

黄南地区暴雪天气时空特征分析

徐开宇¹, 严文秀¹, 吴宝青²

¹青海黄南州气象局, 青海 同仁

²青海省泽库县气象局, 青海 泽库

收稿日期: 2025年7月4日; 录用日期: 2025年8月20日; 发布日期: 2025年8月28日

摘要

本文利用常规气象观测资料、Micaps资料、智能网格及综合业务平台等资料数据, 采用天气学原理方法, 对2014~2024年挑选的个例中分析高原低涡影响下此类天气过程的动力、热力结构, 以及雨雪相态转化的内在机制和暴雪的落区预报着眼点。并对在暴雪天气过程发生前、中、后期影响黄南州的气象条件进行分析, 着重分析垂直运动、温度平流变化、0℃层高度变化、不稳定能量的变化等方面, 分析出此类天气过程中不同物理量在此次天气过程中的变化特点。

关键词

黄南地区, 暴雪, 时空特征, 分析

Analysis of Spatiotemporal Characteristics of Blizzard Weather in Huangnan Region

Kaiyu Xu¹, Wenxiu Yan¹, Baoqing Wu²

¹Qinghai Huangnan Prefecture Meteorological Bureau, Tongren Qinghai

²Meteorological Bureau of Zeku County, Zeku Qinghai

Received: Jul. 4th, 2025; accepted: Aug. 20th, 2025; published: Aug. 28th, 2025

Abstract

This paper utilizes conventional meteorological observation data, Micaps data, intelligent grids, and comprehensive business platforms, etc. By applying the principles and methods of weather science, it analyzes the dynamic and thermal structures of such weather processes under the influence of plateau low vortices in selected cases from 2014 to 2024, as well as the internal mechanisms of rain and snow phase transformation and the focus of blizzard landing area forecasting. The meteorological conditions that affect Huangnan Prefecture before, during and after the occurrence of the blizzard

weather process are analyzed, with a focus on vertical movement, temperature advective changes, changes in the height of the 0°C layer, and changes in unstable energy, etc. The characteristics of changes in different physical quantities during this weather process are analyzed.

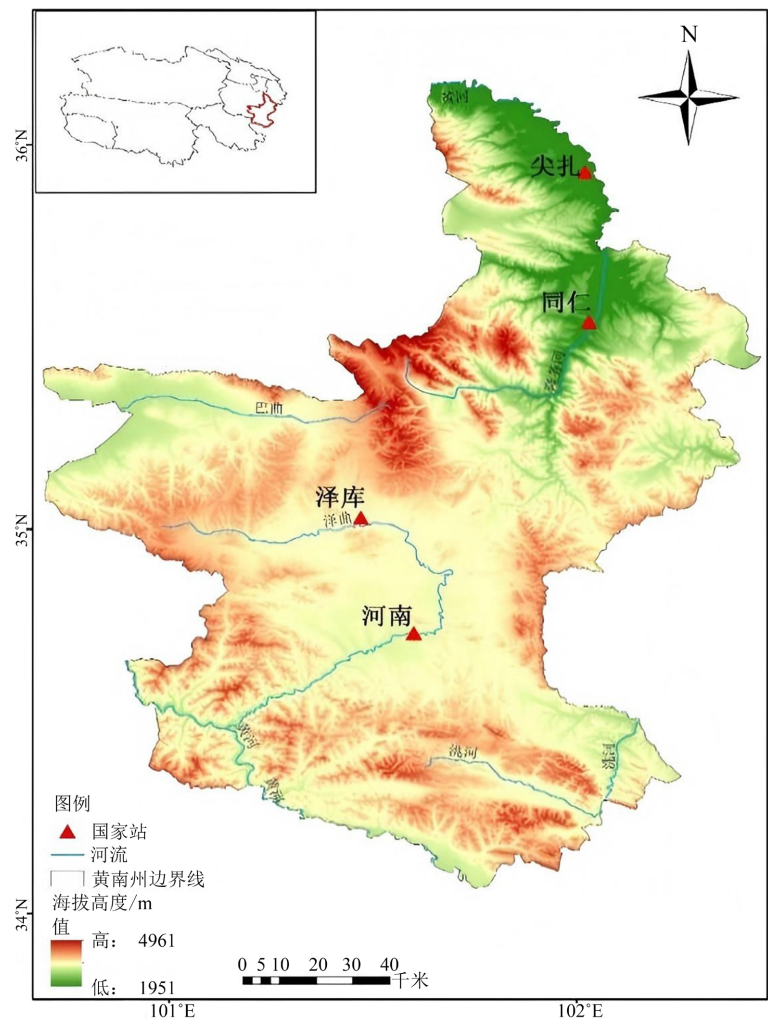
Keywords

Huangnan Region, Blizzard, Spatio-Temporal Characteristics, Analysis

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/>



1. 引言



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为：GS (2017) 03320 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Topography and elevation map of Huangnan prefecture
图 1. 黄南州地形高程图

