

中国夏季降水趋势分布的一个 客观预报方法

魏凤英 张先恭

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要 从空间分布结构、年代际变化趋势、周期变化等方面讨论了中国夏季降水量场的主要特征, 以这些特征为基础, 提出了一个具有一定物理基础及一定统计信度支持的新颖预报思路, 设计了一套全国大范围夏季降水趋势预报方案。对 1994~1997 年 4 年的实际预报效果进行了检验。依据这 4 年的预报方程讨论了这一预报方法的主要物理依据的特点。

关键词 夏季降水趋势分布 客观预报方法 物理依据

1 引言

夏季(6~8月)降水趋势预报可以为国家政府部门制定国民经济计划、部署防汛抗旱提供重要决策依据。因此, 夏季降水的预报方法是短期气候预测的重要研究课题。近年来, 利用长期数值模式制作夏季降水预报的研究已有引人注目的开端^[1]。与此同时, 有些学者还提出了利用数值模式改进降水预测的新思路^[2]。另一方面, 统计预报方法在我国夏季降水预报中仍占主导地位, 在预报思路和建模方法上有了新的拓展^[3]。为弥补动力和统计方法固有的缺陷, 动力学与统计学相融合已开始成为降水预测的一种趋势^[4,5]。但是, 由于影响我国夏季降水的因素十分复杂且气候噪音背景很强, 致使降水的短期预测难度很大, 无论是数值预报还是统计预报的预报技巧都仍滞留在不高的水平上, 这一事实反映了夏季降水趋势预报的困难程度, 也表明研究客观预报方法、提高预报准确率的必要性和迫切性。

1994年, 我们依据气候系统具有不同时间尺度周期振荡的特性, 提出了一个具有一定物理基础及一定统计信度支持的新颖预报思路^[6]。几年来, 我们一直坚持用这一思路设计的预报方法制作夏季降水的趋势预报, 取得了比较好的预报效果。本文在分析中国夏季降水量场的主要特征基础上, 介绍了这一预报方法的基本思路和预报流程, 并对 1994~1997 年实际预报的效果进行了检验。依据 4 年的预报方程探讨这一预报方法主要物理依据的特点, 以期对夏季降水趋势分布的变化规律和对其有影响的物理因子有进一步深化的认识, 探索进一步提高预报准确率的途径。

2 中国夏季降水趋势分布的基本特征

为了用少数几项特征向量概括中国大范围降水趋势分布, 我们取国家气候中心预测

室提供的中国 160 站 1951~1996 年 6~8 月降水总量作经验正交函数 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 分解。第 1 特征向量 (EOF1) 解释总方差的 94.4% (图 1a), 它反映了夏季降水的多年平均状况, 即呈东南向西北递减的降水分布型式。第 2 特征向量 (EOF2) 代表了江淮流域降水与其南北趋势为相反的分布型式 (图 1b), 这是中国夏季降水最常见的分布型式, 江淮流域降水多, 黄河流域及华南降水少, 反之则相反。第 3 特征向量 (EOF3) 代表了江南与黄淮之间的降水趋势呈相反的分布型式 (图 1c), 这也是我国夏季比较常见的降水分布型式。第 4 特征向量 (图略) 基本上呈南方与北方降水趋势相反的分布型式, 但分布格局已不像第 2、3 个特征向量那么清晰了。因此, 前 3 个特征向量已经概括了夏季降水最基本的分布型式, 并且涵盖了降水量场 97% 的信息。

