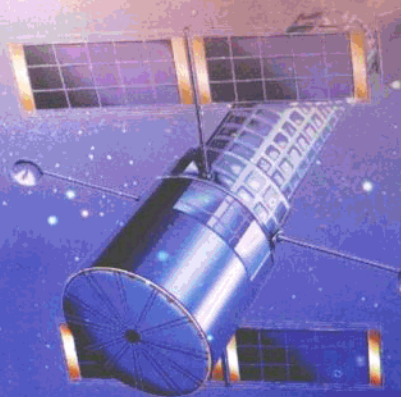


灾害性天气的预测方法

周洪祥 著



57
73
02

气象出版社

前 言

气象灾害的出现对人类带来的危害是众所周知的。它的出现不仅严重影响工农业生产而且给人民生命财产带来了巨大的损失,所以准确预报出灾害性天气出现对经济活动和人民生活关系极大,及时提供准确的预报可以大大减少自然灾害对经济生活造成的损失。目前世界三大气象灾害的洪水、台风、干旱上升趋势显著,世界各国对此十分关注。

但是,目前国内外对灾害性天气预报准确率不高,尤其是重大的灾害性天气。例如我国 1991 年的江淮间的特大洪水、1995 年的长江中下游的大水和 1994 年的长江三角洲的夏天高温大旱都没有事先预报出来。类似的例子还可以举出很多。为什么对重大的灾害性天气预报准确率不高呢?因为重大的灾害性天气是小概率事件,而常规统计方法对小概率事件基本上是无预报能力的,所以小概率事件的灾害性天气一直是天气预报上的难点,尤其是长期预报。

为什么常规统计方法对小概率灾害性天气无具有预报能力呢?关键在于不知道复杂系统的应变量与变量之间的复杂关系。因而所建立的统计预报模型自然不能描述这些关系或者说不满足这些关系。

我们的建模者都知道常规统计方法难以预报小概率事件的灾害性天气,但是对小概率事件的产生,它与预报因子之间的关系如何?注注并不十分了解。所以,我们所建立函

· 2 · 灾害性天气的预测方法

数关系都是带有猜测性的,实际上根本无法作预测预报的。如果把小概率事件产生的原因分析清楚了,解决预报小概率事件的难点也就迎刃而解了。

本书的重点是阐述了小概率事件出现的原因,为什么会产生小概率事件,然后针对小概率事件的特点,提出解决小概率事件预报的途径及相应的预报模型,尤其是提出了与常规统计方法不同的寻找因子的组合分析方法。这些内容在有关预测预报方面的书籍中几乎没有涉及到的。是作者近年来的独立研究成果。

本书旨在为解决小概率事件的灾害性天气预报提供一种有效的途径,也是为其他的灾变预测(如地震预报)提供一个有效的解决方法。

本书得到我的同事程春泉研究员和浙江省气象局祝后桓研究员,浙江省气象台钮学新研究员,浙江省气象科学研究所金一鸣研究员及杭州大学地理系姚棣荣教授等同志的帮助和指教。特别是,本人在此研究过程中得到当时刘锡荣副省长和省科委领导的重视和支持。

