

# 1901—2016 年天津地区降水的多尺度特征

王敏<sup>1</sup>, 任建玲<sup>1</sup>, 易笑园<sup>2</sup>, 徐梅<sup>1</sup>, 年飞翔<sup>1</sup>, 勾志竟<sup>1</sup>, 李文博<sup>3</sup>

(1.天津市气象信息中心, 天津 300074; 2.天津市气象台, 天津 300074; 3.天津市气象探测中心, 天津 300074)

**摘要:**基于 1901—2016 年天津地区降水观测数据及全球降水气候中心(Global Precipitation Climatology Centre, GPCC)、英国英吉利大学(Climate Research Unit, CRU)研制的两套格点化月降水数据,利用 Taylor 统计、时间变率、Ensemble Empirical Mode Decomposition(EEMD)等多种方法,分析了不同降水资料在天津的适用性,进而分析天津地区百年降水的多时间尺度、空间分布特征。结果表明:(1) 1901—2016 年 GPCC 比 CRU 降水数据更适用于天津地区。(2) 天津地区 1901—2016 年降水的空间分布表现为“北多南少,东多西少”的趋势,时间变率呈“南正北负”的分布特征,其线性趋势较弱。(3) 从天津降水距平百分率来看,其北部低于南部。(4) 从多尺度变化来看,天津地区降水距平百分率南北部的年际变化较为相似,年代际变化存在差异性;趋势项表明天津南、北部的降水距平百分率均表现为先增强后减弱的趋势,但北部的增幅弱于天津南部。

**关键词:**长时间降水序列; GPCC 数据; CRU 数据; EEMD; 时空特征

中图分类号:P426.61

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0154-06

## Characteristics of Multiple Scales of Precipitation from 1901 to 2016 in the Region of Tianjin

WANG Min<sup>1</sup>, REN Jianling<sup>1</sup>, YI Xiaoyuan<sup>2</sup>, XU Mei<sup>1</sup>, NIAN Feixiang<sup>1</sup>, GOU Zhijing<sup>1</sup>, LI Wenbo<sup>3</sup>

(1.Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin 300074, China; 2.Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074, China; 3.Tianjin Meteorological Observation Center, Tianjin 300074, China)

**Abstract:**Based on the reanalysis datasets and observed dataset of in Tianjin in the period 1901—2016, we used the integrated approaches that combine Taylor statistic, time variability, EEMD, to analysis the spatial-temporal characteristics of precipitation. The main conclusions are as follows. (1) Compared with CRU data, GPCC data had more applicability in Tianjin region. (2) The annual precipitation decreased from south to north as well as from east to west in spatial distribution, the distribution of time variability in the north of Tianjin was negative, and was positive in the south of Tianjin. (3) The percentage of precipitation anomaly revealed that the drought frequency was lower in the north region than south region of Tianjin. (4) With respect to the variations of various scales in terms of the percentage of precipitation anomaly, it revealed that the annual variability was similar while the decadal time scales cycle was different; there was increasing tendency from 1901s to 1950s, then the decreasing tendency after 1960s in the north region of Tianjin, while the increasing tendency in the south region ended up until 1970.

**Keywords:**long-term precipitation; GPCC data; CRU data; EEMD; spatial and temporal characteristic

降水作为气候变化及干旱化程度的重要影响因素,一直深受学者关注。而长时间降水资料作为研究降水气候特征的基础,尤为重要<sup>[1-2]</sup>。但由于降水观测资料的限制,较多研究都是全球或全国的大尺度范

围<sup>[3]</sup>,对省市百年降水的研究则多是基于某个单站资料进行<sup>[4-5]</sup>。对百年尺度降水的空间研究大多基于再分析数据,目前较为常用的资料分别是英国东英吉利(East Anglia)大学的气候研究中心(Climate Research

收稿日期:2019-11-13

修回日期:2020-01-09

资助项目:国家自然科学基金(41575049);国家自然科学基金青年基金(41905132);国家自然科学基金(41575063);淮河流域气象开放研究基金暨安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室开放基金(HRM201701)