由于第 1 特征向量各分量均为正值, 它对应的时间系数亦为正值。因此, 该时间系数序列代表的是夏季降水年际趋势变化。数值大表示这一年降水偏多的范围广或平均降

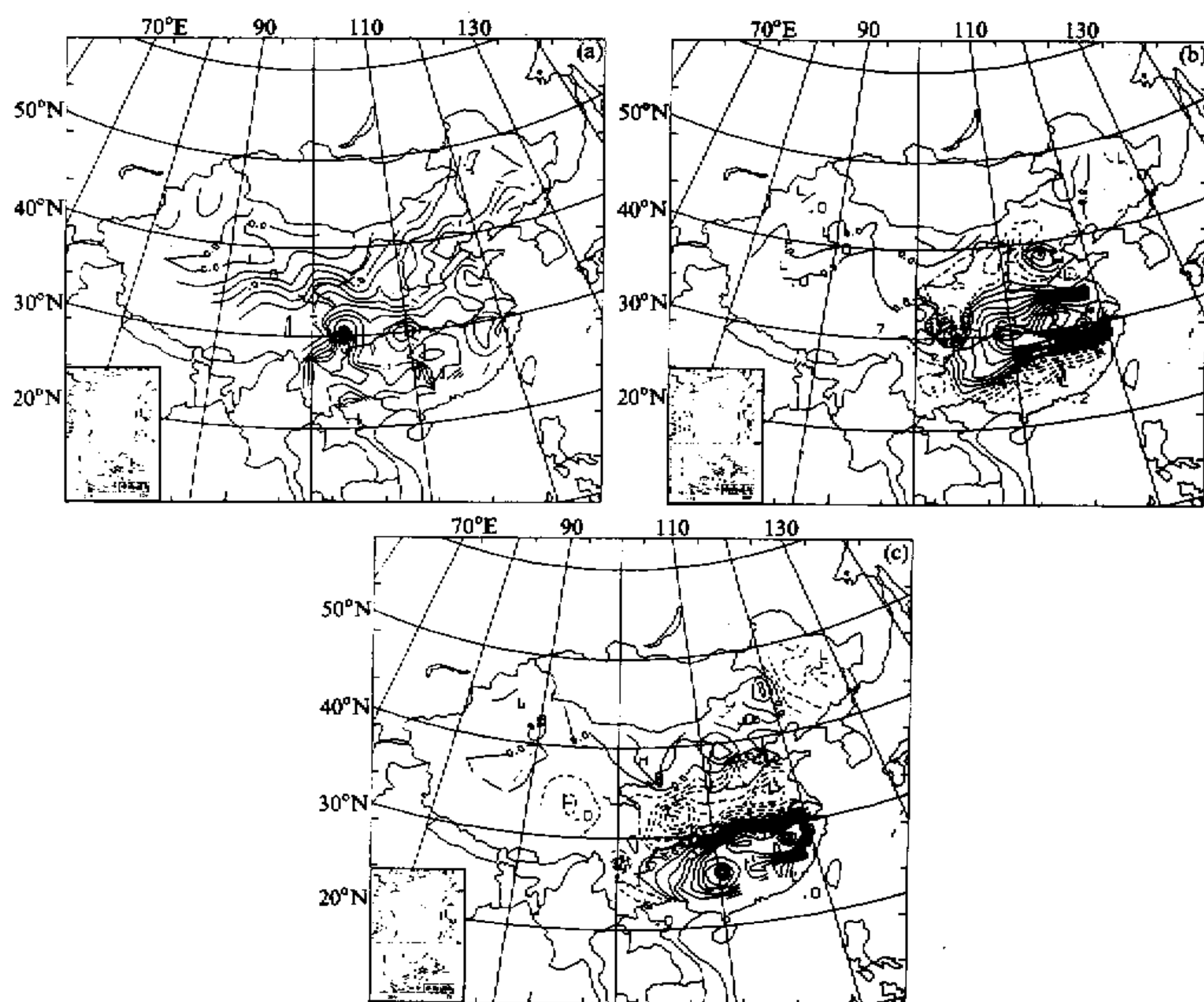


图 1 我国夏季降水量场的前 3 个特征向量
(a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

水量大, 反之则是干旱范围广或平均降水量小。像 1954、1962、1973、1993、1994、1995 和 1996 年是全国大范围降水偏多或平均降水量大的年份; 1967、1972、1978、1989 和 1992 年则是平均降水量明显偏少的年份。从累积距平曲线(图 2a) 清楚看出, 60 年代中期以前呈上升趋势, 说明全国大范围处在相对多雨时期。60 年代中期以后到 90 年代初呈下降趋势, 表示这一阶段全国大范围降水偏少。1993 年以后显露出上升趋势, 连续 4 年大范围偏多, 说明全国大范围旱涝具有显著的年代际变化特征。

第 2 特征向量的时间系数为正值代表该年呈江淮流域降水偏多、黄河流域和华南地区降水偏少的分布型式。时间系数为负值的年份代表该年呈江淮流域降水偏少, 黄河流域和华南降水偏多的分布型式。系数绝对值越大, 这类降水分布型式越典型。累积距平曲线(图 2b) 显示, 这类降水分布类型也具有显著的年代际变化特征。50 年代前半期和 70 年代末到 90 年代初, 江淮流域处在降水相对偏多时期。50 年代后半期到 70 年代末, 江淮流域则处于降水相对偏少时期。

