

李玉梅,李勋,冯文,等. 2016. 秋季西沙非台风强降水天气形势分析. 气象, 42(8):934-943.

秋季西沙非台风强降水天气形势分析^{*}

李玉梅 李 勋 冯 文 陈有龙

海南省气象台, 海口 570203

提 要: 利用西沙永兴岛、珊瑚岛的日降水量资料、欧洲中期数值预报中心再分析资料,以及热带气旋最佳路径资料,统计分析了西沙地区降水的气候特征,并用 REOF 和 K-means 聚类相结合的合成分析方法,对 9—10 月该地区非台风强降水过程的环流形势进行分类。结果表明:(1)西沙地区在 12 月到次年 4 月降水少而在 5—11 月降水多,降水量最多为 9 和 10 月;(2)9—10 月西沙地区非台风强降水过程的环流形势可分为西南季风槽型、季风槽与冷空气结合型和强冷空气型等三类,其中西南季风槽型主要出现在 20 世纪 90 年代的 9 月,强冷空气型主要出现在 10 月并在 90 年代以后明显增多,这主要与南海季风槽在 90 年代偏活跃,冷空气活动在 90 年代以后偏强有关。

关键词: 非台风强降水, REOF, K-means 聚类分析, 环流分型

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.08.003

Investigation of the Synoptic Situation Associated with Autumnal Non-TC Heavy Precipitation in Xisha

LI Yumei LI Xun FENG Wen CHEN Youlong

Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203

Abstract: Using daily rainfall data of Xisha Islands, reanalysis data of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), typhoon data of Shanghai Typhoon Institute, the present study investigates the rainfall climatology of Xisha, and classifies its synoptic situation associated with the non-TC heavy precipitation for September—October. The method used is a new composite method, which combines REOF and K-means clustering. It is found that Xisha is dry from December to April of the following year, and wet from May to November. Monthly rainfall peaks at September and October. Three optimal categories are obtained, featuring southwest monsoon trough, the combined effect of the monsoon trough and cold, strong cold air, respectively. Among the three categories, the first one occurred mainly in September of the 1990s, while the third one, which appears mainly in October, has increased significantly since 1990s. Preliminary analysis shows that the monsoon trough was more active in 1990s and the cold air activities have become stronger since 1990s. This may be the major reason for the increasing of the total amount of the non-TC heavy rainfall.

Key words: non-TC heavy precipitation, REOF, K-means clustering analysis, circulation classification

^{*} 国家自然科学基金项目(41365004),海南省气象局科技创新项目(HN2013MS01),海南省南海气象防灾减灾重点实验开放基金课题(SCSF201404)和中国气象局行业专项(gyhy201406010)共同资助

2015 年 5 月 7 日收稿; 2016 年 1 月 18 日收修定稿

第一作者:李玉梅,主要从事天气预报工作. Email:0526lym@163.com

引言

西沙地区自然资源丰富,景色优美,是我国优良的渔场和海洋旅游热点地区之一。近年来,随着西沙群岛的开发建设,人们越来越关注西沙地区的天气气候特征。

西沙群岛地处南海中北部,位于南海热带气旋活动高值中心附近(乐群等,2000),受热带气旋(TC)影响频繁。一次TC过程可给西沙带来300~500 mm的降水,甚至更多,而没有TC影响的年份降水量一般很小(柳艳菊等,2008)。可见,TC是西沙降水的最主要影响系统。此外,西南季风与冷空气对西沙降水亦有重要影响。5月中旬左右,西沙地区开始受西南风影响,随后云量陡增,对流旺盛,6月上旬降水量迅速增加,该影响一般可持续到9月中旬至10月上旬(吴尚森等,1998);冬半年,当东亚地区的冷空气突然向南爆发并往南推进至南海时,称为冷涌(朱乾根等,2007)。南海北部在1974—2008年期间平均每年出现5.2次冷涌(张玲等,2014),冷涌发生时,来自陆地上的干冷空气进入暖湿的洋面,可激发对流,受其影响,西沙地区可发生较强降水。

9—10月是东亚地区由夏季风向冬季风转换的过渡期,东北季风一般于9月底开始在华南出现,至10月中旬在南海北部建立(梁必骐,1995)。在这转换的关键期,南海北部经常受冷暖系统交替或共同影响,常导致海南岛发生持续性大暴雨天气。海南秋季大暴雨发生时,南海北部对流层上层有南亚高压维持稳定的辐散区,而对流层中、低层的热带低涡、中纬槽后冷高压和副热带高压三者之间的相互作用,使得海南岛上空锋区结构建立并诱发偏东低空急流(冯文等,2015)。该偏东急流在海南岛东部形成的向岸风辐合和地形抬升作用促发中尺度对流系统的发展,其暖湿输送作用使得暴雨区条件不稳定层结能够循环建立(马学款等,2012)。另外,秋季冷空气入侵到热带低压外围,冷暖气流交汇,有利于对流运动的发展及潜能的积累,为海南岛秋季暴雨的产生提供有力的动力条件(吴春娃等,2010;赵付竹等,2011)。

西沙地区(永兴岛:16°50' N、112°20' E)位于海南岛东南面,纬度更低,更能代表热带地区的气候特征。该地区在9—10月是否频发强降水天气?强降

水天气主要是由哪些系统造成?环流形势如何配置?因该地区降水研究缺乏,上述问题还有待解决。因此,本文将利用西沙永兴岛和珊瑚岛的日降水量资料、欧洲中期数值预报中心再分析资料,以及TC最佳路径资料,对西沙地区的降水特征及秋季非台风强降水的天气形势背景进行分析,为西沙地区的降水研究和预报预警提供一些参考依据。

