

甘肃“5.5”黑风暴跃变分析

朱 姝

周亚军

(兰州中心气象台,730020) (兰州干旱气象研究所)

提 要

用递归相似理论对1993年5月5日发生在甘肃省金昌市的一次特大黑风暴过程作了跃变分析,该理论中的跃变定义为身前数个状态不能完全表达当前状态的程度。计算结果表明,5月5日16时(北京时)气象要素场的剧烈波动并不是递归分析中跃变的大值区,大值区主要出现在16时之前。该文最后提出形式突变与本质突变两个新概念。

关键词: 递归相似 黑风暴 跃变

引 言

黑风暴是一种非常特殊的天气过程,其在时间和空间的范围具有中尺度特征。由于它多发生于西北内陆的干旱或沙漠地区,因此,风暴中夹带着大量砂石,能见度瞬时就会变为零,白天也会变得如同黑夜,故称黑风暴。

1993年5月5日,一场特大黑风暴袭击了甘肃省的金昌、武威等地区,给当地的工农业生产造成了很大损失。由于这次过程的特殊性,人们从各个不同的角度对它的产生及其机理作了分析。郑新江等(1993)^[1]分析了这次过程的云图特征;江吉喜(1993)^[2]作了成因分析;陈伟民等(1994)^[3]利用改进的PSU/NCAR中尺度模式模拟了这次过程的中尺度爬线的主要特征,认为爬线温度水平剧烈变化及垂直上升速度中心都在对流层低层的700hPa,垂直环流随高度向后倾斜;戴新刚等(1995)^[4]对甘肃“5.5”黑风暴作了小波分析,他们的结果表明5月5日16时是一个非常清楚的界线,16时之后是一个强的中尺度扰动过程,通过“窗口”函数的变化,还可看到更微小的扰动结构;惠小英等(1995)^[5]用MM4对这次过程作了涡源诊断及热源分

析,他们指出在这次黑风暴过程中,与强波动气流有关的扰动涡源对低涡的贡献最大。本文目的旨在分析这次过程的跃变特征。

1 资料及递归相似理论

本文所用资料取自甘肃省金昌气象站1993年5月5日地面气压、气温、风速和相对湿度的日记记录,取样时间从00—24时。气压、气温和相对湿度的取样间隔为15分钟,风速则为10分钟。所读数据均已经过仪器订正处理。为计算方便,我们将取样间隔为15分钟的要素插值到10分钟间隔。

递归相似理论是刘桂馥(1995)^[6]首先提出的用于研究离散数据动力学规律的数学方法,该理论的中心思想是当前时刻的状态在某种程度上可以被当前时刻之前的数个状态来描述。该理论模型不依赖统计概念,也不依赖对象的任何先验理论模型。

设有一个 n 维实向量序列 u_j ,水平尺度 R 定义为 j 时刻之前的向量个数,即 $u_{j-R}, u_{j-R+1}, \dots, u_{j-1}$,这 R 个向量就是时刻 j 处的标架。对 $j+1$ 时刻来讲,前 R 个向量就变为 $u_{j-R+1}, u_{j-R+2}, \dots, u_j$ 。因此,对不同的 j ,其标架也不同,这就是所谓的活动标架。

刘桂馥(1995)定义的时间序列演化有三

种方式,它们分别是自然表示法、完全表示法和正交表示法,本文选用最后一种。

为书写方便,将时刻 j 的向量 u_j 记为 V , j 时刻的标架 $u_{j-R}, u_{j-R+1}, \dots, u_{j-1}$ 简记为 u_1, u_2, \dots, u_R 。一般情况下,这 R 个向量可以在 R 维欧氏空间展开。

当演化方式为正交表示法时, V 可用下式表达

$$V = \lambda_1 e_1 + \lambda_2 e_2 + \dots + \lambda_R e_R + \bar{V} \quad (1)$$

其中 \bar{V} 称为 V 的 R 递归补, (e_1, e_2, \dots, e_R) 为 R 维欧氏空间中的单位正交基,唯一解 λ_j ($j = 1, 2, \dots, R$) 称为 V 的递归坐标或演化坐标。称

$$\Lambda_j = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_R)^T \quad (2)$$

