

文章编号: 2096-1618(2018)02-0177-07

# 20世纪70年代末云南省雨季降水的突变及原因分析

孙康慧, 巩远发

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**利用1961–2011年云南省124个站点的逐月降水资料, NCEP/NCAR大气再分析资料, NOAA全球逐月海温资料, 通过M-K突变检验, 滑动相关, 合成分析等方法分析了云南省雨季(5–10月)月平均降水的突变特征。研究显示: 1978年左右云南省雨季降水有一次突变。雨季降水量突变后(1979–2001年)比突变前(1965–1978年)减少, 而变化趋势由负转正。突变前后的环流分析表明, 蒙古地区反气旋导致的偏北风异常有利于云南省雨季降水突变后比突变前减少, 孟加拉湾北部的水汽输送有利于突变后的增加趋势。进一步分析表明, 西南印度洋变暖与云南省雨季降水的这一突变相关, 其基本影响机制是: 西南印度洋变暖, 通过海气相互作用, 引起低纬环流和中高纬波列变化, 从而影响云南雨季降水变化。研究表明, 西南印度洋变暖对云南省雨季降水增减的影响存在不确定性。这种不确定性表现为西南印度洋海温距平和云南省雨季降水的滑动相关关系的变化。

**关键词:**气象学; 气候变化; 云南雨季降水; 突变; 蒙古反气旋; 西南印度洋变暖; 滑动相关

**中图分类号:** P426.61<sup>+</sup>4

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2018.02.012

## 0 引言

随着全球温度不断升高, 地球环境的许多要素发生了变化<sup>[1–3]</sup>, 气候也在发生改变<sup>[4–6]</sup>。随着学科发展与研究深入, 气候特征与气候系统之间关系的不确定性也引起了关注<sup>[7–8]</sup>。在异常气候事件频发且预报要求不断提高的今天, 以辩证发展的眼光看待气候变化的事实, 细致深入地研究其规律和机制尤为重要。只有这样, 才可以预测和应付不断变化的气候状况, 为经济社会活动决策提供科学的理论依据。

云南属于低纬高原地区, 同时又处于南亚季风和东亚季风的分界线上, 气候状况十分复杂。已有的研究表明, 云南分干湿两级, 雨季(5–10月)降水量约占全年降水量的80%以上<sup>[9–11]</sup>, 雨季降水量的多寡影响云南全年的旱涝状况<sup>[12]</sup>。因此, 深入研究云南雨季降水, 把握其气候特征和影响因子, 显得尤为重要。郑建荫等<sup>[13]</sup>的研究表明云南省年降水存在多突变点、多周期的特征。那么, 云南省雨季降水是否也存在周期变化的特征以及多突变的特征, 接下来将对1961–2011年云南省雨季月平均降水量进行统计分析, 并对其突变进行成因分析。

## 1 数据与方法

使用NOAA全球逐月海温资料<sup>[14]</sup>, 分辨率 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ , 17层的NCEP/NCAR大气再分析资料<sup>[15]</sup>, 分辨率

$2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ , 以及云南省124个站点的逐月降水和逐月气温资料。再分析资料包括纬向风、经向风和比湿。文中对各气象要素的分析时段均为1961年5月–2011年10月。

文中使用的方法有M-K突变检验<sup>[16]</sup>、连续功率谱分析、小波分析<sup>[17]</sup>、滑动相关<sup>[8]</sup>、整层水汽积分(垂直方向上取1000~300 hPa、共8层), 合成分析等。

单位气柱整层水汽通量矢量 $\mathbf{Q}$ 的计算公式为

$$\mathbf{Q} = -\frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_t} \mathbf{V} \cdot q dp \quad (1)$$

式中,  $g$ 为重力加速度,  $q$ 和 $\mathbf{V}$ 分别是该单位气柱各层大气的比湿和风速矢量,  $p_s$ 是地表大气压,  $p_t$ 是大气柱上边界气压, 取300 hPa,  $Q$ 的单位为 $g/(m \cdot s)$ 。

整层水汽通量散度的计算公式为

$$\nabla \cdot \mathbf{Q} = -\frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_t} \nabla \cdot (\mathbf{V}q) dp \quad (2)$$

## 2 云南省雨季降水的统计分析

### 2.1 云南省雨季降水的M-K突变检验

从图1可以看出, 1961–2011年, 云南省雨季降水存在多次突变, 但是只有1978年的突变存在比较显著的突变区间。

从UF统计量来看, 1961–2011年, 云南省雨季降水呈长期减少趋势。1965–1978年, 云南省雨季降水减少不显著, 1978年突变后, 云南省雨季降水减少显著。从20世纪80年代到90年代前期, 云南省雨季降

