

高原机场远程预报低云低能见度分析研究

王琦, 陈莉*, 代冰冰, 陈高平

云南机场集团有限责任公司丽江三义机场, 云南 丽江

收稿日期: 2023年6月10日; 录用日期: 2023年7月6日; 发布日期: 2023年7月14日

摘要

文中选择以丽江机场作为预报中心, 使用现有的预报产品及模式模拟制作泸沽湖机场远程航空预报。通过对比分析丽江机场低能见度月平均预报准确率及泸沽湖机场自身预报准确率可得出: 在6~9月, 丽江机场气象台与泸沽湖气象台对于低云低能见度的预报情况均较好; 其中使用欧洲天气预报中心(ECMWF) ERA5提供的资料及现有的预报产品远程预报一次泸沽湖机场低云低能见度天气过程, 此次个例分析也说明了远程预报的可行性。总体来说, 对于航班运行期间远程预报泸沽湖机场低云低能见度的预报情况较好。

关键词

远程预报, 低能见度, 预报准确率

Analysis of Low Cloud and Low Visibility in Plateau Airport Long-Range Forecast

Qi Wang, Li Chen*, Bingbing Dai, Gaoping Chen

Yunnan Airport Group Limited Liability Company Lijiang Sanyi Airport, Lijiang Yunnan

Received: Jun. 10th, 2023; accepted: Jul. 6th, 2023; published: Jul. 14th, 2023

Abstract

In this paper, Lijiang Airport is selected as the forecasting center and the existing forecasting products and models are used to simulate the long-range aviation forecast of Lugu Lake Airport. By comparing and analyzing the monthly average forecast accuracy of low visibility of Lijiang Airport and Lugu Lake Airport itself, it can be obtained: from June to September, both Lijiang Airport meteorological Observatory and Lugu Lake meteorological Observatory have good forecasts of low cloud and low visibility. The data provided by ERA5 of the European Centre for Weather Predic-

*通讯作者。

tion (ECMWF) and existing forecasting products are used to forecast a low cloud and low visibility weather process at Lugu Lake Airport. The case analysis also shows the feasibility of long-range forecasting. Generally speaking, the long-range forecast of low cloud and low visibility at Lugu Lake Airport during flight operation is good.

Keywords

Remote Forecasting, Low Visibility, Prediction Accuracy

Copyright © 2023 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

近年,随着中国民航业的快速发展,据统计显示,中小机场在国内整个民航机场中的占比不断增加。目前国内开展远程集中预报的单位有黑龙江机场集团、新疆机场集团、湖南机场集团等机场运行管理单位正在以各种形式开展异地集中预报探索,有些已初见成效。随着云南机场集团旗下小型民用及通用机场不断建设及投入使用,滇西北地区机场数量也呈现日趋增多的趋势,然而此类机场普遍存在航班量不大但是人力成本较高的现象。对于机场航行气象保障而言,很多机场长期处于人员紧缺状态,所以集中人力资源、信息资源,建立以干线机场为中心,由部分预报能力较强且人员设备较齐全的机场,制作以本区域为中心辐射周边片区的远程预报报文,形成新型航空气象运行模式,成为未来机场气象预报发展的一个趋势。能见度是航空气象保障影响的主要因素之一,对能见度的分析预报已经有许多[1]-[6],但是远程预报能见度的成果很少,因此做好能见度的远程预报为今后类似天气预报和航空气象保障将会起到指导性作用。

2. 资料与方法

远程预报选择以丽江机场作为预报中心,使用现有的预报产品及模式模拟制作泸沽湖机场远程航空预报。主要有 1) 收集整理丽江机场及泸沽湖机场的相关气象数据。收集主要影响泸沽湖机场运行的天气要素并进行成因分析,进一步深入研究泸沽湖机场天气特点及预报总体思路。2) 有效利用现阶段远程塔台视频监控系统、自观系统、气象信息综合服务系统等设备开展远程气象观测工作、与泸沽湖机场气象台每日开展天气会商等预报手段开展泸沽湖机场天气预报工作。3) 根据泸沽湖机场天气特点选择能见度(泸沽湖机场能见度最低运行标准为 800 米,所以主要针对能见度小于 1000 米情况进行预报评分),按照《机场预报重要天气评分办法》要求对两地气象预报进行评分。4) 根据泸沽湖机场运行特点丽江机场气象台每日选取 00~09、03~12、06~15 三个有效时段使用模拟预报发布软件进行泸沽湖机场远程模拟预报发布,并将泸沽湖机场例行天气报告、纪要栏记录等进行收集用于预报评分。5) 根据两地预报评分结果进一步对预报结论进行分析总结,形成针对该机场较为实用的预报模式。

