

文章编号:2096 - 5389(2020)06 - 0071 - 05

大理机场雷暴特征及潜势预报分析

毕 波,高 兵,杨 航

(云南机场集团有限责任公司大理机场,云南 大理 671000)

摘 要:利用大理机场 5 a 天气观测资料和 FNL 1.0 × 1.0 数据,对大理机场雷暴特征及潜势预报进行分析,结果发现:大理机场全年各月都有可能出现雷暴天气,雷暴天气主要出现在 6—9 月,每年 7 月和 8 月雷暴天气出现最为频繁;雷暴天气持续时间 0 ~ 1 h 的次数最多,持续时间 1 ~ 2 h 的次数次之,持续时间 4 ~ 6 h 的次数较少,没有出现持续时间 6 h 以上的雷暴;雷暴可以出现在大理机场的任何方向,出现在东边的次数最多,出现在天顶的次数最少;雷暴初期平均在 1 月 31 日,雷暴终期平均在 11 月 14 日,雷暴的初期和终期年际差别较大。选取对流有效位能、500 hPa 相对湿度、0 °C 层高度、近地表 4 层等压面的抬升指数和可降水量作为预报因子建立大理机场雷暴预报方程,该预报方程是显著的,有较好的雷暴潜势预报能力。

关键词:大理机场;雷暴;潜势预报;多元回归分析

中图分类号:P427.32 **文献标识码:**B

Analysis of Thunderstorm Characteristics and Potential Forecast in Dali Airport

BI Bo, GAO Bing, YANG Hang

(Dali Airport of Yunnan Airport Group Company, Dali 671000, China)

Abstract: Based on the 5 - year weather observation data of Dali airport and FNL 1.0 × 1.0 data, the characteristics and potential forecast of thunderstorms in Dali airport are analyzed. The results show that thunderstorms may occur in every month of the year in Dali airport, mainly in June to September, and most frequently in July and August. The frequency of thunderstorms lasting 0 to 1 hour is the most frequent, and the frequency of thunderstorms lasting 1 to 2 hours is also relatively common. The frequency of thunderstorms lasting 4 to 6 hours is less, and there is no thunderstorm lasting more than 6 hours. Thunderstorms can occur in any direction, most often in the east and least often at the zenith. The mean time of the initial thunderstorm is January 31, and the mean time of the final thunderstorm is November 14. The effective potential energy of convection, 500 hPa relative humidity, 0 - degree layer height, isobaric surface uplift index of four layers near the surface and precipitation were selected as the prediction factors to establish the thunderstorm prediction equation of Dali airport. The prediction equation was significant and had good thunderstorm potential prediction ability.

Key words: Dali Airport; Thunderstorm; Potential Forecast; Multivariate Regression Analysis

0 引言

大理机场地处滇西北横断山脉最南端,金沙江与澜沧江过渡地带,洱海盆地南部,区域内地形总

势西北高、东南低,全区山势陡峭挺拔、河谷纵横深切其间,海拔悬殊较大。主要受高原季风气候影响^[1],属低纬高原季风气候区,气候特点主要表现为四季不明显、冬无严寒、夏无酷暑,干雨季分明。

