

Temporal and Spatial Distributions of Maximum Daily Precipitation and Recurrence Periods in Yunnan Province

Minghui Qi¹, Yingjie Xu¹, Lei Qi², Yongkun Sheng³

¹Yunnan Meteorological Society, Kunming Yunnan

²Meteorological Bureau of Jinning District, Kunming Yunnan

³Meteorological Bureau of Yaoan County, Chuxiong Yunnan

Email: Qifree@163.com

Received: Jul. 1st, 2019; accepted: Jul. 11th, 2019; published: Jul. 18th, 2019

Abstract

Based on the daily precipitation data for 133 meteorological stations over Yunnan Province since they were built to 2017, the spatial and temporal distributions of daily maximum precipitation and its recurrence periods, and extreme daily maximum precipitations with different return periods are analyzed by using Gumbel distribution function in the paper. The results show that there spatial distribution of daily maximum precipitation is extremely uneven in Yunnan. And there are several maximum value centers such as the regional Northwest of Yunnan, Northeast Zhaotong, and the south of Yunnan. The extreme maximum of daily precipitation is up to 250.1 mm (such as Jiangcheng) in the center. The frequency of annual heavy rain increased in most areas in Yunnan province especially during the dry seasons. Extreme maximum values of daily precipitation even exceeded 320 mm in the recurrence period for 200 years in the south of Yunnan.

Keywords

Extreme Value Distribution, Recurrence Period, Gumbel Distribution Function

云南省极端最大日雨量时空分布特征及其重现期估算

杞明辉¹, 许迎杰¹, 杞磊², 盛永昆³

¹云南省气象学会, 云南 昆明

²晋宁区气象局, 云南 昆明

³姚安县气象局, 云南 楚雄

Email: Qifree@163.com

摘要

本文用云南133个气象站自其建站以来近70年的逐日降水资料，分析了云南省极端最大日雨量的时空分布特征，在此基础上根据耿贝尔I型极值分布模型，对云南省各气象站自其建站以来的极端最大日降水的重现期进行了估算，并分析了不同重现期内各气象站可能出现的极端最大日降水量值。结果表明：云南省极端最大日雨量的空间分布极不均匀，分别在滇西北、滇东北、滇东及滇西南至滇南等地区存在日最大雨量值超过200 mm的分布中心；截止到2017年，云南极端最大日雨量值为250.1 mm (普洱的江城)；近70年来全省暴雨大雨以上量级的强降水频次呈现增长态势，且干季强降水频次的增长尤为明显；不同重现期下云南极端最大日雨量的估算结果显示，局部地区百年一遇的极端最大日雨量值可超过320 mm，且强降水区域呈现扩大趋势。

关键词

极值分布，重现周期，耿贝尔分布函数

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来，全球性气候异常背景下云南省的持续高温(低温)、干旱、暴雨等极端气候事件呈现频发多发态势。与极端低温密切相关的大范围强寒潮、低温冷害、冰冻雨雪等灾害和由极端暴雨引发的洪涝、城市渍涝、山洪地质灾害等气象灾害及气象衍生灾害，在造成巨大经济财产损失的同时，也严重威胁人民生命财产安全及交通、水利、电力等设施安全。

研究气候异常背景下极端降水事件发生过程中可能出现的日极端最大降水量、强降水过程累积雨量、区域性或全流域性平均降水量及其时空分布特征和变化规律，对包括暴雨、洪涝、城市渍涝、山洪地质灾害在内各类气象灾害及气象衍生灾害的实时监测、及时预警、准确预报及科学有效的综合防御等，均具有重要的科学意义和实用价值。而极端最大日降水量的重现周期是科学做好各类重大工程设计、产业规划与布局的重要参考指标[1]-[6]。

云南省特殊的地理位置(地处青藏高原东南、西南毗邻孟加拉湾、东南接壤中南半岛)和复杂的地形地貌(海拔高差达6000多米、高山峡谷交错)造就了云南多样化的气候类型。从云南省各气象站近70年的降水观测资料分析看，境内雨量丰沛地区的年雨量超过3000 mm，而金沙江河谷、元江河谷等干热河谷局部地区年雨量较少的年份仅300~400 mm，两者间相差10倍之多；干热河谷地区少雨年份的年雨量仅相当于多雨地区强降水过程中的极端日雨量。如此巨大的降水量级差异及时空差异，更加突显出对云南极端雨量估算的重要性，同时又是对分析评估技术方法的巨大挑战。

