

文章编号: 2096-1618(2017)增-0029-07

2015年2月拉萨暴雪过程天气背景及成因分析

匡凤雪, 张舒姝, 刘晓明
(都江堰市气象局, 四川 都江堰 611830)

摘要:使用常规观测资料和NCEP($1^{\circ}\times 1^{\circ}$)的每6小时再分析等资料,从天气动力学方面分析了2015年2月拉萨暴雪过程的发生和演变。结果表明:主要的影响天气系统是短波槽、西南暖湿气流和西太副高;沿高原爬升的西南暖湿气流与暴雪区的高层冷空气构成了下暖湿、上干冷的大气不稳定层结;低层辐合、高层辐散加强了上升运动;“下正上负”的 z -螺旋度垂直分布与暴雪有很好的对应关系;从孟加拉湾向北经印度东部至缅甸一带到西藏高原,为主要的水汽通量辐合通道。

关键词:暴雪;西藏;诊断分析;垂直环流;螺旋度

西藏高原(以下简称高原)地处北半球中纬度地带,平均海拔超过4500 m,暴雪是高原地区主要的天气灾害。张小玲等^[1-2]、邓远平^[3]、康志明^[4]等认为暴雪产生和演变的过程中,散度、涡度等物理量的构造及发展起到了不可忽视的作用。已有前人的研究^[5]表明,高原的热力作用对北半球对流层大尺度环流有着重要影响。除此之外,高原暴雪不仅威胁到人民生命和财产的安全,还会使国民经济受到极大的损失。本文侧重于分析西藏拉萨暴雪过程发生时暴雪区上空各种物理量的特性,为运用这些物理量对高原暴雪过程进行实时预报提供有效的、合理的参考资料。

1 资料与方法

1.1 资料概况

文中所用的资料包括2015年2月10-15日:(1)高原38个气象观测站(图1)的MICAPS地面资料和探空资料等常规观测资料;(2)NCEP/NCAR一天4次、水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的26层标准等压面再分析资料。

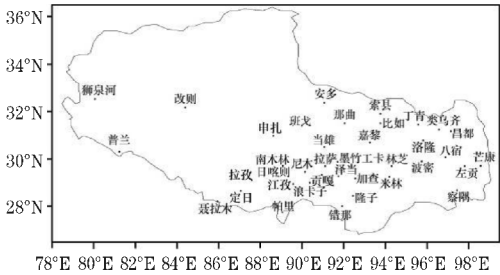


图1 西藏38个气象站分布

1.2 研究方法

利用2015年2月10-15日的MICAPS常规观测

资料从环流形势演变特征和主要影响天气系统等方面进行诊断,并且利用NCEP($1^{\circ}\times 1^{\circ}$)的每6小时再分析资料,计算此次西藏拉萨暴雪过程中散度、涡度、螺旋度等物理量,以探讨高原暴雪形成的动力学和天气学机理。

2 天气背景分析

2.1 极涡

2015年2月上旬北半球500 hPa环流平均图(图2)可以看到,在泰米尔半岛附近的闭合低压中心南伸至 60°N - 70°N 附近。这种环流形势有利于极地冷空气南压和堆积,为前期堆积的冷空气于2月中旬沿着西伯利亚地区南下准备了条件。

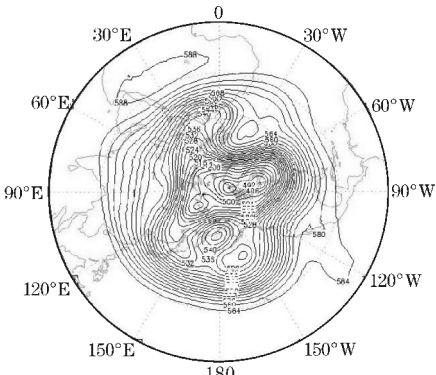


图2 2015年2月上旬500 hPa环流平均图

2.2 厄尔尼诺

定义厄尔尼诺事件为:当Nino3.4区(0.5°N - 5°S , 170°W - 120°W)3个月平均海表温度距平高于 0.5°C 时为厄尔尼诺。由表1可知,2014年9月,厄尔

尼诺指数就达到了定义的厄尔尼诺事件的标准,自2014年9月开始,强度日趋增强。丁一汇等^[6]认为冬季厄尔尼诺发生时,南支槽会变得活跃、副热带高压的

位置会明显偏北偏西,以及因此所带来的强暖湿气流的向北输送。

表1 厄尔尼诺指数

年份	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2014	-0.6	-0.6	-0.5	-0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7	0.7
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	2.5	2.5

