

# 近500年黄淮海地区洪旱事件时空变化特征

闵心怡<sup>1</sup>, 王小博<sup>1</sup>, 杨传国<sup>1,2</sup>, 程雨春<sup>1,2</sup>, 庞冉<sup>1</sup>, 陈堃<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 依据近500年洪旱等级数据, 采用滑动平均、累积距平、频率统计、小波分析和Mann-Kendall突变检验和空间分析方法, 评估了研究区近500年洪旱灾害时空变化特征。结果表明: 黄淮海地区洪旱灾害具有明显的年际和年代际变化, 近年来趋向干旱发展。各子区域的年际变化存在一定的差异, 突变时段差别较大。洪旱灾害发生周期的空间分布差异性显著, 19世纪后半叶以来洪旱灾害频繁。研究结果对于防灾减灾、灾害预测、工程建设以及相关研究等有重要的价值。

**关键词:** 洪灾; 干旱; 时空特征; 小波分析; 黄淮海地区

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0066-06

## Spatio-temporal changes of floods and droughts at Huang-Huai-Hai region in last 500 years

MIN Xinyi<sup>1</sup>, WANG Xiaobo<sup>1</sup>, YANG Chuanguo<sup>1,2</sup>, CHENG Yuchun<sup>1,2</sup>, PANG Ran<sup>1</sup>, CHEN Kun<sup>1</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key

Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the data of the past 500 years, the spatial and temporal characteristics of flood and drought disasters in the study area were evaluated using the moving average, cumulative anomaly, frequency statistics, wavelet analysis, Mann-Kendall test and spatial analysis method. The results show that the flood and drought disasters in Huang-Huai-Hai region have obvious interannual and interdecadal variations and the region tends to be arid in recent years. There are some differences in the interannual variability of each sub-region, and the abrupt change period is quite different. The spatial distribution of flood and drought disasters shows significant difference, and disasters have become more frequent since the latter half of the 19th century. The results are of great value for disaster prevention and mitigation, disaster prediction, engineering construction and related research.

**Key words:** flood; drought; spatial and temporal characteristic; wavelet analysis; Huang-Huai-Hai region

在各种自然灾害中, 洪旱灾害影响的地区广, 出现的频率高, 严重威胁着我国经济、社会和环境的可持续发展。而黄淮海地区作为我国的政治中心和重要的工农业基地, 自古以来饱受洪旱灾害侵扰, 造成了极为惨重的损失。据统计, 从1470年至2010年, 仅淮河流域即发生极端洪涝63次, 发生极端干旱46次<sup>[1]</sup>。因此, 研究黄淮海地区极端旱涝事件的演变规律具有重要的科学意义和应用价值<sup>[2-3]</sup>。

关于黄淮海地区极端水文事件演变规律已存在

一定的研究。尹军等<sup>[4]</sup>对1961-2011年期间黄淮海地区极端降水时空变化特征进行了详尽的分析; 黄茹等<sup>[5]</sup>基于黄淮海流域及其周边203个基本气象站点1961-2013年的降水资料, 采用标准化降水指数、线性倾向估计和M-K趋势检验法分析了流域多时间尺度干旱的组合特征; 徐建文等<sup>[6]</sup>分析了黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的影响, 发现近20年干旱有了加重的趋势, 且干旱加重的趋势是一种突变现象; 徐玉霞<sup>[7]</sup>通过历史文献资料的收

收稿日期: 2016-12-29; 修回日期: 2017-03-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471016); 国家重点研发计划(2016YFC0402706); 水利部公益性行业科研专项项目(GYHY201406021)

作者简介: 闵心怡(1996-), 女, 江苏常州人, 在读本科生, 水文与水资源工程专业。

通讯作者: 杨传国(1981-), 男, 山东青州人, 博士, 副教授, 主要从事水文水资源研究。

集和整理,研究了1900–2000年关中地区干旱灾害的变化阶段、空间变化、等级分布、变化趋势;杨传国等<sup>[8]</sup>综合利用多种水文气象数据对淮河流域近500年洪旱事件演变特征进行了分析;曹永强等<sup>[9]</sup>选取黄淮海流域近1961–2013年逐日气象土壤数据,运用修正Palmer指数、标准化降水指数(SPI)和降水距平百分率对黄淮海流域的数据资料进行分析与计算,在此基础上对3种旱涝评价指数的周期、突变点、趋势性进行对比分析。上述已有研究往往就降雨、旱灾或者涝灾的其中一点进行单独详尽的分析,或者就黄淮海地区的其中一个流域分析。但是目前对于整个黄淮海地区近500年洪旱事件时空变化特征的分析是甚少的,同时囊括了对旱灾和涝灾的分析的研究不多。