在复杂天气系统影响下，极端降水量的分布特征及其重现周期等科学问题及其应用的研究工作在国内外已有所开展[6][7][8][9][10]，尤其是与极端降水关系密切的流域面雨量、最大可能降水量(PMP)、最大可能洪水(PMF)等在水利、水电等工程的设计、论证及建设中已广泛应用[7]-[14]，但这些研究多数

仍基于对有限观测资料的统计分析。

受观测资料年限、分析技术等局限,除因各大江河水电开发等设计与论证中对相关流域的极端降水事件开展过零散研究外,对云南全省性、长时间序列的极端降水事件的时空分布特征、变化趋势及其重现周期等问题所开展的系统化、综合性的分析工作尚不多见。随着云南省经济社会的持续发展,现代产业规划与布局、资源开发、城乡规划等,均需要对云南及周边地区极端降水事件及其重现期等进行客观评估,从而为综合决策提供科学依据。

2. 资料及模型

利用云南全省 133 个气象站自建站至 2017 年底逐日雨量资料(统一采用当日 08 时~次日 08 时雨量代表日雨量,其中个别站点在上世纪 90 年代偶有中断情况,但在空间分布分析中仍可参考),统计其极端最大日降水量的气候极值空间分布特征及时间演变趋势。

极值分析及重现期估算的方法很多,在气象、水文等分析中较常见的有皮尔逊(Pearson)分布、耿贝尔(Gumbel)分布、詹金森(Jenkinson)分布等[15][16][17][18],这些分析方法各有优缺点。本文以耿贝尔(Gumbel)分布为基本统计模型,通过矩方法和 Gumbel 法对分布函数参数(尺度参数及密度众数)进行计算,得出云南全省各观测站点近 70 年极端最大日雨量及其不同再现期内可能出现的极端最大日雨量分布以及云南北端强降水变化趋势图。

极端最大降水及重现期问题实际是随机序列的概率问题,即对于随机变量 ξ 而言,其取值小于极值 x 的分布函数为:

$$F(x) = P(\xi < x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (1)$$

其中 $f(x)$ 为概率密度函数,当 ξ 超过某个确定的值 x 的发生概率即为右侧概率,根据全概率事件归一原理,右侧概率为:

$$P(\xi \geq x) = 1 - F(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx \quad (2)$$

如果当 ξ 大于特定值 x 的事件在 T 年内发生 1 次,则将 T 称为极值 x 的重现期或说该值为 T 年一遇的极值。根据频率(概率)与周期互为倒数原理有:

$$T_{\max} = \frac{1}{P(\xi \geq x)} = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (3)$$

可见,要针对随机序列的极值 ξ 确定其重现期,或针对特定重现期内可能出现的极端最大值问题时,关键在于其分布函数及其参数的确定。在此,采用耿贝尔分布。

2.1. 耿贝尔模型

当随机变量的分布相类于指数型分布(如正态分布、皮尔逊分布、Jenkinson 分布、耿贝尔分布、 χ^2 分布等)时,其极大值分布函数以耿贝尔 I 型分布为模型[1][18]:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-b)}}, (-\infty < x < \infty) \quad (4)$$

其中 a 为尺度参数, b 为密度众数;问题的关键在于函数中尺度参数 a 和密度众数 b 的确定。方法有多种,在此我们分别采用矩方法和耿贝尔法来确定参数。

2.1.1. 矩法参数估算

方便起见,令 $y = a(x - b)$, 则分布函数及其对应的密度函数可表示为:

$$\begin{cases} F(x) = e^{-e^{-a(x-b)}} \\ f(y) = e^{-y-e^{-y}} \end{cases} \quad (5)$$

根据数学期望和方差的意义，对(5)式分别进行一阶矩(数学期望)和二阶矩(方差)的运算可有：

$$\begin{cases} E(y) = \int_{-\infty}^{\infty} yf(y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} ye^{-y-e^{-y}} dy \\ E(y^2) = \int_{-\infty}^{\infty} y^2 f(y) dy = \int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-y-e^{-y}} dy \\ s_y^2 = \int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-y-e^{-y}} dy - \left(\int_{-\infty}^{\infty} ye^{-y-e^{-y}} dy \right)^2 \end{cases} \quad (6)$$

