

# 近40 a西昌卫星发射中心雨季降水周期及突变特征分析

李刚<sup>1</sup>, 江晓华<sup>1</sup>, 杨查<sup>1</sup>, 白涛<sup>2</sup>

(1. 西昌卫星发射中心气象室, 四川 西昌 615000; 2. 94188部队气象中心, 西安 710077)

**摘要:**采用西昌卫星发射中心单站的月平均降水资料、Morlet小波分析和Mann-Kendall方法分析了西昌发射场区1974—2013年的降水周期及突变特征。结果表明:降水量在雨季, 8和9月呈现出显著的9~16的年代际周期, 但其年际周期偏弱。此外, 雨季, 6和7月存在突变现象, 但8和9月并不存在突变现象。

**关键词:**西昌卫星发射中心; 雨季; 降水周期; 降水突变目标; 气候变化

**中图分类号:** P426.61<sup>4</sup>    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1673-1891(2017)02-0060-04

## Wavelet and Abrupt Analysis of Rainfall Variability for Rain Season during 1974-2013 of Xichang Satellite Launch Center

LI Gang<sup>1</sup>, JIANG Xiao-hua<sup>1</sup>, YANG Cha<sup>1</sup>, BAI Tao<sup>2</sup>

(1. Xichang Satellite Launch Center, Xichang, Sichuan 615000, China;

2. No. 94188 Troops of PLA, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Characteristic of rainfall variability over Xichang Satellite Launch Center is analyzed based on monthly mean rainfall data from a single station during 1974–2013 using the Morlet wavelet analysis and Mann–Kendall analysis. The results reveal that rainfall in rainy season, August and September, shows significant periodicities of 9–16, while the interannual periodicities is weak. Besides, rainfall in rainy season, June and July, shows significant climate abrupt, while there is no climate abrupt in August and September.

**Keywords:** Xichang Satellite Launch Center; rainy season; precipitation cycle; sudden change of precipitation; climate variability

### 0 引言

西昌卫星发射中心是我国一所现代化航天发射场,它位于青藏高原东南部,该地区是我国地形最为复杂的地区之一,且夏季极易发生突发性极端天气,尤其是雷暴天气,这严重影响航天发射任务的正常进行<sup>[1-3]</sup>。2017年是实施“十三五”规划的重要一年,西昌卫星发射中心将承担大批次的航天器发射任务。为了给发射任务提供可靠的气象保障,西昌卫星发射中心气象部门有必要做好雨季的降水趋势预测,并制定相应的防灾、减灾对策。考虑到降水发生的机制极其复杂,且其自身规律多变,因此在对降水进行预测之前,有必要对西昌卫星发射中心的降水变化规律进行详细研究,这对于预测西昌卫星发射中心的降水变化具有十分重要的意义。

相关研究表明,不同地区的降水在一段时间内

具有相对确定的周期,这对降水趋势的准确预测极为重要。李永华等<sup>[4]</sup>的研究结果表明,我国西南地区东部夏季降水的年际及年代际变化特征均较明显,存在2~3 a的年际周期和15 a左右的年代际周期。周秀华等<sup>[5]</sup>的研究显示,我国西南地区夏、秋季降水均存在明显的年代际尺度周期,近年来西南地区连续干旱很可能是由夏季和秋季的年代际尺度周期负位相配合造成。张武龙等<sup>[6]</sup>指出西南地区干季(当年10月—次年4月)降水的第1模态存在准2年周期振荡的年际变化特征,第2模态存在2~3 a的变化周期,而雨季(5~9月)降水的第1模态存在较强的2~4 a周期,第2模态存在具有显著的准4年周期,第3模态则具有2~4 a的年际变化信号。此外,关于降水突变,徐栋夫等<sup>[7]</sup>指出西南地区秋季降水在上世纪90年代末期出现了偏干突变。张顾炜等<sup>[8]</sup>进一步指出西南秋季降水在1994年发生年代际突变,突变后降水明显偏少,而热带东印度洋—西