第 3 特征向量的时间系数为正值表示该年呈江南多雨、黄淮之间少雨的分布型式。

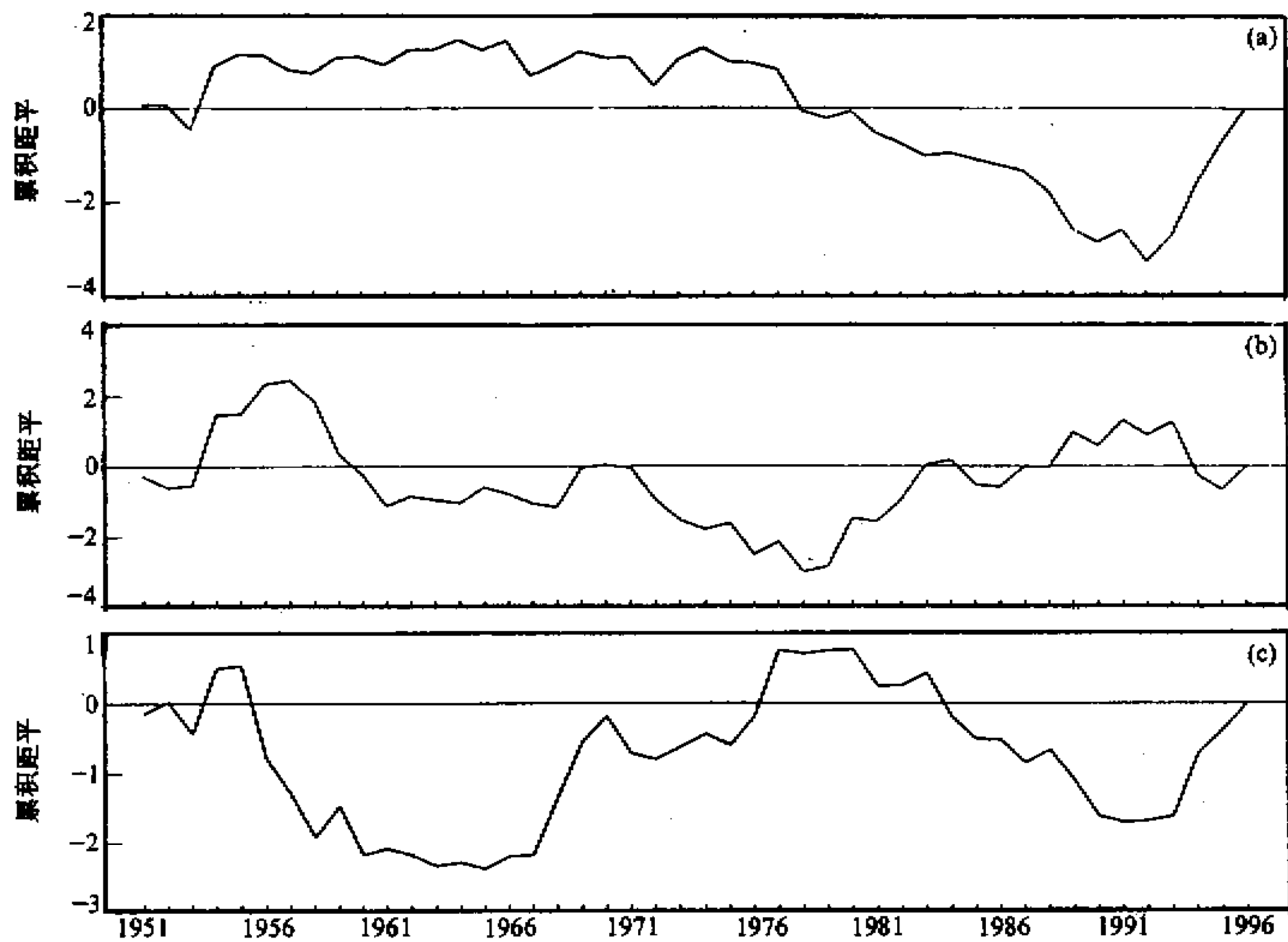


图 2 前 3 个特征向量的时间系数累积距平曲线
(a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

时间系数为负值则表示这一年为江南少雨、黄淮之间多雨的分布型式。从累积距平曲线(图 2c)看出, 50 年代中期至 60 年代中期江南为相对少雨阶段。60 年代中至 70 年代末呈上升趋势即为相对多雨阶段。80 年代初至 90 年代初呈下降趋势, 近几年又有上升趋势。这类降水分布类型的年代际变化也很清楚。

最大熵谱(图 3a)显示, 第 1 特征向量表示的全国大范围旱涝存在 11.5 年的显著周期变化, 说明全国大范围降水趋势变化主要以长期振动为主。另外, 还存在 3.5、2.56 和 5.11 年的周期变化。

