

基于 MTM-SVD 方法的攀西秋雨变化规律分析

王春学^{1,2}, 马振峰², 毛家勋³

(1. 四川省气候中心, 四川 成都 610072; 2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072; 3. 四川省攀枝花市气象局, 四川 攀枝花 617000)

摘要: [目的] 研究四川省攀枝花市和凉山州(以下简称攀西地区)秋雨时空变化规律, 为攀西秋雨气候预测和防灾减灾提供科学依据。[方法] 利用 1961—2017 年攀西地区 18 个气象站逐日降水量资料, 采用 MTM-SVD 等方法分析攀西秋雨的时空变化规律。[结果] ①攀西秋雨 EOF 展开第一模态为全区一致变化型, 方差贡献率达 46.1%, 为攀西秋雨主模态, 滑动 t 检验显示攀西秋雨主模态在 1995 年前后出现过一次显著突变。②1961—2017 年攀西秋雨有显著的 3.2 a 周期, 滑动窗口分析显示 1995 年之前攀西秋雨的准 3 a 周期非常明显, 之后突然消失, 转变为显著的准 2 a 周期。③以 1995 年为节点分段研究, 1961—1994 年攀西秋雨 3.4 a 周期达到了 99% 的置信度水平, 3.0 a 周期达到了 95% 的置信度水平。攀西秋雨准 3 a 周期典型循环重建表明, 第 1 a 攀西地区整体都为正异常, 第 2 a 正异常强度迅速减弱, 大部分转变为负异常, 第 3 a 攀西大部的负异常强度有所增加, 即 1995 年之前攀西秋雨主要表现为“偏强—偏弱—偏弱”的年内变化过程。④1995—2017 年攀西秋雨 2 a 周期达到了 99% 的置信度水平。准 2 a 周期典型循环重建表明, 第 1 a 攀西秋雨为全区一致的正异常, 第 2 a 异常情况与第 1 a 完全相反, 即 1995 年之后攀西秋雨主要表现为强弱交替的异常演变。[结论] 攀西秋雨在 1995 年前后出现气候突变, 1961—1994 年主要表现为准 3 a 周期振荡, 1995—2017 年则以准 2 a 周期为主。

关键词: 攀西; 秋雨; MTM-SVD

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)04-0168-06

中图分类号: P466

文献参数: 王春学, 马振峰, 毛家勋. 基于 MTM-SVD 方法的攀西秋雨变化规律分析[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 168-173. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.028. Wang Chunxue, Ma Zhenfeng, Mao Jiayun. Spatio-temporal variation feature of autumn rain in Panxi region based on MTM-SVD method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 168-173.

Spatio-temporal Variation Feature of Autumn Rain in Panxi Region Based on MTM-SVD Method

WANG Chunxue^{1,2}, MA Zhenfeng², MAO Jiayun³

(1. Sichuan Provincial Climate Center, Chengdu, Sichuan 610072, China; 2. Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu,

Sichuan 610072, China; 3. Panzhihua Meteorological Office of Sichuan Province, Panzhihua, Sichuan 617000, China)

Abstract: [Objective] Studying the spatial and temporal variations of autumn rain in Panxi region (Panzhihua City and Liangshan Prefecture) during 1961—2017, to provide bases for autumn rain prediction and preparedness against consequent disaster. [Methods] Based on the daily precipitation data from 18 meteorology stations in Panxi region during 1961—2017 and the multi taper method-singular value decomposition (MTM-SVD), the spatial and temporal variations of the autumn rain were analyzed. [Results] ① The first mode of EOF expansion in the autumn rain was accordant all over the area and the contribution rate of variance was 46.1%, which is the main mode of the autumn rain. The sliding t test showed that the main mode of the autumn rain had a significant sharp change around 1995. ② MTM-SVD analysis showed that the autumn rain had a significant 3.2 year period in 1961—2017. The slip window analysis showed that before 1995, the quasi 3 year cycle of

收稿日期: 2018-01-25

修回日期: 2018-02-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“华西秋雨年内变化规律及其形成机理研究”(41275097); 攀枝花市科技项目(2014CY-N-14)