水的减少多次通过90%的显著性检验。90年代中后期开始,云南省雨季降水减少趋势放缓,2001年再次突变后,云南省雨季降水减少趋势加剧。

因此,接下来对1978年的突变进行分析,并分别以1965–1978年和1979–2001年作为突变前和突变后两个时期。

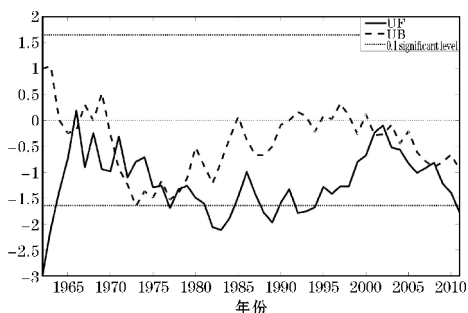


图1 云南省雨季降水 M-K 检验

## 2.2 云南省逐年雨季月平均降水量

1961–2011年云南省124个站点平均的逐年雨季月平均降水量及其分段线性趋势见图2,可以看出:突变前,云南省雨季降水表现出准3年周期变化的特征,且有减少趋势。突变后到21世纪初,云南省雨季降水周期变长,且有增长趋势(线性回归系数通过了90%的显著性检验)。2001年后云南雨季降水呈减少趋势。

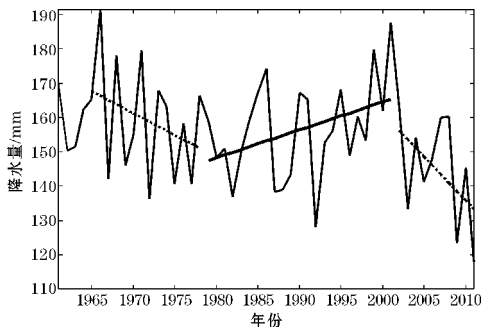


图2 云南省逐年雨季月平均降水量及其分段(1965–1978, 1979–2001, 2001–2011)线性趋势

从多年雨季平均降水量来看,云南省雨季月平均降水量突变后比突变前略偏低,经计算,突变前雨季月平均降水量为159.3 mm,突变后为156.4 mm,突变后比突变前减少1.8%。

## 2.3 云南省雨季降水的周期分析

图3显示,云南省雨季降水的两年半周期最显著,五年半周期的谱值也很高。为了解云南雨季降水周期的变化,又做了小波分析。图4的小波功率谱显示,从1965年到20世纪70年代后期,云南省雨季降水的中心周期为2.5年。从20世纪70年代后期到21世纪初,降水中心周期变为5.5年。降水周期变长,表示云南从70年代末开始,降水状况相对于短周期更具有连

续性。由以上M-K检验的长期趋势分析和突变前后的雨季月平均降水量分析可知:云南省雨季降水突变后比突变前减少。因此,较为干旱稳定的气候状况有可能是突变后降水周期增加的原因。

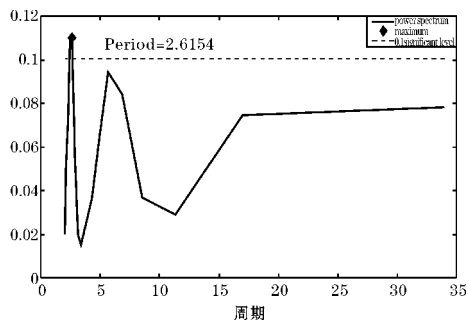


图3 云南省雨季降水功率谱

由前面的统计分析可知,突变前,云南省雨季降水呈减少趋势,突变后呈增长趋势。突变后的多年雨季月平均降水量未能恢复到突变前的水平,比突变前略偏少。由于1978年前云南雨季降水相对偏多,且突变后的某些年份云南雨季降水异常偏少。因此1961–2011年云南省雨季降水的M-K检验显示:突变后云南省雨季降水仍呈减少趋势,一些年份减少显著。周期分析的结果也从侧面说明了突变后云南省的干旱状况。M-K检验结果表明:突变后云南省雨季降水减少趋势基本减弱。这与分段趋势分析得出的突变后云南雨季降水增加的结论一致。

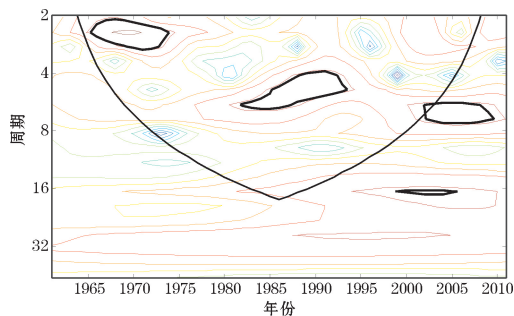


图4 云南省雨季降水小波功率谱(黑色实线包围区为通过90%显著性检验的区域)

