

西伯利亚高压的长期变化及 全球变暖可能影响的研究*

龚道溢 王绍武

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

提 要 本文利用历史海平面气压资料建立了近百年来西伯利亚高压强度指数。1960 年代是近百年来西伯利亚高压强度最强的一段时期, 1980 年代后期到 1990 年代则是近百年来最弱的一段时期。40 年左右的年代际变化比较明显。用西伯利亚高压强度能较好地解释近几十年来我国冬季气温变化的特征。近百年来西伯利亚高压的变化可能仍然以自然变率为主, 全球变暖的影响还较弱。但是, 在全球持续变暖的情景下, 西伯利亚高压的强度将会显著减弱, 5 年~6 年左右年际尺度的变率将会加强。

关键词 西伯利亚高压 气候变率 全球变暖

西伯利亚高压是冬季控制亚洲大陆近地面大气环流及气候要素的最重要环流系统, 很早人们就发现西伯利亚高压的强弱及位置变化对东亚地区及中国冬季气温、气流等的变化有非常重要的影响, 因此受到高度的重视^[1,2]。不过以往的研究往往局限于较短的时段, 对于近百年来西伯利亚高压的活动究竟有什么特征还缺乏一个较为整体的了解。所以, 本文首先利用最近一百多年的长时间海平面气压资料对西伯利亚高压强度的变化特征进行分析。其次, 做为一个大陆尺度的大气活动中心, 西伯利亚高压还受全球气候系统的控制和影响, 近百年来全球平均气温在升高, 1980 年代以来变暖更是有加速的趋势, 本文利用气候模式数值模拟的结果, 对全球变暖对西伯利亚高压的可能影响进行了分析。

1 西伯利亚高压的长期变化

研究大气活动中心的长期变化需要长时间的气压资料。本文使用的海平面气压资料为英国东安吉利大学气候研究室 (CRU / UEA) 提供的北半球月平均海平面气压数据集, 格式为 5 纬度 × 10 经度, 时间从 1873 年 1 月到 1995 年 12 月, 范围从 15°N 到 85°N。这是目前所能得到的较为完整和可靠的一套近百年来海平面气压格点资料。这套资料的原始数据来源、处理过程及资料的连续性 Jones 曾作过说明^[3], Williams 和 van Loon^[4]也对比分析过这套气压资料与美国国家大气研究中心 (NCAR) 的北半球历史海平面气压资料的差异。

为了量化, 这里我们定义一个西伯利亚高压强度指数为:

* 国家自然科学基金重点项目“20 世纪中国与全球气候变率”资助, 编号 49635190 (Supported by National Natural Science Foundation of China, No. 49635190).

十分感谢赵宗慈研究员提供模式模拟资料。

来稿日期: 1998-06-24; 收到修改稿日期: 1998-10-14。

$$I = \frac{\sum_{n=1}^{72} P_n \delta_n \cos \phi_n}{\sum_{n=1}^{72} \delta_n \cos \phi_n} \quad (1-1)$$

式中 P_n 是某一格点的海平面气压值, ϕ 是格点的纬度, 当 $P_n \geq 1028$ hPa 时, 取 $\delta_n = 1$, 当 $P_n < 1028$ hPa 时, 取 $\delta_n = 0$ 。这个指数本质上反映了研究区内高压中心平均单位面积大气柱中堆积的大气质量的多少。这种定义的形式类似于 Hameed 等^[5]对大气活动中心指标的定义。这与取西伯利亚高压多年平均的中心位置几个格点的气压平均, 来代表的高压强度不同, 因为研究表明西伯利亚高压的中心位置不管是在东西方向还是南北位置上, 都是有很大的年际差别的, 如果取固定几个格点, 则因为活动中心位置的变化而不能保证具体的某一年里的中心位置与多年平均的中心位置相同。所以本文的定义能反映中心的真正的最强值, 由于所取的区域范围包括 $30^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}$ 的欧亚大陆的广大地区, 共有 $n=72$ 个格点, 这种强度指数反映高压中心有很好的稳定性和代表性。

