

# 2025年12月24日陈巴尔虎旗特泥河牧场-44°C极端低温成因诊断

乌日汗

内蒙古自治区陈巴尔虎旗气象局, 内蒙古自治区呼伦贝尔市, 021500;

**摘要:** 2025年12月下旬, 内蒙古呼伦贝尔高原遭遇了历史罕见的强寒潮天气过程, 陈巴尔虎旗特泥河牧场在12月24日05时测到了-44°C的极低温, 接近该站近三十年来的历史极值。为了弄清此次极端低温事件的物理机制, 本文利用ERA5再分析资料、FY-4B静止气象卫星观测数据、常规地面和高空探测资料、T639数值模式产品, 从行星尺度环流背景、天气尺度系统演变、物理量场配置、局地陆面过程等几个方面做了全方位的诊断。结果表明, 乌拉尔山阻塞高压异常隆起、崩溃引发经向环流爆发性调整, 极地涡旋分裂南掉是造成此次降温的根本原因, 对流层中低层强烈冷平流输送为降温打下了基础, 后期地面西伯利亚冷高压控制下的晴空辐射冷却是气温跌破-40°C的关键因子, 特泥河牧场特殊的河谷盆地地形产生的冷湖效应, 配合深厚积雪垫面的高反照率和高长波辐射率, 在近地面形成了厚度超过700m、强度达到4.5°C/100m的超强逆温层, 阻断了垂直热量交换, 数值模式对此次过程的极端性预报存在明显偏差, 主要是由于对局地地形辐射降温参数化方案的描述不足。

**关键词:** 极端低温; 大气环流异常; 冷平流; 辐射逆温; 地形效应; 陈巴尔虎旗

**DOI:** 10.69979/3041-0673.26.05.097

在全球气候变暖的大背景之下, 极端天气气候事件的发生频率和强度并没有减弱, 反而呈现出非线性增强的趋势, 中高纬度地区极端低温事件给能源保供、交通运输、农牧业生产造成的破坏性影响越来越大。呼伦贝尔地区处在欧亚大陆中高纬度冻土带, 冬季漫长寒冷, 受极地冷气团活动影响最直接, 是我国寒潮爆发的重要通道和冷空气堆积区。特泥河牧场是该区域典型的农牧交错带代表站点, 气温波动有明显的局地性和极端性。2025年12月23日至25日受强冷空气持续影响, 呼伦贝尔大部分地区气温骤降12°C至16°C, 特泥河牧场24日凌晨出现-44°C的极端低温, 比近十年的同期极值还要高, 部分越冬牲畜冻伤, 设施农业受损。以往关于低温过程的研究大多集中在大尺度环流形势的统计分类上, 对某一站点、某一个极端数值的综合物理诊断, 结合微气象学和中尺度地形效应的精细化分析还比较缺乏。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

本文使用的资料包括: 中国气象局国家气象信息中心提供的特泥河牧场及周边海拉尔、满洲里等国家级气象站2025年12月20日至26日逐小时的地面观测数据, 包含气温、气压、风向风速、地温、积雪深度等要素; 欧洲中期天气预报中心提供的ERA5再分析资料, 空间分辨率为0.25度乘以0.25度, 时间分辨率为1小时,

垂直方向有1000hPa至10hPa共37层, 要素包含位势高度、温度、相对湿度、垂直速度、散度和风场等; FY-4B气象卫星红外云图和雪盖监测产品, 用以分析云系变化及地表积雪覆盖情况。

### 1.2 分析方法

本研究采用天气动力学诊断方法, 系统计算温度平流、涡度、散度、垂直速度等关键物理量, 以捕捉大气运动的核心特征; 通过位温垂直剖面数据, 精准剖析大气层结的稳定状态及变化规律; 运用地表能量平衡方程, 定量估算辐射冷却在此次降温过程中的贡献率, 明确核心降温因子; 借助合成分析法, 系统对比此次极寒过程与历史同期同类过程的环流场差异, 厘清环流异常关键特征。文中涉及的时间, 除有特别说明外, 均统一采用北京时间。各项分析方法相互补充、协同支撑, 为此次极寒气象过程的深入解析提供全面且可靠的技术依据。

## 2 大尺度环流形势演变特征

### 2.1 500hPa阻塞形势与极涡分裂

2025年12月中旬, 北半球大气环流调整剧烈, 极地涡旋呈典型的偶极型分布。此次-44°C极端低温过程是高空500hPa两脊一槽的经向环流背景下的发生。12月21日乌拉尔山阻塞高压脊强度大, 脊线北伸到北纬70度以北, 脊中心位势高度偏高5680gpm。鄂霍次克海阻高稳定维持, 两大高压系统在西伯利亚上空形成关