气象上的小概率事件预报,仍然是一个难题,望本书能对这方面的研究和应用起到抛砖引玉的作用。错误和不足之处,敬请读者指正。

作 者

2001年4月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 为什么会产生突变现象的小概率事件.....	(3)
§ 1.2 大气环流的不稳定性.....	(6)
第二章 气象要素变化突变的普遍性	(8)
§ 2.1 夏天异常高温.....	(8)
§ 2.2 年积温的异常状态.....	(11)
§ 2.3 夏天凉夏.....	(15)
§ 2.4 9 月份的低温	(19)
§ 2.5 洪涝灾害.....	(23)
§ 2.6 东海台风数.....	(30)
§ 2.7 浙江省的登陆台风.....	(34)
§ 2.8 冬天的寒冬.....	(39)
第三章 因子组合分析方法	(44)
§ 3.1 因子组合分析方法.....	(47)
§ 3.2 寻找影响夏天异常高温因子.....	(60)
§ 3.3 寻找影响夏天凉夏因子.....	(65)
§ 3.4 寻找影响冬天寒冬的因子.....	(70)
§ 3.5 寻找影响长江大水因子.....	(82)
第四章 预报模型	(86)
§ 4.1 常规统计方法存在的问题.....	(86)
§ 4.2 拟合率高不等于找到了预报量与因子的关系.....	(98)
§ 4.3 浙北夏天异常高温的预报方法	(103)
§ 4.4 夏天凉夏预报方法	(111)

2 灾害性天气的预测方法

§ 4.5 浙北地区汛期降水量的长期预报方法	(117)
§ 4.6 长江中下游汛期降水量长期预报方法	(133)
§ 4.7 东海台风数及浙江沿海登陆台风的预测	(144)
§ 4.8 冬天寒冬预测	(155)
§ 4.9 晚稻稻瘟病预报	(161)
§ 4.10 长江大水预报	(168)
附录 1 长期预测——1994 年夏天可能出现高温	(171)
附录 2 年积温及其正增量与翌年梅汛期大涝的统计关系	(173)
附录 3 1999 年长江中下游可能再次出现大水	(175)
结束语	(177)
参考文献	

第一章 绪 论

在自然界中,不仅存在缓慢的渐变现象,而且非连续的突变现象也处处存在,从大系统的大气海洋到微系统的动植物,无不存在突变现象。如地震的突然发生,火山爆发,风暴的发生,电阻的突然消失(超导),基因的突变导致生物进化等。

在气候变化过程中,气象要素的变化既有缓慢的渐变,也有跳跃性的突变。如有的年份年积温出现异高(或低)的状态;有的年份夏天气温很高,热得出格;有的年份夏天出现凉夏,要热的天不热;有些年份冬天是寒冬;有的年份冬天是暖冬;有的年份汛期降水量很少,出现大旱;有的年份汛期降水量极多出现大涝,而且在同一年中,有的月份的温度或降水量和历史上同期相比出现明显的偏高或偏多或者明显的偏低或偏少等等。这些气象上的异常现象有一个共同的特点,就是它们远离平均状态很远,是异常状态。

这种异常状态实质上是突变现象,它的出现往往给人类带来灾害,所以,在气象上称为灾害性天气。

显然,如果我们不知道异常现象是怎么变化的,那么气候异常与突变是两个不同的概念。

所谓的异常就是明显偏离平均值的一种状态,但是要说明异常状态是怎样出现的,它是怎样变化的,它与前期一些气象要素变化是什么关系,这是根本问题,因为我们的目的就是为了预报出异常现象。如果我们不知道异常现象是怎么变化的,我们不可能对它作出预报。

事实已得证明,建立一个预报模式(被动的或主动的)是很容易的,而且可以拟合很好,但往往不知道异常现象的变化规律,所以这样建立的预报模式是不可能把异常现象反映出来,因而不可能预

2 · 灾害性天气的预测方法

报出异常现象。这就是常规统计方法不能预报出小概率事件的原因。

所谓的突变就是在极短的时间内发生的一种跳跃性变化,所以它有二个特性:一是变化的不连续性即跳跃性变化;二是变化的瞬间性。

在气候变化中,不连续的跳跃性变化也是普遍存在的。由于我们通常对历年气象要素演变描绘的曲线是人为的把它看成连续变化的曲线,事实上并非都是连续的,尤其是历史上少数的异常状态是不连续的即跳跃性变化。

可是,我们建立的预测式往往都是以因变量的连续变化与变量建立关系(线性的或非线性的),尽管这样建立的关系可以拟合很好,但对未来因变量出现的异常状态却不能预报出来。这也是常规统计方法不能预报小概率事件的重要原因之一。

