

北半球500毫巴候平均图的 波谱分析和预报*

江剑民**

(北京大学地球物理系)

提 要

本文应用谐波分析和功率谱分析方法,计算分析了1951—1970年北半球500毫巴多年候平均图和1975—1980年40°N、60°N 500毫巴逐候的候平均高度值。发现逐候的各谐波系数序列,除具有气候季节变化趋势外,还具有“指数循环”时间尺度及多种韵律活动准周期性振荡的特征。

利用这一特征,设计了一个用周期外延叠加的预报方案。每次接连预报未来8个候的北半球500毫巴候平均高度。对1976—1980年60个月40°N和60°N两纬圈进行预报试验。效果检验表明,本预报方案有一定预报价值。它对纬圈偏差符号的预报准确率平均达 $\rho=0.22$,对气候距平符号的预报准确率平均为 $\rho=0.08$ 。

一、引 言

到目前为止,长期天气预报业务中,在月预报上对月平均环流以及气温、降水量的预报方法研究较多,而对一个月以内天气过程的预报,尤其是与之有关的候平均环流的预报,却研究较少。显然,仅仅只预报未来一个月的平均温度和降水总量,尚不能满足生产的要求。如能预报未来一个月内天气过程的发展,便会有助于更好地为生产计划服务。

但就目前的天气预报技术水平说来,制作未来一个月内的天气过程预报,仍是十分困难的。流体力学数值天气预报方法发展到今天,虽采用了考虑诸物理因子比较全面的多层原始方程模式,在大型电子计算机上进行延伸预报试验。但对预报检验的结果表明,10天以外的预报已经很差^[1]。近来欧洲数值预报中心仍集中力量解决两周以内的预报。因此用数值预报方法做一个月的过程预报,看来短期内不易实现。

国内对一个月之内的环流形势预报研究不多。60年代初期中央气象局研究所曾试用韵律预报500毫巴周期平均图,可惜后来未能继续。近来南京气象学院分析了亚洲500毫巴候平均图的特征^[2]。此外类似的工作还不多。

本文的目的,是试图分析北半球500毫巴候平均图的纬向波谱随时间的演变,并在此基础上,设计一种统计预报方案,预报未来接连8个候的北半球500毫巴候平均图,以期作为月预报业务中的天气过程环流背景的预报,提供一种参考工具。

* 本文于1982年1月28日收到,1982年9月20日收到修改稿。

** 现在在北京气象专科学校工作。

二、分析方法与资料处理

本文中所采用的分析方法,主要是应用通常的谐波分析方法^[3],计算北半球逐候 500 毫巴平均图各纬度的超长波和长波项系数,并对各项系数(相对振幅、槽线位置)的时间序列进行功率谱分析和检验^[4],以考察它们的谱特征和准周期性。

所使用的资料,一部分是 1951—1970 年北半球 500 毫巴多年候平均高度。这是由英国气象局提供的电子计算机输出的五天平均打印图形。我们按 30°N — 70°N 每隔 10 个经纬度网格点读数,并将全年度 73 候转换计算成全年 72 候的平均高度值。另一部分是 1975—1980 年每年 72 候 40°N 和 60°N 两个纬圈上间隔 10 个经度的 500 毫巴候平均高度,直接抄自国家气象局气象中心长期预报室。