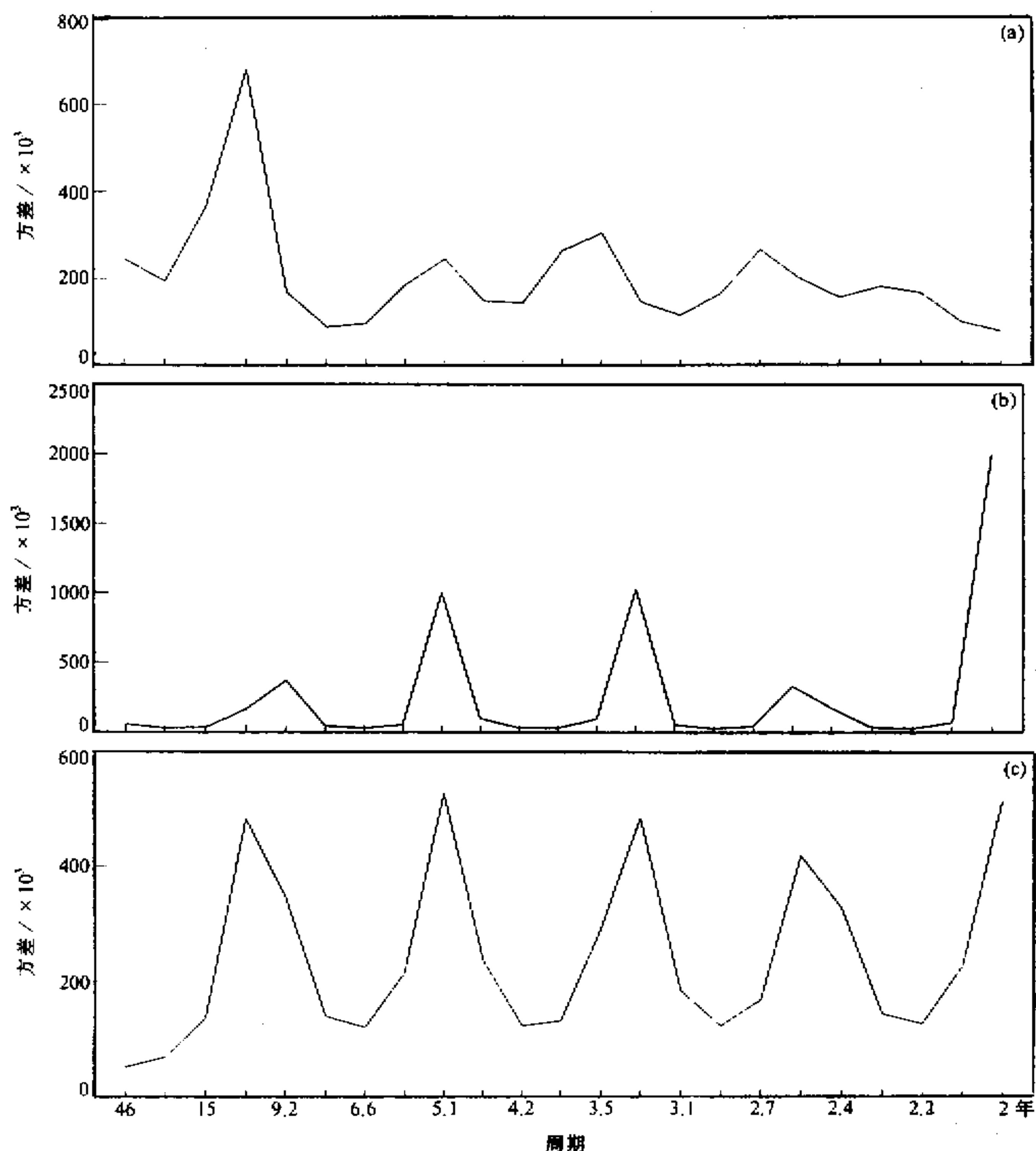


图 3 前 3 个特征向量的时间系数的最大熵谱
(a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3

从图 3b 可以看出, 江淮流域降水与黄河流域及华南地区降水为相反分布型式以 2 年振动最为显著。其次存在 3.29 和 5.11 年的周期振动。

第 3 特征向量表征的江南与黄淮之间降水呈相反分布型式的最大熵谱 (图 3c) 表明, 这类降水分布型式的形成主要是由 2、11.5、5.1、3.29 和 2.56 年几种周期振动叠加而成的。

上述 3 种降水分布型式的显著周期振动都具有较明确的物理意义。11 年左右的长期振动可能与太阳活动有关; 2 年的周期振动可能是大气准 2 年周期变化的反映; 3~5 年的周期则可能与 ENSO 的循环有联系。

3 预报思路 and 流程

中国夏季降水场的前 3 个特征向量解释了总方差的 97%, 它们概括了夏季降水最基本的分布型式。因此, 我们可以将我国每年的夏季降水趋势分布, 看做是由大范围降水多寡及不同分布型式的扰动两部分叠加而成, 即

$$R = \bar{R} + R', \quad (1)$$

其中, $\bar{R}$ 是由 EOF1 及其时间系数表示, R' 则由 EOF2 和 EOF3 及其时间系数表示。在保证全国大范围降水趋势预报正确的前提下, 再报准扰动项的基本趋势, 这一年的预报就会有一定的把握。具体实施时, 要先建立 EOF1、EOF2 和 EOF3 时间系数序列的预报方程, 预报出未来一年的这 3 个时间系数的数值, 再乘以相应的特征向量, 就可以得到降水场的预报。

预报依据由两部分组成。一部分是影响夏季降水的强信号。许多研究证明, 海洋变化有明显的持续性, 而且有相当强的贮存信息的能力, 它是做短期气候预测的重要依据。我们选用春季 (前 1 年 3~5 月)、夏季 (前 1 年 6~8 月)、秋季 (前 1 年 9~11 月) 和冬季 (前 1 年 12 月~当年 2 月) 平均的赤道东太平洋地区 ($180^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{S}$) 海温作为因子, 分别记作 $T_{s,3\sim 5}$ 、 $T_{s,6\sim 8}$ 、 $T_{s,9\sim 11}$ 、 $T_{s,12\sim 2}$ 。还选取了上述四季的南方涛动指数 (由美国气候分析中心提供), 记作 $I_{so,3\sim 5}$ 、 $I_{so,6\sim 8}$ 、 $I_{so,9\sim 11}$ 、 $I_{so,12\sim 2}$ 。廖荃荪等^[7]研究发现, 冬季北太平洋涛动指数和 1 月太平洋地区极涡面积指数与我国夏季雨带分布有密切关系。它们也作为预报因子, 分别记作 $I_{no,12\sim 2}$ 、 $I_{jw,1}$ 。

