

2008年初南疆持续性降雪天气过程 水汽条件分析

张俊岚 刘勇达 杨 柳 罗 继

(新疆阿克苏地区气象局, 843000)

提 要: 应用2008年NCEP/NCAR全球再分析逐日网格点资料($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)和1970—2008年1—2月南疆29个气象站的日降雪量资料,分析了2008年初南疆盆地持续性降雪天气的大气环流形势演变、水汽源地、水汽输送以及低空急流对水汽输送和集中的作用。结果表明,可降水量场与水汽通量矢量场的分布不一致,水汽源地中以北海的水汽输送贡献最大;水汽输送通过西方和东方输送路径,在中层和中低层进行,西方和东方路径均在青藏高原西侧转为西南气流的水汽输送带,700hPa上的水汽输送较500hPa上强;低空西北和西南急流的建立和维持,对水汽长距离的输送至南疆发挥了重要作用。

关键词: 水汽源地 水汽输送路径 低空急流

Analyses of Water Vapor Condition for Persistent Snowfall over the Southern Xinjiang Basin in Early 2008

Zhang Junlan Liu Yongda Yang Liu Luo Ji

(Aksu Meteorological Bureau of Xinjiang, Aksu 843000)

Abstract: Using the daily NCEP/NCAR reanalysis data ($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ lat/lon) in 2008 and daily rainfall data of 29 meteorological stations from January to February between 1970 and 2008 in the southern Xinjiang Basin, the variation of atmospheric circulation circumstances, water vapor source, water vapor transfer and the effect of low level jet were analyzed. The results showed that the distribution of the precipitable water field was different from the vector field of water vapor flux. In the water vapor transfer, the contribution of Beihai was the most, with water vapor transfer in middle and lower layers by west and east routes, respectively. Both water vapor transfers of the west route and east route were changed into that of southwest airflows in the westside of the Tibetan Plateau, with vapor transfer in 700 hPa obviously more than 500 hPa, thus the low level jet plays an important role in the long distance transportation of water vapor to the southern Xinjiang Basin.

Key Words: water vapor source water vapor transfer route low level jet

引 言

新疆盆地地处欧亚大陆腹地,三面环山、远离海洋,属于大陆干旱、半干旱气候区,自然降水少,水资源几乎完全靠自然降水补充。冬季降雪可增加山区积雪,但降雪明显偏多时易造成雪灾。许多气象学者研究过新疆水汽输送及源地的气候特征和变化的问题,如戴新刚等^[1]对近十几年新疆水汽源地变化的研究提出,新疆的水汽主要来自其以西的湖泊或海洋;史玉光等^[2]通过研究新疆水汽输送的特征及变化,指出新疆地区对流层中层(700~500hPa)水汽输送量最大;杨莲梅等^[3]总结认为冬季中纬度西风和低纬度的阿拉伯海水汽可影响新疆,700hPa 与 850hPa 的水汽输送相当,500hPa 的水汽输送也不可忽视。近年来,关于暴雪天气的水汽特征、不稳定条件等方面,许多气象学者进行了许多分析研究^[4-8]。本文借鉴以上研究成果,从新疆盆地的雪灾天气的典型个例入手,分析探讨 2008 年初新疆盆地雪灾天气的环流特征、水汽源地和水汽输送场的变化以及低空急流对阴雪天气的贡献等,揭示新疆雪灾天气水汽条件的主要特征,为降雪天气的预报提供

思路,提高南疆冬季阴雪天气的预报准确率,更好地防御雪灾,为当地经济建设服务。

1 资料来源及方法

主要所用的气象要素资料为南疆地区 29 个气象测站 1970—2008 年 1 月 8 日至 2 月 20 日逐日降水量;所用分析场则是 2008 年 1—2 月美国 NCEP/NCAR 逐日 4 次位势高度、纬向风、经向风、比湿、气柱可降水量、地面气压等再分析网格资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,分析范围为 $10^{\circ}\text{W} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 、 $0^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{N}$,垂直方向位势高度和风从 1000hPa 到 100hPa 共 12 层、比湿为 8 层。

