

# 我国大陆降水年变的谐波分析

王 德 瀚

(南京大学气象系)

## 提 要

本文对我国大陆200个站的平均月降水量序列进行谐波分析。结果表明：头三个谐波已足以描写我国大陆降水的季节变化特征，其中一波尤占优势。不同降水年变类型区域及其间的过渡在一波图上表现很清楚。

## 一、引 言

谐波分析是描写降水年变特征的有用工具，Horn和Bryson〔1〕首先用于美国；以后，Sabbagh和Bryson〔2〕、Lettau和White〔3〕、Fitzpatrick〔4〕、Hastenrath〔5〕分别用于加拿大、印度、澳大利亚和中美洲的降水气候学研究。

谐波分析法的优点，在于它能客观地表示降水季节变化的空间分布，不同降水年变类型区域间的过渡由谐波分析常能反映得比较清楚；它的缺点在于不能表示降水量，而且需要看好几张图才能了解降水年变的全貌。

本文选用我国大陆200个站（站点分布图略）1977年以前（包括1977年）20—27年平均月降水量资料进行谐波分析，以期对我国降水的气候学特征有进一步的了解。

## 二、方 法

令 $X_t$ 为平均月降水量， $t = 1, 2, \dots, 12$ 为月份，于是有

$$X_t = \bar{X} + \sum_{i=1}^6 C_i \sin(30^\circ it + \varphi_i),$$

其中  $\bar{X} = \frac{1}{12} \sum_{t=1}^{12} X_t$  为平均每月降水量，

$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$  为第  $i$  个谐波的振幅，而

$$A_i = \frac{1}{12} \sum_{t=1}^{12} X_t \cos(30^\circ it)$$

$$B_i = \frac{1}{6} \sum_{t=1}^{12} X_t \sin(30^\circ it) ,$$

$i = 1, 2, \dots, 5$ 。当 $i = 6$ 时,  $A_6$ 为上式计算结果减半,  $B_6 = 0$ 。

$$\varphi_i = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{A_i}{B_i} \right) , \text{ 为第 } i \text{ 个谐波的相角。}$$

为了消除因各月所包含的天数不同而引起的差异, 对各月平均月降水量一律调整到同样长的时间 $\frac{1}{6}$ 年, 即取 $X_t = (t \text{ 月平均降水量} \div t \text{ 月天数}) \times 30.44 \text{ 天}$ , 然后进行谐波分析计算。

规定月降水量值出现在月中, 时间序列的原点取在12月中, 头三个谐波相角与波峰所在日期间的对应关系如表 1。

表 1 相角与波峰所在日期间的对应 (月/日)  
Tab.1 Correspondence between the Phase angle and the Calendar date of Wave-peak Occurrence.

相 角	一 波	二 波	三 波
0°	3/15	2/ 1, 8/ 1	1, 5, 9/15
30°	2/15	1/15, 7/15	1, 5, 9/ 5
60°	1/15	1/ 1, 7/ 1	12, 4, 8/25
90°	12/15	12/15, 6/15	12, 4, 8/15
120°	11/15	12/ 1, 6/ 1	12, 4, 8/ 5
150°	10/15	11/15, 5/15	11, 3, 7/25
180°	9/15	11/ 1, 5/ 1	11, 3, 7/15
210°	8/15	10/15, 4/15	11, 3, 7/ 5
240°	7/15	10/ 1, 4/ 1	10, 2, 6/25
270°	6/15	9/15, 3/15	10, 2, 6/15
300°	5/15	9/ 1, 3/ 1	10, 2, 6/ 5
330°	4/15	8/15, 2/15	9, 1, 5/25

为了分析各个谐波对平均月降水量序列的不同贡献, 可计算方差。令 $V$ 为总方差

$$V = \frac{1}{12} \sum_{t=1}^{12} (X_t - \bar{X})^2 ,$$

可以证明〔6〕它与各个谐波的振幅间有如下关系

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 C_i^2 + C_6^2$$

因此, 第 $i$ 个谐波对总方差的贡献 (以百分率表示), 对 $i = 1 - 5$ 为 $50C_i^2/V$ , 对 $i = 6$ 为 $100C_6^2/V$ 。

