

2018年1月鄂北大暴雪的异常环流形势和水汽输送特征

贺晓露 秦幼文

(湖北省随州市气象局, 随州 441300)

摘要: 利用气象观测资料、NCEP再分析资料、GDAS资料, 结合HYSPLIT模式分析2018年1月3—4日鄂北地区大暴雪的异常环流形势和水汽输送特征。结果表明: 1) 100 hPa极涡向亚洲东北部分裂, 极锋急流位置偏南, 500 hPa乌山的阻塞形势和偏强偏东的东亚大槽, 有利于将强冷空气向我国中东部输送; 700 hPa强盛的西南急流配合850 hPa偏东风辐合, 提供有利的动力、水汽; 地面冷高压势力偏强, 从东路南下并不断补充, 有利于降雪天气长时间的维持。2) 整层水汽通量高值舌从华南沿海伸至长江沿线, 鄂北地区水汽输送强度、水汽辐合偏强; 4条水汽输送路径分别是650 hPa干冷空气在黄海转向从东北路输送水汽, 水汽贡献率排第二; 650~700 hPa气团将孟加拉湾的水汽输送至暴雪区, 水汽贡献率排第一; 500 hPa干冷空气自偏西方向过来, 水汽贡献率最少; 近地层暖湿气团将南海水汽自偏南路径输送至暴雪区, 水汽贡献率排第三。与一般降雪过程比, 增加了偏南的输送路径, 且水汽贡献最多和次多路径的气团水汽含量更高。

关键词: 暴雪, 环流形势, 水汽路径, 水汽贡献率

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.04.007

Atmospheric Circulation and Water Vapor Transport Characteristics of Heavy Snowstorm in Northern Hubei on 3–4 January, 2018

He Xiaolu, Qin Youwen

(Suizhou Meteorological Bureau of Hubei Province, Suizhou 441300)

Abstract: Using meteorological observation data, NCEP data and GDAS data, combined with HYSPLIT model, the atmospheric circulation and water vapor transport characteristics of heavy snowstorm in northern Hubei from 3 to 4 January 2018 were analyzed. The results show that: 1) The 100 hPa polar eddy splits to the northeast of Asia, the position of the polar front jet is southerly, there is Ural Blocking situation at 500 hPa and the East Asian trough is eastern and stronger, it's conducive to conveying strong cold air to the central and eastern part of China; the 700 hPa southwest jet and 850 hPa cold pad provide favourable conditions for dynamic condition, water vapor condition; the surface cold anticyclone is stronger, come from east and constantly replenishing, it's advantageous to keeping snowfall for a long time. 2) The high value of whole layer vapor transportation fluxes extends from south China to the Yangtze River region. Water vapor transport intensity and water vapor convergence are stronger than perennial in northern Hubei. The four water vapor transport routes are 650 hPa dry and cold air in the Yellow Sea to transport water vapor from northeast, with the second contribution rate of water vapor. Water vapor from the Bay of Bengal is transported to snowstorm area by 650–700 hPa air, with the first contribution rate of water vapor. 500 hPa dry and cold air comes from the west, and the contribution rate of water vapor is the least. Near-surface warm and wet air conveys South China Sea vapor from the south to the snowstorm area, with the third contribution rate of water vapor. Compared with the normal snowfall, the transport path to the south is increased, and the water vapor with the first contribution and second contribution is higher.

Keywords: snowstorm, atmospheric circulation, water vapor path, water vapor contribution rate

0 引言

暴雪天气是在多种天气系统的综合作用下产生的, 机理复杂, 其预报是世界性的难题之一^[1]。同时

暴雪天气还会严重影响农业、电力、保险、交通、通讯等行业以及公共安全, 甚至威胁人民群众生命安全, 一直是气象科研和业务部门关注的重点^[2]。随着经济社会发展和城市化进程加快, 开展暴雪成因机理和维持机制等研究, 对提高暴雪预报准确率具有重要科学意义和应用价值^[3]。不少学者对冬季降雪天气过