这样, 就得到了 1880 年以来冬季 (12 月~ 2 月) 的西伯利亚高压强度指数, 见图 1。在计算涉及的区域范围内, 有些时段有的格点资料有缺失, 缺失较多的年份有 1882 年, 缺失资料比例占 36.6%, 1915 年~ 1920 年缺失资料占 30.6%~ 38.9%, 1948 年以前的其它年份缺失的数据多在 8.8%~ 11.1% 左右, 1949 年以后则在 0~ 8.8% 之间。所以除 1882 年、1915 年~ 1920 年这 7 年外, 其它时段资料还是比较好的, 结果也是有较高的可靠性的。

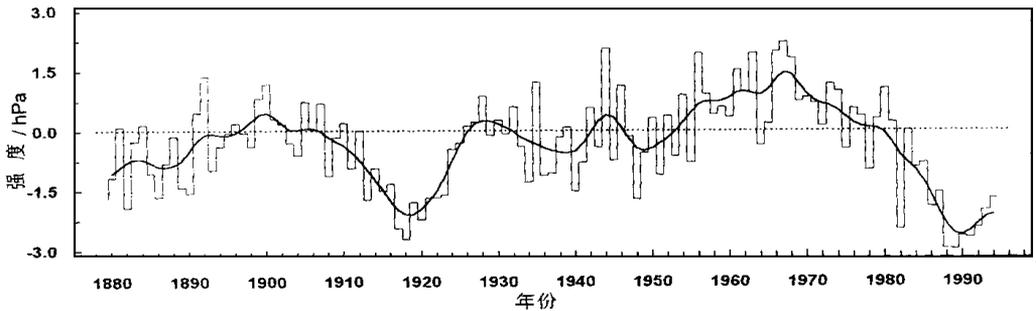


图 1 冬季西伯利亚高压中心强度距平
(对 1961 年~ 1990 年平均, 光滑曲线为高斯低通滤波值)

Fig. 1 Anomalies of winter Siberian High Intensity
(Relative to 1961~ 1990 and smoothed with a 9-point Gaussian filter)

西伯利亚高压的强度变化, 在不同的阶段表现出明显的趋势。从 1880 年到 1900 年左右, 是增强的过程, 从 1900 年左右到 1920 年左右逐渐减弱, 此后到 1960 年代后期又逐渐增强, 从 60 年代后期一直到 90 年代又呈强烈减弱趋势。文献 [6] 也曾指出西伯利亚高压具有阶段性。不过, 从整个序列来看, 近百年来并没有一致的趋势。

对西伯利亚高压强度指数进行功率谱分析, 发现达 95% 信度水平的显著准周期主要是 40.0 年和 2.4 年左右的周期。早期的一些分析也曾指出, 西伯利亚高压 1 月的多年变化除准两年周期的振荡外, 在年代际尺度上, 也是以 35 年~ 40 年左右的周期最为显著^[2,7]。

从图 1 中可以发现西伯利亚高压强度年代际变化最突出的特征是从 50 年代中期开始到 70 年代二十多年的持续强的时期, 从 80 年代开始则是非常弱的时期。从整个序列来看,

60 年代是最近一百多年中最强的十年, 而 80 年代中期到 90 年代中期则是最近一百多年来西伯利亚高压最弱的一段时期. 年代间这种显著的变化在空间分布上又有怎样的特点呢? 计算 1981 年~ 1990 年 10 年平均与 1961 年~ 1970 年 10 年平均的冬季海平面气压距平, 结果见图 2. 80 年代与 60 年代相比, 几乎整个亚洲大陆海平面气压都显著下降了, 下降超过 3 hPa 的区域主要位于亚洲大陆的腹地. 下降最突出的中心在 90 E~ 110 E, 30 N~ 50 N 地区. 反映出 80 年代不仅是整个高压强度明显减弱, 高压中心的南侧气压下降更为突出.

