

# 2021年11月白城机场一次冻雾过程诊断分析

高 睿

吉林省民航机场集团有限公司航务管理部白城分部, 吉林 白城

收稿日期: 2022年12月12日; 录用日期: 2023年1月23日; 发布日期: 2023年1月29日

## 摘 要

本文利用NCEP以及FNL  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料, 对2021年11月28日吉林省白城地区的一次大雾天气过程进行诊断分析, 结果表明: 本次的大雾天气过程具有范围广、持续时间长的特征, 其中最低能见度小于0.2 km; 环流形势场上发现, 出现在中高层的暖脊以及地面上入海高压后部持续的弱气压场系统是此次白城地区大雾天气的主要影响天气系统, 高空槽前、脊后持续的西南气流为雾区输送了大量暖湿气流, 同时配合地面弱压场, 为此次大雾天气过程提供了较为有利的环流形势; 白城地区在此次大雾天气过程中大气湿度较大, 同时持续的暖平流使得在近地层以及高空均存在较为深厚的逆温层, 大气层结较为稳定, 也为大雾的发生和持续提供了有利的水汽以及层结条件; 同时上升下沉运动较弱, 大气层结的稳定度进一步增强, 不利于雾的消散, 导致此次大雾持续时间较长。

## 关键词

大雾, 暖脊, 水汽条件, 动力条件, 逆温层

# Diagnostic Analysis of a Freezing Fog Process at Baicheng Airport in November 2021

Rui Gao

Baicheng Branch of Aviation Management Department of Jilin Civil Aviation Airport Group Co., Ltd., Baicheng Jilin

Received: Dec. 12<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Jan. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Based on NCEP and FNL  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  reanalysis data, a fog weather process in Baicheng area of Jilin Province on November 28, 2021 was diagnosed and analyzed. The results show that the fog weather

process has the characteristics of wide range and long duration, and the minimum visibility is less than 0.2 km. It is found in the circulation situation field that the warm ridge in the middle and upper layers and the continuous weak pressure field system at the back of the high pressure entering the sea on the ground are the main influencing weather systems of the heavy fog weather in Baicheng area. The continuous southwest airflow in front of the upper trough and behind the ridge transports a large amount of warm and wet airflow for the fog area, and cooperates with the weak pressure field on the ground, which provides a more favorable circulation situation for the heavy fog weather process. In the process of the fog weather in Baicheng area, the atmospheric humidity is large, and the continuous warm advection makes the deep inversion layer exist in the surface layer and high altitude, and the atmospheric stratification is stable, which also provides favorable water vapor and stratification conditions for the occurrence and persistence of fog. At the same time, the ascending and descending motion is weak, and the stability of the atmospheric stratification is further enhanced, which is not conducive to the dissipation of the fog, resulting in a longer duration of the fog.

## Keywords

Fog, Warm Ridge, Water Vapor Conditions, Dynamic Conditions, Inversion Layer

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

在《地面气象观测规范》[1]中,雾天气被这样定义:“雾是指悬浮在贴近地面的大气中的大量微细水滴(或冰晶)的可见集合体,雾的有效能见度小于1000米,相对湿度常为100%或接近100%,有明显的潮湿感觉。”浓雾已成为影响经济、社会发展以及人民健康的重要灾害性天气之一,雾所造成的危害和影响十分严重,引起学者们的高度关注。我国大范围的大雾可以分为均压型和锋前型两大类型。均压型大多属于辐射雾类型,而锋前型则主要跟平流雾联系在一起[2]。

雾的形成原因相对较为复杂,受气温、相对湿度、温度露点差、低层水平风、大气层稳定度、风垂直切变、近地面层逆温等因素影响较大[3]-[10]。这些研究大致给出了不同地区雾的气候特征,而对雾生成机制的影响相关讨论较少。本文通过对吉林省白城地区的一次大雾天气过程的诊断分析,尝试分析该地区影响雾生成的物理机制,提高对雾的预测预警能力,减少由雾害造成的损失。

吉林省白城市地处嫩江平原西部,科尔沁草原东部,对全省社会经济发展具有重要作用。2021年11月28日,在吉林省白城地区出现了一次大雾天气过程,本文将对此次大雾天气过程的环流形势、水汽条件、动力条件及温湿层结等进行诊断分析,以期对区域性大雾过程建立更深入、全面的认识,防御和减轻大雾天气所带来的次生灾害。

