

成都经济区极端降水广义帕累托分布模型研究

杨萌¹, 倪雪², 倪长健¹, 白爱娟¹, 任至涵¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国民航西南地区空中交通管理局, 四川 成都 610202)

摘要:为研究成都经济区极端降水的概率分布特征,利用成都经济区(绵阳、德阳、遂宁、成都、资阳、雅安、眉山、乐山)8个站点1960–2018年的逐日降水量资料,选取第99个百分位值为极端降水量的阈值,采用广义帕累托分布模型(GPD)对成都经济区极端降水事件进行拟合并计算其重现期降水量。将极端降水的理论累积概率与实测概率进行了对比,发现成都经济区8个测站极端降水事件符合GPD分布。研究结果表明,成都经济区极端降水在不同重现期内空间分布特征基本一致,只是数值有所不同;具体表现为乐山、雅安和绵阳极端降水量最大,成都、德阳、眉山和遂宁次之,资阳市最小,总体呈现向东南逐渐减小的趋势。

关键词:大气科学;极端降水;成都经济区;广义帕累托分布;重现期

中图分类号:P426.6

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.01.015

0 引言

在全球变暖的气候条件下,洪水、干旱、高温和低温等极端天气事件频频出现,严重影响人类经济社会与生态环境。根据统计,在中国有70%以上的自然灾害是由极端天气气候事件而引起的,造成的直接经济损失占国民生产总值的3%~6%^[1]。近年来,对暴雨洪涝灾害的防灾减灾工作已经被人们广泛关注。而极端降水的强度和频率变化往往是引起洪涝灾害的主要原因,因此对极端降水天气的认识,是防灾减灾的重要前提。

极端降水天气已经引起人们的广泛关注,国内外学者主要从频率、强度和时空分布等方面对极端降水进行深入研究。许多学者对加拿大、日本、英国、巴西以及苏联等地的强降水变化特征的研究,均发现在当前的气候背景下,有平均总降水量不变或减少,而极端降水量及频次增加的现象^[2–4]。中国的极端降水变化趋势与全球相似,特点是具有更加明显的局地性和区域性^[5]。Zhai等^[6]、陈海山等^[7]也得到了类似的结论。蔡敏等^[8]利用耿贝尔分布模型对中国东部地区极端降水的发生概率及分布特征进行了研究,指出其近几十年来极端降水率虽然变化不大,但在时空分布上呈现明显差异。余敦先等^[9]研究了1960–2009年淮河流域最大日降水量,发现最大日降水量随年份呈

增加趋势。任照环等^[10–11]应用复合极值模型分析了川东地区的暴雨重现期,发现在当前气候条件下,川东地区的降水特点为山地较多,平地较少。极端降水天气的研究往往与预估洪涝灾害危险性联系在一起,王轩等^[12]利用极值分布、耿贝尔分布和皮尔逊分布等频率分析方法推算了长江三角洲极端降水各重现期的强度,从而评价了极端降水的潜在风险,进而可以预估各地发生洪涝灾害的可能性。该方法为研究极端降水引起的洪涝灾害提供了新的思路,为防灾减灾工作提供了参考。

文中引进了广义帕累托分布模型GPD(generalized pareto distribution)拟合成都经济区的极端降水量,并采用基于概率加权矩(PWM)的L-矩估计法计算GPD分布的参数^[13]。同时研究该经济区极端降水的重现期,并分析该区极端降水的时空分布特征,对成都经济区的防灾减灾工作、经济发展等有一定的指示意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

成都经济区是以成都为中心的经济区,2006年初步成立,包括成都、德阳、绵阳、眉山和资阳5个城市,并称为成都平原经济区。随着高速公路和各地经济的发展,2010年成都经济区扩大为绵阳、德阳、遂宁、成都、资阳、雅安、眉山和乐山8个城市^[14]。因其位处盆

地,雾大云多,湿气重阴天多,为中国突出的多雨区。该经济区逐渐发展成为全省甚至中国西部的经济发展中心和人口密集区,对四川的经济发展具有重要作用。因此该地区的极端降水事件值得广泛关注。

1.2 资料选取

文中采用成都经济区 8 个气象观测站(站点信息见表 1)近59 a (1960–2018 年)的实测逐日降水资料作为研究对象,并筛选出极端降水序列以及其发生的频次。

