

# 近 60 a 西南雨季降水变化特征

高焕昕<sup>1</sup>, 毛文书<sup>1</sup>, 师春香<sup>2</sup>, 栗运<sup>1</sup>, 张皓<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象信息中心, 北京 100081)

**摘要:**为更好地分析近 60 a 来西南雨季降水的时空变化特征, 利用 1960–2017 年西南地区 81 个气象站点的逐日降水资料, 主要运用线性趋势估计、Mann–Kendall 突变检验、Morlet 小波分析、经验正交函数分解 (EOF) 和旋转经验正交函数分解 (REOF) 等方法进行研究。结果表明: 近 60 a 来西南雨季降水量总体呈下降趋势, 空间分布自东南向西北大体呈减小趋势。其年代际变率为  $-9.865 \text{ mm}/10 \text{ a}$ , 空间分布由南到北呈先减少再增加趋势。西南雨季降水量 EOF 分析表明: 第 1 模态显示西南雨季降水量为全区一致的同位相变化; 第 2 模态从西南到东北呈“负–正–负”的分布类型; 第 3 模态显示除云南省外由东到西为“负–正–负”的分布类型; 第 4 模态显示在西北–东南呈反位相变化。应用 REOF 方法对西南地区雨季降水划分为 3 个地区: 1 区为川西高原区; 2 区为云南区; 3 区主要包括四川东北部以及重庆南部及贵州西部地区 (以下简称东部区)。3 个区域雨季降水均呈下降趋势, 1972 年为雨季降水量显著突变年份且存在准 5 a 及准 10 a 的显著周期。

**关键词:**气象学; 雨季降水; 西南地区; REOF; 小波分析

**中图分类号:** P463.1

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2022.01.015

## 0 引言

基于 IPCC 第五次评估报告, 全球温度受高于工业化前  $1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  变暖影响, 全球平均降水量同样随着全球平均地表温度的增加而增加, 陆地变暖的加剧及其区域变化也会影响降水的区域分布<sup>[1–2]</sup>。中国西南地区位于青藏高原东南侧的低纬度带, 海拔高低起伏, 具有尤为复杂的地形地貌特征。青藏高原、云贵高原、横断山脉及四川盆地特殊地形造成了该地域降水量空间分布的不均匀性; 又因其主要气候类型为亚热带季风气候, 从而受到多种季风系统交替影响, 致使该地区降水季节差异性较大, 干湿季分明, 是西南夏季风携带水汽进入中国的门户区域<sup>[3–4]</sup>。5–10 月为西南地区的雨季, 大部分地域该时期的降水占年总降水量近 80%<sup>[5]</sup>。因为 5 月是中国西南大部分地区农作物的关键栽种期, 因此本文对西南地区雨季降水的时空演变特征进行探讨, 希望对农作物栽种及政府决策提供理论上的帮助。

相比于中国东部, 关于中国西南地区雨季降水特征的研究相对较少。董谢琼等<sup>[6]</sup>指出西南地区降水因为受地形影响导致局地差异大, 空间分布不均。除冬季, 春、夏、秋年降水量的变化趋势均呈减少趋势。晏红明等<sup>[7]</sup>指出西太平洋副热带高压的异常变动对

西南地区降水的影响。范思睿等<sup>[8]</sup>对西南区域 50 a 的空中水资源进行研究, 指出西南地区近 50 年水汽总量呈减小趋向。按春夏秋冬四季划分, 西南地区水汽通道分别来自孟加拉湾和偏西气流、孟加拉湾和印度洋季风、西太平洋、偏西风和西太平洋。栗运等<sup>[9]</sup>指出西南地区夏季降水近 60 年总体呈下降趋势, 且在空间上表现出显著的地域分型。李永华等<sup>[10]</sup>指出西南地区东部夏季降水空间分型为全区一致型、南北相反型和东西相反型 3 种类型, 西南东部夏季降水有略增趋势, 且年际及年代际变化特征明显, 显著周期为 2~3 年及 15 年左右。Jiang 等<sup>[11]</sup>指出西南地区冬季降水主要模态为均匀型与北半球环状模态有较高的相关性。现今表示干湿季节最显著的指标就是降水量的变化, 目前研究多以降水量的变化来进行雨季划分<sup>[12]</sup>。张家诚等<sup>[13–14]</sup>进行了季节划分方面的研究, 规定雨季标为旬雨量与年平均雨量之比的百分率  $>4\%$ , 定义雨季开始日期的旬降水量  $>$  全年降水量的 3%。晏红明等<sup>[15]</sup>则用区域平均来定义西南汛期, 即在中国西南某一候空间平均候降雨量  $>$  全年 72 候平均降雨量, 同时满足该条件的站点在该区域超过 50%, 并且此候之后接连 4 候的候雨量  $>72$  候平均雨量, 用来表示雨季开始, 而雨季结束日期的判定与此过程相反。由于前人对于西南地区雨季降水研究相对较少, 为更好地了解西南地区雨季降水的时空演变特征, 本文采用西南地区 58 年 81 个气象站点的逐日降水资料, 首先运用 EOF 方法分析西南地区雨季降水的空间分布类型, 接

着运用 REOF 方法对西南地区进行分区讨论,最后运用线性趋势估计、Mann-Kendall 突变检验及莫莱特小波分析对每一分区雨季降水的时空演变特征进行详细说明。