3 环流形势和主要天气系统分析

这次拉萨暴雪过程欧亚范围中高纬度地区在2月11日就建立起了两槽一脊的经向环流形势,西西伯利亚长波槽向东移动,带来了冷空气。12日08时,长波槽位于里海以东的地区,冷空气已进入关键区。12日20时,长波槽东移至巴尔喀什湖,冷空气已到达新疆并侵入青藏高原。在1502号台风海高斯和东亚槽的影响下西太平洋副热带高压断裂成两环,东环在110°E以东,较常年明显偏西、偏强。在70°E以西的印度半岛地区,断裂的西太平洋副热带高压的西环呈带状分布。在500 hPa高空图上,副高西环北侧存在活跃的南支槽,孟加拉湾的水汽随槽前西南气流向北输送,进入高原降雪区上空。西欧沿岸一带为阻塞高压和切断低涡的态势,切断低压加强并向南进入地中海,地中海一带的切断低涡向下游进行能量频散,10日20时在阿富汗和巴基斯坦地区生成一短波槽并向东移动,11日20时该低槽进入西藏阿里地区,12日08时该低槽与南支槽能量叠加,在上游频散向下游东传的影响下加强并东移至西藏日喀则地区(图3)。

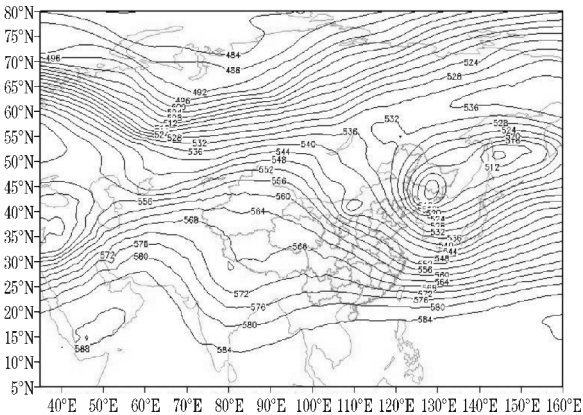


图3 2015年2月12日08时500 hPa形势图

4 暴雪过程动力学诊断

4.1 垂直环流特征

图4给出了12-14日拉萨暴雪过程沿29.5°N、

91.25°E暴雪区域纬向、经向垂直环流,图4(a)中约在84°E-86°E地区上空300 hPa处有一短波低槽,槽前的西南气流配合有小于 $-0.3\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 上升中心位于350 hPa。该上升气流在300 hPa上与高空急流汇合并向东流去,约在88°E-93°E下沉,与91°E附近600 hPa以上的上升气流在中层构成一弱反气旋环流,相伴有一下沉运动区。槽前是斜升的西南气流,暴雪区高层是冷空气,于是就构成了下暖湿、上干冷的大气不稳定层结,为降雪的产生创造了有利的条件。13日08时,随着高空低槽东移,高空槽减弱(图4b),槽前上升气流在92°E以东200 hPa以下层下沉;在拉萨地区的上空500-250 hPa层有较强的上升运动区,使得拉萨地区的日降雪量达到17 mm以上。14日08时,高空槽东移至95°E附近(图4c) 92°E-94°E地区的200 hPa以下层为高空低槽后部偏北下沉气流。随着高空短波槽的东移,偏北气流控制了拉萨上空。

由沿91.25°E的经向垂直环流(图4d)可得,12日08时,在27°N-31°N300 hPa以下层盛行一支上升气流,与26°N-27°N间槽前西南气流合并加强了上升运动,伴随着小于 $-3\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 的极大值中心。强上升气流与300 hPa急流汇合后在28.5°N-30°N地区350 hPa-250 hPa下沉。而28.5°N-30°N地区350 hPa以下层为上升气流,于是在28.5°N-30°N地区(即暴雪区)上空上升气流和下沉气流形成了不稳定层结,这对降水的产生是极为有利的。13日08时,在28°N-31°N地区200 hPa以下层盛行一支强的上升气流(图4e),配合有小于 $-1.2\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 和小于 $-1.5\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 两个大值中心。该强上升气流于32°N以北的300 hPa以下层间下沉并在31°N-33°N地区构成反气旋环流。有一个大于 $0.2\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 的下沉运动中心位于30°N地区550 hPa处,与其上空350 hPa处的上升运动中心构成垂直速度偶。14日08时,偏北气流控制了20°N-35°N300 hPa以上层(图4f)。在27°N-32°N有一支强的上升气流,这支上升气流在300 hPa与高空急流汇合后,在23°N-25°N地区部分气流于200 hPa以下下沉。此刻高空短波槽已经完全东移出拉萨,拉萨上空盛行槽后偏北气流。