三、多年平均超长波的季节变化

我们对 1951—1970 年多年候平均 500 毫巴高度,计算了各纬度前 10 个谐波的槽线

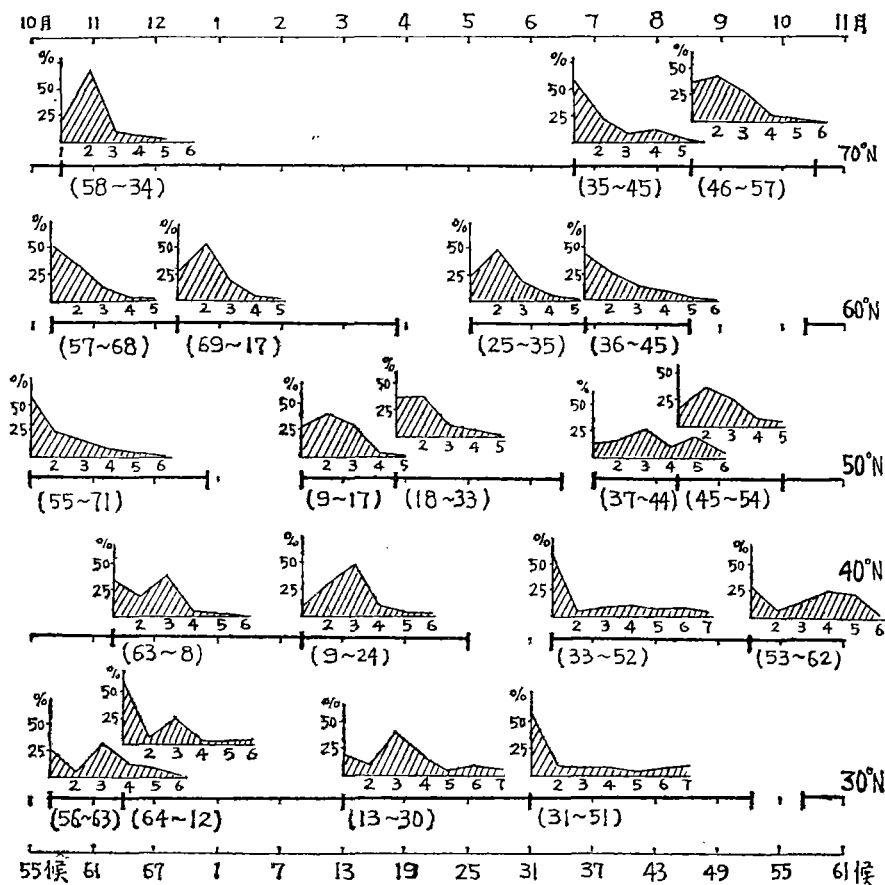


图 1 各纬度波谱的阶段划分及其平均谱型

(图中粗横线段表示该纬度上的同类波谱的一个阶段,其下方括号内标出该阶段的起止候序,其上方绘出该阶段的平均谱型图)

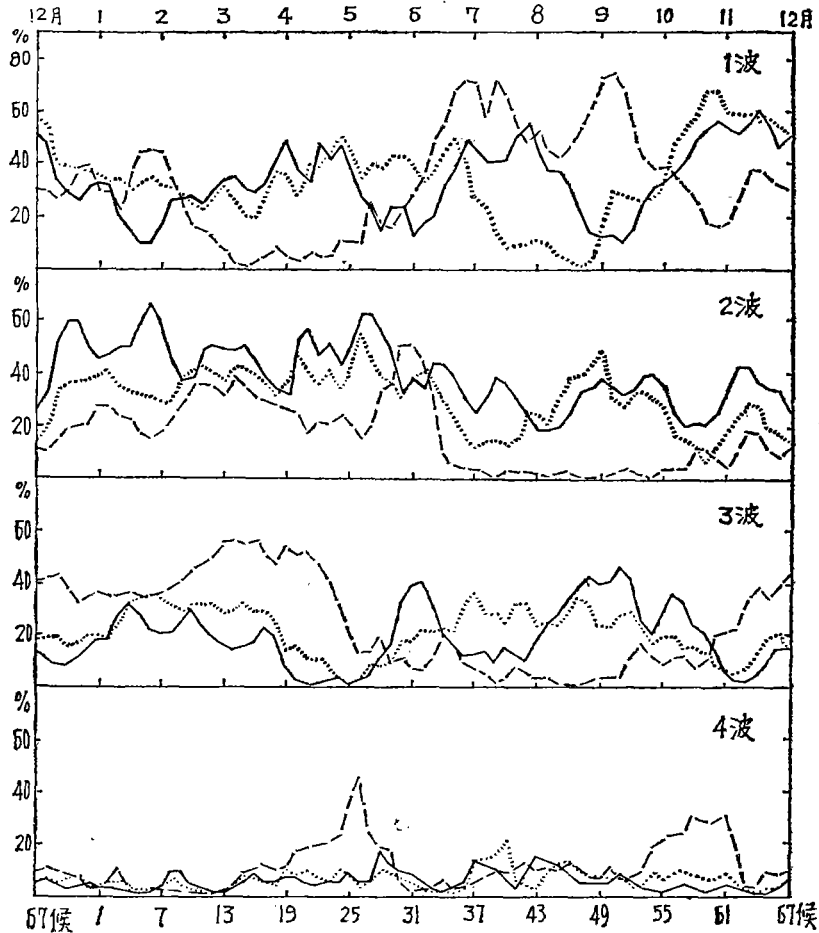


图 2 超长波相对振幅变化曲线
(实线表示 60°N , 虚线表示 40°N , 点线表示 50°N)

位置和相对振幅(这里计算相对振幅,是为了消去纬圈高度场本身的均方差季节变化的影响,以便于比较各谐波在各候间的方差贡献)。结果表明,多年候平均环流形势的主要演变特征,仍大多集中在超长波的变化上。分析它们随纬度和时间的变化,得到如下一些主要结果:

1. 波谱随时间演变具有阶段性。图 1 绘出了同类型波谱持续达 40 天以上的各阶段划分及其相应的平均波谱。图中可见,大部分纬度可划分出四个同类型波谱持续稳定的阶段,但时间分布上不尽一致,也不与天文季节或月份的划分完全相同。