因此,本文以整个黄淮海地区为研究区,将黄淮海地区划分为海河北系、海河南系、淮河流域及黄河流域山东半岛4个子区域,以该地区的洪旱事件作为研究对象,并以近500年作为时间跨度,采用滑动平均、累积距平、频率统计、Mann–Kendall突变检验、小波分析和空间分析等方法,系统研究黄淮海地区洪旱事件演变特征及其子区域之间的差异,全方位、多角度的总结黄淮海地区极端水文时间的演变规律。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料选取

本文采用《中国近500年旱涝分布图集》及其续补和再续补提供的黄淮海流域22个站点(如图1所示)1470–2000年逐年的旱涝等级数据进行分析<sup>[10]</sup>。2001–2009年的旱涝等级则依据中国气象局《中国地面降水月值 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 格点数据集V2.0》<sup>[11]</sup>提供的实测降雨量计算插补得出。采用5个等级表示各地的降水情况:1级为涝,2级为偏涝,3级为正常,4级为偏旱,5级为旱。使用泰森多边形法计算黄淮海地区及其四个子区域的平均旱涝等级。

### 1.2 研究方法

使用离势系数 $C_V$ 、偏态系数 $C_S$ 和峰度系数 $C_E$ 3个统计量分析不同世纪的时间序列分布特征<sup>[12]</sup>。其中离势系数表征数据的离散程度;偏态系数表征分布形态与平均值偏离的程度,作为分布不对称的测度;峰度系数表征分布形态的凸平度。

采用滑动平均、累积距平、Mann–Kendall突变检验和小波分析等方法<sup>[12–13]</sup>研究洪旱时间序列的变化趋势、突变特点和周期特征。基于ArcGIS空间分析

功能分析黄淮海地区洪旱事件的空间分布规律。



图1 黄淮海地区区域划分及气象站点分布

## 2 洪旱时间序列分析

### 2.1 区域整体变化

采用滑动平均法和累积距平法研究黄淮海地区旱涝事件的年代际变化规律。如图2和图3可看出,黄淮海地区旱涝事件具有显著的年际和年代际变化特征。总体上,黄淮海地区15世纪末到16世纪中期处于干旱时期,16世纪中期到17世纪初间偏涝,17世纪初到17世纪末又趋于干旱,而17世纪末到20世纪初这很长的一段时间内一直处于偏湿的时期,20世纪初期以后又重新趋于干旱。

对16–20世纪每100 a的数据进行频率统计分析后可知,16世纪较为干旱, $C_S$ 值达到了 $-0.18$ ,是过去500年来显著偏旱的一个阶段,20世纪的分布类似;而相比之下19世纪是显著偏湿的一个时期, $C_S$ 值为 $0.56$ ,18世纪也是偏湿阶段。如果近似地认为各个世纪中自然条件变化不大,数据具有一致性,则可以进一步尝试拟合各世纪旱涝等级所服从的概率分布(图4)。采用线性矩法估计参数,结果表明 $\Gamma$ 分布、P–III分布和GEV分布(广义极值分布)拟合效果较好。图5是用GEV分布拟合黄淮海地区16世纪平均旱涝等级数据的结果。各世纪旱涝情况的概率计算成果如表1所示,由表1可以明显看出,17世纪、19世纪和20世纪该地区旱灾较多,而17–19世纪该地区涝灾较多。17世纪是该地区历史上旱涝灾害最为频繁的时段。

