

文章编号:2096 - 5389(2022)02 - 0109 - 05

云南高原山地机场强对流短临预报系统研究

高 兵, 毕 波, 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: 基于天气雷达、地面和探空观测资料、NCEP 再分析资料、FNL 数值预报产品, 应用强对流天气分类识别技术和短时临近预报技术, 开展风暴临近预报、强对流天气分类预警、基于数值预报的强风暴潜势诊断等研究, 获得大理、丽江、西双版纳等高原山地机场及周边区域强降水、雷暴、大风、冰雹等灾害性天气的 0 ~ 2 h 实时定量预报产品和 0 ~ 12 h 强对流天气潜势预报产品, 建立机场强对流天气短时临近预报系统。通过检验, 该预报系统有较好的强对流天气预报预警能力, 满足机场业务需求。

关键词: 高原山地; 强对流天气; 短临预报; 潜势预报

中图分类号: TP393.09 **文献标识码:** B

Study on the Short - term and Impending Forecast System of Severe Convection in Mountainous Airport of Yunnan Plateau

GAO Bing, BI Bo, YANG Hang

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

Abstract: Based on weather radar, ground and sounding data, NCEP reanalysis data, FNL Numerical forecast products, the classification and identification technology of severe convective weather and short - term near forecast technology is adopted to carry out the research on storm approaching forecast, severe convective weather classification early warning, and severe storm potential diagnosis based on numerical prediction, to obtain 0 - 2 hours real - time determination of severe precipitation, thunderstorm, gale, hail and other disastrous weather in Dali, Lijiang, Xishuangbanna and other plateau mountain areas and surrounding areas. The forecast products and 0 - 12 hour severe convective weather potential forecast products are used to establish the operational airport short - term severe convective weather prediction system. Through the test, it is proved that the forecast system has good forecast and early warning ability of severe convective weather, which can meet the operational requirements of the airport.

Key words: plateau and mountain area; severe convective weather; short - term and imminent forecast; potential forecast

0 引言

云南地处低纬度高原, 地理位置特殊, 地形地貌复杂。在低纬度、高海拔地理条件影响下, 受季风气候制约, 形成四季温差小、干雨季分明、立体气

候显著的低纬高原季风气候。特殊的气候特点和地理地形, 造成“一天有四季、十里不同天”的天气特点, 也使得云南地区的对流发展过程复杂多变, 难以预报, 雷暴、短时强降水等强对流天气对航班飞行安全和机场正常运行产生很大影响。开展强

收稿日期: 2021 - 05 - 20

第一作者简介: 高兵 (1976—), 男, 副高, 主要从事民航气象预报与研究工作, E - mail: gltsky@sina.com。

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

对流天气监测预警技术的研究和开发,研发适用于云南高原山地机场的强对流天气短时临近预报系统,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。

中国气象局及各省市气象局开展强对流短临预报的研究和应用,建立起较为完善的业务运行体系。2007—2010 年中国气象局开展强对流天气短时临近预报系统(SWAN)的建设工作^[1],作为支撑全国强对流天气短时临近预报业务的专业化系统平台。2016 年 7 月发布 SWAN2.0 正式版,进一步优化服务器,集成新算法,并基于 MICAPS4 框架开发 SWAN2.0 客户端。SWAN 系统的主要特性有:侧重临近预报,可实现实时连续的高频次监视,结合多种资料,充分发挥雷达、自动站的作用;以拼图为基础,实现大范围的雷达监测;具有良好扩充性算法平台,可方便进行本地化二次开发。2011 年北京城市气象研究所主持的“京津冀城市群强对流天气短时临近预报关键技术研究”项目,建立了京津冀地区强对流天气系统发生发展的天气背景概念模型,以及该地区强对流天气的中尺度和边界层触发机制和概念模型;项目建立了 2~12 h 强对流潜势预报的判别指标,改进了强对流客观潜势预报效果,具有全区域预报预警功能。国内民航气象部门也紧跟行业发展,开展短临预报系统的研究,民航行业内,各空管中心、站和机场气象台建立或引进的短临预报系统,立足于航班保障和机场运行需要。2 类系统都有较好的实用性,但侧重点有所不同。比较典型的有中国民用航空深圳空中交通管理站“重要天气预警和预报系统”,基于雷达外推技术提供 2 h 预报;西宁曹家堡机场“强对流天气预报预警业务系统”^[2],应用多种气象资料统计分析出相关指标,进行强对流天气预报预警。近年来,虽然强对流天气短临预报技术取得了较快的发展,但由于探测手段和算法研究上的限制,加之局地气候特征和复杂地形的影响,使云南地区各机场准确预报强对流天气仍困难重重。