2. 中高纬度与中低纬度的波谱特征不同。图 1 中 70°N 与 60°N 两纬带以及 40°N 与 30°N 两纬带间,在大部分时段里具有类似的波谱。而 50°N 上的波谱在冬半年 10 月至 3 月间大多与 60°N 近似,夏半年既不同于 60°N 也不同于 40°N 。

3. 相对振幅的季节变化(图 2)趋势与多年月平均的分析结果^[3,6]基本一致。1 波与 3 波的振幅在中高纬度(70°N 、 60°N)与中低纬度(40°N 、 30°N)上,变化相反。 50°N 上,只在冬半年大多与 60°N 相似,这些也表明高低纬度大气运动某些不同特征的分界处,可

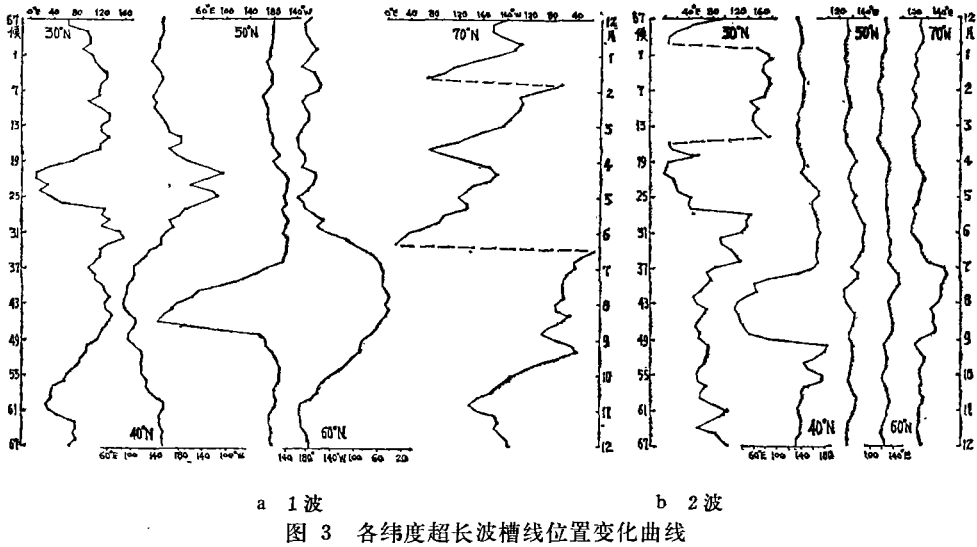
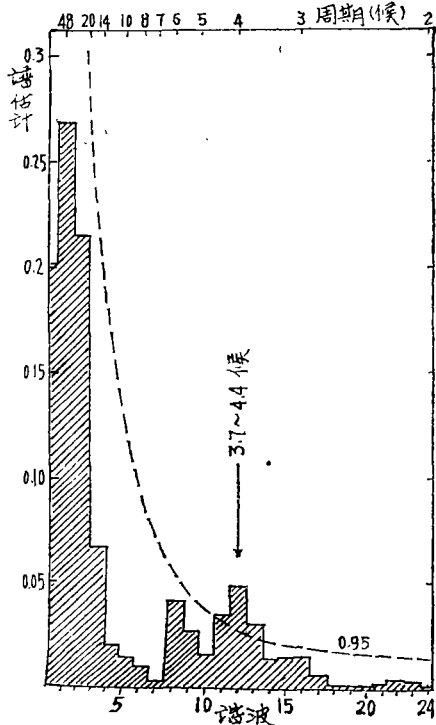
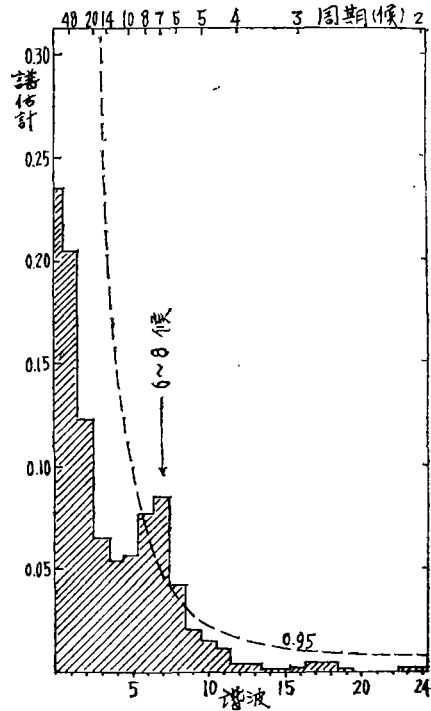


图3 各纬度超长波槽线位置变化曲线

能在 50°N 附近^[6]。但冬半年偏南,这可能是由于行星锋区季节性位移造成的。

4. 位相的年变化各纬度差别较大。1波槽线位置(图3a)在 70°N 上主要反映了西退的特征。 60°N 与 50°N 的波槽位置在夏季移动方向相反。 40°N 与 30°N 的位相变化除冬季外亦近乎相反。2波槽线位置(图3b) 50°N — 70°N 均较稳定,仅夏季从大陆东岸稍东

