

气象领域极端事件的长程相关性*

封国林^{1) 2) †} 王启光¹⁾ 侯 威^{1) 2)} 龚志强^{2) 3)} 支 蓉^{1) 2)}

1) 扬州大学物理科学与技术学院, 扬州 225002)

2) 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029)

3) 国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2008 年 6 月 15 日收到, 2008 年 8 月 22 日收到修改稿)

利用固定阈值法研究了 Lorenz 系统极端事件序列的长程相关性特征. 研究表明: 不同阈值标定的极端事件序列具有长程相关性, 且标度指数 α 比较接近, 但都比 Lorenz 系统略小. 不同的初值对极端事件序列的长程相关性影响不大, 即对初值不敏感性, 但 Lorenz 系统的长程相关性随着控制参数的增大而明显减弱. 通过与高斯白噪声序列对比研究发现, Lorenz 系统极端事件序列具有较好的记忆性特征. 最后采用国家气候中心 194 个测站 1957 年—2004 年日最高气温观测资料进行分析, 揭示了实际气象要素中存在类似的规律.

关键词: Lorenz 系统, 极端事件, 长程相关性, 记忆性

PACC: 9260X

1. 引 言

对于极端事件的统计规律研究, 传统的基本假设是时间序列中的各事件之间是无关联的^[1], 即极端事件之间是互相独立的、完全随机的, 并且遵循泊松分布^[2]. 极端事件的统计规律仅仅取决于序列的概率密度函数. 近年来, 非线性科学诸多研究成果表明, 许多自然事件记录都呈现出长期持续性的特征, 即长程相关性, 这种特性在经济时间序列、DNA 序列、心电记录、水文数据、气候资料等各领域中都所有体现^[3-6]. 该特征使得极端事件的概率密度函数不再符合泊松分布^[7], 因此极端事件长程相关性规律的研究对极端事件的预测和评估有着重要意义.

本文运用具有明确气象背景的 Lorenz 系统进行极端事件的数值模拟分析. 首先介绍时间序列的长程相关性和分析方法并定义极端事件, 然后采用控制变量法, 分别研究系统初值和参数对系统中不同阈值条件下极端事件序列长程相关性的影响, 并与高斯白噪声序列进行比较, 研究系统中极端事件长程相关性产生的动力学背景及其影响. 定义条件阈值下极端事件记忆性, 揭示长程相关性与极端事件

之间的规律性. 最后运用于实际观测气温资料佐证了理论研究结果.

2. 分析方法与极端事件

2.1. 时间序列长程相关性及去趋势波动分析 (DFA) 方法

对于时间序列 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 的持续性, 通常可以通过计算序列的自相关系数 $\alpha(s)$ 来确定, 即

$$\alpha(s) = \frac{1}{(N-s)\sigma^2} \sum_{i=1}^{N-s} (x_i - \bar{x})(x_{i+s} - \bar{x}) \propto s^{-\gamma}, \quad (1)$$

其中 \bar{x} 为序列 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 的平均值, $\bar{x} = (\sum_{i=1}^N x_i) / N$, σ 是序列标准偏差, $\sigma = \sqrt{[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2] / N}$. $0 < \gamma < 1$ 为自相关指数. 若序列 $\{x_i\}$ 不存在持续性, 则自相关系数 $\alpha(s) = 0$; 若序列 $\{x_i\}$ 持续性存在, 则自相关系数 $0 < \alpha(s) < 1$. 但是大多数实际序列中存在着非平稳性和噪声, 严重影响了直接通过 (1) 式计算自相关系数的可信度. 基于对这些科学问题的解决, DFA 方法得到了广泛的应

* 国家科技支撑计划 (批准号: 2007BAC03A01, 2007BAC29B01) 资助的课题.

† E-mail: fenggl@cma.gov.cn

用^[8-11]. 其计算分五个步骤进行^[11].

第一步, 计算时间序列 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 的累计离差,

$$Y(i) = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}). \quad (2)$$

第二步, 把 $Y(i)$ 分成 N_s 个不重叠的等间隔 s 的区间 v , 其中 $N_s = [N/s]$.

第三步, 对于每个区间 v , 用最小二乘法拟合数据, 得到局部趋势. 滤去该趋势后的时间序列记为 $Y_s(i)$ 表示原序列与拟合值之差,

$$Y_s(i) = Y(i) - P_v(i), \quad (3)$$

其中 $P_v(i)$ 为第 v 区间的拟合多项式. 若拟合的多项式采用的是线性的、二次的、三次的, 甚至是更高阶的多项式, 则分别记为 DFA, DFA2, DFA3 等.

第四步, 计算每个区间滤去趋势后的方差,

$$F^2(v, s) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s Y_s^2[(v-1)s + i] \quad (v = 1, 2, \dots, N_s). \quad (4)$$

第五步, 对所有等长度区间的方差求均值并开方, 计算标准 DFA 波动函数,

$$F(s) = \sqrt{\frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} F^2(v, s)}. \quad (5)$$

对于序列存在长程相关性的情况, 则 $F(s)$ 与 s 成幂律关系

$$F(s) \propto s^\alpha. \quad (6)$$

在双对数坐标 $(F(s), s)$ 中, 用最小二乘法拟合, 其直线部分的斜率即为标度指数 α . 对于存在长程相关性的序列, 标度指数 α 和自相关指数 γ 存在如下关系:

$$\alpha = 1 - \frac{\gamma}{2}. \quad (7)$$

相关分析表明, 当 $0 < \alpha < 0.5$ 时, 表示原序列是反相关; 当 $\alpha = 0.5$ 时, 表示原序列是白噪声; 当 $0.5 < \alpha < 1.0$ 时, 表示序列具有长程相关特征, 即当前发生的事件和未来事件之间存在长程相关性; 当 $\alpha = 1.0$ 时, 表示序列不具有长程相关性, 为 $1/f$ 噪声; 当 $\alpha = 1.5$ 时, 表示序列为布朗噪声.