2 降雪概况

图 1a 资料显示,2008 年 1 月 8 日至 2 月 2 日南疆 29 站的降雪量、降雪日数均为近 40 年来的最大值,降雪量和降雪持续日数突破了历史同期纪录。2008 年 1 月底的卫星遥感积雪图显示,南疆地区形成的积雪覆盖面积、积雪深度均达到了 20 世纪 80 年代有卫星遥感监测数据以来的极大值,盆地内出现大范围的稳定积雪,积雪深度 5~46cm。

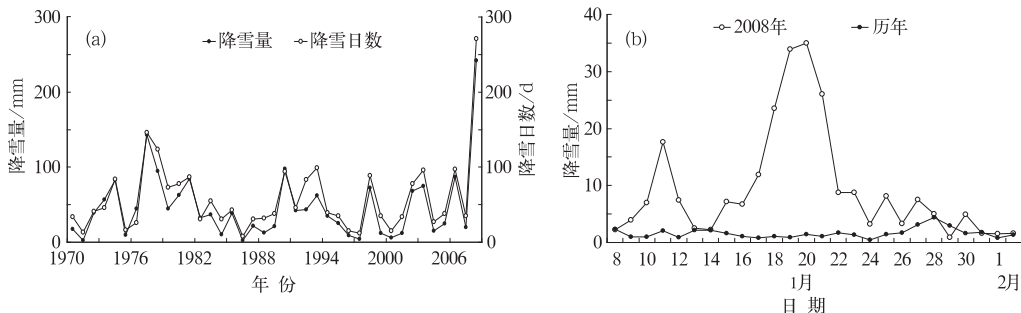
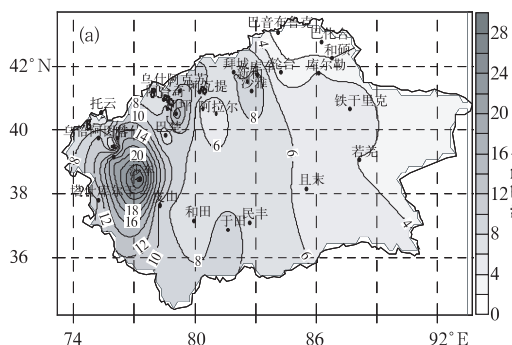


图 1 南疆 29 站 1970—2008 年 1 月 8 日至 2 月 2 日降雪量、降雪日数变化(a)及同期日降雪量的对比(b)

图 1b 中可以看出 2008 年 1 月 8 日至 2 月 2 日南疆降雪天气的日降雪量明显多于历年同期值,最强的降雪天气出现在 18—22 日,根据环流形势演变和降雪实况将此次阴雪天气分为 4 个阶段:1 月 8—17 日(第一阶段)、18—22 日(第二阶段为主要降雪阶段)、23—28 日(第三阶段)、29 日—2 月 2 日(第四阶段)。

在此次天气过程的降雪分布图(图 2a)



上,降雪大值区位于南疆西部的喀什和克州地区,最大值出现在喀什的莎车县,降雪量达 29.5mm,阿克苏的柯坪县为次大值中心;降雪距平百分率的分布呈现西部最多、中部地区较多、北部和南部较少的布局(图 2b),降雪量的距平百分率均 >0 ,最大值区位于南疆偏西地区,为 249%~2581%,比历年偏多 2~25 倍之多,其余地区偏多 1~5 倍。

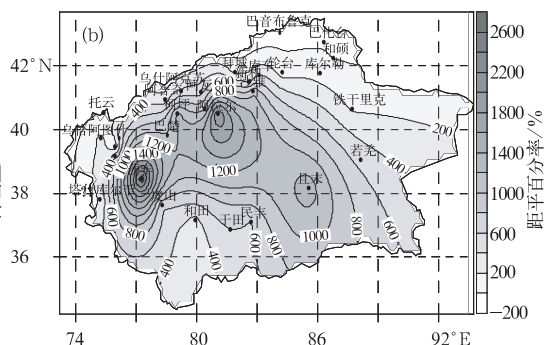


图 2 2008 年 1 月 8 日至 2 月 2 日南疆降雪量(a)、降雪距平百分率(b)分布

此次极端气候事件虽然对南疆冬小麦的安全越冬、农田土壤保墒和增加春季河流来水量比较有利,但给南疆地区的设施农业、畜牧业、交通运输等造成严重损失。由于降雪大、持续时间长,草场被雪覆盖,牲畜采食困难,到牧区的公路大部被阻,给牧业生产和民众生活带来极大困难;温室蔬菜、花卉等拱棚设施被雪压垮;雪灾致使当地的公路、航班、火车交通多次阻断,路面结冰现象严重,交通事故明显增多。据统计,此次长时间的降雪天气造成南疆地区的总经济损失在 6500~7000 万元,开展对此次南疆雪灾天气的分析研究对于应对气候变化和防灾减灾具有重要的现实意义。

