

大气环流的年代际变化*

1. 观测资料的分析

穆明权 李崇银

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘要 利用多种资料分析研究了大气环流(包括几个主要大气涛动, 一些主要大气环流系统)的时间变化特征。结果清楚地表明大气环流, 无论是热带大气还是中高纬度的大气环流, 存在着显著的年代际变化特征, 主要为10~20年准周期振荡和30多年准周期振荡。北大西洋涛动(NAO)和北太平洋涛动(NPO)的10~20年准周期振荡有近乎同位相特征, 而它们的30多年准周期振荡却有近乎反位相变化。西太平洋副高强度与北美大槽强度的变化在10~20年时间尺度既有同位相情况也有反位相情况; 但在30多年时间尺度却是基本同位相的。西太平洋副高强度与东亚大槽强度变化在30多年时间尺度也是基本同位相的, 且副高变化超前约5~7年。

关键词: 大气环流; 年代际变化; 观测资料

1 引言

随着观测资料的积累和科学的发展以及经济建设和人民生活的要求, 10年及年代际气候变化的研究已提到了日程。在国际气候变化及可预报性研究(CLIVAR)计划(1996~2010年)中, 它已成为重要研究内容之一^[1]。

在已有的一些初步研究中, 人们更多地注意到海洋状况的年代际变化, 例如, 北大西洋海表温度(SST)的变化^[2,3], 北太平洋SST的变化^[4,5]以及海冰的变化^[6,7]等。其自然的原因是大家认为海洋的变化较慢, 10年时间尺度气候变化可能与海洋过程有更密切的关系。

天气和短期气候的变化总是同大气环流的变化和异常有密切的联系。一定的大气环流形势(包括主要槽脊系统的位置和强度)往往就决定着某些地区的天气和短期气候特征。大气是气候系统的重要成员, 大气环流是否也存在10年时间尺度的变化特征, 是值得研究的问题。大气环流的10年时间尺度变化既有大气内部动力和热力过程的作用, 也有外界变化(例如, 海洋SST等)的强迫影响。

早在60年代王绍武就已讨论过大气环流的长时间振荡问题^[8,9], 只是当时他仅用了地面气压资料进行分析, 而且主要是从与太阳活动的关系进行讨论。但一些结果是有意义的, 例如他的结果已表明气压的变化有明显的年代际特征。最近, 我们的研究也表明, 西北太平洋和东亚地区的海气系统存在着明显的准10年时间尺度的振荡现象^[10]。

1999-08-15收到, 1999-10-12收到修改稿

* 本研究得到中国科学院KZ952-S1-403项目和“九五”攻关项目96-908-01-01-04的共同资助

本文将用近半个世纪的观测资料,分析研究大气环流,特别是北半球大气环流的10年及年代际时间尺度变化特征。所用资料主要是 NCEP/NCAR 再分析资料(1958~1992年),NMC 资料(1950~1957年)以及 Hadley 中心的海平面气压资料。

2 几个主要涛动的年代际变化

很早以前,人们就发现大气环流的变化存在着南方涛动(SO)、北大西洋涛动(NAO)和北太平洋涛动(NPO)^[11,12]。SO 表明东太平洋和印度洋的气压变化有东西向跷跷板式振荡特征;而 NAO 和 NPO 则分别表明大气中的半永久性活动中心,冰岛低压和亚速尔高压间以及阿留申低压和太平洋副高的南北向跷跷板式变化。这三大涛动无疑反映了大气环流的重要特征,因此,我们首先讨论它们的时间变化。