收稿日期: 2019年8月21日; 修回日期: 2019年12月5日
第一作者: 贺晓露(1988—), Email: 124534651@qq.com

程进行了研究和探讨。李如琦等^[1]对比分析了2010年新疆冷锋暴雪和暖区暴雪的异常环流和水汽特征,张广周等^[4]阐述了干空气侵入对暴雪的影响,张萍萍等^[5]阐述了湖北省干、湿雪形成的主要环境背景差异,龙利民等^[6]研究了温度平流演变对湖北降雪的影响。2018年1月3—4日我国中东部地区出现大范围强降雪天气,崔慧慧等^[7]通过分析此次过程的环流形势,指出过程中高低空耦合激发次级环流圈上升支,为暴雪发生发展提供了强烈的上升运动,童金等^[8]对比发现2018年1月的两次持续性强降雪过程的极涡位置、阻高和南支槽强度以及低层水汽条件、垂直环流等方面存在差异,李正金等^[9]从温度层结、水汽输送、垂直运动等方面对比发现2018年两次过程“干湿雪”的差异特征。

上述研究对指导冬季暴雪的预报具有重要参考价值。然而,暴雪具有明显的区域性特征,而目前对鄂北的暴雪天气研究,尤其是对暴雪水汽输送特征的研究还比较少,本文通过分析2018年1月3—4日鄂北地区罕见大暴雪天气过程的异常环流形势和水汽输送特征,以期加深对鄂北暴雪天气的认识,为实际预报业务提供一些参考依据,提高暴雪的预报准确率。

1 资料和研究方法

1.1 资料

本文资料包括湖北省89个国家气象站地面观测逐日降水量和积雪深度;NCEP再分析资料(水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间分辨率为24 h);GDAS资料(水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,时间分辨率为3 h)。其中GDAS资料是利用全球资料同化系统将NCEP资料同化所得,包括高度、温度、风场、比湿等气象要素,可作为HYSPLIT模式初始场。日降水量统计时间为08—08时,积雪深度为08时观测值。并选取1981—2010年30年的1月平均值作为1月的历史平均状态,选取2009—2018年10年鄂北冬季的15次一般降雪过程(2009年1月5—7日中到大雪、2010年2月13—15日中雪、12月14—15日中到大雪、2011年1月2—3日小到中雪、1月18—19日小到中雪、2012年1月21—22日小雪、12月26日小到中雪、2013年2月19日中雪、2014年2月6—9日小到中雪、2月18日小到中雪、2015年1月27—29日中到大雪、2月28日中雪、2016年1月31日小到中雪、2017年1月31—2月2日中到大雪、2018年12月27—28日小到中雪)的平均值代表一般降雪过程。(注:鄂北24个国家观测站有一半以上站点出现降雪,且纯雪量在10 mm以下的过程记为一次一般性降雪过程。)

1.2 HYSPLIT 模式简介

HYSPLIT轨迹模式是基于拉格朗日方法开发的轨迹追踪模式,用来模拟计算气团的运动轨迹以及复杂的扩散和沉积。

本文选取随州观测站为起始点,选取600 m、1500 m、3000 m为初始高度,选取2018年1月1—5日每隔6 h后向追踪96 h,最终得到60条轨迹,并对此60条轨迹进行聚类分析。同时选取上述的15次一般性降雪过程中发生在1月的7次过程进行后向追踪和聚类分析。

1.3 水汽输送贡献率

聚类分析后得到的各条水汽通道的贡献率的计算公式如下^[10]:

$$Q = \sum_1^m q_{\text{last}} / \sum_1^n q_{\text{last}}, \quad (1)$$

其中: Q 表示该通道的水汽输送贡献率, q_{last} 表示轨迹上最终位置的比湿, m 表示该通道包括的轨迹数量, n 表示总的轨迹数量。

2 天气实况和灾情

1月2—7日,湖北省自西向东出现低温雨雪天气过程,降雪中心位于鄂北,最强降雪时段为1月3—4日,鄂西北、江汉平原北部、鄂东北西部、鄂西南北部暴雪到大暴雪、局部特大暴雪。其中3日08时—4日08时随州观测站累计雨雪量32.7 mm,积雪深度最大23 cm,单日降雪量和过程积雪深度均突破历史极值。

这次范围大、强度强、持续长的低温雨雪冰冻过程,对道路交通、供水、供电、设施农业、城市绿化、居民生活等领域造成了严重影响:造成市民出行困难,学校停课,部分地区停水停电。常绿植物大面积受灾,农作物、蔬菜及经济林木遭受不同程度冻害,设施大棚及水产养殖受灾较严重。高速路段和站所入口临时封闭,国省道公路交通管制(阻断),客运站班车、及部分公交车停运。据民政局统计,此次降雪过程造成湖北省十堰、宜昌、襄阳、荆州、荆门、孝感、黄冈、恩施、随州、天门等10市(州、直管市)64.66万人受灾,因灾死亡1人,紧急转移安置受灾群众748人,直接经济损失10.69亿元。

