

东亚寒潮冷空气的传播和行星尺度作用

丁 一 汇

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文研究了1980—1984年冬季19次东亚寒潮爆发过程中低频扰动的传播特征和行星尺度作用。揭示出冷空气的向南传播主要是一种低频模态的10—20天周期的振荡。另一方面,与寒潮爆发有关的西伯利亚冷高压作为北半球冬季对流层的主要冷源会导致一系列行星尺度过程的响应。这主要表现为辐散环流的上升支迅速地由印尼—马来西亚地区东移到东太平洋,使正常的沃克环流反向。这种情况十分相似于由非厄尔尼诺年到厄尔尼诺年辐散环流的运动。从动力学上,这种辐散环流有利于东太平洋以及北美西岸的天气发展。

一、引 言

东亚一次寒潮过程伴随着强烈的冷空气爆发。当冷空气从西伯利亚源地迅速地向东南侵袭的时候,在低层产生很强的北风和东北风,从而引起冬季风的发展。在华南和南海地区如果存在适当的环流形势,则可产生明显的冷涌^[1]。这种冷涌可迅速地向南扩展或传播到近赤道地区,并增强那里的对流和降水。以后由降水释放的潜热对东亚以及北半球的大尺度大气环流有明显的反馈作用^[2]。因而东亚寒潮不仅是一种区域性的天气过程,它还具有显著的行星尺度作用。

Lau, N. C. 和 K. M. Lau 指出^[3],一旦寒潮爆发,有两种类型的扰动向下游传播,其中一支低频的扰动趋于向副热带太平洋地区移动。这种向赤道的运动表现为新的扰动中心不断地在原先中心的下游发展。最近 Pan 和 Zhou^[4]也研究了西伯利亚高压的传播过程。他们指出,伴随着冷高压的南侵和移出东亚沿岸,西太平洋热带地区200hPa辐散环流加强,以后则迅速东移。这种过程实际上是一种缓慢东传的低频天气尺度扰动,其时间尺度约为10—20天。本文的第一部分是进一步提供新的事实以确证东亚冷空气的这种低频传播特征。

一般认为,东亚冷空气或冬季风的行星尺度作用是通过局地的哈特莱环流和沃克环流来实现的。Chang 和 Lau 等^[2]对于冷涌条件下哈特莱环流的变化作了不少研究,但主要限于东亚和西太平洋地区。本文的第二部份是从更大范围研究冬季风的行星尺度作用,从而揭示出与冬季风有关的一些遥相关现象。

二、资料和计算方法

本文所用的资料和选例与〔5〕中相同。使用的资料是 1980—1984 年 5 个冬季(12—2 月)欧洲中期天气预报中心一天一次的格点资料。水平分辨率是 2.5 经度/纬度。这些资料是未初始化的。我们从这 5 个冬季中,共选取了 19 次强寒潮过程。它们的冷高压大致有相似的移动路径,即从贝加尔湖以西的西伯利亚源区经过蒙古、华北,然后移至华东,最后出海。并且冷高压移经一定地区时要达到一定的强度,即在西伯利亚源区地面中心气压要大于 1055hPa,到达蒙古和华北地区要大于 1040hPa,到达华东地区要大于 1032hPa。实际上,这 19 个个例是这 5 年中最强的一些大范围寒潮过程。

根据冷高压到达不同的位置把整个寒潮过程分为三个阶段。阶段 1:寒潮爆发前冷高压中心位于西伯利亚源区,这是寒潮过程的早期阶段;阶段 2:寒潮爆发后,冷高压中心位于华北地区;阶段 3:冷高压中心移至华东地区。以后依据这三个阶段对 19 个个例的全球流场和辐散风场(或速度势场)进行综合平均,得到东亚寒潮爆发前后全球尺度流场和辐散风场变化的平均图象。

为了了解寒潮冷空气的向南传播特征,我们首先计算了视热源(Q_1),其公式为

$$Q_1 = c_p \left[\frac{\partial \theta}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \theta + \omega \frac{\partial \theta}{\partial p} \right] \left(\frac{p}{p_0} \right)^k$$