平均预报准确率(ζ): 参评预报平均准确率,将所选时间段内,所选择气象要素低能见度参与评分的每一份预报的准确率累加与全年参评份数相除得到平均预报准确率。 n : 参评份数。

文中所使用预报准确率名词包括,月平均预报准确率、各有效时段平均预报准确率、低能见度年平均预报准确率、低能见度月平均预报准确率、各有效时段低能见度平均预报准确率。个例分析使用欧洲天气预报中心(ECMWF) ERA5 提供的风场、相对湿度、水汽通量散度等资料。

3. 低云低能见度远程预报

3.1. 参评情况

分析表 1 可知丽江机场气象台在验证期间模拟发布 00~09、03~12、06~15 三个有效时段的预报报文中共有 187 份低能见度预报达到泸沽湖机场评分标准参与评分。从低能见度月参评份数来看, 春秋两季 4 月至 6 月、9 月和 10 月参评份数较多, 其中 9 月参评份数最多, 为 32 份; 冬夏两季 11 月至次年 3 月、7 月和 8 月参评份数较少, 其中 11 月参评份数最少, 为 0 份。从预报结果上看, 报对 72 份, 漏报 102 份, 空报 13 份, 丽江机场气象台对低能见度天气的漏报率较高, 占比 55%, 特别是 1 月至 3 月报对份数均为 0 份。

Table 1. The monthly number of low-visibility evaluations and the monthly average forecast accuracy of Lijiang Airport meteorological Station

表 1. 丽江机场气象台低能见度月参评份数和月平均预报准确率

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	合计
参评份数(份)	8	14	6	21	23	29	13	8	32	26	0	7	187
报对份数(份)	0	0	0	13	10	14	2	2	13	14	0	4	72
漏报份数(份)	5	14	6	8	12	13	11	5	15	11	0	2	102
空报份数(份)	3	0	0	0	1	2	0	1	4	1	0	1	13
月平均预报准确率(%)	65.6	75.0	75.0	90.5	84.8	85.3	78.8	78.1	82.0	87.5	—	85.7	年平均 82.9

由表 2 可看出泸沽湖机场气象台在验证期间发布 00~09、03~12、06~15 三个有效时段的预报报文中共有 47 份低能见度预报达到泸沽湖机场评分标准参与评分。因预报报文基数较少, 参与低能见度评分的份数也较少, 但从低能见度月参评份数来看, 主要集中在 6 月至 9 月, 其中 7 月参评份数最多, 为 13 份, 2 月至 4 月、11 月和 12 月参评份数最少, 为 0 份。从预报结果上看, 报对 15 份, 漏报 30 份, 空报 2 份, 泸沽湖机场气象台对低能见度天气的漏报率较高, 占比 64%。

Table 2. Monthly low visibility participation and average monthly forecast accuracy of Lugu Lake Airport meteorological station

表 2. 泸沽湖机场气象台低能见度月参评份数和月平均预报准确率

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	合计
参评份数(份)	3	0	0	0	2	11	13	5	10	3	0	0	47
报对份数(份)	0	0	0	0	0	4	2	3	4	2	0	0	15
漏报份数(份)	3	0	0	0	2	7	11	1	6		0	0	30
空报份数(份)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2
月平均预报准确率(%)	75.0	—	—	—	75.0	84.1	78.8	85.0	85.0	83.3	—	—	年平均 81.9

3.2. 低能见度年平均预报准确率

丽江机场气象台低能见度年平均预报准确率为 82.9%, 与丽江机场气象台年平均预报准确率 81.8% 相比高 1.1%, 因低能见度参评份数偏少, 低能见度年平均预报准确率的高低对年平均预报准确率的高低

影响较小。

泸沽湖机场气象台低能见度年平均预报准确率为 81.9%，与泸沽湖机场气象台年平均预报准确率 80.2% 相比高 1.7%，主要因为泸沽湖机场气象台对降水和对流云的预报分数偏低，对年平均预报准确率有一定影响。

