

# 用清代《晴雨录》资料复原18世纪南京、苏州、 杭州三地夏季月降水量序列的研究\*

张德二                      王宝贯

(国家气象局气象科学研究院) (威斯康星大学气象系)

## 提 要

本文试用中国清代天气记录《晴雨录》资料复原南京、苏州、杭州三地18世纪期间夏季(6—8月)和5、6、7、8各月份的逐年降水量序列,文中介绍了这份古代气象资料的特点和对它作数值编码处理的方法;详述了将这种文字记述资料换算成月降水量值的步骤及其科学依据;并对所获得的降水量序列的可信性作了初步对比与讨论。

## 一、引 言

历史气候研究的重要内容之一,是探讨历史气候的复原技术,比如将各类历史气候的文字记述转换为定量的气候要素序列的方法等。中国清代宫廷遗留的《晴雨录》是迄今存世的连续性最好的古代逐日天气记录,是复原历史气候的极好资料<sup>[1]</sup>。现今存于第一国家档案馆且堪用于气候序列研究的晴雨录资料,主要是北京、江宁(南京)、苏州、杭州这四地的。至今国内已完成的有关晴雨录研究工作,皆限于对北京的<sup>[2-5]</sup>,这是由于北京晴雨录持续至1903年,其间1840—1903年尚有仪器观测资料与之并存,而南京、苏州、杭州三地至今也未见研究报告发表。笔者对南京等三地晴雨录作了多方面的分析、试验,终将这半定量的记录转变成6种数值化的基本降水资料序列,进而寻求出一种由降水类型、降水日数来换算降水量的方法,从而得到南京、苏州、杭州的18世纪的夏季(6—8月)和5—8月各月份的逐年降水量。在这基础上我们将可以进一步分析长江下游地区历史降水量的长期变化和各種降水特征,雨期、雨季、梅雨活动、雨日振动、以及季风进退变化等问题。

## 二、资 料

《晴雨录》是一种逐日的天气记录,含降水、天空状况、风向(8方位制)和天气现象(雾、霜、雷等)等项目。降水项目记有降水起迄时刻和降水类型。起止时刻用12个时辰表示,也示以时辰的“初”、“未”之别。不足一个时辰(2小时)的降水常被记为“即止”、“片刻即止”,其时间划分的误差可估计为小于1小时。降水类型区别为雨、雪两大类,按其强度又分别记为微雨(微雪,下略)、细雨、小雨、阵雨、大雨、暴雨、雷雨等等。本文仅使用5—8

本文1990年1月15日收到,2月28日收到修改稿。

\* 本文是由美国国家科学基金会 NSF 资助。

月的晴雨录试作研讨,其资料年限分别是:南京 1722—1798 年,苏州 1736—1806 年、杭州 1723—1773 年。

### 1.《晴雨录》资料的数值化处理

为适于计算机处理分析,特设计如下数值编码格式以将晴雨录转换成数值序列表示:

YYYY,MM,DD,33,XX,44,XX,55,XX,66,XX,S<sub>1</sub>S<sub>1</sub>,OW,S<sub>2</sub>S<sub>2</sub>,P,

YYYY:年份;MM:月;DD:日期;33:雷雨指示码;44:小雨、微雨、细雨指示码;55:雨指示码;66:大雨、暴雨指示码;XX:降水时数,单位为小时,不足 1 小时的为 00,无雨为 -1,缺资料为 99;S<sub>1</sub>S<sub>1</sub>:晨天空状况,11 为晴,22 为阴,00 为雨,缺资料 99;S<sub>2</sub>S<sub>2</sub>:晚天空状况;OW:风向,按 8 方位表示,01 为 N,02 为 NE...,00 为静风;P:天气现象。晴雨录原循农历,编码时改为公历表示。

由数值化的晴雨录资料转化得到如下 5 种基本资料序列:

QY1:逐日雨日/非雨日的 1、0 编码序列;

QY2:逐日降水类型序列;

QY3:逐日各类型降水时数序列;

QY4:各月各类型降水日数序列;

QY5:各月总降水日数序列。

### 2.《晴雨录》与现代观测资料的比较

首先,需要检验前后观测方法的不同是否对序列的均一性带来显著影响,换言之,检验晴雨录的雨日序列和现代雨日序列是否属于同一正态总体。采用  $t$ -检验,作原假设:晴雨录雨日序列和现代雨日序列是来自同一正态总体的独立样本。