收稿日期:2017-01-01

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2013CB956203);国家自然科学基金项目(41475070; 41490642; 41575097)。

作者简介:李刚(1983—),男,山东即墨人,博士,工程师,研究方向:航天气象保障。

太平洋的海表温度年代际升高对西南秋季降水在1994年发生年代际突变有重要作用。以上研究对提高我国西南地区降水预测准确率的提高具有重大意义。

西昌卫星发射中心位于我国西南地区,降水季节差异大,干湿季转换明显。目前,对西昌卫星发射中心降水变化的研究已经取得了一定成果<sup>[9]</sup>,但是对降水周期及突变研究偏少。本文将重点研究西昌卫星发射中心降水的周期变化规律及其突变特征。

### 1 资料和方法

本文采用西昌发射场地气象观测站自1974年1月建站以来至2013年12月的月平均降水量观测资料,再由此产生年、雨季的降水量时间序列作为分析资料。

采用Morlet小波<sup>[10]</sup>分析方法研究场区降水的周期变化,使用Mann-Kendall方法<sup>[11]</sup>分析场区降水的突变特征。

### 2 结果分析

#### 2.1 降水气候特征分析

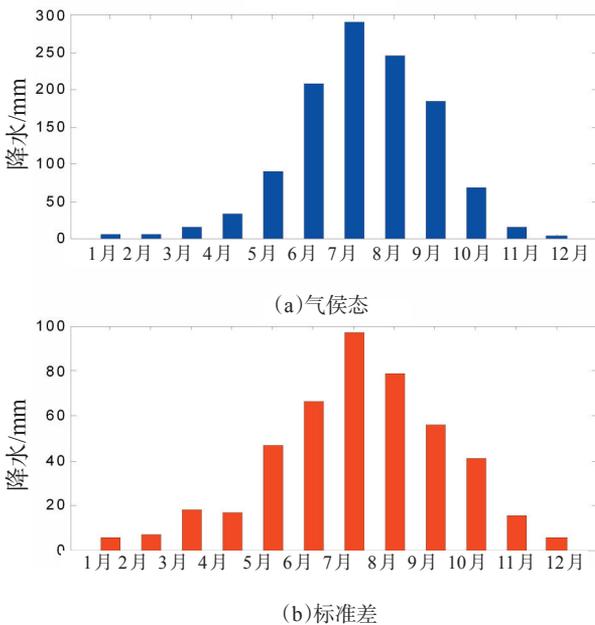


图1 1974—2013年月平均降水的气候态(a)和标准差(b)

图1给出了西昌卫星发射场1974—2013年月平均降水量的气候态(图1a)和标准差(图1b)的分布。从图1a中可看出,场区月平均降水量在气候态上总体呈现出先增加后减少的趋势。1—3月,降水量增加缓慢;4—7月,降水量显著增加;7—9月,降水量开始减少;9—11月,降水量显著减少,到12月

时,降水量降至最低。总体上看,6—9月的降水量均在180 mm以上,明显高于其他月份,场区降水量相对偏多,处于雨季;12月至次年3月的降水量基本在15 mm以下,场区降水量相对偏少,处于干季;4—5月和10—11月的降水量大致在15~100 mm之间,场区处于过渡季节。

标准差能够反映降水量的年际变化的强度。从标准差的变化趋势可以看出(图1b),1—7月,场区降水量标准差呈现增大的趋势,即降水的年际变化强度越来越大;7—12月,标准差呈现减小的趋势,说明降水的年际变化强度逐渐减小。标准差的变化趋势基本与气候态的趋势一致,反映出场区雨季降水量的年际变化强度最大,过渡季节的次之,而干季的最弱。

