

博州地区两次秋末冬初寒潮天气过程对比分析

成文杰, 冯 晶*, 胡 琨

阿拉山口市气象局, 新疆 博州

收稿日期: 2025年9月29日; 录用日期: 2025年10月26日; 发布日期: 2025年11月4日

摘 要

利用博州4个国家站、49个区域站的观测资料及ERA5再分析资料, 采用天气学诊断方法, 对发生在博州地区秋末冬初的两场寒潮过程进行对比分析。结果表明: 两场寒潮过程均出现500 hPa环流以“冷中心引导 + 横槽转竖”为关键, 海平面气压场均以冷高压东移为动力, 两次过程均存在“高层冷源 - 中层纽带 - 低层致灾”的垂直链条, 导致极端大风与广域降温。本研究可为博州秋末冬初寒潮的精准预报与灾害防控提供科学依据。

关键词

寒潮天气, 物理量诊断, 灾害防控, 横槽转竖机制

Comparative Analysis of Two Cold Wave Weather Processes in Bozhou Area during Late Autumn and Early Winter

Wenjie Cheng, Jing Feng*, Kun Hu

Alashankou Meteorological Bureau, Bozhou Xinjiang

Received: September 29, 2025; accepted: October 26, 2025; published: November 4, 2025

Abstract

Based on the observation data from 4 national weather stations and 49 regional weather stations in Bozhou, as well as ERA5 reanalysis data, synoptic diagnostic methods were employed to conduct a comparative analysis of two cold wave processes that occurred in Bozhou during late autumn and early winter. The results show that: for both cold wave processes, the 500 hPa circulation featured “cold center guidance + horizontal trough turning vertical” as the key characteristic, while the sea-

*通讯作者。

文章引用: 成文杰, 冯晶, 胡琨. 博州地区两次秋末冬初寒潮天气过程对比分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1205-1215. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146120

level pressure fields were driven by the eastward movement of cold high pressure. Both processes exhibited a vertical chain of “upper-level cold source - middle-level link - lower-level disaster-causing”, which resulted in extreme gales and wide-range temperature drops. This study can provide a scientific basis for the accurate forecasting of cold waves and disaster prevention and control in Bozhou during late autumn and early winter.

Keywords

Cold Wave Weather, Physical Quantity Diagnosis, Disaster Prevention and Control, Mechanism of Horizontal Trough Turning Vertical

Copyright © 2025 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

寒潮作为我国西北干旱半干旱地区冬春季高发的灾害性天气，常伴随剧烈降温、大风、暴雪及霜冻等次生灾害，对农牧业生产、交通运输及生态环境构成严重威胁[1] [2]。新疆是全国寒潮频发区域之一，其独特的“三山夹两盆”地形使寒潮活动呈现显著区域差异，其中博尔塔拉蒙古自治州(以下简称“博州”)地处天山北麓西段、准噶尔盆地西南缘，西接哈萨克斯坦，南依天山山脉，北邻阿拉套山，特殊的地理位置与地形条件使其成为北疆寒潮天气的敏感区域，一方面，来自极地及高纬地区的冷空气易沿西北或西方路径侵入，受山地地形阻挡与抬升作用，在博州境内形成强降温、大风及局地暴雪；另一方面，博州作为新疆重要的农牧业产区与边境交通枢纽，冬春季寒潮引发的低温冻害、风吹雪等灾害，也会对农业生产、交通运输、口岸通关过货等造成一定影响。

现有研究已对新疆寒潮的环流分型、冷空气路径及物理成因开展大量工作。张俊兰[3]等通过对北疆20场典型寒潮的分析，将环流型划分为欧洲脊衰退类、乌拉尔山长脊类等3类6型，指出西北路径冷空气是引发北疆大范围寒潮的主要系统；牟欢[4]等对新疆强寒潮的诊断发现，850 hPa强冷平流与锋生函数演变对降温区域及强度具有良好指示意义；吕新生[5]等则进一步揭示了中低层冷平流超前高层入侵、地形辐合抬升对北疆寒潮暴雪的增强作用；何清[6]等对天山北麓寒潮天气的地形动力特征研究表明，天山北麓“喇叭口”地形对冷空气的加速与堆积作用，建立区域寒潮动力指标体系；佟欣怡[7]等研究表明新疆区域发生强寒潮过程的关键因子是乌拉尔山阻塞高压和欧亚冷高压，乌拉尔山阻塞高压和欧亚冷高压强盛时，有利于高纬度冷空气南下，新疆区域易暴发寒潮。

然而，现有研究多聚焦于北疆整体或重点区域，针对博州地区的专项研究仍较为薄弱。该区域西、南、北三面环山的“簸箕状”地形如何调制冷空气的移动与堆积，不同季节寒潮的环流特征、降温强度及伴生灾害的规律，专门针对博州地区寒潮天气的对比分析相对较少，难以满足精细化防灾减灾需求。本文针对博州地区11月份(秋末冬初)两次寒潮天气的对比分析，为博州地区开展寒潮精细化预报与灾害风险防控提供参考依据。

2. 资料与方法

选用博州地区4个国家站、49个区域站2018年11月10~15日(以下称过程I)、2022年11月23~30日(以下称过程II)20:00至20:00(北京时，下同)日最低气温和日极大风速观测资料、ERA5再分析资料，采用天气学诊断方法，分析对比两场秋末冬初发生在博州地区的寒潮天气过程。

3. 天气实况分析

过程 I：以强降温持续时间长、低温维持稳定为核心特征(图 1(a))。11 月 12 日起进入强降温阶段。其中温泉县南部和北部山区的沃特克赛尔铜矿、黑龙沟站 72 h 最低气温降温幅度分别达到 18.6℃ 和 18.4℃，达到超强寒潮标准[8]，其次是博乐市和精河县的南部山区，72 h 强降温幅度都达到 17℃ 以上。此次寒潮过程强降温的区域主要集中在山区，主城区及周边地区的降温幅度相对较弱，博乐市和阿拉山口市都达到强寒潮标准，并且阿拉山口市 12、13 日出现分别出现 30.2 m/s、26.2 m/s 的极端性大风天气，此次影响博州地区的寒潮过程，精河县降温幅度最小，未达到寒潮标准，但在 12 日上午出现 8 级大风天气。