表 1 晴雨录雨日序列(1741—1770 年)与现代雨日序列(1951—1980 年)气候统计值

		均值 $\bar{R}$		方差 $S$		$t$
		晴雨录	现代	晴雨录	现代	
苏州	5 月	10.79	13.53	3.55	3.16	3.1340
	6 月	13.21	12.93	4.49	2.66	0.2926
	7 月	10.97	12.33	3.79	4.35	1.2911
	8 月	10.43	10.67	3.19	4.43	0.2408
南京	5 月	8.67	11.20	3.25	4.02	2.5943
	6 月	10.07	11.03	3.72	3.03	1.0807
	7 月	10.29	12.43	3.71	4.32	2.0171
	8 月	9.75	11.27	3.54	4.20	1.4848
杭州	5 月	15.11	16.80	3.61	3.53	1.7855
	6 月	16.08	14.87	4.38	3.05	1.2122
	7 月	12.15	12.30	3.89	4.64	0.1299
	8 月	12.11	12.50	3.27	4.81	0.3539

由表1可见各地各月份均呈现 $|t| < t_{\alpha}, t_{\alpha} = 3.460$ 。晴雨录雨日序列和现代雨日序列可看作是一个雨日序列母体的两个子样。

由同一地点的晴雨录雨天日数与现代雨天日数对比中发现,唯有南京的各月份的雨天日数一致地比现代各月雨日数少。我们认为:南京晴雨录的观测记录者曾将某些历时短暂的零星“小雨”略去未记。因此在使用南京晴雨录资料时应予注意。

### 三、降水量序列的复原方法及其科学依据

#### 1. 回归方程组

由现代降水资料可见,南京、苏州、杭州三地每月的降水日数和月降水量之间有着良好的正相关关系,故可简便地建立线性回归方程组,仅由晴雨录的各月总雨日数(南京资料须经订正)即可推算出历年的月降水量来(图略)。但这种初级近似只考虑了各月总雨日数这一个因子,然而一个雨日的雨量却可以从0.1mm直到100mm以上,它们对月降水量的贡献是很悬殊的。所以这种初级近似会存在某些偏差。

多元回归方法可提高拟合程度,它分别统计各种日雨量等级的雨天日数,再用这种分项统计值去建立多元回归方程,用于推算月降水量。至于如何划分这种日雨量等级,曾作过多次试验,最后确定采用如下4级标准来划分日雨量等级,它也接近于现今天气预报采用的大雨、中雨、小雨的划分习惯。1级: $0.1\text{mm} \leq R \leq 2.0\text{mm}$ ; 2级: $2.0\text{mm} < R \leq 10.0\text{mm}$ ; 3级: $10.0\text{mm} < R \leq 25.0\text{mm}$ ; 4级: $25.0\text{mm} < R$ 。至此,即可以现代降水资料各月份的1、2、3、4各级雨日数和月总雨日数为5个自变量因子 $x_1, \dots, x_5$ ,建立方程组。在以下方程组中 $y_5, y_6, y_7, y_8$ 和 $y_{6-8}$ 分别代表当地5月、6月、7月、8月和夏季6—8月的雨量值, $r$ 为相关系数。

##### (1) 南京

$$\begin{aligned} y_5 &= -2.23 + 1.35x_1 + 5.32x_2 + 14.8x_3 + 43.38x_4; & r &= 0.97 \\ y_6 &= -24.67 + 7.78x_3 + 48.04x_4 + 5.93x_5, & & 0.83 \\ y_7 &= -29.26 + 8.19x_2 + 17.08x_3 + 65.99x_4, & & 0.92 \\ y_8 &= -14.30 + 7.77x_2 + 14.97x_3 + 52.28x_4, & & 0.91 \\ y_{6-8} &= -20.15 + 56.07x_4 + 4.85x_5; & & 0.88 \end{aligned}$$

##### (2) 苏州

$$\begin{aligned} y_5 &= 7.75 + 4.95x_2 + 16.21x_3 + 32.09x_4, & r &= 0.96 \\ y_6 &= 32.10 + 16.50x_3 + 39.36x_4, & & 0.89 \\ y_7 &= -14.82 + 18.67x_2 + 16.36x_3 + 53.25x_4 - 4.01x_5, & & 0.96 \\ y_8 &= 3.05 + 7.73x_3 + 41.57x_4 + 4.07x_5, & & 0.88 \\ y_{6-8} &= -84.41 - 11.70x_1 + 31.44x_4 + 13.56x_5; & & 0.91 \end{aligned}$$

