

# 文山机场雷雨预报检验及天气分型

孔维威

云南省机场集团文山砚山机场, 云南 文山

收稿日期: 2024年12月18日; 录用日期: 2025年1月15日; 发布日期: 2025年1月23日

## 摘要

本文利用文山机场2022~2024年间122天雷雨天气过程资料, 包括11次强雷雨复盘总结, 运用复盘案例分析天气形势, 结合2023~2024年MICAPS系统资料分析比对, 对文山机场雷雨预报进行了分型检验, 总结了文山机场气象台各类型雷雨的漏报率及占比、检验了MICAPS系统雷雨预报三个指标的可靠性。最后就漏报率最高的地形雷暴, 利用实况资料总结分析归纳了文山机场地形对不同移动路径雷暴的作用, 为未来降低漏报率及提高预报准确率提供数据支持和理论依据。

## 关键词

雷雨, 预报检验, 天气分型, 数值预报, 移动路径

# Testing of Thunderstorm Forecasts and Categorization of Weather Patterns at Wenshan Airport

Weiwei Kong

Wenshan Yanshan Airport, Yunnan Airport Group, Wenshan Yunnan

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 15<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2025

## Abstract

This paper utilized the data of 122 thunderstorm weather processes at Wenshan Airport from 2022 to 2024, including the review summaries of 11 severe thunderstorms. By analyzing weather situations through case reviews and comparing with the data from the MICAPS system in 2023~2024, the thunderstorm forecasts at Wenshan Airport were subjected to classification tests. The missed

report rates and proportions of various types of thunderstorms at the Wenshan Airport Meteorological Observatory were summarized, and the reliability of the three major indicators for thunderstorm forecasts in the MICAPS system was examined. Finally, for the topographic thunderstorms with the highest missed report rate, the role of the terrain of Wenshan Airport in thunderstorms with different moving paths was summarized, analyzed and concluded using the actual data, so as to provide data support and theoretical basis for reducing the missed report rate and improving the forecast accuracy in the future.

## Keywords

Thunderstorm, Forecast Verification, Weather Classification, Numerical Forecast, Moving Path

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

在气象领域中，雷雨天气以其复杂多变的特性一直是研究的重点和难点。准确的雷雨预报能够为人们的日常出行、农业生产、航空航天等活动提供重要的参考依据，减少因雷雨天气带来的不利影响。然而，由于雷雨天气的形成受到多种因素的综合影响，如大气环流、水汽条件、地形地貌等，使得其预报难度较大。特别在航空气象保障中，文山机场年平均雷暴日数为 70 余天(5~8 月)，属多雷区，除系统性雷暴外，热雷暴多出现在午后[1]。因文山机场处于山顶，四周比较空旷，遭受雷击的可能性较大，因此要做好设施设备的防雷保障工作，对航班期间的预报和观测要求较高[1]。为了提高雷雨预报的准确率，对预报过程及预报结果进行科学的比对和检验是必不可少的[2]。与此同时，通过对天气进行分型，可以将不同的天气形势与雷雨天气的发生进行关联分析，找出其中的规律和特点，便能为更加精准地预报雷雨天气提供新的思路和方法[3]。因此，开展雷雨预报检验及天气分型的研究，对于推动气象科学的发展、提升航空气象服务水平具有重要的价值。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料来源

以文山砚山机场 2022~2024 年雷雨天气过程为基准案列，包括 11 次强雷雨复盘总结和年月总簿资料，结合文山砚山机场 2008~2020 年版气候志与 2023~2024 年 MICAPS 系统资料分析比对，具体如下：

