

淮河流域洪涝特征初步研究

周寅康

(南京大学大地海洋科学系 南京 210093)

摘 要 本文以《中国近五百年旱涝分布图集》为基础,采用一定的洪涝指标计算方法,建立了淮河流域近500年洪涝序列。在此基础上,从统计特征、时序特征和分形特征等方面讨论了淮河流域洪涝的基本特征。分析表明,淮河流域各等级洪涝具有较高的发生频次,且具有相对集中性特点和一定的持续发生机率;淮河流域洪涝具有不同长度的阶段性或周期性,存在约460年、150年和60—80年的周期及一些更小尺度的波动;淮河流域洪涝具有一定标度范围内的统计分形特征,时间分维值随洪涝强度的增加而降低,与洪涝周期呈反相关关系。时间分维是描述洪涝特征的一个较好的物理量,可能对揭示洪涝规律和进行有效预报具有重要作用。

关键词 淮河流域 洪涝 指标 分形 分维

分 类 (中图法) P343 (科图法) 57.126

1 引言

洪涝是一种频发而严重的自然灾害。淮河流域地处我国北亚热带和暖温带交汇处,受气候、地形等因素的影响,洪涝发生频率高,灾害程度重,历来是社会安定、经济发展的重要制约因素。如1593年(明万历21年)春夏之交发生在淮河干流、洪汝河、沙颍河等地的特大洪水,使淮河流域遭受了罕见的洪涝灾害,沿河房屋漂没殆尽,人畜伤亡无算,灾民无衣无宿,奄奄待毙^{*}。解放后,尽管对淮河流域进行了持久而大规模的综合治理,防洪抗洪能力有了显著提高,但洪涝仍时常发生,且随着人口的增加,经济的发展,财产的集聚,洪涝灾害呈频度加快、灾度加重、损失加大的共性^[1]。如1991年江淮地区特大洪涝,淮河流域成灾面积达29 180 km²,受灾人口4 837万,因洪涝造成的直接经济损失达335亿元^[2]。因此,对淮流域洪涝基本特征及其规律的研究,不仅是减灾研究的重要组成部分,洪灾预防的基础,对流域防洪规划、地区经济发展等均有重要意义。

本文拟以具有较好一致性的《中国近五百年旱涝分布图集》^[3](以下简称《图集》)为基础,

* 淮河上游河南省部分地区历史洪水资料. 水利电力部第十一工程局勘测设计研究院, 1976.

收稿日期: 1995-02-20, 收到修改稿日期: 1995-10-23

讨论淮河流域洪涝的基本特征。

2 洪涝指标序列的建立与等级划分

由中央气象局气象科学研究院会同全国有关高校、科研单位和地方气象局共同完成的《图集》，对我国 1470 年以来丰富的气候记载，如地方志、明清实录等作了比较全面而系统的整理，旱涝等级标准一致。如 1 级：持续时间长而强度大的降水，大范围降水。“夏大雨浹旬，江水溢”、“大雨连日，陆地行舟”等；2 级：春秋单季成灾不重的持续降水、局地大水，成灾稍轻的飓风大雨。“春霖雨伤禾”、“秋霖雨害稼”、“八月大水”等。同时，对近代实测降水资料，根据 5—9 月降水量及有关民政资料和旱涝调查资料作了旱涝等级处理，并使之与历史资料所得的旱涝等级相一致。因此，《图集》所反映的我国近五百年（1470—1979）的旱涝等级及其分布，实际上展示了我国主要气象灾害，干旱、洪涝的基本情况，具有较好的参考价值。以《图集》为基础进行的诸多工作，推动了我国干旱洪涝灾害基本规律的研究和认识。

本文以《图集》为基础，并按《图集》中依 5—9 月降水量资料划分旱涝等级的标准，将淮河流域 1 级（洪涝）和 2 级（偏涝）资料延长至 1991 年。在此基础上，逐年读取 1 级和 2 级面积占流域总面积的百分数，按下列指标建立淮河流域近五百年（1470—1991）洪涝序列。本文建议采用的洪涝指标计算公式为：

$$I_i = P_{i1} \times D_1 + P_{i2} \times D_2 \tag{1}$$

式中 I_i ——淮河流域 i 年的洪涝指标；
 P_{i1} 、 P_{i2} ——分别为年 1 级和 2 级面积占流域总面积的百分数；
 D_1 、 D_2 ——分别为 1 级和 2 级洪涝等级权重值，由于《图集》将旱涝共分 5 级，故将 D_1 、 D_2 分别取 5 和 4。