表1 站点信息

站点号	站点名	经度/°E	纬度/°N	海拔/m
56196	绵阳	104.73	31.45	522.7
56198	德阳	104.3	31.19	525.7
57405	遂宁	105.33	30.3	355
56187	温江	103.52	30.45	547.7
56298	资阳	104.36	30.08	417
56287	雅安	103	29.98	627.6
56391	眉山	103.49	30.05	415.4
56386	乐山	103.45	29.34	424.2

1.3 研究方法

广义帕累托分布是一种专门用来描述超过某一特定临界值(即阈值)的所有观测值资料集的概率分布^[15]。1975 年 Pickands^[16]首次将广义帕累托分布引入到水文气象学,后来 Hosking^[17]对该模式进行了更深入的研究和拓展。近年来,GPD 在国内外广泛应用,其主要优点在于可以描述通过给定一临界值(阈值)在原始资料的基础上来抽取每年超过该临界值(阈值)的极大(极小)值的概率分布特征,而不是选取逐年的最大值加以描述,即专门用于描述所谓的“超过门限峰值”(记为 POT)的概率分布特征^[18–19]。这种抽样方法增加了极值的样本量,可以更加真实地描述其概率分布特征。

GPD 的分布函数为^[20]

$$F(x)=1-[1-k(\frac{x-\beta}{\alpha})]^{\frac{1}{k}} \quad k\neq 0,\beta\leq x\leq \frac{\alpha}{k} \quad (1)$$

其相应的分布密度函数(PDF)为

$$f(x)=(\frac{1}{\alpha})[1-k(\frac{x-\beta}{\alpha})]^{\frac{1}{k}-1} \quad (2)$$

式中,参数 β 为门限值, α 为尺度参数, k 为形状参数或线型参数。

通过 L-矩估计法,可求解出 GPD 分布的参数 k 、 α 的通式^[17,21]:

$$\hat{k}=\frac{b_0}{2b_1-b_0}-\frac{\beta}{2b_1-b_0}-2 \quad (3)$$

$$\hat{\alpha}=(b_0-\beta)[1+\frac{b_0}{2b_1-b_0}-\frac{\beta}{2b_1-b_0}-2] \quad (4)$$

在实际应用中,常常有方程 $f(x)=R(0<R<1)$,则通常记 $P=1-R$,故重现期为

$$T=\frac{1}{P}=\frac{1}{1-R} \quad (5)$$

因此,在 GPD 分布中,定义 T 年一遇的降水极值分位数为 x_T ,则 GPD 模式的分位数公式为^[22–23]

$$x_T=\beta+\frac{\alpha}{k}(1-(\gamma T)^{-k}) \quad k\neq 0 \quad (6)$$

式中 γ 为一年内降雨量超过临界值的次数,即年交叉率。文中取降水资料中超过临界值(阈值) β 的次数 n ,并统计其多年平均的年交叉率 $\gamma=n/t$,而 t 为降水资料记录的总年数。

利用成都经济区 8 个气象观测站 1960–2018 年的逐日降水资料,并采用百分位法定义第 99 个百分位值为极端降水的阈值,筛选出各站大于阈值的降水量为该区的极端降水序列。进一步利用广义帕累托分布模拟成都经济区的极端降水事件,并且采用了 K-S 检验和相关系数两种检验指标对此进行了检验。

2 结果与讨论

2.1 成都经济区极端降水的拟合

由上述方法得到成都经济区 8 个测站的极端降水阈值(表 2),进而得到极端降水序列。通过两种检验指标对所得拟合结果进行检验(表 3),全部测站都通过了显著性水平 $\alpha=0.05$ 的显著性检验且样本理论累积概率和实际累积概率之间的相关系数均达到 0.99 以上。图 1 为极端降水的累积概率分布曲线,可见理论累积频率曲线与实测曲线的趋势基本一致,理论频率与实测频率吻合度较高。因此,可以得出广义帕累托分布对成都经济区极端降水的拟合效果很好。