1 资料来源和研究方法

1.1 资料来源

日降水量资料为1961—2013年西沙永兴岛和1975—2012年珊瑚岛的观测资料。由于再分析资料时间长度的局限性,本文使用了欧洲中期数值预报中心(ECWMF)的两套再分析资料,1961—1978年使用ERA-40再分析资料,1979—2013年使用ERA-interim再分析资料,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。TC最佳路径资料来自中国气象局上海台风研究所。

1.2 强降水定义

本文采用百分位法(翟盘茂等,2003;李丽平等,2012;杨玮等,2015)来定义强降水事件:将1961—2013年逐年9—10月的永兴岛逐日降水量由小到大进行排序,位于第95个百分位的日降水量为强降水阈值。当某日降水量超过该阈值时,为一次强降水事件,如连续2日降雨量都达到此标准,则为二次强降水事件,以此类推。第95个百分位降水量的计算方法(Bonsal et al,2001)如下:

对于按升序排列好的降水序列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$,某个值小于或等于 x_m 的概率为:

$$P = \frac{m - 0.31}{n + 0.38} \quad (1)$$

式中, m 为 x_m 的序号, n 为降水序列的总数, $P=95\%$ 。对于1961—2013年9—10月永兴岛的日降水量, $n=3233$,由式(1)算得 $m=3072$,对应的 x_m 为46.1 mm,即秋季永兴岛强降水的阈值为46.1 mm。

1.3 REOF和K-means聚类方法

合成分析是在系统地分析某类天气过程时使用最为广泛的方法,一般做法是对同类天气进行简单

的平均。事实上,同一类天气过程经常有多种形势配置,不可能每次天气过程所有的大气环流场都是一样的,对所有个例进行简单平均容易掩盖很多重要的特征。

REOF 和 K-means 聚类相结合的合成分析方法,可解决上述弊端。REOF 即旋转 EOF 分析方法,分离出来的典型空间模态高载荷集中在某一较小区域上,其余区域均接近于 0,使得结构简化、清晰(魏凤英,2007)。因此,REOF 分析可最大限度地捕获到同类天气过程的局地变化特征。将 REOF 应用于气候分型区划的研究表明,该方法对捕捉局地特征具有可行性与优越性(丁裕国等,2006;刘吉峰等,2005;2006)。K-means 聚类分析是一种得到广泛使用的基于划分的聚类算法,其基本原理是把 n 个对象分为 k 个簇(根据经验规则, k 最优解的范围为 $2 \leq k \leq \sqrt{n}$),以使簇内具有较高的相似度(孙吉贵等,2008)。聚类效果的优劣使用轮廓系数 s_k 衡量,其计算过程(朱连江等,2010)为:对于第 i 个对象,首先计算它与本簇中所有其他对象的平均距离(欧几里得距离,即对于两个 m 维的向量 $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{y}$,其距

离 $d_{xy} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\mathbf{x}_j - \mathbf{y}_j)^2}$,下同),记为 A_i ;然后计算该对象与不包含该对象的任意簇中所有对象的平均距离,找出最小值,记为 B_i ;该对象的轮廓系数为 $S_i = (B_i - A_i) / \max(A_i, B_i)$;最后,计算所有对象的轮廓系数的平均值,即得 S_k 。 S_k 的取值范围为 $[-1, 1]$,数值越大表示所有对象到本簇中的距离越小,与其他簇的距离越大,表示各簇更紧凑,聚类效

果更佳。

由于 REOF 分析得到的荷载向量场反映了空间结构特征,对应时间系数的量级大小也就是这些空间特征的权重系数,时间系数相近的个例表示空间特征相似,对时间系数进行聚类,便可实现对天气过程的分类。

本文对强降水天气形势的聚类过程具体为:首先利用 1961—2013 年 9—10 月永兴岛的日降水量资料,采用百分位法挑出秋季强降水个例;然后在 $10^\circ \sim 24^\circ \text{N}$ 、 $100^\circ \sim 124^\circ \text{E}$ 范围内,将所有强降水个例的 4 个主要高度层(925、850、700 和 500 hPa)的 u 风、 v 风、相对湿度、温度和高度叠加成一个空间场来进行 REOF 分析,空间点总数为 $25^\circ(\text{经度}) \times 15^\circ(\text{纬度}) \times 4(\text{层}) \times 5(\text{变量}) = 1875$;再对 REOF 分析的时间系数进行 K-means 聚类分析,根据轮廓系数 s_k 选出最优聚类;最后对最优的聚类结果进行合成,归类出秋季西沙地区强降水天气的形势背景场,如高度场、湿度场、温度场、风场等的多种配置情况。

2 西沙地区降水特征

2.1 降水气候特征

由永兴岛 1961—2013 年、珊瑚岛 1975—2012 年平均的月降水量(图 1a)和 9—10 月平均降水量序列(图 1b)可看出,永兴岛和珊瑚岛降水量序列变化基本一致,图 1b 中两者在 1975—2012 年的相关系数达 0.69,表明两个台站观测资料的总体合理性。

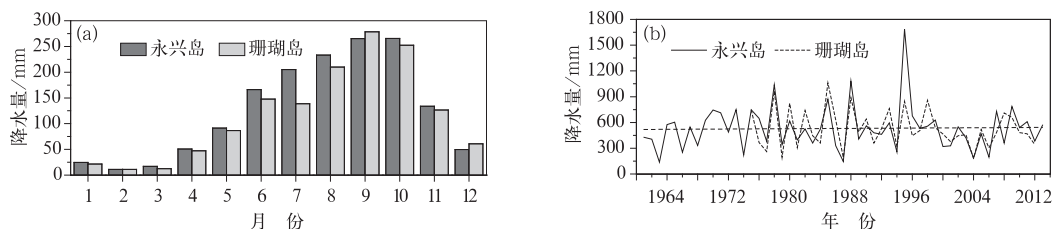


图 1 1961—2013 年永兴岛和 1975—2012 年珊瑚岛

(a) 气候平均月降水量及 (b) 9—10 月降水量序列

(虚直线为永兴岛 9—10 月降水量序列的线性趋势)