3 大暴雪环流形势特征

3.1 100 hPa 环流形势

1981—2010年30年平均的1月100 hPa高度场(图略)呈3个波动,在亚洲北部、北美有两个明显低槽,在欧洲西部有一浅槽,相应的极涡中心表现为偏小型,中心偏向亚洲北部和北美。一般降雪过程中

(图略), 100 hPa高度场也呈3波分布, 3个槽位置分别位于亚洲北部、北美和西欧。而在2018年1月3—4日过程(下文简称“1·3过程”)100 hPa高度场(图略)呈5波型, 欧洲北部有一明显脊区, 这一暖脊挤压极涡, 使极涡分裂成偶极型, 东部极涡向亚洲东北部偏离, 在西西伯利亚—西藏为长波槽区。无论是与1月30年平均对比的距平场还是与一般降雪过程对比的距平场, 二者表现基本一致(图略), “1·3过程”的极锋急流带位置更偏南, 极涡、东亚大槽和北美大槽强度更强, 欧洲北部的浅槽被暖脊代替, 更有利于强冷空气的堆积和南下; 同时在中国西北地区有弱负距平区, 中东部有弱正距平区, 南支槽强度更强, 说明此处位势梯度增大, 槽前西南气流加强, 使高空正涡度平流增强, 更有利于南支槽前的抬升运动。

3.2 500 hPa 环流形势

1981—2010年30年平均的1月500 hPa高度场(图1a)在欧亚大陆呈两槽一脊, 即欧洲东北部海面上向西南倾斜的欧洲浅槽和鄂霍次克海向日本及我国东海倾斜的东亚大槽, 乌拉尔山至青藏高原北部为长波脊。一般降雪过程中(图1c), 500 hPa中高纬也呈

两槽一脊分布, 但槽脊的经向度较大, 形成弱的阻塞形势; 中低纬在高原东部以南是宽广的南支槽, 南支槽前的暖湿气流与中高纬脊前偏北气流在沿江交汇。而“1·3过程”(图1b)在乌拉尔山地区存在明显的高压脊, 在新疆西北部和西欧沿岸存在切断低压, 形成明显阻塞形势, 有利于冷空气在新疆北部堆积, 东亚大槽后的西北气流将集聚在新疆北部的冷空气向我国中东部输送与孟加拉湾南支槽前的西南暖湿气流在黄淮—江南一带交汇, 造成此次大范围雨雪天气。与1月的30年平均相比(图1b), “1·3过程”在乌拉尔山地区有明显的正距平中心, 在新疆西北部和西欧沿岸存在负距平中心, 阻塞形势明显, 同时在孟加拉湾为广阔的弱负距平区, 形成宽广的南支槽。这种形势有利于冷暖空气的在黄淮—江南交汇形成动力抬升。与一般降雪过程相比(图1d), 二者在孟加拉湾附近都存在南支浅槽, 强度相差不大, 在中高纬都形成了阻塞形势, 但“1·3过程”阻塞形势更明显, 同时“1·3过程”在日本以东有明显的负距平中心, 说明东亚大槽强度更强, 位置更偏东。这种形势更有利于冷空气的堆积和向南爆发, 更强的冷空气势力使得黄淮—江南的锋区更强, 上升运动更明显。