##### (3) 杭州

$$\begin{aligned} y_5 &= -104.46 - 5.97x_1 + 9.83x_3 + 38.70x_4 + 11.65x_5, & r &= 0.98 \\ y_6 &= 26.37 + 20.60x_3 + 40.58x_4, & & 0.90 \\ y_7 &= 10.28 + 23.08x_3 + 37.92x_4, & & 0.98 \end{aligned}$$

$$y_8 = -0.8 + 51.41x_4 + 5.37x_5, \quad r = 0.91$$

$$y_{6-8} = 23.09 + 22.75x_3 + 43.72x_4, \quad 0.94$$

可见上述方程组的拟合程度很高,信度在0.001以上。

### 2. 晴雨录资料的换算处理

《晴雨录》资料不能直接用于这种多元回归方程。因为它仅仅记有半定量的微雨、雨、大雨之分和降水持续时间。那么如何进行这种换算呢?

我们认为,晴雨录资料的各类雨型与雨时的组合都大致对应于一定的降水量,若分别统计各种雨型/雨时组合的日数,再把它们归并成4类基本组合使其雨日数彼此之间的比例又恰好符合于这种4级雨日之间的比例关系,那么就可以认为这4类雨型/雨时组合一一对应于那4种级别的现代雨量值。具体作法如下,以苏州为例,将苏州晴雨录资料按雨型和雨时分成24种组合,编号为1—24,如表2所示:

表2 苏州晴雨录资料的24种雨型/雨时组合序号

组 合 序 号  降 水 型	雨时 (小时)								
		<1	1—2	3—4	5—6	7—8	9—12	13—17	17—24
小雨		1	2	3	4	5	6	7	8
雨		9	10	11	12	13	14	15	16
大雨		17	18	19	20	21	22	23	24

当我们按月把这24种组合归并成如图1所示的4类基本组合时,则晴雨录资料各月份的这4类雨日的出现频次如图2中横线所示,它们之间的比例正好与现代雨量的4级划分所得的各级雨日频次之间的比例相当(图2中斜线所示)。图1这种方案是逐步修正调试得到的,它要求在同一类组合中所含的雨型(小雨、雨、大雨)必须是连续的,同一雨型中的雨时数也是连续的。这时可以认为晴雨录资料的这4类雨型/雨时组合与雨量的对应关系是:1类:0.1—2.0mm/d;2类:2.1—10.0mm/d;3类:10.1—25.0mm/d;4类:>25.0mm/d。这样根据这种方案,就可以将晴雨录的逐日雨型/雨时的半定量记载换算成相应的日雨量级别的定量表示了。考虑到南京晴雨录资料可能将某些短时的微雨略去未记,以致月总降水日数偏少的特点,在设计南京晴雨录的转换方案时,有意让1级雨日(对应于0.1—2.0mm/d)的比例降低,以维持其2、3、4级雨日的频次与现代的频次一致,杭州、南京方案图略。

将上述4级划分方案用于处理晴雨录基本数值序列 QY3和 QY5,则分别得到苏州、杭州、南京各月份的历年各级雨日级、总雨日数序列组 QY6,它们正是前述多元回归方程中的5个参数  $x_1, x_2, x_3, x_4$  和  $x_5$ 。

雨时 雨型		时												
		<1	1-2	3-4	5-6	7-8	9-12	13-16	17-24					
5月	小雨	1	1	1	2	2	2	2	2					
	雨	2	2	2	3	3	3	4	4					
	大雨	2	3	3	3	4	4	4	4					
6月	小雨	1	1	1	2	2	2	2	3					
	雨	2	2	2	3	3	3	4	4					
	大雨	2	3	3	3	4	4	4	4					
7月	小雨	1	1	2	2	2	2	3	3					
	雨	2	2	3	3	3	4	4	4					
	大雨	2	3	3	3	4	4	4	4					
8月	小雨	1	2	2	2	2	3	3	3					
	雨	2	2	3	3	3	4	4	4					
	大雨	2	3	3	4	4	4	4	4					

