

# 1960—2013 年中国东南沿海地区年内降水集中度和集中期的时空变化特征

王米雪, 延军平

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** [目的] 揭示中国东南沿海地区降水集中度(PCD)和集中期(PCP)时空变化特征,为科学应对旱涝灾害和水资源利用等提供依据。[方法] 基于东南沿海地区 46 个气象站的逐日降水量资料,采用 Morlet 小波分析、EOF 等气候分析方法对 1960—2013 年东南沿海降水集中度和集中期时空变化特征进行分析。[结果] 在时间变化上,PCD 波动幅度介于 0.10~0.25,存在 13~16 a,19~23 a 和 33~35 a 的周期变化;PCP 波动幅度介于 139.5~208.2,存在 13~16 a 和 25~30 a 的周期变化。在空间变化上,PCD 具有明显的地域分异特征,PCP 空间差异性大。[结论] 1960—2013 年中国东南沿海地区降水集中度在增强,且沿海地区值大于内陆地区;降水集中期稳定波动,空间上变化具有一致性。

**关键词:** 降水集中度(PCD); 降水集中期(PCP); 时空特征; 东南沿海

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0277-06

中图分类号: P463.1

**文献参数:** 王米雪, 延军平. 1960—2013 年中国东南沿海地区年内降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 277-282. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.052

## Spatial-temporal Variation of Intra-annual Precipitation Concentration Degree and Precipitation Concentration Period on Southeast Coast of China from 1960 to 2013

WANG Mixue, YAN Junping

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial-temporal variation characteristics of precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period(PCP) on the southeast coast of China were studied to provide bases for dealing with drought and flood disasters as well as water resources utilization scientifically. [Methods] Based on daily precipitation data from 46 meteorological stations during 1960—2013 on the southeast coast of China, the authors investigated the characteristics of PCD and PCP using wavelet analysis and Empirical Orthogonal Function(EOF) methods. [Results] Fluctuating range of PCD was between 0.10 and 0.25; PCD had three cycles: 13~16 a, 19~23 a and 33~35 a. PCP ranged between 139.5 and 208.2 and it had two cycles: 13~16 a and 25~30 a. An obvious characteristic of PCD was regional differentiation. Spatial variation of PCP was notable. [Conclusion] During 1960—2013 in the southeast coast area of China, PCD increased, and the values of PCD of coastal areas were higher than those of inland areas. PCP fluctuated steadily.

**Keywords:** precipitation concentration degree(PCD); precipitation concentration period(PCP); spatial-temporal variation; southeast coast of China

1980—2012 年全球海陆表面气温上升了 0.85 ℃, 为工业革命以来最暖的 30 a<sup>[1]</sup>。气候变暖不仅直接影响温度极值变化,而且已经导致高温干旱和暴雨洪涝等极端气候事件的发生频率与强度出现加剧的趋势,并将继续造成长远而巨大的影响<sup>[2]</sup>。中国南方地

区近年来涝灾呈现加剧态势,2010 年 6 月江西等南部地区遭受了历史同期最强持续的暴雨袭击,粤东部分地区出现了 500 年一遇特大暴雨<sup>[3]</sup>。2011 年长江中下游地区经历“旱涝急转”,其剧烈变化历史罕见,在 6 月的 3 轮降水总量已超过  $1.40 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,相当

收稿日期: 2015-03-11

修回日期: 2015-03-25

资助项目: 国家社会科学基金重点项目“西部重大灾害时空规律的统计研究”(14AZD094); 国家社会科学基金项目“中国丝绸之路经济带生态文明建设评价与路径研究”(14XKS019)

第一作者: 王米雪(1991—),女(汉族),陕西省西安市人,硕士研究生,研究方向为区域开发与城乡发展。E-mail: michelleinxian@gmail.com。

通信作者: 延军平(1956—),男(汉族),陕西省绥德县人,博士,教授,博士生导师,主要从事灾害地理与环境变化教学和科研工作。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn。

于 3.7 个三峡总库容<sup>[4]</sup>。在我国“南涝北旱”的气候格局下,关注中国南方地区降水集中度和集中期对适应、减缓和应对气候变化,评估气候事件更具实际意义。在已有研究中,张录军等<sup>[5]</sup>讨论了降水集中度和集中期在长江流域旱涝灾害发生机制中的作用;陈睿智等<sup>[6]</sup>得出 20 世纪 80 年代以后,甬江流域年降水集中度呈现显著的下降趋势;曹永强等<sup>[7]</sup>研究表明浙江省南部大部分地区最大降水出现较早,北部一些地区最大降水出现略晚;覃卫坚等<sup>[8]</sup>认为广西大部地区年降水有集中加强的趋势,即发生洪涝灾害的可能性有增大的趋势。然而这些探讨多以江河流域或者单一行政省份作为研究区,对中国南方地区降水充沛的地理单元、气候变化的脆弱带与敏感地区关注不足。中国东南沿海地区位于亚欧大陆东南端,既处于气候变化脆弱区和敏感地带,又在全球气候变化趋势南北位相相反的交界带;按照地形划分,东南沿海可分为沿海平原区和内陆山地丘陵区,区域平原地区河网密集,水库堤坝众多,台风带来的局地强降水常诱发水库或河道溃堤而形成重大洪涝灾害,因此是台风和洪涝灾害综合风险等级最高的区域。在经济上,作为长三角和珠三角的纽带,具有密集的产业集群,随着区域人口密度不断增大,区域降水分配不均带来的压力将日益凸显<sup>[9-11]</sup>。关于东南沿海地区热带气旋、台风和旱涝已逐渐受到学界关注,但对于东南沿海降水变化的研究相对较少,已开展的研究也大多局限于降水强度,对于降水集中度和集中期研究较少。基于此,本研究选取东南沿海地区 46 个气象台站实测气象资料,采用线性趋势、Morlet 小波分析和经验正交分解等方法,对 1960—2013 年东南沿海降水集中度和集中期的时空变化特征进行分析,以期对科学应对区域旱涝灾害、合理产业布局和水资源利用提供理论依据和实践参考。