1 资料选取及技术路线

系统使用的气象资料包含大理、丽江、西双版纳机场及周边区域的天气雷达观测资料、电场仪和闪电观测资料、探空资料、对流天气个例分析,以及 2014 年 1 月—2018 年 12 月 5 a 机场地面观测资料和中尺度数值模式预报产品资料等。确定的技术路线是:以天气雷达信息为主,融合实时地面、探空观测数据和数值预报模式产品,采用国内外有效的

天气分类识别和预报算法,结合云南地区山地气候特征,开展风暴临近预报、强对流天气分类预警技术、基于数值预报的强风暴潜势诊断,进行机场强对流天气短临预报系统研发工作。

2 研究内容

2.1 强对流天气分类识别技术研究

新一代多普勒天气雷达提供了雷达站周边丰富的云雨信息和风场信息,数值预报模式提供了大气温度场、湿度场和风场的三维信息。联合应用多种资料,开展基于天气雷达和数值模式产品的强对流天气分类识别技术研究^[3],建立适用于大理、丽江和西双版纳机场的强对流天气识别因子,有效识别机场附近区域雷暴、强降水、雷暴大风、冰雹等强对流天气。

2.2 强风暴临近预报技术研发

基于雷达基数据,采用风暴单体识别和跟踪(Storm Cell Identification and Tracking, SCIT)算法识别、跟踪、预报风暴^[4]。采用多阈值法从反射率因子扫描层中依次识别风暴段、二维分量,通过对二维分量进行垂直相关得到风暴质心的三维结构,计算风暴质心、VIL 等基本参量。根据移动路径最近和体积变化最小原则,跟踪不同时次风暴的移动,计算风暴移动矢量,在此基础上线性外推未来风暴质心位置。基于风暴临近预报结果,从风暴体结构提取回波特征量,结合数值模式预报场建立预警因子,采用模糊逻辑原理分类预警冰雹、雷暴大风天气,以风暴预报落区作为强天气落区。短时强降水预警采用光流法^[5,6]和半拉格朗日外推法^[7],结合实时 Z-R 关系^[8]预报短时强降水落区。重点解决 0~2 h 强对流天气预警,满足机场着陆趋势预报(有效时段 2 h)指导需求。

2.3 基于数值预报的强风暴潜势诊断

以影响航空安全的雷暴、强降水、雷暴大风和冰雹为主要研究对象,基于中尺度数值预报模式,首先计算与强对流发生环境动力和热力条件相关的物理量和对流参数^[9,10];通过对这些物理量在若干过程中的分析、统计,采纳专家系统的思想,用模糊逻辑学方法,建立 4 类强天气类多参数的潜势预报模型^[11,12],最后生成 0~12 h 强天气落区分布潜势预报,以较好地解决机场 9 h 指导预报。

2.4 机场强对流天气短临预报系统开发

在充分调研分析机场气象服务业务需求基础上,设计开发大理、丽江和西双版纳机场强对流天气短临预报系统,主要包括信息采集存储、天气信

息展示、产品生成和发布等功能,系统采用可配置、可扩充、模块化的设计架构,确保系统功能的可扩充性,以及系统在其他机场的推广应用。

3 系统构成

3.1 系统技术架构

从技术实现和提供服务的角度,云南高原山地机场强对流天气短时临近预报系统的总体架构可划分为3个体系和2个层次(图1)。3个体系分别是:安全性保障体系、标准规范体系和系统优化体系;2个层次分别是基础环境层和应用软件层,其中基础环境层包括硬件环境和软件环境,应用软件层包括:数据架构、技术架构、功能规划和应用交互。

基础环境层中,硬件环境主要包括业务处理服务器、数据库服务器以及图形工作站等;软件环境

主要包括服务器操作系统,数据存储的数据库系统(内存数据库、关系型数据库、文件存储系统),数据采集环境,数据处理与产品加工环境、天气信息及产品展示环境、预警产品制作与发布环境。

应用软件层中,数据架构层主要采用内存数据库、关系型数据库和文件系统结合的方式进行业务数据存储管理,存储的数据主要包括原始数据、系统加工处理产品、人机交互修改产品以及分发展现产品;技术架构层主要包括基于Java的数据采集,基于C++和Python的数据处理与产品加工,基于Java和WebGIS的天气信息及产品展示分析,基于点聚Weboffice的预警产品制作及发布;功能规划层主要包括数据的获取与存储、数据处理与产品加工、数据和产品展示、产品分析以及预警产品制作与发布;应用交互层主要包括机场预报员、签派人员、机组人员、机场管理决策人员、政府及其他相关管理人员。

