

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^{*}

施 能

(南京气象学院, 南京, 210044)

摘 要

研究北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化发现:WA,PNA 型有明显趋势变化及年代际变化。WA 型有明显负趋势,PNA 型有正趋势,它们的强度突变分别发生于 1980 年代初(WA 型 1983 年由强转弱)及 1970 年代中(PNA 型 1976 年由弱转强)。与此同时,亚洲地区、亚欧地区的经向环流强度于 1983 年突然减弱。大气环流及遥相关型强度的这种年代际变化是中国冬季气候变化的一个重要原因。

关键词: 冬季遥相关型,年代际变化,突变,气候变化。

1 引 言

众所周知,大气环流的遥相关现象不仅解释了全球相关联的大范围持续的天气气候异常,而且为研究热带和中高纬度,以及海气相互作用提供了极好的途径。Shukla 和 Wallace^[1],Hoskins 和 Karoly^[2],黄荣辉^[3]等利用数值模式说明赤道东太平洋海温异常偏暖会引起北半球 PNA 流型。施能、朱乾根^[4]的研究指出,当厄尔尼诺发展到盛期冬季,西太平洋遥相关型(WP)异常偏弱的特征甚至比 PNA 型异常强的特征更显著。事实上,对于理解时间尺度从 10a 到几个月,空间尺度从整个北半球到某个气候区域的气候变化来说,遥相关型强度指数都是一个有用的指标。Leathers^[5]认为,如果将整个北半球大气定义为几个遥相关型活动的组合,就可以对气候变化作出动力学的解释。但是,目前对遥相关型的长期变化特征尚未有很多研究。

目前,全球变暖是指全球平均而言。在局部地区可能是变冷,例如北太平洋。气温、降水变化的直接原因是大气环流异常。那么,遥相关型强度是否也有明显的气候趋势变化?遥相关型异常与气候变暖有什么联系?本文将在第 3 部份加以研究。此外,气象要素的不连续变化或突变已由许多作者研究并揭露出来^[6,7]。但是,遥相关型的不连续变化特征研究尚少。Trenberth^[8],Nitta 和 Yamata^[9]研究指出,PNA 型的不连续变化发生于 1976/1977 年。但是,Leathers^[5]的结果是 1957 年 PNA 型强度指数发生不连续变化。需要指出,文献^[5]只使用 PNA 型中 4 个遥相关中心中的 3 个,而且他将全年所有月份都用 Wallace 定义的冬季遥相关中心计算 PNA 指数。冬季遥相关中心是否适合于其它季(特别是夏

^{*} 初稿时间:1995 年 1 月 9 日;修改稿时间:1996 年 1 月 15 日。

资助课题:国家自然科学基金资助(编号:49475265)。

季)是值得讨论的。已有工作指出,冬季的许多遥相关中心在夏季月份不呈明显负相关。文献[10]还指出,1976—1988年发生了3次强厄尔尼诺,但1988年热带大气海洋已转入拉尼娜状态,是否可能是新的气候阶段,值得监视。文中还用较新的资料研究这些问题及冬季遥相关型长期变化与中国气候变化的关系。

2 冬季大气环流遥相关型强度

Wallace 和 Gutzler^[10]曾定义了冬季遥相关型,并用 1961/1962—1976/1977 年资料计算了各型的强度指数。本文用 1951/1952—1992/1993 年的冬季 500hPa 季平均高度场计算了历年强度指数(表 1)。