黄南藏族自治州(以下简称:黄南州)位于青藏高原东北部,青海省东南部,是西西伯利亚冷空气经过新疆影响我国东南部的前沿。由于其海拔较高,地形复杂,天气特征和气候类型多变。黄南州地处九曲黄河第一弯,东南与甘肃省甘南藏族自治州夏河县、碌曲县、玛曲县和本省果洛州玛沁县为邻,西北与本省海南州同德县、贵德县和海东市的化隆、循化县接壤。地势南高北低,北部为尖扎、同仁两县,海拔在 1900~4118 米之间,以农业为主,是全州人口密集地;南部泽库、河南两县属青南牧区,海拔在 3500 米以上,气候高寒,是黄南州发展畜牧业的主要基地(见图 1)。

目前已有众多学者对青藏高原暴雪天气从环流形势、水汽条件、动力条件等方面展开了大量分析研究[1]-[4]。周倩等对青藏高原东部一次区域暴雪过程及气候背景进行分析,指出来自孟加拉湾的热带风暴登陆北上为此次暴雪提供了充沛的水汽[5]。周陆生等对青藏高原东部牧区 26 个台站近三十年中发生的大到暴雪过程进行诊断分析,揭示了大到暴雪过程及其雪灾的时空分布特征[6]。因此,预报员能够准确地预报出降水、量级以及相态转化等方面将提前做好有效的防御措施,避免或减轻灾害造成的损失,保障人民群众生命财产安全、正常生产生活有序进行,提高预报服务效果都具有重大现实意义[7]-[13]。

黄南州的暴雪天气主要集中在 11 月至次年 4 月,据统计,泽库大雪日数最多,年平均 4.6 天,其次为河南 4.4 天,同仁为 1.4 天,尖扎很少出现。在黄南南部地区 11 月至次年增长 3 月大雪极易造成雪灾。进入 20 世纪 80 年代以后,青南高原地区降水量呈明显增多趋势,造成青南高原冬、春季雪灾增多[14]。暴雪天气是白灾的主要致灾因子,是黄南州重要的气象灾害之一,对农、林、牧、交通、电力、通信以及人民生活、生活等均带来严重的影响和危害。因此,预报业务人员就要结合预报经验,经常性地加以检验总结,一方面可以逐步提高对不同天气过程和各类气象要素的预报能力,另一方面又可以帮助从事预报模式的研究人员分析其中存在的问题,为改进暴雪天气模式提供可靠依据。

2. 分析方法

采用天气学原理方法,利用常规气象观测资料、Micaps 资料、智能网格及综合业务平台等资料数据,分析高原低涡影响下此类天气过程的动力、热力结构,以及雨雪相态转化的内在机制和暴雪的落区预报着眼点。针对个例收集 Micaps 资料和实况资料;对项目主要内容开展研究,包括环流背景、垂直运动、温度平流变化、0℃层高度变化、700 hPa 和 500 hPa、600 hPa 厚度差变化、整层温度-露点变化、不稳定能量的变化等方面;分析雨、雪相态转化的临界点及内在机制;从个例中分析总结此类降水天气的预报着眼点,从以上分析中抽取最有力的因子和依据,提炼出预报最重要的部分。

3. 黄南地区的高空低涡特征及暴雪天气的影响机制

3.1. 天气背景与环流形势

高空低涡,也被称为高空冷性涡旋或高空冷涡,是一种在高层大气中形成的逆时针旋转的气旋环流系统。高空低涡通过其动力作用和热湿交换显著影响局地天气,它通常具有冷心特性,即系统中心的气温较周围环境偏冷,且气压较低。高空低涡的强度和范围各异,但一般都具有较强的天气影响力。黄南地区位于青藏高原东北部,这里的地形复杂,有助于高空低涡的形成。在暴雪天气发生前,通常会有一个较为稳定的环流形势作为背景。例如,高空低涡往往与高空槽、急流等系统相伴出现,形成有利于水汽输送和上升运动的环流背景。这种环流形势能够引导暖湿气流和冷空气在特定区域交汇,为暴雪天气的发生提供有利条件。黄南地区冬季寒冷,水汽来自于蒙古高压或西伯利亚反气旋,高空低涡可将这些湿气带到黄南地区,导致降雪。