## 1 资料和方法

1960—2013 年东南沿海逐日降水数据来源于中国气象科学数据共享服务网。地面气象台站选取原则为:台站均匀分布在研究区中,并且测站具有一定的代表性,在保证较长时间序列的基础上,选取尽可能多的站点<sup>[12]</sup>。为建立均一、稳定的降水序列,将数据资料时段统一为 1960—2013 年,并对缺测数据进行了均值插补处理。本研究表征单站降水量时间分配特征的参数主要为降水集中度(PCD)和集中期(PCP)。其计算公式为<sup>[12]</sup>:

$$PCD_i = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^N r_{ij} \times \sin\theta_j\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N r_{ij} \times \cos\theta_j\right)^2} / R_i \quad (1)$$

$$PCP_i = \arctan\left(\frac{\sum_{j=1}^N r_{ij} \times \sin\theta_j}{\sum_{j=1}^N r_{ij} \times \cos\theta_j}\right) \quad (2)$$

式中:PCD<sub>*i*</sub>, PCP<sub>*i*</sub>——第 *i* 年的降水集中度和集中期;*i*——年份;*j*——旬序;*N*——总年份;*R<sub>i</sub>*——某测站第 *i* 年内总降水量(mm);*r<sub>ij</sub>*——第 *i* 年第 *j* 旬内的降水量(mm); $\theta_j$ ——研究时段内各旬所对应的矢量角度, $\theta_j = 360^\circ \times (j-1)/36$ 。

Morlet 小波分析法是一种时域-频域分析方法,常用来分析时间序列周期变化的情况<sup>[7,13]</sup>。经验正交函数分解法(EOF)最早是统计学家 Pearson<sup>[14]</sup>于 1902 年提出,其特征向量能反映降水的空间分布结构,并且特征向量的数值大小能反映降水量变化的程度。因此,采用小波分析法对 PCD 和 PCP 周期进行分析,借助 EOF 研究 PCD 和 PCP 的不同模态特征。

## 2 东南沿海地区降水时间变化特征

### 2.1 东南沿海地区降水趋势变化特征

2.1.1 降水集中度 1960—2013 年东南沿海地区 PCD 波动幅度介于 0.10~0.25,低于广西的 0.36~0.62<sup>[8]</sup>,亦低于黄土高原地区的 0.53~0.75<sup>[12]</sup>和东北地区的 0.59~0.79<sup>[15]</sup>(图 1)。区域降水年内分配相对均匀,整个区域内差异性较小;从线性拟合曲线看,1960—2013 年东南沿海地区降水集中度呈现上升趋势,说明降水将趋于集中。从 5 a 滑动平均曲线看,东南沿海 PCD 变化大致可以分为 3 个阶段:(1) 20 世纪 60—80 年代中期东南沿海地区 PCD 大体呈现“W”型波动,在 70 年代前期和 80 年代中期分别形成两个低值区;(2) 20 世纪 80 年代末东南沿海地区 PCD 呈波动上升趋势,1994 年后 PCD 呈现波动下降趋势;(3) 东南沿海地区 PCD 在 2007—2008 年形成一个低值区,随后呈现上升趋势(图 1)。对于不同省份而言,东南沿海地区各省份 PCD 均呈现微弱上升,上升速率从南向北逐渐增加,依次表现为:广东<福建<浙江,但是其变化均未通过 0.05 显著水平检验(图 1)。

2.1.2 降水集中期 1960—2013 年东南沿海地区 PCP 均值为 180.2,波动幅度介于 139.5~208.2。即多年平均降水集中期多出现在 6 月末或 7 月初,晚于覃卫坚等<sup>[8]</sup>对广西降水集中期研究得出的 6 月中旬,但早于李结华等<sup>[16]</sup>对长江下游降水集中期(PCP=186)。蒋薇<sup>[17]</sup>等得出 1961—2011 年长江中下游梅雨平均入梅时段为 6 月下旬,平均出梅时段为 7 月上旬,与东南沿海降水集中期具有时段一致性(图 2)。从 5 a 滑动平均曲线看,东南沿海地区 PCP 波动逐渐趋于平缓,变化大致可以分为 3 个阶段:(1) 20

