谭桂容,陈海山,孙照渤,等. 2010. 2008年1月中国低温与北大西洋涛动和平流层异常活动的联系 [J]. 大气科学,34 (1):175-183. Tan Guirong, Chen Haishan, Sun Zhaobo, et al. 2010. Linkage of the cold event in January 2008 over China to the North Atlantic Oscillation and stratospheric circulation anomalies [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (1):175-183.

2008 年 1 月中国低温与北大西洋涛动和 平流层异常活动的联系

谭桂容 陈海山 孙照渤 邓伟涛

江苏省气象灾害重点实验室,南京信息工程大学,南京 210044

摘 要 运用中国 160 站月平均气温和 NCEP/NCAR 再分析数据,在结合近 30 年中国 1 月地面气温年际异常变 化可能机理基础上,分析了 2008 年 1 月气温异常变化的原因。结果表明:2008 年 1 月中国大范围气温异常偏低, 其异常变化与同期北大西洋西风急流及其相联系的北大西洋涛动遥相关环流异常有密切的关系。北大西洋急流 加强东扩,北大西洋涛动正异常,从北大西洋经欧亚中高纬到中国北方出现波状环流异常,贝加尔湖南侧气压偏 高,冷空气活动偏强,是中国 1 月气温偏低的主要环流因子。进一步分析发现,2008 年 1 月中国低温还受到了平 流层的影响。平流层环流异常开始于 2007 年 9 月,对流层从 2007 年 12 月开始,两者都在 2008 年 1 月达到最强。 从平流层环流显著异常的波源区有异常的波作用量向西向下传播,在北大西洋东部到西欧上空平流层和对流层 的波向量耦合,导致对流层该地区上空高压脊扰动加强,扰动向北的经向热输送异常偏强,锋区向北扩展,相应 急流异常偏北东扩;通过波流相互作用,扰动能量向下游频散,引起相应遥相关环流异常,导致 2008 年 1 月中国 低温。

关键词 环流异常 地面气温 冷事件 平流层和对流层相互作用 **文章编号** 1006-9895 (2010) 01-0175-09 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Linkage of the Cold Event in January 2008 over China to the North Atlantic Oscillation and Stratospheric Circulation Anomalies

TAN Guirong, CHEN Haishan, SUN Zhaobo, and DENG Weitao

Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract In terms of the monthly NCEP/NCAR data and the 160 site temperature data from the National Climate Center (NCC), the main causes of anomalously low surface air temperature in January 2008 over China are investigated on the basis of the possible mechanism of typical episodes occurring in recent 30 years. Results show that the January surface air temperature in 2008 is lower than normal in most part of China, which is linked closely to the teleconnection circulation anomaly associated with the North Atlantic Oscillation (NAO) and the jet stream over the North Atlantic. The main circulation causes for the lower temperature is that the jet stream becomes strong and expands to the East Atlantic with positive NAO as a wave train circulation anomaly pattern appearing from the North Atlantic to East Asian area, and higher pressure occurs to the south of Baikal, indicating that the cold air is stronger

收稿日期 2008-10-18, 2008-12-31 收修定稿

资助项目 江苏省气象灾害重点实验室基金资助项目 KLME060212, 国家自然科学基金资助项目 40775059, 江苏省政府留学基金

作者简介 谭桂容,女,1970年出生,博士,副研究员。主要从事短期气候变化及其预测研究。E-mail: tanguirong@nuist.edu.cn

than normal. The circulation anomalies in the troposphere are influenced by those from the stratosphere. The circulation anomalies in the stratosphere occurred earlier in September 2007 than those in the troposphere appearing in December 2007. And both of them became strongest in January 2008. Anomalous wave fluxes propagate from the wave source in the stratosphere over East Asia downward and westward, and in the upper troposphere over the North Atlantic there is a remarkable convergence of wave fluxes, leading to enhancing of the ridge there with stronger northward heat transportation and the related front zone shifting, and the jet stream anomalously developing and easterly expanding. Thereby anomalous disturbance energy will disperse downwards by wave – flow interaction and induce teleconnection circulation anomalies, resulting in the lower temperature episode of 2008 in China. **Key words** circulation anomaly, surface air temperature, cold event, stratosphere-troposphere interaction

