

1470年以来我国华东四季与年 平均气温变化的研究*

王绍武 王日昇

(北京大学地球物理系)

提 要

本文根据历史记载恢复了1470年以来我国华东(长江中下游地区)春、夏、秋、冬四季的10年平均气温距平。首先利用近35年(1951-1985)年气温观测对不同强度寒冷事件的气温距平做出估计,然后按事件发生频率定出五百年来每10年寒冷指数,最后转换为对近百年平均气温的偏差。结果表明,过去五百年中,前四百年比近一百年显著偏冷,各季百年平均气温均为负距平,变化于 -0.1°C 到 -0.7°C 之间,10年平均气温虽有正距平,但负距平占绝对优势,达到 -1.0°C 的10年以冬、春为最多,最大负距平(-2.0°C 左右)出现在冬季,个别10年(如1650's及1840's)年平均气温距平亦达到 -1.0°C 。分析表明,在小冰河期不但气温平均值下降,气温变化幅度(方差)也增加,春、秋两季最为明显。

一、引 言

自1850年至今,全球气温估计上升了 0.5°C ,1980's无疑已成为有观测记录以来最暖的10年。不少作者认为这是 CO_2 增加,形成温室效应的结果^[1]。为了进一步证实这个结论,同时也为了更准确地估计增暖的幅度,需要了解1850年以前的温度情况。据信1550—1850年间北半球出现了寒冷的小冰河期,而现代气候变暖就发生在小冰河期之后^[2]。因此确定小冰河期寒冷程度必将有助于决定现代变暖的幅度。况且小冰河期本身的研究,对认识气候变化规律,探讨气候变化原因也是非常重要的。但可惜,除欧洲个别站外,一般气温观测序列均只有一百多年,我国则更缺乏。因此,研究小冰河期气候不得不采用各种代用资料,如树木年轮、冰芯、史料等,幸好我国有丰富的史料,可以用来研究历史时期的温度变化。竺可桢(1973)^[3]根据河湖结冰及降雪落霜记载推测公元15世纪到19世纪中叶为近五千年来第四个寒冷期,估计气温比目前低 1°C 左右。张家诚等(1976)^[4]进一步确定近五百年中有四次冷期。即1470—1520,1620—1720,1840—1890及1945年以后。根据文献[4]61页上的附图冷期气温距平,在前三次均超过了 -1°C ,这些工作使我们对历史时期的气候变化有了一个概括的认识。但是有两个重要问题未解决:一是时间尺度不确定,上述两项工作均未指出所给曲线是表示100年平均,30年平均或10年平均,但是,时间尺度不同,显然气候变化的幅度也不同,因此曲线有不确定性;另一个问题是未指出季节,由于所用史料大部份是冬季、或至多是冬半年的记载,所以很难说能代表全年。后来张德二与朱淑兰(1981)^[5]以10年为单位,对我国8个区的冬季温度进

* 本文于1989年6月14日收到,1989年9月25日收到修改稿。

行了研究,指出 1520—1540 年之前为冷期,1610—1730 年,1780—1900 年,1950 年之后为冷期,19 世纪中最低气温距平可能达到 -1.5°C 。这项工作的优点是固定了时间尺度(以10年为单位),但对史料的分析仍仅限于冬季一个季节。

作者近年来致力于根据史料,恢复四季的温度,已经完成了夏季及冬季的研究^[6]。取10年为研究的时间单位,并根据近代观测,对史料进行了定量的估计,例如对河湖封冻与大雪给予不同权重。但是,在恢复夏季气温时过多地依靠了旱涝史料。虽然,夏季气温与降水有很高的负相关,这终究是间接资料。另外,在恢复冬季气温时未考虑极暖的情况。这虽然对估算寒冷时期气温影响不大,但对比较温暖的10年,就会有一定偏差了。因此,本文对上述两方面均做了改进,并根据尚未发表的霜与气温的研究,以及其它史料恢复了春、秋两季的气温。同时为了统一,四季采用相同的分析方法。下面就是初步结果。