通过变换积分，令 $t = e^{-y}$ ，则(6)式转化为典型的特殊函数积分问题：

$$\begin{cases} E(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \ln te^{-t} dt = \Gamma^{(1)}(1) = C \\ E(y^2) = \int_{-\infty}^{\infty} (\ln t)^2 e^{-t} dt = C^2 + \frac{\pi^2}{6} \\ s_y^2 = E(y^2) - (E(y))^2 = \frac{\pi^2}{6} \end{cases} \quad (7)$$

(7)式中 C 为是欧拉常数，取 0.57722； π 是圆周率，取 3.1415926；由于实际观测样本为 X 序列，根据 $y = a(x-b)$ ，则可确定尺度参数 a 和密度众数 b 的解析形式为：

$$\begin{cases} a = \frac{\pi}{\sqrt{6}S_x} = \frac{1}{0.779697S_x} \\ b = E(x) - \frac{\sqrt{6}C}{\pi} S_x \end{cases} \quad (8)$$

对于有限样本长度的时间序列，以其序列平均值和方差值作为其数学期望和方差的无偏估计量进行计算，即：

$$E(x) = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad s_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

其中 N 为雨量观测样本总容量；将其代入(8)式即可计算分布参数的估算值。

2.1.2. 耿贝尔法参数估算

显然，采用矩法计算分布参数具有简单、快捷的优势。但以其计算参数估计量过程中，一当遇到总体原点矩不存在的分布序列时，则矩法不再适用；另一方面矩法只涉及总体分布的部分特征，但对总体分布特征的综合考虑不够全面，只有当随机序列的样本容量 N 足够大时，才能体现矩法的优点。为此，我们再以 Gumbel 法进行参数估算比较。

令 $y = a(x-b)$ ，则与随机序列 X_i 相应的新序列中出现不小于极值 y 的概率为：

$$P(Y) = P(Y > y) = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (9)$$

对 $y = a(x-b)$ 分别取均值和方差运算可有

$$E(y) = E[a(x-b)] = a(\bar{x} - b) \text{ 即 } \bar{y} = a(\bar{x} - b)$$

$$Var(y) = Var[a(x-b)] = as_x \text{ 即 } s_y = as_x,$$

将其联立可得关于随机变量 x, y 的分布参数:

$$\begin{cases} a = \frac{s_y}{s_x} \\ b = \bar{x} - \frac{s_x}{s_y} \bar{y} \end{cases} \quad (10)$$

由(10)式可见, 通过变化可将分布模型中参数 a, b 的估算转化为对随机变量 x, y 的均值 \bar{x}, \bar{y} 及方差 s_x, s_y 估算来实现。

对实测的随机序列 $\{x_i, i=1, 2, 3, \dots, n\}$, 其均值和方差容易确定, 关键在于与其相对应的 $\{y_i, i=1, 2, 3, \dots, n\}$ 的参数估算; 若将 $\{x_i\}$ 按序排列: $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_m \geq \dots \geq x_n$, 则出现大于极值 x_m 的经验频率与理论概率关系为:

$$e^{-e^{-y_m}} = \frac{m}{n+1} \quad (11)$$

显然, (11)式两端均为非负实数, 对其两端取对数并做均值和方差计算得:

$$\begin{cases} y_m = -\ln\left(-\ln\frac{m}{n+1}\right) \\ \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n y_m = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n \left[-\ln\left(-\ln\frac{m}{n+1}\right)\right] \\ s_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (y_m - \bar{y})^2} \end{cases} \quad (12)$$

由(12)式可以根据实际观测样本的变化确定变量 y 的相关统计参数, 再与(10)式结合即可确定耿贝尔分布函数中的参数 a, b 。

2.2. 极端最大值重现期的估算

如果说极端值的大小估算便于我们掌握特定气候要素极值的可能取值范围, 则在减灾防灾及相关重大工程的规划、设计与论证中, 需要在掌握其极端值范围的同时, 能把握该极值发生的频率即重现期, 以便根据极端最大值和重现期做出科学的决策。

