



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.04.006

王文鑫, 胡先学. 过去500年海河流域旱涝变化规律研究[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4): 34-38, 64.
WANG Wenxin, HU Xianguo. The variation of drought and flood in Haihe river basin over the past 500 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4): 34-38, 64. (in Chinese)

过去500年海河流域旱涝变化规律研究

王文鑫, 胡先学

(重庆水利电力职业技术学院, 重庆 402160)

摘要: 研究历史旱涝变化规律对于区域综合防灾减灾具有重要的现实意义。以海河流域的旱涝灾害文献记录和旱涝等级资料为基础, 重建过去500 a区域综合旱涝指数序列, 探讨海河流域1470年-2000年旱涝变化的规律。研究发现海河流域旱涝灾害的频发期具有明显的时段性, 呈现出“旱-涝-旱”波动。从16世纪初期开始由洪涝转向干旱, 并于17世纪初期达到顶点; 从17世纪中后期开始海河再次进入相对易受洪涝灾害影响的时期, 其中19世纪初期处在最低值, 到20世纪20年代左右, 流域再次进入相对干旱的时期, 且干旱的严重程度逐年增加。同时, 研究区存在2.5 a、9.8 a、18.6 a、31.3 a、83.50 a、125.3 a和167.0 a等旱涝周期性过程。

关键词: 旱涝变化规律; 历史文献; 周期性; 海河流域

中图分类号: TV213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)04-0034-05

The variation of drought and flood in Haihe river basin over the past 500 years

WANG Wenxin, HU Xianguo

(Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Chongqing, 402160)

Abstract: Study the variation of historical drought and flood has important practical significance for regional comprehensive disaster prevention and mitigation. In this paper, we use the drought and flood records reconstructed the comprehensive index series of regional drought and flood over the past 500 years, and analyzed of the variation of flood and drought in Haihe River Basin of 1470-2000. The study found that the drought and flood disasters in Haihe River Basin has obvious fluctuation, showed the periodic phenomenon of “dry-wet-dry”. In 16th Century, the drought disaster became more and more frequent, and reached the peak at the beginning of 17th Century. From last part of 17th to 19th Century, the Haihe River Basin once again moved into the relatively wet period. On 1920s, Haihe river basin moved into dry period, and the disaster intensity increased year by year. At the same time, the Haihe River Basin has obvious periodic process of drought and flood, which is 2.5 a, 9.8 a, 18.6 a, 31.3 a, 83.5 a, 125.3 a and 167.0 a, respectively.

Key words: variation of drought and flood; historical documents; periodicity of drought and flood; Haihe River Basin

文献资料是研究历史时期极端天气事件重要辅助性资料, 受到众多古气候和环境演变研究人员的关注^[1-5]。我国历史悠久, 具有丰富、连续的历史文献记录, 这些文献中包含有大量的古气候信息, 这使

我国成为国内外研究者公认的旱涝变化规律研究的理想区域^[6,7]。

自上世纪中叶开始, 我国水利系统和气象系统的科技工作者便开始系统地整理古代气候记录资

收稿日期: 2016-08-05 修回日期: 2016-10-23 网络出版时间:

网络出版地址:

基金项目: 国家社科基金重大项目(14ZDB151)

Fund: Projects of National Social Science Foundation(14ZDB151)

作者简介: 王文鑫(1984), 女, 陕西南郑人, 讲师, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: wenxin840@163.com

料,并取得了丰硕的研究成果。如竺可桢通过整理分析正史、地方志、考古资料、物候观测和仪器记录资料等提出了近 5000 a 来我国气候变化的规律^[8]。此后,国家气象局组织有关省市和研究机构完成了《中国近五百年旱涝分布图集》等书籍编纂工作。中国水利水电科学研究院也在整理故宫水利奏折的基础上出版了“故宫洪涝档案丛书”。这些工作为我国气候变化研究人员开展历史旱涝规律研究,提供了丰富的资料基础^[9-14]。