二、资料与分析方法

历史文献中有关温度的记载要比降水少得多,所以不可能象五百年旱涝图那样逐年绘出旱涝分布。但气温的空间一致性比较好,因此有可能对较大区域进行综合分析,这样就可以在一定程度上弥补资料稀少的缺陷。经过研究我们选取以长江中下游为主的安徽、江苏、浙江、江西及上海5省市为研究范围(称为华东地区),个别情况下参考了福建北部的资料。这个区域是根据史料比较丰富,气温变化又比较一致这两点确定的。图1为上海(在图中用黑点表示)春(3月—5月)、夏(6月—8月)、秋(9月—11月)及冬(12月—2月)四季平均气温,与同期全国100个站气温的相关分布。图中斜线区及方格区分别为达到0.05及0.001信度的区。可见除夏季达到信度的区主要限于长江中下游外,其余三个季节均与我国 100°E 以东的广大地区有显著相关。用长江中下游其它站求相关,也得到类似结果。EOF分析(图略)也证明,第1特征向量经常反映,我国东部地区气温变化一致。以上分析并不意味着我们就可以用这一个地区代表全国,而只是说明它有相当的代表性。实际上,对我国华北、西北地区等地还要进行独立分析。这方面的工作正在进行。

研究的地理范围大致确定下来,我们想谈一谈史料的性质,史料上有什么记载反映了温度变化呢?主要是大雪、木冰、河湖冻结、严霜、海冻,甚至夏季也有寒如冬,穿棉的记载。这些都是说明气候寒冷的迹象。但是关于暖的记载就很少,例如霜冻就只有初霜提前或终霜推迟的记录,初霜迟、终霜早就没有记载。此外只偶尔有冬煖、夏酷热的说明。例如一本华东地区的史料^[7],约一千页,2万余条,关于暖的记载仅有一百余条,而且其中大部分为桃杏冬华,秋再华或冬无雪,只有极少数直接指出气候偏暖。因此,我们不能象对旱涝史料一样对气温也划分为5级,然后逐年划定级别,因为除了大约占总年数三分之一左右的年有寒冷记载外,不仅有正常年,也可能包括了不少偏暖年。但我们无法判断什么年是正常,什么年偏暖。这就是说,我们基本上只了解气候信息样本中偏冷的一方,而且只是偏冷一方面的较强寒冷的情况。不过是不是可以仅仅利用这些较强的寒冷情况来推断整个样本的特征呢?我们用上海站气温做了实验。

利用1873—1972年100年气温观测资料,求四季100年平均,然后各季分别求距平,再求10年平均距平。凡每年某季距平达到 -0.5°C 的算做一次寒冷事件,事件按一定强

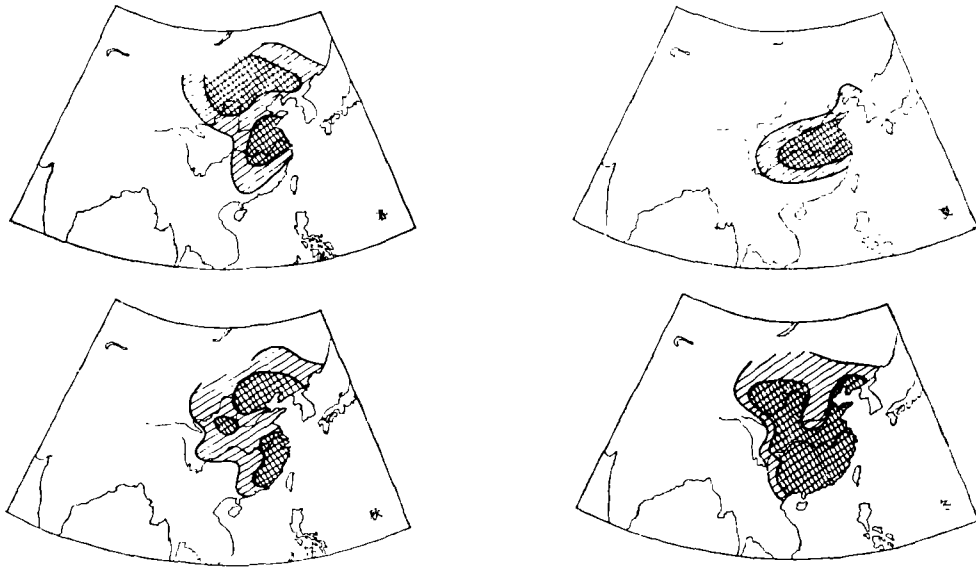


图 1 上海四季气温与全国 100 个站气温相关
(斜线区及方格区为相关达到 0.05 及 0.001 的区)

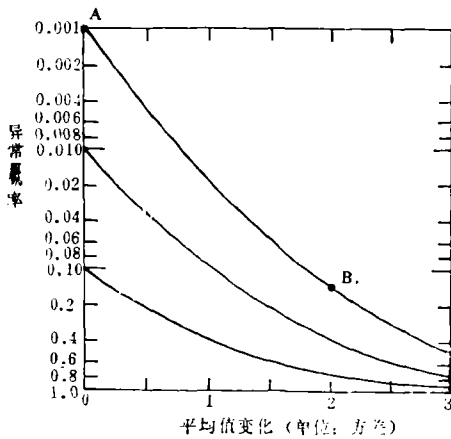


图 2 气候异常概率与气候平均值变化的关系^[8]