1 引言

2008年1月,全国平均气温为-6.6℃,为 1986年以来的最低值;中国南方地区出现50年--遇大范围持续低温雨雪冰冻天气,湖南、甘肃1月 区域平均气温为1951年以来历史同期次低值;黄 河宁夏段封河速度加快,凌汛形势严峻。因此, 2008年1月气温异常对2007/2008年冬季气温偏 低有重要贡献,该月共出现了4次低温过程,具有 强度强、范围广、持续时间长、灾害重的特点,给 中国经济和人民生活造成了严重影响和损失(http://ncc.cma.gov.cn/upload/upload2/yxpj/qhpj_ m080100.doc)。所以,对1月气温异常的成因进行 分析,为防灾减灾提供科学依据,具有重要意义。

中高纬度环流异常可使侵入中国的冷空气活动 异常,是导致中国冬季气温异常的直接原因(郭其 蕴, 1994; 武炳义和黄荣辉, 1999; 陈海山和孙照 渤, 2001; Huang et al., 2007)。当冬季欧亚中高 纬度呈现 EU 型遥相关环流异常时,乌拉尔山阻塞 高压持续发展异常,东亚大槽长期稳定维持在蒙古 上空, 槽后偏北风不断诱导冷空气南下, 对应西伯 利亚高压和东亚冬季风偏强,可造成中国地面气温 偏低(吴洪宝, 1993; 施能, 1996; 龚道溢和王绍 武,1999;武炳义和黄荣辉,1999;朱艳峰等, 2007)。作为冬季北半球年际变率最强的北大西洋 涛动或北极涛动 (NAO/AO), 与中国乃至北半球 冬季地面气温变化有较好的相关关系这一结论在不 少的研究中已被证实(龚道溢和王绍武,2000;武 炳义和黄荣辉, 1999; 范丽军等, 2003; 胡秀玲和 刘宣飞, 2005; 陈文和康丽华, 2006; Sung et al., 2006; 朱艳峰等, 2007; Lu et al., 2007)。当 NAO/AO 异常活跃时,有利于行星尺度天气系统 的稳定维持,从而导致天气气候的异常。如冬季当

NAO 正(负)异常,对应北大西洋亚速尔高压和冰 岛低压同时加强(减弱)时,西伯利亚高压和东亚 冬季风加强(减弱),亚洲大陆北部气温显著偏低 (高)(武炳义和黄荣辉,1999)。而且,不仅限于对 流层环流系统的异常,一些研究还注意到平流层和 对流层大气之间的相互作用及其异常对气候的影响 (Dunkerton,2000; Black,2001; Christiansen, 2001; Perlwitz and Graf,2001; 陈文和黄荣辉, 2005;陈文和康丽华,2006;陈文等,2008)。研究 结果表明,平流层大气长波或行星尺度波扰动可以 影响到对流层,这种影响与准定常行星波活动异常 及其能量在大气中的传播有密切的关系(Christiansen,2001; Perlwitz and Harnik,2003;陈文和黄荣辉, 2005;陈文和康丽华,2006;陈文等,2008))。

对 2008 年 1 月中国低温的研究表明, 1 月欧亚 中高纬度乌拉尔山阻塞高压异常及贝加尔湖到巴尔 喀什湖低槽等环流异常是引起中国这次低温的主要 原因(王凌等,2008;高辉等,2008;李崇银等, 2008; 陶诗言和卫捷, 2008; 张庆云等, 2008), 此 外, 平流层极涡和 AO 等行星尺度环流异常与这次 低温事件也有重要的关系。有分析指出 2007/2008 年冬季 AO 异常活跃,有利于行星尺度波动的稳定 维持,且 2007/2008 年冬季平流层极涡的增强先于 对流层,存在极涡和纬向风异常由平流层向对流层 伸展的现象(陈文等,2008;王东海等,2008)。以 上研究对我们认识 2008 年 1 月中国低温的成因有 重要意义,其中关于平流层与对流层环流异常的时 滞现象,可能对低温事件的预测有指示作用。但以 上研究主要着重分析了 2008 年 1 月大气环流的变 化特征, 而关于历年1月低温年环流异常特征、平 流层与对流层行星波的传播异常及其对中国低温的 影响途径还有待于进一步研究。因此,本文拟在近 30年中国1月气温年际异常机理分析基础上,针对 2008年异常低温个例,探讨 2008年1月气温异常的成因。