3.2. 高空低涡的发展与移动

低涡生成:高空低涡通常在高层大气中逐渐形成,具有冷心特性和逆时针旋转的气旋环流。其生成原因可能与大气中的不稳定能量释放、切变线或锋面扰动等因素有关。

移动路径：高空低涡的移动路径受多种因素影响，包括高空引导气流、地形阻挡、低层切变线等。在移动过程中，低涡会不断与周围环流系统相互作用，增强或减弱其天气影响力。

强度变化：低涡的强度随其移动和与其他系统的相互作用而发生变化。当低涡与暖湿气流和冷空气交汇时，其强度可能增强，并引发更强烈的天气现象。

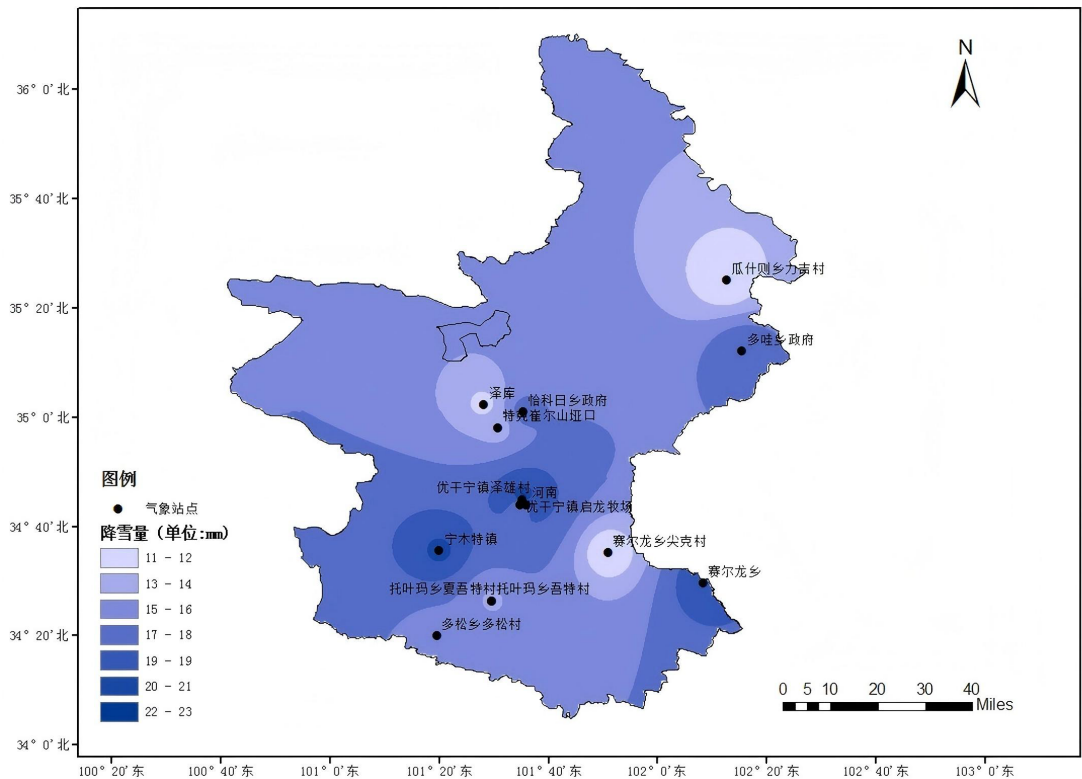
3.3. 地形影响

在黄南州，北部有高原和山区，南部有高寒草甸，地形对降雪的影响不容忽视，地形对气流的抬升作用会加剧降雪量，形成暴雪天气，特别是在低涡与地形相互作用时，可能会产生更加复杂的天气现象，高空低涡的影响会更加显著，地形对气流的抬升作用会加剧降雪量，形成暴雪天气。