图1给出的是南方涛动指数(SOI,塔希蒂与达尔文之气压差)的时间变化(图1a)和小波分析结果。为了比较观测资料的时间长度对分析结果的影响,我们给出了43年资料(图1b)和63年资料(图1c)的两种小波分析结果。无论资料时间为43年或63年,3~5年显然是南方涛动的一个重要振荡周期;但同时,10~20年是其另一个重要振荡周期。对于后一种年代际时间尺度的变化,过去已有人指出1978年前后 ENSO 处于两种不同的阶段^[13]。图1极为清楚地表明了南方涛动(亦即 ENSO)的年代际变化特征,1944~1956年以及1969~1980年为两个正 SOI 期,而1957~1969年以及1980~1987年为两个负 SOI 期。图1中不同资料长度的小波分析结果的比较表明,在1950~1992年时段其结果是基本一致的,1950~1992年的资料可以清楚反映10~20年准周期变化,也可在一定程度上反映出30多年准周期变化特征,1945年之前和1980年之后为负 SOI 期,而1945~1980年为正 SOI 期,即 SOI 也有30多年准周期的变化特征。

上述关于南方涛动指数的年代际变化,实际上主要反映了热带大气环流年代际变化的存在和特征,因为气压形势的变化还必将引起热带大气环流场、垂直运动场以及对流活动(降水)场等的一系列变化。

图2和图3分别给出了用(25~40°N, 10~50°W)区域与(50~65°N, 10~50°W)区域平均的气压差表示的北大西洋涛动指数以及用(25~40°N, 130~170°E)区域与(50~65°N, 130~170°E)区域平均的气压差表示的北太平洋涛动指数的时间变化和小波分析结果。首先,我们可以看到,无论是 NAO 还是 NPO,其指数变化都存在着10多年(10~20年)的准周期,反映了 NAO 和 NPO 的准10年周期变化特征。同时,NAO 和 NPO 都还存在着准30~35年的准周期变化特征(尤其是对于 NPO)。虽然因资料长度关系,在图2中难于表明确切的周期,但参照图1的比较结果,还是可以认为 NAO 和 NPO 存在着准30~35年(或30多年)的准周期变化。

我们知道,同地面气压变化所反映的 NAO 及 NPO 相类似,500 hPa 的位势高度变化有西大西洋遥相关型(WA)和西太平洋遥相关型(WP)与之对应^[14]。因此,WA 和 WP 的指数变化也可以反映大气环流的变化特征。作为一个例子,图4给出的是用(25~40°N, 10~50°W)区域平均的500 hPa 高度与(50~65°N, 10~50°W)区域平均的500 hPa 高度之差表示的 WA 指数的时间变化及小波分析结果。同样,10

~20 年准周期和 30~35 年(或 30 多年)准周期的变化也是 500 hPa 大气环流形势的重要特征。

比较图 2 和图 3 可以看到, 对于 10~20 年准周期变化, NAO 和 NPO 有近乎同位相的特征, 表明北大西洋气压和北太平洋气压的同位相南北间跷跷板式振荡是大气环流 10~20 年准周期变化的重要特征。然而, 对于 30 多年的准周期变化, NAO 和 NPO 却似乎是反位相变化的, 正(负)NAO 对应着负(正)NPO。图 2 和图 4 相比较可以看到, 对于 10~20 年准周期变化, 地面气压的变化有时与 500 hPa 高度变化同步, 而有时却又不同步; 对于 30 多年的准周期变化, 地面气压变化与 500 hPa 高度变化的反位相特征更明显。当然, 后一结论会受到资料长度的影响。