式中 θ 是位温, ω 是 p -坐标的垂直速度, $k = R/c_p$, R 与 c_p 分别是气体常数和定压比热。由于与寒潮活动相关的冷空气团(地面高压)是冬季大气的主要热汇(冷源),因而分析对流层 Q_1 场的变化可能比分析其它气象场更能揭示冷空气经向传播的特征。我们据 Q_1 的公式计算了 1980 年 12 月—1981 年 2 月 700 和 300hPa 上 Q_1 的分布(东亚地区),同时也计算了各格点的功率谱。发现在大多数格点上皆存在 10—20 天周期的振荡。40—50 天周期的振荡也是存在的,但没有 10—20 天周期的振荡明显。以后分别对 700 和 300hPa 层的 Q_1 场进行滤波,以得到 10—20 天周期分量的 Q_1 场。

辐散风场或速度势场的计算采用双傅氏变换方法^{〔5〕},这对全球范围的速度势场的计算是很准确的。具体的计算方法可参看〔6〕。

三、寒潮冷空气的传播特征

图 1 是 Q_1 的 $x-t$ 图,它表示沿着寒潮路径热源热汇的时间演变。700 和 300hPa 可分别代表对流层下层和上层的情况。由于篇幅所限,这里只给出 1981 年 1 月 16 日—2 月 15 日一个月时段的情况。选择这一个月是因为该时期的冷空气是所研究的 5 个冬季中最活跃的,它包括了一次很强的寒潮过程(1981 年 1 月 21—30 日)。这次寒潮爆发前,西伯利亚冷高压的地面中心气压达到 1085hPa,打破了 1977 年 1 月 3 日 1082hPa 的历史记录。这次冷空气在中国大范围地区引起了强降温,在华东和华南降温就达 8—12℃。在沿海地区并伴有强烈的北风和东北风。由图 1 可以看到,在一个月中,大致有三次寒潮过程从西伯利亚源区向东南传播到华南沿海,其中最明显的一次过程就是前面所述的 1 月 21—30 日

的寒潮。其冷热源基本上是沿西北—东南路径传播的,300hPa比700hPa更明显。并且300hPa比700hPa相应的传播超前约1—3天。这种 Q_1 向东南方向的传播可能反映了一种10—20天周期的天气尺度扰动向低纬的传播。1980—1981年冬季其它时段也有类似的现象。这表明10—20天的低频振荡是冬季中高纬的一种重要低频模态,它与东亚寒潮有密切的关系。

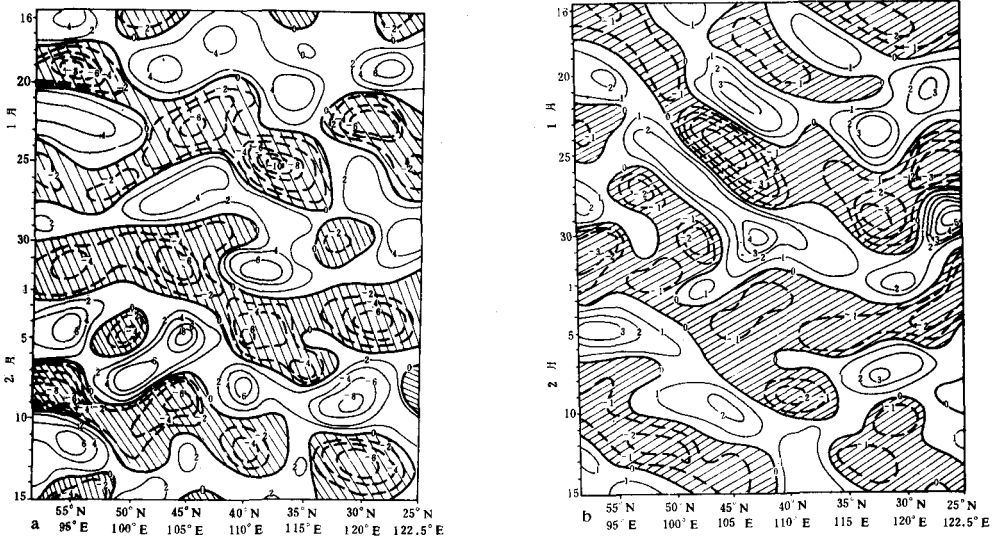


图1 1981年1月15日-2月15日低通滤波的视热源 Q_1 的 $x-t$ 图
 (a)300hPa (b)700hPa (阴影区代表负区(热汇),实线为正 Q_1 (加热)线,虚线为负 Q_1 (冷却)线,单位: C/d,横坐标是东亚寒潮的平均路径)