第一作者:王敏(1992—),女,河北唐山人,助理工程师,硕士研究生,研究方向为灾害性天气及气候预测。E-mail:wmin820@126.com

通信作者:任建玲(1970—),女,天津人,副高级工程师,研究方向为气象数据分析、气候统计。E-mail:renjl@126.com

Unit, CRU)<sup>[6]</sup>、美国全球降水气候中心(Global Precipitation Climatology Centre, GPCC)<sup>[1,7]</sup>。张宏芳等<sup>[8]</sup>利用 CRU 数据对陕西省的百年尺度降水进行了时空特征分析;肖晶晶等<sup>[1]</sup>利用 GPCC 数据对浙江省百年尺度降水进行序列重建及分析。但目前多数研究都只应用一种再分析资料进行分析。利用长时间的观测资料与不同的再分析资料进行对比和评估,并对效果较好的长时间再分析资料进行降水等要素时空多尺度特征的研究较少。

华北地区的干旱化问题日益严峻。降水作为干旱程度的重要指标,对其长时间序列进行多尺度分析有助于研究其周期演变及空间差异性。而天津作为华北地区为数不多具有较早气象观测资料的站点之一,其自 1890 年以来单站有连续的观测资料<sup>[4]</sup>,有助于利用站点数据与不同观测数据进行对比分析。因此本文首先利用两套再分析数据与观测数据进行对比,选择在天津地区适用性更佳的降水资料,分析天津地区 1901—2016 年降水的长时间时空分布特征,并利用降水距平百分率作为干旱指数,分析百年来天津不同地区降水距平百分率的变化趋势及差异性特征,以期为天津地区的气候分析及降水预测提供依据,对天津地区的防洪抗旱提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 台站观测数据

本文使用的逐日降水观测资料来源于天津地区气象信息中心,天津站测站位置变动较少,对降水的观测结果影响较少<sup>[4]</sup>。本文的相关分析时段为 1901—2016 年天津气候观测站的降水,同时应用 1979—2016 年天津地区范围的 13 个国家站的降水进行分析,站点观测数据已进行一致性检查<sup>[9-10]</sup>。本文降水的气候平均选为 1981—2010 年。

### 1.2 CRU 数据和 GPCC 再分析数据

对比选用的 CRU 再分析数据采用 CRU TS 4.1,为月降水数据,空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,网址为(<http://www.esrl.noaa.gov>),资料长度为 1901 年 1 月—2016 年 12 月。

GPCC 数据来源于美国全球降水气候中心,为月降水数据,空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,网址为(<http://www.cru.uea.ac.uk>),资料长度为 1901 年 1 月—2016 年 12 月。

为方便叙述,本文将观测资料、CRU 和 GPCC 降水数据分别简称 OBR, CRU, GPCC。本文在考虑将

格点数据插值到站点数据进行插值分析时,试验反距离加权插值法及双线性插值法,其中反距离加权插值法选择对离插值点近的 2 个点进行插值,双线性插值法则先分别对距离插值点最近的 4 个点分别进行线性插值(同方向进行),发现双线性插值法得到的插值数据与台站观测数据更为吻合,因此本文在进行分析时,选用双线性插值法。

### 1.3 方法

EEMD 分解集合经验模态分解法是由 Wu 和 Huang<sup>[11]</sup>提出,将复杂的原始时间序列信号分解为有限个不同时间尺度的振荡分量得到不同尺度特征的有限本征模态函数 IMF (Intrinsic Mode Function), IMF 代表了原始信号序列的不同时间尺度的局部特征,非常适合非线性,非平稳信号序列分析<sup>[12-13]</sup>。EEMD 的计算如下:

首先对于原始信号,加入高斯白噪音信号,然后对原始信号进行 EEMD 分解,同时加入高斯白噪音信号,取其平均值抵消白噪声。具体计算步骤参考文献<sup>[12-14]</sup>,本文中的信噪比选为 0.2,迭代次数为 200 次。

