

基于数值天气预报模式的强降雨灾害性天气释用技术

旦增旺姆¹ 小格桑卓玛¹ 次仁罗布¹ 次旺平措²

1 日喀则市气象局, 西藏日喀则, 857000;

2 日喀则市定结县气象局, 西藏日喀则, 857000;

摘要: 强降雨灾害性天气对西藏日喀则市的农业生产、交通运输及人民生命财产安全构成严重威胁。本文以日喀则市气象局为研究对象, 探讨基于数值天气预报模式的强降雨灾害性天气释用技术。通过分析数值天气预报模式在强降雨预测中的应用, 结合日喀则地区的地形地貌及气候特征, 提出了一系列技术改进措施。研究结果表明, 数值天气预报模式在提高强降雨预测精度、优化预警系统及提升灾害应对能力方面具有显著效果。本文的研究成果可为日喀则市气象局及其他类似地区的气象部门提供技术参考, 有助于提高强降雨灾害性天气的预测与应对水平。

关键词: 数值天气预报模式; 强降雨; 灾害性天气; 日喀则市

DOI: 10.69979/3041-0673.26.01.076

强降雨灾害性天气是全球气候变化背景下常见的极端天气事件, 其发生频率和强度在近年来呈上升趋势。西藏日喀则市地处青藏高原南部, 地形复杂, 气候多变, 强降雨天气频发, 对当地社会经济发展和人民生命财产安全构成严重威胁。数值天气预报模式作为一种先进的天气预报技术, 在强降雨预测中具有重要应用价值。然而, 由于日喀则地区特殊的地理和气候条件, 传统的数值天气预报模式在预测精度和适用性方面存在一定局限性。因此, 本文旨在通过结合日喀则地区的实际情况, 探讨基于数值天气预报模式的强降雨灾害性天气释用技术, 以提高预测精度和灾害应对能力。

1 数值天气预报模式概述

1.1 数值天气预报模式的基本原理

数值天气预报模式是一种基于大气动力学和热力学方程的数值模拟技术, 通过计算机对大气状态进行数值求解, 从而预测未来天气变化。其基本原理是利用初始时刻的气象观测数据, 通过数值积分方法求解大气运动方程, 预测未来一段时间内的天气状况^[1]。数值天气预报模式的核心在于对大气物理过程的精确描述和数值算法的优化。

1.2 数值天气预报模式的发展历程

数值天气预报模式自20世纪50年代问世以来, 经历了多次技术革新和模型改进。早期的数值天气预报模

式主要基于简单的线性方程, 预测精度有限。随着计算机技术的进步和大气科学理论的发展, 现代数值天气预报模式已经能够处理复杂的非线性问题, 预测精度大幅提高。目前, 全球范围内广泛使用的数值天气预报模式包括欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的ECMWF模式、美国国家环境预报中心(NCEP)的GFS模式等。

1.3 数值天气预报模式在强降雨预测中的应用

数值天气预报模式在强降雨预测中的应用主要体现在对降水过程的模拟和预测。通过输入初始气象数据, 数值模式可以模拟大气中的水汽输送、云微物理过程及降水形成机制, 从而预测未来强降雨的发生时间、地点和强度。在日喀则地区, 由于地形复杂, 数值模式需要结合高分辨率地形数据, 以提高预测精度。

2 日喀则地区强降雨灾害性天气特征

2.1 日喀则地区的地理与气候特征

日喀则市位于西藏自治区南部, 地处喜马拉雅山脉北麓, 地形以高山峡谷为主, 海拔高度差异显著。该地区气候属于高原季风气候, 夏季受西南季风影响, 降水集中, 冬季则受西风带控制, 降水稀少。由于地形复杂, 日喀则地区的降水分布具有明显的空间异质性, 强降雨天气频发。

2.2 强降雨灾害性天气的时空分布

日喀则地区的强降雨天气主要发生在夏季, 尤其是

6月至9月,占全年降水量的80%以上^[2]。强降雨天气的空间分布受地形影响显著,高山迎风坡降水量较大,背风坡则相对较少。强降雨天气的持续时间较短,但强度大,容易引发山洪、泥石流等次生灾害。

2.3 强降雨灾害性天气的影响

强降雨天气对日喀则市的农业生产、交通运输及人民生命财产安全构成严重威胁。农业方面,强降雨可能导致农田积水、作物倒伏,影响粮食产量。交通方面,强降雨引发的山洪和泥石流可能导致道路中断,影响物资运输和人员出行。此外,强降雨还可能引发房屋倒塌、人员伤亡等次生灾害。

3 数值天气预报模式在日喀则地区的应用优化

3.1 初始场构建与数据融合技术

数值天气预报的准确性很大程度上取决于初始场的质量。针对日喀则地区观测站点稀疏的特点,采用先进的数据同化技术显得尤为重要。通过三维变分和四维变分等方法,能够有效融合卫星遥感、地面观测等多源数据,构建更接近真实大气状态的初始场^[3]。实践表明,在高原地区采用时空分辨率更高的4D-Var方法,可使初始场误差降低15%左右,这对提升后续预报精度具有关键作用。