四、东亚寒潮冷空气的行星尺度作用

在引言中已经指出,东亚冷空气的爆发(包括西伯利亚高压的建立、南侵、变性和消亡)不仅仅是一种区域性的天气过程,这可以从两个方面来说明。一方面,它们的发生和发展是大尺度环流演变的结果^[7-9];另一方面,西伯利亚高压作为北半球一种主要的冷源,一旦向南爆发会对行星尺度的环流有显著的影响。过去的一些研究在一定程度上已经指出了这种行星尺度遥相关现象的存在^{[2][9]}。例如在东亚冷空气爆发前的6或7天,在大西洋西部最先有槽脊形成和发展。以后在通过欧亚大陆时相继在下游有新的槽脊形成,发展并衰亡。这种连续的下游发展过程一直进行到最后导致东亚寒潮的爆发。寒潮爆发之后,冷空气活动作为一种能量频散过程向下游传播。最近Ding和Krishnamurti^[10]研究了这种东亚寒潮爆发的行星尺度作用,指出了在寒潮爆发过程中热带行星尺度的200hPa辐散环流中心有向东移动的现象。以下将用更详细的资料作进一步讨论。

图2a-c是西伯利亚冷高压处于不同发展阶段时200hPa的平均流场(19次寒潮平均)。可以看到,随着东亚寒潮的爆发,大尺度环流发生了明显的变化。主要表现在三个方面:(1)首先是冬季位于东亚沿岸的东亚大槽加深,并且向东移动20个经度。在阶段1大

槽平均位于 120°E,在阶段 3 大槽东移至 140°E 附近。这种明显的加深和东移必然会导致下游系统的变化和调整;(2)对流层上部阿拉斯加高压有明显的增幅,相应北美东岸的大槽加深。这种下游环流的变化可能反映了罗斯贝波的能量频散和上游效应的作用。阿拉斯加高压的增幅可能也与东亚沿岸和北美东岸长波槽波长的缩短有关。通过这种过程可导致长波经向度的发展;(3)在西太平洋热带—澳大利亚北部的一对反气旋向东移动。尤其是在澳大利亚西北部的反气旋环流在初期其中心位于澳大利亚西北部,以后在澳大利亚东北方海区建立另一新的中心。在后期这个中心进一步东移,并成为主要的中心。上述气压偶的东移与冷空气爆发后在近赤道地区激起的强对流和降水区的发展和东移有关。

