

罗布坚参,假拉,德庆,等,2019.南支槽影响下西藏高原南部3次暴雪天气特征分析[J].气象,45(6):862-870. Luobu J C, Jia L, De Q, et al, 2019. Analysis of three snowstorms in southern Tibetan Plateau affected by southern branch trough[J]. Meteor Mon, 45(6):862-870(in Chinese).

南支槽影响下西藏高原南部3次 暴雪天气特征分析^{*}

罗布坚参¹ 假拉¹ 德庆¹ 白珍² 次旦巴桑¹

¹ 西藏自治区气象台,拉萨 850000

² 西藏阿里地区气象台,狮泉河 859000

提 要: 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和常规观测资料,对 2013 年 1—2 月西藏高原南部 3 次暴雪天气的环流形势、动力、水汽条件等进行诊断对比分析。结果表明:3 次暴雪天气中高纬度均以经向型环流形势为主,从长波槽脊配置可分为长波槽型和横槽型两大类;西太平洋副热带高压偏西偏强、伊朗高压东北发展对南支槽加深和缓慢东移起到关键作用。南支槽区 560 dagpm 线在 30°N 以南,并东移至 70°E 附近或以东时西藏高原南部开始出现暴雪天气;暴雪区附近涡度场变化反映了南支槽强度特征,中高层强辐散对南支槽发展起到重要作用;水汽主要源于阿拉伯海,孟加拉湾水汽对东部降雪起到补充作用,南支槽前高空西南急流对水汽输送起关键作用,同时喜马拉雅山脉的大地形抬升,有利于上升运动和水汽凝结成云;水汽通量、水汽通量散度等变化及中心的移动方向,对降雪的强度、落区和时段具有较好的预报指示意义。

关键词: 南支槽,暴雪,西藏高原

中图分类号: P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.06.012

Analysis of Three Snowstorms in Southern Tibetan Plateau Affected by Southern Branch Trough

LUOBU Jiancan¹ JIA La¹ DE Qing¹ BAI Zhen² CIDAN Basang¹

¹ Meteorological Observatory of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000

² Meteorological Observatory of Tibet Autonomous Ali Region, Shiquanhe 859000

Abstract: Using the NCEP/NCAR reanalysis data and conventional observation data, this paper analyzes the circulation situation, dynamic and thermodynamic conditions of the three snowstorms in southwest of the Tibetan Plateau in 2013. The results show that, over the middle and high latitudes, there existed radial circulation situation. According to the ridge and trough positions, they can be divided into the long-wave trough and the horizontal trough. The Western Pacific subtropical high is by west and stronger, and Iran high developing to the northeast slowly plays a key role for the southern branch trough to deepen and move eastward. When the 560 dagpm line of southern branch trough area is south to 30°N, and moves eastward to 70°E near or to the east at the southern part of the Tibet Plateau, snowstorm begins to appear. The vorticity change in the vicinity of snowstorm area reflects the strength characteristics of the south branch trough. The vertical evolution of divergence field in mid-high levels plays an important role in the south

^{*} 中国气象局预报员专项(CMAYBY2014-067)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406015)和气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015M58)共同资助

2018 年 3 月 23 日收稿; 2019 年 4 月 1 日收修定稿

第一作者:罗布坚参,主要从事高原灾害性天气研究. Email:tbhen@163.com

通信作者:假拉,主要从事青藏高原天气气候研究. Email:jialha40@aliyun.com

branch trough development. Water vapor mainly comes from the Arabia Sea, and the water vapor in the Bay of Bengal plays a complementary role in the eastern snowfall. The southwest upper-level jet plays a key role in water vapor transport. At the same time, the Himalaya Mountain terrain uplift is conducive to the ascending motion and water vapor condensation. Water vapor flux, vapor flux divergence value changes and the center moving direction have better forecasting significances to the forecasting of snowfall intensity, falling area and time.

Key words: southern branch trough (SBT), snowstorm, Tibetan Plateau

引言

青藏高原是全国牧区面积最大的地区,也是全国三大雪灾高发区之一。西藏是青藏高原的主体,每年10—11月和3—5月易出现雪灾,有两个雪灾多发区域:一是藏北中东部和昌都北部,年降雪量在140~200 mm,最大积雪深度为30~40 cm;二是西藏南部边缘地区,尤其是喜马拉雅山脉南坡,最大积雪深度达30~50 cm,而聂拉木可达100 cm,年降雪量在260 mm以上。从西藏雪灾发生的频率来看,重度雪灾发生频率最高的是西藏南部的聂拉木,达43%,平均约两年一遇。雪灾对西藏牧业影响是毁灭性的,可导致牧民返贫。在气候变暖背景下,青藏高原大部分地区降水量和降雨量呈增加趋势,而降雪量却呈现减少趋势(Wang et al, 2016)。黄晓清等(2018)对气候变暖背景下青藏高原雪灾变化及其与大气环流方面进行了分析,揭示了青藏高原雪灾变化总体上也具有显著减少,西风带南支槽和东半球极涡、东亚大槽和副热带高压等强度、位置变化对高原雪灾具有一定相关关系。

持续性降雪或暴雪过程是形成雪灾的重要原因,对大到暴雪过程的环流背景、影响系统、机理原因及预报着眼点等方面受到了气象工作者的高度重视(康志明等, 2007; 张腾飞等, 2007; 郭荣芬等, 2010; 孙欣等, 2011; 侯瑞钦等, 2011; 姚蓉等, 2012; 孟雪峰等, 2012; 杨晓霞等, 2012; 索渺清和丁一汇, 2014; 蒋大凯等, 2014; 柳龙生等, 2015)。以往对南支槽的研究多着眼于南支槽区域气压、高度场资料定义的南支槽活动指数分析月尺度降水等的气候特征(索渺清和丁一汇, 2009; 段旭等, 2012; 张永莉等, 2016; 除多等, 2018)。林志强等(2014)、林志强(2016)研究表明高原区域性暴雪的主要环流形势有印度低压型、南北支槽型、巴湖低压型、伊朗高压型和高原低涡一切变型,在每类环流型中,南支槽部起

