

# 旅顺地区一次冷流飘雪过程诊断分析

宫鹏涛, 王英俊, 李博涛

92538部队, 辽宁 大连

收稿日期: 2023年6月8日; 录用日期: 2023年7月18日; 发布日期: 2023年7月25日

## 摘要

东北冷涡的出现常常伴随着强降温, 剧烈的降温容易使辽东半岛南部, 尤其是旅顺地区发生冷流飘雪, 冷流飘雪是冬季辽东半岛南部经常出现的天气现象。2022年11月30日, 辽东半岛南部产生了一次冷流飘雪过程。本文通过对大气环流形势、水汽输送、大气稳定度以及大气垂直运动等进行分析, 提出强冷空气与渤海暖水面相互作用产生的边界层不稳定为冷流飘雪提供了动力及水汽条件。

## 关键词

辽东半岛, 冷涡, 冷流飘雪, 海气相互作用

# Diagnosis and Analysis of a Cold Flow Drifting Snow Process in Lvshun Area

Pengtao Gong, Yingjun Wang, Botao Li

Unit No. 92538 of PLA, Dalian Liaoning

Received: Jun. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jul. 18<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 25<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The appearance of the northeast cold vortex is often accompanied by strong cooling. Severe cooling is easy to cause a cold flow drifting snow in the southern part of the Liaodong Peninsula, especially in the Lvshun area. Cold flow drifting snow is a weather phenomenon that often occurs in the southern part of the Liaodong Peninsula in winter. A cold flow drifting snow process occurs in the southern part of the Liaodong Peninsula on November 30, 2022. Through the analysis of the atmospheric circulation situation, water vapor transport, atmospheric stability and atmospheric vertical movement, this paper proposed that the boundary layer instability caused by the interaction of strong cold air and the warm water surface of the Bohai Sea provides the dynamic and water vapor conditions for the cold flow drifting snow.

## Keywords

Liaodong Peninsula, Cold Vortex, Cold Flow Drifting Snow, Air-Sea Interaction

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

辽东半岛冬季降雪主要分为系统降雪和冷流飘雪两类，系统降雪主要为锋面降雪，降雪时间及降雪量比较容易预报，但冷流飘雪分布范围小，地域性强，持续时间及降雪强度都难以把握，弱的冷流飘雪就是空中偶尔飘落几片雪花，如土即化，过程短的仅仅维持几分钟；强的冷流飘雪则是雪花漫天飞舞，覆盖山川河野，时间甚至可以维持几天，造成严重的社会事故和经济损失。2022年11月30日，辽东半岛南部出现了一次冷流低云强降雪天气。这次过程伴随大风降温，旅顺等地区雨雪交加且降雪持续时间长，一度造成交通瘫痪，为工作和生活带来了严重影响。本文从天气形势、大气稳定度、垂直运动、海气作用和独特的地理位置等方面对辽东半岛南部冷流飘雪的生成和产生持续降雪的原因进行初步分析，以进一步加深对冷流飘雪的认识，从而为提高降雪预报能力提供参考。

辽东半岛被渤海和黄海北部包围，东濒黄海北部海域，西临渤海，南接渤海海峡，整体为东北-西南走向。辽东半岛海洋性气候明显，尤其南部温暖湿润，冬季吹西北风时，由于垂直于海岸，一般有风向风速的辐合作用。在冬季，渤海海面的水温远高于周围的陆地气温，是个明显的热源，11月份海表水温平均在 $15^{\circ}\text{C}$ 左右，而周围的陆地气温都在 $-3^{\circ}\text{C}$ 以下。由海陆风定义的原理可知，渤海海域沿岸近地面层一直会有从陆地吹向海面的陆风存在，从而在渤海海域形成局地的小尺度辐合系统，它对于渤海海面暖湿空气的辐合抬升形成冷流低云进而产生降雪的影响不容忽视。