此外,还应用到了相对误差 bias(公式 1)、相关系数  $R$ (公式 2)、标准差比率 SDR(公式 3)计算,其中 bias 值越趋近于 0,说明误差越小,数据越接近; $R$  的取值范围为  $0 \sim 1$ ,  $R$  越大,说明数据之间相关性越好,数据越接近;SDR 越小,说明误差越小:

$$\text{bias} = (\bar{t} - \bar{r}) / \bar{r} \times 100 \quad (1)$$

式中: $\bar{t}$  为 CRU/GPCC 资料的平均值; $\bar{r}$  为 OB 资料的平均值。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(r_i - \bar{r})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}} \quad (2)$$

$$\text{SDR} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}} \quad (3)$$

时间变率 VAR 的计算公式<sup>[15]</sup>为:

$$\text{VAR} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i - \frac{1}{m} (\sum_{i=1}^m x_i) (\sum_{i=1}^m y_i)}{\sum_{i=1}^m x_i^2 - \frac{1}{m} (\sum_{i=1}^m x_i)^2} \quad (5)$$

降水距平百分率(Pa)是某期降水量与同期多年平均降水量之间的偏离程度<sup>[16-18]</sup>,其值大小可以用于表征干旱程度,计算公式为:

$$\text{Pa} = (P - P_{\text{ave}}) / P_{\text{ave}} \times 100\% \quad (6)$$

式中: $P$  为某时段降水量; $P_{\text{ave}}$  为 1981—2010 年多年

平均降水量<sup>[15-17]</sup>,降水距平百分率的干旱等级划分标准参考文献<sup>[13-15]</sup>,见表 1。

表 1 年尺度降水百分率的干旱等级

等级	年尺度降水百分率/%	干旱等级
1	$-15 < Pa$	无旱
2	$-30 < Pa \leq -15$	轻度干旱
3	$-45 < Pa \leq -30$	中度干旱
4	$-60 < Pa \leq -45$	重度干旱
5	$-75 < Pa \leq -60$	特大干旱

## 2 结果与分析

### 2.1 CRU 和 GPCC 降水对比分析

为了检验 GPCC 和 CRU 数据在天津地区的适用性,对 1901—2016 年的 OBR 和 GPCC,CRU 资料年降水量使用泰勒图(Taylor diagram)进行统计分析。可知 OBR 与 GPCC,CRU 的相关系数较高(通过 0.05 的显著性检验),其中 OBR 与 GPCC 的相对误差比率均小于 5%,标准差比较小。鉴于天津地区降水主要发生在 5—9 月,对 1901—2016 年 5—9 月的降水进行统计分析,同样发现在天津地区 GPCC 数据更优。

考虑天津地区降水空间上的分布,同时由于站点年限的原因,对天津 1979—2016 年 13 个国家站的 OBR 和 CRU,GPCC 降水数据求相关性和偏差计算(图 1),可见 1979—2016 年 OBR 和 GPCC 数据的相对误差都在 3%以内,相关系数均在 0.8 以上,最高达 0.98,均通过 0.01 的显著性检验;而 CRU 数据与天津北部台站(54428,54525)相对偏差较大,最大的 54528 站达到 28.53%。相比于 CRU,GPCC 数据与站点观测数据的偏差更小,相关性系数更高,均通过

了 0.01 显著性检验。

综合比较 CRU,GPCC 与站点数据,发现在天津地区 GPCC 的降水数据更具代表性。因此,本文对天津地区百年降水数据进行分析时选用 GPCC 数据进行天津地区降水的空间分析。

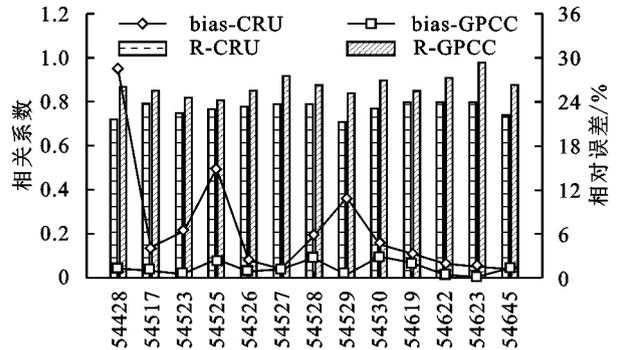


图 1 1979—2016 年天津地区 13 个站点 OBR 数据与 GPCC 和 CRU 数据的相关系数及相对误差分布

### 2.2 天津地区降水量空间分布特征

图 2 为 1901—2016 年 GPCC 数据得到天津降水的年值分布图,可见 1901—2016 年的年降水总体而言呈“北多南少、东多西少”的趋势,年降水量最大的位于天津北部 54428 站,年均降水可达 649.9 mm,年降水量最小值发生在天津西南侧的 54619 站,为 534.5 mm。降水的分布趋势可能与天津的地形有关。天津东侧为沿海地区,而西侧为内陆地区。