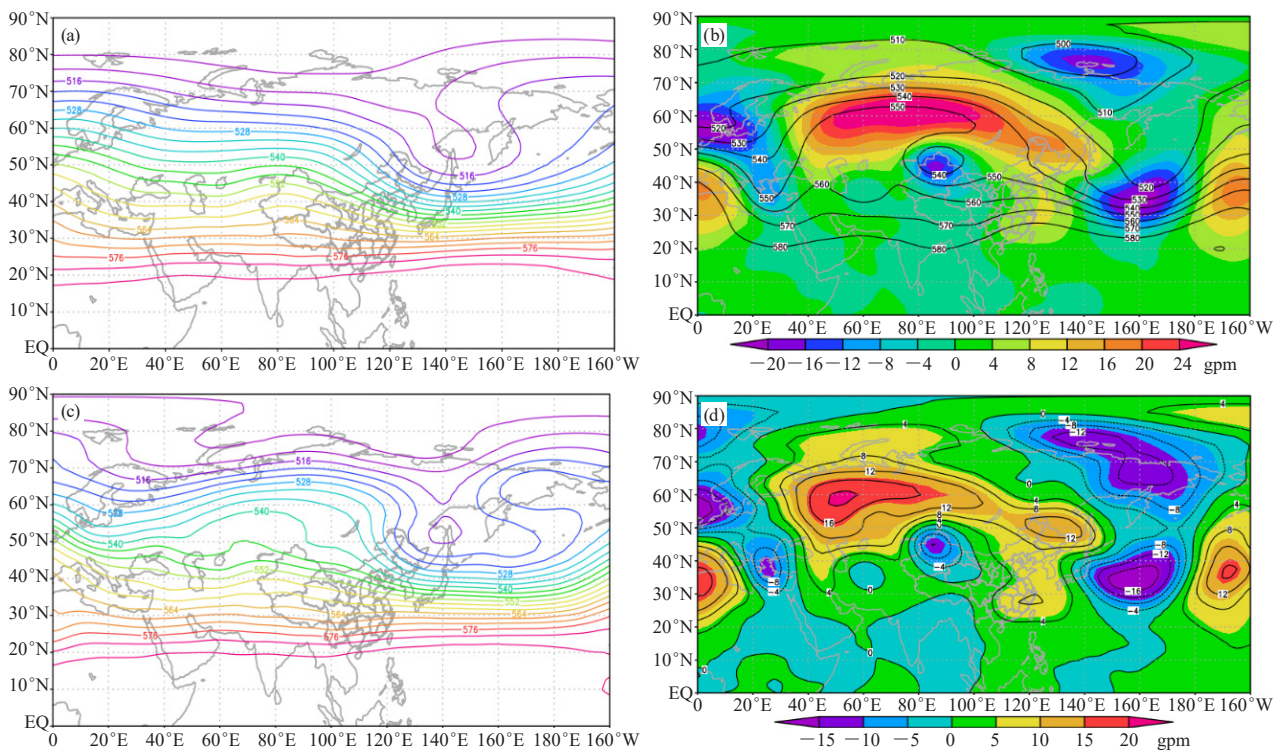


图1 1981—2010年500 hPa 1月平均高度场(a)、2018年1月3—4日500 hPa高度场及距平(阴影, b)、一般降雪过程500 hPa平均高度场(c), 以及1月3—4日与一般降雪过程的500 hPa高度场距平(阴影, d)

Fig. 1 500 hPa average height of January from 1981 to 2010 (a), 500 hPa height and anomaly (shaded) from 3 to 4 January 2018 (b), 500 hPa height of the ordinary snowfall (c), and 500 hPa height anomaly between 3–4 January and the ordinary snowfall (shaded, d)

3.3 中低层风场

一般降雪过程中(图略), 700 hPa西南急流延伸至湖北北部, 急流核14 m/s, 鄂北处于8 m/s左右的西西南气流中, 有一定的气流辐合; 850 hPa上, 2~4 m/s的弱东北风控制整个湖北, 切变线位于湖南中北部。与之相比, “1·3过程”(图略) 700 hPa西南急流更加强盛, 急流核达18 m/s, 且位置延伸更偏北, 鄂北位于急流左边界, 形成明显的风速辐合与气旋式切变, 同时强盛的西南急流将孟加拉湾和南海的水汽源源不断的向北输送; 从850 hPa风场看, 鄂北处于6~8 m/s的东南气流中, 鄂南处于4~6 m/s的东南气流中, 风速较一般降雪过程更强, 且在湖北中北部形成切变辐合, 辐合位置也更偏北, 同时较强的偏东气流将东海南部的的水汽向暴雪区输送。总的来看, “1·3过程”的中低层风场提供了更有利的辐合抬升条件和水汽供应条件。

3.4 地面气压场

1981—2010年30年平均的1月地面气压场中(图2a), 蒙古冷高压中心位于 45° — 50° N的新疆北侧, 中心强度为1036 hPa, 冷高压轴线略呈东北—西南走向, 冷空气从西北路自蒙古到达河套地