2.2. 极端事件

极端事件是小概率事件, 定义时间序列中 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 超过某一固定阈值 q 的值组成的序列为极端事件序列, 因为当阈值较大时, 阈值之上事件发生的概率较小, 这与一般的以小概率事件来定义

极端事件是等价的. 对于时间序列 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$, 取两个不同阈值 q_1 和 q_2 时, 极端事件序列如图 1 所示.

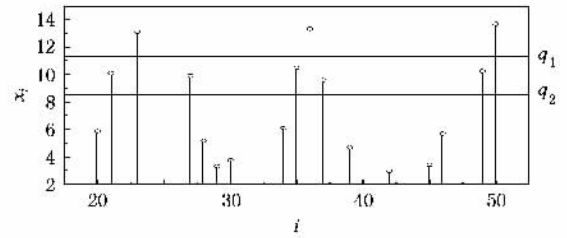


图 1 序列 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 在一定阈值 q 条件下的极端事件

从图 1 可以明显看出, 当系统给定阈值 q 后, 大于该阈值的极端事件个数随阈值的增大而减少, 事件间发生的间隔随之增大. 从统计学的角度看, 当数据点的个数较少时, 统计量的涨落和偏差都会增大, 得到的统计量的性质很不稳定, 这使得极端事件的规律研究和预测随着阈值的增加而难度增大, 因此在实际研究过程中, 要充分保证足够的极端事件样本量.

3. Lorenz 系统的极端事件长程相关性及其记忆性

实际大气系统是一个高度复杂的、耗散的、非绝热的非线性动力系统^[12-15]. 为研究非线性系统中极端事件发生的规律以及探究其作用, 我们采用有明确气象背景的 Lorenz 系统进行研究^[16-19], 通过分析系统中极端事件的规律来模拟分析实际序列中极端事件的规律. Lorenz 系统具有初值敏感性、短期可预测性、长期不可预测性以及相空间遍历性^[20-22]. 由于混沌系统对初值及其敏感, 随着时间的演化, 初值的微小差异会逐渐被放大, 直至引起系统未来状态的显著不同, 甚至得到完全相反的结论^[16]. 对于 Lorenz 系统而言, 当系统控制参数 r 变化, 混沌特性将随之发生改变, 随着控制参数的增大, 混沌特性也发生明显的变化. 本文采用控制变量法, 分别研究系统初值和控制参数对系统中极端事件统计特征的影响. 首先选取 $\sigma = 100$, $b = 8/3$ 和 $r = 27.74$, 此时 Lorenz 系统存在三个不稳定平衡点: $(0, 0, 0)$, $(8.4443, 8.4443, 26.74)$ 和 $(-8.4443, -8.4443, 26.74)$. 因为 Lorenz 系统对于 z 轴具有对称性, 因此分别选取 $(0.5, 0.5, 0.5)$, $(5.0, 5.0, 14.0)$ 和 $(8.0, 8.0, 26.0)$ 三个距不稳定平衡点距离不同的初值点,

并且在初值为(0.5, 0.5, 0.5)时将控制参数 r 改变, 分别探讨初值和控制参数变化对系统极端事件长程相关性的影响. 文中采用四阶龙格库塔法进行运算, 积分步长为 0.01, 积分 2000 个时间单位, 得到样本量为 2×10^5 个数据点的 x 分量时间序列.

3.1. 极端事件的长程相关性

对上述的 Lorenz 系统 x 分量时间序列, 分别选取 $q = 9, 12, 15$ 三个阈值识别出极端事件, 并组成三个极端事件序列作对比分析研究, 其中对应的极端事件样本量占总的样本量分别为 15.8%, 8.4%, 1.6%. 采用 DFA 方法对不同极端事件序列进行分析, 结果如图 2 所示.

从图 2 可以看出, 对于初值为(0.5, 0.5, 0.5)的 Lorenz 系统 x 分量序列, 当阈值分别取 $q = 9, 12, 15$ 时, 极端事件序列的标度指数 α 分别为 0.647, 0.632, 0.631, 这表明极端事件组成的时间序列具有长程相关性. 随阈值的增大, 其标度指数 α 变化不大. 由图 2(d)可知原序列标度指数 α 为 0.74, 比极端事件组成的时间序列标度指数 α 略大些, 进一步验证了如果原时间序列具有长程相关性, 在一定阈

值条件下的极端事件序列也具有长程相关性, 且其标度指数值近似于原序列的标度指数值^[23, 24]. 为研究该特征是否具有普遍性以及初值对极端事件长程相关性的影响, 下面进一步采用另外两个初值(5.0, 5.0, 14.0)(8.0, 8.0, 26.0)来进行相关的研究, 所得结果如图 3 所示.