## 3 云南省雨季降水突变前后的环流分析

从图5(a)来看,中高纬地区大致呈现气旋(C)反气旋(A)气旋(C)的风场异常,蒙古地区的反气旋与其东侧气旋交界处的偏北风异常,给云南带来高纬冷空气,由于云南高原地形作用,冷空气大多局限于滇东北。冷空气一般比较干燥,在滇东北水汽缺少时,该地区干冷,水汽供应充足时则可以产生对流与降水<sup>[18]</sup>。云南境内为偏东风异常,但受东侧偏北风异常影响,副热带西北太平洋水汽输送受阻。在低纬度,印度洋的气旋性风场异常给孟湾带来水汽输送,副热带西北太

平洋的水汽通过偏东风异常越过中南半岛南缘向孟湾输送,汇聚于孟湾西岸的印度洋和西太平洋水汽,沿孟湾北部反气旋性风场异常给云南带来水汽输送。另外,阿拉伯海北部存在反气旋性风场异常,该反气旋北侧偏西风异常也可给云南带来水汽输送。

从突变后 700 hPa 风场上看,突变后云南雨季降水主要受中高纬环流导致的偏北风异常和低纬度孟湾北部、阿拉伯海北部反气旋性水汽输送的影响。

从图 5(b) 来看,蒙古地区为气旋性风场异常,其东西侧均为反气旋性风场异常。蒙古地区气旋和其西侧反气旋的偏北风异常向其以南地区输送冷空气,促进了阿拉伯海南部气旋式风场异常和赤道—印度洋地区季风槽的发展。澳大利亚气旋性环流也很强,印度尼西亚东北侧的副热带太平洋上存在反气旋性风场异常,该反气旋外侧东南风异常将西太平洋水汽向中南半岛输送。西南风和东南风异常分别带来的印度洋和西太平洋水汽在中南半岛西部汇聚,沿高原南侧向西输送和沿中南半岛以北向东输送,分别给云南西部和东部带来水汽。

从图 6 来看,中高纬为气旋(C)反气旋(A)气旋(C)的风场异常,偏北风异常影响云南东部水汽获取。阿拉伯海东北岸和孟湾东北岸均呈现反气旋性风场异常,阿拉伯海和孟湾的水汽通过反气旋北侧偏西风异常向云南西部输送。

突变前后 700 hPa 风场距平及其差值场分析表明,突变前阿拉伯海北部气旋式风场异常和赤道—印度洋季风槽更显著,云南省水汽来源主要是孟湾南部和副热带西太平洋水汽,突变后云南水汽输送受偏北风异常影响,西太平洋水汽输送受阻,水汽主要来源为孟湾北部和阿拉伯海北部水汽。云南东部水汽严重匮乏。

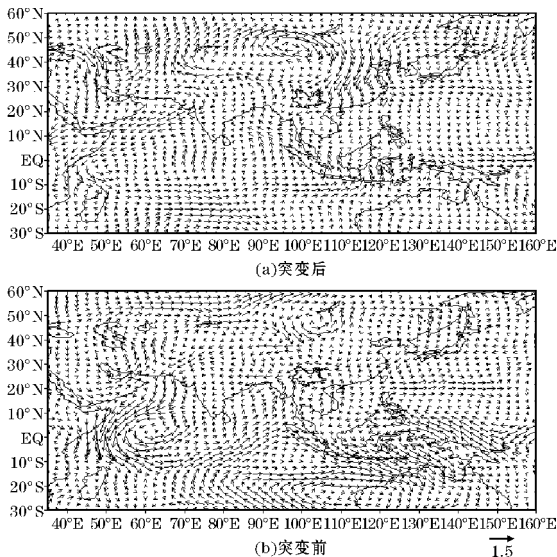


图 5 突变后和突变前雨季 700 hPa 风场距平(单位: m/s)

鉴于云南全省海拔高度差异较大,水汽充沛的地区主要位于南部低海拔地区,仅从 700 hPa 看水汽输送状况不太准确。因此接下来对云南整层水汽通量及其散度进行分析。

从图 7 突变前后的整层水汽通量及其散度的差值场来看,相比突变前,突变后云南受偏北风异常影响,西太平洋水汽输送受阻,孟加拉湾南部的西南风水汽输送也受到不利影响。因此差值场上,云南省大部分地区突变前后的水汽通量散度差值为正,突变后的平均水汽状况比突变前差。滇西北受孟湾北岸的偏西风水汽输送影响,水汽通量散度差值为负。