## 2. 所有资料

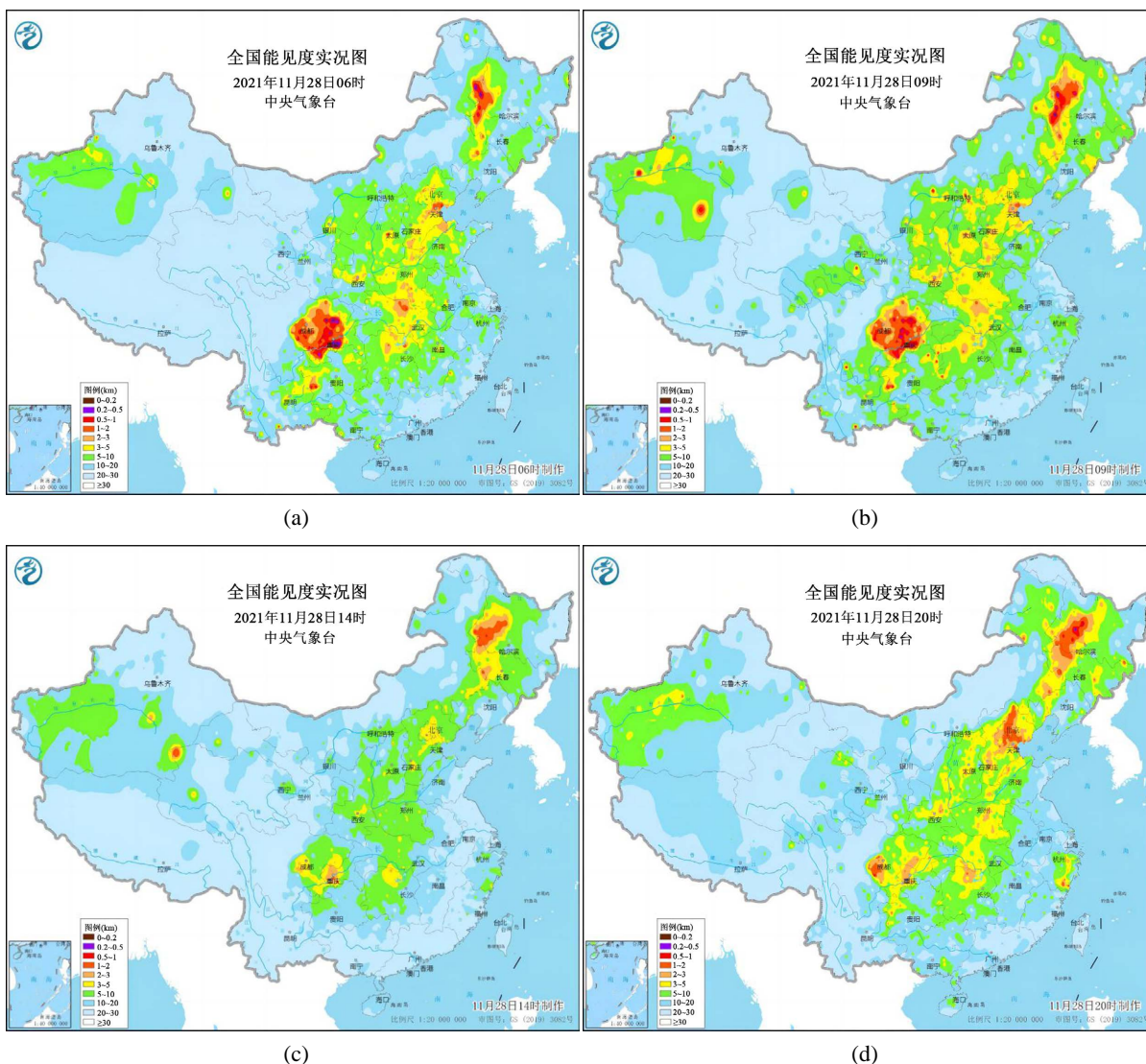
本文利用NCEP提供的FNL再分析资料(水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ),对2021年11月28日吉林省白城地区的一次大雾天气过程进行分析。观测时次为每日的02时、08时、14时、20时。包括风场(uwnd, vwnd)、位势场(hgt)、地面气压场(pres)、垂直速度场(omega)、散度场(div)、海平面气压场(slp)。

全文中的时次如无特别说明,均为北京时;且全文中的图表如无特别说明,均为利用FNL再分析资料处理所得到。

### 3. 过程概况和天气形势

#### 3.1. 过程概况

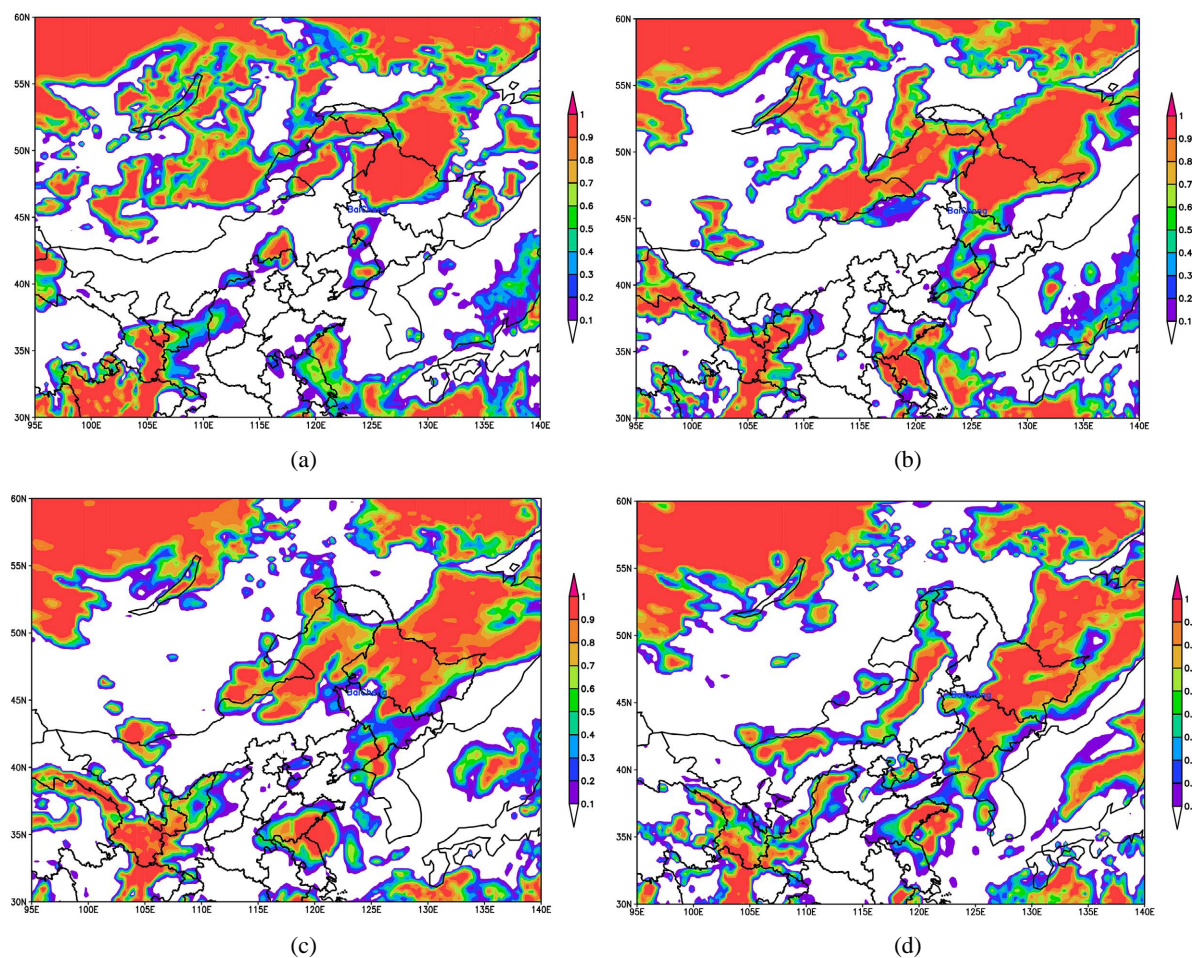
受空中暖脊以及地面弱压场形势影响, 2021年11月28日04时~11时, 白城机场出现了一次冻雾天气过程, 低能见度持续时间约8小时, 期间最低能见度小于0.2 km, 并持续了约7小时。由全国能见度实况图可知(图1), 28日06时(图1(a)), 内蒙古东北部、黑龙江省西部、吉林省西部以及辽宁省西北部地区出现了大范围的大雾天气, 其中最低能见度小于0.2 km, 白城地区处于最低能见度的中心区域。至28日09时(图1(b)), 大雾范围进一步向东扩散, 此时白城地区仍处于最低能见度的中心区域。至28日14时(图1(c)), 雾区中心能见度有所转好, 最低能见度为0.5~1 km。至28日20时(图1(d)), 随着入夜后辐射降温, 导致水汽凝结, 加之此时大气层结仍较为稳定, 雾区的范围再一次扩大, 且进一步向东移动, 此时已覆盖黑龙江省西部以及吉林省西部地区, 其最低能见度仍小于0.2 km。