至于突变的瞬间性,也是相对而言,对于气候变化中出现的异常现象毕竟是少数而且它在历史的长河中也是短暂的一瞬间。

从上述的分析可知,异常现象是一种特殊类型的气候变化,从广义来说,它的变化与突变是相类似的。为了区别它与通常气象意义上的突变,我们称它为准突变现象或广义突变现象,下面我们还是简称突变现象。

当然,上面仅仅是对异常现象的一种解释,这种解释是否精确,还要通过实践来验证,这就是说,通过这种解释,能把难以预报的异常现象预报出来,否则这种解释也是无用的。

气象上的这种突变现象,在天气演变中占有重要的地位,而且它的出现危害程度高、范围广,所以要准确的预测出突变现象的出现是至关重要的。然而常规统计方法难以解决这个预报问题,因为它是小概率事件,常规的统计方法对小概率事件基本上不具有预报能力。

为此,我们首先要研究突变现象出现的原因以及它的存在的普遍性。

§ 1.1 为什么会产生突变现象的小概率事件

在自然界中所发生的一切现象,都有其产生的原因,在气候变化中,小概率事件的出现也不例外,既然如此,那么小概率事件是在什么情况下出现的呢?从我们的多年研究表明,后期的某一时段的气象要素出现异常,往往和前期的某些时段的一些气象要素出现异常是相对应的或和前期的特定气候条件相对应的,这就是说,前期的某些气象要素在远离平均态的变化过程中,当远离平均态超过某一临界值后,就会影响后期某一气象要素的突变,即由一个状态进入另一个状态的跳跃式变化,这种突变就是气象灾害。

通常,在远离平均态的变化中,某些气象因子同时超过各自的临界值的机率毕竟是很小的,如果每个因子超过某一临界值的机率为 0.3,则两个因子同时超过各自的临界值的机率只有 0.09,所以某一气象灾害出现是小概率事件。在这里也可能是单因子的情况,即当某个因子在远离平均态的变化过程中,当它的变化超过某一临界值后,就会影响后期某一气象要素的突变。但在此情况的临界值远比多因子情况的临界值高,一般它与多年的平均值的偏差超过标准差 2 倍以上,因而出现的机率很小,故它也是小概率事件。

由于各个因子在变化过程中,每个因子超过某一临界值的机遇是随机的,所以小概率事件出现是随机的、无周期性的,有时候可能前后出现的间隔时间很长;有时候可能前后出现的间隔时间很短。故小概率的灾害性天气出现感到难以掌握,难以预测,似乎它是无规律性可循的,这就是产生小概率事件的原因。

小概率事件,也可以这样解释,它是在前期的某些气象要素的变化过程中,在特定条件下组合作用后,影响了后期某一气象要素 Y 的突变。由于前期某些气象要素的组合是有条件的,而且条件性往往很

4 · 灾害性天气的预测方法

强,不是任意组合都会影响 Y 突变,故某一气象要素 Y 出现突变是小概率事件。

在研究气象要素出现突变现象中,我们还发现二组值得注意的两个现象:

第一个现象是,一个气象要素 Y 出现突变,可能是由二组以上因子组合作用影响结果,即不是唯一对应关系。例如 Y 的突变有些年份是由 X_1 、 X_2 组合影响结果,另外一些年份则由 X_3 、 X_4 组合作用影响所致;

第二个现象是,当二组组合因子作用同时相遇时,它们对 Y 的影响作用会产生叠加现象,而且叠加现象往往是非线性关系。但有的二组组合因子作用同时相遇时则不出现叠加现象,从这二个现象出现也说明了大气环流变化的复杂性。

总之,气象上突变现象,说明了前期的某些气象要素在远离平均态的变化过程中,当某一些气象要素的变化同时超过各自的临界值后,导致系统内部失去平衡态而产生的一种异常现象。它的变化类似于翘翘板,当这边的重量超过那边时,因失去平衡态,那边突然地翘起来。当然,这里的关系,不是简单的重量比例关系而是复杂的非线性关系。