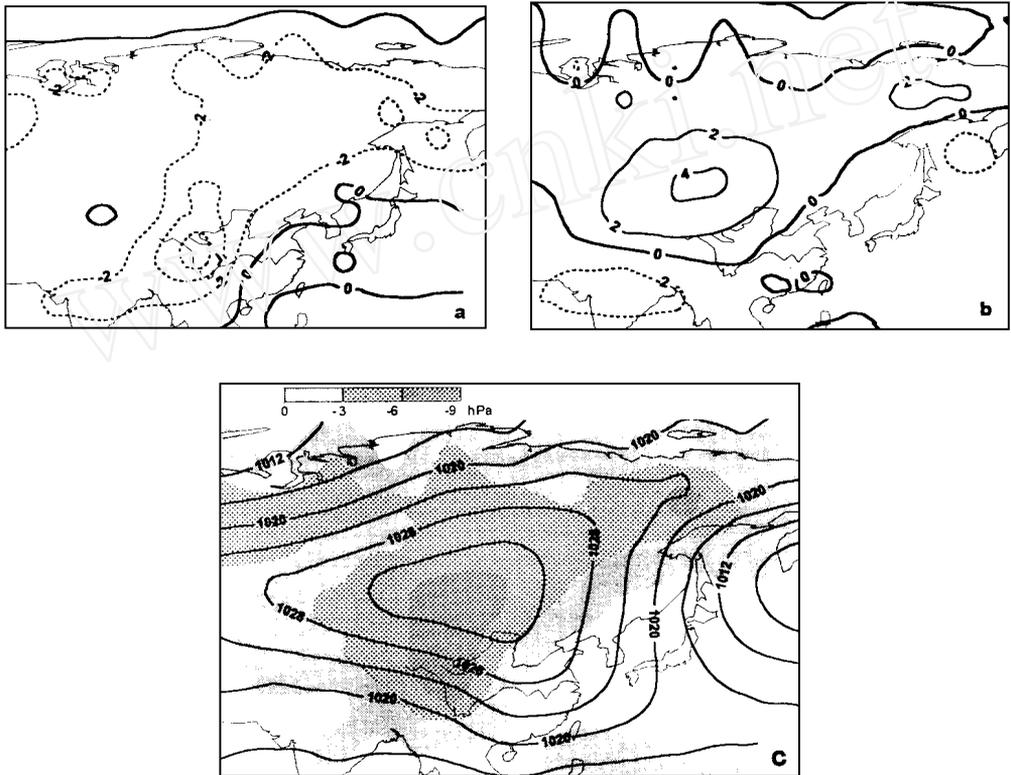


图 2 1981 年~ 1990 平均 (a) 与 1961 年~ 1970 年平均 (b) 冬季海平面气压距平分布及二者的差 (c) (c 中阴影区为负差值, 等值线为多年平均海平面气压; 单位均为 hPa)

Fig. 2 Mean winter sea level pressure for 1981~ 1990 (a), 1961~ 1970 (b) and difference between the two periods (c) (Negative values are shaded, and the mean sea level pressure of whole period are contoured in figure (c). Unit: hPa)

2 西伯利亚高压对东亚冬季温度的影响

近年来的研究表明, 北半球大尺度的大气环流变化对很大区域的气温都有明显的影响, 如 Hurrell^[8]就指出 NAO (North Atlantic Oscillation)、PNA (Pacific North America) 及 SO (South Oscillation) 可以解释北半球平均冬季气温方差的 50% 左右, 不过, 从分布来看, 这些大气环流要素对东亚地区气温变化方差的解释率则很低^[9]. 做为控制东亚冬季环流和气温等要素变化的最主要的系统, 西伯利亚高压对东亚地区及我国冬季温度变化的影响究竟有多大呢?

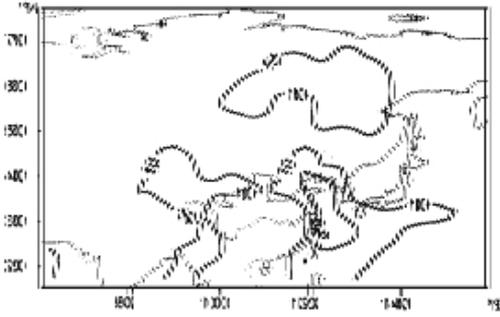


图 3 西伯利亚高压中心强度对东亚冬季温度方差的解释百分比 (根据 1951 年~ 1995 年资料计算)