国内外对冷流飘雪的研究已经积累了丰富的经验，也进行了充足的理论研究，Glorie等发现，冷流飘雪的热力不稳定是由海面的热量和水汽输送到大气边界层的底部造成的。国内的于志良教授提出，渤海海表温度与冷空气到达前的锦州气温之差大于 $11.5^{\circ}\text{C}$ 时，产生冷流飘雪的几率为74.3% [1]。于晓晶等运用中尺度模拟发现，发生冷流飘雪区域上空水汽辐合层比较浅薄，集中在800 hPa以下，相对湿度饱和层和比湿高度维持的时间与冷流飘雪时段一致；云中水凝物粒子的高度一般在600 hPa以下，最大值出现在850~900 hPa，与浅对流结构对应。郑怡等发现，不同生成源地的冷流云团通常在渤海上快速发生发展，降雪云团生成源地为渤海湾及莱州湾附近，渤海中部、渤海海峡及辽东湾附近，暴雪云团主要受低空及边界层气流影响。李洪业认为，适宜的环流形势、海气相互作用、底层稳定度、底层风切变及地形的抬升作用是冷流低云形成并产生降雪的主要原因[2]。

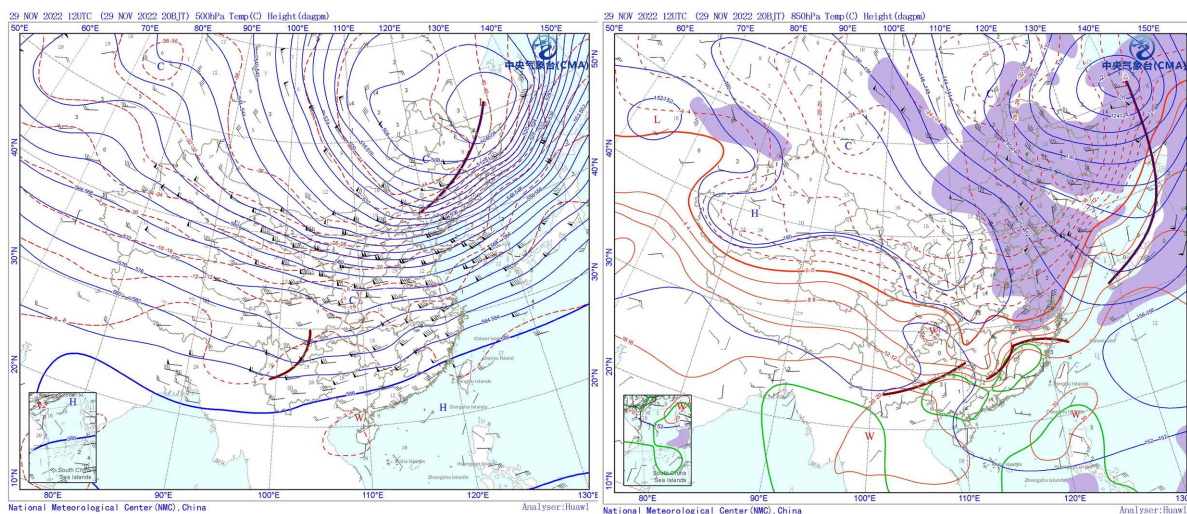
## 2. 天气过程

2022年11月28日~12月2日，辽东半岛南部出现了一次寒潮过境天气过程，此次寒潮，不仅给旅顺地区带来大风降温天气，同时也带来了长时间的降水，28日01:42~15:42，旅顺地区降水性质为雨，降水量为8.8 mm，11月30日01:11~12月2日11:03，降水性质为雪，降雪量为1.2 mm。此次降水，分别为28日的锋面降水和30日冷涡控制下的冷流飘雪，冷锋过境后，辽东半岛处于东北冷涡后部强西北气流的控制之下，强冷空气分股持续进入渤海海区，与渤海暖湿空气结合后不断有冷流低云生成，造成辽

东半岛南部产生一次持续的降雪过程，其中降雪量虽然不大，但断断续续，持续了近 58 个小时，到 2 日 12:00，随着东北冷涡的东移，辽东半岛南部降雪基本结束。

### 3. 大气环流分析

2022 年 11 月 29 日 20:00 (北京时)时，500 hpa 天气图上(图 1 左)，大气环流形势为经向环流，我国东北地区有一冷涡存在，冷涡中心位于黑龙江北部，槽线位于我国东北一带，渤海上空温度为 $-20\sim-28^{\circ}\text{C}$ ，渤海位于冷涡底部，为偏西气流控制；850 hpa 天气图上(图 1 右)，东北冷涡已移至鄂霍兹克海兹西岸附近，槽线位于日本岛西岸附近，渤海位于蒙古高压前部冷涡后部，渤海上空温度为 $-16\sim-20^{\circ}\text{C}$ ，等温线几乎垂直于等高线，冷平流明显；925 hpa 天气图上，成山头至旅顺一带有一明显的暖脊，可能与黄渤海暖水对边界层冷空气的持续加热造成的温度升高有关。强冷空气南下后，整个渤海位于冷高压的前部，吹西北风，渤海上空空气温度为 $-4\sim 0^{\circ}\text{C}$ ，海水温度为 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ 。