考虑到我国夏季降水存在着不同时间尺度的气候振动, 所以预报依据的另一部分由降水量本身不同时间尺度的变化构成。将长期振荡及各种短期振荡从代表降水年际趋势变化的 EOF 时间系数序列中提取出来, 即计算 EOF 时间系数序列的不同时间间隔的均值^[8]

$$\bar{X}_l(i) = \frac{1}{n_l} \sum_{j=0}^{n_l} X(i+jl), \quad (2)$$

其中, $i=1, \dots, l$, $1 \leq l \leq M$, n_l 为满足 $n_l \leq [N/l]$ 的最大整数, $M=[N/2]$ 为不超过 $N/2$ 的最大整数, N 为序列的样本量。对 $\bar{X}_l$ 作周期性延拓就可以构成均值生成函数, 作为预报因子的另一部分。在本文中, 选取前 3 个特征向量的时间系数 2~11 年周期长度的均值生成函数, 记作 P_2 、 P_3 、 $\dots$ 、 P_{11} 。将这部分因子加到预报方程中, 不

但使气候振荡在预报中发挥作用, 且可以使由于预报量及物理预报因子的时间趋势引起的相关不稳定性加以调整。

上述两部分构成了预报因子集。

制作夏季降水趋势分布预报的具体流程如图 4 所示。

计算步骤如下:

(1) 用中国 160 站 1951 年以来的 6~8 月降水总量作 EOF 分解。如, 制作 1994 年预报, 则用 1951~1993 年 6~8 月降水总量作 EOF 分解, 提取前 3 个特征向量及时间系数。以前 3 个特征向量的时间系数作为预报量。

(2) 分别计算前 3 个特征向量的时间系数与上述预报因子之间的相关系数, 把相关系数达到给定信度的因子选出来作为备选因子。

(3) 假定粗选出 k 个预报因子, 用 Furnival-Wilson 设计的算法计算出所有可能的 2^k 个回归子集^[9]。在计算机内存和速度允许的条件下, 计算所有可能的回归子集可以得到一个最优回归。从 2^k 个回归子集中根据双评分选择变量标准^[10], 选出一个最优回归子集作为预报时间系数的方程。

(4) 用预报出的该年前 3 个特征向量的时间系数乘以相应的特征向量, 得到该年全国 160 站 6~8 月降水总量的预报。

(5) 将降水量预报值对 1961~1990 年平均求偏差, 即得到该年降水距平百分率的预报。

4 预报效果检验

分别对 1951~1993、1951~1994、1951~1995 和 1951~1996 年 6~8 月降水量场进行 EOF 分解, 按照预报流程, 算得 1994~1997 年夏季降水距平百分率的预报。表 1 为用独立样本资料做出的 1994~1997 年预报的效果检验。表 1 中 R 表示预报场与实况场之间的距平相关系数。距平相关系数是国际上通用的、比较客观的评定办法。

表 1 1994~1997 年预报效果检验

年份	1994	1995	1996	1997	平均
R	0.36	0.14	0.18	0.31	0.25

从表 1 中看出, 4 年的距平相关系数平均为 0.25, 其中 1994 和 1997 两年预报效果比较好。4 年的预报实践表明, 这一预报方法具有一定的预报技巧。