第一作者: 王春学(1985—), 男(汉族), 黑龙江省齐齐哈尔市人, 硕士, 工程师, 主要从事短期气候诊断与预测工作。E-mail: wangchunxue2009@163.com。

the autumn rain was very obvious, and the latter period suddenly disappeared, which turned into a significant quasi 2 year cycle. ③ The 3.4 year cycle of autumn rain in 1961—1994 reached a level of 99% confidence, and the 3 year cycle reached a level of 95% confidence. The typical cycle reconstruction of the quasi 3 year showed that before 1995, the autumn rain was mainly characterized by the inter-annual change of “more-less-less”. ④ The 2 year cycle of autumn rain in 1995—2017 years reached a level of 99% confidence. The typical cycle reconstruction of the quasi 2 year showed that after 1995, the autumn rain main manifested an abnormal evolution of the alternation of strong and weak. [Conclusion] The autumn rain in Panxi region had an abrupt climate change before and after 1995. It was mainly quasi 3 year periodic oscillation before 1995, and then was replaced by quasi 2 year cycle.

Keywords: Panxi region; autumn rain; MTM-SVD

华西秋雨是中国西部地区秋季多雨的一种特殊天气现象,主要出现在渭水流域、汉水流域、川东、川南东等地^[1]。高由禧等^[2]指出最标准的秋雨出现在四川盆地东部,青藏高原东部的松潘、康定和西昌等地,以及贵阳附近。梁健洪^[3]指出,陕南和川北是典型秋雨区,以此为中心向四周扩展为准典型秋雨区和一般秋雨区。而罗霄等^[4]的研究表明华西秋雨有 2 个大值中心,北部中心位于陕南到川东北地区,南部中心位于四川南部至云南中西部,并且 2 个大值中心变化并不一致。张顺谦等^[5]的研究也发现西南地区秋雨 REOF 展开第一模态大值中心在四川盆地东部,而第 4 模态的大值中心则出现在攀西(攀枝花市和凉山州)地区附近。攀西地区 9—10 月仍处在雨季^[6],攀西东北部秋绵雨频率达 90% 以上,中部和南部一般在 70%~80% 左右^[7]。近 50 a 攀西地区暴雨日数增多、强度增强^[8],王佳津等^[9]的研究也表明攀西地区 5—10 月持续性暴雨发生频次达 1~3 次,其中 10 月攀西地区是持续性暴雨发生相对集中期。1961—2009 年攀西秋雨有逐渐增加的趋势^[5],而 2010 年以来的 8 a 中攀西秋雨有 6 a 偏多,其中 2016 年 9 月 18—19 日攀西出现秋雨天气过程,并引发山洪泥石流等灾害,造成 4 万多人受灾,经济损失近 7 000 万元^[10]。从前人研究成果可以注意到,攀西秋雨是华西秋雨的一部分,并且有其独特的变化特征,但是由于相对陕南到川北的典型华西秋雨偏弱,所以相关研究较少。本文将从攀西秋雨的空间分布、趋势、突变等方面分析攀西秋雨的变化事实,并利用 MTM-SVD 方法重点研究其年际周期变化规律。对攀西秋雨时空变化特征的研究一方面可以丰富华西秋雨的内容,增强华西秋雨认识;另一方面掌握攀西秋雨变化规律有助于提高攀西秋雨预测水平和增强气象防灾减灾能力。

1 资料和方法

1.1 数据资料

采用的资料为攀西地区 18 个气象台站 1961—

2017 年 9—10 月的逐日降水量资料。

1.2 分析方法

(1) 采用罗霄等定义的秋雨指数,即 9—10 月降水量占全年降水量百分比与 9—10 月降水日数占全年降水日数百分比之和。

$$I_{AR} = (9+10) \text{月降水量} / \text{全年降水量} + (9+10) \text{月降水日数} / \text{全年降水日数}$$

(2) MTM-SVD 方法是由 Mann 和 Park^[11]提出的一种多变量频域分解技术。这是一种将谱分析的多锥度方法(multi-taper method, MTM)和变量场的奇异值分解(singular value decomposition, SVD)方法结合在一起的气候信号检测技术,详细内容参阅相关文献^[12-13]。近年来 MTM-SVD 被广泛使用在气象科研领域中^[14-17]。