表 1 北半球冬季遥相关型强度指数(1951/1952—1992/1993)											
年	WA	WP	EU	EA	PNA	年	WA	WP	EU	EA	PNA
1951/1952	-0.15	-0.83	-0.86	0.21	-1.22	1972/1973	-0.51	-1.22	1.64	-0.51	0.13
1952/1952	0.54	0.06	-0.50	1.26	0.32	1973/1974	-0.52	1.27	0.04	-0.87	-0.45
1953/1954	-0.38	-0.46	1.17	0.56	-0.51	1974/1975	-0.60	-0.13	-0.31	-0.19	-0.29
1954/1955	1.83	0.24	-0.69	0.14	-0.77	1975/1076	-0.11	0.06	0.27	1.43	-0.16
1955/1956	1.09	1.47	-0.04	0.87	-1.28	1976/1977	0.20	-0.13	-0.81	-1.16	1.63
1956/1957	-1.16	1.42	0.29	-0.76	-1.64	1977/1978	0.38	-0.22	0.12	-0.47	1.12
1957/1958	2.30	-0.56	-0.38	0.16	1.18	1978/1979	0.56	-1.38	0.80	-0.44	-0.64
1958/1959	-0.81	-0.63	0.10	-0.26	-0.29	1979/1980	0.25	0.33	-0.07	-0.31	0.33
1959/1960	1.07	-0.62	0.00	-1.29	0.78	1980/1981	0.46	1.37	-1.19	0.42	1.08
1960/1961	-1.38	0.14	-0.15	-1.97	0.88	1981/1982	0.11	-0.07	-0.03	-0.64	-0.88
1961/1962	-0.84	1.36	-1.07	-0.32	0.46	1982/1983	0.24	-1.11	-0.33	0.33	1.27
1962/1963	0.05	1.90	-1.26	0.77	0.47	1983/1984	-0.71	1.43	-1.08	-0.90	0.34
1963/1964	-0.20	-0.77	0.67	0.82	0.87	1984/1985	-0.25	0.53	-0.55	0.48	-0.29
1964/1965	0.97	0.50	-0.59	1.05	-0.91	1985/1986	-0.96	0.81	-1.03	0.00	1.27
1965/1966	1.01	-1.53	-0.29	-1.60	-0.25	1986/1987	-0.08	-0.54	0.20	0.43	1.09
1966/1967	-0.13	-0.69	-0.65	0.14	0.02	1987/1988	-0.64	-1.46	-0.15	-0.33	0.40
1967/1968	1.51	1.48	-1.45	1.41	-0.06	1988/1989	-1.37	-1.24	1.29	0.47	-0.76
1968/1969	1.94	-0.89	1.65	-0.14	-0.84	1989/1990	-1.56	-0.47	1.00	-1.32	-0.40
1969/1970	1.00	-0.28	-0.74	-0.28	0.84	1990/1991	-1.26	1.49	0.56	-0.17	-0.16
1970/1971	-0.01	0.76	0.78	0.24	-0.80	1991/1992	-0.65	-0.85	0.64	1.91	0.83
1971/1972	-0.84	-0.53	2.10	-0.08	-1.61	1992/1993	-0.48	-0.01	0.92	0.89	-0.22

计算公式为

$$\begin{aligned}WA &= 0.5(WA1 - WA2) \\ WP &= 0.5(WP1 - WP2) \\ EA &= -0.25EA1 + 0.5EA2 - 0.25EA3\end{aligned}$$

EU=0.25EU1-0.5EU2+0.25EU3

PNA=0.25(PNA1-PNA2+PNA3-PNA4)

其中 WA1,WA2,WP1,WP2,EA1,EA2,EA3,EU1,EU2,EU3,PNA1,PNA2,PNA3,PNA4 分别是冬季 500hPa 各遥相关中心的标准化测值,位置是

WA1:55°N, 55°W	WP1: 60°N,155°E	EA1: 25°N,25°W
WA2:30°N, 55°W	WP2: 30°N,155°E	EA2: 55°N,20°W
EU1:55°N, 20°E	PNA1:20°N,160°W	EA3: 50°N,40°E
EU2:55°N, 75°E	PNA2:45°N,165°W	PNA4: 30°N,85°W
EU3:40°N,145°E	PNA3:55°N,115°W	

将表 1 中 1961/1962—1976/1977 年时段的值与文献[1]中同时段的结果相比较,计算两者相关系数,结果对 WA,WP,EU,EA,PNA 型分别是 0.95,0.89,0.98,0.99,0.96。表明延长资料后的计算结果是可靠的。