# 1 资料和方法

文中所指西南地区是 $21^{\circ}\text{N}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 、 $97^{\circ}\text{E}\sim 109^{\circ}\text{E}$ 的区域,主要包括四川省、云南省、贵州西部及重庆大足地区,西南地区各站点及海拔分布如图 1 所示。

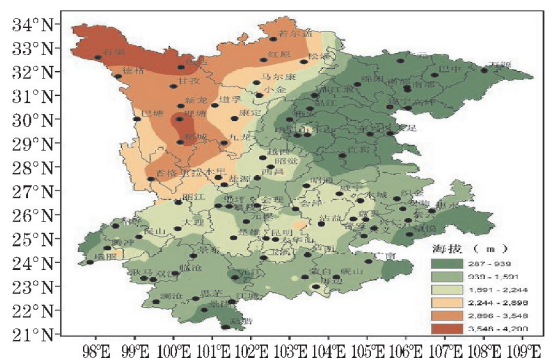
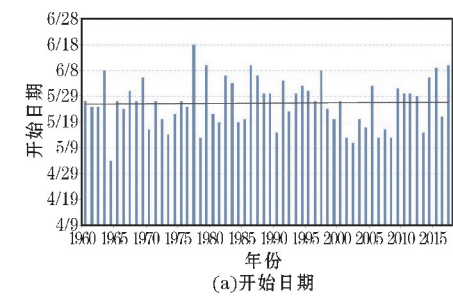
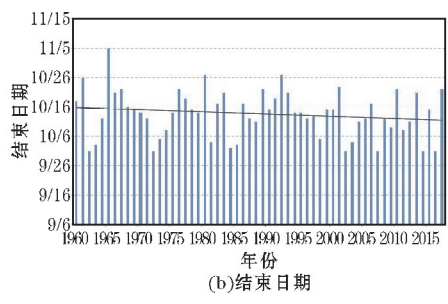


图 1 西南地区站点及海拔分布图

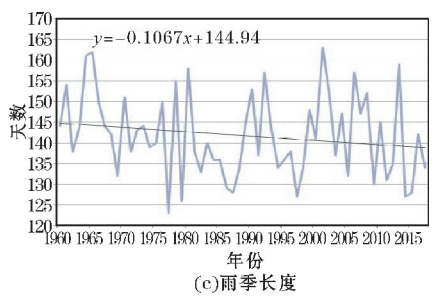
基于 1960–2017 年西南地区 81 个气象站点的逐日降水量资料,西南雨季降水的开始日期和结束日期资料进行研究分析。具体步骤为:在西南地区 58 年 81 个站的逐日降水资料中,按照晏红明等<sup>[15]</sup>的方法对雨季降水开始和结束日期进行筛选,所得区间的总降水量即为西南地区雨季降水量数据集。通过经验正交函数(EOF)<sup>[16]</sup>展开方法,确定西南雨季降水量空间分布类型;接着运用旋转经验正交函数分解(EOF)<sup>[16]</sup>



(a)开始日期



(b)结束日期



(c)雨季长度

图 2 西南地区雨季特征量变化

# 3 西南雨季降水量的时空变化

如图 3 所示,整个西南地区雨季降水呈负趋势,年代际变率为 $-9.865\text{ mm}/10\text{ a}$ ,这与董谢琼等<sup>[6]</sup>所研究的西南地区近 40 年来,除冬季外,春、夏、秋年降水量都表现出负趋势强于正趋势的降水变化趋势结果相似。

分析方法由高载荷区进行空间区域详细划分归类;最后运用线性趋势估计、Mann-Kendall 突变检验<sup>[17–18]</sup>及莫莱特小波分析<sup>[19–21]</sup>这 3 种气候变率诊断和预测方法对各区空间平均的雨季降水的突变年份和变化周期进行详细讨论。

# 2 西南雨季特征量变化

西南雨季开始日期见图 2(a),近 60 a 来,西南雨季多年平均开始日期是 5 月 26 日,最早出现在 1964 年 5 月 4 日,最晚出现在 1977 年 6 月 18 日,西南雨季开始日期略有后延的趋势。晏红明等<sup>[15]</sup>指出,在西南地区雨季开始时间早与晚主要与中低纬地区冷空气活动密切相关。雨季开始较早时,冷空气对西南地区的影响较为频繁;反之雨季开始时间较晚时,高低层气温负距平并不明显。

西南雨季结束日期见图 2(b),近 60 a 来,西南雨季多年平均结束日期是 10 月 13 日,最早结束在 10 月 1 日,位于 1962 年、1972 年、2007 年、2014 年及 2016 年;最晚结束在 1965 年 11 月 5 日,雨季结束日期有提前结束趋势。晏红明等<sup>[15]</sup>指出西南雨季结束日期与冷空气活动关系密切度不大,但与夏季型环流向冬季型环流转变的时间较为一致。

西南雨季长度日期见图 2(c),近 60 a 来,西南雨季长度平均为 142 天,雨季最短只有 123 天,出现在 1977 年,雨季最长有 163 天,出现在 2001 年,西南雨季长度有缩短趋势。而近 60 年的西南雨季天数缩短趋势正对应了下面所研究的西南雨季降水量呈负变化的趋势。