Fig. 3 Percent of winter temperature variance explained by Intensity of Siberian High over east Asia calculated by using 1951~ 1995 data

地区正好是东亚冷空气向南侵袭的通道, 当西伯利亚高压强时, 冬季风强, 相应南下冷空气活动强, 造成这些地区强烈的降温。反之, 西伯利亚高压弱时, 冬季风弱, 冷空气活动也较弱, 气温则相对较高。其次, 在上节分析中发现, 西伯利亚高压中心南侧气压变化变率也比较大, 当高压偏强时利于冷空气沿青藏高原东侧南下, 对孟加拉国及以北地区造成影响。图 3 中孟加拉国附近的高解释率中心, 也正好处于图 2c 中气压距平差值中心的南侧, 就说明了这一点。

许多研究表明^[12], 冬季我国大部分地区的气温与冬季西伯利亚高压强度都是负相关, 这很容易理解, 当西伯利亚高压强时, 必然导致我国大部分地区冷空气活动的加强, 因而气温偏低。从我国气温的长期变化来看, 西伯利亚高压的影响也是显著的。1910 年~ 1994 年 85 个冬季来看, 西伯利

Jones 等整编和发表了全球陆地气温和海面温度混合温度数据集, 5 纬度 × 5 经度格点, 资料最早从 1856 年 1 月开始^[10, 11]。利用这套资料计算西伯利亚高压强度对 60 E~ 160 E 地区 1951 年到 1995 年温度变化的方差解释百分比, 西伯利亚高压强度对亚洲大陆腹地大部分地区气温变化贡献并不大, 解释率低于 10%。解释率高的地区主要是 110 E~ 140 E 的东部地区, 高值中心分布在俄罗斯远东地区、中国东北及沿海地区的带状区域。最高的是从我国华北到浙江一带沿海及以东地区, 解释的方差都在 20% 以上。另外, 孟加拉国及以北小部分地区也是解释率比较高的一块地区。为什么会出这种分布情况呢? 可能有两方面的原因, 首先, 冬季 110 E~ 140 E

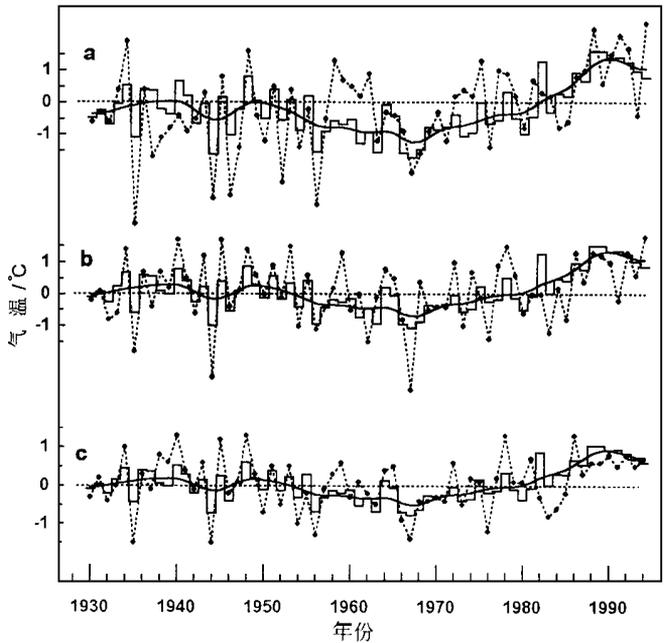


图 4 用西伯利亚高压强度拟合的北京 (a)、上海 (b) 和中国 (c) 冬季气温 (虚线为实际值, 实线为拟合值, 光滑曲线为拟合气温的低通滤波值)

Fig. 4 Simulated mean winter air temperature of Beijing (a), Shanghai (b) and China (c) by Intensity of Siberian High (Dashed lines are observations, solid lines are simulations and smoothed with a 9-point Gaussian filter)

