

1969—2013 年华南前汛期极端降水年际异常及影响因子

章开美¹, 陈胜东², 李丽平³, 杨华¹

(¹江西省气象服务中心, 南昌 330096; ²江西省气象科学研究所, 南昌 330096;

³气象灾害省部共建教育部重点实验室/南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044)

摘要:利用国家气象信息中心发布的逐日降水资料、NCEP/NCAR 逐月再分析风场及 NOAA 重构延长的逐月海表温度(SST)资料,研究了华南前汛期极端降水年际异常时空特征,并进一步从海洋及大气环流上探讨极端降水年际变化的主要影响因子。结果表明:(1)华南前汛期各极端降水指数呈显著年际变化特征,且在广东、广西、福建中北部和江西中南部呈一致性异常,贵州中南部呈相反异常分布。特别是1990s 以来,广东、广西及福建中北部是洪涝灾害的高风险区,而贵州中南部则易发生干旱。(2)“类 ENSO”型海温异常及相应大气环流异常是影响华南前汛期极端降水的主要因子,前冬到次年前汛期,“类 ENSO”型正异常维持但有一定程度减弱,南海以北的东亚大陆沿岸自南向北依次存在反气旋—气旋—反气旋环流系统,南海及菲律宾群岛以东洋面的反气旋环流系统向北输送暖湿气流,贝加尔湖以东的反气旋环流和日本群岛附近的气旋式环流分别向南输送干冷和湿冷气流,南北气流交汇于华南地区,易造成华南前汛期洪涝灾害。

关键词:前汛期;极端降水;年际异常;华南

中图分类号:P467

文献标志码:A

论文编号:casb16100082

Extreme Precipitation During the Pre-rainy Season in South China, 1969–2013:

Interannual Variations and Influence Factors

Zhang Kaimei¹, Chen Shengdong², Li Liping³, Yang Hua¹

(¹Meteorological Service Center of Jiangxi Province, Nanchang 330096;

²Meteorological Sciences Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330096;

³Key Laboratory of Meteorological Disaster of Cooperation of Ministries and Provincial Governments, Ministry of Education/
College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

Abstract: Using the daily precipitation data of 89 stations in south China from the National Meteorological Information Center and the reanalyzed monthly average 850 hPa wind field from the National Center for Environmental Prediction and the National Center for atmospheric research, as well as extended reconstruction monthly sea surface temperature (SST) data from National Oceanic and Atmospheric Administration between 1969 and 2013, the authors studied the spatial-temporal features and influence factors of extreme precipitation during the pre-rainy season in south China from the perspective of ocean and atmospheric circulation. The results showed that: (1) the interannual variations of extreme precipitation during the pre-rainy season in south China were significant, most areas in south China were consistent anomaly, except for the central and south of Guizhou; since the 1990s, high flood risk areas were Guangdong, Guangxi and the north and central of Fujian, while the central and south Guizhou were prone to aridification; (2) the main affecting factors of the interannual variations of extreme precipitation in south China were ENSO-like sea surface temperature anomaly (SSTA)

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973 计划”(2013CB430200);公益性(气象)行业专项“夏季中高纬波包活动与我国南方大范围降水极端事件预测方法研究”(GYHY201406024)。

第一作者简介:章开美,女,1986年出生,江西南昌人,工程师,硕士,主要从事极端气候环境、环境污染方面的研究。通信地址:330096 江西省南昌市高新区艾溪湖二路防灾减灾科技大楼 江西省气象服务中心, Tel:0791-82713219, E-mail:zhkm2008@163.com。

收稿日期:2016-10-20, **修回日期:**2016-12-16。

and the corresponding atmospheric circulation anomaly; ENSO-like SSTA had a certain degree of decrease from the preceding winter to the pre-rainy season, east Asian continent along the coast had the anti-cyclone-cyclone-anticyclone system from south to north, the anticyclonic circulation system of the south China sea and east ocean of the Philippines conveyed the warm moist air flows to the north, the anticyclonic circulation in the east of Lake Baikal and the cyclonic circulation near the Japanese islands conveyed the wet dry and cold air southward, respectively, which increased the warm and humid vapor input to south China and caused extreme floods in pre-rainy season in south China, and vice versa.

Key words: pre-rainy season; extreme precipitation; interannual variations; south China

0 引言

近年来,随着全球变暖,中国夏季季风降水增强,极端天气气候事件愈发频繁^[1]。极端气象灾害,特别是极端降水任何细微的变化都会对农业生产系统产生重大的影响。众多国外气象学者对极端天气气候事件的时空特征做了一系列研究^[2-3],其中包括长期变化趋势及年代际变化特征等;国内气象学者对极端天气气候事件引发的灾害也有诸多研究^[4-5],尤其是针对极端降水事件,强降水往往造成严重自然灾害,如山洪暴发、山体滑坡、泥石流等。

中国是个旱涝灾害频发的国家,且极端降水的强度和频率具有显著的区域性和季节性变化特征^[6-7],华南地区属副热带季风气候区,是中国雨量最丰沛的一个区域,而前汛期又是华南的多雨时期,前汛期降水占全年的40%~50%或更多^[8-11]。因此对华南地区降水特征进行研究具有一定的现实意义,目前,针对华南地区降水特别是前汛期极端降水变化规律方面已取得一些成果。钱维宏等^[12]发现,华南地区在1991年经历一次由干转湿的突变;张婷等^[13]指出,1992年华南地区降水发生了由减少到增多趋势的突变;李丽平等^[14]认为,1990s以来华南前汛期总降水量的显著增加主要决定于极端降水的增强。

综上所述,有关华南降水的研究多集中在分析年代际变化和长期变化趋势上,很少有针对极端降水的年际异常及其成因的相关研究。任国玉等^[15]指出,有必要加强对极端降水变化机制和成因的相关研究。因此,华南前汛期极端降水年际异常特征及成因分析需要做进一步研究。许多研究表明,中国东部夏季降水异常与太平洋海表温度(SST)异常(ENSO)有着密切的关系^[16-18]。学者们也发现,ENSO遥强迫作用与华南及西北太平洋环流异常及降水有密切关系。比如,Chang等^[19-20]指出,热带印度洋SST异常从ENSO成熟位相的冬季到次年的夏季一直影响着华南及西北太平洋上环流异常(反气旋环流距平维持),是导致中国中南部地区降水异常的关键所在,Wang等^[21]和Li等^[22]解

释了特定区域的海气相互作用是如何使得菲律宾海异常反气旋维持2~3个季度。Wu等^[23]进一步证实了,东亚降水与低层环流的季节演变与西北太平洋上Elnino位相的转变有密切关系。然而,华南前汛期极端降水年际异常与太平洋海表温度及850 hPa环流异常关系尚不清楚。

极端天气气候对农业的影响具有区域性特征,而华南地区的农业经济产出受极端降水的影响最大^[24]。因此,本研究选取国家气候中心发布的4个极端降水指数来表征华南前汛期极端降水,分析华南前汛期极端降水的年际异常时空变化特征,并进一步研究太平洋海温异常及850 hPa风场年际异常与华南前汛期极端降水年际异常进行两两相关的耦合模态,进而揭露极端降水异常的成因,并确定对华南前汛期极端旱涝有预测意义的信号。本研究结果对指导华南地区防灾减灾具有一定的指导意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源