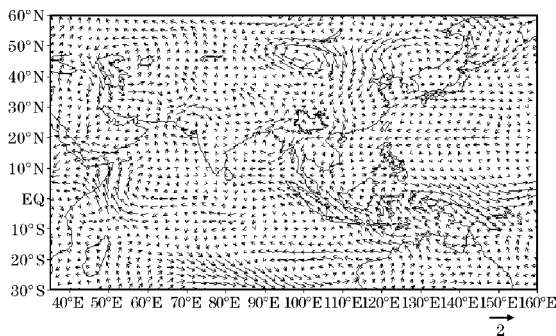


图 6 雨季 700 hPa 风场距平的差值(突变后-突变前)(单位: m/s)

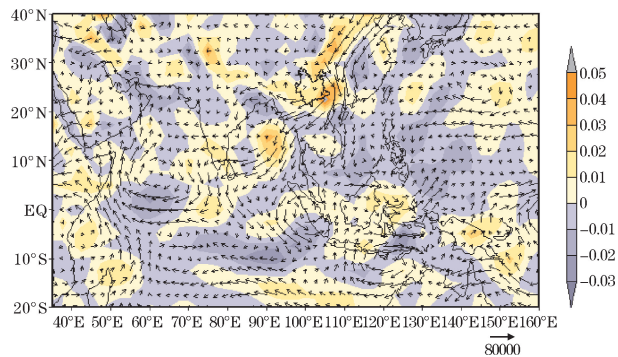


图 7 突变后和突变前雨季整层水汽通量(矢量,  $g/(m \cdot s)$ )及散度(阴影,  $g/(m^2 \cdot s)$ )的差值(突变后-突变前)

结合风场分析和水汽场分析可以看出,云南省雨季降水在突变前主要受赤道—印度洋季风槽和孟湾南部水汽输送的影响,而突变后,主要受蒙古地区反气旋性风场异常和孟湾北部、阿拉伯海北部反气旋性水汽输送的影响。中高纬偏北风阻碍了滇东和滇南的水汽获取,因此云南雨季降水突变后比突变前减少。

## 4 相关性分析

为进一步研究云南省雨季降水突变后的增长趋势,接下来对水汽场和云南省雨季月平均降水量做时间相关分析。具体做法为:对于突变前、后两段时间,对所选二维空间场上的每一个格点,分别求整层纬向水汽通量,整层经向水汽通量和云南省雨季月平均降水量时间序列的相关系数,并作  $t$  检验。



为了分析结果更具有说服力,主要分析通过显著性检验的区域。

从图8可以看出,突变后云南雨季降水与孟湾北部纬向水汽输送正相关(图8a),而突变前云南雨季降水则与孟湾南部纬向水汽输送负相关(图8c)。结合图5突变前后700 hPa风场距平可以看出,这是因为突变后孟湾北部反气旋外侧的西风异常给云南带来水汽,而突变前孟湾水汽主要通过孟湾南部偏南风异常向云南输送,从图8(d)孟湾南部的正相关也可看出这

一点。而从图8(b)的相关系数分布可以看到中南半岛北侧存在显著负相关区域,这是偏北风异常阻碍西太平洋水汽向云南输送的结果。

结合上一节关于突变前后环流形势的分析,得出结论:虽然受中高纬偏北风异常的影响,突变后云南省雨季降水比突变前减少,但是突变后孟湾北部反气旋外侧的西风水汽输送增加,有利于该时期云南雨季降水呈增长趋势。

