

# 金衢盆地的洪涝特征

冯 利 华

(浙江师范大学地理系 金华 321004)

**提 要** 金衢盆地的洪涝具有时间分形结构. 无标度区越宽, 时间分维值越小, 洪涝周期越长, 洪涝灾害越严重. 1997~ 2000 年金衢盆地出现洪涝年的可能性比较小, 而 21 世纪的一个十年 (2001~ 2010 年), 金衢盆地的洪涝年可能稍偏少.

**关键词** 金衢盆地 洪涝 分形 分维 隐含周期

## 1 前 言

金衢盆地位于浙江省中西部, 是我国南方著名红色盆地之一, 面积约 1.51 万  $\text{km}^2$ . 金衢盆地的地势由中心向外围呈阶梯状上升, 盆地底部比较平坦, 周围山地海拔多在千米以上, 最高峰为盆地西界的玉京峰 (海拔 1 817m). 金衢盆地气候湿润, 光热充足, 历来是浙江省重要的粮食生产基地之一. 但由于它位于中亚热带季风气候区, 降水的年内和年际变化很大, 故盆地内洪涝灾害较为严重. 近年来, 已有学者对金衢盆地的洪涝特点作过研究<sup>[1, 2]</sup>. 为了减轻洪涝灾害对粮食生产的影响, 切实打好粮食翻身仗, 兹拟对金衢盆地洪涝的时间分维特征和时间序列特征作一分析.

## 2 金衢盆地洪涝的时间分维特征

分形理论是由法国科学家曼德布罗特 (B. B. Mandelbrot) 首先提出来并进行出色研究的<sup>[3]</sup>, 近年来在许多学科领域受到了关注和重视, 并取得了一些可喜的成果<sup>[4, 5]</sup>. 曼德布罗特首先通过对英国几个海岸线长度的测量, 发现了一个向来被人们忽略的问题: 测量尺度越小, 海岸线越长, 即随着测量所用尺度的不同, 海岸线的长度是不确定的, 因此他提出了“英国的海岸线有多长?” 这样一个简单而深刻的问题. 事实上, 在自然界存在着许多现象, 诸如海岸线、树木、血管、闪电等, 当适当放大或缩小几何尺寸时, 这些现象的整个结构并不改变, 即它们具有自相似的层次结构. 曼德布罗特根据这种自相似性, 把自然现象各组成部分以一定方式与自身整体相似的形态称为分形. 具有分形结构的自然现象的一个重要特点是: 只有在一定的尺度内和一定的层次中, 它才表现出分形特征, 其两端都受到某种特征尺度的限制, 这个具有自相似性的范围称为无标度区.

分形是用分维来定量描述的. 设某一研究时段的子段为  $X$  (标度), 在研究时段内自然现象出现的子段数为  $N(X)$ , 若  $X$  与  $N(X)$  满足

$$D = \lim_{X \rightarrow 0} \frac{\ln N(X)}{\ln X}, \quad (1)$$

那么该自然现象具有时间分形结构,  $D$ 就是它的时间分维.

洪涝在时间轴上表现为不连续的点分布, 是一种不规整的 Cantor 集合. 从周期角度分析, 不同等级的洪涝以不同的周期重复出现, 短周期包含在长周期中, 长周期又包含在更长的周期中. 从分形角度分析, 在一定的时段内, 危害大的洪涝出现几率小, 而危害小的洪涝则出现几率大, 当延长或缩短时段时, 更长或更短时段内的洪涝大小和出现几率的结构并不改变, 即洪涝具有时间分形结构.