亚高压强度与北京和上海气温的相关系数分别达 -0.50 和 -0.43 , 与全国平均气温^[13]相关为 -0.53 , 都超过 99% 信度水平。利用西伯利亚高压强度指数来拟合气温, 效果也较好, 对资料可靠性高的 1930 年以来的气温序列拟合的结果见图 4。1930 年代后期到 1950 年代的相对温暖, 60 年代~70 年代的低温及 80 年代以来的高温都能拟合出来。西伯利亚高压强度能解释观测气温的方差, 北京、上海、全国分别达 41.0%、41.0% 和 43.6%。

3 全球变暖对百年西伯利亚高压的影响

20 世纪全球气候变暖趋势明显, 全球变暖必然会导致海陆热力性质发生相应的变化, 1980 年代以来, 亚洲大陆中高纬冬季和春季升温最明显。很显然, 下垫面热力性质的变化必然会直接引起大气活动中心的变化^[14], 所以要研究东亚及我国气候对全球变暖的响应, 也必须了解全球变暖对西伯利亚高压的影响。

根据对近百年来西伯利亚高压与全球平均冬季气温变化的比较, 可以发现 50 年代以前二者的变化有一定相似性, 1880 年到 1959 年相关系数为 0.10; 而 60 年代以后则有明显相反的变化特征, 60 年代到 70 年代全球冬季气温偏低, 西伯利亚高压则偏强, 80 年代到 90 年代全球冬季气温偏高, 西伯利亚高压强度则非常弱, 见图 5。整个序列两者的相关为 -0.15 , 显示全球气温偏高时西伯利亚高压强度有偏弱的趋势, 不过这种相关达不到 95% 信度检验要求, 而且这种关系很不稳定。高压强度与全球冬季气温的负相关以 60 年代以来的这 30 多年最为显著, 1960 年到 1994 年间二者相关系数达到了 -0.66 , 但是, 从 1921 到 1959 年的 39 年里相关系数仅为 -0.07 , 1920 年及以前的 41 年相关系数也仅为 0.01。这说明, 从近百年尺度来看, 全球变暖的影响还不突出, 西伯利亚高压的变率可能仍然以自然变率为主。

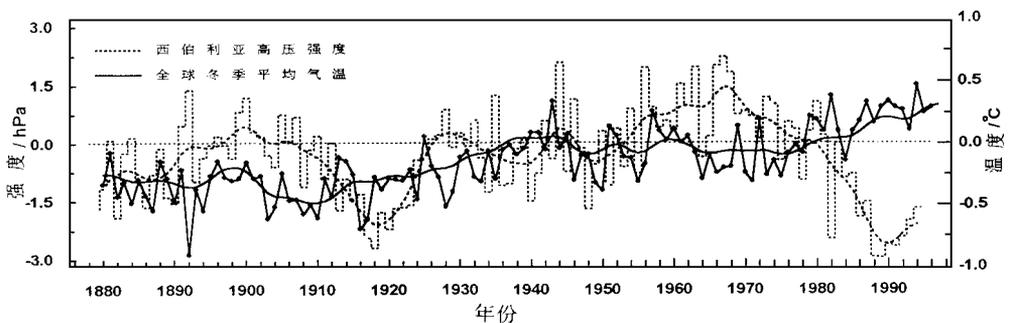


图 5 全球冬季平均气温与西伯利亚高压强度 (光滑曲线为低通滤波值)

Fig. 5 Global mean winter temperature (solid line) and Intensity of Siberian High (dashed line), both smoothed with a 9-point Gaussian filter

当然, 西伯利亚高压本身存在年际及年代际的变化, 如果仅仅根据近百年来西伯利亚高压强度本身的变化, 并不能判断哪些部分是气候系统的自然变化, 哪些部分是由于全球变暖所造成的。要判断人类活动造成的温室效应引起的西伯利亚高压强度的可能变化, 必须利用全球气候模式模拟的结果来分析。一些模拟研究也指出, CO_2 增加造成的全球变暖对