对随机序列 $\{X_i, i=1, 2, 3, \dots, m, \dots, n\}$ 而言, 在 n 年的观测样本中该随机变量出现不小于某一特定极端最大值 x_m 的概率(几率)可表示为 $p(x \geq x_m) = 1 - F(x) = 1 - e^{-e^{-a(x-b)}}$; 根据时间序列中特定事件发生的概率(频率)与相应的周期(重现期)间互为倒数的关系, 极端最大值 x_m 及其重现期 T_m 可表示为:

$$\begin{cases} x_m = b - \frac{1}{a} \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_m}\right)\right] \\ T_m = \frac{1}{P(x \geq x_m)} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-a(x_m-b)}}} \end{cases} \quad (13)$$

这样, 分布函数的参数 a, b 一旦确定, 则可通过(13)式估算重现周期为 T_m 的内的极端值 x_m , 反之, 亦可针对某一特定极端最大值 x_m 计算其可能重现的周期 T_m 。

3. 计算和结果分析

联立(7)式和(8)式及(10)式和(12)式分别确定 Gumbel 分布参数, 在结合(13)式对云南全省各气象站近 70 年极端最大日降水量时空分布特征、重现期以及不同重现期内各气象站点可能出现的极端最大日雨量

进行综合分析如下。

3.1. 极端日雨量空间分布特征

对全省 133 个气象站近 70 年的日雨量极值统计，得到如图 1 所示的空间分布图。

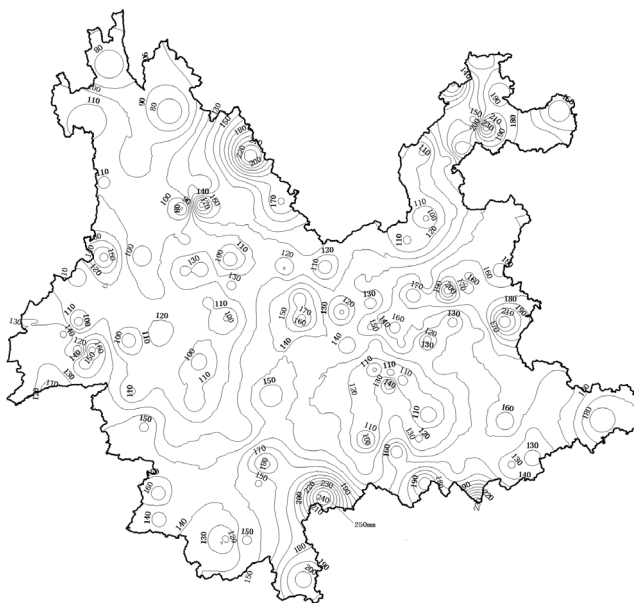


Figure 1. Spatial distribution of extreme maximum daily rainfall in Yunnan Province (unit: mm)
图 1. 云南省极端最大日雨量空间分布图(单位: mm)

由图 1 可见，云南省各站点极端最大日雨量的空间分布极不均匀。总体看分别在滇西北丽江市的东北部、滇东北昭通市的东北部、滇东曲靖市的南部、滇南的普洱市南部至红河州的南部等地区分别存在几个日降水量极端最大值中心，其中心附近的极端日雨量大多在 190~250 mm 之间，其中滇西北丽江市的宁蒗气象站极端日雨量达 227.8 mm，而该区域附近永胜县撒坝子乡的乡镇雨量站曾经观测到最大日雨量达 310 mm 的特大暴雨，足见该区域极端日降水量之大；滇东北昭通市彝良气象站最大日雨量 235.4 mm；滇东曲靖市罗平气象站、马龙气象站的极端日雨量分别达 218.0 mm 和 208.3 mm；滇南普洱市江城气象站最大日雨量达 250.1 mm、其东部红河州河口气象站极端最大日雨量达 239.2 mm。总体对比看，滇西北至滇西一带的极端最大日雨量相对较小，一般在 80~130 mm 左右；其它地区极端最大日雨量在 120~170 mm 左右；滇中昆明站目前为止所测到的最大日雨量为 165.4 mm，而该距离测站不远的自动站曾观测到 190.7 mm 的大暴雨。