3 冬季遥相关型的长期趋势变化

要素的趋势变化通常用一元线性回归方程:

$$x_t = a_0 + a_1t \qquad t = 1,2,\cdots,n(a)$$

(1)

t 表示时间, x_t 表示要素逐年值, a_1 常称为倾向率,单位为要素值单位/a。 a_0 是常数,取要素的单位。为求 a_1 ,可利用 x_t 与自然数列1,2,⋯, n 求相关系数 r_{xt}

$$r_{xt} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(t - \frac{n+1}{2})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 (t - \frac{n+1}{2})^2}}$$

(2)

r_{xt} 称为趋势系数,可以用 t 分布统计检验 r_{xt} 的显著性,而

$$a_1 = r_{xt} \cdot \sigma_x / \sigma_t$$

(3)

σ_x, σ_t 分别是 x_t 及自然数列的均方差。

$$a_0 = \bar{x} - \frac{n+1}{2}a_1$$

(4)

表2是冬季遥相关型的趋势系数 r_{xt} 及倾向率

表2 冬季遥相关型强度指数的趋势变化(1951/1952—1992/1993)

	WA	PNA	EU	WP	EA
r_{xt}	-0.400	0.264	0.195	-0.094	0.012
a_1	-0.031	0.018	0.014	-0.007	0.003

可以看出,在1951/1952—1992/1993时段内,WA 型有明显的负趋势,达到0.01以上信度;而 PNA 型有正趋势,信度接近0.05.EU 型有较弱的正趋势,WP,EA 型几乎没有趋势变化。需要指出,冬季的遥相关型之间几乎是独立的^[10],所以,它们的长期趋势变化之间没有什么明显联系。

图1是冬季遥相关型强度的时间曲线,虚线是线性趋势函数。

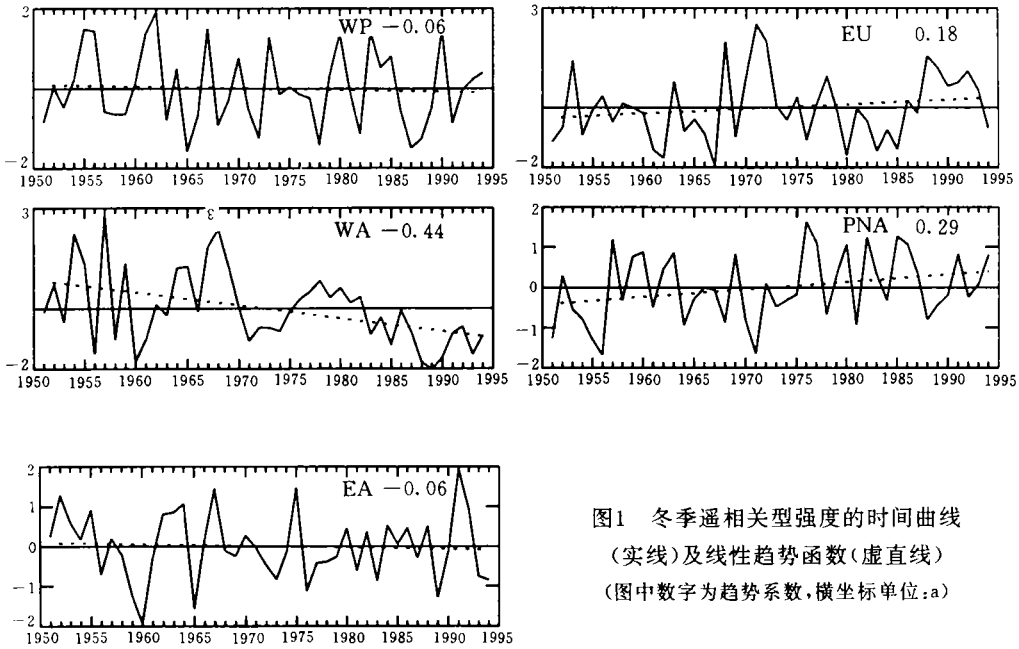


图1 冬季遥相关型强度的时间曲线
(实线)及线性趋势函数(虚直线)
(图中数字为趋势系数,横坐标单位:a)