3 大尺度环流形势演变特征

此次持续阴雪天气中,500hPa 环流形势稳定,呈西高东低分布,亚欧高、低纬反位相

特征明显,乌拉尔山到贝加尔湖阻塞高压稳定,鄂霍次克海低涡稳定,西太平洋副热带高压偏北,中亚到西亚地区的低槽或低涡稳定活跃,使暖湿空气沿青藏高原西侧不断输送到南疆。开始阶段,500hPa 欧亚上空呈两槽一脊型,环流经向度逐渐增大,地中海以西的高压脊向北发展成为欧洲阻塞高压,南支纬向锋区强、波动活跃,里咸海地区的低涡稳定,伊朗高原长波槽建立并维持,青藏高原西侧的西南气流强盛,翻越帕米尔和青藏高原,将大量的暖湿空气输送到南疆地区(图 3a)。在降雪主要时段,欧亚上空转为一槽一脊的形势,乌拉尔山阻塞高压建立,并且稳定维持,阻塞高压脊前的偏北气流不断引导冷空气南下,贝加尔湖到巴尔克什湖的长波槽不断南压,南支系统依然活跃,中亚低槽稳定,青藏高原西侧暖湿空气活动仍较频繁,南部暖湿气流与不断南下的冷空气在南疆地区交汇,副热带高压减弱南退(图 3b)。降雪的中

后期,乌拉尔山阻塞高压减弱崩溃,贝加尔湖低槽东移,副热带高压再次向北发展,中亚长波槽再度活跃,低槽前沿和外围的西南气流携带暖湿空气向南疆输送,北下的冷空气与南上的暖湿空气在南疆上空形成风场切变辐合带,造成南疆持续性降雪天气(图 3c)。在

降雪后期,欧亚环流形势转为两脊一槽型,欧洲沿岸高压脊发展,东欧槽加深,中亚地区上空仅有弱波动,副热带高压南移,青藏高原西侧的西南气流转为弱偏西气流,向南疆的暖湿空气输送带切断,降雪明显减弱(图 3d)。