收稿日期:2019 - 08 - 07

第一作者简介:毕波(1984—),男,工程师,主要从事航空气象预报及应用服务工作,E-mail:263652145@qq.com。

资助项目:云南机场集团有限责任公司(2017CX01);云南高原山地机场强对流天气短时临近预报系统。

雷暴是影响大理机场航班飞行正常的重要天气现象之一,雷暴出现时大都伴有阵性降水,少数有大风、冰雹伴随出现。据统计大理机场 2015—2018 年因本场天气原因返航、备降航班共 196 架次,其中因雷暴天气返航、备降 37 架次,占因天气原因返航、备降总架次 18.9%。历年来有很多学者对各地的雷暴特征和潜势预报做了研究,并取得了一系列成果,顾震潮^[2]对我国雷暴的气候特点进行了研究,指出我国雷暴日数有 3 个区域特别多,分别是雷州半岛及海南岛北部、云南东南部和四川西部;张敏锋等^[3]研究了我国 104 个台站雷暴日数的时空分布,发现 20 世纪 60—90 年代我国的雷暴日数总体呈下降趋势,但 2000 年以后的变化规律在不同地区的研究有所差异;区志中等^[4]分析了近 20 a 白云机场雷暴气候的统计特征,得出白云机场雷暴的年、季、月、日变化特征;周永水^[5]等分析了贵州省雷暴气候特征,结果发现贵州年雷暴日数较多,年际变化较大,季节变化也极为显著;许迎杰等^[6]分析了云南雷暴潜势预报系统的建立和应用情况,指出使用潜势预报系统预报雷暴的方法;刘宸钊等^[7]利用相关系数法选取相关性好且稳定的预报因子,进行事件概率回归,得到雷暴预报方程,并对 2007 年雨季西昌雷暴进行预报,取得了较好的效果。

目前大理机场气象台对雷暴天气的预报,主要依靠基本的常规气象资料、卫星云图和接引的气象局多普勒天气雷达资料进行人工定性判断,结合预报员的预报经验进行短时临近预报,缺少可供参考的数值预报指导产品,预报的针对性、时效性和准确性仍有待提高。因此,文中拟通过分析大理机场近 5 a 雷暴特征并对与雷暴发生有关的物理量进行研究分析,找到雷暴发生、发展规律和适合本地实际的一些规律指标,作出定量的预报,减少雷暴天气对航班正常运行的影响,对于提高机场飞行气象保障能力,确保机场安全运营具有重要意义。

1 资料选取及说明

雷暴特征分析选用了大理机场 2014 年 1 月—2018 年 12 月逐日每小时定时观测和特殊观测天气纪要栏记录的雷暴资料,潜势预报分析选用 2014 年 1 月—2018 年 12 月每天 4 时次的 FNL 1.0×1.0 数据,时间为世界时(下同)。只要在这一天内曾经发生过雷暴,听到过雷声,都记为一个雷暴日;如果在该天几小时内发生过雷暴,就记为雷暴小时;雷暴初期和终期分别指一年中第一次和最后一次听到打雷的日期。

2 雷暴时空特征分析

2.1 雷暴天气时间分布特征

分析大理机场年际变化特征可知,大理机场雷暴日数的年际变化差异较大,雷暴日数年平均 38.4 d,雷暴日数 2018 年最多 58 d,2015 年最少 21 d,相差了 37 d,其他年份 2016 年 42 d,2014 年 40 d,2017 年 31 d。

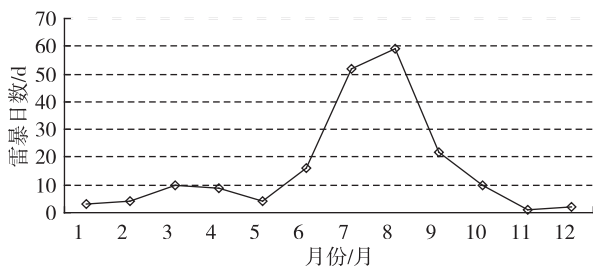


图 1 大理机场 2014—2018 年各月雷暴日数年变化
Fig. 1 Annual change of thunderstorm days of Dali airport from 2014 to 2018 (unit: day)