为了了解 WA, PNA 型的各遥相关中心明显趋势变化的情况,表3给出了 WA, PNA 各中心的趋势系数 r_{xt} 及倾向率 a_1 。从中可看出,跷跷板结构的偶极型 WA 的北遥相关中心(WA1, 冰岛低西附近)的负趋势特别明显,超过南面的中心(WA2, 西大西洋高压)的正趋势。对 PNA 型,它的前3个遥相关中心的趋势变化都比较大:低纬度中太平洋的 PNA1 正趋势 0.332, 阿留申及北太平洋的 PNA2 的负趋势 -0.321, 北美西北部的 PNA3 的正趋势 0.361。但是,位于北美东南部的 PNA4 的趋势值不大(0.132),而且它的趋势变化与 PNA3 并不相反。这表明, PNA3 与 PNA4 在长期年际变化趋势(数十年时间尺度)上未呈现跷跷板结构。由于 PNA4 的这个特征,使整个 PNA 型的强度指数的趋势系数降为 0.264。

表3 WA, PNA 各遥相关中心500hPa 高度的趋势变化

	WA1	WA2	PNA1	PNA2	PNA3	PNA4
r_{xt}	-0.475	0.267	0.332	-0.321	0.361	0.132
a_1	-0.221	0.057	0.047	-0.176	0.129	0.027

4 冬季遥相关型强度的不连续变化

为了研究冬季遥相关型强度的突变,利用移动 t 检验方法,累积距平曲线及信噪比方法^[9,6]。结果表明,WA, PNA 型有较明显的年代际变化(见图2)。

由图2看出, WA 型在1982/1983年有明显的变化,由强转弱,而 PNA 型则在1975/1976年明显变化,由弱转强。因此, PNA 型分为两时段(1951/1952—1975/1976, 1976/1977—1992/1993), WA 型分为(1951/1952—1982/1983, 1983/1984—1992/1993)两时段。这两时段的 t 统计量检验及信噪比见表4。

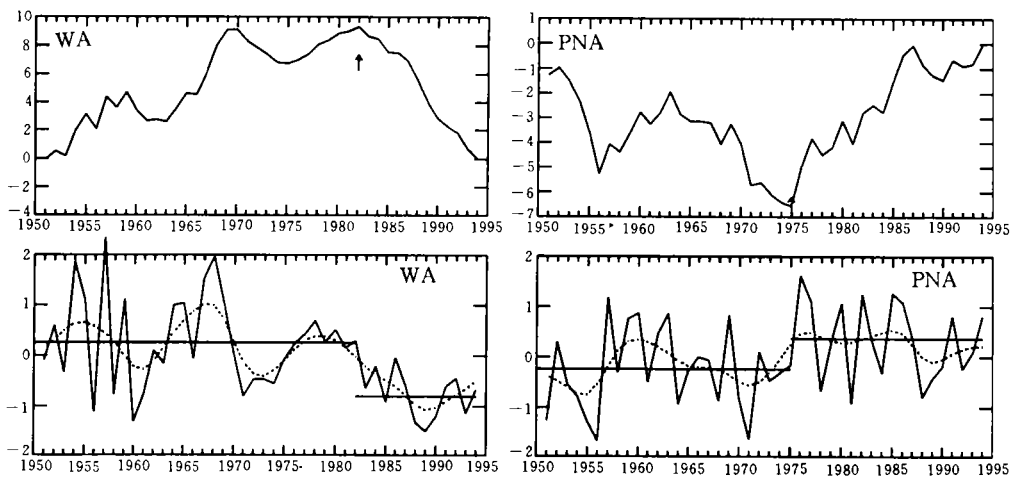


图2 冬季 WA,PNA 遥相关型强度的累积距平曲线(上)及时间演变曲线(下)
(图中虚线为高斯9点滤波后的曲线,剪头所示为不连续变化
发生年,不连续变化前后的强度平均值已用直线标在图上)

