

基于ECMWF细网格模式的伊宁市大雾预报方法研究

玛合巴·巴合提, 祝小梅, 沈晓辉

伊犁州气象台, 新疆 伊宁

收稿日期: 2021年9月22日; 录用日期: 2021年10月21日; 发布日期: 2021年10月28日

摘要

利用2016~2020年逐日伊宁站雾观测数据、地面常规气象资料, 对大雾天气进行分级统计, 采用统计法分析伊宁市大雾的时间变化特征, 通过相关分析法找出与大雾生消有密切关系的气象因子; 用ECMWF细网格模式资料, 利用等级分类和逐步回归法建立大雾预报模型。结果表明: 1) 伊宁市大雾天气集中出现的月份是11月至次年2月, 多发时段是21:00至次日12:00。2) 与大雾相关性高的因子为 T_{850} 、 T_{925} 、 T_{925-2m} 和 T_{2m} 及 T_d ; 地面相对湿度 $< 87\%$ 、露点温度差 $T-T_d > 4^\circ\text{C}$ 和地面风速 $> 3.2 \text{ m/s}$ 不宜出现大雾天气。3) 用建立的伊宁市24 h大雾预报的多元回归方程, 对2021年1月~3月大雾过程进行预报效果检验, 0~2级雾的预报正确率 $> 66\%$, 预报正确率远高于空报率, 3级的正确率为0、空报率为100%, 级别越低正确率越高; 各级雾的漏报率均 $< 34\%$ 。检验效果较理想, 具有较好的预报水平和较高的业务应用价值。

关键词

大雾, 预报因子, 预报模型, 大雾等级划分, ECMWF细网格模式预报

Research on Fog Forecast Method of Yining City Based on ECMWF Fine Grid Model

Baheti Maheba, Xiaomei Zhu, Xiaohui Shen

Yili Meteorological Observatory, Yining Xinjiang

Received: Sep. 22nd, 2021; accepted: Oct. 21st, 2021; published: Oct. 28th, 2021

Abstract

Based on the daily fog observation data and ground routine meteorological data of Yining station

文章引用: 玛合巴·巴合提, 祝小梅, 沈晓辉. 基于 ECMWF 细网格模式的伊宁市大雾预报方法研究[J]. 气候变化研究快报, 2021, 10(6): 563-569. DOI: 10.12677/ccrl.2021.106066

from 2016 to 2020, the classification statistics of heavy fog weather were carried out. The temporal variation characteristics of heavy fog in Yining were analyzed by statistical method, and the meteorological factors closely related to the occurrence and elimination of heavy fog were found by correlation analysis method. Using ECMWF fine grid model data, the fog prediction model is established by hierarchical classification and stepwise regression method. The results showed that: 1) The fog weather in Yining City concentrated from November to February of the following year, and the frequent occurrence period was from 21:00 to 12:00 of the next day. 2) The factors highly correlated with fog were T_{850} , T_{925} , T_{925-2m} , T_{2m} and T_d ; Ground relative humidity < 87%, dew point temperature difference $T-T_d > 4^\circ\text{C}$ and surface wind speed > 3.2 m/s were not suitable for foggy weather. 3) The multiple regression equation of 24-hour heavy fog forecast in Yining City was used to test the prediction effect of heavy fog from January to March in 2021. The prediction accuracy of class 0 to class 2 fog forecast is more than 66%, and the accuracy is much higher than the empty forecast rate. The accuracy of class 3 fog forecast is 0 and the absent forecast rate is 100%, and the lower the class is, the higher the accuracy is. The missing rate of fog at all classes was less than 34%. The test effect is ideal, and it has better prediction level and higher operational application value.

Keywords

Fog, Forecast Factor, Forecast Model, Fog Classification of Grades, ECMWF Fine Grid Model Forecast