大气活动中心、遥相关等环流因子有显著的影响^[15]。不过具体到对西伯利亚高压的影响如何，则还缺乏细致的研究。

英国 Hadley 中心利用全球大气海洋耦合模式 (HADCM2)^[16]进行的 CO₂ 增加的模拟试验。假定从 1990 年开始,以后每年大气中 CO₂ 浓度以 1% 的增长率上升,一直积分到 2099 年,称为 G 方案。为进行比较,还同时进行不包括 CO₂ 增加的控制积分试验,称为 C 方案。结果表明, G 方案与 C 方案相比,全球气温持续上升,到 CO₂ 加倍的 2060 年左右,全球平均气温要上升约 3 。按照前节方法,取同样区域来计算模拟的西伯利亚高压强度,从理论上讲, G 方案减 C 方案模拟的西伯利亚高压强度,剩余部分可以看成是由 CO₂ 的增加造成的。

模拟的西伯利亚高压在 110 年里随 CO₂ 的增加有减弱的趋势,但与 CO₂ 的增加不同,西伯利亚强度的减弱并无显著的直线或指数趋势;而且西伯利亚强度仍然有显著的年际尺度振荡变化,主要是 5 年~ 6 年左右的准周期,另外,在 40 年~ 50 年左右的低频部分也有一个峰值,但强度比较弱,见图 6。实际观测结果中,低频部分的准周期非常突出,而年际尺度主要是 2 年~ 3 年左右,这表明如果要用 CO₂ 的增加来解释近百年来西伯利亚高压强度的变率,是非常有限的。

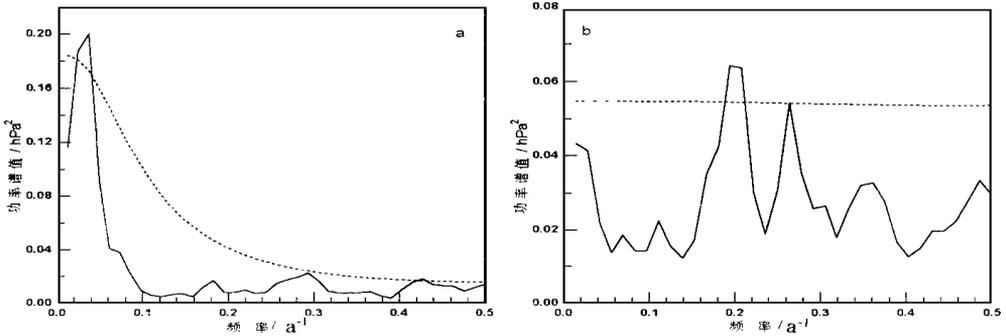


图 6 西伯利亚高压强度的功率谱

(a: 观测结果, 1880 年~ 1994 年; b: G 方案减 C 方案模拟结果, 110 年)

Fig. 6 Power spectrum of Intensity of Siberian High for observation (a: 1880~ 1994) and simulation by CGCM (b: scenario G minus scenario C, integrated 110 years)

但是, 如果全球变暖的趋势仍然持续下去, 那么对西伯利亚高压的影响可能就会超过其自然变化。图 7 是模式模拟的东亚地区 G 方案减 C 方案平均海平面气压分布, 时段是 2051 年到 2080 年 30 年即大致是 CO₂ 加倍时的情形。很明显, 整个亚洲大陆海平面气压都下降了, 平均下降 2 hPa~ 3 hPa, 这也与德国 ECHAM 3 模拟结果相一致^[17]。所以, 如果未来全球持续变暖, 将会导致西伯利亚高压强度的减弱, 以及年际尺度变率的加强。

4 结论

近百年来, 西伯利亚高压强度的变化有显著的阶段性, 60 年代到 70 年代强度偏强, 从 80 年代以来则持续偏弱。60 年代是近百年来最强的一段时期, 80 年代后期到 90 年代则是

近百年来最弱的一段时期。年代际变率主要表现为 40 年左右的准周期变化。

西伯利亚高压强度的变化对东亚冬季气温的影响最显著的地区主要是 110 E ~ 140 E 的大陆东部地区和孟加拉国及以北部分地区。西伯利亚高压是影响我国冬季气温的一个主要环流因子, 对北京、上海和全国冬季气温方差的解释率分别达 41.0%、41.0% 和 43.6%, 也能较好地解释我国最近几十年来冬季气温变化的低频特征。

