

洪涝灾害灾情时间变化特性分析 — 以中国 1736 ~ 1911 年主要大江大河 流域变化序列分析为例

方伟华¹, 史培军¹, 王静爱²

(1. 北京师范大学资源科学研究所; 2. 北京师范大学资源与环境科学系, 北京师范大学环境演变
与自然灾害教育部重点实验室, 北京, 100875)

摘要: 利用已经建立的全国 1736 ~ 1911 年洪涝灾害时间序列, 拟合了各个区域的洪涝灾害长期变化趋势, 并通过功率谱分析了时间序列的波动规律; 同时, 分析了气温、降水等自然因素的变化和人口总量变化、人口空间迁移以及土地利用变化等人文因素变化与灾害增减之间的关系。结果表明, 洪涝灾害的波动主要由气候变化等自然因素的波动所引起, 而人类活动增强并不断向高风险区扩展是洪涝灾害持续增长的主要原因, 最终使洪涝灾害表现为在波动中持续增长。

关键词: 洪涝灾害; 时间序列; 长期趋势; 波动周期

中图分类号: S42 **文献标识码:** A

Research on driving force of flood disaster fluctuation and tendency during 1736 ~ 1911 in China

FANG Wei-hua¹, SHI Pei-jun¹, WANG Jing-ai²

(1. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Department of Resource and Environmental Science; Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, The Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Using the flood disaster time serials of 10 drainage basins or districts in China, longterm trend of flood disaster variation is analyzed and periods of 2 ~ 3 years and 9 ~ 11 years are detected using power spectral analysis. According to the comparison of long-term trends between the flood disaster and the climate change in China, no evident correlation is found. However, periods of flood disaster show a strong link to climate periods and flood fluctuation. Precipitation fluctuation is the main reason of periodicity of flood disaster. Human being's expanding to high-risk flood region, which resulted from population growth and landuse change, has contributed much to the continuing increasing tendency of flood disaster.
Key words: flood and waterlogging; time series; longterm trend; fluctuation period

灾害是由致灾因子、承灾体、孕灾环境综合作用形成的^[9], 孕灾环境的不稳定性、致灾因子的不确定性与承灾体的脆弱性, 是控制灾情的三个重要因素^[10]。洪涝灾害的形成是多种因素相互作用

收稿日期: 2000-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49671001)

作者简介: 方伟华(1973-), 男, 湖北嘉鱼人, 博士研究生, 主要从事自然灾害与风险管理研究。

的结果^[12]。在影响洪涝灾害大小的因素中，作为致灾因子的降水、以及作为承灾体的人口、土地利用等起着至关重要的作用^[8]。因此，灾情是各种因素综合作用后最终形成的结果，认识或区分不同因素对灾害形成的贡献，有助于理解灾害的形成过程与机制。

文献[6], [11]曾利用历史资料，建立了我国 1736 ~ 1911 年 10 个区域的洪涝灾害时间序列，这 10 个区域分别为黑龙江流域、辽河流域、海滦河流域、黄河流域、淮河流域、长江流域、浙闽台地区、珠江流域、滇藏国际河流域以及内陆内流区。本文利用该资料，用“受灾县次”作为指标，在分析洪涝灾害长期变化趋势和波动特性的基础上，结合同期的降水及气温等自然因素、人口与土地利用变化等人文因素，分析了这些因素对洪涝灾情变化的不同作用。

1 洪涝灾害时间变化特点

洪涝灾害的时间变化特点可以从其长期变化趋势和周期性波动两个方面进行分析。为了表征其时间变化规律，本文根据线性拟合方法说明长期趋势，利用谱分析方法得到其主要周期性。

1.1 长期变化趋势

为了说明洪涝灾害的长期趋势，本文对洪涝灾害时间序列进行了线性拟合(表 1)。结果表明，就洪涝灾害的总量来看，长江流域、黄河流域、海滦河流域、浙闽台地区等增加较大，黑龙江流域、辽河流域、珠江流域、滇藏国际河流域等也有不同程度的增加，只有淮河流域和内陆内流区有很小程度的减少。因此，从长期的趋势来看，洪涝灾情基本上是表现为长期增加。

表 1 洪涝灾害线性拟合结果

Table 1 Linear simulation of flood disaster

空间范围	线性拟合结果	空间范围	线性拟合结果
黑龙江流域	$y=0.0448x-0.6236$	长江流域	$y=0.2948x+28.474$
辽河流域	$y=0.024x-0.3537$	浙闽台地区	$y=0.1275x+7.8841$
海滦河流域	$y=0.1831x+56.367$	珠江流域	$y=0.0164x+7.0629$
黄河流域	$y=0.2721x+12.441$	滇藏国际河流域	$y=0.0098x+0.148$
淮河流域	$y=-0.1067x+56.781$	内陆内流区	$y=-0.0018x+0.9161$