Fig. 1 (a) The climatological monthly rainfall and (b) the September—October rainfall series of Yongxing Island over 1961—2013 and Shanhu Island over 1975—2012

(The dashed straight line represents the linear trend of the rainfall of Yongxing Island for September—October)

由图 1a 可知,西沙地区在 12 月到次年 4 月降水较少,为干季,而在 5—11 月降水较多,为湿季。

逐月降水量增加最多的是 6 月,较 5 月降水量增幅为 75 mm,与吴尚森等(1998)的分析结论“西沙地

区在6月上旬降水量剧增”一致。西沙全年降水量9和10月最多,为西沙的主汛期,永兴岛和珊瑚岛这两个月降水量分别占其全年降水总量的35%和38%,与海南岛降水的主汛期特征相似(李勇等,2006;蔡亲波等,2013)。由图1a还可看出,西沙地区在11月仍有较多的降水,说明西沙汛期降水撤退的时间较同属华南区域的广东、广西以及海南等地偏晚(高辉等,2013;冯文等,2015),而与同是低纬度的中南半岛东部降水量的年变化特征相似(Chen et al,2012)。

由图1b可知,西沙地区秋季降水量具有明显的年际和年代际变化。在年代际变化方面,西沙地区近50年来秋季降水量的总体变化趋势不显著,但在1961—1968年和2001—2006年这两个阶段降水量明显偏少。

西沙群岛在地理位置上隶属于华南区,虽然前汛期降水峰型不明显,但5—6月西南季风建立,降水开始增多(吴尚森等,1998),也是华南前汛期的特征之一;7—8月,西南季风稳定,低值系统活跃,西沙降水量的主要贡献可能主要来自于热带气旋和季风槽等;9—10月影响西沙地区的天气系统较复杂,冷暖系统共同或交替作用频繁,降雨量为一年中最多。下面着重分析秋季(9—10月)西沙强降水气候变化特征。

2.2 强降水气候变化特征

TC是导致西沙地区强降水的最主要天气系统,TC降水基本都集中在其中心 2.5° 经纬度的范围内(Chen et al, 2010; Feng et al, 2013)。永兴岛位置为($16^{\circ}50'N$, $112^{\circ}20'E$),因此其TC强降水的判定标准为:TC中心经过($14^{\circ}20' \sim 19^{\circ}20'N$, $109^{\circ}50' \sim 114^{\circ}50'E$)区域且永兴岛日降水量超过46.1 mm。依据该标准,分别统计1961—2013年逐年9—10月永兴岛的TC强降水和非台强降水事件日数及对应降雨量的分布情况,如图2所示。由图2可知,TC活动导致的西沙秋季强降水事件次数最多、雨量最强,但是其他天气系统对西沙强降水的贡献也不小,过去53年间,秋季西沙非台强降水事件共有66次,强降水事件的日雨量平均值达70.0 mm。另外,TC强降水和非台强降水两个序列在20世纪80年代末90年代初都有一个突变,90年代以后TC强降水事件日数及降雨量都显著减少,而非台强降水事件明显较90年代以前活跃。

对于地处热带海面上的西沙地区,本文关注的主要是除TC之外的其他天气系统对西沙地区的影响作用,而由以上分析可知9—10月为西沙的主汛期,强降水发生频繁,因此,下面详细分析秋季(9—10月)西沙非台强降水天气的环流形势特征。

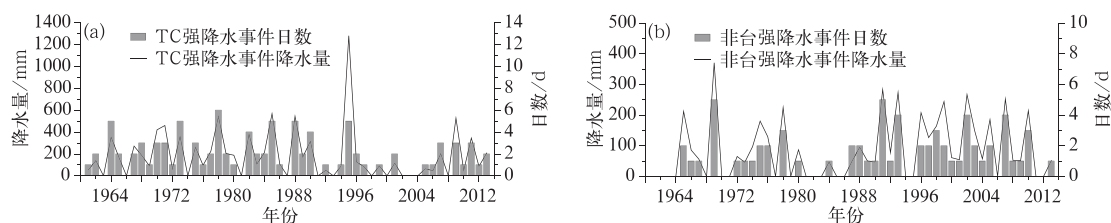


图2 1961—2013年逐年9—10月永兴岛(a)TC强降水和
(b)非台强降水事件日数及对应降水量序列

Fig. 2 The 1961—2013 time series of the days and rainfall of heavy precipitation of Yongxing Island for September—October
(a) TC related, (b) non-TC related

3 秋季西沙非台强降水环流形势特征

利用REOF与K-means聚类相结合的方法对西沙66个非台强降水事件进行分类:REOF分析后,取前两个主分量进行K-means聚类,计算轮廓系数,遴选出最优聚类。最终最优分类数为3,此时

轮廓系数达到最大(0.42),也就是说,影响西沙的秋季非台强降水形势主要可分为三类。下面分别对这三类天气形势的环流背景场和物理量场进行合成,并作详细分析。

3.1 西南季风槽型

图3为秋季西沙地区非台强降水的第一类环流

形势图,图 3a 和 3b 分别为 500 hPa 和低层的大气环流,图 3c 为对应的 850 hPa 水汽输送情况,图 3d 为 $112^{\circ}20'$ E 经向垂直剖面的风场和假相当位温分布。