### 三、结 果

1. 方差 图1、图2分别为平均每月降水量 $\bar{X}$ 和平均月降水量总方差 $V$ 的分布。一般年降水量多并且季节变化明显的地方总方差大；反之则小。因此，华南沿海总方差特大；另外，在桂北、赣东北也有大值中心，它和 $\bar{X}$ 分布基本一致。长江下游和杭州湾地区年降水

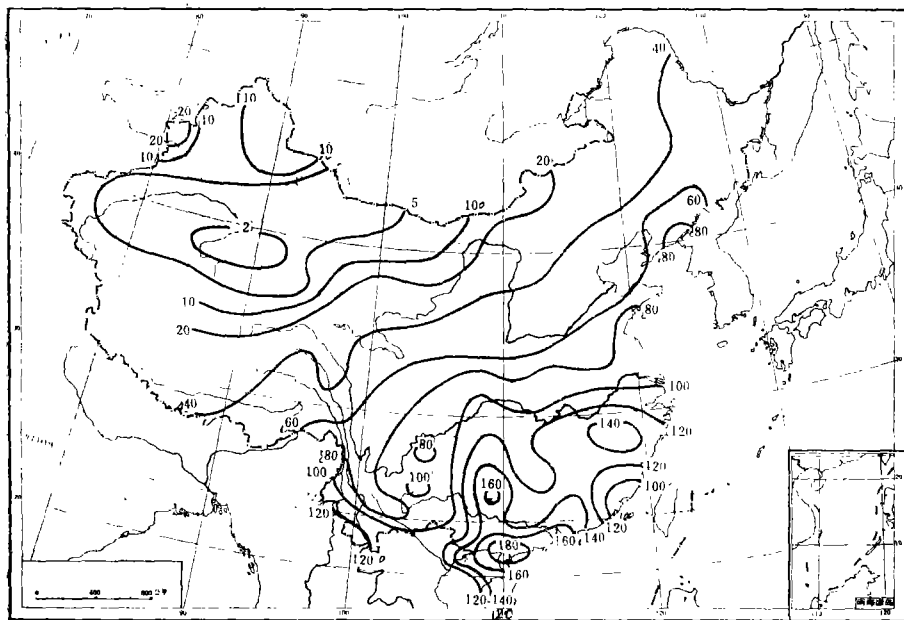


图1 平均每月降水量(毫米)

Fig.1 Mean monthly precipitation (mm)

量虽不少，但干季较不显著，因此在总方差分布上是一个相对的低值区。西北地区尤其是南疆，因为降水稀少，所以总方差特小。

一波对总方差贡献的百分率分布如图3。可见在华南、东北东部、长江上游和中游干流两岸以及晋西南、陕南、甘南和青海东部等广大地区为85%以上的大值区，表示那里降水年波特别明显；而冀东（包括京、津）、浙东为65%以下的低值区，那里其他谐波的贡献相对较大。图4为二波对总方差的贡献。与图3相比较，可见一般在一波贡献大区，二波贡献小；一波贡献小区，二波贡献大。但是浙东例外，那里一波贡献相对小，二波贡献仍不大，只是在表示三波贡献百分率分布的图5上，浙东才为15%以上的大值区。

去掉头三个谐波后平均月降水量的剩余方差分布如图6。可见在我国大陆大部分地区，头三个谐波的贡献已占总方差的90-95%以上。剩余方差在15%以上的只有浙东以及新疆的局部地区（喀什、吐鲁番32%，全国最大）；在这些地方，需要更多个谐波才能完全描写降水的年变程。但是对大部分地区而言，头三个谐波已足以描写降水季节变化的空间分布特征了，