图 1 为大理机场 2014—2018 年各月累计雷暴日数,由图 1 可知,从年变化来看,大理机场全年各月都有可能出现雷暴天气,但各月出现雷暴日数的情况差别较大,雷暴天气主要出现在 6—9 月,其中 8 月份出现雷暴日数最多,累计雷暴日数 59 d,占全年的 30.7%,7 月次之,为 52 d,占全年的 27.1%,11 月最少,累计雷暴日数只有 1 d。从图中还可以发现,5—7 月雷暴日数快速增长,呈现直线上升,5 月份累计雷暴日数仅为 4 d,而 7 月累计雷暴日数达到 52 d,8—10 月雷暴日数逐月减少,每年 7—8 月大理机场雷暴天气出现最为频繁。形成大理机场雷暴日数年变化的原因是因为从 5 月开始,随着西南季风的加强,大理机场开始受西南季风影响,空气潮湿,冷暖空气交汇频繁,雷暴日数增多;6—7 月,随着太阳辐射的增加,低层气温逐渐升高,西南季风盛行,西太平洋副热带高压北跳,大理位于副热带高压西部外围,空气潮湿,大气中常蕴含着大量不稳定能量,容易产生雷暴;7 月以后,随着副高的北跳、南撤和西伸、东退变化,有利于高原上的低值辐合系统东移影响本场,也容易产生雷暴,而 10 月份以后,随着西南季风和西太平洋副热带高压减弱,气温降低,气层稳定,很少产生雷暴。

图 2 为雷暴出现频率日变化情况,可见一整天各时段都会出现雷暴天气,但各时段内出现的频率是不一样的,从 17:00—04:00UTC 出现频率相对较少,其中最少出现在 00:00—02:00UTC,04:00—07:

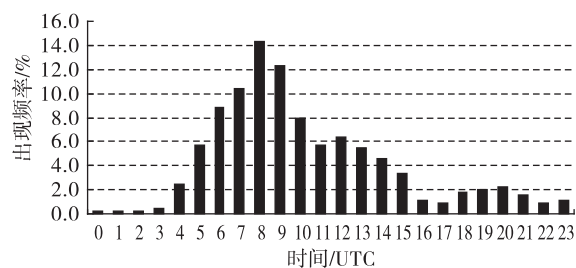


图2 大理机场 2014—2018 年雷暴日变化(单位:%)

Fig. 2 Daily variation of thunderstorm in

Dali airport from 2014 to 2018 (unit: %)

00UTC 雷暴出现频率急剧增大,最大出现在 08:00UTC,雷暴出现频率占整天的 14.35%,这是由于 08:00UTC 温度上升至最高值,引发热力性雷暴所致,08:00UTC 后雷暴出现频率开始减少,日落后雷暴出现频率明显减少。说明大理机场雷暴天气出现时间具有明显的日变化特征,白天多于夜间,午后至傍晚出现的频率较高,雷暴出现最多的时段在 06:00—15:00UTC 之间。

2.2 雷暴天气持续时间

分析大理机场 2014—2018 年雷暴持续时间在

表 1 大理机场 2014—2018 年各时段平均雷暴出现次数(单位:次)及最长持续时间(单位:h)

Tab. 1 Average thunderstorm frequency (unit: time) and longest duration (unit: h) of Dali airport from 2014 to 2018

时长/h	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
0~1	0.6	0.8	2.4	2.4	0.8	2.4	10.4	10.4	4.0	0.8	0.2	0.2	35.4
1~2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.0	2.8	3.0	1.4	0.8	0.0	0.2	9.6
2~4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	1.6	1.2	0.4	0.2	0.0	0.0	4.0
4~6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
最长持续时间	0.33	0.57	2.08	1.17	1.8	2.37	3.53	4.63	2.83	2.45	0.15	1.05	4.63

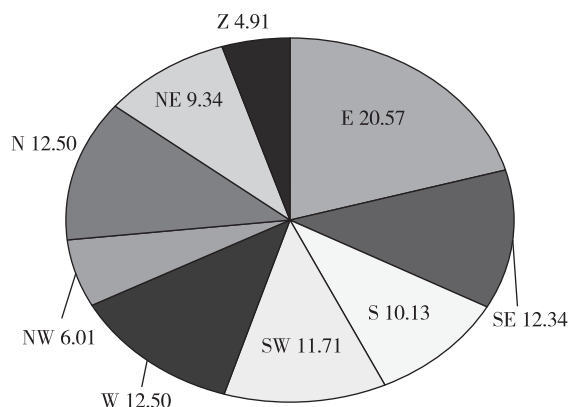


图3 大理机场 2014—2018 年各方位

雷暴出现频率(单位:%)