在该类天气过程中,东亚地区中高纬 500 hPa 西风带环流较为平直,浅槽位于朝鲜半岛北侧,576 dagpm 线位于台湾以东较远处的西太平洋地区,表

明西太平洋副热带高压主体位置偏东(图 3a)。同时,东亚地区海平面气压较 9—10 月气候平均值(图略)偏弱,南海地区低层 850 hPa 西南季风盛行,东西向的季风槽控制南海北部,海南岛及台湾岛附近地区各存在一个风场涡旋结构(图 3b),前者发展较为旺盛,向上伸展至 500 hPa,西沙地区位于涡旋的东南象限的西南气流中。

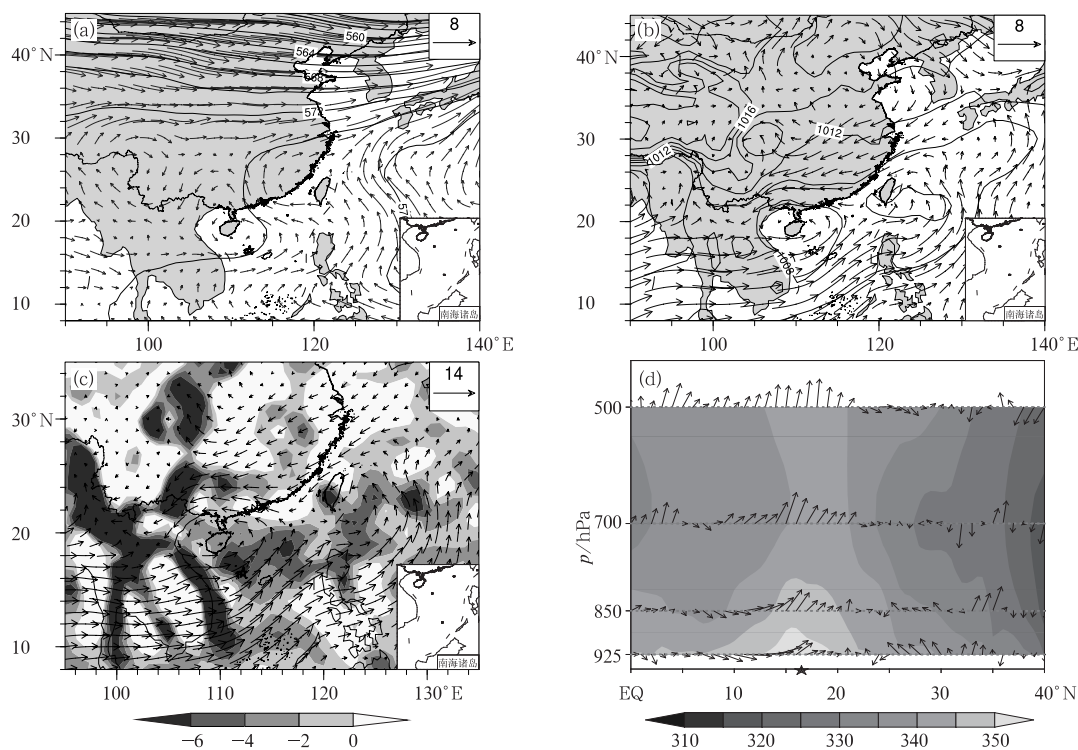


图 3 第一类环流形势

(a) 500 hPa 风场和高度场, (b) 850 hPa 风场和海平面气压场, (c) 850 hPa 水汽通量
(箭头, 单位: $10^2 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 与水汽通量散度(阴影, 单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),
(d) $112^{\circ}20'$ E 经向垂直环流与假相当位温(阴影, 单位: K)(☆为永兴岛位置)

Fig. 3 The first circulation pattern: (a) 500 hPa horizontal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and geopotential height (unit: dagpm),
(b) 850 hPa horizontal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and sea level pressure (unit: hPa), (c) 850 hPa vapor flux
(vector, unit: $10^2 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and vapor flux divergence (shaded, unit: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),
(d) vertical circulation and potential pseudo-equivalent temperature (unit: K) (☆ of Yongxing Island)
(The asterisk indicates the position of Yongxing Island)

从水汽通量和水汽通量散度图(图 3c)上可看出,西南季风将孟加拉湾和南海南部的水汽往南海北部输送,并在季风槽南侧辐合,西沙附近地区有一个强辐合区,中心值达 $6 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。由图 3d 可知,西沙附近地区存在假相当位温大值区,呈暖舌状向上凸起,范围较窄,垂直梯度较其他地方大,表明此处层结具有不稳定性。西

沙北侧的经向风分量十分微弱,而其南侧的偏南风风力较大,受季风槽的阻挡作用,西沙附近地区有偏南风的辐合,对应较强的上升运动(图 3d)。

综上,该类过程中冷空气势力较弱,主体位置偏北,对西沙地区影响不明显,同时南海地区西南季风强盛,西沙地区位于季风槽南侧,低层大量水汽在此处辐合上升,致使西沙地区出现强降水事件。

3.2 季风槽和冷空气结合型

西沙第二类秋季非台风强降水环流形势如图 4 所示。由图 4a 可知,中高纬 500 hPa 西风槽位于我国渤海附近地区,槽底位于山东半岛附近,我国北方地区为西北气流控制;同时西太平洋副热带高压环流较西南季风槽型的偏强,西伸至我国东南地区,西沙地区上空为副热带高压西南侧和季风槽涡旋环流东

北部的东南风。低层环流(图 4b)显示,地面大陆冷性高压控制我国大部地区,地面锋面位于我国华南沿海一带,我国东南大部及华南沿海地区 850 hPa 为东北风控制;此时,南海地区的西南季风势力减弱、南退,东西向的季风槽横亘在中南半岛南部至菲律宾北部一带地区,季风槽西部仍存在一个完整的气旋风场结构,西沙地区位于季风槽涡旋的东北部,表明季风槽虽然南退,但结构仍较为清晰。