1) 本场的观测记录，包括自动气象站观测的气压、气温、湿度、风速、风向等气象要素数据，这些数据能反映近地面的大气状况，帮助了解强雷雨发生时的环境条件。

2) 雷达资料：天气雷达可以监测降水粒子的反射率、径向速度等信息，能够追踪强雷雨系统的位置、移动方向、强度变化等动态情况[4]。

3) 卫星资料：葵花 8 气象卫星可以提供云图，从宏观角度观察强雷雨云团的范围、形状、发展阶段等信息，并且能够覆盖大面积区域，有助于发现新生的强雷雨系统[5]。

4) 闪电定位资料：闪电活动与强雷雨密切相关，闪电定位系统提供的闪电频次、位置等数据可以作为强雷雨活动的重要指示[6]。

5) MICAPS 数值资料，如模拟探空数据，可获取不同高度的气象信息，对分析强雷雨的垂直结构很重要。

## 2.2. 检验方法

### 2.2.1. 准确率评估

计算强雷雨预报准确率，如将预报有强雷雨的区域和时段与实际观测到强雷雨发生的区域和时段进行对比，包括人工观测到闪电或听到雷声或者通过雷达回波及闪电定位资料获取的雷电信息。公式为：准确率 = (实际发生次数/总预报次数) × 100%。由于机场区域范围较小，24 小时预报雷雨发生的准确率在实际应用中普遍是偏小的，目前民航业对 24 小时预报(FT)及 9 小时预报(FC)采用的评分办法分为全要素评分或者重要天气评分，基本上每个单位也有自己的要求，例如文山机场的重要天气评分要求是月平均 ≥ 78%，全要素评分 ≥ 88%且月平均不允许出现连续三个月下跌的情况出现。见表 1 为文山机场 2024 年 1~11 月重要天气评分情况。

**Table 1.** The scoring situation of important weather at Wenshan airport from January to November 2024

**表 1.** 文山机场 2024 年 1~11 月重要天气评分情况

开始日期	结束日期	订正	报文	风	能见度	雷暴	降水	低云	积雨云	灾害天气	准确率
20240101	20241130	186	1942	85.4	64.3	68.4	78.8	68.3	70.4	62.2	77.4%

从评分要求上看显然全要素比重要天气更容易得分且全面考量了与评价对象相关的所有要素，能够对其进行综合、系统的评价，文山机场日常工作中采用的评分办法就是全要素评分。而重要天气评分能够突出关键天气因素对相关活动或决策的影响，使评价更具针对性和实用性[7]。表 1 我们也可以直观地看出雷暴等重要天气的得分情况。

### 2.2.2. 空报率和漏报率计算

空报率是指预报有强雷雨但实际未发生的比例(出于航空安全考虑空报次数未做统计说明)，漏报率是指实际发生强雷雨但未预报出来的比例[2]。

漏报率 = (漏报次数/实际发生次数) × 100%。

### 2.2.3. 空间检验

使用一些空间相似性度量方法，如距离相关法等，将预报的强雷雨区域和实际观测的强雷雨区域在空间分布和移动上进行对比，评估预报在空间位置上的差异和准确性。

### 2.2.4. 平均预报时效误差

计算预报强雷雨发生时间与实际发生时间的差值，再求所有差值的平均值。正值表示预报偏晚，负值表示预报偏早。通过这个指标可以从总体上了解预报时间的偏差程度。对于雷雨这种比较局地性和突发性较强的天气现象，依靠雷达和闪电定位，短临预报时效误差相对较小，通常在 30 分钟以内，如果是短期预报(24 小时预报)时效误差就可能大于 3 个小时，航空气象主要是短临预报，所以对于 24 小时预报这里就不进行过多的验证，待后续拥有更加完善的统计资料再进行论证说明。

### 2.2.5. 中长时效预报命中率

文山机场气象台不仅需要制作未来一周的天气形势预测(天气周报)，还需要提前三天对规定的天气过程进行分析提示(重要天气提示)。对天气周报和重要天气提示进行命中率计算，和短时效类似，通过对比不同时效的命中率，了解预报能力随提前时间增长的变化情况。就目前的情况和技术手段来说毋庸置疑命中率随预报时间的增长是降低的，因为时间越长不确定因素就会越多，气象模型对大气的状态把握也会越来越差，由于大气运动的复杂性加之各种影响因素的动态变化，命中率也必然会降低[8]。就像前面所说，相比短时临近预报，在拥有卫星资料、雷达资料和闪电定位资料的前提下，雷雨的短临预报基