4. 近 10 年(2014~2024 年)黄南地区暴雪天气分布特征

4.1. 黄南地区暴雪天气个例时空分布特征

经统计，近 10 年(2014~2024 年)中黄南地区国家站中达到大雪标准的天气个例有 95 个，暴雪标准的天气个例有 32 个，集中在当年 10 月至次年 5 月，11~2 月发生的最多，占比 96.2%。其中，尖扎出现了 5 次，同仁出现了 21 次，分别占总次数的 19.2%，80.8%，由于海拔高度的差异，呈现出寒潮落区分布的不均匀性，主要集中在河南、泽库地区(见图 2)。例如，2024 年 3 月 23 日的暴雪天气，全州共计 43 个测站出现降雪，降水中心出现在同仁加吾乡政府 24.9 毫米。经黄南州应急管理局统计，同仁、泽库出现不同程度灾情，直接经济损失 18.99 万元，未造成人员伤亡。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为：GS (2017) 03320 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 2. Spatio-temporal distribution map of blizzard weather in Huangnan prefecture
图 2. 黄南州暴雪天气时空分布图

4.2. 黄南地区暴雪天气的主要环流分型

4.2.1. 北槽南涡型

北槽南涡型大到暴雪天气过程是南北槽叠加型缺少南支槽配合形势下的一种变型(见图 3), 以秋季中前期和春秋中后期发生较多, 这主要也和行星风带秋季南压或北退有关。降雪影响范围相对比南北槽叠加型的要小, 北槽南涡型主要影响东北部地区, 具体落区和南北系统位相及相对位置有较大关系。北槽南涡型的影响系统主要是北支西风槽和高原系统, 相对而言, 高原南部南支系统发展偏弱, 从而造成平流水汽输送不畅, 故相对来说, 动力有余而水汽不足。此类系统配置下, 当水汽特别充分时, 黄南大部地区易出现大范围暴雪天气。