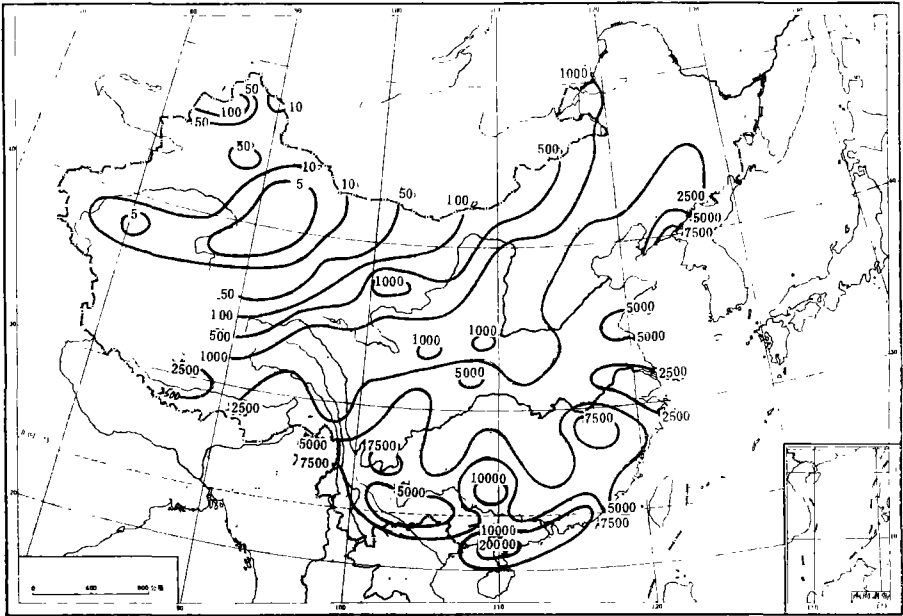


图 2 总方差 (毫米)<sup>2</sup>

Fig.2 Total variance of mean monthly precipitation (mm)<sup>2</sup>

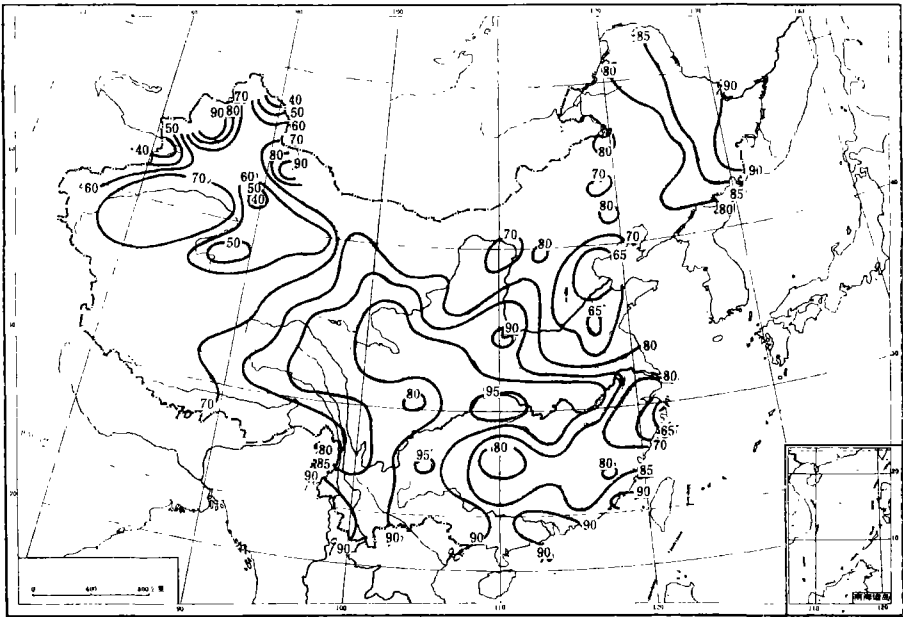


图 3 一波对总方差贡献的百分率

Fig.3 Percentage Contribution of the first harmonic to total variance

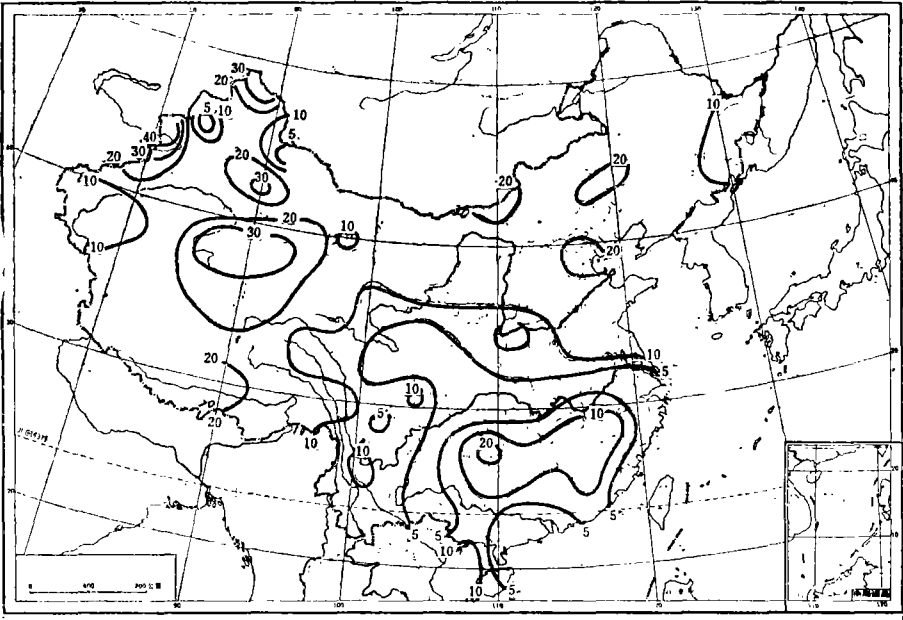