2 结果与分析

2.1 主模态分析

对 1961—2017 年攀西地区逐年秋雨指数进行 EOF 分析,前 3 个模态通过了显著性检验,累积方差贡献率达 70.6%,其中第一模态方差贡献率达 46.1%,为攀西秋雨年际变化主模态(表 1)。图 1 给出了第一模态空间分布及其对应的时间系数,可以看到第一模态为全区一致变化分布型,大值中心出现在西昌、德昌、昭觉和普格附近,对比时间系数可知,全区一致型存在显著的年际、年代际波动,但没有明显的变化趋势,其中 1960—1990 年以偏强为主,1991—2017 年以偏弱为主,但是有逐渐增强的趋势。

表 1 1961—2017 年攀西秋雨 EOF 分析
前 3 个模态的方差贡献率 %

模态序号	方差贡献率	累积方差贡献率
1	46.1	46.1
2	15.7	61.8
3	8.8	70.6

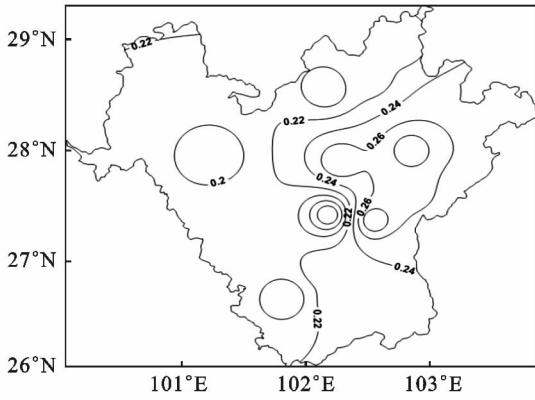
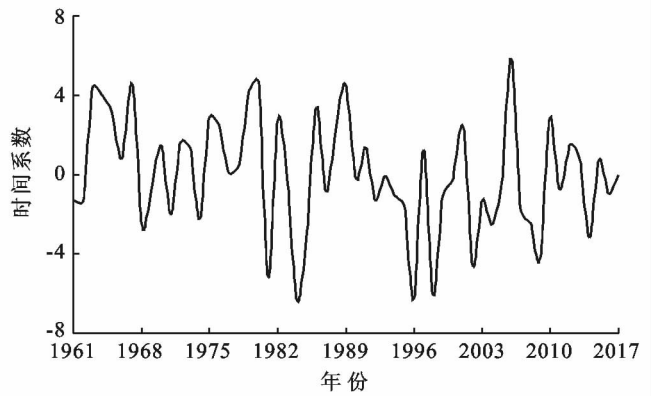
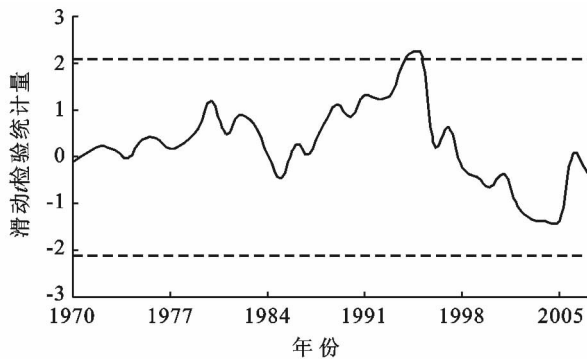


图 1 1961—2017 年攀西秋雨 EOF 分析第一模态及其对应的时间系数



2.2 突变检验

上文分析表明攀西秋雨主模态在 1990 年代初存在年代际差异,为了检验该差异是否显著,这里使用滑动 t 检验对第一模态时间系数进行突变分析,为了滤除年际变化信号,滑动时间窗口选为 20 a。从图 2 可以看出,1995 年的 t 统计量超过 0.05 的显著性水平(为正值),说明攀西秋雨在 1995 年前后出现过一次显著的突变,即由全区一致偏多转变为全区一致偏少。