海河流域是我国人口最为集中的地区,频繁的水旱灾害给流域内的农业生产、人民生活和社会经济发展带来严重的不利影响。正如卢路等人^[15]指出历史上海河流域水旱灾害的重现期大概为 3 a 一次。为此,历代统治者对水旱灾害尤为关注,因此留存下丰富的历史文献记录。本文以海河流域为研究区通过梳理过去 500 a 间水旱灾害文献记录,揭示区域旱涝灾害的时间变化特征,以期为今后流域防灾减灾提供技术支撑。

1 资料与方法

1.1 资料

在系统分析海河流域现存历史文献资料完整程度的基础上,结合《中国近五百年旱涝分布图集》^[16]用 19 个历史文献资料记述详尽的站点(府、州,或者明清以来重要城市),表现海河流域历史时期旱涝灾害强度空间分布情况(图 1),每个站点数值代表 20 左右个县的旱涝灾害的强度,按照文献^[16-18]确定的旱涝等级划分方法,确定 19 个站点的旱涝等级值。具体方法本文不再赘述。受到地理环境影响。平原地区聚落较多,山区较少,所以海河流域平原地区资料站点密度相对较高,而太行山麓一线以西的站点密度相对较少。

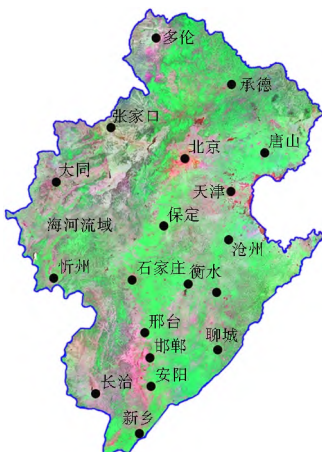


图 1 海河流域资料站点分布

Fig.1 Distribution of data sites in the Haihe River Basin

一般来说,时间越久远存留下来的历史文献资料的完备性就越差,社会开发比较晚的地区历史文献记录也比较少,边疆民族地区保存汉语文献纪录也比较少。如海河流域北部的多伦开发时期比较晚、社会经济欠发达,因此留存资料也较少,直至 1900 年代开始才有系统的气候文献记录。如图 2 展示了海河流域近 1000 多年 19 个站点的旱涝等级系列数据的完备程度。可见从 1500 年以后,海河流域各站点资料逐渐完备,大部分时段流域内一半以上的站点存在灾害记录。因此,利用历史文献记录分析过去 500 a 的海河流域旱涝灾害规律,其结果具有可靠性。

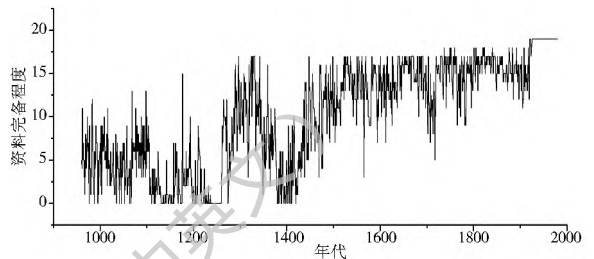


图 2 海河流域站点旱涝等级序列完备程度

Fig.2 Drought flood grade series of missing data statistics in Haihe River Basin

1.2 方法

(1) 区域旱涝灾害综合指数模型。

为了解决部分站点数据缺失问题,保证时间序列的同一性,本文引用文献^[19]建立的区域旱涝灾害综合指数模型来分析历史时期海河流域旱涝灾害强度变化情况。方法简述如下:

令 G_j 为站点 j 在第 i 年的旱涝灾害等级

$$G_j = \begin{cases} 0 & \text{站点 } j \text{ 无旱涝等级值} \\ k & \text{站点 } j \text{ 的旱涝等级为 } k \end{cases}$$

让

$$F_j = \begin{cases} 0 & \text{当 } G_j = 0 \text{ 和 } F_k = \begin{cases} 0 & \text{当 } G_{ij} \neq k \\ 1 & \text{当 } G_{ij} = k \end{cases} \\ 1 & \text{当 } G_j \neq 0 \end{cases}$$