当初值为(5.0, 5.0, 14.0)时, 阈值 q 分别为 9, 12 和 15 时, 极端事件序列标度指数 α 分别为 0.624, 0.609 和 0.618; 当初值为(8.0, 8.0, 26.0)时, 极端事件序列长程相关性类似前面两组数据的实验结果, 标度指数 α 分别为 0.658, 0.603 和 0.622. 极端事件长程相关性的标度指数 α 并未表现出 Lorenz 系统的初值敏感性特征. 原序列具有长程相关性时, 极端事件序列也具有长程相关性, 尽管阈值发生了变化, 但极端事件的标度指数 α 近似于原序列的标度指数值. 借此可以研究样本量更小, 即概率更小的极端事件, 尤其是统计效果较差的极端事件的规律, 从而为极端事件预测提供帮助. 为探讨极端事件序列长程相关性的动力学特征, 下面采用改变控制参数 r 的方法来进行进一步研究极端事件长程相关性的变化情况.

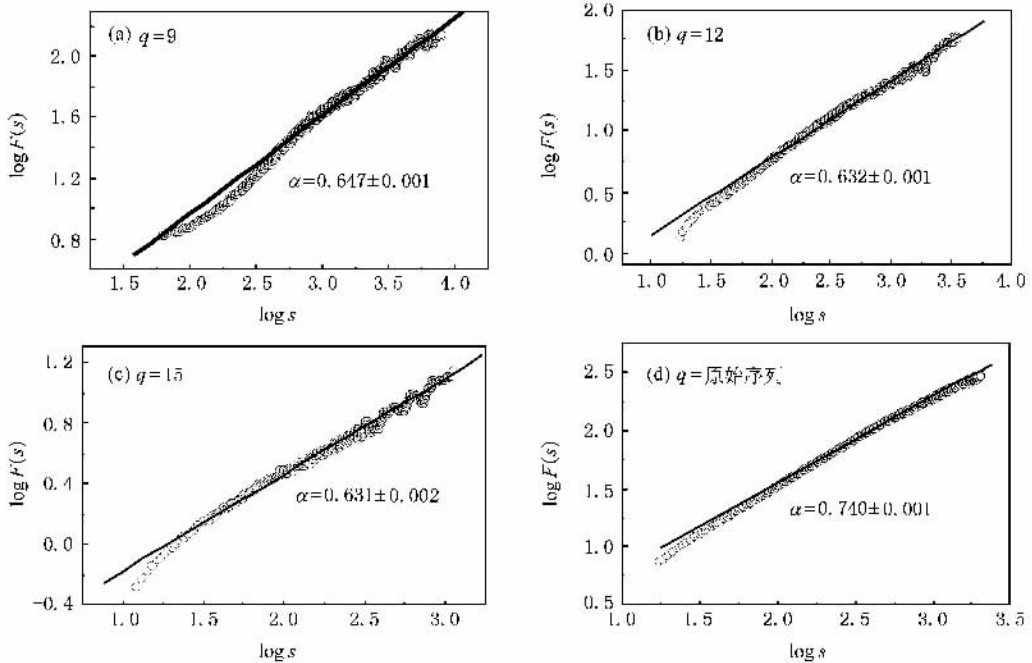


图 2 Lorenz 系统 x 分量在初值为(0.5, 0.5, 0.5)时不同阈值 q 条件下极端事件的长程相关性 (a) $q = 9$, (b) $q = 12$, (c) $q = 15$, (d) 原始序列

图 4 显示了当系统控制参数 r 的变化范围为 28—58、初值为(0.5, 0.5, 0.5)时, 系统 x 分量在不

同阈值条件下极端事件序列标度指数 α 的变化情况. 从图 4 可以发现, 三个不同阈值下极端事件序列

标度指数随控制参数 r 增大都呈衰减的趋势,最后都接近 0.5 左右,即长程相关性消失.由此可见,Lorenz 系统控制参数 r 对系统中极端事件序列长程相关性影响明显.这是因为对于 Lorenz 系统而言,当系统控制参数 r 变化时,其混沌特征将随之发生改变,系统动力学结构的混沌特性将更加明显.为加深

对极端事件规律性的了解,对于阈值 $q = -9, -12, -15$ 时,Lorenz 系统 x 分量小于这些阈值的极端事件组成的时间序列,我们也做了对比分析,发现其长程相关性也同样存在,且标度指数 α 与 $q = 9, 12, 15$ 对应的极端事件序列标度指数 α 基本相同,这与 Lorenz 系统的对称性有关(图略).

