	2.88
	01L (西跑道)	2.50	2.02
气压(单位: hPa)	19L (东跑道)	0.53	0.72
	01R (东跑道)	0.57	0.78
	19R (西跑道)	0.58	0.79
	01L (西跑道)	0.62	0.85

从两条跑道四个端头的模型测试结果来看，气象要素预测性能呈现出明显的空间分布特征。在风向预测方面，东跑道 19L 端的预测结果最优，西跑道 01L 端的误差相对较大最大。风速预测的效果整体优于风向，其中东跑道 19L 端的预测效果较好，但西跑道 01L 在风速较大时的误差稍大。温度预测效果东跑道整体优于西跑道，东跑道 19L 端 MAE 为 0.82℃，西跑道 01L 端达 1.15℃。通过对比 2023 年 6~8 月逐小时观测数据发现，西跑道午后(13~17 时)温度较东跑道平均偏高 2.3℃，且与航站楼 1 km 范围内的地表温度呈显著正相关(相关系数 R = 0.78)，证实建筑物热岛效应导致局地温度场差异，进而增大预测误差。该时段西跑道温度预测 MAE 较东跑道高 40.2%，与热岛强度时空分布特征一致。相对湿度预测受局地湿度场影响最为显著，尤其是在降水前后波动阶段误差可扩大至 3%。气压预测表现最为稳定，四个跑道端头的 MAE 均低于 0.62 hPa，其中东跑道 19L 端的精度最高，但天气系统快速移动时，所有跑道端头的滞后误差均会增大至 1.2 hPa 左右。整体而言，东跑道的预测精度普遍优于西跑道，这种差异主要体现在风向和温度的预测上。但当前模型对常规天气的要素预测基本满足业务需求，但对强对流、冷空气等快速变化天气过程的捕捉能力仍需提升。

### 3.2.3. 深度神经网络模型推理

根据业务化需求，系统设计使用 ECMWF 逐 3 小时预报数据作为模型推理的输入层，根据 ECMWF 预报数据的更新频次，系统可实现每日定时分布自动提取 2 次 ECMWF 预报数据(00UTC 和 12UTC)，提取时间范围为近 72 小时内逐 3 小时的 ECMWF 预报数据，提取的数据类型包括 10 米 U 风、10 米 V 风、2 米温度、2 米露点、海平面气压、总云量、低云量、降水量数据，提取的空间范围为贵阳龙洞堡机场邻近格点的 ECMWF 预报数据，使用线性插值方法，将预报数据的时间分辨率差值为 1 小时，并生成逐小时气象要素预报数据集。模型推理在数据集生成后自动输入气象要素预报数据集进行推理运行，得到双跑道四个端头的风向风速、气温、相对湿度、海平面气压预报值。系统每天可自动输出 2 次推理结果，实现模型预报结果的自动更新迭代，并能够按照未来 24 小时预报、48 小时预报、72 小时预报为时间步长显示要素预报结果(图 2)。

