

# 超长波的多年振动\*

林学椿

(气象科学研究院天气气候研究所)

## 提 要

我们对1871—1975年冬(1月)和夏(7月)60°N和30°N纬圈的海平面气压距平资料作谐波分析,讨论第1—3波的超长波的多年振动。其主要结果有:1.超长波的第1波的近百年变化表现为向西的行波型振动。它的超长波槽有3次影响东亚,造成东亚地区降水量的36年左右周期。2.第2、3波的变化是属于驻波型的振动,这种振动是由两个气候变化阶段来完成的。1921—1926年以前为第一阶段,超长波槽的位置偏东;1921—1926年以后为第二阶段,超长波槽偏西。超长波的阶段变化导致了大气活动中心的阶段变化,引起相关系数的不稳定。3.超长波的阶段变化与海温距平的阶段变化有密切关系。超长波槽的变化与海温负距平的变化相适应。

## 一、前 言

超长波在纬向上有1—3波。超长波的运动可分为准静止的和移动性的两类。在平均情况下,超长波的槽脊大致在固定的地理位置上发展和消失,一般认为超长波是由地形和海陆分布的冷热源等外力作用引起的强迫波。超长波的生命史一般为10—30天,它的发展和演变对长期天气预报很重要。长期预报的对象是平均气候状况的偏差,这种偏差可从高压和低压的异常活动中找到,而高压和低压的长期变化与第1—3波的超长波活动有关。例如大范围的旱涝与阻塞形势的发展有关,而阻塞形势的出现又是第2波西风扰动发展的结果。研究它们的活动规律,有可能使我们为制作长期天气预报找到一条途径<sup>[1]</sup>。

气候变化是有阶段性的。我国六十年代的气候特点和五十年代不同,七十年代又有变化。不同的气候阶段,长期天气过程可能有所不同。超长波在不同的气候阶段是如何变化的?它与大气活动中心的多年变化又有什么关系?本文试图通过近百年海平面气压距平的谐波分析讨论它们。

## 二、计算方法和资料

\* 本文于1985年5月20日收到,1985年8月5日收到修改稿。

计算方法采用一般的谐波分析方法。每10个经度取一气压距平值，每纬圈为36个值，它们在经圈方向的谐波展开可写为：

$$P(\lambda) = \bar{P} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\lambda + b_n \sin n\lambda) \quad (1)$$

其中

$$\bar{P} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P(\lambda) d\lambda = \frac{1}{36} \sum_{i=1}^{36} P_i$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} P(\lambda) \cos n\lambda d\lambda = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{36} P_i \cos n\lambda_i$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} P(\lambda) \sin n\lambda d\lambda = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{36} P_i \sin n\lambda_i$$

$$\text{振幅 } R_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2}$$

$$\text{位相角 } \varphi_n = \tan^{-1} b_n / a_n$$

于是波数  $n$  的气压距平可写为：

$$P_n(\lambda) = a_n \cos n\lambda + b_n \sin n\lambda \quad (2)$$

$$P(\lambda) = \bar{P} + \sum_{n=1}^{\infty} P_n(\lambda) \quad (3)$$

根据北京大学等单位整编的1871—1975年月平均海平面气压距平资料，分别对冬季（1月）和夏季（7月）的60°N和30°N作谐波分析。

表1给出前18个波的平均振幅。由表可见：（1）第1—6波的相对振幅和在70%以上，在60°N可达80%。这说明月平均海平面气压距平场主要是由长波以上的波组成。用前6个波可