和

$$\bar{\Lambda}_j = \sum_{k=1}^R \lambda_k e_k \quad (3)$$

分别为 V 的 R 递归向量和 R 递归相似,递归相似是 V 在 R 指标下的展开主部。

$$\rho = \|\bar{V}\| / \|V\| \quad (4)$$

上式为跃度(跃变)的定义,它表示 j 前的 R 个向量不能完全表达 V 的程度。

在具体计算中,也许会出现某些向量重合的现象,因此,必须对重合向量进行剔除。本文给定一判别标准 ϵ , 向量 W 为向量 u_{s+1} 垂直于前 s 个正交基的分量。若 W 的内积满足

$$(W, W) > \epsilon \quad (5)$$

则 e_{s+1} 将被选中,否则剔除。

2 结果分析

从递归相似理论可知,该方法所用资料为向量序列,对本文来讲,地面观测的4个要素变化可以反映该站的基本情况,因此本文的向量维数为4。计算之前,我们对原序列均作了标准化处理,下面给出2个有代表性的要素记录,它们分别是风速和气压(图1)。

从图1可知,风速和气压(气温和相对湿度图略)在16时出现了非常清晰的突然变化。在黑风暴来临之前,风速的起伏变化不

大,且一直是微风。在16时风速出现了一个大的跳跃,骤然间达到 $22.3m \cdot s^{-1}$, $20m \cdot s^{-1}$ 以上风速持续了80分钟才逐渐减弱。气压自凌晨02时开始缓慢下降,11时后下降速度加快,到15时30分左右降至最低点,16时开始陡升。毫无疑问,从直观来讲,金昌站5月5日地面观测的4个要素记录值几乎在同一时刻(16时)经历了一次大幅度的跳跃,那么,16时之前的数小时气象记录是否对这次跳跃有前期指示意义?为此,我们作了递归相似分析。

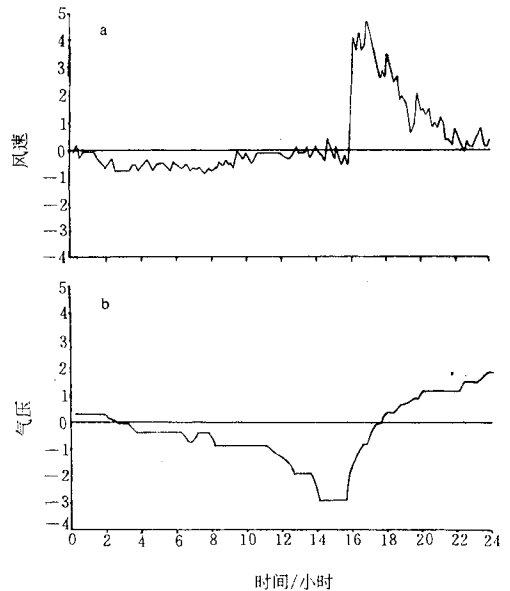


图1 金昌站1993年5月5日风速(a)和气压(b)

为了能较好理解递归相似分析法,我们给出附表,这是水平尺度 $R=8$ 和分辨率 $\epsilon=0.01$ 时的递归坐标(λ)和跃度(ρ)。表中只列出了第91—102点时的结果。对第91点来讲, $\lambda_1 \neq 0, \lambda_3 \neq 0, \rho \neq 0$, 其余 λ 值均为零,这表明第91点的向量可以投影在 e_1 和 e_3 构成的空间中,其投影大小为 λ_1 和 λ_3 。对于那些 λ 值为零的分量来讲, e_2 与 e_1 方向相同, e_4 至 e_8 与 e_3 方向相同。第91点除了能用 e_1 和 e_3 表示外,还有不能表示的部分,其大小为 ρ 。对第93点来讲, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和 λ_6 均不为零,对一个四维空间来讲,第93点向量完全可以被这

4个分量分解,因此,该点的跃度一定为零。对101点而言,该点向量可以完全投影在 e_1 和 e_2 上,所以,该点跃度为零。对于跃度来

讲,我们可将它理解为在原有状态基础上产生的一个新“芽”,若“芽”为零,则表示无任何状态变异,否则,将出现状态跃变。

附表 水平尺度 $R=8$ 和分辨率 $\epsilon=0.01$ 时的递归坐标(λ)和跃度(ρ)