图4a 多年候平均 40°N 1波槽线位置序列的功率谱图图4b 多年候平均 60°N 2波相对振幅序列的功率谱图

移到海洋上。40°N 上明显的西退出现在盛夏(但振幅很小),而 30°N 上夏秋季持续偏西在 60°E 附近。

40°N 以北的 3 波位相和各纬度 4 波的位相季节变化均不显著(图略)。仅 30°N 3 波槽线位置在 6—8 月间东移 70 个经度左右。

与过去有关多年月平均波谱分析的结果比较,也有某些差异。如: i) 50°N 上 4—7 月间,在文献[3]中是明显的 1 波优势,而这里的计算结果却在 4—6 月间 1、2 波并重,7 月 3 波优势; ii) 60°N 上 3—5 月间,文献[3]中为 1 波优势,而现在候平均图里主要是 2 波优势,其间 4 月有短时的 1 波优势。这可能与所取平均的时间尺度不同以及资料年代的差异有关。

5. 多年候平均的各谐波振幅、位相随时间变化与多年月平均的一个显著不同的特点是除季节变化之外,还存在着较短周期的振荡。用功率谱分析的方法检验各纬度各谐波相对振幅、位相的结果证实了这一点。图 4 给出了其中的两个例子。它们说明相对振幅和位相序列除具有持续性“红噪声”谱型外,还表现有非随机的准周期性振荡。40°N 1 波槽线位置中 3.7—4.4 候的准周期性振荡以及 60°N 2 波的相对振幅中显著的 6—8 候的准周期性振荡,是与“指数循环”的时间尺度相对应的。对其它谐波的检验,不少都有类似的结果,只不过振荡周期的长度不都相同罢了。

四、1975—1980 年的波谱

为了研究个别年候平均波谱的变化规律,以设计预报模型,我们又对 1975—1980 年 40°N 和 60°N 500 毫巴的逐候平均高度,进行了谐波计算。各谐波的方差贡献,在 60°N (40°N)上大多数候(占总候数的 95%)里,前 6(前 8)个谐波的合成,都达到总方差贡献的 90%以上。这些谐波的主要统计特征是:

表 1 各优势波持续期的频率分布(%)及最长持续期(候)

纬 度	60°N					40°N							
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8
持续 1 候	44%	42	67	92	99.9	56%	66	63	77	92	83	75	99.9
持续 2 候	38	30	28	8		21	16	21	23	4	17	25	
持续 3 候	11	18	2			11	13	12		4			
持续 4 候	5	6				9	5	4					
持续 5 候	2					2							
持续 6 候		3	2			1							
最长持续候数	5 候	7	10	2		6 候	4	4	2	3	2	2	

1. 各优势波的持续期短暂。表 1 列出了近 6 年中各优势波持续期的频率分布及最长持续候数。显然可见: (i) 超长波(1—4 波)持续期 90% 都不超过 3 候; (ii) 长波优势的持续性比超长波的更短,几乎不超过 2 候; (iii) 大部分优势波持续 1 候的频率都在 50% 以上。这表明个别年的候平均环流短周期的交替变化已相当明显,不象多年候平均中那样具有持续稳定的阶段性了。

相应地,各优势波的出现频率分布,也不如多年候平均中那样集中(图略)。

2. 各谐波时间序列的准周期性明显。统计近 6 年中 60°N 前 6 个谐波和 40°N 前 8 个谐波共 168 个功率谱检验(序列长度 $N=72$, 最大滞后 $m=24$) 的结果表明, “白噪声”谱型有 51 次, 占 30.4%。其余均属“红噪声”谱型。同时, 还有超过统计显著性检验标准 0.95 置信水平的准周期性功率谱多达 100 次, 占检验总数的 59.5%。其它各谐波位相, 相对振幅序列的功率谱也有稍低的双峰谱型, 说明大多数谐波序列都存在非随机的准周期性变化。但这些准周期的时间波长并不相同。图 5 分别绘制了各纬度位相和相对振幅序列, 在功率谱检验中通过 0.95 置信水平的各种波长非随机准周期的出现频率直方