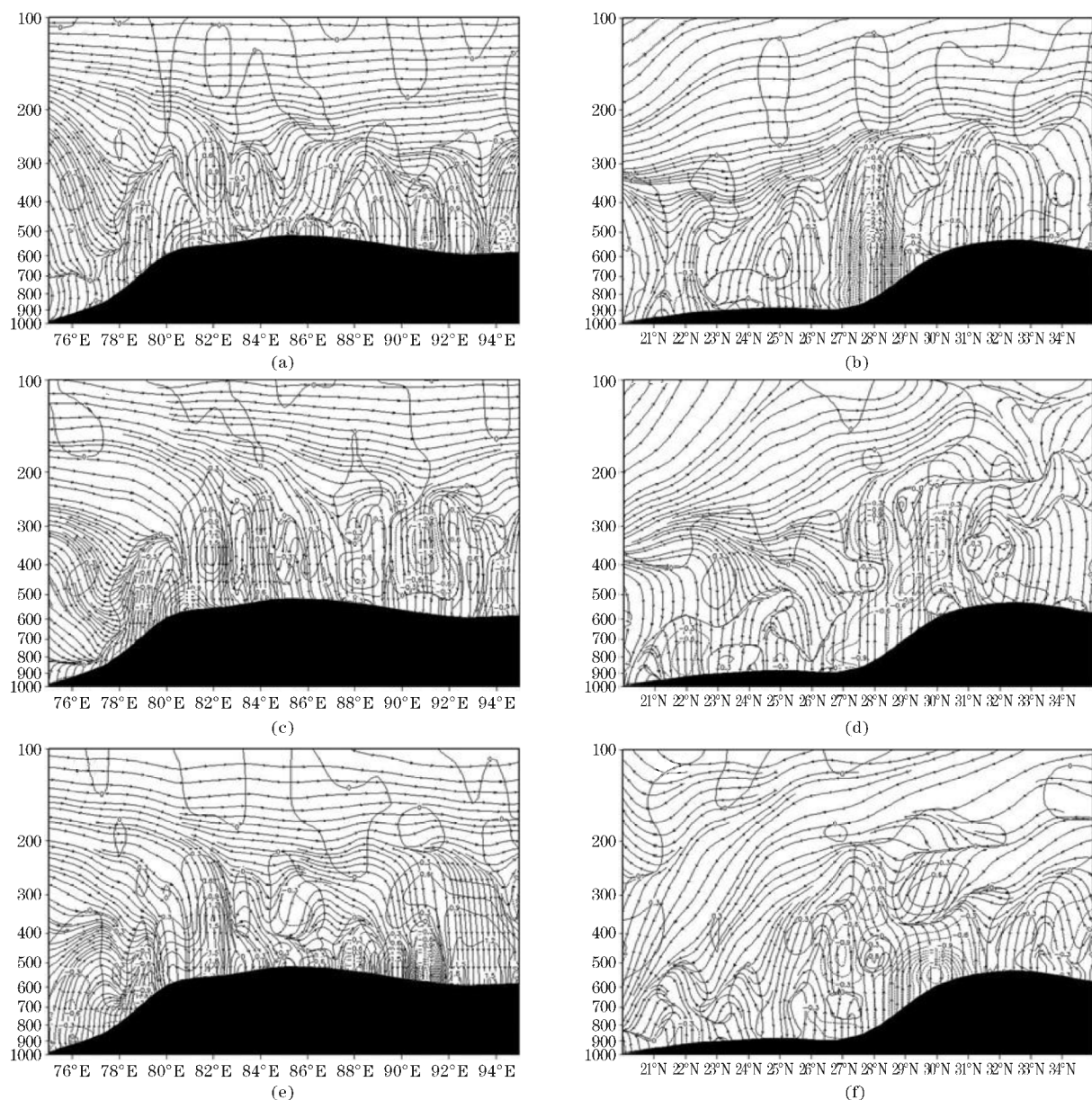


图4 2015年2月12日08时–14日08时沿29.5°N纬向(a,b,c)和沿91.25°E经向(d,e,f)垂直环流和垂直速度(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

4.2 涡度场分析

图5给出了拉萨暴雪过程12日08时至14日08时沿29.5°N、91.25°E暴雪区纬向、经向涡度垂直分布图,12日08时,86°E–95°E地区因处在高空短波槽前部,所以400 hPa以上层均为正涡度区(图5a),极值中心位于250 hPa上。13日08时,由于高空短波槽东移,涡度场的垂直分布较过去24小时发生了显著的改变,原在拉萨暴雪区域上空的强正涡度区分裂下移至拉萨上空600~350 hPa层间,极值中心位于450 hPa处(图5b)。正涡度区位于84°E–95°E地区250 hPa以上层(图5c),上升运动在中高层强正涡度的影响下得以加强,致使强降雪发生。14日08时,75°E–95°E250 hPa以上是正涡度区,强度有所减弱。涡度场垂直结构在75°E–82°E地区的变化不太明显,但由