Copyright © 2021 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

大雾属于比较常见的灾害性天气之一，一年四季均可出现，但集中在冬半年[1]，且具有明显的年变化、周期变化[2]，多集中在夜间至早晨。由于大雾发生具有不确定性，预测难度相对较大，实际工作中预报员对雾的天气形势的掌握和适宜条件的认知，多是基于探空观测数据、加密自动站数据，对预报雾有一定的指导作用。但对雾的生消精细化预报的前瞻性不够，提前准确发布预警有一定的难度[3] [4]。为减少大雾天气给陆、空交通运输、电力部门供电及人们健康等造成严重的影响和经济损失，故而加强高时空分辨率的数值预报产品对伊宁市大雾预报方法研究，满足时间尺度和准确性的双重要求显得极为迫切。随着预报技术的不断发展，国内外的天气数值预报水平得以提升，数值预报产品已成为预报员预报天气的主要参考依据[5] [6]。针对所研究区域的大雾天气特征，选择合适的影响因子和建模方法成为影响模式预测准确度的关键因素。如毛程燕等[7]用 ECMWF 细网格模式预报资料，采用统计法和逐步回归法建立了雾的潜势预报模型；邓小丽等[8]用 PP 法建立了大雾预报方程，利用数值预报产品制作出未来 24 h 大雾预报；王楠等[9]采用 SVM 方法，分别基于 Poly、RBF 核函数建立乌鲁木齐机场未来 21 h 能见度预报模型，很好地实现了 ECMWF 细网格产品在乌鲁木齐机场低能见度预测中的释用；李云泉等[10]建立天气学概念模型，采用逐步回归方法建立嘉兴市冬季大雾预报方程，通过检验均取得不错的效果。因此本文在统计分析伊宁市大雾的时间变化特征和物理过程并找出预报着眼点的基础上，利用 2016~2020 年伊宁站最小水平能见度资料，采用大雾等级分类法进行大雾等级的划分，选取与大雾出现前相关性好的气象因子，利用 ECMWF 细网格模式资料与大雾等级采用多元回归建立伊宁市 24 h 大雾预报模型。

2. 资料及说明

2.1. 资料来源

本文所采用的资料为伊宁市气象台站：1) 2016~2020 年逐日雾观测资料(剔除因降水造成低能见度数据)；2) 同期逐日 08 时或 20 时(北京时，下同)时探空资料；3) 同期逐日 08 时或 20 时气温、风、相对湿度和温度露点差等地面常规气象资料；4) 2016~2021 年 ECMWF 细网格数值预报产品($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$)，时间间隔为 3 h。

2.2. 大雾等级划分

气象上，大雾一般采用水平能见度(VIS)来描述，因此本文按最小水平能见度大小进行大雾等级的划分，划分为 4 个等级：3 级大雾， $VIS < 50$ m；2 级大雾， $50 \text{ m} \leq VIS < 200$ m；1 级大雾， $200 \text{ m} \leq VIS < 500$ m；0 级大雾， $500 \text{ m} \leq VIS < 1000$ m。能见度越低，级别越高。

3. 伊宁市大雾时间变化特征

3.1. 伊宁市大雾逐月分布特征

根据 2016~2020 年伊宁市大雾天气累计出现时次的逐月分布(图 1)可知，伊宁市雾天日数有显著的月际变化特征，大雾天气 10 月开始出现，11 月至次年 2 月最多，占雾天总日数的 96.0%，其次是 3 月和 10 月，均占总日数的 2.0%；而 4~9 月则很少出现。出现最多的月份是 12 月和次年 1 月，分别 54 d 和 55 d，最少的是 3 月和 10 月，只有 3 d。这与伊宁市所处的地理环境以及气候背景有很大的关系。因此本文应用上述 11 月至次年 2 月的 4 个月的数据来表征伊宁市大雾天气的特点，并建立大雾预报模型。

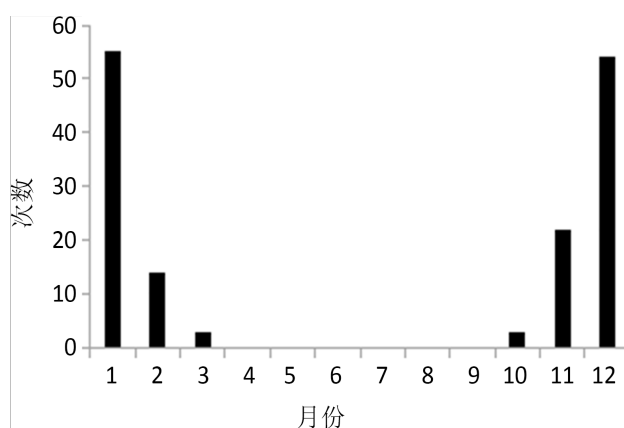


Figure 1. Monthly cumulative distribution characteristics of fog days in Yining city from 2016 to 2020

