

丽江机场雷暴的气候变化特征及气象保障分析

陈莉, 杨靖新, 陈高平, 李虹霖

云南机场集团有限责任公司丽江机场, 云南 丽江

收稿日期: 2026年8月12日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月21日

摘要

利用2007~2022年丽江机场逐日雷暴观测资料, 采用线性倾向方法、Morlet小波分析和Mann-Kendall趋势检验分析丽江机场雷暴年际变化特征和月际变化特征, 总结了丽江机场雷暴的变化特征。分析表明: 丽江机场夏季雷暴日数最多, 冬、春季的雷暴较少, 秋季的雷暴日数比夏季少, 呈现逐渐减少的趋势。雷暴主要起止时间集中于午后和夜间, 夏季雷暴持续时间最长。西北方向出现的雷暴次数最多, 南面出现的雷暴次数较少, 自北向南方位呈逐渐减少的趋势。在雷暴发生前及时进行天气会商, 严密监视天气变化情况, 综合运用经验预报和数值预报等方法, 能进一步做好航空气象保障工作。

关键词

丽江机场, 雷暴, 气候特征, 小波分析

Climate Change Characteristics and Meteorological Guarantee Analysis of Lijiang Airport Thunderstorm

Li Chen, Jingxin Yang, Gaoping Chen, Honglin Li

Lijiang Airport, Yunnan Airport Group Co., Ltd., Lijiang Yunnan

Received: August 12, 2026; accepted: September 14, 2026; published: September 21, 2026

Abstract

Based on the daily thunderstorm observation data of Lijiang Airport from 2007 to 2022, the interannual and intermonthly variation characteristics of thunderstorms at Lijiang Airport were analyzed by linear tendency method, Morlet wavelet analysis and Mann-Kendall trend test, and the variation characteristics of thunderstorms at Lijiang Airport were summarized. The analysis shows that the number of thunderstorm days in summer is the highest in Lijiang Airport, while the number of

thunderstorm days in winter and spring is lower. The number of thunderstorm days in autumn is less than that in summer, showing a decreasing trend. Thunderstorms mainly start and end in the afternoon and at night, and they last the longest in summer. The frequency of thunderstorms was the highest in the northwest and lowest in the south, with a decreasing trend from north to south. Timely weather consultation before the occurrence of thunderstorms, close monitoring of weather changes, and the combined use of empirical forecasting and numerical forecasting can further improve aviation meteorological support work.

Keywords

Lijiang Airport, Thunderstorms, Climatic Characteristics, Wavelet Analysis

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

雷暴具有突发性强、生命周期短、地域性显著等特征，它是由对流系统所引发的一种剧烈的天气现象。雷暴天气在给农业生产、交通运输、航空安全等带来极大的危害的同时也会给人民的生命财产造成巨大损失。雷暴发生时通常会伴有强降水、强地面风、闪电等天气现象。在一般的雷暴变化特征的研究中，对雷暴日变化趋势规律的研究则较为广泛[1]-[6]。杨波等[7]发现，雷暴高峰期主要发生在傍晚及凌晨。苟阿宁等[8]分析发现 850 与 500 百帕的温度差与 K 指数、A 指数、TT 指数出现快速抖动时，当抖动变得剧烈时可以预报雷暴天气将会发生，而雷暴减弱消亡一般是波动曲线开始下降并保持稳定时。夏文梅等[9]分析江西副热带高压雷暴大风的雷达回波图可知，当存在大的正面积时对流有效位能有利于产生强对流天气；由于高低层风向风速的不同，使得回波系统的云砧伸展方向与雷暴移动方向不是同一个方向，这种变化导致了对流上升运动的发生。其他学者也对雷暴进行了多方面的研究[10]-[15]。实际上，强烈对流常常会引起雷暴伴随强降水天气，强对流天气代表大尺度大气的动力结构、垂直结构、热力结构，通过对雷暴进行深入研究可以进一步分析环流系统的大尺度变化。

丽江机场位于青藏高原东南缘，在云南西北部，其冬夏季的天气气候变化同样与西南季风和东亚冬季风有密切关系。丽江存在干湿季节气候分明的特征，11 月到次年 4 月多大风天气，雷雨多发生在夏季。夏秋季，丽江机场被西南气流所控制，而西南气流一般是深厚而潮湿的，北方南下的弱冷空气与西南气流相遇时，一般会形成大量的降水，这种降水天气通常比较不稳定，一般伴随着频繁的雷暴天气，偶有冰雹、大风等强对流天气出现。11 月至次年 4 月多晴朗少云天气，能见度好，极少出现强降水、降雪等天气。干湿季不同的天气气候背景下，丽江机场的天气差异很大，并呈现不同的气候特点，因此，飞机在飞行过程所受影响也不同[15]。研究雷暴的气候变化特征以期雷暴预报提供有价值的思路，同时也能更好地做好航空气象服务保障工作。