图 4 二波对总方差贡献的百分率

Fig.4 Percentage Contribution of the Second harmonic to total variance.

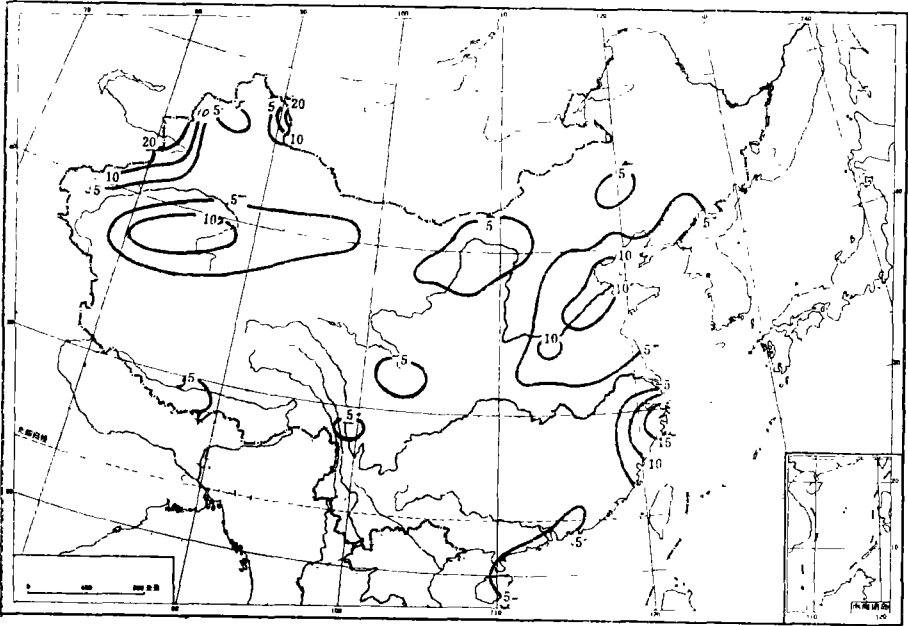


图 5 三波对总方差贡献的百分率

Fig.5 Percentage Contribution of the third harmonic to total variance.

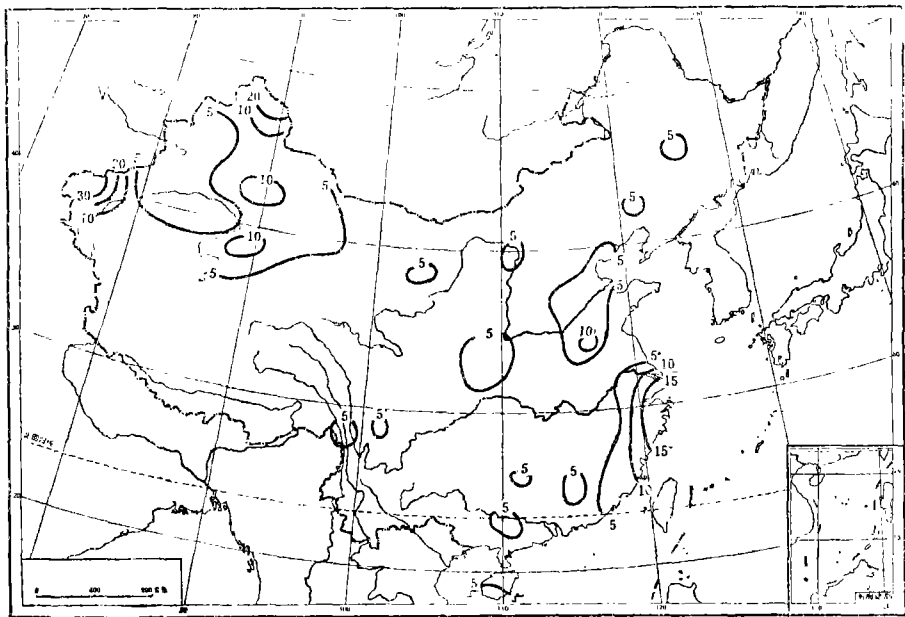


图 6 剩余方差  
Fig.6 Residual variance.