(1)国家气象信息中心发布的中国区域753个台站1969—2013年逐日降水资料;(2)NOAA全球1968—2013年逐月海表温度(SST)资料,分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$;(3)NCEP/NCAR全球1968—2013年逐月850 hPa风场资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

1.2 研究方法

选取(106—120°E, 20—28°N)范围代表华南作为研究区域,剔除1969年4月—2013年6月降水资料缺失的测站,最终选取除海南省以外的89个测站代表华南区域^[25]。据国家气候中心定义的极端降水指数,本研究选取降水强度、强降水量、强降水频率、暴雨日数4个极端降水指数,研究华南前汛期极端降水的特征。具体定义详见李丽平等^[26]。

根据各极端降水指数的定义,对华南前汛期极端降水的年际异常及影响因子进行分析,利用Fortran语言对极端降水指数序列资料、海表温度场资料及850 hPa风场资料3个要素进行统计分析:(1)分别统

计出 89 个测站 1969—2013 年 4—6 月(前汛期)极端降水指数的逐年序列;(2)为突出年际异常特征,对 3 个要素距平分别进行了谐波分析处理^[27-28],滤除 10 年以上的波动成分;(3)对各极端降水指数年际分量进行自然正交函数分析(EOF),进而分析年际变化时空变化特征;(4)为探讨华南前汛期极端降水年际异常的影响因子,对 3 个要素两两进行奇异值分解(SVD),研究相应的耦合模态。Grads 及 Excel 工具分别用来显示出各要素的耦合模态及年际变化曲线。

2 结果与分析

2.1 华南前汛期极端降水年际异常时空特征

受东亚夏季风年际变化的影响,中国旱涝灾害发生明显的年际变化^[29],那么华南前汛期极端降水的年际异常时空变化特征如何?图 1、2 分别给出了各极端降水指数年际分量 EOF 分析的第一模态及相应的时间序列,降水强度、强降水量、强降水频率、暴雨日数第一模态方差贡献率分别为 16.2%、17.0%、18.1%、18.3%,该模态表征了 1969—2013 年华南前汛期极端

降水指数年际异常的主要特征。

从图 1a~d 可以看出,各指数 EOF 分析的第一特征向量场相似,且空间变化特征基本呈均一性,即各指数除在贵州中南部为负异常外(降水强度在福建东南沿海也为负异常),华南大部地区均为正异常,各极端降水指数 EOF 第一模态时间系数序列(见图 2a~d)呈现显著年际变化,且自 1990s 以来,时间序列振幅加大,结合图 1 和图 2 可知,时间系数呈正异常的年份(如 1973、1993、1998、2001、2005、2008),广东、广西、福建中北部和江西中南部各极端降水指数均异常偏多或偏强,而贵州中南部均偏少或偏弱。时间系数为负的年份,特征与此相反;同时也表明 1990s 以来,广东、广西、福建中北部和江西中南部是洪涝灾害的高风险区,而贵州中南部则易发生干旱。李丽平等^[4]的研究已指出,自 1990s 以来,华南区域平均的上述各极端降水指数年际异常程度显著增强,与本研究结果基本一致,这也说明,前汛期各极端降水指数 EOF 年际分量的第一模态是决定华南极端降水年际变化的关键。

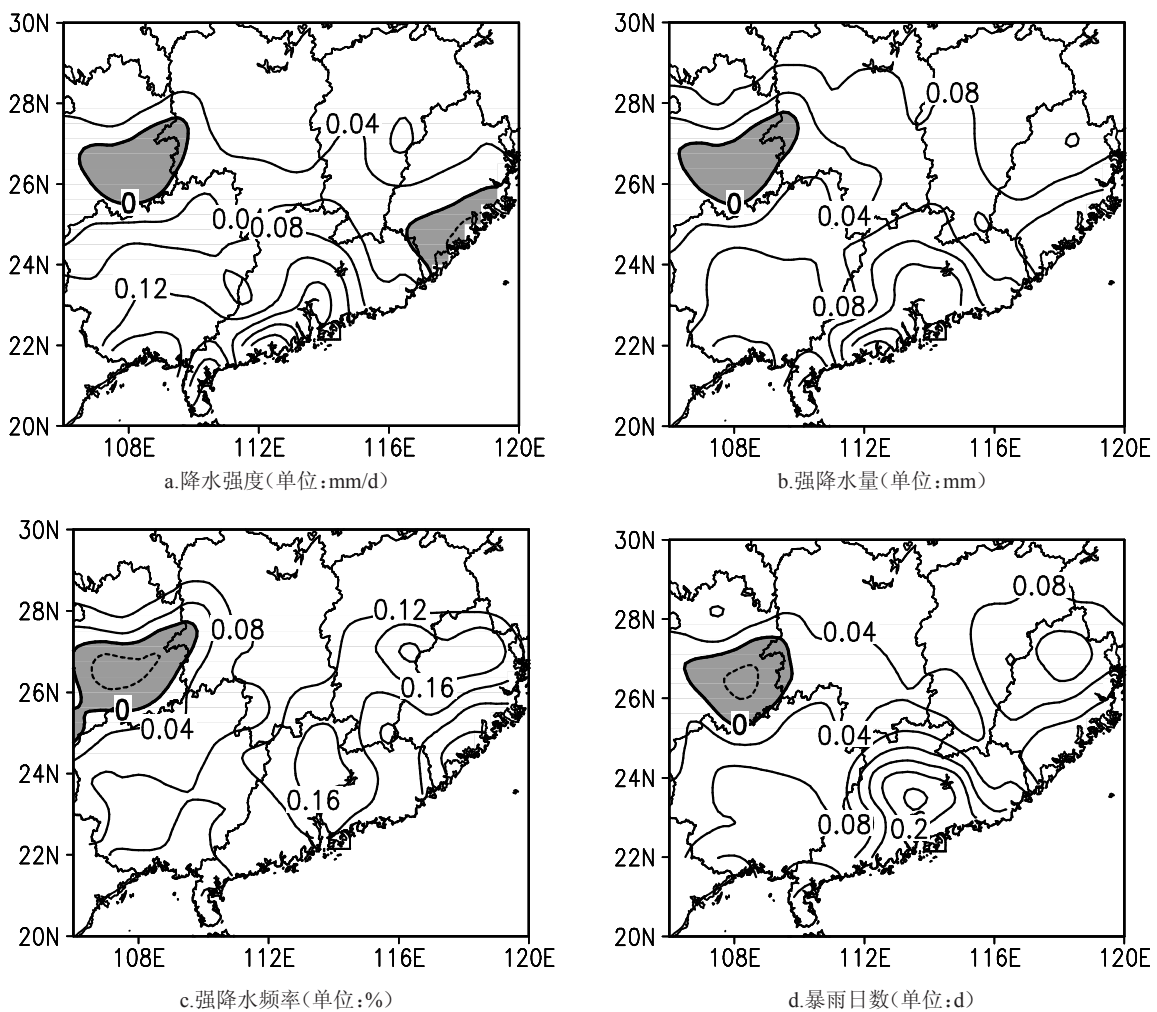


图 1 1969—2013 年华南前汛期各指数年际分量 EOF 分析的第一特征向量场(阴影区值为负值)