表2 各站阈值

单位:mm

站名	绵阳	德阳	遂宁	成都	资阳	雅安	眉山	乐山
阈值	74.5	74.1	93.0	69.2	67.3	108.0	67.7	97.0

表 3 拟合效果检验

指标	绵阳	德阳	遂宁	成都	资阳	雅安	眉山	乐山
相关系数	0.9973	0.9976	0.9944	0.9977	0.9977	0.9975	0.995	0.9952
K-S 检验统计量	0.0554	0.0444	0.0782	0.0557	0.0561	0.0621	0.0652	0.0774
K-S 检验临界值	0.1530	0.1530	0.1410	0.1426	0.1467	0.1309	0.1418	0.1381

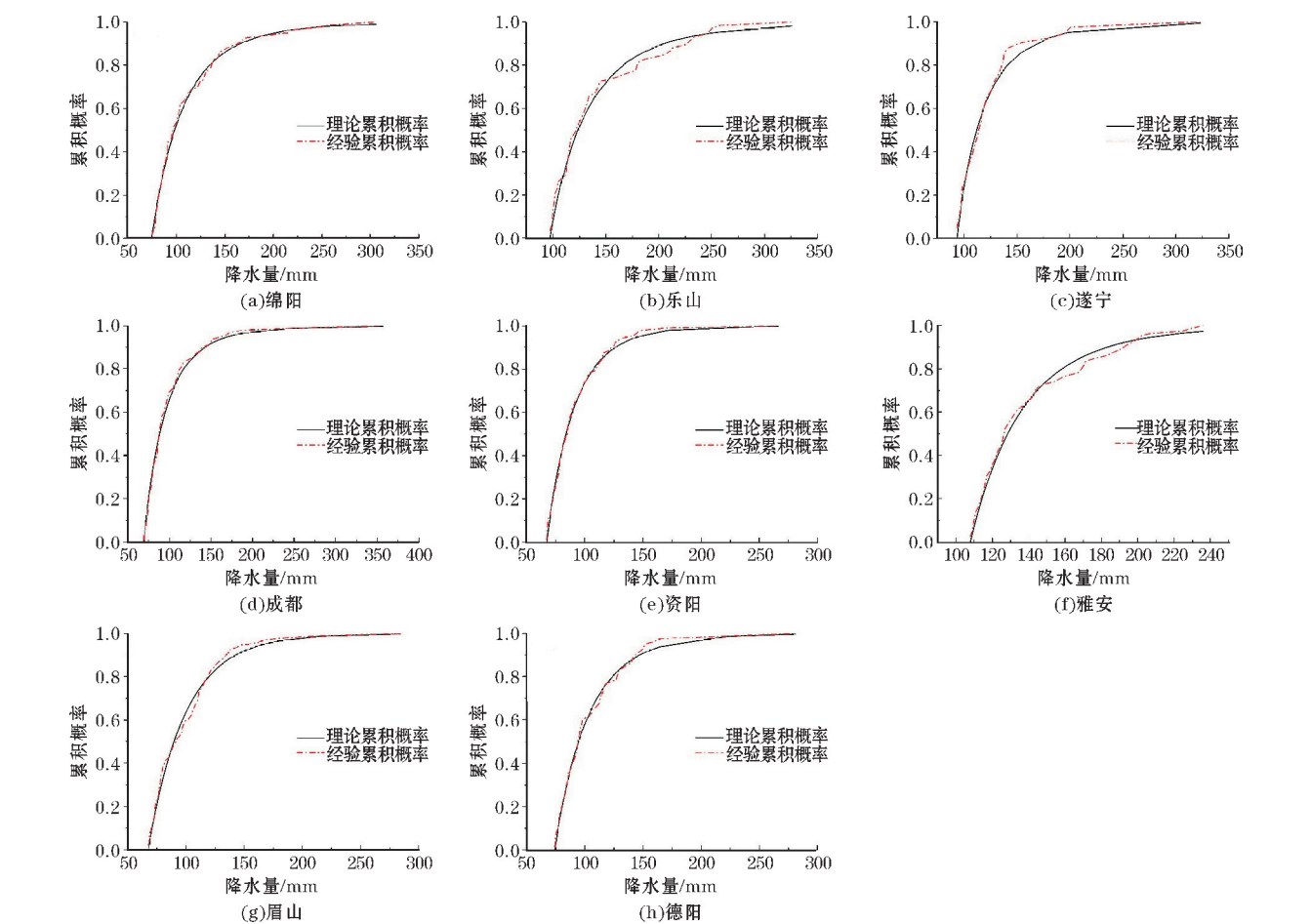


图 1 成都经济区极端降水的累积频率分布

2.2 成都经济区极端降水的空间分布特征

由上述分析可知,成都经济区极端降水事件符合

广义帕累托分布模型,可利用式(6)计算 8 个站的多年一遇的极端降水量。表 4 为 8 个测站的极端日降水量重现期。

表 4 极端日降水量重现期

地区	单位:mm				
	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
绵阳	180.3	217.7	241.8	274.7	324.2
德阳	157.8	183.6	199.4	220.2	250.0
遂宁	152.7	180.7	198.9	224.4	263.4
成都	160.6	191.9	212.2	239.9	281.9
资阳	137.5	158.3	171.1	187.9	211.7
雅安	193.9	222.1	239.8	263.5	298.1
眉山	158.2	182.5	197.0	215.6	241.4