于高空短波槽向东移出了拉萨暴雪区,84°E–92°E地区500–250 hPa层间为负涡度区。

从沿91.25°E经向涡度场垂直结构可分析出,12日08时,拉萨暴雪区550 hPa–400 hPa层间是弱的正涡度区(图5d),负涡度区位于550 hPa以下山脊坡的上空,550 hPa以上是范围较大的正涡度区。这说明了槽前正涡度平流造成地面减压,气流辐合上升对暴雪的产生有非常深远的影响。13日08时,30°N–35°N250 hPa以下层是负涡度区(图5e)。20°N–35°N地区整层都为正涡度,并且随着高空短波低槽东移,300 hPa上的极大值中心加强。拉萨上空高层为正涡度,但是值比较小,说明此时的动力条件对于降雪的发生仍是有利的,但已有向不利方面发展的趋势。14日08时,29°N–35°N、600–200 hPa层间为负涡度区(图5f),高空短波低槽已经东移出暴雪区,拉萨位于槽后。

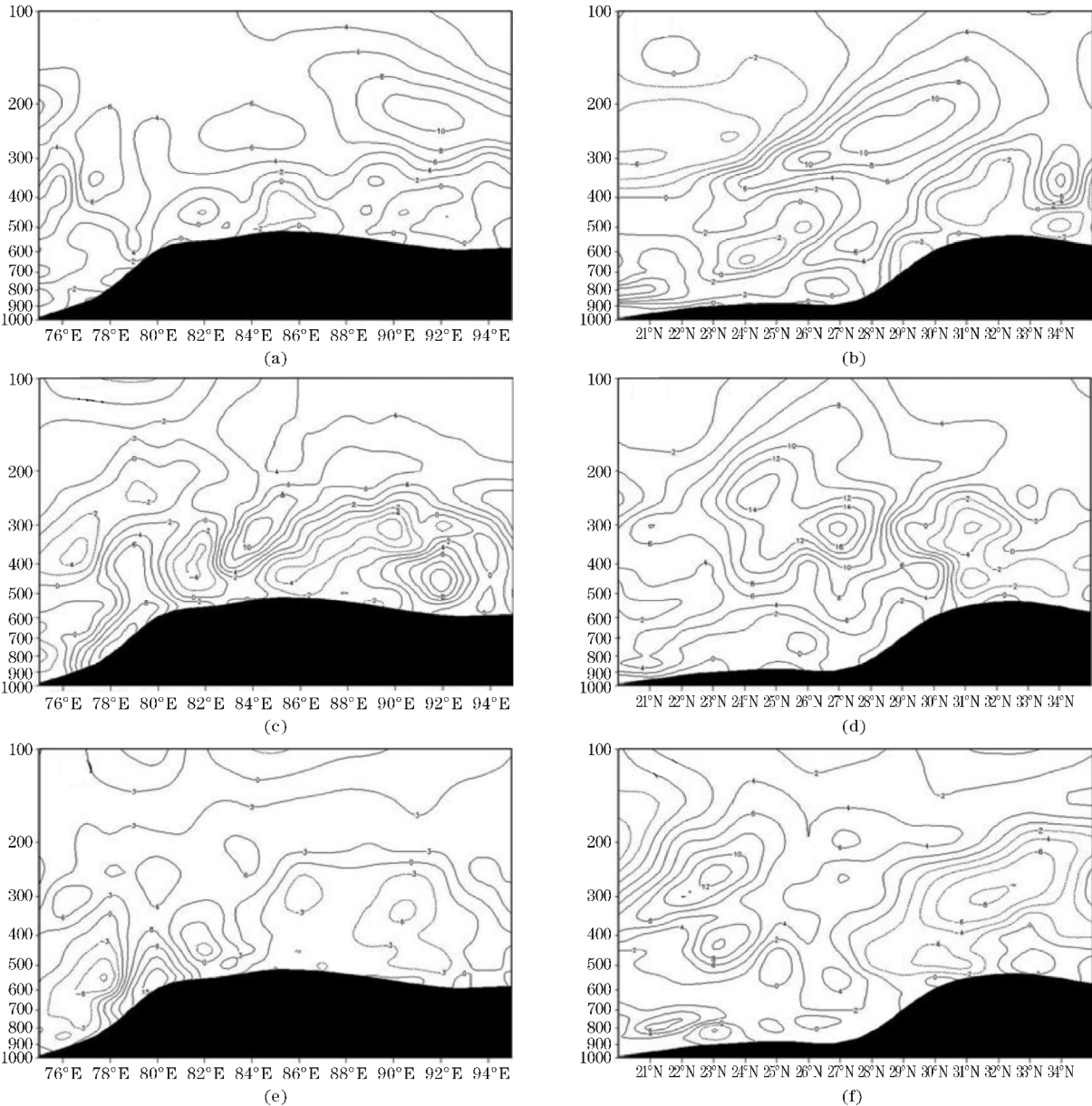


图5 2015年2月12日-14日沿29.5°N纬向(a,b,c)和沿91.25°E经向(d,e,f)涡度垂直剖面图(单位: $10^{-5} s^{-1}$)