图 2B 为根据公式(4)所求的 GPCC 年平均降水时间变率的空间分布情况,可见整体而言天津地区年降水量的时间变率呈现出“南正北负”的分布趋势,其中 54428 站的时间变率减弱趋势为 0.28/a,而天津南部的降水增大区也表现为东边大、西边小。天津地区没有明显的线性变化趋势。

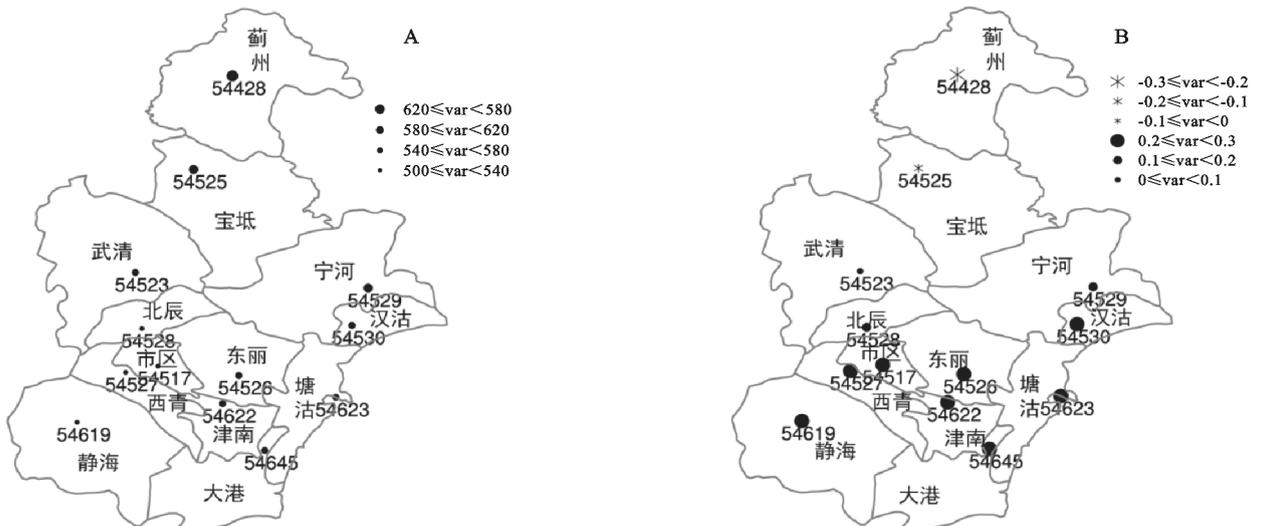


图 2 1901—2016 年天津地区北部和南部的年平均降水距平百分率分布

### 2.3 天津地区的干旱变化特征

前面可知天津北部和南部降水分布较为不同,因

此将 54428,54525 站作为天津北部站点,其余 11 站作为天津南部站点分析。天津北部和南部 1901—

2016 年的降水距平百分率  $P_a$  如图 3 所示,并根据表 1 计算对应干旱等级,可见天津在 1920 年均出现了重度干旱,此外,天津南部在 1941 年也为重度干旱;天津整个地区在 2002 年干旱程度为中度,这与文献中所得结果对应,而在 1902 年、1932 年、1936 年、1939 年、1968 年、1989 年、1997 年、1999 年天津南部为中度干旱等级,天津北部出现中度干旱的年份则为 1921 年、1941 年、1999 年。干旱频率为发生各等级的干旱频数与时间序列长度之比,用以表示干旱发生的可能性,求得南部地区出现干旱的频率 29.3%,北部地区出现干旱的频率为 20.7%。

对比天津北部和天津南部地区干旱化程度可见,在 1920 年、2002 年天津地区整体出现了干旱情况。1901—2016 年天津南部的干旱频率高于北部地区,天津地区的干旱主要发生在天津南部。