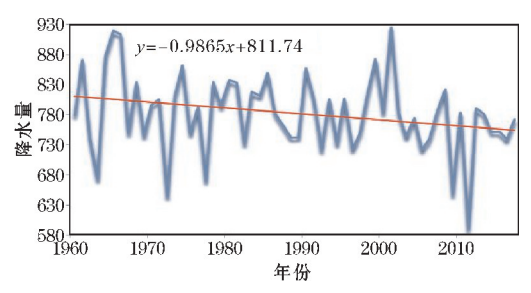


图 3 西南地区空间平均的雨季降水线性趋势图



由图 4(a)可知,西南地区近60 a来雨季降水量空间分布不均匀,西南雨季降水量自东南向西北大体呈减小趋势。总降水量在 250 ~ 1800 mm变化,由于西南地区独特的地形和山脉影响,造成多雨区及少雨区交替分布。主要有 3 个降水高值区,分别位于四川中部峨眉山地区以及云南西部和南部,中心值超过 1000 mm,并且在高值区降水梯度也较大;而川西高原雨季降水量相对较少,年平均雨季降水量不足 500 mm,且分区分布较均匀。

由图 4(b)可知,西南地区雨季降水的年代际变率大体由南到北呈先减少再增加趋势。川西北高原及云南除南部地区以外的大部分地区年际变率为负值,其余部分为正值,其中川西北高原雨季降水年代际变率较大,较其他地区降水不稳定,这恰恰说明了年降水量丰富的区域年变率小,而年降水量少的区域年变率大的观测事实。以上结论表明西南地区雨季降水呈现出显著的空间差异性。

## 4 西南雨季降水的空间分型

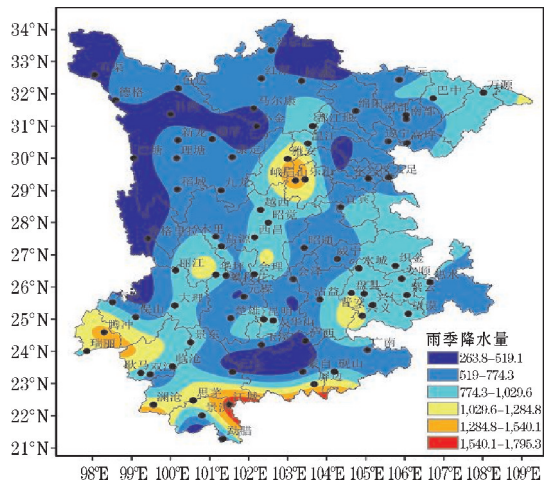
### 4.1 西南雨季降水量的 EOF 分解

首先对雨季降水数据集求距平作 EOF 分析,精确探讨西南地区不同地域雨季降水的空间特征。其中,前 4 个模态的方差贡献率分别为 21.6%、12.4%、10.6%、5.9%,累计方差贡献率达到 50.5%,能够较好地模拟出西南地区雨季降水的空间分布类型。因此选取前 4 个特征向量场作为西南地区雨季降水的前 4 个模态。

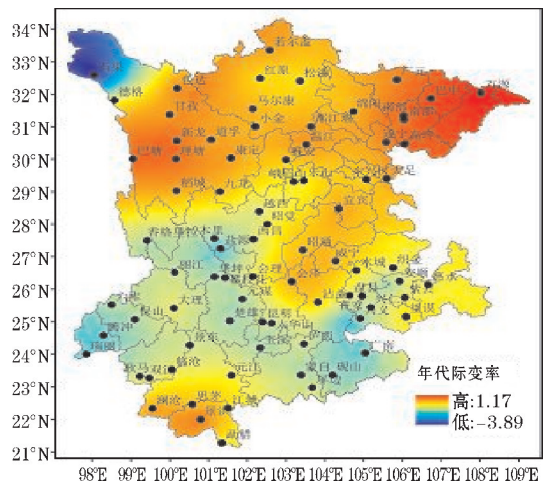
第 1 载荷向量场所描述的形态占总场的 21.6%,是西南地区雨季降水空间分布的主模态。从图 5(a)可知,西南地区西北部的川西高原,东北部的四川盆地及其周围山地及香格里拉地区最西边雨季降水场具有负距平,其余地区均为正距平区。在云贵高原交界处,昆明普安一带尤其显著,正值区覆盖地区范围广。西南地区雨季降水呈现出以全区域一致偏高或者一致偏低为主,因此从区域角度来考虑西南雨季降水空间分布是合理的。由时间序列分析图 5(e)可知,2008 年以后时间系数全为负值,是下降负趋势,说明在 2008 年以后雨季降水的空间分布形态与 EOF 第 1 模态相反,全区大范围以降水减少为主。在 2001 年时间系数值最大,是降水增多最为明显的年份,而在 2011 年时间系数值最小,是降水减少最为明显的年份。

第 2 载荷向量场所描述的形态占总场的 12.4%。由图 5(b)可知,西南地区中部及东南部,包括除云南中东部及贵州西部地区雨季降水场具有正距平,其余地区为负距平区。正距平大值区集中在兴义、望谟一带。负距平主要在诺尔盖-雅安-大足为界的西南地区东北部。表明西南地区雨季降水西南-东北的变化呈负-正-负分布的空间特征。由时间序列分析图 5(e)可知,1986 年、1997 年、2006 年的时间系数正值较大,是雨季降水量相对增多明显的年份。而在 1961 年、1966 年、1975 年、1981 年和 2013 年的时间系数值较小,是雨季降水量相对减少明显的年份。