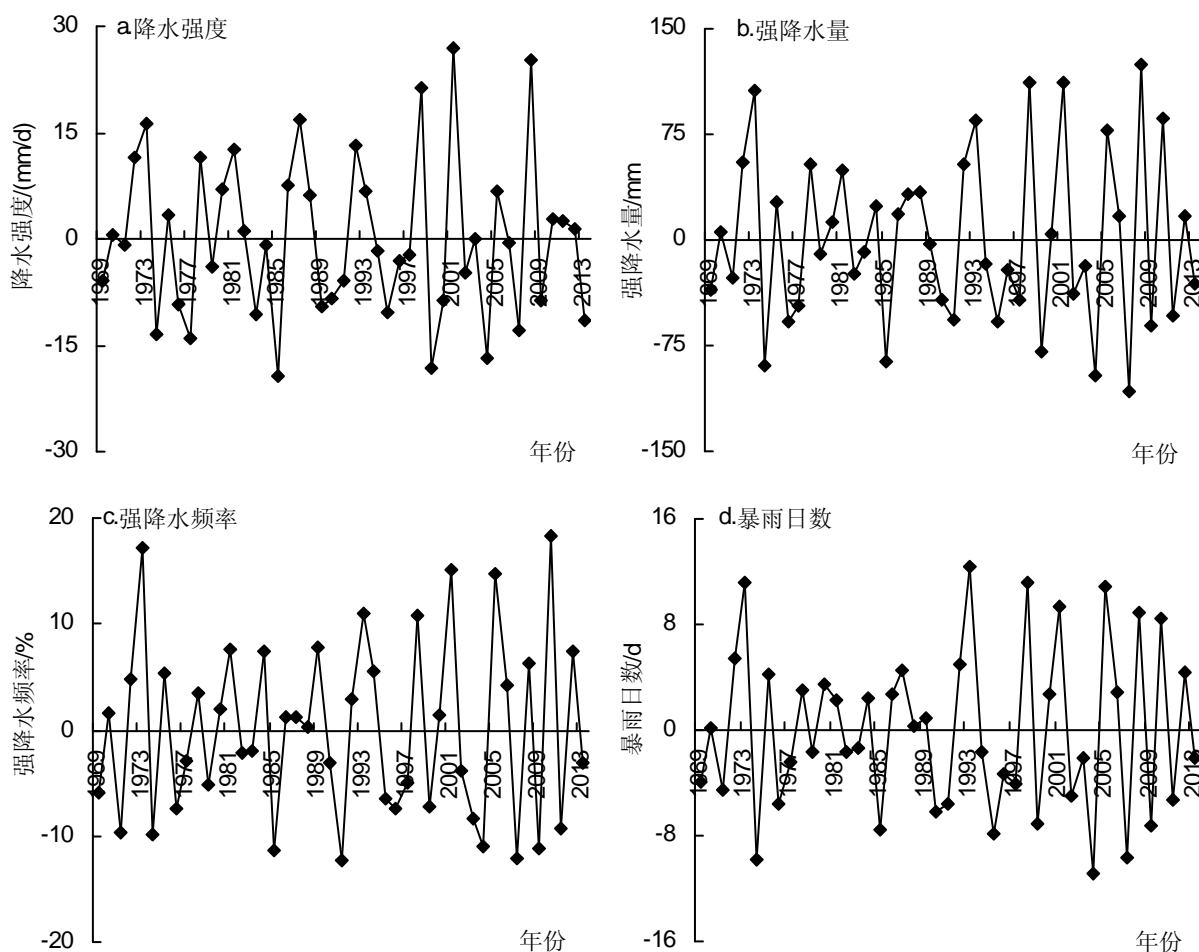


图2 各指数年际分量EOF分析的第一时间系数

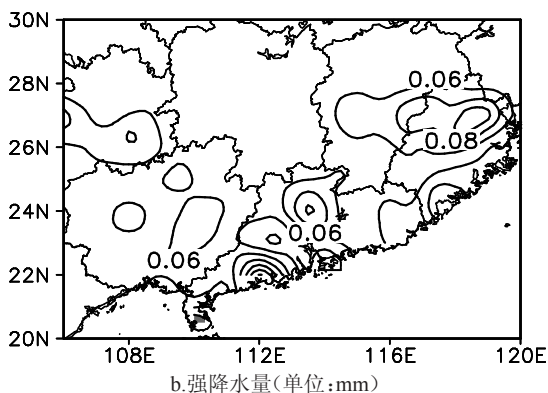
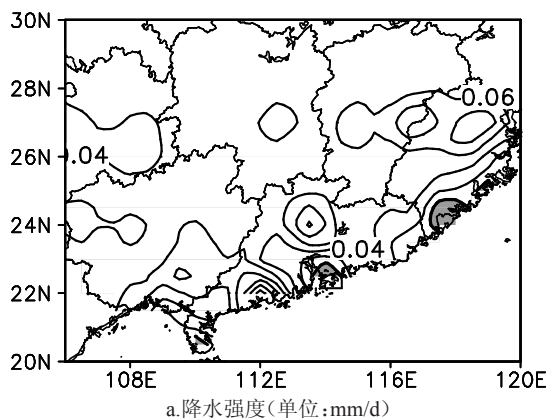
2.2 华南前汛期极端降水年际异常影响因子分析

为探寻对华南前汛期极端降水有预测意义的大气和海洋信号, 分别对太平洋海温场及850 hPa风场分别与极端降水指数场年际异常两两进行SVD分析, 获得相应的时滞和同期耦合模态, 以下对结果进行分析。

2.2.1 前冬太平洋海温场和前汛期极端降水场时滞相关耦合模态 首先给出前冬海温场分别与各极端降水指数年际分量SVD分析的第一耦合模态奇异向量(见图3)及相应时间系数序列(见图4), 该模态的协方差

平方和贡献率分别为65.8%、66.4%、62.9%和61.4%, 均通过Monte Carlo检验(显著性水平 $\alpha=0.01$)。

图4显示, 海温场年际异常时间系数序列与ENSO事件关系十分密切(11/15谷值与La Nina事件对应; 13/15峰值与El Nino事件对应)。结合图3可见, 前冬赤道中东太平洋、中纬度东太平洋及副热带西太平洋海表温度场为正异常, 热带西太平洋及中纬度西太平洋SST为负异常时, 各极端降水指数在华南大部区域均呈现正异常。由于该模态海温场与ENSO关系密