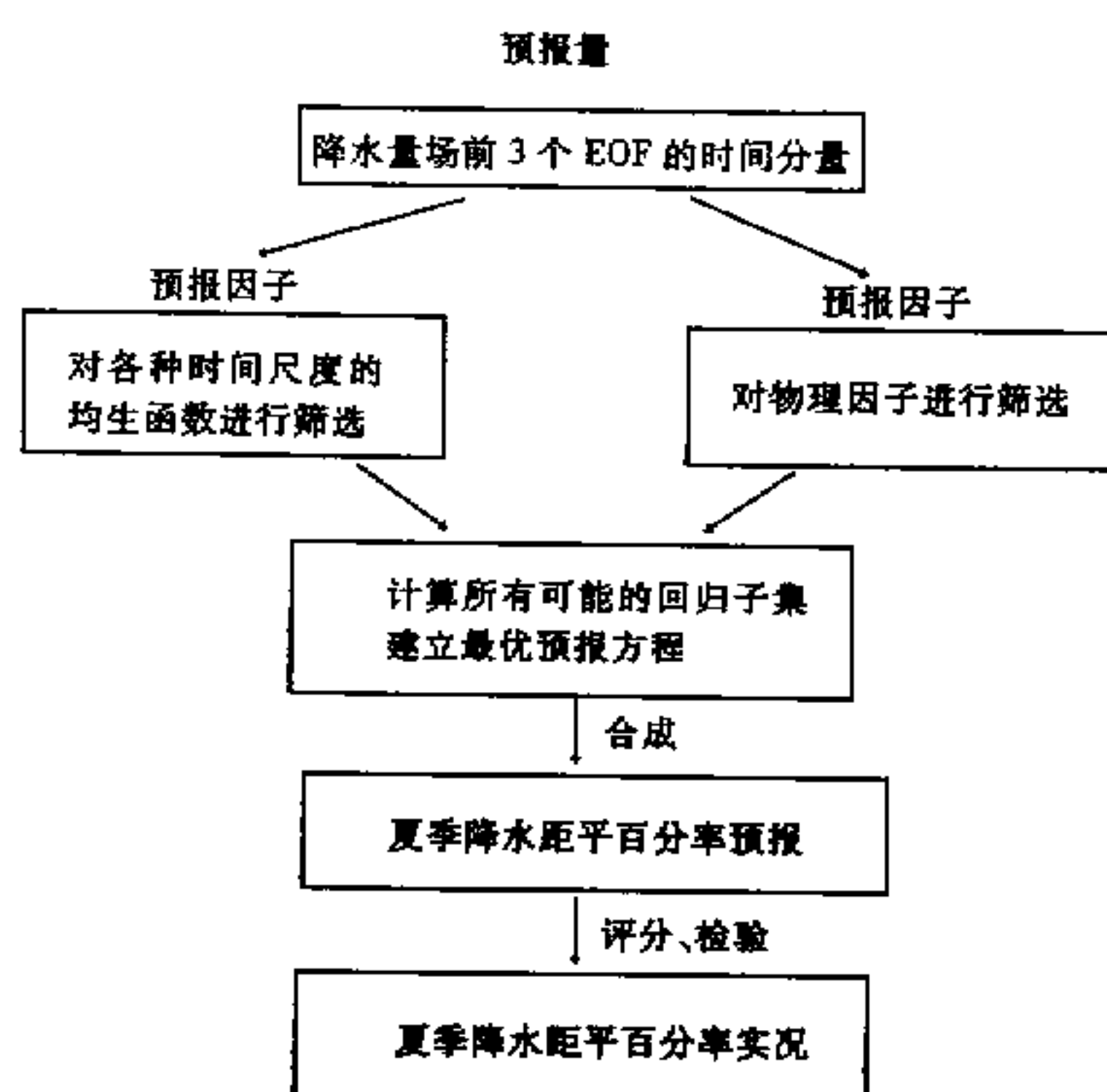


图 4 预报流程图

1994 年预报与实况之间的距平相关系数为 0.36, 该年我国夏季出现了南北两条明显的多雨带, 一条位于华南大部 and 江南南部, 另一条位于北方, 多雨区主要位于东北南部、华北北部和西北东部 (图 5a)。从图 5b 中看出, 南北两条雨带都预报出来了, 位置也基本正确。

1997 年预报与实况之间的距平相关系数为 0.31, 该年我国夏季长江以北大范围地区出现了异常干旱, 只有江南及河套地区降水偏多 (图 6a)。对于这种降水异常趋势分布, 图 6b 有较好的预报, 只是多雨的位置有些偏差。应该说, 预报效果达到这种程度是比较令人满意的。