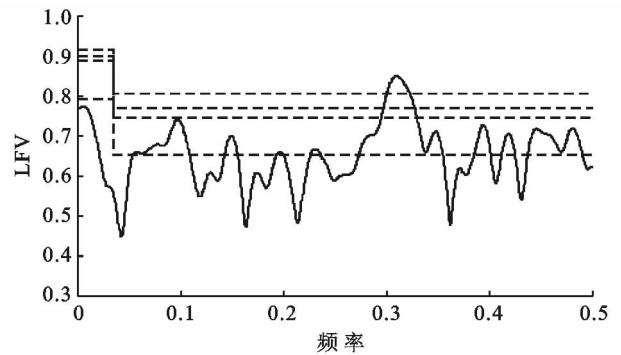
注:虚线为 $\alpha=0.05$ 显著性。

图 2 攀西秋雨 TCI 滑动 t 统计量曲线

2.3 周期特征分析

2.3.1 1961—2017 年周期特征 用 MTM-SVD 方法分析 1961—2017 年攀西秋雨的周期特征,图 3 给出了 LfV 谱分析结果,横坐标为频率(倒数为周期),可以看到在年际尺度上,3.2 a 周期通过了 99% 置信度检验;年代际尺度上有 11 a 左右的峰值,但是没有达到一定的置信度水平。为了研究攀西秋雨周期特征随时间的变化,进行了 20 a 滑动窗口的 LfV 谱分析,由于进行了 20 a 滑动,两端各缺少了 10 a 的信息。20 a 滑动 LfV 谱分析(图略)表明,攀西秋雨的准 3 a 周期在 1975—1995 年之间非常明显,1995 年之后准 3 a 周期突然消失,准 2 a 周期有所显现,说明

攀西秋雨的周期特征具有年代际变化,这可能与攀西秋雨主模态 1995 年前后的气候突变有关。张顺谦等^[5]发现 1961—2009 年攀西地区的秋雨存在 2~3 a 周期,罗霄等^[4]的研究也表明 1990 年代初到 21 世纪初华西秋雨存在准 2 a 周期,同时 5~8 a 周期也非常显著,而王春学等^[18]和蒋竹将等^[19]则发现华西秋雨北部地区 4~8 周期最为明显,说明华西秋雨南部和北部地区年际波动存在差异,而南部地区 2~3 a 周期最为明显,并且存在年代际变化,所以有必要对攀西秋雨的周期特征进行分阶段研究,这里以 1995 年为界分为 1961—1994 和 1995—2017 年 2 个阶段。



注:虚线表示蒙特卡洛置信度水平。下同。

图 3 1961—2017 年攀西秋雨 LfV 谱分析

2.3.2 分段周期特征 图 4 给出了 1961—1994 年攀西秋雨 LfV 谱分析结果,可以看到年际尺度上 3.4 a 周期通过了 99% 的置信度检验,3.0 a 周期通过了 95% 的置信度检验;年代际尺度上 8.6 a 周期也通过了 95% 的置信度检验。对比上文可知,1961—1994 年攀西秋雨的准 3 a 周期仍然存在,并形成准 3 a 周期带,出现两个峰值,而且都达到了较高的显著性水平,这与滑动窗口分析结果一致,说明 1995 年之前攀西秋雨准 3 a 周期最为显著。

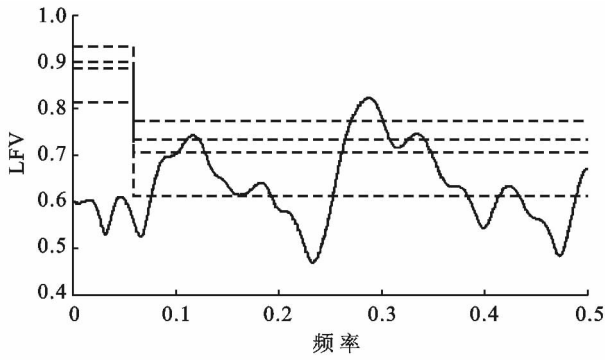


图 4 1961—1994 年攀西秋雨 LFM 谱分析

用 MTM-SVD 方法对攀西秋雨在准 3 a 周期上进行典型循环重建,图 5 给出了典型循环的时空变化过程。第 1 a 时,整个攀西地区为正异常,并形成以西昌、木里、德昌为中心的异常大值区,即第 1 a,攀西