2. 数据与方法

利用丽江机场气象台 2007~2022 年气象观测资料，使用 Mann-Kendall 趋势检验、气候倾向率、Morlet 小波分析、数理统计等方法，对丽江机场雷暴的日变化、年变化、初雷日、终雷日等特征进行分析，最后分析出丽江机场雷暴的气候变化特点。

为方便统计检验雷暴及其它在气候变化中的规律，特使用雷暴气候趋势系数 r_{xt} 。

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (1)$$

其中 $\bar{x}$ 为其样本平均值, x_i 是第 i 年雷暴要素值, n 为总的年数, $t = (n + 1)/2$ 。当雷暴要素在所计算的 n 年内有线性增加(降低)的趋势时, 对应 r_{xt} 值为正(负)。符合 t 分布, 其自由度为 $n - 2$, r_{xt} 能检验雷暴的气候趋势是否有意义, 它是一种随机振动趋势。

采用一元线性回归计算倾向率, 一元线性回归方程如下

$$X = A + Bt \quad (2)$$

式中: X 为雷暴的发生频数, t 为时间序数($t = 1, 2, 2, \dots, n$), A 为一常数, B 为回归系数, 计算时采用最小二乘法。倾向率为 $10 \times B$, 表示每 10 年的变化。

小波分析是一个在气象学中比较普遍的统计工具, 其中 Morlet 小波分析是一种常见的分析方法, 它能同时展开频率及时间域上的信号, 它是一种多分辨率分析方法, Morlet 小波分析能得到各个频率随时间的变化及不同频率之间的关系。通过小波变换可以得出短波分量, 这是其他分析方法所不具备的优点, Morlet 小波分析可以分析出函数的奇异性。由于气象要素具有周期变换性的特点, 近年来在气象学领域中小波分析技术的应用越来越普遍。文章使用母小波函数(复值 Morlet 小波), 表示不同特征时间尺度信号在位相及不同时间上的分布特征时, 一般使用 Morlet 小波系数的实部来作图分析, 突变点一般用零值表示, 正的小波系数代表分析对象在该时间段为多发期时, 而当为负的小波系数时, 一般代表分析对象为偏少期。

3. 丽江机场雷暴成因分析及雷暴特征分析

3.1. 雷暴成因分析

雷暴发生发展所具备的必要条件主要有: 水汽条件、层结条件和抬升机制。

水汽条件所起的作用不仅是提供成云致雨的原料, 它的垂直分布和温度的垂直分布, 是影响气层稳定度的重要因素。低层显著湿区, 中层干区(干舌), 有利于对流发展。分析与低层湿区相配合时, 可形成“下湿上干”层结的对流层中层干区, 对发生雷暴大风有密切联系。水汽条件的量化指标有: 比湿、露点、温度露点差、整层可降水量、相对湿度。

层结不稳定条件是诱发对流发展的内因。热力不稳定条件: 分析对流层温度场, 判断有利于对流天气发生发展的热力不稳定条件。低层暖脊(暖平流), 中高层冷槽(冷平流), 有利于促发雷暴。主要表现在 500 百帕位于显著降温区, 即负变温低值区。

条件不稳定与水汽条件结合构成代表对流发生潜势的不同的对流参数: CAPE 和 CIN; 抬升指数 LI; K 指数; SI 指数; 总指数 TT。

(1) CAPE 和 CIN

对流有效位能 CAPE 数值的增大表示上升气流强度及对流发展的潜势增加。对流抑制能 CIN 数值与 CAPE 相对应, 数值的减小表示上升气流强度及对流发展潜势增强。

(2) 抬升指数 LI

LI 为负值时, 表示气块不稳定, 其负值的绝对值越大, 意味着对流有效位能 CAPE 可能越大。

(3) SI 指数

沙氏指数 SI 与抬升指数 LI 是类似的, 都是对对流有效位能 CAPE 大小的一个粗略度量。当 $SI > 0$,

表示气层稳定； $SI < 0$ ，表示气层不稳定，负值越大，气层越不稳定。

(4) K 指数和总指数 TT

$$K = (T850 - T500) + Td850 - (T - Td) 700$$

$$TT = (T850 - T500) + (Td850 - T500)$$

K 指数和总指数 TT，在地面气压接近 850 百帕或低于 850 百帕的高原地区无效。

抬升机制是产生强对流天气的外因，分析中低层流场来判断有利于触发对流天气的抬升条件。

大尺度系统有：西风槽、高原槽、切变线、低涡、倒槽、低空急流、冷锋。

中小尺度系统有：干线(露点锋)、边界层辐合线、雷暴流出边界、中尺度地形抬升、重力波、水平对流卷(HCRs)、其他类型辐合线。

丽江机场雷暴形成原因主要有 (1) 水汽条件：低层(700 百帕以下)湿度不高，中层(700~500 百帕)湿度高，高层(500 百帕)偏干。(2) 不稳定层结：高空风分析：低层暖平流、高层冷平流。T-lgp 图分析：稳定度指数($SI \leq -1.0^{\circ}\text{C}$)、有效能量($1000 \geq \text{CAPE} \geq 300 \text{ J/kg}$)天气图分析：低层有湿舌，中高层干冷空气。(3) 抬升机制：天气系统：南支槽、切变线、低涡、静止锋等→不同部位辐合上升运动本站邻近区域低空流场：风向或风速辐合线、垂直风切变、低层辐合→触发不稳定能量释放。地形抬升作用：迎风坡→辐合上升运动加强，背风坡→下游新的对流天气。局地热力抬升作用：午后地表受日射加热，在近地层形成不稳定层结，导致不稳定能量释放；地表受热不均造成局地温差，形成局地性垂直环流，产生雷暴天气。