序号	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	λ_8	ρ
91	0.28	0.00	-0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
92	-0.30	0.34	0.00	0.00	-0.15	0.00	0.00	0.10	0.00
93	0.03	0.19	0.16	0.00	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.00
94	-0.09	-0.34	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.01
95	0.39	0.18	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84
96	1.83	0.00	0.04	0.00	0.70	0.00	0.00	0.43	0.00
97	-2.91	0.65	0.00	0.54	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
98	0.46	-0.20	0.43	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00
99	0.65	0.07	0.00	0.43	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.75	0.00	0.07	0.23	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
101	-0.06	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
102	0.94	0.11	0.02	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

为了较好地观察在相同分辨率而在不同水平半径下的跃变,我们给出图2。如图所示,从直观上讲,随着水平半径的增大,跃变值会相应减小,这是符合递归相似原理的。因为水平半径的增大,意味着前期状态信息的增多,前期信息的增多可使当前时刻的状态跃变降低,这是普遍规律,但图中有个别点与此规律有出入,是由于在作正向分解时,计算结果与所取的第1个向量有直接关系。除此

之外,图中的另一个明显特征是16时之前为跃变的主要集中区,16—22时中除了个别时刻有较小跃变值外,其余时刻的值均为零。与传统概念不同,这是一个非常有趣的现象。从量值大小来看,16时确是传统观念中的跃变点,但从递归分解的角度出发,这一时刻却没有发生状态跃变,即前期信息足以表示当前状态。它提示我们各物理要素在数量上的大小并不一定在本质上反映跃变的真实面目。

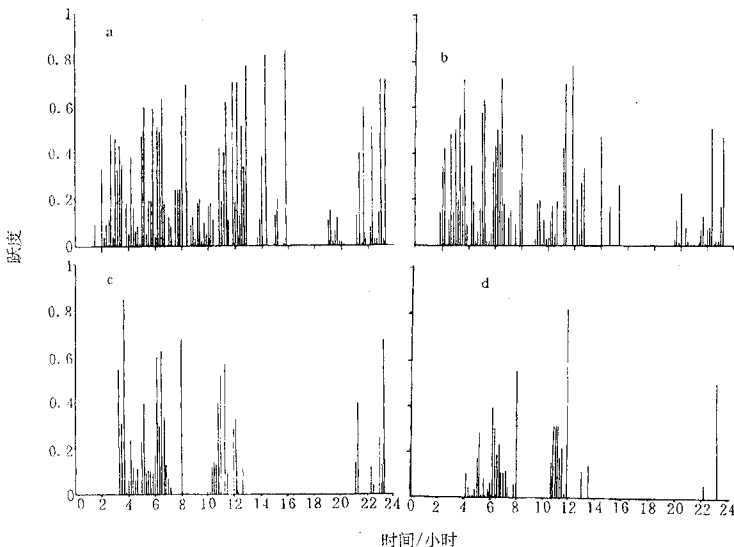


图2 金昌站1993年5月5日跃变图(ϵ 均为0.01)
a为 $R=8$,b为 $R=10$,c为 $R=15$,d为 $R=20$

3 讨论

根据以上分析,我们有这样一种猜测:物理要素序列形式上的跳跃并不一定是真实意义下的突变,而这种真实意义的突变则预示着不能被我们预知的程度。对于甘肃省金昌站“5.5”黑风过程来讲,虽然地面4个观测要素在16时都存在较大幅度跳跃,但在这一时刻的状态跃变值却为零,它暗示着16时的状态完全可以由前期状态描述。

我们认为,任何要素的时间演变都有其自身规律,而在这些规律之上会叠加一些不被我们认识的突变,或者说随机的扰动。这些扰动有来自系统内部的,也有来自系统外部的。对我们研究的问题来讲,若前期已发生的扰动类型与当前时刻类型相同,那么,当前时刻要素序列形式上的跳跃可以称为形式突变,而不能称其为本质突变,因为当前时刻的扰动可以由前期扰动来表示。