式中: k 为站点 j 的旱涝灾害等级数, $k=5, 4, 2, 1$ 分别代表重旱、干旱、涝、重涝; C 为旱涝等级的集合 $C = \{5, 4, 2, 1\}$, 那么第 i 年研究区内 k 等级干旱出现频率为

$$p_i^k = \frac{\sum_{j=1}^J F_j^k}{\sum_{j=1}^J F_j^C}$$

式中: J 为研究区域内站点的总数。

那么第 i 年区域的区域综合旱涝指数为

$$R_i = 2 \times p_i^5 + p_i^4 - p_i^2 - 2 \times p_i^1$$

上式可以看出 $R_i > 0$ 时表示区域干旱灾害相

对严重, $R_i < 0$ 时表示区域洪涝灾害相对严重, $|R_i|$ 表示区域水旱灾害严重程度。

(2) 经验模态分解方法(EMD)。

经验模态分解方法是 Huang^[20 21] 于 1998 年提出的一种自适应信号时频处理方法, 适用于非线性非平稳信号的分析处理, 尤其是海洋、大气、天体观测资料等。该方法可以将不同尺度的波动和变化趋势从原始信号 $X(t)$ 中逐级分离出来, 形成不同特征尺度的本征模态函数(IMF) 分量。各 IMF 分量包含了原信号的不同时间尺度的局部特征信号, 表征了数据的内在振动模式。每个 IMF 分量信号的波动具有相对稳定的准周期性, 不同时间尺度的准周期振荡随时间也呈现或强或弱的非均匀变化。

Huang 提出的具体方法是: 把序列 $X(t)$ 中所有极大值点并将其用三次样条函数拟合成原始数据的上包络线; 找出序列 $X(t)$ 中所有极小值点拟合成下包络线; 上、下包络线的均值为原序列的平均包络线 $m_1(t)$; 将原序列 $X(t)$ 减去该平均包络线; 即得到一个去掉低频的新序列 $h_1(t)$

$$h_1(t) = X(t) - m_1(t)$$

但 $h_1(t)$ 通常并不平稳的, 重复 k 次上述过程后, 直到所得平均包络线趋于 0 时, 便得到第 1 个 IMF 分量 $C_1(t)$

$$C_1(t) = h_{1k}(t) - m_{1k}(t)$$

第 1 个 imf 分量代表原序列的高频成分, 将原始序列 $X(t)$ 减去第 1 个 IMF 分量 $C_1(t)$, 可以得到第 1 个去掉高频成分的差值序列 $r_1(t)$ 。对 $r_1(t)$ 重复上述平稳化过程就可以得到第 2 个 IMF 分量。依此类推, 直到剩下的序列 $r_n(t)$ 不能分解为止, 那么 $r_n(t)$ 就代表原序列的平均趋势。

$$r_2(t) = r_1(t) - C_2(t)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$r_n(t) = r_{n-1}(t) - C_n(t)$$

那么原始序列 $X(t)$ 就可以由这些 IMF 分量 $C_n(t)$ 及一个平均趋势序列 $r_n(t)$ 之和表示

$$X(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r_n(t)$$

这里, 趋势项 $r_n(t)$ 可以表示整个序列的总趋势。

2 海河流域旱涝变化规律

2.1 黄淮海流域旱涝灾害时间特征

海河流域旱涝灾害频繁, 利用区域旱涝灾害综合指数模型, 对海河流域 19 个站点旱涝等级数据进行归一化处理, 形成海河流域综合旱涝指数序列(图 3)。图 3 给出了海河流域不同时期(明末、清代、民

国以来) 旱涝变化基本特征、灾害频发时段(时段长度大于 10 年, 红线), 以及百年尺度下水旱灾害的站点频次统计情况。

在朝代尺度上, 近 500 a 来, 仅清代(浅绿色块)海河流域处在一个相对湿润的环境, 其他时期大多处在相对干旱环境下。明代中后期的旱涝综合指数值为 0.098(旱)、清代的旱涝综合指数值为 -0.073(涝)、民国以来的旱涝综合指数值为 0.127(旱), 因此过去 500 a 间流域旱涝变化趋势基本呈现出“旱-涝-旱”的过程。其中明末的近 100 a 间区域的干旱最为严重。清代顺治朝、康熙朝初年和光绪朝出现了两次比较长时间的洪涝时期。进入 20 世纪, 海河流域持续偏干旱, 仅在 19 世纪 60 年代左右出现短暂的偏洪涝期。