着重要作用。冬半年南支槽对降水影响最显著的区域为青藏高原和云南地区,有南支槽活动的降水比无南支槽活动显著增加,南支槽位置不同,其降水影响区域有较大差异。李娟等(2016)分析了青藏高原东南部复杂地形区不同天气状况下陆气能量交换特征,指出高原东南部盛行偏南气流,且风速明显增强时,当地地表感热通量和短波辐射的日变化较小,多阴雨天气的特征。池再香等(2011)在南支槽背景下地形对贵州局地特大暴雨的作用进行了分析,指出对流云团在山脉阻挡下,垂直上升运动加强、维持,水汽不断向云内卷入,延长了暴雨云团在其上空的停留时间,对局地暴雨的产生提供了重要作用。

近几年来南支槽影响下暴雪个例诊断分析主要集中在云南、新疆及我国南方地区,对青藏高原研究分析较少。2013年年初青藏高原南部出现了3次暴雪过程,聂拉木站日降雪量创历史同期极值,对农牧民的生产生活和交通运输等方面造成了严重影响。本文针对以上3次个例,分析南支槽影响下暴雪过程的环流形势、动力和水汽条件及对流云团,进一步深入探讨青藏高原南部暴雪产生机理,以提升暴雪天气的预报预警能力。

1 天气过程概述和资料

1.1 天气过程概述

2013年1—2月青藏高原南部出现3次暴雪天气过程,分别为1月17—19日、2月4—7日和2月16—18日(以下分别简称为第一次、第二次、第三次过程)。第一、二次过程暴雪范围主要集中在青藏高原西南部,第三次过程暴雪范围较前两次广,主要分布在青藏高原沿喜马拉雅山脉南麓。第一次过程累积降雪量:普兰、聂拉木分别为53、59.7 mm,1月18日普兰、聂拉木日最大降雪量分别为37.9、47.8 mm。第二次过程累积降雪量:普兰、聂拉木分别为

25.7、67.6 mm, 2月5日普兰、聂拉木日最大降雪量分别为 20.7、35.5 mm。第三次过程累积降雪量:聂拉木为 97.3 mm、错那为 34.3 mm、帕里为 17.8 mm 和普兰为 13.2 mm, 2月16日聂拉木日最大降雪量达 72.3 mm, 超历史同期极值(2007年2月14日, 51.6 mm)。截止2月20日, 聂拉木、帕里、普兰、错那和狮泉河的积雪深度分别为 78、54、47、37 和 11 cm。3次暴雪过程强度大, 落区相近, 过程时间间隔只有 10~15 d, 造成了阿里地区和日喀则市 15 个县 78 个乡镇 335 个村、24007 户 96978 人不同程度受灾, 死亡牲畜 104694 头(只、匹), 国省干线公路和农村公路反复中断, 累计受灾里程达 5679 km。

1.2 资料选取

本文采用的地面、高空观测资料由西藏自治区气象局信息网络中心提供。卫星资料由国家卫星中心提供。大气环流、物理量诊断应用 NCEP/NCAR $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 逐 6 h 再分析资料。另需说明的是西藏高原平均海拔高度为 4000 m, 相关物理垂直剖面从 700 hPa 开始计算。

2 环流形势演变和南支槽发展

从 3 次暴雪天气过程中欧亚中高纬度环流形势看(图 1), 中高纬度以经向型环流为主, 欧亚中高纬为三槽两脊型, 三个长波槽分别为欧洲槽、乌拉尔槽和东亚槽, 两脊位于欧洲东部和中西伯利亚。3 次过程的长波槽脊配置可分为长波槽型(第一、二次过程)和横槽型(第三次过程)两大类。3 次过程中乌拉尔长波槽东移受青藏高原地形影响分为南、北两支, 北支对应着主槽东移, 南支部分被青藏高原和西太平洋副热带高压的阻挡, 移动缓慢, 成为引发西藏高原南部暴雪的南支槽。采用 $N = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$ (X_i 为日平均高度, $\bar{X}$ 为 30 年月平均高度, S 为 30 年月标准差, N 为标准差倍数) 对 3 次过程 500 hPa 高度场进行标准异常分析(图 1 阴影部分), 在中高纬地区第一、三次过程中西伯利亚至贝加尔湖高度场偏低 1 倍标准差, 第二次过程中我国东北地区偏低, 表明影响西藏高原冷空气为西北部路径。低纬度地区阿拉伯海北部至印度半岛西部区域高度场均偏低 1 倍标准差以上, 其中心偏低 2 倍标准差, 说明南部高度

场与历年平均相比异常偏低, 表现出了南支槽极端偏强, 这为暴雪天气提供强有利的天气形势。3 次暴雪过程前后西太平洋副热带高压稳定少动、伊朗高压东北发展对南支槽加深和缓慢东移起到关键作用。南支槽 560 dagpm 线南压至 30°N 以南或形成闭合低压对降雪强度、南支槽东移至 70°E 以东对降