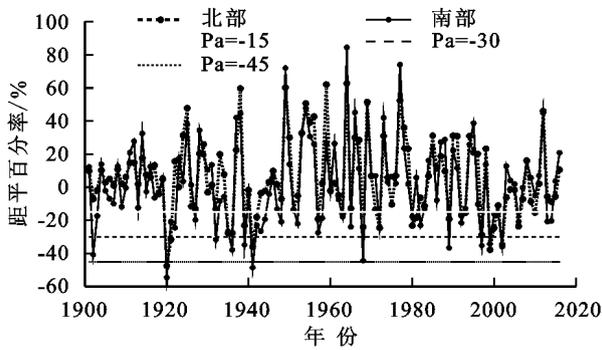


图 3 天津地区 1901—2016 年平均降水量的空间分布及时间变率的空间分布

### 2.4 降水距平百分率的多时间尺度特征

由于 1901—2016 年天津地区年降水量的时间变率较小,线性趋势较弱,因此对年降水距平进行 EEMD 分析,求出天津地区 1901—2016 年的多时间尺度变化规律<sup>[15]</sup>。考虑到天津北侧的降水呈现出减弱趋势,天津南侧降水则呈现出增强趋势,因此将天津地区分为南北两个区域求 EEMD 分析降水距平百分率的多时间尺度特征(图 4),分析其南北两区的多时间尺度特征。

结合各 IMF 分量的方差贡献可知:天津北部和南部地区降水距平百分率的 IMF1 和 IMF2 分量较为相似,为 3 a, 6 a 的年际周期,而年代际周期则不同,北部地区表现为准 14 a, 21 a, 58 a 的周期振荡,南部地区周期为准 15 a, 29 a、准 77 a。就方差贡献率而言,IMF1 分量的方差贡献率最大。

基于 EEMD 的 RES 趋势项表明,天津地区距平百分率均呈先增加后减弱的趋势,增幅均小于降幅;北部地区在 20 世纪 60 年代降水距平百分率达到峰

值,南部地区在 70 年代达到最大,天津北部的增幅明显小于其南部增幅。

计算各 IMF 分量与原始降水距平百分率的相关系数,可见各 IMF 分量均能通过 90% 的显著性检验,天津北部 IMF1~3, IMF5 分量均通过 0.01 的显著性检验,天津南部的 IMF1~3 分量通过 0.01 的显著性检验。

表 2 IMF 分量方差贡献率与原始降水距平百分率的相关系数

IMF	方差贡献率/%		相关系数	
	北部	南部	北部	南部
IMF1	64.9	67.2	0.79***	0.78***
IMF2	16.3	12.7	0.51***	0.46***
IMF3	10.7	11.8	0.30***	0.32***
IMF4	4.8	4.5	0.23**	0.16*
IMF5	3.2	3.7	0.25***	0.20**