图 1.1 说明一个突变现象的例子。图中 X_1 、 X_2 分别为浙北地区上年 10~12 月的平均最低温度和上年 10 月平均最低温度的演变曲线, F_1 为上年秋冬季的干湿度(F_1 大表示干燥,它的含义将在下面解释)的演变曲线, Y 代表当年 7~8 月的平均温度演变曲线(注意:气象要素的演变曲线并非都是连续的)。从图 1.1 中 Y 曲线可知,7~8 月平均温度出现较低(即凉夏)的年份有 1972 年,1974 年,1980 年,1982 年,1989 年和 1993 年,在 40 年中只出现 6 次,故是小概率事件。其中 1972 年,1980 年,1982 年和 1993 年的凉夏是在 X_1 和 X_2 同时出现较低温度的情况下出现的,这就是说,当 X_1 和 X_2 的变化同时低于各自的某一临界值后影响了这些年的 7~8 月出现低温即突变。而

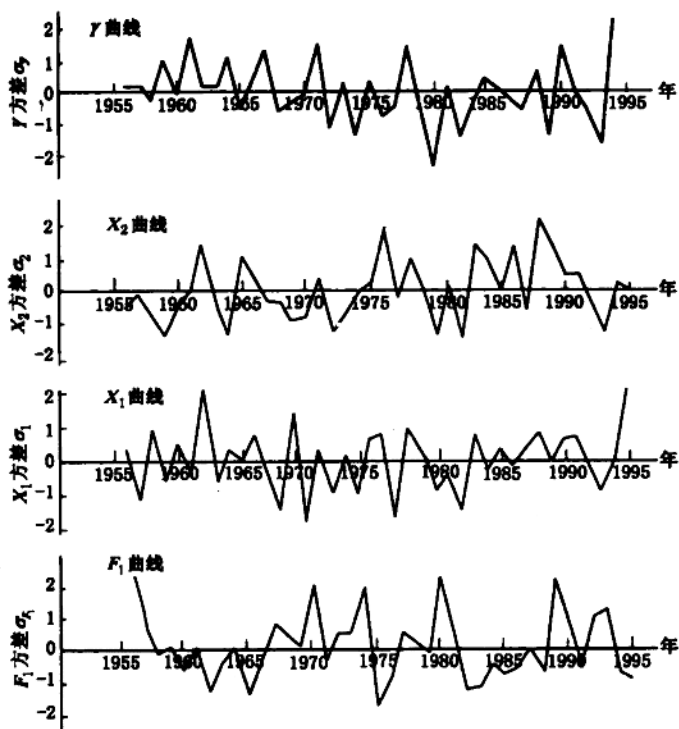


图 1.1 因变量 Y 与变量 X_1 、 X_2 和 F_1 的关系

F_1 影响 7~8 月出现低温的有 1974, 1980 年和 1989 年, 即当 F_1 的变化超过了某一临界后影响了这些年 7~8 月出现低温即突变。这里值得注意的一个现象是, 1980 年出现了历史上罕见的凉夏, 显然是上面所述的二组影响低温因子相互叠加作用的结果。然而, 从图 1.1 可知, 1956 年, 1970 年的 F_1 值很大, 但并没有出现凉夏, 原因是, 既然会出现凉夏的突变现象, 自然也会出现夏天异常高温的突变现象,

这二年恰好是影响小概率事件凉夏的因子与影响小概率事件夏天异常高温的因子相遇,由于这些因子的相互反作用使这二年既没有出现异常高温也没有出现凉夏即相互抵消了。关于凉夏与高温后面还要详述。