表1 第1—18波的平均振幅

波数		振幅																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
绝对振幅	1 60°N	22.43	19.06	11.98	8.85	5.65	4.85	3.56	2.63	2.14	1.51	1.56	1.18	1.14	1.09	0.86	0.85	0.66	0.75
	30°N	7.22	6.89	5.56	4.32	3.96	3.21	2.22	1.74	1.64	1.13	0.97	0.62	0.64	0.68	0.48	0.45	0.47	0.34
7月	60°N	8.87	7.34	6.63	4.38	3.10	2.06	1.61	1.18	0.77	0.71	0.58	0.45	0.40	0.34	0.21	0.21	0.29	0.25
	30°N	5.52	4.03	3.74	3.01	2.15	2.33	1.71	1.30	1.18	1.10	0.79	0.72	0.67	0.61	0.54	0.55	0.55	0.53
相对振幅和	1 60°N	0.25	0.46	0.59	0.69	0.75	0.80	0.84	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
	30°N	0.17	0.34	0.47	0.57	0.66	0.74	0.79	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
7月	60°N	0.23	0.42	0.59	0.70	0.78	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	1.00
	30°N	0.18	0.31	0.43	0.53	0.60	0.68	0.74	0.78	0.82	0.86	0.89	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97	0.99	1.00

注：相对振幅和定义为： $\Delta R_k = \sum_{i=1}^k R_i / \sum_{i=1}^{18} R_i$ 。

以描写气压距平场的基本特征。(2)第1—3波的相对振幅和占50%左右。就平均而言,超长波在距平场中的贡献约占一半。其中第1波的振幅最大,在60°N可达25%。由此可知,第1—3波的超长波的多年变化能在很大程度上反映气压距平场的变化。

讨论谐波的时间序列时,人们往往把振幅 $R_n$ 和位相角 $\varphi_n$ 分开来讨论。这样做有其方便的一面,但也有缺点;因为振幅只有时间的变化,而无空间的变化,位相角虽反映了时空两个方向的变化,但无强度的变化。我们按公式(2)分别计算第1—3波的气压距平,得到各个超长波的经向—时间剖面,并对时间作10年滑动平均,记在中间一年,例如1871—1880年的10年滑动平均值记在1876年。下面讨论第1—3波超长波的计算结果。

### 三、结果与讨论

#### 1. 第1波

图1是1月60°N第1波的气压距平经向—时间剖面图。1波在图上表现为一对对称的正负距平。这对正负距平随时间不断地向西移动并变化强度。我们把正距平中心的连线称作超长波脊,负距平中心的连线称作超长波槽。超长波槽脊的变化表现为向西的行波型振动。在近百年中,槽脊位置向西绕地球变动了3周,但变动速度是不均匀的。在超长波槽脊加强时期,变动比较慢。例如1902—1914年、1936—1946年和1952—1966年都是超长波加强时期,