表4 WA,PNA 两时段强度的差异 *t* 检验及信噪比

型	时 段	<i>t</i> 统计量	信噪比
WA	(1951/1952 1982/1983,1983/1984- 1992/1993)	3.22	0.76
PNA	(1951/1952-- 1975/1976,1976/1977 -1992/1993)	2.43	0.37

从表4的 *t* 统计量值看出,WA,PNA 型强度的变化已达到0.05信度,WA 型的变化已接近0.01信度。但是,从信噪比看,它们均未达到 Yamamoto 所定义的突变标准^[6],称其为不连续变化。北太平洋(PNA2附近)大气和海洋发生的1976—1988年10a 时间尺度的变化文献^[7,8,11]曾指出过,但是,是否可能因1988年发生了拉尼娜而又重新出现相反趋势^[9]?从本文的结果看,强 PNA 的趋势目前尚未改变。

图3是用表1资料中的 PNA,WP 强度指数绘制的厄尔尼诺(E),拉尼娜(A)的点聚图。可以清楚地看到,厄尔尼诺发展到冬季,大气环流具有弱 WP 型,强 PNA 型的特征,而拉尼娜正相反。需要指出,图中点较均匀地分布在4个象限中,表明,在一般情况下,PNA 强度与 WP 强度之间并不存在密切的相关关系。1988年虽然发生了拉尼娜,但是,非常特殊的是1988/1989冬季并

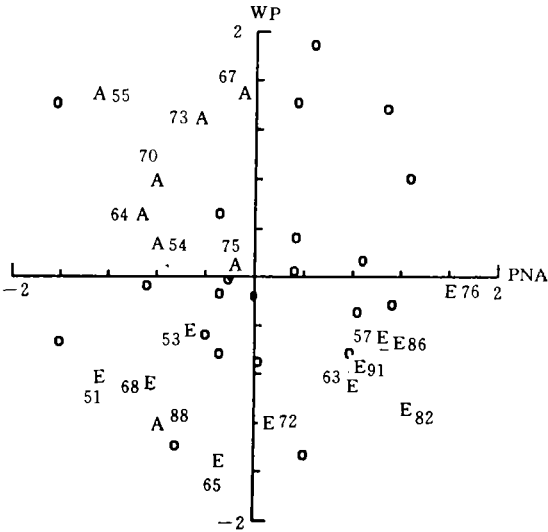


图3 1951/1952 1992/1993年的 PNA,WA 强度指数与厄尔尼诺(E),拉尼娜(A)

不具有绝大多数拉尼娜所具有的强 WP 型特征,虽然它是一个弱 PNA 型。接着1991年又发生了厄尔尼诺,继续表现为强 PNA,弱 WP 型特征。

5 冬季遥相关型强度的年代际变化对东亚大气环流及中国气候的影响

5.1 东亚大气环流

自从 Trenberth^[7],Nitta^[8]等先后指出北太平洋1976年以后发生明显的10年际变化以来,10a 时间尺度的环流变化及海气相互作用的研究方兴未艾。由此造成的北太平洋、北美大陆的天气、气候、生物、环境的变化也有不少研究^[7,8,11]。由于 PNA 遥相关型的年代际变化也始于1976年,所以该时段开始的气候阶段特征这里暂不作更深入的研究。1983年以后,WA 型明显减弱了,至今对 WA 型减弱的年代际变化及可能的影响未见研究。为此制作(1983/1984—1992/1993) 10a 500hPa 冬季平均图与(1951/1952—1982/1983) 32a 500hPa 冬季平均图的差值图(图4)。该图突出反映了 WA 型的年代际变化。由图看出,位于西大西洋北部的 WA1负区特别明显,南部 WA2是正值区,表明1983年以后 WA 型异常偏弱。此外,由于该时段已处于1976年以后的 PNA 型增强时段内,也部分地反映了 PNA 型年代际变化,所以在低纬中太平洋,北太平洋,北美西北的 PNA1,PNA2,PNA3遥相关中心依次显示正—负—正的特征。然而,遥相关中心 PNA4(北美东南部)与 PNA3并不相