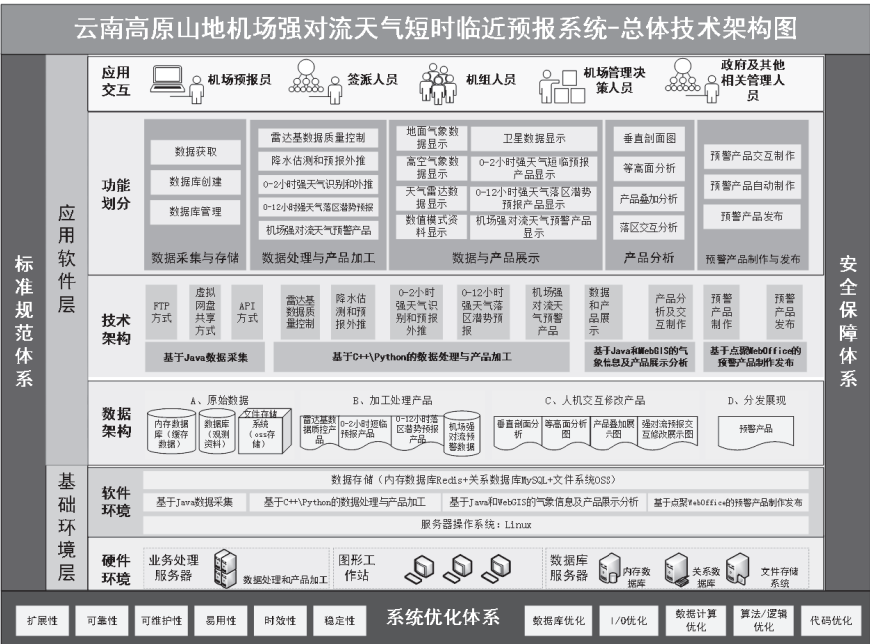


图1 总体技术架构

Fig.1 Overall technical architecture

3.2 业务流程设计

系统首先收集来自机场和气象数据服务机构的地面气象数据、高空观测资料、天气雷达数据、数值模式资料、卫星数据和机场强对流个例资料,进行解析并入库。其次,系统后台自动通过API接口获取解析入库的原始资料,并分别调用多普勒天气雷达质量控制算法、降水估测和预报外推算法、强天气识别和预报外推算法、强天气落区潜势预报算法,生成机场及周边区域0~2h强对流天气短临预警产品,以及网格化的0~12h强对流天气落区分布潜势预报产品。

3.3 系统功能

系统平台由数据获取与存储子系统、数据处理与产品加工子系统、天气信息及产品展示分析子系统、预警产品制作与发布子系统4个子系统组成(图2)。其中数据获取与存储子系统包括数据获取模块和数据储存管理模块;数据处理与产品加工子系统包括0~2h短临预报模块、0~12h强天气潜势预报模块、机场强对流天气预警模块;天气信息及产品展示分析子系统包括数据和产品显示模块和产品分析模块;预警产品制作与发布子系统包括预警产品制作模块和预警信息发布模块。

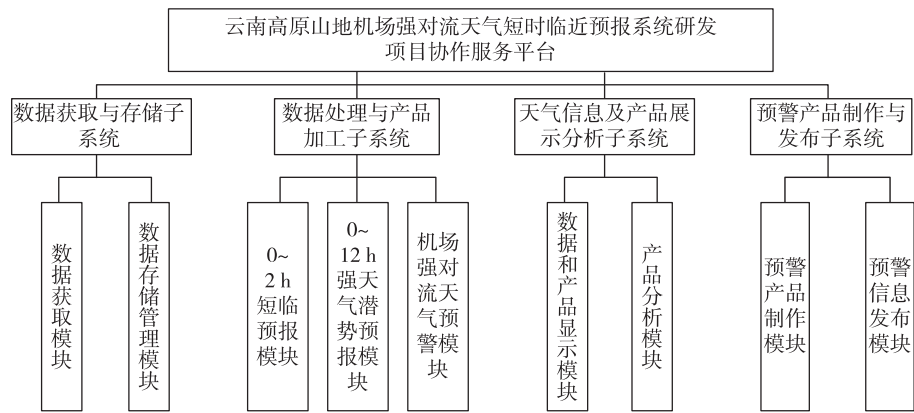


图 2 云南高原山地机场强对流天气短时临近预报系统结构

Fig. 2 Structural diagram of short - time nowcasting system for strong convective weather at Yunnan Plateau Mountain Airport