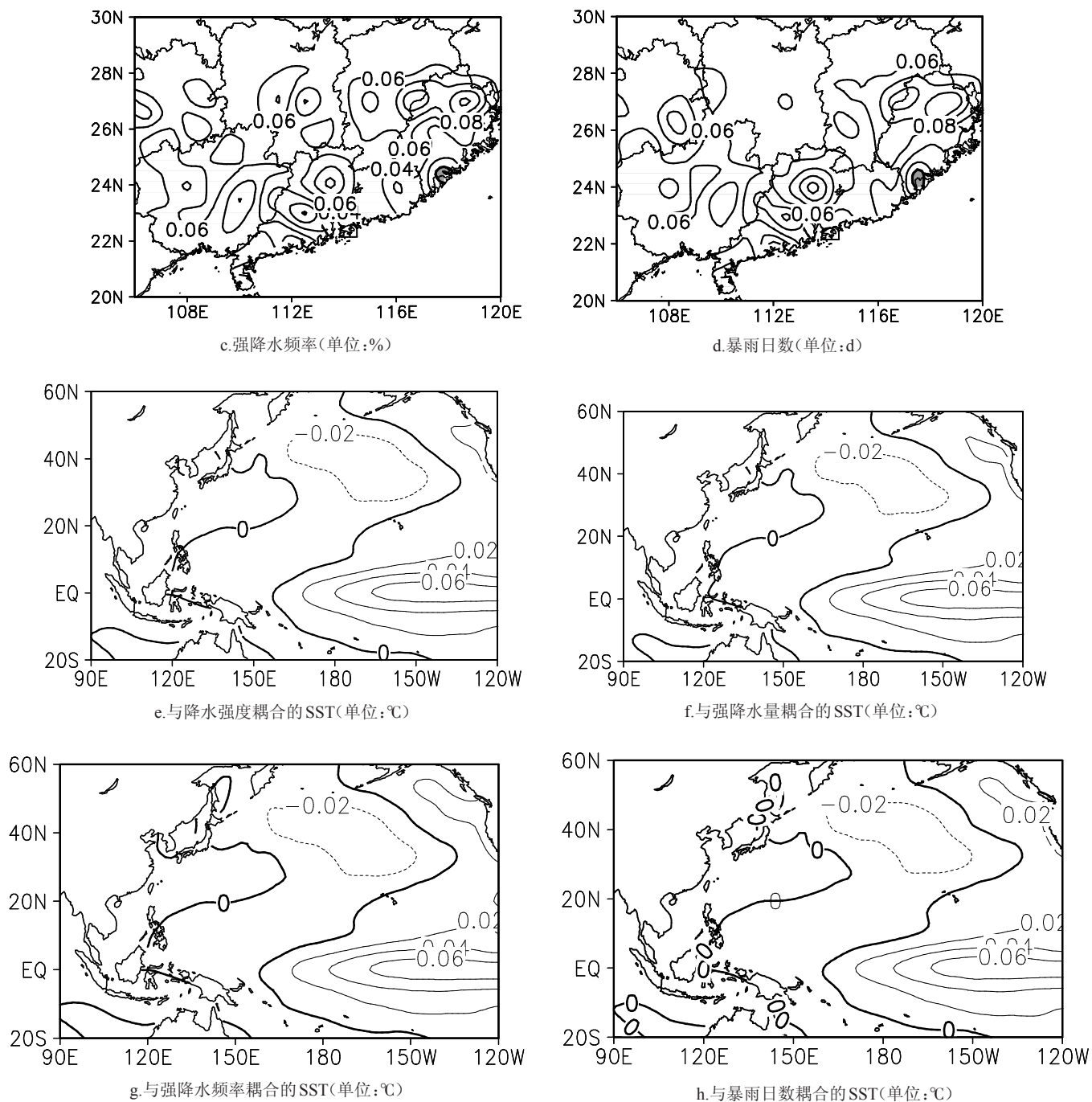


图3 前汛期各指数场与前冬SST年际分量SVD分析的第一模态奇异向量(a-d中阴影区值<0)

切,称该太平洋海温场的奇异向量型为“类ENSO”型正异常^[26],即前冬太平洋海温呈“类ENSO”型正异常,华南前汛期大部分地区发生极端洪涝的情况增多,特别是广东北部及西南部及福建中北部。

2.2.2 前汛期海表温度场和极端降水指数场同期相关耦合模态 海洋异常持续影响中国气候,那么前汛期海表温度场和极端降水指数场同期相关耦合模态又如何呢?

图5和图6分别给出了前汛期海表温度场与各极

端降水指数同期相关耦合第一模态,协方差平方和贡献率分别33.2%、32.1%、28.7%、30.0%,虽较前冬与极端指数第一耦合模态的贡献率有所减小,但仍通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验(Monte Carlo)。同时,各降水指数对应模态时间系数序列(见图6)与ENSO关系仍密切(图6a中9/11谷值与La Nina事件对应,7/11峰值与El Nino事件对应)，“类ENSO”型正异常的海温相应华南前汛期极端洪涝偏多(见图5a~d),特别是广东北部和西南部及福建中北部。“类ENSO”形态的海温异常

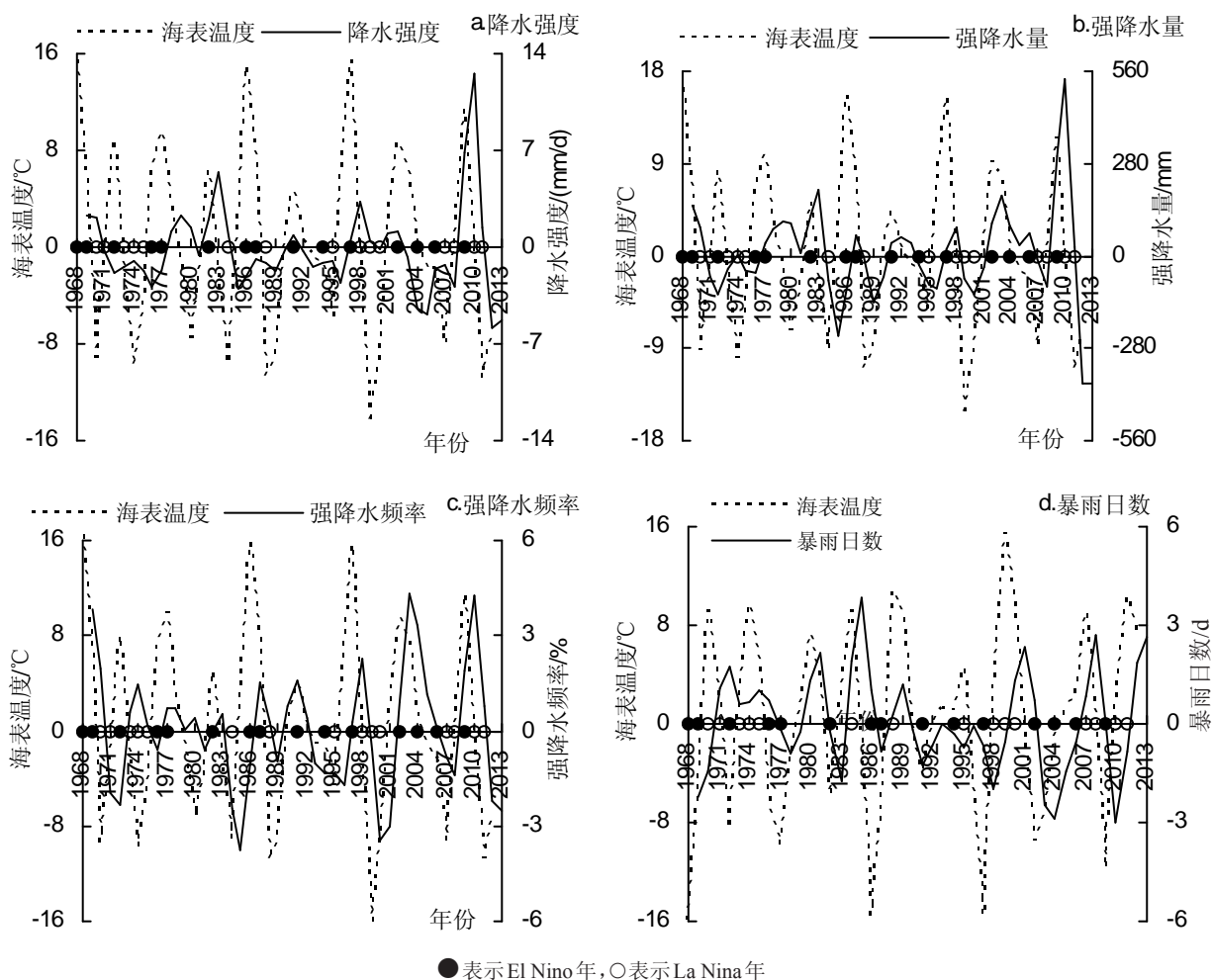
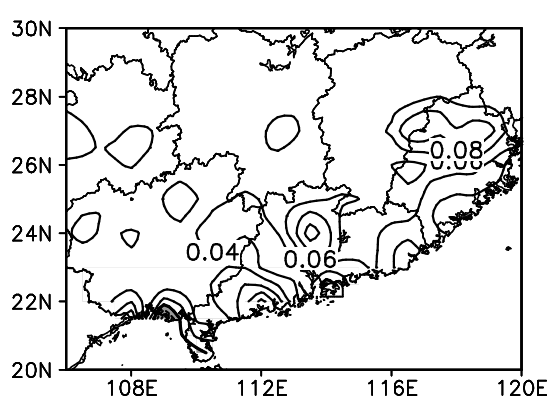