通过这个例子也许会提出这样一个问题,既然当 X_1 、 X_2 同时出现较低温度或 F_1 较大时就会影响当年7~8月出现低温,那么当 X_1 和 X_2 同时出现较高温度时或 F_1 值出现很小时是否会影响当年7~8月出现高温呢?回答是否定的。从图1.1中Y曲线可知,它的高峰几乎都和 X_1 、 X_2 的高峰不对应而且和 F_1 的低谷也不对应,至于它的高峰,是由另外因子影响的结果。由此引出了因子的对称破缺性质^[2]。

预报因子的对称破缺性质反映了预报因子与预报对象之间复杂的非线性关系。

§ 1.2 大气环流的不稳定性

地球每年从太阳光能中得到能量,但是在地球上,不仅不同季节吸收的能量(除去释放后的能量)不同,而且在同一季节里,不同地区得到的能量也极不相同。

地球是一个表面凹凸不平的球体,它有山区,有平原,有海洋,而且它们都有性态多样的地理环境,平原有无生的沙漠,有沼泽遍地的草原,有环绕湖泽的平原,有被山或高地围绕的盆地,有与海洋相连的平原,等等;山区有终年积雪的高山,有树木丛生的森林山区,有没有树木或树木很少的光秃山区,有小山成片构成的丘陵山区,等等;海洋也同样,因为海洋和陆地一样,也有高山和平地,而且它的地形比陆地更为复杂,它有很多深浅和形状不同的山谷和低地,等等,加之海洋和大陆之间相互影响,形成海洋上不同海域和不同地理环境,因此造成整个地球上不同区域的不同气候环境。

所以,在地球上,不但不同纬度上的吸收能量不同,而且同一纬

度上的不同经度的吸收能量也是不相同的。即使是同一地区,每年在同一季节里吸收的能量也是不相同的。这从我们观测到的每月气温几乎没有一年是相同的也可以说明这一点。

因大气吸收能量的不均匀性(因能量交换),形成了大气环流的不稳定性。由于大气环流本身的运动,在任一个季节里,每个地区得到的能量多少都是不固定的,它在某一区间内摆动,即随机性。例如同样是夏季,有的年份气温很高,比它的常年温度偏高;有的年份气温较低,比它的常年温度明显偏低;有的年份气温接近它的年温度。每个季节都会出现上述的情况,所以,每个季节、每个地区,吸收的能量多少都是随机的。

这里要说明的是,因每个地区的吸收能量不同,所以,每个地区的常年温度也是不同的。

由上述分析可知,任一个季节里,不同地区吸收能量的相互之差也是随机的,所以,有时候出现差值(正或负)很大,但它是小概率事件。因大气环流本身的流动,以及不同季节的共同影响,有时候,在大气中不同地区能量吸收(或积累)会达到某一状态,出现能量分布极不均匀(即相互之间能量之差很大),由此引起激烈的能量交换,也可以说大的调整,因而出现大的不稳定性。这往往以气候异常反映出来,这就是气象要素出现的突变现象,也就是气象灾害出现的原因。

显然,在大气环流中出现大的不稳定性是随机的、非周期性的,这是因为每个地区吸收(或积累)和能量多少是随机性决定的。大气是处在开放的,远离平衡态的条件下,在与外界物质和能量交换的过程中,大气中出现大的不稳定性也是属于正常的自然现象。

大气环流中出现大的不稳定性,在不同季节、不同时期都有可能发生,但不一定都会造成气象灾害,这跟发生异常的气象要素的属性和季节性有关,如降水是异常偏多会引起洪涝;温度异常偏高在夏季会引起大旱,但出现在其他季节里不一定会出现气象灾害。

第二章 气象要素变化突变的普遍性

小概率事件是一种突变现象,这种突变现象在气象要素变化中是普遍存在的。本章介绍这种突变现象的普遍性。

§ 2.1 夏天异常高温

在长江三角洲地区,尤其是沪、宁、杭地区,对当年夏天气温的高与低是人民普遍关心的一个问题。夏天天气热本属正常的自然现象,但是有的年份热得出格,我们称它为夏天异常高温。它是一种气象灾害,它的出现往往给工农业生产和人民生活身体健康带来不利影响,但是它是小概率事件,所以对它的预报也是天气预报上的难点。为了对它作出准确的预报,必须要分析清楚夏天异常高温是在什么状态下出现的。

