

平流层环流异常对 2008 年 1 月雪灾过程的影响

刘毅¹ 赵燕华^{1,2} 管兆勇²

1 中国科学院大气物理研究所中层大气与全球环境探测实验室, 北京 100029

2 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

摘要 利用 NCEP/NCAR 逐日的再分析资料统计了 1951 年以来南方发生大雪时的环流特征, 对 2008 年 1 月中国南方地区发生的大范围雪灾天气过程的环流背景进行了分析, 并且通过对比分别分析了平流层环流和对流层环流的平均特征和演变过程。结果发现, 南方冬季大雪都是发生在 500 hPa 距平场分布呈现北高南低的形势下, 并且平流层极涡位置都偏向亚洲且极涡强度偏强。2008 年的雪灾期间对流层和平流层的形势都和过去 7 个大雪年 (1955、1956、1957、1977、1984、1989 和 1993 年) 合形势相似。2007 年 12 月初平流层极涡开始偏离极地并发生变形, 中心偏向欧亚大陆, 且向亚洲和北美伸出两个槽。这种异常一直持续到 2008 年 1 月中旬, 并且有向下传的趋势, 使得对流层 2008 年 1 月东亚大槽位置偏东, 主体北部偏强, 从而为 1 月的雪灾天气提供了有利的环流背景。因此在本研究结果的基础上进行系统的研究, 有望将平流层位相的超前信号作为对流层异常天气过程预报的一个先行指标, 对提高对流层异常天气预报的时限具有重要意义。

关键词 雪灾 平流层 对流层 环流异常 极涡

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0548-08 **中图分类号** P421.32 **文献标识码** A

Influences of Stratospheric Circulation Anomalies on Tropospheric Weather of the Heavy Snowfall in January 2008

LIU Yi¹, ZHAO Yan-Hua^{1,2}, and GUAN Zhao-Yong²

1 *Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environmental Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Department of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*

Abstract The circulation characteristics of the seven heavy snow years over South China and the circulation in January 2008 are studied based on the NCEP/NCAR reanalysis data. By analyzing the anomaly fields in stratosphere and troposphere, it is found that the configuration of the 500 hPa geopotential height in the snow-abundant years was positive in the north, negative in the south and the polar vortex deformed and strengthened. The polar vortex deformed and its center moved to Eurasian continent and the two troughs in Asia and North America in early December 2007. These anomalies lasted to middle of January 2008 and propagated downward into the troposphere while the East Asian trough shifted to east and got stronger. These anomalies in troposphere provide favorable circulation backgrounds for the heavy snow in January 2008. It means that the signals of stratospheric anomalies can be used to predict tropospheric weather in Northern Hemisphere winter time and expand the time scale of weather prediction.

Key words snow calamity, stratosphere, troposphere, circulation anomaly, polar vortex

收稿日期 2008-04-13 收到, 2008-05-11 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40633015 和科技部公益性行业 (气象) 科研专项经费 GYHY200706036

作者简介 刘毅, 男, 1961 年出生, 博士, 研究员, 主要从事中层大气和大气遥感研究。E-mail: liuyi@mail.iap.ac.cn

1 引言

传统上认为平流层大气是受对流层影响的被动系统,然而近年来随着对北极涛动的研究以及平流层臭氧损耗影响对流层大气环流研究的逐步深入,认识到平流层对对流层大气环流的重要性。Hartmann 等^[1]和 Thompson 等^[2]分析南极和北极平流层臭氧含量变化时,发现两极臭氧损耗引起了近 20 多年来中高纬度冬末春初大气环流的改变以及地面温度增加。Baldwin 等^[3]发现 AO (Arctic Oscillation) 异常从平流层开始发生,然后向下传播,强的 AO 异常能够向下传播至地面。Wallace 等^[4]指出冬季平流层和对流层的动力耦合对对流层天气系统的发展尤其重要,冬季平流层极夜急流能够影响到对流层阻塞系统的发展。另外 Hartley 等^[5]以及 Black^[6]分析了平流层—对流层位势涡度场的相关关系后发现,平流层位涡的异常能够诱发对流层位涡的异常,进而影响对流层天气系统的发展。虽然已有不少研究工作证明了平流层异常能够影响到对流层天气系统,但是关于平流层环流异常影响对流层天气系统的物理机制还是没有明确的结论。因此如何把平流层的异常信号运用到对流层天气的预报中是一项有意义的研究。