**Figure 1.** Visibility distribution (unit: km) map of central meteorological station at (a) 06:00; (b) 09:00; (c) 14:00; (d) 20:00 on 28 November, 2021

**图 1.** 2021年11月28日(a) 06时; (b) 09时; (c) 14时; (d) 20时中央气象台能见度分布图(单位: km)

同时分析云底高  $\leq 1500$  m 的低云云量可知, 28 日 08 时(图 2(a)), 在内蒙古东北部以及黑龙江省西部的大范围地区低云云量超过 0.9, 表明此时空中湿度较大, 为大雾天气的形成提供了较为有利的水汽条件, 同时由于低云较多, 辐射升温较为缓慢, 不利于雾的扩散, 这也为大雾天气的维持提供了有利条件。至 28 日 14 时(图 2(b)), 内蒙古东北部、黑龙江省大部、吉林省中西部以及辽宁省中部等地区低云云量均超过 0.5, 中心区域云量超过 0.9, 表明此时空中低云仍较多, 不利于雾的消散, 大雾天气得以维持。至 28 日 20 时(图 2(c)), 白城周边低云云量进一步增多, 这可能是由于入夜后随着辐射降温, 水汽凝结作用增强造成的。至 29 日 02 时(图 2(d)), 随着冷空气的逐步入侵, 低云云系向东南方向移动, 白城周边低云云量有所减少, 此次大雾过程也趋于结束。



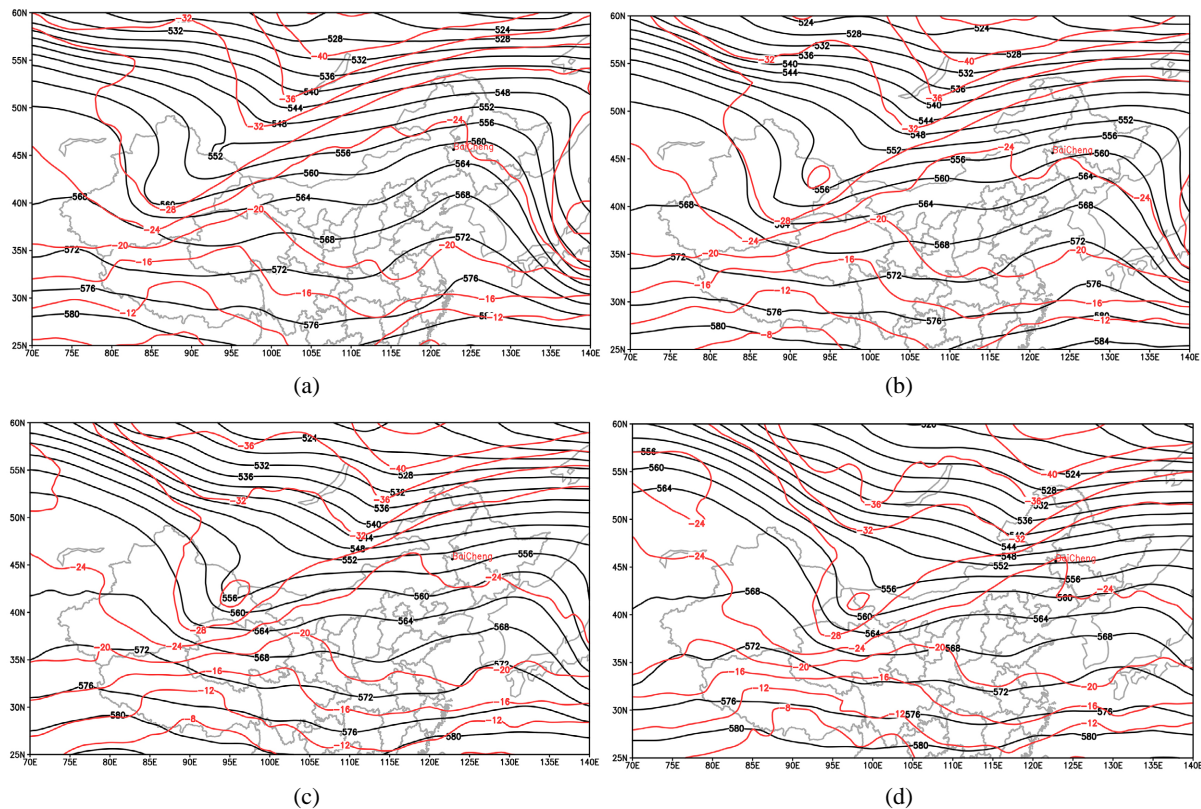
**Figure 2.** Distribution map of low cloud cover with cloud base height  $\leq 1500$  m at (a) 08:00; (b) 14:00; (c) 20:00 on the 28<sup>th</sup> November; (d) at 02:00 on the 29<sup>th</sup> November, 2021 (“.” refers to the location of Baicheng City)

**图 2.** 2021 年 11 月(a) 28 日 08 时; (b) 28 日 14 时; (c) 28 日 20 时; (d) 29 日 02 时云底高  $\leq 1500$  m 的低云云量分布图(“.”为白城市位置)

### 3.2. 环流背景

大雾一般出现在有利的高低空系统配置下, 为了研究大雾天气发生时的天气系统配置, 从 500 hPa 图上分析(图 3)此次大雾天气发生阶段的环流形势, 28 日 02 时(图 3(a)), 500 hPa 上, 亚欧大陆中高纬度地区基本表现为“两槽一脊”型环流形势, 高压脊位于我国东北地区至渤海湾一线, 2 个低压槽区分别