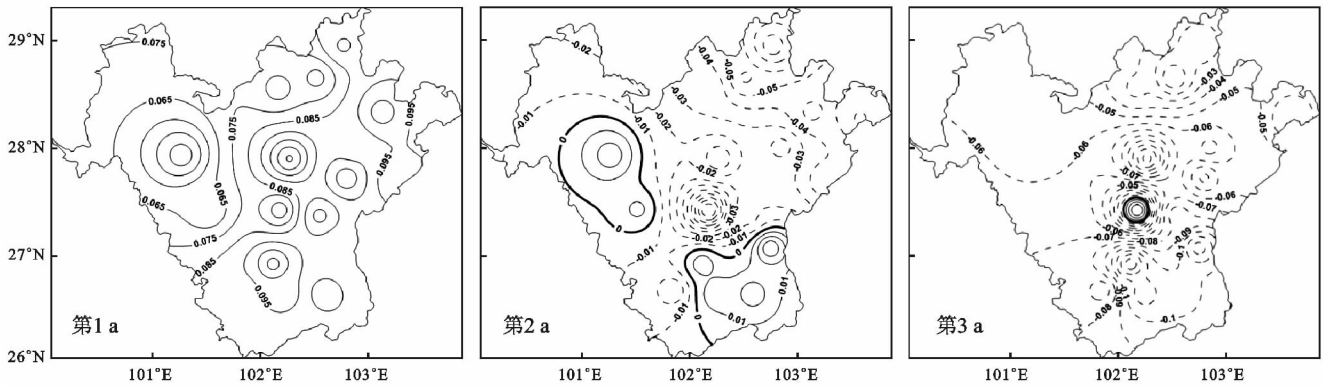


图 5 1961—1994 年攀西秋雨准 3 a 周期典型循环重建

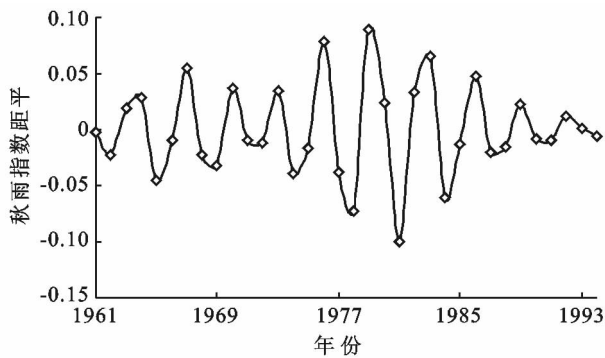


图 6 1961—1994 攀西秋雨代表站(西昌站)在准 3 a 周期上的时间重建(距平值)

高原季风与海陆季风的不同步转变是华西秋雨形成的主要原因^[2],高原夏季风偏强(弱)时,高原东侧低压系统活跃(不活跃),同时有利于(不利于)副热带西风南撤,华西秋雨强(弱)^[20-21]。研究表明 1961—1995 年高原夏季风主周期为 3~4 a,季风强度增强趋势明显^[22],所以攀西秋雨 1961—1994 年的显著准 3 a 周期很可能是高原夏季风年际周期波动的结果。

秋雨表现为全区一致偏强;第 2 a 时,正异常强度减弱,范围缩小,仅在木里、会东地区附近出现正异常,其余大部以负异常为主,在德昌附近出现负异常大值中心,即第 2 a,攀西秋雨总体偏弱;第 3 a 时,攀西大部地区为负异常,在西昌附近出现负异常大值中心,即第 3 a 攀西秋雨整体偏弱;第 4 a 时,又恢复到第 1 a 的情况,攀西秋雨偏强(图略),开始下一个准 3 a 周期循环。分析表明攀西秋雨的准 3 a 周期循环,主要表现了攀西秋雨“偏强—偏弱—偏弱”的年际变化过程。

接下来选取了攀西秋雨异常大值中心代表站(西昌站)在准 3 a 周期上进行时间重建,进一步分析准 3 a 周期的时间变化特征。从图 6 中可以发现,西昌站准 3 a 周期在 1961—1994 年一直存在,并且基本都表现出“偏强—偏弱—偏弱”的演变过程,其中 1970 年代中期到 1980 年代中期最为明显。

图 7 给出了 1995—2017 年攀西秋雨 LFM 谱分析结果,可以看到年际尺度上 2 a 周期通过了 99% 的置信度检验;年代际尺度上无显著周期。对比可知,1995—2017 年攀西秋雨的准 3 a 周期已经消失,而被准 2 a 周期取而代之,这与滑动窗口分析结果一致,即 1995 年前后的攀西秋雨主模态的突变很可能是造成攀西秋雨周期特征转变的原因。