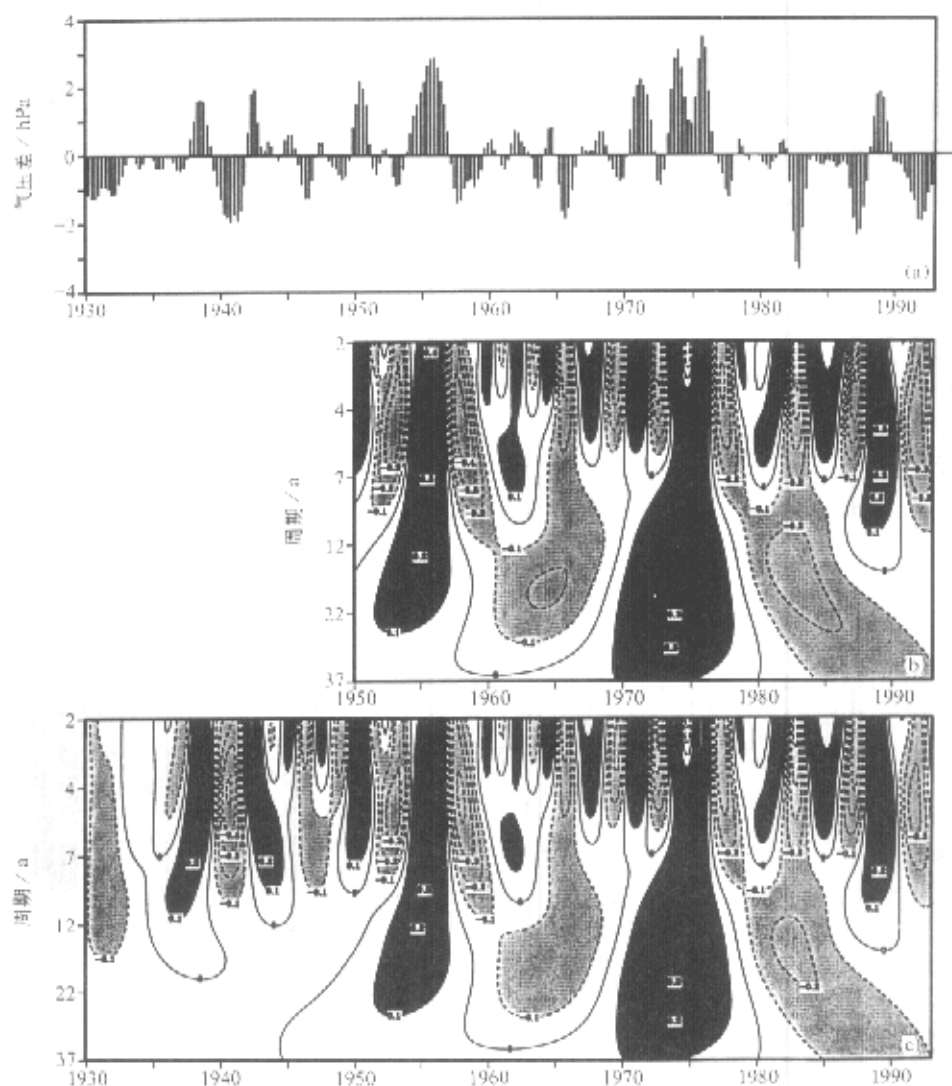


图 1 南方涛动指数的时间变化 (a) 及其子波分析结果 (b, c)

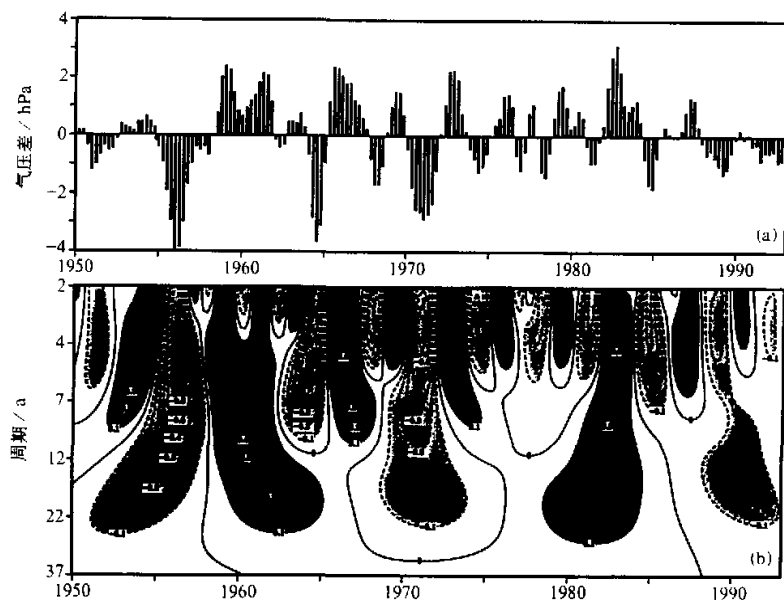


图 2 季节平均的 NAO 指数的时间变化 (a) 及小波分析结果 (b)