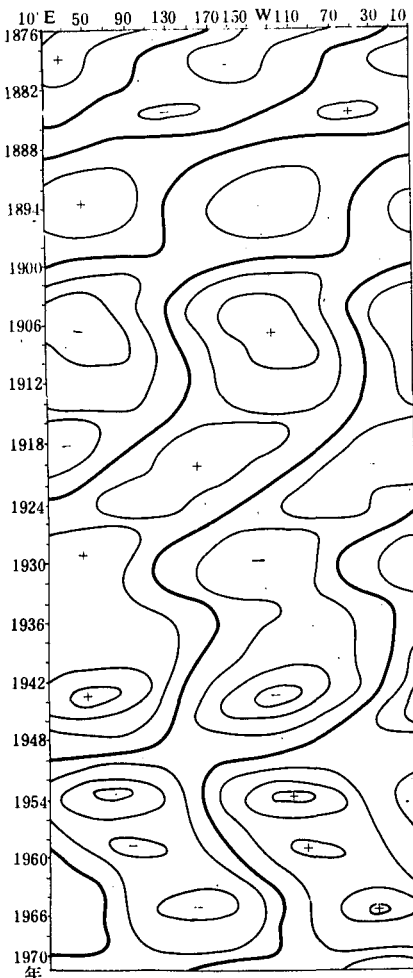


图1 1月60°N第1波的气压距平经向—时间剖面图

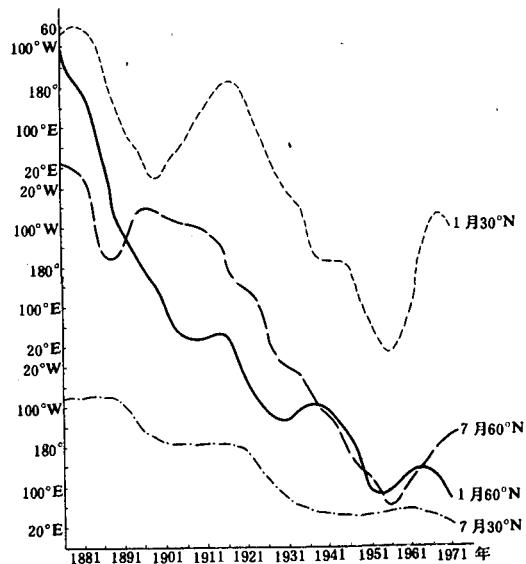


图2 第1波超长波槽的变化

槽脊位置基本不动,甚至向东变动。

1月 $30^{\circ}\text{N}$ 、7月 $60^{\circ}\text{N}$ 和7月 $30^{\circ}\text{N}$ 第1波的气压距平经向—时间剖面图(图略)也有类似情况,综合在图2中。从图中可见第1波超长波的振动是属于向西的行波型振动。在这近百年中,除7月 $30^{\circ}\text{N}$ 外,超长波位置向西变动绕地球2—3周。7月 $30^{\circ}\text{N}$ 的超长波在这段时间只向西变动了 $180^{\circ}$ 。在1926年前,槽线在太平洋东部和北美大陆西海岸之间摆动;1926年后,槽线在 $40-60^{\circ}\text{E}$ 之间摆动。表现为驻波型振动。顺便指出,高纬度( $60^{\circ}\text{N}$ )地面冬季和夏季第1波的变化相当一致,而低纬度地区冬、夏的变化要比高纬度复杂。

我们计算了东亚地区( $50-130^{\circ}\text{E}$ )第1波的气压距平的平均值,如图3。对照图1、2,可见在 $60^{\circ}\text{N}$ 超长波槽有3次影响东亚,冬季(图3A)分别为1882—1887年、1901—1917年和1949—1971年。夏季(图3B)分别为1876—1889年、1916—1926和1946—1968年,其间为超长波脊所控制。从气压变化看,该地区有36年左右的周期。很显然,这种周期变化是由第1波的行波型振动造成的。

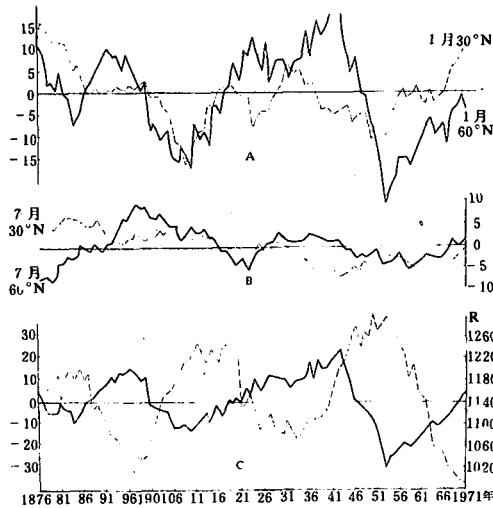


图3 第1波的 $50-130^{\circ}\text{E}$ 气压距平的平均

A. 冬季, B. 夏季, C. 实线为 $60^{\circ}\text{N}$ 年平均气压距平, 虚线为上海年降水量的10年滑动平均

我国降水量存在着36年左右周期。王绍武<sup>[2]</sup>用我国东部( $95^{\circ}\text{E}$ 以东)100个站近百年(1871—1970)旱涝等级资料作功率谱分析指出,长江下游及华北沿海北部有一明显的36年周期区,其次在华南南部。华北东部和黑龙江亦有明显的36年周期区。此外,日本的降水量变化的36年周期也很清楚<sup>[3]</sup>,孟加拉气旋可能也存在这种周期<sup>[4]</sup>,说明36年周期是东亚比较重要的气候规律之一。图3C中的虚线有3个多雨期,分别为1876—1887年、1904—1920年和1941—1961年,其间为少雨期,与超长波槽影响东亚的时间正好对应。如果用1月和7月的平均气压来代表年平均气压,则从图3C(实线)可以看到, $60^{\circ}\text{N}$ 第1波的 $50-130^{\circ}\text{E}$ 的年平均气压变化与上海年降水量的变化非常一致,3个多雨期与超长波槽的3次影响时间对应,随着超长波槽的加深,雨量也增多。少雨期与超长波脊影响东亚的时间对应。这说明东亚地区降水量的36年周期是由第1波的超长波向西的行波型振动所造成。