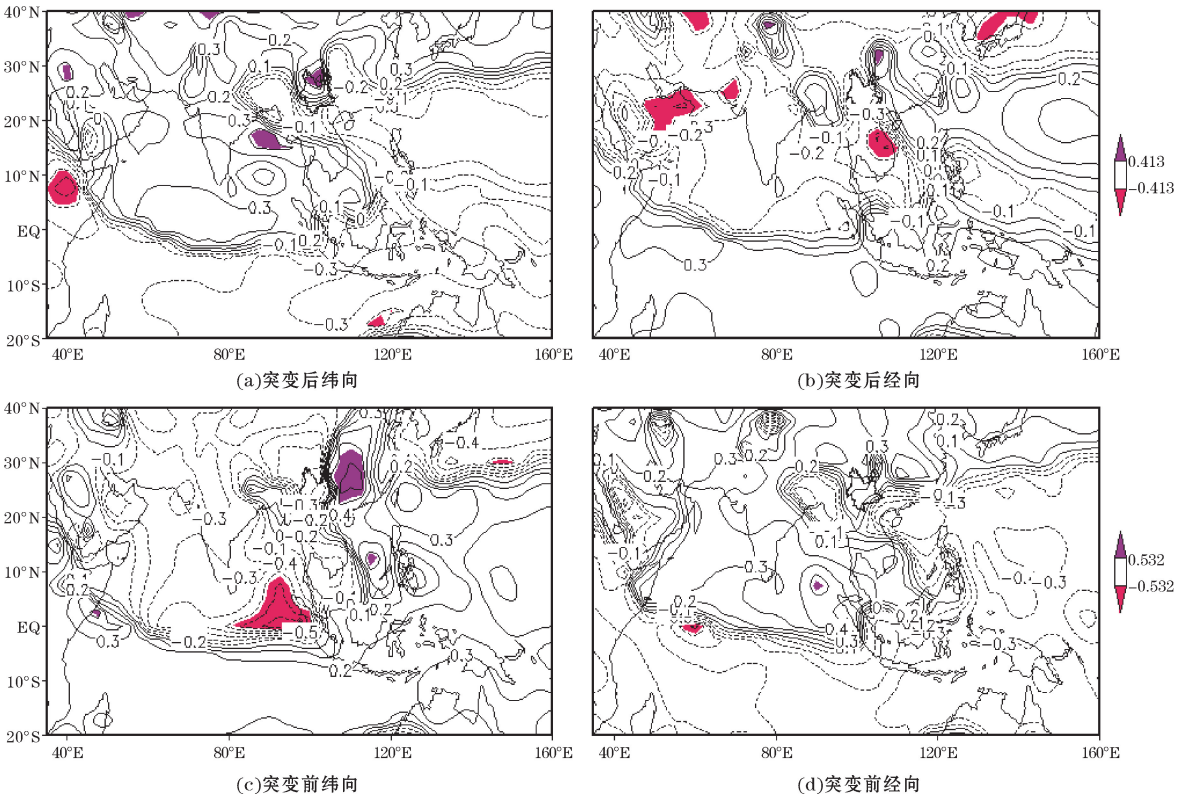


图8 突变后和突变前整层水汽通量与云南省雨季降水的时间相关系数(阴影区为通过95%显著性检验的区域)

5 西南印度洋海温分析

5.1 西南印度洋海温距平与云南雨季降水的相关关系

从20世纪70年代开始,印度洋显著变暖<sup>[19-20]</sup>。图9的逐年海温序列也揭示了这一点。也有不少人研究过印度洋海温对云南降水的影响<sup>[21-23]</sup>。经计算,1961-2011年西南印度洋海温距平(SWIO 15°S~5°S, 50°E~70°E)和云南雨季降水的总体相关系数为-0.4318。相关系数通过了99%的显著性检验。另外,由图10可以看出,云南雨季降水和SWIO的相关关系在20世纪70年代后期到21世纪初发生了很大变化。70年代至80年代初,SWIO与云南雨季降水负相关显著,之后一直到21世纪初,相关性变差,未能通过显著性检验。且从70年代后期开始,SWIO和云南

雨季降水负相关开始向正相关转变,甚至于90年代转为弱的正相关。

因此接下来通过合成分析的方法研究西南印度洋冷暖年份的大气环流和水汽状况,与云南省雨季降水突变前后作对比,为1978年的突变寻找可能的解释。

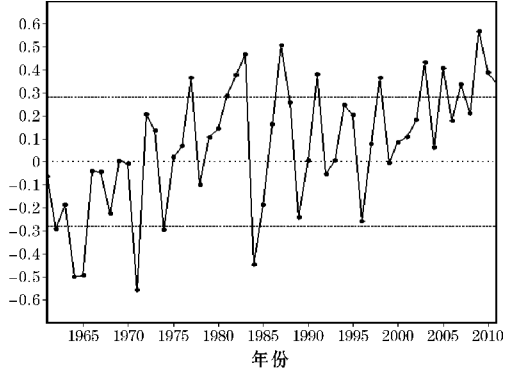


图9 SWIO(雨季)的年际变化,短虚线表示±1倍标准差

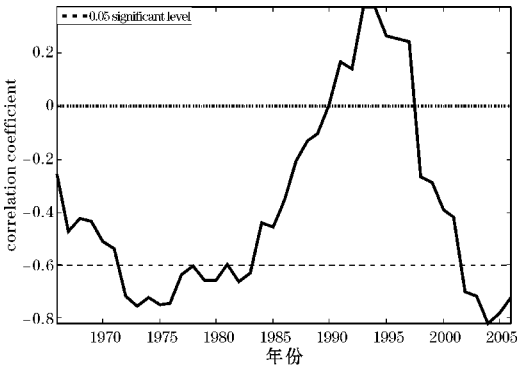


图 10 云南雨季降水和 SWIO 的 11 年滑动相关

对西南印度洋冷暖年划分的标准为 $\pm 1$  倍标准差,即 SWIO 大于一倍标准差为暖年,小于负一倍标准差为冷年。由表 1 可知,受西南印度洋变暖影响,暖年全部出现在 20 世纪 70 年代中期后,冷年大多出现在 70 年代中期前。

表 1 西南印度洋冷暖年划分

西南印度洋	年份
暖年	1977, 1981–1983, 1987, 1991, 1998
冷年	1962, 1964, 1965, 1971, 1974, 1984

