

乌鲁木齐机场降雪强度的数值预报

黄海波

民航新疆空管局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年8月14日; 录用日期: 2022年9月10日; 发布日期: 2022年9月16日

摘要

在中尺度数值预报模式WRF成功预报乌鲁木齐机场一场罕见的大暴雪天气的基础上, 本文利用WRF模式内置的AFWA模块对此次大暴雪天气中对航班起降有重要影响的(以能见度表征的)降雪强度的预报结果进行了评估。结果表明WRF模式能比较准确的预报强降雪(能见度 < 1000 m)的起止时间, 但是不能预报由于小雪导致空气中湿度大而出现冻雾时能见度低于1000 m的情况。

关键词

大暴雪, 降雪强度, 数值预报, WRF模式, AFWA模块

Numerical Prediction of Snowfall Intensity at Urumqi Airport

Haibo Huang

Meteorological Center, Xinjiang ATMB, CAAC, Urumqi Xinjiang

Received: Aug. 14th, 2022; accepted: Sep. 10th, 2022; published: Sep. 16th, 2022

Abstract

Based on the fact that the mesoscale WRF model successfully captured an unusual snowstorm event at Urumqi Airport, this paper evaluated the performance of WRF model with the built-in AFWA module in predicting snowfall intensity (represented by the visibility), which is very important to the takeoff and landing of flights. The results show that the WRF model can predict the starting and ending time of heavy snowfall (visibility < 1000 m) with rather surprising accuracy

at Urumqi Airport, but it can not predict the low visibility (visibility < 1000 m) resulted by the freezing fog due to the increasing humidity following with the light snow.

Keywords

Heavy Snowstorm, Snowfall Intensity, Numerical Prediction, WRF Model, AFWA Module

Copyright © 2022 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

2015年12月10~12日,北疆沿天山一带出现了一次历史上罕见的暴雪天气过程,暴雪中心在乌鲁木齐及其周边地区。乌鲁木齐机场10~12日过程(累计)降雪量28.8 mm,新增积雪深度28 cm,其中11日降雪量25.2 cm,达到大暴雪标准(新疆暴雪标准:24 h过程降雪量12.1~24 mm为暴雪、24.1~48 mm为大暴雪),创1951年建立气象站以来的历史记录。降雪期间因为低能见度、除雪和摩擦系数不够等原因,导致乌鲁木齐机场因降雪天气原因取消、备降、返航521架次,延误航班319架次[1]。

暴雪是新疆冬季的主要灾害性天气之一,对农林牧果、公共交通以及大众生活等各个方面都会造成严重的影响。2015年12月10~12日的暴雪天气过程具有降雪强度高、积雪深度厚、持续时间长、影响程度大等特点,引起了新疆气象学者的高度关注[1][2][3][4][5]。针对此次暴雪天气,新疆气象台和乌鲁木齐市气象台分别发布了暴雪蓝色、橙色和红色预警信号[2][3]。新疆空管局气象中心连续发布乌鲁木齐机场强降雪橙色预警。此次乌鲁木齐地区暴雪天气过程的准确预报,离不开各种数值预报模式强有力的技术支持。在降雪天气下,不仅是过程降雪量、积雪深度以及跑道湿滑会严重影响机场运行,造成航班延误、备降、返航或取消,航班也可能会因为单位时间内降雪强度超过起降标准而延误、备降、返航或取消。民航气象以主导能见度 Visibility 来表征降雪强度: Visibility \geq 1 km 为小雪; 500 m \leq Visibility < 1 km 中雪; Visibility < 500 m 大雪,当因降雪导致能见度 < 1000 m 时即称为强降雪天气。但是国内对降雪强度(降雪中低能见度)预报方面的研究比较少。新疆空管局气象中心运行的(Weather and Research Forecast) WRF 中尺度数值预报模式成功地预报出了此次大暴雪天气过程,本文在此基础上,对 WRF 模式预报降雪强度的能力进行了评估,为今后乌鲁木齐机场的精细化天气预报提供决策依据。

2. WRF 模式以及 AFWA 模块

WRF 模式是由美国许多研究部门及大学的科学家共同参与开发研究的新一代中尺度预报模式和同化系统[6],该模式为理想化的动力学研究、全物理过程的天气预报以及区域气候模拟提供了一个公用的模式框架已在我国的天气预报和数值模拟研究中得到了广泛的应用[7][8][9]。

本文使用 WRF 模式 V3.7.1 版本,以 GFS (Global Forecasting System) 2015 年 12 月 9 日 20:00 全球预报场资料($1^\circ \times 1^\circ$)作为初始场和边界条件,积分时间步长为 90 s,预报时长为 60 h。模式垂直方向选用地形追随质量坐标,水平方向采用 Arakawa-C 坐标。模式采用三重嵌套(图 1),水平网格距分别为: 27 km、9 km、3 km,中心经纬度为 44°N , 87°E 。模式中考虑的物理过程包括:地面通量和云对辐射的影响,长波辐射采用 RRTM 方案,短波辐射采用 Dudhia 方案,近地面层采用 Monin-Obukhov 方案,陆面过程采用热量扩散方案,边界层采用 YSU 方案。