4.3 散度场分析

由12日08时-14日08时沿29.5°N、91.25°E纬向和经向的散度垂直方向空间结构分布图可分析出,12日08时,暴雪区域600-450 hPa层间为负散度区(图6a),暴雪区域400 hPa以上层都为正散度区最强正中心大于 $1.5 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。13日08时,高层东移的正散度区得到增强,并向下伸展到了400 hPa(图6b),在300 hPa上配合有一大于 $8 \times 10^{-5} s^{-1}$ 的强中心,它下面400-600 hPa层间是负散度区。拉萨低层是辐合区,高层是辐散区,这样的高低空配置,是此次拉萨暴雪过程的动力成因。14日08时,拉萨上空散度场垂直分布有了非常明显的变化(图6c),负散度区位于

300 hPa以上层间,而400 hPa以下层则为正散度区。高层是强辐合区,低层是强辐散区,则拉萨上空被下沉气流控制。

从同时次经向散度垂直方向空间结构分布图上可分析出,28°N-30°N地区450 hPa以下层为负散度区(图6d),以上至150 hPa是正散度区。13日08时,无辐散层在400 hPa附近(图6e),相比于平原地区约在600 hPa上下的高度要高出许多,其上层为辐散区,以下是辐合区,低层的辐合配合高层的辐散,致使上升气流增强,为降雪的产生创造了良好的环境场条件。14日08时,负散度区位于拉萨上空400 hPa以上层(图6f),以下为正散度区这种散度场垂直结构不利于降雪。