位于贝加尔湖西侧至我国新疆东北部地区和日本地区一线，呈带状分布，白城地区处于暖脊上，且温度脊稍落后于高度脊，天气形势较为稳定，有利于大雾天气的生成。至 28 日 08 时(图 3(b))，脊线进一步向东移动，而此时白城仍处于暖脊后部，为大雾天气的维持提供了较为稳定的层结条件。至 28 日 14 时(图 3(c))，此时槽线已经移动至贝湖东南侧至我国内蒙古西部地区一线，白城地区此时位于槽前、脊后的位置，冷空气已逐步入侵我国，白城地区温度也有所降低。至 28 日 20 时(图 3(d))，槽线进一步向东南方向移动，此时白城地区处于槽前位置。由以上高空环流形势分析可知，暖脊的维持，导致冷空气移动较为缓慢，天气形势较为稳定，这些都是有利于大雾天气生成的一些基本条件。

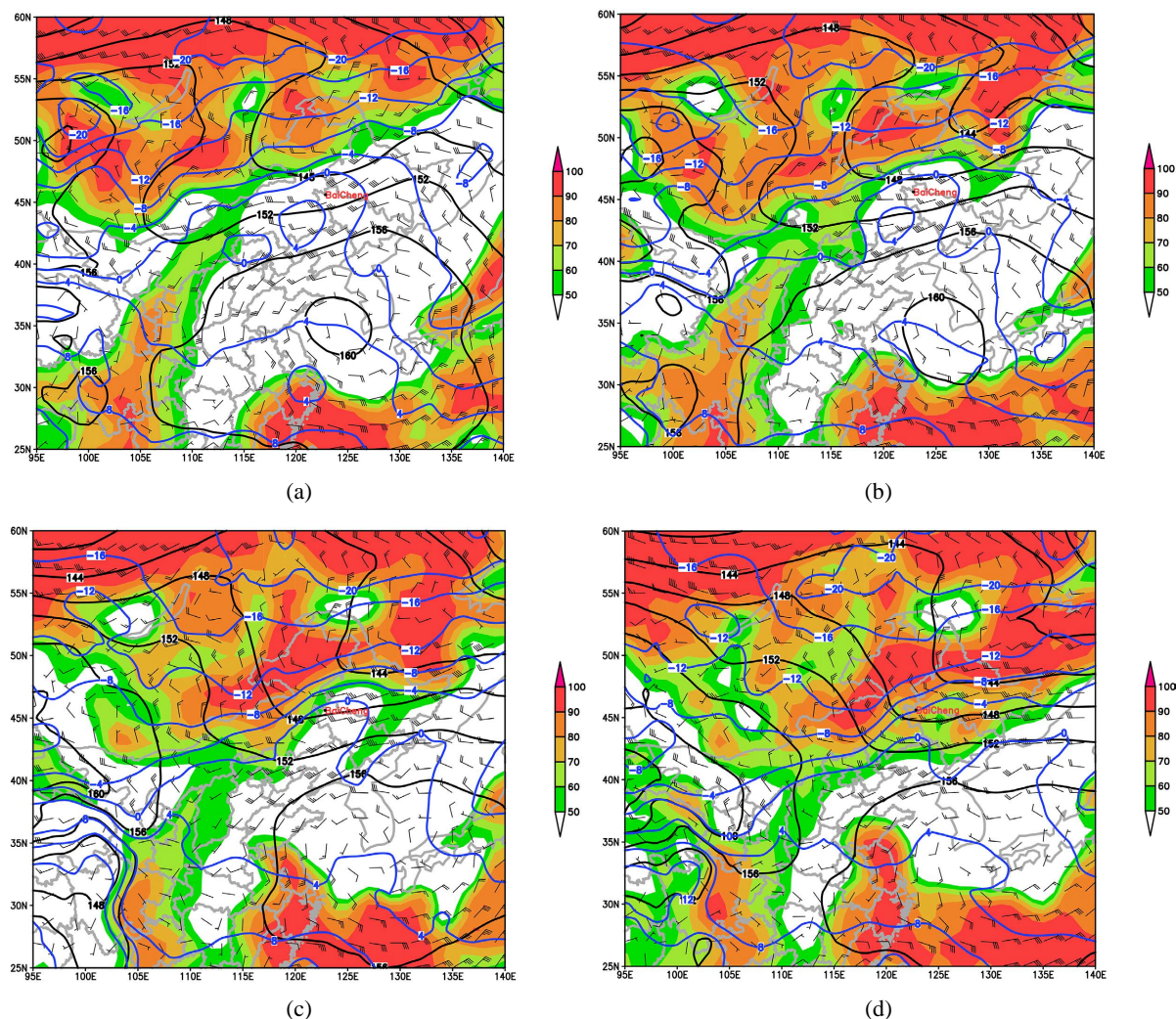


**Figure 3.** Potential height field and temperature field at 500 hPa at (a) 02:00; (b) 08:00; (c) 14:00; (d) 20:00 on November 28, 2021 (potential height field unit: dagpm, temperature field unit: °C, “.” is the location of Baicheng City)

**图 3.** 2021 年 11 月 28 日(a) 02 时;(b) 08 时;(c) 14 时;(d) 20 时 500 hPa 位势高度场、温度场(位势高度场单位: dagpm, 温度场单位: °C, “.” 为白城市位置)

由 850 hPa 上位势高度场、风场以及温度场分析可知(图 4)，在此次大雾过程中白城地区处于槽前、脊后的位置，持续的西南气流，为大雾的产生、维持提供了较为有利的水汽条件。28 日 02 时(图 4(a))，白城处于槽前、脊后的位置，较强的西南气流向雾区输送了大量的暖湿气流，表明此时水汽输送显著，主要影响内蒙古东北部、黑龙江省西部以及吉林省西部地区。同时由温度场分析可知，此时白城地区处于暖脊位置，持续的暖平流有利于在近地层逆温层的形成，同样为大雾的发展提供了有利层结条件。而此时在内蒙古东北部以及黑龙江省西北部地区相对湿度较大，其中心最大值超过 90%，表明此时白城地区大气中水汽较为充沛。至 28 日 08 时(图 4(b))，白城地区仍处于槽前西南气流区域，同时在白城南部地区形成了暖中心，有利于大雾的进一步维持。至 28 日 14 时(图 4(c))，由于冷空气移动较为缓慢，白城地区仍处于槽前位置，持续的西南气流为本次大雾天气的维持提供了较为充沛的暖湿空气。且此时相对湿