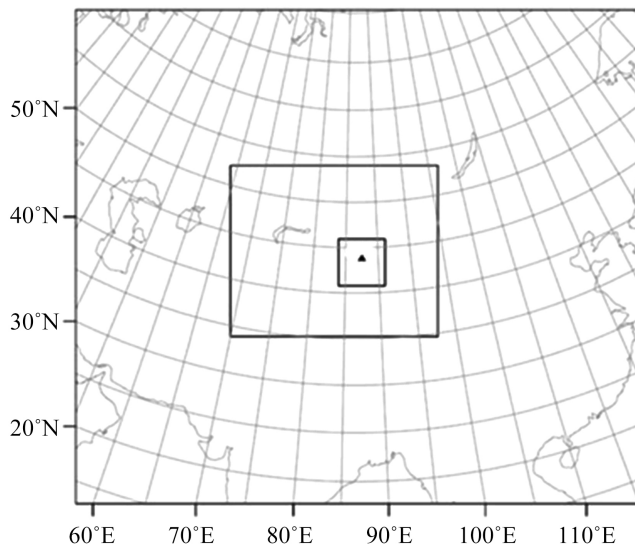


Figure 1. The schematic map of three domains in WRF model
图 1. WRF 模式三重嵌套区域示意图

WRF 模式本身不能够直接预报能见度,但是自 V3.6 版本以后,内置的 U.S. Air Force Weather Agency (AFWA)诊断模块可以提供能见度的预报。AFWA 模块中用于降水过程中能见度的预报公式如下[10]:

$$\beta = 1.1 \times (\text{Rain} + \text{Graupel})^{0.75} + 10.36 \times \text{Snow}^{0.78} \quad (1)$$

$$\text{Visibility} = 3.912 / \beta \quad (2)$$

其中, β 为大气中的消光系数, Rain、Graupel、Snow 分别为近地面层中大气中水物质雨、霰、雪的含量(单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。Visibility 为能见度(单位: m)。

3. 大尺度环流特征及其预报

本文利用常规资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对 12 月 10~12 日乌鲁木齐大暴雪天气过程的环流特征进行了分析。从 500 hPa 环流形势来看,12 月 10 日~12 日,欧洲脊发展后东南衰退,乌拉尔长波槽东移南下,槽底南伸至 35°N 以南。乌拉尔长波槽在南下的过程中,环流经向度不断增加,槽后为强劲的偏北风,不断引导冷空气南下;槽前为西南风,携暖湿气流北上。10 日 08:00 (北京时,下同),乌拉尔长波槽南下至中亚地区,新疆地区受槽前西南气流控制,新疆西部开始降雪(图 2(a))。11 日 08:00,长波槽东移至新疆西部国境线一带,南疆西部、北疆北部的部分地区、伊犁河谷、天山山区及北疆沿天山一带都出现了明显的降雪天气。此时,由于受到下游地区强大冷高压的阻挡,长波槽移速减慢。在长波槽缓慢东移的过程中,由于槽后的干冷空气和槽前暖湿气流共同作用,伊犁河谷、天山山区及北疆沿天山一带出现了暴雪天气(图 2(b))。12 日 08:00,长波槽减弱东移,乌鲁木齐地区的降雪趋于结束(图略)。此次乌鲁木齐及其周边地区罕见的大暴雪天气是高层(300 hPa)和中层(500 hPa)的西南急流、低层(700 hPa)的偏东急流以及低层(850、700 hPa)偏北急流在乌鲁木齐及其周边地区汇合,并与地形相互作用的结果。

WRF 模式准确预报出了导致此次乌鲁木齐及其周边地区产生大暴雪的大尺度环流特征,包括乌拉尔长波槽的移动方向,槽前强盛的西南气流和槽后强劲的偏北风,以及下游地区影响长波槽移动速度的高压环流(图 2(c), 图 2(d))。