2 数据和方法

2.1 资料

使用的数据有:国家气候中心整编的中国 160 站 1 月平均气温; NCEP/NCAR 再分析月、日平均 1000、925、850、700、600、500、400、300、250、 200、150、100、70、50、30、20、10 hPa 的 u、v、 T、H 数据,网格点密度为 2.5°×2.5°;美国海洋 及大气管理局 (NOAA) 气候预测中心整理的逐月 北大西洋涛动指数 (http://www.cpc.ncep.noaa. gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly. b5001.current.ascii.table),该指数是运用500 hPa 高度场来计算的,当指数正异常时对应北大西洋亚 速尔高压和冰岛低压同时偏强。以上所用数据长度 为 1979 年~2008 年。

2.2 方法

利用 Pulmb (1985) 推导出的一个描述三维行 星波传播的波作用向量来诊断环流异常的原因,见 (1) 式。



其中, φ 为纬度; $p_0 = p/1000$; $S = \partial \hat{T}/\partial Z + \kappa \hat{T}/H$ 为静力稳定度, \hat{T} 为区域平均温度, $\kappa = R/c_p$; u、v、T、 ϕ 为纬向风、经向风、温度、位势高度月平均数据去掉纬向平均的涡动部分。

177

典型冷暖年是根据 1979~2008 年中国 1 月气 温的旋转正交分解第一模态对应的时间系数选取 的,以标准化时间系数绝对值大于 1.0 的年份为典 型年,冷暖年分别为: 1983、1984、1993、1995、 2008 年和 1982、1987、1997、2003 年。由于 2008 年 1 月气温偏冷,本文合成分析的差值图都用偏冷 年减去偏暖年;除图 1 外,本文图形中的阴影部分 都表示气温典型年差值显著区。

3 气温异常分布

图 1a 是典型气温冷暖年差值; 图 1b 是 2008 年1月气温距平。由图 1a 可见,除中国东北、华北 东部、青藏高原东部地区外,典型冷暖年1月气温 差值在中国大部地区为显著的负值。2008 年1月 气温距平分布与典型年的空间分布类似(图 1b), 即 2008 年1月气温相对低值区与图 1a 中显著异常 的低值区域对应。表明 2008 年1月是一个典型的 低温年。

4 同期环流特征

为探讨低温的成因,首先对直接影响气候异常 的同期环流进行分析。由图 2a 可见,在北大西洋 经欧洲大陆到中国北方地区,有一波列结构的环流 异常,呈现 NAO 异常特征,且与典型年显著异常



图 1 (a) 典型冷暖年中国 1 月气温距平合成差值(阴影:统计检验信度达到 95%); (b) 2008 年 1 月气温距平(阴影:绝对值达到 1℃) Fig. 1 (a) Composite Jan temperature differences between typical cold and warm events over China (Shading: confidence level exceeding 95%); (b) Jan temperature anomalies in 2008 (Shading: values over 1℃ or below -1℃)



图 2 2008 年 1 月距平与冷暖年合成差值显著异常区: (a) 500 hPa 高度 (单位: gpm); (b) 850 hPa 风场; (c) 海平面气压 (单位: hPa)。 阴影: 同图 1a

Fig. 2 Jan anomalies in 2008 and composite *t*-test values for the differences between typical cold and warm events (Shaded areas mean confidence level exceeding 95%, but for *v* component in Fig. 2b); (a) 500-hPa geopotential height (gpm); (b) 850-hPa wind; (c) sea level pressure (hPa)