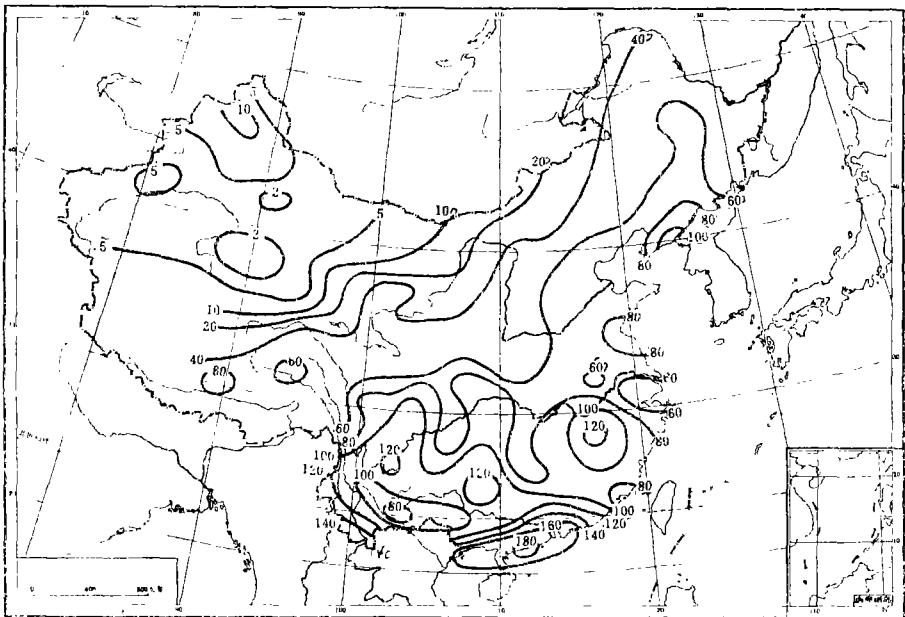


图 7 一波振幅  
Fig.7 Amplitude of the first harmonic.

因此下面仅讨论头三个谐波的振幅和相角。

2. 一波 图 7 为一波振幅分布，可见其基本特征和总方差分布相类似。在淮河以北

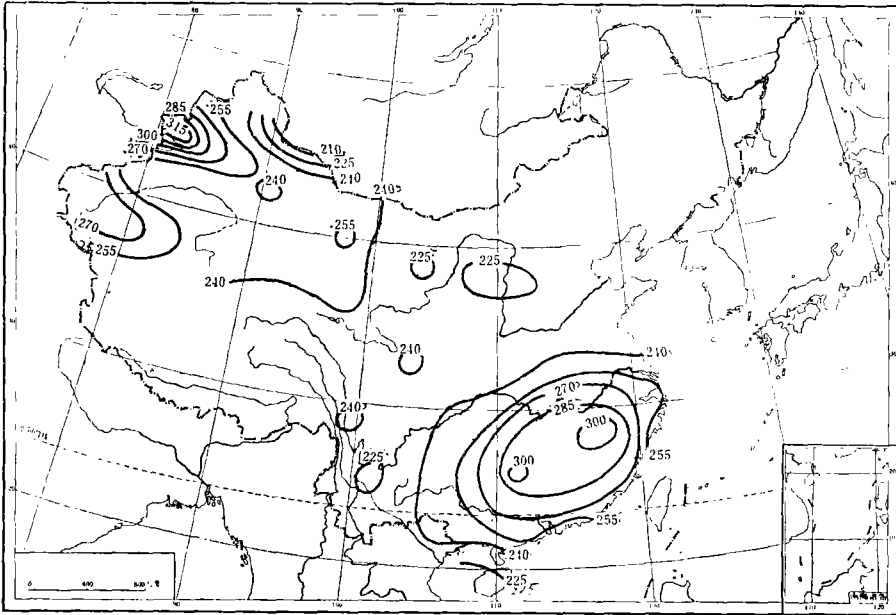


图 8 一波相角

Fig.8 phase angle of the first harmonic.