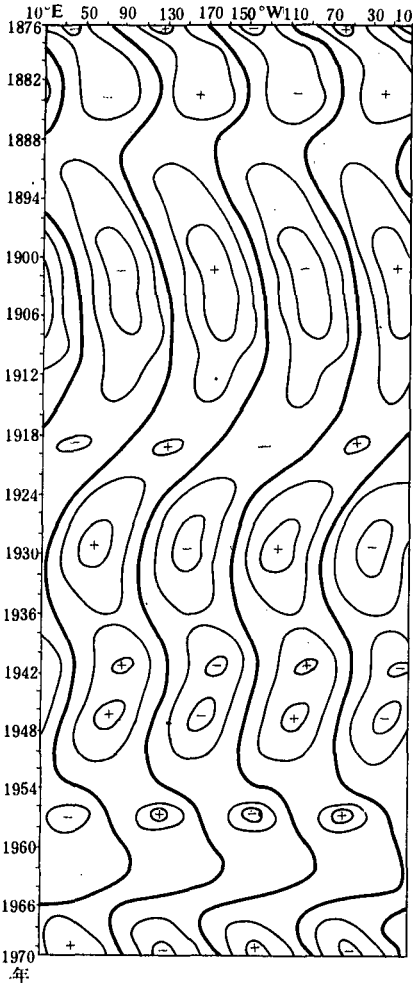


图 4 1月60°N第2波的气压距平经向—时间剖面

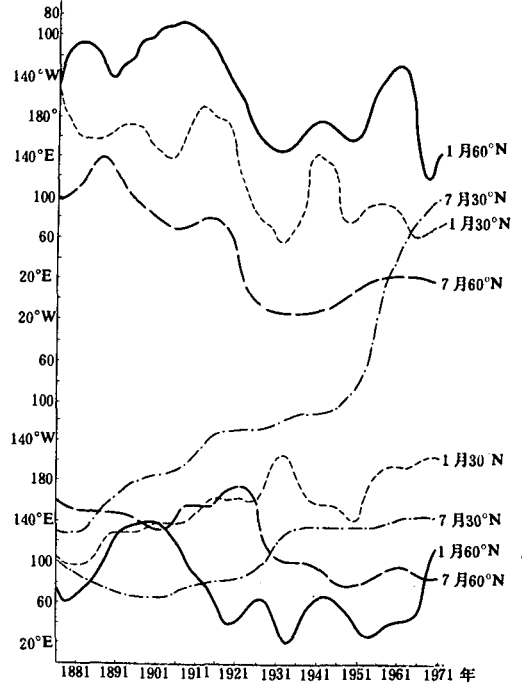


图 5 第 2 (上半部 4 条曲线) 和第 3 波 (下半部 4 条曲线) 超长波槽的变化

### 2. 第 2、3 波

图 4 是 1 月 60°N 第 2 波的气压距平经向—时间剖面，可以看出，第 2 波的超长波的变化表现为驻波型的振动，这种振动是由两个气候阶段来完成。1922 年前，超长波的两个槽分别在 30—120°E 和 150—60°W 之间摆动；1922 年后，超长波槽在 120°E—150°W 和 60°W—30°E 之间摆动；1922 年前后超长波有一明显的跳跃。

跃。

图 5 是 1 月 60°N、1 月 30°N、7 月 60°N 和 7 月 30°N 第 2、3 波的超长波槽的变化。图中只画出了靠近东亚和太平洋地区的一条槽线。除 7 月 30°N 第 2 波外，超长波的变化呈驻波型振动。7 月 30°N 第 2 波的超长波属于行波型振动，在这一百多年中，它缓慢地向东变动，几乎绕地球一周。由图 4 和图 5 可以得到以下几点事实：