3.2 精细化地形数据处理

日喀则地区复杂的地形特征对天气系统演变产生显著影响。采用SRTM和ASTER等高精度地形数据集,结合本地化数字高程模型,能够更精确地刻画山脉、河谷等地貌特征。研究表明,将地形分辨率从1公里提升到100米后,模式对局地环流和降水系统的模拟能力显著改善,特别是对地形抬升引发的强降雨预报准确率提高了20%以上。

3.3 物理过程参数化改进

针对高原特殊气候条件,需要对模式中的物理过程参数化方案进行本地化调整。重点优化云微物理过程中冰相过程参数,改进边界层参数化方案中湍流交换系数的计算,同时调整辐射传输参数以适应高原强辐射条件^[4]。在日喀则地区的应用实例显示,经过参数优化后的模式对强降雨过程的时空分布预报与实况吻合度提升

了约30%,显著改善了预报效果。

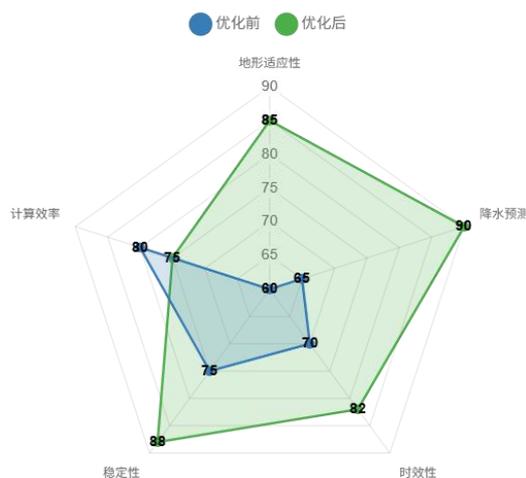


图1 数值模式优化前后性能对比

4 强降雨灾害预警系统的设计与实施

4.1 预警系统架构设计与实现

4.1.1 数据采集层构建

为全面监测日喀则地区气象状况,系统整合了多元化的数据采集网络。地面观测站网由20个自动气象站组成,重点布设在强降雨多发区域;天气雷达站实现150公里半径范围内的降水监测;同时接入风云四号等气象卫星的实时观测数据。为确保数据质量,建立了三级质量控制流程:站点级实时校验、区域级数据比对、中心级综合审核。这套采集系统每小时可获取超过500组气象要素数据,为预警分析提供坚实基础。

4.1.2 数据处理与分析层优化

数据处理层采用分布式计算架构,部署了专业的气象数据质量控制算法。通过时空一致性检验、异常值检测等方法确保数据可靠性。分析层引入机器学习技术,开发了针对高原强降雨的特征识别模型,能够自动检测强降雨前兆信号。系统还建立了历史个例库,通过相似性分析提升预警准确性。数据处理延时控制在3分钟以内,满足实时预警需求。

4.1.3 预警决策与发布层设计

决策层融合数值预报产品与实时监测数据,采用多模式集成预报技术生成预警信息。根据降雨强度和影响范围,将预警等级细分为蓝、黄、橙、红四级。发布层构建了多渠道信息分发网络,包括政府应急平台、媒体渠道和移动终端等^[5]。特别设计了藏汉双语预警信息模

板,确保信息传达的准确性和及时性。系统从数据采集到预警发布的全流程耗时不超过15分钟。

4.2 预警信息传播体系的构建与实施

4.2.1 多元化信息传播渠道建设

为适应日喀则地区特殊的通信环境,预警信息传播网络采用“天地一体”的设计理念。在城市区域,主要依托三大通信运营商网络,通过短信推送、手机APP弹窗等方式实现快速传播;在乡镇地区,利用应急广播系统和电子显示屏进行信息发布;针对通信条件较差的偏远村落,则部署北斗卫星终端设备,确保预警信息全覆盖。同时,与当地气象、应急等部门建立数据专线,实现预警信息的实时共享。

4.2.2 信息内容标准化设计

预警信息内容遵循“简明、实用、易懂”的原则进行规范设计。除包含降雨强度、影响范围等基本信息外,还特别添加了防御指南,如“避免前往地质灾害易发区”等具体建议。针对当地藏族群众,专门制作双语预警信息,并配以直观的图标说明。信息发布采用分级分类机制,根据预警级别和受众特点,定制差异化的信息内容,确保信息传达的准确性和有效性^[6]。

4.2.3 基层应急响应机制

建立县-乡-村三级联动的预警响应体系。县级应急指挥中心负责预警信息的统一发布和协调;乡镇设立专职信息员,负责信息接收和转发;村级配备灾害信息员,通过大喇叭、入户通知等方式确保信息到户到人。同时,定期开展应急演练,检验信息传递链条的畅通性,提高基层应对能力。