第 3 载荷向量场所描述的形态占总场的 10.6%,与第 2 特征向量所占比重相当。由图 5(c)可知,西南地区中部及南部,包括云南中南部及成都平原地区雨季降水场具有正距平,其余地区为负距平区。负距平主要在四川省东北部万源一带。整个西南地区云南省主要为正,而其他地区由东到西变化呈负-正-负的空间特征。由时间序列分析图 5(e)可知,1966 年、1973 年、1977 年、2016 年的时间系数值较大,是雨季降水量相对增多明显的年



(a) 西南地区平均 58 年雨季降水的空间分布



(b) 西南地区雨季降水年代际变率分布

图 4 西南地区平均 58 年雨季降水的空间分布  
以及各站点降水年际变率分布图

份。而在 1965 年、1974 年、1983 年、1993 年、2000 年的时间系数值较小,是雨季降水量相对减少明显的年份。

第 4 载荷向量场所描述的形态占总场的 5.9%。由图 5(d)图可知,西南雨季降水呈西北-东南反位相变化。正值区集中在贵州西部地区,负值区集中在川西高原地区。造成这种位势变化原因是受西太平洋副热带高压系统的影响,由于副高增强偏西的影响,西南地区东部受副高控制,干旱少雨,西部受副高西南暖湿气流水汽输送而多雨。从时间序列分析图 5(e)可知,

1967 年、1983 年的时间系数正值较大,是雨季降水量相对增多明显的年份。而 1998 年的时间系数值较小,是雨季降水量相对减少明显的年份。

综上所述,由西南地区雨季降水量的总体空间分型可以看出,西南地区雨季降水明显存在东西或南北差异,且其空间分布较为复杂,时间序列分析多数模态为全局震荡。因此为进一步探讨西南地区雨季降水的局部特征,将进行旋转主成分分析西南地区雨季降水距平场。