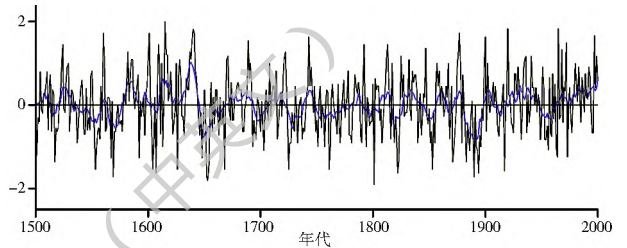


图 3 海河流域综合旱涝灾害指数序列

Fig. 3 The comprehensive drought and flood disaster index series in Haihe River Basin

百年尺度上(图 4), 通过对 19 各站点中重旱、重涝记录的统计发现, 严重干旱与重洪涝在时间上也呈现波动性特点。有严重洪涝事件的站点在 17 世纪和 19 世纪比较多, 严重干旱事件的站点数在 17 世纪达到一个波峰阶段, 而后(清代)下降, 并在过去 200 a 间稳定上升, 且当前仍呈现上升的趋势。汤仲鑫等人^[22] 从气象科学视角, 统计海河流域明清(1500 年-2000 年) 以来的特大水旱灾害事件的百年尺度分布特征(表 1) 也验证“旱-涝-旱”的特点。

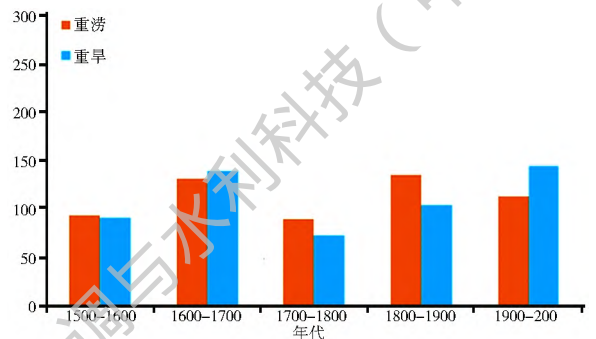


图 4 海河流域百年尺度水旱灾害发生站点数

Fig. 4 The frequency of drought and flood disaster of the Haihe River basin

从图 3 中可见, 持续干旱、洪涝也是海河流域的一个旱涝变化的重要特征。通过整理地方志资料,

表 1 海河流域极端干旱与极端洪涝事件频次

Tab. 1 Extreme drought and extreme flood frequency in the Haihe River Basin

年代	1500 年- 1599 年	1600 年- 1699 年	1700 年- 1799 年	1800 年- 1899 年	1900 年- 1987 年
特旱年	6	11	4	3	9
特涝年	3	7	8	11	3

发现最长时间的持续干旱出现在明崇祯年间(1637 年- 1643 年)(表 2),持续干旱长达 7 a,在此严重的干旱背景下,白洋淀、梁山泊、安山湖等湖泊逐渐干涸。最长间的持续洪涝年出现在明隆庆年间(1567 年- 1584 年),连续 8 a 出现严重洪涝灾害。

表 2 崇祯末年海河流域部分地区持续干旱时长

Tab. 2 The drought duration of Haihe River Basin during the last time of Chongzhen Emperor

地区	持续时间	持续年数	地区	持续时间	持续年数
大同	1637 年- 1641 年	5	唐山	1639 年- 1643 年	5
长治	1633 年- 1640 年	8	北京	1637 年- 1643 年	7
保定	1636 年- 1643 年	8	天津	1636 年- 1642 年	7
石家庄	1633 年- 1640 年	7	沧州	1636 年- 1642 年	7
邯郸	1637 年- 1644 年	8	德州	1637 年- 1644 年	8