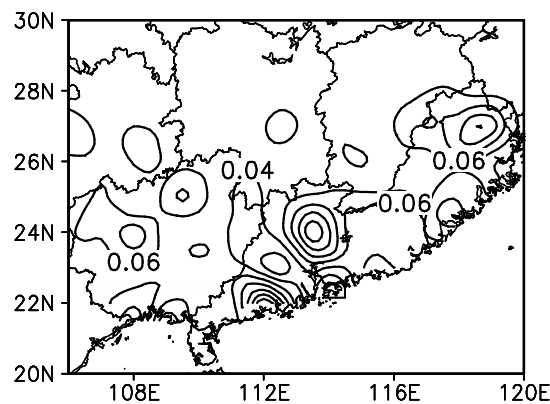
图4 各极端指数与前冬SST年际分量SVD分析的第一模态时间系数序列

发生一定变化(见图5e~h),即前冬位于赤道东南太平洋正海表温度异常向东向赤道收缩,范围明显减小;位于中纬度北太平洋、赤道中太平洋以及赤道西南太平洋的负异常向东扩展,其位于赤道东南太平洋的正异常区已东缩至170°E以东,位于20°N附近的黑潮及延伸体区的正异常已东移至160°W附近。

2.2.3 前汛期850 hPa风场与海温场同期耦合模态 由前可见,从冬季到前汛期,“类ENSO”型海温异常分布有所减弱,在此期间,它会持续影响大气环流异常,为了解二者在前汛期的同期耦合模态,图7给出了二者SVD分析的第一耦合模态(协方差平方和贡献率为49.1%),图7a中太平洋海表温度场依然呈“类



a.降水强度(单位:mm/d)



b.强降水量(单位:mm)

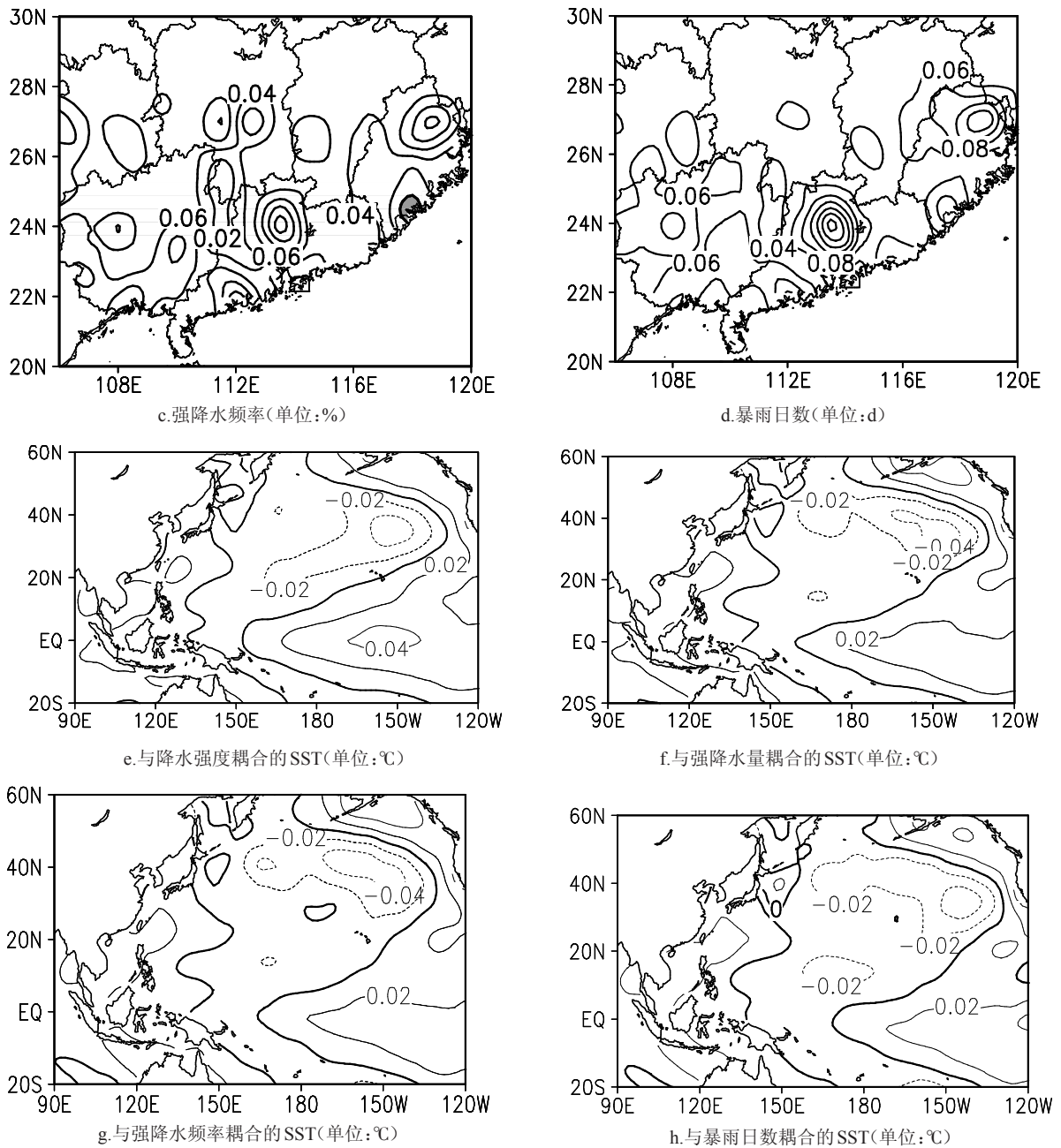
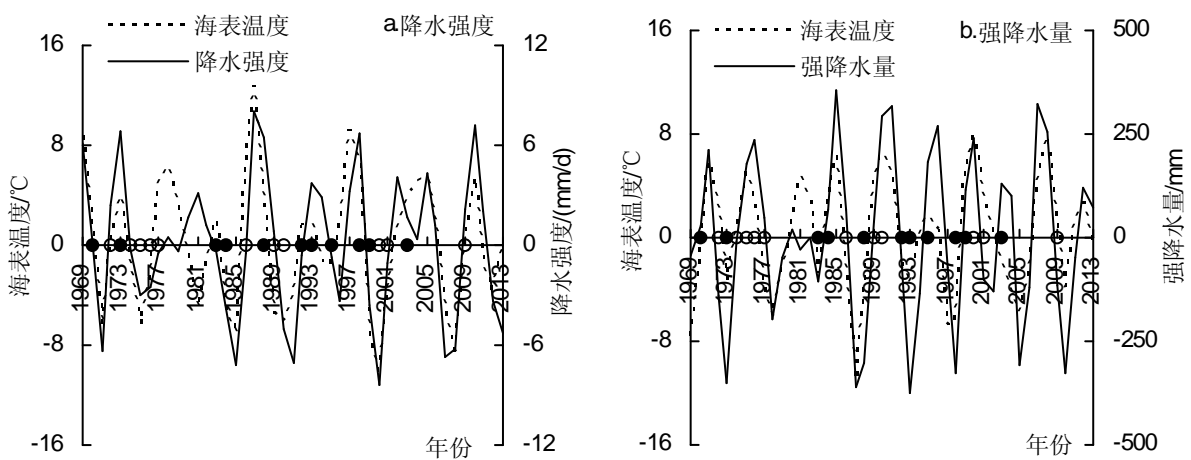