根据浙江北部地区、上海地区的气象资料分析,如果上年7~9月的降水量 X_1 ,7~8月降水量 X_2 ,分别满足 $X_1 > \bar{X}_1 + \sigma_1/2 = 520\text{mm}$, $X_2 > \bar{X}_2 + 0.75\sigma_2 = 375\text{mm}$,且上年的积温 $T_1 \geq 186^\circ\text{C}$,则当年7月就会出现异常高温——温度突变。历年的几次大旱高温都是在此状态下出现的。上面的 $\bar{X}_1$ 和 $\bar{X}_2$ 分别为 X_1 和 X_2 的多年平均值, σ_1 和 σ_2 为其标准差,年积温指1~12月的平均温度之和。高温的定义为7月份的平均温度 $\geq 29.9^\circ\text{C}$ (它的平均值 $= 28.2^\circ\text{C}$)。将历年 $X_1 \geq \bar{X}_1 + \sigma_1/2$ 的年份列入表2.1。表中出现的夏天异常高温的年份都是突变现象的例子,当各因子的变化值超过了各自的临界值后,当年7月的平均温度都跳跃到接近或超过 30°C 即出现了突变现象。这里需要强调的是,因子之间及因子与预报对象之间相互制约性很强,只要其中某一因子不满足条件则会制约高温出现,如1957年、1963

年、1970年和1981年都是其中某一个因子不满足条件,故这些年份都未出现异常高温的突变现象,而且7月份的平均温度大部分在平均值附近。在这里值得提出的是,1971年 X_1 、 X_2 和 T_1 的值都不是很大,但都满足了条件,故出现了异常高温。然而1981年的 X_1 、 X_2 的值比1971年的 X_1 、 X_2 值明显的大得多,但它的 T_1 不满足条件,故1981年没有出现异常高温。如果按照线性关系去理解,很可能会得出1981年会出现异常高温而1971年则不出现异常高温。从而可知预报对象与预报因子之间并非是线性关系。

表 2.1 列出 $X_1 \geq X_1 + \sigma_1/2$ 的年份及对应当年7月份的温度

年份 因子与预报对象	1953	1957	1961	1963	1970	1971
上年7~9月降水量 X_1	560.7	695.8	692.7	597.9	610.6	525.0
上年7~8月降水量 X_2	390.3	406.0	504.0	289.0	395.0	375.1
上年的年积温 T_1	190.0	183.4	194.5	188.9	184.0	186.0
当年7月的平均温度	30.4	28.9	29.9	28.5	27.8	30.4
当年7月是否异常高温?	预报高温	非	是	非	非	是

年份 因子与预报对象	1978	1981	1988	1990	1994
上年7~9月降水量 X_1	769.4	782.0	740.0	668.2	680.5
上年7~8月降水量 X_2	385.7	654.3	603.0	393.1	593.0
上年的年积温 T_1	188.0	181.2	191.0	190.6	188.3
当年7月的平均温度	30.1	28.3	30.3	30.2	30.8
当年7月是否异常高温?	是	非	是	预报高温	预报高温

1989年, X_1 、 X_2 和 T_1 的值分别为668mm,393mm和190.6℃,其值都超过各自的临界值,故提前6个月就预报出(内部试报)1990年要出现异常高温,实况和预报完全一致。当时的气象资料记录始于1956年,后来获悉,1953年夏天也是异常高温,为此我们又从上海气象台补上1951~1955年的气象资料,经过计算预报1953年夏天为异常高温,又得到了一个验证。1993年 X_1 、 X_2 的值明显偏高,远远地超过各自的临界值, T_1 又满足条件,故预报1994年夏天要出现异常