5.2 西南印度洋暖冷年环流形势分析

图 11(a) 西南印度洋暖年的环流形势与图 5(a) (突变后 700 hPa 风场距平) 相似, 中高纬为气旋(C) 反气旋(A) 气旋(C) 的配置。低纬度, 阿拉伯海南部表现为气旋性风场异常, 北部为反气旋性风场异常。而南海—西太平洋到孟湾有一反气旋性风场异常, 云南境内为偏西风异常, 孟湾北岸对云南的西风水汽输送明显。

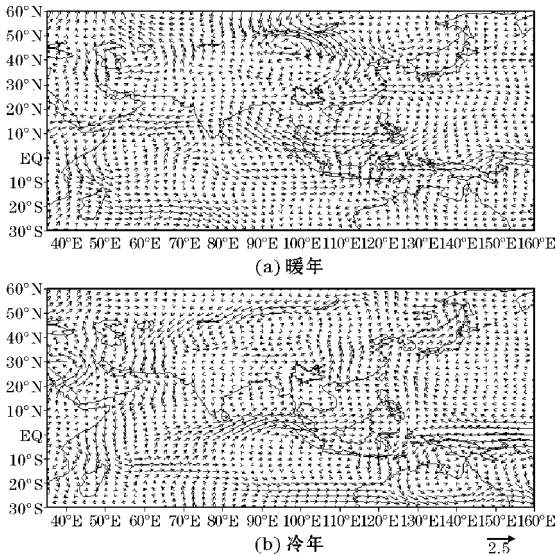


图 11 西南印度洋暖年和冷年雨季 700 hPa 风场距平(单位 m/s)

图 11(b) 西南印度洋冷年的环流形势与图 5(b) (突变前 700 hPa 风场距平) 相似, 孟湾南部对云南的水

汽输送形势更明显。西南印度洋冷年, 中高纬蒙古地区为气旋性流场, 位置比突变前偏东, 范围扩大, 由气旋东侧流向阿拉伯海的北风更强烈, 赤道—印度洋季风槽发展加深, 经由偏西气流和偏南气流向南海和中南半岛输送的水汽更强。对云南的水汽输送也更强。此时, 印度尼西亚东北侧的西北太平洋反气旋性风场异常比突变前范围扩大, 增强了对南海—西太平洋的水汽输送, 从而也有助于对云南的水汽输送。

图 12 的差值场与图 6 类似, 均能体现暖年或突变后云南雨季降水主要受中高纬蒙古反气旋性风场异常和孟湾北部及阿拉伯海北部反气旋性风场异常的影响。

图 13 和图 7 类似, 都可以反映暖年或者突变后中高纬偏北风异常和孟湾北岸偏西风水汽输送的影响。

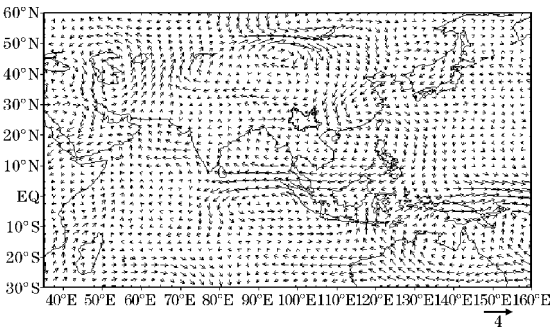


图 12 暖年和冷年雨季 700 hPa 风场异常差值(暖年-冷年)(单位 m/s)

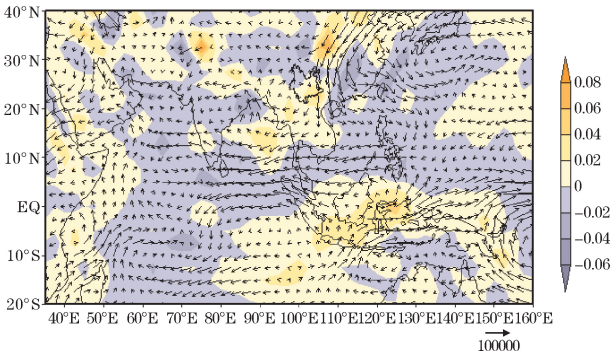


图 13 暖年和冷年雨季整层水汽通量(矢量,  $g/(m \cdot s)$ )及散度(阴影,  $g/(m^2 \cdot s)$ )的差值(暖年-冷年)

从上文对暖年、冷年以及差值场分别与突变后、突变前及差值场的环流形势对比可知, 暖年、冷年的环流形势分别与突变后、突变前的环流形势十分相似。证明西南印度洋变暖与云南雨季降水 1978 年的突变有关。