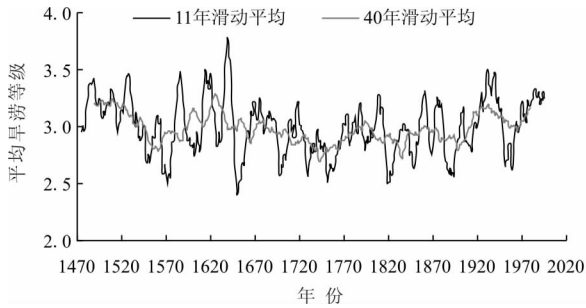


图2 1470年以来平均旱涝等级

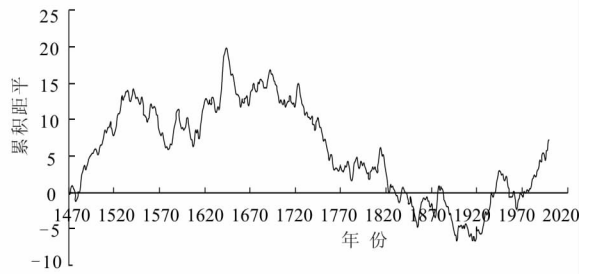


图3 旱涝等级累积距平线

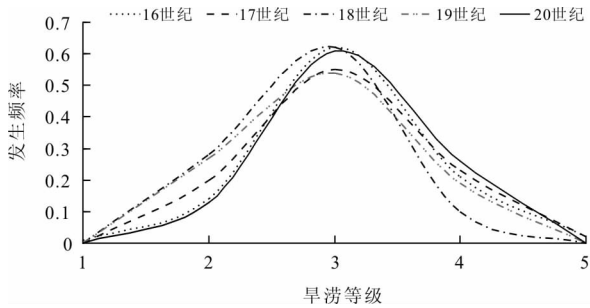


图4 旱涝发生频率统计

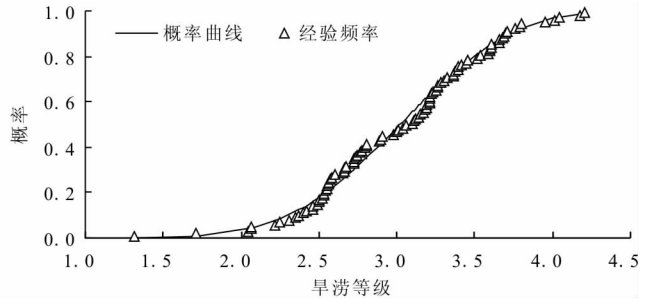


图5 广义极值分布拟合结果

表1 黄淮海地区旱涝事件频率统计表(%)

旱涝等级	16世纪	17世纪	18世纪	19世纪	20世纪
[1,2]	3.37	4.61	3.92	3.91	1.16
(2,3)	45.23	45.82	58.31	57.20	43.06
(3,4)	48.03	40.86	35.28	33.29	49.66
(4,5]	3.37	8.71	2.49	5.60	6.12

从M-K检验图(图6)可以看出,在15世纪90年代发生了一次突变,由于旱突变到湿润,并在这之后很长时间内一直处在较湿润的状态,直到20世纪50年代经历了又一次突变,在这以后,黄淮海地区逐渐趋于干旱。

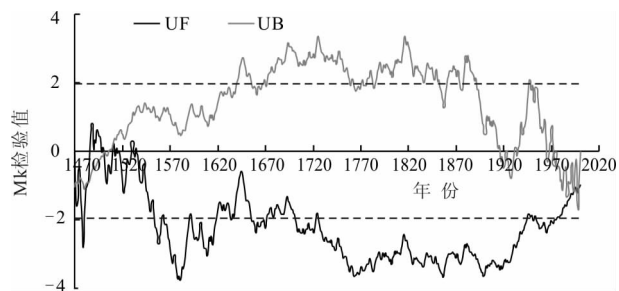


图6 旱涝等级M-K检验

从黄淮海地区洪旱周期小波分析图(图7)可以看出,在16世纪中期到17世纪中期存在12a左右的长周期。在17世纪末到19世纪初存在5~7a的短周期,在19世纪末到20世纪中叶洪旱周期进一步变短,在3a左右,流域洪旱事件有增加的趋势。