1.2 洪涝灾害时间序列周期性分析方法

时间序列的功率谱分析是检测时间序列周期性变化较好的工具^[4]。本文利用这一方法对时间序列进行了周期分析。具体方法如下：

首先，计算时间序列的功率谱。时间序列自相关函数采用下列式(1)进行计算，其中： $N=176$, $\tau=0, 1, 2, \dots, m$, m 为最大时间后延，采用式(2), (3)计算粗功率谱密度值：

$$R(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S} \right) \left(\frac{x_{i+\tau} - \bar{x}}{S} \right) \tag{1}$$

$$\hat{s}_k = \frac{B_k}{m} \left[R(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} R(\tau) \cos \frac{\pi k \tau}{m} + R(m) \cos \pi k \right] \tag{2}$$

$$B_k = \begin{cases} 1 & k = 1, 2, \dots, m-1 \\ 0.5 & k = 0, m \end{cases} \tag{3}$$

其次，采用下列式(4), (5), (6)平滑谱密度：

$$\bar{s}_0 = 0.5\hat{s}_0 + 0.5\hat{s}_1 \tag{4}$$

$$\bar{s}_m = 0.5\hat{s}_{m-1} + 0.5\hat{s}_m \tag{5}$$

$$\bar{s}_k = 0.25\hat{s}_{k-1} + 0.5\hat{s}_k + 0.25\hat{s}_{k+1} \tag{6}$$

最后, 进行显著性检验, 本文中所有的过程经判断, 均为红噪音过程, 故置信限的计算采用下列式(7), (8), (9), 其中 ν 为自由度:

$$S_a = \bar{S}_r \left(\frac{x_a^2}{\nu} \right) \quad (7)$$

$$\bar{S}_r = \bar{S} \left[\frac{1 - r^2(1)}{1 + r^2(1) - 2r(1)\cos\left(\frac{\pi k}{m}\right)} \right] \quad (8)$$

$$\nu = (2N - m/2)/m \quad (9)$$

1.3 洪涝灾害时间序列的波动特性

通过上述方法, 对 10 个区域以及全国 1736-1911 年的洪涝灾害进行了功率谱分析, 其中, m 取值一般在 $N/3$ 到 $N/10$ 之间, 本文取 $m=20$ 计算, 得到 ν 为 17.1。各个区域“受灾县次”的功率谱曲线如图 1 所示。图中纵轴为谱密度, 横轴为对应的周期, 上方三条较平滑的曲线依次是置信度为 95%、90%、75% 的红噪音检验曲线。