注:\*\*\*代表通过 0.01 的显著性检验;\*\*代表通过 0.05 的显著性检验;\*代表通过 0.10 的显著性检验。

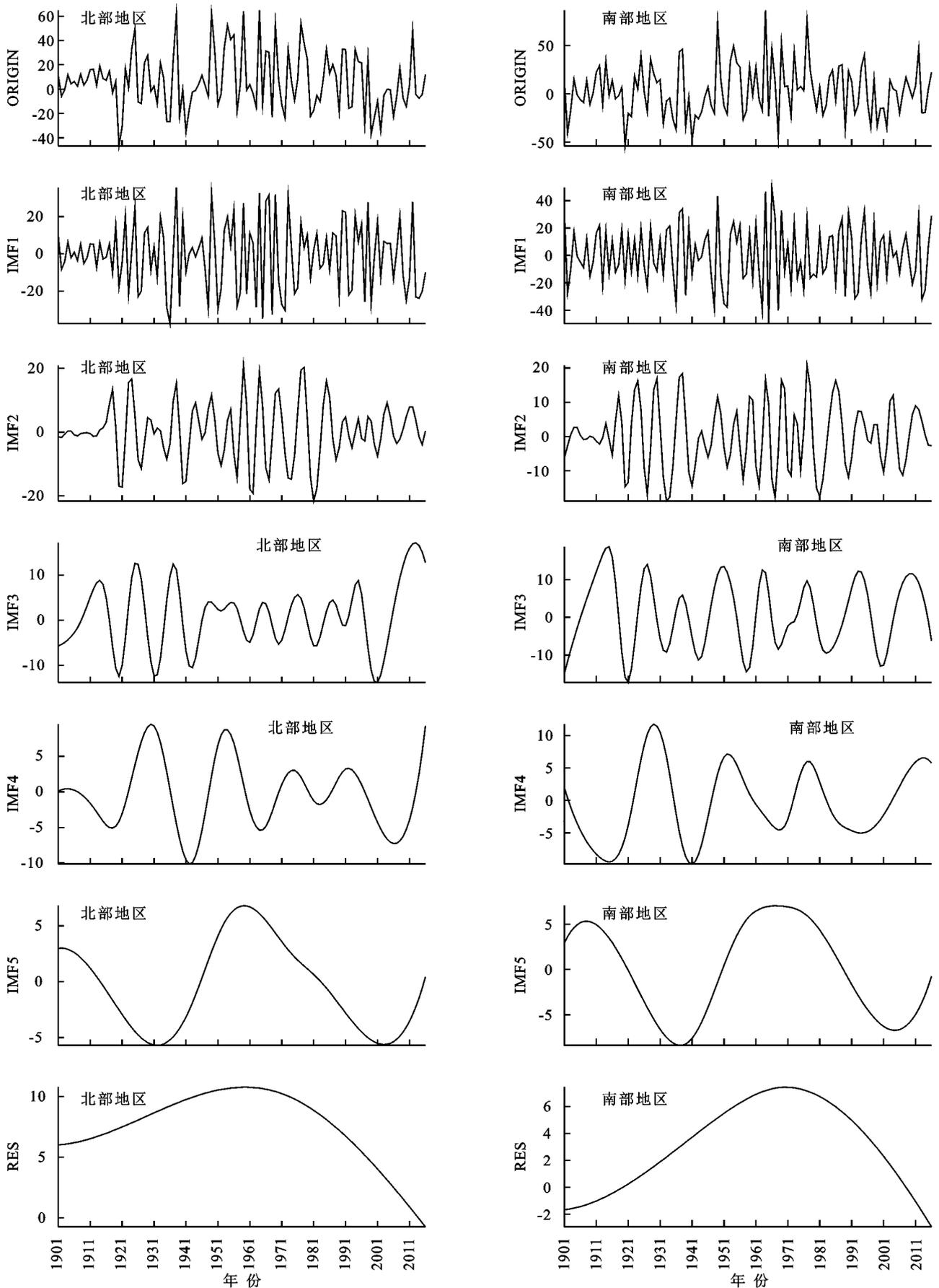
### 3 结论

(1) 1901—2016 年天津单站与 GPCC, CRU 年降水量的比较可知, GPCC 数据与实测数据更为接近, 1979—2016 年天津地区 13 个观测站与 GPCC 的相关系数均达到 0.8 以上,且相对误差则在 3% 以内,标准差也较小;而 CRU 的相关性弱于 GPCC,且与北部山区站点数据的相对偏差较大,因此, GPCC 相比于 CRU 能够更好地描述天津地区的降水变化特征。

(2) 利用效果较好的 GPCC 降水数据对 1901—2016 年天津地区年降水量进行分析,可见天津年平均降水量表现为“南强北弱,东强西弱”的趋势;其时间变率表现为“南正北负”的趋势,天津北部的时间变率表现为减弱的趋势,而南部年降水的时间变率则表现为增强的趋势,但是线性变化趋势均较弱。

(3) 利用年降水距平百分率表示干旱频率,分析可知天津北部的干旱频率低于天津南部,其中天津地区全部出现中度干旱级别及之上的共计 2 a,而北部出现中度干旱级别为 5 a,南部为 11 a,天津南部的干旱频率高于北部。

(4) 对降水距平百分率进行 EEMD 分析,得到天津地区主要表现为准 3 a、准 6 a 的年际变化周期,其北部和南部的年代际变化存在较大差异。从趋势项可见天津地区降水主要呈现先增加后减弱的趋势,北部在 20 世纪 60 年代达到峰值,南部则在 70 年代最大,北部的增幅趋势明显弱于南部。