Fig. 3 Frequency of thunderstorm occurrence in

Dali airport from 2014 to 2018 (unit: %)

各时间段出现的次数可知,雷暴天气一般持续时间较短,主要为 2 h 以内,雷暴出现的次数随雷暴持续时间的增长而减少,持续时间短的雷暴次数多,随着持续时间增长,其出现的平均次数逐渐减小。持续时间在 2 h 内的平均雷暴次数为 45 次,占年平均雷暴总次数的 91.46%,持续时间在 2 h 以上的平均雷暴次数为 4.2 次,仅占 8.54%,其中持续时间 0~1 h 的次数最多,年平均 35.4 次,占年平均总次数的 71.95%,持续时间 1~2 h 的次数次之,年平均 9.6 次,占年平均总次数的 19.5%;持续时间 2~4 h 的雷暴 4 次,占年平均总次数的 8.13%;持续时间 4~6 h 的次数最少,仅 0.2 次,没有出现持续时间 6 h 以上的雷暴。从最长持续时间上看,持续时间较长的月份集中在 6—10 月,历史极值出现在 2016 年 8 月 24 日,持续时间为 4.63 h,其余月份最长持续时间很少超过 2 h。呈现这种变化规律是因为大理机场的雷暴大多是“热雷暴”^[8],夏季午后陆地表面受太阳辐射而强烈加热,常常在近地层形成绝对不稳定层结,使对流容易发展,这种热力抬升作用为主所形成的雷暴强度通常比系统性上升作用形成的雷暴要弱,持续时间也相对较短,往往在 2 h 以内。

2.3 雷暴天气空间分布特征

雷暴可以出现在大理机场的任何方向(包括天顶),从雷暴出现频率来看,出现在东边的次数最多,出现频率为 20.57%;西、北方向次之,出现频率均为 12.5%;其次是东南边,出现频率为 12.34%;出现在天顶的次数最少,出现频率为 4.91%;大理机场属低纬山地机场,地形对雷暴的生消、移动影响明显,地形抬升对雷暴有加强作用,机场东侧以山岭和盆地为主,任意方向都能够形成抬升作用,盆地的热力效应也较明显,有利于对流云的发展,从而易产生雷暴;北面 and 东南面地形与东侧相似,也容易产生雷暴;机场西面隔洱海有南北向的苍山,当高空引导气流以偏西风为主时,对流云系由西往东移,苍山西坡作为迎风坡,地形抬升作用明显,也易产生雷暴天气,而受苍山背风坡和洱海水体的影响,雷暴移动至机场上空的则相对较少。

2.4 雷暴的初、终期

大理机场 2014—2018 年雷暴初期平均在 1 月 31 日,最早 2017 年 1 月 4 日,最晚 2018 年 2 月 26 日;雷暴终期平均在 11 月 14 日,最早 2014 年 10 月 4 日,最晚 2018 年 12 月 29 日;平均雷暴初终期之间的日数为 288 d,2016 年最多 334 d,2015 年最少 234 d,最多和最少相差了 100 d,可见大理机场雷暴的初期和终期年际差别较大。

3 雷暴潜势预报分析

3.1 潜势预报方法

雷暴的潜势预报方法主要是通过对不同类型雷暴天气的历史气象资料得到的导出物理量历史值进行分类统计,选取与该类雷暴天气相关性较好的敏感对流参数作为预报因子,通过权重分析应用多元逐步回归法建立不同类型雷暴天气的潜势预报方程。多元回归^[9]是对某一预报量 y ,研究多个因子与它的定量关系,例如共选取 p 个因子,记为 $x_1, x_2, \dots, x_p$,多元回归方程 $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p$,其中 b_0 为回归系数, $b_1, b_2, \dots, b_p$ 为 p 个因