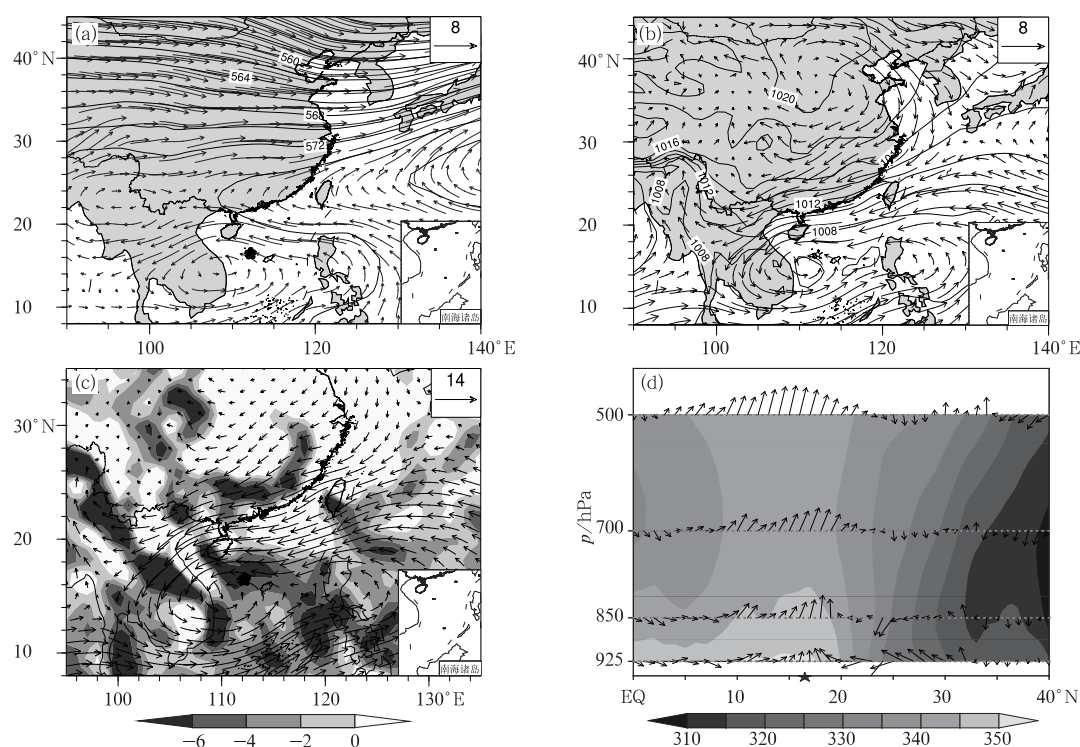


图 4 同图 3,但为第二类环流形势

Fig. 4 Same as in Fig. 3, but for the second circulation pattern

从 850 hPa 水汽输送情况(图 4c)可知,随着季风槽南落,季风槽南侧的水汽输送辐合区南移至南海南部和菲律宾南部地区,季风槽北部与冷空气南部边沿的偏东气流将西太平洋的水汽输送至南海北部,并在季风槽北侧汇合并形成辐合区,位于季风槽北侧附近的西沙附近地区处于水汽辐合区中,为其发生强降水提供了充分的水汽条件。另外,由 112°20' E 经向剖面图(图 4d)显示,近地面假相当位温经向梯度在 20°N 附近地区最大,20°~25°N 之间近地面为偏北风,925~500 hPa 为一致下沉运动,而其南侧近地面为偏南风,进一步表明了地面锋面已南压至 20°N 附近地区。锋面前方 10°~20°N 之间的地区,由于锋前的抬升以及季风槽动力不稳定性作用的共同影响,925~500 hPa 皆为较强的上升

运动,西沙地区位于该上升区中。

由此可知,该类强降水过程中,冷锋南压至华南沿海,锋后冷空气侵入南海北部,与位于南海中部的季风槽相互作用而激发强烈对流活动,此类西沙地区强降水事件为季风槽与冷空气的共同作用所致。

3.3 强冷空气型

秋季西沙非台风强降水的第三类环流形势如图 5 所示:深厚的 500 hPa 西风槽位于我国东部沿海地区,槽底位于长江口附近,我国大部地区为西北气流控制(图 5a),西(北)太平洋副热带高压位置较前述两类过程的副热带高压位置偏西、偏南,576 dagpm 线西伸至中南半岛东北角地区,脊线位于 22°N 附近,副热带高压南侧西沙地区上空有东风波活动。