上述洪涝指标利用了《图集》中不同洪涝等级的分布信息，反映了不同洪涝面积和不同洪涝等级对洪涝的实际影响程序，具有较好的适用性。由于《图集》比例尺较小，面积量算相对误差可能较大。以历史资料来反映洪涝，其程度不易把握。主要降水月份的降水量亦因降水集中度的不同而使洪涝有一定的差异，且洪涝与洪涝灾害的测重点并不相同，洪涝更多地注意其自然属性，洪涝灾害则更多地注意洪涝对承载体——人类社会环境的作用后果。显然，即使是相同的洪涝，其所造成的灾害是不同的，这是洪涝灾害呈总体上升趋势的基本原因。本文旨在分析淮河流域洪涝的基本情况，这对了解该流域洪涝的宏观变化规律及其趋势，进行洪涝预防，具有较好的现实意义。

根据上述洪涝指标计算公式，本文建立了淮河流域近五百年洪涝序列，并按下列标准划分该流域洪涝等级：

等级	指 标	名 称
I	$4.0 \leq I_i \leq 5.0$	极严重洪涝
II	$3.0 \leq I_i < 4.0$	严重洪涝
III	$2.0 \leq I_i < 3.0$	一般洪涝
IV	$0 < I_i < 2.0$	轻度洪涝

3 淮河流域洪涝统计特征

3.1 频率发生特征

根据上述洪涝等级标准和淮河流域近五百年洪涝指标序列（表 1），淮河流域在 1470—1991 年的 522 年中，共发生一般等级以上洪涝 161 次，占总年数的 30.8%，平均约三年一次，发生频率较高，与建国以来前 30 年的统计基本一致^[4]。严重（包括极严重）洪涝的发生频次为 14.9%，约 7 年发生一次，与安徽省 1950—1980 年的旱涝统计相一致*。各等级洪涝频次统计表明，本文所建议采用的洪涝指标客观地反映了淮河流域洪涝的基本情况。

表 1 淮河流域各等级洪涝频次统计（1470—1991）

Tab. 1 Frequencies of flood with different grades in Huaihe River Basin during 1470—1991

洪涝 等级	不 同 世 纪						
	1470— 1991	1470— 1499	1501— 1599	1601— 1699	1701— 1799	1801— 1899	1901— 1991
I	24	1	5	4	7	4	3
Ⅰ	78	3	17	20	14	13	11
Ⅲ	161	5	28	32	38	31	27
Ⅳ	421	17	84	84	82	83	71

就不同世纪洪涝的发生频次而言，极严重洪涝和一般洪涝均以 18 世纪相对较高，严重洪涝以 17 世纪出现频次最高。若进一步分析各等级洪涝的出现年份（图略），则可发现，淮河流域洪涝的发生具有相对集中性特点：极严重洪涝在 18 世纪中叶最集中，1730—1755 年的 25 年中共发生 5 次，其中，1741—1755 年的 14 年中，就发生了 4 次；严重洪涝在 19 世纪 20 年代相对集中，1817—1833 年的 16 年中共发生 8 次，平均 2 年发生一次；一般洪涝的出现以 18 世纪前 60 年、19 世纪前半叶和 20 世纪前 20 年相对集中。

3.2 多年持续性特征

本文统计了淮河流域不同等级洪涝多年持续发生频次（表 2）。

表 2 淮河流域洪涝持续发生频次统计（1470—1991）

Tab. 2 Frequencies of flood with different grades due to successive years in Huaihe River Basin (1470—1991)

等级	持续年数					
	2	3	4	5	6	7
I	2					
Ⅰ	9	5				
Ⅲ	17	8	4	4	1	1

* 安徽旱涝气候分析. 安徽省气候资料室, 1984.