表 1 1873—1972 年上海不同寒冷事件出现频率

季节	方差 σ_r ($^{\circ}\text{C}$)	寒冷指数		
		-0.5	-1.0	-2.0
春	0.681	0.150 (0.160)	0.090 (0.070)	0 (0.002)
夏	0.702	0.150 (0.161)	0.100 (0.075)	0 (0.002)
秋	0.768	0.200 (0.162)	0.080 (0.091)	0.010 (0.005)
冬	0.970	0.130 (0.152)	0.100 (0.131)	0.040 (0.020)

度折合为寒冷指数,气温距平为 -0.5 — -0.9°C , -1.0 — -1.9°C 及 $\leq -2.0^{\circ}\text{C}$ 的寒冷事件、寒冷指数分别为 -0.5 , -1.0 及 -2.0 。这样做是为了模拟史料的情况,因为对历史时期我们至多只能定出某个季的寒冷指数,而不可能给出气温距平。下一步,再计算每 10 年之内的寒冷指数,并利用回归分析计算不同强度寒冷事件频率与 10 年平均气温的回归系数。结果表明,寒冷指数为 -0.5 、 -1.0 及 -2.0 的一次事件相当使 10 年平均气温下降 -0.1°C , -0.2°C 及 -0.4°C 。用寒冷指数可以很好地拟合 10 年平均气温变化,但是也发现对最暖的 10 年气温距平拟合不好。因此,又增加了极暖事件。凡季气温距平在 1.5°C 左右的,定为一次极暖事件,寒冷指数为 $+1.5$ 。加了这项订正以后,四季的拟合情况均比较理想。

为了说明以上分析方法的可靠性,我们可以从另一个角度来论证。Wigley(1988)^[8]近来研究了由于气候变化(即气候平均值改变)、个别气候异常事件出现机率的变化。为此引用图 2,图中横座标为气候变化(以方差来度量),纵座标为气候异常的概率,例如,一个没有气候变化(平均值变化为 0)时概率为 0.001 的事件(图 2 中左上角的 A),当气候平均值变化大小达到两个方差时(横座标为 2),概率增加到 0.14(图 2 中 B 点)。下面用上海为例说明图 2 得到的结果与我们的统计结果是一致的。表 1 给出四季不同寒冷事件出现频率,括弧中为按正态分布表^[9]计算的概率,两者基本一致。如果气温平均值下降 0.5°C,在冬季约下降 0.5 个方差。按图 2 原概率为 0.15,0.13 及 0.02 的事件概率分别增加为 0.30, 0.25 及 0.06 即 10 年寒冷指数下降 2.8。

$$10 \times [(0.30 - 0.15) \times (-0.5) + (0.25 - 0.13) \times (-1.0) + (0.06 - 0.02) \times (-2.0)] = -2.8$$

按每个寒冷指数 -1.0 相当 10 年平均气温下降 0.2°C,应比原来下降 0.56°C。按寒冷事件概率变化用统计关系推算结果与原假设(气温下降 0.5°C)十分接近。

由此,可以得到结论,如果我们能确定历史时期的寒冷事件,并定出寒冷指数,则能够用以恢复出 10 年平均气温距平序列。

三、寒冷指数

如何确定历史时期的寒冷指数,是本工作中最关键的一步。因为史料中只有定性的物候现象或气象现象记载,要判断什么现象相当于季气温距平有多大是很困难的。但也并不是毫无规律可寻,下面我们就分季来讨论。

冬季:以大雪及河湖结冰记录最多。与近代观测比较,1954—1955年冬长江中下游大部地区连续 10—15 天出现大雪与冻雨,一般积雪 $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$ m,最深达 1 m。除长江干流外,其

表 2 寒冷指数定义

寒冷指数	春	夏	秋	冬
-0.5	雪, 陨霜	淫雨, 飞雪	淫雨, 雪, 陨霜	大雪, 木冰
-1.0	陨霜杀禾, 大雪, 木冰	陨霜, 木冰, 雪, 大涝	陨霜杀禾, 大雪, 木冰	冰冻, 井冻, 河湖结冰
-2.0	冰冻, 恒寒, 河湖结冰	严霜, 大寒	河湖结冰, 恒寒	严寒, 海冻, 大河湖结冰