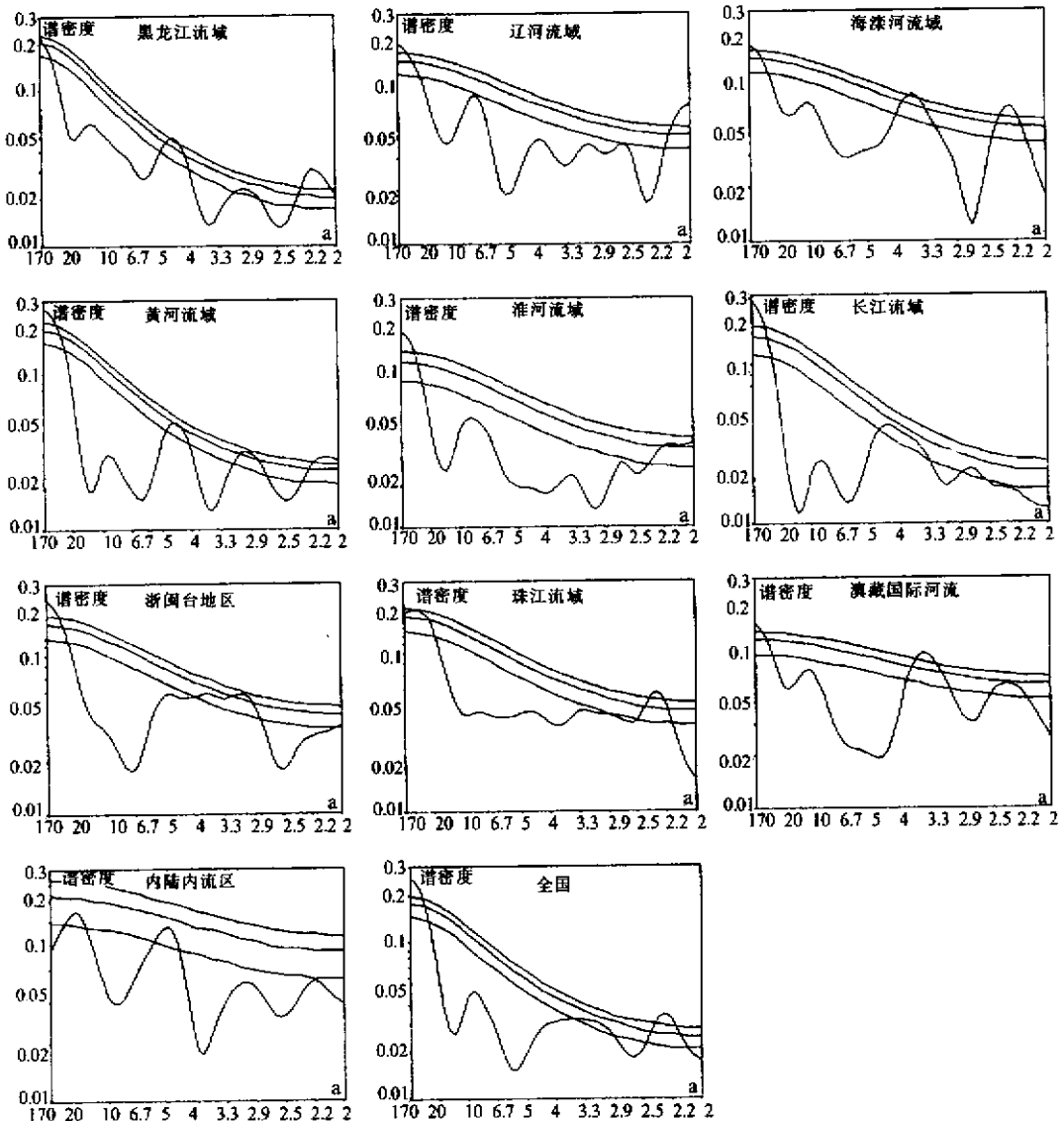


图 1 各区域 1736-1911 年洪涝灾害时间序列谱分析

Fig.1 Power spectrum analysis of each drainage basin from 1736 to 1911

从功率谱分析结果可以看出:首先,大部分流域或地区的洪涝灾害具有2~3 a的变化周期,达到95%信度水平的有黑龙江流域(2.2a)、海滦河流域(2.2 a)、黄河流域(2.1 a)、珠江流域(2.35 a)等,而淮河流域和滇藏国际河流域2~3 a周期也比较显著,其次,一部分流域还存在着4 a左右的周期,例如黑龙江流域(4.4 a)、海滦河流域(3.6a)、黄河流域(4.4a)、长江流域(4.4a)、浙闽台地区(5 a)等达到了95%或80%的显著水平;另外,绝大部分区域9~11年附近的谱密度也较大,基本上都出现了一个极大值,但均没有达到较为显著的水平。以全国作为一个单元,则存在显著的2~3a及3.5 a的周期,同样存在一个较弱的10~12 a周期。

作为洪涝灾害的致灾因子,气候系统中的降水等也存在着明显的2~3a周期、3.5a周期及10~11a周期^[3]。显然,这些周期规律在洪涝灾情时间序列中得到了充分的体现。可以看出,洪涝灾情的波动与降水等的波动有直接的对应关系,但是其长期变化趋势则需要作进一步的分析。

2 影响洪涝灾害时间特性的因素

2.1 气候变化对洪涝灾害时间特性的影响

1736~1911年这一时期的气候变化处于现代小冰期的宏观背景之下,其总体特征可以从气温和降水两个方面来分析。对于气温而言,主要表现为普遍偏低,同时,还存在着几次相对明显的回暖过程。小冰期中曾出现过三次冷期,其中第三次冷期约为1840~1860年;另外出现过两次温暖时期,其中第二次暖期为1741~1769年左右,而进入20世纪后,气候有变暖的趋势^[7]。从区域分异来看,华北地区1736~1780年左右处于气温持续增长时期,1780~1820年气温有一定的降低,1820~1911年来气温不断增长^[12];华东地区1736~1780年气温变化平缓,1780~1850年气温持续降低,1850~1911年之间气温持续增长^[4];合肥地区1736~1780年气温较高,1780~1880年温度较低,气温持续增长^[9];文献[12]认为,1841~1900年华东地区处于寒冷时期。对于降水来说,1741~1796年回暖期处于本文洪涝灾害时间序列1736~1911年的前期,这一时期降水量相对丰富^[7]。从区域来看,南京、苏州、杭州的夏季降水量序列表明,1736~1765年长江流域梅雨量较少,1765~1770年梅雨量为高峰期,1785年之后,梅雨量逐步增加^[18~21]。根据对西北冰川活动的研究结果表明,我国西北大部分地区1736~1765年为多降水时期,1765~1900年为低温少降水时期,形成一定程度的干旱化趋势,1900年以后,气候逐渐开始转暖转湿^[7]。综合研究也说明了这些气候特点^[9]。

