

我国的东亚冬季风研究

朱乾根

(南京气象学院)

提 要

本文对我国近年来关于东亚冬季风及与其相联系的南半球夏季风的研究作了介绍和评述。

几年来,我国气象工作者对东亚冷涌向赤道的传播,冷涌引起的中低纬环流相互作用,冬季风的低频振荡特征,冬季风与厄尔尼诺事件的联系等做了大量工作,涉及到当今世界关于季风研究的所有前沿课题,所取得的成果已经接近或达到国际水平。但某些领域的研究尚需加强。

一、概 述

东亚的东北季风是北半球冬季最活跃的环流系统,它的活动可以影响全球范围大气环流的变化。强的冬季风爆发后能够向南传播侵入南海抵达赤道地区,尔后越过赤道转为南半球的夏季风。因此,东亚冬季风的活动,不仅会造成中高纬地区的强烈降温、降雪、大风、霜冻等灾害性天气,还可引起低纬地区以至印度尼西亚、澳大利亚等地的暴雨,从而影响这些地区的旱涝。对东亚冬季

风的研究既具有很高的学术价值,更具有重要的社会经济意义。

图1[1]显示了北半球冬季对流层高、低层的环流。由图可见,在北半球低纬 70°E — 180° 的宽广范围内,低层皆为一致的东北风,并越过赤道进入南半球。 130°E 以东的越赤道气流主要是来自太平洋副热带高压的东北信风; 130°E 以西的越赤道气流主要是来自西伯利亚—蒙古冷高压的东北季风。越过赤道的气流在南半球转为西北风,这就

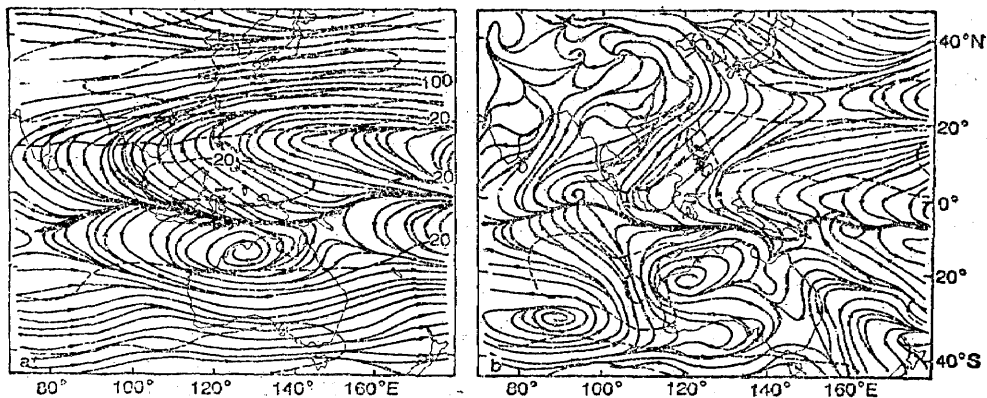


图 1 1987年1月低纬200hPa(a)和850hPa(b)流场

虚线为等风速线(海里/时),实线为流线
粗实线为高(低)层辐散(合)带

是南半球的夏季风。这股西北气流与来自南半球中纬的偏南气流在5°S附近辐合,形成了南半球夏季对流降水带(图1b)。在高层,南北半球低纬皆为副热带反气旋控制,其中北半球的反气旋主体偏东。在低层辐合带上空为高层辐散带,南侧为偏北风,在南半球副热带地区下沉,至低层后又转为偏南气流转回到辐合带中,构成了南半球的局地Hadley环流。在北侧为偏南风,越过赤道进入北半球后与西风急流相汇合并下沉,至低层转为东北风,越过赤道后再辐合上升,构成了北半球的局地Hadley环流。