乐山	204.1	249.8	280.1	322.7	389.4

图2为重现期分别为10 a、20 a、30 a、50 a、100 a时,成都经济区极端降水量的空间分布图。通过比较各个站在同一重现期内的极端降水量,可在一定程度上反应极端降水的空间分布特征。如图2所示,当重现期为10 a、20 a、30 a、50 a、100 a时,极端降水的空间分布特征基本一致,只是在不同重现期内数值有所不同。

当重现期为10 a时,乐山和雅安의极端降水量最大,分别为204.1 mm和193.9 mm;较大的为绵阳,其次为德阳、成都、眉山;最小的为资阳,降水量为137.5 mm。重现期为20 a、30 a和50 a时,极端降水的空间分布均一致,最大的为乐山,雅安和绵阳的极端降水量较大,其次为成都,最小为资阳。重现期为100 a时,最大的为乐山,降水量为389.4 mm;雅安和绵阳的极端降水量较大;其次为成都和遂宁;资阳最小,降水

量为211.7 mm。总体上呈现出在成都经济区北部和西南部降水多,向东南逐渐减小。同时也反映了乐山、雅安和绵阳极端降水灾害最为严重,其次为成都、德阳、眉山和遂宁,极端降水灾害最轻的为资阳。

根据各区域的实际地形、气象条件和已有研究结果来看,得出的结论与事实基本符合。比如位于青藏高原东侧以“雨城”闻名的雅安,受到了青藏高原最显著和直接的动力和热力作用的影响,是中国内陆一个明显的降水大值中心^[24]。乐山位于岷江、青衣江、大渡河中下游,是其交汇之地,该区域水汽条件十分丰富,使其成为盆地内降水量富足的城市之一^[25],故这两个区域重现期极端降水量均较大。从熊卫东等^[26]的研究结果可知,近几十年来,资阳的总雨量有减少的趋势,并且中雨过程有增多而暴雨过程有减少趋势,这与文中所分析的重现期极端降水特征相符合。