图 1. 伊宁市 2016~2020 年雾日的月累积分布特征

3.2. 伊宁市大雾日变化特征

由图 2 可知，伊宁市 1 d 内大部时次均可出现雾，但雾的多发时段是 21:00 至次日 12:00，占总发生几率的 97.4%，13:00 以后雾出现的频率很低，13:00~20:00 生成仅为 2.6%，峰值出现在 01:00，发生的频率占 21.2%。由于夜间持续降温、气温的降低有利于近地层的水汽凝结达到饱和从而形成雾；白天随着太阳辐射升温，湍流加强，稳定层结破坏，雾逐渐消散。

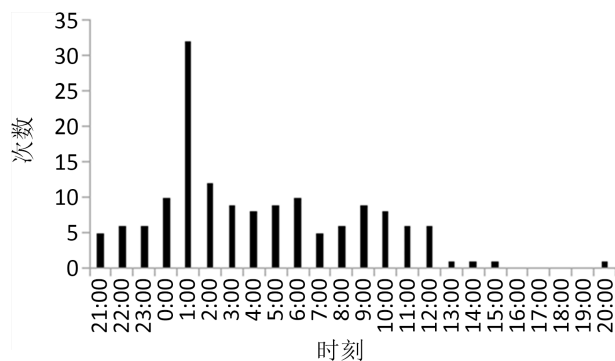


Figure 2. Evolution of cumulative times of horizontal visibility less than 1000 m with time from 2016 to 2020

图 2. 2016~2020 年水平能见度小于 1000 m 的累计次数随时间的演变

4. 雾的预报方法

4.1. 大雾天气相关气象因子特征分析

大雾形成所需的低层大气垂直分布状态和地面气象要素分布与静稳结构有关,因此预报因子的选取是大雾预报的关键。通过参考以往大雾天气气候特征的研究成果,从 2016~2020 年高空探空资料中,选取伊宁站大雾出现前 08 时或 20 时 925 hPa 温度(T_{925})、850 hPa 的温度(T_{850})、925 hPa 相对湿度(RH_{925})、850 hPa 的相对湿度(RH_{850})、700 hPa 相对湿度(RH_{700})等 5 个物理量,以及同时次 2 m 温度(T_{2m})、露点温度(T_d)、相对湿度及风速表征近地面的 4 个气象因子。经统计,雾发生时各物理量累积分布特征较明显的因子,如图 3 所示。相对湿度的分布特征:80%的雾发生时对应的相对湿度分别在 87%、64%、30%以上,即相应的阈值分别为 87%、64%、30%;雾发生时温度和近地层一般都有逆温出现,分别由对应时次 T_{2m} 、 T_{925} 和 T_{850} 逆温分布可知, T_{925} 和 T_{2m} 的逆温较集中出现在 $-1.1^{\circ}\text{C}\sim 5.1^{\circ}\text{C}$ 之间,雾发生时未出现逆温的概率 $\leq 22.8\%$; T_{850} 和 T_{2m} 的逆温集中在 $-0.4^{\circ}\text{C}\sim 7.5^{\circ}\text{C}$ 之间,雾发生时未出现逆温的概率 $\leq 28.1\%$,说明雾出现时,伊宁市普遍出现较强的逆温或接近等温;雾发生时地面风速往往较小,风速 $\leq 1.6\text{ m/s}$ 时 98% 以上有雾出现,风速 $> 3.2\text{ m/s}$ 时雾出现的概率只有 2% 以下。因此地面风速为 $\leq 3.2\text{ m/s}$,是雾出现时的阈值;露点温度差 $T-T_d \leq 4^{\circ}\text{C}$ 时,雾发生时的概率 93%,因此 $T-T_d \leq 4^{\circ}\text{C}$,是雾出现时的阈值。经过分析,选定相对较好的消空指标为:地面相对湿度 $< 87\%$ 、露点温度差 $T-T_d > 4^{\circ}\text{C}$ 和地面风速 $> 3.2\text{ m/s}$ 。以上的筛选,基本上可以提前将无雾日滤掉,来提高预报准确率。所选取的消空指标虽然滤掉了大部分无雾日,但由于大雾形成的原因比较复杂,在没有考虑到地面有效辐射、暖湿平流、空气质量状况以及局地地理条件等因素的情况下,可能会造成漏报和空报。

