

利用我国气温、降水场作恢复东半球 夏季大气环流场的试验

黄嘉佑 王绍武
(北京大学地球物理系)

提 要

本文利用近30年我国气温和降水场试作东半球夏季大气环流场的恢复。从恢复的效果和稳定性来看,结果是令人满意的。对不在样本内的独立资料年代的环境恢复试验,也取得较好效果。本文工作表明,通过适当的方法(经验正交函数分析与逐步回归的结合)恢复历史时期的大气环流是可能的。

一、前 言

大气环流变化是气候变化的一个重要直接原因。因此,要了解气候变化的形成过程和物理机制,必然要研究相应的大气环流变化。但是,大气环流的资料序列较短,地面环流也不过才有大约100年的历史,只是在个别地区如欧洲,可能了解近200年的环流特点^[1]。至于高空大气环流,一般仅有30多年的资料。所以要研究大气环流的长期变化是比较困难的。

但是,对环流条件了解的迫切性促使人们用各种间接的方法恢复大气环流状况。Lamb^[2,3]就曾根据海洋钻探及各种其它资料来判断海面及地表温度,并推测对流层下部的温度,由此恢复地面气压场的分布。他用这一方法恢复出冰期极盛期(公元前17000年)及冰后期(公元前6500年、4000年、2000年、500年)的1月及7月大气环流^[4]。Fritts^[5,6]则利用北美西部的树木年轮恢复北美及北太平洋的地面环流。此外还有许多作者对地球历史上的冰河期与间冰期的大气环流状况做过许多推测。但是由于证据不够充分,各人推测的环流形势有很大差异。

众所周知,目前在长期天气预报中,有时先预报环流,然后根据环流异常与气候的异常关系来作天气预报。这种预报方法的依据是大气环流和同时期的地面气候状况有着密切关系。因此,我们利用这个关系反过来从气候异常来推断大气环流异常。

另一方面,近年来历史气候的恢复工作在我国取得了很大的进展。例如,我国近500年旱涝历史图集已绘制完成^[7],历史温度分布也正在研究。这就给我们以可能,利用历史时期的气候资料恢复历史时期的大气环流。

1982年6月30日收到,8月26日收到修改稿。

显然,近代的气候观测资料较历史记载完整而又准确;所以我们起先试用观测的气温与降水资料恢复高空大气环流,取得经验后,再推广到应用气候史料来恢复历史时期的大气环流状况. 本文是这方面工作的开始. 主要通过试验检查大气环流与地面温度、降水场的关系,以及恢复大气环流的可能性.

二、我国地面气温、降水量与大气环流的关系

为了检验用我国地面气温和降水恢复大气环流场的可能性,我们选取 1951—1980 年我国范围内 100 个测站夏季 (6、7、8 月) 的气温、降水季平均逐年资料序列,分别与同期北半球的 500 毫巴高度场各网格点 (10° — 70° N 每隔 10 个纬距与 10 个经距取一点, 80° N 上每隔 90° 经度取一点, 90° N 取一点共 257 个点) 作逐点相关系数计算. 由于在样本容量 $n = 30$ 时,相关系数的绝对值大于 0.35 即为显著 (信度 5%), 计算中取此标准. 图 1、图 2 分别给出夏季 500 毫巴高度场各网格点与我国 100 个站气温及降水相关显著站数分布图. 从图上可见,大于 10 个站的显著区域主要分布在东半球的东亚地区. 冬季 (12、1、2 月) 的关系尤为明显, 表 1 给出冬季与夏季东、西半球 (纬度范围在 10° — 70° N 之间) 网格点所有显著测站站数之和的比较. 从表中可见,一般在东半球显著站数多于西半球——唯夏季气温关系例外. 但是,与 100 个气温测站中相关系数最高的几个网格点 (其数值分别为 0.92, 0.85, 0.75) 却均出现在东半球东亚地区内, 因而有理由认为,利用我国气温、降水量恢复东亚及其邻近区域的高空大气环流可能比恢复整个北半球的效果要好. 因此,我们把北半球 500 毫巴东半球区域作为恢复的主要区域. 这一区域包括 10° — 70° N 7 个纬圈,每个纬圈自 0° — 170° E 18 个点,共 126 个网格点.