图5 前汛期各极端指数场与同期 SST 年际分量 SVD 分析的第一模态 (a-d 中阴影区值 < 0)



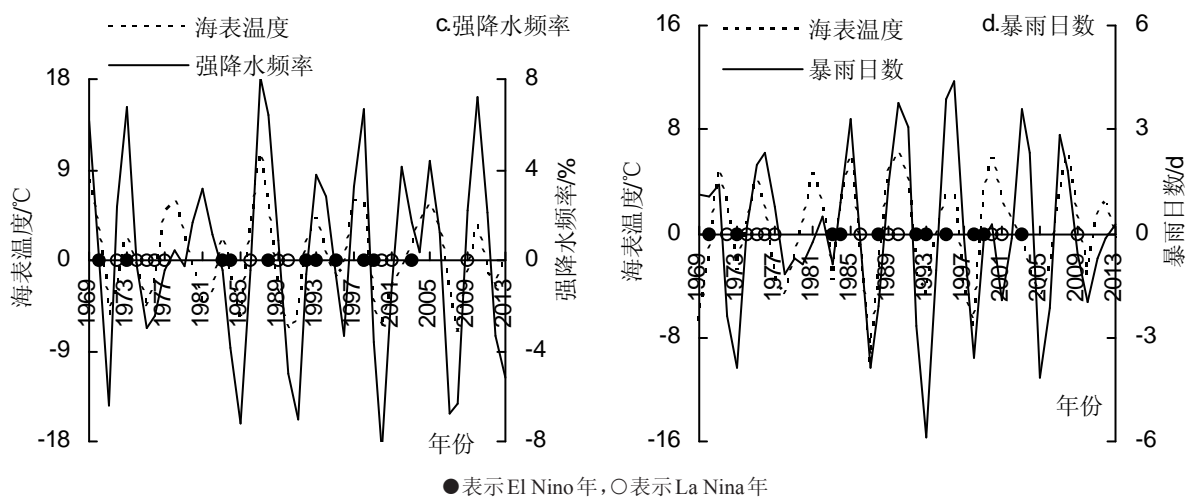


图6 前汛期各指数场与前冬SST年际分量SVD分析的第一模态时间系数序列

ENSO”，对应前汛期850 hPa风场(见图7b)在副热带东北太平洋及高纬度鄂霍次克海上空分别存在1个距平环流，而在华南以东洋面上存在1个相反的距平环流。

结合图7c可知，当时间系数为正时，前冬海温场

呈“类ENSO”正异常分布，相应850 hPa风场上的“锁相结构”使得华南以东洋面上反气旋距平环流西伸加强，有利于西南暖湿气流从南海输送至华南，而贝加尔湖以东的偏北气流使得干冷空气自北向南输送，二者均易致华南极端洪涝的发生，反之亦然。

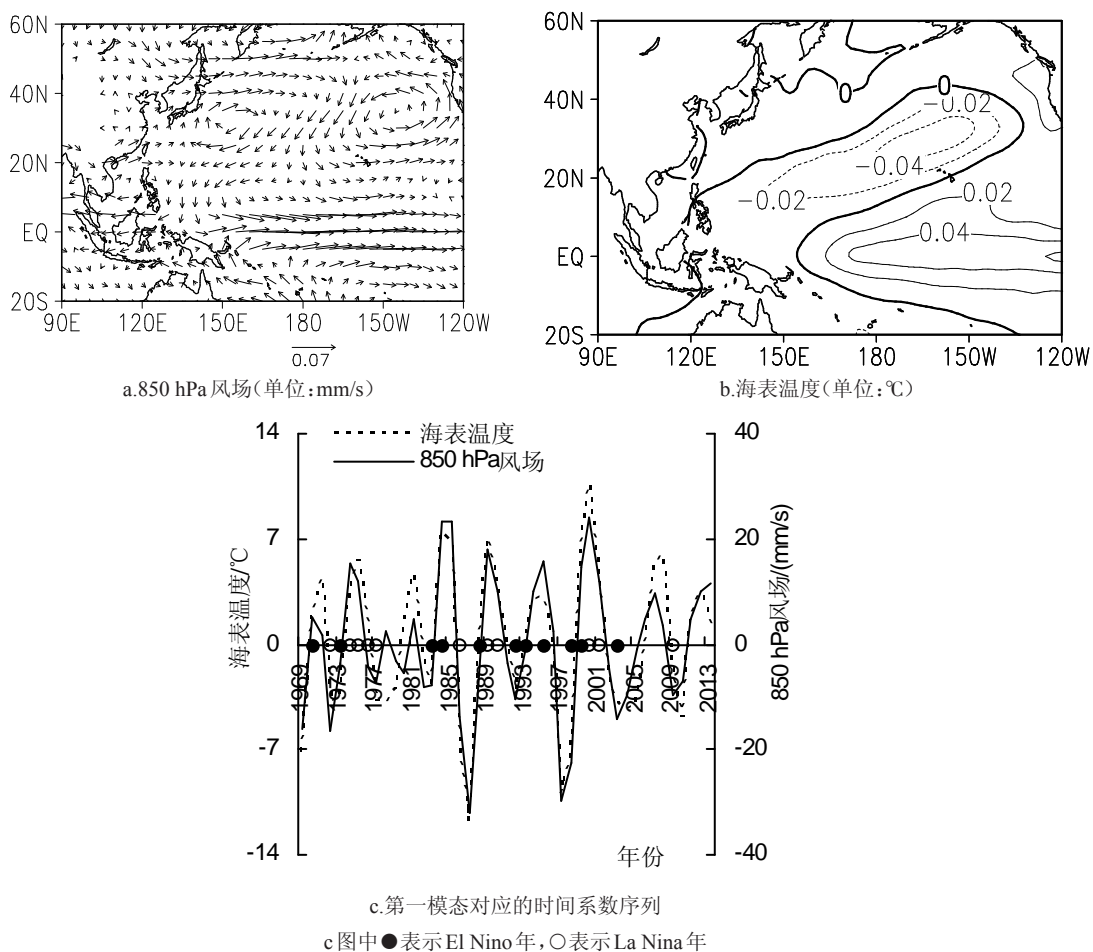


图7 前汛期850 hPa风场与同期海表温度场年际分量SVD分析的第一模态

2.2.4 前汛期各极端降水指数场与 850 hPa 风场同期耦合模态 大气环流异常通直接影响着降水的异常,为此,图 8-9 为前汛期各指数场与 850 hPa 风场同期 SVD 分析的第一模态,协方差平方和贡献率均在 20% 以上。可见,在南海以北的东亚大陆沿岸自南向北依次存在反气旋—气旋—反气旋环流锁相结构,南海及菲