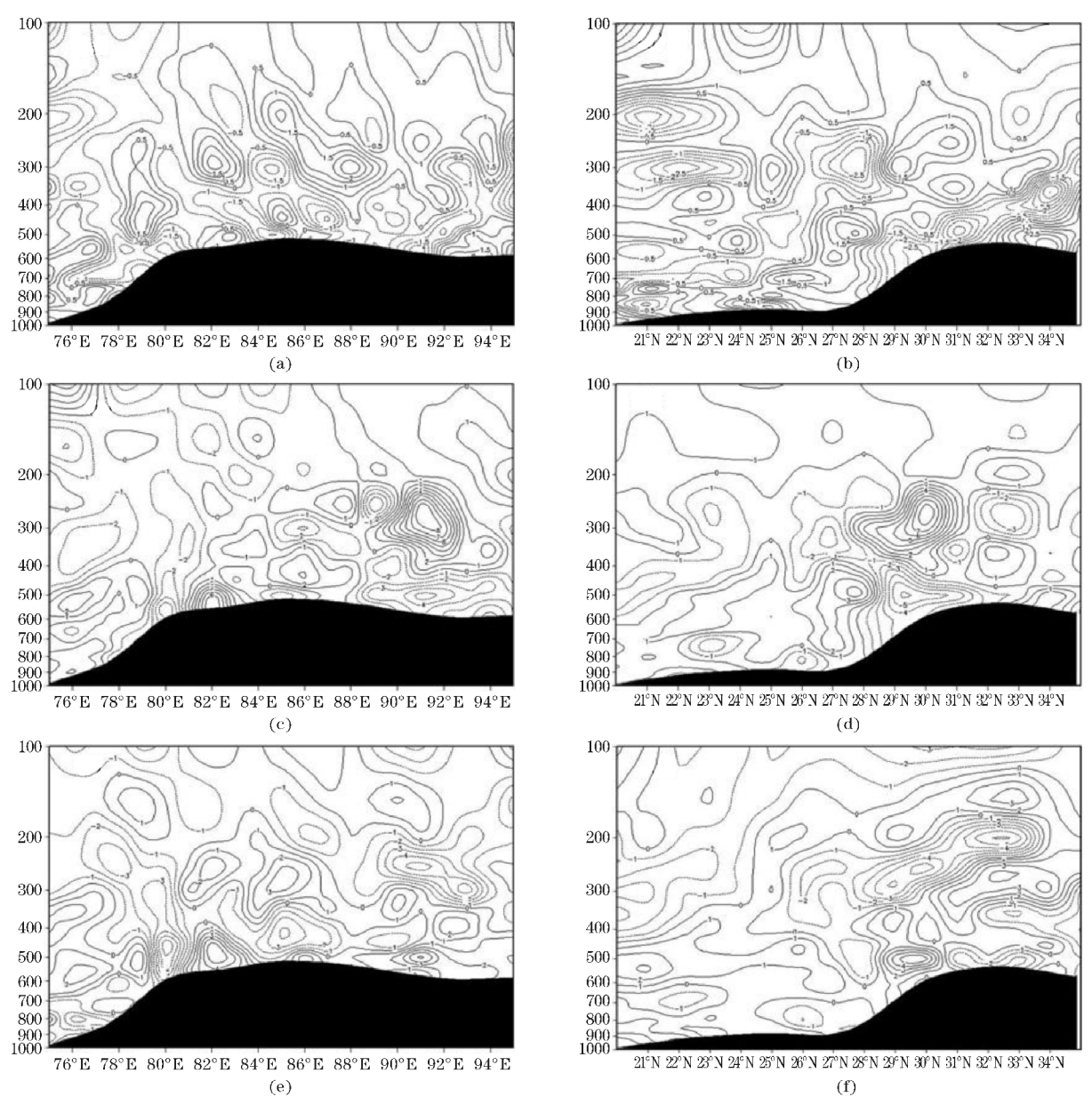


图6 2015年2月12日08时-14日08时沿29.5°N纬向(a,b,c)和91.25°E经向(d,e,f)散度垂直剖面图(单位:10⁻⁵s⁻¹)

4.4 z-螺旋度分析

参考 Woodall 所给出的观点,局地螺旋度被定义为速度矢与涡度的点积,即:

$$\begin{aligned}h &= \mathbf{V} \cdot (\nabla \wedge \mathbf{V}) \\&= (u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}) \cdot (\xi\mathbf{i} + \eta\mathbf{j} + \zeta\mathbf{k}) \\&= u\xi + v\eta + w\zeta\end{aligned}$$

上式的 $w\zeta$ 为 z 方向上的螺旋度,称为 z -螺旋度。有研究发现^[7-8]:低涡暴雨与 z -螺旋度的演变有密切的联系,本文只讨论 z -螺旋度。

图7给出了拉萨暴雪过程12~14日暴雪区沿28.2°N,91.25°E暴雪区纬向、经向 z -螺旋度垂直分布,12日08时,91.25°E上空250 hPa以下层是 z -螺旋度的负值区(图7a),以上层是 z -螺旋度的正值区,正

值中心位于暴雪区东侧200 hPa附近。负值中心位于暴雪区东侧300 hPa和500 hPa附近。13日08时,90°E-92°E地区上空400 hPa以下层为正值区(图7b),负值区位于400-250 hPa层间。纬向 z -螺旋度在垂直剖面图上呈现“下正上负”的分布。在拉萨上空 $w > 0$ (图7b), ζ 下正上负,故 $h_z = w\zeta$ 下正上负,揭示了这次拉萨暴雪过程是在低空辐合、高空辐散所造成的强上升气流区中产生的。日降雪量超过17 mm,表明螺旋度的垂直结构对降水的预报有比较好的参考价值。14日08时,暴雪区上空400 hPa以下层被螺旋度负值区替代(图7c),400-150 hPa为正值区,这与24小时前的垂直分布正好相反,不利于降雪。

在12日08时暴雪区沿91.25°E经向 z -螺旋度垂直结构分布图(图7d)上,27°N-29°N的山脊坡,从地

面到250 hPa是正值区,强中心位于550 hPa附近,由于地形的影响,z-螺旋度正值中心比平原地区(通常在700 hPa附近)高。13日08时,原来27°N-29°N 550 hPa附近的正极大值中心已经上移至300 hPa附近(图7e),并向东分裂出一个正值中心,该中心位于拉萨上空400 hPa附近。其上的400~300 hPa层间有一

负值区。z-螺旋度的经向垂直分布与同时次的纬向垂直分布类似,其垂直结构也是呈现“下正上负”的分布。14日08时,负值区位于400 hPa以下的山脊坡上空(图7f),在500 hPa附近的负值中心强度小于 $-9 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,以上层为范围大,强度小的正值区,是不利于暴雪产生的结构。