子 $x_1, x_2, \dots, x_p$ 所占的权重系数。

3.2 预报因子的选取和方程的建立

在 FNL 资料包含的物理量中,选择与雷暴形成有关的因子来做雷暴预报研究因子,计算这些因子与大理机场雷暴的相关系数和相关系数的显著性 t 检验,然后在通过显著性检验的因子中选取相关系数较大的因子作为预报因子。预报因子的选择要充分考虑雷暴形成的层结稳定度、水汽和抬升源 3 个基本条件,每个条件应有 1~2 个相关性较好,并且稳定性好的预报因子。在这里,对雷暴的形成选取了对流有效位能(CAPE)、对流抑制能量(CIN)、500 hPa 相对湿度、700 hPa 相对湿度、850 hPa 相对湿度、500 hPa 云水含量、气柱云水、0℃层高度、地表抬升指数、近地表 4 层等压面的抬升指数、可降水量、整层相对湿度、330~1 000 hPa 相对湿度和 850 hPa 绝对涡度作为雷暴预报研究因子。通过提取大理机场所在位置 FNL 资料中这些因子 2014 年 1 月 1 日—2018 年 12 月 31 日的时间序列,并计算这些因子时间序列与大理机场雷暴的相关系数和相关系数的显著性 t 检验,计算结果如下表:

表 2 预报因子与大理机场雷暴的相关系数和相关系数的显著性 t 检验

Tab. 2 Significance t -test of correlation coefficient and correlation coefficient between forecast factor and Thunderstorm in Dali Airport

预报因子英文缩写	预报因子中文名称	与雷暴相关系数	99% T 检验
CAPEsfc	对流有效位能	0.298	13.348
CINsfc	对流抑制能	-0.153	-6.610
RH500	500 hPa 相对湿度	0.293	13.103
RH700	700 hPa 相对湿度	0.185	8.028
RH850	850 hPa 相对湿度	0.187	8.109
CLWMR500	500 hPa 云水含量	0.103	4.438
CWATclm	气柱云水	0.097	4.157
HGTOC	0℃层高度	0.211	9.223
LFTXsfc	地表抬升指数	-0.294	-13.114
No4LFTXsfc	近地表 4 层等压面的抬升指数	-0.314	-14.133
PWATclm	可降水量	0.284	12.645
RHclm	整层相对湿度	0.292	13.028
RHsg330_1000	330~1 000 hPa 相对湿度	0.284	12.643
ABSV850	850 hPa 绝对涡度	-0.096	-4.124

所选取的 14 个雷暴预报研究因子均通过了 99% T 检验,对流抑制能、地表抬升指数、近地表 4 层等压面的抬升指数和 850 hPa 绝对涡度与大理机场雷暴呈负相关,其他因子则呈正相关,所选预报因子与大理机场雷暴相关性较好,有 8 个因子相关系数绝对值大于 0.2,只有 2 个预报因子的相关系数绝对值小于 0.1,相关性最好的因子是近地表 4 层等压面的抬升指数,相关系数为 -0.314,相关性最差

因子是 850 hPa 绝对涡度,相关系数为 -0.096。因此在 8 个相关系数绝对值大于 0.2 的因子中选取预报因子,选取预报因子时综合考虑雷暴形成的 3 个基本条件,由于 500 hPa 相对湿度、整层相对湿度和 330~1 000 hPa 相对湿度的物理意义相似,根据预报因子不可重复性原理^[10],只选取其中相关系数最大的 500 hPa 相对湿度作为预报因子,同理地表抬升指数和近地表 4 层等压面的抬升指数的物理意义

相似,只选取近地表4层等压面的抬升指数作为预报因子,所以最终选取的大理机场雷暴预报因子为:对流有效位能、500 hPa 相对湿度、0℃层高度、近地表4层等压面的抬升指数和可降水量。

