

文章编号: 2096-1618(2022)03-0356-05

# 成都市年降水量时空分布特征

谢欢, 杨笔锋, 张怡

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**为了解成都地区降水场在时间和空间上的变化特征,并对短时间内成都市降水的发展趋势进行预测,基于成都市内 12 个地面台站 43 a 逐小时降水量资料,采用二维插值方法对缺失的数据进行填补,利用经验正交函数分析方法,对成都市 43 a 以来降水场的时间、空间变化特征进行研究。结果表明:成都市降水场的时空分布具有两种典型模型,即总体一致性,西北、东南相反类型,累积贡献率为 70.2%。模态一表征成都市降水量变化趋势具有一致性,1980 年和 1985 年是近 43 a 成都市降水最多的年份,2009 年是最少的年份。近 43 a 来模态一所对应的时间系数波动呈下降趋势,说明成都市的降水量呈减少的趋势。模态二在成都市西北地区为正,东南地区为负,且其对应的时间系数波动呈上升趋势,说明近 43 a 来成都市西北地区降水量增加,东南地区降水量减少。2 种典型模态所表征的成都市降水场有 4 种表现类型,即全年全市多雨的类型有 12 a,全年全市少雨的类型有 15 a,全市西北雨量多东南雨量少的类型有 3 a,西北雨量少东南雨量多的类型有 2 a。这与线性拟合的降水量变化趋势一致。

**关键词:**大气探测; EOF; 年降水量; 时空分布; 二维插值; 成都

**中图分类号:** P466

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2022.03.017

## 0 引言

成都市位于川西高原向四川盆地过渡的边界地带<sup>[1]</sup>,气候资源独特,由于成都市东部与西部的海拔高度差距较大,海拔高度又与热量呈反比关系,即海拔越高热量越少,海拔越低热量越高,所以呈现出东部地区暖、西部地区凉<sup>[2]</sup>两种并存的气候类型。同时,成都市处于东亚季风区,分别由冬季的内陆冬季风、夏季来自南海洋面的东南季风和印度洋的西南季风以及来自青藏高原的高原季风组成,当这几种季风相互作用时,就造成了成都复杂多变的天气,其具有代表性的表现为夏季降水充沛而冬季降水匮乏。降水量对于农业生产、水利开发、灾难防护、国民经济等都有直接的影响,而且成都市是西南地区经济贸易中心和交通运输枢纽,是四川省的省会城市。因此,对成都市年降水量时空分布规律的研究显得格外重要。

## 1 资料和方法

根据 1974–2017 年成都市 12 个地面气象台站的逐小时降水数据,通过 Matlab 软件对数据进行预处理,整合为年降水量数据,通过使用二维插值的方法对缺测值进行补全。使用经验正交函数的方法分析成都

市年降水场的空间分布特征,并且通过时间系数数据对年降水量变化趋势进行分析。

### 1.1 经验正交函数原理

经验正交函数分析方法(empirical orthogonal function, EOF)<sup>[3–5]</sup>,是一种用来对大量数据进行降维,便于从数据量大且烦琐的数据中提取出最重要、最具有代表性的数据从而减少工作量的方法。在国内一般被称为主成分分析(principal component analysis, PCA)。1950 年,气象学家 Lorenz 第一次将经验正交函数分析方法引入气象领域的研究中,并且取得了巨大的成就。在应用于降水量时空分布中的分析中时,EOF 对数据进行分析后会得出两组分析数据:一是空间模态(即特征向量)反映降水场的空间分布特点;二是时间变化(即主成分),反映空间模态随时间的权重变化。因此,EOF 分析又称为时空特征分析,即  $X = EOF_{m \times n} \times PC_{m \times n}$ ,其中  $m$  为台站数,  $n$  为时间年数。

具体算法实现如下:

(1) 预处理目标原始数据为距平形式得到矩阵  $X_{m \times n}$

(2) 计算  $X$  与其转置矩阵  $X^T$  的交叉积得到一个矩阵:

$$C_{m \times m} = \frac{1}{n} X \times X^T$$

如果  $X$  矩阵是距平形式,那么  $C$  矩阵称为协方差

矩阵;如果  $X$  矩阵是标准化形式,那么  $C$  矩阵为相关系数矩阵。

(3)矩阵  $C$  的特征根( $\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_m$ )与特征向量( $V_{m \times m}$ )的关系为

$$C_{m \times m} \times V_{m \times m} = V_{m \times m} \times E_{m \times m}$$

其中  $E$  是  $m \times m$  维的对角矩阵,即

$$E = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_m \end{bmatrix}$$

通常情况下,特征根  $\lambda$  按照从大到小规则进行排列顺序,即  $\lambda_1 > \lambda_2 > \cdots > \lambda_m$ 。由于被分析的数据是真实的观测值,因此特征根  $\lambda \geq 0$ ,EOF 为每个非零特征根所对应的特征向量。 $\lambda_1$  对应第一列特征向量  $V_1$ ,即第一空间模态,那么,以此类推就可得到剩下的空间模态。