表 3 极冷季节年表

春	夏	秋	冬
1519	1577	1493	1476
1588	1661	1532	1493
1595	1670	1655	1501
1621	1755	1689	1513
1628	1794	1832	1596
1721	1859	1841	1654
1743		1848	1655
1746			1670
1786			1683
1801			1690
			1795
			1841
			1845
			1861
			1877
			1892

表 4 极暖季节年表

春	夏	秋	冬
1474	1526	1732	1497
1618	1592	1759	1522
1639	1671	1768	1544
1872	1692	1855	1612
1919	1714	1925	1695
1928	1738	1945	1703
1941	1934	1946	1786
	1953		1940
			1945
			1978

它江河湖泊均封冻,一般结冰 $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{3}$ m,局部冰厚 $1\frac{1}{3}$ m^[10]。另一个严寒的冬季为1976—1977年。这年渤海结冰较厚、山东的威海港结冰5km多,最厚冰层 $\frac{2}{3}$ m,太湖、洞庭湖也出现冰冻达数天之久。长江流域及江南多次出现降雪和冰凌,杭州1月就降雪3次,积雪24天。这两个冬季平均气温比近30年平均至少低2°C左右。1968—1969年冬也比较冷,渤海封冻,黄河出现两次封冻解冻,造成严重凌汛,东部广大地区出现冻雨,但寒冷程度低于前两个例子,一般气温距平在-1.0°C左右。所以,我们把只有大雪的事件定为-0.5,有结冰情况定为-1.0,大河湖结冰定为-2.0。(表2)

夏季:季平均气温与旱涝有很高的相关,特别在涝时,一般气温均较低,如1954年长江流域大涝,大范围气温距平在-1.0°C以下,一般多雨,如1969年,1970年,季气温距平多在-0.3°C—-0.5°C之间,七月¹⁾严霜(即阳历8月),表明初霜可能提前两个月,这时气温可能低于平均2°C左右,所以我们把一般淫雨定为-0.5,大涝-1.0,严霜为-2.0(表2),其余特征依此类推。

春、秋季,这两个季节情况相似,所以一起讨论。据作者研究,终霜推迟10天,春季平均气温一般低0.4°C,而初霜提前10天,秋季平均气温约低0.3°C。例如长江流域在1957年,1965年及1976年终霜推迟10天以上,这几年春季气温距平均在-0.5°C左右。终霜迟20天以上的1970年及1980年,春季气温距平均达到-1.0°C。又如1956年、1976年初霜普遍提前10—20天,这两年秋季气温距平亦达到-1.0°C。一般初霜提前20天以上,终霜推迟20天以上均能造成作物受害,因此,把陨霜杀禾(或初、终霜日提前、推迟20—30天)的寒冷指数定为-1.0。其余情况可以类推,不再一一说明,概略定义可见表2。

但是,查阅史料常可发现一些过去记载的现象是近30年或甚至本世纪以来从未见到的。例如夏季穿棉,冬季河湖结冰、可行车马,我们深信这些事件的寒冷指数必然低于-2.0,故把各季有明确而突出的记载,为近代所少见或未见的,特别有记载说明该季至少有两个月为严寒的事件,寒冷指数定为-3.0,下面每季各举一例。

冬季:1670—1671年,淮河封冻3个月、车马行冰上、奇寒、冻及井泉、树木尽萎、大雪数十日、路无行人。

秋季:1493年,大雪自九月至次年春三月乃止、积雪深丈余、阴雾四塞、村落莫辨、河冰坚合、禽鸟绝飞。

夏季:1661年,五月大雨雪、初六陨霜如雪,六月初四寒甚、霜降杀蔬,七月初六极寒,有霜雪。

春季:1628年,二月雨雪大寒、河鱼冻死,三月霜杀禾。

按类似标准春、夏、秋、冬四季共定出10,6,7及16次寒冷指数为-3.0的事件,具体年代见表3,表中冬季1476指1476—1477年冬。

另外,如上所述,为了拟合那些较暖的10年的气温,还要考虑极暖的情况,我们姑且称之为极暖事件,寒冷指数为+1.5。在确定极暖事件时,我们基本没有考虑只有桃再华之类记载的年,因为这虽然反映气候较暖,但不一定达到极暖(气温季距平+1.5°C)的

1) 以下汉字数字月份均为阴历,阿拉伯数字月份为阳历。

标准。作者之一于 1976 年 10 月在山西亲自见到桃再华,但这年 9 月 10 两个月气温级别均为 2 级,偏暖而已,同时也基本没有考虑冬无雪的记载,下面举几个我们定为极暖的例子。