从低能见度年平均预报准确率上看，丽江机场气象台较泸沽湖机场气象台高 1.0%。

3.3. 低能见度月平均预报准确率

分析表 1 可以知，丽江机场气象台低能见度月平均预报准确率差异较大。与低能见度年平均预报准确率 82.9% 相比，4 月、5 月、6 月、10 月和 12 月这五个月的低能见度月平均预报准确率高于低能见度年平均预报准确率，其中 4 月的低能见度月平均预报准确率最高，为 90.5%；1 月至 3 月、7 月至 9 月这六个月的低能见度月平均预报准确率低于低能见度年平均预报准确率，其中 1 月的低能见度月平均预报准确率最低，为 65.6%。主要因为验证初期，第一季度对泸沽湖机场低能见度天气预报方法掌握不全面，预报准确率较低，漏报率较高，另外泸沽湖 7 月和 8 月为雨季，产生低能见度天气的天气背景复杂，增加了预报难度，所以导致第一季度和第三季度的低能见度月平均预报准确率偏低。

由表 2 可以看出泸沽湖机场气象台低能见度月平均预报准确率因样本偏少，数值差异较大，具有随机性，如 1 月、5 月和 10 月参评份数均 ≤ 3 份，所以没有明显的规律。与低能见度年平均预报准确率 81.9% 相比，6 月、8 月~10 月这四个月的低能见度月平均预报准确率高于低能见度年平均预报准确率，其中 8 月和 9 月的低能见度月平均预报准确率最高，为 85.0%；1 月 5 月和 7 月这三个月的低能见度月平均预报准确率低于低能见度年平均预报准确率，其中 1 月和 5 月的低能见度月平均预报准确率最低，均为 75.0%。

3.4. 各有效时段的低能见度平均预报准确率

丽江机场气象台发布的预报报文中三个有效时段的低能见度参评份数相差较大(见表 3)，其中 00~09 时段最多为 75 份，06~15 时段最少为 53 份。从三个有效时段的低能见度平均预报准确率来看，00~09 有效时段低能见度平均预报准确率最高，为 84.7%；其次是 06~15 有效时段低能见度平均预报准确率为 82.5%，03~12 有效时段低能见度平均预报准确率最低为 80.9%。

Table 3. The number of low-visibility entries and the average forecast accuracy of Lijiang Airport meteorological station in each effective period

表 3. 丽江机场气象台各有效时段的低能见度参评份数和平均预报准确率

有效时段	00~09	03~12	06~15
参评份数(份)	75	59	53
报对份数(份)	33	20	19
漏报份数(份)	38	33	31
空报份数(份)	4	6	3
低能见度平均预报准确率(%)	84.7	80.9	82.5

泸沽湖机场气象台发布的预报报文中三个有效时段的低能见度参评份数较少，其中 00~09 时段最多为 21 份(见表 4)，06~15 时段最少为 11 份。从三个有效时段的低能见度平均预报准确率来看，00~09 有效时段低能见度平均预报准确率最高，为 82.1%；其次是 06~15 有效时段低能见度平均预报准确率为

81.8%，03~12 有效时段低能见度平均预报准确率最低为 81.7%，总体来看三个有效时段的低能见度平均预报准确率相差不大。

分析主要原因是因为泸沽湖机场低能见度天气多出现于早上，预报员对低能见度天气出现时间把握较好，因此 00~09 时段的低能见度天气报对率较高，但对低能见度天气持续具体时间把握不好，特别是在系统性天气过程产生的低能见度天气特征和预报方法研究不足，没有大胆进行预报，最终导致两机场气象台 03~12 和 06~15 两时段的低能见度天气均有漏报较多、空报较少、预报准确率较低的情况出现。

Table 4. The number of low-visibility entries and the average forecast accuracy of weather stations at Lugu Lake Airport during each effective period

表 4. 泸沽湖机场气象台各有效时段的低能见度参评份数和平均预报准确率

有效时段	00~09	03~12	06~15
参评份数(份)	21	15	11
报对份数(份)	8	4	3
漏报份数(份)	11	11	8
空报份数(份)	2	0	0
低能见度平均预报准确率(%)	82.1	81.7	81.8