由表 2 可知，淮河流域洪涝持续发生的频次呈随持续年数的增加而急剧下降的共性。洪涝程度越重，出现频次越低；持续年数越长，出现频次越低。各等级持续 2 年出现频次合计为 5.4%，最长持续年数不超过 7 年。表明，淮河流域多年持续洪涝的出现具有一定的机率，但不高。

4 淮河流域洪涝时间序列特征

本文点绘了淮河流域近 500 年洪涝 10 年滑动平均曲线（图 1）。从图 1 可以看出，淮河流域存在大约 60—80 年的周期变化。淮河流域近 500 年洪涝距平累积曲线（图 2）表明，该流域近 500 年洪涝存在不同长度的阶段性或周期性。

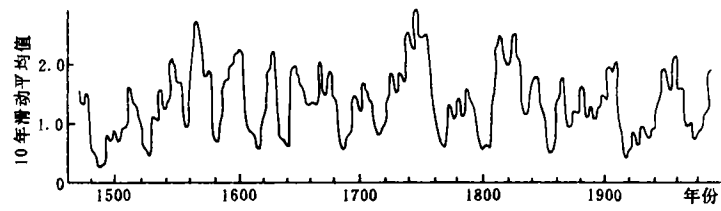


图 1 淮河流域近 500 年洪涝 10 年滑动平均曲线

Fig. 1 10-year moving average graph of flood in Huaihe River Basin during 1470-1991

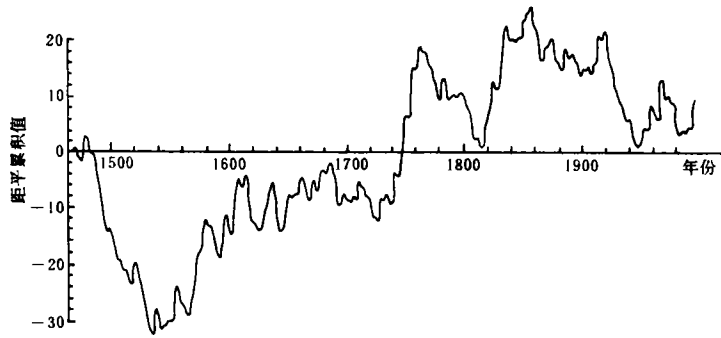


图 2 淮河流域近 500 年洪涝距平累积曲线

Fig. 2 Anomalous accumulograph of flood in Huaihe River Basin during 1470-1991

从 15 世纪 80 年代到 20 世纪 40 年代，存在一个持续时间约 460 年的长周期。在此周期内，从 1483 年至 1746 年，为曲线的低平阶段，这一阶段多出现一般洪涝和轻度洪涝；从 1474 年至 1945 年，为曲线的超平阶段，此阶段内，严重和极严重洪涝的出现频次相对较多。此外，半周期内存在着 150 年、80 年左右的周期和一些更小尺度的波动。从曲线变化趋势分析，淮河流域洪涝将转入低平阶段，但目前正处于小尺度波动范围内的相对上升阶段，表明淮河流域最近发生严重洪涝的可能性较大。1993 年淮河流域再次发生较大规模的洪涝说明了这一

点。

5 淮河流域洪涝时间分形特征

近年来,分形论受到许多学科领域的关注和重视,并已取得了一些可喜成果,如几何分形、地貌分形、蛋白质分子分形、地震活动分形特征等^[5-9],对时间分形亦有一定的研究^[10-12],但对洪涝序列的分形研究较少。本文对淮河流域洪涝序列进行了分形特征的初步探讨。

5.1 分形论——一种新的方法论

分形(Fractal)是由法裔美籍科学家曼德布罗特(Mandelbrot, B. B.)首先提出并进行出色研究的^[13-14]。他通过对世界上,尤其是英国几个海岸线测量长度的统计分析,提出了“英国的海岸线有多长?”这样一个具有深刻哲理内涵的问题。通过研究,Mandelbrot发现,海岸线的长度,随着测量用尺度的减小,呈幂指数规律增加。因此,海岸线的长度是“不确定的”,它取决于测量时所用的尺度。这是由客体的自相似性(Self-similarity)所决定的。所谓自相似性,是指客体的局部与整体存在某种相似,也就是说,其结构特征在不同的尺度上重复出现。这种由各组成部分以一定方式与整体相似的形态称为分形(Mandelbrot, 1986)。分形所揭示的自相似性具有广泛而深刻的现实基础,如生物学中的海克尔重演律、许多自然事件的多层次嵌套结构等;分形所揭示的客体大小与度量该客体尺度间的幂指数关系,在许多学科领域中得到证实,如表征地震发生频率与震级关系的G-R公式、表征水道平均长度与水道数目关系的Horton定律^[15]等。