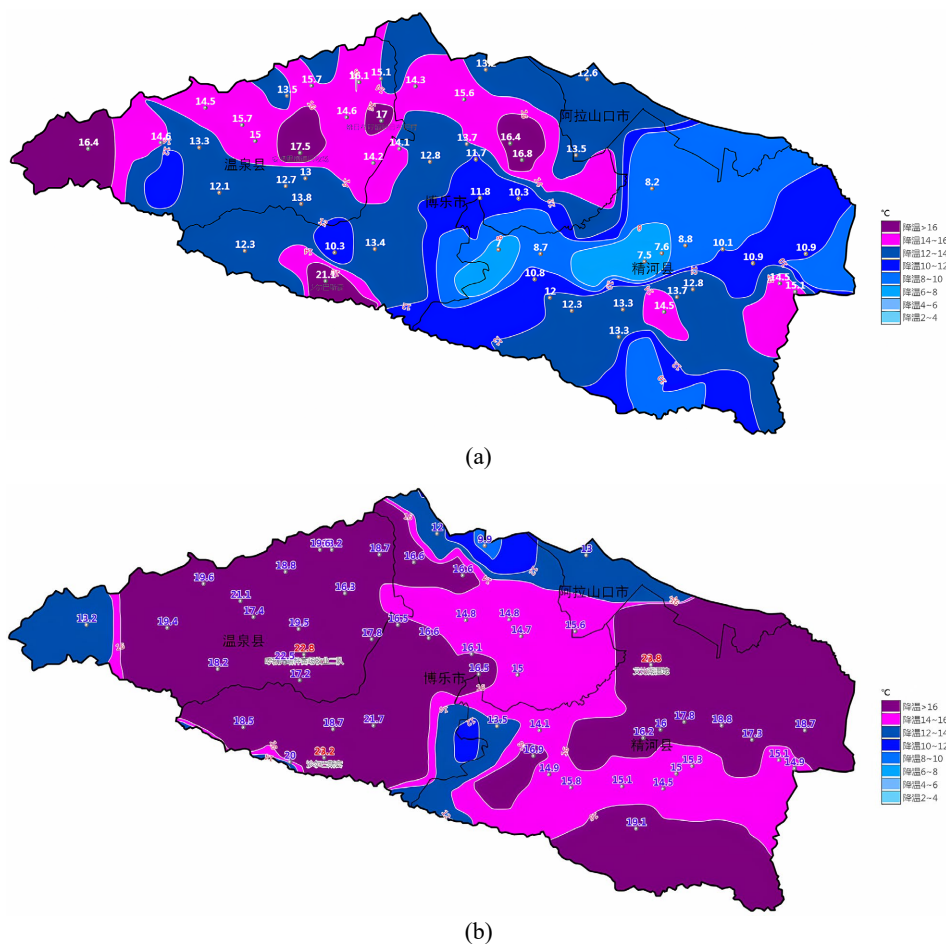


Figure 1. (a) 72-hour minimum temperature drop range in Bozhou from November 10 to 13, 2018 (Unit: °C); (b) 72-hour minimum temperature drop range in Bozhou from November 26 to 29, 2022 (Unit: °C)

图 1. (a) 2018 年 11 月 10 日至 13 日博州 72 小时最低气温降温幅度(单位: °C), (b) 2022 年 11 月 26 日至 29 日博州 72 小时最低气温降温幅度(单位: °C)

过程 II：以天气现象复杂、大风强度峰值高，降温幅度大为主要特点，11 月 27 日达到降温高峰，此次过程四县市均出现大风和降雪过程，天气系统更为复杂(图 1(b))。温泉县 28 日 48 h 降温幅度达到 -16.5℃，达到超强寒潮标准，并在 26~27 日连续两日出现 8 级以上大风，其他 3 县市 48 h 降温幅度均达到强寒潮标准。其中阿拉山口 26、27 日极大风速分别达 32.6 m/s 和 34.5 m/s，为两次过程中的最大值，体现极端大风特征。此次寒潮天气过程的降温幅度强、范围大，其中温泉县、博乐市西南部和精河县北部为主要

的降温区域, 强降温极值点出现在精河县北部的艾比湖湿地站, 72 h 降温幅度达到 23.8℃。

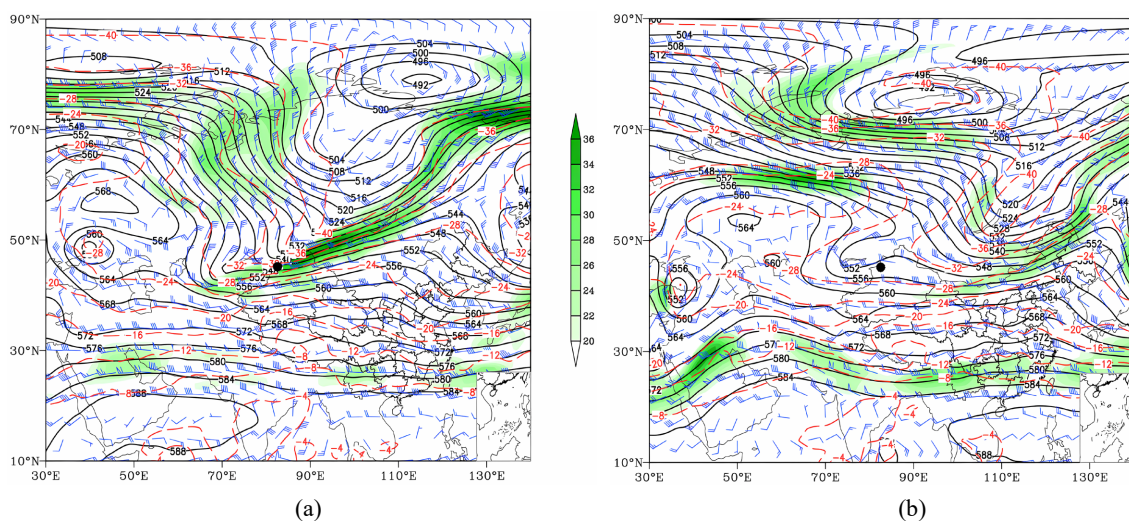
两次过程均没有产生较强的降雪过程, 但均出现了降雪现象。寒潮过程后, 四站均出现轻雾或大雾的低能见度天气。