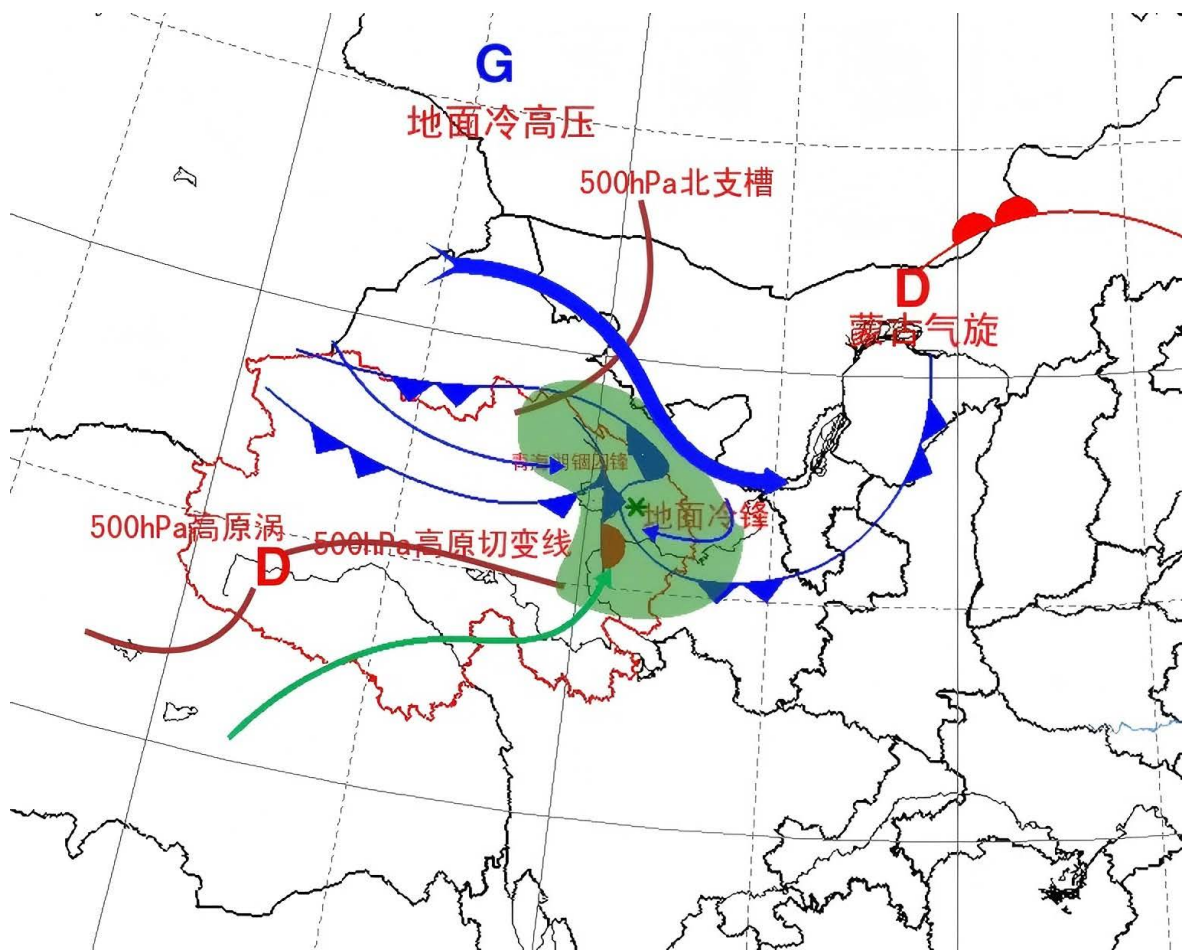


Figure 3. Configuration model diagram of the north trough and south vortex type system
图 3. 北槽南涡型系统配置模型图

4.2.2. 低涡切变型

低涡切变型大到暴雪天气过程基本就是高原系统的独自表演(见图 4)。多发于春秋季节中期, 降雪区域多集中于 35°N 线附近地区, 主要在海南南部、黄南南部、玉树北部和果洛北部地区。其典型形势是高原北部北支系统和南部南支系统均较弱, 有时北部还呈弱脊形势。高原西部多波动, 高原槽东移过程中发展或加强为高原涡或配合北部脊底部的偏东北气流在 35°N 线附近形成高原切变线, 在这些高原系统东移过程中往往在海南、黄南及果洛地区造成大到暴雪过程。

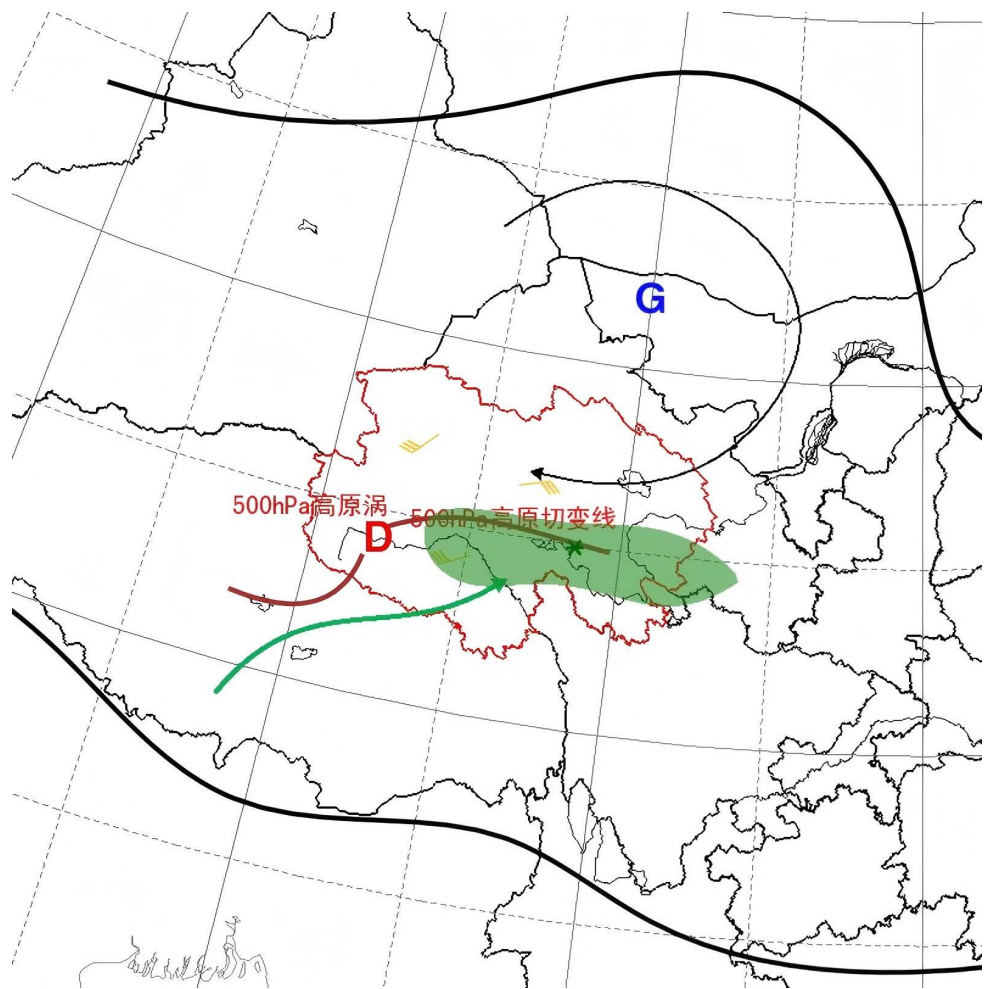


Figure 4. Configuration model diagram of the low eddy shear type system
图 4. 低涡切变型系统配置模型图