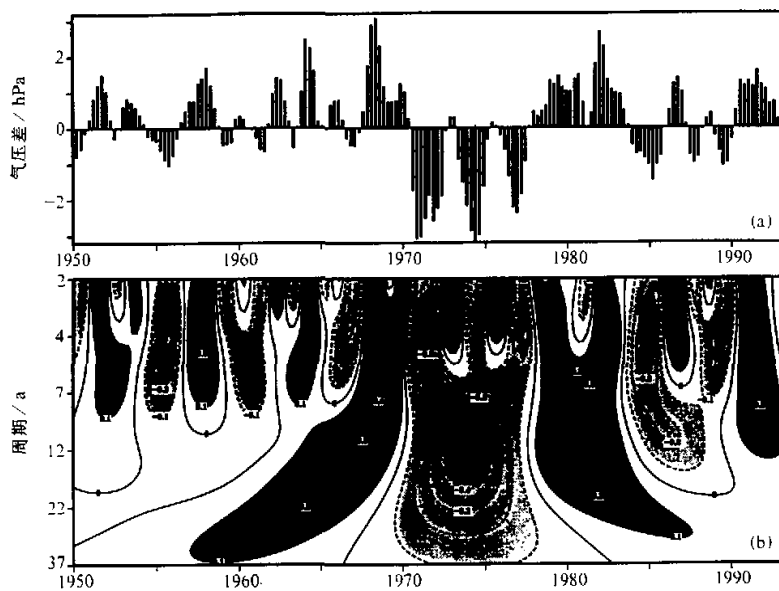


图 3 季节平均的 NPO 指数的时间变化 (a) 及小波分析结果 (b)

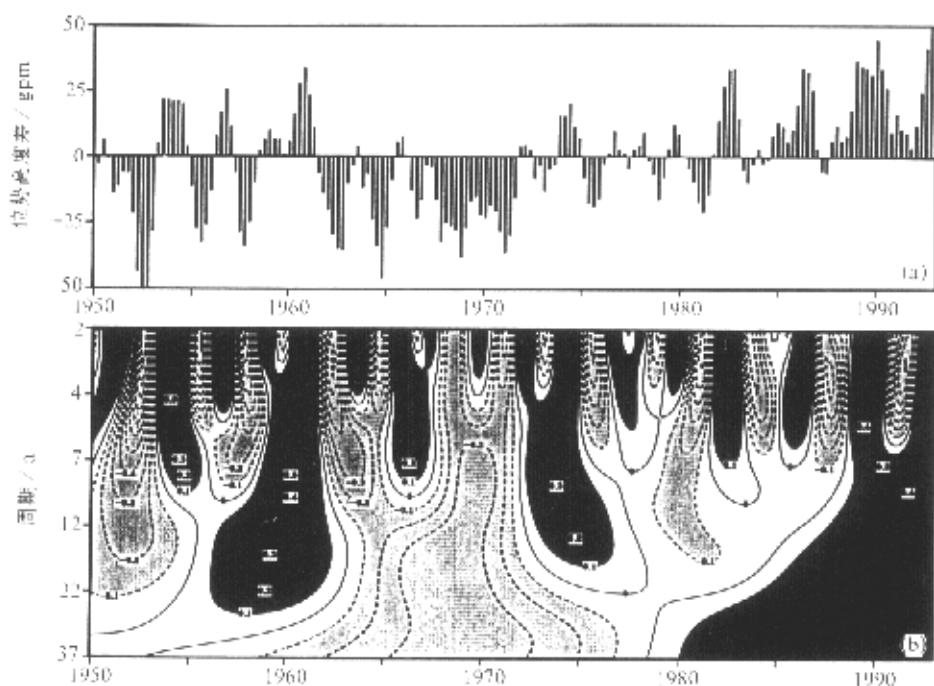


图 4 WA 指数的时间变化 (a) 及其小波分析结果 (b)