4.2. 预报因子选取

根据大雾天气相关气象因子的分析,选取影响伊宁市大雾天气较明显的 17 个因子(表 1),从中选定相关系数绝对值 ≥ 0.3 ,通过显著性检验的为高影响因子。由于伊宁市出雾的最佳时段一般为 21:00 至次日 12:00 时,故利用大雾日出现时间前 02、05、08、11、20 和 23 时 ECMWF 细网格模式预报资料用距离插值法插值到伊宁站上,分区时采用的大雾等级分类进行相关分析,最终确定相关性高、物理意义好、独立性强的因子为 7 个,结合实际工作和数值预报产品类型,最终确定表征低层气象要素的因子,为 T_{925} 、 T_{850} 、 $T_{925}-T_{2m}$ 、 $T_{850}-T_{2m}$,共计 4 个气象因子;表征地面气象要素因子为 T_{2m} 温度和 T_d ,共计 2 个气象因子,进入模型。

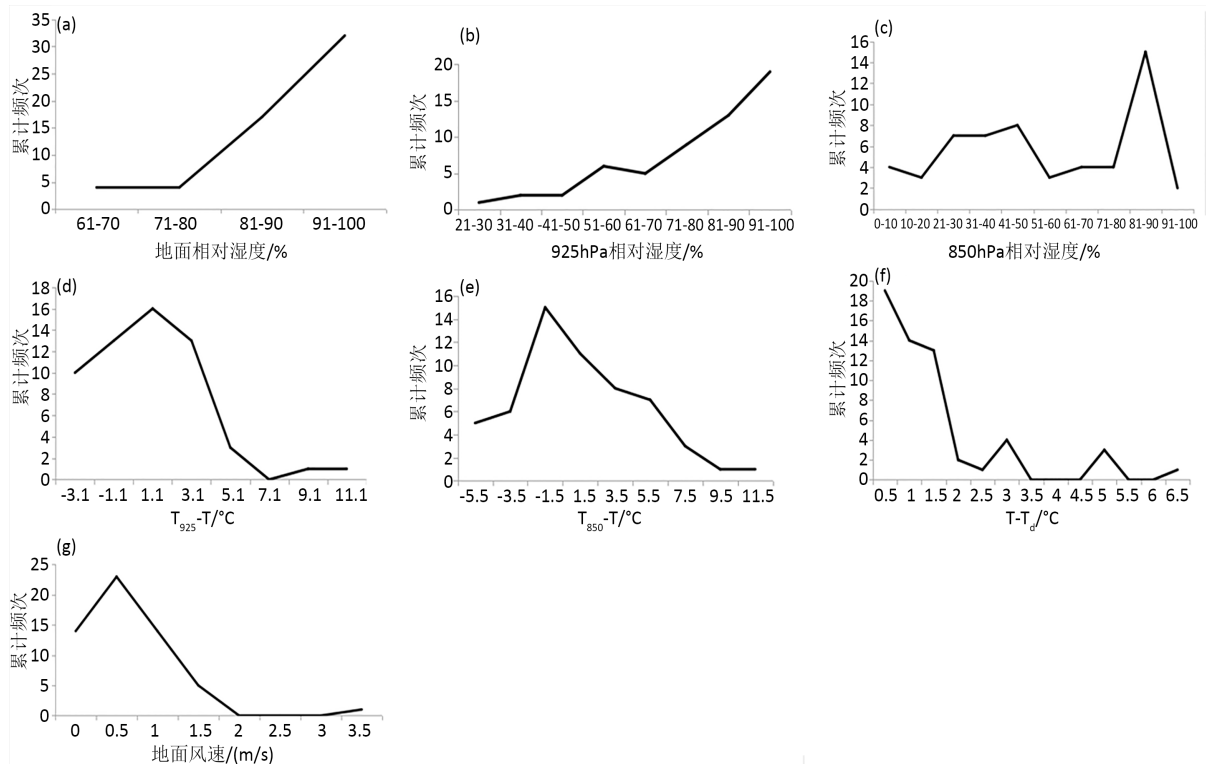


Figure 3. Cumulative frequency distribution of forecast factors during fog occurrence from 2016 to 2020. (a) Ground relative humidity; (b) 925 hPa relative humidity; (c) 850 hPa relative humidity; (d) 925 hPa and ground temperature difference; (e) 850 hPa and ground temperature difference; (f) Dew point temperature difference; (g) Surface wind speed