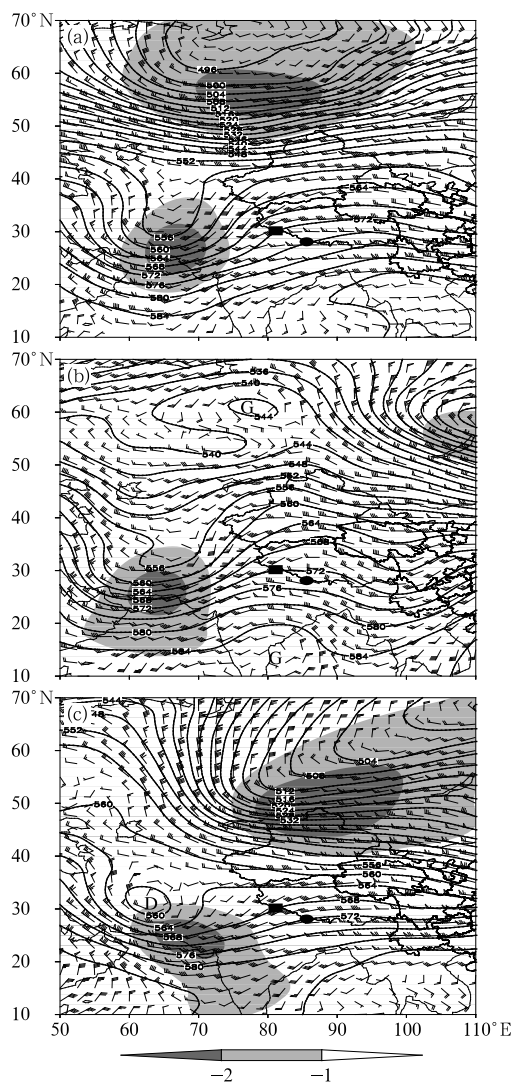


图 1 2013 年 1 月 17 日(a)、2 月 4 日(b)、2 月 15 日(c)08 时 500 hPa 高度(等值线, 单位: dagpm)和风场(风羽, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(阴影区, ≥ 1 倍的标准差)

(■: 普兰站, ●: 聂拉木站)

Fig. 1 Distribution of 500 hPa height (contour, unit: dagpm), wind (barb, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and standard deviation more than 1 time (shaded area) at 08:00 BT (a) 17 January, (b) 4 February, (c) 15 February 2013

(■: Purang Station, ●: Nyalam Station)

雪时间的研判,均具有一定预报指示意义。

3 动力条件分析

3.1 涡度和散度

从3次暴雪天气过程前(图2a、2c、2e)和过程中(图2b、2d、2f)涡度、散度沿29°N纬向垂直剖面看,涡度场反映了南支槽强度特征,散度场对南支槽发展起重要作用。从图2涡度场变化看,3次暴雪过程中深厚的正涡度大值区与南支槽位置相吻合,随着南支槽东移发展加强,正涡度值显著增大,最强正涡度值在对流层中层200~300 hPa上空,达到 $11 \times 10^{-5} \sim 13 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,与平原地区有所不同,可能这与西藏高原本身的平均海拔高度在4000 m以上有关。从散度垂直分布看,在经向和垂直方向上南支槽前后形成非对称性散度配置,即槽前低层辐合高层辐散和槽后低层辐散高层辐合的散度场分布。随着南支槽加深,高层非对称性散度强度比低层明显加强,正散度大值区分布在150~250 hPa,达到 $2.5 \times 10^{-5} \sim 3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,暴雪区低层辐合高层强辐散的垂直配置,为暴雪提供了动力条件。

$\times 10^{-5} \sim 13 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,与平原地区有所不同,可能这与西藏高原本身的平均海拔高度在4000 m以上有关。从散度垂直分布看,在经向和垂直方向上南支槽前后形成非对称性散度配置,即槽前低层辐合高层辐散和槽后低层辐散高层辐合的散度场分布。随着南支槽加深,高层非对称性散度强度比低层明显加强,正散度大值区分布在150~250 hPa,达到 $2.5 \times 10^{-5} \sim 3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,暴雪区低层辐合高层强辐散的垂直配置,为暴雪提供了动力条件。

3.2 地形抬升作用

针对3次降雪最强时段,对南支槽前西南流场进行了空间剖面分析(图3),从地面到400 hPa高

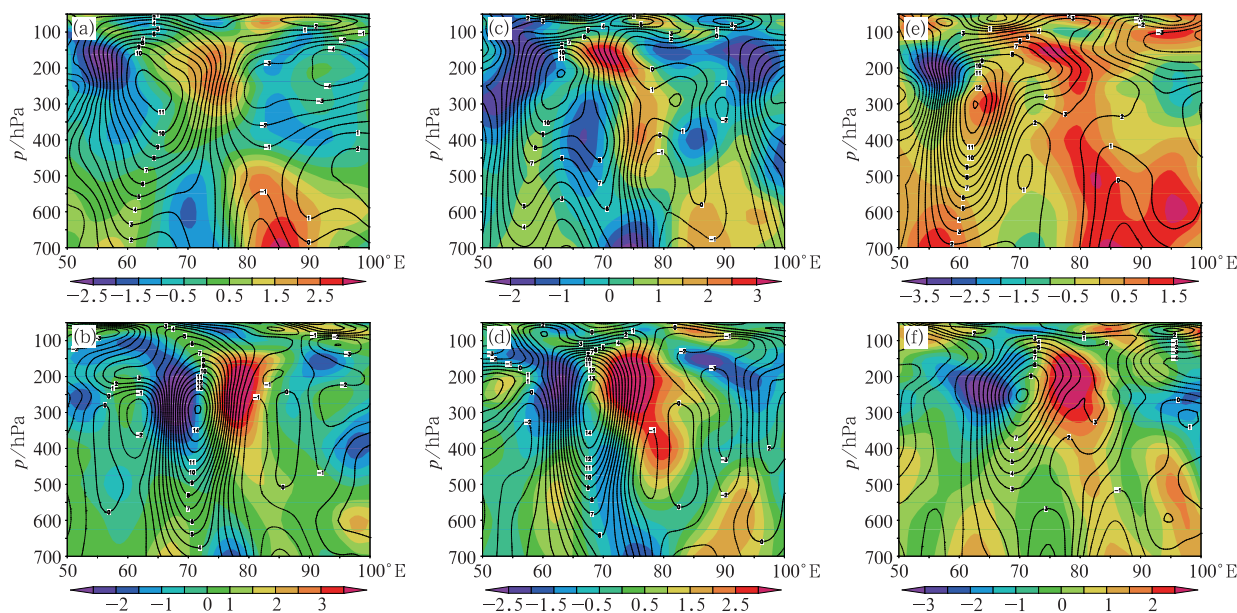


图2 2013年1月17日(a)、1月18日(b)、2月4日(c)、2月5日(d)、2月15日(e)、2月16日(f)08时沿29°N纬向涡度(等值线)及散度(彩色区)垂直剖面(单位: 10^{-5} s^{-1})