3 几个主要大气环流系统的年代际变化

除了几个涛动之外, 东亚大槽、北美大槽、西太平洋副热带高压和南亚季风系统可以说是北半球大气环流的最重要成员, 也可以说是重要的天气气候系统。因此, 我们有必要讨论这些系统的强度的时间变化特征。

图 5 是用 $(30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E})$ 区域平均的 500 hPa 高度距平所表示的东亚大槽强度的时间变化和小波分析结果。可以看到, 虽然 60 年代和 70 年代前期 10~20 年准周期振荡模相对较弱, 但这种时间尺度的年代际变化还是明显存在。同时, 可以清楚地看到东亚大槽的强度有 30 多年的准周期变化, 50 年代和 90 年代是东亚大槽偏弱的时期, 1970 年前后东亚大槽明显偏强。图 6 给出的是用 $(30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{W})$ 区域平均的 500 hPa 高度距平表示的北美大槽强度的时间变化和小波分析结果, 可以看出, 北美大槽不仅 10~20 年准周期变化比东亚大槽明显, 也显著存在 30 多年准周期的变化特征, 而且其位相与东亚大槽相一致。

类似地, 可以用 $(20^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E})$ 区域平均的 500 hPa 高度距平表示西太平洋副热带高压的强度。西太平洋副高强度随时间的变化及其小波分析结果如图 7 所示。可以看到, 西太平洋副高也有明显的 10~20 年准周期变化和 30 多年准周期变化的特征。比较图 7 和图 5 可以看到, 对于 30 多年的准周期变化, 东亚大槽与西太平洋副高的强度变化有大致反位相特征, 但副高变化超前约 5~7 年。例如, 西太平洋副

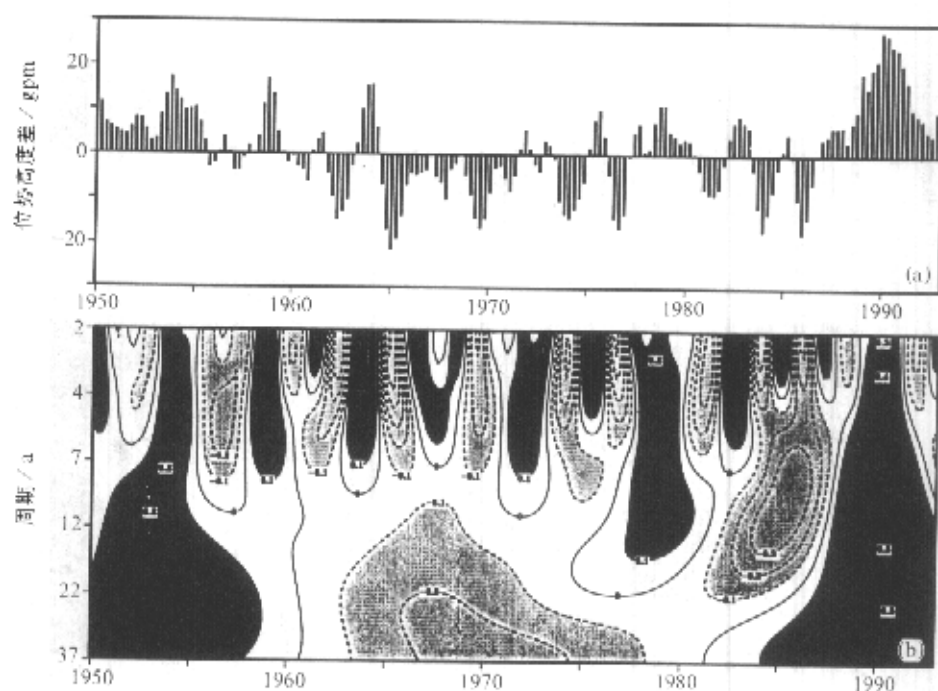


图5 500 hPa 东亚大槽强度的时间变化 (a) 及其小波分析结果 (b)