2008 年 1 月以来,我国南方大部分地区出现了近几十年来罕见的大范围持续低温、雨雪、冰冻天气,给我国南方的湖南和贵州等 20 个省区造成了大范围的灾难。形成大范围的雨雪天气过程,最主要的原因是大气环流的异常,尤其在欧亚地区的大气环流发生异常。也有专家从不同角度对这次过程进行了研究。以往对于平流层动力学的研究较多,特别是针对北半球冬季季风和行星波活动等平流层过程开展了深入研究,例如黄荣辉等^[7]分析了 2005/2006 年冬季风异常及其与准定常行星波活动的关系。而对于冬季平流层过程影响对流层降水(降雪)的相关研究还不够充分。本文统计了历史上南方 7 个大雪年(1955、1956、1957、1977、1984、1989 和 1993 年)大气环流的异常,并且分析了 2008 年雪灾期间对流层环流和平流层环流的异常,发现这些年份雪灾期间无论对流层环流还是平流层环流都出现异常的现象,

如果能够找出平流层和对流层异常之间的联系,势必对从平流层寻求中长期天气预报规律具有一定的指示意义。

2 资料来源

本文采用的资料是 NCEP 提供的全球格点气象资料。资料的水平覆盖范围是 ($90^{\circ}\text{S}\sim 90^{\circ}\text{N}$, $180^{\circ}\text{W}\sim 180^{\circ}\text{E}$),格距是 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$,垂直方向按照气压分成 17 层。气象要素包括温度、位势高度、相对湿度、绝对湿度、垂直速度、纬向风和经向风。文中所用到的有 2007 年 12 月和 2008 年 1 月的月平均位势高度场资料和 2007 年 12 月 1 日~2008 年 2 月 29 日的日平均位势高度场资料,以及 1948 年 1 月~2008 年 1 月共 60 年平均的逐日和逐月的位势高度场资料^[8]。1951~2005 年 1 月降雪量资料是由中国气象局气象信息中心气象资料室提供的中国地区 754 站地面积雪数据资料。

3 对流层大气环流异常

欧亚地区冬季大气环流在一定的时间内会维持一个稳定的状态,通常在青藏高原西南侧孟加拉湾一带有一南支槽,在西伯利亚地区有一脊,这两个系统在这两个地区长期存在,南支槽前的西南气流给我国南方地区带来比较丰富的水汽;而来自西伯利亚脊前的偏北气流,给南方地区带来干冷的空气。正常情况下冬季控制我国的主要是来自西伯利亚的冷空气,使得中国大部分地区寒冷干燥。

2008 年 1 月,西北太平洋副热带高压偏强偏北,强大的副高稳定维持在我国东南侧的海洋上空,并多次向西伸展,使西南暖湿气流北上影响我国大部分地区。而高纬的高压系统稳定,从西伯利亚地区不断向南输送冷空气,冷暖空气在长江中下游以及以南地区交汇,形成雨雪天气。由于这种异常冷暖空气在这一地区长时间交汇,导致中国南方大范围的雨雪天气持续了较长时间。

当对流层的这些系统发生异常时,东亚地区的气候也会发生异常。针对我国南方地区 ($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$),从 1951~2005 年 1 月中国地区地面积雪数据资料中,选择该区域平均积雪

深度大于 25 cm 的 7 年 (1955、1956、1957、1977、1984、1989 和 1993 年) 进行合成分析。图 1 是这 7 个强降雪年的 500 hPa 位势高度及其距平的合成, 可以看出, 里海东部地区受低槽的控制, 亚洲中高纬地区有一脊, 而从距平来看, 南方地区的多雪年都发生在东亚地区距平北高南低的形势之下, 其中负距平中心区域通过了置信水平 0.05 的检验, 这种形势有利于中高纬地区的高压脊加强以及中低纬地区西风槽的发展。对于多年平均而言, 1 月中高纬度东亚大槽一般稳定存在于 145°E 附近, 它的存在对于引导极地和高纬地区的冷空气东移南下有着十分重要的意义。图 2 给出的是 2008 年 1 月 500 hPa 位势高度及其距平的合成, 由图可以看出 2008 年 1 月欧亚大陆中高纬度为西高东低的波列分布, 乌拉尔山高压和东亚大槽北部偏强, 这种距平分布型有利于脊的发展和东亚大槽的加深, 从而有利于冷空气的南下。

高原南部距平场偏低, 也有利于高原南侧南支槽发展并带来比较充足的水汽。此外, 2008 年 1 月东亚大槽的位置也有一定程度的异常, 其中心位于 150°E 左右, 比多年平均的 145°E 东移了 5 个经距, 因而使得亚洲地区中高纬度环流较为平缓, 这种异常对亚洲中高纬度的环流结构和冷空气路径都有重要影响, 其减弱了冷空气南下的速度, 使冷空气能够分阶段地南下, 造成我国南方地区的多次降雪过程。