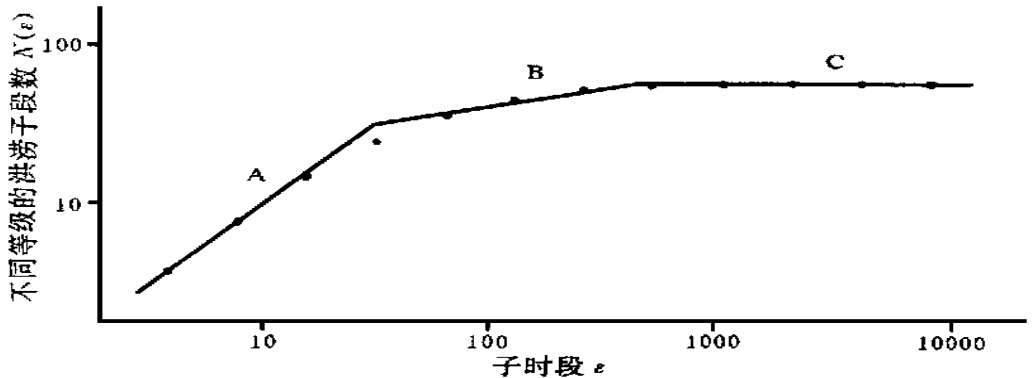


图 1 金衢盆地洪涝的时间分形结构

Fig. 1 Time fractal structure of the flood-waterlogging of Jinhua-Quzhou Basin

《中国近五百年旱涝分布图集》(1470~1979年)把洪涝分为两级: I 级大涝和 II 级偏涝, 其中 I 级大涝指持续时间长而强度大的降水和大范围大水, II 级偏涝指春秋单季成灾不重的持续降水和局地大水. 根据金华气象站 1980~1996 年 5~9 月降水量资料, 把金衢盆地的洪涝年份延长到 1996 年, 总计洪涝等级资料共 527 年. 根据分形理论, 首先把研究时段等分为  $X/2^n$  个子段 ( $n=1, 2, 3, \dots$ ), 并统计出现不同等级洪涝的子段数  $N(X)$ , 然后把  $X$  与  $N(X)$  点绘在双对数坐标系中 (图 1). 从图 1 可见, 在 A 段, 当标度  $X$  较小时, 直线的斜率等于 1,  $\ln N(X) = \ln X$  即每一子段都有洪涝出现, 说明洪涝在这一时间域上不存在自相似性. 在 C 段, 当标度  $X$  较大时, 直线的斜率等于 0,  $\ln N(X) = b$ , 即每一子段最多只有一次洪涝出现, 这时无论  $X$  怎样变大, 洪涝出现的子段数恒等于洪涝总年数 ( $N(X) = N$ ), 说明洪涝在这一时间域上也不存在自相似性. 只有在 B 段, 当标度  $X$  适当时, 直线的斜率才介于 0~1 之间, 此时

$$\ln N(X) = D \ln X + b, \quad (2)$$

说明洪涝只有在这一时间域上才存在自相似性, 其分布出现时间分形结构, 相应的时间域即为无标度区. 就 I 级大涝而言, 在无标度区  $[64, 512]$ ,  $X$  与  $N(X)$  的关系为

$$\ln N(X) = 0.1943 \ln X + 2.7961, \quad (3)$$

其时间分维值  $D = 0.1943$ , 相关系数  $R = 0.9911$ .

表 1 是金衢盆地洪涝的无标度区和时间分维值. 计算结果表明, 金衢盆地的洪涝具

有时间分形结构. 无标度区、时间分维值和洪涝周期、灾害程度存在着密切关系. 无标度区越窄, 时间分维值越大, 洪涝周期越短, 但洪涝灾害越轻; 反之, 无标度区越宽, 时间分维值越小, 洪涝周期越长, 但洪涝灾害越严重. 因此时间分维是描述洪涝发生规律的一个较好的物理指标, 有可能为洪涝预报提供一定的理论依据.

3 金衢盆地洪涝的时间序列特征

金衢盆地洪涝的时间序列存在着明显的隐含周期. 据逐步回归周期分析的原理, 可把洪涝的时间序列  $X(t)$  看成是具有不同隐含周期的周期波序列叠加的结果, 即

表 1 金衢盆地洪涝的无标度区和时间分维值  
Table 1 Non-scaling range and time fractal dimension of the flood-waterlogging of Jinhua-Quzhou Basin

洪涝等级	无标度区	时间分维值 $D$	相关系数 $R$
I 级大涝	[64, 512]	0.1943	0.9911
II 级偏涝	[32, 256]	0.4964	0.9805

$$X(t) = \sum_{i=1}^k a_i f_i(t) + e(t), \quad (t = 1, 2, \cdots, n), \tag{4}$$

式中  $k$  为隐含周期个数, 是不超过  $n/2$  的最大整数;  $n$  为资料系列长度;  $f_i(t)$  是隐含周期长度为  $l_i$  的周期波序列 ( $i = 1, 2, \cdots, k$ );  $a_i$  为  $f_i(t)$  的系数;  $e(t)$  为白噪声.