形式突变与本质突变是两个新的概念。以往人们所作的各种突变现象研究,大都局限于表象的分析,这是因为所用分析工具均是统计方法,如 Mann-Kendall 法(Goossens 等,1985^[7];符淙斌等,1992^[8])和均值差异法(Yamamoto 等,1986^[9];魏凤英等,1995^[10])。对于同一资料来讲,方法不同,所得结果不同;即使方法相同,所用参数不同,那么,所得结果亦会不同。由此可见,这种建立在概率统计意义上的分析研究,在某种程度上带有有人为倾向性,形式突变正是在这种背景下产生的。本质突变则完全不同,它抛开了统计意义,并且也不依赖任何先验理论模型,它是对离散数据自身演变的客观反映。形式突变与本质突变不存在本质上的联系。

以 Lorenz 模型为例。对于该模型在相空间中所产生的“蝴蝶”图形来讲,若质点轨迹始终在一侧“翅膀”上运动,也就是说吸引子维持不变,那么,此时质点轨迹的任何变化都

可以认为是形式上的;而当轨迹从这侧“翅膀”跳到另一侧“翅膀”的那一瞬间,是否可以认为这时质点运动性质发生了质的突变?我们猜测在这一时刻质点运动发生了质的变化,这就是前面所述的本质突变。因为此时吸引子发生了根本变化,虽然这时刻运动质点在相空间中的量值突变程度并不令人惊讶。

非线性物理学所要解决的根本问题就是运动质点在相空间中所处的空间维数的变化以及在这些方向上受力的大小,而我们所能看到的以及没能看到的变量都可以理解为质点轨迹在不同相平面上的投影。显而易见,单独研究某一时间序列(在某一相平面上的投影)只能窥探到事物在某一方面的反映,不易或者不能把握整体运动的脉搏。递归相似法在这一方面作了大胆的尝试,它试图捕获不同侧面尽最大可能地所能反映的整体的全貌。

4 小结

本文对甘肃省金昌站1993年5月5日地面观测4个要素(风速、气温、气压和相对湿度)进行了递归相似分析,结论有:

4.1 5月5日16时要素场的大幅度跳跃并不是跃变的大值,大值区主要出现在16时之前要素场缓慢变化时段。

4.2 本文首次提出形式突变与本质突变的概念,它们之间不存在本质的联系。

参考文献

- 1 郑新江,刘诚,赵亚民等.“5.5”沙尘暴天气的云图特征. 甘肃气象,1993,11(3):32-34.
- 2 江吉喜.1993年5月5日甘肃等地特大沙尘暴成因分析. 甘肃气象,1993,11(3):35-39.
- 3 陈伟民,陈敏连,王强等.一次黑风暴过程中尺度跑线的数值模拟. 甘肃气象,1994,12(4):2-7.
- 4 戴新刚,丑纪范,朱姝.甘肃“5.5”黑风暴小波分析. 气象,21(2):10-15.
- 5 惠小英,马艳.“93.5.5”黑风暴期间中尺度低涡发生发展的涡源诊断及热源分析. 中国西部区域气候变化及其

- 相关问题的研究,兰州:兰州大学出版社,1995,83—90.
- 6 刘桂馥. 递归相似. 南京气象学院学报,1995,18(2): 166—171.
- 7 Goossens, C. and A. Berger. How to recognize an abrupt climate change? *Abrupt Climatic Change*, 1985; 31—45, eds. W. H. Berger and L. D. Labeyrie, NATO ASI Series, D. Reidel Pub. Company.
- 8 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法. *大气科学*, 1992, 16(4): 482—493.
- 9 Yamamoto, R., T. Iwashima and N. K. Sange. An analysis of climatic, jump. 1986, *J. Meteor. Soc. Japan*, 64(2): 273—281.
- 10 魏风英, 曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究. *大气科学*, 1995, 19(2): 140—148.

An Analysis on Jump of “5. 5” Sandstorm in Gansu Province

Zhu Shu

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, 730020)

Zhou Yajun

(Lanzhou Arid Meteorological Institute, 730020)

Abstract

The subject is to study an example of special sandstorm occurred in Gansu province with recursive similarity. The jump was defined as the level that the preceding numbers of R data could not completely describe the present state. The results indicated that every element violent wave at 16 o'clock was not the larger jump value in recursive similarity, the larger values were occurred before 16 o'clock. At last, The formal abrupt and essential abrupt were presented.

Key Words: recursive similarity sandstorm jump