4. 天气形势分析

4.1. 高空形势分析

过程 I: 寒潮发生前期, 500 hPa 形势场上博州地区主要受到浅脊区的控制, 欧亚高纬度地区的低涡系统在西西伯利亚北部地区维持并发展, 黑海北部地区形成闭合高压系统。9 日 20 时博州地区开始受低涡底部偏西气流影响。10 日 20 时, 欧洲脊北抬东进, 与低涡系统均向东移动, 低涡底部短波槽经向度增大。此时, 欧亚中高纬度环流形势已经开始调整, 为强冷空气南下创造了条件。11 日 08 时, 低涡中心北抬至泰梅尔半岛南部, 欧洲脊形成闭合中心, 脊前偏北气流明显增强, 低涡底部横槽南压, 冷中心温度降至 -44℃, 在威海至巴尔喀什湖一带发展加深, 同时 700 hPa 冷堆范围显著扩大, 850 hPa 冷平流也显著增强, 高低空呈现出“高空冷槽引导 - 中空冷堆堆积 - 低空冷平流输送”的强耦合配置, 这种环流形势为冷空气堆积和东进提供了有利的条件, 是此次寒潮天气的主要影响系统。12 日 20 时(图 2(a)), 欧洲脊回落并在黑海 - 里海北部形成闭合中心, 低涡中心北抬东移, 其南部分裂出的横槽开始转竖东移, 博州地区出现明显的降温过程, 阿拉山口极大风速达到 12 级。14 日 20 时开始, 欧洲脊不断向东发展(图 2(b)), 形成明显的 Ω 流形, 高空动力引导作用减弱, 博州地区继续受到横槽前部偏西气流影响。

过程 II: 寒潮发生前期 500 hPa 上环流稳定, 低涡中心位于泰梅尔半岛南部地区, 乌拉尔山以西的东欧平原为发展强盛的长波脊, 脊顶延伸至 60°N 附近, 500 hPa - 700 hPa - 850 hPa 的冷中心均呈垂直同位相, 形成“垂直冷柱”, 长波脊的强阻挡作用使得脊前的偏北气流不断加强, 引导冷空气堆积。25 日 20 时至~26 日 20 时, 欧洲脊向南衰退(图 2(c)), 横槽逐渐转竖东南下, 低涡中心随横槽南压, 冷中心温度降至 -44℃, 同时 700 hPa 横槽随 500 hPa 同步转竖, 850 hPa 的冷平流明显增强, 随着欧洲脊进一步北抬东进, 槽线逐步转为南北向, 横槽转竖过程中, 槽后强冷平流伴随槽线同步南下, 冷空气主体从中西伯利亚快速侵入博州地区, 850 hPa 对应冷中心同步南压, 温度从 -20℃降至 -28℃。27 日 08 时, 主体系统已移出博州地区, 转为“多波动”环流, 长波系统逐步被短波系统替代, 预示冷空气活动从“大规模爆发”向“持续影响”过渡, 造成 27 日气温骤降。28 日 20 时, 欧洲脊前有浅脊东移, 29 日 08 时(图 2(d)), 博州地区开始受到浅脊区的控制, 此时地面温度也达到了最低。



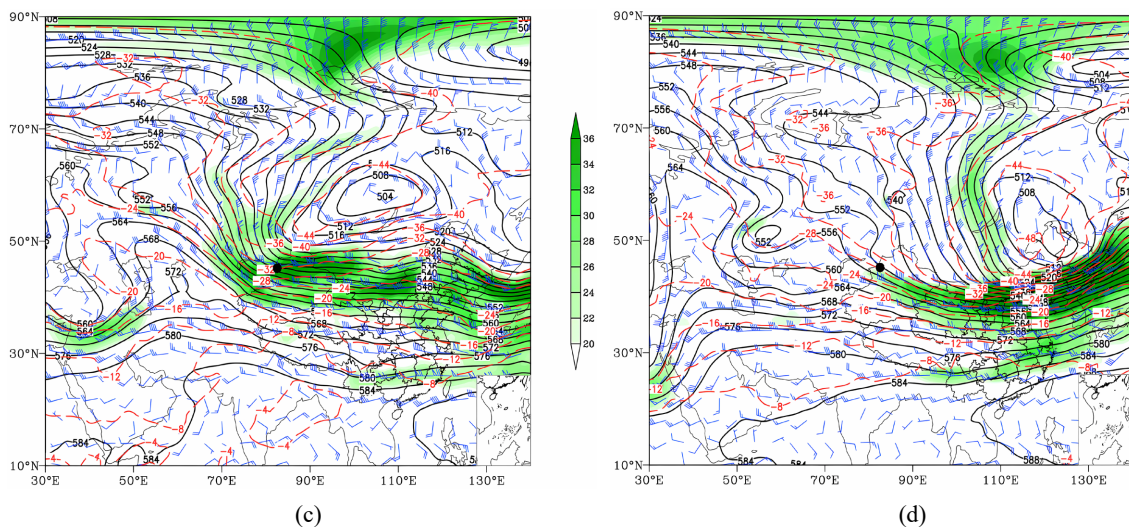


Figure 2. 500 hPa Geopotential Height Field (solid lines) and Temperature Field (dashed lines) at 20:00 BT on (a) November 12 and (b) November 14, 2018; 500 hPa Geopotential Height Field (solid lines) and Temperature Field (dashed lines) at (c) 20:00 BT on November 26 and (d) 08:00 BT on November 29, 2022