总的来说,1736~1911年的中后期大部分时间我国的降水没有增加趋势,在北方一些地区,降水还有一定程度减少,伴随出现干旱化现象。

将1736~1911年洪涝灾害的变化序列与降水变化序列相对比,可以看出洪涝灾害持续增长的主要原因不是由于降水的持续增加所引起,亦非为气温的冷暖波动所左右,这就暗示出人类活动是洪涝灾情趋于持续增长的主要原因。但气候变化的波动性与洪涝灾害的周期性波动有密切关系,其中所显示出的明显周期就与气候变化的2~3年周期有直接的对应关系^[9],而内陆内流区和淮河流域的洪涝灾害出现轻微减少,可能是由于1736~1911年后期区域干旱化所致。

2.2 人口变化、空间迁移与土地利用变化对洪涝灾害时间特性的影响

1736~1911年人口的整体数量变化大致可以分成2个时期,即清中期人口飞速发展时期与清末人口徘徊时期^[7]。清中期(乾隆、嘉庆、道光时期),人口总量的增长速度非常快,主要原因大致有:(1)“先庶后富”的经常刺激性因素,中国封建社会以小农经济为主要特征的生产方式决定了人口再生产方式,这是一种内在的促进人口增长的力量;(2)长达一个半世纪的生聚草息;(3)封建赋税制度的改革使赋税有所减轻;(4)商品经济的发展,地窄民稠的江南地区,尤其是沿运河两岸、江苏杭嘉湖地区等地商品经济发达;(5)耕地面积扩大和种植密度的增大;(6)为了适应人口日益增长的需求,除精耕细作与集约经营外,这一时期还广泛地引种了高产粮食作物,如由缅甸等地传入的玉米、马铃薯等得到普遍推广,使农作物种植结构发生改变。在人口数量飞速发展的同时,也伴随着一

定程度的社会波动,如乾隆末年,人口的发展非常迅速,导致资源一度出现紧张局面,当时的著名学者洪亮吉即有人口增长过快的担忧;嘉庆元年(1799年),暴发了规模巨大的白莲教起义,涉及的范围遍及川、楚、陕、豫、等省,人口有所减少^[16]。对于清后期来说,自道光年间人口突破四亿以后,咸丰、同治时期的人口基本上处于徘徊状态。这一时期人口波动的主要原因有:(1)道光二十年(1840年),西方殖民者开始入侵,中国沦为半封建半殖民地,人口发展完全进入停滞状态;(2)道光三十年(1850)太平天国运动等农民起义,对人口总体数量减少也起到一定的促进作用;(3)乾隆、嘉庆、道光时期的人口增长超过了生产生活资源的增长,表现为地价、粮价飞涨,也客观上调整了人口的数量,虽然清后期的人口出现徘徊局面,但人口总体数量基本仍维持在4亿左右^[17]。

由此可见,人口的快速增长和稳定发展是洪涝灾情持续增长的一个原因。人口数量上的增加,在生产水平还受自然条件深刻影响的时代,客观上导致土地利用的扩展,与此同时,还使人口的空间分布格局发生明显变化。

清朝中期与末年期间,全国人口的2/3以上集中在三个大的区域:长江中上游地区的四川和两湖地区,人口占全国的1/4以上;长江下游的江苏,安徽,浙江和江西,人口占总人口的23%;另外华北东部占全国人口的1/5。这一时期,政府的政策进行了较大的调整,使人口空间上发生了大规模的迁移,以长江流域为例,流域内人口分布整体范围不断扩大,云贵川地区移民大量迁入,今鄂西北房县、陨县和江西部分丘陵地区放开,人口不断扩散并不断向湖区逼进,使湖区面积逐步缩小。此期间,我国东北地区的开放和开发也使当地人口分布的格局发生重大的调整。作为洪涝灾害的承灾体,耕地发生迅速的变化对洪涝灾害的空间扩展起了决定性的作用。