#### 2.2 降水周期分析

为了解近40 a场区雨季降水量异常的周期特征,图2给出了雨季及6—9月降水量异常的小波局地功率谱(左)和全局功率谱(右)。

左侧图中的粗黑线包围区域表示通过90%检验区域,色彩偏淡区域表示受边界影响显著的区域。右侧图中a线表示功率谱值,b线表示信度为90%的临界线。

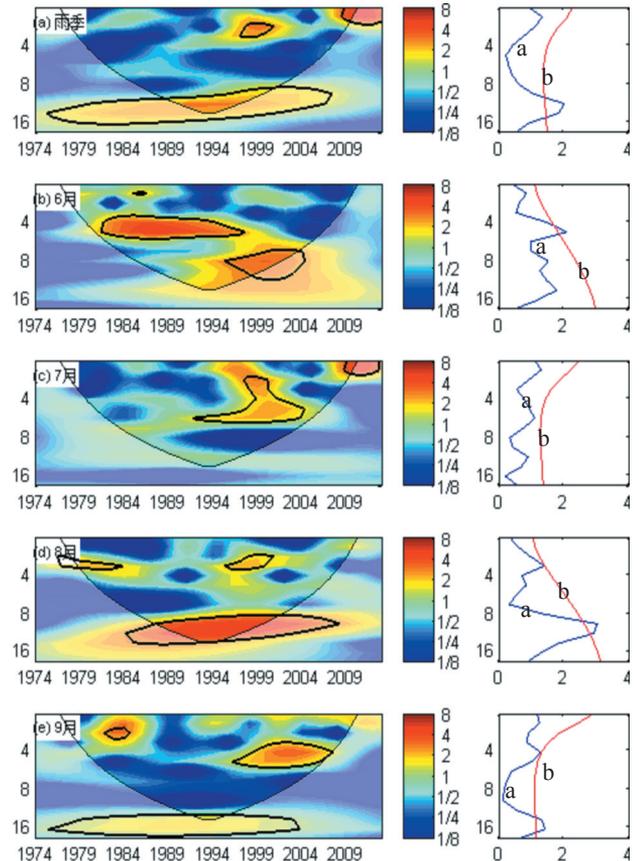


图2 1974—2013年雨季6—9月小波局地功率谱和全局功率谱

场区雨季降水量异常的小波局地功率谱表明(图2a),在年际尺度上,功率谱的大值主要集中在2~4 a,其中通过信度检验的谱主要分布在1999年前后和2008年之后,在年代际尺度上,功率谱的大值主要集中在9~16 a,通过信度检验的谱主要分布在1975—2006年和2000年代中期以后的时段。其全局功率谱表明,在年际尺度上,并无明显周期,但在年代际尺度上,存在显著的9~16 a周期。

对场区6月份的降水来说(图2b),在年际尺度上,功率谱的大值主要集中在4~6 a,其中通过信度检验的谱主要分布在1980—1995年,在年代际尺度上,功率谱的大值主要集中在8~12 a,通过90%信度检验的谱主要分布在1995—2004年。其全局功率谱表明,在年际尺度上,存在显著的4~6 a周期,但在年代际尺度上不存在显著周期。

到7月份(图2c),场区降水量在年际尺度上的功率谱大值主要集中在2~7 a,通过信度检验的谱主要分布在1992—2004年之间和2008年以后的时段,但在年代际时间尺度上并不存在显著的功率谱大值。从全局功率谱上可看出,7月份降水并不存在显著地年际和年代际周期。

8月份场区降水量异常的局地功率谱表明(图2d),年际尺度上的功率谱大值主要集中在3~4 a,通过信度检验的谱主要存在于1975—1984年和1996—2000年,年代际尺度上的功率谱大值主要集中在8~14 a,通过信度检验的谱主要存在于1985—2005年。全局功率谱表明,年际尺度上的3~4 a周期并不明显,而年代际尺度上的8~14 a周期是显著的。