的波列中心对应。表明 2008 年 1 月环流异常变化 与典型年也是一致的。由 850 hPa 风场(图 2b)可 见,类似于高度场,从北大西洋到欧亚大陆的中高 纬度也为一波列结构异常环流,其中在中国大陆地 区为一弱的异常气旋性环流,中国东部地区的北风 异常不明显。从海平面气压场(图 2c)可见,北大 西洋涛动区域有明显的异常,欧亚大陆除青藏高原 地区外为正的海平面气压距平。以上结果表明,引 起 2008 年 1 月低温的环流特征也与典型年一致, 即 NAO 异常及相联系的欧亚中高纬度环流异常是 造成中国低温的主要原因,这进一步证实 2008 年 是一个典型的低温年。

以上分析表明,中国1月气温异常年的环流呈现 NAO 型异常特征。为进一步分析 NAO 与气温 异常年环流的关系,把 500 hPa 上从北大西洋到中 国大陆的异常波列中心达到显著变化的格点的高度 距平分别累加求区域平均,再按照中心异常变化的 符号同向相加。照此计算历年值得到的时间序列作 为中国1月气温异常的环流指数,简称为 HIDX。 由图3可见,HIDX与 NAO 指数的年际变化曲线 比较一致,两者的线性相关系数达0.89。即当 NAO 指数为正(北大西洋亚速尔高压和冰岛低压 同时加强)时,中国1月气温容易偏低;反之,则 容易偏高。这进一步说明 NAO 异常与中国1月气 温异常有密切的关系。

由于北大西洋涛动又与北大西洋西风急流活动 相联系 (Dunkerton, 2000),所以下面对北大西洋 急流进行了分析。从图 4 可见,2008 年 1 月北大西 洋西风急流相对于多年平均情况明显向东北方向伸 展。计算历年北大西洋北部上空 200 hPa (20°N~



图 3 1月北大西洋涛动指数和 HIDX 年际变化曲线 Fig. 3 Interannual variations of Jan North Atlantic Oscillation (NAO) index and height index (HIDX)



图 4 1月 200 hPa 纬向风为 30 m/s 的特征线图。实线: 1979~2008 年;长虚线: 2008 年

Fig. 4 Isolines of 30 m/s zonal wind speed at 200 hPa. Real line: the mean for 1979 - 2008; dashed line: 2008

Table1 Indices of typical cold/warm events over China										
		典型冷年					典型暖年			
	1983	1984	1993	1995	2008	1982	1987	1997	2003	
急流东西位置偏差/(°)	1.2	1.5	0.7	1.3	1.0	-0.6	-0.69	-0.8	0	
急流南北位置偏差/(°)	-0.1	0.7	0.4	1.0	0.7	-1.5	-0.7	-0.8	0.3	
NAO 指数	1.2	1.9	1.9	1.0	1.0	-1.8	-1.9	-1.2	-1.1	
HIDX	1.2	2.3	1.0	0.9	1.3	-1.6	-1.3	-1.2	-1.6	

表 1 典型冷暖年指数值 Table1 Indices of typical cold/warm events over China

70°N,80°W~0°)西风数值达到30m/s格点所在的纬度和经度平均值,分别代表相应急流南北位置和东西位置,正(负)纬度和经度距平值分别表示相应急流位置相对于正常年偏北(南)和偏东(西)。由表1可见,偏冷年除1983年为正常偏东(西)。由表1可见,偏冷年除1983年为正常偏东(本,4/5年偏东偏北;偏暖年除2003年正常外,3/4年偏南偏西。即偏冷年北大西洋急流的位置偏东偏北,而偏暖年则偏西偏南。HIDX和NAO在偏冷年都异常偏高,偏暖年则偏低。这进一步证实,NAO及其相联系的环流异常与中国1月气温异常确有紧密的联系,且这种环流异常对应北大西洋急流偏北偏东,乌拉尔山阻塞高压持续发展,冷空气活动偏强,对应中国气温偏低;反之,中国气温偏高。

5 与平流层的联系

以上分析表明,NAO及相关的环流异常是造成 2008 年 1 月低温的主要环流因子。据多数研究 结果,NAO 是大气内部现象,与平流层极涡有很 好的关系(龚道溢和王绍武,2000)。那么,2008