低纬度高原季风气候是丽江机场的气候特点。其主要特征为：冬季不是特别寒冷，低温天气较少，夏季不是特别热，四季不分明，而干湿季节比较分明。干季一般是 11 月~次年 4 月，干季具有充足的日照，一般是晴到少云的天气，湿度小，降水少，风速大，气温日较差大；湿季日照少，湿度大，降水多，雷暴多。

Table 1. Thunderstorm times, initial direction and average duration in Lijiang airport from 2007 to 2022

表 1. 丽江机场 2007~2022 雷暴次数，初始方向和平均持续时间

雷暴初始方向	次数	百分比	平均持续时间(分)
E	158	10.7%	69.6
NE	159	10.8%	60.4
N	192	13.0%	64.1
NW	231	15.7%	65.0
W	190	12.9%	62.0
SW	213	14.4%	63.9
S	115	7.8%	63.1
SE	168	11.4%	60.4
Z	47	3.2%	56.6

表 1 是丽江机场 2007~2022 年雷暴次数、初始方向和平均持续时间。航空气象中一般将雷暴分为 9 个方位，主要有北(N)、西北(NW)、东北(NE)、东(E)、天顶(Z)、西(W)、南(S)、东南(SE)、西南(SW)。由表 1 可知，丽江机场雷暴发生在 NW 方向的次数最多，由南向北方位呈现逐渐增加的趋势，其中发生

在天顶(Z)的雷暴次数最少。丽江机场发生在 NW 方向的雷暴次数要明显高于发生在 S 方向和 Z 方向的雷暴次数。这主要是由于地形原因引起的, 丽江机场南北方向无明显山脉遮挡, 而东西方向均有山脉, 这样就形成了一个狭管。当对流云移动到正南以及正北方向时, 由于受到狭管效应的影响, 移动速度加快, 使其快速移出该方位, 导致在该方位雷暴发生概率较小。而由于本场主要受到西风气流影响, 所以由东面生成的雷暴, 同样较少。E 方向的雷暴平均持续时间最长, 达到了 69.6 分钟, 比最低的天顶方向多了 13 分钟, 这主要是因为丽江机场主要受西风气流影响, 雷暴云在东面生成的较少。而当东面的产生雷暴时, 往往是受到了天气系统的影响, 例如西行台风, 副高西伸等原因, 这一类型的雷暴, 受到地形因素影响较小, 往往持续时间较长。

3.2. 雷暴年际变化特征

2007~2022 年丽江机场 16 年平均年雷暴日数为 60 天, 最少为 52 天, 而雷暴最多年为 70 天, 它也属于是中国雷暴比较频繁的区域。从图 1 雷暴日距平年变化曲线来看, 16 年丽江机场雷暴日数呈现正态分布, 呈两个“双峰型”变化特征, 即 2008 年是波动上升趋势, 2009 年开始呈现波动下降后又逐渐上升, 近 16 年丽江机场年雷暴日数线性变化呈下降趋势, 下降幅度为 2 天/10 年, 其中 2007~2022 年 16 年代际二阶滑动变化趋势呈先上升后下降趋势。

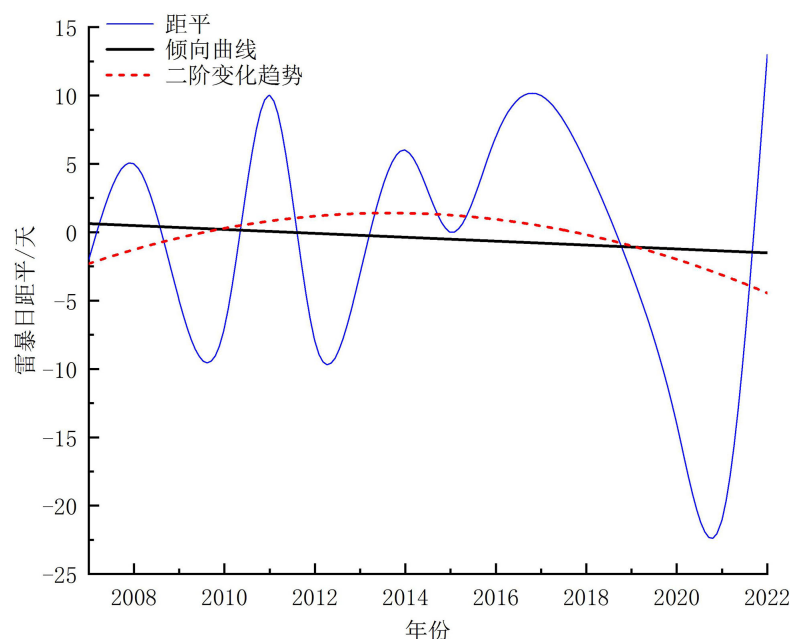


Figure 1. Annual trend curve of thunderstorm daily anomaly in Lijiang Airport from 2007 to 2022