Fig. 2 The vertical cross-section of zonal vorticity (contour, unit: 10^{-5} s^{-1}) and divergence (the color shaded, unit: 10^{-5} s^{-1}) along 29°N at 08:00 BT (a) 17 January, (b) 18 January, (c) 4 February, (d) 5 February, (e) 15 February, (f) 16 February 2013

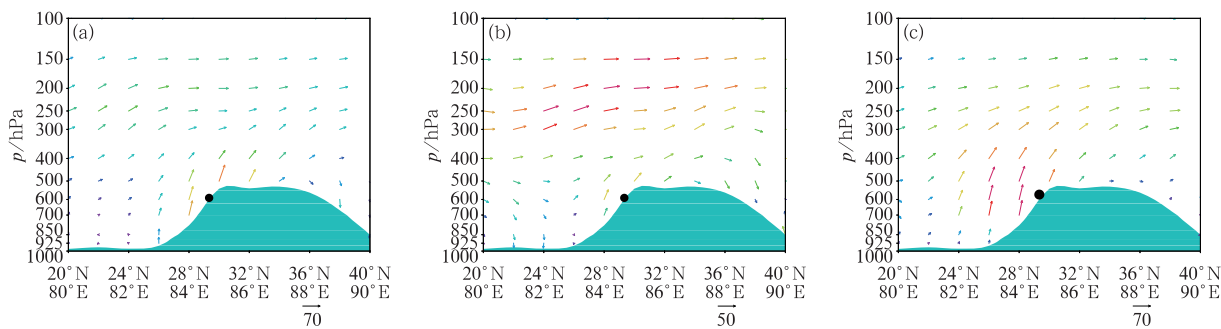


图3 2013年1月18日(a)、2月5日(b)、2月16日(c)风场剖面(矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和地形(阴影区)(●:暴雪区)

Fig. 3 Distribution of vertical cross-section of wind fields (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and geographic location (shaded) on (a) 18 January, (b) 5 February, (c) 16 February 2013 (●: snowstorm area)

度,靠近青藏高原附近有显著的上升运动,印度半岛北部 500 hPa 以下为弱风区,无明显上升运动,说明西南暖湿气流顺着喜马拉雅山脉爬升现象较为明显。400 hPa 高度以上印度半岛至青藏高原上空有较强的高空急流存在。沿喜马拉雅山脉南麓上空中低层气流的爬升和高层西南急流的抽吸作用,加强了暴雪区的上升运动和西南暖湿气流的潜热释放,