本尽在掌握。

### 3. 天气分型

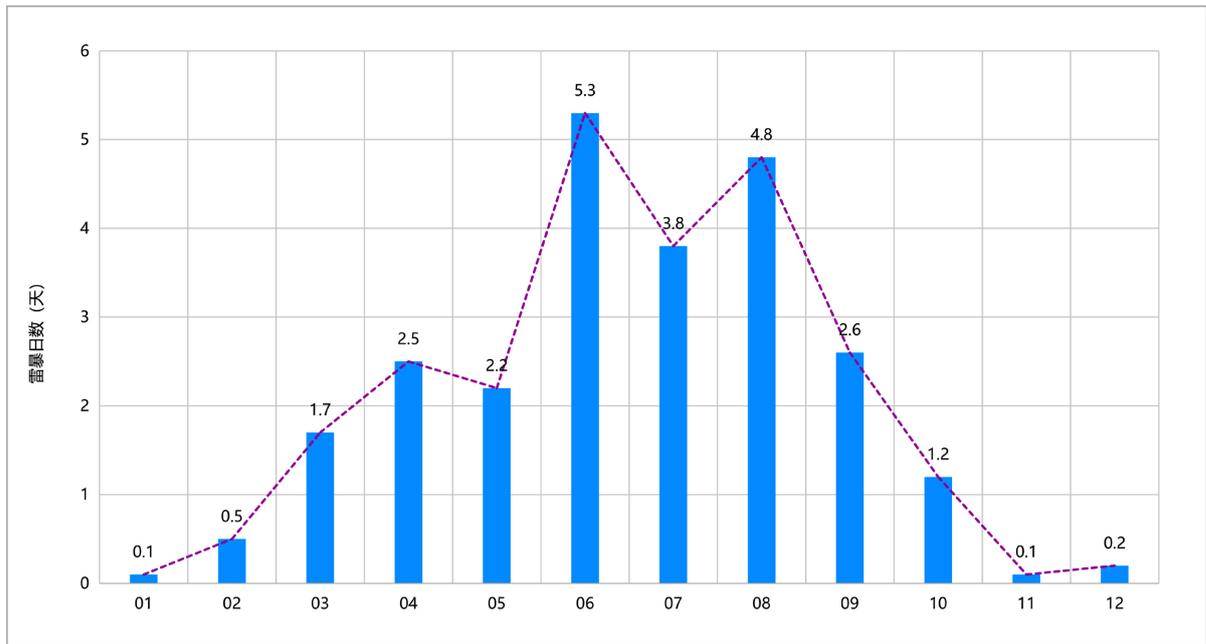


Figure 1. Monthly average variation of thunderstorm days at Wenshan Airport from 2008 to 2020 (Unit: Day)

图 1. 2008~2020 年间文山机场雷暴日数月平均变化(单位: 天)