在低层(图 5b),地面大陆冷性高压主体位于我国中西部地区,地面锋面南压至南海北部地区,西沙及其以北地区 850 hPa 盛行一致东北风,表明该类天气

过程中冷空气较强,南下路径偏西,向南侵袭至西沙地区。此时,850 hPa 南海季风槽已大为减弱,涡旋结构松散,南退至西沙以南的南海西南部。

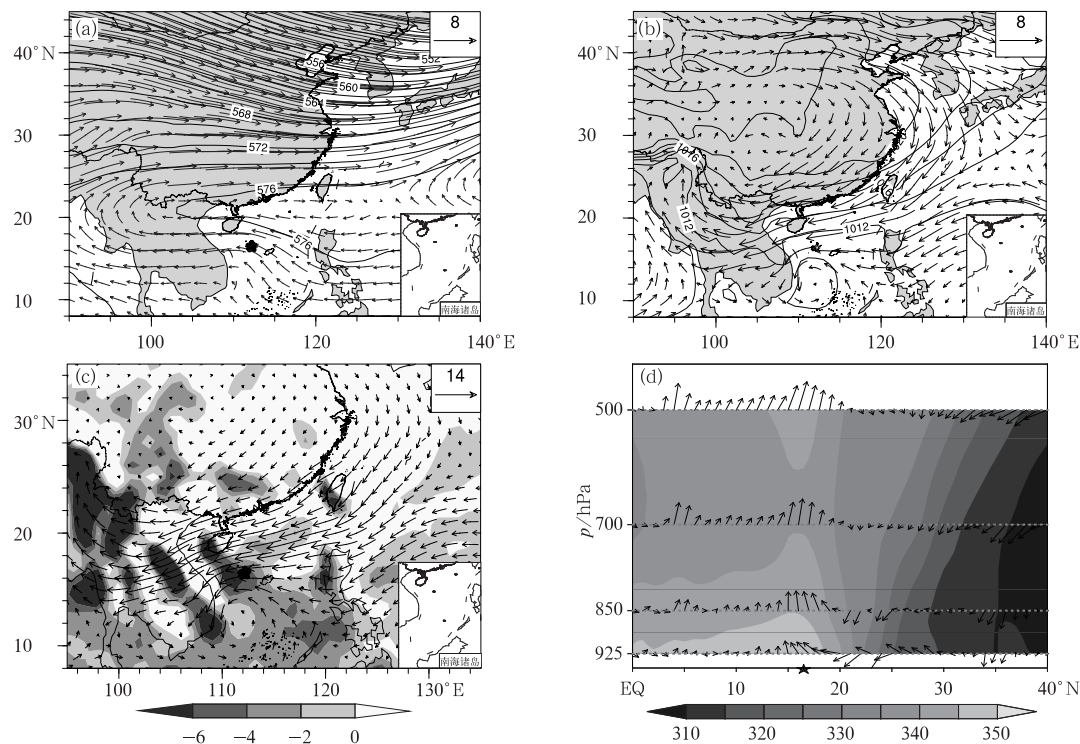


图 5 同图 3, 但为第三类环流形势

Fig. 5 Same as in Fig. 3, but for the third circulation pattern

由于该类冷空气偏强,我国 20°N 以北陆地及近海地区为干冷空气所控制(图 5c, 5d)。自我国东部海面经台湾海峡和巴士海峡到南海北部的东北风为主要的水汽输送带,但水汽在西沙以北的大部分地区无明显辐合。由于南海中西部弱季风槽的阻挡及其东北侧的东南气流与冷高压前沿的东北气流的汇合作用,水汽在西沙及其以西海区辐合作用明显,冷暖系统在西沙附近发生相互作用,激发对流。而 $112^{\circ}20'\text{E}$ 的经向剖面图(图 5d)则显示较强偏北风已压至 18°N 附近,但地面假相当位温的经向梯度并非在 18°N 附近最大,这是因为当冷空气进入暖湿的南海时会发生变性增温(赵强等, 1991),冷锋两侧的温度梯度不能维持,冷平流减弱,从而发生锋消天气过程(朱乾根等, 2007)。此时,位于偏北风前沿的 $15^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{N}$ 范围的空气抬升作用明显,产生较强上升运动。

由此可见,该类过程中,西沙的强降水主要是因为强冷空气南侵激发对流而致。

4 20 世纪 90 年代秋季西沙非台强降水偏多的原因分析

以上所述的秋季西沙三类非台强降水中,西南季风槽型主要发生在 9 月,强冷空气型主要发生在 10 月,而季风槽和冷空气结合型在 9—10 月均有出现,表明南海北部地区在 9 月以西南季风影响为主,而在 10 月以冷空气影响为主。在 1961—2013 年间发生次数最多的是强冷空气型,共有 36 次,次之是季风槽和冷空气结合型 17 次,最后是西南季风槽型 13 次,平均日降雨量分别为 76.1、67.0 和 57.1 mm。可见,强冷空气型强降水不仅发生次数最多,雨强也最大,对西沙的影响最严重。这三类天气形势在 1961—2013 年间的出现频率(图 6)显示,第三类在 20 世纪 90 年代以后出现频率明显增加,第一类在 90 年代活动比较频繁,而第二类变化不大。由此可知,2.2 节中所述的秋季西沙非台强降水在 90 年代的突变主要由第三类造成,第一类也有相当贡献。

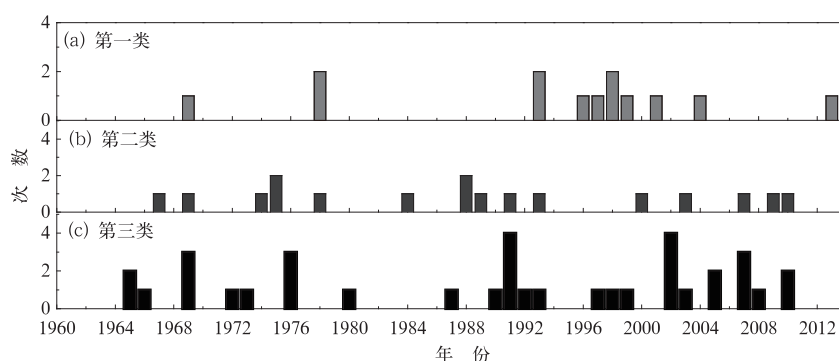


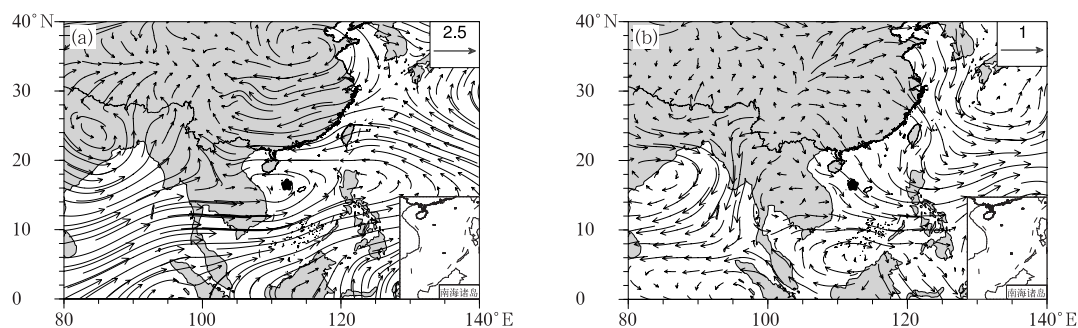
图 6 1961—2013 年西沙三类秋季非台风强降水出现的频率

Fig. 6 The 1961—2013 time series of the frequency of autumnal non-TC heavy precipitation in Xisha