的北方地区，一波振幅自沿海向内陆减少。在南岭以北的沿江、江南地区，一波振幅沿纬圈呈波状分布，大值中心分别在赣东北、桂北和川滇接壤地区。另外，在华南沿海一波振幅特大，新疆南部干旱区特小，长江下游和杭州湾地区为相对小区。

一波相角分布如图 8。可见就我国大部分地区而言，一波相角分布明显地表现为二个相对均匀的区域：一是包括湖南、江西二省以及浙江和福建西部的江南地区，相角在 $285^{\circ}$ — $300^{\circ}$ 间，相当于雨峰在 5 月下半月；再就是大体上沿东台—亳县—光化—重庆一线以北以及南方 $105^{\circ}\text{E}$ 以西的广大地区，一波相角在 $220^{\circ}$ — $240^{\circ}$ 间，相当于雨峰在 7 月下半月至 8 月初。在这二大区域之间，一波相角等值线相对较密、梯度较大，正是降水年波不同类型区域间的过渡地带。相角度数自江南区向外依次减小，相当于雨峰出现时间依次推迟。

$100^{\circ}\text{E}$  以西、 $35^{\circ}\text{N}$  以北的我国西北地区，一波相角分布较为复杂。青海以及南疆大部分地区在 $250^{\circ}$ 左右，相当于雨峰在 7 月上旬。南疆西部边陲地区在 $270^{\circ}$ — $285^{\circ}$ 间，相当于雨峰在 6 月上半月。北疆一波相角度数自西向东减小：伊宁 $322^{\circ}$ ，相当于雨峰在 4 月下旬；富蕴 $193^{\circ}$ ，相当于雨峰在 9 月初。

**3. 二波** 图 9 和图 10 分别为二波振幅和相角分布。除广东南部外，全国大部分地区二波振幅分布形势与一波振幅分布大体相似，但数值较小。二波相角图的显著特征是沿长江有一系列奇异点和不连续线。江南地区二波相角为 $150^{\circ}$ — $180^{\circ}$ ，向东增加，向西、向南减少；江北渭河—汉水间有 $270^{\circ}$ 中心，向外增加；黄、淮间为 $0^{\circ}$ — $10^{\circ}$ ；东北地区二波相角分布均匀，数值在 $0^{\circ}$ — $25^{\circ}$ 间。

**4. 三波** 三波振幅分布型式在淮河以北的华北、东北地区与二波基本类似（图略），

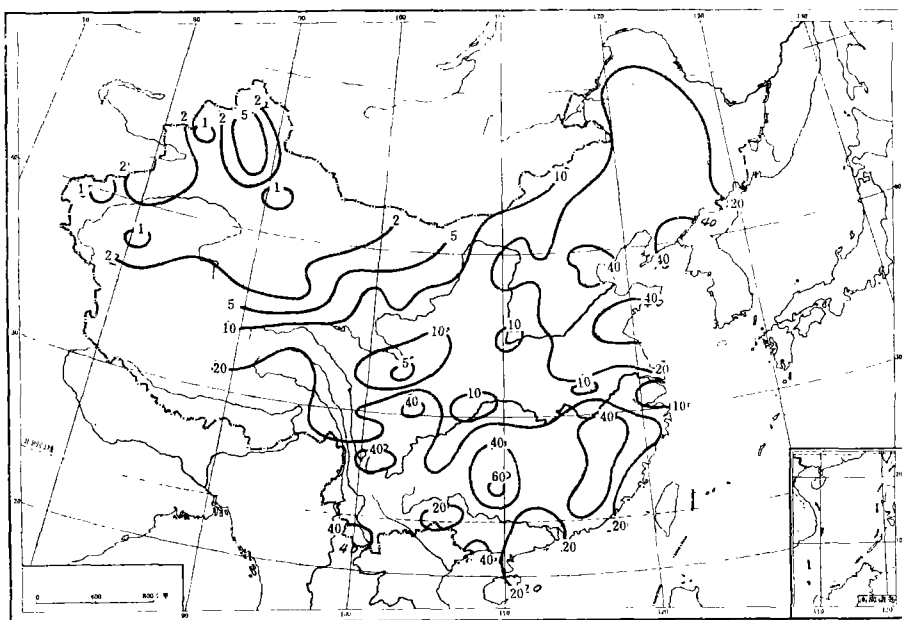


图 9 二波振幅

Fig.9 Amplitude of the Second harmonic.