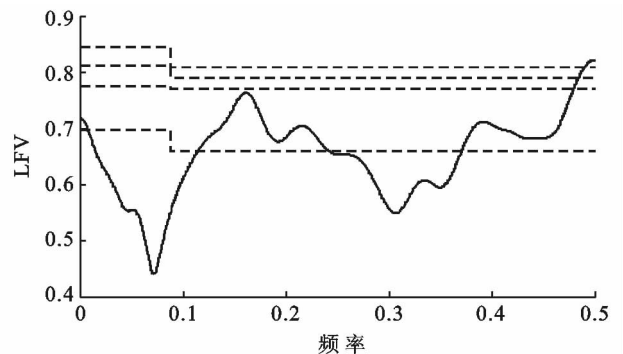


图 7 1995—2017 年攀西秋雨 LFM 谱分析

图 8 给出了攀西秋雨准 2 a 周期的典型循环过程,第 1 a 时,整个攀西地区为正异常,并形成以西昌、盐源、德昌为中心的异常大值区,即第 1 a,攀西秋雨表现为全区一致偏强;第 2 a 时,攀西秋雨异常情况与第 1 a

完全相反,即第 2 a,攀西秋雨偏弱;第 3 a 时,又恢复到第 1 a 的情况,攀西秋雨偏强(图略),开始下一个准 2 a 周期循环。分析表明攀西秋雨的准 2 a 周期循环,主要表现了攀西秋雨强弱交替的年际异常变化过程。

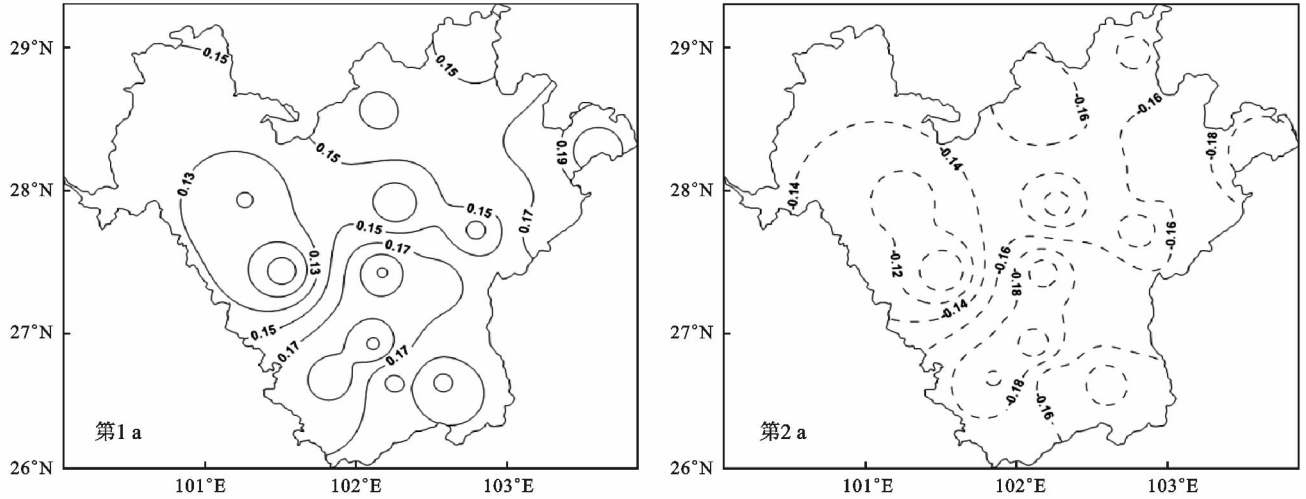


图 8 1995—2017 年攀西秋雨准 2 a 周期典型循环重建

同样选取了异常大值中心代表站(西昌站)在准 2 a 周期上进行时间重建,进一步分析准 2 a 周期的时间变化特征。从图 9 可以发现,西昌准 2 a 周期在 1995—2017 年一直存在,基本都表现出强弱异常交替演变的循环过程,其中 1995—2001 年最为明显,2006—2010 年次之。东亚季风和南亚季风都具有显著的准 2 a 周期,其中西南季风的强弱直接影响华西秋雨的多寡,1960 年代开始亚洲季风出现逐渐减弱的变化趋势^[23-25],但研究表明从 2000 年开始亚洲东南季风和西南季风频率都有显著的上升趋势^[26],1990 年代中后期攀西秋雨的准 2 a 振荡可能是亚洲海陆季风系统的年际波动所致。