数值模拟结果表明, 用 CO₂ 的增加并不能完全解释近百年来西伯利亚高压强度的变率。从 60 年代以来, 西伯利亚高压的变化与全球冬季气温的变化有很好的相关性, 全球最暖的 80 年代到 90 年代西伯利亚高压非常弱, 但是从百年尺度来看, 西伯利亚高压的变率可能仍然以自然变率为主。但是, 如果全球变暖的趋势仍然持续下去, 那么未来亚洲大陆冬季海平面气压将会继续下降, 西伯利亚高压强度将会进一步减弱。

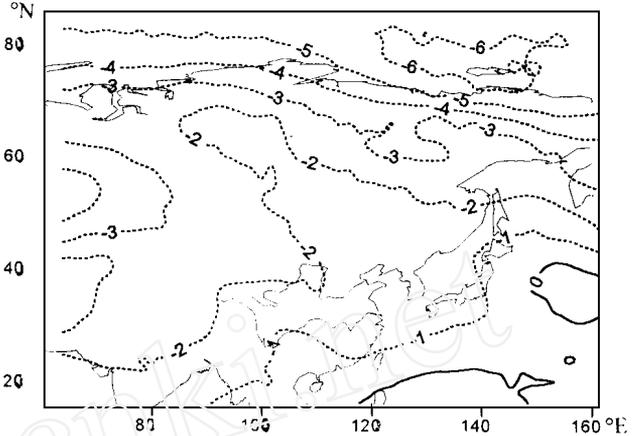


图 7 模拟的 2051 年到 2080 年平均海平面气压变化 (G 方案减 C 方案, 单位: hPa)

Fig. 7 Changes of sea level pressure for 2051~ 2080 in CGCM (scenario G minus scenario C, in hPa)

图 7 模拟的 2051 年到 2080 年平均海平面气压变化 (G 方案减 C 方案, 单位: hPa)

参 考 文 献 (References)

- 1 Tu Changwang Atmospheric centers of action in east Asia and drought/floods in China *Meteorological Magazine*, 1936, **12** 600~ 619. (In Chinese) [涂长望 东亚活动中心与我国水旱灾之关系 *气象杂志*, 1936, **12** 600~ 619.]
- 2 Wang Shaowu Fluctuation of east Asian ACAs and climate change in China *Acta Meteorologica Sinica*, 1962, **32** 20~ 36. (In Chinese) [王绍武 东亚大气活动中心的多年变化与我国的气候振动 *气象学报*, 1962, **32** 20~ 36.]
- 3 Jones P.D. The Early Twentieth Century Arctic High- Fact or Fiction? *Climate Dynamics*, 1987, **1** 63~ 75
- 4 William s J, van Loon H. An Examination of the Northern Hemisphere Sea-level Pressure Data Set *Monthly Weather Review*, 1976, **104** 1354~ 1361.
- 5 Hameed S, ShiW, Boyle J et al Investigation of the Centers of Action in the North Atlantic and North Pacific in the ECHAM AMIP Simulation In: Gates W L. Proceedings of the First International AMIP Scientific Conference Monterey, California, USA, 15- 19 May, 1995 221~ 226
- 6 Zhu Qiangen, ShiNeng, Wu Zhaohui et al Low frequency variation of winter ACAs in north hemisphere and climate change in China during the past century *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, **55** 750~ 758. (In Chinese) [朱乾根, 施能, 吴朝晖等 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系 *气象学报*, 1997, **55** 750~ 758.]
- 7 Wang Shaowu Fluctuation of atmospheric centers of action *Acta Meteorologica Sinica*, 1962, **32** 304~ 317. (In Chinese) [王绍武 大气活动中心的多年变化 *气象学报*, 1962, **32** 304~ 317.]
- 8 Hurrell J.W. Influence of Variations in Extratropical Winter-time Teleconnections on Northern Hemisphere *Geophys. Res Lett*, 1996, **23** 665~ 668
- 9 Gong Daoyi Contribution of atmospheric oscillations to northern hemispheric temperature *Geographical Res*, 1999, **18**(2). (In Chinese) [龚道溢 大气环流因子对北半球气温影响的研究 *地理研究*, 1999, **18**(2).]