区, 再直达长江中下游和江南地区。一般降雪过程中(图2c), 地面气压场与1月的30年平均场分布类似, 但冷高压中心强度达到1045 hPa左右, 前沿冷锋已达华南沿海, 且有副冷锋在河套一带补充南下。“1·3过程”(图2b) 蒙古冷高压中心位于 50° — 55° N, 中心值达1052 hPa, 冷高压轴线呈西北—东南走向, 冷空气南下路径为东路, 即经蒙古到我国东北和华北北部, 冷空气主力东移的同时又折向西南, 经渤海侵入黄海, 再向南到达长江中下游及江南地区, 这种回流形势有利于雨雪天气的出现和维持。与1月的30年平均值相比(图2b), “1·3过程”在 50° — 60° N的蒙古地区有12~16 hPa的正距平中心, 说明冷高压位置偏北, 强度更强, 等压线更密集, 导致冷锋锋区强度也明显偏强。与一般降雪过程相比(图2d), “1·3过程”同样有冷高压位置更北、强度更强的特点; 同时在里海—新疆有10~15 hPa的负距平中心, 我国河套—东北地区则是0~10 hPa的正距平, 说明“1·3过程”的冷空气南下位置更偏东, 是沿东路南下的; 从锋区来看, 二者虽然都有前沿冷锋和副冷锋补充, 但“1·3过程”的前沿冷锋锋区位于在沿江地区, 鄂北位于锋区附近锋面抬升使上升运动进一步加强。

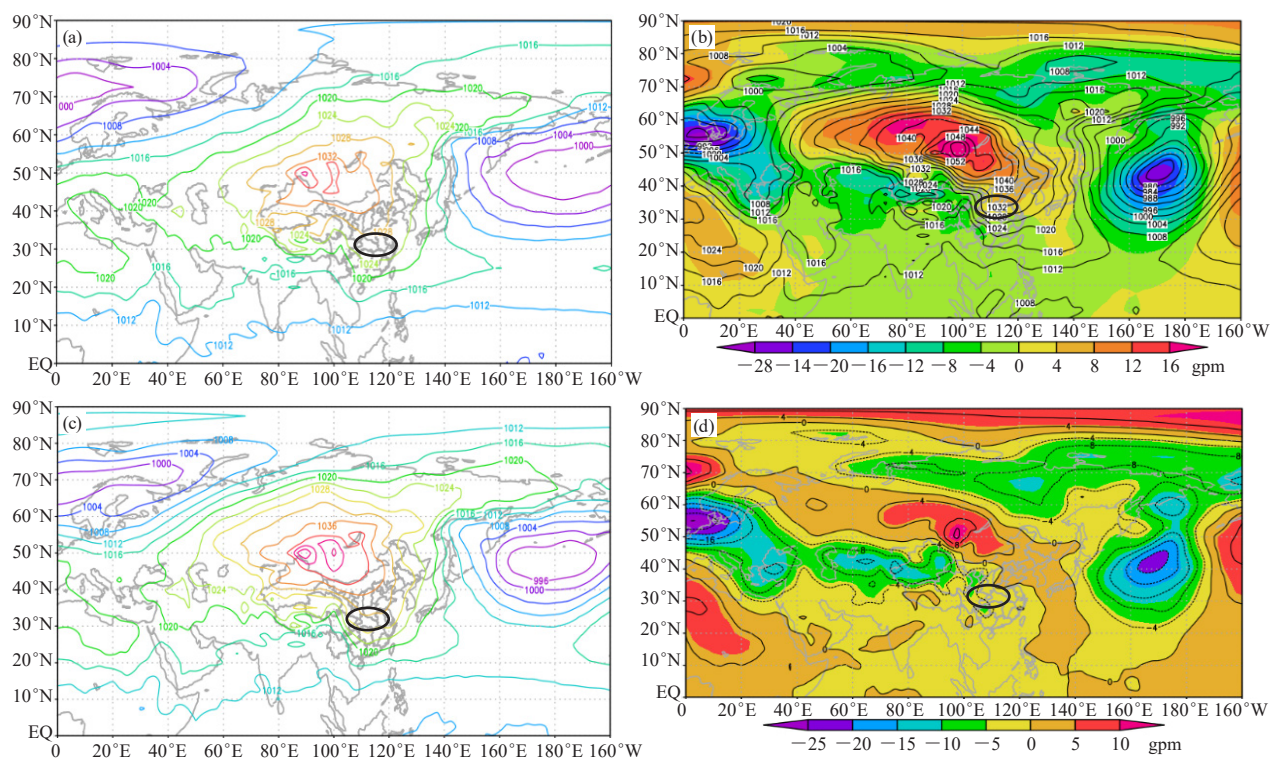


图2 1981—2010年1月平均海平面气压场(a, 单位: hPa)、2018年1月3—4日地面气压场及距平(b, 阴影)、一般降雪过程500 hPa海平面气压场(c)、1月3—4日与一般降雪过程的海平面气压场距平(d, 阴影)