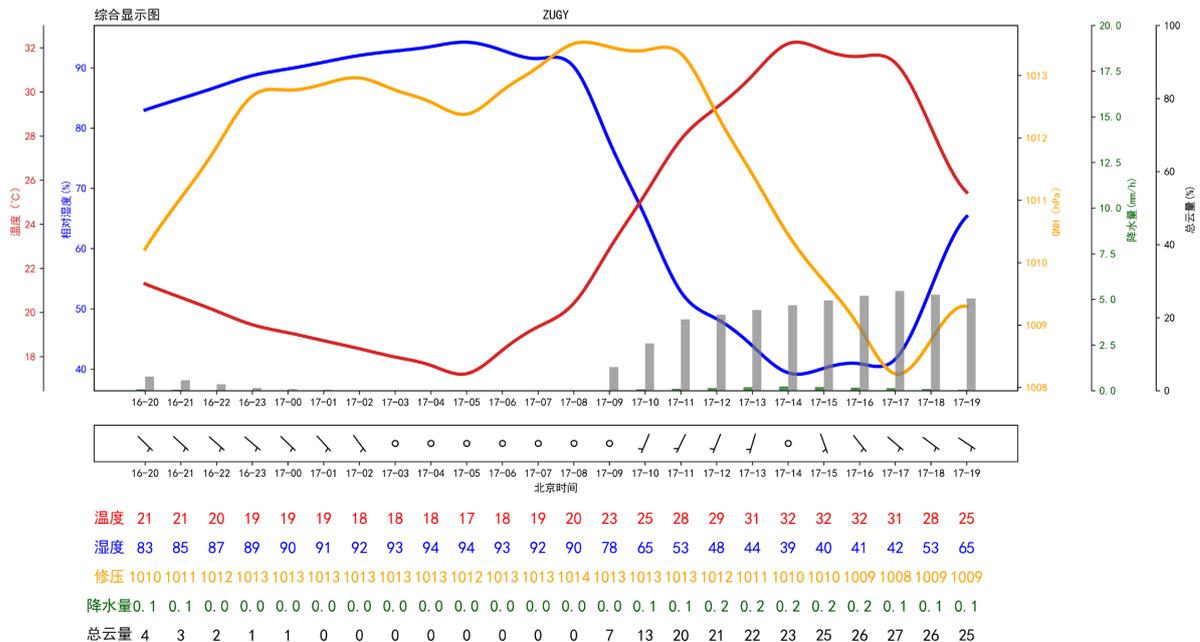


Figure 2. Refined forecast products for dual runways  
图 2. 双跑道精细化预报产品

### 3.3. 可视化模块

在自动观测系统历史数据标准化和双跑道气象要素精细化预报模型的基础上,对历史数据和模型输出结果进行业务化应用开发,搭建基于贵阳机场双跑道自动观测数据归档及气象要素精细化预报系统。根据机场民航气象预报业务需求,在系统中设计了历史自动观测数据查询、要素变化趋势、模型预报共计3个模块(图3),其中历史自动观测数据查询模块能够查询指定日期的自动观测系统探测的各类气象要素,要素变化趋势模块能够将每日的风向风速、温度、湿度、气压、RVR、降水量数据绘制成图片进行直观显示,模型预报模块则能够将上述2.2种的预报结果进行可视化展示。该模块使用Python语言开发,服务器后台模型推理,前端Web网页形式部署,具备结果直观、部署便捷的优点。



**Figure 3.** Interface of the automatic observation data archiving and refined meteorological element forecasting system for Guiyang airport's dual runways

**图 3.** 贵阳机场双跑道自动观测数据归档及气象要素精细化预报系统界面

## 4. 结语

本研究构建了贵阳龙洞堡机场双跑道自动观测数据归档与精细化预报系统。系统实现了多源气象数据的标准化高效归档,并基于深度神经网络模型,利用ECMWF数据驱动,生成了双跑道四个端头关键气象要素的小时级精细化预报。测试表明,模型对常规天气要素的预报精度基本满足双跑道独立运行需求,尤其气压预报稳定。可视化模块便捷展示了历史数据和预报结果。系统试运行期间(2025年4月~6月),提升了贵阳机场双跑道运行提供24小时精细化起飞预报服务91次,将贵阳机场气象要素预报从单点推向多点预报,时间分辨率从3小时缩短至1小时。虽然系统在应对快速变化天气和局地环境影响方面仍有提升空间,但为贵阳机场双跑道安全高效运行提供了有力的气象支持。未来将持续优化模型,提升复杂天气预报能力。

## 基金项目

中国民用航空西南地区空中交通管理局贵州分局创新类项目(GZSWATMB-202404)资助。

## 参考文献

- [1] 申红喜, 沈宏彬, 刘丽霞. 我国多跑道运行下的航空气象服务[J]. 中国民航飞行学院学报, 2014, 25(2): 50-52+56.
- [2] 陈云峰, 林智, 曹维搏. 机场跑道风场精细化预报方案研究[J]. 民航管理, 2020(1): 51-53.
- [3] 黄盛军, 袁金龙, 江春明, 等. 昆明长水机场“跑道切换”特征分析及激光雷达典型个例研究[J]. 民航学报, 2024, 8(3): 94-98+87.
- [4] 黎倩. 高原河谷机场低层湍流精细化观测分析及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都信息工程大学, 2020.
- [5] 马松松, 张琰, 张磊, 等. 咸阳机场重要天气精细化预报产品发布系统的设计与实现[J]. 数字通信世界, 2020(4): 23-24.
- [6] 吴长乐. 浅谈五边精细化管理在管制运行中的运用[J]. 民航学报, 2020, 4(2): 35-39.
- [7] 王彦斌. 近距错列平行跑道起飞航空器尾流间隔动态缩减技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
- [8] 秦文琦. 探讨精细化预报在民航气象工作中的应用[J]. 科技与创新, 2019(16): 160-161.
- [9] 王智. 精细化风场模拟在低空风切变告警系统中的应用[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2016.