4. 预报要素验证分析

本次验证主要是低能见度，将主要针对双方机场在航班运行时间段所发布预报中所包含的要素进行分析。具体分析情况如下：

航班运行时段内所发布的预报，从表 5 可以看出，丽江机场气象台发布的泸沽湖机场预报产品共有 35 份参评，预报结论中，17 份报文报对，27 份报文为漏报，1 份报文空报，根据评定标准计算低能见度平均预报准确率为 83.9%。泸沽湖机场发布的天气预报共有 46 份参评，其中 14 份报对，30 份漏报，2 份报文为空报，低能见度平均预报准确率为 81.5%。

Table 5. Statistical table of low visibility forecast by meteorological stations at the two airports

表 5. 两机场气象台低能见度预报情况统计表

低能见度		报对	漏报	空报	平均
丽江机场	参评份数(份)	17	27	1	83.9
	预报准确率(%)	100	50	50	
泸沽湖机场	参评份数(份)	14	30	2	81.5
	预报准确率(%)	100	75	50	

由于在泸沽湖机场航班运行时段内，大部分月份仅有 1~2 份预报低云低能见度参与评定，故选择相对低云低能见度出现较多的 6 月~9 月进行低能见度月平均预报准确率分析。分析出，在 6~9 月，丽江机场气象台与泸沽湖气象台对于低云低能见度的预报情况均较好，仅在 7 月份时较低，其余 3 个月对于能见度的预报准确率均高于当月的月平均预报准确率。总体来说，对于航班运行期间泸沽湖机场低云低能见度的预报情况较为良好。

5. 远程预报泸沽湖机场一次低云低能见度天气过程个例分析

2022年12月17至18日泸沽湖机场有一次低云低能见度天气过程,丽江机场预报员对17日上午08时的地面天气图、850 hpa及500 hpa的高空天气图进行分析可知:从地面图上看,泸沽湖机场(100°E, 27°N)处于1020.0等压线上,受强冷空气影响;从850 hpa图上看,泸沽湖机场处于冷高压西南侧,受偏南气流控制;从500 hpa图上看,它处于西太平洋副热带高压北侧,受西南气流控制。分析高空环流形势图1可知泸沽湖机场受高压脊控制,处于575 dagmp~580 dagmp等高线之间,在这种环流背景下,容易出现稳定形势,有利于下沉运动为主,天空云量较少,有利于夜间近地层大气降温,容易出现辐射雾。

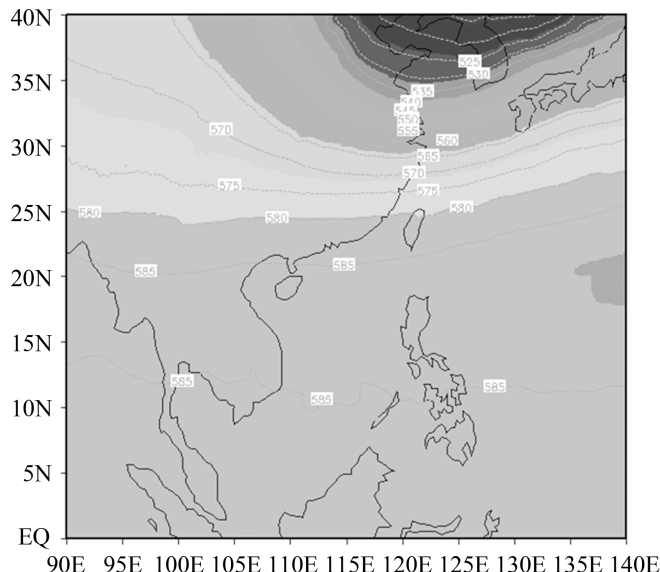


Figure 1. Field average of 500 hPa height during heavy fog process on December 17~18, 2022 (unit: dagmp)

图 1. 2022年12月17~18日大雾过程500 hPa高度场平均(单位: dagmp)