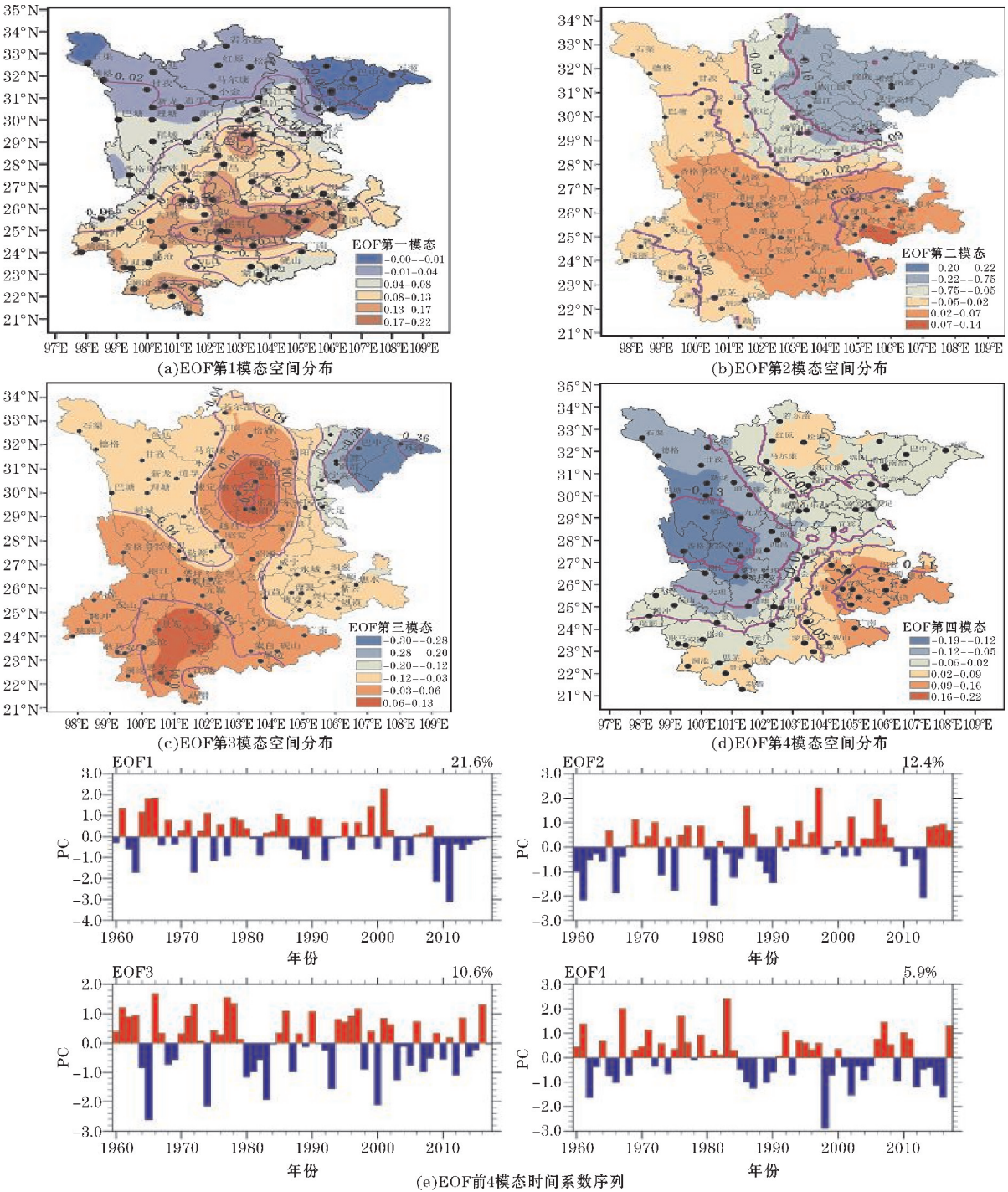


图 5 西南地区雨季降水 EOF 前 4 个模态空间分布及相应的时间系数序列



4.2 西南雨季降水量的 REOF 分解

在上述 EOF 分解的基础之上,选取前 4 个特征向量进行旋转,旋转后前 4 个模态的累计方差贡献率达到 54%,且旋转后载荷向量特征值明显变大,这样就能进一步探讨西南地区雨季降水的局地空间分布特征。根据前 4 个模态(图 6a~e)的绝对值大于 0.5 的高旋转载荷向量的特征值,再结合西南地区海拔、地形等条件,把西南地区划分成 3 个主要空间变化区(图 6e)。1 区为川西高原区,该地区主要受高原季风影响,王颖等<sup>[24]</sup>研究了高原季风的季节进程对应着西

南地区雨季起止时间,而高原季风的位置及强弱亦会对西南雨季降水强度产生影响。2 区主要为云南区,该地区主要受印度季风影响,代冰冰等<sup>[23]</sup>研究结果表明印度季风开始期与云南雨季开始期的相关性较好。3 区为四川东北部以及重庆南部及贵州西部地区(简称东部区),该地区主要受西太平洋副热带高压的影响,李永华等<sup>[24]</sup>指出西南地区东部降水与西太平洋副热带高压变化存在明显的年际和年代际变化特征,表明当副高脊线位置偏北时,西南地区东部夏季易干旱,反之易洪涝。

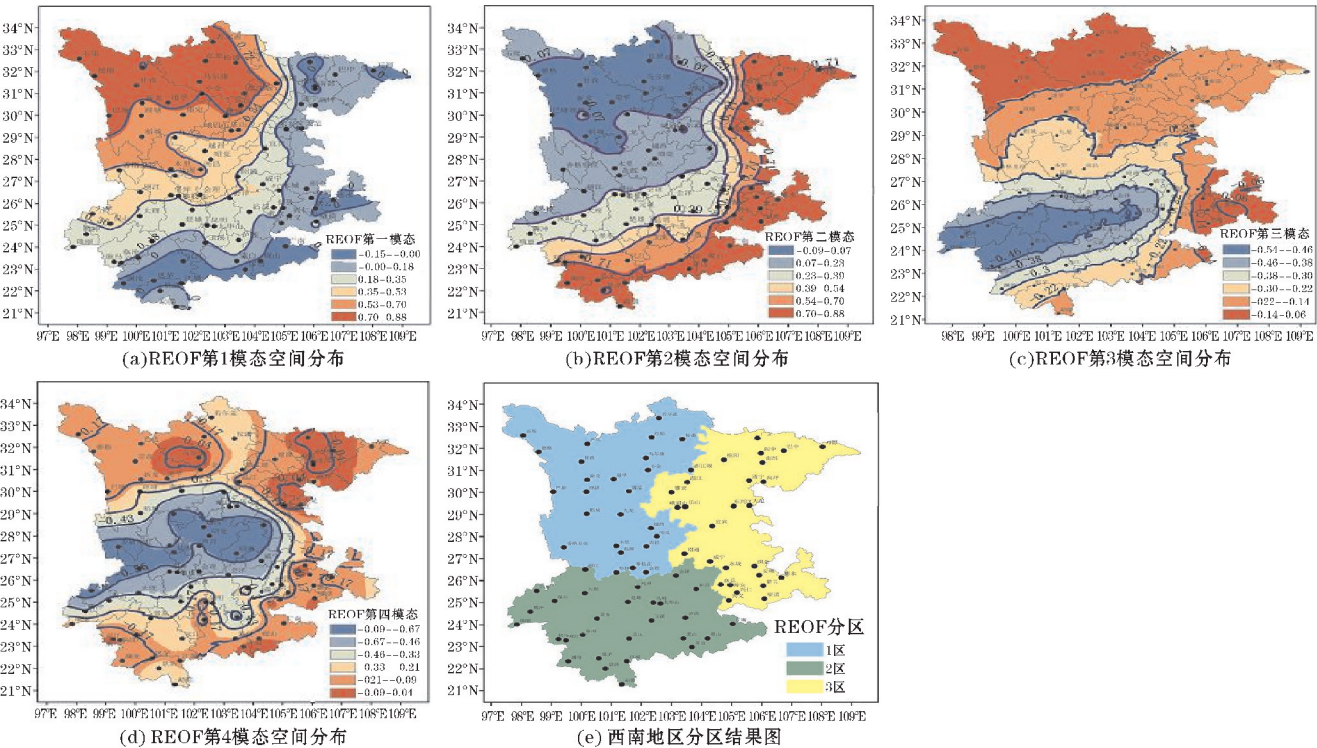


图 6 西南地区雨季降水 REOF 前 4 个模态空间分布以及分区结果

5 各区域雨季降水的时间变化特征

5.1 川西高原区

图 7 为川西高原区的降水特征。由图 7(a) 看出该区域雨季降水的年代际变率为  $-0.067 \text{ mm}/10 \text{ a}$ , 趋势略有减小。从 21 世纪初到 2010 年左右该地区雨季降水有减少趋势。20 世纪 60 年代到 21 世纪初期, 降水量呈波动变化。该区域雨季降水量的最小值出现在 2010 年左右, 最大值出现在 2000 年左右。由图 7(b) 可以看出, 在 20 世纪 70 年代初期至 80 年代中后期, UF 统计量为负值, 表明该地区雨季降水总体呈下降趋