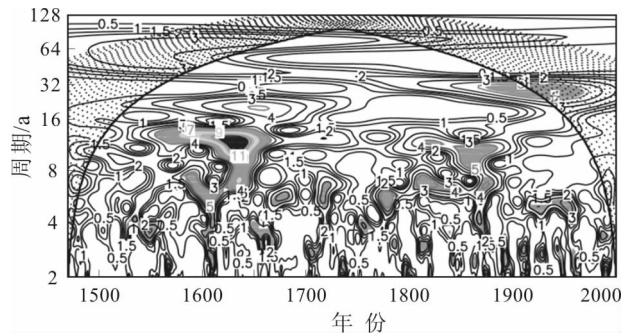


图7 黄淮海地区旱涝等级小波分析图

## 2.2 子区域分析

由于黄淮海地区面积较大,为了对比研究区内的差异性,分为海河北系、海河南系、淮河流域、山东半岛4个子区域采用上述方法进行研究分析,结果如表2所示。

**2.2.1 海河北系** 从15世纪末到16世纪中叶、16世纪初到17世纪初以及19世纪间处于较干旱时期,接着到20世纪初这一阶段较为湿润,但从20世纪以后又有趋于干旱的趋势。对海河北系洪旱发生频率进行统计也可以发现类似的结果,17世纪和19世纪偏旱,  $C_s$  值均小于0,尤其是17世纪,  $C_s$  值达到-0.28,是最干旱的一个时期。18世纪最为湿润,  $C_s$  值为0.27。由M-K检验可知,海河北系在16世纪60年代、17世纪20年代和18世纪初发生了3次突变。16世纪的第1次突变由较湿润转变为较干旱。在经历了18世纪初的突变后,海河北系

在接下来的很长时间内都处于较为湿润的时期,一直持续到20世纪初又呈现出干旱的趋势。表3频率统计结果表明17世纪海河北系极端干旱时间最为频繁,20世纪次之。

2.2.2 海河南系 海河南系与黄淮海地区总体演变情势表现较为一致。19世纪末到20世纪前叶显著偏湿,但在20世纪80年代以后又出现了干旱的趋势,干旱威胁加大。对各个世纪进行统计,17世纪偏旱, $C_s$ 值小于0;最为湿润的一个阶段为18世纪, $C_s$ 值为0.20,这一时期的降水较多。此外,17世纪的旱涝灾害发生的次数最多,极端降水的情况发生的最频繁,而16世纪极端降水出现的次数最少,最为风调雨顺。由M-K检验可知,海河南系在20世纪80年代发生了一次突变,由湿润突变到干旱的气候,呈现趋于干旱的趋势。频率统计结果表明20世纪海河南系极端干旱事件最为频繁(表3)。

2.2.3 淮河流域 在15世纪到16世纪中叶处于较干旱的时期,而在16世纪到20世纪初期这很长的一段时间内基本都处于较湿润的阶段。建国以来流域旱涝交替,洪灾突出。对流域各个世纪进行洪

旱事件进行统计,发现16世纪最为干旱, $C_s$ 值达到-0.28,发生干旱的次数较多。其余世纪的 $C_s$ 值均大于0,而18世纪最为湿润, $C_s$ 值为0.33,洪灾发生频繁。M-K突变检验表明,自15世纪末发生突变后,很长一段时间内保持较为湿润的状态。直至20世纪初发生突变,转变为较为干旱的时期,在20世纪中叶再次变为较湿润的时期。表3频率统计结果表明淮河流域18世纪极端洪涝灾害突出,20世纪极端干旱仍然严重。

2.2.4 山东半岛 前期与黄淮海地区总体趋势一致。在18世纪到19世纪这一阶段基本处于较为潮湿的状态,降雨较多,有小范围的波动,但大体都在湿润时期;而在20世纪后就进入了较为干旱的时期,近10年初略有趋向潮湿的趋势。各个世纪的统计结果表明,在16世纪和20世纪这两个阶段的旱灾严重, $C_s$ 值均小于0,分别达到了-0.20和-0.25,干旱事件频率较高。相对而言,17世纪最为湿润, $C_s$ 值为0.40,洪水灾害较多。黄河流域山东半岛的突变时期并不明显。频率统计结果表明山东半岛19世纪极端洪涝灾害严重,20世纪以极端干旱灾害为主(表3)。

表2 黄淮海地区各子区域旱涝事件特征统计值

时间	海河北系			海河南系			淮河流域			山东半岛		
16世纪	0.26	0.24	-0.57	0.24	0.07	-0.19	0.23	-0.28	0.17	0.26	-0.20	0.25
17世纪	0.27	-0.28	-0.08	0.29	-0.01	-0.39	0.27	0.08	-0.34	0.29	0.40	-0.21
18世纪	0.20	0.27	-0.05	0.24	0.20	0.01	0.25	0.33	0.60	0.31	0.20	-0.07
19世纪	0.28	-0.09	-0.73	0.29	0.02	-0.49	0.24	0.20	-0.06	0.30	0.40	-0.42
20世纪	0.36	0.11	-0.65	0.23	0.09	-0.22	0.25	0.06	-0.55	0.27	-0.25	-0.41