注：图片来源于中央气象台网站 <http://www.nmc.cn/>。

Figure 1. 500 hpa and 850 height fields at 20:00 on November 29, 2022

图 1. 2022 年 11 月 29 日 20 时 500 hpa 和 850 hpa 高度场

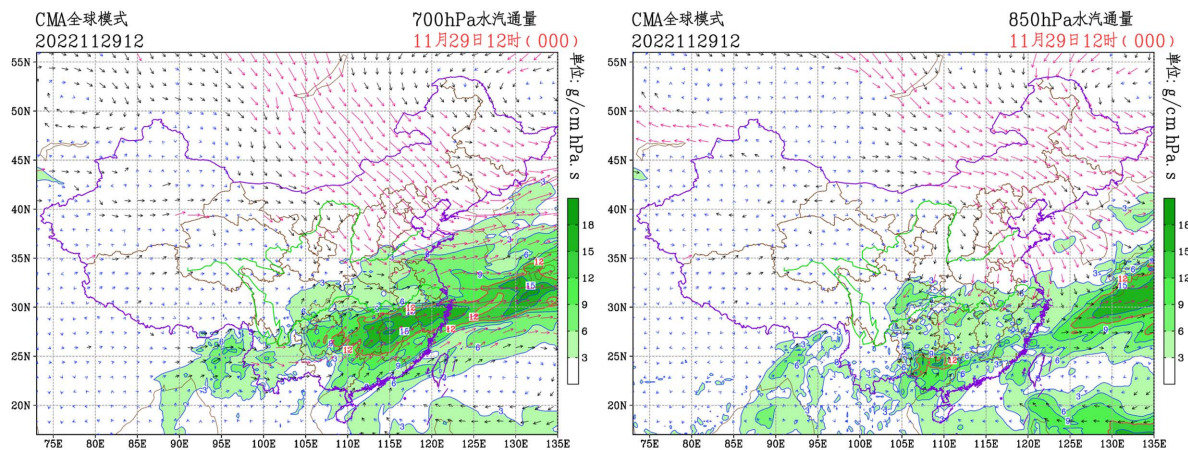
大气环流分析表明，冷流飘雪主要发生在东北冷涡底部及后部的强冷空气中，多为后倾槽，冷空气及冷平流较强，整个渤海及辽东半岛皆处于冷高压前面的西北气流中，经向型的大气环流导致强冷空气源源不断地流向渤海上空，冲击暖湿的下垫面。

### 4. 水汽分析

通过对 29 日 20 (北京时)时，700 hpa 和 850 hpa 的水汽通量图(图 2)分析，冷流飘雪水平水汽通量输送方向是自西北向东南输送，输送到渤海上空的水汽主要来自于西北地区，由于北方的干冷空气水汽含量小，所以 700 hpa 和 850 hpa 的高度，渤海上空的水平水汽通量小且变化不大。

通过对 29 日 20 时(北京时)，700 hpa 和 850 hpa 的相对湿度场分析(图 3)，发生冷流飘雪所需要的饱和水汽主要集中在 850 hpa 以下的大气层中，且呈西北 - 东南走向，700 hpa 及以上大气层中的饱和水汽几乎没有，造成低层空气湿度增加的原因主要是来自北方的干冷空气经过渤海水面时不断地通过海气相互作用向大气输送水汽，经过水面的距离越长空气中的水汽越多(于志良，1998)。