门之势,把极地冷空气压到泰梅尔半岛至贝加尔湖一带堆积起来,形成极其深厚的冷涡系统。随着乌拉尔山阻高在23日夜里崩溃东移,脊前强劲的偏北气流把极地冷涡主力大举南下。冷涡中心伴随着-48℃的冷中心直接压到中国东北地区。23日20时,500hPa冷槽线压到呼伦贝尔北部,特泥河牧场处在槽后脊前的西北急流控制区,风速达到25m/s,这种深厚的动力强迫既引导冷空气垂直下传,又加大了对流层中层的冷平流输送强度<sup>[1]</sup>。高空冷核的直接覆盖使整个大气柱的平均温度很低,给地面极端低温的出现提供了深厚的背景场。

## 2.2 地面气压场与冷高压演变

地面气压场的变化与高空系统配合紧密。12月22日西伯利亚冷高压主体在蒙古国西部,中心气压为1062hPa。高空引导气流引导下,冷高压前锋在22日夜到呼伦贝尔,特泥河牧场气压骤升,5到6级偏北风,气温24小时之内骤降14℃。此时降温的主要方式为冷平流。到12月23日夜间,地面冷高压中心移到大兴安岭西麓,特泥河牧场开始受高压中心控制。气压梯度力明显减小,地面风速从以前的6m/s迅速减小到1到2m/s,甚至出现静风。高压控制下沉气流有效地抑制了云系的形成,根据FY-4B卫星云图,23日23时到24日08时,呼伦贝尔全境以晴空为主。大风强降温到静稳辐射降温的形势变化,是极端低温形成的典型路径。地面高压中心滞留,冷气团在局部长时间停滞,给夜间辐射冷却提供时间窗口。

## 3 物理量场诊断与动力热力机制

### 3.1 温度平流垂直结构分析

经计算可以知道,该过程分为两个明显的阶段,温度平流项的垂直分布也是这样。第一阶段从22日08时到23日20时,对流层850hPa至500hPa均受强冷平流控制。在850hPa层,冷平流中心强度达到负12乘以10的负5次方摄氏度每秒,说明外界冷空气输送是前期基础降温的主要因素。第二阶段从23日20时开始到24日08时,冷高压中心移入后850hPa以上层次的冷平流逐渐减弱并转为弱暖平流,由高压后部暖平流切入所致。近地面925hPa至1000hPa层还保持微弱的冷平流或者中性平流。虽然高层平流降温的作用减小了,但是此时近地面的非绝热冷却项即辐射冷却开始占据主导地位。诊断结果表明,在极端低温出现的时刻24日05时,平流项对温度变化的贡献率已经低于15%,非绝热项由地表过程主导,其贡献率大于80%。

### 3.2 垂直运动与绝热效应

垂直速度场分析表明,23日夜间特泥河牧场上空500hPa以下都是下沉运动区,700hPa处下沉速度最大,为0.4Pa/s。下沉运动一般会伴随绝热增温效应,但是本例中这种增温效应主要出现在800hPa以上的中层大气中,造成中层气温下降缓慢甚至略有回升。动力性下沉增温并没有传导到近地面。强烈的下沉运动造成动力盖,压缩了近地表冷空气的垂直扩散空间,把冷空气压在地表附近。中层暖、底层冷的配置,直接促成了深厚动力性逆温层的形成,这样的层结结构就像保温瓶的瓶塞一样,隔断了近地层和自由大气之间的热量湍流交换,地表冷源制造的负积温无法向上耗散。

## 4 局地微气象特征与地表能量平衡

### 4.1 积雪反照率与长波辐射反馈

下垫面性质是决定极端低温数值的重要微观物理量。2025年12月中旬降雪过程使特泥河牧场及周边积雪深度保持在15到20cm之间。新雪对短波辐射的反照率高达0.85到0.90,即白天太阳短波辐射几乎全部被反射回太空,地表得到的净辐射能量很少,白天最高气温仅为-28℃,不能有效加热土壤或低层大气<sup>[2]</sup>。到了夜晚,积雪表面表现为接近黑体的热学性质,它的长波辐射发射率大约为0.99。23日夜间晴空少云、大气水汽含量极低,整层可降水量不足2mm,在这样的背景下,大气逆辐射即大气对地面的保温作用微乎其微。地表向上辐射通量远大于大气向下的逆辐射通量,地表净辐射支出迅速增大。地表热量以长波辐射的形式很快散失,雪面温度急剧下降。白天吸热少、夜间散热快的辐射差额,是造成夜间气温断崖式下跌的直接热力学原因。

### 4.2 强逆温层的建立与演变

根据探空数据反演得到的温湿廓线可以清楚地看到逆温层的演变过程。23日20时近地面逆温层开始形成;到24日05时,逆温层达到最强的阶段。从地面到850hPa高度约1400m海拔,距地约700m,气温随高度升高而升高,形成深厚接地逆温。逆温层顶气温为-32℃,地面气温为-44℃,逆温强度达12℃/700m,即平均每100m气温升高约1.7℃,在贴地100m内,逆温率更是达到了惊人的4.5℃/100m。如此强且厚的逆温层造成大气层结非常稳定,Richardson数远大于临界值0.25,湍流交换系数接近于零。此时空气的热量传递主要是分子传导,空气是热的不良导体,使得冷量被牢牢地锁在贴地层<sup>[3]</sup>。静稳层结不但维持了低温,而且使近地面污染物扩散受阻,造成当时伴随轻雾出现,能见度下降。