律宾群岛以东洋面的反气旋环流西侧的西南气流,将暖湿气流向北输送,贝加尔湖东边的偏北气流将北方来的干冷空气向南输送,日本群岛附近的气旋式环流西北侧的偏北气流,将北太平洋面上的冷湿气流也向南输送,二者与偏南暖湿气流交汇于华南地区,易造成华南地区极端洪涝。

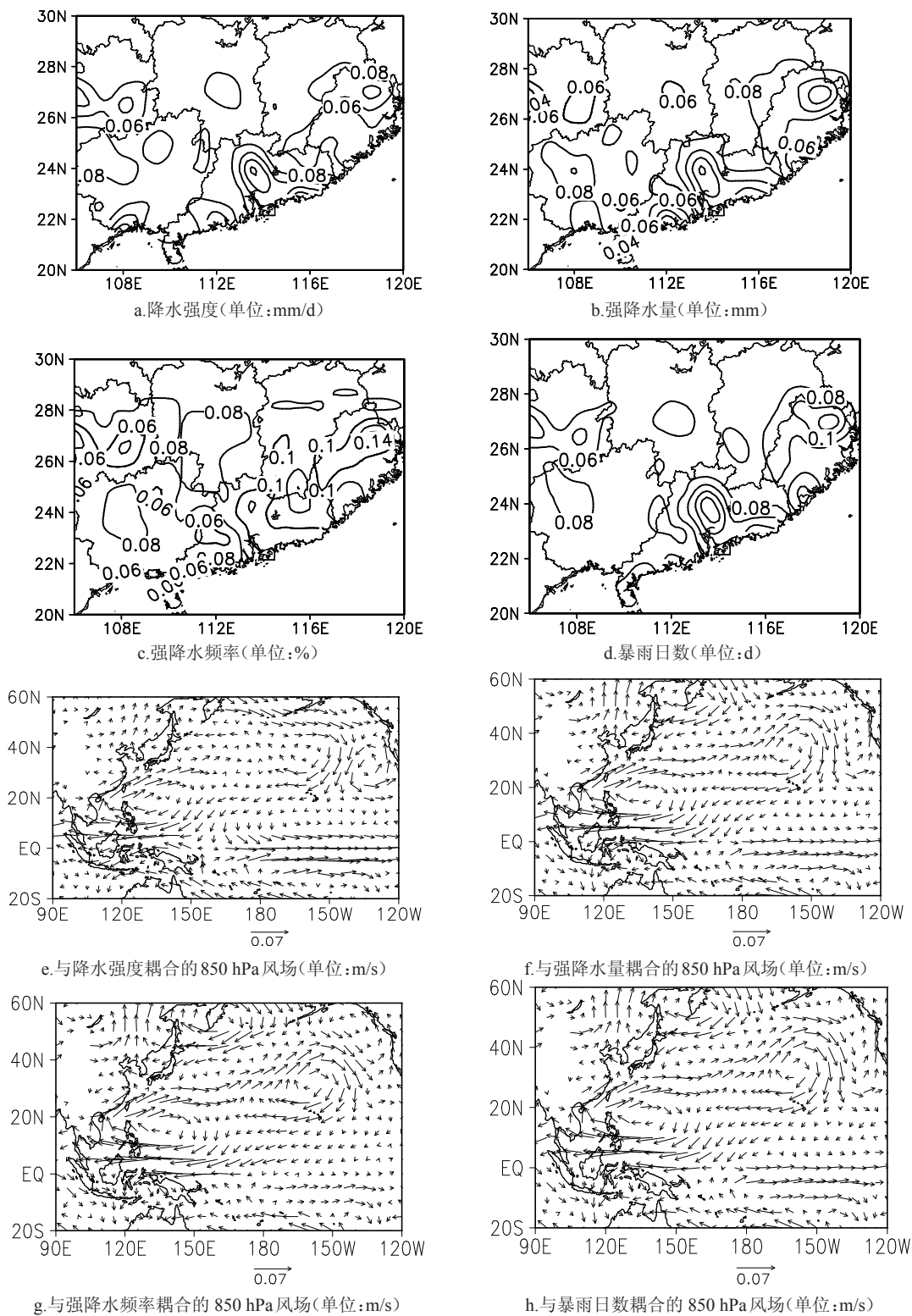


图 8 前汛期各指数场与 850 hPa 风场年际分量 SVD 分析的第一模态奇异向量

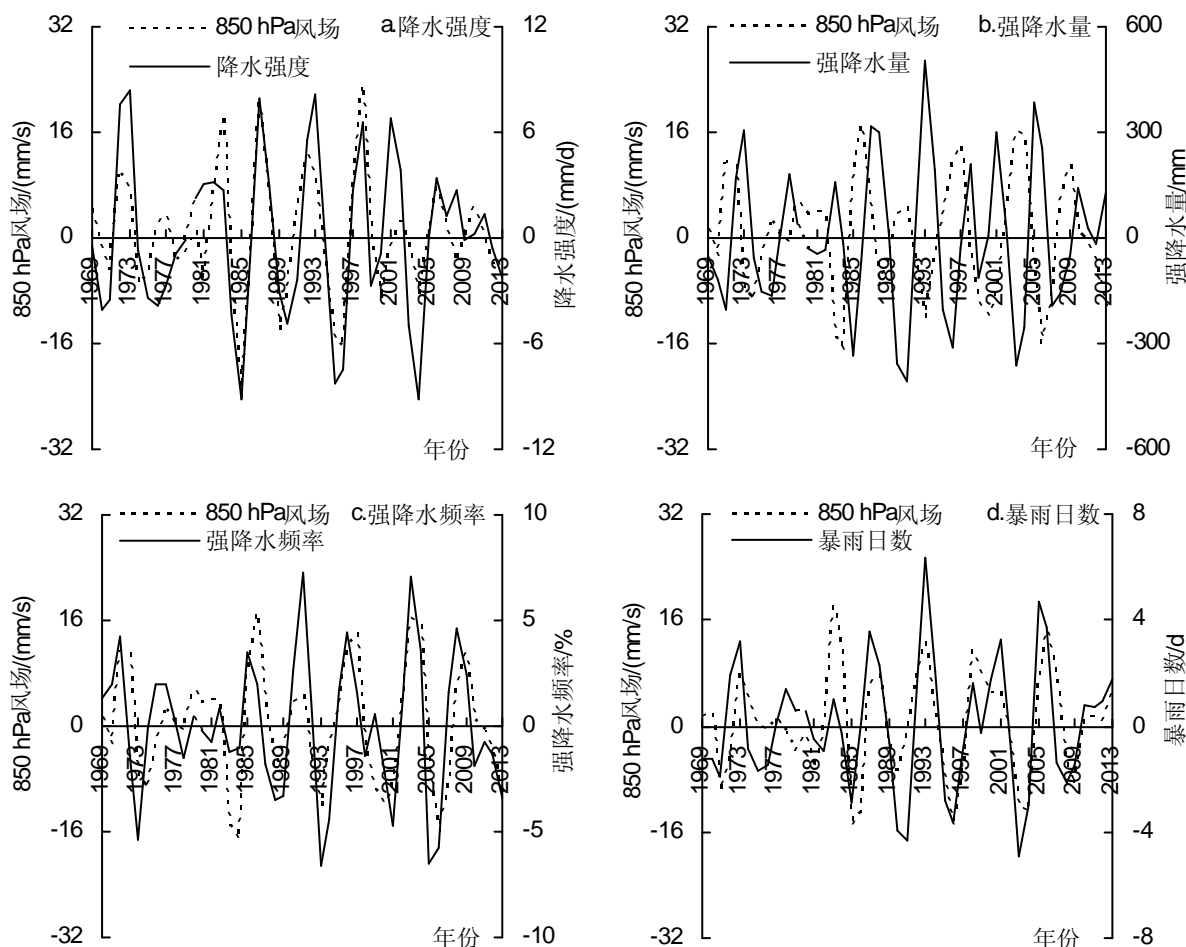


图9 前汛期各指数场与同期850 hPa风场SVD分析的第一模态时间系数系列

3 结论

本研究在分析华南前汛期极端降水年际异常时空特征基础上,进一步探讨了华南前汛期极端降水分别与太平洋海温场及850 hPa风场年际异常之间的耦合关系,得到如下主要结论:

(1)各极端降水指数呈现显著年际变化,且在广东、广西、福建中北部和江西中南部呈一致性异常(降水强度在福建东南沿海呈相反异常),贵州中南部呈相反异常分布。1990s以来,华南前汛期各降水指数的年际异常程度加剧,华南前汛期发生极端降水事件的可能性明显增大。

(2)“类ENSO”型海表温度异常及相应的大气环流异常,是导致华南前汛期极端降水年际异常的主要因素,太平洋海表温度异常呈“类ENSO”型异常,持续与大气环流异常相互作用,进而导致华南前汛期极端降水异常。前冬至次年前汛期“类ENSO”型正异常维持,前汛期南海以北的东亚大陆沿岸自南向北依次存在反气旋—气旋—反气旋环流系统,南海及菲律宾群岛以东洋面的反气旋环流系统向北输送暖湿气流,贝

加尔湖以东的反气旋环流和日本群岛附近的气旋式环流分别向南输送干冷和湿冷气流,南北气流交汇于华南地区,易造成前汛期华南大部地区发生洪涝。

4 讨论

前汛期850 hPa风场分别与同期海温及降水耦合的大气环流模态有一定差异,说明“类ENSO”型海温异常是引起大气环流异常并造成华南前汛期极端降水增多的原因之一,而大气环流异常是直接导致前汛期华南极端降水增多的原因。除海温异常外,还有何种因子影响着大气环流异常,是以后工作中值得进一步深入研究的一个问题。

参考文献

- [1] Feng L, Zhou T, Wu B, et al. Projection of Future Precipitation Changes over China with A High-Resolution Global Atmospheric Model[J]. Adv Atmos Sci, 2010, 28(2): 464-476. Doi: 10.1007/S00376.
- [2] Ipcc (2007) Climate Change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, et al (Eds). The Physical Science Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [3] Alexander Lv, Tapper N, Zhang X, et al. Lynch A Climate

- Extremes: Progress and Future Directions[J].*Int J Climatol*,2009, 29:317-319.
- [4] 胡宜,董文杰,何勇.21世纪初极端天气气候事件研究进展[J].*地球科学进展*,2000,22(10):1066-1075.
- [5] 任国玉,封国林,严中伟.中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J].*气候与环境研究*,2010,15(4):337-353.
- [6] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J].*气候变化研究进展*.2006,2(1):3-8.
- [7] 潘晓华,翟盘茂.气温极端值的选取与分析[J].*气象*,2002,28(18): 28-31.
- [8] 黄士松,李真光,包澄澜,等.华南前汛期暴雨[M].广州:广东科技出版社,1986:1-7.
- [9] 吴尚森,梁建茵.华南前汛期旱涝时空分布特征[J].*热带气象学报*, 1992,8(1):87-92.
- [10] 覃武,孙照渤,丁宝善,等.华南前汛期雨季开始期的降水及环流特征[J].*南京气象学院学报*,1994,17(4):455-461.
- [11] 郭其蕴,沙万英.华南前汛期降水变率的分析[J].*应用气象学报*, 1998,9(增刊):9-15.