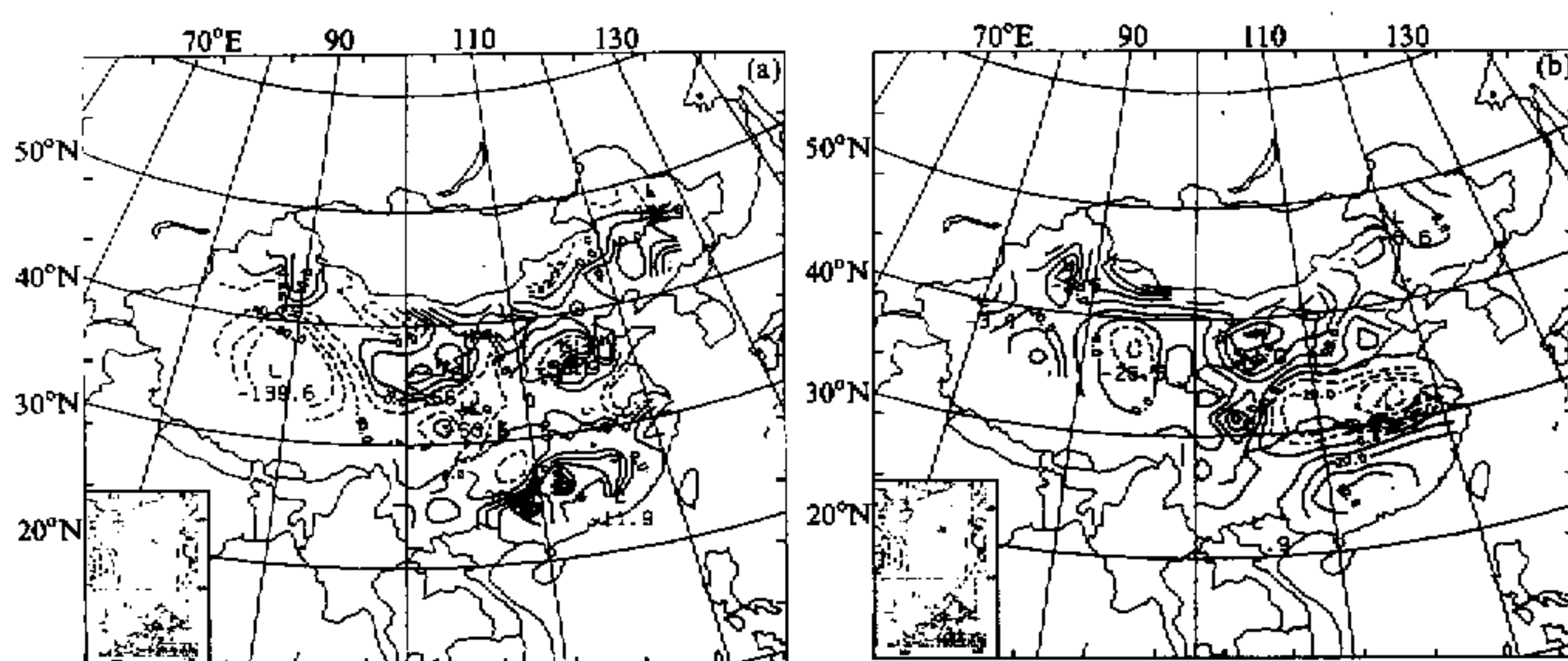


图 5 1994 年夏季降水距平百分率。(a) 实况; (b) 预报

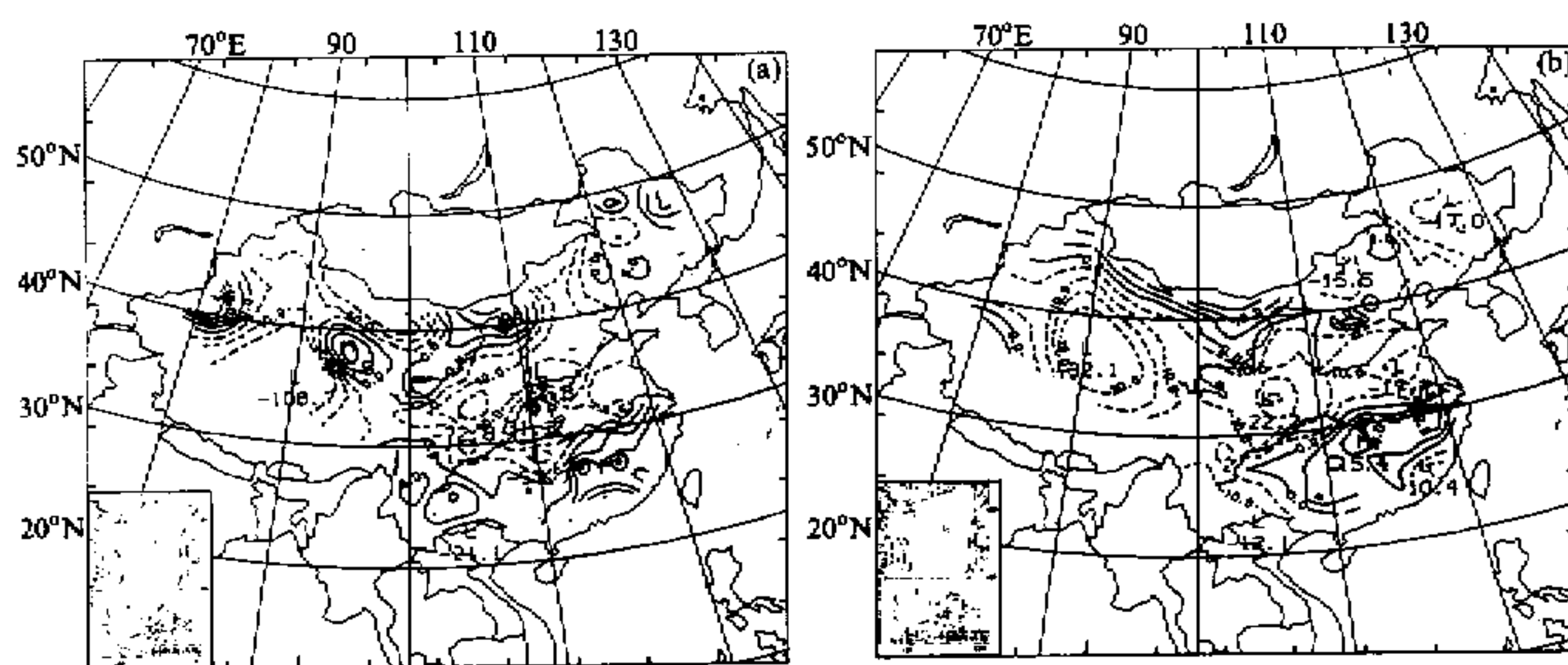


图 6 1997 年夏季降水距平百分率。(a) 实况; (b) 预报

下面分析一下预报的主要物理依据的特点。表 2 给出 1994~1997 逐年预报时筛选出的预报因子。从表 2 中列出的预报因子看出:

(1) 降水量本身的周期振动因子 (如 P_7 、 P_{10} 、 P_{11} 等) 在预报夏季降水异常分布中起着非常重要的作用, 特别是对各年降水量的年际趋势变化 (EOF1) 的预报起主导作用, 且主要是由 5、7、10、11 年的周期叠加而成的。在 4 年 EOF1 的预报方程中, 只有 1997 年引入了其它物理因子 ($I_{so,3\sim 5}$), 其余年 EOF1 的预报方程仅含周期振动因子, 可见, 全国大范围降水多寡的趋势主要与降水量本身的长期振动有关。