### 4.3 冷湖效应与地形汇聚

特泥河牧场地理位置独特,处在大兴安岭西麓丘陵向呼伦贝尔高原过渡的河谷地带,局部地势呈浅盆地状。在静风或微风,风速小于2m/s的夜晚,地表冷却的空气密度增大,在重力作用下形成下滑风。周边坡地和高岗上的冷空气顺坡流入地势较低的特泥河谷地,形成冷空气排泄。由于地形相对闭塞,汇聚在谷底的冷空气不能流出,不断堆积加厚,形成典型的冷湖效应<sup>[4]</sup>。对比周边地势较高的海拉尔站(-39℃)、满洲里站(-38℃),特泥河牧场的-44℃低温比它们低4到6℃。数值模拟敏感性试验表明,去掉地形高度差因子之后,该站气温理论值应该在-40℃左右。局地地形对于冷空气的机械汇聚作用,对于极端低温的贡献幅度约为4℃,是造成该站点气温明显低于周边区域的主要局地因子。牧场周围没有城市热岛效应,旷野下垫面低热容量的特点也使气温对辐射冷却的反应更加敏感。

## 5 数值模式预报偏差分析

### 5.1 主流模式预报表现对比

通过比较ECMWF欧洲中心、GFS美国气象局和CMA-MESO中国局中尺度模式的24小时预报产品,可以发现所有模式都预报出了强降温趋势,但对极值的把握都存在偏差。ECMWF模式预报特泥河牧场最低气温为-38℃,偏差6℃;GFS预报为-35℃,偏差9℃;CMA-MESO预报为-40℃,偏差4℃,最接近实况。

### 5.2 偏差成因探讨

预报偏差的主要来源可以归结为以下几点:地形分辨率限制,全球模式如ECMWF、GFS的分辨率无法精细刻画特泥河牧场的河谷微地形,造成模式没有模拟出冷湖汇聚的过程,低估了地形对冷空气的聚集作用;边界层参数化方案缺陷,在极端稳定的层结下,模式中的边界层参数化方案往往会高估近地面的湍流混合作用,造成模式把上层暖空气过度向下输送,从而使得地面气温预报值偏高;积雪物理过程描述不足,部分模式对新雪的发射率和热传导参数设置比较固定,不能充分体现此次深厚新雪的强绝热和强辐射冷却效应。由此可以看出,在以后的预报业务中,需要对数值模式产品进行基

于局地地形和历史误差的人工订正,才能提高极端值的捕捉能力<sup>[5]</sup>。

## 6 结束语

2025年12月24日陈巴尔虎旗特泥河牧场出现的-44℃极端低温事件,是大尺度环流异常、局地辐射冷却、特殊地形效应三者叠加的结果。大尺度背景方面,乌拉尔山阻高的建立和崩溃引导极涡分裂,槽后强劲的西北急流把高纬度的超极地冷气团输送到呼伦贝尔地区,给极端低温提供了深厚的冷背景。前期强冷平流导致基础温度急剧下降,后期在地面冷高压控制下的晴空静稳天气下,造成了强烈的辐射冷却,是气温破极值的直接原因。局地增幅效应上,深厚的积雪垫面由于高反照率、高发射率加快热量散失,河谷地形造成的冷湖效应又聚集冷空气,强逆温层的抑制作用最终造成-44℃的极端低温。本次诊断表明,对于这样的极端天气,仅仅依靠数值模式预报是存在较大风险的。

### 参考文献

- [1]张国林,孙永刚,白美兰,等.内蒙古冬季极端低温事件的时空变化特征及成因分析[J].冰川冻土,2018,40(04):733-743.
- [2]龚强,汪宏宇,袁国恩.积雪对辽宁冬季气温影响的分析[J].气象与环境学报,2007,23(01):12-16.
- [3]郑秀雅,张延方.大兴安岭北部图里河地区逆温层特征及其对低温的影响[J].应用气象学报,2014,25(05):621-629.
- [4]李晨,孟宪林,王文,等.呼伦贝尔地区一次极端强降温天气过程的诊断分析[J].内蒙古气象,2021(06):8-12.
- [5]康玲,常煜,姜凤友.呼伦贝尔市冬季极端低温气候特征及环流形势分析[J].现代农业科技,2017(20):198-200.

作者简介:乌日汗,出生年月:1997.11.11,性别:女,民族:蒙古族,籍贯:内蒙古自治区兴安盟科右前旗,学历:本科,职称:助理工程师,研究方向:气象局综合业务员。