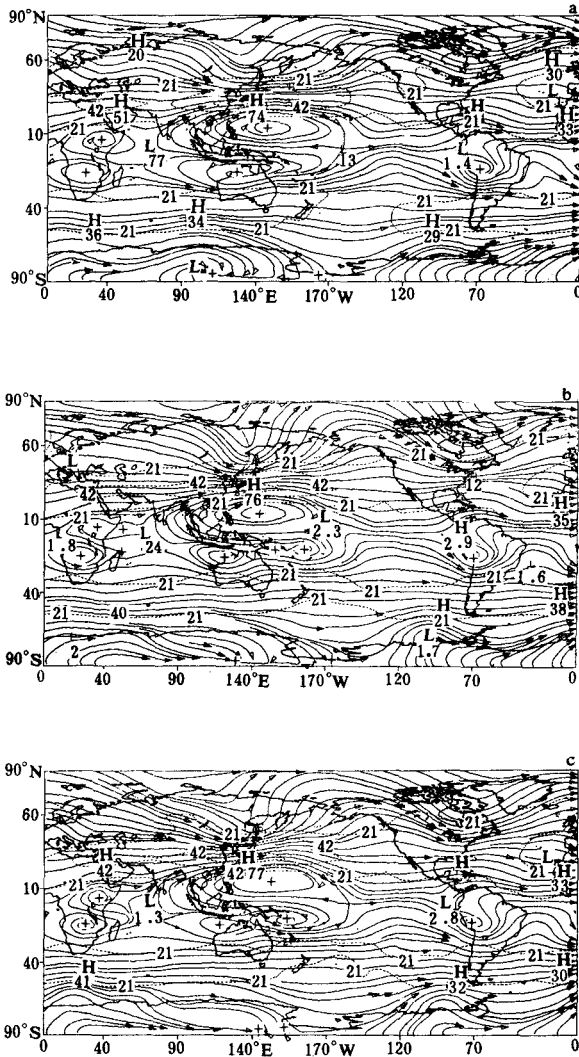


图 2 东亚寒潮爆发阶段 1(a)阶段 2(b)和阶段 3(c)的 200hPa 平均流场(虚线是等风速线,单位:m/s)

以下我们讨论全球速度势场在东亚寒潮爆发过程中的变化。图 3a,b 分别是东亚寒潮爆发过程中(三个阶段的平均)时间平均的 200hPa 和 700hPa 速度势场分布。可以看到,最强的辐散环流中心(上升支)(图 3a)位于赤道中太平洋(150°E 附近),这个位置比冬季平均的 200hPa 辐散中心位置(120°E 附近)偏东 30 个经度^[10]。这反映了大尺度环流对东亚

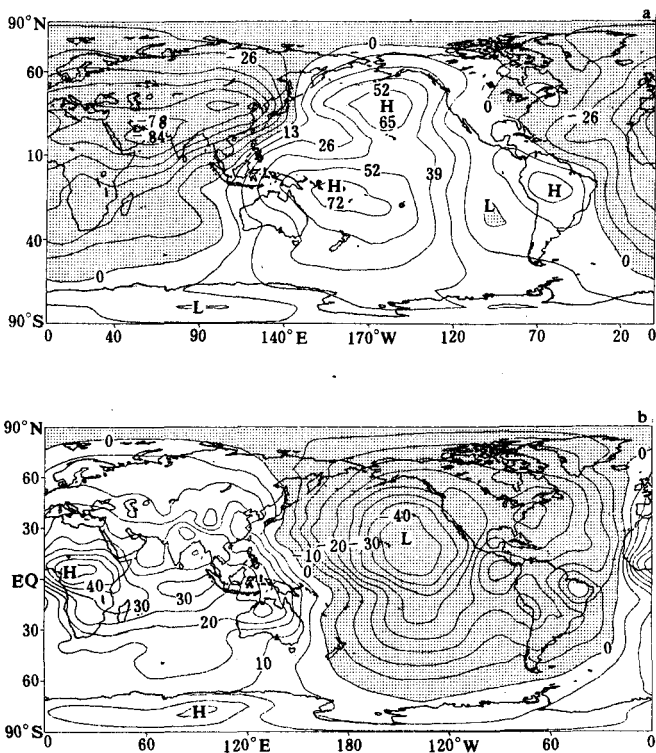


图 3 东亚寒潮爆发过程的时间平均的速度势场 (a)200hPa (b)700hPa
(阴影区:辐合区,单位:10⁶m²s⁻¹。黑点代表三个阶段辐散环流中心的位置)

冷空气活动的响应。如果和其它冷涌活动期间的情况相比^{[2][11]},这个位置是接近或略偏东于他们得到的辐散中心的位置。高空辐散区从西太平洋一直向东延伸到美洲东岸,高空辐合区位于欧亚大陆,非洲及大西洋地区。700hPa 速度势场分布与 200hPa 的几乎相反,只是辐散或辐合中心的位置有一定差别。在 200hPa 辐散区的下方低层是明显的辐合区(西太平洋到美洲东海岸),而 200hPa 辐合区的下方是明显的辐散区(欧亚大陆,非洲到大西洋地区)。因而从全球范围看,行星尺度的辐散环流是十分清楚的,并且表现为一波的分布型式。