度大值区范围进一步扩大,白城西部地区相对湿度也超过了 50%,表明雾区大气中的水汽较为充沛。至 28 日 20 时(图 4(d)),白城地区此时相对湿度已经超过了 80%,这可能是由于入夜后辐射降温导致水汽凝结加剧导致的。



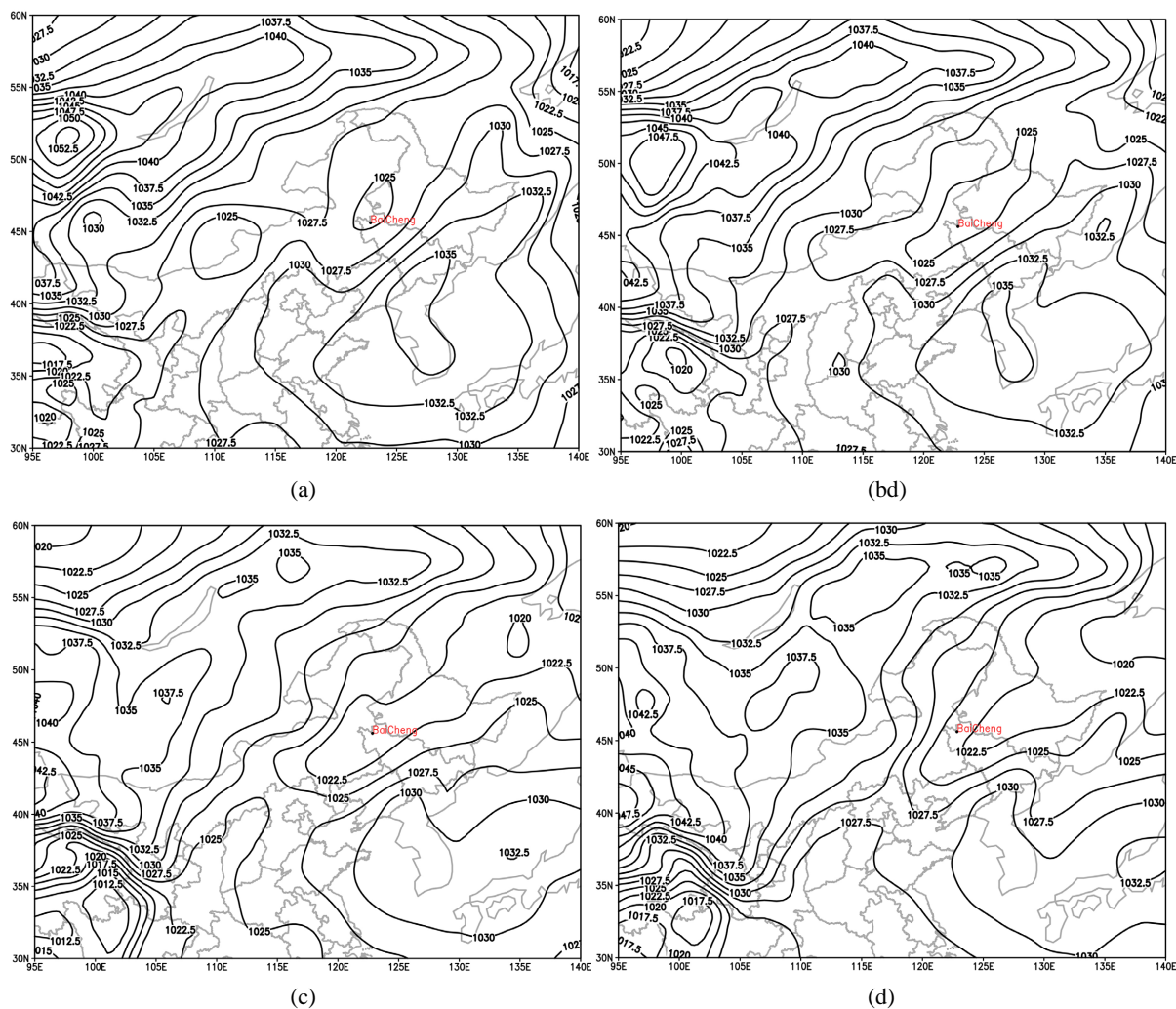
**Figure 4.** Potential height field (black solid line, unit: dagpm), wind field (wind plume), temperature field (blue solid line, unit: °C) and relative humidity (color filling, unit: %) at 850 hPa at (a) 02:00; (b) 08:00; (c) 14:00; (d) 20:00 on 28<sup>th</sup> November, 2021 (color filling, “.” refers the location of Baicheng City)

**图 4.** 2021 年 11 月 28 日(a) 02 时; (b) 08 时; (c) 14 时; (d) 20 时 850 hPa 位势高度场(黑色实线, 单位: dagpm)、风场(风羽)、温度场(蓝色实线, 单位: °C)以及相对湿度(填色, 单位: %, “.” 为白城市位置)

此次白城地区的大雾天气过程属于高压后部型大雾,即白城地区东海附近的较为深厚的高压系统后部。弱冷空气的下沉及暖空气的爬坡抬升,有利于低空大气稳定层结的建立,冬季有利于辐射雾的生成和雾维持[11]。由图 5 可知,由于入海高压后部持续的弱气压场影响,白城地区大气层结较为稳定,有利于大雾天气生成和维持。28 日 02 时(图 5(a)),此时朝鲜半岛地区为高压中心,较强的低压区位于贝加尔湖西侧,白城基本处于弱气压场控制。这种高低空配置,有利于地面辐射、平流降温,空气达到饱和凝结,中低层的暖平流加剧了逆温层的形成,有利于辐射雾的形成和维持。至 28 日 08 时(图 5(b)),白城地区周围的弱压区范围有所增大,此时白城地区处于弱的气旋性辐合区,这种较为稳定的大气层结,有利于大