气候平均的 9 月 850 hPa 风场及 20 世纪 90 年代与气候平均的差值如图 7 所示。9 月平均流场(图 7a)显示,南海至菲律宾以东洋面上为西南季风槽控制,西沙地区处于季风槽涡旋中心,其西、南侧分别为季风槽涡旋的西北风和偏西风。差值风场(图 7b)中,南海中部至菲律宾以东洋面为偏西风异常,西沙的西、南侧分别为西北风和偏西风异常,表明在 90 年代南海夏季风偏强,影响西沙地区的季风槽涡旋偏强,与 90 年代西沙地区西南季风槽型强降水偏多吻合。

1991—2013 年与 1961—1990 年 10 月平均的 850 hPa 水平风场及海平面气压场的差值(图 8a)显示,海

平面气压正异常区控制中国大陆以及蒙古国地区,两个中心分别位于蒙古国和我国西北地区,同时我国东部至南海中部地区为北风异常,表明蒙古高压在后期偏强,影响我国的冷空气活动偏强。由 1961—2013 年 10 月平均蒙古高压强度指数(李崇银等,2011)的演变(图 8b)可知,蒙古高压在 20 世纪 60—80 年代为持续增强的过程,80 年代至今一直维持较高的强度,但是本文所述的西沙秋季强冷空气型强降水在 90 年代才开始明显增多,表明两者之间并非为线性关系,西沙地区秋季强冷空气型强降水天气不仅与东亚地区冷空气有关,还受到其他条件的影响。

图 7 1961—2013 年 9 月平均的 850 hPa 风场(a)与 1991—2000 年和 1961—2013 年 9 月平均的 850 hPa 风场差值(b)(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)Fig. 7 (a) The 1961—2013 climatological 850 hPa horizontal wind for September, (b) the 850 hPa horizontal wind difference by the 1991—2000 averaged and the 1961—2013 climatology (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

统计发现,1961—2013 年 9—10 月影响西沙的 TC 在 20 世纪 90 年代以后明显偏少,导致的强降水也显著减少(图 2a)。进一步统计西北太平洋各年代 9—10 月 TC 活动频率分布(图略)发现,西北

太平洋 TC 活动 90 年代至今向东向北偏移明显,对南海海区的影响减少而对我国东部近海的影响增多,与 Wu 等(2005)、王磊等(2009)的研究结论相似。1961—2013 年 9—10 月西沙 TC 强降水量与

非台强降水量的相关系数为 -0.25 , 超过了 0.10 的显著性水平检验, 表明两者间存在一定的相互影响关系, 因此, 西沙地区在 90 年代以后非台强降水的明显增多可能与 TC 影响的显著减少有关, 但具体原因还需进一步探讨。

综上分析可得, 秋季西沙非台强降水在 20 世纪 90 年代的突变, 主要与 9 月南海季风槽在 90 年代偏活跃和 10 月冷空气活动在 90 年代以后偏强有关, 后期南海地区 TC 活动的突然减少对此可能也有一定的影响。

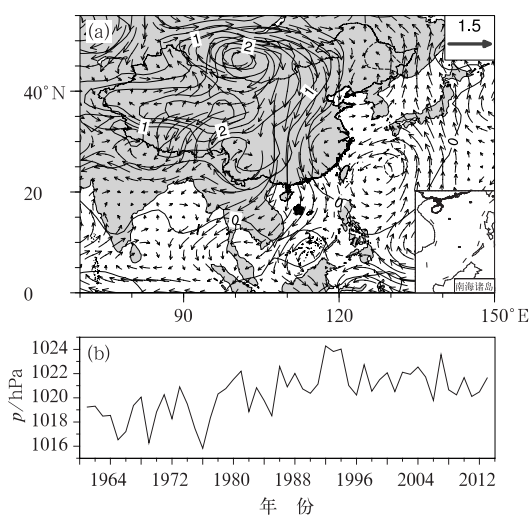


图 8 (a)1991—2013 年与 1961—1990 年 10 月平均的 850 hPa 风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)与海平面气压的差值(单位: hPa)和(b)1961—2013 年 10 月平均蒙古高压强度指数的变化曲线

Fig. 8 (a) The difference of 850 hPa horizontal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and sea level pressure (unit: hPa) for October by the 1991–2013 averaged and the 1961–1990 averaged, (b) the 1961–2013 time series of Mongolia high strength index for October

5 结 论

本文通过对 1961—2013 年西沙永兴岛和 1975—2012 年珊瑚岛的日降水量观测资料分析得出, 西沙地区在 12 月到次年 4 月为干季, 5—11 月为湿季, 其中 9 和 10 月降水量最多。进一步挑选出 9—10 月西沙地区非台强降水个例进行统计分析, 发现 TC 以外的其他天气系统对西沙地区强降水也有很大贡献。