图 2. 2018 年 11 月 12 日(a)、14 日(b) 20 时 500 hPa 高度场(实线)和温度场(虚线); 2022 年 11 月 26 日(c) 20 时、29 日(d) 08 时 500 hPa 高度场(实线)和温度场(虚线)

4.2. 地面形势分析

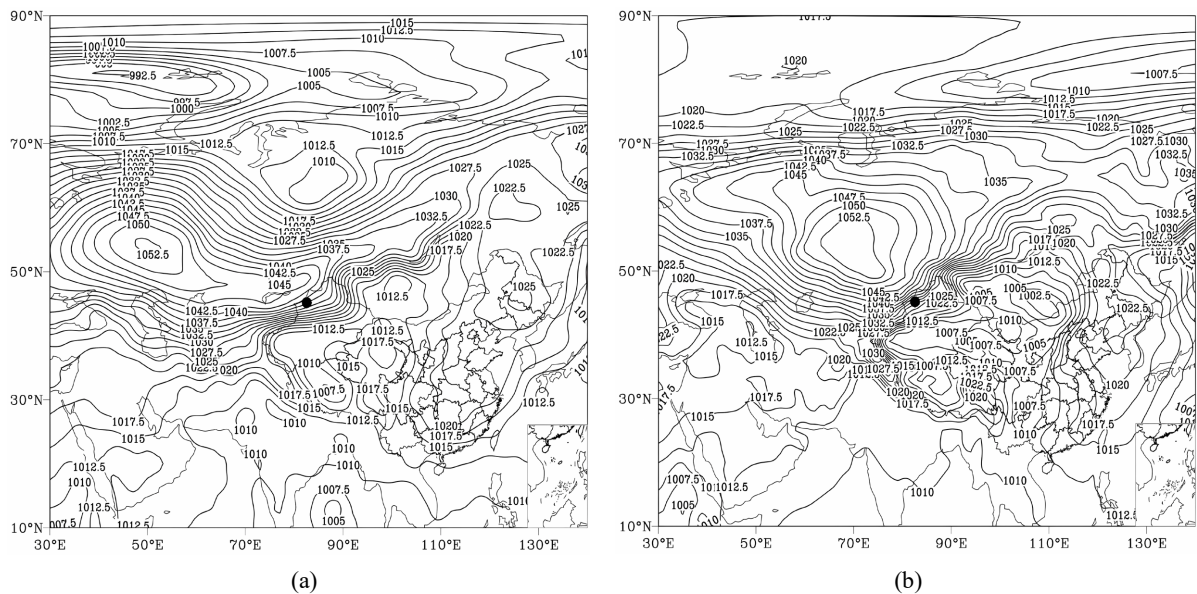


Figure 3. Sea-level pressure field at 20:00 BT on November 12, 2018 (a); Sea-level pressure field at 20:00 BT on November 26, 2022 (b)

图 3. 2018 年 11 月 12 日 20 时海平面气压场(a) 2022 年 11 月 26 日 20 时海平面气压场(b)

过程 I: 寒潮天过程前期, 里、黑海北部的东欧平原维持着 1030 hPa 的地面冷高压, 西西伯利亚平原由地面低压系统控制。9 日 20 时, 在巴伦支海的冷高压加强沿着乌拉尔山西侧向东欧平原发展, 与前期东欧平原的冷高压打通, 10 日 20 时, 高压中心已南压至乌拉尔山西南部, 高压前部已抵达巴尔喀什湖北, 此后, 冷高压主体稳定维持在乌拉尔山以西地区, 中心气压值达到 1055 hPa, 其前部的偏北气流

引导冷空气向东扩散发展,并在东移过程中因环流调整,于巴尔喀什湖地区分裂为两个独立冷高压中心,高压前部偏北气流继续东移影响博州地区(图 3(a))。13 日 20 时,在博州以北的塔城地区形成新的冷高压中心,此时温度进一步下降,尤其是温泉县 24 h 最低气温下降了 11.2℃。此次地面冷高压维持时间较长,到 14 日 20 时,两个冷高压中心打通合并,其主体位于蒙古高原西北部,此时寒潮天气基本结束,博州地区出现长时间阴雾雨雪天气。

过程 II: 此次寒潮过程前期,博州地区不断受到高压系统影响,但降温幅度不大,寒潮发生前期,博州地区还受到由东欧平原南部东移的低压系统影响。造成此次寒潮、大风天气过程的地面冷高压来自斯堪的纳维亚半岛和泰梅尔半岛南部,并且于 25 日 20 时在西西伯利亚平原合并加强,沿着乌拉尔山东侧南下过程中在西西伯利亚南部地区加强并稳定维持,26 日 11 时,地面冷高压系统开始进入寒潮关键区,中心气压值加强到 1052.5 hPa,其前部与位于新疆的地面低压系统接触,地面等压线较过程 I 更为密集,地面风速也逐渐加大,26 日 20 时(图 3(b))系统中心向南延伸中心气压值达到 1052.5 hPa,此后高压中心沿着 50°N 快速东移,27 日 20 时,阿拉山口已受地面冷高压控制,28 日 08 时高压中心已移动到蒙古高原西北部,中心值增大到 1070.0 hPa,大风天气过程逐渐结束,温度幅度明显。

5. 物理量诊断分析

在寒潮天气分析中,物理量诊断是揭示其发生、发展和影响机理的核心手段。通过对大气热力、动力、水汽等关键物理量的定量计算与时空演变分析,可精准识别寒潮的酝酿、爆发、南下过程,为预报预警提供科学依据。以下从热力条件、动力条件重点分析博乐地区在两场寒潮天气过程前后的相关物理量变化特征。