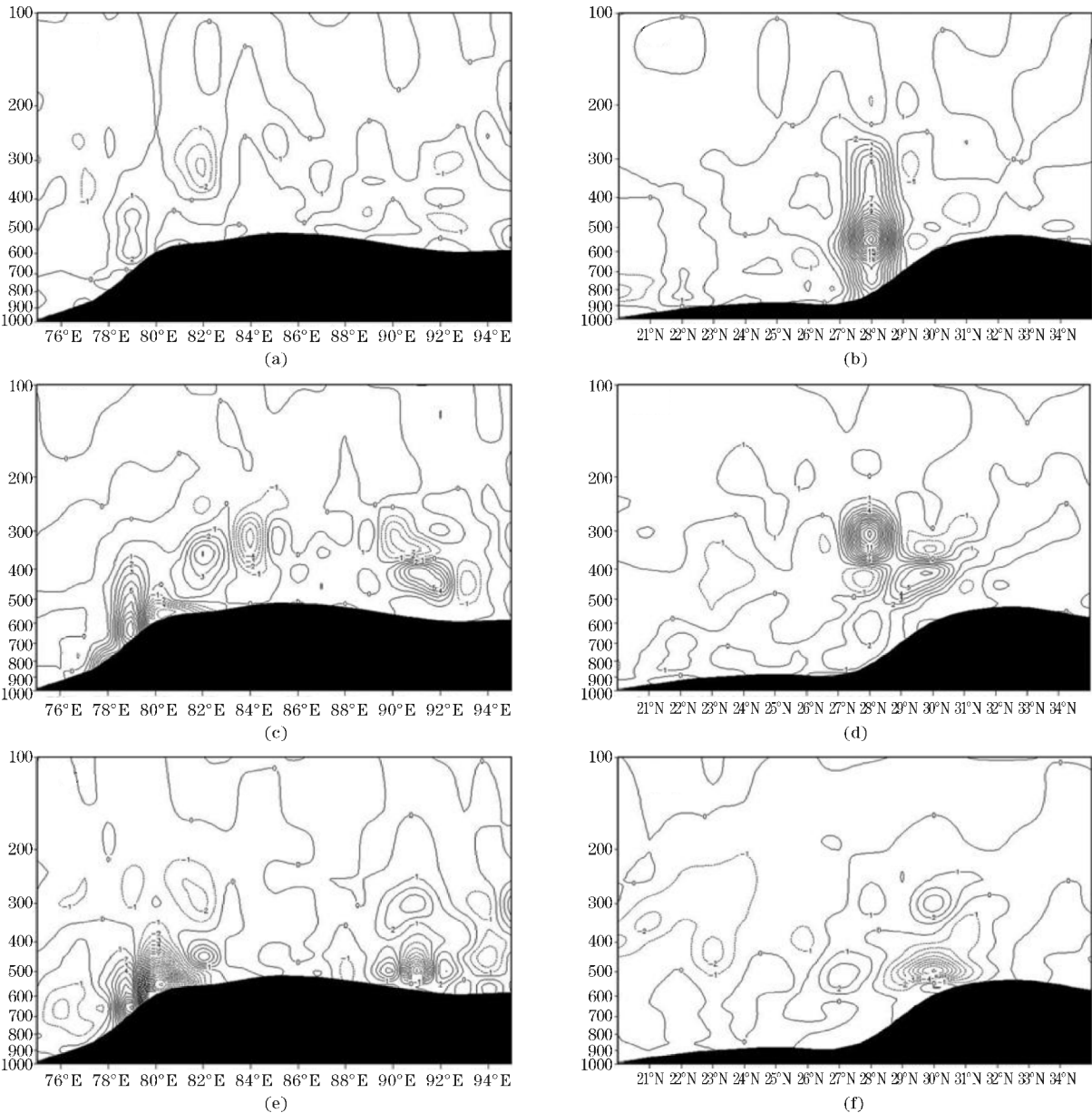


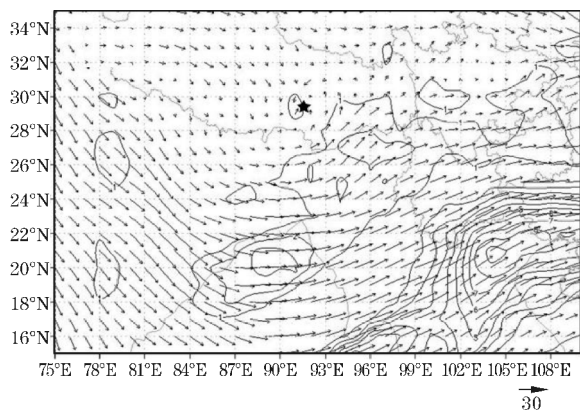
图7 2015年2月12日08时-14日08时沿29.5°N纬向(a,b,c)和91.25°E经向(d,e,f)z-螺旋度垂直剖面图(单位: $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

5 水汽条件分析

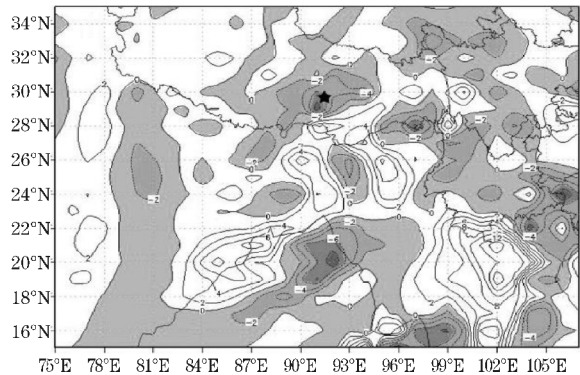
季良达等^[9]指出,孟加拉湾和阿拉伯海是高原降雪的主要水汽源地。此次拉萨暴雪过程中,由于南支槽和西太副高的配合,研究区内水汽充沛,图8充分反映了这一情况。图8(a)是13日08时15°N-35°N、