4.3. 黄南地区暴雪天气典型个例分析

选取了 2021~2024 年暴雪天气个例得知，黄南地区出现区域性暴雪天气过程 3 月共出现 3 次，4 月出现 3 次，5 月出现 1 次，10 月出现 1 次，下面将几次区域性暴雪天气过程的与暴雪影响系统及相关的物理量按月总结(见表 1)。

Table 1. Statistical table of individual cases affected by heavy snow weather in Huangnan area from 2021 to 2024
表 1. 2021~2024 年黄南地区暴雪天气影响系统个例统计表

日期	暴雪落区	高空 500 hpa	高空 700 hpa	地面形势
2021 年 3 月 9 日	黄南南部出现大到暴雪，截至 10 日 08 时，最大降水中心出现在河南县托叶玛乡夏吾特村 19.6 mm，国家站降水量：河南 11.1 mm (雪深 6 cm) 其中 6 站次达到暴雪、5 站次大雪。	南支槽前西南气流，弱冷平流	低空急流带，西宁站为东南风	地面冷空气回流、地面气旋式辐合、地形迎风坡、露点大值区 9℃~10℃。

续表

2021 年 3 月 31 日	黄南北部大雪，南部为暴雪，泽库特克崔尔山垭口 12.1 毫米、河南托叶玛乡夏吾特村 11.2 mm	高空槽，槽前西南气流畅通	西宁站为东北风 河西走廊有冷平流	冷空气、青海湖锢囚锋
2024 年 3 月 23 日	黄南南部暴雪，共计 20 个测站出现暴雪，河南 17.4 mm (雪深 2 cm)、泽库 11.7 mm (雪深 2cm)	北支短波槽，冷平流	东部有东南风，湿度不大，冷而干燥；柴达木盆地有冷温槽。	冷空气倒灌 地面辐合线
2021 年 4 月 2 日	河南暴雪 14.7 mm (雪深 16 cm)，瓜什则、加吾乡暴雪 10.1 mm~14.5 mm，同仁大雪 9.0 mm (雪深 6 cm)	高空槽，槽前西南气流顺畅		冷空气堆积，德令哈的 24 变压为+8.5 pa，有冷空气倒灌
2022 年 4 月 23~24 日	南部暴雪，同仁大雪，河南 17.4 mm (雪深 2 cm)，泽库 11.7 mm(雪深 2 cm)	高原槽，冷温槽冷温槽滞后于高原槽，槽前西南气流顺畅	23 日 08、20 时西宁站均为东北风	冷空气倒灌
2023 年 4 月 2~3 日	全州暴雪 13 站次、大雪 9 站次、中雪 5 站次。河南 11.5 mm (雪深 4 cm)、泽库 11.0 mm (雪深 10 cm)、同仁 11.1 mm (雪深 10 cm)	西低东高环流景高空辐散流场南、北槽叠加移动缓慢、冷暖交汇	2 日 08、20 时西宁站为东南风	地面辐合，两路冷空气
2023 年 5 月 17 日	全州暴雪 24 站次、大雪 3 站次。河南 15.2 mm (雪深 6 cm)、泽库 19.4 mm (雪深 8 cm)	南支槽前西南气流，有冷平流，比湿在 6 g/kg 左右	低空急流带，高空有强锋区	地面冷空气、地面气旋式辐合、地形迎风坡、露点大值区 9℃~10℃。
2021 年 10 月 14~15 日	泽库 10.9 mm (雪深 6 cm)、河南 6.6 mm (雪深 2 cm)、同仁 7.3 mm (雪深 3 cm)	低涡、西风槽、副高位于贝湖附近的低涡及西风槽携带冷空气南下，与副高 588 线外围的暖湿气流在青海东南部交汇；四川盆地至青海南部有大于 12 m/s 的西南风输送带	比湿大于 4 g/kg，地面处于露点大值，-1℃~1℃ 之间	地面冷锋、冷高压、地面冷空气