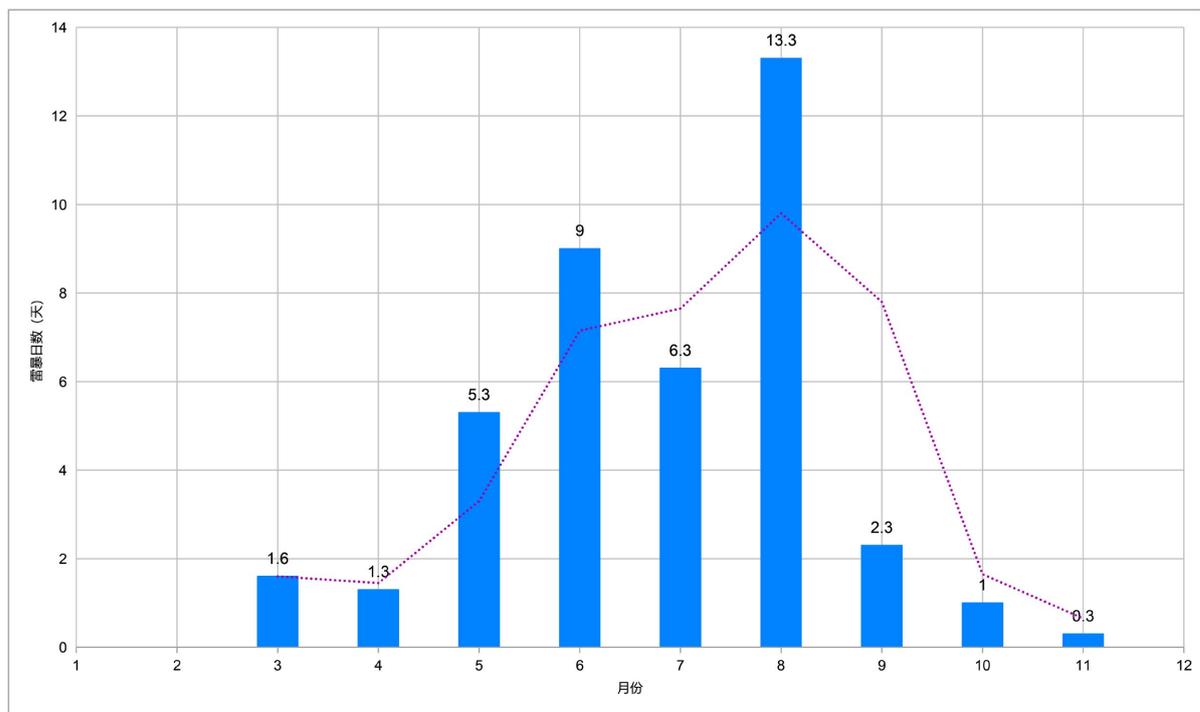


Figure 2. Monthly average variation of thunderstorm days at Wenshan Airport from 2022 to 2024 (Unit: Day)

图 2. 2022~2024 年间文山机场雷暴日数月平均变化(单位: 天)

见图 1 是文山砚山机场 2008~2020 年版气候志中的雷暴日数月平均变化情况。根据文山机场 2022~2024 年雷暴日数月平均变化情况见图 2 与图 1 比对。

由于文山机场 2008~2011 年间，航班较少，一天 1~2 个航班，人工观测时间短，导致 2008~2020 年间雷暴日数偏少，期间文山机场雷暴日数月变化呈单峰抛物线型，其峰值位于 6 月。2022~2024 年峰值逐渐后移位于 8 月。但整体分布情况和变化特点与《文山砚山机场气候志》总结归纳的结果相吻合，观测数据具有一定代表性及比较性。

运用文山机场气象台天气会商资料和天气学原理，分析 MICAPS 高空及地面填图资料，对选取的 2022~2024 年 122 天雷雨天气个例逐个进行天气形势、物理量要素的综合分析，同时利用文山机场气象台六名预报员的 11 次复盘资料深度总结，分类并总结得出文山机场雷雨天气分型。

**Table 2.** Types of thunderstorms at Wenshan Airport from 2022 to 2024 (Unit: Day)

**表 2.** 文山机场 2022~2024 年雷雨分型(单位: 天)

类型	副高	高/低空槽	锋面	台风	低涡	热低压	热力	辐合线/切变线	地形
雷暴日数	39	30	25	9	23	42	9	58	1
占比(%)	31	24	20	7	18	34	7	48	0.8