由以上分析可知, 2008 年出现的雪灾是在 1 月稳定的环流背景下发生的, 从雪灾期间大气环流的演变来看, 1 月 5 日欧洲北部发展出一个闭合中心, 阻塞形势开始形成。由图 3a 和 3b 可以看到在 (60°N, 40°E) 左右有一个高压中心, 此高压中心对应在距平图上也有一个高值中心, 说明 2008 年 1 月的阻高比往年有所增强, 阻高的东部有一斜槽存在, 东亚大槽位于 150°E 左右, 因此欧亚

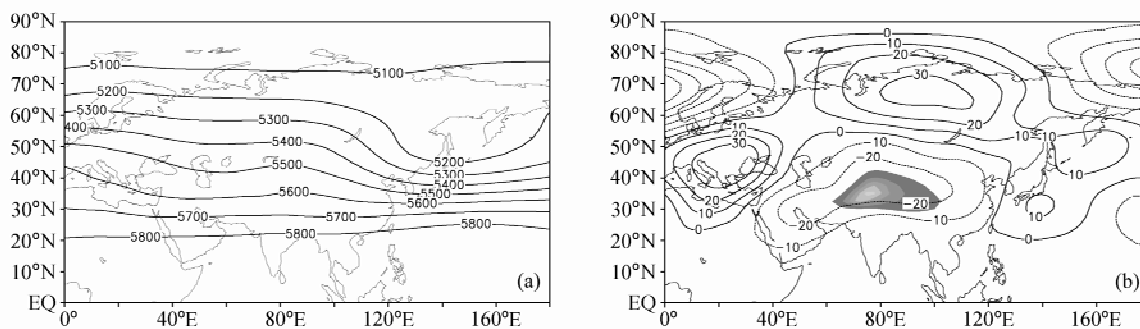


图 1 南方地区 7 个多雪年 1 月 500 hPa (a) 位势高度及其 (b) 距平的合成 (单位: gpm, 阴影区通过了置信水平为 0.05 的显著性检验)

Fig. 1 Distribution of 500 hPa geopotential height (a) and height anomaly (b) in Jan of seven heavy snow years over South China (units: gpm, shadings are 0.05 significance level above)

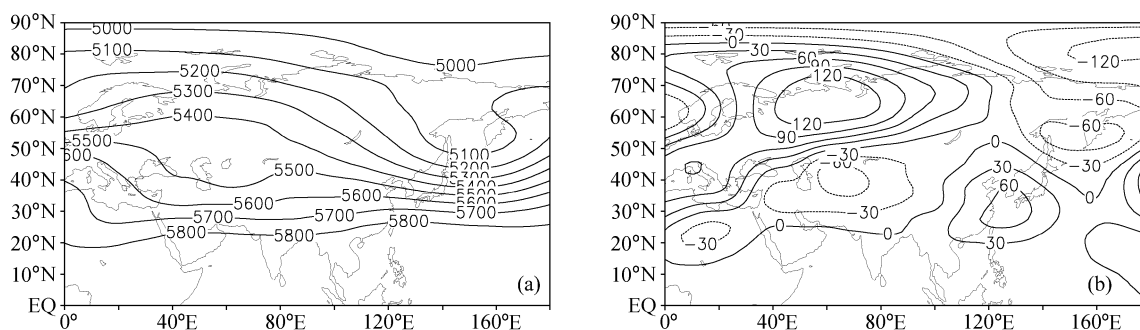


图 2 2008 年 1 月 500 hPa (a) 位势高度及其 (b) 距平 (单位: gpm)

Fig. 2 Distribution of 500 hPa geopotential height (a) and height anomaly (b) fields of Jan 2008 (units: gpm)