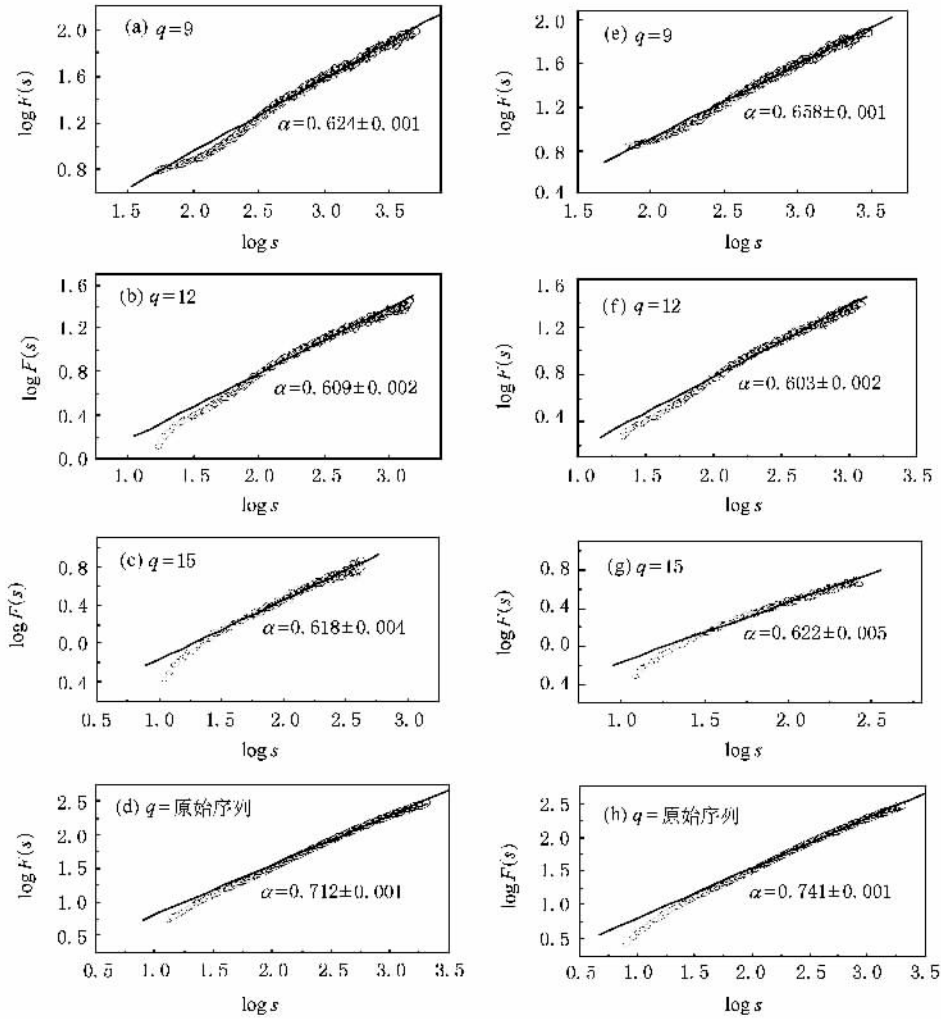


图 3 初值分别为(5.0,5.0,14.0)(8.0,8.0,26.0)时序列在不同阈值下的长程相关性 (a)(b)(c)为初值(5.0,5.0,14.0)时对应阈值 q 分别为 9,12,15 (e)(f)(h)为初值(8.0,8.0,26.0)时对应阈值 q 分别为 9,12,15 (d)和(h)分别为其原始序列

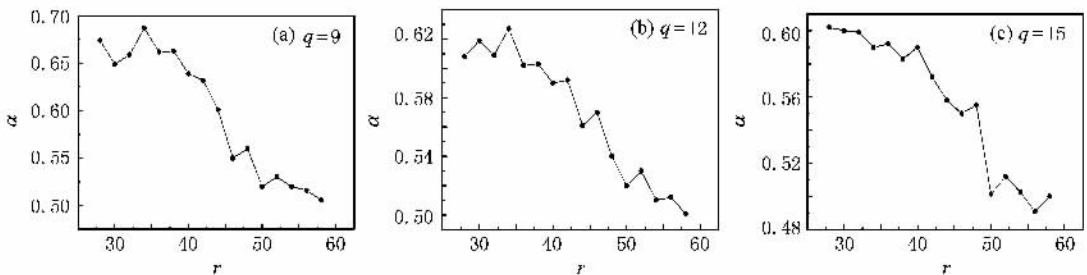


图 4 Lorenz 系统初值为(0.5,0.5,0.5)时,控制参数 r 变化对极端事件序列长程相关性的影响 (a) $q = 9$ (b) $q = 12$ (c) $q = 15$

为进一步表明极端事件序列的长程相关性与原序列长程相关性的关系,下面采用高斯白噪声序列做对比分析.

显而易见,对于图 5 中的高斯白噪声序列,其标度指数 α 为 0.500,没有长程相关性,这与本文上述理论结果一致.当阈值 q 分别为 9,12 和 15 时,对应

的极端事件序列标度指数分别为 0.495,0.500 和 0.505,基本上都近似于 0.5,表现为没有长程相关特性,这与 Lorenz 系统 x 分量序列有着明显区别.由此可知,极端事件序列的长程相关性是由动力学系统的特性决定的.