值得注意的是，与云南省多年(1961~2017 年)平均年雨量的空间分布相比(图略)，云南极端最大日雨量与平均年雨量的空间分布趋势并非完全一致。除在滇南、滇西南地区其多年平均年雨量较大，也存在明显的年平均雨量的大值分别区外，在滇西北的丽江市东部、滇东北的昭通市东北部、滇东的曲靖南部等地区，其平均年雨量并无显著偏大的分布特点，但这些地区极端日降水量仍很大。这说明并非在年平均雨量丰沛的地区才会出现极端大暴雨等强降水，这在极端暴雨洪涝等灾害防御及相关工程设计中容易被忽视，需引起高度重视。

3.2. 极端最大日雨量时间演变特征

为分析云南极端降水的时间演变规律，将全省各站点资料统一为 1960 年 1 月 1 日~2017 年 12 月 31

日, 对此期间内全部站点分别统计其暴雨(日雨量 ≥ 50 mm)和大雨(日雨量 ≥ 25 mm)的全年站次、雨季(5月1日~9月30日)和干季(10月1日~次年4月30日)不同季节内强降水的年站次, 以研究其强降水的年际变化与季节变化特征, 结果如图2和图3。

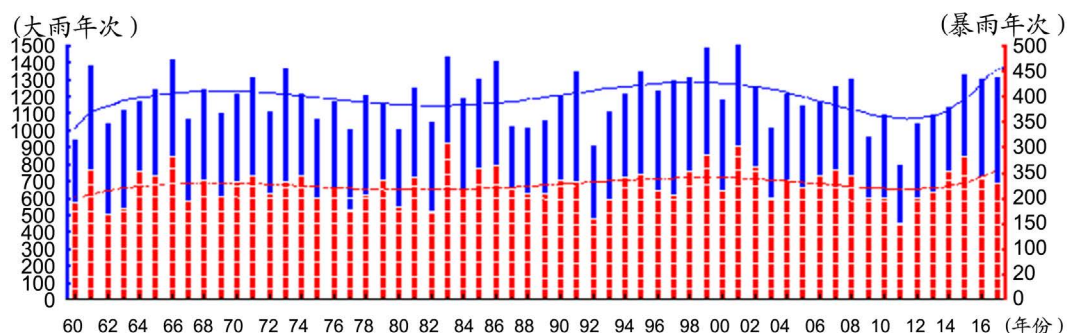


Figure 2. The evolution chart for times of annual rainstorm (imaginary column line) and its trend (imaginary curve), times of annual heavy rain (solid column line) and its trend (real curve) of Yunnan province (horizontal axis is time: 1960-2017; Left primary axis is times for annual heavy rain; the secondary axis on the right is times of annual rainstorm)

图 2. 云南省年暴雨站次(虚柱线)及趋势(虚曲线)和年大雨站次(实柱线)及其趋势(实曲线)演变图(横坐标为时间: 1960~2017年; 左侧主坐标是大雨年站次; 右侧次坐标为暴雨年站次)

由图2可见, 无论是暴雨以上量级强降水的年站次还是大雨以上量级强降水的年站次, 其年际间的差异都十分明显。25 mm 以上强降水年站次最多年份达 1514 站次/年(2001 年), 而最少年份仅 807 站次/年(2011 年), 两者相差近 2 倍; 暴雨以上量级强降水的年站次最多年份为 309 站次/年(1983 年), 而最少年份仅 149 站次/年(2011 年), 两者差距 2 倍以上。以 6 阶多项式拟合方式分别拟合其变化趋势可见, 无论是暴雨量级以上强降水的年站次还是大雨量级以上强降水的年站次, 均存比较明显的变化特征(60 年代、80 年代为相对小值期; 70 年代、90 年代为相对大值期)。且强降水的年站次呈现缓慢增加的趋势, 这也反映出全球气候异常背景下云南极端强降水事件呈现频发多发态势, 这对极端降水及其可能引发的相关灾害的防御具有参考意义。

为进一步研究云南极端最大日雨量的年季演变特点, 对雨季(5~9 月)和干季(10 月~次年 4 月)分别统计其强降水年站次分布, 以分析其干季极端强降水事件在全年强降水事件中的百分比, 试图揭示全球变化背景下云南雨季与干季极端强降水事件的年季变化特征(图3)。