雾天气的维持。至 28 日 14 时(图 5(c)), 此时白城地区受锋前弱气压场的影响, 大气层结仍较为稳定, 不利于雾的扩散。至 28 日 20 时(图 5(d)), 随着冷空气的东移南下, 锋面系统靠近, 大气层结稳定性被破坏, 此次大雾天气趋于结束。

由以上分析可知, 出现在中高层的暖脊以及地面上上海高压后部持续的弱气压场系统是此次白城地区大雾天气的主要影响天气系统。高空槽前、脊后持续的西南气流为雾区输送了大量暖湿气流, 同时配合地面弱压场, 为本次大雾天气过程提供了较好的水汽条件以及较为稳定的层结条件。



**Figure 5.** Sea level pressure field at (a) 02:00; (b) 08:00; (c) 14:00; (d) 20:00 on November 28<sup>th</sup>, 2021 (pressure field unit: hPa, “.” refers the location of Baicheng City)

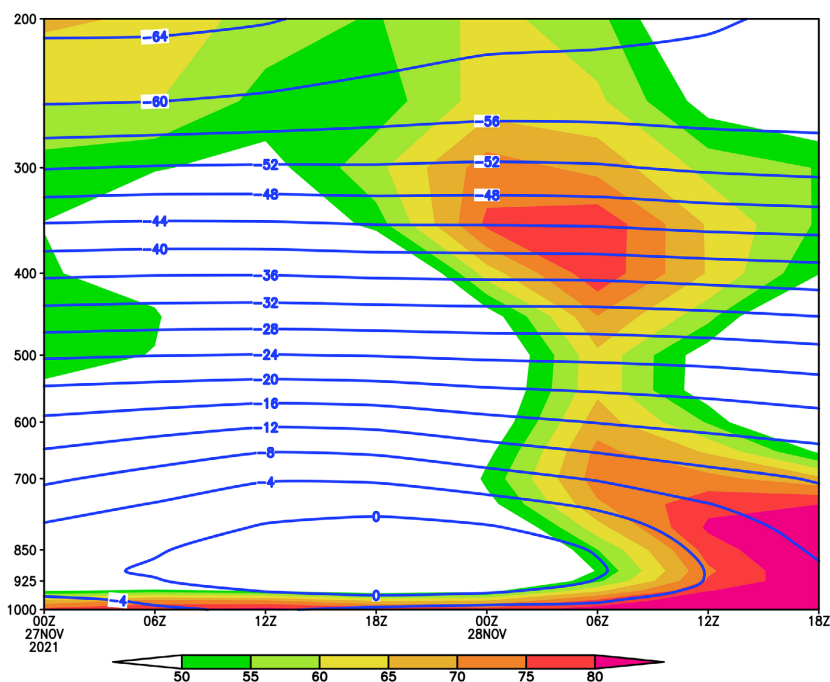
**图 5.** 2021 年 11 月 28 日(a) 02 时; (b) 08 时; (c) 14 时; (d) 20 时地面气压场(气压场单位: hPa, “.” 为白城市位置)

## 4. 物理量诊断分析

### 4.1. 水汽条件

大气中湿度的大小对大雾天气的产生和持续有着较为重要的影响, 图 6 给出了沿雾区中心做垂直剖面, 观察白城上空温度、湿度随高度以及时间变化的分布情况。27 日 14 时至 28 日 14 时, 850 hPa 以下的近地层存在显著的逆温层, 大气层结较为稳定, 不利于雾的消散, 为大雾的形成提供了较为有利的稳

定的层结条件，这也与白城地区大雾出现的时间段相一致。同时由湿度变化可知，27日08时至28日14时，白城地区925 hPa以下近地层湿度较大，超过了75%，之后28日14时至29日02时，白城地区上空整层大气的湿度均较大，其中在400~300 hPa以及700 hPa以下形成了两个湿度大值区，中心最大值超过了80%，接近饱和状态，这表明在此次大雾天气过程中白城地区上空大气中水汽较为充沛，有利于大雾的维持。由此可知，白城地区在此次产生大雾天气过程中大气湿度较大，同时较为深厚的逆温层也为大雾的发生和持续提供了有利的条件。



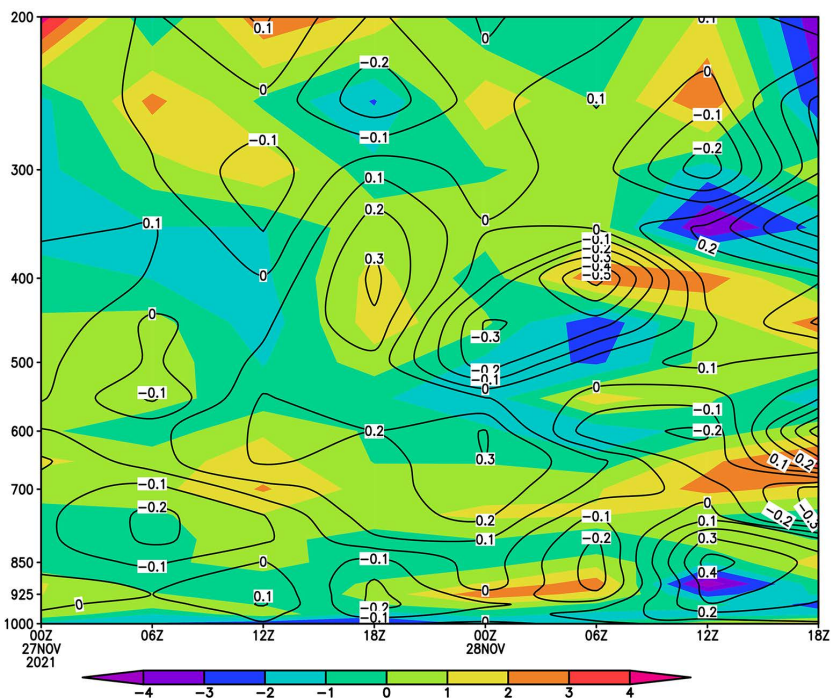
**Figure 6.** Profile of temperature field (isoline, unit: °C) and humidity field (color filling, unit: %, “.” refers to the location of Baicheng City) from 08:00 on 27<sup>th</sup> November to 02:00 on 29<sup>th</sup> November, 2022, along 122.84°E and 45.64°N