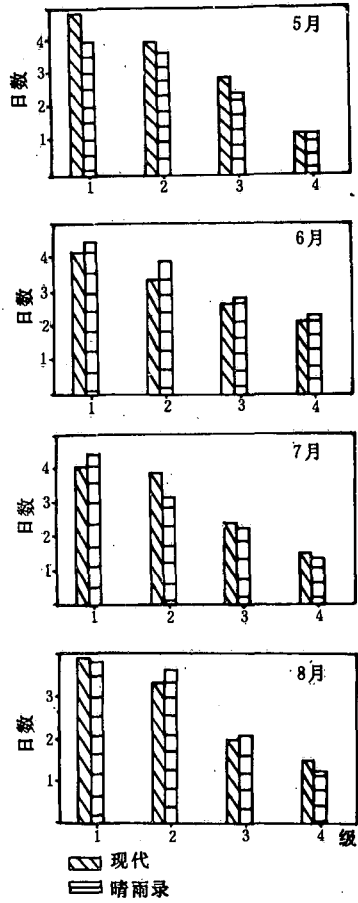


图1 由晴雨录的雨型、雨时记录转换成雨量级次的方案(苏州)

图2 由现代资料统计的4级雨日数与晴雨录换算的4级雨日数的对比(苏州)

### 3. 降水量序列的复原

分别将苏州(1736—1806)南京(1723—1798)杭州(1723—1773)的晴雨录资料基本序列组 QY6, 代入各自的方程组, 即得到这三个地点的5、6、7、8各月和夏季(6—8)月的降水量复原序列(图3、4、5)。

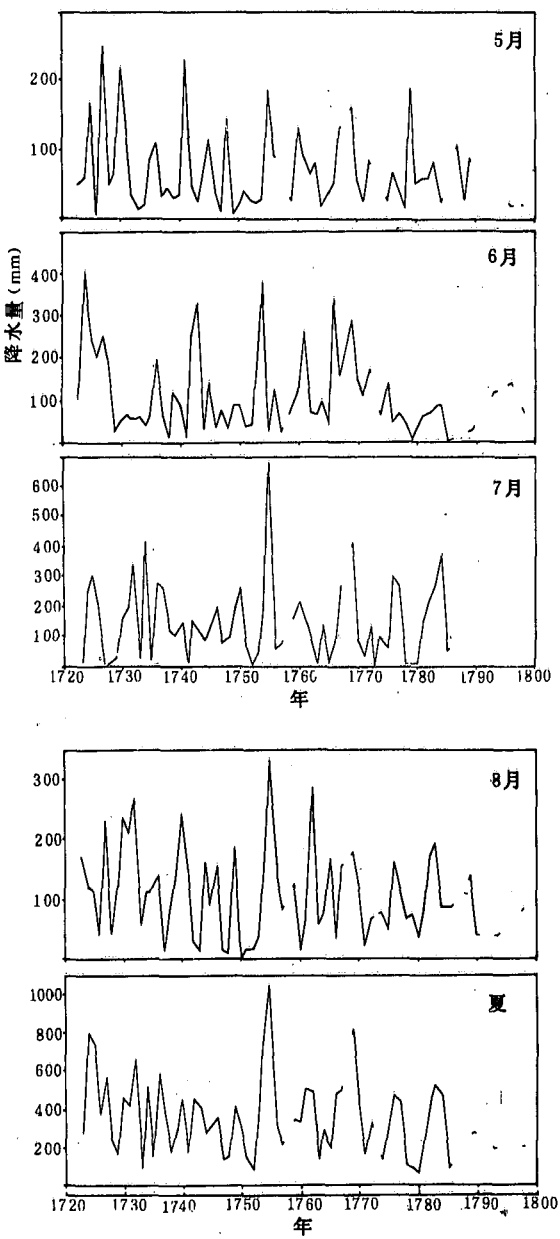


图3 苏州5、6、7、8各月和夏季(6—8)月的复原降水量序列(1736—1806)