同样,值得关心的是我国什么地区的气候要素对恢复东半球大气环流的贡献最大. 为



图 1 夏季 500 毫巴高度与 100 个站气温的相关达到 5% 信度的站数,等值线间隔为 10, 10 以上用斜线画出

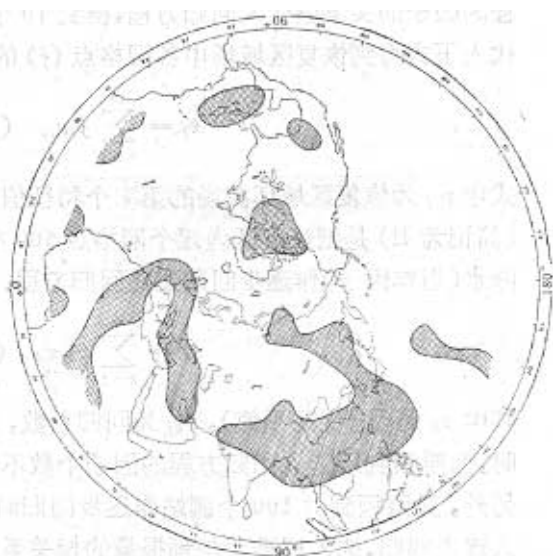


图 2 同图 1,要素为降水

表 1 东、西半球环流与气温及降水关系的比较

季 节	冬 季		夏 季	
要 素	气 温	降 水	气 温	降 水
东 半 球	2850	1120	1443	836
西 半 球	1500	911	1551	795

了说明这个问题,我们可以从我国夏季和冬季气温、降水场上 100 个测站与东半球范围内 500 毫巴高度场各网格点之间计算它们的相关系数,还可从作出我国气温、降水场上各点的相关系数绝对值超过信度标准的判断值的网格点数分布图(图略)中考察它们贡献最大的地域分布。研究发现,我国夏季气温对大气环流敏感的区域有三个,即东北、西北及西南;夏季降水与环流关系最为密切的区域则处在长江流域地区。冬季情况与夏季不同,降水与环流关系密切的地区分布在淮河、黄河下游及河套一带;气温的相关区域分布比降水更为广阔,最显著的地区是黄淮流域、中南与西南地区。

三、恢复环流的方案

为了恢复高空环流,我们采用逐步回归的方法,即利用 1951—1980 年间 30 年资料建立高度场为预报量的回归方程,再通过回归方程进行恢复高度场。为了充分利用各测站的信息,我们采用了两个试验方案:第一个方案(简记为 I)把要恢复的地区 500 毫巴高度场用经验正交函数进行展开,取包含总方差 85% 的前 10 个特征值所对应的时间分量(亦称为主要分量)作为恢复对象,取它们之中的每一个与我国各测站的气温(或降水)序列作逐步回归,前者为预报量,后者为预报因子建立回归方程。恢复时利用所选定回归方程的因子的实测值代入回归方程,得到 10 个主要分量的预报估计值 $\hat{y}_i (i = 1, 2, \dots, 10)$, 代入下式得到恢复区域场中各网格点 (j) 的恢复值 $\hat{x}_j$, 即可以表示为

$$\hat{x}_j = \sum_{i=1}^{10} \hat{y}_i v_{ji} \quad (j = 1, 2, \dots, 126) \quad (1)$$