Fig. 2 Average sea-level pressure of January from 1981 to 2010 (a), sea-level pressure and anomaly (shaded) from 3 to 4 January 2018 (b), sea-level pressure of the ordinary snowfall (c), and sea-level pressure anomaly between 3-4 January and the ordinary snowfall (shaded, d)

4 水汽输送特征

4.1 整层水汽通量

水汽输送是暴雪过程的重要条件之一。为了揭示造成此次大暴雪的水汽来源和输送途径,对此次过程的整层水汽通量及其距平进行诊断分析。从整层水汽通量来看(图3a),西南气流和东南气流将水汽自孟加拉湾、南海以及西太平洋分别输送至华南沿海汇合,再通过强盛的西南气流向内陆输送暖湿气流,水汽通量高值舌沿着西南急流从华南沿海伸向长江沿线,暴雪区整层水汽通量值达 $200\sim 250\text{ kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$,而一般降雪过程水汽通量平均值维持在 $100\sim 150\text{ kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$ (图略)。从历史同期距平来看(图3b),整层水汽通量距平在中国南部基本为西南气流,说明此次过程输送的西南暖湿气流较历史同期明显偏强,在整层水汽通量散度场中则表现为明显的负距平,表明整层水汽通量辐合强度偏强,其距平值达 $-5\times 10^{-5}\sim -3\times 10^{-5}\text{ kg}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。

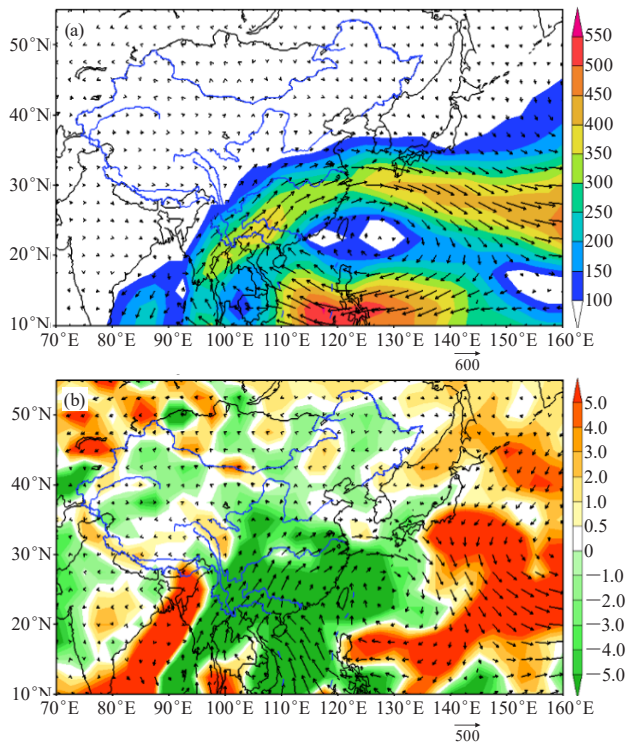


图3 2018年1月3—4日整层水汽通量(a,单位: $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$)、整层水汽通量距平(b,单位: $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$)
Fig. 3 Whole layer water vapor flux (a, unit: $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$), anomaly of whole layer water vapor flux (b, unit: $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$)

4.2 水汽输送的轨迹分析

为进一步定量分析此次大暴雪的水汽输送条件,利用HYSPLIT模式进行后向轨迹追踪,并进行轨迹聚类分析。从空间方差增长率TVSV看(图4a),当聚类

路径小于4条时TVSV迅速增大,因此轨迹最终聚类呈4条路径最适合。图4b是聚类后的4条水汽输送路径,可以看出路径1(东北路径)起源于蒙古国,经华北到达黄淮再转向成东北路径,将黄海的水汽输送至暴雪区,占总轨迹数的57%,是轨迹数最多的一条。路径2(西南路径)起源于印度,经孟加拉湾至云贵向东北将水汽输送至暴雪区,占总轨迹数的20%。路径3(偏西路径)来自欧洲,途经西藏向东输送至暴雪区,占总轨迹数的12%。路径4(偏南路径)起源于我国东南沿海,经高压外围的偏南气流将南海的水汽经粤湘等地向北输送至暴雪区,占总轨迹数的12%。