**图 6.** 2022 年 11 月 27 日 08 时至 29 日 02 时温度场(等值线, 单位: °C)、湿度场(填色, 单位: %, “.” 为白城市位置)沿 122.84°E, 45.64°N 剖面

## 4.2. 大气层结条件

充沛的水汽、较长时间的维持和稳定的层结条件是促使大雾天气发生、发展的必要条件，而散度、垂直速度通常被用以表征大气垂直运动的强弱[12] [13]。图 7 给出了沿雾区中心做垂直剖面，观察白城上空散度以及垂直速度时间变化的分布情况。可以看到，28 日 02 时至 14 时，白城地区以南 925~850 hPa 附近存在显著的  $\omega$  场正值区，表明该区域存在一定的辐散下沉运动，偏南气流遇到弱的下沉气流，使得大量水汽在近地层聚集，有利于大雾天气的发生。至 28 日 20 时，白城地区上空 925 hPa 附近为  $\omega$  场负值区，表明此时在该区域大气存在辐合上升运动，而 700 hPa 以及 400 hPa 附近为  $\omega$  场正值区，表明此时在该区域大气存在辐散下沉运动，这样下层的辐合上升使得气温降低，而高空有弱的辐散下沉运动使得该层气温略有升高，在这样的上升、下沉运动的交界面中形成逆温，阻止了低层水汽向上输送，使得水汽在低层积累，同时也有利于大气层结的稳定度进一步加强，有利于形成较强的浓雾。由以上分析可知，白城地区在此次大雾天气过程中，上升下沉运动较弱，且在近地层形成了较为深厚的逆温层，大气层结较为稳定，有利于雾的形成和维持，导致此次大雾持续时间较长。





**Figure 7.** Profiles of vertical velocity field (color filling, unit: Pa/s) and divergence field (isoline, unit:  $10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$ ) from 08:00 on 27<sup>th</sup> November to 02:00 on 29<sup>th</sup> November, 2021, along 122.84°E and 45.64°N

**图 7.** 2021 年 11 月 27 日 08 时至 29 日 02 时垂直速度场(填色, 单位: Pa/s)、散度场(等值线, 单位:  $10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$ )沿 122.84°E, 45.64°N 剖面