式中 v_{ji} 为恢复区域环流场的第 i 个特征值所对应的特征向量第 j 个分量。第二个方案(简记为 II)是把恢复区内逐个网格点 500 毫巴高度当作预报量,与我国各测站的气温或降水(当作因子)作逐步回归建立回归方程。即

$$\hat{x}_j = \sum_{k=1}^m b_{kj} x_k \quad (j = 1, 2, \dots, 126) \quad (2)$$

其中 x_k 为因子(距平值), b_{kj} 为回归系数, m 为逐步回归选入的因子个数。在逐步回归时,为照顾到所选入回归方程的因子个数不至太少,取双重检验(F 检验)的临界值为 2.5。另外,又照顾到对 100 个测站作逐步回归时矩阵太大,计算时间过长,故选取初选因子进入逐步回归,选入标准为与预报量的相关系数绝对值大于 0.1。

检验环流恢复的效果是用上述两个方案所得的恢复区网格点高度距平恢复值 $\hat{x}_k$ 所组成的拟合场,与实况场 x_k 在第 i 年的距平值之间的相似系数作为衡量标准,即

$$\rho_i = \frac{\sum_{k=1}^{126} x_{ik} \hat{x}_{ik}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{126} x_{ik}^2 \sum_{k=1}^{126} \hat{x}_{ik}^2}} \quad (3)$$

为了比较不同的气象要素恢复环流的总效果,我们引入平均相似系数作为衡量标准,即

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (4)$$

其中 n 为试验恢复的样本数。

四、用 100 个站的气温及降水恢复东半球大气环流

试验表明,用 I 方案得到的恢复场具有连续平滑的优点,所以在这一部分主要介绍用 I 方案恢复近 30 年东半球环流场的试验。为了比较,表 2 给出不同要素逐年恢复的相似系数及试验期的平均相似系数。表中第 2、3 列分别给出利用我国气温、降水(100 个站)逐年恢复的环流场与实况场的相似系数。由于 ρ 值变化在 -1 (完全不相似)到 $+1$ (完全相似)之间,从表中数值可见,恢复效果是相当令人满意的。

用气温与降水恢复环流分别得到平均相似系数 0.806 及 0.872。即对夏季环流的恢复来说,降水的效果比气温好。尤其值得注意的是,我国一些气候异常年恢复环流的情况,要比接近正常的年份好。例如长江流域大水年的 1954 年、1980 年,用降水恢复环流,其相似系数均达到 0.90 以上。严重干旱的 1959—1961 年的 ρ 值也比较高。同时在一些夏季低温年,用气温恢复环流结果也比较好,如 1972 年就是相似系数最高的年,其 ρ 值达到 0.935。

为了说明整个恢复区域的形势恢复情况,我们给出一个气候明显异常的夏季作为例子。1972 年是我国大部地区干旱、东北低温的一年。图 3a 是这个夏季的 500 毫巴季平均高度距平图,单位为位势什米,等值线间隔 1 什米,为了使图面清晰,绝对值 4 什米以上不再分析等值线,只标出中心强度。图 3b 为用降水恢复的距平场。从图 3a 可以看出,

1972 年乌拉尔山以西是一个很强的正距平区,远东及南亚则是广大的负距平区。与图 3b

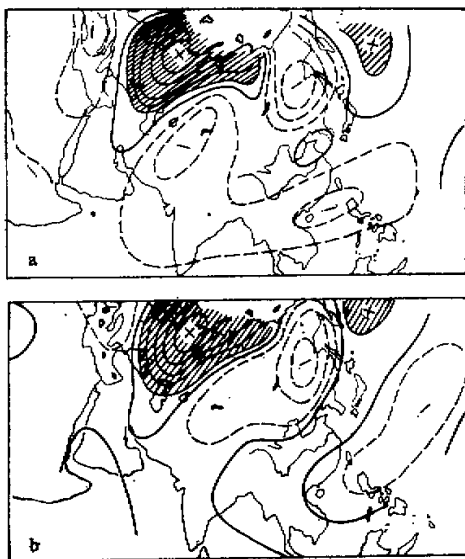


图 3 夏季环流恢复的例子。等值线为位势什米, ≥ 1 什米区用斜线画出,虚线为负距平线,粗实线为零线。
a. 1972 年实况场 b. 1972 年恢复场(用降水)