2.2 黄淮海流域旱涝灾害周期性、趋势特征

利用经验模态分解方法对海河流域的旱涝指数序列进行分解(图 5)。IMF1-IMF7 是经过 EMD 分解后产生的 IMF 分量,其震动能量呈现递减的趋势,趋势项 r_n 表示是海河流域综合旱涝指数剔除了不同时间尺度上的 IMF 分量后的区域旱涝变化趋势。由 r_n 可看出,海河流域在 16 世纪初期开始有洪涝转向干旱,并于 17 世纪初期(明末)达到顶点;从 17 世纪中后期开始,海河再次进入相对易受洪涝灾害影响的时期,其中 19 世纪初期处在谷底状态,到 20 世纪 20 年代(民国初年)左右,流域再次进入相对干旱的时期,且干旱的严重程度在近年呈现逐年增加态势。趋势项 r_n 的变化特征也印证了前面海河流域存在“旱-涝-旱”的变化特征。

IMF1-IMF7 等 7 个 IMF 分量信号的波动具有相对稳定的准周期性,不同时间尺度的准周期振荡随时间也呈现或强或弱的非均匀变化。笔者认为这种振荡强度的非均匀变化反映了大气内部动力过程和外部强迫共同作用的结果,据此可以通过 FFT 变换求取平均周期,并将每种尺度信号波动频率和振幅对原数据总体特征影响程度用方差贡献率表示出来。通过考察各 IMF 分量振幅(图 5 中 IMF1-IMF7 的纵坐标数值)和分量方差贡献率(表 3)。结果显示,IMF1、IMF2、IMF3 的方差贡献率大于

10%, IMF4、IMF5 和 IMF6 的方差贡献率介于 1%~10% 之间。可见海河流域的综合旱涝指数的年际变化主要由前 3 个较高频振荡决定(方差贡献率之和=83.7%)。通过 FFT 变换推求其平均周期可见(表 3),IMF1 的平均振荡时长最短为 2.5 年左右,与北方地区降水 3 年周期过程相近,且振幅变化最大,能量最大,对原序列变化的贡献最大(46.8%);IMF2 的平均振荡周期为 9.8 a 左右,与 ENSO 周期相近;IMF3 的平均振荡周期为 18.6 a 左右;IMF4 的平均振荡周期为 31.3 a 左右,与我国降水变化的年代际特征(30 a)十分接近;IMF5 的平均周期为 125.3 a 左右;IMF6 的平均周期为 83.5 a 左右;IMF7 的平均周期为 167.0 a 左右。需要注意的是分量 IMF6(平均周期 83.5 a)似乎是从 18 世纪初期才显现出来,尔后这分量的波动性颇具规律,这需要后面进一步的研究。

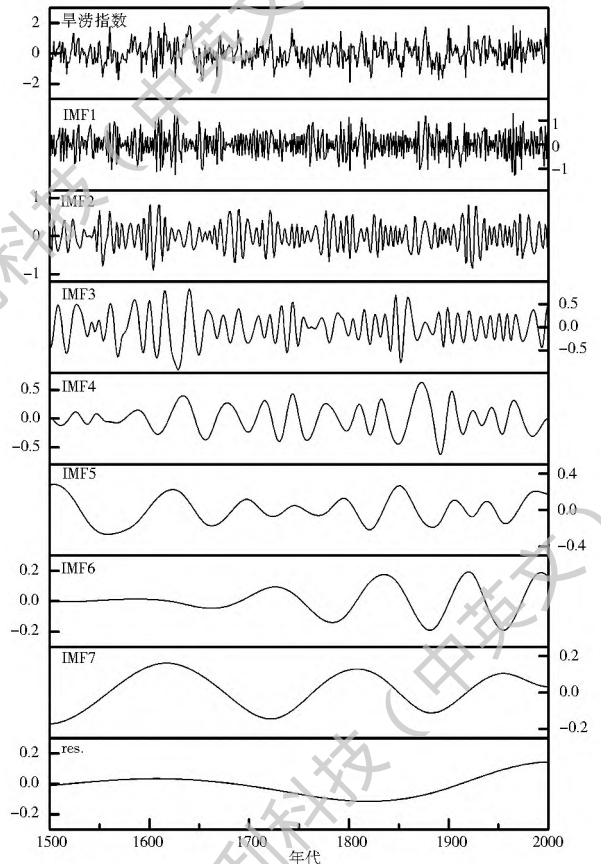


图 5 海河流域综合旱涝灾害指数序列 EMD 分解

Fig. 5 the Haihe River Basin Comprehensive Flood and drought index series EMD decomposition