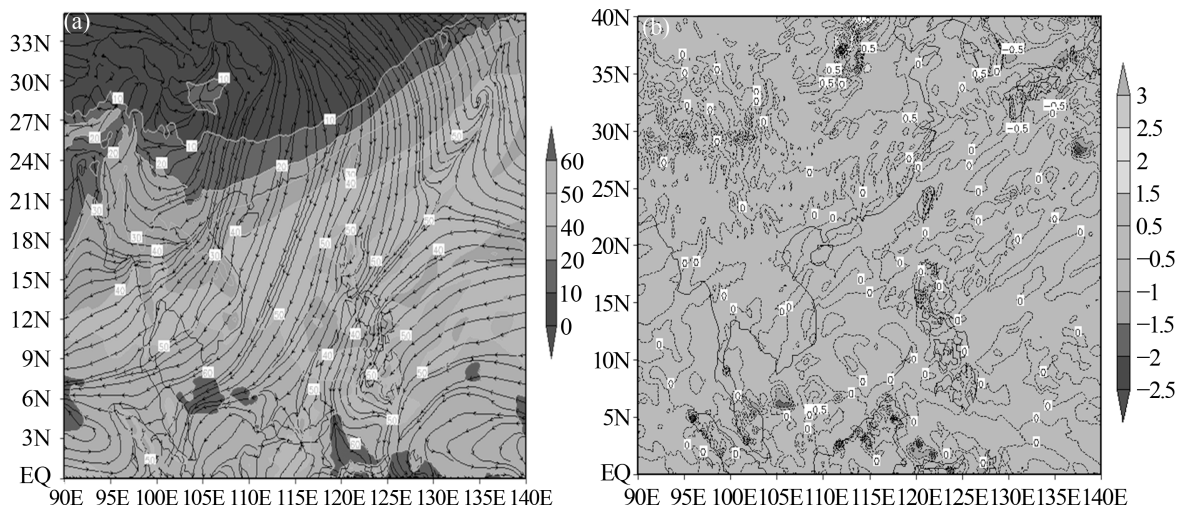


Figure 2. (a) Water vapor flux divergence and wind flow field diagram on December 17, 2022 (unit: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), (b) 500 hPa vertical speed (unit: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 2. (a) 2022年12月17日水汽通量散度及风的流场图(单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), (b) 500 hPa垂直速度(单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 2(a)是水汽通量散度及风的流场,分析图可见,在中国范围内,主要的水汽源地位于低纬度地区,

主要的水汽汇(值小 0 的区域)位于中纬度区域。分析图 2(b) 500 hPa 垂直速度可看出泸沽湖机场位于小的负速度区, 即有微弱的上升运动。

分析图 3(a)相对湿度经向垂直剖面图, 可以看出, 低纬度整层湿度都较大, 12°N~20°N 高层具有明显的干性特征, 泸沽湖机场 650 hPa 以下相对湿度为 50%~80%, 会导致雾维持或加强。图 3(b)垂直速度图可看出 500 hPa 及以上基本为大尺度下沉运动作用, 垂直速度值在 $0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ~ $0.4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 而在 600 hPa 以下到地面, 则以弱的上升气流为主, 其上升速度为 $-0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。大尺度的下沉运动一方面有利于夜间晴空的存在, 另一方面其导致的下沉逆温限制了边界层之上的混合作用, 从而有利于大雾的出现。

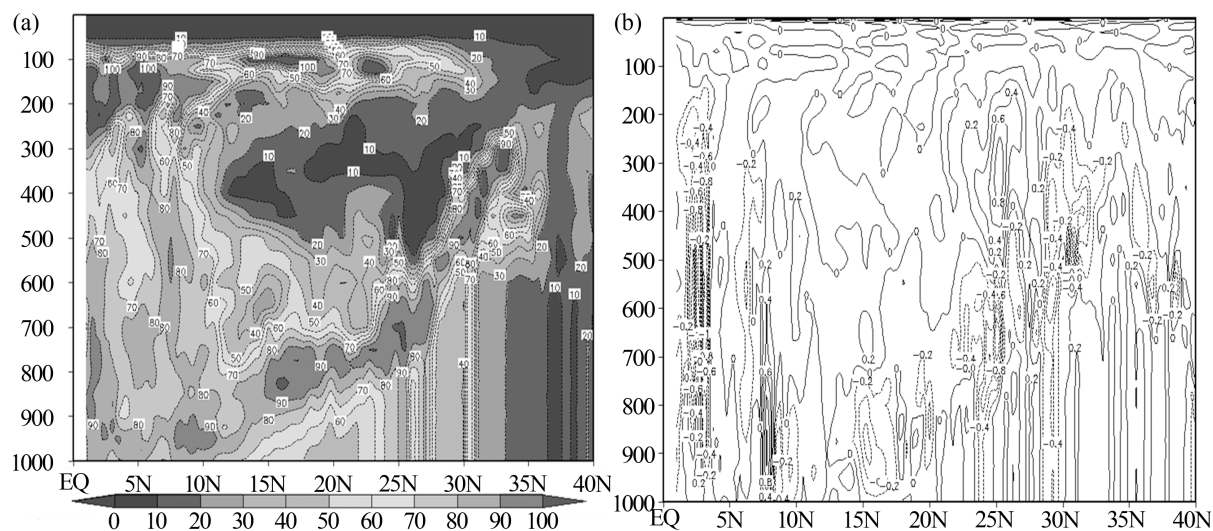


Figure 3. (a) Relative humidity along the (100°E) longitudinal vertical profile, (b) vertical velocity profile along (100°E) (unit: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 3. (a) 相对湿度沿(100°E)经向垂直剖面, (b) 垂直速度沿(100°E)剖面图(单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