世纪 60—80 年代中期东南沿海地区 PCP 先上升后下降,并在 70 年代初形成一个“峰值区”;(2) 20 世纪 80 年代—21 世纪初东南沿海地区 PCP 先呈现波动上升后小幅波动下降,在 90 年代中期形成一个“峰值区”;(3) 2000 年后东南沿海地区 PCP 呈现小幅

上升趋势,并维持稳定波动(图 2)。对于不同省份而言,东南沿海地区各省份之间 PCP 变化均未通过 0.05 显著水平检验。2000—2013 年,广东 PCP 呈上升趋势,福建 PCP 维持稳定,浙江则呈现出微弱下降趋势(图 2)。

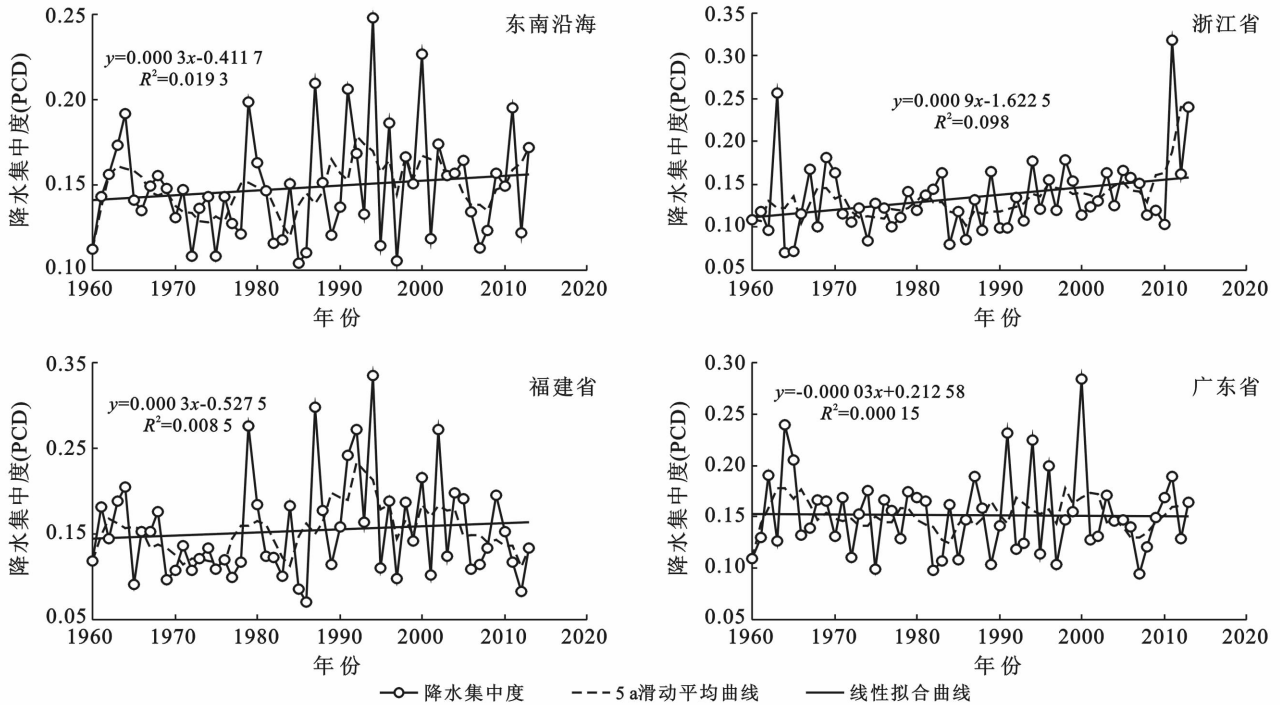


图 1 东南沿海地区 1960—2013 年降水集中度变化特征

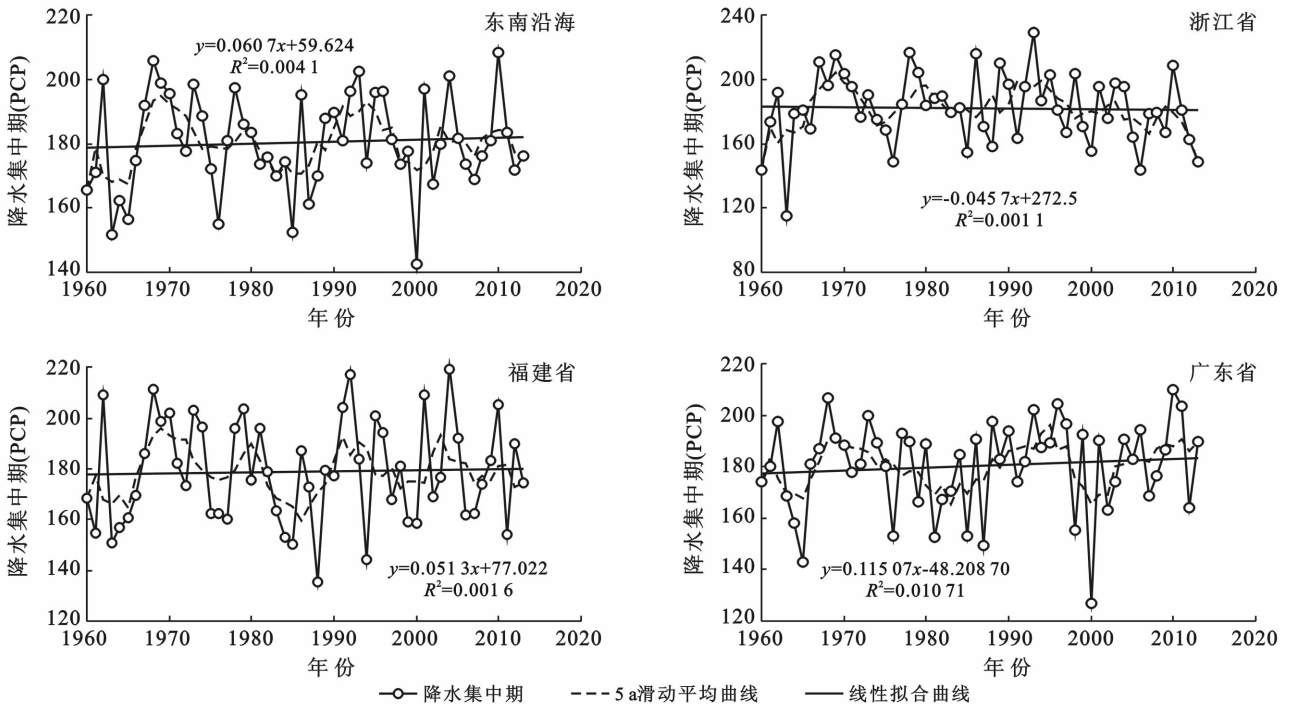


图 2 东南沿海地区 1960—2013 年降水集中期变化特征

综合降水集中度和降水集中期变化特征看,20 世纪 80 年代前,东南沿海地区降水集中度和集中期

曲线波动趋势相反;20 世纪 80 年代中期全球气候显著变暖以来,曲线波动趋势一致;1998 年以后的全球

变暖停滞期,曲线波动趋势再次相反,2005年后两曲线调整为同向波动并呈现上升趋势。也就是说,近年来东南沿海地区降水趋于集中,集中期趋于推迟,这种变化将对区域农业、工业和旅游业发展产生一定的影响。