表 3 海河流域旱涝指数序列 EMD 分解后各分量的方差贡献率及平均周期

Tab. 3 Variance and mean period of IMF component

	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5	IMF6	IMF7
方差贡献率	46.8	18.9	18.0	9.6	3.5	1.5	1.7
平均周期	2.5	9.8	18.6	31.3	125.3	83.5	167.0

3 结论

本文在系统整理海河流域历史文献资料的基础上,对研究区域旱涝灾害的时间、空间变化过程进行了细致的分析,主要研究成果如下:

海河流域旱涝灾害的频发期具有明显的时段性,宏观尺度上(朝代)呈现出“旱-涝-旱”波动,表现为明代相对干旱,清代相对湿润,20世纪来持续干旱;百年尺度上,严重干旱严重洪涝时间出现也呈现波动特点。海河流域在16世纪初期开始由洪涝转向干旱,并于17世纪初期达到顶点;从17世纪中后期开始,海河流域再次进入相对易受洪涝灾害影响的时期,其中19世纪初期处在谷底状态,到20世纪20年代左右,海河流域再次转入相对干旱的时期,且干旱的严重程度呈现逐年增加趋势。此外本区域易发生连年干旱或者连年洪涝的情况。

通过周期性分析发现:研究区域存在2.5 a、9.8 a、18.6 a、31.3 a、83.5 a、125.3 a和167.0 a等周期性过程。此外,83.5 a的周期性过程似乎是从18世纪初期才显现出来,尔后这分量的波动性颇具规律,可能是18世纪初海河流域出现了一个新的气候影响机制,对区域产生周期的影响,这需要后面进一步的研究。

参考文献: (References)

- [1] 葛全胜,张丕远.历史文献中气候信息的评价[J].地理学报,1990,45(1):22-30.(GE Quansheng,ZHANG Peiyuan.The evaluation on climate information in the historical literatures[J].Acta Geographica Sinica.1990,45(1):22-30.(in Chinese))
- [2] 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):75-80.(ZHANG De'er.High resolution records available from Chinese historical documents[J].Quaternary Science.1995(1):75-80.(in Chinese))
- [3] 张德二.中国历史文献档案中的古环境记录[J].地球科学进展,1998,13(3):273-277.(ZHANG De'er.Paleoenvironmental records from Chinese historical documents[J].Advance in Earth Science.1998,13(3):273-277.(in Chinese))
- [4] 张德二.中国历史气候记录揭示的千年干湿变化和重大干旱事件[J].科技导报,2004(8):47-49.(ZHANG De'er.Variation of dry-wet climate and severe drought events as revealed in the climate records of China over the past 1000 years[J].Science & Technology Review.2004(8):47-49.(in Chinese))
- [5] 周书灿.20世纪中国历史气候研究述论[J].史学理论研究,2007(4):127-136.(ZHOU Shucan.Review on the study of historical climate of China in the 20th century[J].Historiography Quarterly.2007(4):127-136.(in Chinese))
- [6] Bradley R S.High Resolution Record of Past Climate from Monsoon Asia:The Last 2000 Years and Beyond Recommen-

dations for Research[J].PAGES Workshop Report, Series 93 1,1993.1-24.