分形有几何分形、时间分形、信息分形、功能分形等。

分形由分维来定量描述。分维就客体大小与测量尺度之间呈幂指数律的那个指数。设一系统,如果量度其大小的尺度为 r ,用该单位量度的结果为 $N(r)$,随着 r 的不断减小,若 r 与 $N(r)$ 满足如下关系:

$$N(r) = C_r^{-D} \propto r^{-D} \quad (2)$$

则该系统具有分形结构,维数为 D (式中 C 为不随 r 而变的常数),这一维数称为容量维。基于F. Hausdorff 1919年引入了上述定义,故又称Hausdorff维(Hausdorff Dimension)。上述维数不一定是整数,也可以是分数。在实际问题中,可以不分容量维和Hausdorff维,一律称之为分维(Fractal Dimension)。分维是系统无序程度的一种度量。分维值的大小表征了系统特征结构的自相似性程度。分维测算是分形研究的基础和前提。

5.2 不同洪涝等级的时间分维

洪涝的发生表现为一个时间域上不连续的点过程。从周期的角度出发,不同时间跨度的周期相互嵌套,长周期中包含短周期,短周期中又有更短的周期;从分形论角度分析,则洪涝在时间轴上的分布具有类似的结构,存在某种程度的相似性,是一种极不规整的康托尔(Cantor)集合。根据分形论及公式(2),可采用下列标度变换法计算不同洪涝等级的分维数。

首先,以标度变换值 $r=1/2$ 将所研究的时段等分为2个时段,统计洪涝发生的时段数 $N(1/2)$;再以 $r=1/2^2$ 将所研究的时段等分为 2^2 个时段,统计洪涝发生的时段数 $N(1/2^2)$;如此继续,将所研究的时段以 $r=1/2^n$ 等分为 2^n 个时段,统计洪涝发生的时段数 $N(1/2^n)$;最

后，建立 $\ln(1/r)$ 与 $\ln N(r)$ 之间的统计关系。随着标度 r 的不断减小(即 n 的增大)， $\ln(1/r)$ 与 $\ln N(r)$ 存在不同的统计关系(图 3)。当标度 r 较大， n 值较小， $n < n_1$ 时，有 $\ln N(r) = \ln(1/r)$ ，即每一分划时段都有洪涝的发生，洪涝在这一时间域上存在特征尺度；当 r 太小， n 值太大， $n > n_2$ 时，每个时段最多只有一次洪涝的发生，这时，无论标度怎样变小，有洪涝发生的时段数均等于总的洪涝发生数数目，即 $N(r) \equiv N$ ，也存在特征尺度，只有当标度适当， $n_1 < n < n_2$ 时，有

$$\ln N(r) = a + D \ln(1/r)$$

满足(2)式，此时，洪涝的发生在时间域上不存在特征尺度，其分布出现分形结构，相应的标度变换区称无标度区(Non-scaling range)。

根据上述标度变换法，本文计算了淮河流域近 500 年不同等级洪涝的时间分维值(表 3)。

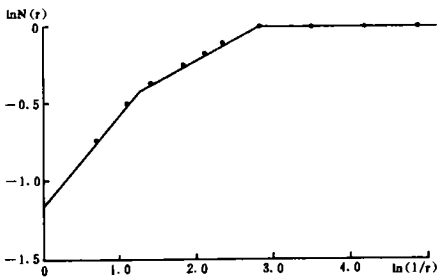


图 3 淮河流域近 500 年洪涝 ($I_i \geq 2.0$) 时间分形结构
Fig. 3 Time fractal of flood in Huaihe River Basin ($I_i \geq 2.0$) for last 500-year period

表 3 淮河流域近 500 年不同等级洪涝时间分维值
Tab. 3 Time fractal dimension of flood with different grades in Huaihe River Basin for last 500-year period

洪涝指标	分维值	无标度区	相关系数
$I_i \geq 4.0$	0.2040	[2.64]	0.9134
$I_i \geq 3.0$	0.4099	[2.32]	0.9364
$I_i \geq 2.0$	0.5846	[2.16]	0.9879
$I_i > 0$	0.8855	[2.8]	0.9479