见表 2 所示，雷雨的分型很多，表内主要依据影响文山机场的雷雨过程，利用文山机场气象台日常分析资料进行总结归类，本场雷雨过程影响频次最多的系统从高到低依次是辐合线/切变线、热低压、副热带高压、高/低空槽、锋面、低涡、热力对流、台风、地形。由于人工监测手段有限，每一个预报员的状态和侧重点有所不同，很多强雷雨天气过程都是多种类型叠加的复合型雷雨，在分析记录的过程中难免有疏漏，后续还需要根据时间的推移进行更多的统计分析总结。2024 年，文山砚山机场获得民航局的支持，投放了一台 784 厂生产的双偏振多普勒气象雷达，今后机场雷雨天气无论是航班保障还是复盘总结都将迈上一个新台阶。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 文山机场雷雨过程预报检验

在 2022~2024 年 122 天雷雨(TSRA)天气过程中，其中记录干雷暴(TS)天气有 36 天，由于机场范围有限，有的雷雨未经过本场区域，但是观测员已经闻雷或观测到闪电，所以即使记录为干雷暴也并不代表系统没有伴随降水，冰雹(GR)天气只有 5 天。从图 1、图 2 可以看出，3 月开始到 10 月为雷雨集中期，冬春 11、12、1、2 四个月最少，最多为 6~8 月。根据天气会商和地面观测簿纪要栏验证，2022~2024 年雷暴出现 122 天，24 小时预报漏报 31 天，漏报率为 25%、5 天冰雹全部漏报，其中也有预报员总结考虑是气象局人影中心人工增雨导致，无论如何航空气象注重短临预报，借助气象局的气象雷达提前 1~2 小时对雷雨冰雹进行了预警，未造成损失。雷达是中小机场强对流天气保障的杀手锏，但还是说明提前量越大，雷雨冰雹预报的难度越大。根据天气分型总结 24 小时雷雨预报如下图。

**Table 3.** Omission rate of 24-hour forecast thunderstorm classification at Wenshan Airport from 2022 to 2024 (Unit: Day)

**表 3.** 文山机场 2022~2024 年 24 小时预报雷雨分型漏报率(单位: 天)

类型	副高	高/低空槽	锋面	台风	低涡	热低压	热力	辐合线/切变线	地形
雷暴日数	39	30	25	9	23	42	9	58	1
漏报日数	14	4	4	2	5	8	7	1	1
漏报率%	35	13	16	22	21	19	77	0.2	100

见表 3 所示 2022~2024 年文山机场雷雨天气预报，最容易漏报的是地形雷暴，其次是热力雷暴和副热带高压雷暴，需要增加相关类型的雷暴机制学习和数理统计，对相关类型的预报提高关注程度。

## 4.2. 文山机场雷雨天气 MICAPS 三个指标的预报检验

### 4.2.1. K 指数

K 指数越高，代表大气中的不稳定能量越强，出现对流性天气(如雷暴、强降雨、冰雹等)的可能性就越大。比如，当 K 指数小于 20 时，天气比较稳定；当 K 指数大于 35 时，发生对流性天气的概率就显著增加[9]。

### 4.2.2. 沙氏指数(简称 SI)全称是“沙沃特指数”

它是一种判断大气稳定度，进而预测对流性天气的气象指数。通过比较 850 百帕和 500 百帕这两个高度之间的气块温度与环境温度的差值来计算，负值越大，表示大气越不稳定，出现对流天气的可能性越高[9]。

### 4.2.3. 对流有效位能(CAPE)是气象学中的一个重要概念

它表示在自由对流高度之上，气块可从环境大气中获取的不稳定能量。简单来说，就是大气中能够支持对流发展的能量大小[9]。

由于文山机场 2023 年之前的 MICAPS 资料数据不稳定，所以选取 2024 年 3~11 月份文山机场初雷到雨季结束的雷雨天气，对实况降水量和 K 指数、SI 指数及对流有效位能(CAPE)进行检验见图 3：