(4)计算主成分。将模态数据映射到最初的矩阵上,就能得到所有特征向量对应的时间系数数据:

$$PC_{m \times n} = V_{m \times m}^T \cdot X_{m \times n}$$

(5)计算方差贡献率。矩阵  $X$  的方差可以用特征根( $\lambda$ )的大小来表示。一般情况下,如果  $\lambda$  越大,那么代表该模态越重要,总方差占比就越大,某个模态  $k$  对

总方差的贡献率为  $\frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \times 100\%$ 。

(6)进行显著性检验。显著性检验是判定 2 个甚至多个数据集之间是否有差异的方法,在空间模态中的显著性检验使用的是 North 检验,即在 95% 置信水平下的特征根误差:

$$\Delta \lambda = \lambda \sqrt{\frac{2}{N^*}}$$

其中,  $N^*$  表示数据的有效自由度,  $\lambda$  表示特征根。依次对特征根( $\lambda$ )进行检查,若后一个特征根误差上限与前一个特征根误差下限没有重叠<sup>[6]</sup>,那么通过 North

显著性检验,反之,有重叠则是没通过。

1.2 数据处理方法

要想实现 EOF 分析算法还需要引用强大的数学工具 MATLAB 软件,它是集数据处理和算法开发为一体,专门为科学工程计算而设计且用法简单、便于操作的计算工具软件。在 MATLAB 自带的工具箱中包含了很多常用的函数,在本次研究中使用的版本是 MATLAB 2020a。

数据预处理主要有以下几个步骤:

(1)气象台站导出的数据是以 txt 文本形式保存的,需要将 txt 文本格式转换成 excel 表格格式,并将每个站点的数据分离出来保存在对应的表格中。

(2)由于一些外界因素,有些时间点的数据可能未能正确接收,需要对数据中缺测的数据通过二维插值的方式进行补全。在 Matlab 工具箱中经常使用的二维插值主要有两种方法:interp2 和 griddata。由于 interp2 函数的插值数据必须是规律排列的数据点( $x, y$ ),而 griddata 函数使用的数据点( $x, y$ )支持随机的、无规律的,由于站点和时间之间没有联系,因此对缺失数据的插值使用 griddata 函数更恰当。

2 成都市年降水量空间分布特征

2.1 模态分析

对成都市 12 个台站的年降水量序列进行 EOF 展开,表 1 是 EOF 分解后前 5 个模态的特征值以及方差贡献率,可以看出前 5 个特征值的累计方差贡献率达到了 88.8%,其中前 2 个模态的累计方差贡献率为 70.2%,且模态一的特征根误差下限与模态二的特征根上限误差无重叠部分,通过了显著性检验。选取前 2 个特征值所对应的特征向量和对应的主分量进行分析。

表 1 成都市降水量 EOF 分解的前 5 个特征向量贡献率

| 模态 | 特征值      | 方差贡献率/% | 累计方差贡献率/% | 特征根误差下限  | 特征根误差上限  |
|----|----------|---------|-----------|----------|----------|
| 1  | 236224.8 | 60.8    | 60.8      | 143569.8 | 328879.8 |
| 2  | 36642.53 | 9.4     | 70.2      | 22270.15 | 51014.91 |
| 3  | 30826.37 | 7.9     | 78.1      | 18735.27 | 42917.46 |
| 4  | 23713.7  | 6.1     | 84.2      | 14412.42 | 33014.97 |
| 5  | 17720.85 | 4.6     | 88.8      | 10770.16 | 24671.54 |

模态一特征向量的方差贡献占总方差的 60.8%,是成都市年降水场的主要空间模态。从图 1 可以得

出,模态一的特征向量值均为正值,代表成都平原 1974–2017 年降水呈现相同的变化,即呈现出全市全

年雨量增多,或者雨量减少的降水分布模态。其中高值中心位于成都市都江堰,说明该区域的降水量变化程度大;低值中心位于成都市双流区,说明该区域的降水量变化平稳。从整体看,成都市西北地区的降水变化程度高于东南地区。