促进了对流发展。

4 水汽特征

4.1 水汽通量和水汽通量散度

图4为3次暴雪天气过程前和过程中500 hPa

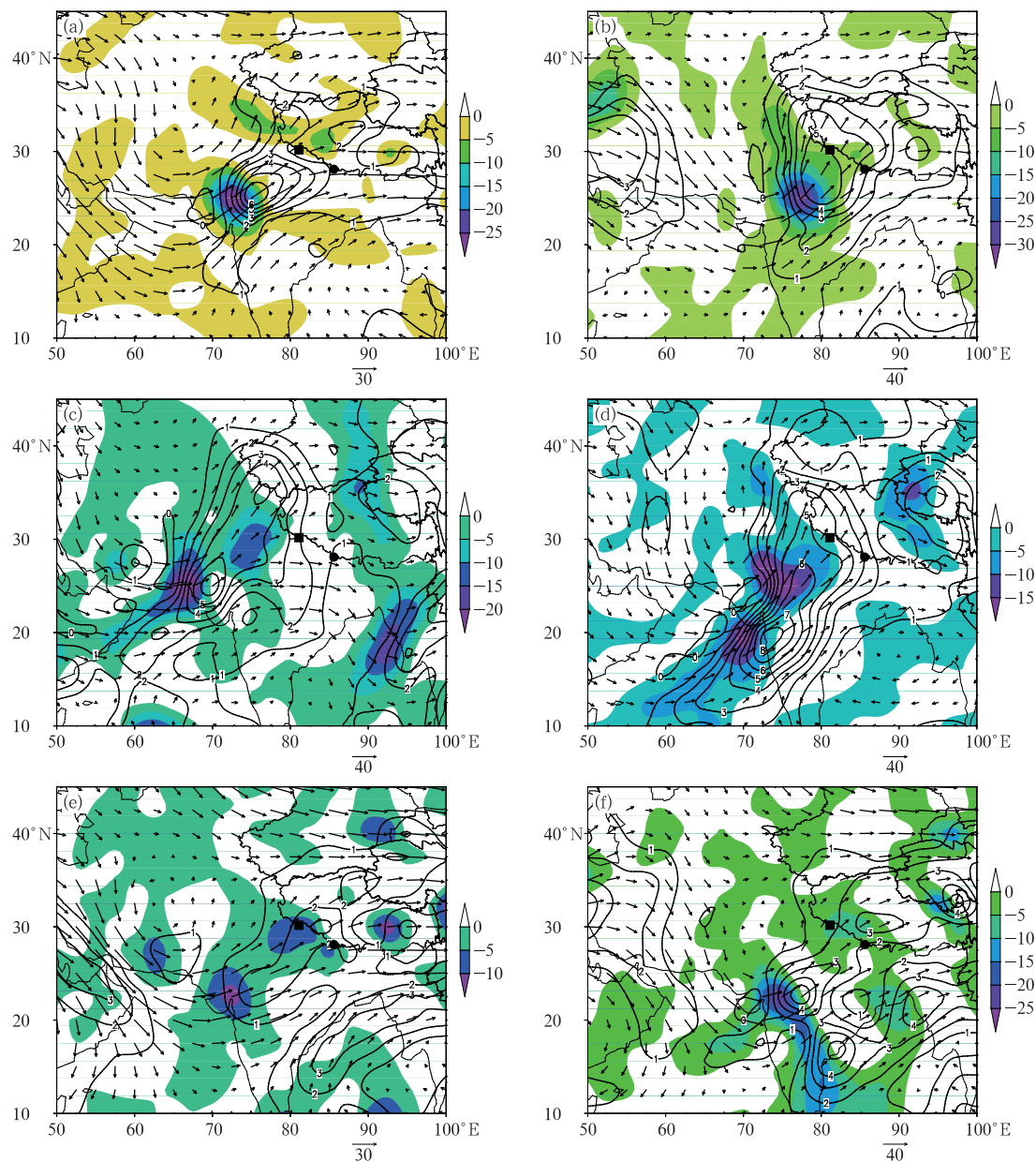


图4 2013年1月17日(a)、1月18日(b)、2月4日(c)、2月5日(d)、2月15日(e)、2月16日(f)08时500 hPa 风场(矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、水汽通量(等值线,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和水汽通量散度(彩色,单位: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
(■:普兰站,●:聂拉木站)

Fig. 4 Distribution of 500 hPa wind fields (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and the vapor flux (contour, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and vapor flux divergence (color, unit: $10^{-8} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) at 08:00 BT (a) 17 January 2013, (b) 18 January, (c) 4 February, (d) 5 February, (e) 15 February, (f) 16 February 2013
(■: Purang Station, ●: Nyalam Station)

流场、水汽通量、水汽通量散度分布。3次过程前阿拉伯海北部至西藏高原西部受南支槽前西南气流控制,有西南—东北向的水汽通量大值带,中心值分别为 $6, 3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 暴雪区水汽主要来源为阿拉伯海。水汽通量辐合中心位于水汽通量中心的西南侧,值分别为 -25×10^{-8} 、 -20×10^{-8} 和 $-10 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3次过程中水汽通量中心和水汽通量辐合中心向暴雪区靠近,暴雪区水汽通量均 $\geq 3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 水汽通量辐合值也发生变化,为 $-10 \times 10^{-8} \sim -5 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。第三次过程除阿拉伯海水汽来源外,孟加拉湾北部有水汽通量高值区,向高原东部不断补充水汽,使暴雪落区主要在西藏南部的聂拉木、帕里及错那一带。

由此可见,在3次暴雪天气过程中,西藏暴雪区南侧有西南—东北向的水汽通量带,即南支槽前西南急流的引导下,从阿拉伯海北部向暴雪区输送充沛的水汽。暴雪区出现弱的水汽通量辐合,强辐合中心位于暴雪区的西南侧,考虑与喜马拉雅山脉大地形阻挡有关。南支槽影响下,西藏降雪的水汽主要源于阿拉伯海,孟加拉湾水汽对西藏东部降雪起到补充作用。

4.2 水汽垂直分布

选取此次暴雪区附近定日探空站为代表,对3次暴雪过程高空温度露点差($T-T_d$)进行了合成分析(图5)。横坐标以0为界限,负值表示降雪出现前,正值表示降雪出现后,数值表示时效。发现降雪开始前温度露点差减小由高层逐渐向低层扩展,不

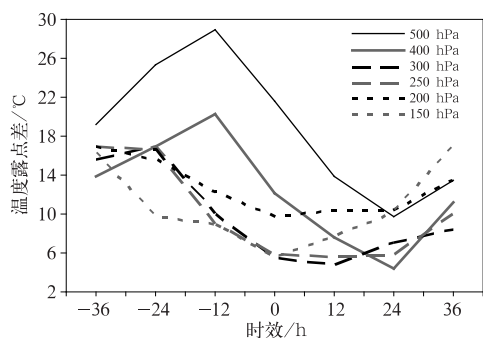


图5 定日站3次暴雪过程不同高度温度露点差($T-T_d$)合成分布

Fig. 5 Synthetic analysis of temperature dew point differences ($T-T_d$) at different heights in three snowstorm processes at Tingri Station

同高度的温度露点差减小与出现降雪时效情况:400~500 hPa 提前 12 h, 温度露点差 12 h 下降 $7 \sim 8^\circ\text{C}$ 、24 h 下降 $15 \sim 18^\circ\text{C}$, 400 hPa 平均最低降至 6°C 以下;250~300 hPa 提前 24 h, 温度露点差 24 h 下降 $11 \sim 12^\circ\text{C}$, 平均最低降至 6°C 以下;150~200 hPa 提前量达到 36 h, 温度露点差 36 h 下降 $7 \sim 11^\circ\text{C}$, 150 hPa 平均最低降至 6°C 以下。这很好地验证青藏高原大地形作用下,高层西南急流不断输送水汽,随着南支槽前动力上升运动和高原热力抬升加强,使高原上水汽凝结成云并逐渐增厚,为强降雪提供了水汽条件。

5 对流云演变特征

采用风云二号卫星(FY-2)TBB(相当黑体亮温)资料,以第一次过程为例,分析2013年1月18日02时至19日08时最强降雪时段TBB演变特征(图6)发现:17日夜间开始,南支槽云系位于印度半岛至西藏高原南部地区,呈西南—东北向分布。18日01时,对流云B1和B2新生发展,位于印度半岛(图6a),两个对流云沿着西南引导气流往东北方向移动,并不断发展;03时,对流云A已经移至高原西北部,不再影响普兰,对流云B1和B2发展加强,合并成对流云B,影响普兰,TBB达到 -64°C ,导致普兰18日02时,6 h降雪量达到6 mm(图6b);05时,对流云B仍影响普兰,印度半岛有新的对流云C发展(图6c);07时,对流云B上高原减弱,对流云C向东北方向移动,靠近西藏高原对流云显著加强,TBB值为 -63°C (图6d);09时,对流云C继续影响普兰,印度北部又发展对流云D,逐渐靠近西藏高原过程中发展加强(图6e);11时,对流云C东移过程中,新生发展的对流云D到达普兰,TBB值为 -63°C (图6f);此次过程中印度半岛有新生对流云不断补充,到达高原发展加强,影响普兰。过程中普兰08时、14时的6 h降雪量分别达到8.1和15.6 mm。