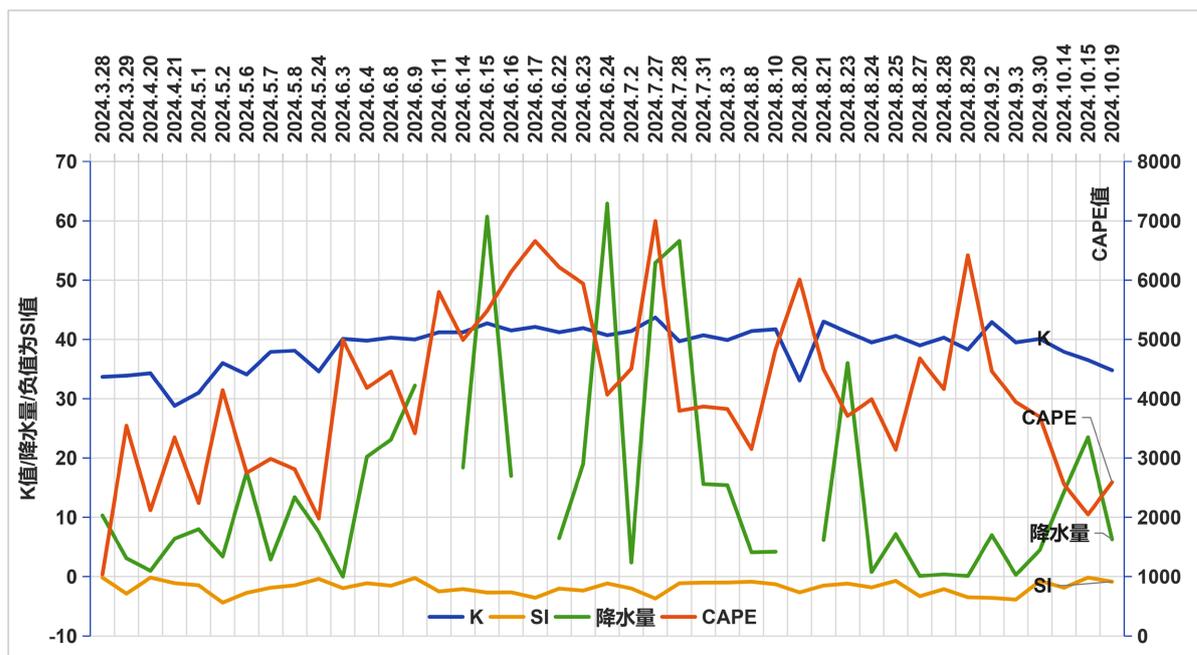


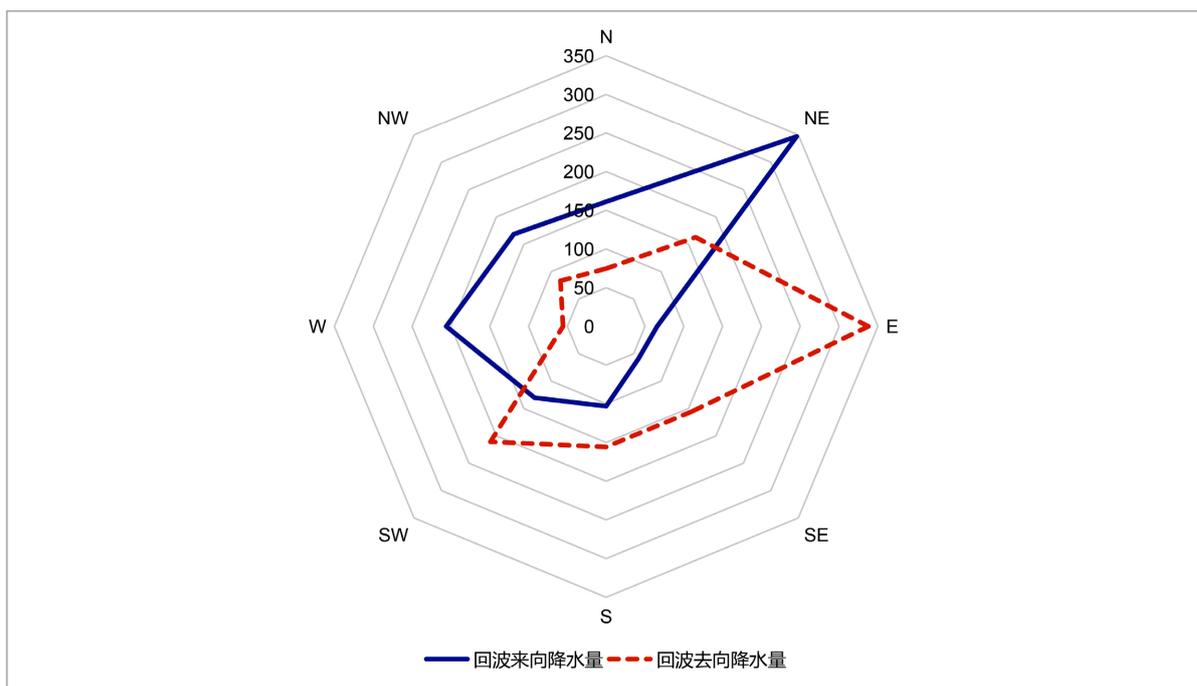
Figure 3. Inspection situation of precipitation in thunderstorm weather and K, CAPE, SI at Wenshan Airport  
图 3. 文山机场雷雨天气降水量与 K、CAPE、SI 的检验情况