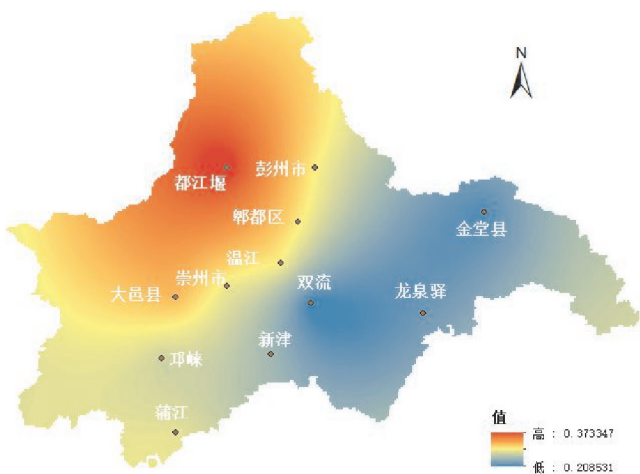


图1 年降水场模态一特征向量分布

模态二特征向量的方差贡献占总方差的 9.4%,也是成都市年降水场的主要空间模态。从图 2 看,成都市西北地区的特征向量值为正,而东南地区特征向量值为负,代表成都市西北地区与东南地区年降水量存在相反的变化趋势,即西北地区降水增多、东南地区降水减少,或西北地区降水减少、东南地区降水增多。特征向量值从西北向东南由 +0.49021 变成 -0.525488,是变小的趋势,说明成都市降水量的变化也是由西北向东南递减。

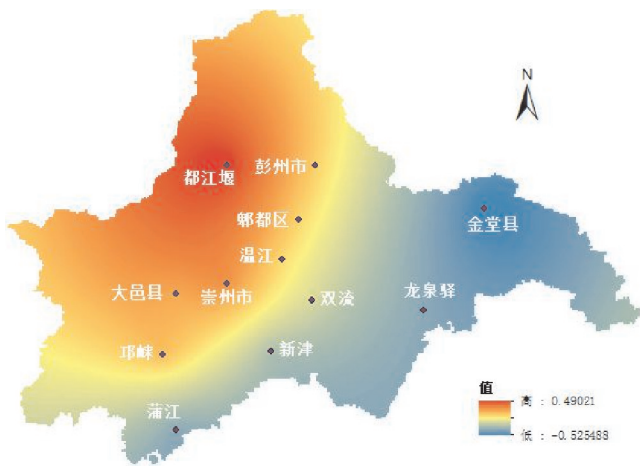


图2 年降水场模态二特征向量分布

2.2 时间系数分析

通过对空间分布特征的分析,成都市降水场主要

有两种表现类型:模态一表征了成都市降水变化的一致性,模态二表征了成都市西北地区与东南地区降水呈相反趋势。时间系数代表了所对应的特征向量空间分布模态的时间变化特征<sup>[4]</sup>,当时间系数为正值时,空间模态方向一致;当时间系数为负值时,空间模态方向相反。如果时间系数的绝对值越大,那么这一模态就越典型,可以用来判断模态的时间分布情况。使用 Matlab 对43 a时间系数序列进行折线图的绘制并进行线性拟合,得到的结果如图 3、图 4 所示。