18日21时,西藏西南部有3个对流云A、B、C,其中对流云A、B位于聂拉木西侧,对流云C处在聂拉木西南侧(图7a);23时,3个对流云沿着西南引导气流往东北方向移动。对流云C不断发展,靠近高原加强,TBB值为 -53°C ,影响聂拉木(图7b);至19日01时,对流云C仍在聂拉木,印度半岛又发展对流云D(图7c);03时,对流云C主体移出暴雪

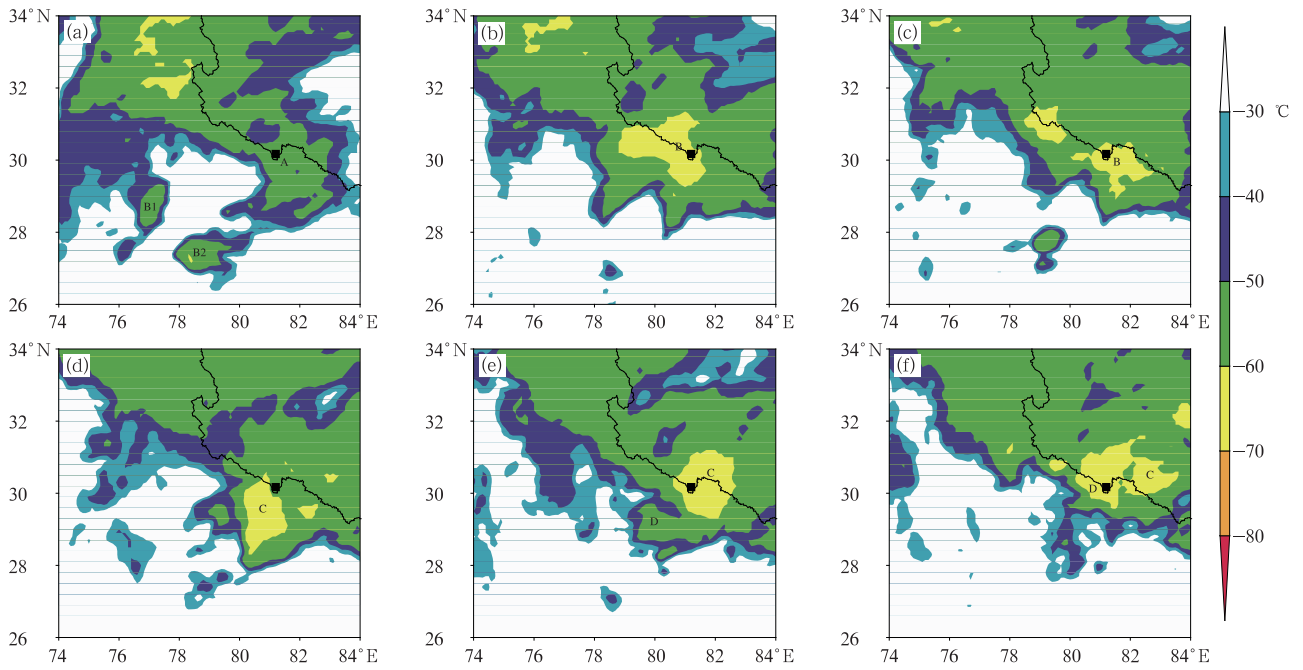


图 6 2013 年 1 月 18 日 01 时(a)、03 时(b)、05 时(c)、07 时(d)、09 时(e)和 11 时(f)普兰站附近 TBB 分布
(■:普兰站;A、B、B1、B2、C 和 D 为云团)

Fig. 6 Distribution of TBB from FY-2E Satellite near the Burang Station at (a) 01:00 BT, (b) 03:00 BT, (c) 05:00 BT, (d) 07:00 BT, (e) 09:00 BT and (f) 11:00 BT 18 January 2013
(■: Purang Station; A, B, B1, B2, C and D indicate cloud clusters)