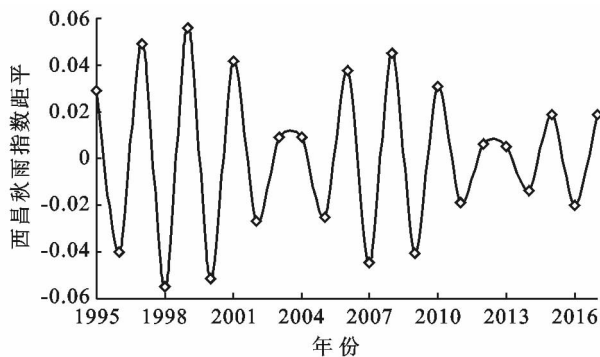


图 9 1995—2017 年攀西秋雨代表站(西昌站)在准 2 a 周期上的时间重建(距平值)

态为全区一致变化型,方差贡献率达 46.1%,为攀西秋雨主模态,1960—1990 年以偏强为主,1991—2017 年以偏弱为主,但是有逐渐增强的趋势。滑动 t 检验表明攀西秋雨全区一致型在 1995 年前后出现过一次显著突变,由全区一致偏多转变为全区一致偏少。

(2) MTM-SVD 方法分析表明,1961—2017 年攀西秋雨年际尺度上的 3.2 a 周期通过了 99% 置信度检验,20 a 滑动窗口分析显示,攀西秋雨的准 3 a 周期在 1975—1995 年非常明显,1995 年之后准 3 a 周期突然消失,准 2 a 周期有所显现,这可能与攀西秋雨主模态 1995 年前后的气候突变有关。

(3) 1961—1994 年攀西秋雨 3.4 a 周期通过了 99% 的置信度检验,3.0 a 周期通过了 95% 的置信度检验,这与滑动窗口分析结果一致,说明 1995 年之前攀西秋雨准 3 a 周期最为显著。攀西秋雨准 3 a 周期典型循环重建表明,第 1 a 整个攀西地区为正异常,并形成以西昌、木里、德昌为中心的异常大值区,第 2 a 正异常强度减弱,范围缩小,仅在木里、会东地区附近出现正异常,其余大部以负异常为主,在德昌附近出现负异常大值中心,第 3 a 攀西大部地区为负异常,在西昌附近出现负异常大值中心。选取异常大值中心西昌站在准 3 a 周期上进行时间重建,发现准 3 a 周期在 1961—1994 年一直存在,其中 1970 年代中期到 1980 年代中期最为明显。

(4) 1995—2017 年攀西秋雨 2 a 周期通过了 99% 的置信度检验,这与滑动窗口分析结果一致。攀

3 结论与讨论

(1) 1961—2017 年攀西秋雨 EOF 展开的第一模

西秋雨准 2 a 周期的典型循环表现为,第 1 a 整个攀西地区为正异常,并形成以西昌、盐源、德昌为中心的异常大值区;第 2 a 异常情况与第 1 a 完全相反。同样选取了异常大值中心西昌站在准 2 a 周期上进行时间重建,发现准 2 a 周期在 1995—2017 年一直存在,其中 1995—2001 年最为明显,2006—2010 年次之。

(5) 通过本文的研究发现,攀西秋雨有显著的年际周期波动,并且存在年代际变化特征,1995 年以前准 3 a 周期最明显,之后准 2 a 周期占主导地位,即在攀西秋雨年际预测当中,不但要掌握其年际周期规律,还要了解其显著年代背景,这样将其年际和年代际波动规律相结合,有助于提高攀西秋雨的气候预测水平。

(6) 华西秋雨的产生与地形有很大关系,这可能是北方冷空气或寒潮活动的结果^[27],也可能与高原上空冷空气平流到四川盆地造成的热力不稳定有关^[28],高原和盆地区的秋雨特征也有较大差异,高原雨量多盆地雨日多^[2],而攀西地区介于二者之间,存在典型的地形夜雨现象^[29-30],地形影响和季风环流系统同样都很重要,值得深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 白虎志,董文杰. 华西秋雨的气候特征及成因分析[J]. 高原气象,2004,23(6):884-889.

[2] 高由禧,郭其蕴. 我国的秋雨现象[J]. 气象学报,1958(4):42-51.

[3] 梁健洪. 华西秋雨的时空分布[J]. 地理科学,1989,9(1):51-59.

[4] 罗霄,李栋梁,王慧. 华西秋雨演变的新特征及其对大气环流的相应[J]. 高原气象,2013,32(4):1019-1031.