冬季: 1522—1523年, 冬暖如春。

秋季: 1759年, 八月槁有蟹, 虫食禾根。

夏季: 1671年, 酷热, 草木枯槁, 五月至七月不雨。

春季: 1872年, 三月朔热如暑。

表 4 给出极暖的年表,春、夏、秋、冬四季各有 7,8,7,10 次, 共计 32 次, 其中 11 次出现在 20 世纪。

依照上述标准,我们就可以根据史料定出每个 10 年四季的寒冷指数。下面问题就是如何转换为气温距平了。

四、近百年气温距平序列

为了研究气候变化,需要有一个标准(normal), 近来不少作者均用 1951—1980 年的平均来代替多年平均。我们的一个主要目的是研究小冰河期与本世纪的气候变化, 所以取 1880—1979 年 100 年平均为标准, 以下谈到距平, 均指对此 100 年平均的偏差。

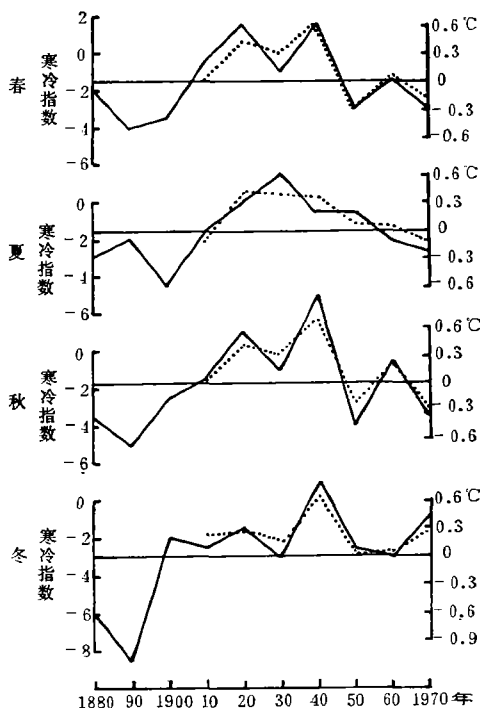


图 3 近百年气温距平

(实线, 由寒冷指数计算; 虚线, 由气温级别计算)

已经根据史料定出了寒冷指数, 所以这样就得到了 1880's, 1890's, …… , 1970's 10 个 10 年的寒冷指数, 并且求出各季 10 年寒冷指数的平均值。今后就把这用做标准。此后每个 10

寒冷指数只给出寒冷程度, 所以要求气温距平, 首先就要建立近百年寒冷指数序列。可惜中国气温观测残缺不全, 目前最完整的还是国家气象局的气温等级序列^[11], 而且这个序列包括长江中下游的季平均等级。该序列利用上海、南京、汉口、宜昌、长沙、芷江、温州等 7 个站来求平均, 覆盖面积与我们的研究范围大体一致, 所以我们用以算出 1910's, 1920's, …… , 1970's 7 个 10 年的季平均等级, 为了再转换为气温距平, 把春、夏、秋、冬四季的等级, 按级差所对应的温度差 (1.0°C, 0.8°C, 0.9°C 及 1.2°C) 转换为温度, 再对这 70 年平均求偏差, 但这 70 年偏暖, 我们还要再订正为对近百年平均的偏差。

为了定出寒冷指数, 把季平均级别序列中高出平均级别 0.5 (级别愈高愈冷) 及 1.0 级的定为寒冷指数 -0.5 及 -1.0, 把高出平均级别 1.2—1.5 的定为寒冷指数 -2.0。这样定出的寒冷指数与从温度级别算出来的气温距平非常一致。由于 1880 年到 1909 年已经

年只要减去相应季的标准值,再乘以 0.2 就得到该 10 年气温距平(对 1880—1970 年平均的偏差),图 3 给出由寒冷指数计算的气温距平(实线),及由气温级别得到的气温距平(虚线,并且已订正到对近百年平均偏差)。可见两者是很一致的,下面为了统一,只应用寒冷指数序列,不过需要记住,1470's,1480's,……,1900's 是用史料划定的,1910's 至 1920's……1970's 是根据气温等级得到的。

五、1470₄年以来气温距平序列

如第三节所述,已经得到了 1470 年以来每 10 年的寒冷指数,减去第四节中提到的 1880—1979 年平均值,就得到寒冷指数距平,乘以 0.2 就得到气温距平。图 4 自上而下,给出四季气温距平序列,图中左侧纵座标为寒冷指数,右侧纵座标为气温距平。由于篇幅限制,本文不想对气温变化做全面的分析,只想指出几个最基本的特点:

(1) 10 年平均气温距平在 -1.0°C 以下的次数以冬季为最多(9 次)春季次之(8 次),夏、秋较少(分别为 3 及 4 次)。

(2) 秋季(1530's 及 1650's)与冬季(1650's 及 1840's)各有两次距平达到 -1.5°C ,

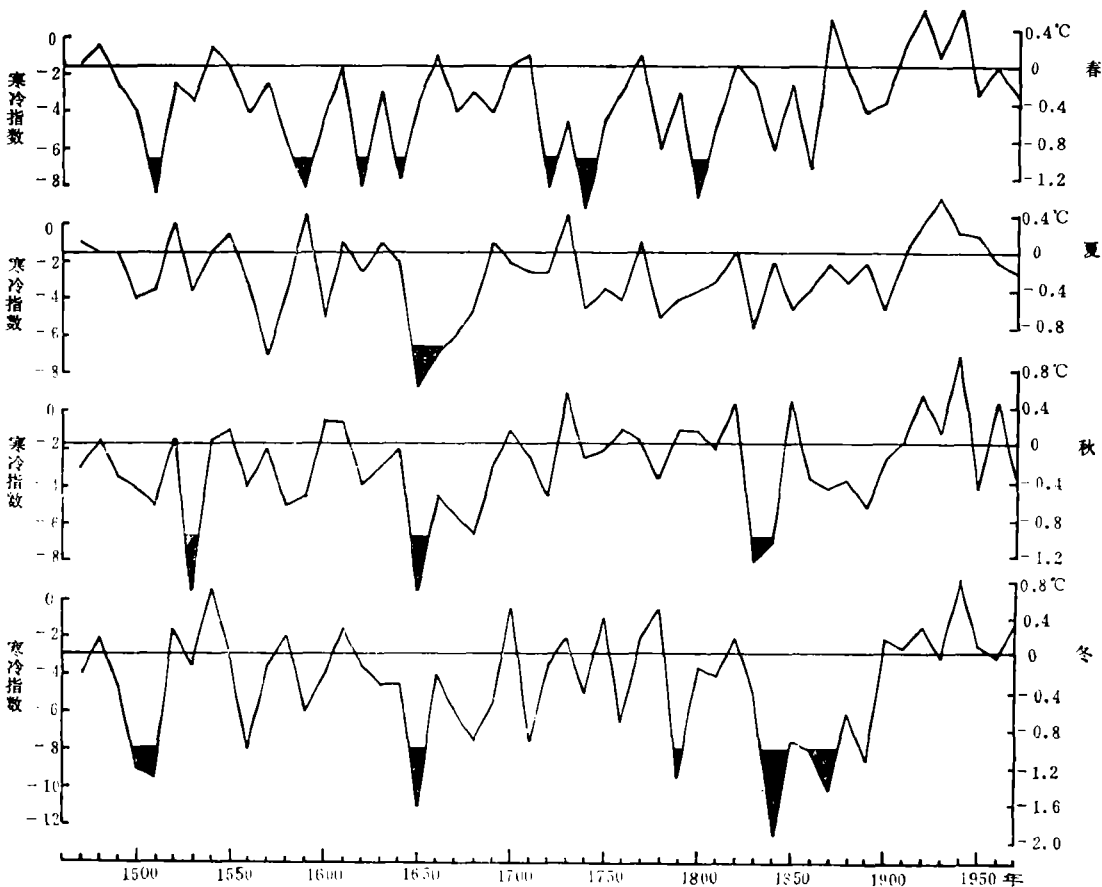


图 4 近 510 年四季 10 年平均气温距平

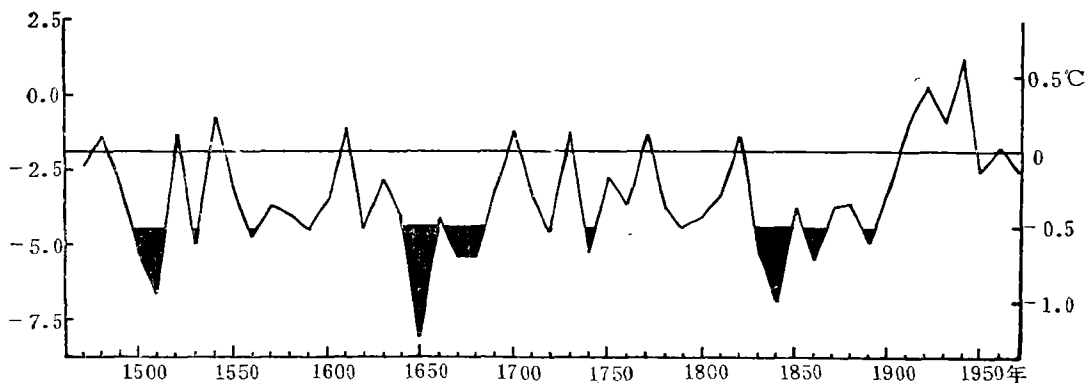


图 5 年平均气温距平序列

1840's 冬且达到 -2.0°C 左右, 春夏两季 10 年平均气温距平没有达到 -1.5°C 的。

(3) 本世纪没有达到 -1.0°C 的 10 年。1880—1970 年中仅有 1 次, 而前 400 年各有 6, 7, 2, 8 次。

(4) 在过去的 510 年中, 1940's 气温最高, 秋季最突出, 正距平将近 1.0°C 。但夏季 1930 年最高, 不过距平只有 0.5°C 。1950's 之后气温下降, 一直到 1970's, 仍维持这个水平。

(5) 从年平均来看 (图 5), 17 世纪中及 19 世纪中气温较低。1650's 及 1840's 距平均达到 -1.0°C 。20 世纪气温明显上升, 1940's 正距平在 0.5°C 以上, 20 世纪以前则从未达到这样大正距平。

(6) 如果按世纪取平均, 则 16, 17, 18 及 19 四个世纪与 20 世纪比较, 年平均气温距平分别为 -0.53°C , -0.63°C , -0.42°C 及 -0.63°C , 普遍比 20 世纪偏低 0.5°C 左右。

由此我们可以得到两个比较重要的结论: (1) 自 1470's 到 1890's 气温普遍比 20 世纪偏低, 这证明了小冰河期的存在, 但降温幅度随所取时间尺度及季节而异; (2) 1850 年前后, 在 1880 年以前的 400 年中也是较冷时期, 如果北半球气温变化也有这个特点的话, 则从 1850—1980 估计现代变暖, 可能对增温幅度估计偏高。

六、小冰河期气候的特性