利用大理机场2014年1月1日—2018年12月31日的1826个雷暴样本和该时段内所选取5个预报因子数据进行回归分析,得到大理机场全年雷暴预报方程:

$$y = 0.1274 + 0.0034 \times \text{CAPE}_{\text{sfc}} + 0.00194 \times \text{RH}_{500} - 0.0000147 \times \text{HGTOC} - 0.0148 \times \text{No4LFTX}_{\text{sfc}} - 0.00362 \times \text{PWAT}_{\text{clm}}$$

经计算预报方程的阈值为0.31,即当 $y \geq 0.31$ 时大理机场可能发生雷暴天气,当 $y < 0.31$ 时大理机场不发生雷暴天气。

3.3 预报方程的显著性和预报效果检验

预报方程的显著性检验是检验预报因子与预报量是否确有线性关系,因为在建立方程前并不能确定预报因子与预报量之间确有线性关系,即在方程建立前线性关系只是一种假设,因此需要对预报方程进行显著性检验。多元回归方程遵从分子自由度为 p ,分母自由度为 $n-p-1$ 的 F 分布,其中 p 为预报因子数, n 为样本容量,经计算,该预报方程的 $F=4.002$,查 F 分布表,在5%显著水平下,分子自由度为5,分母自由度为1820时 $F_{\alpha}=2.22$, $F > F_{\alpha}$,因此预报方程通过了显著性检验,预报方程是显著的。

利用2018年7月、8月的数据资料对预报方程进行预报效果检验,期间方程共报雷暴34次,实际出现了32次,报对23次,空报11次,漏报9次,则该预报方程的命中率为71.9%,虚假报警率为32.4%,可见此预报方程有较好的雷暴潜势预报能力,对大理机场雷暴预报有较好的指示意义。

4 结论

①大理机场全年各月都有可能出现雷暴天气,

雷暴天气主要出现在6—9月,每年7月和8月雷暴天气出现最为频繁。

②大理机场雷暴天气持续时间0~1h的次数最多,持续时间1~2h的次数次之,持续时间4~6h的次数较少,没有出现持续时间6h以上的雷暴。

③雷暴可以出现在大理机场的任何方向,出现在东边的次数最多,出现在天顶的次数最少。

④大理机场雷暴初期平均在1月31日,雷暴终期平均在11月14日,雷暴的初期和终期年际差别较大。

⑤利用对流有效位能、500 hPa 相对湿度、0℃层高度、近地表4层等压面的抬升指数和可降水量作为预报因子建立大理机场雷暴预报方程,预报方程通过了显著性检验,预报效果检验表明该预报方程有较好的雷暴潜势预报能力。

参考文献

- [1] 高兵,王周鹤,赵建伟,等. 机场气候概要汇编[M]. 2011:205-210.
- [2] 顾震潮. 我国雷暴的气候特点[J]. 地理学报,1978,33(1):42-48.
- [3] 张敏锋,冯霞. 我国雷暴天气的气候特征[J]. 热带气象学报,1998,14(2):156-162.
- [4] 区志中,张美平,敖淑珍. 近20年白云机场雷暴气候的统计特征[J]. 广东气象,2003(2):13-14.
- [5] 周永水,谢波,严小冬. 贵州省雷暴气候特征分析[J]. 贵州气象,2010(6):16-19+23.
- [6] 许迎杰,尹丽云,张腾飞,等. 云南雷暴潜势预报系统的建立和应用[J]. 云南大学学报,2011,33(S1):1-7.
- [7] 刘宸钊,卓伟,裴军林. 基于对流参数的雷暴预报方法研究[J]. 高原山地气象研究,2010,33(2):22-25.
- [8] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法(第三版)[M]. 北京:气象出版社,2000:430-431.
- [9] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京:气象出版社,2004:36-50.
- [10] 郝莹,姚叶青,陈焱,等. 基于对流参数的雷暴潜势预报研究[J]. 气象,2007,33(1):51-56.