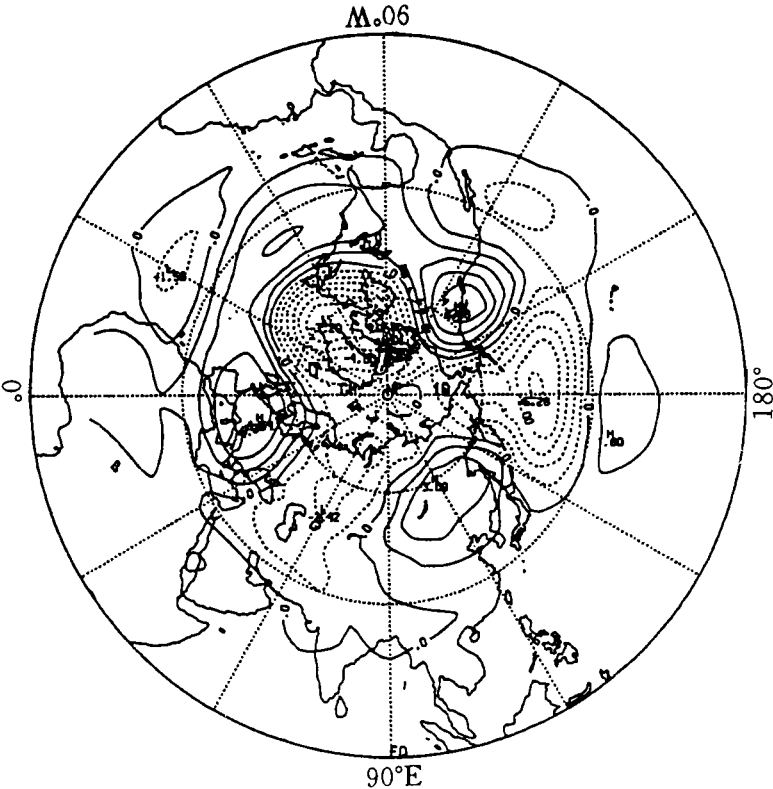


图4 冬季500hPa(1983/1984—1992/1993)与(1951/1952—1982/1983)的合成差值图
(等值线间隔为10dagpm,虚线代表负值)

反,它仍位于正区,与表3的计算结果是一致的。再看东亚,大陆上是东正西负,从贝加尔湖以东到鄂霍茨克海、40—60°N 中高纬是正区,而60°E 附近,从黑海、里海、乌拉尔地区是负区。再向西、西欧及地中海也是正区。

东亚中高纬东正西负的异常分布会引起冬季纬向气流的加强,经向气流的减弱。表5是亚洲地区(45—65°N,90—150°E)及亚欧地区(45—65°N,0—150°E)冬季纬向、经向环流强度指数的趋势系数。可以看出,42a 来,亚洲、亚欧地区中高纬冬季纬向环流正趋势,加强了;经向环流则负趋势,减弱了。特别是亚洲地区经向环流减弱非常明显,趋势系数-0.39,达0.01信度。亚洲地区纬向环流强度增强,经向环流减弱与图4东亚中高纬正、负区分布相一致的。

表5 亚洲、亚欧地区冬季纬向、经向环流强度指数的趋势变化(1951/1952—1993/1994)