5.1. 冷平流与温度场特征

冷平流是寒潮发生、发展的核心动力过程,通过“冷空气输送-环流调整-灾害性天气强化”的配置,直接驱动寒潮的降温、大风、暴雪等关键天气现象。

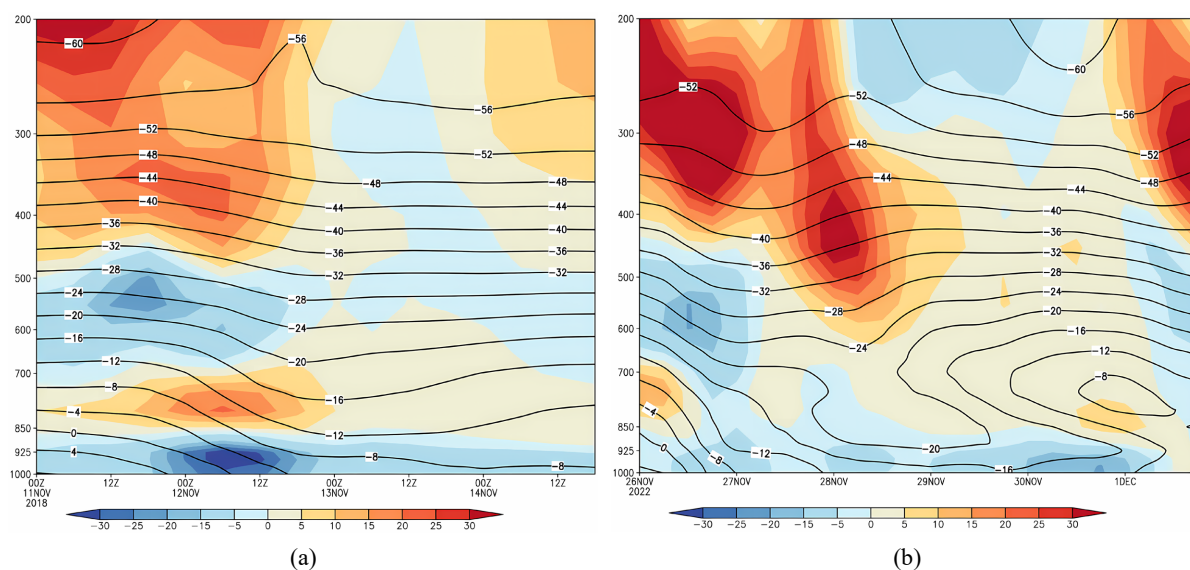


Figure 4. Time-height cross-sections of temperature advection (shaded) and air temperature (Unit: °C) in bole: (a) from November 11 to 14, 2018; (b) from November 26 to December 1, 2022

图 4. 2018 年 11 月 11 至 14 日博乐温度平流(填色)+ 气温(单位: °C)时间高度剖面图(a)、2022 年 11 月 26 日至 12 月 1 日博乐温度平流(填色)+ 气温(单位: °C)时间高度剖面图(b)

过程 I: 2018 年 11 月 11 日 08 时~14 日 20 时的温度平流和时间高度剖面图上(图 4(a)), 对流层高层(200~300 hPa), 11 日 08 起便维持 $-56^{\circ}\text{C}\sim-60^{\circ}\text{C}$ 的极强冷中心, 为寒潮爆发提供大尺度环流背景; 对流层中层(500~700 hPa), 温度梯度陡峭(等温线从 -32°C 快速过渡至 -16°C), 且冷平流(冷色调区域)从高层向中层垂直渗透, 既增强了中层冷性, 又通过斜压不稳定、锋区增强驱动垂直环流调整, 对流层低层(850~1000 hPa), 12 日 08 时前后冷中心爆发性发展并持续至 13~14 日, 标志着地面寒潮启动——中层冷平流输送的冷空气突破至近地面, 叠加地面冷高压东移南下。各层过程从“高空冷源储备”到“中层冷平流纽带传输”, 再到“低层寒潮爆发影响近地面”, 完整衔接, 是造成寒潮动力学机制的直观体现。

过程 II: 2022 年 11 月 26 日~12 月 1 日的温度平流和时间高度剖面图上(图 4(b)), 对流层高层(200~300 hPa)前期维持强暖平流, 但极寒气温($\leq -52^{\circ}\text{C}$)持续存在, 体现出冷空气的能量储备及与暖平流的热力势能差, 为寒潮爆发提供了大尺度背景; 对流层中层(500~700 hPa)伴随强温度梯度($-24^{\circ}\text{C}\sim-40^{\circ}\text{C}$)的锋区发展, 暖平流向冷平流快速转换, 驱动斜压不稳定增强, 成为冷空气垂直下传与水平输送的动力纽带; 对流层低层(850~1000 hPa)自 27 日起强冷平流爆发, 同步引发气温从 0°C 附近骤降至 -16°C 以下, 直接对应近地面剧烈降温、大风等过程。该剖面直观展现了“高层冷源储备-中层斜压纽带-低层冷平流致灾”的垂直链条, 印证了温度平流与气温场的协同演变是新疆寒潮从环流背景到灾害性天气的关键动力机制。

5.2. 动力条件分析

垂直速度(单位通常为 $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)反映大气垂直运动强度与方向($\omega < 0$ 为上升, $\omega > 0$ 为下沉), 其分布与寒潮的动力、热力过程紧密关联。

过程 I: 11 日 08 时~13 日 08 时, **对流层低层**下沉运动从弱到强发展, 表明冷空气向近地面渗透、堆积的过程, 伴随冷平流导致气温下降。12 日 08 时~13 日 08 时, 出现大范围强下沉运动($\omega \geq 2$), 为过程最强下沉运动阶段, 强下沉运动使地面冷高压中心气压急剧升高, 为此次寒潮过程的干冷特征提供了动力基础。13 日 08 时之后, 正垂直速度区快速减弱, 最终转为弱上升/近中性($\omega \approx 0$), 下沉运动消失。**对流层中层**表现为暖空气“强迫上升”的关键层, 时间上, 与近地面下沉运动“爆发-强盛”阶段同步, 负垂直速度区显著发展。空间上, 上升运动区与近地面下沉区呈倾斜叠置, 底层冷空气楔入迫使暖空气沿锋面抬升, 形成中层上升运动。**高层**垂直速度整体以弱上升或平流运动为主, 为冷空气南下提供动力; 垂直风场上, 寒潮爆发期(12 日 08 时), 风矢量以西北-偏北风为主, 体现冷空气系统性南下。中层风矢量多为西南-偏西风, 与近地面偏北风形成“垂直风切变”, 高层风矢量以偏西风为主, 高层风场的“一致性”为底层冷空气南下提供“引导气流”, 保证寒潮过程的持续性。