从上述不同等级洪涝的时间分维值可以看出，淮河流域洪涝具有时间分形特征，洪涝程度越重，无标度区越宽，分维值越低。表明，不同等级的洪涝具有各自的时间重演律，洪涝程度越重，长周期更明显，分维值越低；而轻度洪涝以短周期为主导，发生频繁，分维值较高。时间分维值与洪涝发生周期存在反相关关系，即时间分维值越小，洪涝发生的周期越长。因此，时间分维是描述洪涝事件的一个较好的物理量，有可能成为揭示洪涝规律、进行有效预报的重要方法。

6 结语

通过上述分析，对淮河流域近 500 年洪涝可以得到以下几点初步认识：

(1) 淮河流域各等级洪涝具有较高的发生频率，一般洪涝的发生平均约 3 年一次，严重洪涝的频次也超过 10%。此外，洪涝的发生具有相对集中性特点和一定的持续发生机率。

(2) 淮河流域洪涝具有不同长度的阶段性或周期性, 存在约 460 年、150 年和 60—80 年的周期及一些更小尺度的波动。从距平累积曲线的变化趋势分析, 淮河流域洪涝目前正处于小尺度波动范围内的相对上升阶段, 最近发生严重洪涝的可能性较大。

(3) 淮河流域洪涝具有一定标度范围内的统计分形特征, 洪涝程度越重, 无标度区越宽, 分维值越低。时间分维值随洪涝强度的增加而降低, 与洪涝发生周期呈反相关关系。时间分维是描述洪涝发生的一个较好的物理量, 可能对洪涝规律的认识和预防具有重要作用。

参 考 文 献

- 1 李吉顺, 王昂生. 关于我国自然灾害损失变化趋势和减灾效益评估的讨论. 中国减灾, 1991, 1 (2): 19—24.
- 2 史培军等. 1991 年淮河流域农村洪涝灾情分析. 地理学报, 1992, 47 (5): 385—393.
- 3 中央气象局气象科学研究所主编. 中国近五百年旱涝分布图集. 地图出版社, 1981.
- 4 冯佩芝等. 中国主要气象灾害分析 (1951—1980). 气象出版社, 1985. 30—34.
- 5 Mandelbrot B B. Fractal—a Geometry of Nature. New Scientists, 1990, 1127 (1734): 38—43.
- 6 李后强, 程光钺. 分形与分维. 四川教育出版社, 1980.
- 7 李后强, 汪富泉. 分形理论及其在分子科学中的应用. 科学出版社, 1993.
- 8 安镇文等. 大震前后地震活动的时空分维特征. 地震学报, 11 (3): 251—257.
- 9 李海华. 地震自相似性初探. 地震学报, 14 (1): 119—123.
- 10 Mandelbrot B B & Wallis J R. Some Long-run Properties of Geographical Records. Water Resources Research, 1969, 5 (3): 321—340.
- 11 Kirby M J. The Hurst Effect and its Implication for Extrapolating Process Rate. Earth Surface Process and Landforms, 1987, 12 (1): 56—67.
- 12 刘德富等. 地震活动的自律现象. 中国科学 (B), 1989 (2): 191—198.
- 13 Mandelbrot B B. How Long is the Coast of Britain—Statistical Self-similarity and Fractional Dimension. Science, 1967, 156 (3775): 636—638.
- 14 Mandelbrot B B. Fractals, Form, Chance and Dimension. W. H. Freeman, 1977.
- 15 洪时中, 洪时明. 地质领域中的分维研究: 水系地震及其它. 大自然探索, 7 (2): 33—40.

A PRELIMINARY STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF FLOODS IN HUAIHE RIVER BASIN

Zhou Yinkang

(*Dept. of Geography, Univ. of Nanjing, Nanjing, 210093*)

Abstract

On the basis of the “atlas of yearly dryness/wetness in China for last 500—year period”, the time series of floods in the Huaihe River Basin during 1470-1991 are established according to the flood index which considers the contribution of different flood area and different flood grade. Some characteristics of floods including statistical features, time series features and fractal features in the Huaihe River Basin for the last 500—year period are analysed according to the flood series. The analysis shows that the floods in the Huaihe River Basin have a relatively high frequency and also have the features of simultaneous occurrence and successive occurrence. They have the periods with different time spans which are about 460—year, 150—year and 60—80 years and some shorter time span oscillations. They also have time fractal features in some scalling ranges. The time fractal dimension is decreasing with the increasing of the flood grade. It is inversely proportional to the periods of floods and may become an important parameter in the study of floods.

Key words Huaihe River Basin. Flood, Index, Fractal, Fractal dimension