以上虽是1987年1月的平均流场,但大致表示了北半球东亚冬季风的环流特征。

东亚冬季风活动可以分为三个阶段,即爆发阶段,向南传播阶段和中低纬环流相互作用阶段。一般将影响中高纬地区的冬季风称为寒潮,当冬季风侵入低纬后称为冷涌。

1957年陶诗言^[2]研究了影响中国的寒潮源地和路径,把巴尔喀什湖至新西伯利亚一带确定为亚洲寒潮的关键区。这些概念至今仍被广泛应用。广大气象台站对寒潮预报进行了大量的工作。80年代初,我国气象工作者集中进行了寒潮中期预报的研究,仇永炎等^{[3][4]}对其作了系统的总结。他们指出,全国性寒潮爆发,大多发生于极区高压打通、切断极涡构成东半球倒 Ω 流型下,并给出了倒 Ω 流型的建立、演变和寒潮爆发各过程中的能量变化。这些研究为认识寒潮爆发的物理机制和寒潮预报做出了贡献。

70年代末,我国开始了有组织的东亚季风研究,但主要致力于夏季风,只是在近几年东亚冷涌的研究才逐步开展,本文将着重对此进行介绍和简单的评述。

二、冷涌向赤道的传播

卢文通等^[5]研究了东亚冷涌向南传播的非地转特征。图2是他们根据欧洲中期天气预报中心的资料,计算的一次强冷空气影

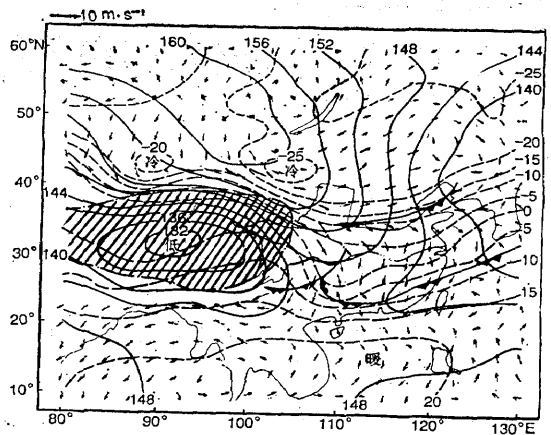


图2 1980年1月29日12GMT850hPa
($\vec{V} - \vec{V}_g$) 分布

实线为等高线,虚线为等温线,矢线表示非地转风风向、风速、阴影区为高原地形

响下850hPa的非地转风分布,在冷高压中心的东侧和南侧均有较强的向外流出的非地转风气流,锋区附近的偏北非地转风尤其清楚。此外,在高原东北侧有很强的偏北非地转风。这说明非地转风与高原的绕流作用有关。正是由于这种强的非地转风,促使冷空气从高原东侧加速南下。500hPa上的非地转风同样是在锋区附近较强,但以偏南风为主。这种上下层的非地转风分布,产生了锋区附近的次级环流。朱乾根等^[6]和杨松等^[7]的数值试验结果,清楚地表明这种次级环流的存在。图3是以1982年12月24日20时作为初始场,积分24和48小时120°E上的经圈环流。由图可见,30°N以北整层为冷空气偏北下沉气流,30°N附近为偏南上升气流,构成一个深厚的经圈环流。而且计算表明,积分48小时(b)的下沉和上升速度均强于积分24小时(a)的。这说明冷涌在南下过程中环流是在不断加强的。从图3还可看到,在30°N以南的低纬,偏北风冷涌只存在于近地面的浅薄气层中,一般不超过700hPa。可见冷涌是一股从冷气团中自低层泄出向南传播的东北气流。丁一汇等^[8]根据5年资料统计表明,在1000hPa上

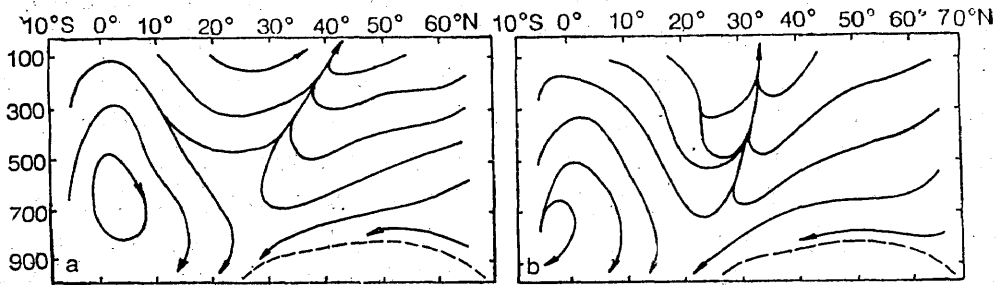


图 3 120°E 上的经圈环流

a. 积分24小时,

b. 积分48小时

冷涌主要经东海向西南进入南海, 在107°E 附近越过赤道到达南半球。陆菊中等^[9]指出, 在前冬冷涌主要从台湾海峡进入南海, 在后冬冷涌先从东海向东南进入西太平洋, 尔后再向西南经菲律宾进入南海。另有一些冷空气从西部经广西沿中南半岛东岸南下。从东部南下的冷空气主要在海上移动, 变性快, 温、湿度较高; 从西部南下的冷空气主