势, 而从 90 年代初至今, UF 统计量基本上均为正值, 表明该区雨季降水呈上升趋势。由 UF 和 UB 曲线交点的位置判别出, 该区域雨季降雨量在 1964–1968 年、1980–1982 年、2005 年、2011 年均存在突变。然而这些交点都位于显著性水平线内, 说明这些突变时间点为不显著突变。由图 7(c) 看出, 该区 1960–2017 年 58 年的空间平均降水在不同时间尺度上的周期震荡, 等值线为负的代表降水偏少, 正的代表降水偏多, 小波系数为 0 的对应突变点。该区域显著的降水周期有准 5 a 周期、准 10 a 周期以及准 30 a 周期。5 a 以下的周期, 从 20 世纪 60 年代到 21 世纪初一直存在。5 ~ 10 a 的时间尺度上, 从 20 世纪 70 年代初期到 90 年代初期经历了多–少–多的准四年周期震荡。在 10 ~ 15 a 的

时间尺度上,从 20 世纪 60 年代到 90 年代,存在少-多-少的准 3 年周期震荡。在 10~20 a 的时间尺度上,从 20 世纪 70 年代迄今经历了少-多-少的准 5 a 周期震荡。从较长时间尺度来看:从 20 世纪 60 年代中期直

到 2017 年,经历了少-多-少的循环交替,而且直到 2017 年等值线也未闭合,说明未来一段时间内雨季降水将继续减少。

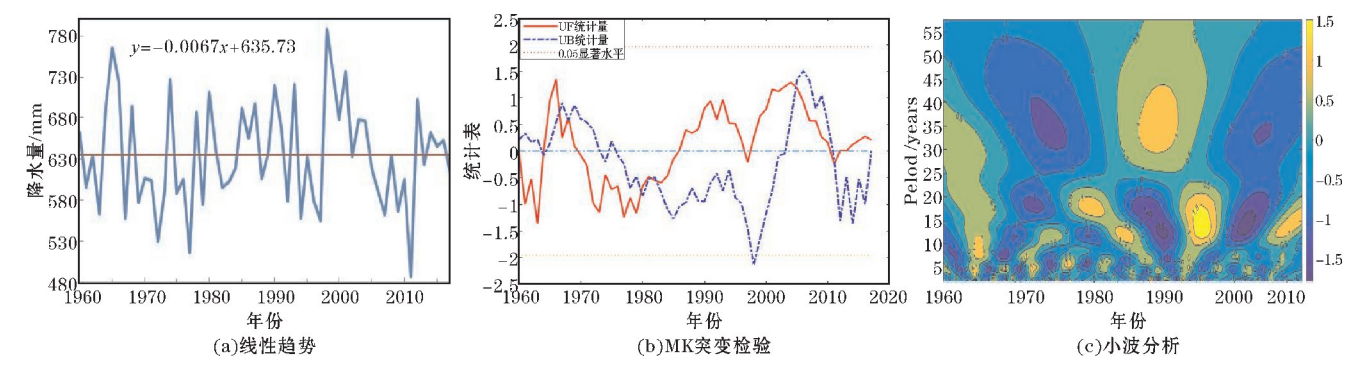


图 7 川西高原区线性趋势变化、MK 突变检验及小波分析

5.2 云南区

图 8 为云南区的降水特征。由图 8(a)看出,该区域雨季降水年代际变率为 $-11.93\text{ mm}/10\text{a}$ ,呈减小趋势。徐静等<sup>[25]</sup>亦得出 1968–2018 年云南地区夏季降水呈现减少趋势。从 20 世纪 60 年代到 90 年代雨季降水呈波动状态,在 20 世纪 90 年代初到 21 世纪初降水有增加趋势,而在 21 世纪初到 10 年代间降水下降较为明显。该区域雨季降水的最大值为本世纪初期,最小值出现在 2012 年左右。由图 8(b)看出,在研究区间,雨季降水在 1988 年,2003–2007 年均存在突变,

然而这些交点均位于显著性水平线内,说明这些突变时间点为不显著突变。由图 8(c)知,该地区主要存在准 5 a、准 10 a、准 20 a 的降水周期。5 a 以下的周期,并不明显。5~10 a 的时间尺度,从 20 世纪 60 代到 21 世纪初一直存在,全年的降水出现了显著的丰水/枯水的交替,具有全域性的特点。10~20 a 的时间尺度上,从 20 世纪 60 年代中期至 21 世纪 2010 年左右,经历了多-少-多的准 3 a 周期震荡,其周期变化稳定。从较长时间尺度来看:从 20 世纪 60 年代至今,经历了多-少-多的准 2 a 周期震荡,而且直到 2017 年等值线也未闭合,说明未来一段时间内雨季降水将继续减少。