图 1. 丽江机场 2007~2022 年雷暴日距平变化年趋势曲线

丽江机场雷暴日数年变化 Mann-Kendall (M-K) 检验如图 2 所示。从图 2 中可以看出, 雷暴日数的 UB 统计量和 UF 统计量的交点(突变点)大概处于 2009、2011、2013 年和 2020 年左右。

雷暴小波系数实部等值线图反映了雷暴在时间域中的分布及在不同时间尺度的周期变化形势。一般用正的小波系数实部值, 代表雷暴次数比较多的年份。通过 Morlet 小波功率谱(图 3(a))分析可知, 16 年雷暴年代际表现出显著的准 1 年的准周期变化特征。存在 10~12 个月周期振荡信号, 其中比较稳定的是 10 个月的周期振荡, 它在这 16 年中都存在。雷暴日数偏多的是 11 个月的周期振荡期间。2018、2019 年是偏少年的突变点。小波方差图(图 3(b))能够反映雷暴时间序列的波动能力随月尺度的分布情况, 由图可

知雷暴的小波方差存在两个峰值，分别对应 10 个月和 55 个月，其中 10 个月的时间尺度周期震荡最为强烈，为雷暴变化的第一主周期。

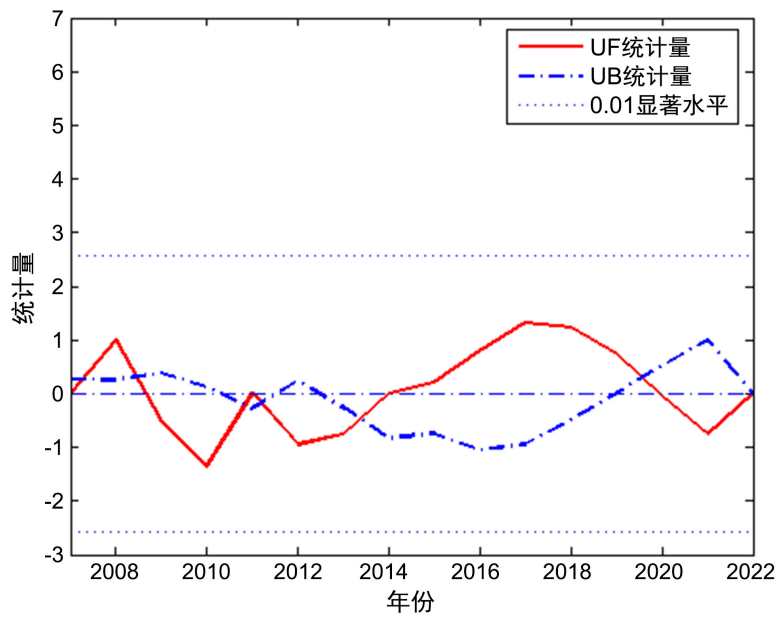
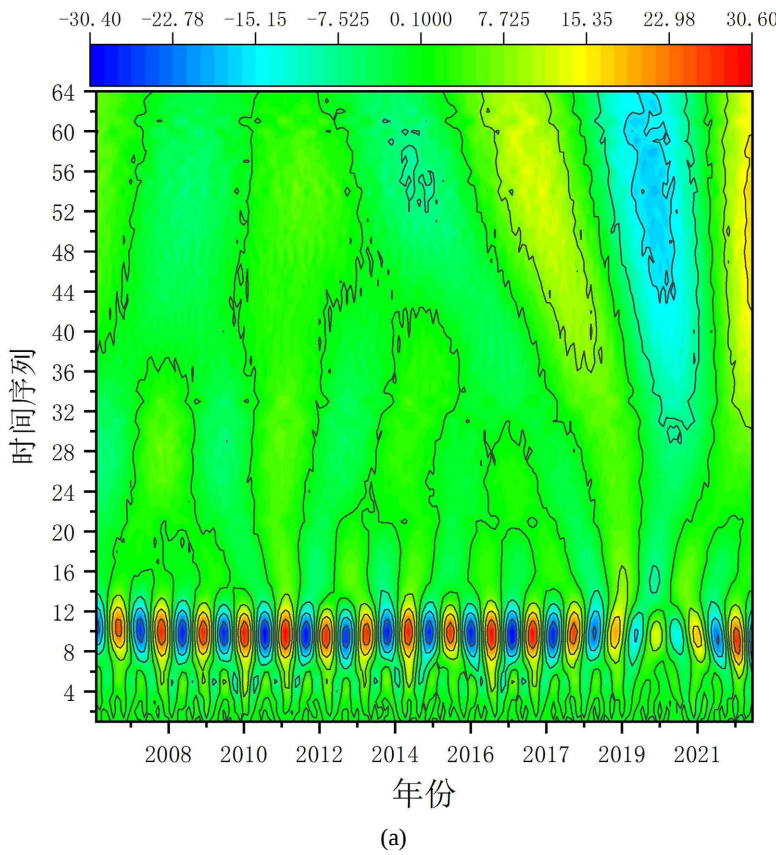