4 系统应用效果

4.1 短临预报效果检验

使用大理机场周边 50 km 半径内的闪电定位资料,对 2019 年 9 月雷暴短临预报效果进行检验,期间共报雷暴 214 次,实际出现了 181 次,空报 33 次,漏报 0 次,则该预报算法对雷暴的命中率为 100%,空报率 14.42%,漏报率 0%,TS 评分为 84.58%,结果表明算法对雷暴预报的预报效果良好。

使用机场自动观测系统分钟级降水数据对 9 月机场周边 25 km² 范围内的强降水短临预报效果进行检验,短临预报对部分雷暴天气时出现的强降水个例预报效果较好,TS 评分可达 71.43%,但对机场所有出现中雨以上量级的个例进行检验,总体漏报率较高,0 ~ 120 min 时效漏报率为 73.50% ~ 91.55%,TS 评分为 26.5% ~ 8.45%,没有出现空报的情况,主要是因为用于订正 Z - R 关系的自动站数据较少,且由于地形原因所导致的降水局地差异大,时间变化快。

4.2 潜势预报效果检验

使用机场周边 50 km 半径内的闪电定位资料,对 2019 年 9 月雷暴潜势预报效果进行检验,考虑到闪电定位资料中的雷暴天气个例数要远多于机场能观测到的雷暴个例数,使用原阈值易出现漏报的情况,各机场对阈值再次进行优化,并按新的阈值对预报效果进行检验。

0 ~ 12 h 雷暴潜势预报产品较人工预报 TS 评分提高了 26% ~ 39%,3 个机场雷暴潜势预报 TS 评分平均为 59.21% (表 1)。由于机场降水量只是定点降水,不能很好代表潜势预报区域降水量,并且对流性强降水的空间分布极不均匀,因此依据机场降水量进行评分,预报检验效果相对雷暴较差,各

机场强降水潜势预报 TS 评分平均为 30.67%,命中率为 69.48%,空报率为 59.13% (表 2)。在预报检验过程中,大理机场出现 2 次飑(雷暴大风),潜势预报准确预报出了一次雷暴大风,另一次预报了雷暴;冰雹没有实况和潜势预报个例。因为强降水的难以预报性,并且在《航站重要天气预报质量评定办法》(民航局空发[1995]146 号)中没有区分降水的量级,因此机场预报员极少发布中雨量级预报,几乎没有发布过大雨预报,目前系统提供的潜势预报产品突破了强降水“零预报”的现状。

表 1 雷暴潜势预报检验结果

Tab. 1 Thunderstorm potential forecast test results

机场	预报方法	TS 评分/%	命中率/%	空报率/%	漏报率/%
大理	人工预报	17.70	19.60	34.30	80.40
	系统预报	53.20	76.92	36.70	23.08
	效果提升	35.50	57.32	2.40	-57.32
丽江	人工预报	24.50	27.90	32.90	70.40
	系统预报	63.84	73.86	17.52	26.14
	效果提升	39.34	45.96	-15.38	-44.26
版纳	人工预报	34.32	46.96	29.92	53.03
	系统预报	60.60	78.43	22.73	21.57
	效果提升	26.28	31.47	-7.19	-31.46
3 个机场系统预报平均值		59.21	76.40	25.65	23.60

表 2 强降水潜势预报检验结果

Tab. 2 Heavy rainfall potential forecast test results

机场	TS 评分/%	命中率/%	空报率/%	漏报率/%
大理	31.25	77.00	65.52	23.00
丽江	23.26	71.43	74.36	28.57
版纳	37.50	60.00	37.50	40.00
平均值	30.67	69.48	59.13	30.52

4.3 应用效果

2020 年,机场强对流天气短时临近预报系统投

入业务运行,显著提升了试点机场重要天气预报准确率(表3),在“防疫抗疫、复产复工”中发挥了较好的作用。随着旅游业的恢复,云南机场集团各机场航空运输量大幅回升,部分机场航班量在暑期(7—8月)出现了报复性增长,例如大理机场2020年8月共保障航班1776架次,为单月历史最高值,比去年同期增长了12.7%。同时,暑期也是云南的主汛期,强对流天气主要出现在这一时期,在2020年全国气象灾害频发的背景下,试点机场以准确的气象预报保证了航班飞行的安全和正常。