表 2 ρ 值比较表

年 份	气 温	降 水	旱 涝
1951	0.917	0.945	0.550
1952	0.879	0.942	0.662
1953	0.906	0.918	0.465
1954	0.883	0.908	0.828
1955	0.793	0.760	0.015
1956	0.872	0.880	0.748
1957	0.889	0.944	0.367
1958	0.379	0.763	0.235
1959	0.823	0.936	0.411
1960	0.710	0.883	0.427
1961	0.884	0.919	0.672
1962	0.869	0.926	0.501
1963	0.662	0.811	0.293
1964	0.825	0.840	0.393
1965	0.795	0.884	0.243
1966	0.700	0.859	0.670
1967	0.794	0.848	0.548
1968	0.929	0.945	0.621
1969	0.752	0.898	0.608
1970	0.855	0.782	0.157
1971	0.801	0.892	0.428
1972	0.935	0.947	0.455
1973	0.673	0.767	0.442
1974	0.825	0.814	0.188
1975	0.779	0.852	0.285
1976	0.830	0.878	0.718
1977	0.561	0.767	0.521
1978	0.913	0.849	0.815
1979	0.865	0.883	0.645
1980	0.891	0.928	0.552
平均	0.806	0.872	0.482

对比, 乌拉尔山西部的正距平及远东的负距平拟合较好, 南亚的负距平则计算偏弱。

这个例子拟合较好(见表 2), 但并不是唯一的, 平均 ρ 值较高就说明了这一点。因此, 通过这个试验可以认为, 根据气温与降水来恢复大气环流是可能的。

五、用 25 个站的降水级恢复 东半球的大气环流

从上节的试验表明, 用 100 个站夏季气温与降水恢复 500 毫巴季平均环流是可行的。但是, 我们将来的目的是恢复历史时期的环流, 而历史时期具有完整的资料的测站却没有这么多。例如 500 年降水量的恢复^[6]就只用了 25 个站。所以, 我们在这节介绍试用少量站(25 个)的降水来恢复大气环流。又考虑到历史时期的降水资料仅有级别^[7](利用由级别恢复的降水量显然效果与级别相同, 所以这里仅用级别), 故在作试验时, 把近 30 年降水量改用相应的降水级别来表示, 其中降水级共分 5 级, 1 级为涝、2 级偏涝、3 级正常、4 级偏旱、5 级为旱。站点与恢复历史时期降水相同^[8]。

由于相同的理由, 在这部分我们仅介绍用 1 方案作的试验恢复环流的结果。为了检查这个方案的性能, 我们将介绍下面几个方面的试验结果: 第一, 用 25 个站的降水级恢复近 30 年环流的效果; 第二, 利用回归方程作环流恢复时的稳定性; 第三, 恢复的最佳地区; 第四, 不在样本内的独立资料年代恢复的试验。

1. 表 2 中的第 4 列给出用 25 个测站的降水级对 1951—1980 年间逐年恢复场与实况场的相似系数及平均

相似系数。与表中 100 个站的气温及降水恢复结果比较, 效果显然要差些, 这一方面是由于降水级别处理的结果损失了部分信息, 另一方面也由于把降水站从 100 个减至 25 个。但就拟合的情况来看, 也还是有一定效果, 因为平均拟合相似系数已达 0.50 左右。对于大旱、大涝年也都可以达到或接近平均标准。例如 1954 年也可得到 0.83 的恢复率。

2. 为了考察恢复环流效果的稳定性, 我们选取近 30 年间不同样本容量的资料进行试验。表 3 给出分别从 1951 年至 1977、1978、1979 及 1980 年的样本(即样本容量分别为 27、28、29 及 30)的试验结果。从表 3 可见, 试验平均相似系数 ρ 的值随样本大小变化十分微弱, 平均波动范围约 2%, 而总的恢复效果均可达到 0.50 左右。这说明在恢复过程中, 回归方程的统计特性是稳定的。