Figure 2. M-K test of thunderstorm days in Lijiang airport for several years
图 2. 丽江机场雷暴日数年变化 M-K 检验



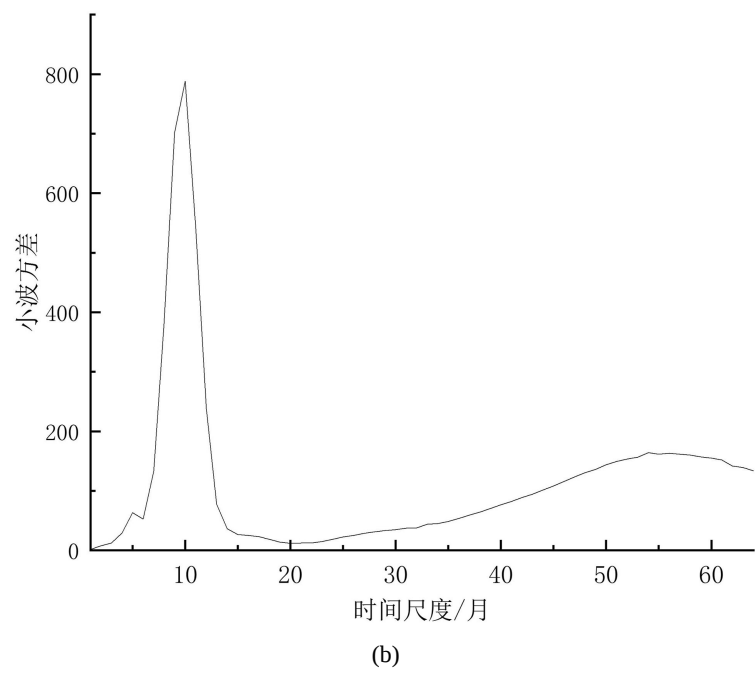


Figure 3. Time-frequency structure of real part of wavelet coefficient of annual thunderstorm days in Lijiang Airport (a) Wavelet variance (b)

图 3. 丽江机场年雷暴日数小波系数实部时频结构 (a) 小波方差 (b)

3.3. 雷暴月际变化特征

每年 6~9 月是丽江机场雷暴最频繁的月份,这三个月的雷暴占全年雷暴日数的 82.3%,最大值有 15.4 天,出现在 8 月,而 7 月次之。雷暴突增期是 5~6 月,10 月是雷暴剧烈减少的月份。丽江机场除了 1、2、12 月之外都有雷暴发生,多雷期是 6~10 月,少雷期是 3、4 月份和 11 月份。

由表 2 趋势系数可见,在各月之中,雷暴次数的增加主要发生在 7~10 月,均通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验,尤其 7~9 月雷暴的增加更为明显;雷暴变化最明显的是在 7 月,其趋势系数为 0.74,而 5 月气候趋势系数小于 0,是减小趋势,且雷暴日数呈减少的趋势变化相对明显;而在对流较少的其他月份,雷暴的气候趋势系数为 0,雷暴在 3 月和 11 月系数较小,其他月份变化不显著。

Table 2. Trend coefficient of thunderstorm frequency in each month

表 2. 雷暴频数在各月的趋势系数

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
雷暴	0	0	0.27	0.16	-0.06	0.21	0.74	0.28	0.75	0.30	0.17	0

注: 表 2 通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验。

从气候角度上看,雷暴很重要的一个气候指标是雷暴的初雷日及终雷日,丽江机场平均雷暴初日在每年的 4 月 13 日,最早在 3 月 6 日;雷暴终期平均在 10 月 20 日,最晚在 11 月 27 日。从雷暴初、终日 的变化趋势图分析(图 4)可知,雷暴开始日期相差不大,雷暴初、终日年代间虽有变化,但无明显的推后 或提前趋势。雷暴的持续日数即雷暴的初、终日日期之间的日数差,丽江机场的平均雷暴的持续日数为 139~243 天。雷暴的大致气候情况通过雷暴的初、终日日期可以看出,了解雷暴初、终日对航空气象预报具 有十分重要的意义。