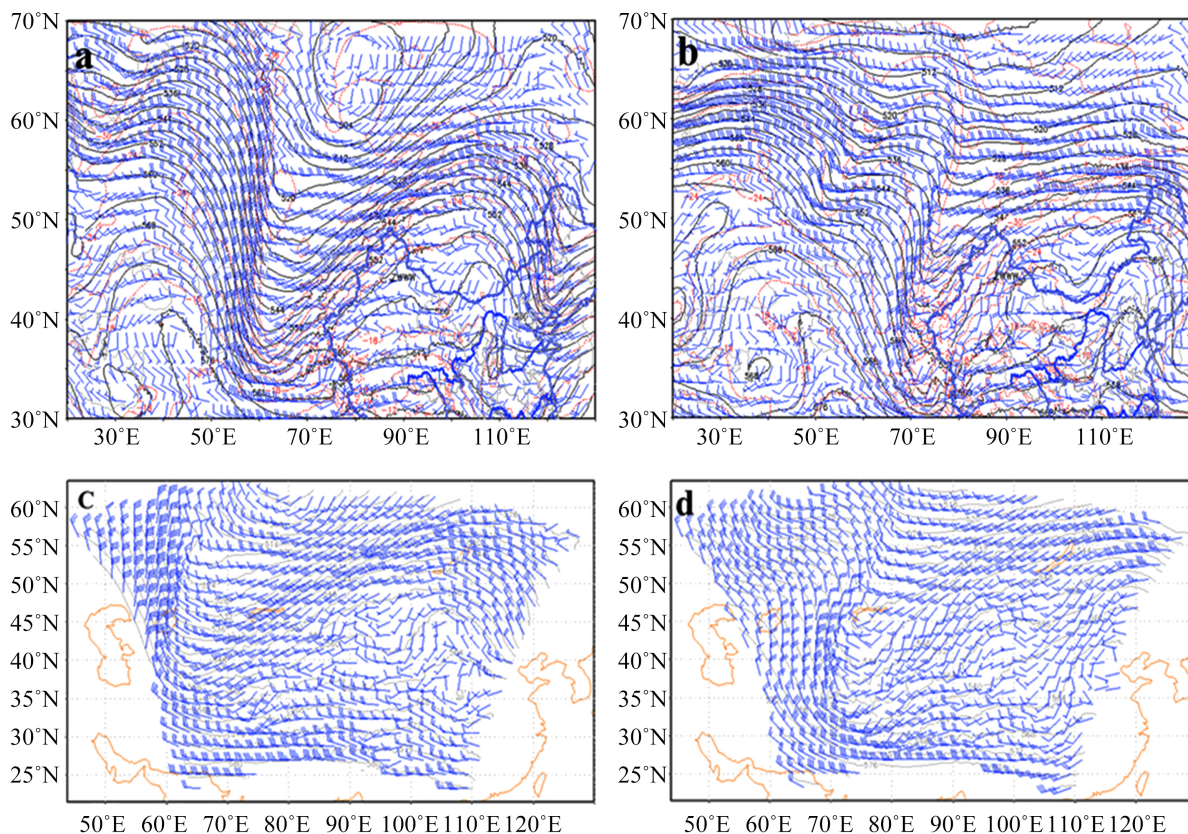


Figure 2. The 500 hPa height and wind fields: NCEP/NCAR reanalysis (a) at 08:00 BJT (Beijing Time) on December 10, (b) at 08:00 BJT on December 11; WRF model forecasts, (c) at 08:00 BJT on December 10, (d) at 08:00 BJT on December 11
图 2. 500 hPa 高度场和风场: 分析场 (a) 12月10日08:00, (b) 12月11日08:00; WRF 模式预报场, (c) 12月10日08:00, (d) 12月11日08:00

4. 降雪强度(能见度)的数值预报

乌鲁木齐机场 2015 年 12 月 10~12 日过程(累计)降雪量 28.8 mm, WRF 模式预报的过程降雪量为 29.4 毫米。乌鲁木齐机场 12 月 10 日 14:30 开始降雪, 能见度 3000 m 以上; 19:00 由于降雪后空气中湿度迅速增加, 天气现象为小雪伴冻雾, 能见度进一步下降; 21:00 之后受降雪和冻雾的共同影响, 能见度下降到 1000 m 以下; 11 日 02:00 起降雪强度增大, 02:00~13:00 以中雪天气为主, 能见度 500~900 米, 低于航班起降标准; 13:00 之后转为持续性小雪, 能见度大于 1000 m; 12 日 11 时降雪结束。

图 3 显示了乌鲁木齐机场 12 月 10 日 18:30~11 日 13:30 能见度较低时段(能见度 ≤ 3000 m)的观测值与预报值。从图中可以看出, 在小雪伴冻雾且能见度 < 1000 m 的情况下(10 日 21:30~11 日 01:30), WRF 模式 AFWA 模块预报的能见度整体上高于观测值, 差值(预报值 - 观测值)在 400~1500 m 之间; 在乌鲁木齐机场降雪最强时段(11 日 02:00~13:00) WRF 模式 AFWA 模块预报的能见度与实况值基本一致, 差值在 -300~300 m 之间。此外, WRF 模式预报的强降雪的起止时间与实况几乎完全一致, 乌鲁木齐机场强降雪开始的时间是 11 日 02:00, WRF 模式预报强降雪的开始的时间是 11 日 01:30, 比实况早半个小时; 乌鲁木齐机场强降雪结束的时间是 11 日 13:30, WRF 模式预报强降雪的结束的时间也是 11 日 13:30, 与实况完全一致。这表明, WRF 模式不仅准确预报了此次罕见的大暴雪天气的过程降雪量, 对强降雪(能见度 < 1000 m)出现的时段也比较准确, 为满足空中交通管制部门、航空公司和机场各运行单位“定时、定点和定量”的精细化气象预报的要求, 提供了有力的决策依据。