(2) 4 年的 EOF2 预报方程中主要是由 7、9、11 年周期预报因子构成, 表明降水本身的周期振动对预报江淮流域与华北、华南降水呈相反的雨带分布型式仍起重要作用。另外, 北方涛动指数 $I_{no,12\sim 2}$ 对成功预报 1994 年南北两条雨带有重要贡献。

(3) 除了降水量本身周期振动外, 赤道东太平洋海温、南方涛动指数对预报南、北方降水相反的分布型式有突出贡献。形成 1997 年北方大范围异常干旱, 降水集中在江南的分布型式与 1997 年厄尔尼诺的出现、发展有着密切的联系。这样强的信号出现在预报方程中, 为作出较准确的预报发挥了作用。

表 2 1994~1997 年预报方程中的预报因子

年份	预报量	预报因子
1994	EOF1	P_7, P_{10}, P_{11}
	EOF2	$I_{no,12\sim 2}, P_7, P_9, P_{11}$
	EOF3	$T_{s,9\sim 12}, T_{s,12\sim 2}, I_{so,3\sim 5}, P_7, P_8, P_9, P_{11}$
1995	EOF1	P_5, P_7, P_{10}, P_{11}
	EOF2	P_7, P_{10}, P_{11}
	EOF3	$I_{so,3\sim 5}, P_7, P_8, P_9, P_{11}$
1996	EOF1	P_7, P_{10}, P_{11}
	EOF2	P_7, P_9, P_{11}
	EOF3	$T_{s,9\sim 12}, T_{s,12\sim 2}, I_{so,3\sim 5}, I_{so,6\sim 8}, I_{so,9\sim 11}, P_7, P_8, P_9, P_{11}$
1997	EOF1	$I_{so,3\sim 5}, P_7, P_{10}, P_{11}$
	EOF2	P_7, P_9, P_{11}
	EOF3	$T_{s,9\sim 11}, T_{s,12\sim 2}, I_{so,3\sim 5}, I_{so,6\sim 8}, I_{so,9\sim 11}, I_{no,12\sim 2}, P_7, P_8, P_9, P_{11}$

5 结语

归纳起来, 我们提出的预报方法有以下主要特点:

(1) 在设计全国大范围降水趋势预报时, 我们紧紧抓住了降水场的主要特征, 仅取前 3 项特征向量进行合成预报, 这样有利于排除噪音, 减少产生更多误差的环节。

(2) 把降水量本身各种时间尺度的振动周期提取出来作为预报因子, 对取得准确预报起着十分关键的作用。在具体处理上, 把振动周期长度控制在 2~11 年范围内, 以充分利用有效信息, 避免噪音干扰。

(3) 在建立预报方程时, 不是采用通常的逐步回归步骤 (已有理论证明, 逐步回归在给定的预报因子条件下并不能获得一个最优方程), 而是计算所有可能的子集回归,

以确保得到一个最优预报方程。

(4) 它是一种客观的预报方法, 不带主观因素。当预报因子确定之后, 任何人都可以重复预报过程, 并能容易地将其改造为制作任一区域降水趋势分布的预报方法。

1994~1997 年预报实践表明, 这一预报方法具有一定的预报技巧。但是, 还需要更长时间预报的考验和不断地加以完善。

参 考 文 献

- 1 袁重光、李旭、曾庆存, 1994, 用海气耦合模式进行的 1991 年夏季降水距平预测试验, 气候和环境预测中心研究公报, 北京: 气象出版社。
- 2 董文杰、丑纪范, 1996, 利用数值模式改进汛期降水预报综合集成的初步探讨, 气候预测研究, 北京: 气象出版社, 119~130。
- 3 周家斌, 1993, 关于统计气象学的几个问题, 大气科学, 17(增刊), 1~12。
- 4 黄嘉佑, 1996, 长期天气的动力统计预报进展, 气候预测研究, 北京: 气象出版社, 29~35。
- 5 曹鸿兴, 1995, 自忆性方程与自忆模式, 气象, 21(1), 9~13。
- 6 魏凤英、张先恭, 1995, 一种夏季大范围降水趋势分布的预报方法, 气象, 21(12), 25~28。
- 7 廖荃荪、赵振国, 1992, 我国东部夏季降水分布的季度预报方法, 应用气象学报, 3(增刊), 1~9。
- 8 魏凤英、曹鸿兴, 1990, 建立长期预测模型的新方案及其应用, 科学通报, 35(10), 777~780。
- 9 陈希孺、王松桂, 1987, 近代回归分析—原理方法及应用, 合肥: 安徽教育出版社, 202~212。
- 10 魏凤英、曹鸿兴, 1990, 长期预测的数学模型及其应用, 北京: 气象出版社, 29~48。

A Objective Predicting Method for Seasonal Precipitation Anomaly Distribution in Summer over China

Wei Fengying and Zhang Xiangong

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract In this paper, some basic features of precipitation fields in summer over China during the last 46 years, including the structure of spatial distribution, climatic trend change and periodic oscillation are analysed and scheme and procedure of a method developed by authors for predicting precipitation anomaly distribution in summer over China are described. The predictive skills for independent samples of 1994~1997 are assessed. Finally, some advantage of the method are summarized.

Key words precipitation distribution in summer objective predicting method physical base