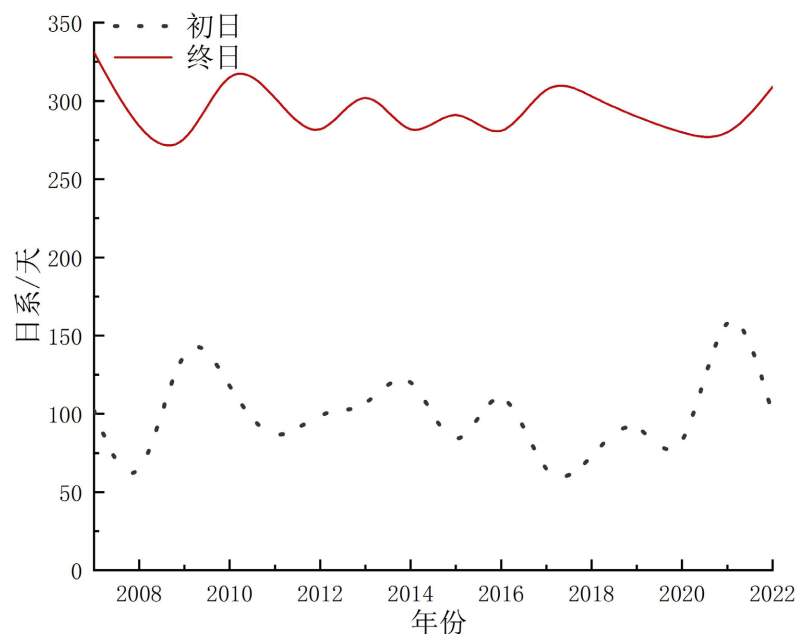


Figure 4. Variation trend of thunderstorm in Lijiang Airport from 2007 to 2022

图 4. 丽江机场 2007~2022 年雷暴初、终日变化趋势

3.4. 雷暴的日变化特征

丽江机场(2007~2022 年)雷暴持续时间 0~1 (含)小时的雷暴共 861 次, 占总数的 59.6%, 持续 1~2 (含)小时的雷暴共 500 次, 占总数的 33.9%, 持续 2~4 (含)小时的雷暴共 119 次, 占总数的 8.4%, 持续时间 4~6 (含)小时的雷暴出现过 9 次、持续时间最长为 9 小时 52 分钟, 出现于 2022 年 6 月 27 日。总体来说, 丽江机场雷暴以单点性短时雷暴为主, 长时间的雷暴主要是受到了天气系统的影响。

根据丽江机场雷暴年平均持续时间统计(表 3), 持续时间不到 1 小时的, 为 53 次, 超过一半; 雷暴持续时间在 2 小时以内的占比为 33%; 雷暴的持续时间在 4 小时以上的, 占总数的 1%, 仅有 1 次。

Table 3. Annual average duration of thunderstorms in Lijiang airport from 2007 to 2022

表 3. 2007~2022 年丽江机场雷暴年平均持续时间

维持时间	<1 h	1~2 h	2~3 h	3~4 h	>4 h
出现次数	53	31	6	1	1
所占比例(%)	58	33	6	2	1

统计还发现雷暴多在午后至夜间出现, 持续时间短的约 1~2 小时, 最长持续时间可达 10 个小时。尤其在 7、8 月份, 午后出现积雨云和浓积云的气候频率达 90%。图 5 可看出双峰型是雷暴的日变化所呈现的特征, 午后 15~18 时是第一波峰出现的时间, 雷暴发生的频次在 19 时开始明显下降, 到 20 时发生的频次又出现逐渐上升的趋势, 20~21 时出现第二个次波峰。第二个波峰与中国大部分地区雷暴天气一般发生在午后有一定的差异。根据对丽江机场 2007~2022 年 7~9 月份气温日变化进行分析, 发现日最高气温出现时段在 14~17 时, 由此表明此时热力对流会导致午后常出现雷暴天气。

用同样的方法对发生在一天中各个时刻的雷暴进行检验, 发现在一天之中, 雷暴频数均呈现出减少趋势(表 4), 且在 20~23 时减少趋势更为明显, 均通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验, 尤其是 20 时雷暴

的减少趋势最为显著，趋势系数达到了-0.71，在对流较少的清晨及上午，雷暴虽有减少但减少的趋势较小，这也说明在夜间及早上是一日之中对流活动减少的时间。综合分析结果可知，雷暴的气候变化在时间上具有明显减少的趋势，而雷暴多发时段的增加趋势也更为明显。

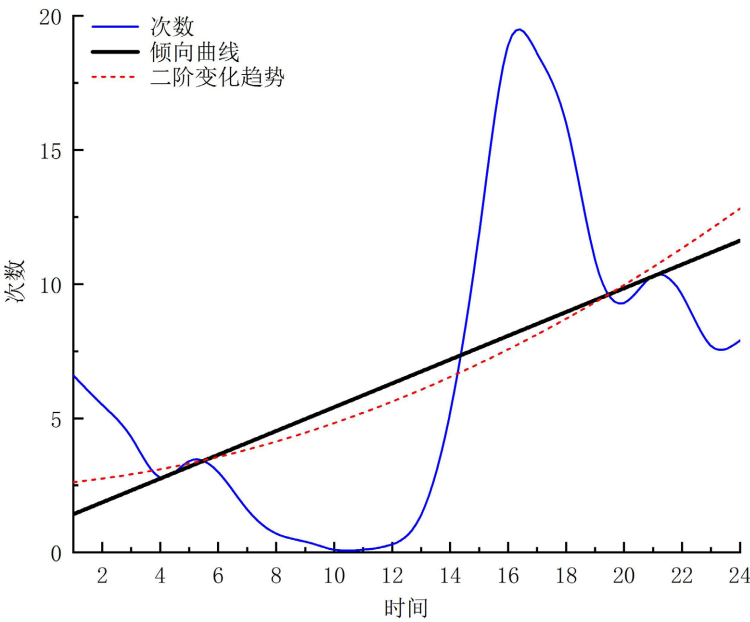


Figure 5. Variation trend curve of thunderstorm days in Lijiang Airport from 2007 to 2022
图 5. 丽江机场 2007~2022 年雷暴日变化趋势曲线