高温。后来这份预报刊登在《浙江气象科技》1994年第1期^[17]。实况出现历史上罕见的高温,这就是利用突变现象报出气象上小概率事件的典型例子。尽管我们的资料取于浙江北部,上海地区,由于夏天异常高温出现的范围一般较此为大,实际上,对长江三角洲的大部分地区以及浙江的中西部地区都有预报价值的。在此,还需要说明的是,影响夏天高温的主要因子是上年7~8月降水 X_2 ,如果上年7~9月降水 $X_1 \geq \bar{X}_1 + \sigma_1$,但 $X_2 < \bar{X}_2 + \sigma_2/2$,则不会影响夏天出现高温;但 $X_2 \geq \bar{X}_2 + \sigma_2 = 409$ 时,只要 $T \geq 190^\circ\text{C}$,即使 $X_1 < \bar{X}_1 + \sigma_1/2$ 也会影响夏天高温。然而,当上述的条件都满足时,而 $T_1 > \bar{T} + 2.5\sigma_T$ (小概率事件)时,当年夏天不一定会出现高温,甚至出现相反的情况,原因是,当 $T_1 > \bar{T} + 2.5\sigma_T$ 时,正增量 ΔT 很大,而 ΔT 是影响长江中下游汛期降水量的一个重要因子^[16], ΔT 大,汛期降水多,所以,当 $T_1 > \bar{T} + 2.5\sigma_T$ 时,影响了另一种气象要素突变——降水多而导致长江中下游大涝。因大暴雨的持续次数多,气温自然偏低,尤其是6~8月,故抵制了夏天高温出现。例如,1999年的夏天低温就是在这个特定的气候条件下出现的。从而可以看出,各种气象要素变化相互之间关系是十分复杂的。所以,要提高预报的准确性,必须要分析清楚这些复杂的关系。

除了上年7~9月,7~8月的降水量影响夏天出现异常高温外,还有二个因子也要影响该地区的夏天高温出现,一个因子是上年4~6月降水量 X_3 ;另一个因子是当年3月的平均温度 X_4 ,但这二个因子和前者相比较影响程度不如前者强而且影响夏天高温时间也稍短些,而且高温时间分布上稍往后,一般在7月中~8月中旬之间出现一段时间(即30天左右)的平均温度 $\geq 29.9^\circ\text{C}$ 即异常高温。

根据历史资料分析计算,当当年3月的平均温度 X_4 和上年的年积温 T_1 分别满足 $X_4 \geq \bar{X}_4 + \sigma_4$, $T_1 \geq 187^\circ\text{C}$,则当年7月中旬~8月间会出现一段较长时间的异常高温,如1959,1966和1995年夏天高温就是在此情况下出现的,尤其是遇到这些年份,往往“秋老虎”相当厉

害;当上年4~6月的降水量 X_3 满足 $X_3 \geq \bar{X}_3 + \sigma_3/2 = 462\text{mm}$,且上年年积温 $T_1 \geq 190^\circ\text{C}$,上年7~9月降水量 $X_1 \geq \bar{X} - \sigma_1/2 = 348\text{mm}$,和上年10~12月的积温(即各月的平均温度之和) $X_5 > \bar{X}_5$,则当年7~8月间也会出现一段较长时间的异常高温,这二种情况实际上也是突变现象。关于这二种状态下的具体数据不在此列出,因为在后面论述它的预报方法中还要涉及的。最后要说明的是,当这些影响高温的因子同时相遇时不产生叠加现象或者说相互叠加作用较小。

§ 2.2 年积温的异常状态

人们往往不大注意年积温的演变状态,它是反映当年大气环流特征的一个重要因素之一。图2.1是浙北、上海地区的年积温演变曲线(年积温指全年各月平均温度之和)图,图中曲线实际上反映长江中下游的大部分地区,从图2.1中可以看出一个简单的状况,在曲线的高峰上都出现了浙江的登陆台风。由此可以给我们一个提示:掌握当年年积温变化规律对了解和预测当年的天气变化过程也是十分重要的。