从涡度(图 5(b))与散度(图 5(c))的时间-高度剖面分析, 博乐地区此次天气过程的动力特征表现为高空与低层系统的协同作用: 高空(200~500 hPa)在 11 月 12 日 20 至 13 日 08 期间, 强正涡度中心(最大值 ≥ 18)显著发展, 高空槽区深度增强, 为冷空气南下提供了大尺度动力背景; 同时, 低层(700~850 hPa)于 11 月 12 日 08 前后出现强正散度中心(最大值达 10), 表明低层大气强烈辐散, 直接驱动冷空气水平扩散, 是寒潮过程中大风、降温的关键动力来源。两者在时间上的同步性(集中于 12 日前后), 体现了“高空气旋式涡度发展引导+低层辐散触发冷空气扩散”的协同机制, 共同促成了此次寒潮天气的爆发与维持。

过程 II: 26 日 08 时~28 日 08 时(图 6(a)), 对流层低层及近低层出现零星下沉运动区 $\omega \geq 0.8$ 。此阶段冷空气初始南下, 因密度大在近地面辐合下沉, 推动地面冷高压初步发展, 伴随气温缓降、风力增大。垂直风场上以偏东风为主, 风速存在垂直切变, 30 日 08 时~12 月 1 日 08 时, 近地面仍有弱正垂直速度 $\omega \approx 0.4$, 但强度显著减弱, 反映寒潮主体东移后, 残留冷空气的下沉运动逐渐消退。

中层也以下沉运动为主, 与近地面层冷空气的下沉形成上下配合, 锋面动力抬升显著, 同时冷空气

主体南下, 体现出寒潮爆发前的冷性气柱垂直结构。30 日 08 时~12 月 1 日 08 时, 底层冷空气南下推动锋面倾斜抬升, 形成中层强上升运动出现大范围强负垂直速度区($\omega \leq -1.6$, 局部接近-2), 为过程最强上升运动阶段。高层的垂直速度整体较弱, 以弱上升或平流运动为主, 为低层冷空气南下和中层的上升运动提供了尺度的背景场。

综合涡度(图 6(b))与散度(图 6(c))的垂直剖面特征, 2022 年 11 月 26 日~12 月 1 日天气过程的动力机制呈现“垂直耦合型”结构。涡度场上, 低层(850~1000 hPa)持续存在的正涡度中心(最大值达 6 以上)驱动气旋性环流发展, 为大风提供了旋转动力; 中层(500~700 hPa)负涡度区与高低层正涡度形成垂直互补, 维持系统垂直动力平衡。散度场则表现为“低层强辐合、高层强辐散”的配置: 近地面层(1000~850 hPa) -15 至 -20 的强负散度中心高效堆积冷空气, 高层(500~200 hPa)10 至 15 的正散度区通过“抽吸效应”强化垂直运动, 促进动量与冷空气的垂直传输。