要在陆地上和中南半岛东岸冷水上翻区移动, 变性慢, 温、湿度较低。丁一汇等^[10]研究了西伯利亚冷高压形成和南下变性过程中的热量收支状况。

冷空气进入南海后, 一般在冷锋前部常会产生气压涌升和北风加强的现象, 并很快向南传播, 其速度可达数十米/秒, 这就是冷涌前缘, 它具有重力波的特征。周学群^[11]

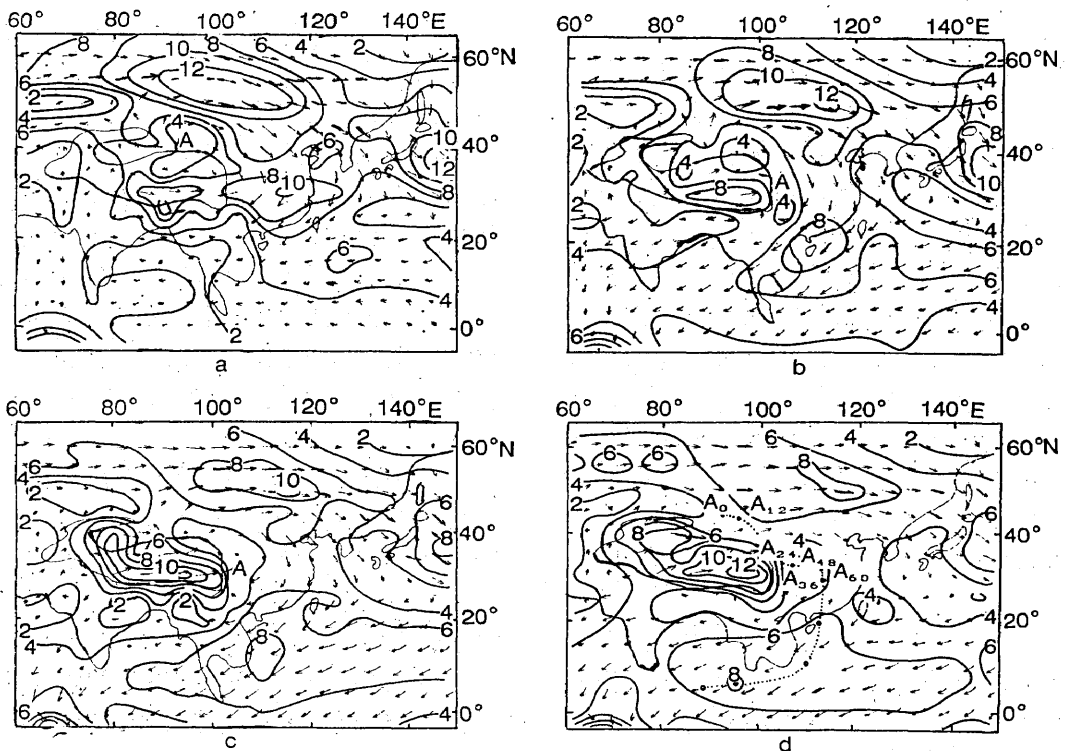


图 4 有地形时数值模拟的地面流场和等风速线 ($m \cdot s^{-1}$)