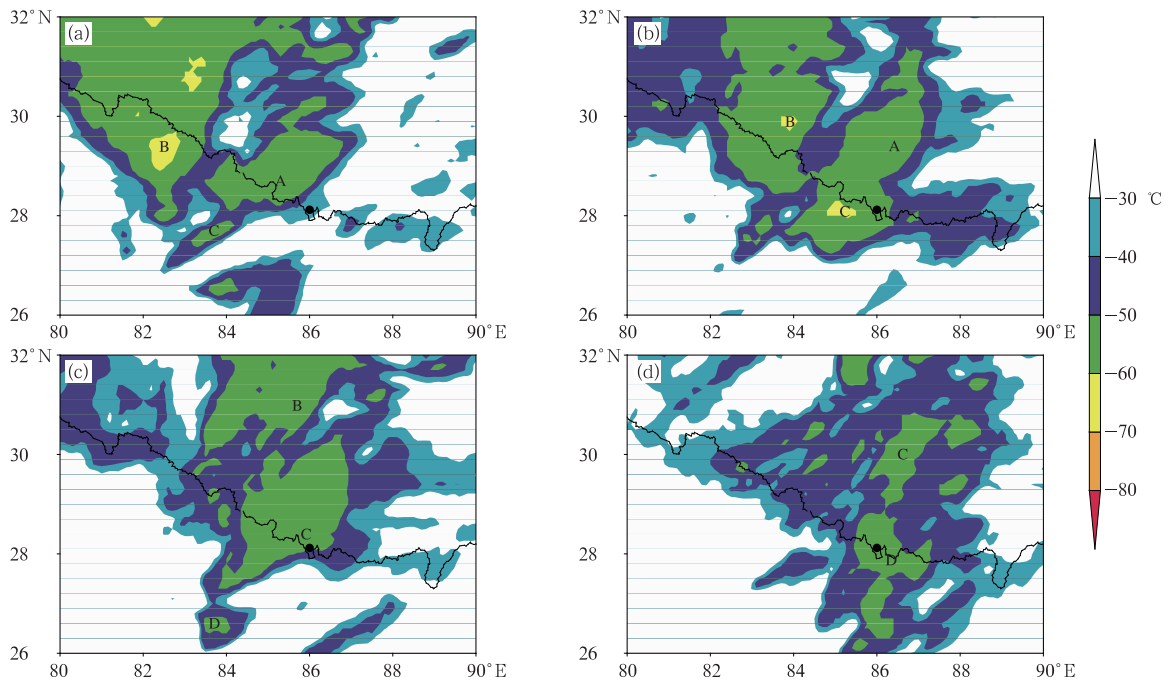


图 7 2013 年 1 月 18 日 21 时(a)、23 时(b)和 19 日 01 时(c)、03 时(d)聂拉木站附近 TBB 分布
(●:聂拉木站;A、B、C 和 D 为云团)

Fig. 7 Distribution of TBB from FY-2E Satellite near the Nyalam Station at (a) 21:00 BT, (b) 23:00 BT 18 and (c) 01:00 BT, (d) 03:00 BT 19 January 2013
(●: Nyalam Station; A, B, C and D indicate cloud clusters)

区,生成于印度半岛的对流云D移动至聂拉木(图7d)。19日08时,聂拉木12h降雪量高达38.9mm。

以上分析表明,3次暴雪过程中先后有多个对流云影响西藏南部,导致了西藏南部暴雪天气。降雪最强时段TBB低于 -50°C ,最低可达 -64°C ,TBB低值区与降雪大值区对应,并且TBB值减小过程与降雪增强过程一致。暴雪区西南侧新生的对流云,沿着西南引导气流往东北方向移动,在喜马拉雅山脉抬升作用下发展加强。对流云不断新生、移动、发展、溃散的传播特征显著。

6 结论与讨论

通过对2013年1—2月西藏高原南部3次暴雪天气的环流形势、动力和对流云等进行特征分析,得到了如下结论:

(1) 中高纬度均属径向型环流形势,长波槽脊配置可分为长波槽型和横槽型两大类,西太平洋副热带高压偏西、伊朗高压东北发展对南支槽加深起关键作用。3次过程中阿拉伯海北部至印度半岛西部区域高度场偏低1倍标准差,其中心偏低2倍标准差,表现出了南支槽极端偏强。南支槽560dagpm线南压至 30°N 以南,南支槽东移至 70°E 附近或以东地区,对西藏高原南部暴雪天气预报具有指示意义。

(2) 暴雪区附近涡度场变化反是映了南支槽强度特征,散度场低层辐合高层辐散及中高层强辐散对南支槽发展起到重要作用。暴雪区低层辐合高层强辐散的垂直配置,为暴雪提供了动力条件。

(3) 水汽主要源于阿拉伯海,孟加拉湾水汽对西藏东部降雪起到补充作用。高层西南急流不断输送水汽,随着南支槽前动力上升运动和高原热力抬升加强,使高原上水汽凝结成云并逐渐增厚,为强降雪提供了水汽条件。

(4) 暴雪过程中先后有多个对流云影响西藏南部,导致了西藏南部暴雪天气。降雪最强时段TBB低于 -50°C ,最低可达 -64°C ,TBB低值区与降雪大值区对应,并且TBB值减小过程与降雪增强过程一致。暴雪区西南侧新生的对流云,沿着西南引导气流往东北方向移动,在地形抬升作用下发展加强。对流云不断新生、移动、发展、溃散的传播特征显著。

参考文献

- 池再香,邱斌,康学良,等,2011.一次南支槽背景下地形对贵州水城南部特大暴雨的作用[J].大气科学学报,34(6):708-716. Chi Z X, Qiu B, Kang X L, et al, 2011. The effect of topography on heavy torrential rain in the background of a south branch trough in Shuicheng of Guizhou Province[J]. Trans Atmos Sci, 34(6): 708-716(in Chinese).
- 陈多,洛桑曲珍,林志强,等,2018.近30年青藏高原雪深时空变化特征分析[J].气象,44(2):233-243. Chu D, Luosang Q Z, Lin Z Q, et al, 2018. Spatio-temporal variation of snow depth on Tibetan Plateau over the last 30 years[J]. Meteor Mon, 44(2): 233-243(in Chinese).
- 段旭,陶云,许美玲,等,2012.西风带南支槽对云南天气的影响[J].高原气象,31(4):1059-1065. Duan X, Tao Y, Xu M L, et al, 2012. Influence of south branch trough of westerlies on weather of Yunnan Province[J]. Plateau Meteor, 31(4): 1059-1065(in Chinese).
- 郭荣芬,高安生,杨素雨,2010.低纬高原两次冬季南支槽强降水的对比分析[J].大气科学学报,33(1):82-88. Guo R F, Gao A S, Yang S Y, 2010. Comparison analysis of two heavy rain processes on the plateau at low latitude caused by the southern branch trough in winter[J]. Trans Atmos Sci, 33(1): 82-88(in Chinese).
- 侯瑞钦,张迎新,范俊红,等,2011.2009年深秋河北省特大暴雪天气成因分析[J].气象,37(11):1352-1359. Hou R Q, Zhang Y X, Fan J H, et al, 2011. Diagnoses of heavy snowstorm in Hebei Province in late autumn of 2009[J]. Meteor Mon, 37(11): 1352-1359(in Chinese).
- 黄晓清,唐叔乙,次旺顿珠,2018.气候变暖背景下西藏高原雪灾变化及其与大气环流的关系[J].高原气象,37(2):325-332. Huang X Q, Tang S Y, Ciwang D Z, 2018. Variation of the snow disasters under global warming and its relationship with general circulation over Tibetan Plateau[J]. Plateau Meteor, 37(2): 325-332(in Chinese).
- 蒋大凯,闵锦忠,乔小湜,2014.一次东北南部特大暴雪的动力机制分析[J].大气科学学报,37(5):605-612. Jiang D K, Min J Z, Qiao X S, 2014. The dynamical mechanism analysis of an extraordinary snowstorm over the south of Northeast[J]. Trans Atmos Sci, 37(5): 605-612(in Chinese).
- 康志明,罗金秀,郭文华,等,2007.2005年10月西藏高原特大暴雪成因分析[J].气象,33(8):60-67. Kang Z M, Luo J X, Guo W H, et al, 2007. Causality analysis of snowstorm in Xizang Plateau in autumn of 2005[J]. Meteor Mon, 33(8): 60-67(in Chinese).
- 李娟,李跃清,蒋兴文,等,2016.青藏高原东南部复杂地形区不同天气状况下陆气能量交换特征分析[J].大气科学,40(4):777-791. Li J, Li Y Q, Jiang X W, et al, 2016. Characteristics of land-atmosphere energy exchanges over complex terrain area of southeastern Tibetan Plateau under different synoptic conditions [J]. Chin J Atmos Sci, 40(4): 777-791(in Chinese).