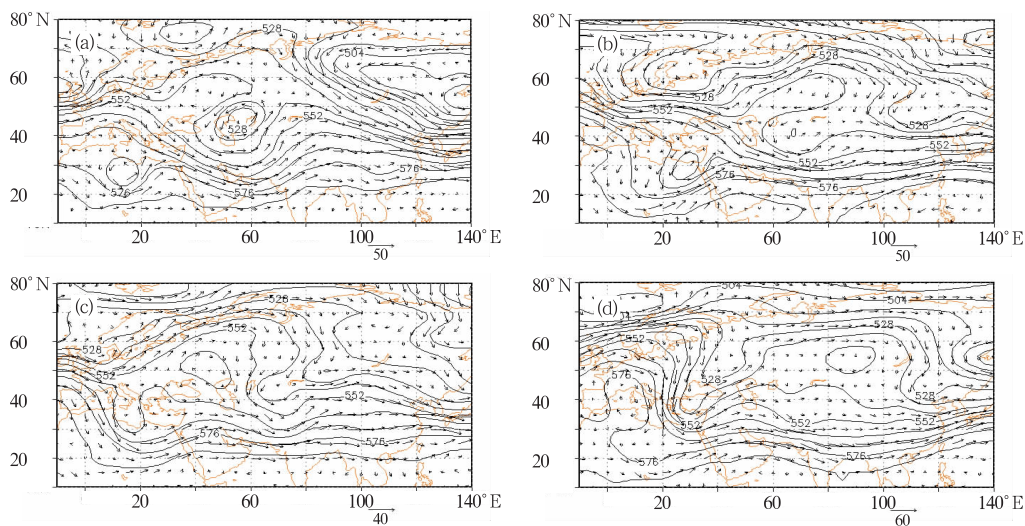


图 3 2008 年 1 月 08 时 500hPa 欧亚环流形势

(a)1月8日;(b)1月18日;(c)1月23日;(d)1月29日

4 水汽条件

4.1 水汽源地

戴新刚等^[1]认为可降水量和水汽输送场均有利于新疆降水,参照文献^[1]中的方法,本次天气南疆的水汽源地也通过洋面上可降水量场和水汽输送场的分布来识别。在 $0^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 、 $10^{\circ}\text{W}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 地面到 300hPa 可降水量场(图 4)上,南疆上空大气的可降水量均较小,大值区主要分布在太平洋、印度洋、大西洋的洋面上。在降雪初期(图 4a),太平洋西海岸、南海、孟加拉湾、阿拉伯海的可降水量相对较高($45\sim 55\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$),地中海的可降水量也较高,达到了 $20\sim 25\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,孟

加拉湾南部是可降水量的极大值区域,最大可降水量为 $55\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,位于英吉利海峡北部、大不列颠岛和欧洲大陆之间的北海附近的可降水量为 $15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右。在降雪的主要阶段(图 4b),南海、孟加拉湾、阿拉伯海、地中海及地中海西北部的大西洋海域可降水量相对较高,最高值分别达到了 $55\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $20\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。在降雪的第三阶段(图 4c),可降水量大值区仍位于南海、孟加拉湾、阿拉伯海、地中海和北海海域,但可降水量值较第二阶段略有增大,北海的可降水量达 $25\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。在降雪的第四阶段(图 4d),地中海及西北部海域、南海区域的可降水量变化较小,其他海域的可降水量均在减小。

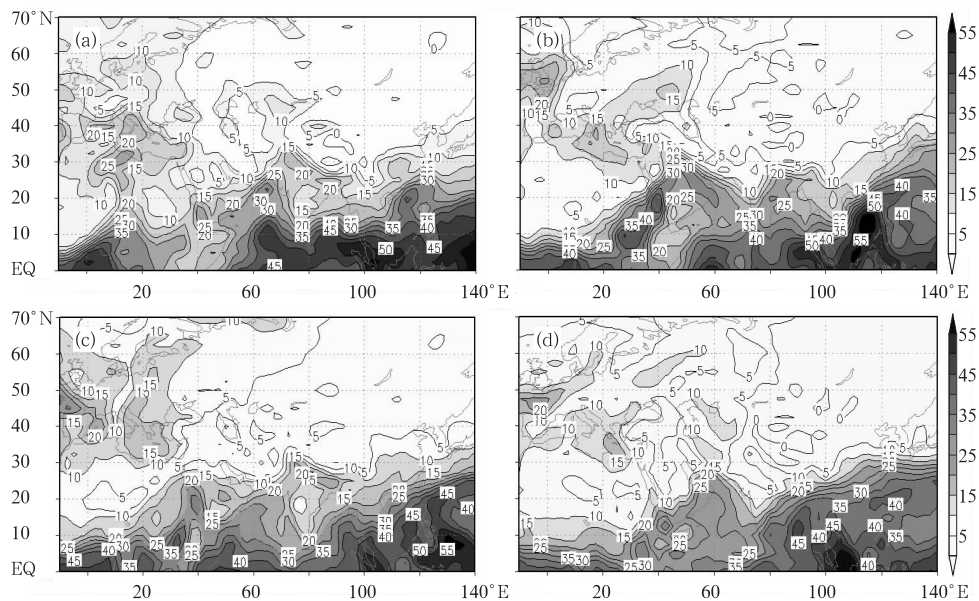


图 4 2008 年初地面至 300hPa 可降水量场变化(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)

(a)1 月 8 日; (b)1 月 18 日; (c)1 月 23 日; (d)2 月 1 日

结合 700hPa 水汽通量矢量场(图 5),以上可降水量的大值区中,虽然太平洋、印度洋、大西洋三大洋距离南疆较远,但在可降水量的大值区到南海、孟加拉湾、阿拉伯海、地中海以及北海的五海域上空均有不同程度的水汽向南疆地区输送,因此将这五海域作为此次天气中的水汽源地,以下重点分析 5 个水汽源地的输送路径和水汽供应情况。