年对流层环流异常是否与平流层存在联系? 由图 5a,可见图 2a 中北大西洋北部显著负距平的环流异 常在整个对流层到平流层均存在,而北大西洋东部 到欧洲上空的显著正距平主要体现在对流层。另 外,亚洲到北太平洋上空还存在较大的负距平,其 中负异常中心在平流层。对与急流密切相关的纬向 温度梯度∂T/∂Y进行分析(图 5b),对应典型年显 著异常区,2008年1月对流层的北大西洋为负距 平,异常变化的中心在对流层中上层,与北大西洋 急流异常扩展区对应。另外,在平流层,欧亚大陆 到北太平洋上空也为负距平,中心位于 50 hPa 附 近,表明2008年1月低温可能与平流层的异常变 化有关。注意到北冷南暖的异常变化区对应极区高 度异常偏低,在北大西洋上空对流层和东亚上空平 流层分别有 ∂T/∂Y 负异常变化中心与高度负异常 中心对应。这表明极区环流异常与锋区(急流)的 异常变化相一致。根据 300 hPa 和 50 hPa 温度梯 度显著变化的中心区域,分别计算其随时间的演变 (图 6)。可见,平流层区域 (40°N~80°N, 80°E~ 160°E)的 $\partial T/\partial Y$ 负异常变化与典型年类似,从前 期9月份就开始,到1月达到最强,之后开始减弱。

大 气 科 学 Chinese Journal of Atmospheric Sciences



图 5 2008 年 1 月距平和冷暖年合成差值 *t* 检验值的经度-高度剖面图: (a) 位势高度; (b) $\partial T/\partial y$ 。阴影: 同图 1a Fig. 5 Longitude – altitude sections of January anomalies in 2008 and composite *t*-test values for the differences between typical cold and warm events; (a) Geopotential heights; (b) $\partial T/\partial y$. Shading; same as Fig. 1a



图 6 2007 年 7 月~2008 年 4 月标准化∂T/∂y 距平及冷暖年合成 t 检验的时间-高度剖面: (a) (40°N~80°N, 80°E~160°E) 区域; (b) (50°N~80°N, 70°W~10°E) 区域。阴影: 同图 1a

Fig. 6 Time – altitude sections of normalized $\partial T/\partial y$ anomalies during Jul 2007 – Apr 2008 and composite *t*-test values of typical cold and warm events: (a) Over area (40°N – 80°N, 80°E – 160°E); (b) over area (50°N – 80°N, 70°W – 10°E). Shading: same as Fig. 1a

对流层 (50°N~80°N, 70°W~10°E) 区域的 $\partial T/\partial Y$ 变化从 12 月开始, 到 1 月达到最强, 之后开始减弱。可见, 2008 年 1 月平流层温度梯度的异常变化 先于对流层, 这说明 2008 年 1 月低温与典型年一样可能受平流层环流异常的影响。

从波作用量图(图7)上可见,对应波作用显 著异常的北大西洋东北部经欧亚大陆到北太平洋北 部地区,2008年1月波作用量存在明显的异常,其 中在平流层 50 hPa 上, 东亚大陆上空是异常波矢 量的源区。由剖面图(图 8)可见, 从平流层欧亚 大陆上空的波源区到对流层, 波作用量存在显著异 常的垂直传播。波能从源区分别向东向上和向西向 下传播, 其中向西向下传播的波矢量在北大西洋东 部与对流层垂直向上的波矢量辐合, 波流相互作用 使该地区高压脊扰动增强, 向北的暖空气偏强, 对 应锋区偏北, 急流偏北偏东。这说明通过行星波波

34 卷

Vol. 34



图 7 2008 年 1 月 50 hPa 波作用量 F_s 距平及冷暖年垂直分量合成 t 检验 (单位: m²/s²)。阴影: 垂直分量统计检验信度达到 95%; 箭头: 水平分量, 等值线: 垂直分量

Fig. 7 Jan F_s anomalies (units: m^2/s^2) in 2008 and composite *t*-test values of typical cold and warm events at 50 hPa. Shading: confidence level exceeding 95% for the vertical component; arrows: horizontal component; contours: vertical component