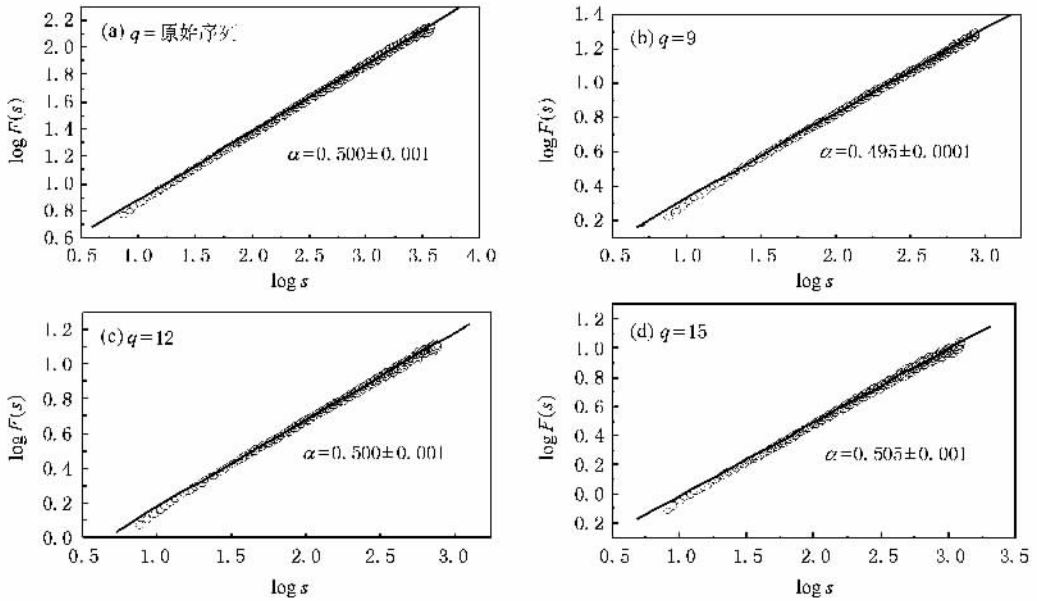


图 5 高斯白噪及其极端事件序列长程相关性 (a)原始序列,(b) $q=9$ (c) $q=12$ (d) $q=15$

3.2. 极端事件的记忆性

为进一步探讨具有长程相关性的极端事件的规律性,我们采用分析条件极端事件的方法进行研究.对于在某一阈值 q 条件下的极端事件时间序列,取一区间 $[m_0 - \delta, m_0 + \delta]$ ($\delta \ll m_0$ 且 $m_0 > q$),定义落

在该区间内的事件后面紧邻的事件为条件极端事件 m_q ,所得的条件极端事件序列的平均值定义为条件平均极端事件 $m_q(m_0)$.将 m_0 逐渐增大,研究条件平均极端事件 $m_q(m_0)$ 与所取的条件阈值 m_0 间的关系,结果如图 6 所示.

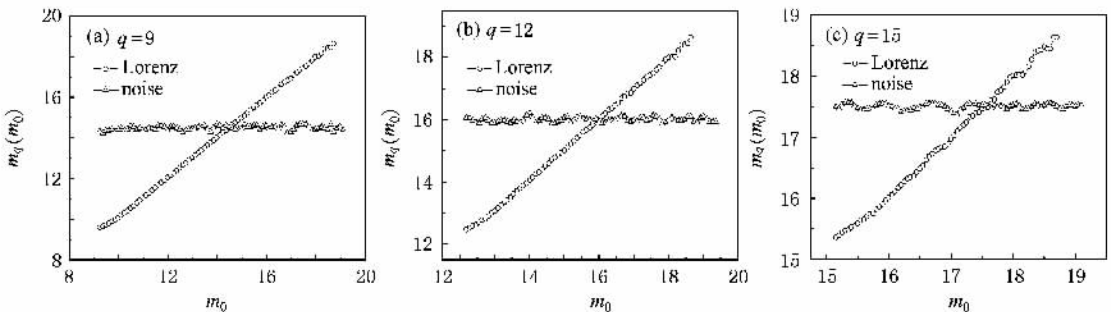


图 6 Lorenz 系统极端事件记忆性及其与高斯白噪声序列的对比 (a) $q=9$,(b) $q=12$ (c) $q=15$

图 6 给出的是 $q=9,12,15$ 时条件平均极端事件 $m_q(m_0)$ 与条件阈值 m_0 间的关系 ($\delta=0.1$).从图 6 可以看出,Lorenz 系统的条件平均极端事件 m_q

(m_0) 的值随条件阈值 m_0 的增大而增大,不同阈值 q 对应的极端事件序列都表现出类似的规律.这表明,对于 Lorenz 系统群发的极端事件在时间上呈现

出较强的记忆性特征,即前面一个极端事件的值较大时后面与之相邻的条件极端事件的值也较大.而对于高斯白噪声序列,由图 6 可知,其条件平均极值 $m_q(m_0)$ 当条件阈值 m_0 变化时基本保持不变,呈现出无记忆性的特征.通过与以上对比分析可知,时间序列的记忆性与其长程相关性有关.当时间序列存在长程相关性时,同时也具备记忆性特征;当时间序列不存在长程相关性时,它的记忆性也随之消失.因此,动力学系统的记忆性和系统的长程相关性是紧密相连的,是预报和预测的基础.这种记忆性特征是导致系统极端事件的群发现象的根源,即在较短的时间内可能多次发生极端事件,这为极端事件的预测提供了较好的理论基础.

4. 气温资料的极端事件长程相关性及其记忆性

在以上分析的基础上,选取中国 194 个国际交换站中北京站和南京站 1957 年—2004 年日最高气温序列为研究对象,分别研究不同阈值 q 条件下极端事件序列标度指数 α 随阈值改变的演化以及序列

的记忆性.此时阈值分别取 $q = 1.2, 1.6$ (各站点数据进行了标准化处理,处理后的序列均值为零,标准差为 1.如图 7 所示),对应的极端事件样本量分别占总样本量的 10% 和 5%.