## 2.2 东南沿海地区降水周期变化特征

利用复值 Morlet 小波研究时间序列分析时,小波系数实部能够反映气候序列不同时间尺度的周期变化及在时间域中的分布,中心值的大小可以反映波动的振荡强度<sup>[13]</sup>,PCD 正值为“趋于集中”,负值表示“趋于分散”;PCP 正值为“趋于推迟”,负值表示“趋于提前”。从图 3 中可以看出,1960—2013 年东南沿海地区降水集中度和集中期具有明显的周期变化特征,存在多个不同时间尺度的强弱振荡周期。

**2.2.1 降水集中度** 东南沿海地区 PCD 存在 13~16 a, 19~23 a 和 33~35 a 的周期变化,33~35 a 尺度上周期变化具有全时域性,呈现出“集中—分散—集中—分散”变化特征(图 3)。在 13~16 a 和 19~23 a 周期变化上,2013 年振荡周期等值线未闭合,表明区域在两个短时间周期上降水将具集中趋势;对于 33~35 a 的较长周期而言,等值线也没有闭合,表明 2013 年以后未来东南沿海地区在长周期变化上降水很可能将继续维持平均分配趋势。结合运用标准化降水蒸散指数(SPEI)计算得出的 1960—2013 年东南沿海旱涝情况<sup>[18]</sup>,发现 20 世纪 80 年代中期以前,早年降水集中度高,涝年降水平均分配;而 20 世纪 80 年代中期全球显著变暖之后,早年降水平均分配,涝年降水集中度高。

**2.2.2 降水集中期** 东南沿海地区 PCP 的小波变换规律与 PCD 的相似,均存在多尺度时间周期上的嵌套现象,PCP 存在 13~16 a 和 25~30 a 的周期变化(图 3)。在 25~30 a 尺度上,PCP 呈现出“提前—推迟—提前—推迟—提前—推迟”3 个周期转变。