那么西南印度洋变暖如何影响云南雨季降水呢? 比较直接的影响是, 西南印度洋变暖, 减小了海陆温差, 使得阿拉伯海气旋式风场异常和赤道—印度洋季风槽减弱, 影响了孟湾南部向云南的水汽输送, 从而对云南雨季降水产生影响。另外, 赵勇等<sup>[24]</sup>用 CMIP5 模拟的结果显示, 通过海气相互作用, 印度洋变暖会对中高纬大气产生影响, 而影响中亚地区的环流和降水。



谭桂容等<sup>[25]</sup>的研究指出,低层贝湖南侧的高压异常通过偏北风异常对东亚夏季风产生影响。

结合前人和文中研究结果不难得出结论:20世纪70年代后期,西南印度洋变暖,通过海气相互作用,引起低纬环流和中高纬波列变化,从而使得云南省雨季降水发生改变。

## 6 讨论与结论

(1)1978年左右云南省雨季降水有一次突变,相比于突变前,突变后云南省雨季降水减少,并且周期加长,从2.5 a的平均周期变为5.5 a。而对突变前、后时期分别做趋势分析,可以看到突变前云南省雨季降水为减少趋势,而突变后呈增长趋势。

(2)云南雨季降水突变前后的风场距平表明,突变后中高纬大致呈现气旋(C)反气旋(A)气旋(C)的风场异常,蒙古地区为反气旋风场异常,偏北风异常影响西太平洋及孟湾南部对云南的水汽输送。而突变前,中高纬为反气旋(A)气旋(C)反气旋(A)型,阿拉伯海南部受偏北风异常影响,斜压性增加,气旋性风场异常发展更盛,赤道—印度洋季风槽也随之增强。

(3)云南雨季降水突变前后的700 hPa风场和整层水汽通量及散度的分析表明,云南雨季降水在突变前主要受赤道—印度洋地区季风槽和孟湾南部及西太平洋地区水汽输送的影响,而突变后,主要受蒙古地区反气旋性风场异常和孟湾北部水汽输送的影响。

(4)水汽场和云南省雨季月平均降水量的时间相关分析进一步表明,突变后蒙古地区反气旋导致的偏北风异常有利于云南省雨季降水突变后比突变前减少,而孟加拉湾北部的水汽输送有利于云南省雨季降水突变后的增加趋势。

(5)西南印度洋冷暖年份的大气环流及水汽场合成表明,冷、暖年的环流状况分别与突变前、后相似,说明西南印度洋变暖与云南省雨季降水的这一突变相关。结合前人的研究结果,可以得出其基本影响机制是:西南印度洋变暖,通过海气相互作用,引起低纬环流和中高纬波列变化,从而影响云南省雨季降水变化。

(6)SWIO与云南省雨季降水的总体负相关十分显著,通过了99%的显著性检验,但滑动相关表明,从70年代后期开始,SWIO和云南省雨季降水的相关性变差,且从负相关转向正相关,直到21世纪初才又是显著的负相关。这一结果表明西南印度洋变暖对云南省雨季降水增减的影响存在不确定性。这种不确定性主要是由于西南印度洋变暖可引起一系列的环流变化,而这些环流变化对云南雨季降水产生的影响不同:随着西南印度洋变暖,赤道—印度洋季风槽减弱,孟湾南部和西太平洋地区对云南的水汽输送减弱,中高纬

偏北风异常也对云南的水汽获取产生不利影响。这些促使云南省雨季降水突变后比突变前减少。但此时孟湾北部的水汽输送却在增加,有利于云南省雨季降水在突变后出现增长趋势。

通过对20世纪70年代末云南省雨季降水的这一突变进行分析,发现云南省雨季降水受阿拉伯海南部气旋性风场异常、赤道—印度洋季风槽、孟加拉湾及副热带西太平洋和蒙古地区环流形势的影响。通过海气相互作用,印度洋变暖对这些因子产生影响,从而影响云南省雨季降水。但是文中主要是定性进行分析,缺少量化研究。另外,强调了不同影响因子在不同时期的作用不同,对降水产生的影响也不同,因此主张用辩证发展的眼光看待问题。但是,对不同因子之间相互制约关系的细致、量化的研究是需要进一步加强的。