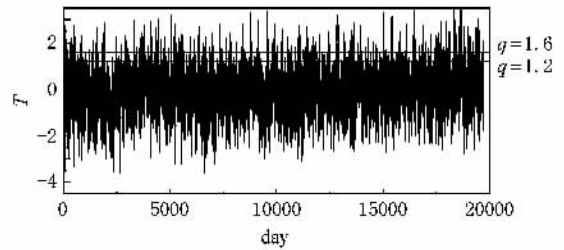


图 7 北京站 1957 年—2004 年日最高气温序列标准化后的序列

从图 8 可以看出,北京站气温资料序列存在长程相关性,其标度指数 α 为 0.731.对于实际气温序列,存在与理想混沌序列类似规律,即极端事件组成的时间序列,也具有长程相关性,当 $q = 1.2, 1.6$ 时标度指数 α 分别为 0.666, 0.624,比原序列标度指数略小.并且从图 8(d)和(e)可以看出,气温观测资料及其极端事件序列都存在记忆性特征.

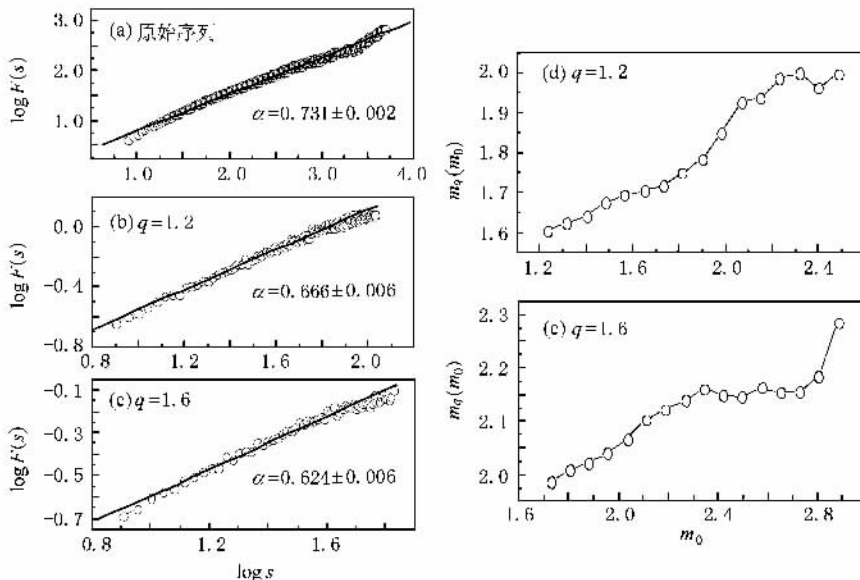


图 8 北京站 1957 年—2004 年日最高气温序列及其极端事件序列的长程相关性和记忆性 (a)(b)(c)分别为原始序列和阈值 $q = 1.2, 1.6$ 下极端事件序列长程相关性 (d)(e)分别为阈值 $q = 1.2, 1.6$ 条件下极端事件序列的记忆性

图 9 显示了南京站点的温度序列具有长程相关性和记忆性,标度指数 α 为 0.605.当 $q = 1.2, 1.6$ 时标度指数 α 分别为 0.603, 0.601,说明两阈值条件下

的极端事件序列都具有长程相关性,同时从图 8(d)和(e)也可以看出南京站气温观测资料及其极端事件序列记忆性特征也很明显.与 Lorenz 系统比较可

知,实际观测资料记忆性比 Lorenz 系统记忆性的非平稳性特征要明显些,这与实际观测资料复杂的气候系统背景有关,也揭示了实际气温极端事件的预

测要比理想混沌序列更加困难.对比图 8 和图 9 可以发现,两站点标度指数 α 略有区别,北京站的标度指数 α 值相对大些.

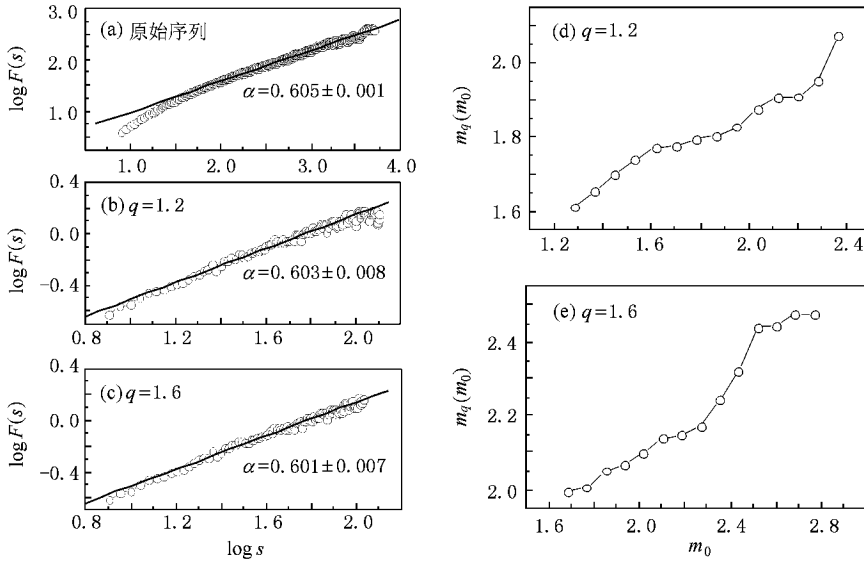


图 9 南京站 1957 年—2004 年日最高气温序列及其极端事件序列的长程相关性和记忆性 (a)(b)(c)分别为原始序列和阈值 $q = 1.2, 1.6$ 下极端事件序列长程相关性 (d)(e)分别为阈值 $q = 1.2, 1.6$ 条件下极端事件序列的记忆性

为进一步研究观测资料中极端事件长程相关性的区域分布情况,采用中国 194 个国际交换站的逐日最高气温资料进行研究,资料时间跨度为 1957 年 1 月至 2004 年 12 月.对缺测较多或者不满 48a 连续

观测的站点加以剔除,经检验有 178 个站点满足上述要求,对仍存在的个别缺测使用插值方法补足.图 10 给出了 178 个站点气温序列分别取 $q = 1.2, 1.6$ 时标度指数 α 的分布情况.