图 8 1月波作用量 F_s 距平及冷暖年垂直分量合成 *t* 检验值沿 70°N的经度-高度剖面图 (单位: m²/s²)。阴影: 同图 7; 箭头: 纬向和垂直分量 (扩大了 50 倍); 等值线: 经向分量

Fig. 8 Longitude – altitude section of Jan F_s anomalies (units: m^2/s^2) and composite *t*-test values for the vertical component of typical cold and warm events at 70°N. Shading: same as Fig. 7; arrows: zonal and vertical component (\times 50); contours: meridional component

流相互作用,平流层环流异常影响到了对流层环流,且在这种影响中对流层是以北大西洋东部到欧洲上空的高压脊的增强为先。根据图 2a 中高度显著异常的区域,分别选取北大西洋(50°N~70°N,40°W~10°E)和北大西洋东部到欧洲上空(50°N~80°N,20°E~90°E)两个区域分析其高度距平的逐日变化。可见,北大西洋东部到欧洲上空正距平的发生早于北大西洋负距平变化(图9)。这进一步证实对流层在响应平流层环流异常影响中,北大西洋东部到欧洲的高压脊首先增强,然后增强的高压脊

扰动使向北的暖空气输送加强,锋区北移,导致急流北移;通过波流相互作用,扰动能量再向上下游频散,引起相应遥相关环流异常,进而导致了中国的气温偏低。

181

6 结论与讨论

本文结合 1979 年以来典型年 1 月气温异常的 环流特征,探讨了 2008 年中国 1 月气温异常变化 的原因,主要有以下结论。

2008年1月属典型低温年,其温度异常的空间 分布和相应的中高纬环流异常特征与典型年异常变 化一致。

2008年1月北大西洋急流加强东扩,NAO正 异常(北大西洋亚速尔高压和冰岛低压同时加强), 从北大西洋经欧亚中高纬到中国北方出现波状环流 异常,相应乌拉尔山高压脊偏强,贝加尔湖南侧气 压偏高,冷空气活动偏强,是中国1月气温偏低的 主要中高纬环流因子。

2008年1月中高纬环流异常受平流层扰动的 影响,行星波异常及其传播在这种影响中起重要作 用,且对流层以北大西洋东部到欧洲上空高压脊首 先发生异常。平流层环流异常开始于 2007年9月, 对流层则从 2007年12月开始,两者都在 2008年1 月达到最强。欧亚大陆上空的波源区波作用量异常 从平流层到对流层存在显著的垂直传播。在北大西 洋东部到欧洲上空平流层向下的波矢量与对流层垂 直向上的波向量辐合,波流相互作用使该地区高压 脊扰动增强,向北的暖空气偏强,对应锋区偏北, 急流偏北偏东;通过波流相互作用,扰动能量向上



图 9 2007 年 12 月~2008 年 2 月高度距平及冷暖年合成 *t* 检验值的逐日演变剖面图 (单位: dagpm): (a) (50°N~70°N, 40°W~10°E) 区域; (b) (50°N~80°N, 20°E~90°E) 区域。阴影: 同图 1a

Fig. 9 Daily evolution sections of geopotential height anomalies (dagpm) during Dec 2007 – Feb 2008 and composite *t*-test values of typical cold and warm events: (a) Over area $(50^{\circ}N - 70^{\circ}N, 40^{\circ}W - 10^{\circ}E)$; (b) over area $(50^{\circ}N - 80^{\circ}N, 20^{\circ}E - 90^{\circ}E)$. Shading: same as Fig. 1a

中国 2008 年 1 月低温。

本文结合分析了近 30 年中国 1 月气温异常的 相关环流。尽管,2008年1月不仅中高纬度环流系 统异常,而且西太平洋副高、印缅槽等也发生明显 异常,其对2008年1月中国低温有重要贡献(王凌 等,2008;高辉等,2008;李崇银等,2008;王东海 等,2008;陈文等,2008),但是,从本文结果看, 造成近 30年中国低温的直接环流只在上游北大西 洋经乌拉尔山到贝加尔湖以南地区是显著的,在下 游东亚到北太平洋地区以及副热带和低纬度地区的 环流异常并不显著。这表明造成近 30 年中国 1 月 低温的主要原因可能还是来自于上游的中高纬度系 统异常。另外,对流层环流异常与平流层环流有密 切的联系,且平流层环流的异常先于对流层,似乎 可以作为短期气候预测的前期信号,但这种超前关 系的时间尺度及其稳定性关联的因素仍有待于进一 步的研究。