9月份场区降水异常的局地功率谱表明(图2e),年际尺度上的功率谱大值主要集中在3~6 a,通过信度检验的谱主要存在于1984年前后和1995—2005年,而年代际尺度上的功率谱大值主要集中在11~16 a,通过信度检验的谱主要存在于1975—2004年。其全局功率谱表明,年际尺度上的3~6 a的周期不显著,而年代际尺度上的11~16年的周期是显著的

### 2.3 降水突变分析

图3给出的是近40 a场区雨季及其各月降水量Mann-Kendall统计曲线,c线表示显著性为95%的临界线,a线表示UF曲线,b线表示UB曲线。

图3 a给出的是场区雨季降水量的Mann-Kendall统计曲线。由UF曲线可知,1974—1982年场区雨季降水量有减少趋势,但未通过显著性检验;1982—1991年降水量有明显增加的趋势,

1990—1991年的UF值常规显著性95%的临界线,表明降水量增加趋势显著;在上世纪90年代,场区降水量有先减少后增加的趋势,但均未通过显著性检验;2000年之后,由UF曲线可知,场区雨季降水量并无明显变化。根据UF和UB曲线的交点位置,可以确定场区雨季降水量在1980年代前期的增加是一种突变,时间大致为1983—1984年。

a线表示UF曲线,b线表示UB曲线,c线表示置信水平为95%的临界线。

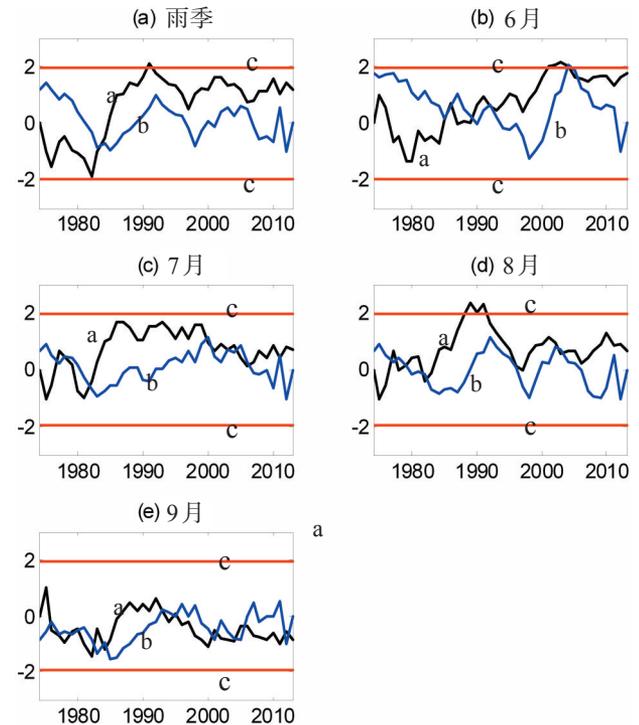


图3 1974—2013年发射场雨季6—9月Mann-Kendall曲线

图3b给出的是场区6月份降水量的Mann-Kendall统计曲线。由UF曲线可知,场区6月份降水量在1980年以前基本呈减少趋势,但不明显;从1980—2001年,场区降水量有明显增加的趋势,到2001—2003年UF值已经超过显著性95%的临界线,表明降水量增加趋势显著;2000年代中期以后,场区降水量并无明显变化。根据UF和UB曲线的交点位置,可以确定场区6月份降水量在上世纪80年代和90年代的增加是一种突变,时间大致为1990年前后。

从7月份降水量的UF曲线可看出(图3c),场区降水量在1980年之前呈现出先增加后减少的趋势,1980—1985年,场区降水量表现出一定的增加趋势,2000年以后场区降水量开始呈现出减少趋势,需要指出的是,以上变化趋势均未通过显著性检验,表明其变化趋势不明显。但根据UF和UB曲线