东亚寒潮爆发的过程对这种行星尺度的辐散环流的影响主要表现为环流中心位置的东移和下游的发展。从阶段 1 到阶段 3,200hPa 最强的辐散环流中心迅速向东移动了 60 个经度(见图 3 a)。这一点由不同阶段速度势距平场看得更清楚(图 4a,b—图 6a,b)(不同阶段 19 个寒潮个例的平均速度势场减去 1980—1984 年冬季平均的速度势场)。这些图清

楚地表明,在冷空气爆发前后辐散环流有相反的分布。在早期阶段 200hPa 异常强的辐散环流中心位于 170°W 以西的赤道西太平洋地区,辐合环流位于赤道东太平洋,这指示存在强的正常类型的沃克环流。但是随着西伯利亚高压南移,辐散环流距平区迅速东移,整个东太平洋皆为辐散环流控制,而中西太平洋及欧亚大陆为辐合环流区,其分布与阶段 1 基本上反向。在后期阶段,东太平洋异常的辐散环流进一步向东北和东南扩展,其影响已到达整个北美和南美。必须指出,最大辐散区的轴线是从赤道中东太平洋向东北指向北美和加拿大西海岸,以后又折向东南到达美国东海岸。这种分布与 PNA 型十分相似。此时正常的沃克环流已完全被一反向的东西环流所代替,即上升运动在赤道东太平洋,下沉运动在赤道西太平洋。因而在赤道东太平洋地区会有对流和降水的加强,而在赤道西太平洋会有对流和降水的抑制。上述辐散环流的演变过程十分类似于热带和中纬大气对厄尔尼诺事件的响应过程(即 PNA 型),虽然两者的时间尺度是不同的。前者是短期的现象,后者是长期的现象。上面的事实表明,一旦东亚寒潮爆发,平均 5—7 天之后通过下游遥相关作用就可能影响美国西部,甚至东部的天气。

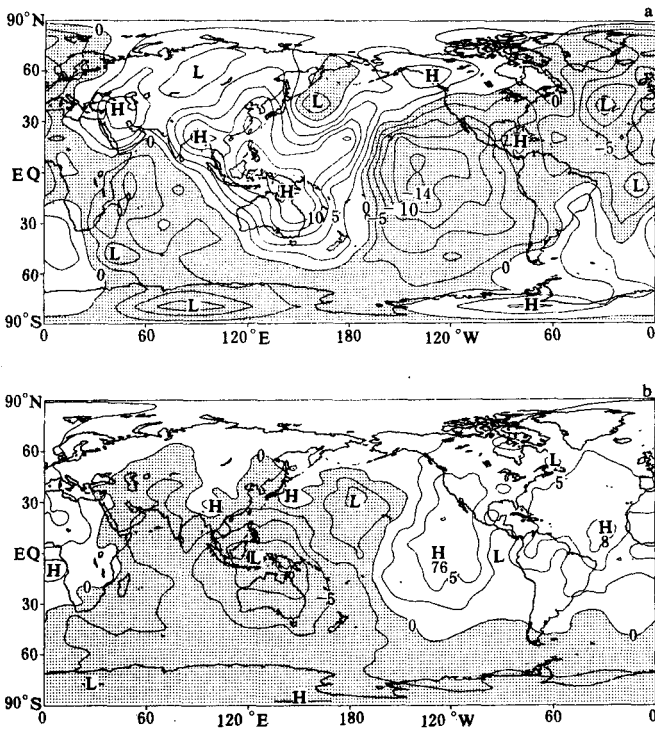


图 4 东亚寒潮第 1 阶段中时间平均的速度势距平场

(a)200hPa (b)700hPa(阴影区代表辐合区距平,单位:10⁵m²s⁻¹)

700hPa 速度势距平场更清楚地说明了这种可能性。在冷空气爆发前,西太平洋—印度洋地区是辐合区,最强的辐合区位于印尼—新几内亚一带;辐散区位于东太平洋—北美—大西洋地区。这种分布与一般的气候状况相似。寒潮爆发之后,低层速度势距平场的分布与初期的相反,在东太平洋和美洲西部出现辐合距平区,而在西太平洋出现辐散距