图 3. 2016~2020 年雾发生时各预报因子累积频次分布; (a) 地面相对湿度; (b) 925 hPa 相对湿度; (c) 850 hPa 相对湿度; (d) 925 hPa 与地面温差; (e) 850 hPa 与地面温差; (f) 露点温度差; (g) 地面风速

Table 1. Meteorological factors and correlation coefficients related to high influence of heavy fog in Yining City

表 1. 伊宁市大雾有关高影响的气象因子及相关系数

高影 响因 子	$T_{925}/^{\circ}\text{C}$	$T_{850}/^{\circ}\text{C}$	$T_{850}-T_{925}/^{\circ}\text{C}$	$T_{4925}/^{\circ}\text{C}$	$T_{4850}/^{\circ}\text{C}$	$T_{2m}-T_{4925}/^{\circ}\text{C}$	$T_{2m}-T_{4850}/^{\circ}\text{C}$	$\text{RH}_{925}/\%$	$\text{RH}_{850}/\%$	$\text{RH}_{700}/\%$	925 hPa 风速 /(m/2)	$T_{2m}/^{\circ}\text{C}$	$\text{RH}_{地}/\%$	$T_{d地}/^{\circ}\text{C}$	地面 风速 /(m/2)	$T_{925}-T_{2m}/^{\circ}\text{C}$	$T_{850}-T_{2m}/^{\circ}\text{C}$
相关 系数	0.41	0.5	0.07	0.33	0.03	0.14	0.24	-0.13	-0.21	-0.25	0.13	0.37	0.10	0.40	-0.05	0.43	0.50

4.3. 预报模型建立

用大雾等级分类法和逐步回归法建立 24 h 大雾预报方程，共有 5 个高影响因子进入模型。伊宁市 24 h 大雾预报回归方程为：

$$Y = 2.203 + 0.167X_1 - 0.155X_2 + 0.103X_3 - 0.010X_4 + 0.099X_5.$$

其中 Y：大雾等级、 X_1 ： T_{850} ($^{\circ}\text{C}$)、 X_2 ： T_{925} ($^{\circ}\text{C}$)、 X_3 ： T_{925} 和 T_{2m} 温度差 ($^{\circ}\text{C}$)、 X_4 ： T_{2m} ($^{\circ}\text{C}$)、 X_5 ： T_d ($^{\circ}\text{C}$)。最后用 ECMWF 细网格模式预报逐 3 h 预报因子，实现逐日雾潜势预报自动化。

5. 预报系统应用

伊宁市大雾预报系统(图 4)主要通过把伊宁站 ECMWF 细网格物理量格点输出产品与预报模型对接，在考虑到消空指标和回归结果的阈值情况下，每日定时输入伊宁站大雾预报格点产品。若能能见度 $\text{VIS} <$

500 m, 则格点值取 3; 若 $500\text{ m} \leq V < 200\text{ m}$, 则取 2; 若 $200 < \text{VIS} \leq 500\text{ m}$, 则取 1, 若 $500 < \text{VIS} \leq 1000\text{ m}$, 则取 0, 方便预报员调用并提早发布预警。



Figure 4. Heavy fog forecast system in Yining City
图 4. 伊宁市大雾天气预报系统

6. 预报模型检验

取 2021 年 1~3 月伊宁市 11 个大雾日, 逐日 08 时起报的 20 时至次日 20 时逐 3 h 的 ECMWF 细网格模式预报资料代入回归方程, 其分级预报结果与实况进行对比检验, 详见表 2。伊宁市 0~2 级雾的预报正确率都大于 66%, 预报正确率都远高于空报率, 3 级的正确率为 0、空报率为 100%, 级别越低正确率越高; 各级雾的漏报率均小于 34%。综合分析检验预报准确样本和漏报样本可知, 模型对于实况为 $200\text{ m} < \text{VIS} \leq 500\text{ m}$ 的 1 级雾、 $50\text{ m} < \text{VIS} \leq 200\text{ m}$ 的 2 级及 $500\text{ m} < \text{VIS} \leq 1000\text{ m}$ 的 0 级雾范围内的大雾的天气检验效果相对平稳, 对于实况为 $\text{VIS} \leq 50\text{ m}^3$ 级雾的大雾天气基本没有报出来。分析原因: 可能与检验个例数太少有关, 3 级雾只有 1 次个例。考虑到预报值若在大雾等级四个值给出的范围之内, 认为将出现大雾天气, 否则将以不会出现大雾天气处理。当水平能见度 $\text{VIS} \leq 500\text{ m}$ 时, 气象台需要及时向公众和相关部门发布大雾预警信号, 因此检验结果较好的 1、2 级大雾等级范围均在预警发布阈值内, 表明该预报方法在业务应用中具有一定的参考价值。但在后期预报、业务运行中还待我们通过更多的个例继续做好 ECMWF 细网格模式预报产品预报准确率的检验。