通过进一步分析黄南地区产生大到暴雪时，除水汽、动力、热力条件外，其他关键物理量指标及作用机制如下表(见表 2)。

Table 2. Key physical quantity indicators and mechanism of action when heavy to severe snowfall occurs in the Huangnan area
表 2. 黄南地区产生大到暴雪时关键物理量指标及作用机制表

物理量指标	阈值/特征	作用机制	典型案例
高层辐散流场	200 hPa 辐散中心强度 $\geq +4.5 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$	增强垂直上升运动	2023 年 4 月 2~3 日黄南州暴雪

续表

两槽一脊环流	500 hPa 高空图显示有两槽一脊形势	提供动力条件与锋区	2021 年 3 月 9~10 日黄南州暴雪
比湿场	青海省东南部 1 g/kg~2 g/kg	提供水汽物质基础	南支槽活跃期间
T-Td	≤5℃	促进云中冰晶快速生成	南支槽活跃期间
雷达回波强度	35 dBZ~45 dBZ	反映强降雪率	2023 年 4 月 2~3 日黄南州暴雪
卫星云顶亮温	<-40℃	反映冰晶含量丰富	2021 年 3 月 9~10 日黄南州暴雪

另外，根据不同层次环流形势变化，结合中高低天气系统结构，例举 2021 年 3 月 9 日的暴雪个例绘制了黄南州暴雪天气三维空间结构(见图 5)，产生暴雪时高层(200 hPa)出现了西南气流、中层(500 hPa)的低涡东南侧为西南气流、低层西南涡的西南气流，这三支气流达到了急流标准，为黄南州暴雪提供了有利的热力、动力和水汽条件；500 hPa 北部冷平流作用下，冷空气侵入该地区，对应 500 hPa 高原低涡东南侧西南风中低层出现上升运动和冷平流区，加之地形增幅的作用，地面各气象要素急剧变化，随之产生降雪天气。4 月、5 月和 10 月黄南地区出现大到暴雪天气的影响系统主要为高原槽、北支槽的叠加，还有槽前顺畅的西南气流为暴雪天气提供源源不断的水汽，低空指标站 - 西宁站常常表现为东北风或东南风，利于东部的水汽输送和河西走廊冷空气的倒灌，为暴雪提供水汽和动力条件。