- [7] 国家自然科学基金委员会.全球变化:中国面临的机遇和挑战[M].北京:高等教育出版社,1998.(National Natural Science Foundation of China.Global Change:opportunities and challenges of China[M].Beijing:Higher Education Press,1998.(in Chinese))
- [8] 竺可桢.中国近五千年来气候变迁的初步研究[J].中国科学,1973(2):168-189.(ZHU Kezhen.A preliminary study on climate changes since the last 5000 years in China.Science in China,1973(2):168-189.(in Chinese))
- [9] 张德二.中国南部近500年冬季温度变化的若干特征[J].科学通报,1980,25(6):270-272.(ZHANG De'er.Winter temperature changes during the last 500 years in South China.Chinese Science Bulletin,1980,25(6):270-272.(in Chinese))
- [10] 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):75-80.(ZHANG De'er.High resolution records available from Chinese historical documents[J].Quaternary Science.1995(1):75-80.(in Chinese))
- [11] 张德二.相对温暖气候背景下的历史干旱—1784-1787年典型灾例[J].地理学报,2000,55(增):106-112.(ZHANG De'er.1784-1787 drought occurrence over East China in a warm climate background[J].Acta Geographica Sinica.2000,55(S):106-112.(in Chinese))
- [12] 王绍武,王日昇.1470年我国华东四季与年平均温度变化的研究[J].气象学报,1990,48(1):26-35.(WANG Shaowu,WANG Risheng.Variations of seasonal and annual temperatures during 1470-1979 and in Eastern China[J].Acta Meteorologica Sinica.1990,48(1):26-35.(in Chinese))
- [13] 郑景云,葛全胜,方修琦,等.基于历史文献重建的近2000年中国温度变化比较研究[J].气象学报,2007,65(3):428-439.(ZHENG Jingyun,GE Quansheng,FANG Xiurqi,et al.Comparison on temperature series reconstructed from historical documents in China for the last 2000 years[J].Acta Meteorologica Sinica.2007,65(3):428-439.(in Chinese))
- [14] 万金红,谭徐明,刘昌东.基于清代故宫旱灾档案的中国旱灾时空格局[J].水科学进展,2013,24(1):18-23.(WAN Jinhong,TAN Xuming,LIU Changdong.Spatial-temporal pattern of drought hazards in China's Qing dynasty based on Forbidden City archives[J].Advances in Water Science.2013,24(1):18-23.(in Chinese))
- [15] 卢路,刘家宏,秦大庸.海河流域1469-2008年旱涝变化趋势及演变特征分析[J].水电能源科学,2011,29(9):8-11.(LU Lu,LIU Jiahong,QIN Dayong.Analysis of drought/waterlogging variation tendency and evolution features in Haihe river basin during 1469-2008 years[J].Water Resources and Power.2011,29(9):8-11.(in Chinese))
- [16] 中央气象局气象科学研究院.中国近五百年旱涝分布图集[M].北京:地图出版社,1981.(Chinese Academy of Meteorological Science.Yearly Charts of Dryness/Wetness in China for the Last 500-Year Period[M].Beijing:Sinomap Press,1981.(in Chinese))
- [17] 张德二,刘传志.《中国近五百年旱涝分布图集》续补(1980~

- 1992 年)[J]. 气象, 1993, 19(11): 41-45. (ZHANG De'er, LIU Chuangzhi. Continuation(1980~1992) of the yearly charts of dryness/wetness in China for the last 500 years period[J]. Meteorological Monthly, 1993, 19(11): 41-45. (in Chinese))
- [18] 张德二, 李小泉, 梁有叶. 《中国近五百年旱涝分布图集》的再续补(1993~2000年)[J]. 应用气象学报, 2003, 14(3): 379-384. (ZHANG De'er, LI Xiaquan, LIANG Youye. Continuation(1992~2000) of the yearly charts of dryness/wetness in China for the last 500 years period[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(3): 379-384. (in Chinese))
- [19] 万金红, 吕娟, 刘和平, 等. 1470~2008 年中国西北干旱地区旱涝变化特征分析[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 625-631. (WAN Jinhong, LYU Juan, LIU Heiping, et al. Drought flood variation characteristics and trends in arid Northwestern China during 1470~2008[J]. Advances in Water Science, 2014, 25(5): 625-631 (in Chinese))
- [20] Huang N E, Shen Z. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[C]. Proceedings of the Royal Society London, 1998, A, 454: 903-995.
- [21] Huang N E, Shen Z, Long S R. A new view of nonlinear water waves: the Hilbert spectrum[J]. Ann Rev Fluid Mech, 1999, 31: 417-457.
- [22] 汤仲鑫, 赖叔彦, 李敬芬, 等. 海河流域旱涝冷暖史料分析[M]. 北京: 气象出版社, 1990. (TANG Zhongxin, LAI Shuyan, LI Jingfen, et al. Analysis of the historical data of drought and flood in Haihe River Basin[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990. (in Chinese))