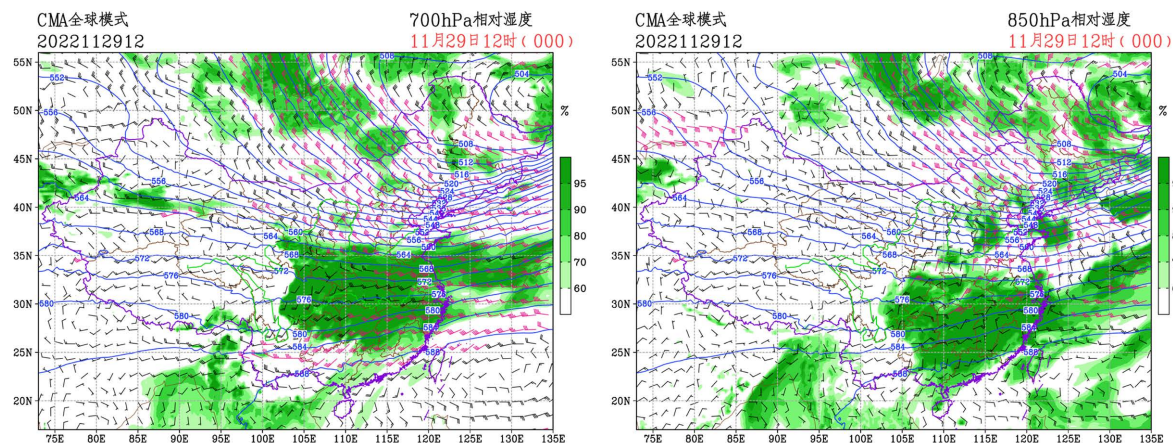




注：图片来源于中央气象台网站 <http://www.nmc.cn/>。

Figure 2. 700 hpa and 850 hpa horizontal vapor fluxes at 20:00 on November 29, 2022

图 2. 2022 年 11 月 29 日 20 时 700 hpa 和 850 hpa 的水平水汽通量



注：图片来源于中央气象台网站 <http://www.nmc.cn/>。

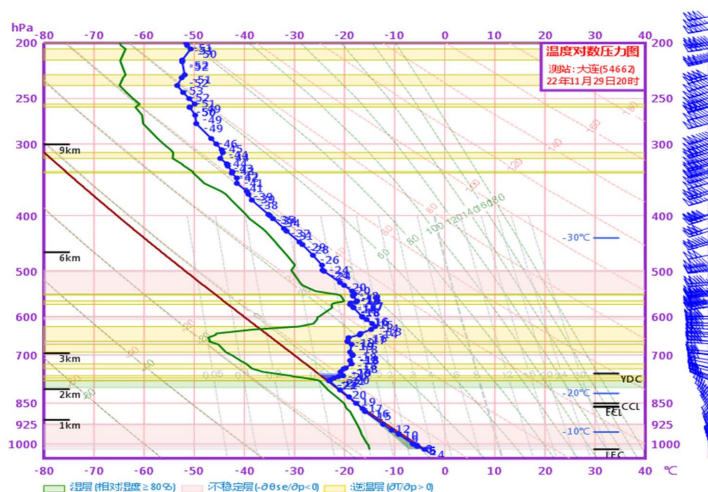
Figure 3. 700 hpa and 850 hpa relative humidity fields at 20:00 on November 29, 2022

图 3. 2022 年 11 月 29 日 20 时 700 hpa 和 850 hpa 的相对湿度场

水汽分析表明，冷流飘雪的水平水汽输送主要来自于西北方的冷空气，水汽通量小，垂直水汽输送主要是渤海海面相对暖湿空气的上升运动，所以湿层较浅薄(主要位于 850 hpa 及其以下的边界层内)。

### 5. 大气层结分析

从本站 29 日 20:00 (北京时)时探空资料分析(如图 4)，冷锋过境后，本站主要受西北气流控制，低层风速随高度增加，具有大的风切变，促使低层扰动发展，同时空中伴有冷平流，冷平流主要集中在 700 hpa 以下，其中 925 hpa 以下大气层结不稳定且存在下沉对流有效位能，说明边界层内有源源不断的冷平流在渤海上空下沉，低层温压曲线与干绝热线几乎平行，露压曲线与等饱和比湿线近于平行，二者几乎重合，说明近海面的暖湿空气在湍流扰动的作用下向上输送与上层空气混合，在 776 hpa 至 625 hpa 之间形成湍流逆温层，厚度较厚，到 30 日 08 时，逆温层下沉到 850 hpa 附近，逆温层的存在抑制了暖湿空气的继续上升，使水汽在这一层聚集，所以逆温层以下水汽充沛，此区域为扰动低云形成区域，所以形成的冷流低云高度在 1000 米左右。