[5] 张顺谦,马振峰,陈文秀,等. 西南地区秋绵雨变化趋势与周期性特征的区域差异[J]. 自然资源学报,2014,29(2):275-284.

[6] 刘庆,张顺谦,邓彪,等. DB51/T1328-2011 川西北高原与川西南山地雨季指标[S]. 四川省质量技术监督局,2012:1-3.

[7] 温克刚,詹兆渝. 中国气象灾害大典:四川卷[M]. 北京:气象出版社,2006:288-358.

[8] 周长艳,岑思弦,李跃清,等. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响[J]. 地理学报,2011,66(5):619-630.

[9] 王佳津,陈朝平,刘莹,等. 四川省持续性暴雨定义及时空分布特征[J]. 气象科技,2017,45(2):331-341.

[10] 陈艳艳,王学成,唐秀兰. 攀枝花发生特大泥石流灾害[J]. 通信与信息技术,2016(5):33-33.

[11] Mann M E, Park J. Global-scale modes of surface temperature variability on interannual to century timescales [J]. Journal of Geophysical Research-Allseries, 1994, 99(12):25.

[12] Mann M E, Park J. Joint spatiotemporal modes of surface temperature and sea level pressure variability in the Northern Hemisphere during the last century[J]. Journal of Climate, 1996,9(9):2137-2162.

[13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京:气象出版社,2007.

[14] Han Xue, Wei Fengying, Tourre Y M, et al. Spatiotemporal variability of northern hemispheric sea level pressure (SLP) and precipitation over the mid-to-low reaches of the Yangtze River[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2008,25(3):458-466.

[15] Apipattanavis S, Mccabe G J, Rajagopalan B, et al. Joint spatiotemporal variability of global sea surface temperatures and global palmer drought severity index values. [J]. Journal of Climate, 2009, 22(23):6251-6267.

[16] 王春学,李栋梁. 基于 MTM-SVD 方法的黄河流域夏季降水年际变化及其主要影响因子分析[J]. 大气科学, 2012,36(4):823-834.

[17] 王春学,马振峰,王佳津,等. 华西秋雨准 4 a 周期特征及其与赤道太平洋海表温度的关系[J]. 大气科学, 2015,39(3):643-652.

[18] 王春学,马振峰,邵鹏程,等. 我国华西秋雨的气候变化规律及其影响因子[J]. 干旱区研究,2015,32(6):1113-1121.

[19] 蒋竹将,马振峰,刘佳,等. 一种改进的华西秋雨指数及其气候特征[J]. 大气科学,2014,38(1):32-44.

[20] 汤懋苍,梁娟,邵明镜,等. 高原季风年际变化的初步分析[J]. 高原气象,1984,3(3):76-82.

[21] 方韵,范广洲,赖欣,等. 青藏高原季风强弱与北半球西风带位置变化的关系[J]. 高原气象,2016,35(6):1419-1429.

[22] 董安祥,李栋梁,白虎志,等. 青藏高原季风的气候振荡和预测试验[J]. 甘肃科学学报,2000,12(4):22-28.

[23] 郑彬,李春晖,林爱兰,等. 亚太季风各子系统的准两年变化特征及其比较[J]. 热带气象学报,2009,25(1):13-21.

[24] 刘芸芸,丁一汇. 亚洲—太平洋夏季风系统的基本模态特征分析[J]. 大气科学,2012,36(4):673-685.

[25] 陈少勇,林纾,郭凯忠. 中国西部 9 月降水与东亚 700 hPa 风场的关系[J]. 高原气象,2010,29(6):1501-1506.

[26] 程龙,刘海文,周天军,等. 近 30 余年来盛夏东亚东南季风和西南季风频率的年代际变化及其与青藏高原积雪的关系[J]. 大气科学,2013,37(6):1326-1336.

[27] 张宝瑩. 四川气候区域[J]. 气象学报,1941,15(Z1):111-144.

[28] 吕炯. 巴山夜雨[J]. 气象学报,1942,16(Z1):36-53.

[29] 林之光. 我国的地形性夜雨[J]. 气象,1982,8(6):18-20.

[30] 胡迪,李跃清. 青藏高原东侧四川地区夜雨时空变化特征[J]. 大气科学,2015,39(1):161-179.