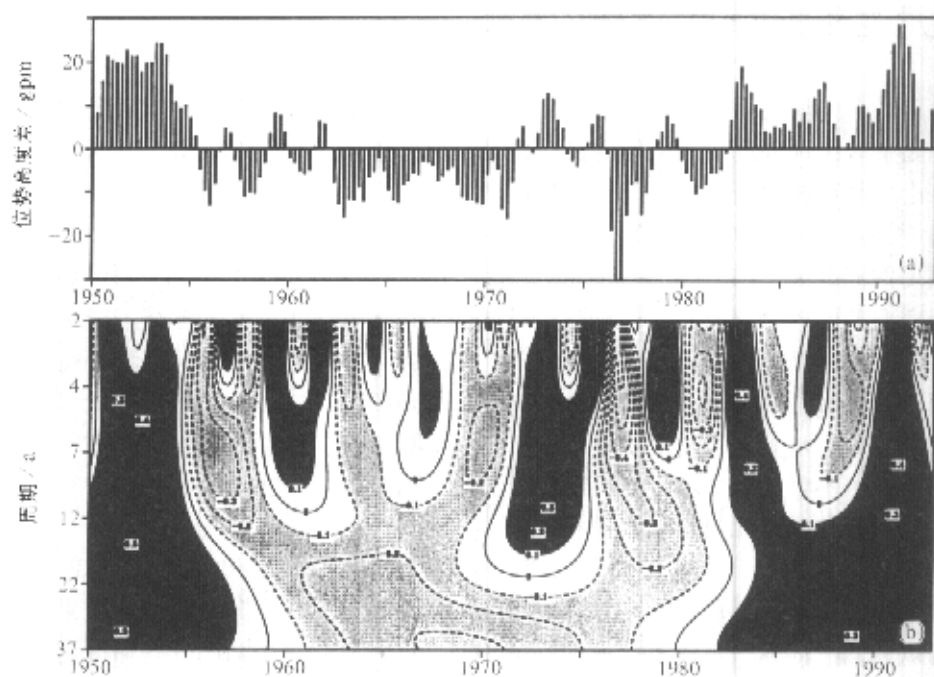


图6 500 hPa 北美大槽强度的时间变化 (a) 及其小波分析结果 (b)

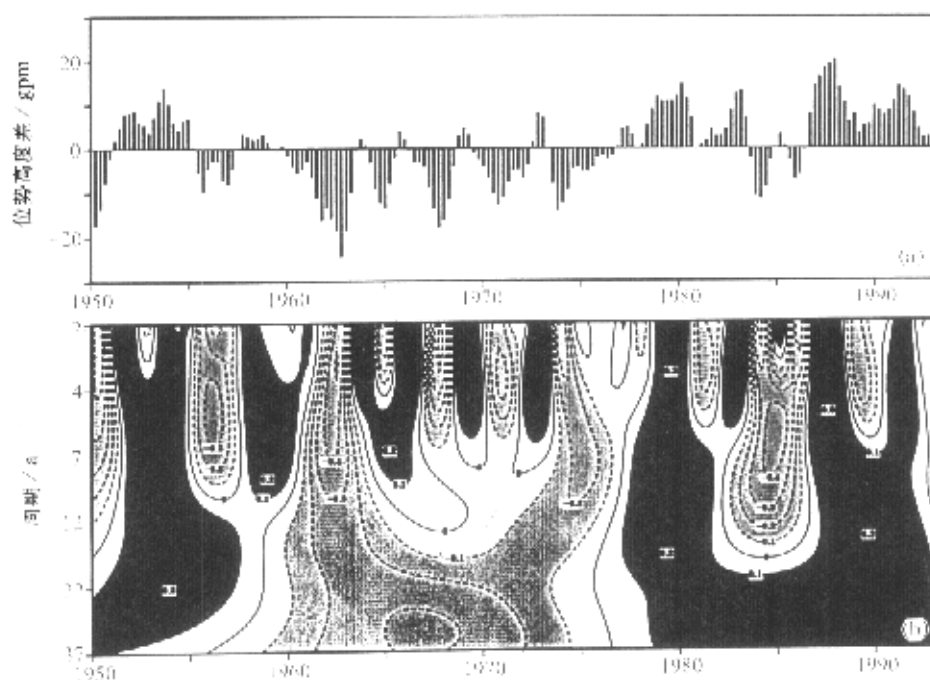


图7 西太平洋副高强度的时间变化 (a) 及其小波分析结果 (b)