初始场同图 3

指出,中纬对流层中低层的冷平流可能是冷涌前缘的波动源,只有在南海700hPa附近具有稳定大气层结时,才能产生重力波。

朱乾根等^[5]对于青藏高原大地形对冷涌的作用进行了数值试验研究。图4a,b,c,d分别是有地形时积分12、24、36、48小时的近地面流场。图中显示出3个主要特征:(1)在大地形东部边缘有一大于 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏北风带, 30°N 以北为西北风,以南为东北风,称为冷空气输送带。在无大地形的试验中不存在,因此,这是冷空气沿高原东侧绕流加速而形成的。(2)积分12小时南海东北风前缘抵达 $15\text{--}20^{\circ}\text{N}$,积分24小时东北风已扩展到赤道地区,向南传播速度达 $50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,大大超过风速。在无大地形的试验中,同样出现这种现象,只是速度略小些。在试验中冷涌过境时风速增强均先于温度下降,因此可以判断,冷涌前缘具有与大地形无关的重力波特征。(3)在冷涌前缘后部出现一个东北风风速极大中心,先是沿高原边界向南移动,然后沿高原南侧转向西移进入孟加拉湾。由于其移速较冷涌前缘慢,沿高原边界传播,且风向与大地形边界大致平行,特别是在无大地形的试验中此移动的风速中心不复存在,因而可以认定,这是大地形边界所激发的Kelvin波。此外,绝热与非绝热试验的积分结果基本一致,因此对冷涌来说,高原的热力作用不是主要的。陆维松等^[12]从包含大地形效应的线性浅水方程组出发,考虑了青藏高原大地形由西向东的等斜率坡度,从理论上导得了文献^[6]^[7]所揭示的现象,进一步证实了Kelvin波和重力惯性波的存在。

三、冷涌引起的中低纬环流相互作用

冷涌南下侵入低纬后,常可引起加里曼丹西北海面上积云对流的发展和扰动的加强。朱复成^[13]研究了这种积云对流的发展过程。起初冷涌前缘的低层辐合有利于积云

的发展,加里曼丹和马来西亚半岛的陆风辐合以及暖洋流也对积云发展有利;随后冷涌的降温降温又破坏了积云生成发展的条件,从而产生负反馈作用。然而冷涌的总体影响是促进积云对流活跃的。由于强对流降水,水汽大量凝结释放潜热,使得这里成为北半球冬季的热源中心。陈隆勋等^[14]计算了亚洲季风区各月的热源结构,他们指出夏季亚洲的热源中心在孟加拉湾,冬季亚洲大陆成为冷源,热源中心移至西太平洋低纬地区。

低纬对流发展对低纬环流有重大影响。朱抱真^[15]的数值试验表明,由东亚大陆进入低纬的东北冷涌,可以导致局地Hadley环流和西太平洋Walker环流的加强。朱乾根等^[6]的数值试验表明,冷涌不仅可使局地Hadley环流加强,而且可使Hadley环流圈南移(见图3),同时还证实有青藏高原大地形比没有大地形时的Hadley环流更强些。局地Hadley环流加强的原因,一方面是冷空气南移下沉加强了它的下沉支,另一方面是冷涌激发的对流上升运动加强了它的上升支。杨松等^[7]指出,冷涌南下过程中东亚副热带西风急流即开始加强,这可能是由于冷涌下沉,引起高层辐合及偏南气流加强,在地转偏向力的作用下转为偏西气流,从而加强了西风急流。积分36小时至48小时副热带西风急流达到最强,这可能对流上升引起高层向北的辐散气流加强,从而使偏南气流达到最强的结果。以后西风急流减弱。

由于东亚冷涌向南的冲击作用,在赤道低层还可以激发出一系列向东西方向传播的波动,其中最主要的是向东传播的Kelvin波,它的特征是以纬向气流为主,强西风区向东传播。

中高纬环流对于低纬对流的响应也很明显。莫秀珍等^[16]的计算表明,在北半球冬季期间,存在7种遥相关型,其中太平洋-北美遥相关型(PNA)的产生,即与印度

洋到西太平洋的对流发展有关。黄荣辉[17]的理论研究指出,冬季低纬热源异常,对北半球中高纬对流层大气环流的异常有很大影响。冬季低纬强迫源所产生的准定常行星波,准水平地通过对流层传播到高纬度对流层上层,波的振幅在此最大。他的数值试验结果表明,热带太平洋上空的热源异常,可以产生PNA型的大气环流异常。理论与观测结果颇为一致。