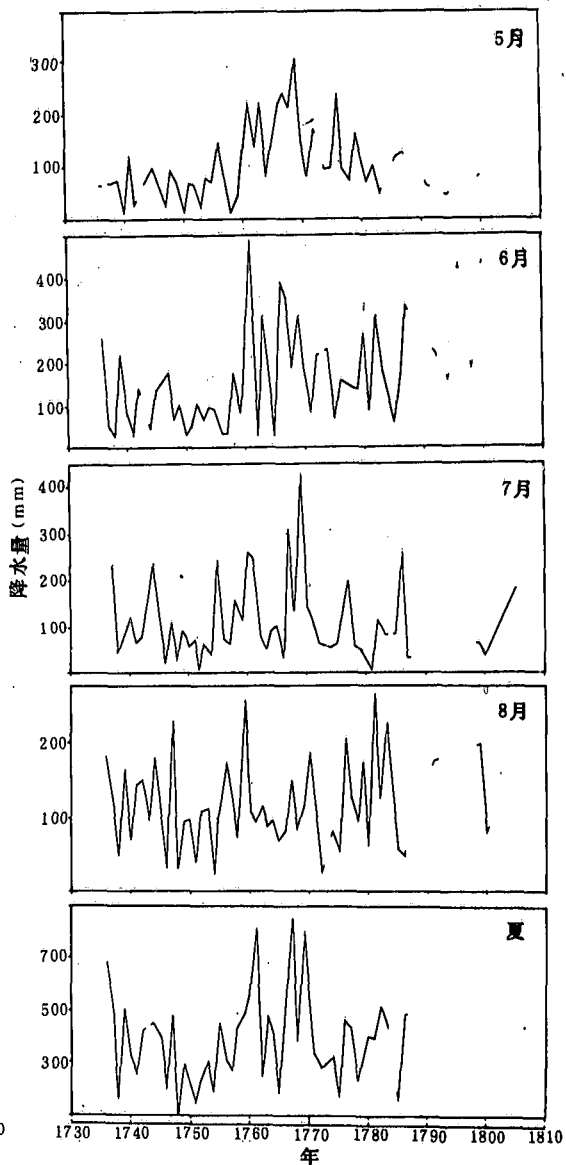


图4 同图3,复原降水量序列,南京(1723—1798)

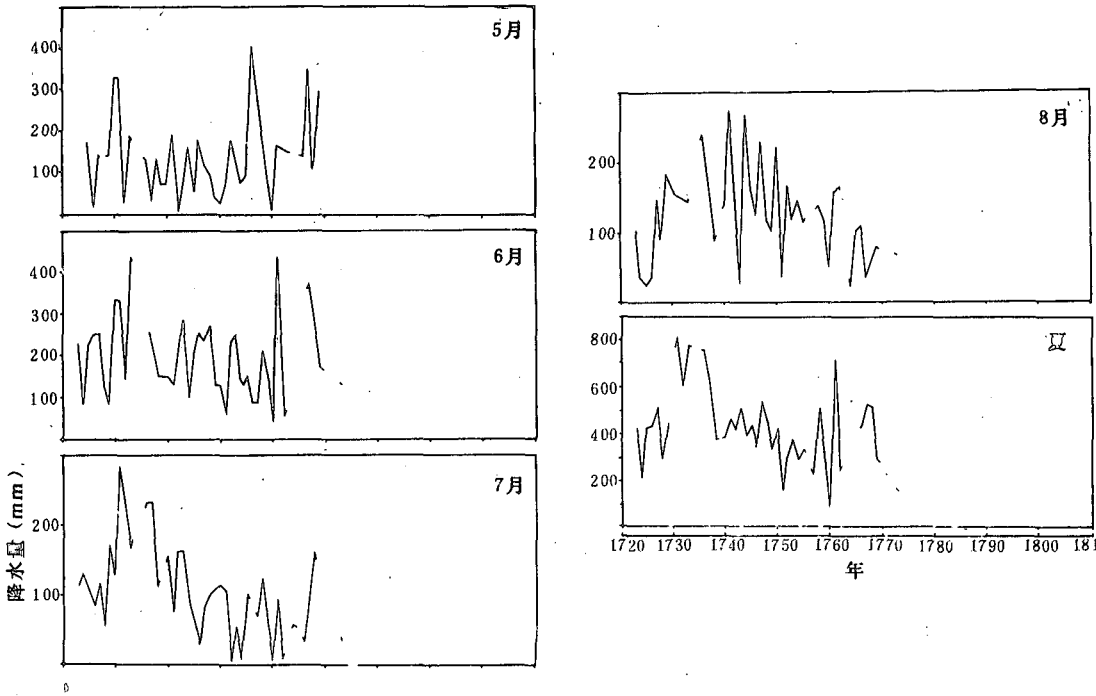


图5 同图3,复原降水量序列,杭州(1723—1773)

### 四、讨论

谨对南京、苏州、杭州三地的18世纪的复原降水量序列,讨论其可信程度。

#### 1. 现代雨量资料年限对回归结果的影响

首先检验所用资料的年代先后不同的影响。以南京为例,将南京雨量资料划分成A、B两个先后不同的30年时段,即A:1905—1934,B:1951—1980,而将1905—1980的时段称为C。分别统计A段、B段逐年各月份各类降水日数、总雨日数、总雨量按前述方法得到回归方程组A和B(方程组略)。然后将南京现代各类雨日数1905—1980年共71年资料代入A、B两回归方程组时得到A'、B'两组各月的拟合雨量序列。这两组长度为71年的序列的均值 $\bar{R}_{A'}$ 、 $\bar{R}_{B'}$ 和方差 $S_{A'}$ 、 $S_{B'}$ 以及这两组雨量序列的相关系数 $r_{A'B'}$ 示于表3。