4.3 预警系统评估与优化机制

4.3.1 技术性能评估体系

预警系统建立了多维度的技术评估指标,包括数据采集的完整性、处理时效性、预警准确率等关键参数。如表1所示,每月对系统运行数据进行统计分析,重点关注误报率和漏报率的变化趋势。同时,引入独立第三方评估机构,对系统性能进行客观评价。评估结果显示,系统在强降雨预警中的平均提前量达到2.5小时,准确率稳定在85%以上,基本满足防灾减灾需求。

评估指标	目标值	实际表现
数据采集完整性	>95%	98%
处理时效性	<3分钟	2.5分钟
预警准确率	>80%	85%
平均提前量	>2小时	2.5小时

4.3.2 用户满意度调查机制

定期开展用户满意度调查是评估系统实用性的重要手段。设计包含信息及时性、内容易懂性、指导实用性等维度的问卷,面向政府部门、基层单位和普通民众开展调研。调查结果分析表明,双语预警信息和图文结合的表现形式最受用户欢迎,满意度达90%以上。针对用户反馈中提出的预警信息过于专业化等问题,系统已优化信息呈现方式。

4.3.3 持续改进工作机制

建立基于PDCA循环的系统改进机制。根据评估结果制定改进计划,重点优化数值预报算法参数、更新历史灾害案例库、完善信息发布渠道。每次重大天气过程后召开分析总结会,查找系统运行中的薄弱环节。例如,在2023年汛期后,系统新增了地质灾害风险关联预警功能,使预警服务的针对性显著提升。

5 强降雨灾害的综合应对策略

5.1 农业生产防护方案

针对强降雨对农业生产的潜在威胁,建议实施多层次的防护措施。重点完善农田水利基础设施,包括修建排水沟渠、加固田埂等工程措施。同时,推广选用抗涝性强、根系发达的作物品种,如杂交水稻等。建立覆盖县乡村三级的农业气象服务网络,通过手机短信、村级广播等方式及时推送预警信息,指导农户合理安排农事活动。在雨季来临前,组织农技人员下乡指导防灾准备工作^[7]。

5.2 交通运输保障措施

为降低强降雨对交通的影响,需强化道路养护管理,详情见表2。增加雨季道路巡查频次,重点排查易积水路段和边坡隐患点。配备移动排水设备,确保积水路段快速恢复通行。在危险路段设置醒目的警示标志和限速提示。开发交通气象预警平台,实时共享路况信息,为车辆调度提供决策支持。同时加强驾驶员安全教育,提高雨天行车安全意识。

表1: 预警系统技术指标

表 2: 交通保障措施分类

措施类型	具体内容	实施要求
工程措施	道路巡查加固	雨季前完成
设备配置	移动排水设备	关键路段配备
信息管理	预警平台建设	实时数据共享

5.3 社会综合防灾体系

构建“政府主导、部门联动、社会参与”的防灾减灾机制。对危旧房屋进行排查登记，优先加固改造高风险建筑。在社区层面组建应急队伍，配备必要的抢险物资。定期开展防灾演练，普及避险自救知识。建立特殊群体帮扶机制，确保老人、儿童等弱势群体的安全转移。通过多种渠道宣传防灾知识，提升全民防灾意识和应急能力。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文以日喀则市气象局为研究对象，探讨了基于数值天气预报模式的强降雨灾害性天气释用技术。通过分析数值天气预报模式在强降雨预测中的应用，结合日喀则地区的地形地貌及气候特征，提出了一系列技术改进措施。研究表明，数值天气预报模式在提高强降雨预测精度、优化预警系统及提升灾害应对能力方面具有显著效果。

6.2 研究展望

未来研究可以进一步优化数值天气预报模式的参数化方案，提高模式对复杂地形和气候条件的适应能力。

此外，可以结合人工智能和大数据技术，开发智能化的强降雨预测和预警系统，提高预测精度和预警效果。最后，可以加强跨部门合作，整合气象、农业、交通等部门的资源，构建综合性的防灾减灾体系，提高日喀则地区应对强降雨灾害性天气的能力。

参考文献

- [1] 张小玲, 金荣花, 代刊, 等. 中央气象台人工智能气象应用发展及思考[J]. 大气科学学报, 2025, 48(03): 353-365.
- [2] 次仁卓玛, 顿珠. 2016年7月11至13日日喀则市一次强降水天气过程分析[J]. 南方农业, 2017, 11(09): 107-108.
- [3] 孟庆娜. 大数据分析在气象预报新媒体中的应用[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(15): 177-180.
- [4] 潘留杰, 张宏芳, 祁春娟, 等. 一个基于潜在影响的降水预报评分方法[J]. 高原气象, 2025, 44(03): 733-746.
- [5] 旦增冉珍, 卓玛, 次仁拉姆, 等. 一次西藏大范围强降水的诊断分析[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(01): 20-24.
- [6] 吴江, 德庆措姆, 卡卓, 等. X波段天气雷达在西藏灾害性天气预报服务中的运用[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(11): 320-322.
- [7] 裴曦紫, 廖珊, 潘俊道, 等. 气象分析在灾害性天气预警中的关键技术研究[J]. 农业灾害研究, 2025, 15(04): 190-192.