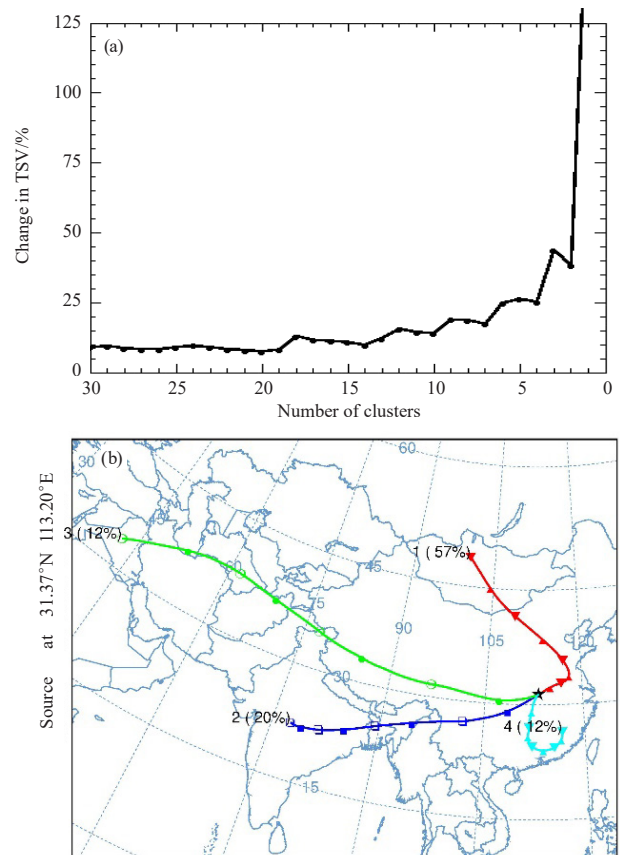


图4 轨迹聚类空间方差增长率(a,单位: %)和水汽输送路径分布(b)
Fig. 4 Growth rate of TVSV (a) and distribution of water vapor transport path (b)

分析4条路径输送过程中的比湿变化(图5a)、高度变化(图5b)以及不同路径对应的水汽贡献率(图5c)。结果表明:东北路径的气团来自650 hPa左右的干冷气团,在转向前干冷气团逐渐下降至900 hPa以下的近地层,比湿基本维持在 $1\text{ g}/\text{kg}$ 左右,到过程前36 h,气团在沿海转向,沿海近地层的水汽含量较高,使气团比湿明显增大至 $3\text{ g}/\text{kg}$,此路径的水汽贡献率达32.7%,贡献第二多。西南路径的气团起始于

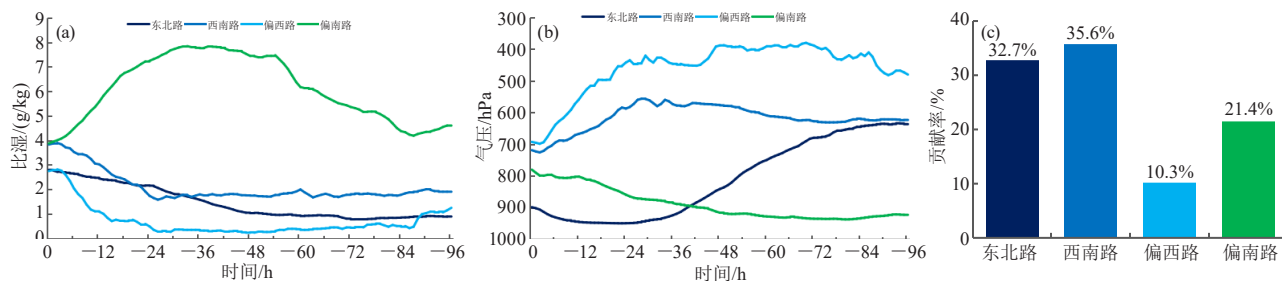


图5 输送路径中水汽变化 (a)、高度变化 (b)、以及不同路径的水汽贡献率 (c)

Fig. 5 Water vapor change (a), height change (b), and water vapor contribution rate (c) in different paths

650 hPa左右的对流层中层, 前期高度和比湿基本维持不变, 到前24 h经过孟加拉湾后, 由于700 hPa强盛的西南急流输送水汽, 气团比湿由2 g/kg增大至4 g/kg, 该路径的水汽贡献率为35.6%, 贡献最多。偏西路径的气团来自500 hPa, 前期高度和比湿基本不变, 到前24 h, 受地形影响, 气团下青藏高原高度下降, 随着高度的下降, 比湿明显增大, 但由于该路径没有明显的水汽源, 是一支明显的干冷空气, 水汽贡献率仅10.3%, 贡献最少。偏南路径的气团在900 hPa左右的近地面层输送, 由于沿海水汽充足, 近地层蒸发明显, 气团的比湿基本维持在5 g/kg以上, 但由于此路径的轨迹数占比少, 水汽贡献率排第三。