表3 由回归方程 A 和 B 得到的南京雨量拟合结果对比(1905—1980)

	5月	6月	7月	8月	夏(6—8月)
$\bar{R}_{A'}$ (mm)	92.3	152.4	187.9	104.5	442.7
$\bar{R}_{B'}$	93.5	154.2	165.8	117.8	432.4
$S_{A'}$	45.0	101.2	116.0	57.8	168.1
$S_{B'}$	50.8	68.4	113.6	74.4	145.5
$r_{A'B'}$	0.984	0.936	0.928	0.973	0.967

表4 由回归方程组 A 和 B 得到的晴雨录资料复原结果对比(1723—1798)

	5月	6月	7月	8月	夏(6—8月)
$\bar{R}_{AQ}$ (mm)	71.1	109.6	151.6	99.9	368.8
$\bar{R}_{BQ}$	66.6	116.8	141.3	114.7	373.4
$S_{AQ}$	53.5	114.7	130.5	62.6	224.2
$S_{BQ}$	56.3	80.2	134.3	87.9	206.9
$r_Q$	0.985	0.932	0.927	0.975	0.973

表5 回归方程组 C、A、B 的各种复原序列之间的相关系数

	5月	6月	7月	8月	夏(6—8月)
$r_{AC}$	0.998	0.981	0.973	0.995	0.980
$r_{BC}$	0.993	0.984	0.986	0.973	0.984
$r_{ACQ}$	0.999	0.979	0.969	0.991	0.976
$r_{BCQ}$	0.992	0.984	0.989	0.966	0.989



将南京晴雨录资料历年各月雨日总数和各级雨日数序列  $QY_6$  代入方程组  $A, B$  所得到的复原降水量序列的均值  $\bar{R}_{AQ}, \bar{R}_{BQ}$ , 方差  $s_{AQ}, s_{BQ}$  和两复原序列的相关系数  $r_{AB}$  如表4所示。由上可见各种复原结果彼此相近, 其相关系数为0.93—0.99, 其置信水平在0.001以上。

其次检验建立回归方程时所依据的现代资料的年限长度不同是否带来明显影响。以南京为例计算前述的回归方程组  $C$  (由71年资料建立, 略) 所复原的雨日序列  $C$  和由方程组  $A, B$  (各由前后30年资料建立, 略) 所复原的雨日序列  $A, B$  之间的相关系数  $r_{AC}, r_{BC}$ 。同时也算得由方程组  $C, A, B$  所复原的南京晴雨录降水量序列  $CQ$  和  $AQ, BQ$  之间的相关系数  $r_{ACQ}, r_{BCQ}$  列于表5。可见各相关系数皆在0.97以上, 置信水平在0.001以上。

由此可认为, 尽管在复原南京等三地18世纪降水量序列时使用了年代先后不同、年限长度不等的现代实测资料来建立多元回归方程, 但这并没有对复原结果带来明显的影响。

### 2. 与五百年旱涝等级值的对比

目前堪与上述三地的18世纪的夏季降水量序列相对比的唯一气候资料是中国近五百年旱涝等级序列<sup>[6]</sup>。该旱涝等级序列是以地方志的气候记载为主要依据, 采用与本文完全不同的推算方法得到的<sup>[7]</sup>, 故可认为这是两套各自独立的资料体系。五百年旱涝等级序列