一般讨论气候变化, 多数只注意平均值的改变, 但实际变率 (或者说方差) 也可能有变化, 因为如果只是样本平均值改变, 则相当于概率分布曲线向冷的一方移动, 这时较弱的寒冷事件应明显增加, 但实际气候资料反映, 有时强的寒冷事件反而增加较多, 这表明方差可能增加。不过, 如果仅仅是方差增加, 则极冷事件增加时, 极暖事件也会增加。可是小冰河期的极暖事件是比较少的 (表 4)。因此, 估计小冰河期有平均值的偏移, 也有方差的增加。

为了说明这个问题, 我们做了图 6。图中实线均为 $\bar{T}=0, \sigma_T=1.0^{\circ}\text{C}$ 的概率分布曲线, 横座标为气温距平。平均值向冷方偏移及方差增加对概率分布的影响看得非常明显, 为了与我们的结果对比, 按第二节中讲述的标准, 求出各种寒冷指数的概率差, 列为表 5。

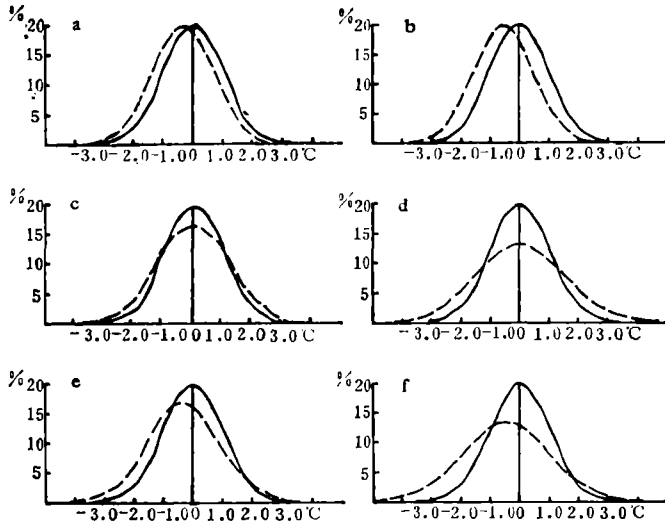


图 6 不同平均值(\bar{T})及方差(σ_T)情况下的概率分布
(实线: $\bar{T}=0^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.0^\circ\text{C}$; 虚线代表如下情况:
a $\bar{T}=-0.3^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.0^\circ\text{C}$;
b $\bar{T}=-0.5^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.0^\circ\text{C}$;
c $\bar{T}=-0.0^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.2^\circ\text{C}$;
d $\bar{T}=-0.0^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.5^\circ\text{C}$;
e $\bar{T}=-0.3^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.2^\circ\text{C}$;
f $\bar{T}=-0.5^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.5^\circ\text{C}$)