- 10 Jones P D. Hemispheric Surface Air Temperature Variations: a Reanalysis and an Update to 1993. *J. Climate*, 1994, **7**: 1794~1802
- 11 Jones P D, Osborn T J, Briffa K R. Estimating Sampling Errors in Large-scale Temperature Averages. *J. Climate*, 1997, **10**: 2548~2568
- 12 Guo Qiyun. Climate change in China and east Asian monsoon. In: Shi Yafeng (eds). Historical climate change in China. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996: 468~483. (In Chinese) [郭其蕴. 中国气候变化与东亚季风. 施雅风主编. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996: 468~483.]
- 13 Chinese Academy of Meteorological Sciences and Central Meteorological Observation. Maps of air temperature classes (1911-1980). Beijing: Meteorological Press, 1984: 443. (In Chinese) [中国气象科学研究所和中央气象台. 中国气温等级图(1911~1980). 北京: 气象出版社, 1984: 443.]
- 14 Rossby C G. Relation between Variations in the Intensity of Zonal Circulation of the Atmosphere and the Displacement of the Semipermanent Centers of Action. *J. Marine Res.*, 1939, **2**: 38~55
- 15 Liang X Z, Wang W C, Dudek M P. Northern Hemispheric Interannual Teleconnection Patterns and Their Changes due to the Greenhouse effect. *J. Climate*, 1996, **9**: 465~479.
- 16 Johns T C, Carnell R E, Crossley J F et al. The second Hadley Centre Coupled Atmosphere-ocean GCM: Model Description, Spinup and Validation. *Climate Dynamics*, 1997(13): 103~134
- 17 Raisanen J. Climate Response to Increasing CO₂ and Anthropogenic Sulphate Aerosols: Comparison between Two Models. Department of Meteorology, University of Helsinki, Report 46, Finland, 1997: 1~80

LONG-TERM VARIABILITY OF THE SIBERIAN HIGH AND THE POSSIBLE CONNECTION TO GLOBAL WARMING

Gong Daoyi Wang Shaowu

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Key words Siberian High, climate variability, global warming

Abstract

The Siberian High is one of the most important circulation systems influencing the climate of eastern Asia in winter. In this study, the intensity index of the Siberian High is defined as

$$I = \frac{\sum_{n=1}^{22} P_n \delta_n \cos \phi_n}{\sum_{n=1}^{22} \delta_n \cos \phi_n}$$

where P_n is the sea level pressure at grid n , ϕ_n is latitude, $\delta_n = 1$ when $P_n > 1028$ hPa, and $\delta_n = 0$ when $P_n < 1028$ hPa. This index indicates the level of anomaly from the average atmospheric conditions in the core region of the Siberian High. A long time series of the intensity index for the last hundred years was established on the basis of monthly mean sea level pressure data for the northern hemisphere obtained from CRU/UEA. Power spectrum analysis reveals that, for about four decades, the index showed decadal variability. In the 1960s, the Siberian High's intensity was the highest. During the late 1980s and the early 1990s, the intensity was the lowest. The intensity was strongly correlated with the winter temperature of East Asia. A great deal of the temperature variance in the region 110°E~140°E and north of Bangladesh can be explained by the intensity index. Our calculation of the temperature data for 65 winters shows that

43.6 percent of the variance of North China's winter mean temperature can be accounted for by the intensity of the Siberian High. The possible impact of global warming on the variability of the High was also investigated using the atmosphere-ocean coupled general circulation model (HADCM2). The result of CO₂ increase at the rate of 1% per year on global warming was compared with the result of control integration. It was found that in the last hundred years the impact of global warming on the Siberian High was not evident and that the High's own natural variability played a more important role. Continuous warming in the future will significantly reduce the intensity of the system. However, the change will not be linear. With increasing CO₂, variability at 5~6 year inter-annual scale can be expected to become more prevalent.

作者简介

龚道溢, 男, 1969年1月生, 1997年于北京大学地球物理系获气候学博士学位。现为该校博士后, 从事全球变化及大气环流变率的研究。已发表学术论文30余篇。