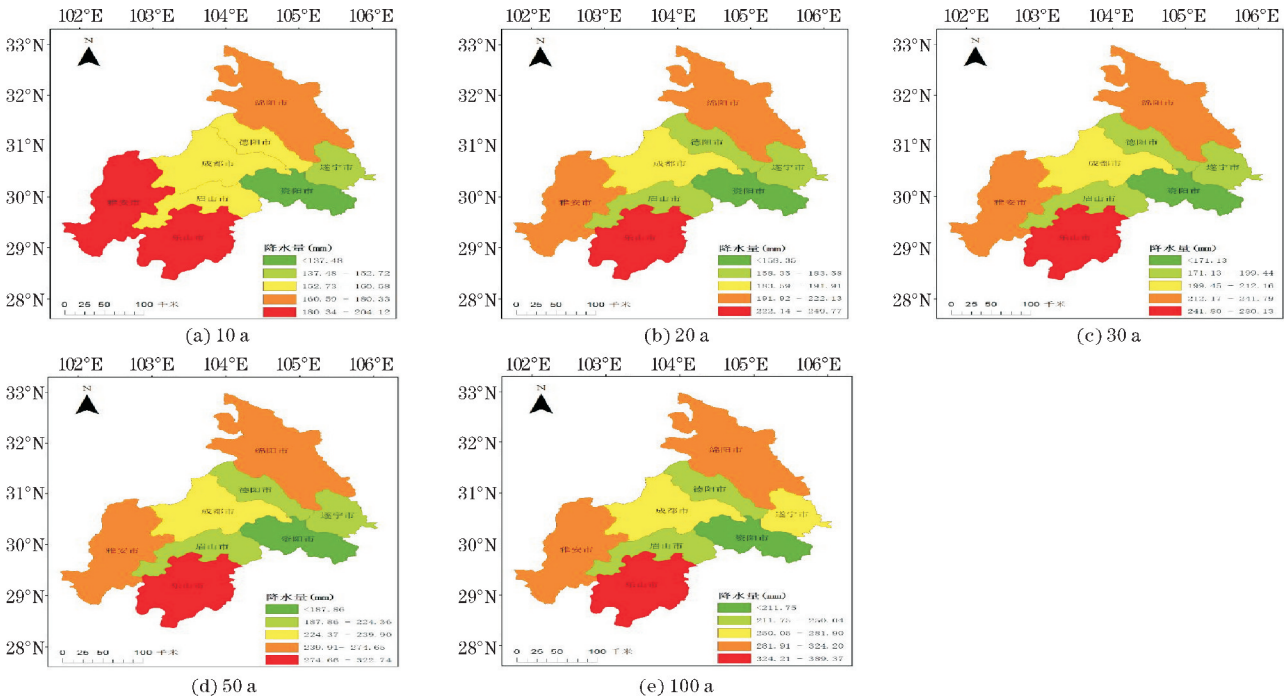


图2 给定重现期极端降水量的空间分布

3 结束语

为进一步了解成都经济区的极端降水特征,并针对目前尚缺乏对成都经济区极端降水研究的现状。为此利用成都经济区1960–2018年的逐日降水资料并采用广义帕累托模型对其进行研究,同时计算该区域不同重现期内的极端降水量,进而对极端降水的空间分布特征展开了研究,主要结论如下:

(1)成都经济区的极端降水事件符合广义帕累托

分布模型,并且所有的站点都通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,理论累积频率与经验累积频率的相关系数均在0.99以上,说明广义帕累托分布模型能很好地描述极端降水事件。

(2)通过计算成都经济区8个站点在不同重现期内的极端降水量,并将同一重现期内的不同站点的极端降水量加以比较,得出极端降水的空间分布。重现期为10 a时,乐山和雅安的极端降水量最大,较大的为绵阳,其次为德阳、成都和眉山,最小的为资阳;重现期为20 a、30 a和50 a,极端降水的空间分布均一致,最大

为乐山,雅安和绵阳较大,其次为成都,最小为资阳;重现期为100 a时,极端降水量最大的为乐山,雅安和绵阳较大,其次为成都和遂宁,资阳最小。

(3)总体上呈现出在成都经济区北部和西南部降水多,向东南逐渐减小。其中乐山、雅安和绵阳极端降水量最大,说明其极端降水灾害最为严重,其次为成都、德阳、眉山和遂宁,极端降水灾害最轻的为资阳。

致谢:感谢成都市科技局资助项目(2019-RK00-00258-ZF)对本文的资助

参考文献:

- [1] 翟盘茂. 气候变化与气象灾害[C]. 气候变化与生态环境研讨会论文集,2003:108-112.
- [2] Groisman P Y, Karl T R, Easterling D R, et al. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change, Weather and Climate Extremes[M]. Springer, 1999:243-283.
- [3] Osborn T J, Hulme M, Jones P D, et al. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20(4):347-364.
- [4] Yamamoto R. Long-term intensification of extremely heavy rainfall intensity in recent 100 years[J]. World Resources Review, 1999, 11(2):271-281.
- [5] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3):267-272.
- [6] Zhai P, Zhang X, Wan H, et al. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China[J]. Journal of Climate, 2005, 18(7):1096-1108.
- [7] 陈海山, 范苏丹, 张新华. 中国近50a极端降水事件变化特征的季节性差异[J]. 大气科学学报, 2009, 32(6):744-751.
- [8] 蔡敏, 丁裕国, 江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征[J]. 高原气象, 2007, 26(2):309-318.
- [9] 余敦先, 夏军, 张永勇, 等. 近50年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9):1200-1210.
- [10] 任照环, 倪长健. 基于复合极值模型的暴雨重现期研究:以川东北地区为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(5):131-137.
- [11] 任照环, 倪长健, 周书华. 二维复合极值模型在暴雨多变量联合分布中的应用[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(3):302-307.
- [12] 王轩, 尹占娥, 迟潇潇. 基于情景模拟的长江三角洲极端降水风险评价[J]. 地球环境学报, 2015, 6(1):11-16.
- [13] 蔡敏, 丁裕国, 江志红. L-矩估计方法在极端降水研究中的应用[J]. 气象科学, 2007(6):597-603.
- [14] 王明杰. 基于GIS的成都经济区区域合作层次划分研究[J]. 经济研究导刊, 2011(30):146-150.
- [15] 丁裕国. 极端气候研究方法导论:诊断及模拟与预测[M]. 北京:气象出版社, 2009.
- [16] Iii J P. Statistical Inference Using Extreme Order Statistics[J]. Ann. Statist., 1975, 3(1):119-131.
- [17] Hosking J R M, Wallis J R. Parameter and Quantile Estimation for the Generalized Pareto Distribution[J]. Technometrics, 1987, 29(3):339-349.
- [18] Davison A C, Smith R L. Models for exceedances over high thresholds[J]. Journal of the Royal Statistical Society: Series B, 1990, 52(3):393-425.
- [19] Abild J, Andersen E, Rosbjerg D, et al. The climate of extreme winds at the Great Belt, Denmark[J]. Journal of Wind Engineering, 1992, 41(1-3):521-532.
- [20] 刘吉峰, 丁裕国, 江志红. 全球变暖加剧对极端气候概率影响的初步探讨[J]. 高原气象, 2007(4):837-842.
- [21] 江志红, 丁裕国, 朱莲芳, 等. 利用广义帕累托分布拟合中国东部日极端降水的试验[J]. 高原气象, 2009, 28(3):573-580.
- [22] Coles S. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values [J]. Technometrics, 2001, 44(4):397-397.
- [23] 程炳岩, 丁裕国, 张金铃, 等. 广义帕累托分布在重庆暴雨强降水研究中的应用[J]. 高原气象, 2008(5):1004-1009.
- [24] 周长艳, 肖安, 高文良. 2004-2013年“雨城”雅安的降水日变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6):1524-1533.
- [25] 潘品言, 徐强. 乐山市63年间降水基本特征及变化规律分析[J]. 科技资讯, 2016, 14(15):145-147.
- [26] 熊卫东, 韦虹, 熊瑶, 等. 资阳市近六十年降水特征分析[J]. 南方农业, 2019, 13(2):181-182.

Study on Generalized Pareto Distribution Model of Annual Extreme Precipitation in Chengdu Economic Zone

YANG Meng¹, NI Xue², NI Changjian¹, BAI Aijuan¹, REN Zhihan¹

(1. College of Atmospheric Science, Plateau Atmospheres and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Southwest Regional Air Traffic Management Bureau of CAAC, Chengdu 610202, China)

Abstract: To study the spatial distribution characteristic of the probability of extreme precipitation in the Chengdu Economic Zone (CEZ), we analyze the daily precipitation data from 1960 to 2018 which come from eight stations (Mianyang, Deyang, Suining, Chengdu, Ziyang, Ya'an, Meishan and Leshan) in the CEZ. The 99th percentile value is defined as the extreme precipitation threshold and we choose the generalized Pareto distribution (GPD) model to fit extreme precipitation events and calculate precipitation return period in the CEZ. Comparing the theoretical cumulative probability of extreme precipitation with the measured probability, it is found that the extreme precipitation events from eight stations conform to the GPD. The results indicate it's much the same for the spatial distribution characteristics of extreme precipitation in different return periods in the CEZ, only the values of precipitation are different. Leshan, Ya'an and Mianyang have the highest extreme precipitation, followed by Chengdu, Deyang, Meishan and Suining, Ziyang is the smallest one. On the whole, it shows a gradual decrease precipitation pattern from other directions to the southeast in the CEZ.

Keywords: atmospheric science; extreme precipitation; Chengdu economic zone; generalized pareto distribution; return period