### 3 旱涝灾害周期空间分析

对比所统计的各个世纪黄淮海地区4个区域的灾害发生频次和其总体旱涝情况统计结果,可以发现黄淮海地区的4个区域有其共同性和相关性,同时也存在一定的差异性和特殊性,一些黄淮海地区极端天气的历史记载也可以作为此结论的佐证。

统计黄淮海地区各站点近500a的旱灾(即旱涝等级为1)和旱灾(旱涝等级为5)的重现期,通过ArcGIS样条函数插值得到其空间分布(图8)。由涝灾重现期分布图(图8a)可知,有两个区域洪灾事件发生的最为频繁,分别为海河北系西部和淮河流域南部,相对地,海河北系北部、山东半岛东部和淮河流域西部洪灾事件频率较低。由旱灾重现期分布图(图8b)可知,黄淮海地区有3个旱灾频率较高的

地区:海河北系北部,海河南系西部和淮河流域南部,相比之下,山东半岛东部、淮河流域东南部旱灾发生频率较低。各地区之间的差异性显著。

对20世纪单独进行分析,结果表明,洪灾重现期存在两个显著的大值中心-海河北系中部和海河南系西部,和两个小值中心-海河南系东部和淮河流域中部(图9a)。而黄淮海地区旱灾发生更为频繁,特别是海河北系、海河南系西部和山东半岛中部,淮河流域中部旱灾发生频率较低。特别值得注意的是海河南系,兼具旱涝两种灾害重现期的小值中心,旱涝灾害频发,而相比而言淮河流域极端灾害少有发生,同属黄淮海流域的地区之间的差异性显而易见。研究表明,这种差异与该地区降水时空分布差异有关<sup>[14-15]</sup>。

表3 黄淮海地区各子区域旱涝事件概率统计表

%

旱涝等级	海河北系					海河南系				
	16世纪	17世纪	18世纪	19世纪	20世纪	16世纪	17世纪	18世纪	19世纪	20世纪
[1,2]	8.44	8.71	3.38	13.97	8.71	8.61	11.13	9.46	13.87	5.53
(2,3)	39.05	30.91	46.65	38.74	38.10	44.08	35.17	46.27	39.05	36.50
(3,4)	38.97	43.46	43.50	37.41	39.44	39.54	38.41	37.62	35.93	44.56
(4,5]	13.54	16.92	6.47	9.88	13.75	7.77	15.29	6.64	11.14	13.40

旱涝等级	淮河流域					山东半岛				
	16世纪	17世纪	18世纪	19世纪	20世纪	16世纪	17世纪	18世纪	19世纪	20世纪
[1,2]	7.84	11.81	13.07	10.25	8.15	8.59	10.39	17.80	15.99	9.71
(2,3)	41.05	41.00	52.17	47.00	38.89	36.31	41.70	41.56	43.90	32.28
(3,4)	44.91	37.60	30.58	36.55	40.54	43.98	35.60	31.14	29.40	41.87
(4,5]	6.21	9.59	4.18	6.20	12.41	11.12	12.32	9.50	10.71	16.14