4.2 水汽输送路径及水汽源地的供应分析

水汽输送通量矢量可以分解为纬向水汽通量和经向水汽通量,并规定由西向东、由南向北输送为正,反之为负^[9],本文用水汽输送流线跟踪法确定水汽输送的路径和通道。图 5、图 6 分别为 700hPa、500hPa 上水汽通量矢量和水汽输送方向示意图。从图中可以看到,在降雪初期(图 5a、图 6a),在 700hPa 上,北海—地中海—伊朗—中亚南部—南疆为西方路径 I 的水汽输送通道,水汽在北海高中心达 $60\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,500hPa 也有同样的

水汽接力输送路径,但水汽输送强度较弱;700hPa 孟加拉湾—阿拉伯海—伊朗—中亚—南疆存在东方路径的水汽通道,大值区位于阿拉伯海和孟加拉湾地区,中心分别为 $90\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-60\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;500hPa 上也有此东方水汽输送路径,但强度明显小于 700hPa(图 6a);同时 700hPa 上在北海—地中海—地中海南部—伊朗—中亚—南疆还存在西方路径 II 的水汽通道,此通道上非洲北部地区的水汽正输送达 $120\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,500hPa 上也有此东方路径,但强度也明显偏弱。可看出此阶段中,水汽输送的西方路径 I、II 和东方路径的西南气流最后均经过青藏高原西侧,汇合形成强大的西南气流水汽输送带将西部和南部的暖湿空气输送到南疆上空。此时的水汽源地中水汽供应最大的是阿拉伯海,其次是孟加拉湾地区,北海的洋面虽然可降水量并非最大,但水汽输送的贡献相对也较大。

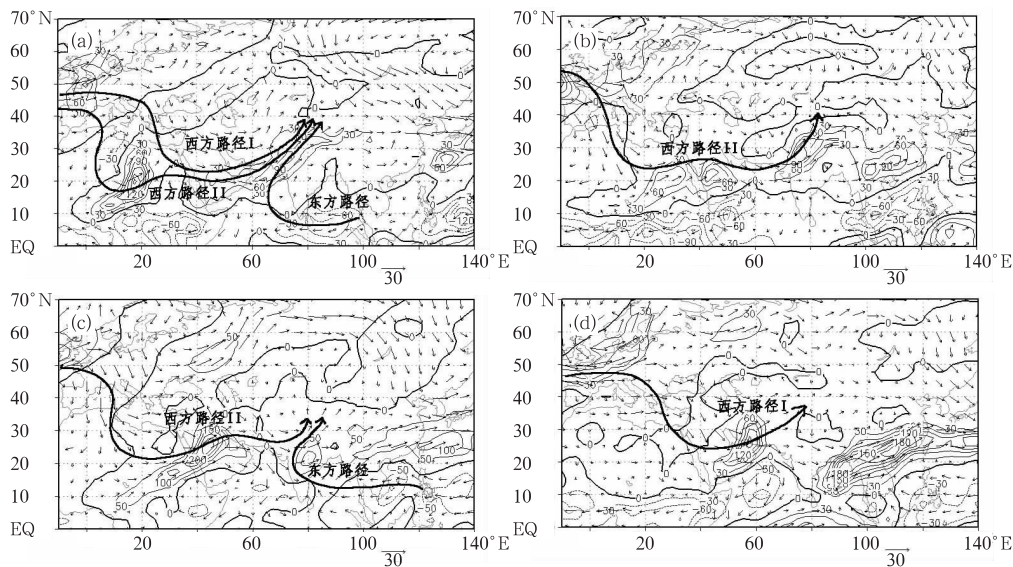


图 5 700hPa 水汽通量矢量场及水汽输送路径示意(水汽通量单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a)1月8日; (b)1月18日; (c)1月23日; (d)2月1日

(实线区域为水汽通量正矢区,虚线区域为水汽通量负矢区,箭头为水汽输送方向)

在降雪的主要阶段(图 5b、图 6b),在 700hPa 上,从北海上空、经地中海南部、阿拉伯高原到伊朗、中亚南部、再到南疆,是一条清晰的西方路径 II 水汽输送通道,根据水汽输送流线跟踪法可以发现,北海正处在这条水汽输送带的源头,其水汽通量矢量中心达

$120\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,500hPa 上也有同样的水汽输送路径,但输送强度有所减弱。此阶段中,位于欧洲大陆西海岸的北海水汽源地的水汽输送最强,西方路径 II 携带北海附近的暖湿空气接力输送到南疆地区,为强降雪提供有利的水汽条件。