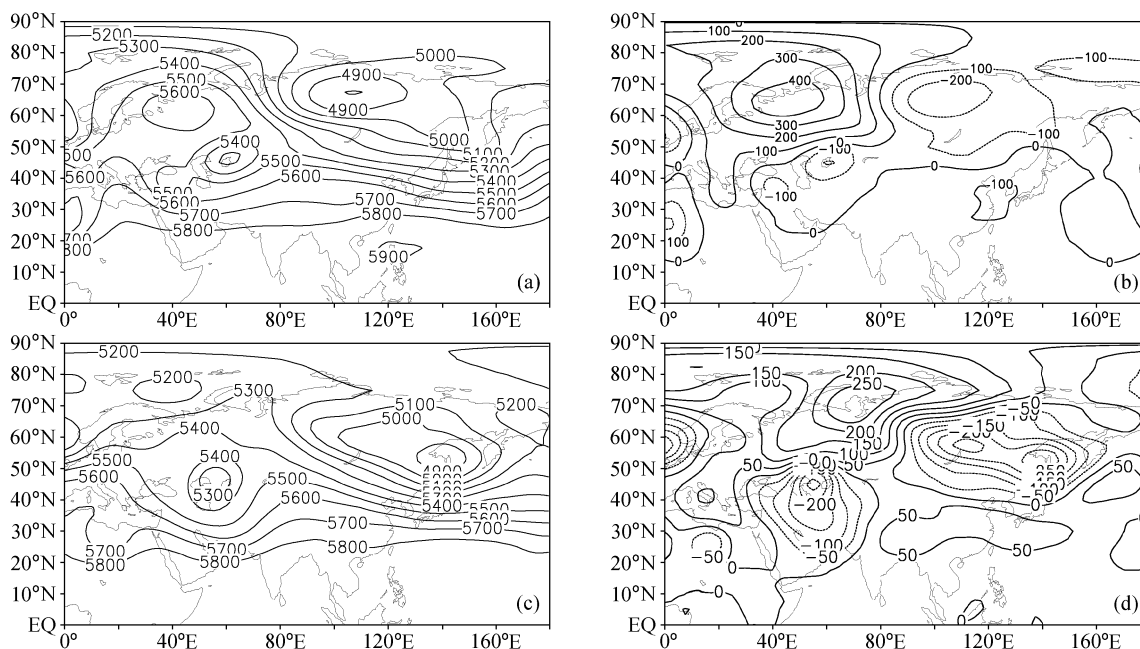


图 3 2008 年 1 月 (a)、(c) 5 日和 (b)、(d) 9 日 500 hPa 位势高度 (左图) 及其距平 (右图) 分布 (单位: gpm)

Fig. 3 Distribution of 500 hPa geopotential height (left panel) and height anomaly (right panel) (units: gpm): (a), (b) 5 Jan; (c), (d) 9 Jan 2008

大陆地区在中高纬度就形成了西高东低的大气环流分布, 中高纬度区的径向环流使得大量的冷空气在阻高前部的斜槽内积聚, 随着阻高和斜槽的缓慢东移和减弱, 阻高崩溃时便会引导冷空气向我国入侵 (图 3c 和 3d), 为南方的冰冻雨雪天气提供了大量的冷空气。值得注意的是, 这种环流异常型在 2008 年 1 月持续了十几天, 大约是气候平均值的 3 倍, 持续的环流异常有利于冷空气自西北方向连续不断侵入我国, 造成我国南方地区的多次降雪过程。

4 平流层大气环流异常

由上面的分析可知, 2008 年的雨雪冰冻灾害是在对流层大范围的环流异常形势下发生的, 然而, 不仅对流层环流出现异常, 平流层环流也出现明显的异常。极地平流层环流的异常首先表现在极涡的异常。在过去南方地区 7 个多雪年里, 平流层 50 hPa 极涡位置都偏向亚洲, 或者向亚洲地区伸出槽线。由图 4 可以看到, 极涡呈椭圆形, 长轴伸向亚洲和北美大陆; 从其距平分布来看, 极涡中心强度偏强, 整个亚洲地区几乎都为负距平控制, 而欧洲地区大多为正距平, 并且正距平

中心通过了置信水平为 0.05 的检验。而如图 5 所示, 2008 年 1 月平均位势高度图上 50 hPa 极涡也大致呈椭圆形, 极涡中心位于北极附近从西伯利亚的太梅尔半岛到格林兰的北端, 偏向欧亚大陆, 并且向亚洲大陆和北美大陆伸出槽线, 欧洲地区出现一个脊; 强度也较气候态偏强, 最大负距平出现在亚欧大陆的北端, 并且强度比气候态偏强了 600 gpm, 这和历史上多雪年的情况是相似的, 但是负距平只控制了亚洲北部地区, 而极涡中心负距平比合成年更强。除 50 hPa 外, 30 hPa 和 10 hPa 极涡位置也有类似的分布, 说明 1 月亚欧大陆在强极涡的控制之下更有利于冷空气控制东亚地区。

极涡的异常不仅在 1 月的平均位势高度场上表现出异常, 其环流演变也出现异常。从 2007 年入冬以来一直到 2008 年 1 月中旬, 平流层极涡强度不断增强, 其相对于多年平均的距平值也不断增强, 这种情况在各高度都存在, 只是时间上有所差别。极涡的增强会随着时间往下层传播, 并且不仅极涡的强度在 2008 年雪灾期间有所增强, 其位置也发生异常, 2007 年 12 月初开始 (图 6a 和 6b) 极涡就收缩成椭圆形, 同时向亚洲和北美延伸出两个槽, 并且距平也较多年平均低几百位