参考文献 (References)

- Black R X. 2001. Stratospheric forcing of surface climate in the Arctic oscillation [J]. J. Climate, 15: 268 – 277.
- Christiansen B. 2001. Downward propagation of zonal mean zonal wind anomalies from the stratosphere to the troposphere: Model and reanalysis [J]. J. Geophys. Res., 106: 27307-27322.

- 陈海山,孙照渤. 2001. 一个反映中国冬季气温异常的指针──东 亚区域西风指数 [J]. 南京气象学院学报,24(4):15-23. Chen Haishan, Sun Zhaobo. 2001. An index of China winter temperature anomaly: East Asian regional westerly index [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 24 (4): 15-23.
- 陈文,顾雷,魏科,等. 2008. 东亚季风系统的动力过程和准定常行 星波活动的研究进展 [J]. 大气科学,32 (4):950-966. Chen Wen, Gu Lei, Wei Ke, et al. 2008. Studies of the dynamic processes of East Asian monsoon system and the quasi-stationary planetary wave activities [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4):950-966.
- 陈文,黄荣辉. 2005. 北半球冬季准定常行星波的三维传播及其年 际变化 [J]. 大气科学, 29 (1): 137-146. Chen Wen, Huang Ronghui. 2005. The three-dimensional propagation of quasi-stationary planetary waves in the Northern Hemisphere winter and its interannual variations [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 29 (1): 137-146.
- 陈文,康丽华. 2006. 北极涛动与东亚冬季气候在年际尺度上的联系: 准定常行星波的作用 [J]. 大气科学, 30 (5): 863 870. Chen Wen, Kang Lihua. 2006. Linkage between the Arctic oscillation and winter climate over East Asia on the interannual timescale: Roles of quasi-stationary planetary waves [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (5): 863 – 870.
- Dunkerton T J. 2000. Midwinter deceleration of the subtropical mesospheric jet and interannual variability of the high latitude flow in UKMO analysis [J]. J. Atmos. Sci., 57: 3838-3855.
- 范丽军,李建平,韦志刚,等. 2003. 北极涛动和南极涛动的年际变 化特征 [J]. 大气科学, 27 (3): 419-424. Fan Lijun, Li Jianping, Wei Zhigang, et al. 2003. Annual variations of the Arctic

oscillation and the Antarctic oscillation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (3): 419-424.

- 高辉,陈丽娟,贾小龙,等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨 雪冰冻灾害分析 II. 成因分析 [J]. 气象, 34: 101 – 106. Gao Hui, Chen Lijuan, Jia Xiaolong, et al. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China during January 2008: II. Possible climatic causes [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (4): 101 – 106.
- 郭其蕴. 1994. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系 [J]. 应 用气象学报, 5 (2): 218 - 225. Guo Qiyun. Relationship between the variations of East Asian winter monsoon and temperature anomalies in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 1994, 5 (2): 218-225.
- 龚道溢,王绍武. 1999. 大气环流因子对北半球气温变化影响的研究 [J]. 地理研究,18(1):31-38. Gong Daoyi, Wang Shaowu.
 1999. Influence of atmospheric oscillations on northern hemispheric temperature [J]. Geographical Research (in Chinese), 18(1):31-38.
- 龚道溢,王绍武. 2000. 北大西洋涛动指数的比较及其年代际变率 [J]. 大气科学,24:187-192. Gong Daoyi, Wang Shaowu. 2000. The North Atlantic oscillation index and its interdecadal variability [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese),24 (2):187-192.
- Huang Ronghui, Chen Jilong, Huang Gang. 2007. Characteristics and variations of the East Asian monsoon system and its impacts on climate disasters in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 24 (2): 993-1023.
- 胡秀玲, 刘宣飞. 2005. 东北地区冬季气温与北极涛动年代际关系 研究 [J]. 南京气象学院学报, 28 (5): 640-645. Hu Xiuling, Liu Xuanfei. 2005. Decadal relationship between winter air temperature in northeast China and Arctic oscillations [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 28 (5): 640-645.
- 李崇银,杨辉,顾薇. 2008. 中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分 析 [J]. 气候与环境研究, 23 (2):113-122. Li Chongyin, Yang Hui, Gu Wei. 2008. Cause of severe weather with cold air, freezing rain and snow over South China in January 2008 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 23 (2): 113-122.
- Lu Riyu, Li Ying, Dong Buwen. 2007. Arctic oscillation and Antarctic oscillation in internal atmospheric variability with an ensemble AGCM simulation [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 24 (1): 152-162.
- Perlwitz J, Graf H-F. 2001. Troposphere-stratosphere dynamic coupling under strong and weak polar vortex conditions [J]. Geophys. Res. Lett., 28: 271-274.
- Perlwitz J, Harnik N. 2003. Observational evidence of a stratospheric influence on the troposphere by planetary wave reflection [J]. J. Climate, 16: 3011-3026.
- Plumb R A. 1985. On the three-dimensional propagation of stationary waves [J]. J. Atmos. Sci., 42: 217 – 229.