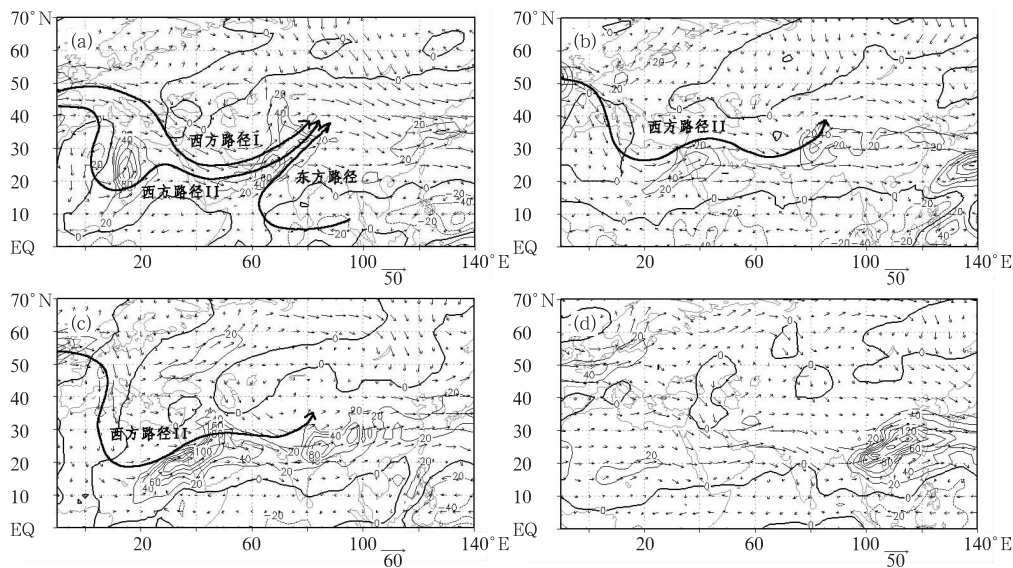


图 6 500hPa 水汽通量矢量场及水汽输送路径示意

(a)1月8日; (b)1月18日; (c)1月23日; (d)2月1日

在降雪第三阶段(图 5c、图 6c),在 700hPa 上,西方路径 II 和东方路径的水汽输送分别在北海和南海地区中心达 $100\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-50\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,在阿拉伯高原和印度半岛地区的水汽通道中心分别也达到了 $250\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $100\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,这两条水汽路径均在青藏高原西侧转为西南气流输送带,在较强的水汽输送下,携带北海和南海的暖湿空气到达南疆,为阴雪维持提供源源不断的水汽。此时在 500hPa 仅存在西方路径 II,其水汽输送强度也小于 700hPa,可看出此阶段北海和南海为水汽源地中水汽输送的主要贡献者。

在降雪的最后阶段(图 5d、图 6d),700hPa 上仅存在西方路径 I 的水汽输送通道,在阿拉伯海地区水汽输送最强,最大值为 $150\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,北海附近的水汽输送强度达到 $60\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,此时 700hPa 上到达青藏高原西侧的西南气流输送带强度明显减弱,输送到南疆的水汽也大大减少,500hPa 上自西向南疆输送水汽的通道偏南,未进入南疆,不存在水汽输送接力过程,降雪天气趋于结束。此阶段阿拉伯海水汽源地的水汽输送作用显著,北海次之,其他海域水汽贡献较小。

在降雪的不同阶段,西方和东方路径的水汽输送均在青藏高原西侧转为西南气流水汽输送带,这是南疆持续阴雪天气的关键水汽条件。南海、孟加拉湾、阿拉伯海、地中海和北海五个水汽源地的水汽输送在不同降雪阶段的贡献不同,北海的水汽贡献最大,水汽输送贯穿降雪天气的全过程,在主要降水时段水汽供应高达 $120\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,与新疆的水汽主要来自其以西的湖泊或海洋^[1]的结论吻合,其次是印度洋海域上的阿拉伯海、孟加拉湾、地中海,贡献较小的是南海。此次天气过程中,中低层 700hPa、中层 500hPa 均存在水汽输送,验证了张家宝等提出的新疆的