综合分析可知, 泸沽湖机场上空大气层结相对稳定, 逆温层虽然会出现, 但是不厚, 影响不大; 有一定的水汽输送, 所以水汽条件是满足的; 受冷空气影响, 机场的气温上升会很慢; 加之前一天机场有降水, 跑道北面、东面及南面的山谷水汽都相对充足, 具备形成雾的条件。

基于以上判断, 预报员认为 17 日当天上午会形成雾, 具体预报如下: 09~12 时机场大雾, 能见度 400~1200 米, 云高 0 米, 垂直能见度 60~120 米; 12~13 时大雾逐渐消散, 能见度及云高明显波动性抬升; 13~16 时气象条件稳定, 能见度 1200~4000 米, 云高 90~300 米, 满足盲降标准; 16 时之后再次起雾, 能见度 300~800 米, 云底高 0 米, 垂直能见度 30~60 米。

泸沽湖机场天气实况是在 12:55 能见度达到了 1500 米, 云底高 90 米。12:55~14:10 天气条件一直比较稳定, 能见度保持在 1500 米以上, 云高保持在 90 米以上; 14:10 开始, 23 号跑道 5 边方向开始起上坡雾, 逐渐遮盖 5 边, 之后能见度和云高持续转差, 到 14:40 分, 机场彻底被大雾覆盖, 能见度 300 米, 云底高 0 米, 垂直能见度 60 米, 不满足盲降标准; 之后主导能见度一直在 1000 米以下, 云高在 60 米以下一直持续到 19 日才好转, 这与预报结果相差不大。

综上所述, 远程预报这次沽湖机场低云低能见度的预报情况较好, 预报员能够运用现有的资料, 较好的远程预报了这次低云低能见度天气过程。

6. 结论与讨论

1) 丽江机场气象台在远程预报验证过程中, 对于航班运行期间泸沽湖机场低云低能见度的预报情况

较为良好。

2) 使用欧洲天气预报中心(ECMWF) ERA5 提供的资料及现有的预报产品远程预报一次泸沽湖机场低云低能见度天气过程, 此次个例分析效果较好, 同时也说明了远程预报的可行性。

3) 远程预报泸沽湖机场低云低能见度天气过程准确率比较高, 且它是现阶段用于民航机场较为先进的一种预报方式, 做好远程预报顺利开展可以有效推进高原地区远程预报系统的开发及分片区预报模式的开发研究, 有效的填补云南区域内高原及高高原机场远程预报领域的空白。

基金项目

云南机场集团有限责任公司创新项目(2021JC08: 高原及高高原机场远程预报技术探索试点)。

参考文献

- [1] 顾雨亭, 严小杰, 许东蓓, 等. 山地机场一次平流雾天气演变特征及成因分析[J]. 高原山地气象研究, 2023, 43(1): 71-80.
- [2] 刘红武, 黄楚惠, 王彬雁, 等. 湖南省低能见度天气时空分布特征及预报订正方法研究[J]. 高原山地气象研究, 2022, 42(2): 120-128.
- [3] 李慧晶, 余芳, 李洪梅, 等. 四川不同等级雾的时空分布及其生消时间[J]. 高原山地气象研究, 2021, 41(2): 88-93.
- [4] 黄楚惠, 王彬雁, 陈朝平, 等. 近 10 年四川盆地低能见度时空分布特征及订正方法研究[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(4): 67-73.
- [5] 马翠平, 吴彬贵, 李江波, 等. 一次持续性大雾边界层结构特征及诊断分析[J]. 气象, 2014(6): 715-722.
- [6] 赵玉广, 李江波, 李青春. 华北平原 3 次持续性大雾过程的特征及成因分析[J]. 气象, 2015(4): 427-437.