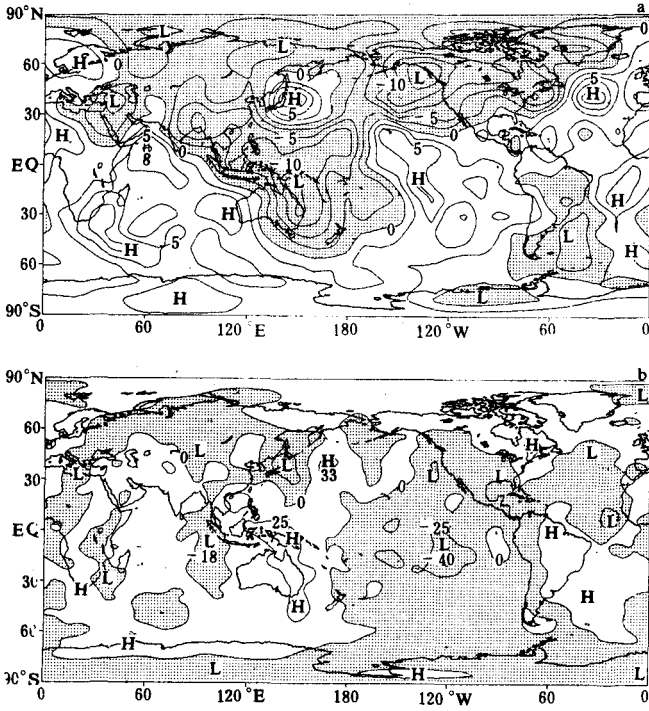


图 5 东亚寒潮第 2 阶段中时间平均的速度势距平场(其它同图 4)

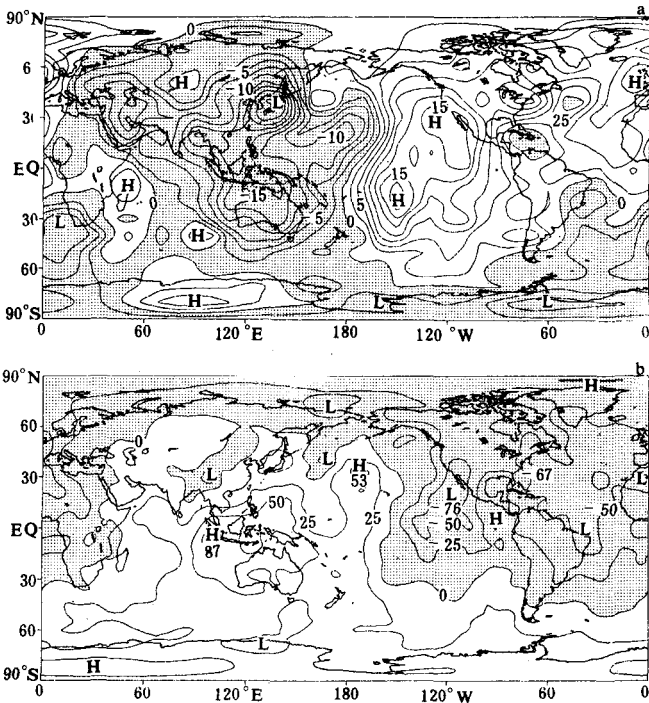


图 6 东亚寒潮第 3 阶段中时间平均的速度势距平场(其它同图 4)

平场,这表明该区原来的低层辐合场的明显减弱或反号。在后期,位于东太平洋 700hPa 最强的辐合中心迅速东移,在北美西岸以西的海区低层辐合或上升运动有明显的加强。对照图 6a,这时形成低层辐合、高层辐散的形势。从动力学上这种高低空的耦合形势十分有利于天气系统的发展。例如美国西海岸冬季温带气旋的发展。Lau 等^[11]也指出在冷涌后期,通过增强的中纬—热带相互作用或耦合作用,东亚的冷涌对美国西岸的天气发展可能有强烈的影响。这种下游的遥相关问题值得进一步研究。