水汽输送主要在中低层输送^[10-11]的结论,通过西方和东方水汽输送通道,水汽在中亚南部—南疆聚集,700hPa 上的水汽输送强度均超过 500hPa 的水汽输送,但 500hPa 上水汽输送也应该重视^[3],这与杨莲梅等的研究结论相一致。

5 低空急流对水汽的输送

本文将 700hPa 上 $\geq 12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速带作为低空急流。低空急流是一种动量、热量和水汽的高度集中带^[12],由于低空急流与 700hPa 全风速极大值中心分布一致,图 7 给出了 700hPa 全风速 $\geq 12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的分布,显示低空急流的变化情况,矩形框为风速向南疆输送水汽的关键区,位于阿拉伯海附近。

通过分析中低层的水汽通量矢量场已知,700hPa 风速为降雪输送了大量的水汽,两种水汽输送路径,最后均经过阿拉伯海附近及偏北地区,在西南气流的作用下将水汽输送到南疆地区,本文仅分析对此次天气水汽输送有贡献的低空急流带,并将阿拉伯海附近作为低空急流输送水汽的关键区。在降雪初期(图 7a),700hPa 上空出现了两条低空急流带,一条为西北急流带,自北海、穿越阿尔卑斯至地中海北部,长达两千余千米,呈西北—东南走向, $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 急流中心位于北海附近;另一条为西南急流带,自地中海南部、经过阿拉伯海北上至中亚西部地区,在阿拉伯半岛出现一个 $>18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速中心,阿拉伯海附近的最大西南风速带 $>15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,西南急流位置略偏西。降雪第二阶段(图 7b),西北和西南急流带仍然存在,但西北急流位置南压,穿越北海和地中海西部到达地中海南部地区, $>18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流中心位于撒哈拉沙漠上空,西南急流风速中心东移到阿拉伯半岛、阿拉伯海、喜马拉雅山一线,该急流带的南、北两侧风速梯度较大,

$>18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 中心风速位于阿拉伯海附近,阿拉伯海的西南急流明显增强;第三阶段(图7c),700hPa 上空,西北急流有些北抬, $>18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流中心位于地中海西部,而西南急流自撒哈拉沙漠中部、红海到阿拉伯半岛一线, $>27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流中心位于红海地

区,阿拉伯海附近转为西北风带;降雪第四阶段(图7d), $>27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流中心减弱东移到阿拉伯半岛,西南急流主要位于阿拉伯半岛附近,西北急流明显减弱,偏北风速带已转为西南急流。

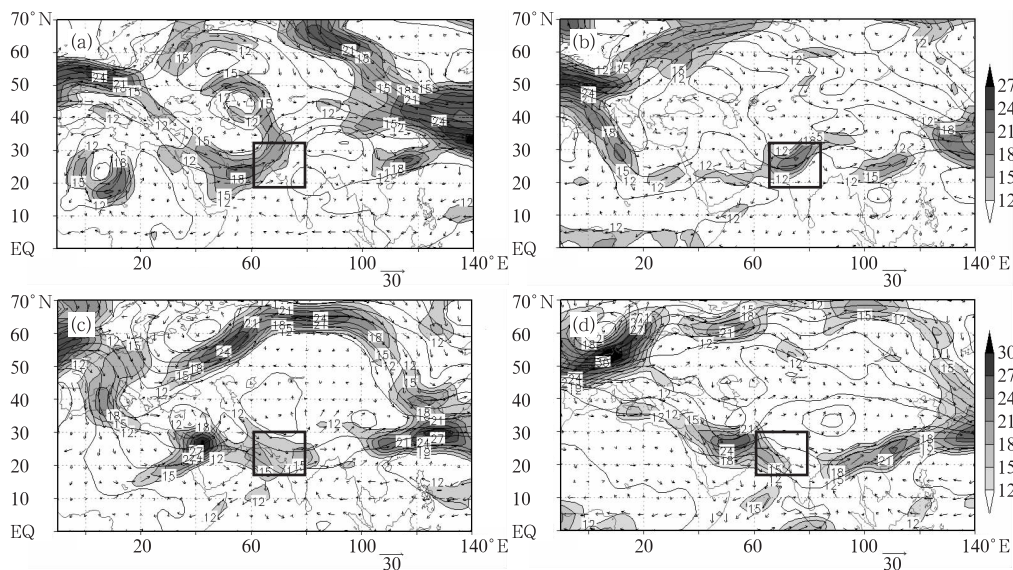


图7 700hPa 低空急流轴的变化

(a)1月8日;(b)1月18日;(c)1月23日;(d)2月1日

(实线为等高线;阴影区为风速 $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域;矩形框为水汽输送关键区)