人类越来越向洪涝灾害的高风险区靠近,洪涝灾害的承灾体也在不断地增大。人口向低湿地的转移,以及在整个空间上的扩展,使受洪水影响的生产区域明显增加,这正是洪涝灾情持续增长的根本原因。这就更加充分说明了洪涝灾情的持续增长,受人类对土地资源的开发所左右,其空间扩展,在防洪能力还没有显著提高的时代,必然使得在同一水平的洪水发生时所形成的受灾面积明显增大。

3 结论与讨论

(1)中国1736~1911年洪涝灾害的总体规律,表现为其在波动中不断增大。洪涝灾害总的变化可以分解为长期变化趋势和周期性波动两个部分。洪涝灾害的线性拟合结果表明,全国除了淮河流域和内陆内流区有较小的减少外,其他各流域或地区的洪涝灾害程度表现为不断增大。洪涝灾害时间序列的谱分析结果表明,全国大部分地区的洪涝灾害存在显著的2~3年的周期,较为显著的4.5年左右的周期;另外,大部分区域也存在着较弱的9~11年的周期,这些周期性与气候的某些周期变化有对应关系。

(2)初步分析表明:从1736年到1911年,中国降水没有显著的增加,说明洪涝灾害的增长趋势和降水的关系不大,但降水等致灾因子的周期性对洪涝灾害的波动起到主要的贡献;相反,人类活动范围逐渐增大并不断向高风险区扩展,土地利用空间范围扩大等种种人类行为的变化,导致了洪涝灾害的持续增长,作为致灾因子的降水的变化与作为承灾体的人口及土地利用的变化等因素相互作用,最终使洪涝灾害表现为波动中不断增大的规律。

(3)淮河流域和内陆内流区的洪涝灾害在1736年~1911年间有减少的趋势,这可能与北方这一时期的干旱化过程有关,由于目前有关同期气候的量化资料不足,其具体原因尚待以后深入研究。

参考文献:

[1] Burton I, Kates R W, White G F. The environment as hazard[M]. Second edition. New York: The Guilford Press, 1993.

- [2] White G F. Flood hazard in the united states, A research assessment[M]. Colorado: Colorado University Press, 1975.
- [3] 北京大学地球物理系. 天气分析和预报[M]. 北京: 北京科学出版社, 1978.
- [4] 曹俊民. 现代地理统计分析[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1991.
- [5] 陈菊英. 中国旱涝的分析和长期预报研究[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [6] 方伟华, 王静爱. 中国历史水文案例数据库的建立及相关问题探讨[J]. 北京师范大学学报(自然科学), 1998, 34(2).
- [7] 李克让, 张丕远. 中国气候变化及其影响[M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [8] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论)[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [9] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报(自然科学出版), 自然灾害专辑, 1991.
- [10] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4).
- [11] 王静爱, 方伟华, 徐震. 中国清代中后期(1776 ~ 1991年)水灾受灾比动态变化及风险评估[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4).
- [12] 王绍武. 公元 1380 年以来我国华北气温序列的重建[J]. 中国科学, B 辑, 1990, No. 5.
- [13] 王绍武. 近千年我国冬夏气温的变化[J]. 气象, 16(6).
- [14] 王绍武. 小冰期气候的研究[J]. 第四纪研究, 1995, (3).
- [15] 王绍武, 王日升. 中国的小冰河期[J]. 科学通报, 1990, (10).
- [16] 王育民. 清代人口考辨. 历史地理[J], 1992, 10.
- [17] 杨予慧. 中国历代人口统计资料研究[M]. 北京: 改革出版社, 1995.
- [18] 张德二, 刘传志. 北京 1724-1903 夏年季月湿度序列的重建[M]. 科学通报, 1986.
- [19] 张德二, 王宝贯. 用清代《晴雨录》资料复原 18 世纪的南京、苏州、杭州三地夏季月降水量序列的研究[M]. 应用气象学报, 1990, 1(3).
- [20] 张德二, 王宝贯. 18 世纪长江下游梅雨活动的复原研究[J]. 中国科学, B 辑, 1990, (12).
- [21] 张德二. 中国历史文献中的高分辨率古气候记录[J]. 第四纪研究, 1995, (1)1.
- [22] 张丕远, 龚高法. 十六世纪以来中国气候变化的若干特征[J]. 地理学报, 1979, 34(3).
- [23] 中央气象局气象科学研究所. 中国近 500 年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社, 1981.
- [24] 周清波, 张丕远, 王静. 合肥地区 1736-1911 年年冬季平均气温序列的重建[J]. 地理学报, 1994, 49(4).