75°E-106°E区域500 hPa水汽通量(矢量),如图所示,来源于孟加拉湾的水汽由在西太平洋副热带高压阻挡下缓慢移动的南支槽前西南气流向北输送至此拉萨暴雪过程的暴雪区域。这股主要来自孟加拉湾的水汽经印度东部至缅甸一带一路向北流入高原上空。在84°E-99°E,30°N以南到孟加拉湾地区分布着呈东北西南走向、强度大于 $1 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 的水汽

通量区,区中有大于 $3 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 和大于 $2 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 两个水汽通量中心,分别位于孟加拉湾和印度东部至缅甸一带,说明孟加拉湾水汽的经向输送为此次拉萨暴雪过程提供了丰沛的水汽,对暴雪的产生有极为重要的影响。从孟加拉湾向北经印度东部至缅甸一带到西藏高原(图 13b),是此次暴雪过程的水汽通量辐合通道。分布在 $87^\circ\text{E}-93^\circ\text{E}$ 、 $28^\circ\text{N}-32^\circ\text{N}$ 的水汽辐合区,配合有 $-2 \times 10^{-8} \sim -10 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 水汽通量散度中心,并与强降雪落区相吻合。



(a) 水汽通量



(b) 水汽通量散度

图8 2015年2月13日08时500 hPa水汽通量和水汽通量散度
(五星标注处为拉萨)

6 结论

通过对2015年2月西藏拉萨暴雪过程的天气背景、环流形势、影响系统和天气动力学诊断分析,可得到如下一些结论:

(1) 西藏拉萨暴雪过程的重要天气背景包括:在泰米尔半岛附近的闭合低压中心有利于极地冷空气南压和堆积;冬季厄尔尼诺发生,有活跃的南支槽和偏北偏西的副热带高压位置以及由它们造成的强暖湿气流向北输送。

(2) 这次西藏拉萨暴雪过程中欧亚范围内的中高

纬度地区呈现两槽一脊的环流形势,西欧沿岸是阻塞高压和切断低涡的态势,地中海的切断低涡向下游进行能量频散。500 hPa高空图上主要的影响天气系统有短波低槽、南支槽前西南暖湿气流和西太平洋副热带高压。

(3) 在高原地形作用下,沿高原爬升的西南暖湿气流与暴雪区高层冷空气,构成了下暖湿、上干冷的大气不稳定层结;低层辐合,高层辐散增强了上升运动;“下正上负”的 z -螺旋度垂直分布的演变对暴雪的预报有指示意义。

(4) 孟加拉湾是本次西藏拉萨暴雪的主要水汽源地,从孟加拉湾向北经印度东部至缅甸一带到西藏高原,是这次暴雪过程的主要水汽通量辐合通道。

参考文献:

- [1] 张小玲,程麟生.“96.1”暴雪期中尺度切变线发生发展的动力诊断Ⅰ:涡度和涡度变率诊断[J].高原气象,2002,19(3):285-294.
- [2] 张小玲,程麟生.“96.1”暴雪期中尺度切变线发生发展的动力诊断Ⅱ:散度和散度变率诊断[J].高原气象,2002,19(4):459-466.
- [3] 邓远平,程麟生,张小玲.三相云显式降水方案和高原东部“96.1”暴雪成因的中尺度数值模拟[J].高原气象,2000,19(4):401-414.
- [4] 康志明,罗金秀,郭文华,等.2005年10月西藏高原特大暴雪成因分析[J].气象,2007,33(8):60-67.
- [5] 周秀骥,赵平,陈军明,等.青藏高原热力作用对北半球气候影响的研究[J].中国科学(D辑),2009,39(11):1473-1486.
- [6] 丁一汇,王遵娅,宋亚芳,等.The Unprecedented Freezing Disaster in January 2008 in Southern China and Its Possible Association with the Global Warming[J].气象学报(英文版),2008,22(4):15-175.
- [7] 伍荣生.大气动力学[M].北京:气象出版社,1990:96-101.
- [8] Woodall GR. Qualitative forecasting of tornadic activity using storm-relative environmental helicity preprint[C]. 16th conference on severe local storm,1990:311-315.
- [9] 季良达,徐欢,崔小平,等.利用水汽图像研究高原大雪的水汽源[M].牧区雪灾的分析研究.北京:气象出版社,1998:9-63.