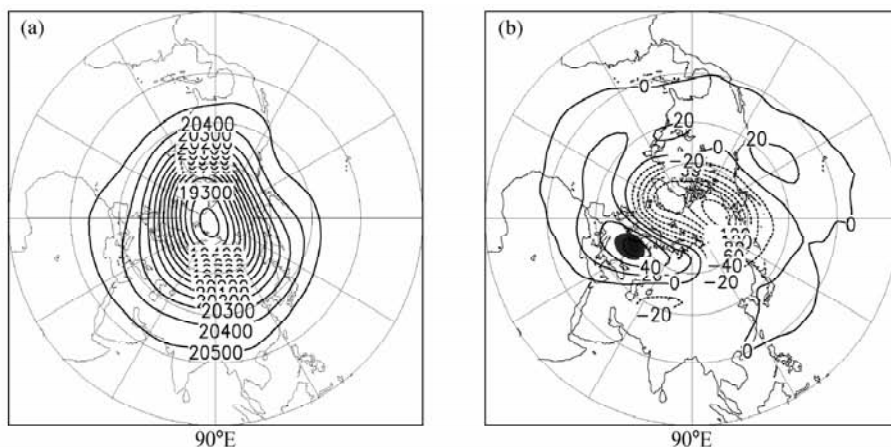


图4 南方地区7个多雪年1月50 hPa (a) 极涡及其 (b) 距平的合成 (单位: gpm, 阴影区通过了置信水平为 0.05 的显著性检验)

Fig. 4 Distribution of 50 hPa geopotential height (a) and height anomaly (b) fields in Jan of seven heavy snow years over South China (units: gpm, shading is 0.05 significance level above)

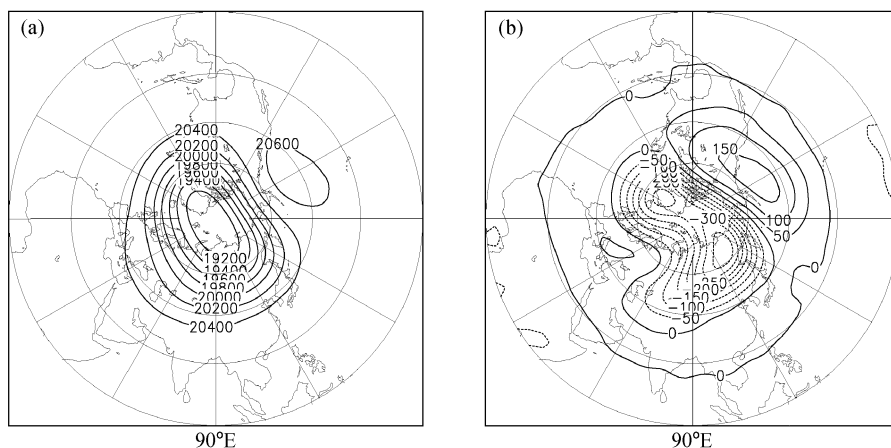


图5 2008年1月50 hPa (a) 极涡及其 (b) 位势高度距平 (单位: gpm)

Fig. 5 Distribution of 50 hPa geopotential height (a) and height anomaly (b) in Jan 2008 (units: gpm)

势米, 负距平中心位于亚洲北部。这种情况一直维持到2008年1月中旬(图6b和6e), 1月中旬以后极涡向西旋转, 中心偏离亚洲, 到1月20日(图6c和6f)极涡已经退缩回极地, 亚洲地区中高纬度变为正距平。也就是说, 雪灾发生之前的1个多月平流层极涡就已经开始异常, 并且这种异常维持了1个多月, 这段时间亚洲上部平流层都是受强极涡的控制。

5 平流层对对流层的指示信号

早在1977年 Quiroz^[9]通过对一次爆发性增温过程的分析发现当平流层北极出现爆发性增温时, 平流层中高纬度纬向环流出现反气旋性异常(西

风急流减速), 而且该反气旋性异常从平流层一直延伸到地面并影响对流层的天气系统, 自此以后人们开始关注平流层环流对对流层的影响。从前面的分析可知, 历史上的南方大雪年以及2008年的暴雪都是发生在对流层和平流层极涡异常的情况下, 然而对流层的这些异常和平流层异常之间是否存在联系呢? 下面我们试图从2008年雪灾过程中找出平流层环流异常和对流层环流异常的可能联系。

图7是2008年1月沿60°N的垂直剖面上等压面位势高度场的距平, 由图可以清楚地看出, 在60~180°E的区域从平流层到对流层都是一片降压区, 且降压幅度最大的区域位于平流层10 hPa甚至更高的层次, 对流层500 hPa降压区位于