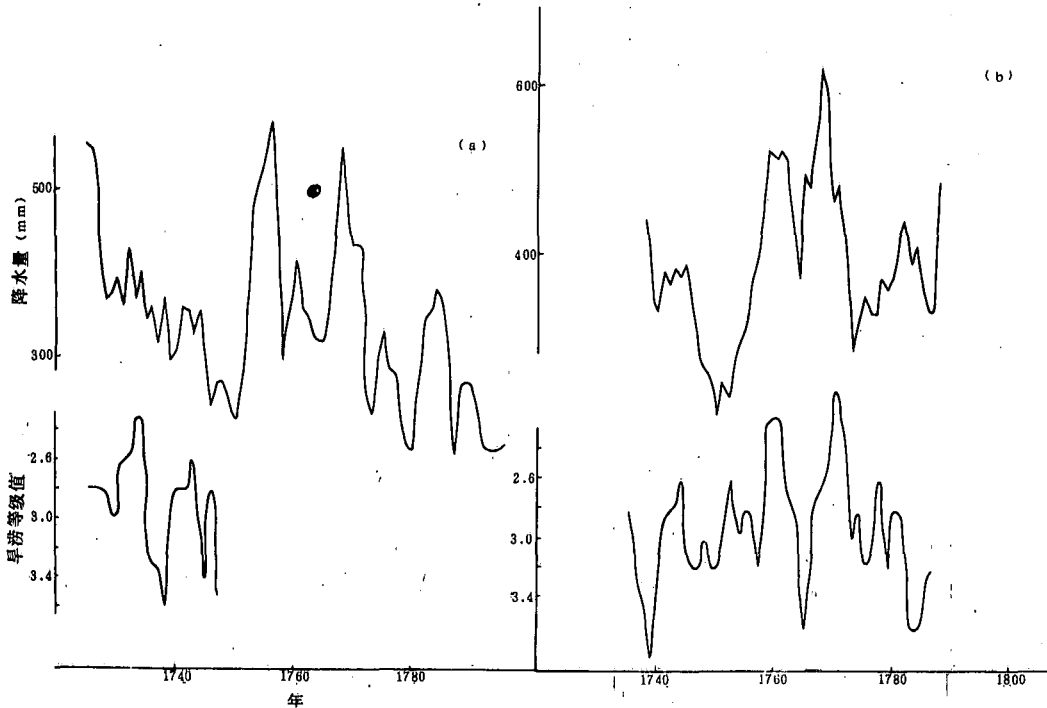


图6 复原的夏季雨量序列(上)与五百年旱涝等级序列(下)的5年滑动平均值对比(a)南京 (b)苏州

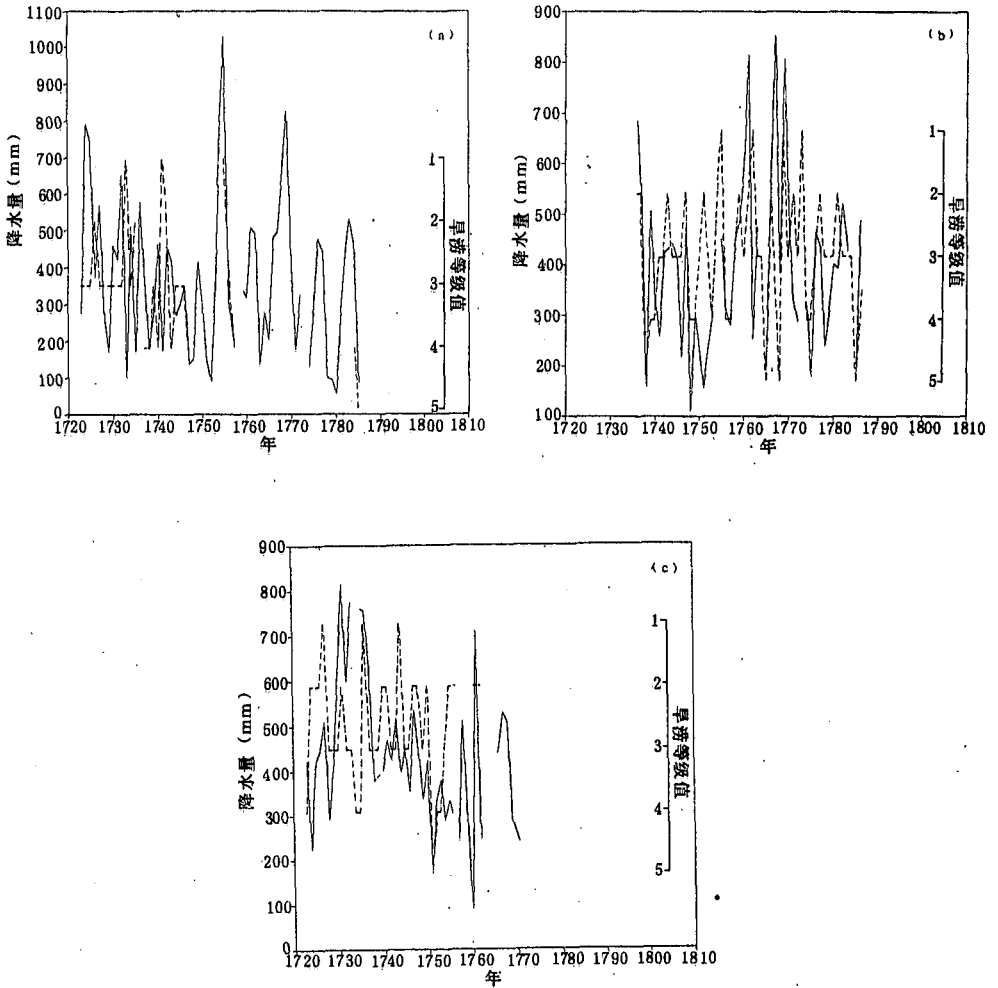


图7 复原的夏季雨量序列(实线)与五百年旱涝等级序列(虚线)逐年对比(a)南京 (b)苏州 (c)杭州  
反映年度的或主要降水季节(5—9月)的总雨量距平,以5个等级表示。

图6显示南京、苏州复原的夏季雨量序列与同期旱涝等级序列的滑动平均曲线对比,可见二者趋势一致:苏州6—8月雨量的4处峰、谷都与旱涝等级曲线的相对应;南京的旱涝等级序列在1748年后一度缺失,但在可比较的年份间二者雨量减少的总趋势及1738、1748年前后两个雨量低值等特点;二者都一致。

图7显示了二序列的逐年值对比。这两种序列的含义并不全同。旱涝等级序列表示的雨量尚包含有6—8月以外月份的,所以二者间若有1个等级值的出入当视为允许的。照这样看二曲线基本呈一致。二者明显不一致者有6例,它们是:a. 苏州1751年,b. 苏州1762年,c. 南京1741年,d. 南京1733年,e. 杭州1724年,f. 杭州1762年。细察评定旱涝等级的史料依据和逐日的晴雨录资料,可见这6例中二者不一致的原因是:(1)春季多雨,但这却被算在夏季雨量之外如e;(2)当年旱涝史料缺记,其等级值是参考邻近地区记录内插评定的如

a; (3) 旱涝并存的年份, 在判断旱和涝何者影响为重时有误, 偏重了水灾记述如 c、d; (4) 对一次大风雨造成的水灾的雨量估计偏高致误如 b、f。

由这些对比分析我们认为: 本文所完成的南京、苏州、杭州等三地夏季降水量序列与五百年旱涝等级资料中<sup>[7]</sup>的同期部份都反映出一致的长期雨量变化趋势。但旱涝等级资料的评定原则比较粗疏, 相比之下由晴雨录资料换算成降水量的方法则更为客观和定量化。因此晴雨录资料及其换算的雨量序列可用于订正五百年旱涝等级资料, 更可用于补充这等级值序列的缺略部份。再则, 旱涝等级值毕竟只表达了年度的降水量的距平等级, 晴雨录资料的分析、复原研究给出月、季的降水量值, 对历史气候状况作了更细致可信的揭示。

### 参 考 文 献

- [1] Wang Pao K., Zhang De'er, An introduction to some historical governmental weather records of China, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 69, No. 7, 753—758, 1988.