注: Origin 为原始降水序列, IMF1—IMF5 项为降水的 IMF 分量, 最后 RES 为趋势项。

图 4 基于 EEMD 的天津北部和南部地区降水距平百分率的时间序列趋势分解

## 参考文献:

- [1] 肖晶晶,李正泉,郭芬芬,等.浙江省1901—2017年降水序列构建及变化特征分析[J].气候变化研究进展,2018,14(6):553-561.
- [2] 吕俊梅,祝从文,琚建华,等.近百年中国东部夏季降水年代际变化特征及其原因[J].大气科学,2014,38(4):782-794.
- [3] 王丹,王爱慧.1901—2013年GPPC和CRU降水资料在中国大陆的适用性评估[J].气候与环境研究,2017,22(4):446-462.
- [4] 段丽瑶,丁一汇,任雨.1921—2010年天津气温和降水量序列的多尺度分析[R].第三届区域气候变化监测与检测学术研讨会,2014.
- [5] 李正泉,宋丽莉,梁卓然,等.杭州市降水特征及极端降水趋势预估[J].气象,2018,44(6):781-789.
- [6] Harris I, Jones P D, Osborn T J, et al., Updated high-resolutions grids of monthly climatic observations-the CRU TS3.10 dataset[J]. International Journal of Climatology, 2014,34(3):623-642.
- [7] Becker A, Finger P, Meyer-Christoffer A, et al. A description of the global land-surface precipitation data products of the global precipitation climatology centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present[J]. Earth System Science Data, 2013,5(1):71-99.
- [8] 张宏芳,潘留杰,卢珊,等.1901—2012年陕西降水,气温变化特征[J].中国沙漠,2015,35(6):1674-1682.
- [9] 凡炳文,牟燕红,邱文俊.洮河流域径流时间序列一致性及变异研究[J].水文,2008,28(3):70-73.
- [10] 原立峰,张增信,刘星飞,等.鄱阳湖流域近49年降雨序列一致性检验与分析[J].安徽农业科学,2013(2):732-735.
- [11] Wu Z, Huang N E. A study of the characteristics of white noise using the empirical mode decomposition method[J]. Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2004,460(2046):1597-1611.
- [12] Wu Z, Huang N E. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method[J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2009,1(1):1-41.
- [13] Qian C, Zhou T. Multidecadal variability of North China aridity and its relationship to PDO during 1900-2010[J]. Journal of Climate, 2014,27(3):1210-1222.
- [14] Qian C. On trend estimation and significance testing for non-Gaussian and serially dependent data: quantifying the urbanization effect on trends in hot extremes in the megacity of Shanghai[J]. Climate Dynamics, 2016,47(1/2):329-344.
- [15] 王敏,李英,徐祥德.西北太平洋热带气旋路径异常偏折的分类特征[J].热带气象学报,2019,35(2):177-186.
- [16] Zhu N, Xu J, Li K, et al. Spatiotemporal Change of Plum Rains in the Yangtze River Delta and Its Relation with EASM, ENSO, and PDO During the Period of 1960—2012[J]. Atmosphere, 2019,10(5):258-275.
- [17] 刘增进,张静.1988—2017年河北省干旱时空变化特征分析[J].华北水利水电大学学报:自然科学版,2019,40(3):27-31.
- [18] 胡顺起,曹张弛,刘婷婷.华北地区极端干旱事件的变化特征[J].气象与环境科学,2017,40(4):121-125.
- [31] Su H, Wood E F, McCabe M F, et al. Evaluation of remotely sensed evapotranspiration over the CEOP EOP-1 reference sites[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II, 2007,85:439-459.
- [32] Norman J M, Kustas W P, Prueger J H, et al. Surface flux estimation using radiometric temperature: A dual-temperature-difference method to minimize measurement errors[J]. Water Resources Research, 2000,36(8):2263-2274.
- [33] French A N, Jacob F, Anderson M C, et al. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA)[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,99(1/2):55-65.
- [34] Verstraeten W W, Veroustraete F, Feyen J. Estimating evapotranspiration of European forests from NOAA-imagery at satellite overpass time: Towards an operational processing chain for integrated optical and thermal sensor data products[J]. Remote Sensing of Environment, 2005,96(2):256-276.
- [35] Jiang L, Islam S. Estimation of surface evaporation map over Southern Great Plains using remote sensing data[J]. Water Resources Research, 2001,37(2):329-340.
- [36] Mcvicar T R, Jupp D. Estimating one-time-of-day meteorological data from standard daily data as inputs to thermal remote sensing-based energy balance models[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 1999,96(4):219-238.

(上接第153页)