(1) 第 2、3 波的超长波的长期变化都属于驻波型振动，这些振动是由两个气候阶段来完成。如图 5 中的第 2 波 (上半部的曲线)，除 7 月 30°N 外，所有的超长波都在 1921—1926 年前后发生显著的变化。1921—1926 年前，超长波槽在较偏东的位置上振动。1921—1926 年后，超长波槽向西变动并稳定在较偏西的位置上振动。第 3 波的变化虽然没有第 2 波那样一致，但也是由两个气候阶段来完成的。例如 7 月 30°N 第 3 波的变化，在第一阶段 1876—1926 年，该超长波在 81°E 附近摆动；在第二阶段 1933—1971 年，超长波向东变动了半个波长，在

140°E附近摆动,显然该超长波近百年变化是由两个阶段变化组成的。同样,其它超长波的演变过程也都有同样情况,见图5。

(2)在同一阶段内,超长波位置变化较少,并都绕着各自所在的那个阶段的平均值摆动,而阶段间超长波槽脊位置变化较大。以7月60°N第2波为例,该超长波槽在第一阶段的平均经度为94°E,较偏东。这个阶段内的最大偏差(极差)为44°。第二阶段的平均经度为7°E,极差为20°。这两个阶段间平均经度之差为87°,说明同一阶段内超长波槽脊的变化要比阶段间的变化少。从表2可看到,其它超长波的变化也都有类似情况。阶段内的极差小于阶段间的平均经度差,而阶段间的平均经度差非常接近于二分之一波长,说明前后两个阶段超长波槽脊几乎是反位相的。

表2 第2、3波变化阶段性的统计特征

		阶段	年份	阶段内超长波槽的平均位置	阶段内极差	两阶段间平均位置之差	阶段间过渡年数	超长波槽的平均位置
第2波	1月	60°N	1	1876—1921	114°W(66°E)	36°	72°	150°W (30°E)
			2	1926—1971	174°E(6°W)	66°		
	2月	30°N	1	1876—1921	167°E(13°W)	43°	77°	128°E (52°W)
			2	1926—1971	90°E(90°W)	54°		
	7月	60°N	1	1876—1921	96°W(94°E)	44°	87°	135°W (55°E)
			2	1926—1971	173°W(7°E)	20°		
第3波	1月	60°N	1	1876—1913	133°W(107°E, 13°W)	47°	53°	160°W (80°E, 40°W)
			2	1920—1971	174°E(54°E, 66°W)	34°		
	3月	30°N	1	1876—1911	122°E(118°W, 2°E)	26°	-58°	151°E (89°W, 31°E)
			2	1916—1971	180°(60°W, 60°E)	38°		
	7月	60°N	1	1876—1921	85°W(155°E, 35°E)	25°	60°	115°W (125°E, 5°E)
			2	1931—1971	145°W(95°E, 25°E)	15°		
		30°N	1	1876—1926	159°W(81°E, 39°W)	29°	-59°	119°W (111°E, 9°W)
			2	1933—1971	100°W(140°E, 20°E)	10°		

注:括号内的数值为另一(二)个超长波槽线的平均位置。

(3)阶段间转折过渡时间较短,但超长波槽脊的变幅很大。由表2可以看到,阶段间过渡时间一般为5—7年,大都出现在本世纪二十年代中期,即1926年前后。在这个时段内,除1月30°N和7月30°N第3波向东变动半个波长外,其它超长波都向西变动了1/2波长。这说明在阶段过渡期,超长波的变动呈跳跃式的。

根据以上讨论,我们给出气候变化阶段性的定义:在某一气象要素的气候变化时间序列中,若某两个时段的平均值之差大于这两时段内的偏差,并且这两时段间过渡期的长度要远小于它们本身的时段长度,则称这两个时段为不同的气候阶段。由表2可见,第2、3波的气候振动完全符合气候阶段性的定义。

作者曾指出,相关系数的非平稳性与气候变化的阶段性有关<sup>[5]</sup>。我们<sup>[6]</sup>进一步分析气候变化阶段时,发现大气活动中心的长期变化是由阶段变化来完成的,每个阶段却由几个性质相似的准周期组成(图6)。由文献<sup>[6]</sup>可知,西伯利亚高压、赤道低压和印度低压在第二阶段