Table 4. Trend coefficient of thunderstorm frequency in each hour
表 4. 雷暴频数在各小时的趋势系数

时间	雷暴	时间	雷暴
1	0.44	13	0.66
2	0.51	14	0.80
3	-0.49	15	0.79
4	0.55	16	0.83
5	-0.68	17	0.86
6	-0.48	18	0.89
7	0.34	19	0.72
8	0.62	20	-0.71
9	0.52	21	0.65
10	0.25	22	-0.54
11	0.58	23	-0.35
12	0.38	24	0.42

丽江机场雷暴日变化 M-K 检验如图 6 所示。从图 6 中可以看出，雷暴随时间变化的 UB 统计量及 UF 统计量的相交点(突变点)大致出现在 15 时左右。

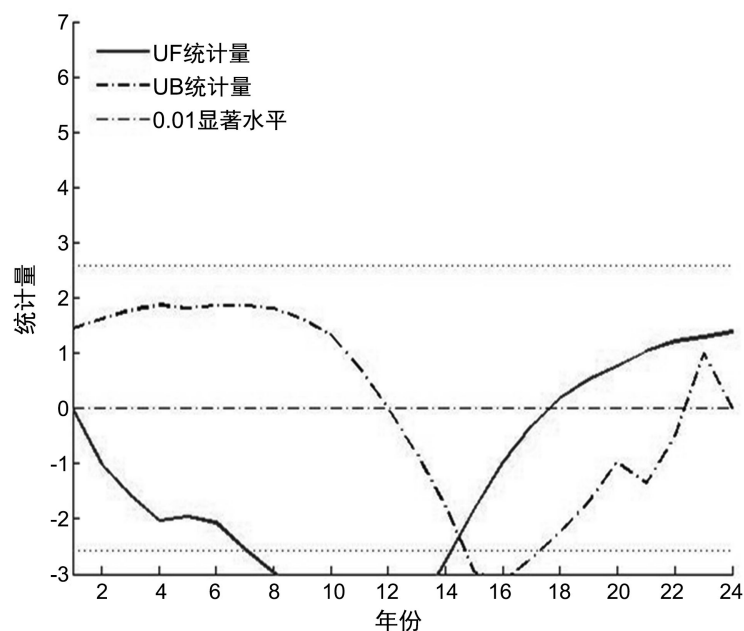


Figure 6. M-K test of thunderstorm daily variation in Lijiang airport

图 6. 丽江机场雷暴日变化 M-K 检验

4. 雷暴对飞行活动的影响及气象保障分析

雷暴是一种放电现象,对飞行安全产生不利影响的主要就是强对流天气,它常造成航班返航、备降,机场航班大面积延误。雷暴云能产生各种各样的危及飞行安全的天气现象—强烈的湍流、积冰、闪电击、雷雨、大风、有时还有冰雹、龙卷风、下击暴流和低空风切变。随着航空工业技术的发展,飞机性能有了很大改进,如飞行高度增高了,飞行距离增长了,并装有先进的机载气象雷达,所有这些只能做到对雷暴及时发现,准确判断,正确做出绕飞、飞越、改降等决定,也即为避开雷暴提供了重要条件。但目前还不具备穿越、克服雷暴障碍的能力。丽江机场曾因强雷暴天气造成数十个航班的延误或返航备降,上千名乘客滞留机场,导致航空公司、机场安全保障压力空前巨大,旅客服务工作极其艰难,严重地影响了航班的正常飞行和安全,所以研究丽江机场雷暴对保障飞行安全具有十分重要的意义。

当来自孟加拉湾的西南暖湿气流和副热带高压边缘的东南暖湿气流交汇并源源不断地向机场输送水汽,并配合川滇切变线、冷锋、低涡、青藏高原与太平洋副高之间的辐合区及南海西行台风形成的倒槽等主要影响天气系统时,就会造成丽江机场连绵阴雨、频繁雷雨,伴有冰雹、大风等强对流天气出现,强对流天气会对飞行安全产生不利影响,常造成航班返航、备降,机场航班大面积延误。短时雷暴是雨季航空气象保障的重点和难点。