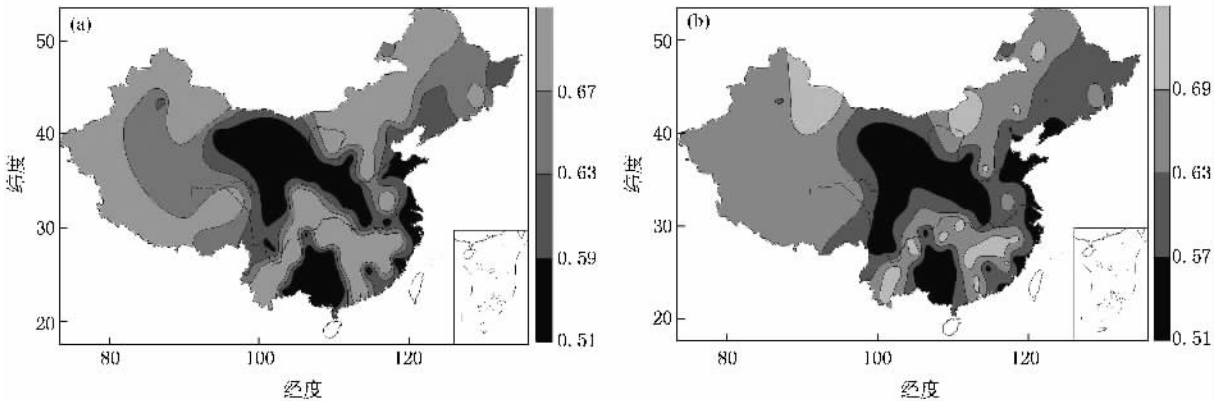


图 10 气温资料中极端事件的长程相关性 (a) $q = 1.2$ (b) $q = 1.6$

比较图 10(a)和(b)可知:中国各站点气温极端事件序列标度指数 α 值分布范围在 0.51—0.78 之间,存在长程相关性.并且两图标度指数 α 值分布情况大体相同,但又有一定的区别.在 $q = 1.2$ 阈值条件下的极端事件序列标度指数 α 在云贵、内蒙中

部、甘肃和沿海地区较小,基本在 0.51—0.59 之间,表明这些区域气温极端事件序列长程相关性较弱.而在中国中部和华北地区标度指数 α 值的范围基本在 0.67—0.78 之间,表明这些区域气温极端事件序列长程相关性较强,揭示了高温极端事件在这些

地区易发生的特点,是关键区域.在 $q = 1.6$ 阈值条件下极端事件序列标度指数 α 基本上也表现出云贵、内蒙中部、甘肃和沿海地区较小,在中国中部和华北地区较大的特点,存在比较明显的区域性差异.

$q = 1.2, 1.6$ 两种情况下在广西的东西两侧存在两条明显标度指数 α 的大值带,汇聚于长江中下游地区.西侧一支为云南西南部至长江中下游的四川盆地,这一大值带对应印度季风和孟加拉湾水汽输送的通道^[25-27],夏季来自南半球的越赤道气流进入孟加拉湾,形成水汽含量较高的强西南气流从云贵高原地区自西南向东北输送,因此形成了云南西南部至长江中下游地区的雨带分布.东侧一支为广东南部向长江流域推进,进入淮河流域以后标度指数值有所减弱.该大值带对应了我国南海季风及其水汽输送的主要通道^[28,29],夏季澳大利亚附近的越赤道气流进入南海,形成强盛的东南风,携带大量水汽沿东支进入我国,影响我国东部地区的降水和温度.东西两支夏季风传输通道的空气中水汽含量较高,空气中的热容较大,在一定程度上导致了温度变化具有较好的长程记忆性,因此通道所在区域的标度指数值较大,从侧面建立了长程相关性与气候系统记忆性的可能联系.此外,华北至内蒙古东部及东北的西部地区也存在标度指数值相对较大的区域,这一分布带地处我国地形分布的第二阶梯,日本海和黄海的气流在爬升过程中减弱,对这一区域温度和降水的影响相对较小.

5. 结 论

本文应用 DFA 方法对 Lorenz 系统一定阈值条

件下的极端事件长程相关性进行了研究.对于系统而言,当原始序列具有长程相关性时,在不同阈值条件下的极端事件序列也具有长程相关性,极端事件序列的标度指数 α 都略小于原序列,但不同阈值条件下的序列相互间均比较接近.特别是当阈值较大时,所得极值序列比例很小,仍然可以得到相近的标度指数 α ,为极端事件的规律总结和预测提供了较有价值的参考.与高斯白噪声序列进行比较后发现,极端事件序列长程相关性与原序列长程相关性是紧密相连的.分别讨论了系统初值和控制参数对极端事件序列长程相关性的影响,其对初值影响较小,控制参数变化对极端事件序列长程相关性影响较大,具体表现为随控制参数的增大,极端事件序列标度指数呈明显下降趋势,当控制参数很大时,标度指数接近于无长程相关性时的情况.为研究极端事件序列长程相关性的作用,比较了 Lorenz 系统和高斯白噪声序列的条件平均极值 $m_q(m_0)$ 随条件阈值 m_0 的变化关系,发现 Lorenz 系统存在明显的记忆性,即极端事件后面往往紧跟的是另一次极端事件.最后对国家气候中心 1957 年—2004 年北京站和南京站的日最高温度序列进行了分析,得到两站点的气温序列及其某阈值条件下的极端事件序列都具有长程相关性和记忆性.并且给出中国 194 个国际交换站逐日最高气温资料中极端事件序列长程相关性分布情况,为探寻高温极端事件发生规律和对其进行预测提供了较有价值的参考.当然,以上结论是在连续可微动力系统中研究取得的,但是在实际的地球系统演化过程中,有一部分极端事件(例如火山爆发、降水等)是由非连续的物理过程造成的,需要进一步研究其产生机制和发生规律.