## 参考文献:

- [1] 秦大河,丁一汇,王绍武,等.中国西部生态环境变化与对策建议[J].地球科学进展,2002,17(3):314-318.
- [2] 颜其德.南极——全球气候变暖的“寒暑表”自然杂志[J],2008(5),259-261.
- [3] 陈杰,龚子同.气候变化对南极海洋性气候区土壤发生与演变的影响[J].第四纪研究,2004,24(2):167-174.
- [4] 龚道溢,王邵武.西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J].地理学报,1999(2):125-133.
- [5] 张存杰,高学杰,赵红岩.全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J].冰冰冻土,2003,5(2):157-164.
- [6] 刘吉峰,丁裕国,江志红.全球气候变暖加据对极端气候概率影响的初步探讨[J].高原气象,2007,6(4):837-842.
- [7] 宗海锋,陈烈庭,张庆云. ENSO与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征[J].大气科学,2010,34(1):184-192.
- [8] 林学椿,统计天气预报中相关系数的不稳定性问题[J].大气科学,1978,2:55-63.
- [9] 谭晶,王彰贵,黄荣辉,等.云南雨季降水异常的热带海温和大气环流异常分析[J].热带海洋学报,2015,34(2):15-23.
- [10] 段旭,琚建华,肖子牛,等.云南气候异常物理过程及预测信号的研究[M].北京:气象出版社,2000.
- [11] 秦剑,解明恩,刘瑜,等.云南气象灾害总论[M].北京:气象出版社,2000.

- [12] 吕俊梅, 琚建华, 任菊章, 等. 热带大气 MJO 活动异常对 2009–2010 年云南极端干旱的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(4): 599–613.
- [13] 郑建萌, 任菊章, 张万城. 云南近百年来温度雨量的变化特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 24–31.
- [14] Smith T M, Reynolds R W. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854–1997) [J]. Climate, 2003, 16: 1495–1510.
- [15] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer. Meteor. Soc. 1996, 77: 437–471.
- [16] 魏凤英. 现代技术诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [17] Christopher Torrence, Gilbert P Compo. Bulletin of the American Meteorological Society[J]. 1998 (1): 79.
- [18] 陈于湘, 朱抱真. 热带季风爆发前云南雨季的天气学特征[J]. 大气科学, 1985, 9: 101–106.
- [19] Nitta T, S Yamada. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation[J]. Meteor. Soc. Japan, 1989, 67: 375–383.
- [20] Trenberth, K E, J W Hurrell. Decadal atmospheric-ocean variations in the Pacific [J]. Climate Dyn, 1994, 9: 303–319.
- [21] 刘丽, 曹杰, 何大明, 等. 中国低纬高原汛期强降水事件的年代际变化及其成因研究[J]. 大气科学, 2011, 35(3): 1–8.
- [22] 郑春怡, 黄菲, 普贵明. 云南省雨季降水的年际年代际变化特征及其与热带上层海洋热含量分布的关系[J]. 热带气象学报, 2003, 19(3): 299–307.
- [23] 袁俊鹏, 李然, 王海, 等. 印度洋暖池热含量变化对低纬高原汛期降水的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 345–358.
- [24] Yong Zhao, Huqiang Zhang. Impacts of SST Warming in tropical Indian Ocean on CMIP5 model-projected summer rainfall changes over Central Asia[J]. Clim Dyn. 2016, 46: 3223–3238.
- [25] 谭桂容, 孙照渤, 林朝晖, 等. 贝加尔湖南侧大陆高压与东亚夏季风和中国夏季气候的关系[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(6): 791–799.

## Abrupt Change of Precipitation in Rainy Season in Yunnan Province in Late 1970s and its Cause Analysis

SUN Kang-hui, GONG Yuan-fa

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of information technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** Based on the monthly precipitation data of 124 meteorological stations in Yunnan during 1961–2011 and NCEP/NCAR atmospheric reanalysis data, NOAA global monthly SST data, the mutation characteristics of monthly average precipitation in rainy season in Yunnan (May to October) is analyzed by M-K mutation test, sliding correlation and synthetic analysis method. The results are as follows: There is a mutation in the rainy season in Yunnan province in 1978. The precipitation in rainy season decreased after the abrupt change (1979–2001) compared with it before mutation (1965–1978), while the change trend is from negative to positive. The circulation analysis has shown that the abnormal northerly winds caused by anticyclone in Mongolia area is beneficial to the decrease of precipitation after the abrupt changing compared with it before mutation. While the increased water vapor transport of northern Bay of Bengal makes a contribution to the increasing trend in rainy season precipitation in Yunnan after the mutation. Further analysis has shown that warming in the southwest Indian Ocean is related to the mutation in rainy season rainfall in Yunnan, and the basic influence mechanism of which is as follows: warming in the southwest Indian Ocean, through air sea interaction, leads to the low latitude and high latitude wave changing, and thus affects rainy season precipitation in Yunnan. And study shows that warming in the southwest Indian Ocean has an unsure influence on the change of rainy season precipitation in Yunnan. This uncertainty is manifested as the change of the sliding correlation between SWIO and rainy season precipitation in Yunnan.

**Keywords:** meteorology; climate change; precipitation in rainy season in Yunnan; mutation; anticyclone in Mongolia area; warming in the southwest Indian Ocean; sliding correlation analysis