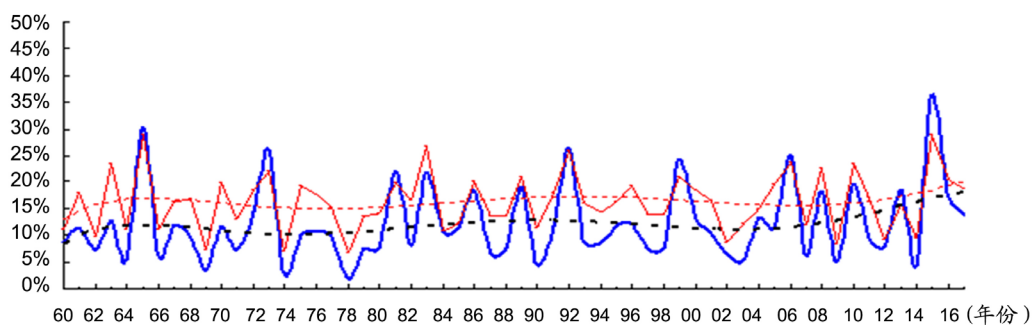


Figure 3. The percentage of the rainstorm times and heavy rain times in dry season and in the annual total times (the thick curve and thick dotted line is rainstorm; the fine solid line and the fine dotted curve is heavy rain; the x-axis is the time from 1960 to 2017; ordinate is the percentage of stations of heavy precipitation in the dry season)

图 3. 云南干季暴雨及大雨站次占全年总站次百分比演变图(粗实线为干季暴雨站次占全年站次的百分比曲线, 粗虚线为其趋势线; 细实线为干季大雨站次占全年站次百分比曲线, 细虚线为其趋势线; 横坐标为时间 1960~2017 年; 纵坐标为干季强降水站次所占百分比)

由云南干季大雨和暴雨强降水站次占全年站次百分比的变化趋势看(图 3),无论是大雨量级的强降水事件还是暴雨量级的极端强降水事件,其干季强降水事件发生的百分比均呈逐渐增加的趋势,个别年份干季暴雨以上量级强降水站次所占的比例甚至超过 30%以上(2015 年达 36.04%);这与云南近些年秋季甚至冬春季节暴雨(雪)等灾害频发的事实相吻合。

3.3. 极端最大日雨量重现期及不同重现期内可能出现的极端最大日雨量

利用耿贝尔分布函数为基本模型,分别以矩法及耿贝尔法进行分别参数估算,对已经出现的极端最大日雨量计算其重现期,并估算各站点在 25 年、50 年、75 年、100 年、125 年、150 年、175 年、200 年等不同重现期内可能出现的极端最大日雨量值,分析其空间分布特征。

3.3.1. 已发生极值的重现周期

利用(8)式、(10)式和(13)式,将云南省各气象站点自建站以来近 70 年的观测资料及统计所得的极端最大日雨量值代入,得到各站点已发生的极端最大日雨量重现期分布如图 4 所示。