	亚洲地区		亚欧地区	
	纬向环流	经向环流	纬向环流	经向环流
r_{xt}	0.13	-0.39	0.24	-0.22

图5给出冬季亚洲地区经向环流强度指数(AM)及亚欧地区经向环流指数(AEM)的时间曲线(实线)及趋势方程(虚直线)、高斯9点低通滤波曲线(虚曲线)。

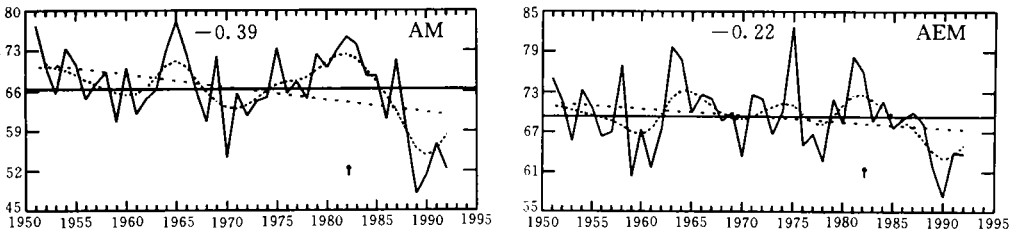


图5 亚洲地区(AM),亚欧地区(AEM)冬季经向环流指数时间曲线(实线)
线性趋势(虚直线)及高斯9点低通滤波曲线(虚曲线)
(指数值已扩大100倍,剪头所示为突变发生,图中数字为趋势系数)

由图5看出,冬季经向环流的异常减弱发生于1982/1983,与 WA 遥相关型的突变减弱几乎是同步发生的。值得指出的是,图5中亚洲地区经向环流的低通滤波曲线(左图中虚曲线)与图2中 WA 的低通滤波曲线(虚曲线)的变化特征几乎是完全同步的。1980年代末,亚洲地区中高纬冬季经向环流之弱是近40年 a 来所仅有的,与此同时,1980年代末,冬季 WA 型也出现了40a 来最弱的特征。据此,可以认为,1980年代初,亚洲、亚欧地区经向环流变弱与 PNA 型增强背景下 WA 型明显变弱有密切的关系。

5.2 中国冬季气候变化

发生在西大西洋以及太平洋北美地区的环流年代际变化对所在地区的气候变化会有非常明显的影响。为了研究 WA,PNA 型年代际变化对中国气候的影响,这里将所研究的要素(气温、降水)分两段进行合成。研究 WA 型时,取1983年为界,划分两时段。研究 PNA 型时,取1976年为界,划分两时段。将第2时段的要素均值与第1时段的要素均值进行差异显著性的 *t* 检验、并制成 *t* 统计量分布图(略)。

5.2.1 冬季气温

气温是气候变化最敏感的指标。WA 型以1983年为界进行平均气温差异显著性检验时,结果表明,160个测站中正值站140个,其中信度达0.05以上测站40个,0.01以上测站13个。0.05以上信度的显著升温区(1983年以后)在东北、西北、华北北部。降温区位于长江以南的西南地区及个别东南沿海测站,但均未达到0.05的信度。以1976年为界(PNA 型)进行检验时, t 值为正值的测站也是140个,其余结果也基本相同。上述的升温、降温区与文献[12]的图2,文献[13]的图4是非常相似的。文献[12]还曾制作了1980—1989年冬季500hPa 高度距平合成图(该文图5)。该图与本文两时段差值图(图4)也是非常相似的。可认为,1980年开始的中国冬季东北、西北、华北变暖与 WA 遥相关型的异常减弱,PNA 型的加强有关。遥相关型强度的年代际变化是影响中国气候年代际变化的一个重要因素。

5.2.2 冬季降水

降水受到多种因素的影响,对环流年代际变化的反映要比气温小得多。以1983年为界(WA 型)时,160个测站中, t 为正值的有110个,但达到0.05以上信度的只有11个测站,0.01以上的只有4个站。分布在河套以西地区。50个 t 为负值的测站均未达到0.05的信度。以1976年为界时(PNA 型),正、负测站数分别为89,71,仅有6个测产站达0.05信度,3个测站达0.01信度,与随机抽样结果无差别,故不足以说明 PNA 型年代际变化对中国降水年代际变化有多大影响。然而,WA 型异常减弱,可能使中国西北地区冬季降水略为增加。

6 总 结

1 1951年以来,冬季遥相关型强度有趋势变化,表现为西大西洋型(WA)明显减弱,而太平洋北美遥相关型(PNA)加强。

2 WA 型南北遥相关中心的长期趋势变化符号也相反。但是其北中心的负趋势特别明显,比南中心(西大西洋高压)的正趋势强得多。PNA 型前3个遥相关中心也呈符号相反的长期趋势变化,并且强度相当;但是 PNA4 的趋势变化不大,而且与 PNA3 的趋势变化相同。这表明,PNA4 的长期变化趋势与年际变化特征是不同的。