注：图片来源于 Micaps 中温度对数压力图。

**Figure 4.** Analysis of sounding data at 20:00 on November 29, 2022  
**图 4.** 2022 年 11 月 29 日 20 时探空资料分析

## 6. 气象要素特征分析

通过对国家海洋局 MF02001 号浮标及旅顺站 29 日~30 日时的观测资料分析来看，渤海海面日平均气温 $-2.2^{\circ}\text{C}$ ，海表日平均水温  $14^{\circ}\text{C}$ ，温差  $16.2^{\circ}\text{C}$ 。旅顺观测站的日平均气温为 $-1.9^{\circ}\text{C}$ ，可见，相比渤海上空的大气及周围陆地，渤海海面是一个庞大的热源，为低层水汽的抬升提供了源源不断的能量。

风场资料显示，1 号浮标站和旅顺站的风向均为西北，浮标站逐小时平均风力为  $7.8\sim 14.5\text{ m/s}$ ，最大阵风为  $18.6\text{ m/s}$ ，旅顺站逐小时平均风力为  $6\sim 11\text{ m/s}$ ，最大阵风为  $16\text{ m/s}$ ，可见当风向为西北、风力较大时，有利于冷流低云的生成，相反，当风向为东北风时，气流来自于辽东半岛陆地，不经过广阔的洋面，所以很难形成低云，当风力特别大时，也会将聚集的水汽吹散，从而不利于冷流低云的产生。从旅顺站的湿度场分析来看，从 29 日 20:00 时开始，旅顺站的湿度逐渐增加，冷流低云生成，产生第一次降雪过程，到 12 月 2 日上午湿度减小，降雪停止，天气转晴。

## 7. 大气稳定度

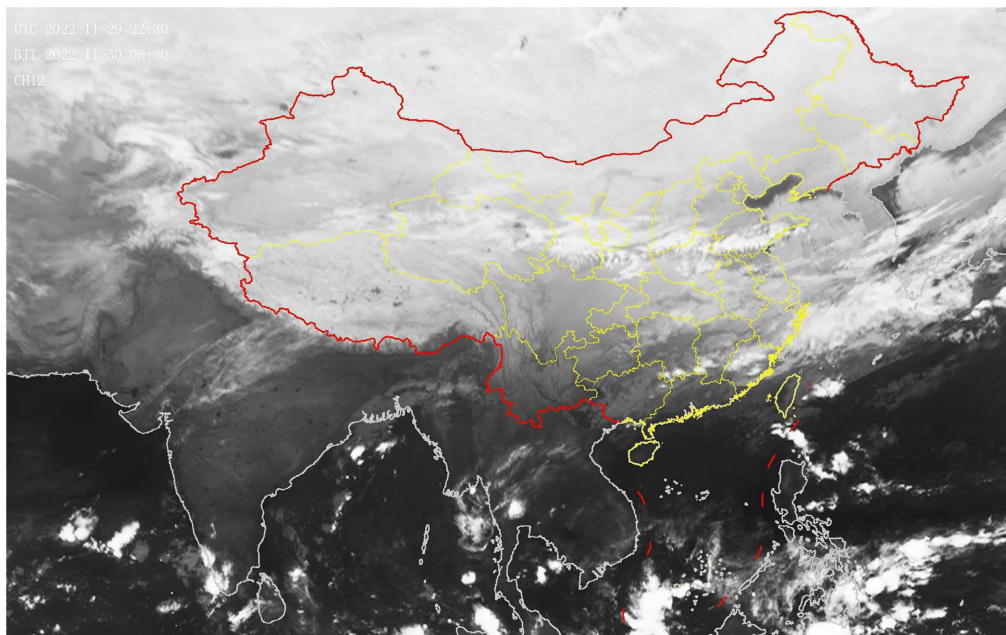
大气稳定度是指近低层大气作垂直运动的强弱程度，而温度率是判定大气稳定度的重要指标之一，当温度直减率  $r$  大于  $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  的时候(气块绝热上升的平均温度直减率，其值在对流层低层小于对流层高度)，大气处于条件不稳定状态；当温度直减率  $r$  等于  $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  的时候(气块的干绝热上升的温度直减率)，大气处于绝对不稳定状态；当温度直减率  $r$  小于  $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  的时候，大气处于绝对稳定状态(陆汉城等，2004)。在对流层中低层，冷流降雪过程渤海上空温度差是  $7^{\circ}\text{C}$ ，温度直减率为  $0.175^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ，气层非常稳定，边界层(850 hpa 以下)内，近地面气温与 850 hpa 之间温度差，从渤海湾向西一直到黄海北部海面上温度差都在  $12^{\circ}\text{C}$  以上，温度直减率超过  $0.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ，气层处于不稳定状态，老铁山及其周边海域，温度差最大达到  $16^{\circ}\text{C}$ ，温度直减率为  $1.1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ，气层处于极不稳定状态。分析表明，冷流降雪过程，对流层中低层大气稳定，边界层内相对不稳定，尤其是老铁山及其周边海域，大气层结极不稳定，因此冷流降雪属于不稳定性降雪。