高在 1959 年开始明显减弱, 而在 1979 年开始明显增强; 但东亚大槽却在 1964 年开始明显增强, 在 1984 年开始明显减弱。

亚洲季风是重要的天气气候系统之一, 它的变化对南亚和东亚地区的天气气候有重要影响。Webster 和 Yang^[15]给出了一种季风指数, 能较好描写南亚季风的特征, 这个指数就是南亚地区 ($10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$) 平均的 200 hPa 与 850 hPa 纬向风之差。南亚季风指数的分析表明, 它的 10~20 年准周期变化十分清楚, 而且 30 多年准周期变化也明显存在 (图略)。

4 讨论和结论

在有关中国气候的 10 年时间尺度气候变化的研究中, 我们已经指出, 50 年代和 80 年代中国气候处于两个不同的阶段, 50 年代中国华北夏季多雨, 而 80 年代华北少雨; 50 年代夏季四川偏暖, 而 80 年代四川偏冷^[16]。与这些气候特征相对应, 50 年代西太平洋副高偏西偏北偏强, 而 80 年代副高偏东偏弱; 东亚大槽 50 年代偏弱而 80 年代偏强 (深)。本文图 5 与图 7 的结果与过去的分析结果相一致。

图 8 分别给出了 50 年代 (1953~1962 年 10 年平均) 和 80 年代 (1980~1989 年平均) 夏季 (6~8 月) 平均 500 hPa 形势图。由于都是多年平均结果, 两图有许多类似之处, 尤其是西半球的环流和槽脊分布。但是, 在亚洲和西太平洋地区环流形势的差异也是明显的, 例如, 西太平洋副高 50 年代较 80 年代偏西, 东亚大槽 50 年代较 80 年代

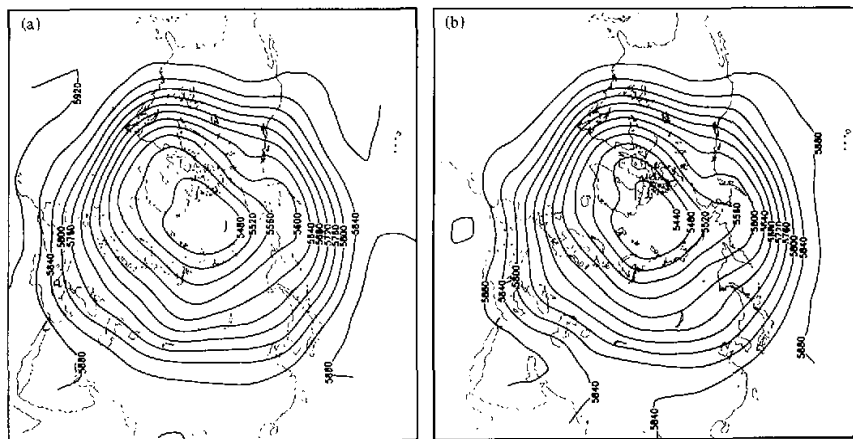


图8 50年代(a)和80年代(b)夏季(6~8月)平均的500 hPa位势高度图

偏弱,巴尔喀什湖附近的高空槽50年代较80年代偏强。正是由于上述大气环流形势的差异,导致50年代与80年代中国气候出现不同的特征。因此,气候特征总是同大气环流形势相联系的,即便是对于年代际时间尺度的气候变化,也可以从大气环流的变化中找到一定的信息。

本文最主要的目的就是分析大气环流变化的年代际变化信息和特征。虽然观测资料仍显不够,但是分析已清楚表明大气环流的演变存在明显的年代际变化信息,主要包括10~20年准周期变化及30多年准周期变化。这不仅在主要大气涛动中表现出来,而且在一些重要天气气候系统的变化中也十分清楚。