利用 REOF 与 K-means 聚类相结合的合成分

析方法, 对 1961—2013 年西沙地区共 66 个非台强降水事件进行分类, 得出最优三类。其中, 第一类为西南季风槽型: 东亚地区冷空气活动偏北、偏弱, 南海季风槽发展强盛, 西沙地区位于季风槽涡旋附近, 季风槽南侧水汽输送在西沙附近地区辐合; 第二类为季风槽与冷空气结合型: 冷锋南压至华南沿海, 锋后冷空气侵入南海北部, 与位于南海中部的季风槽相互作用而激发对流活动, 冷空气前沿与季风槽北侧的偏东水汽输送在西沙地区汇合; 第三类为强冷空气型: 冷空气势力强盛, 大范围强劲东北风占据南海北部, 季风槽大为减弱并南退至南海西南部, 由于锋前抬升作用以及弱季风槽的东南水汽输送与冷空气前沿偏东水汽输送的汇合作用, 西沙附近空气抬升作用明显。

西沙秋季三类非台强降水天气形势中, 西南季风槽型与强冷空气型分别主要发生在 9 和 10 月, 而季风槽和冷空气结合型在 9 和 10 月均有出现。由于强冷空气型强降水在 20 世纪 90 年代以后偏多, 西南季风槽型强降水在 90 年代偏活跃, 秋季西沙非台强降水在 80 年代末、90 年代初开始突然增多。初步分析发现, 这主要与 9 月南海西南季风槽在 90 年代偏活跃, 10 月冷空气活动在 90 年代以后偏强有关, 后期南海地区 TC 活动偏少对此可能也有一定的影响。

本文对秋季西沙非台强降水在 20 世纪 90 年代的突变原因分析还较为初步, 有待进一步的深入研究。

参考文献

- 蔡亲波, 冯文, 李勋, 等. 2013. 海南省天气预报技术手册. 北京: 气象出版社, 286.
- 丁裕国, 张耀存, 刘吉峰. 2006. 一种新的气候分型区划方法. 大气科学, 31(1): 129-136.
- 冯文, 符式红, 赵付竹. 2015. 近年海南岛后汛期特大暴雨环流配置及其异常特征. 气象, 41(2): 143-152.
- 高辉, 蒋薇, 李维京. 2013. 近 20 年华南降水季节循环由双峰型向单峰型的转变. 科学通报, 58(15): 1438-1443.
- 乐群, 董谢琼, 马开玉. 2000. 西北太平洋台风活动和中国沿海登陆台风暴雨及大风的气候特征. 南京大学学报(自然科学), 36(6): 741-749.
- 李崇银, 王力群, 顾薇. 2011. 冬季蒙古高压与北太平洋海温异常的年际尺度关系. 大气科学, 35(2): 193-200.
- 李丽平, 许冠宇, 成丽萍, 等. 2012. 华南后汛期极端降水特征及变化趋势. 大气科学学报, 35(5): 570-577.
- 李勇, 陆日宇, 何金海. 2006. 海南岛秋季降水异常对应的热带大尺度

- 环流和海温. 大气科学, 30(5):1034-1042.
- 梁必骥. 1995. 天气学教程. 北京:气象出版社, 632.
- 刘吉峰, 李世杰, 丁裕国, 等. 2005. 一种用于中国年最高(低)气温区划的新的聚类方法. 高原气象, 24(6):966-973.
- 刘吉峰, 李世杰, 丁裕国, 等. 2006. 近几十年我国极端气温变化特征分区方法探讨. 山地学报, 24(3):291-297.
- 柳艳菊, 闫俊岳, 宋艳玲. 2008. 近50年南海西沙地区的气候变化特征研究. 地理科学, 28(6):804-808.
- 马学款, 符娇兰, 曹殿斌. 2012. 海南2008年秋季持续性暴雨过程的物理机制分析. 气象, 38(7):795-803.
- 孙吉贵, 刘杰, 赵连宇. 2008. 聚类算法研究. 软件学报, 19(1):48-61.
- 王磊, 陈光华, 黄荣辉. 2009. 近30年登陆我国的西北太平洋热带气旋活动的时空变化特征. 南京气象学院学报, 32:182-188.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版). 北京:气象出版社, 296.
- 吴春娃, 赵付竹, 李勋. 2010. 2009年10月海南岛一次秋季强降水过程分析. 气象与减灾研究, 33(3):42-48.
- 吴尚森, 梁建茵. 1998. 南海西沙地区季风季节变化的气候特征. 大气科学, 22(5):771-777.
- 杨玮, 程智. 2015. 近53年江淮流域梅汛期极端降水变化特征. 气象, 41(9):1126-1133.
- 翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化. 地理学报, 58(S1):1-10.
- 张玲, 智协飞. 2014. 南海北部冷涌及其环流特征. 大气科学学报, 37(1):28-37.
- 赵付竹, 王凡, 冯文. 2011. 海南岛秋季暴雨天气的环流特征和形成机制初探. 热带农业科学, 31(5):50-57.
- 赵强, 丁一汇. 1991. 东亚冷空气爆发后陆地变性的物理过程研究. 气象学报, 49(2):170-181.
- 朱连江, 马炳先, 赵学泉. 2010. 基于轮廓系数聚类有效性分析. 计算机应用, 30(S2):139-141.
- 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 2007. 天气学原理和方法(第四版). 北京:气象出版社, 649.
- Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. 2001. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada. J Climate, 14(9):1959-1976.
- Chen J M, Li T, Shih CH F. 2010. Tropical cyclone and monsoon-induced rainfall variability in Taiwan. J Climate, 23:4107-4120.
- Chen Tsing Chang, Tsay Jenq-Dar, Cheng Ming. 2012. Interannual variation of the late fall rainfall in central Vietnam. J Climate, 25:392-413.
- Feng X, Wu R G, Chen J P, et al. 2013. Factors for Interannual Variations of September-October Rainfall in Hainan, China. J Climate, 26:8962-8978.
- Wu L G, Wang B, Braun S A. 2005. Impacts of air-sea interaction on tropical cyclone track and intensity. Mon Wea Rev, 133:3299-3314.