Hadley环流与Walker环流上下层气流相反,是斜压性的。而低纬对流引起的PNA型波列上下层流型的位相相同,是正压性的,这种波动属于二维Rossby波。

四、冬季风与低频振荡

东亚冬季风具有明显的振荡现象。仇永炎[3]指出,寒潮活动周期为20天左右。陈隆勋等[18]分析得出,北半球冬季长波射出辐射(OLR)具有14天和30—60天的周期振荡。整个冬季14天周期振荡向东传播,1980—1981年和1981—1982年冬季这种振荡主要活动于 160°E — 180° ,然而在1982—1983年冬季厄尔尼诺期间,活动中心移到赤道印度洋和东太平洋。朱乾根等[19]和吴秋英等[20]的数值试验发现,冬季,当地表温度受热力学方程(不考虑温度平流)制约时,海表温度(SST)异常可以形成对流扰动。SST扰动及对流降水均具有准双周振荡的特征,且降水量的振荡位相比SST振荡位相落后 $1/3$ 周期。SST的变化主要与太阳辐射有关(不考虑平流时),而降水强度的变化与积云的发展有关。因此,可以认为,准双周振荡是由云-辐射相互作用所形成的。此外,试验表明扰动是向东传播的,并可引起周围广大地区内的环流变化,可见这种振荡是东传的,在SST异常暖的地区振荡更为活跃。

杨松等[21]的研究发现,弱冷空气活动具有单周周期振荡,强冷空气活动则具有准

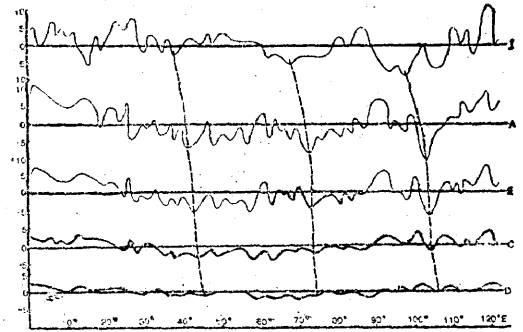


图5a 1980—1981年冬季寒潮关键区和4个影响区的850hPa温度距平曲线

A为江北区,B为江南区,C为华南沿海,D为南海,下同

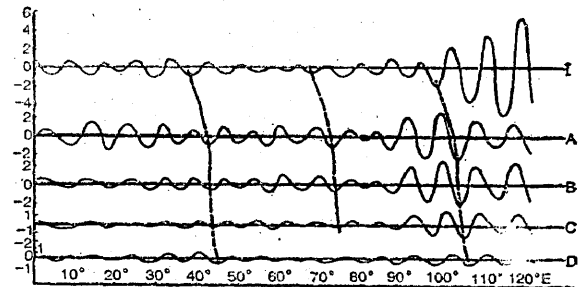


图5b 1980—1981年冬季寒潮关键区和4个影响区的单周滤波曲线

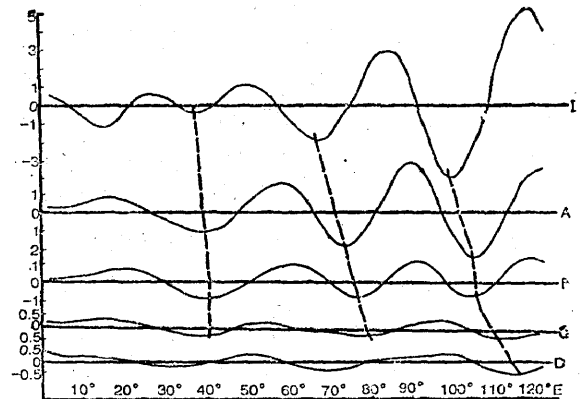


图5c 1980—1981年冬季寒潮关键区和4个影响区的准40天滤波曲线

40天周期振荡。图5a、b、c分别是1980—1981年冬季寒潮关键区的850hPa温度距平、单周滤波和准40天滤波曲线。由图5a可见,整个冬季有多次弱冷空气活动,各区之间无明显的对应关系,很难追踪它们的活动规

律。但其中有3次较强的冷空气活动，可以从关键区一直追踪到南海。在关键区内振幅最大，愈向南振幅越小，由关键区传播至南海约需7天左右。图5b、c显示，单周周期的冷空气活动振幅很小，而准40天周期的冷空气活动振幅较大。准40天周期振荡与3次强冷空气活动一一对应，单周周期振荡虽也与强冷空气活动相对应，但它更多的是与弱冷空气相对应，且其振幅小。因此，一直影响到南海的强冬季风主要具有准40天的低频振荡特征。