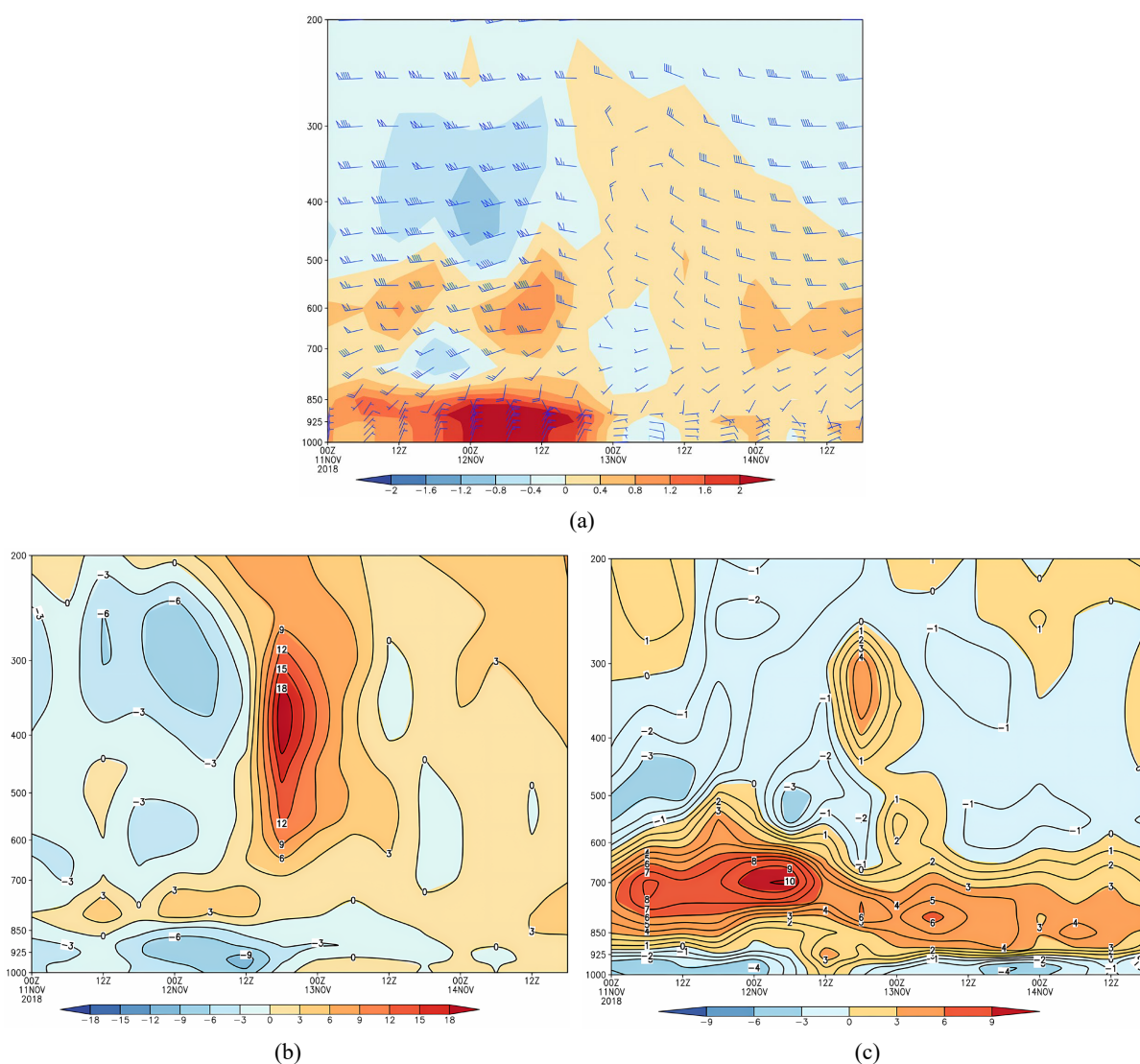


Figure 5. Time-height cross-section of vertical velocity (shaded) and wind field in bole from November 11 to 14, 2018 (a); Time-height cross-sections of vorticity and divergence in bole from November 11 to 14, 2018: (b) vorticity; (c) divergence

图 5. 2018 年 11 月 11 日至 14 日博乐垂直速度(填色) + 风场时间高度剖面(a); 2018 年 11 月 11 日至 14 日博乐涡度(b)和散度(c)时间高度剖面图

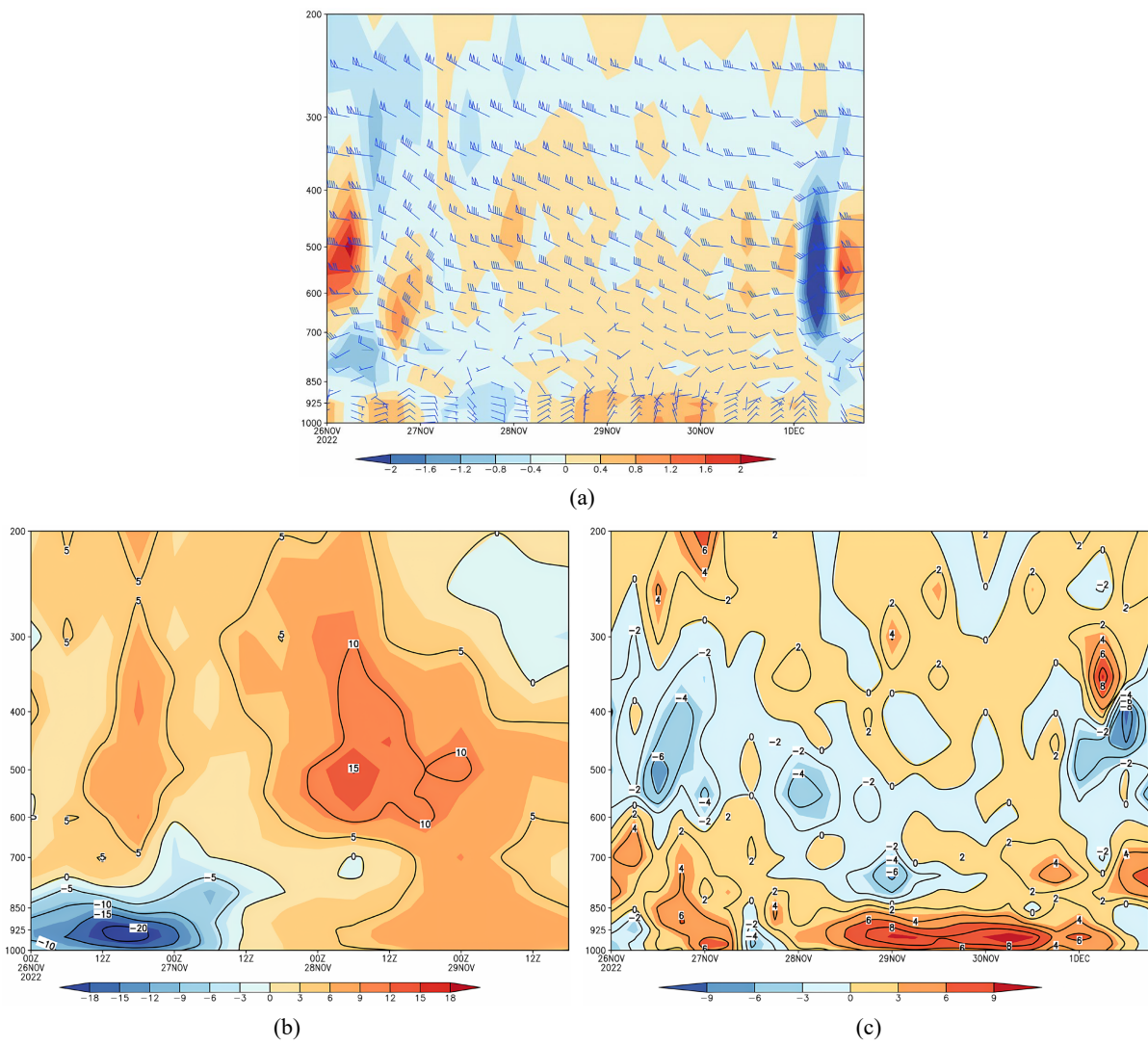


Figure 6. Time-height cross-section of vertical velocity (shaded) and wind field in bole from November 26 to December 1, 2022 (a); Time-height cross-sections of vorticity and divergence in bole from November 26 to December 1, 2022: (b) vorticity; (c) divergence

图 6. 2022 年 11 月 26 日至 12 月 1 日博乐垂直速度(填色) + 风场时间高度剖面(a); 2022 年 11 月 26 日至 12 月 1 日博乐涡度(b)和散度(c)时间高度剖面图