在这里, 周期波序列  $f_i(t)$  取为原序列  $X(t)$  的分组平均值序列, 并用逐步回归的方法来估计  $a_i$ , 从而挑选优势隐含周期, 进行外推预报, 其计算步骤如下.

1. 根据周期分析法, 将洪涝时间序列  $X(t)$  依次按周期长度  $l$  分组 ( $2 \leq l \leq k$ ), 求出各组的平均值作为新序列  $f_i(t)$ , 将  $f_i(t)$  的长度外推至  $n$ , 再把这  $k-1$  个新序列视为预报因子  $x^1, x^2, \cdots, x^{k-1}$ , 原序列则视为预报量  $x^k$ , 由此得到原始数据矩阵  $A$ .

2. 按下式计算相关矩阵 (增广矩阵)

$$r_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_{ti} - \bar{x}_i)(x_{tj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_{ti} - \bar{x}_i)^2 \sum_{t=1}^n (x_{tj} - \bar{x}_j)^2}}, \tag{5}$$

$(i, j = 1, 2, \cdots, k),$

并计算

$$F_i = \frac{V_i(n-p-1)}{Q^{(l)}}, \tag{6}$$

式中  $V_i$  为因子  $x_i$  对回归方程的方差贡献;  $Q^{(l)}$  为第  $l$  步的残差平方和;  $p$  为已引入方程的因子个数.

3. 给出引入和剔除因子的  $F$  检验临界值  $F_T$ . 根据各因子对回归方程的方差贡献大小, 作显著性检验, 逐个引入对  $X(t)$  影响显著的因子 (即优势隐含周期), 同时剔除对  $X(t)$  影响不显著的因子. 其间依次变换相关矩阵, 直至既无因子能被引入, 又无因子能被剔除时为止.

4. 计算被引入因子的回归系数  $a_i$ , 建立预报方程  $\hat{X}(t)$ , 最后计算拟合值和预报值.

为了推测金衢盆地洪涝灾害的变化趋势, 统计了 1470 年以来每十年中 I 级大涝和 II

级偏涝的总年数,并把 1971~ 1990 年资料留作验证之用. 当给定引入和剔除因子的  $F$  检验临界值  $F_{\alpha}=5.0$  时,可提取 6 个优势隐含周期,其周期长度分别为 90a 160a 170a 230a 240a 250a,大涝和偏涝年的预报方程

$$\begin{aligned}\hat{X}_1(t)= & 0.6122 f_{90}(t)+0.4763 f_{160}(t)+0.4790 f_{170}(t)+0.2447 f_{230}(t) \\ & +0.3842 f_{240}(t)+0.4318 f_{250}(t)-4.8066.\end{aligned}\tag{7}$$

式 (7) 的复相关系数  $R_1=0.9368$ , 剩余标准差  $S_2=0.6260$ .

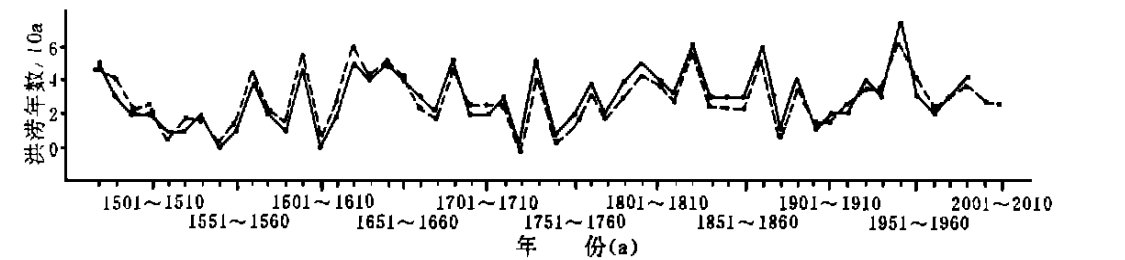


图 2 金衢盆地洪涝年变化的实际曲线 (实线) 和拟合曲线 (虚线)