分析表明南半球的夏季风同样具有显著的低频振荡特征。智协飞等^[22]研究了北半球低频季风活动与南半球低频夏季风对流的联系。他们根据1981年11月—1982年3月的OLR和850hPa风场资料，用扩展经验正交函数分析发现，冬季850hPa上来自东亚沿岸的30—60天的低频东北风，向南传播越过赤道后可以转为印度尼西亚—北澳大利亚地区的夏季西北风。当其于澳大利亚热低压西侧的低频偏南风辐合时，可以产生的强烈的对流，该地区进入夏季风活跃期。反之，夏季风中断。此外，来自西太平洋沿赤道向西延伸的低频西北风与澳大利亚以东海面上加强的低频西南风辐合时，夏季风对流区将向东扩展。这些结果与未经滤波的分析相似。

1985年李崇银^[23]提出了“移动性CISK”驱动季风槽脊等30—60天周期变化的观点，强调了积云反馈的作用。随后，又提出由积云对流加热反馈产生的CISK-Rossby型波动，是赤道以外热带大气30—50天振荡的主要激发和驱动机制^[24]。由此可见，积云对流反馈可以加强原已存在的低频季风活动。徐德祥等^[25]强调低纬地区的风切变、流场辐散辐合、非绝热加热以及地转参数 f 等，是热带低频振荡的基本因子。而中纬度准周期性斜压发展导致的低频冷涌，是热带大气低频振荡的一种外界强迫。在适当条件下，它们之间产生共振，可使热带大

与低频振荡获得突发性的加强。

五、冬季风与厄尔尼诺

李崇银^[26]^[27]根据1910—1984年75年的资料统计发现，在厄尔尼诺发生前的冬半年经常有频繁的东亚强寒潮活动。图6为上述期间19个厄尔尼诺年和14个反厄尔尼诺年发生前，冬半年(10—4月)上海及青岛平均温度距平变化曲线。由图可见，厄尔尼诺年4月份之前的半年内两地都基本上为负距平，而反厄尔尼诺年却基本上为正距平。说明厄尔尼诺事件发生前东亚确有频繁的强寒潮活

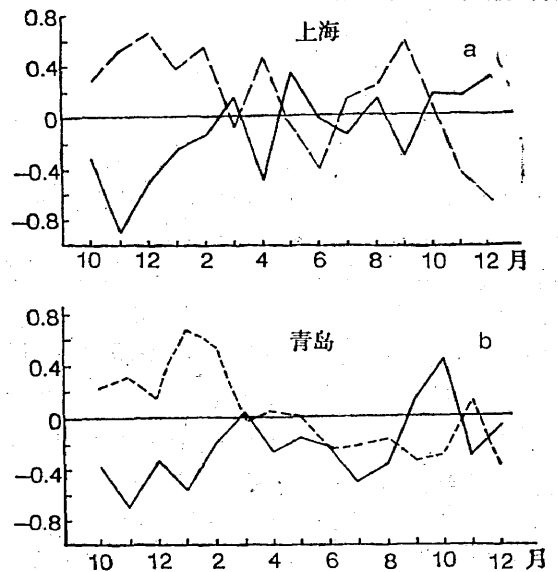


图6 厄尔尼诺年(实线)和反厄尔尼诺年(虚线)前上海(a)和青岛(b)月平均温度距平变化曲线

动。其机制可能是，与强寒潮活动相对应的500hPa强东亚大槽向东南方向传播时，槽前的负高度距平使西北太平洋副热带高压高度减弱并南移，从而促使副高南侧赤道中太平洋上的东北信风减弱，最终导致厄尔尼诺事件的发生。徐淑爱^[28]指出，冬季风强年，亚洲西风环流减弱，东亚槽南伸，500hPa西太平洋副高偏弱。冬季风弱年则相反。

东北信风减弱(即西风异常，强烈时称为西风爆发)还与强冷涌向南侵入南半球有

关。如上所述,东北风冷涌侵入南半球后,可引起南半球的夏季风对流并产生强烈扰动,在扰动北侧的赤道西太平洋上就可产生西风异常,强烈时产生西风爆发。朱乾根等⁽²⁹⁾指出,1986—1987年厄尔尼诺的发生与1986年夏季以来赤道西太平洋上的西风异常有关。由于该年赤道西太平洋北侧SST异常暖,加之该处有南半球偏南风异常,促使西太平洋赤道附近扰动频繁发展,因而赤道西太平洋上西风加强。可见来自南半球的强冷涌也会促使西风爆发或东北信风减弱。