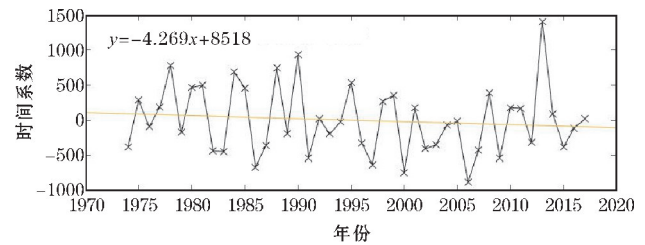


图3 EOF1 时间系数序列图

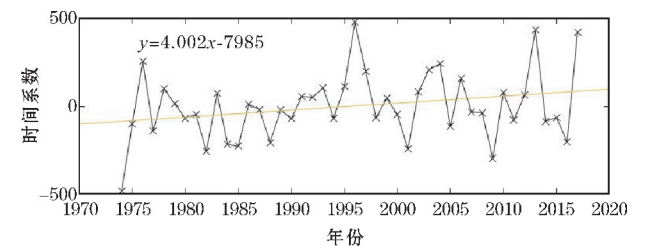


图4 EOF2 时间系数序列图

将 43 a 中每年时间系数的绝对值最大时所对应的特征向量作为这一年的降水场空间模态,从而得出全年全市雨量多的类型有12 a,全年全市雨量少的类型有15 a;成都市西北地区雨量多东南地区雨量少的类型有3 a,西北地区雨量少东南地区雨量多的类型有2 a,具体年份见表 2。从表 2 可以看出,43 a年来模态一出现的年份共有27 a,占总年数的 62.8%,为主要的空间模态。且模态一所对应的时间系数斜率(图 3 中黄线)趋势小于 0,在一定程度上说明成都市 1974-2017 年来的降雨量有所减少,图 3 中正值对应成都市降雨量偏多的年份,负值对应降水量偏少的年份,1974-1995 年成都市雨量普遍偏多,1996-2012 年成都市雨量普遍偏少,2012 年后,雨量有增加的趋势;模态二出现的年份共5 a,占总年数的11.6%。模态二所对应的时间系数(图 4 中黄线)斜率大于 0,说明在43 a内,成都市西北地区降水量有偏多,东南地区降水量有偏少的趋势,在此条件下,1974-1991 年成都市西北地区降水量偏少,东南地区降水量偏多;1992-2000 年全市



基本呈现西北地区降水量偏多,东南地区降水量偏少的空间分布模型,但 2000–2003 年以及 2009–2011 年出现相反的空间分布。其余有 11 a 占总年数的 25.6%,为不典型的降水场空间模态。因此时间系数所得结果与空间模态所得降水场结果基本一致。

表 2 4 种降水场表现类型的年份

| 雨量   | 出现模态 1 的年份                              | 出现模态 2 的年份 |
|------|---|------------|
| 全市多雨 | 1975 1978 1980 1981 1984 1985 1988      |            |
|      | 1990 1995 1999 2008 2013                |            |
|      | 1982 1983 1986 1987 1991 1993 1997      |            |
| 全市少雨 | 2000 2002 2003 2006 2007 2009 2012 2015 |            |
| 西北多雨 |   | 1976 1996  |
| 东南少雨 |   | 2017       |
| 西北少雨 |   | 1974 2001  |
| 东南多雨 |   |            |

表 3 成都市各站点降水场 43 a 变化趋势系数

| 地区     | 崇州    | 温江   | 都江堰   | 彭州    | 郫都区  | 新津    | 蒲江    | 邛崃    | 大邑    | 龙泉驿   | 双流   | 金堂    |
|--------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 变化趋势系数 | -2.13 | 1.42 | -1.67 | -0.68 | 0.73 | -0.93 | -4.19 | -4.15 | -1.50 | -4.73 | 2.65 | -2.77 |

3 结论

基于成都市 1974–2017 年 12 个地面台站逐小时降水数据,采用二维插值方法、EOF 分析方法以及线性拟合法,从而得出成都市降水场的时空变化特征:

(1)成都市降水场空间分布模态特征分析表明,模态一可以表征成都市降水量变化趋势,1980 年和 1985 年是近 43 a 成都市降水最多的年份,2009 年是最少的年份。近 43 a 来模态一均为正值,且其所对应的时间系数波动呈下降趋势,说明成都市的降水量呈减少的趋势。模态二在成都市西北地区为正,东南地区为负,且其对应的时间系数波动呈上升趋势,说明近 43 a 来成都市西北地区降水量增加、东南地区降水量减少。

(2)从时间系数来看,得出了每个空间类型出现的年数。第一模态在 43 a 内出现了 27 次,全年全市多雨类型有 12 a,全年全市少雨的类型有 15 a;第二模态在 43 a 内出现了 5 次,全年全市西北雨量多东南雨量少的类型有 3 a,西北雨量少东南雨量多的类型有 2 a,其余零散不典型降水场出现有 11 a,并且成都市 43 a 总体年降水量变化有减少的趋势。

2.3 年降水量变化趋势

采用折线图和线性拟合的方法求出成都市 12 个台站的年平均降水量以及年平均降水量总体变化趋势,表 3 是求得的各站点的变化趋势系数,可以看出成都市只有温江、郫都区和双流 3 个站点的变化趋势系数为正值,分别是 1.42、0.73 和 2.65,呈现出一个上升趋势,其余站点均是负值,特别是蒲江、邛崃和龙泉驿 3 个站点的值都在 -4 以下,呈现下降趋势。图 5 展示成都市 43 a 内年均降水量总体变化趋势,可以看出成都市 43 a 降水量总体呈现下降趋势。

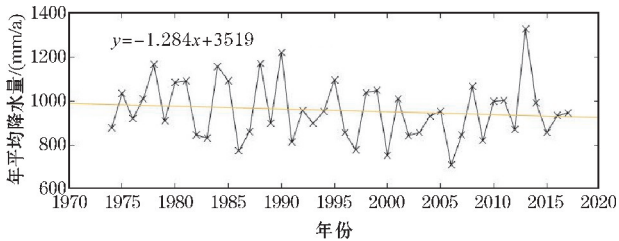


图 5 成都市年平均降水量总体趋势变化图

参考文献:

[1] 王若男,马林,王莹,等. 成都地区 1951–2010 年降水年变化分析[J]. 安徽农学通报,2015,21(18):146–147.