北太平洋涛动和北大西洋涛动的10~20年准周期振荡有近乎同位相变化特征,而它们的30多年准周期振荡却近乎反位相变化。西太平洋副高、东亚大槽和北美大槽的强度变化在10~20年时间尺度既有同位相的情况,也有反位相的情况;但在30多年时间尺度却是基本同位相变化的,并且西太平洋副高强度变化超前约5~7年时间。

一定区域的年代际气候变化特征与大气环流的年代际形势有关,分析研究大气环流的年代际变化对于深入认识气候的年代际变化是很重要的。

参 考 文 献

- 1 WCRP, CLIVAR—A Study on Climate Variability and Predictability—Science Plan, WCRP No. 89, WMO/ TD No. 690, Geneva, 1995, 172pp.
- 2 Deser, C. and M. L. Blackmon, Surface climate variations over the North Atlantic Ocean during winter, 1900–1989, *J. Climate*, 1993, 6, 1743~1753.
- 3 Kushnir, Y., Interdecadal variations in the North Atlantic sea-surface temperature and associated atmospheric conditions, *J. Climate*, 1994, 7, 141~157.
- 4 Trenberth, K. E. and J. W. Hurrelle, Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Climate Dynamics*, 1994, 9, 303~319.

- 5 Graham, N. E. Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: observations and model results, *Climate Dynamics*, 1994, 9, 135~162.
- 6 Mysak, L. A., D. K. Manakand R. F. Mavsdén, Sea-ice anomalies observed in the Greenland and Labrador Sea during 1901-1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle, *Climate Dynamics*, 1990, 5, 111~123.
- 7 Hill, B. T. and S. Jones, The new found land ice extent and the solar cycle from 1860 to 1988, *J. Geophys. Res.*, 1990, 95, 5385~5394.
- 8 王绍武, 近 90 年大气环流的振荡 (第一部分), 气象学报, 1964, 34, 486~506.
- 9 王绍武, 近 90 年大气环流的振荡 (第二部分), 气象学报, 1965, 35, 200~213.
- 10 Li Chongyin, The Quasi-decadal oscillation of air-sea system in the northwestern Pacific region, *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, 15, 31~40.
- 11 Walker, G. T. and E. W. Bliss, World weather, *Mem. Roy. Meteor. Sci.*, 1932, 4, 53~84.
- 12 Rogers, G. T., The North Pacific oscillation, *J. Climate*, 1981, 1, 68~83.
- 13 Wang, B., Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades, *J. Climate*, 1995, 8, 267~285.
- 14 Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 1981, 109, 784~812.
- 15 Webster, P. J. and S. Yang, Monsoon and ENSO: Selectively interactive system, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, 118, 877~926.
- 16 Li Chongyin and Li Guilong, The NPO / NAO and interdecadal climate variation in China, *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, 17(4).

Interdecadal Variations of Atmospheric Circulation

I. Observational Analyses

Mu Mingquan and Li Chongyin

(State Key Laboratory of Numerical Modeling Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Through observational analyses of the temporal variations of atmospheric circulation, including the key atmospheric oscillations and the primary atmospheric circulation systems, the results strikingly show that the distinct interdecadal variations exist not only in the tropical atmosphere but also in the mid-high latitude atmospheric circulation. The principal interdecadal oscillations refer to 10~20 years and more than 30 years quasi-periodical waves. The phase of North Atlantic Oscillation (NAO) covering 10~20 years time scale well agrees with that of North Pacific Oscillation (NPO), but for more than 30 years oscillation, they are nearly out of phase to each other. In the time scale of 10~20 years, some time the phase of subtropical high strength in the western Pacific region is consistent with that of North American trough strength, some time they are out of phase. But, during the period of more than 30 years their phases are basically parallel. Subtropical high strength in the western Pacific region is mainly in phase to East Asian trough strength in the time scale of more than 30 years, and meanwhile the former leads the later about 5~7 years.

Key words: atmospheric circulation; interdecadal variation; observed data