丽江机场预报员在雷雨季节保障方面,主要工作有:(1) 当预计有雷暴天气时由主班预报员组织当天值班人员开展天气会商,将天气会商结果制作《重要天气过程预报》发布在工作群里。(2) 判断雷暴天气具体出现时间时,或出现雷暴天气时,发布强对流机场警报,电话通知航行管制组和进近管制组,在丽江机场及时发布预警。时间合适,可在机场生产运行讲评会上进行通报。(3) 雷暴天气临近时,确保岗位值班力量,确保天气信息通报准确及时。伴随的其他天气现象达到机场警报标准时,及时发布相应种类的机场警报。(4) 检查发布预报,如有需要及时发布修订报;及时发布特殊(例行)预报及趋势预报。对本场造成影响时,在工作群里进行天气及趋势通报。预报员重视天气会商的重要作用,组织天气会商并及时通报管制启动流量管控措施。

丽江机场在上午和中午的雷暴发生次数最少,下午到前半夜是雷暴多发期。丽江机场工作中使用的是 10 分钟之前的雷达回波图,由于雷暴天气具有发展快、范围较小等特点,在预报雷雨的开始和结束时间时,容易出现结果与实际相差较大的情况,特别是预报移速较快和强度变化较快的回波时。预报员熟悉本场雷暴的气候变化特征,准确掌握雷暴的起止时间、移动速度及方位,以进一步提前预判出雷暴天气的情况以更好地做好航空气象服务工作。

5. 结论

(1) 丽江机场雷暴成因主要从 (1) 水汽条件 (2) 不稳定层结 (3) 抬升机制等三方面进行分析。

(2) 丽江机场雷暴发生在 NW 方向的次数最多,总体有由北向南方位呈逐渐减少趋势。雷暴日数的 UF 统计量和 UB 统计量的交点(突变点)大致位于 2009 年、2011 年、2013 年、和 2020 年左右。

(3) 丽江机场雷暴主要集中在 6~9 月,冬、春季节出现次数较少,夏季雷暴日数最多,秋季的次之,总体呈现波动减少的趋势。

(4) 双峰型特征是丽江机场雷暴的日变化主要呈现的特征,午后 15~18 时出现第一波峰,而第二次波峰出现在 20~21 时,丽江机场雷暴主要出现在午后及 21 时左右。

(5) 雷暴云能产生各种各样的危及飞行安全的天气现象,强雷暴天气严重地影响了航班的正常飞行和安全。应对雷暴天气,丽江机场观测员严密监视雷暴发展及移动情况,及时准确报告信息;预报员掌握好天气形势,了解机场雷暴变化特征,综合运用经验预报和数值预报等方法,做好雷暴天气预报预警工作,进一步保障好飞行安全,提高机场及航空公司运行效率。

参考文献

- [1] 费海燕,王秀明,周小刚,等.中国强雷暴大风的气候特征和环境参数分析[J].气象,2016,42(12):1513-1521.
- [2] 郭大梅,章丽娜,王秀明,等.2016 年初冬陕西一次高架雷暴天气过程分析[J].气象,2018,44(11):1404-1413.
- [3] 陈翔,彭丽霞,高文亮,等.洪泽湖地区强雷暴天气气候特征与雷达回波分析[J].气象,2011,37(9):1118-1125.
- [4] 褚荣浩,李萌,姚叶青,等.华山黄山地区雷暴变化特征及其规律分析[J].气象与环境科学,2022,45(3):11-21.
- [5] 林卓宏,梁敏妍,梁军,等.江门市雷暴多发期气候特征研究[J].气象,2012,38(12):1502-1507.
- [6] 马晓玲,李德帅,胡淑娟.青海地区雷暴、冰雹空间分布及时间变化特征的精细化分析[J].气象,2020,46(3):301-312.
- [7] 杨波,王园香,蔡雪薇.我国华南江南春季雷暴气候特征分析[J].热带气象学报,2019,35(4):470-479.
- [8] 苟阿宁,高正旭,侯静,等.基于雷达和微波辐射计的湖北省冷季“高架雷暴”特征分析[J].热带气象学报,2020,36(4):528-541.
- [9] 夏文梅,马中元,慕瑞琪,等.江西副高边缘雷暴大风雷达拼图回波特征分析[J].大气科学学报,2021,44(5):717-726.
- [10] 王东方,郗秀书,袁善锋,等.北京地区的闪电时空分布特征及不同强度雷暴的贡献[J].大气科学,2020,44(2):225-238.
- [11] 谷思雨,胡文东,彭维耿,等.银川河东机场小样本雷暴分类客观预报方法研究[J].气象科学,2019,39(6):763-774.
- [12] 许皓琳,郑佳锋,姜涛,等.乌鲁木齐和成都两地机场雷暴降水水汽条件的分析研究[J].气象,2020,46(11):1440-1449.
- [13] 李艳,马百胜,朱昌权,等.甘肃省雷暴气候特征及其环流成因分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2019,55(3):347-356.
- [14] 周明薇,肖稳安,张其林,等.基于支持向量机的雷暴潜势预报初探[J].大气科学学报,2018,41(4):569-576.
- [15] 徐海,成永勤,李跃春.林芝机场低空风的垂直切变特征及其对飞行安全的影响[J].高原山地气象研究,2015,35(3):45-49.