- 林志强,假拉,薛改萍,等,2014. 1980—2010 年西藏高原大到暴雪的时空分布和环流特征[J]. 高原气象,33(4):900-906. Lin Z Q, Jia L, Xue G P, et al, 2014. Spatial-temporal distribution and general circulation of heavy snow over Tibet Plateau in 1980—2000[J]. Plateau Meteor, 33(4):900-906(in Chinese).
- 林志强,2016. 南支槽对西南高原地区冬半年日降水的影响[J]. 高原气象,35(6):1456-1463. Lin Z Q, 2016. Influence of the southern branch trough on Plateau of southwestern China daily precipitation in wintertime[J]. Plateau Meteor, 35(6):1456-1463(in Chinese).
- 柳龙生,李英,赵毅勇,2015. 孟加拉湾风暴费林(1302)对藏南一次暴雪过程的影响分析[J]. 气象,41(9):1079-1085. Liu L S, Li Y, Zhao Y Y, 2015. Impact of storm Phailin (1302) over the Bay of Bengal on one snowstorm process in southern Tibetan Plateau [J]. Meteor Mon, 41(9):1079-1085(in Chinese).
- 孟雪峰,孙永刚,姜艳丰,2012. 内蒙古东北部一次致灾大到暴雪天气分析[J]. 气象,38(7):877-883. Meng X F, Sun Y G, Jiang Y F, 2012. Weather analysis on a disastrous heavy snow in northeast of Inner Mongolia on November 20, 2010[J]. Meteor Mon, 38(7):877-883(in Chinese).
- 孙欣,蔡芎宁,陈传雷,等,2011. “070304”东北特大暴雪的分析[J]. 气象,37(7):863-870. Sun X, Cai X N, Chen C L, et al, 2011. Analysis of the 4 March 2007 heavy snowstorm in Northeast China[J]. Meteor Mon, 37(7):863-870(in Chinese).
- 索渺清,丁一汇,2009. 冬半年副热带西南支槽结构和演变特征研究[J]. 大气科学,33(3):425-442. Suo M Q, Ding Y H, 2009. The structures and evolutions of the wintertime southern branch trough in the subtropical westerlies[J]. Chin J Atmos Sci, 33(3):425-442(in Chinese).
- 索渺清,丁一汇,2014. 南支槽与孟加拉湾风暴结合对一次高原暴雪过程的影响[J]. 气象,40(9):1033-1047. Suo M Q, Ding Y H, 2014. A case study on the effect of southern branch trough in the subtropical westerlies combined with storm over the Bay of Bengal on Plateau snowstorm[J]. Meteor Mon, 40(9):1033-1047(in Chinese).
- 杨晓霞,吴炜,万明波,等,2012. 山东省两次暴雪天气的对比分析[J]. 气象,38(7):868-876. Yang X X, Wu W, Wan M B, et al, 2012. A comparative analysis of two snowstorms in Shandong Province[J]. Meteor Mon, 38(7):868-876(in Chinese).
- 姚蓉,叶成志,田莹,等,2012. 2011 年初湖南暴雪过程的成因和数值模拟分析[J]. 气象,38(7):848-857. Yao R, Ye C Z, Tian Y, et al, 2012. The numerical simulation analysis and causes of snowstorm occurring in Hunan Province, early 2011 [J]. Meteor Mon, 38(7):848-857(in Chinese).
- 张腾飞,鲁亚斌,张杰,等,2007. 2000 年以来云南 4 次强降雪过程的对比分析[J]. 应用气象学报,18(1):64-72. Zhang T F, Lu Y B, Zhang J, et al, 2007. Contrast analysis of 4 heavy snow events in Yunnan since 2000[J]. J Appl Meteor Sci, 18(1):64-72(in Chinese).
- 张永莉,范广洲,朱克云,等,2016. 春季南支槽的年代际变化及其与降水、大气环流的关系[J]. 高原气象,35(4):934-945. Zhang Y L, Fan G Z, Zhu K Y, et al, 2016. Interdecadal variation of spring time southern branch trough and its relationship with precipitation and atmospheric circulation[J]. Plateau Meteor, 35(4):934-945(in Chinese).
- Wang J, Zhang M J, Wang S J, et al, 2016. Decrease in snowfall/rain-fall ratio in the Tibetan Plateau from 1961 to 2013[J]. J Geogr Sci, 26(9):1277-1288.