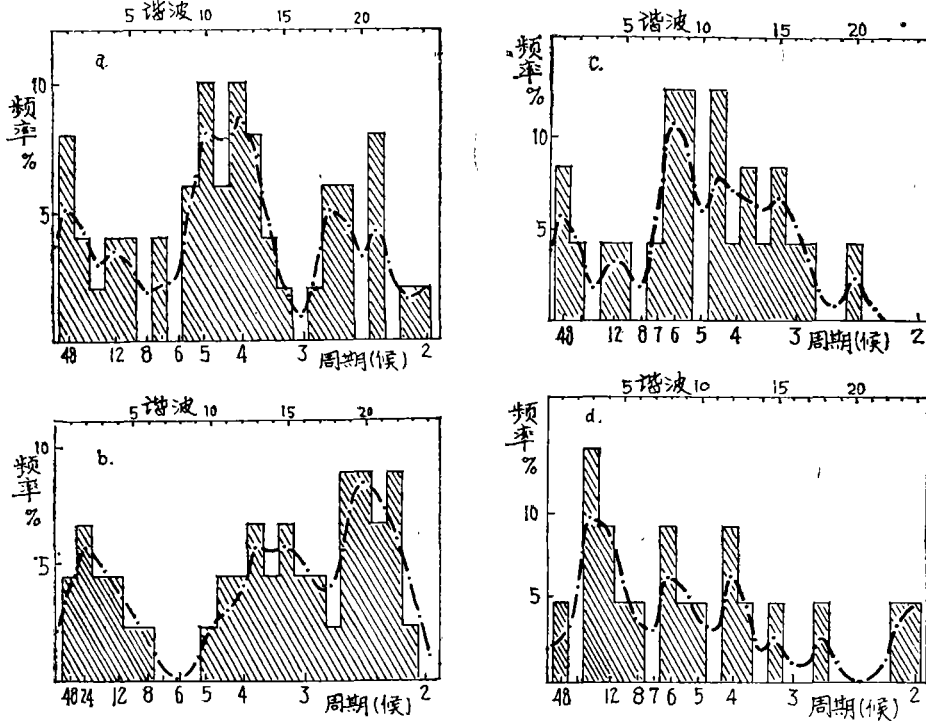


图 5 功率谱检验各显著周期的出现频率

(a. 40°N , 1—8 波相对振幅; c. 60°N , 1—6 波相对振幅;
b. 40°N , 1—8 波槽线位置; d. 60°N , 1—6 波槽线位置)

图。图中粗锁线是 3 点加权滑动平均曲线(权重顺序取 0.23, 0.54, 0.23)。从频率的相对峰值, 可归纳出几个经常出现的周期是: (1) 2—5 候, 只不过在 60°N 上的频率稍低一些。(2) 6—8 候周期, 在 60°N 的相对振幅序列中比较突出。这两种周期与多年平均的两个例子一致。(3) 12 候、16 候、24 候、以及 48 候的周期, 可能是大气韵律活动的反映。为进一步验证, 我们还对这 28 种振幅、位相的 6 年连续序列进行了功率谱检验($N=432$, 取 $m=72$), 也得到上述类似的周期分布(图略), 同时还指出了更长的年周期(72 候)和两年周期。

五、超长波与气候异常

近 6 年中, 1978 年和 1980 年夏季, 分别是长江流域异常旱、涝的季节。1976—1977

年冬和 1978—1979 年冬季是我国异常冷、暖的冬季。关于这些异常季节的天气气候和月季平均环流的特点,已有的总结^[6-9]指出,我国大范围的季节异常,往往与世界其它地区的某些大范围天气气候异常相伴出现,都与整个半球范围的环流形势的反常变化相联系。同样在北半球候平均图的波谱上也有反映。

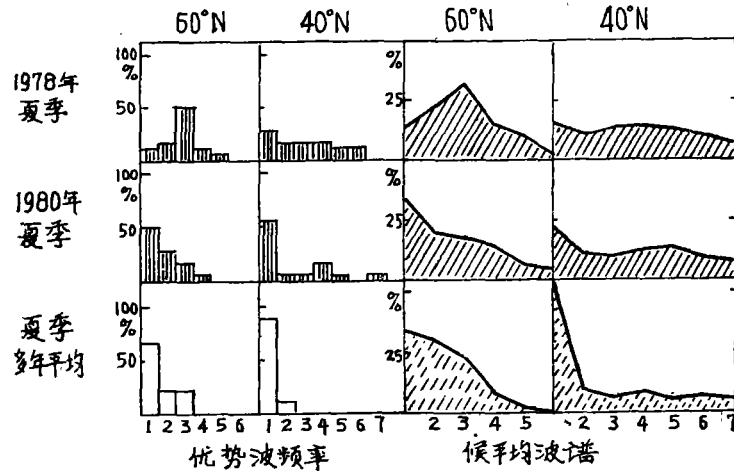


图 6 夏季优势波的出现频率和候平均波谱
(上:早年;中:涝年;下:多年平均)

图 6 绘出了上述异常旱涝季节的候平均波谱。夏季是江、淮流域的汛期,气候背景有利于降水。但干旱年份的波谱 1 波偏弱,3,4 波偏强,与多年平均的气候谱型有明显的差异。这也是与过去同类问题的月季平均环流的分析结果^[10,11]相吻合的。

冬季异常冷暖的年份,表现在零波(即纬圈平均高度)的纬带差值(相当于纬圈平均西风指数),在严寒的冬季大多偏小,即盛行低指数环流;异常偏暖的冬季则盛行高指数(图 7)。而异常温暖的冬季的波谱也明显地不同于冬季的多年平均气候谱型(图 8)。