的位置要比第一阶段偏西。和图 5 比较可见，大气活动中心的长期变化的阶段性是第 2、3 波的气候振动结果。

### 3. 合成波

图 6 是 1 月 60°N 第 1—3 波合成波气压距平经向—时间剖面，由图可以看到，第 1—3 波的合成波的变化也是驻波型的振动，它保留了第 2、3 波槽脊变化阶段性的特点，又有第 1 波的影响。这一特点在东亚和太平洋地区特别明显。在 30—110°E 之间，1924 年前为槽区，1924 年后为脊区。110—170°E 则相反，1924 年前为脊区，1924 年后，超长波向西变动，该地区为超长波槽所控制，出现了驻波型振动的两个气候阶段。其他几个合成波也有类似情况，不再一一叙述。

超长波的槽脊大致在固定的地理位置上发展和消失，特别是第 2、3 波。所以一般认为超长波是由地形和海陆分布的冷热源等外力作用引起的。由表 2 最后一列可见，第 2、3 波

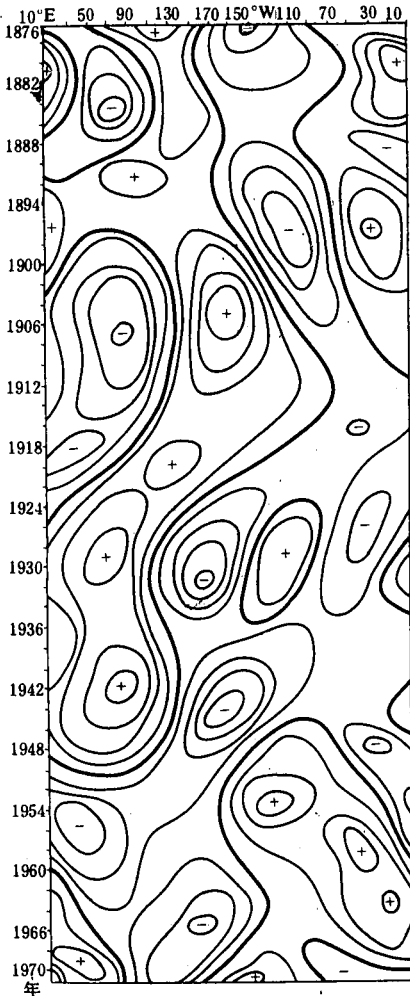


图 6 1 月 60°N 第 1—3 波合成波的气压距平经向—时间剖面

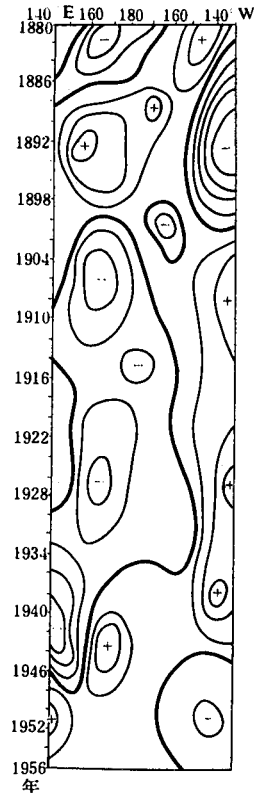


图 7 45°N 年海温距平经向—时间剖面

都有一个超长波槽在太平洋上,冬季平均在太平洋中部或偏西,夏季则偏在北美西海岸的太平洋,这是超长波的季节变化。现在的问题是超长波的振动为什么会有不同的气候阶段?它与海水表面温度的变化又有什么关系?