施能. 1996. 北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气

候变化的关系 [J]. 气象学报, 54 (6): 675 - 683. Shi Neng. 1996. Secular variation of winter atmospheric teleconnection pattern in the Northern Hemisphere and its relation with China's climate change [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 54 (6): 675-683.

183

- Sung M-K, Kwon W-T, Baek H-J, et al. 2006. A possible impact of the North Atlantic oscillation on the East Asian summer monsoon precipitation [J]. Geophys. Res. Lett., 33, L21713, doi: 10.1029/2006GL027253.
- 陶诗言,卫捷. 2008. 2008 年 1 月我国南方严重冰雪灾害过程分析 [J]. 气候与环境研究,13 (4): 337-350. Tao Shiyan, Wei Jie. 2008. Severe snow and freezing-rain in January 2008 in the southern China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 337-350.
- 王东海,柳崇健,刘英,等. 2008. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪 冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析 [J]. 气象学报, 66 (3): 405-422. Wang Donghai, Liu Chongjian, Liu Ying, et al. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the Southern China in January 2008 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (3): 405-422.
- 王凌,高歌,张强,等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰 冻灾害分析 I. 气候特征与影响评估 [J]. 气象, 34 (4): 95-100.
 Wang Ling, Gao Ge, Zhang Qiang, et al. 2008. Analysis of the severe cold surge, ice-snow and frozen disasters in South China during January 2008: I. Climate features and its impact [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (4): 95-100.
- 武炳义,黄荣辉. 1999. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风 [J]. 大气科学, 23 (6): 641 651. Wu Bingyi, Huang Ronghui. 1999. Effects of the extremes in the North Atlantic oscillation on East Asia winter monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 23 (6): 641-651.
- 吴洪宝. 1993. 我国冬季气温异常与北半球 500 hPa 大气环流遥相 关型的关系 [J]. 南京气象学院学报, 16 (2): 115 - 119. Wu Hongbao. 1993. Relationships between winter temperature anomalies in China and 500 hPa teleconnection patterns of the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 16 (2): 115-119.
- 张庆云,宣守丽,彭京备. 2008. La Niña 年冬季亚洲中高纬环流与 我国南方降雪异常关系 [J]. 气候与环境研究,13 (4):385 – 394. Zhang Qingyun, Xuan Shouli, Peng Jingbei. 2008. Relationship between Asian circulation in the middle-high latitude and snowfall over South China during La Niña Events [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 385 – 394.
- 朱艳峰,谭桂容,王永光. 2007. 中国冬季气温变化的空间模态及 其与大尺度环流异常的联系 [J]. 气候变化研究进展,3(5):266-270. Zhu Yanfeng, Tan Guirong, Wang Yongguang. 2007. Variation of spatial mode for winter temperature in China and its relationship with the large scale atmospheric circulation [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 3(5):266-270.