从图 3 可以看出，降水量不连续是因为机场范围相对较小，人工观测时闻雷，降水没有到达自观设备导致自观设备降水量为空，但是可以看出文山机场每一次降水的波峰之前基本都对应对流有效位能(CAPE)值的波峰；K 指数与 SI 指数虽然不敏感，但是  $28.8 \leq K \leq 43.7$ 、 $-4.36 \leq SI \leq -0.17$  它们的小

幅度震荡,K 指数的波峰波谷依然能与降水量紧密的关联,由于 SI 指数是负值它的波谷也总是能与 CAPE 的波峰相对应,所以 CAPE、K、SI 三个指标对雷雨的预报具有较好的参考作用[9]。

### 4.3. 文山机场雷雨回波移动路径与降水量检验及关注点

选取文山机场 2022~2024 年雷雨天气资料,降水量采用跑道接地端自动观测设备降水量数据,移动路径和强度采用文山州气象局雷达资料及文山机场气象台地面观测簿纪要栏记录资料。



**Figure 4.** Inspection on the moving path of thunderstorm echoes and precipitation at Wenshan Airport from 2022 to 2024  
**图 4.** 文山机场 2022~2024 年雷雨回波移动路径与降水量检验

如图 4,文山机场 2022~2024 三年雷雨季回波由东北(NE)路径移向本场的天气过程,降水量占比最高,其次是偏西(W)路径;由偏东(E)路径移出本场的天气过程,降水量占比最高,其次是西南(SW)路径。

一方面,在中高纬度地区,引导气流主要受西风带控制,通常呈自西向东的移动方向。这是由于地球自转产生的地转偏向力,使得中高纬度的大气环流以西风为主[10]。在低纬度地区,引导气流的移动方向主要受信风带影响[11]。北半球为东北信风,气流大致从东北方向吹向西南方向,文山机场的坐标(N23°33'30.2", E104°19'30.5")处于低纬度地区接近中高纬,入流的东北(NE)路径与出流的次多路径西南(SW)值得我们思考,包括次多偏西入流路径和最多偏东出流路径。