五、结 论

本文研究了 1980—1984 年冬季 19 次东亚寒潮爆发的行星尺度作用及其低频传播的特征。揭示出冷空气的向南传播主要是一种低频模态的 10—20 天周期的振荡。这种低频波从西伯利亚源区沿着冷高压的主要路径向东南传播到副热带和热带地区。另一方面,西伯利亚高压作为北半球冬季对流层的主要冷源或热力强迫,必然会对大尺度的大气环流产生重要的影响。当西伯利亚高压由其源区移到华北,最后移到华东和华南时,会导致一系列行星尺度过程的响应。在冷空气爆发前的初期几天中,辐散环流和季风活动主要在南海、马来西亚、印尼。以后开始增强,并且行星尺度的辐散环流迅速的东移,辐散环流的上升支从冬季季风区(或冷涌区)迅速东移到赤道中东太平洋,这使正常的沃克环流反向。这种情况十分相似于由非厄尔尼诺年到厄尔尼诺年辐散环流的运动。当西伯利亚高压从华东移到海洋上且冷涌处于发展阶段的后期时,东太平洋辐散环流的强上升支明显向东扩展和加强,这会影响到东太平洋甚至南加里福尼亚沿岸的天气发展。因而东亚寒潮爆发的遥相关作用至少在其下游的美洲地区可看到它的影响。

参 考 文 献

- [1] 丁一汇,东亚冬季风的统计研究,热带气象,6,119—128,1990.
- [2] Chang, C. P., and K. M. Lau, Northeastly cold surges and near-equatorial disturbances over the winter MONEX area during December 1974, Part I: Planetary-scale aspect, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 298—312, 1980.
- [3] Lau, N. C., and K. M. Lau, The structure and energetics of midlatitude disturbances accompanying cold air outbreaks over East Asia, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1309—1327, 1984.
- [4] Pan, H.-L., and F. X. Zhou, The 10-20 day tropical-midlatitude interaction during winter monsoons season, *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 829—843, 1985.
- [5] Stephens, J. J., and Johnson, K. W., Rotational and divergent wind potentials, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1452—1457, 1978.
- [6] 丁一汇,天气动力学中的诊断分析方法,科学出版社, P293, 1989 年。
- [7] 陶诗言,东亚冬半年冷空气活动的经验研究,中央气象台油印本,1955 年。
- [8] 仇永炎,中期天气预报,309—348 页,科学出版社,1985 年。
- [9] Jung, H. J., and M. H. Hitchman, On the role of successive downstream development in East Asian polar outbreaks, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1224—1237, 1982.
- [10] Krishnamurti, T. N., *Tropical Meteorology*, WMO, No. 364, Switzerland, 1979.
- [11] Lau, K. M., and P. H. Chan, Short-term climate variability and atmospheric teleconnections from satellite-observed outgoing longwave radiation, Part I, Simultaneous relationships, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 2735—2750, 1983.

**THE PROPAGATION OF THE WINTER MONSOON DURING
COLD AIR OUTBREAKS IN EAST ASIA AND THE
ASSOCIATED PLANETARY-SCALE EFFECT**

Ding Yihui

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Abstract

The present paper has dealt with the characteristics of propagation of the winter monsoon during cold air outbreaks for 19 cases of 1980—1984 in East Asia as well as the associated planetary-scale effect. It has been revealed that the propagation of cold air mainly shows a mode of 10—20 day period oscillation. Furthermore, the Siberian cold high associated with outbreaks of cold air may lead to the response of a chain of planetary-scale events. This mainly shows up in the fact that the branch of upward motion of the divergent circulation rapidly shifts from the Indonesia-Malaysian region eastward to the eastern Pacific, thus causing the normal-type Walker circulation to reverse its sense. This condition is very similar to the movement of divergent circulation from non-El Nino year to El Nino year. From the dynamic viewpoint, this kind of divergent circulation is favorable to the synoptic development over the eastern Pacific and the western coast of North America.