陈隆勋等⁽³⁰⁾指出,1981—1982年冬季OLR 30—60天振荡在赤道西太平洋和印度洋异常活跃,但是在1982—1983年厄尔尼诺发生期间,西太平洋的低频振荡受到抑制,而在东太平洋得到加强。这似乎表明,冬季低频振荡可以激发厄尔尼诺的发生。实际上,强冬季风和赤道西风爆发皆具有低频振荡特征,因此,这些结论都是一致的。

厄尔尼诺的发生对东亚冬季风也会产生强烈影响。郭其蕴⁽³¹⁾、朱乾根等⁽²⁹⁾指出,厄尔尼诺事件发生的当年冬季,东亚冬季风偏弱。郭其蕴还指出,厄尔尼诺当年冬季东亚大陆冷空气南下路径偏东(实际上是冬季风偏弱的表现),东亚冬季风经圈环流异常,表现为近赤道地区下沉,而在南北半球副热带上升,因此我国南方多雨。反厄尔尼诺年情况相反,冷空气路径偏西,东亚冬季风经圈环流主要表现为赤道附近上升,南北两侧下沉,我国南方少雨。赖莹莹等⁽³²⁾指出,冬季风强且晚,华南春雨少;冬季风强且早,华南春雨多。

六、结束语

多年来,我国对冬季风的研究主要限于寒潮爆发及其对我国各地的影响,这方面已经取得许多重要成果。但对于冬季风的向南传播,青藏高原对冷涌的作用,冷涌对低纬对流、环流和南半球夏季风的影响,低纬对

流对中高纬环流的作用,低频冬季风活动以及冷涌与厄尔尼诺的关系等很少研究。而这些问题对于认识冬季风的活动规律及其与大气环流的相互作用都是极为重要的,对于中长期天气预报也是极为有用的。同时,这些问题也是当代世界气象界致力研究的前沿课题。

我国气象工作者在短短几年中对这些课题进行了研究,并取得一批可喜的成果,从而填补了这方面的空白。中美季风科研合作计划及其实践对推动我国冬季风的研究起到了积极的作用。目前这种合作研究正在继续深入,相信必将取得更丰硕的成果。

虽然我国的冬季风研究在使用手段和方法上,在取得的成果上已经接近或达到国际先进水平,但研究还是不平衡的,在某些领域研究尚不够深入,成果也不多。今后我们更应有组织有计划地进行,克服上述不平衡现象。我们必须加强低频冬季风活动的研究,低纬冷涌对流对中高纬环流反馈的研究,以及冬季风与厄尔尼诺的联系等的研究。我们还必须加强诊断分析的研究,以便揭露更多有意义的新事实,在此基础上通过各种方法探讨其物理过程,为设计热带数值预报模式提供依据,为改善我国的寒潮预报提供新的思路。

参 考 文 献

- [1] Darwin Tropical Diagnostic Statement, January 1987, Vol.6, No.1.
- [2] 陶诗言,东亚冬季冷空气活动的研究,短期预报手册,中央气象局,1957年。
- [3] 仇永炎等,中期天气预报, p309—346, 科学出版社,1985年。
- [4] 仇永炎等,寒潮中期预报研究进展,气象科技,1983年3期。
- [5] 卢文通、丁一汇和温市耕,东亚冬季风中非地转风的初步研究,气象科学院院刊, Vol.3, No.2, p.138—150, 1988.
- [6] 朱乾根、杨松,1989,青藏高原大地形对冷涌作用的数值试验研究,AMS,待发表。
- [7] 杨松、朱乾根,冷涌结构及冷涌期中低纬环流相互作用的数值试验,热带气象, Vol.5, No.3, p.228—333, 1989.
- [8] 丁一汇、卢文通,1989,东亚冬季风的统计研