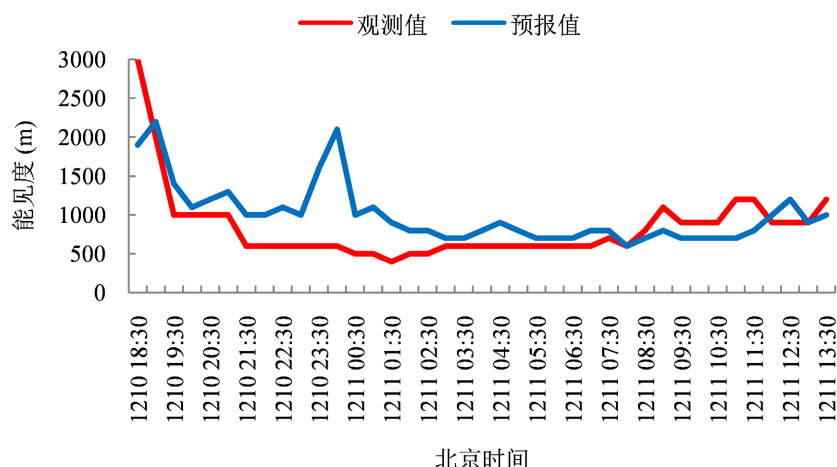


Figure 3. The observed and predicted values of snowfall intensity (visibility) at Urumqi Airport from 18:30 BJT on 10 December to 13:30 BJT on 11 December, 2015

图 3. 2015 年 12 月 10 日 18:30~12 月 11 日 13:30 乌鲁木齐机场降雪强度(能见度)的观测值与预报值

5. 结论

1) 降雪天气下, 不仅是过程(累计)降雪量、积雪深度以及跑道湿滑会影响机场运行, 导致航班延误、备降、返航或取消, 航班也可能会降雪强度超过起降标准而延误、备降、返航或取消。

2) WRF 模式准确预报出了导致乌鲁木齐及其周边地区产生大暴雪的大尺度环流特征, 包括乌拉尔长波槽的移动方向, 槽前强盛的西南气流和槽后强劲的偏北风, 以及下游地区影响长波槽移动速度的高压环流。

3) WRF 模式准确预报出了此次乌鲁木齐机场大暴雪天气的过程(累计)降雪量。WRF 模式内置的 AFWA 诊断模块能比较准确的预报(以能见度表征的)强降雪的起止时间, 即由于降雪强度大导致能见度低于 1000 m 的起止时间, 但是不能预报由于小雪导致空气中湿度大而出现冻雾时能见度低于 1000 m 的情况。

参考文献

- [1] 朱雯娜, 张茜, 谭艳梅. 乌鲁木齐一次暴雪过程地形敏感性试验[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(4): 62-69.
- [2] 许婷婷, 张云惠, 于碧馨, 郑育琳. 2015 年 12 月乌鲁木齐极端暴雪成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 23-29.
- [3] 张俊兰, 杨霞, 李建刚, 秦贺, 闵月. 2015 年 12 月新疆极端暴雪天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(5): 1-9.
- [4] 张俊兰, 万瑜, 闵月. 乌鲁木齐“2015.12.11”极端暴雪天气的综合分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(1): 1-10.
- [5] 马玉芬, 杜娟, 于晓晶, 等. GTS 同化对 DOGRAFS 预报新疆区域一次特大暴雪的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(6): 24-30.
- [6] Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J.G. (2008) A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Report TN-475+STR, NCAR.
- [7] 赵洪, 杨学联, 邢建勇, 等. WRF 与 MM5 对 2007 年 3 月初强冷空气数值预报结果的对比分析[J]. 海洋学报, 2007, 24(2): 1-8.
- [8] 陶健红, 张新荣, 张铁军, 等. WRF 模式对一次河西暴雪的数值模拟分析[J]. 高原气象, 2008, 27(1): 68-75.
- [9] 黄海波, 陈春艳, 朱雯娜. WRF 模式不同云微物理过程及水平分辨率对降水预报效果的影响[J]. 气象科技, 2011, 39(5): 529-536.
- [10] Glenn, C., Evan, K., Rebecca, A.-S., James, M., Scott, R. and Braedi, W. (2014) AFWA Diagnostics in WRF. http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/AFWA_Diagnostics_in_WRF.pdf