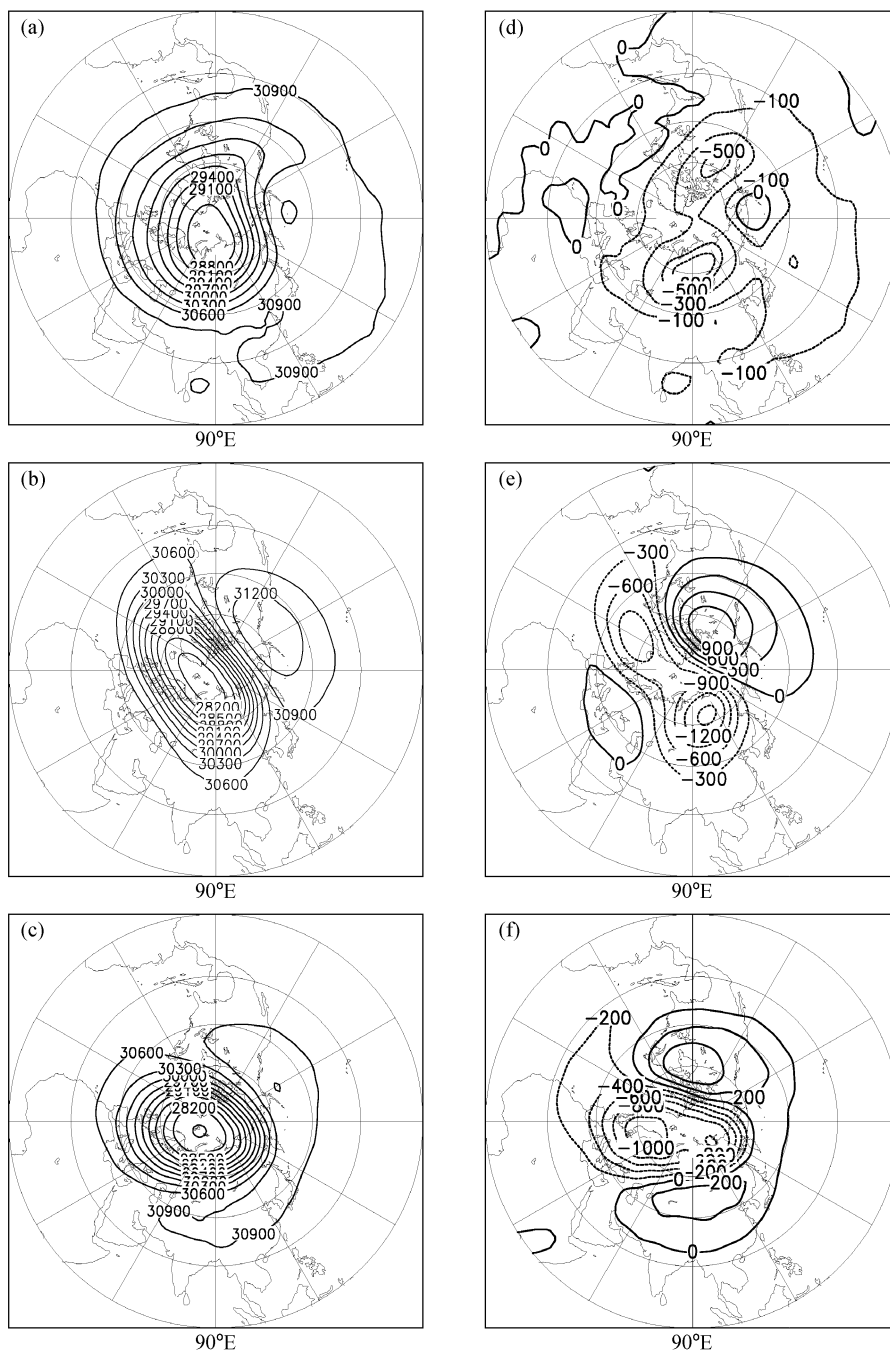


图 6 (a)、(d) 2007 年 12 月 7 日, (b)、(e) 2008 年 1 月 13 日和 (c)、(f) 2008 年 1 月 20 日 10 hPa 位势高度 (左图) 及其距平 (右图) (单位: gpm)

Fig. 6 Composite distribution of 10 hPa geopotential height (left panel) and height anomaly (right panel) (units: gpm): (a), (d) 7 Dec 2007; (b), (e) 13 Jan 2008; (c), (f) 20 Jan 2008

150°E 附近, 和今年 500 hPa 高度上东亚大槽北部的加深对应, 500 hPa 位势高度距平场上 (图 3b), 2008 年 1 月东亚大槽的位置在 150°E 以东, 并且大槽北部强度比往年偏强, 东亚大槽的加强使得环流径向度加大, 在对流层对阻高的形成和

加强起了促进作用。

图 8 给出了 2008 年 1 月位势高度距平沿 60°N 的经度—高度剖面, 1 月 1 日 (图 8a) 在 30 hPa 的平流层 25°E 左右有一个升压中心, 60~180°E 之间平流层为一降压区, 随着时间的推移, 升压