另一方面,正常来说,当雷雨系统移动路径经过某个地区时间较长时,该地区会持续受到雷雨系统的影响,降水时间延长,降水量往往会比较大,或者是频繁地到达某个固定的地方,也可能移动路径上的地形等因素也会和降水量相互关联。若雷雨系统移动路径经过山区,受地形抬升影响,水汽更容易冷却凝结,也可能会增加降水量;文山机场位于云贵高原东南部,东北面较开阔,东南面稍次。场址位于盘龙江边红旗山和火石山边麓的松山坡上,山坡走向呈东北向西南,又折向西北。海拔高程 1500~1740 m。机场周边为低洼湿地和林地,北头 500 m 处为面积约 3 km<sup>2</sup>的新民水库、跑道西北面 3000 m 处有面积为 4 km<sup>2</sup>的路德水库,这样的地形为东北向雷暴的发展提供了有利条件,同时也为次多降水量的偏西

路径提供了大量水汽条件[12]。偏东移出路径得益于西风带控制，而次多西南路径得益的便是西边地势较高和东北信风的助力。

## 5. 小结与讨论

(1) 统计分析 2022~2024 年文山机场 122 天雷雨天气过程，对雷雨进行分型统计验证，总结了文山机场雷雨天气预报的类型及最容易漏报的是地形雷暴，其次是热力雷暴和副热带高压雷暴，需要增加相关类型的雷暴机制学习和数理统计，对相关类型的预报提高关注程度。

(2) 利用 MICAPS 系统资料及 2024 年 3~11 月份文山机场初雷到雨季结束的雷雨天气，对实况降水量和 K 指数、SI 指数及对流有效位能(CAPE)进行检验，证实三个指标对雷雨的预报具有较好的参考作用。

(3) 选取文山机场 2022~2024 年雷雨天气资料，利用降水量和移动路径的关系，总结了文山机场西风带与信风带及周边地形和水源在雷暴的移动发生发展上所起的关键作用，雷雨季回波由东北(NE)路径移向本场的天气过程，降水量占比最高，其次是偏西(W)路径；由偏东(E)路径移出本场的天气过程，降水量占比最高，其次是西南(SW)。

文山机场从 23 年开始 MICAPS 系统逐步完善，加之 24 年新雷达的投产，今后天气形势与各要素再结合地形深究雷雨的发生发展，未来文山机场的雷雨预报将迈上一个新台阶。

## 参考文献

- [1] 杜玉龙. 文山机场天气及对航班的影响分析[J]. 贵州气象, 2013, 37(Z1): 83-84.
- [2] 刘雨佳, 郝春宏, 刘冰, 等. 基于 EC 的 2022 年夏季北京机场雷雨预报检验分析[J]. 黑龙江气象, 2023, 40(4): 5-7+11.
- [3] 胡晓, 孙甦胜, 蒋飞燕, 等. 基于天气分型的镇海地区雷暴特征及预报研究[J]. 现代农业科技, 2016(16): 195-197+199.
- [4] 虎琳春, 冯德花. 气象雷达产品在机场强对流天气预报中的应用[J]. 科技风, 2018(27): 151-152.
- [5] 何超. 利用小波分析在卫星云图中提取对流云团[J]. 科技资讯, 2008(19): 11-13.
- [6] 许洪泽, 王振会, 冯民学. 闪电定位资料分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(1): 93-95.
- [7] 黎巍, 巩敏莹, 靳英燕. 民航气象航站重要天气预报自动评分系统的实现与应用[J]. 陕西气象, 2002(2): 30-33.
- [8] 吴小雪. 影响气象预报准确率的因素研究[J]. 中国科技投资, 2021(15): 170-172.
- [9] 刘自牧, 文雯, 喻伟, 等. 成飞飞行区域短时强降水时空分布特征及强降水指数分析[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(2): 53-58.
- [10] 郁淑华, 高文良, 彭骏. 准平直长路径与多折向路径东移高原涡的环境场特征[J]. 气象学报, 2022, 80(6): 864-877.
- [11] 李宝东. 谈信风与降水的关系[J]. 成才之路, 2008(2): 51.
- [12] 陈志昆, 张书余. 地形在降水天气系统中的作用研究回顾与展望[J]. 干旱气象, 2010, 28(4): 460-466.