另外,需要说明的是,南疆三面山脉很高,平均在3500m以上,青藏高原的藏西、藏北高度达4000m以上。此次天气中青藏高原西侧的西南急流水汽输送带会在高原南坡形成降雪失掉部分水汽,但西南急流水汽输送带翻越了青藏高原,可携带大量水汽进入南疆,位于高原最西部的狮泉河气象站的风场资料能说明这个问题,狮泉河气象站海拔4279.3m,仅有地面观测资料,其风资料显示,自1月13日起,断续存在 $10\sim 18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南风,其中24日17时西南风速达到 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明此区域内在700~600hPa高度上有水汽输送带从青藏高原以南沿西南急流带北翻进入南疆,其水汽由中低层输入南

疆,对这次南疆持续降雪起着重要的作用。

由此可见,在此次雪灾天气过程中,低空急流的建立和维持对水汽在南疆集中起到了重要作用,特别阿拉伯海附近西南急流的增强导致喜马拉雅山的水汽通量明显增大,700hPa 低空急流起了关键作用。

6 结语

(1) 1月8日至2月2日,南疆盆地的雪灾天气过程影响范围广、强度大、持续时间长,创造了降雪量最多和持续时间最长的历史纪录,对南疆设施农业、畜牧业、交通运输影响较重,南疆五地州不同程度受灾,为历史

罕见。

(2) 分析发现,南海、孟加拉湾、阿拉伯海、地中海和北海为此次天气的水汽源地,但可降水量场与水汽通量矢量场的分布不太一致,反映在 5 个海域对南疆水汽输送的贡献不同,北海的水汽贡献最大,其次是阿拉伯海、孟加拉湾、地中海,贡献较小的是南海。

(3) 此次天气的水汽输送主要通过西方和东方水汽输送路径、在对流层的中层和中低层进行,700hPa 上的水汽输送较 500hPa 上强。水汽输送的西方和东方路径均在青藏高原西侧转为西南气流水汽输送带,将暖湿空气源源不断地输送到南疆地区,这是南疆持续阴雪天气的关键水汽条件。

(4) 就本次过程而言,低空急流与阴雪天气关系密切,低空西北和西南急流在西方和东方的水汽输送通道上,为南疆输送了充沛的水汽,低空急流的建立和维持,对于水汽长距离的输送、水汽输送的增加、水汽的辐合以及水汽在南疆聚集发挥了重要作用。

参考文献

- [1] 戴新刚,李维京,马柱国. 近十几年新疆水汽源地变化特征[J]. 自然科学进展,2006,16(12):1651-1656.
- [2] 史玉光,孙照渤. 新疆水汽输送的气候特征及其变化[J]. 高原气象,2008,27(2):310-319.
- [3] 杨莲梅,杨涛,贾丽红,等. 新疆大一暴雪气候特征及其水汽分析[J]. 冰川冻土,2005,27(3):389-395.
- [4] 刘建军,程麟生. “97. 12”高原暴雪过程中尺度热量和水汽收支诊断[J]. 气象,2002,28(6):16-22.
- [5] 盛春岩,杨晓霞. 一次罕见的山东暴雪天气的对称不稳定分析[J]. 气象,2002,28(3):33-37.
- [6] 宫德吉,李彰俊. 低空急流与内蒙古的大(暴)雪[J]. 气象,2002,27(12):3-7.
- [7] 王东勇,刘勇,周昆. 2004 年末黄淮暴雪的特点分析和数值模拟[J]. 气象,2006,32(1):30-35.
- [8] 康志明,罗金秀,郭文华,等. 2005 年 10 月青藏高原特大暴雪成因分析[J]. 气象,2007,33(8):60-67.
- [9] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法(第三版)[M]. 北京:气象出版社,2000:637-642.
- [10] 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,1986:184-217.
- [11] 张家宝,邓子凤. 新疆降水概论[M]. 北京:气象出版社,1987. 276-280.
- [12] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,2005:443-452.

[1] 戴新刚,李维京,马柱国. 近十几年新疆水汽源地变