表3 试点机场暑期重要天气预报准确率(单位:%)

	2019年		2020年		准确率提	
	(系统投产前)		(系统投产后)		高百分点	
	7月	8月	7月	8月	7月	8月
大理机场	89.5	86.8	93.5	90.6	4.0	4.2
丽江机场	90.0	88.6	90.0	91.1	0.0	2.5
西双版纳机场	88.5	88.8	92.5	91.1	4.0	2.3

5 小结

云南高原山地机场强对流天气短时临近预报系统基于天气雷达、地面和探空观测资料、数值预报产品,应用强对流天气分类识别技术和短时临近预报技术,创新性地将短临预报和潜式预报结合起来,建立了可业务运行的机场强对流短临预报系统。0~12 h雷暴潜势预报命中率平均为76.4%,TS评分平均为59.21%,强降水命中率>60%,TS评分平均为30.67%,雷暴大风潜势预报也具有一定的参考价值。0~2 h短临预报雷暴TS评分为84.58%,空报率控制在20%以内,但强降水TS评分最高为26.50%,漏报率较高,还需对算法参数和检验方法进行优化改进。潜式预报产品在数值预报资料时间20 h后有产品输出,可在预报有效时段开始前3~4 h,提供未来12 h潜势预报产品;短临预警提前时间不低于20 min,逐6 min更新1次。机场强对流短临预报系统的业务运行,能够有效提高大理、丽江和西双版纳机场的强对流天气预报预警能力,减少强对流天气对机场航班运行的影响。

5.1 成果的创新点

①云南高原山地机场强对流天气短时临近预报系统是我国目前专门针对特定机场进行强对流天气短时临近预报的为数不多的系统之一,在云南地区尚属首次。

②准确的短时强对流天气预报是业界公认的技术难题。本课题集成国内外先进的强对流天气

识别和短时临近预报技术,结合大理、丽江、西双版纳地区天气气候特点,将科学研究成果业务化应用,形成可应用于实际预报业务的系统,体现了科学研究的集成创新。

③多源数据融合集成是目前大数据技术应用的前沿研究课题。本课题融合雷达、地面高空观测、数值预报等多种气象观测资料和产品,获得机场强对流天气定量的短时临近预报产品,是大数据技术在机场气象保障业务中的创新性应用。

5.2 研究展望

机场短临预报系统的研发,为机场气象台提供了一个全新的客观预报平台,具有较好的业务扩展性,有利于各机场针对本场飞行气象特点开展系统的二次开发。短临预报提供了时间、空间尺度上精细化的强对流天气落区预报,潜式预报相关阈值设置为可调,便于后期进行天气个例总结分析和进一步优化阈值,具有较大的应用扩展和准确率提升空间。基于准确的短临预报产品,后续可重点开展飞行气象保障技术应用研究,与机场基础数据、航路航线、管制雷达、飞机位置等相结合,综合应用于航班运行的控制,有效保证航班飞行和机场运行的安全和正常。

参考文献

[1] 郑永光,张小玲,周庆亮,等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J]. 气象,2010,33(7):34-42.

[2] 王世杰,王婧菲. 西宁曹家堡机场强对流天气预报预警业务系统设计与实现[J]. 空中交通,2017(11):67-71.

[3] 周后福,郑媛媛,邱明燕. 基于数值模式和多普勒雷达的强对流天气预报技术[J]. 气象科技,2007,35(5):637-641.

[4] 俞小鼎,姚秀萍,熊延南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2005:187-197.

[5] 曹春燕,陈元昭,刘东华,等. 光流法及其在临近预报中的应用[J]. 气象学报,2015,73(3):471-480.

[6] 王志斌,肖艳姣,吴涛. 基于改进光流法的雷达图像运动估计[J]. 计算机技术与发展,2017,27(12):170-175.

[7] 伊凡. 基于半拉格朗日方法的雷达图像运动分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.

[8] 杨杰,刘黎平,赵城城,等. 雷达估测对流性降水的误差空间分布及Z-R关系的优化[J]. 高原气象,2015,34(6):1785-1796.

[9] 周方媛,戴建华. 分类强对流天气潜势预报技术研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2010.

[10] 斯琴,王佳津,苟学义,等. 基于T639对流参数的内蒙古强对流天气潜势预报方法初探[J]. 干旱气象,2016,34(5):906-911.

[11] 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,2010,30(2):22-25.

[12] 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(自然科学版),2011,33(增刊):1-7.