Fig. 2 Continuous graph (actual line) and matched graph (virtual line) of change of the flood-waterlogging year of Jinhua-Quzhou Basin

图 2 是 1471~ 1970 年金衢盆地洪涝年变化的实际曲线和拟合曲线,可见两者拟合良好. 据式 (7) 对金衢盆地 1971~ 1980 年和 1981~ 1990 年的洪涝年数进行预报, 预报值分别为  $\hat{X}_1(1971\sim 1980)=2.99\text{a}$  和  $\hat{X}_1(1981\sim 1990)=3.60\text{a}$ , 而实际情况为: 1971~ 1980 年金衢盆地出现了 3 个洪涝年, 1981~ 1990 年出现了 4 个洪涝年, 可见预报结果是比较理想的.

最后把金衢盆地 20 世纪 70 年代和 80 年代的洪涝年信息加入原时间序列, 得到新的预报方程  $\hat{X}_2(t)$ , 其复相关系数  $R_2=0.9350$ , 剩余标准差  $S_2=0.6230$ , 说明拟合精度与式 (7) 相差无几. 用  $\hat{X}_2(t)$  对金衢盆地 1991~ 2000 年和 2001 年~ 2010 年的洪涝年数进行预报, 预报值分别  $\hat{X}_2(1991\sim 2000)=2.79\text{a}$  和  $\hat{X}_2(2001\sim 2010)=2.54\text{a}$  (见图 2). 由此表明, 由于 1991~ 1996 年金衢盆地已出现过 3 个洪涝年, 故 1997~ 2000 年它再次出现洪涝年的可能性比较小, 而 21 世纪的第一个十年 (2001~ 2010 年), 金衢盆地的洪涝年数可能稍偏少 (平均年数 2.88a/10a).

## 4 结 语

从上面的分析可得到如下两点结论.

1. 金衢盆地的洪涝具有时间分形结构. 无标度区越宽, 时间分维值越小, 洪涝周期越长, 洪涝灾害越严重, 反则反之. 时间分维是描述洪涝发生规律的一个较好的物理指标.

2. 1997~ 2000 年金衢盆地出现洪涝年的可能性较小, 而 21 世纪的第一个十年 (2001~ 2010 年) 金衢盆地的洪涝年数可能稍偏少.

洪涝年的出现是一种自然现象, 这是不可避免的, 但它有一定的特征. 认识了这种特征, 就能够在一定程度上减轻洪涝灾害的损失, 从而达到增产增收的目的.

## 参 考 文 献

- [1] 郭文杨,汪铎.浙江省金衢盆地的旱涝特点.山地研究,1988,6(3): 189~ 192.
- [2] 冯利华.金衢盆地的水文特征.见:浙江师范大学地理系.金衢盆地地理研究.北京:气象出版社,1993. 23~ 27.
- [3] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain— statistical self-similarity and fractional dimension. *Science*, 1967, 156(3775): 636~ 638.
- [4] 陈 等.分形与混沌在地球科学中的应用.北京:学术期刊出版社,1989. 151~ 170.
- [5] 李后强,汪富泉.分形理论及其在分子科学中的应用.北京:科学出版社,1993. 3~ 52.

## CHARACTERISTIC OF THE FLOOD-WATERLOGGING IN JINHUA-QUZHOU BASIN

Feng Lihua

(*Department of Geography, Zhe jiang Normal University Jinhua 321004*)

### Abstract

The flood-waterlogging of Jinhua-Quzhou Basin has a time fractal structure. The wider the non-sacling range and the smaller the value of time fractal dimension is, the longer the period of the flood-waterlogging and the mord serious the disaster of the flood-waterlogging is. The possibility of Jinhua-Quzhou Basin arising the flood-waterlogging year will be comparatively small from 1997 to 2000. The flood-waterlogging year of Jinhua-Quzhou Basin will be slightly few in first 10 a of the 21st century (2001~ 2010).

**Key words** Jinhua-Quzhou Basin, flood-waterlogging, fractal, fractal dimension, implicit period