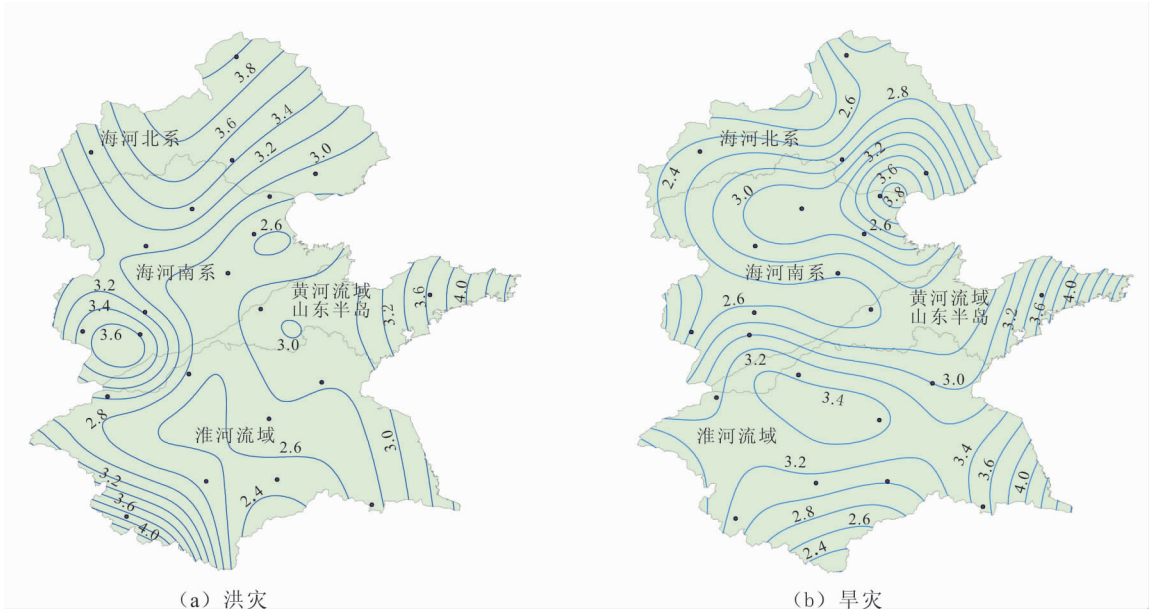


图8 黄淮海地区近500年洪灾和旱灾重现期(单位:a)

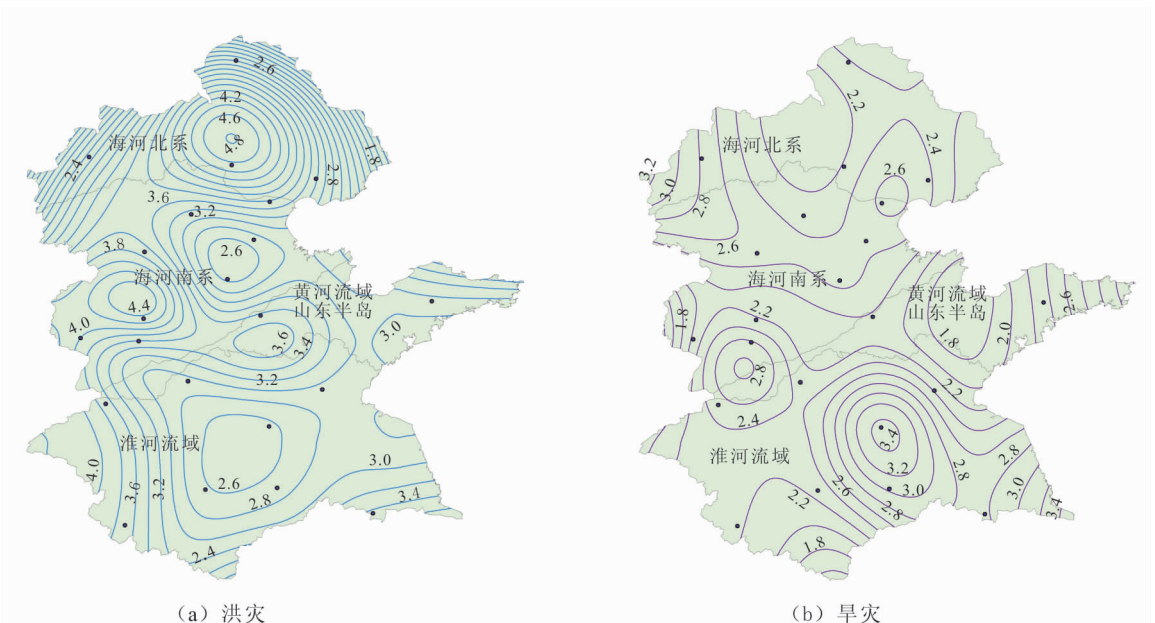


图9 黄淮海地区20世纪洪灾和旱灾重现期(单位:a)



## 4 结 论

(1)黄淮海地区洪旱灾害存在显著的年际和年代际变化特征,总体上17世纪和20世纪旱灾偏多,18世纪和19世纪洪灾偏多,21世纪前十年趋向干旱发展。

(2)黄淮海地区各子区域间的年际变化存在一定的差异,干湿阶段也不尽相同,洪旱突变时段差别较大;20世纪以来,海河南系和淮河中部地区洪旱灾害尤为严重。

(3)洪旱灾害在19世纪后半叶至20世纪上半叶存在3a左右短周期,近年来洪旱灾害也较为频繁,且洪旱灾害发生周期的空间分布差异性显著。

### 参考文献:

- [1] 吴永祥,姚惠明,王高旭,等. 淮河流域极端旱涝特征分析[J]. 水利水运工程学报,2011(4): 149-153.
- [2] 张建云,贺瑞敏,齐晶,等. 关于中国北方水资源问题的再认识[J]. 水科学进展,2013,24(3): 303-310.
- [3] 杨涛,陆桂华,李会会,等. 气候变化下水文极端事件变化预测研究进展[J]. 水科学进展,2011,22(2): 279-286.
- [4] 尹军,杨志勇,袁喆,等. 1961-2011年黄淮海地区极端降水时空变化特征[J]. 灾害学,2015,30(3): 71-75.