中心和降压区都向下传, 以 -200 gpm 等值线为例, 1月1日位于 30 hPa 的高度。1月5日 (图 8b) 对流层 500 hPa 升压中心加强, 这时阻塞形势也开始形成, 降压区逐渐下传, 150°E 处的 -200 gpm 等值线已经延伸到了 100 hPa 以下的高度, 此时 500 hPa 等压面上东亚大槽也有所加深。

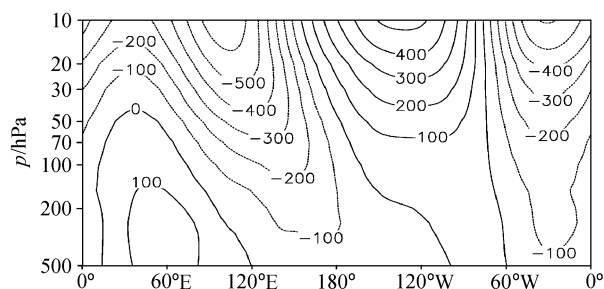
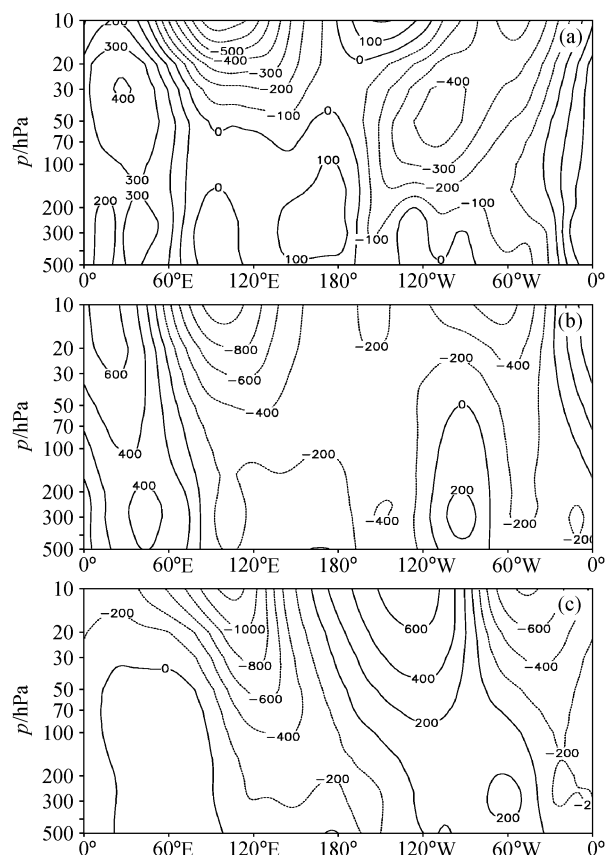


图7 2008年1月沿 60°N 的位势高度距平纬度—高度剖面 (单位: gpm)

Fig. 7 The longitude-height cross section of height anomaly a-long 60°N of Jan 2008 (units: gpm)



到1月10日升压区已经下降到了 30 hPa 以下, -200 gpm 的等值线也延伸到了 300 hPa 以下, 这时 500 hPa 东亚大槽主体加深, 对流层环流径向度加大, 有利于冷空气南下。1月10日以后平流层在 60°E 以西也出现降压区, 并且缓慢地向下传播, 而2008年1月中旬以后极涡开始向西旋转, 极涡的形状也有所变化 (图 6c)。原本位于亚洲大陆和北美的槽发生偏移和收缩, 极涡退回极地, 图 8d 和 8e 上也可以看出 20 日平流层降压区已经开始减弱, 向下传播开始不明显, 100 hPa 以上的高层 180°E 以西都为降压区, 升压区退缩到了 100 hPa 以下并且得到发展, 造成对流层阻高的异常维持。1月25日由于极涡的进一步收缩, 80°E 以东都变为了升压区, 对流层 500 hPa 的降压区域缩小, 此时东亚大槽区域距平逐渐减小, 东亚大槽也逐渐恢复到正常的状态。