## 8. 卫星云图分析

从卫星云图(图 5)可以看出，辽东半岛南部及其海面上不断有大片的低云生成，云体紧密，纹路清晰，



移动的方向是自西北向东南,造成这次强降雪的正是一片冷流低云。产生冷流降雪的云系大部分是低云,习惯上称为冷流低云,是由于冬季冷空气比较干燥,经过暖湿的海面时,使低层大气增温增湿,近海面层层结不稳定而产生的云[3]。从卫星云图的演变来看,低云的颜色灰白,云体松散,边缘模糊,不像对流性低云那样轮廓清晰,感觉移动较慢,实际上是低云不断产生,云底高只有1000 m左右。低云一直维持到12月2日08时左右,而后逐渐消散,降雪停止,总降雪量为7.5 mm。



注: 图片来源于中央气象台网站 <http://www.nmc.cn/>。

Figure 5. Infrared satellite cloud image at 06:00 on November 30, 2022

图 5. 2022 年 11 月 30 日 06 时红外卫星云图

## 9. 结论

1) 辽东半岛地区的冷流降雪是中小尺度降雪,多发生在渤海和陆地的交界处,具有明显的地方特性,降雪的持续时间及降雪量随机性较强,东北冷涡存在期间的任何时间都能产生降雪,或大或小,或强或弱,有时天空晴朗,但很快便阴云密布,大雪纷飞,预报难度较大。

2) 造成此次冷流降雪的大尺度环流形势为经向环流且我国东北地区有一冷涡存在,辽东半岛处于冷涡底部的竖槽后部,槽后温度线和等高线交角较大,冷空气和冷平流较强,降雪过程主要发生在冷涡后部的强冷空气中,近地面,辽东半岛处于冷高压前面的西北气流中,低层冷空气经过暖湿的渤海海面,水汽抬升凝结形成低云,产生降雪。

3) 高空和地面风向均为西北风,且当风力较大时,将有利于产生冷流低云和降雪,当风向为东北风或风速过大时,产生的冷流低云和降雪的可能性小。

4) 渤海海域有明显的暖脊,气温梯度大,当冷空气经过暖湿的渤海海面时,海-气间进行热量交换和垂直的水汽输送,上升的热量和水汽与下沉的冷空气在边界层内发生对流,形成不稳定层结,从而形成低云,导致降雪的发生,降雪的湿层较薄(主要位于 850 hpa 及其以下的边界层内)。

5) 独特的地理位置产生的区域中小尺度系统作用,在合适的大尺度环流下,对产生冷流低云和降雪的影响不可忽视。

---

## 参考文献

- [1] 于志良. 胶东半岛冷流降雪与海气湍流感热输送的关系[J]. 气象学报, 1998, 56(1): 121-128.
- [2] 李洪业, 徐旭然. 冷流低云降雪成因的分析[J]. 气象, 1995, 21(12): 21-24.
- [3] 范可, 田宝强. 东北地区东半年大雪-暴雪日数气候预测[J]. 科学通报, 2013, 58(8): 699-706.