- 究, 热带气象, 待发表。
- [9] 陆菊中、林春育, 东亚冬季风强弱变异与梅雨期旱涝的关系, 气象科学技术集刊(11), 77—82, 1987。
- [10] Ding, Y.H and T.N.Krishnamurti, Heat budget of the Sibarrain high and the winter monsoon, M. W. R., 115, 2428—2449, 1989。
- [11] 周学群, 两次冷涌过程的分析, 热带气象, Vol.5, No.1, p.57—62, 1989。
- [12] 陆维松、朱乾根, 1989, 青藏高原大地形对冷涌作用的理论研究, AMS, 待发表。
- [13] 朱复成, 冬季风潮及其对低纬深厚积云对流和低层流场的影响, 天气学新进展, p.309—325, 气象出版社, 1986年。
- [14] 陈隆勋、李维亮, 亚洲季风区各月的大气热源结构, 全国热带夏季风学术会议文集, p.246—258, 云南人民出版社, 1982年。
- [15] 朱抱真, 1988, 冬季风期间行星尺度环流特征的数值研究, 西安全国季风会议。
- [16] 莫秀珍、梁必骥、冯志强, 1988, 北半球冬季风期的遥相关与低频振荡, 同[15]。
- [17] 黄荣辉, 冬季低纬热源异常在北半球对流层大气环流异常中的作用, 气象学报, Vol.43, 4, p.410—422, 1985。
- [18] Chen, L. X, and A. Xie, 1988, On the propagation of biweekly oscillation in northern winter and its relation to the El-nino, AAS待发表。
- [19] 朱乾根、吴秋英, 1989, 热带大气准双周振荡的数值试验研究, AMS, 待发表。
- [20] 吴秋英、朱乾根, 1989, 热带大气环流对低纬太平洋SST暖异常的响应, 南京气象学院学报, 待发表。
- [21] 杨松、朱乾根, 1989, 东亚地区冬季大气低频振荡与冷空气活动关系的初步研究, 待发表。
- [22] 智协飞、朱乾根、雷兆崇, 1989, 印尼-澳大利亚北部低频夏季风活动及其与中纬环流的联系, 待发表。
- [23] 李崇银, 热带大气运动的特征, 大气科学, Vol.9, No.4, p.336—346, 1985。
- [24] 李崇银, 1988, 赤道以外热带大气中30—60天振荡的一个动力学研究, 同[15]。
- [25] 徐德祥、何金海、朱乾根, 1988, 热带大气低频振荡基本因子的一个动力学分析, 同[15]。
- [26] 李宗银, 频繁的强东亚大槽活动与El nino的发生, 中国科学(B辑), No.6, 667—674, 1988。
- [27] 李崇银、胡季, 东亚大气环流与埃尔尼诺相互影响的一个分析研究, 大气科学, Vol.11, No.4, p.359—364, 1987。
- [28] 徐淑爱, 冬季风异常的环流特征及其与初夏华南降水的关系, 热带气象, Vol.4, No.3, p.263—271, 1988。
- [29] 朱乾根、谢立安, 1986—1987年北半球冬季亚、澳地区大气环流异常及其与西太平洋SST异常的联系, 热带气象, Vol.4, No.3, p.254—262, 1988。
- [30] Chen, L. X, A. Xie and Murakami, T. OLR资料可揭示的El nino和30—60天振荡之间的关系, 气象科学技术集刊(11), 26—35, 气象出版社, 1987年。
- [31] 郭其璠, 1988, 东亚季风活动与厄尔尼诺的关系, 同[15]。
- [32] 赖莹莹、吴晓敏, 冬季风与华南春夏降水, 广东省气象台技术报告, 第8610号, 1986年。

A review of studies on East Asia winter monsoon in China

Zhu Qiangen

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract

A general review is given here to the studies on eastern Asian winter monsoon and its associated Southern Hemisphere Summer monsoon by Chinese meteorologist in last several years.

In the studies, numerous investigations have been made in various areas, such as the equatorward propagation of the eastern-Asian cold surges, cold surge-caused interactions between low-and mid-latitude circulations, characteristics of the low-frequency oscillation of winter monsoon, and the relationship between the monsoon and El Nino events, etc. The efforts have almost touched the whole frontier of monsoon studies on earth. The results show that the studies in China have obtained the same or almost the same with those of the world. Yet, the review indicates that there are some topics and fields remain to be further examined.