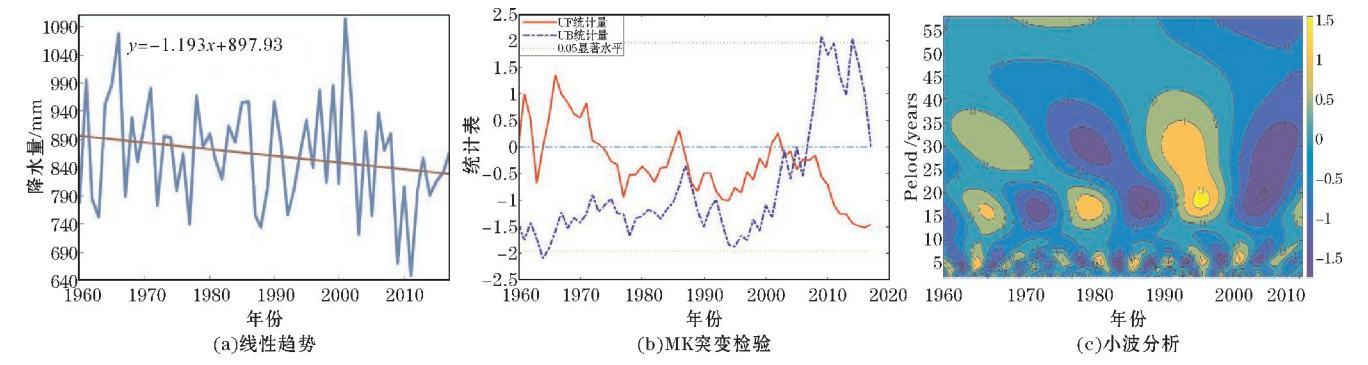


图 8 云南区的线性趋势变化、MK 突变检验以及小波分析

5.3 东部区

图 9 为东部区的降水特征。由图 9(a)看出,该区域雨季降水具有减小的趋势,年代际变率为 $-16.972\text{ mm}/10\text{a}$ 。20 世纪 60 年初期到 70 年代初雨季降水量有显著减少的趋势,20 世纪 70 年代到 2010 年左右,降水量呈波动减少趋势。雨季降水量的最小值出现在 1970 年左右,最大值出现在 1960 年左右。该地区雨

季降水在 1972 年,1986–1988 年发生突变。且 1972 年位于显著性水平线外,说明 1972 年为显著突变年份。由图 9(c)可以看出,该地区分别存在准 5 a、准 10 a 的变化周期。5 a 以下的周期,并不明显。5~10 a,从 20 世纪 60 代到 21 世纪初一直存在,全年的降水出现了显著的丰水/枯水的交替,具有全域性的特点。从较长时间尺度来看:从 20 世纪 60 年代到 21 世纪 2010 年左右经历了多-少-多的交替循环。



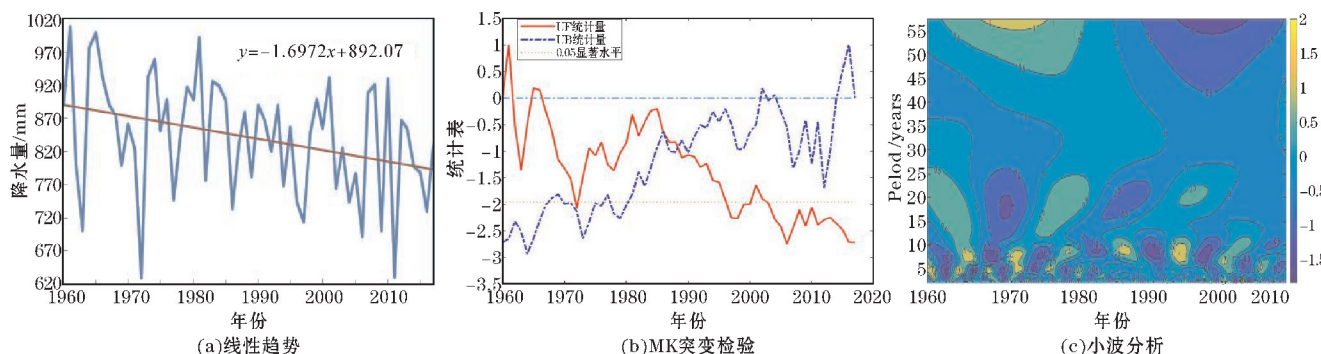


图9 东部区的线性趋势图、MK 突变检验图以及小波分析

## 6 结论

(1)近 60 a 来,西南地区雨季降水年代际变率为  $-9.865 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,呈负趋势。西南地区雨季降水高值区有 3 个,各自位于四川中部峨眉山地区以及云南西部和南部,中心值超过  $1000 \text{ mm}$ ,并且在高值区降水梯度也较大。而川西高原雨季降水量相对较少,年平均雨季降水量不足  $500 \text{ mm}$ ,且分区分布较均匀。西南雨季降水量自东南向西北大体呈减小趋势。西南地区雨季降水的年代际变率大体由南到北呈先减少再增加趋势,其中川西北高原雨季降水较其他区域降水不稳定。

(2)雨季降水量 EOF 分析表明:第 1 模态显示西南雨季降水为全区一致型,第 2 模态显示西南雨季降水西南到东北呈“负-正-负”的分布类型,第 3 模态显示西南地区雨季降水除云南省外由东到西为“负-正-负”的分布类型,而第 4 模态显示西南地区雨季降水在西北-东南呈反位相变化。

(3)雨季降水量 REOF 分析表明:根据前 4 个模态的高载荷区及西南地区地形、海拔等因素,把西南地区分成 3 个区域,1 区为川西高原地区,2 区为云南区以及 3 区为东部区,三区的雨季降水量均呈下降的趋势。

(4)西南地区三个区域雨季降水量均存在显著的周期变化特征。其中:川西高原区主要存在准 5 a 周期、准 10 a 周期以及准 30 a 周期;云南区存在准 5 a、准 10 a、准 20 a 的降水周期;东部区主要存在准 5 a 和准 10 a 的变化周期。由此可知,三个分区均存在准 5 a 和准 10 a 的共同主周期。

## 参考文献:

[1] IPCC. Global Warming of  $1.5^{\circ}\text{C}$  [R]. 2018.  
[2] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press,

2013:624-625.