表 3 不同样本试验的 $\bar{\rho}$ 值比较

n	27	28	29	30	平 均	标准差
$\bar{\rho}$	0.510	0.515	0.495	0.482	0.501	0.013

3. 在进行 I 方案的试验中, 由于中、高纬度环流形势随时间变率较大, 亦即方差较大, 这样, 经验正交函数分析结果必然在这些地区有较重要的贡献, 因而在恢复时, 这些地区能得到较好的反映。表 4 给出 $n = 28$ 时, 前 10 个特征值所对应的时间分量与我国降水场的复相关系数平方值 (R_i^2) 的关系。表中 σ^2 为恢复区网格点总方差, σ_i^2 为第 i 个时间分量 y_i 的方差。容量大小不同的样本各时间分量与 R_i^2 的关系与该表数值分布类似。从表中可见, 由于复相关系数平方是反映回归方程拟合好坏的量, 它的最高值出现在第 6 个时间分量以上, 表明这些分量在环流恢复的拟合中起着不可忽略的作用。而这些分量所对应的特征向量场往往是反映大气中行星波 (波数为 4、5、6) 的形势配置情况, 同时这些特征向量场中的距平中心也多出现在东亚, 即接近中国地区, 这与相关显著区域在东亚地区是相一致的。比较过去 30 年拟合结果亦可看出, 在低纬地区环流距平区配置的恢复并不十分理想, 这可能是由于 I 方案重点反映较大方差的中、高纬度的形势有关。

4. 为了检验不在样本容量内的独立资料年代恢复效果, 我们选取容量为 $n = 28$ 的样本, 对已有实况资料的 1979、1980 及 1981 年三个环流场作恢复的检验。按照习惯, 用实况场与恢复场距平符号相关系数 ρ_r 作为检验恢复效果的标准, 其中

表 4 时间分量与 R_i^2 的关系 (%)

y_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ_i^2/σ^2	23	14	11	9	7	6	5	4	3	3
R_i^2	11	31	40	36	20	44	81	75	40	60

$$\rho_r = (\rho_+ + \rho_-)/n$$

式中 ρ_+ 与 ρ_- 分别表示两个场距平“+”号与“-”号相同的网格点数。表 5 给出用 I 方案对上述三年环流场作恢复后 ρ_r 值的比较。从表中可见, 独立资料的试验, ρ_r 值也在 0.50 附近。

表 5 独立资料年代 ρ_r 值比较

年 份	1979	1980	1981
ρ_r	0.51	0.41	0.60

另外, 用 II 方案 25 个站降水级别恢复环流亦作了类似的试验。所得的结果与 I 方案无太大的差别。鉴于 II 方案的恢复场是由作逐点的恢复得到的, 在空间点之间缺乏连续性, 效果又不显著地高于 I 方案, 所以在作进一步的试验中没有采用 II 方案。

六、历史时期环流恢复的试验

以上试验说明,用 25 个站降水级别恢复夏季大气环流有一定效果。因此我们试用前面得到的回归方程,根据历史时期旱涝级别,代入回归方程得到各时间分量的估计值,再利用(1)式可以得到当时恢复区的 500 毫巴距平图。图 4 与图 5 分别为 1484 年及 1652 年夏季环流恢复场。

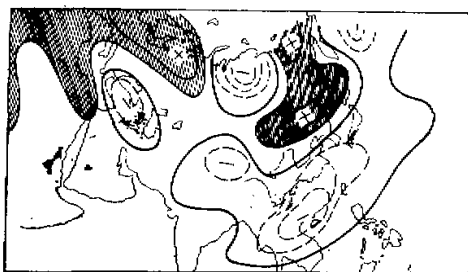


图 4 1484 年夏季环流恢复(图例同图 3)