5 结论与讨论

本文通过对比1月气候态和近10年一般性降雪过程, 分析出2018年1月3—4日鄂北地区罕见大暴雪天气过程的异常环流形势和水汽输送特征, 得到以下几点结论。

1) 与1月的30年平均态相比, “1·3过程”极涡向亚洲分裂、中高纬东亚大槽的加深以及500 hPa阻塞形势的建立更利于冷空气的堆积和南下, 同时中低纬南支槽强度偏强, 冷暖对峙更加明显, 在沿江一带形成明显的锋区和动力抬升区。

2) 与一般降雪过程相比, “1·3过程”极涡向亚洲分裂、中高纬东亚大槽的强度偏强、位置偏北, 阻塞形势更明显, 同时在700 hPa西南急流强度更强, 位置更偏北, 850 hPa东风风速更大, 切变线位置北抬至湖北中北部, 地面冷高压偏北偏强, 路径偏东, 导致冷锋锋区偏北偏强, 上下层配置均更有利于沿江一带的动力抬升和水汽供应。

3) “1·3过程”整层水汽通量高值舌从华南沿海伸至长江沿线, 鄂北地区水汽输送强度、水汽辐合都

较常年偏强。水汽输送主要是4条路径: 一是650 hPa的干冷空气在黄海转向后从东北路输送水汽, 其水汽贡献率排第二; 二是650~700 hPa的气团将孟加拉湾的水汽自西南输送至暴雪区, 其水汽贡献率排第一; 三是500 hPa的干冷空气自偏西方向过来, 由于缺乏水汽源地, 水汽贡献率最少; 四是近地层的暖湿气团将南海的水汽自偏南路径输送至暴雪区, 但由于轨迹占比少, 水汽贡献率排第三。与一般降雪过程比, 增加了偏南路径, 且水汽贡献最多和次多路径的气团水汽含量更多, 水汽输送更强。

本文仅选取了2018年1月3—4日这一次过程进行研究和分析, 是否所有类似的强降雪过程均具有这样的环流形势异常和水汽输送特征, 此次分析结论对强降雪过程预报是否具有普遍参考意义, 这些问题还需进一步通过分析更多的个例来研究和验证。

参考文献

- [1] 李如琦, 唐冶, 肉孜·阿基. 2010年新疆北部暴雪异常的环流和水汽特征分析. 高原气象, 2015, 34(1): 155-162.
- [2] 白媛, 张建松, 王静爱. 基于灾害系统的中国南北方雪灾对比研究: 以2008年南方冰冻雨雪灾害和2009年北方暴雪灾害为例. 灾害学, 2011, 26(1): 14-19.
- [3] 赵思雄, 孙建华. 近年来灾害天气机理和预测研究的进展. 大气科学, 2013, 37(2): 297-312.
- [4] 张广周, 沈桐立, 李戈. 干空气侵入对河南省2006年1月18—19日暴雪形成的作用. 气象与环境科学, 2007, 30(2): 43-47.
- [5] 张萍萍, 吴翠红, 祁海霞, 等. 2013年湖北省两次降雪过程对比分析. 气象, 2015, 41(4): 418-426.
- [6] 龙利民, 黄治勇, 苏磊, 等. 2008年初湖北省低温雨雪冰冻天气温度平流配置分析. 大气科学学报, 2010, 33(6): 745-750.
- [7] 崔慧慧, 苏爱芳. 2018年初豫南特大暴雪过程的特征与成因分析. 暴雨灾害, 2019, 38(2): 169-176.
- [8] 童金, 叶金印, 魏凌翔. 江淮地区两次持续性强降雪过程大气环流及低频特征. 高原气象, 2019, 38(4): 845-855.
- [9] 李正金. 南京2018年1月两次强降雪过程的对比分析. 中国气象学会第35届中国气象学会年会S1 灾害天气监测、分析与预报. 中国气象学会: 中国气象学会, 2018: 7.
- [10] Brimelow J C, Reuter G W. Transport of atmospheric moisture during three extreme rainfall events over the Mackenzie River basin. Journal of Hydrometeorology, 2005, 6(4): 423-440.