- [3] 张武龙,张井勇,范广洲.我国西南地区干湿季降水主模态分析[J].大气科学,2014,38(3):590-602.
- [4] 齐冬梅,李跃清.高原季风研究主要进展及其科学意义[J].干旱气象,2007,25(4):74-79.
- [5] 中国气象局.中华人民共和国气象行业标准《气候季节划分》(QX/T 396-2017)[S].北京:气象出版社,2017.
- [6] 董谢琼,段旭.西南地区降水量的气候特征及变化趋势[J].气象科学,1998(3):239-247.
- [7] 晏红明,王灵.西北太平洋副高东西变动与西南地区降水的关系[J].应用气象学报,2019,30(3):360-375.
- [8] 范思睿,王维佳,刘东升,等.基于再分析资料的西南区域近 50a 空中水资源的气候特征.暴雨灾害[J],2014,33(1):65-72.
- [9] 栗运,毛文书,张禄英,等.西南地区近 60 年夏季降水的区域特征[J].成都信息工程大学学报,2020,35(5):560-565.
- [10] 李永华,徐海明,白莹莹,等.我国西南地区东部夏季降水的时空特征[J].高原气象,2010,29(2):523-530.
- [11] Jiang X W, Li Y Q. Spatio-temporal variability of winter temperature and precipitation in Southwest China [J]. Journal of Geographical Science, 2011,21(2):250-262.
- [12] 贾孜拉.拜山,李维京,等.1961-2014 年我国西南地区干湿季变化特征[J].气候变化研究进展,2017,13(2):103-116.
- [13] 张家诚,林之光.中国气候[M].上海:科学技术出版社,1985:522-530.
- [14] 张家诚.中国气候总论[M].北京:气象出版社,1991:125-130.

- [15] 晏红明,李清泉,孙承虎,等. 中国西南区域雨季开始和结束日期划分标准的研究[J]. 大气科学,2013,37(5):1111-1128.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:131-136.
- [17] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检验方法[J]. 大气科学,1992,16(4):483-493.
- [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:63-66.
- [19] 尤卫红,段旭,杞明辉. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用[J]. 高原气象,1999,18(1):47-54.
- [20] 刘德,李永华,何卷雄. 重庆市夏季气温及降水变化的小波分析[J]. 高原气象,2003,22(2):173-178.
- [21] 谢庄,曹鸿兴,李慧,等. 近百余年北京气候变化的小波特征[J]. 气象学报,2000,58(3):362-369.
- [22] 王颖,李栋梁. 变暖背景下青藏高原夏季风变异及其对中国西南气候的影响[J]. 气象学报,2015,73(5):911-924.
- [23] 代冰冰,高云峰,刘遼,等. 云南雨季开始期的特征以及与南海季风和印度季风开始期的可能关系[J]. 云南地理环境研究,2013,25(5):85-89.
- [24] 李永华,青吉铭,李强,等. 西南地区东部夏季旱涝的西太平洋副高特征[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):106-116.
- [25] 徐静. 浅析中国西南地区近50年夏季降水的气候特征[J]. 农家参谋,2019(4):151.

## Characteristics of Rainy Season Precipitation in Southwest China in Recent 60 Years

GAO Huanxin<sup>1</sup>, MAO Wenshu<sup>1</sup>, SHI Chunxiang<sup>2</sup>, SU Yun<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, CUIT, Chengdu 610225, China; 2. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to better analyze the spatial and temporal variation characteristics of rainy season precipitation in Southwest China in the past 60 years, the daily precipitation data of 81 meteorological stations in Southwest China during 1960–2017 were used. The main methods used are linear trend estimation, Mann-Kendall mutation test, Morlet wavelet analysis, empirical orthogonal function decomposition (EOF), and rotational empirical orthogonal function decomposition (REOF). The results show that in the past 60 years, the precipitation of the rainy season in Southwest China is generally decreasing, and the spatial distribution is generally decreasing from southeast to northwest. The interdecadal variability is  $-9.865 \text{ mm}/10 \text{ a}$ , and the spatial distribution decreases first and then increases from south to north. The EOF analysis of rainy season precipitation shows that: the first model shows that the precipitation of the rainy season in Southwest China is the same phase change throughout the whole region. The second model presents a “negative-positive-negative” distribution from southwest to northeast. The third model shows a “negation-positive-negative” distribution pattern from east to west except for Yunnan Province. The fourth mode shows an inverse phase change from northwest to southeast. By using the REOF method, the rainy season precipitation in Southwest China can be divided into three regions: the first region is West Sichuan Plateau; the second region is Yunnan Region; The third region mainly includes the north-eastern part of Sichuan, the southern part of Chongqing and the western part of Guizhou (hereinafter referred to as the eastern part). The rainy season precipitation in the three regions showed a decreasing trend, 1972 was a significant abrupt change year of the rainy season precipitation, and there was a significant period of quasi-5 a and quasi-10 a.

**Keywords:** meteorology; rainy season precipitation; Southwest China; REOF; the wavelet analysis