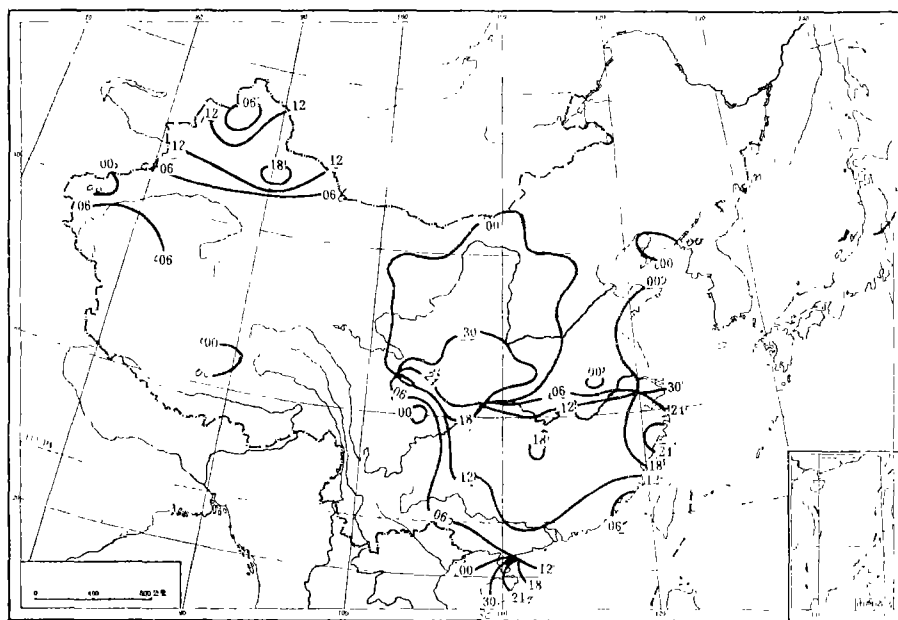


图 10 二波相角

Fig.10 Phase angle of the Second harmonic.



但数值略小。长江以南地区的显著特征是在广东南部和浙江东部有大值区，与图 5 大体相对应。三波相角分布比二波还要复杂，此处不多述。

#### 四、结 语

我国一般用春、夏、秋、冬各季降水量占年降水量的百分比多少来讨论降水的季节变化特征〔7〕，它以季为时间单位，失之过粗；在年变类型区域的划分上又缺乏一个客观的依据。本文结果表明：谐波分析可为我们提供降水年变气候学的有用知识。头三个谐波已足以描写我国大陆大部分地区降水季节变化，其中一波起决定性的作用。

Hsu和Wallace〔8〕在分析降水年波和半年波的全球分布时，采用前人在分析大气潮汐时使用的办法，以矢量表示谐波，把振幅和相角二个要素集于一身，有简洁、直观之效。用这种方法表示我国大陆降水年波如图11。图中箭头指向表示相角，指向东相当于 $\varphi_1 = 0^\circ$ ，向北 $\varphi_1 = 90^\circ$ ，向西 $\varphi_1 = 180^\circ$ ，向南 $\varphi_1 = 270^\circ$ 。矢长表示 $C_1/\bar{X}$ ，可称之为相对振幅。因为振幅一般在多雨区大，在少雨区小，所以用相对振幅可以更好地了解季节变化的程度。由图11可见：

- 1) 江南地区雨峰在 5 月下半月，相对振幅较小，表示此地降水在全年内分布相对比较均匀；
- 2) 华北、东北和西北、西南的一部分，雨峰在 7 月下半月至 8 月初，相对振幅多数  $\geq 1$ ，反映那里干季比较明显；
- 3) 上述二个区域之间的过渡在图中表现得很清楚，不仅雨峰出现日期自江南区向外依次推迟，而且相对振幅也大致向外依次增大；