- [2] 中央气象局研究所, 北京250年降水, 1976年。
- [3] 冯丽文, 北京1724—1979生长季干旱特征及其多年变化, *地理学报*, 37, 2, 194—250, 1982。
- [4] 冯丽文, 北京255年雨季变化, *气象学报*, 33, 4, 342—350, 1980。
- [5] 张德二、刘传志, 北京1724—1903夏季月温度序列的重建, *科学通报*, 31, 8, 597—599, 1986。
- [6] 中央气象局气象科学研究院等, 中国近500年旱涝分布图集, 地图出版社, 1982年。
- [7] 张德二, 重建历史气候序列的方法及其可靠性, *气象科学技术集刊*(4), 17—26, 气象出版社, 1983年。

## RECONSTRUCTION OF THE 18TH CENTURY SUMMER MONTHLY PRECIPITATION SERIES OF NANJING, SUZHOU AND HANGZHOU USING "CLEAR AND RAIN RECORDS" OF QING DYNASTY

Zhang De'er

(Academy of Meteorological Science, SMA)

Pao K. Wang

(Department of Meteorology, University of Wisconsin)

### Abstract

In this paper the Qing weather records "Clear and Rain Records" were used to reconstruct the 18th century summer (June-August) precipitation and monthly precipitation series of May-August for Nanjing, Suzhou, and Hangzhou. The nature of these records and the technique of transforming them into numerical codes are described. The procedure of converting these descriptive records into quantitative monthly precipitation and its scientific basis are given in detail. The reliability of the precipitation series obtained is also examined.