表 5 不同类型气候变化时各种寒冷事件概率差

型	\bar{T}	σ_T	-3.0	-2.0	-1.0	-0.5
a	-0.3	1.0	0.3	1.9	6.1	2.9
b	-0.5	1.0	0.5	3.9	10.6	4.1
c	0	1.2	0.5	2.0	1.8	-1.3
d	0	1.5	2.2	4.6	2.7	-3.4
e	-0.3	1.2	1.1	4.3	6.7	0.2
f	-0.5	1.5	4.7	8.9	7.5	-2.0

表 6 小冰河期寒冷事件频率与近百年频率的差

指数	-3.0	-2.0	-1.0	-0.5	型
春	2.5	6.3	0.5	-0.5	f
夏	1.8	3.0	3.3	1.8	a
秋	1.8	2.8	0.8	-0.5	e
冬	2.3	2.0	2.8	7.0	b

即不同均值(\bar{T})与方差(σ_T)情况下与 $\bar{T}=0^\circ\text{C}$, $\sigma_T=1.0^\circ\text{C}$ 时各种寒冷指数的概率差, 共分 6 种类型(a-f)。为了知道实际情况接近那一种类型, 把前 400 年分季求各种寒冷事件频率与近百年频率的差(表 6), 由此来研究小冰河期的气候特点。表 6 的数字表明, 夏、冬两季接近 a, b 两种类型, 即方差无大变化, 但平均气温下降。这样整个样本分布形式不变, 但向冷方偏移。春、秋两季, 则寒冷程度弱的事件(指数 -0.5)频率下降。而寒冷程度强(指数 -2.0, -3.0)频率上升, 接近表 5 中 f 与 e 两种类型, 即不但平均气温降低, 方差也有所增加。以上情况表明在研究小冰河期气温变化时不仅应注意平均值的变化, 也要考虑气温方差的变化。

最后需要说明, 我们用 1470 年—1879 年与 1880 年—1979 年对比, 并把前 400 年做为小冰河期来分析, 只是研究其统计特点。本文并没有详细划分小冰河期的起始、终结以及寒冷期。这些问题以后将另著文讨论。同时这里只分析了华东一个地区。其它地区的研究也正在进行, 结果将另行发表。

参 考 文 献

- [1] 王绍武, 大气中二氧化碳浓度增加对气候的影响, 地理研究, 6, 1, 89—105, 1987。
- [2] 王绍武, 近代气候变化的研究, 纪念科学家竺可桢论文集, 159—182, 科学普及出版社, 1982。
- [3] 竺可桢, 中国五千年来的气候变迁的初步研究, 中国科学, 16, 2, 226—256, 1973。
- [4] 张家诚等, 气候变迁及其原因, 60—61, 科学出版社, 1976。
- [5] 张德二、朱淑兰, 近五百年我国南部冬季温度状况的初步分析, 全国气候变化学术讨论会文集, 64—70, 科学出版社, 1981。

- [6] Wang Risheng and Wang Shaowu, Reconstruction of winter temperature in China for the last 500 years, *Acta Meteorologica Sinica*, 3, 3, 279—289, 1989.
- [7] 上海气象局等, 华东地区近五百年气候历史资料, 1979。
- [8] Wigley, T.M.L., The effect of changing climate on the frequency of absolute extreme events, *Climate Monitor*, 17, 2, 44—55, 1988.
- [9] 么枕生, 气候统计, 239, 科学出版社, 1963。
- [10] 冯佩芝等, 中国主要气象灾害分析, (1951—1980), 气象出版社, 1985。
- [11] 中国气温等级图, (1911—1980年), 气象出版社, 1984。

VARIATIONS OF SEASONAL AND ANNUAL TEMPERATURES DURING 1470—1979 AD IN EASTERN CHINA

Wang Shaowu Wang Risheng

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract

The ten-year anomalies of seasonal temperature were reconstructed on the basis of historical documents of cold events such as severe snowing and freezing of lakes and rivers. Assorted events were calibrated with the modern observations and translated to the temperature anomalies. The reconstructed temperature series show the predominance of cold climate in the first four hundred year of the period investigated. The centenary seasonal temperature anomalies for 16th to 19th century vary between -0.1°C to -0.7°C . The cold decades concentrated in spring and winter seasons. The maximum of temperature anomaly (-2°C) observed in winter of 1840s. The lowest annual anomalies occurred in 1650s and 1840s. The study shows irrefutable arguments of the occurrence of the Little Ice Age in between 1470s and 1890s in China, while the seasonal decade temperature lowered in maximum about 1.5°C to 2.0°C in comparing to the twenty century, and the variance increased to about 1.2°C to 1.5°C .