1995 年后,长时间尺度上 PCP 周期转变时间缩短,同时对应 13~16 a 小时间尺度的 PCP 变化,则有更多的“提前—推迟”循环交替。

## 3 东南沿海地区降水空间分布特征

1960—2013 年东南沿海地区降水集中度具有明显的地域分异特征,沿海地区降水集中度高于内陆地区,在广东和福建沿海体现得尤为明显,而浙江西部降水分配相对均匀,反映出地理位置对降水集中度的影响,沿海平原区降水集中,内陆丘陵区降水分散(图 4)。位于长江中下游的浙江西北部易发生大面积同期降雨,该结论印证了张录军等认为长江中下游地区呈现为大范围的大降水变率区,一般也是灾害性旱涝事件多发区<sup>[5]</sup>。对于降水集中期而言,PCP 空间差异性大(图 4),广东大部分地区、福建南部以及浙江南部降水集中期相对较早,主要集中于第 17~18 旬(即 6 月中下旬);粤北等地、福建北部以及浙江北部降水集中期相对较晚,主要集中于第 19~20 旬(即 7 月中上旬)。

为了进一步研究 PCD 和 PCP 的主要异常空间分布特征,分别对其进行经验正交分解(EOF),所得结果均通过特征向量显著性检验(图 5)。从 PCD 第 1 模态空间分布情况来看(图 5),该模态的方差贡献率为 21.70%。PCD 空间上在浙江北部形成正高值区,其他区域为负值区,即浙江北部降水越集中(不集中),其他区域降水分配则越平均(集中)。PCD 第 2 模态的方差贡献率为 9.57%(图 5),正高值区在福建和浙江南部,负高值区位于广东和浙江北部。降水集中度 EOF 第 1 模态在全区基本具有一致性,长江中下游地区集中度相对较高(较低)时,福建和广东降水越不集中(集中);降水集中度 EOF 第 2 模态表示东南沿海夏季降水的地形差异,福建丘陵山地区降水相对集中(分散),南北广东和浙江平原区降水相对分散(集中)。