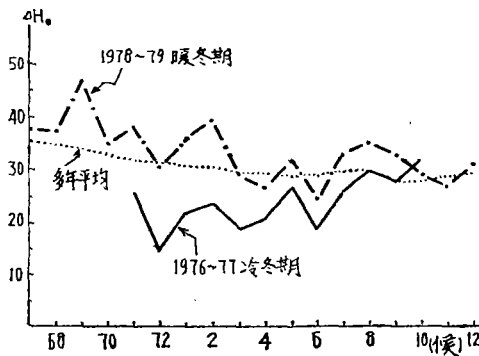


图 7 冬季异常冷暖年份 40°N 与 60°N 纬圈平均高度差值逐候变化曲线

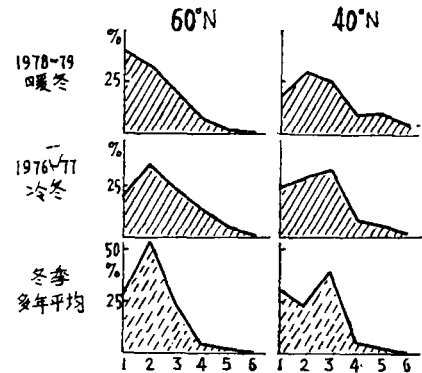


图 8 冬季异常冷(中)、暖(上)期间及多年平均(下)的候平均波谱

六、超长波的长期预报

基于以上分析,我们试图利用候平均图谐波系数大多具有多种周期长度的准周期性这一特征,初步编制了一个周期外延叠加的预报方案和电子计算机计算程序。所采用的主要方法是:分别对每一个纬圈的前5个(或4个)谐波项系数 a_k 、 b_k 及纬圈平均高度 H_0 ,自预报起始候之前的72个候的时间序列,先后选取三个长周期项、两个短周期项,将各周期向后延伸8个候,再求叠加之和作为各系数的预报值,最后按谐波合成得到未来8个候500毫巴场的预报图。其中三个长周期项分别是一项72候的年周期,一项从21—54候间,第三项从7—20候间,各用周期图法提取一个振幅相对极大的周期,短周期是从2—6候间用方差分析法提取的两项周期。

我们按我国通常发布月预报的习惯,把预报月之前的第三候作为预报起始候,每次取此起始候之前的72个候的高度场资料,接连预报未来8个候。每候每个纬圈预报36个经纬度网格点的读数,对1976—1980年60个月份 40°N 和 60°N 两个纬圈的500毫巴候平均高度,共计进行了 $60 \times 8 \times 36 \times 2 = 34560$ 个网格点读数的预报试验。并对预报结果,同时按纬圈高度偏差(指与纬圈平均高度的差值)和气候距平(指与前述多年平均高度的差值)两种符号异同的准确率 $\rho = \frac{n_+ - n_-}{N}$ (n_+ 与 n_- 分别为偏差或距平的预报值正负号与实况值正负号相同与相反的点数, N 为总点数,对每一纬圈 $N = 36$)作了检查。

表2列出了两个纬圈不同季节里纬圈偏差的预报准确率。全部预报的总平均 $\rho = 0.22$ 。其中 40°N 的预报效果稍好, 60°N 的预报稍差。冬季最好,夏季较差,春季比秋季稍好。夏季的预报效果差的原因可能一是环流本身变化的准周期振荡不如冬季那样明显或规律性较差,二是夏季低频波数的方差贡献比重下降,高频波数增强,因而预报方案中略去的高频波数,在夏季误差显著起来。尚有待于改进。

具体各候的预报准确率变动较大。但准确率出现在0至0.4之间较多,占全部预报的58%以上(表3),高于0.4的约占25%,而 ρ 为负值的只占17%左右。可见对于候平均槽脊位置的预报,与随机预报相比,效果是明显的。

表2 各季纬圈偏差预报准确率(ρ)

	冬	春	夏	秋	年 平 均
40°N	0.42	0.26	0.18	0.15	0.25
60°N	0.29	0.20	0.10	0.21	0.20
平均	0.35	0.23	0.14	0.18	0.22

表3 各准确率区间的出现频率(%)

ρ 区间	< -0.4	$-0.4 \sim -0.21$	$-0.2 \sim -0.01$	$0 \sim 0.19$	$0.2 \sim 0.39$	$0.4 \sim 0.59$	$0.6 \sim 0.79$	≥ 0.80
出现频率	0.8%	5%	11%	30%	28%	16%	9%	0.5%