[2] 王维佳,陈碧辉. 四川上空大气可降水量时空分布特征[J]. 高原山地气象研究,2010,30(3):52–57.

[3] 戚娜,杨文,姚愚,等. 对近 50 a 云南降水量的时空变化特征分析[J]. 节水灌溉,2012(5):22–25.

[4] 赵嘉阳,王文辉,靳全锋,等. 基于 EOF 的福建省降水量时空变化特征分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2017,31(2):73–79.

[5] 金芃霏,刘剑刚. 基于 EOF 的浙江省降水变化时空分析研究[J]. 环境科学与管理,2015,40(7):40–45.

[6] 段晓梅,王英. 基于 EOF 的内蒙古地区降水时空变化特征分析[J]. 河南科学,2020,38(7):1125–1130.

[7] 李艳莉,王景红,张维敏,等. 基于 EOF 的陕西果区近 50 年降水分布特征研究[J]. 中国农学通报,2013,29(32):326–329.

[8] 李格,李鹤龄. 中国冬季气温变化特征[J]. 科技

- 经济导刊,2019,27(21):88-89.
- [9] 周长艳,岑思弦,李跃清,等.四川省近50年降水的变化特征即影响[J].地理学报,2011,66(5):619-630.
- [10] 王小玲,屠其璞.我国旬降水量的时空分布特征[J].南京气象学院学报,2002(5):664-670.
- [11] 杨卫芬,王振,李春玉,等.基于EOF方法的常州市区PM<sub>2.5</sub>污染时空分布特征[J].环境监控与预警,2020,12(06):12-15.
- [12] 周凯,王义民.基于EOF的渭河流域干旱时空分布特征研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(1):146-154.
- [13] 史源,陶建峰,龚政,等.基于EOF法的长江口高潮位时空变化特征研究——长时间序列的高潮位EOF分析[J].海洋通报,2019,38(3):296-303.
- [14] 赵安周,朱秀芳,刘宪锋,等.1965-2013年渭河流域降水时空变化分析[J].自然资源学报,2015,30(11):1896-1909.
- [15] 高西宁,徐庆喆,丛俊霞,等.基于标准化降水指数的辽宁省近54年干旱时空规律分析[J].生态环境学报,2015,24(11):1851-1857.

## Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Annual Precipitation in Chengdu

XIE Huan, YANG Bifeng, ZHANG Yi

(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to understand the temporal and spatial variation characteristics of the precipitation field in Chengdu, and to predict the development trend of precipitation in Chengdu in a short period of time. Based on the hourly precipitation data of 12 ground stations 43a in Chengdu, two-dimensional interpolation is used to fill in the missing data, and use the empirical orthogonal function analysis method to analyze the characteristics of temporal and spatial change of precipitation field since 43 a in Chengdu. The results show that the temporal and spatial distribution of precipitation field in Chengdu has two typical models, namely overall consistency, opposite types in the northwest and southeast, with a cumulative contribution rate of 70.2%. Mode 1 indicates that the change trend of precipitation in Chengdu is consistent. 1980 and 1985 are the year with the most precipitation in Chengdu in the past 43 years, and 2009 is the least. In the past 43 years, the fluctuation of the time coefficient corresponding to Mode 1 has shown a downward trend, which indicates that the precipitation in Chengdu has shown a decreasing trend. Mode 2 is positive in the northwest of Chengdu and negative in the southeast, and its corresponding time coefficient fluctuates in an upward trend, indicating that the precipitation in the northwest of Chengdu has increased in the past 43 years, and the precipitation in the southeast has decreased. The precipitation field in Chengdu represented by the two typical modalities has four manifestations: 12 years of rainy throughout the city, 15 years of drier rainfall throughout the city, 3 years of rainfall in the northwest of the city while less rainfall in the southeast, and 2 years of less rainfall in the northwest while more rainfall in the southeast. This is consistent with the change trend of precipitation based on linear fitting.

**Keywords:** atmospheric sounding; EOF; annual precipitation; temporal and spatial distribution; two-dimensional interpolation; Chengdu