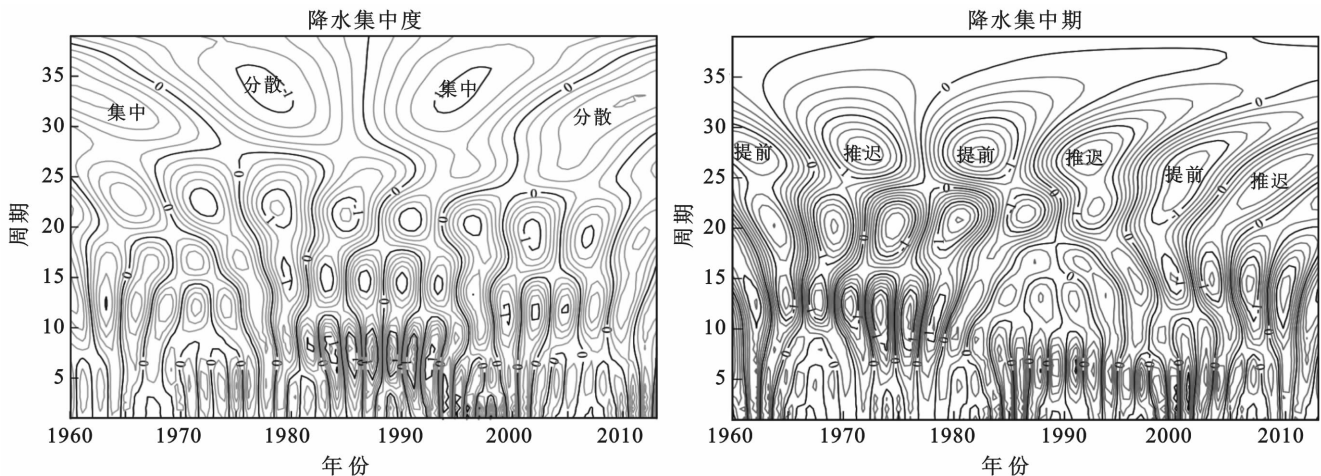


图 3 1960—2013 年东南沿海降水集中度和集中期小波分析

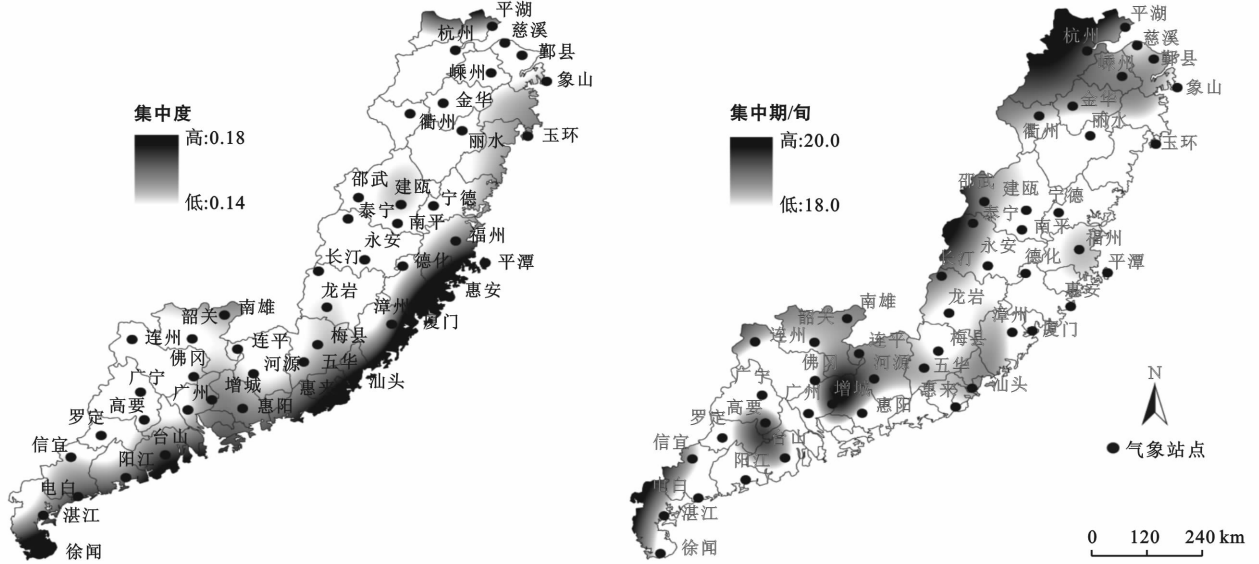


图 4 东南沿海降水集中度 PCD(a)和集中期 PCP(b)空间分布

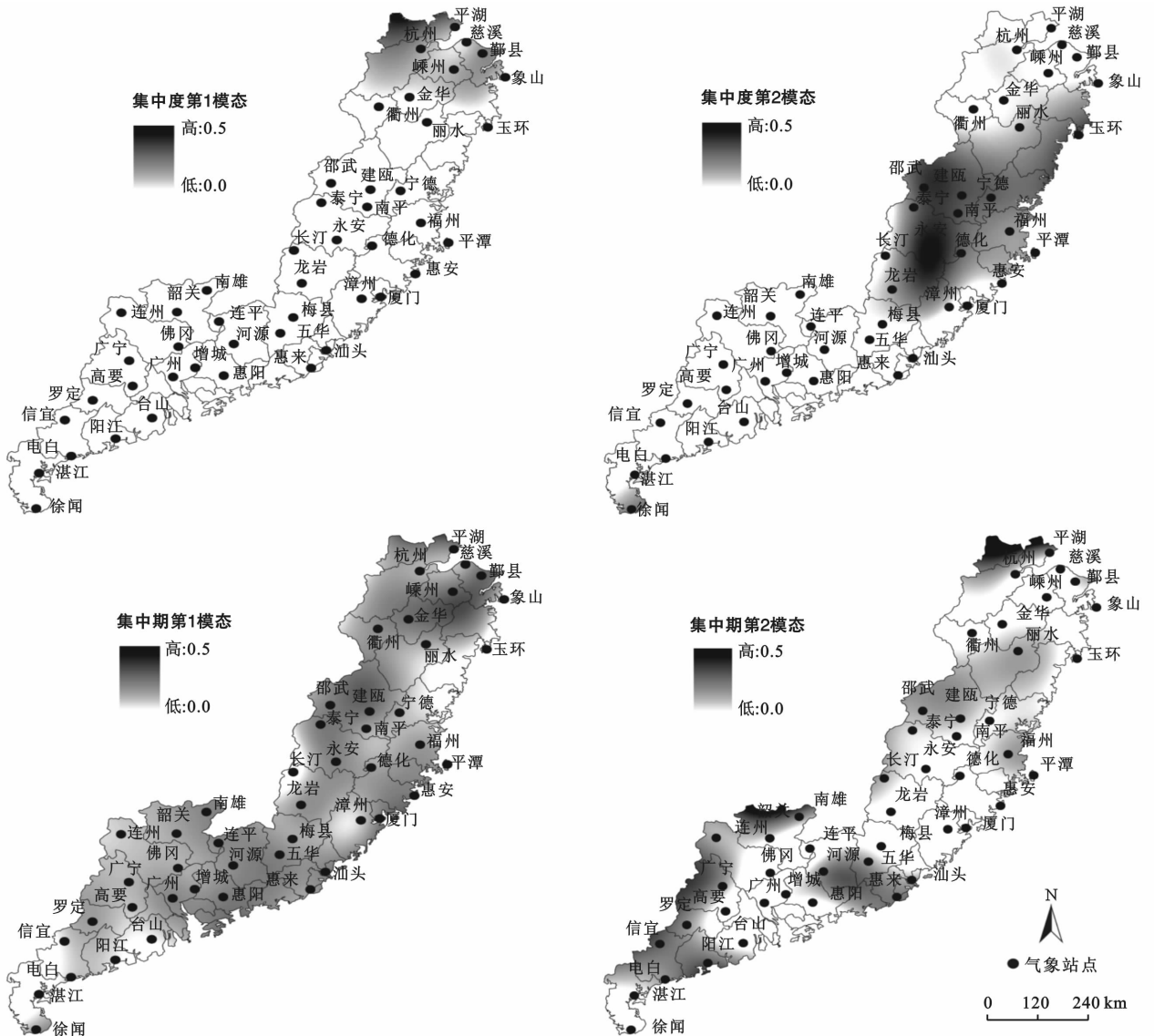


图 5 东南沿海 PCDEOF 前 2 模态和 PCPEOF 前 2 模态空间分布

从 PCP 第 1 模态空间分布可看出(图 5),全区一致性为该模态主要特征,其方差贡献率为 12.08%。PCP 第 2 模态方差贡献率为 7.14%(图 5),正高区分布在浙江西北部,广东北部、东部和西部;负高值区位于浙江中东部、闽南地区、粤中北及雷州半岛。相比于中部,位于东南沿海南北地区降水集中期变化更为显著。降水集中期 EOF 第 1 模态表示的中国东南沿海地区降水集中期整体具有一致性,降水主要集中于 6 月下旬到 7 月上旬;降水集中期 EOF 第 2 模态表示的东南沿海降水受台风和地理环境影响,丘陵—平原、内陆—沿海的地理环境和台风降水时间差异,使得不同区域降水存在时间间隔。

## 4 讨论与结论

(1) 在时间变化上,1960—2013 年东南沿海地区 PCD 波动幅度介于 0.10~0.25,降水整体以平均分配为主,呈现出多地区、范围广的特征,未来降水将趋于集中;东南沿海地区不同省份之间 PCD 呈现微弱上升,其上升速率从南向北逐渐递增:广东<福建<浙江。PCP 波动幅度介于 139.5~208.2,其上升速率从南向北递减:其中福建小于广东呈上升趋势,浙江呈现微弱下降趋势。PCD 与 PCP 在时间变化上呈现相反趋势。

(2) 在周期变化上,东南沿海地区 PCD 存在 13~16 a,19~23 a 和 33~35 a 的周期变化。20 世纪 80 年代中期以前,早年降水集中度高,涝年降水平均分配;而 20 世纪 80 年代中期全球显著变暖之后,早年降水平均分配,涝年降水集中度高。PCP 存在 13~16 a 和 25~30 a 的周期变化,存在不同尺度时间周期上的嵌套现象。

(3) 在空间变化上,PCD 具有明显的地域分异特征,沿海地区降水集中度高于内陆地区,在广东和福建沿海体现的尤为明显,而浙江西部降水分配相对均匀。PCP 空间差异大,广东大部分地区、福建南部以及浙江南部降水集中期相对较早,主要集中于第 17~18 旬(即 6 月中下旬);粤北等地、福建北部以及浙江北部降水集中期相对较晚,主要集中于第 19~20 旬(即 7 月中下旬)。

(4) 经 EOF 分析得出,PCD 第 1 模态在全区基本具有一致性,长江中下游地区集中度相对较高(较低)时,福建和广东降水越不集中(集中);PCD 第 2 模态表明降水受地形影响显著。PCP 全区一致性为第 1 模态主要特征,即该省大部分地区降水集中期一致提前或推迟;PCP 第 2 模态受台风与地理环境等因素影响较大。