对气候距平的预报准确率要低一些, 总的平均 $\rho=0.08$ 。其下降的主要原因是由纬圈平均高度 H_0 的预报误差引起的。事实上, 对两纬圈 H_0 的预报作单项检验的结果是: 相对于多年平均的气候距平符号总预报准确率是 $\rho=0.12$, H_0 高度值预报残差的均方根 $\hat{\sigma}=3.7$ 位势什米。如果能改进纬圈平均高度的预报, 则高度场距平的预报准确率还可能提高一些。

值得指出的是, 我们与一般候平均图的预报方法不同, 每次接连预报 8 个候, 却发现这 8 个候的平均预报准确率并不随预报时效的延长而明显递降。无论对纬圈偏差或是对气候平均的距平预报来说都如此 (见表 4 和表 5), 顺序逐候之间仅稍有摆动。我们知道周期函数的信息量随时间是保持常数而不递减的。这里用于候平均图的长期预报的实际效果也表明大气运动中确实存在着某些准周期性的变化。因而用某些种类的周期函数、准周期函数来描述和预测长期天气过程, 可能是一种比较符合客观实际的途径。

表 4 8 候序纬圈偏差预报准确率(ρ)

预报候序	40°N	60°N	平均
1	0.24	0.27	0.26
2	0.27	0.18	0.22
3	0.27	0.19	0.22
4	0.26	0.20	0.23
5	0.23	0.15	0.19
6	0.25	0.23	0.24
7	0.25	0.21	0.23
8	0.25	0.15	0.20
平均	0.25	0.20	0.22

表 5 8 候序气候距平预报准确率(ρ)

预报候序	40°N	60°N	平均
1	0.14	0.14	0.14
2	0.11	0.07	0.09
3	0.14	0.02	0.08
4	0.08	0.06	0.07
5	0.07	0.03	0.05
6	0.11	0.05	0.08
7	0.12	0.05	0.09
8	0.09	0.01	0.05
平均	0.11	0.05	0.08

下面举两个例子来说明一些预报结果的具体情况。

图 9 绘出了 1976 年第 71 候—1977 年第 6 候 40°N 纬圈偏差的预报 (虚线) 和实况 (实线) 曲线图。这期间我国及北半球大部分地区都异常寒冷。对 40°N 的预报, 除欧洲部分 (0°E—60°E) 有些候的槽脊报错而外, 其它地区的主要槽脊都能基本报出, 强度和位置稍有偏差, 东亚槽偏西偏强及美洲槽脊偏强的特点也能基本报出, 仅 1977 年第 4, 第 6 候预报强度偏弱, 第 1, 第 2 候美洲西岸脊的位置预报偏东了 20 个经度。

图 10 是 1978 年第 71 候至 1979 年第 6 候 40°N 纬圈偏差的预报 (虚线) 和实况 (实线) 曲线。这是我国一个典型的暖冬月份。图中可见, 前 4 候槽脊平浅、经向度小, 随后 3 候东亚槽西部有些加深, 79 年第 3, 4, 5 候美洲西岸脊西退等主要的变化趋势都能基本报出。美洲到大西洋系统的预报仍然较差。

60°N 的预报稍差, 但一些主要槽脊的变化趋势有时也能报出 (图略)。

上述试报结果说明, 本预报方案的预报时效比一般候平均图预报方法要长。而且在统计意义上, 并不因预报时效延长至 8 候而降低准确率。当然每次对各候的预报会有好、坏的差异。一般冬半年的预报效果较好, 夏半年的预报较差; 中低纬度的预报较好, 中高纬度的预报较差。如果进一步改进纬圈平均高度的预报, 还可能提高预报图对气候距平

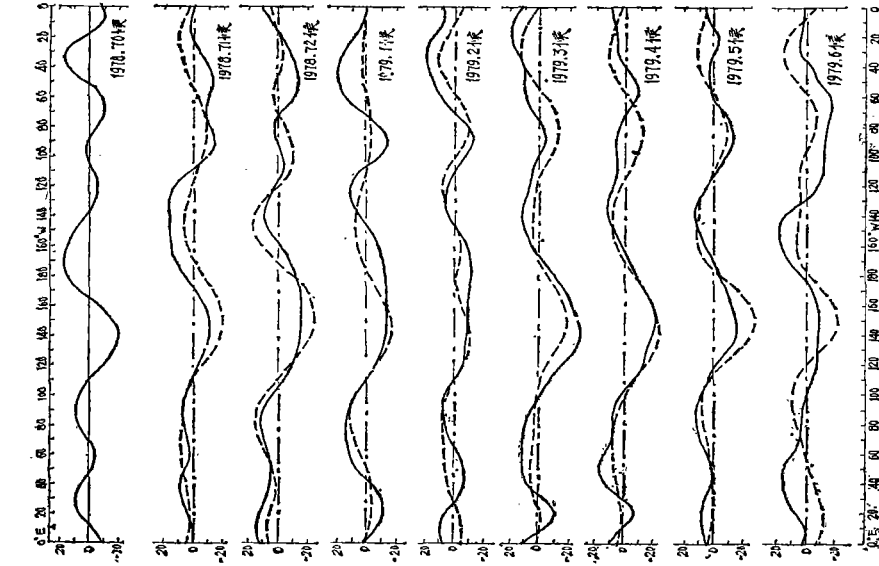


图 10 1978 年 71 候至 79 年 6 候 40°N 纬圈偏差的预报
(虚线)和实况(实线)