6. 两场寒潮天气过程的对比分析

6.1. 两次寒潮天气过程的相同之处

6.1.1. 高空形势场

两次秋末冬初寒潮过程均属于西北路冷空气活动，大尺度环流背景均为北半球中高纬环流季节性调整期的极地涡旋南伸与西风带长波槽脊发展；500 hPa 环流场上均存在温度低至 -44°C 的强冷中心，且均以“横槽转竖”作为冷空气南下的关键触发机制，形成“高空冷槽引导 - 中低空冷堆堆积”的高低空系统耦合配置。

6.1.2. 海平面气压场

海平面气压场上均以冷高压沿“西西伯利亚→巴尔喀什湖→博州→蒙古高原”路径东移为动力，冷

高压均经历“初始加强→分裂/合并→稳定维持→东移衰退”阶段,且在寒潮后期博州四县市均出现轻雾或大雾的低能见度天气。

6.1.3. 物理量场

物理量场中均存在“高层冷源储备→中层冷平流纽带→低层冷平流致灾”的完整垂直热力链条,500~700 hPa 均有强温度梯度锋区,垂直运动强度与寒潮灾害强度正相关,高低层涡度、散度均呈耦合特征以保障冷空气持续输送。

6.2. 两次寒潮天气过程的不同之处

6.2.1. 环流形势与寒潮实况

两次过程实况特征差异显著,过程 I 以强降温持续时间长、低温维持稳定且强降温集中于山区为核心,阿拉山口出现 30.2 m/s 大风,精河县未达寒潮标准,而过程 II 以天气现象复杂、极端大风强(阿拉山口 34.5 m/s)、降温幅度大且范围广为特点,四县市均达强寒潮及以上标准,精河县北部 72 h 降温达 23.8℃;500 hPa 环流上,过程 I 前期博州受浅脊区控制,依赖欧洲脊东进且后期形成 Ω 流形,横槽转竖缓慢,无垂直冷柱,过程 II 前期环流稳定,以乌拉尔山强盛长波脊为关键,冷中心呈 500-700-850 hPa 垂直同位相的“垂直冷柱”,横槽转竖迅猛。

6.2.2. 海平面气压

海平面气压场上,过程 I 冷高压源地为巴伦支海与东欧平原,最大中心气压 1055 hPa,等压线稀疏且维持时间长,与低压系统相互作用弱,过程 II 冷高压源地为斯堪的纳维亚半岛与泰梅尔半岛,最大中心气压 1070 hPa,等压线密集且移动快,与新疆本地低压强接触;

6.2.3. 物理量场

物理量场中,过程 I 高层 200~300 hPa 提前出现-56℃~-60℃冷中心,低层以强下沉运动($\omega \geq 2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)主导干冷特征,动力机制为“高空正涡度+低层正散度”,过程 II 高层前期有强暖平流与极寒气温形成势能差,中层强上升运动($\omega \leq -1.6 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)显著,呈“低层强辐合-高层强辐散”的抽吸效应配置,动力机制为“低层正涡度+高低层辐散辐合”,对应更剧烈的灾害表现。

7. 结论

(1) 两次寒潮实况特征差异显著:过程 I(2018 年)以“强降温持续时间长、低温稳定、强降温集中于山区”为核心,阿拉山口出现 30.2 m/s 大风,精河县未达寒潮标准;过程 II(2022 年)以“天气复杂、极端大风强(阿拉山口 34.5 m/s)、降温幅度大且范围广(精河县北部 72 h 降温 23.8℃)”为特征,四县市均达强寒潮及以上标准,且伴随降雪与低能见度叠加。

(2) 500 hPa 环流是实况差异的主导因素:两次过程均依赖“冷中心-横槽转竖”触发。但过程 I 以欧洲脊东进与 Ω 流形为关键,环流调整平缓,冷空气南下速度较慢且持续时间长,表现为山区强降温与干冷特征;过程 II 则在乌拉尔山长波脊与垂直冷柱耦合作用下,横槽转竖速率加快,冷性气柱厚度显著增加,导致全域极端大风(阿拉山口 34.5 m/s)和广域强降温(精河县 23.8℃/72h)。

(3) 海平面气压场强度差异决定灾害强度:过程 II 冷高压(中心 1070 hPa)较过程 I(1055 hPa)更强,且等压线更密集、与低压系统相互作用更显著,是其极端大风与广域降温的直接动力;过程 I 冷高压维持时间长但强度弱,导致降温持续但平缓。

(4) 物理量场配置差异揭示热力-动力机制本质:过程 I 以“高层冷源-低层强下沉-高空正涡度”为主导,热力动力作用平缓,呈“干冷持续”特征;过程 II 以“高低层热力势能差-中层强上升-低层

强辐合－高层强辐散”为核心，热力动力耦合更剧烈，触发极端天气。

(5) 研究可为博州寒潮预报提供指标：秋末冬初博州西北路寒潮预报中，若 500 hPa 出现“乌拉尔山长波脊＋垂直冷柱”、海平面冷高压中心 ≥ 1060 hPa、低层出现“强辐合－高层强辐散”，需重点预警极端大风与广域强降温；若出现“欧洲脊 Ω 流形＋低层强下沉”，需关注山区持续低温。

基金项目

2023 年度湖北省黄石市气象局自立课题。

参考文献

- [1] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 184-216.
- [2] 丁一汇, 王遵亲, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [3] 张俊兰, 牟欢, 谢霞颖. 北疆寒潮天气分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(6): 11-18.
- [4] 牟欢, 于碧馨, 张俊兰. 新疆“4·23”强寒潮降温特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(3): 59-65.
- [5] 吕新生, 万瑜, 尹冰霞, 等. 新疆北部一次强寒潮天气特征及成因[J]. 干旱气象, 2017, 35(1): 82-92.
- [6] 何清, 杨青. 天山北麓寒潮天气的地形动力特征[J]. 干旱区地理, 2018, 41(5): 913-921.
- [7] 佟欣怡, 刘艳, 张婧莉, 等. 1961-2023 年新疆区域冷空气过程强度特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(5): 106-112.
- [8] 全国气象防灾减灾标准化技术委员会(SAC/TC345). GB/T21987-2017 寒潮等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.