(5) 1980—2010 年中国南方地区降雨日数呈线性减小趋势<sup>[19]</sup>,但 1951—2010 年中国东南沿海地区海陆交界带上降水呈现断续增加趋势<sup>[20]</sup>,其与本研究得出的降水将趋于集中结论一致,也就是说,未来发生东南沿海地区涝灾的风险加大。在气候变暖的背景下,对于降水集中度和集中期变化的持续关注将对区域旱涝灾害发生与防治具有重要意义。如何做好防灾减灾工作,保证自然系统的良性运转与人类活动的正常进行还有待进一步探究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, the Summary for Policymakers of the Working Group I: Contribution to the Fifth Assessment Report [M]. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [3] 肖明,刘莹. 我们需要怎样的防洪布局[J]. 中国三峡, 2010(9):76-78.
- [4] 曾灵华. 两周内长江流域累计降水 1400 亿立方抵 3.7 个三峡库容[EB/OL]. (20110616)[20120404]. [http://china.cnr.cn/qqhygbw/201106/t20110616\\_508104690.html](http://china.cnr.cn/qqhygbw/201106/t20110616_508104690.html),2011-06-16.
- [5] 张录军,钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. 地球物理学报,2004,47(4):622-630.
- [6] 陈睿智,桑燕芳,王中根,等. 1956—2010 年甬江流域降水变化特性分析[J]. 地理科学进展,2012,31(9):1149-1156.
- [7] 曹永强,路璐,张亭亭,等. 基于降水集中度和集中期的浙江省降水时空变化特征分析[J]. 资源科学,2013,35(5):1001-1006.
- [8] 覃卫坚,王咏青,覃志年. 全球气候变暖背景下广西降水集中程度的变化特征研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(21):11224-11227.
- [9] 王静爱,雷永登,周洪建,等. 中国东南沿海台风灾害链区域规律与适应对策研究[J]. 北京师范大学学报:社会科学版,2012,1(2):130-138.
- [10] 徐华清. 我国东南沿海地区可持续发展能源战略选择[J]. 环境保护,1997(2):8-11.
- [11] 段海来,王春林,唐力生,等. 华南地区晚稻洪涝灾害风险评估[J]. 生态学杂志,2014,33(5):1368-1373.
- [12] 刘宪锋,任志远,张翀,等. 1959—2008 年黄土高原地区年内降水集中度和集中期时空变化特征[J]. 地理科学进展,2012,31(9):1157-1163.
- [13] 罗光坤. Morlet 小波变换理论与应用研究及软件实现[D]. 江苏南京:南京航空航天大学,2007.
- [14] 邱海军,曹明明,刘闻. 基于 EOF 的陕西省降水变化时空分异研究[J]. 水土保持通报,2011,31(3):57-59.