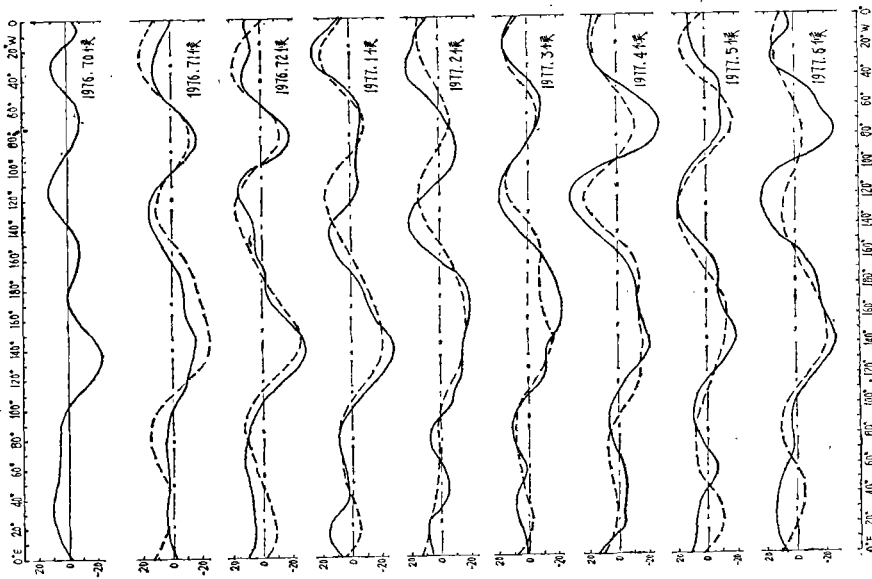


图 9 1976 年 71 候至 77 年 6 候 40°N 纬圈偏差的预报
(虚线)和实况(实线)

的准确率。

致谢：本文是在王绍武老师的指导下完成的，杨鉴初、仇永炎、章淹、张家诚等先生提出了宝贵意见，谨此表示深切的感谢！

参 考 文 献

- [1] Smagorinsky, J., Problems and promises of deterministic extended range forecasting, *Bulletin. A. M. S.*, 50, No. 5, 1969.
- [2] 章基嘉等, 亚洲 500 mb 候平均环流与我国候平均气温之关系的时空结构, *气象学报*, 39, 3 期, 1981 年。
- [3] 北京大学地球物理系气象教研室编: 天气分析和预报, 第二十五章, 科学出版社, 1976 年。
- [4] Mitchell, J. M. Jr, Climate Change, W. M. O. Technical Note, No. 79, 1966.
- [5] 朱福康, 多年月平均 500 毫巴图上 60°N 和 30°N 纬圈的波谱分析, *气象学报*, 34, 1 期, 1964 年。
- [6] 钟玉, 严寒多雪的一月, *气象*, 1977 年 4 期。
- [7] 赵安等, 去冬今春我国的天气气候和大气环流的特点, *气象*, 1979 年 12 期。
- [8] 许以平, 1978 年长江中下游夏季大旱的天气气候分析, *气象*, 1979 年 2 期。
- [9] 气象科学研究院暴雨组, 1980 年夏季长江流域异常大雨的初步分析, *气象*, 1980 年 12 期。
- [10] 张家诚等, 长江流域中下游和河北平原夏季旱涝环流特征的初步分析, *地理学报*, 31, 1 期, 1965 年。
- [11] 新疆气象台, 新疆冬春季“水”旱长期过程与北半球中高纬度超长波演变的关系, *大气科学*, 2, 1 期, 1978 年。

THE ZONAL HARMONIC OF PENTAD MEAN 500 MB HEIGHT CONTOURS OVER THE NORTHERN HEMI- SPHERE AND THEIR PREDICTION

Jiang Jianmin

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract

The power spectra of the zonal harmonic coefficients show that the quasi-periodic oscillations such as "Index Cycle", half-year rhythm and seasonal variation are predominant. In terms of these quasi-periodic oscillations, a statistical forecast scheme has been designed, with which a set of eight successive pentad mean height forecast at 500 mb level over the Northern Hemisphere can be made. The results of sixty sets of forecasts for the period from 1976 throughout 1980 indicate that the mean forecast accuracy for the sign of deviations from the latitude average, $\rho = \frac{n_+ - n_-}{N}$, is approximately 0.22, and for the sign of the anomalies from the climatic average gives $\rho = 0.08$.