- [1] Gumbel E J 1958 *Statistics of Extremes* (New York: Columbia University Press)
- [2] Fisher R A, Tippett L H C 1928 *Proc. Camb. Philos. Soc.* **24** 180
- [3] Bunde E K, Bunde A, Havlin S, Goldreich Y 1996 *Physica A* **231** 393
- [4] Bunde E K, Bunde A, Havlin S, Roman H E, Goldreich Y, Schellnhuber H J 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 729
- [5] Talkner P, Weber R O 2000 *Phys. Rev. E* **62** 150
- [6] Eichner J F, Bunde E K, Bunde A, Havlin S 2003 *Phys. Rev. E* **68** 046133
- [7] Eichner J F, Kantelhardt J W, Bunde A, Havlin S 2007 *Phys. Rev. E* **75** 011128

- [8] Ameedo A, Bacy E, Graves P V, Muzy J F 1995 *Phys. Rev. Lett.* **74** 16
- [9] Gu G F, Zhou W X 2006 *Phys. Rev. E* **74** 061104
- [10] Hu K, Ivanov P C, Chen Z, Carpena P 2001 *Phys. Rev. E* **64** 011114
- [11] Kantelhardt J W, Bunde E K, Rego H A 2001 *Physica A* **295** 441
- [12] Feng G L, Gong Z Q, Dong W J, Li J P 2005 *Acta. Phys. Sin.* **54** 5494 (in Chinese) [封国林、龚志强、董文杰、李建平 2005 物理学报 **54** 5494]
- [13] Shi N 2005 *Chin. Phys.* **14** 844
- [14] Dai X G, Fu C B, Wang P 2005 *Chin. Phys.* **14** 850
- [15] Feng G L, Dong W J 2003 *Chin. Phys.* **12** 1076

- [16] Zou M W ,Feng G L ,Gao X Q 2006 *Chin. Phys.* **15** 1384
 [17] Lorenz E N 1963 *J. Atmos.* **20** 130
 [18] Feng G L ,He W P 2007 *Chin. Phys.* **16** 2825
 [19] Feng G L , Dong W J , Jia X J 2004 *Chin. Phys.* **13** 413
 [20] Hou W ,Feng G L ,Dong W J ,Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2663
 (in Chinese) [侯 威、封国林、董文杰、李建平 2006 物理学报 **55** 2663]
 [21] Feng G L , Dong W J , Jia X J 2004 *Chin. Phys.* **13** 413
 [22] Mullen S L 1994 *Mon. Wea. Rev.* **122** 1548
 [23] Chou J F 1983 *Acta Meteor. Sin.* **41** 385 (in Chinese) [丑纪范 1983 气象学报 **41** 385]
 [24] Weron R 2002 *Physica A* **312** 285
 [25] Wu G X ,Zhang Y S 1998 *Mon. Wea. Rev.* **129** 913
 [26] Lau K M , Wu H T , Yang S 1998 *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **79** 1871
 [27] Lau K M , Ding Y H , Wang J T 2000 *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **81** 1261
 [28] Lim Y K , Kim K Y 2002 *J. Climate* **15** 3630
 [29] Wang B , Wu R G 1997 *Adv. Atmos. Sci.* **14** 177

Long-range correlation of extreme events in meteorological field*

Feng Guo-Ling^{1,2,3†} Wang Qi-Guang¹⁾ Hou Wei^{1,2)} Gong Zhi-Qiang^{2,3)} Zhi Rong^{1,2)}

¹ College of Physics Science and Technology ,Yangzhou University , Yangzhou 225002 , China)

² Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia , Institute of Atmospheric Physics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029 , China)

³ Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration , National Climate Center , Beijing 100081 , China)

(Received 15 June 2008 ; revised manuscript received 22 August 2008)

Abstract

The long range correlation of extreme events of the Lorenz system is discussed by using the method of fixed threshold. It turns out that all of the extreme events with different threshold have long range correlation. The scaling exponents are similar , but just smaller than the original series. The long range correlation of extreme events is less effected by the initial value changes , but it decreases distinctly when the parameters increases. The long range correlation of Lorenz system's extreme events series has the traits of memory when compared with Gaussian white noise. Finally , we use the maximal day air temperature data of 194 stations between 1957 and 2004 , from the National Climate Center of China , to reveal that the similar law exists in the actual meteorological factors.

Keywords : Lorenz system , extreme events , long range correlation , memory

PACC : 9260X

* Project supported by the State Key Program of Science and Technology of China (Grant Nos. 2007BAC03A01 , 2007BAC29B01).

† E-mail : fenggl@cma.gov.cn