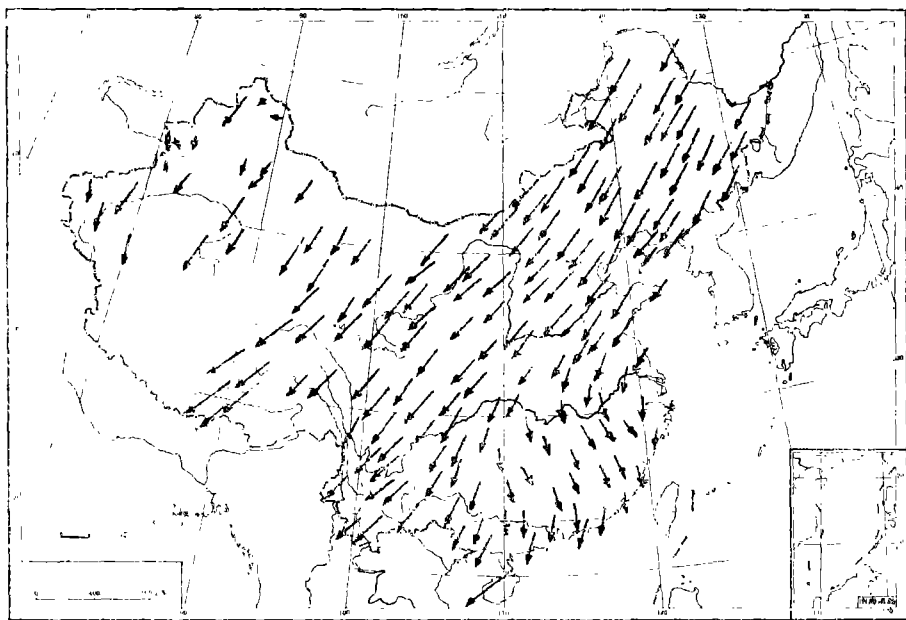


图 11 一波“矢量”

Fig.11 First harmonic "Vectors"

4) 华东及华南沿海雨峰在 6 月下半月至 7 月初, 相对振幅大小与江南区相近。

### 参 考 文 献

- [1] Horn, L.H., and R.A. Bryson, Harmonic analysis of the annual march of Precipitation over the United States. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.*, 50, 157-171, 1960.
- [2] Sabbagh, M.E., and R.A. Bryson, Aspects of the Precipitation Climatology of Canada investigated by the method of harmonic analysis. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.*, 52, 426-440, 1962.
- [3] Lettau, K., and F. White, Fourier analysis of India rainfall. *Indian J. Meteor. Geophys.*, 15, 27-38, 1964.
- [4] Fitzpatrick, E., Seasonal distribution of rainfall in Australia analysed by Fourier methods. *Archiv Met. Geoph. Biokl.*, B, 13, 270-285, 1964.
- [5] Hastenrath, S.L., Fourier analysis of Central American rainfall. *Archiv Met. Geoph. Biokl.*, B, 16, 81-94, 1968.
- [6] Panofsky, H.A., and G.W. Brier, *Some Applications of Statistics to Meteorology*, Pennsylvania State University, 1953.
- [7] 罗汉民等: 气候学, 农业出版社, 1980年。
- [8] Hsu, C-P.F., and J.M. Wallace, The global distribution of the annual and semi-annual cycles in Precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 1093-1101, 1976.

# HARMONIC ANALYSIS OF THE ANNUAL MARCH OF PRECIPITATION OVER THE MAIN LAND OF CHINA

Wang Dehan

(Department of Meteorology, Nanjing University)

## Abstract

In this paper, the mean monthly precipitation data series at 200 stations over the main land of China are subjected to harmonic analysis. It is shown that the annual march of precipitation over the main land of China is in general satisfactorily described by the first three harmonics, among which the first harmonic is the most important. The different regime of annual march of precipitation and the manner of transition from one regime to another are often clearly presented on the map of the first harmonic. The main features are as follows:

1. The rainfall peak in the region south of the Yangtze river occurs in the latter half of May, and the normalized amplitude is relatively small, which shows that the precipitation distribution throughout the whole year in this region is relatively homogeneous.

2. In North-China, North-East and some parts of North-West and South-West China, rainfall peak occurs in the latter half of July or the beginning of August, and the normalized amplitude in most parts is equal to or greater than 1, which indicates that the dry season in these regions is relatively prominent.

3. The transition between the afore-mentioned two regions appears quite clearly on the map. Not only the date of rainfall peak occurrence delays successively from the region south of the Yangtze river outwardly, but also the normalized amplitude increases outwardly.

4. In East-China and the coastal area of South-China, the rainfall peak occurs in the latter half of June or the beginning of July, and the magnitude of normalized amplitude in these regions is approximately the same as that in the region south of the Yangtze river.