- [12] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等.近40年中国平均气候与极值气候变化的概述[J].*地球科学进展*,2007,22(7):673-684.
- [13] 张婷,魏凤英.华南地区汛期极端降水的概率分布特征[J].*气象学报*,2009,67(3):442-451.
- [14] 李丽平,章开美,王超,等.近40年华南前汛期极端降水时空演变特征[J].*气候与环境研究*,2010,15(4):443-450.
- [15] 任国玉,封国林,严中伟.中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J].*气候与环境研究*,2010,15(4):337-353.
- [16] 唐民,吕俊梅.东亚夏季风降水年代际变异模式及其与太平洋年代际振荡的关系[J].*气象*,2007,33(10):88-95.
- [17] 马音,陈文,冯瑞权,等.我国东部梅雨期降水的年际和年代际变化特征及其与大气环流和海温的关系[J].*大气科学*,2010,36(2):397-410.
- [18] 蔡榕硕,谭红建,黄荣辉.中国东部夏季降水年际变化与东中国海及邻近海域海温异常的关系[J].*大气科学*,2012,36(1):35-45.
- [19] Chang C-P, Zhang Ys, Li T. Interannual And Interdecadal Variations of the East Asian Summer Monsoon and Tropical Pacific Ssts: Part I: Role of Subtropic Ridges[C].*J Clim*,2000a,13:4310-4325.
- [20] Chang C-P, Zhang Ys, Li T. Interannual And Interdecadal Variations of the East Asian Summer Monsoon and Tropical Pacific Ssts: Part II: Meridional Structure of The Monsoon[C].*J Clim*,2000b,13: 4326-4340.
- [21] Wang B, Wu R, Li T. Atmosphere-Warm Ocean Interaction and Its Impact on Asian-Australian Monsoon Variation[J].*J Clim*,2003,16: 1195-1211.
- [22] Li T, Wang B. A Review on the Western North Pacific Monsoon: Synoptic-to-Interannual Variabilities[J].*Terr Atmos Ocean Sci*,2005, 16:285-314.
- [23] Wu B, Li T, Zhou T. Asymmetry o Atmospheric Circulation Anomalies over the Western North Pacific Between El Nin-O and La Nin-A[J].*J Clim*,2010,23:4807-4822.
- [24] 曹东辉,高淑新.浅析极端降水对新民农业的影响[J].*中国农业信息月刊*,2011(10).
- [25] 丁菊丽,徐志升,费建芳,等.华南前汛期起止日期的确定及降水年代际变化特征分析[J].*热带气象学报*,2009,25(1):59-65.
- [26] 章开美,李丽平,陈胜东.华南前汛期极端降水年代际异常及其影响因子分析[J].*干旱气象*,2016,34(1):64-74.
- [27] 丁裕国,江志红.气象数据时间序列信号处理[M].北京:气象出版社,1998,32-41.
- [28] Li Liping, Wang Panxing, Li Hong. Interinterdecadal and Interannual Variabilities of Air and Sea and Their Relations over the Pacific[J].*Acta Meteorologica Sinica*,2004,18(2):227-244.
- [29] 黄荣辉,徐予红,周连童.我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J].*高原气象*,1999,18,465-475.