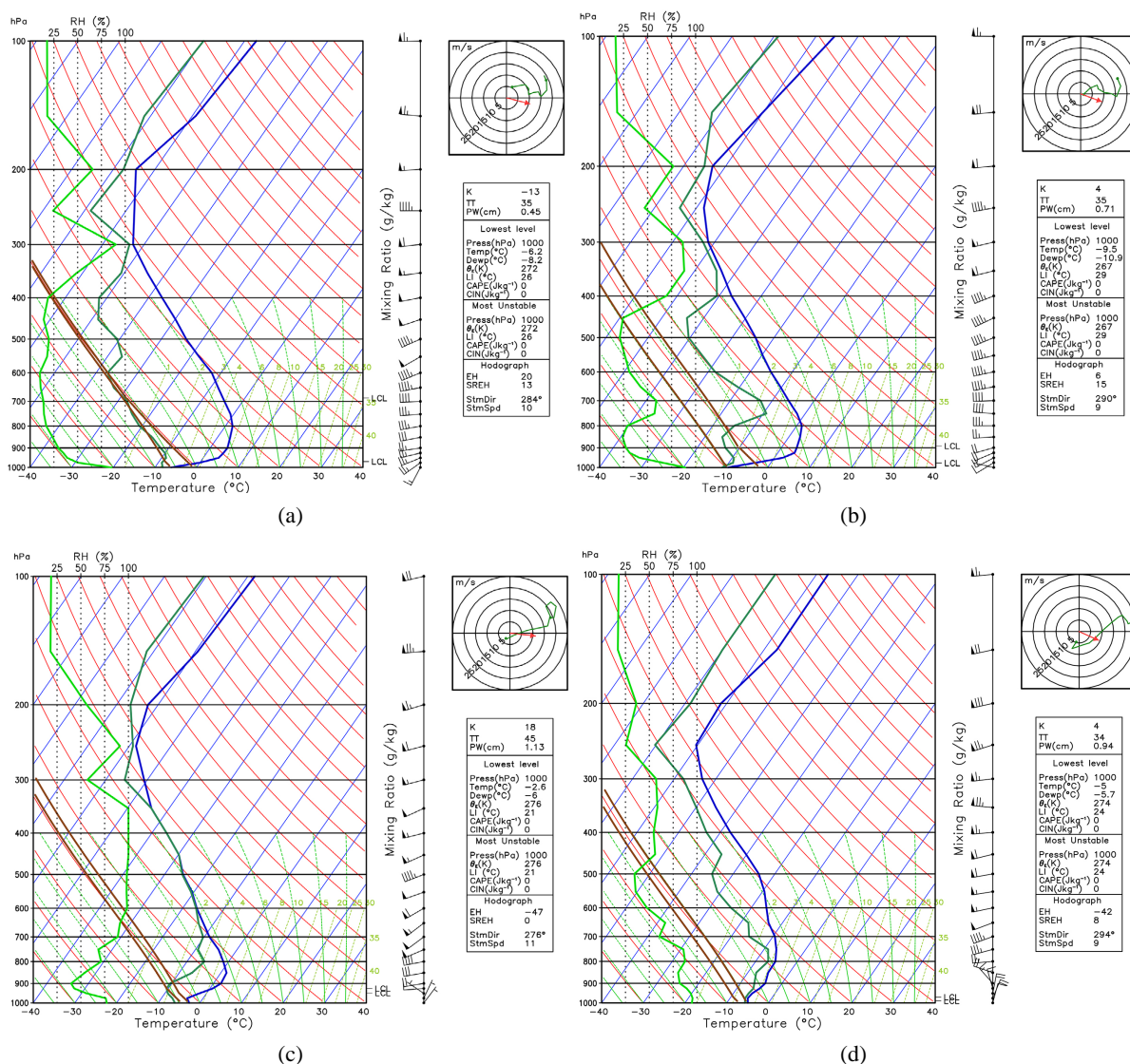
### 4.3. 温湿层结分析

雾发生时大气边界层中总伴有逆温或等温现象, 稳定的大气层结是雾发生和维持的重要条件[12]。本文选取白城站的探空图(图 8), 分析此次大雾天气过程中的大气层结条件, 由探空的比湿曲线可以看出, 28 日 02 时(图 8(a)), 在 800 hPa 以下以及 200 hPa 以上存在逆温层, 而在 300~200 hPa 高度层上为等温层, 表明此时层结较为稳定有利于雾的产生。在 400 hPa 以下均为西南风, 这表明此时白城地区处于暖脊控制, 持续的西南气流向雾区输送了大量水汽, 水汽条件较好, 有利于雾的形成和维持。至 28 日 08 时(图 8(b)), 在 800 hPa 以下以及 200 hPa 以上仍存在逆温层, 这可能是受空中暖脊的影响, 大气层结的稳定度进一步加强, 有利于大雾天气的进一步维持。至 28 日 14 时(图 8(c)), 此时近地层的逆温层厚度有所降低, 但仍在 850 hPa 以下以及 250 hPa 以上存在较为深厚的逆温层。至 28 日 20 时(图 8(d)), 随着空中槽的移动以及地面锋面系统的靠近, 近地层的逆温层被逐渐破坏, 大气稳定度有所降低, 此次大雾过程趋于结束。由以上分析可知, 此次大雾天气过程中, 白城地区高空为暖脊所控制, 地面上受入海高压后部持续的弱气压场影响, 且近地层以及高空均存在逆温层, 层结较为稳定, 有利于雾的形成和维持。同时空中为槽前脊后西南气流形势, 持续向雾区输送大量的暖湿空气, 也为大雾天气提供了有利的水汽条件。

## 5. 结论

本文利用 NCEP 提供的 FNL 再分析资料, 对 2021 年 11 月 28 日吉林省白城地区的一次大雾天气过程进行诊断分析。得到如下结论:

1) 受空中暖脊以及地面弱压场形势影响, 2021 年 11 月 28 日 04 时~11 时, 白城地区出现了一次冻雾天气过程, 本次的大雾天气过程具备范围广、持续时间较长的特征, 最低能见度小于 0.2 km。同时分析



**Figure 8.** T-lnp sounding map of Baicheng station at (a) 02:00; (b) 08:00; (c) 14:00; (d) 20:00 on 28<sup>th</sup> November 2021  
**图 8.** 2021 年 11 月 28 日(a) 02 时; (b) 08 时; (c) 14 时; (d) 20 时白城站 T-lnp 探空图

云底高  $\leq 1500$  m 的低云云量可知,在内蒙古东北部以及黑龙江省西部的大范围地区低云云量超过了 0.9,表明空中湿度较大,为大雾天气的形成提供了较为有利的水汽条件,同时由于低云较多,辐射升温较为缓慢,这也为大雾天气的维持提供了有利条件。

2) 大雾一般出现在有利的高低空系统配置下,此次大雾天气发生前,在 500 hPa 上,亚欧大陆中高纬度地区基本表现为两槽一脊型环流形势,高压脊位于我国东北地区以及渤海湾一线,2 个低压槽区分别位于贝加尔湖西侧至我国新疆东北部地区和日本地区一线,呈带状分布,白城地区处于暖脊上,天气形势较为稳定,有利于大雾天气的生成。暖脊的维持,导致冷空气移动较为缓慢,天气形势较为稳定。在 850 hPa 上,在此次大雾过程中白城地区处于槽前、脊后的位置,同时持续的暖平流也有利于逆温层的形成,为大雾的产生、维持提供了较为有利的水汽条件以及稳定的大气层结。在地面图上,由于入海高压后部持续的弱气压场影响,大气层结较为稳定。这些都是有利于大雾天气生成和维持的一些基本环流条件。

3) 水汽条件方面, 大气中湿度的大小对大雾天气的产生和持续有着较为重要的影响, 白城地区在此次产生大雾天气过程中大气湿度较大, 同时较为深厚的逆温层也为大雾的发生和持续提供了有利的条件。

4) 动力条件方面, 白城地区在此次大雾天气过程中, 上升下沉运动较弱, 且在近地层形成了较为深厚的逆温层, 大气层结较为稳定, 有利于雾的形成和维持, 导致此次大雾持续时间较长。

5) 温湿层结分析, 此次大雾天气过程中, 白城地区高空为暖脊控制, 地面为弱压场, 且近地层以及高空均存在逆温层, 层结较为稳定, 有利于雾的形成和维持。同时空中为槽前脊后西南气流形势, 持续向雾区输送大量的暖湿空气, 也为大雾天气提供了有利的水汽条件。

## 参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 8.
- [2] 林建, 杨贵名, 毛冬艳. 我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 171-181.
- [3] 王丽萍, 陈少勇, 董安祥. 中国雾区的分布及其季节变化[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 689-697.
- [4] 王丽萍, 陈少勇, 董安祥. 气候变化对中国大雾的影响[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 527-536.
- [5] 张人禾, 李强, 张若楠. 2013年1月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 27-36.
- [6] Sachweh, M. and Koepke, P. (1995) Radiation Fog and Urban Climate. *Geophysical Research Letters*, **22**, 1073-1076. <https://doi.org/10.1029/95GL00907>
- [7] Zhang, G.Z., Bian, L.G., Wang, J.Z., Yang, Y.Q., Yao, W.Q. and Xu, X.D. (2005) The Boundary Layer Characteristics in the Heavy Fog Formation Process over Beijing and Its Adjacent Areas. *Science In China Series D-Earth Sciences*, **48**, 88-101.
- [8] Niu, S., Zhou, Y., Jia, R., et al. (2012) The Microphysics of Ice Accretion on Wires: Observations and Simulations. *Science China Earth Sciences*, **55**, 428-437. <https://doi.org/10.1007/s11430-011-4325-8>
- [9] Niu, S., Lu, C., Yu, H., et al. (2010) Fog Research in China: An Overview. *Advances in Atmospheric Sciences*, **27**, 639-662. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8174-8>
- [10] 尹志聪, 王会军, 郭文利. 华北黄淮地区冬季雾和霾的时空气候变化特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(5): 649-655.
- [11] 曹祥村, 邵利民, 李晓东. 黄渤海一次持续性大雾过程特征和成因分析[J]. 气象科技, 2012, 40(1): 92-99.
- [12] 程航. 大连地区大雾气候特征及成因研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [13] 张璐, 刘鹏, 张文君, 张乐楠. 中国不同区域气候条件对冬季雾日形成的差异性分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(5): 585-596.