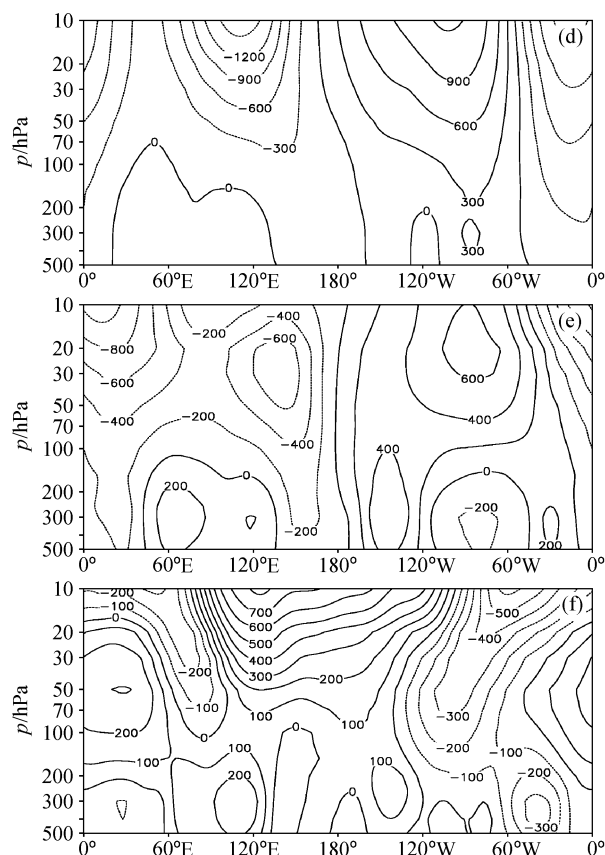


图8 沿 60°N 的位势高度距平纬度—高度剖面。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 分别为 2008 年 1 月 1 日、5 日、10 日、15 日、20 日、25 日 (单位: gpm)

Fig. 8 The longitude-height cross section of height anomaly along 60°N (units: gpm): (a) 1 Jan; (b) 5 Jan; (c) 10 Jan; (d) 15 Jan; (e) 20 Jan; (f) 25 Jan 2008

6 结论

本文通过分析南方地区历史上 7 个大雪年的平流层和对流层特征以及 2008 年雪灾期间对流层和平流层环流异常的变化, 发现南方多雪年都发生在 1 月对流层北高南低的距平形势和平流层极涡偏向亚洲或向亚洲伸出槽线以及强度偏强的形势下。而 2008 年 1 月 500 hPa 对流层形势以及平流层极涡形状、位置和强度和历史多雪年合成都很相似。2008 年 1 月我国大范围的雨雪天气是在对流层东亚大槽北部强度加深、主体偏东和平流层极涡强度偏强、位置偏向欧亚大陆的形势下发生的。雪灾发生时对流层东亚大槽和乌拉尔山高压脊异常的演变和平流层极涡异常存在一定联系: 首先平流层极涡从 12 月上旬开始变形、强度增强, 并向亚洲大陆伸出槽线, 这种异常随着时间由上向下、由西向东向对流层传播影响对流层, 使得雪灾期间 500 hPa 东亚大槽偏东北部加深, 欧亚大陆北部高压加强, 为我国南方雪灾提供了有利的环流背景。因此证明了在冬季平流层不是被动的接受对流层变化的影响, 强的平流层异常也可能影响到对流层的环流, 并且造成对流层天气系统的变化, 这也为把平流层的异常信号运用到天气预报的想法提供了可能。但是有关平流层影响对流层天气系统的物理机制目前尚不清楚, 还有待于更进一步的研究。

致谢 中国科学技术大学地球和空间科学学院陈月娟教授对本文工作提出了宝贵的建议, 作者在此表示诚挚的感谢。

参考文献 (References)

- [1] Hartmann D L, Wallace J M, Limpasuvan V, et al. Can ozone depletion and greenhouse warming interact to produce rapid climate change? *Journal of Proceedings of the National Academy Sciences*, 2000, **97**: 1412~1417
- [2] Thompson D W J, Solomon S. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science*, 2002, **296**: 895~898
- [3] Baldwin M P, Dunkerton T J. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**: 30937~30946
- [4] Wallace J M, Thompson D W J. Annular modes and climate prediction. *Physics Today*, 2002, **55**: 29~33
- [5] Hartley D E, Villarin J T, Black R X. A new perspective on the dynamical link between the stratosphere and troposphere. *Nature*, 1998, **391**: 471~474
- [6] Black R X. Stratospheric forcing of surface climate in the Arctic Oscillation. *J. Climate*, 2002, **15**: 268~277
- [7] 黄荣辉, 魏科, 陈际龙, 等. 东亚 2005 年和 2006 年冬季风异常及其与准定常行星波活动的关系. *大气科学*, 2007, **31** (6): 1033~1048
Huang Ronghui, Wei Ke, Chen Jilong, et al. The East Asian winter monsoon anomalies in the winters of 2005 and 2006 and their relations to the quasi-stationary planetary wave activity in the Northern Hemisphere. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (6): 1033~1048
- [8] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77** (3): 437~471
- [9] Quiroz R S. Tropospheric-stratospheric polar vortex breakdown of January 1977. *Geophys. Res. Lett.*, 1977, **4**: 151~154