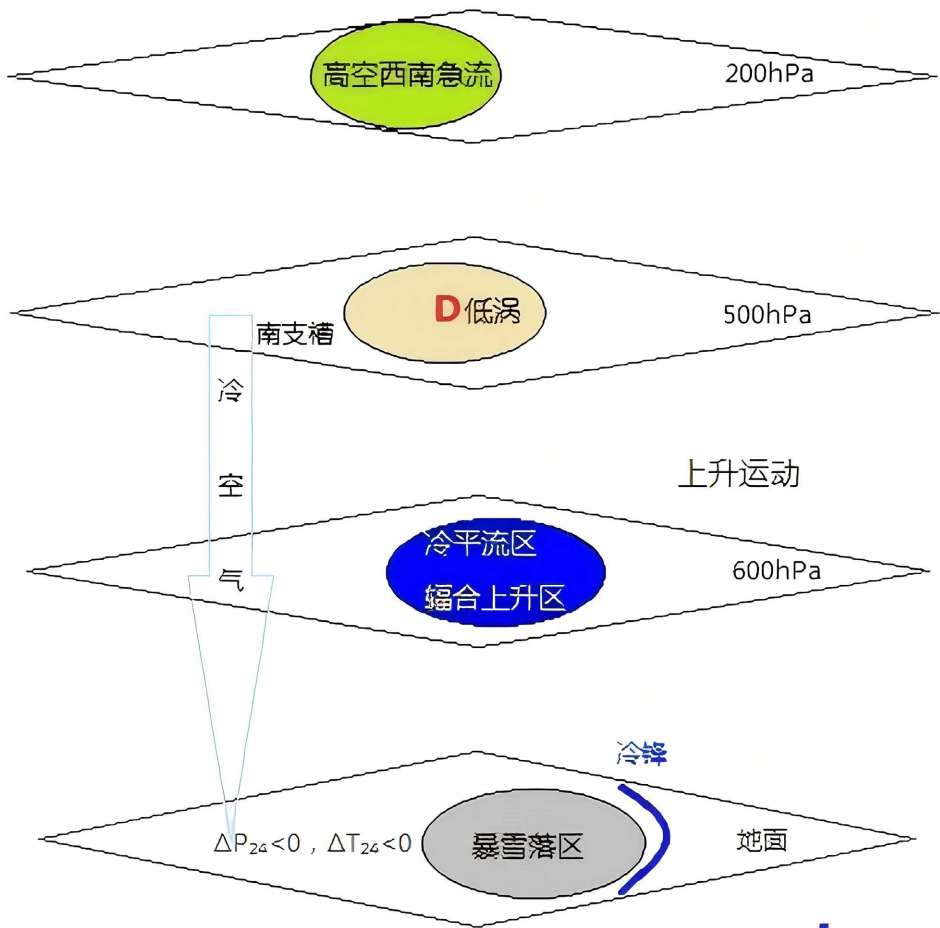


Figure 5. Three-dimensional spatial structure diagram of blizzard weather in the Huangnan area
图 5. 黄南地区暴雪天气三维空间结构图

5. 小结

黄南州大到暴雪天气过程多发于春秋两季,尤以春季为最多,多发于泽库、河南及同仁南部地区。各类型大到暴雪天气过程均需要动力和水汽的共同配合,若平流水汽和局地水汽均较好的情况下(如南北槽叠加型),降水范围一般较大且量级也较大,在二者缺一或者二者均较弱的情况下(如其他类型),降水范围较小,降水强度略弱,但也不排除秋初或春末时期地面能量较好情况下对流性降水导致的局地大到暴雪。因此,大到暴雪过程和其他降水过程一样,需要着重从预报场和临近的实况场上分析动力、水汽、热力等各类条件,从高空到地面分析预报场与实况场上天气系统发生发展过程中的误差,着重分析西南气流的预报强度误差和冷空气的预报路径和强度误差,不断挖掘和凝练前期数值预报中对后期大到暴雪过程有预报指示意义的预报指标,同时需要通过实况场,进一步分析和研究青海省大到暴雪天气过程发生的触发机制以及发展加强的机理,从而进一步提高青海省大到暴雪天气的预报准确率,增强气象防灾减灾能力。

参考文献

- [1] 叶梓杰, 安明, 林明丽, 刘二影, 黄娟, 张悦, 等. 湘潭市两次罕见大暴雪天气过程分析[J]. 河南科技, 2024, 51(20): 42-49.
- [2] 张婷华, 彭毛青措, 牛俊强, 等. 近 30 年青海省东北部大到暴雪天气机理研究[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(8): 151-153.
- [3] 巨克英, 马秀梅, 杨延华, 等. 2020 年青海初春首次大范围降雪降温天气特征及影响分析[J]. 青海农林科技, 2021(1): 60-63.
- [4] 黎永鹏. 2020 年 3 月青海一次区域性大到暴雪天气过程分析[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(3): 122-126.
- [5] 周倩, 程一帆, 周甘霖, 等. 2008 年 10 月青藏高原东部一次区域暴雪过程及气候背景[J]. 高原气象, 2011, 30(1): 22-29.
- [6] 周陆生, 李海红, 汪青春, 等. 青藏高原东部牧区大暴雪过程及雪灾发布的基本特征[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 450-458.
- [7] 李晓坤. 2021 年 11 月锡林郭勒盟一次极端暴雪天气过程分析[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(5): 105-109.
- [8] 张艳荣, 吉哲君, 赵惠珍, 何涛, 等. 2020 年 4 月 6 日甘南局地暴雪天气过程分析[J]. 现代农业科技, 2023(10): 222-229.
- [9] 胡玲, 刘锦, 东高红, 等. 天津城区暴雪的环流形势与雷达特征分析[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(1): 34-42.
- [10] 韩伟. 2004-2023 年呼和浩特市大到暴雪特征分析及对设施农业的影响[J]. 乡村科技, 2024, 15(17): 139-141.
- [11] 赵立清, 徐建国, 等. 赤峰市大到暴雪统计特征分析[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2023, 38(6): 533-536.
- [12] 崔小平, 罗兵, 常静, 等. 甘肃临夏 2017 年 3 月 10 日-13 日暴雪天气过程分析[J]. 农业开发与装备, 2019(10): 12-16.
- [13] 徐青竹. 1961-2020 年兴安盟大到暴雪的时空分布特征分析[J]. 现代农业研究, 2022, 28(5): 139-141.
- [14] 王江山. 青海天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 23-25.