近百年(1860—1960年)的海温资料是由世界气象组织(WMO)所组织的“历史的海水表面温度计划(HSSTP)”收集的。这个计划由几个国家负责,太平洋地区海温由美国负责搜集和整理。他们根据太平洋地区的气候特征和资料密度情况,将太平洋划分成107个区。北太平洋一般以10个纬度、10个经度为一区,南太平洋则以10个纬度,20个经度为一区。为了和 $60^{\circ}\text{N}$ 纬圈的超长波对比,我们整理出第6区到15区的年平均海温及其距平。这些区位于 $140^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{W}$ 、 $40-50^{\circ}\text{N}$ 的纬带内,可作为 $45^{\circ}\text{N}$ 纬圈上的海温距平经向—时间剖面,如图7。图中的海温距平是10年滑动平均值,在上世纪末,海温负距平区比较偏东,在北美大陆西海岸附近。本世纪初开始,海温负距平区开始西移并在西太平洋稳定下来。1948年后,西太平洋海温负距平消失,东太平洋又开始出现负距平区。与图4或图6比较,可见超长波槽的变化与海温负距平的变化非常一致,海温负距平加强,超长波槽也加强。例如,1898—1912年海温负距平区西移,第2波的超长波槽也在1908—1922年向西变动,以后海温负距平区和超长波槽都稳定在西太平洋上。1946年后,西太平洋海温负距平区消失,北美西海岸又出现新的海温负距平区,第2波的超长波槽在1952年后开始向东变动,以适应海温的变化。可见海温的变化先于超长波的变化,超长波的阶段变化可能是海温的阶段变化结果。

#### 四、结 论

1. 第1波的超长波的变化是向西的行波型振动。近百年来,它跳跃地向西变动,绕地球2—3周。东亚地区降水量的36年左右周期与这个超长波槽的变动有关。

2. 第2、3波是驻波型振动。这些超长波的近百年振动由两个阶段变化来完成,1921—1926年以前为第一阶段,大多数超长波槽的位置比较偏东;1921—1926年以后为第二阶段,超长波比较偏西。超长波的阶段变化导致了大气活动中心的阶段变化,引起相关系数的非平稳性。

3. 超长波的阶段变化与海温距平的阶段变化有密切关系,超长波槽的变动要适应海温负距平的移动。

#### 参 考 文 献

- [1] 章基嘉等,季节转换期间北半球大气超长波与长波的演变,气象,第1期,1—3,1980年。
- [2] 王绍武,我国降水的36年周期及其机制,气象学报,第37卷,第1期,64—73,1979年。
- [3] 日本气象厅,季节预报指南,Published by the Japan Meteorological Agency, Tokyo, 1972.
- [4] V. K. Raghavendra, A statistical analysis of the number of tropical storms and depressions in the Bay of Bengal during 1890 to 1969, Indian J. Met. Geophys. Vol. 24, 125—130, 1973.
- [5] 林学榕,统计天气预报中相关系数的不稳定性问题,大气科学,第2卷,第1期,55—63,1978年。
- [6] 张庆云、杨鉴初、林学榕,大气活动中心长期变化的阶段性,大气科学,第7卷,第4期,364—373,1983年。



## THE SHORT CLIMATIC OSCILLATION OF THE ULTRA—LONG WAVE

Lin Xuechun

*(Institute of Synoptic Meteorology and Climatology, A.M.S.)*

In this paper by using harmonic analysis the anomaly of the sea level pressure of wave number 1—3 along the latitude  $60^{\circ}$  N and  $30^{\circ}$  N in summer and winter for 1871—1975 is analyzed, and the interannual variations of the ultra-long wave (wave number 1—3) are discussed. The main results are as follows:

- 1) The interannual variations of wave number 1 in last hundred years showed a westward propagation in 2—3 cycles. This oscillation had a connection with the cycles of yearly rainfall in East Asia with a period of 36 years.
- 2) The variations of wave numbers 2 and 3 showed an oscillation of a standing wave. The period 1871—1926 was the first stage during which the position of the trough was situated eastwards, and in the second period (1926—1975) the trough was located westwards. This change corresponded to two different climatic regims in the Northern Hemisphere, and the actives of the centers of actions showed a marked difference. This changes also resulted in the instability of the coefficient of correlation.
- 3) There were two stages in the sea surface temperature anomaly along  $45^{\circ}$  N latitude in the Pacific from 1860—1960, which had a connection with the change of the ultra-long wave. The variation of position of the ultra-long wave trough had a similar trend with the interannual variation of the negative anomaly of SST.