- [5] 黄茹,杨贵羽. 黄淮海流域干旱时间组合特征分析[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(2): 1-6.
- [6] 徐建文,居辉,刘勤,等. 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应[J]. 生态学报,2014,34(2): 460-470.
- [7] 徐玉霞. 近100年关中地区干旱灾害的时空变化分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(5): 231-235.
- [8] 杨传国,陈喜,张润润,等. 淮河流域近500年洪旱事件演变特征分析[J]. 水科学进展,2014,25(4): 503-510.
- [9] 曹永强,刘佳佳,王学风,等. 黄淮海流域旱涝周期、突变点和趋势分析研究[J]. 干旱区地理,2016,39(2): 275-284.
- [10] 中国气象局气象科学研究所,中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京:地图出版社,1981.
- [11] 中国气象局国家气象信息中心资料服务室,中国地面降水月值 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点数据集V2.0[R]. 北京:中国气象局国家气象信息中心资料服务室,2012.
- [12] 黄振平,陈元芳. 水文统计学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [13] 黄强,孔波,樊晶晶. 水文要素变异综合诊断[J]. 人民黄河,2016,38(10): 18-23.
- [14] 卢燕宇,吴必文,田红,等. 基于Kriging插值的1961-2005年淮河流域降水时空演变特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(5): 567-573.
- [15] 时芳欣,郝振纯,杨传国,等. 黄淮海地区降水概率分布类型分析[J]. 水电能源科学,2014,32(9): 1-5.

(上接第65页)

人为因素造成的总硬度、溶解性总固体、氨氮和亚硝酸盐氮等指标的浓度,使地下水水质得到改善,特别对于通州南部氟化物超标的水井,建议严格水井设计和成井工艺,避免层层取水。第一、二含水层组地下水水质差异较大,应当分层开采<sup>[15]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 姜娜,冯绍元,郑艳侠,等. 北京市北运河流域地表水环境问题分析与治理对策[J]. 中国农村水利水电,2010(6): 9-11.
- [2] 北京市统计局,国家统计局北京调查总队. 北京区域统计年鉴[M]. 北京:同心出版社,2011:27-35.
- [3] 北京市环境保护局. 2015年北京市环境状况公报[R]. 北京:北京市环境保护局,2016,4.
- [4] 唐克旺,侯杰,唐蕴. 中国地下水质量评价(1)——平原区地下水水化学特征[J]. 水资源保护,2006,22(2): 1-5.
- [5] 林健,杨庆,赵微,等. 北京市平原区地下水环境监测网运行2015年度成果报告[R]. 2016:1.
- [6] 荆红卫,张志刚,郭婧. 北京北运河水系水质污染特征及污

- 染来源分析[J]. 中国环境科学,2013,33(2): 319-327.
- [7] 陈忠荣,林健,赵微,等. 北京地下水污染调查评价成果报告[R]. 2010.
- [8] 王丽亚,郭海朋. 连续干旱对北京平原区地下水的影响[J]. 水文地质工程地质,2015,42(1): 1-6.
- [9] 张安京,叶超,李宇,等. 北京地下水[M]. 北京:中国大地出版社,2008.9.
- [10] 刘永清. 北京市通州区第四系地下水氟分布规律研究[J]. 北京水务,2008(3): 28-31.
- [11] 赵微,林健,郭高轩,等. 北京市地下水环境分层监测和专项监控网的建立[J]. 南水北调与水利科技,2012,10(2): 83-87.
- [12] 龚怒,顾乡. 污染源自动监控相关问题探讨[J]. 环境监测管理与技术,2011,23(2): 11-14.
- [13] 喻义勇,董艳平,孟磊. 污染源在线监控管理模式探讨[J]. 环境监测管理与技术,2008,20(5): 5-8.
- [14] 郭高轩,李宇,许亮,等. 北京平原区第四系地下水污染风险评价[J]. 环境科学,2014,35(2): 562-568.
- [15] 北京市人大常委会. 北京市水污染防治条例[R],北京:2010,11.