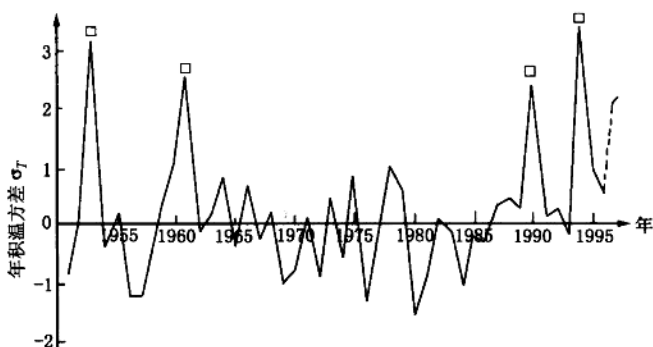


图 2.1 浙北、上海地区年积温演变曲线
图中□表示该年浙江省出现的登陆台风

年积温总是按照不同的年份进行演变,这是正常的自然现象,但是有的年份年积温出现异常,偏离它的平均值很远,实际上这也是一种突变现象。从图 2.1 可知,1953 年、1961 年、1996 年和 1994 年的年积温 T 都满足 $T > \bar{T} + 2.5\sigma_T$,超过它的多年平均值 2 倍标准差以上,是异常状态。值得注意的是,在 40 多年的资料中,除了 $T > \bar{T} + 2\sigma_T$ 外,所有的 T 都是满足 $T \leq \bar{T} + \sigma_T$,竟无一年的 T 超过 $\bar{T} + 1.5\sigma_T$ 的,所以 1953 年、1961 年、1990 年和 1994 年的 T 是典型的突变现象。在这里需要注意的是,图 2.1 的曲线是人为地把它描绘成连续变化的曲线,实际上并不连续尤其是异常状态。下面要分析这些异常状态即突变现象是在什么状态下出现的。从我们的多年研究表明,有二个因子要影响当年年积温上升,一个是上年 7~9 月的降水量 X_1 ;另一个是当年 3 月平均温度 X_4 ,当 $X_1 \geq \bar{X}_1 + \sigma_1/2 = 520$ 或 $X_4 \geq \bar{X}_4 + \sigma_4 = 10.3$ 时($\bar{X}_1, \bar{X}_4, \sigma_1, \sigma_4$ 为 X_1, X_4 的多年的平均值及标准差),在上年年积温 T_1 上要增加一个正增量 ΔT 即当年年积温 $T = T_1 + \Delta T$,现在用实际资料来说明它们。表 2.2 列出了 $X_4 > \bar{X}_4 + \sigma_4 = 10.3^\circ\text{C}$ 的年份,从表 2.2 可知,这些年份的年积温都是上升的,这里要说明的是,在表中的 1995 年,是一个异常年份,因 1994 年的积温已处于最高的状态,它是一个非常不稳定的状态。因此 1995 年的年积温 T 必然由 1994 年的高峰回落下来,而且回落的负增量 $-\Delta T$ 一定很大,但是由于 1995 年 $X_4 > \bar{X}_4 + \sigma_4$ 的影响, T 的回落受阻,所以 1995 年的年积温仍然较高,达到 $T = \bar{T} + \sigma_T$,即比常年高了一个标准差。实际上,1995 年的情况和表 2.2 中的年份并无矛盾。

表 2.2 $X_4 > 10$ 的年份及对应当年年积温变化

项 目 \ 年 份	1959	1960	1966	1973	1977	1981	1990	1995
当年 3 月平均温度 X_4	10.8	11.2	10.5	10.3	10.2	10.5	11.4	10.5
上年年积温 T_1	187.0	191.6	187.4	184.3	182.6	181.2	190.6	206.0
当年年积温 T	191.6	194.5	192.5	191.4	188.0	185.0	200.7	194.0