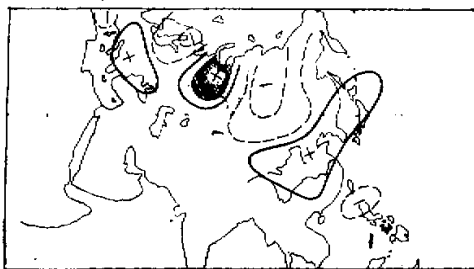


图 5 1652 年夏季环流恢复(图例同图 3)

1484 年是典型的南涝北旱^[1], 环流恢复的结果表明,东亚 40°N 以北为明显的正距平区,而长江以南到东南亚为负距平。这可能说明整个夏季副热带高压偏弱,因而江南多雨。1652 年是长江流域干旱年,华南及华北多雨^[2]。恢复的环流形势表明,副高可能偏西而在长江黄河之间偏强(正距平区)。贝加尔湖则为明显的负距平区,说明夏季低槽活跃,因而长江少雨,华北多雨。这两个例子说明,至少从物理上分析,恢复的环流是合理的。全面恢复历史时期大气环流的工作正在进行,结果将另行发表。

七、结 论

对大气环流场恢复的试验表明,用我国地面气温和降水场对近 30 年来东半球 500 毫巴高度场的恢复效果是令人满意的。用 25 个测站降水级别序列作恢复试验亦表明有一定效果。研究结果说明所使用的回归方法效果是稳定的。由此可见,利用我国历史时期

的旱涝资料恢复同期的大气环流是可能的。但是试验也反映出低纬拟合较差, 同时恢复场的方差也偏小。在这两方面我们还准备继续作进一步的改进试验和探讨。

参 考 文 献

- [1] Lamb, H. H., *Climate, present, past and future, Climatic History and the Future*, Vol. 2, London, Methuen, p. 835, 1977.
- [2] Lamb, H. H. and A. Woodroffe, *Atmospheric circulation during the last ice age, Quaternary Research*, 1(1), 29—58, 1970.
- [3] Wright, P. B. and H. H. Lamb, *A second approximation to the circulation patterns prevailing at the time of the last glacial maximum, Collected Abstracts of the International (CLIMAP) Conference Held at Norwich in May 1973*, 1974.
- [4] Lamb, H. H. *World climate from 8000 to 0 B. C.*, *Proceedings of the International Symposium*, 1960.
- [5] Fritts, H. C., *Multivariate techniques for calibrating time series used to reconstruct anomalies in paleoclimate, International Symposium on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences*, 59—64, 1971.
- [6] Fritts, H. C., G. R. Lofgren and G. A. Gordon, *Reconstructing seasonal to century time scale variations in climate from tree-ring evidence, Climate and History*, 139—161, 1981.
- [7] 中央气象局研究所, 华北及东北十省市、自治区气象局、北京大学地球物理系, 我国华北及东北地区近五百年旱涝演变的研究, 气候变迁和超长期预报文集, 科学出版社, 1977.
- [8] Wang Shao-wu, Zhao Zong-ci and Chen Zhen-hua, *Reconstruction of the summer rainfall regime for the last 500 years in China, GeoJournal*, Vol. 4, 117—122, 1980.
- [9] Wang Shao-wu and Zhao Zong-ci, *Droughts and floods in China, 1470—1979, Climate and History*, 271—288, 1981.

AN EXPERIMENT ON RECONSTRUCTION OF SUMMER ATMOSPHERIC CIRCULATION IN EASTERN HEMISPHERE BY USE OF TEMPERATURE AND RAINFALL DATA IN CHINA

Huang Jiayou Wang Shaowu

(Department of Geophysics, Beijing University)

Abstract

An experiment has been carried out to reconstruct the summer atmospheric circulation in eastern hemisphere from the temperature and rainfall data in China. The examination of efficiency and stability of the model gives a satisfactory result. A check with independent data which are not included in constructing the model has shown some skill of the method. The results indicate that it is possible to reconstruct the atmospheric circulation in the historical times by means of appropriate method (a combination of empirical orthogonal analysis and stepwise regression technique) for the climatological data.