3 WA,PNA 型有明显的年代际变化。WA 型从1983年开始明显变弱,而 PNA 型从1976年开始转强。从最近期的资料看(1993—1995年),WA 强度指数继续维持大的负值,PNA 强度指数继续是正值,所以文中所给的第2气候阶段尚未结束。

4 厄尔尼诺、拉尼娜与 WP,PNA 遥相关强度关系密切。厄尔尼诺发展到盛期冬季,大气环流具有明显的弱 WP,强 PNA 型特征。

5 1980年代开始的中国北方冬季变暖与 WA,PNA 遥相关强度的年代际变化有密切的关系。特别是 WA 遥相关型趋于减弱有关。如果 WA 型的强度负趋势不改变,则中国北方冬季气温变暖的趋势不改变。如果 WA 强度变化转为正趋势,而北方仍在继续变暖,则考虑其它影响气候的因子,例如温室气体、火山活动、地球冰雪圈、太阳活动异常是很必要的。

参考文献

- [1] Shukla J and Wallace J M. Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial sea surface temperature anomalies. *J Atmos Sci*. 1983. 40: 1613—1630.

- [2] Hoskins B J and Karelly D J. The study liner response of a spheric atmosphere to thermal and orographic forcing. J Atmos Sci. 1981. 38: 1178—1196.
- [3] 黄荣辉. 冬季低纬度热源异常对北半球大气环流影响的物理机制. 中国科学 (B). 1986. 91—103.
- [4] Zhu Qianguan and Shi Neng. Variations in the teleconnection intensity indices and their remote response to the El Niño events in the Northern Hemisphere. Acta Meteor Sinica. 1992. 6 (4): 443—445.
- [5] Leathers D J. Palecki N A. The Pacific/North American teleconnection pattern and United States climate I: temperature characteristics and index specification. J Climate. 1992. 5: 707—716.
- [6] Yamamoto R Iwashima T and Sanga N K. An Analysis of Climatic Jump. J. Meteor Soc Japan.
- [7] Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate change in the Northern Hemisphere. Bull Meteor Soc. 1990. 988—993.
- [8] Nitta T. Yamada S. Recent warming of the tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. J Meteor. Soc Japan. 1989. 67: 375—383.
- [9] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义及检测方法. 大气科学. 1992. 16 (4): 482—493.
- [10] Wallace J M and Gutzler D S. Teleconnection in the geopotential height field in the Northern Hemisphere. Mon Wea Rev. 1981. 109: 784—812.
- [11] 廖基荪, 李斌. 80年代我国气温变化及其与大气环流变化的关系. 气象. 1990. 16 (11): 24—29.
- [12] Trenberth K E and Hurrell J W. Decadal atmosphere-ocean variations in the pacific. Climate Dynamics. 1994. 9: 303—319.
- [13] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. 气象学报. 1994. 52: 261—273.

SECULAR VARIATION OF WINTER ATMOSPHERIC TELECONNECTION PATTERN IN THE NORTHERN HEMISPHERE AND ITS RELATION WITH CHINA'S CLIMATE CHANGE

Shi Neng

(*Nanjing Institute of meteorology, Nanjing, 210044*)

Abstract

The secular variation of the winter atmosphere circulation teleconnection pattern is studied in this paper. It is shown that Western Atlantic (WA), Pacific/North American (PNA) pattern had clearly trend and interdecadal change. The significant negative trend of the WA intensity index was observed, however, the intensity of the PNA pattern had positive trend. The abrupt change of their intensity occurred in the early 1980's when WA pattern changed from strong to weak and in the middle 1970's when PNA pattern changed from weak to strong, respectively. Almost at the same time, the winter meridional circulation intensity in the area of Asia and Eurasia abruptly weakened in 1983. This interdecadal change of the intensity indices of the atmospheric and teleconnection pattern may be an important reason that causes climatic warming over China in winter.

Key words: Winter teleconnection. Interdecadal change. Abrupt change. Climate change.