Table 2. Test results of all classes of fog
表 2. 各级雾的检验结果

雾等级	正确率	空报率	漏报率
3 级($\text{VIS} < 50\text{ m}$)	0	100%	0
2 级($50 < \text{VIS} \leq 200\text{ m}$)	66.7%	0	33.3%
1 级($200 < \text{VIS} \leq 500\text{ m}$)	83.3%	0	16.7%
0 级($500 < \text{VIS} \leq 1000\text{ m}$)	100%	0	0

7. 结论

1) 伊宁市雾的月际差异较明显, 雾集中出现的月份是 11 月至次年 2 月, 其中以 12 月和次年 1 月出现次数最多; 1 d 内雾多发时段是 21:00 至次日 12:00, 峰值出现在 01:00。

2) 雾的形成与相对湿度、气温和风速关系密切。潮湿的空气(相对湿度为 87%~100%)、微弱的风速(风速 ≤ 3.2 m/s)和温度与近地层有逆温出现有利于大雾的形成。地面相对湿度 $< 87\%$ 、露点温度差 $T-T_d > 4^\circ\text{C}$ 和地面风速 > 3.2 m/s 不宜出现大雾天气。

3) 可用于伊宁市大雾预报方程的相关性高、物理意义好、独立性强的因子包括: 表征低层气象要素的因子的 T_{925} 、 T_{850} 、 $T_{925}-T_{2m}$ (温差表示逆温); 表征地面气象要素因子的 2 m 温度和露点温度。

4) 通过 EC 数值预报产品的释用, 建立伊宁市雾的分级定量化客观预报模型, 在实际业务中可得以应用。通过对 2021 年 1 月~3 月预报检验, 伊宁市 0~2 级雾的预报正确率都大于 66%, 预报正确率都远高于空报率, 级别越低正确率越高; 各级雾的漏报率均小于 34%, 具有较好的预报水平和较高的业务应用价值。

虽然 ECMWF 细网格模式预报产品释用方法在伊宁市大雾预报业务中有较好的预报指示意义, 但模式输出产品相对于实况存在误差, 释用方法无法摆脱统计本身的缺陷, 提高预报模型的准确率, 需要长期的、稳定的历史数据。以后随着 ECMWF 细网格模式预报产品准确性的不断提高, 伊宁市大雾的预报预警能力也将得到进一步提高。

参考文献

- [1] 马禹, 任宜勇, 陈春艳, 等. 40 年来新疆雾的演变特征及大雾天气过程分析[J]. 干旱区地理, 2005, 28(4): 474-478.
- [2] 彭成海, 董延虎, 秦榕. 伊犁地区大雾的气候特征研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 708-709.
- [3] 冯蕾, 田华. 国内外雾预报技术研究进展[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2014, 6(1): 74-81.
- [4] 朱玉祥, 黄嘉佑, 丁一汇. 统计方法在数值模式中应用的若干新进展[J]. 气象, 2016, 42(4): 456-465.
- [5] 马晓刚, 罗思维, 舒海燕, 等. 中国典型大雾落区基本概念模型的研究与建立[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(1): 62-67.
- [6] 杜娟, 李曼, 辛渝, 等. 2017 年乌鲁木齐区域数值预报业务系统预报性能检验和评估[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(6): 49-57.
- [7] 毛程燕, 龚理卿, 陈江锋, 等. 浙江中西部大雾天气的气候特征及潜势预报方法[J]. 广东气象, 2018, 40(2): 10-13.
- [8] 邓小丽, 林杨. 西安地区大雾天气的分析及预报[J]. 陕西气象, 2013(4): 21-25.
- [9] 王楠, 朱蕾, 周建军, 等. 基于 EC 细网格产品在乌鲁木齐机场低能见度预测中的释用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(2): 81-89.
- [10] 李云泉, 陆琛莉, 范晓红. 嘉兴市大雾预报方法[J]. 浙江气象, 2007, 28(1): 14-17.