的交点位置,可以确定场区7月份降水量在1980—1985年的增加是一种突变,时间大致在1982年前后。

图3d给出的是场区8月份降水量的Mann-Kendall统计曲线。由UF曲线可知,场区8月份降水量在1982年以前并无显著变化;1982—1990年,场区降水量有明显增加趋势,到1990年左右年UF值已经超过显著性95%的临界线,表明降水量增加趋势显著;从上世纪90年代前期至后期,场区降水量表现出一定的减少趋势,但并不明显;2000年之后,场区降水量的变化趋势变得不明显。此外,UF和UB曲线在置信区间内并无明显的交点,可以确定场区8月份降水量不存在突变现象。

图3e给出的是场区9月份降水量的Mann-Kendall统计曲线。从图中可看出,UF曲线的变化始终在置信区间之内,表明近40 a来场区9月份降水量并无显著的变化。此外,UF和UB曲线在置信区间内并无明显的交点,可以确定场区9月份

降水量不存在突变现象。

### 3 结论

(1)近40 a来场区在雨季及其各月(6、7、8、9月)的最大降水量均是最小降水量的2倍以上,这表明场区降水量年际差异大,存在显著的年际变化特征。

(2)Morlet小波分析表明,近40 a来场区降水量在雨季、8和9月的年代际周期要比年际周期显著,其年代际周期为9~16 a,7月份的年代际周期最弱;此外,场区降水量的年际周期基本为2~7 a,而6和9月份的年际周期相对比较明显,均为4~7 a。

(3)Mann-Kendall统计检验结果表明,近40 a来场区在雨季、6、7和8月的降水量在上世纪80—90年代呈增加趋势,但7月份的增加趋势不显著;进入2000年代,场区的降水量的变化趋势不明显。此外,雨季、6和7月份存在突变现象,但8和9月并不存在突变现象。

#### 参考文献:

- [1] 江晓华,汪正林,党建涛,等. “北斗二号”导航卫星(GEO-2)发射短时气象保障[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2009, 23(3): 68-72.
- [2] 江晓华,党建涛,汪正林,等. 第九颗北斗导航卫星发射日强对流天气临近气象保障分析[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2011, 25(3): 44-47.
- [3] 江晓华,党建涛,李刚,等. 嫦娥五号飞行试验器发射日雷雨天气过程气象保障分析[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2015, 29(1): 28-31.
- [4] 李永华,卢楚翰,徐海明,等. 热带太平洋—印度洋海表温度变化及其对西南地区东部夏季旱涝的影响[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 145-156.
- [5] 周秀华,肖子牛. 我国西南周边地区夏秋季节降水变化及相应环流特征分析[J]. 大气科学, 2015, 39(4): 653-666.
- [6] 张武龙,张井勇,范广洲. 我国西南地区干湿季降水的主模态分析[J]. 大气科学, 2014, 38(3): 590-602.
- [7] 徐栋夫,李栋梁,曲巧娜,等. 西南地区秋季干湿时空变化特征及其成因分析[J]. 热带气象学报, 2013, 29(4): 570-580.
- [8] 张顾炜,曾刚,倪东鸿,等. 西南地区秋季干旱的年代际转折及其可能原因分析[J]. 大气科学, 2016, 40(2): 311-323.
- [9] 白涛,施箫,李刚. 西昌发射场区雨季降水气候特征分析[J]. 气象水文装备, 2015, 26(5): 23-26.
- [9] TORRENCE C, COMPO G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1998, 79(1): 61-78.
- [10] GERSTENGARBE F W, WERNER P C. Estimation of the Beginning and End of Recurrent Events Within a Climate Regime[J]. Climate Res., 1999(11): 97-107.

(上接第43页)

- [2] 薛琴. 基于Packet Tracer的计算机网络仿真实验教学[J]. 实验室研究与探索, 2010(2): 57-59.
- [3] 杨功元. Packet Tracer使用指南及实验实训教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [4] 刘晓辉. 网络设备规划、配置与管理大全[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 叶阿勇. 计算机网络实验与学习指导——基于Cisco Packet Tracer模拟器[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [6] 谢希仁. 计算机网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.