施,在流域防洪减灾中发挥着重要作用,为防洪减灾工作提供了有力支持。首先,在洪水来临前,可预估洪水淹没状况以及洪灾损失情况;其次,在洪水发生时,可快速评估洪水淹没范围以及损失情况;最后,在洪水发生过后,还可进行洪水淹没和损失验证分析。防汛部门可根据洪水风险图提供的相关信息来制定有效的救灾方案,提高防洪决策水平,保护人民的生命财产安全,减轻洪水可能造成的社会经济损失。

## 4 结论

根据城镇化背景下东南沿海小流域洪水的特点,以厦门市东西溪流域为例,重点开展了平原区洪水风险研究。本研究基于 MIKE21 平面二维水动力学模型进行洪水风险分析,以 GIS 技术为依托,综合考虑东西溪流域的实际情况及特点,进行二维洪水模拟分析;在不同等级洪水风险分析方面,本文将降雨径流概念性模型应用于设计暴雨洪水计算、洪水风险等级评估;最后,以流域 GIS 作支撑,绘制出东西溪流域的动态洪水风险图,并可根据洪水淹没区内的土地利用等因素的变化等实际情况,调整不同频率洪水淹没范围,实现东西溪流域洪水风险图的实时动态更新。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 许有鹏,葛小平,张立峰,等. 东南沿海中小流域平原区洪水淹没模拟[J]. 地理研究,2005,24(1):38-45.
- [2] 赵庆良,王军,许世远,等. 沿海城市社区暴雨洪水风险评价:以温州龙湾区为例[J]. 地理研究,2010,29(4):

665-674.

- [3] 许有鹏,李立国,蔡国民,等. GIS支持下中小流域洪水风险图系统研究[J]. 地理科学,2004,24(4):452-457.
- [4] 李娜,程晓陶,邱绍伟. 上海市城区洪水风险图制作[J]. 中国防汛抗旱,2009(6):38-41.
- [5] 李帅杰,谢映霞,程晓陶. 城市洪水风险图编制研究:以福州为例[J]. 灾害学,2015,30(1):108-114.
- [6] 张青. 厦门市东西溪城区河道景观水位分析[J]. 水利科技,2014(2):7-10.
- [7] 厦门市统计局. 2014年厦门经济特区年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2014.
- [8] 韩学军. 连江流域设计洪水计算与研究[D]. 湖北 武汉:武汉大学,2004.
- [9] 赵人俊,王佩兰. 新安江模型参数的分析[J]. 水文,1988,8(6):2-9.
- [10] 姜俊厚. 基于 MIKE 和 GIS 洪水风险计算的应用研究[D]. 辽宁 大连:大连理工大学,2010.
- [11] 魏凯,梁忠民,王军. 基于 MIKE21 的滌洼蓄滞洪区洪水演算模拟[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(6):16-19.
- [12] C R Yang, C T Tsai. Development of A GIS-based flood information system for floodplain modeling and damage calculation [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000,36(3):567-577.
- [13] 马建明,徐旭,张念强,等. 沂河左堤洪水风险图编制[C]//中国水利学会青年科技工作委员会编. 中国水利学会第三届青年科技论坛论文集. 郑州:黄河水利出版社,2007:310-316.
- [14] Mark R Stevens, Steve Hanschka. Municipal flood hazard mapping: The case of British Columbia, Canada [J]. Natural Hazards, 2014,73(2):907-932.

(上接第 282 页)

- [15] 张运福,胡春丽,赵春雨,等. 东北地区降水年内分配的不均匀性[J]. 自然灾害学报,2009,18(2):89-94.
- [16] 李结华,陆宝宏,王童,等. 长江流域年降水集中程度分析[J]. 水电能源科学,2010(11):9-11.
- [17] 蒋薇,高辉. 21世纪长江中下游梅雨的新特征及成因分析[J]. 气象,2013,39(9):1139-1144.
- [18] 王米雪,延军平,李双双. 1960—2013年中国东南沿海地区旱涝时空变化特征及其趋势分析[J]. 资源科学,2014,36(11):2307-2315.

- [19] Liao Wenhui, Wang Xuemei, Fan Qi, et al. Long-term atmospheric visibility, sunshine duration and precipitation trends in South China[J]. Atmospheric Environment, 2015,107:204-216.
- [20] Yu Meixiu, Li Qiongfang, Michael J H, et al. Are droughts becoming more frequent or severe in China: Based on the standardized precipitation evapotranspiration index; 1951—2010 [J]. Royal Meteorological Society, 2014,34(3):545-558.