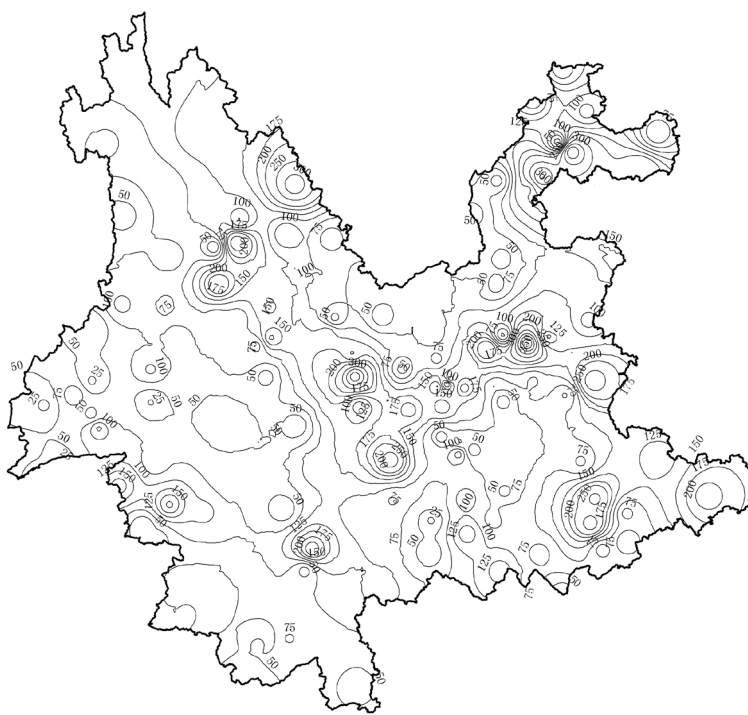


Figure 4. The distribution of extreme maximum daily precipitation in Yunnan Province (unit: year)

图 4. 云南省极端最大日雨量重现期分布图(单位: 年)

由云南省各观测站点近 70 年的极端最大日降水量的重现期的分析(图 4)看,极端最大日雨量超过 200 mm 的站点,其极端最大日雨量几乎与其雨季多雨月份的多年平均月雨量相当,甚至超过其多年平均月雨量值。与其对应的理论重现期大都超过百年(个别站点极端最大日雨量的理论重现期甚至超过 200 年),已属百年一遇的极端异常降水事件。

对全省各气象站的各年最大日雨量排名前 10 位的雨量大小及其标准差进行简单分析,发现这些极端日雨量大、重现周期长的站点几乎都存在极端最大日雨量排名第一位的日雨量极值远大于排名第二第三位的雨量极值,且其标准差值也很大的特点,即其降水变率极大。计算分析也表明,云南各站点百年一遇的极端日雨量值上限一般不易突破 300 mm,难以与江淮地区特大暴雨过程极端日雨量达数百毫米相比。

3.3.2. 不同重现期的极端日雨量分析

在气象、水文、水利、水电等重大工程规划设计中,为保障其防洪能力和安全运行,需要考虑其百年甚至万年以上一遇的极端降水情况,足见研究不同重现期内各地可能出现的极端降水及其分布规律意义重大。

利用(13)式对云南各气象站不同重现期的极端最大日降水量进行估算,考虑到目前大多数气象站点观测样本长度已接近 70 年,且部分站点已观测到的极端最大日雨量的重现期突破百年的事实,我们重点分析各站点的 100 年一遇、150 年一遇和 200 年一遇三大重现期内可能出现的极端最大日雨量及其空间分布特征(如图 5)。



Figure 5. Distribution of extreme maximum daily rainfall in Yunnan in different recurrence periods (100 a (a); 150 a (b); 200 a (c); unit: mm)

图 5. 云南省不同重现期极端最大日雨量分布图(100 年(a)、150 年(b)、200 年(c), 单位: mm)

由重现期分别为 100 年、150 年、200 年一遇的各站点可能发生的极端最大日雨量的估算值与其目前已出现的极端最大日雨量值空间分布图(图 5)对比分析看,除滇西北迪庆藏族自治州的大部地区、滇西大理白族自治州的部分干热少雨区(如宾川),其百年一遇的极端最大日雨量在 80~110 mm 之间外,其它各地百年一遇的日极端雨量大都超过 150 mm,已与目前所观测到的其夏季多年平均月雨量相当;滇中昆明周边地区百年一遇的极端日最大雨量未超过 200 mm。

特别值得关注的是,从云南省 100 年以上一遇的极端日雨量估算分析看,在滇西北丽江市的东北部、滇东北昭通市的东北部、滇中曲靖市的大部地区以及滇西南和滇南的大部地区,其百年一遇的极端最大日雨量值和强降水的分布区域均呈现明显增大的趋势;其中滇西北丽江市的华坪、宁蒍一带,滇东北昭通市的盐津、彝良等地;滇东曲靖市的罗平、马龙,滇南及滇西南临沧市的孟定;滇西南普洱市的西盟、江城和西双版纳州的勐腊,以及滇南红河州的金平和河口等气象站,其 150 年以上重现期内的极端最大日降水量均突破 200 mm。特别是滇南红河州河口气象站,其 200 年重现期的极端最大日雨量计算值达 320.7 mm,其周边地区也是近些年洪涝、山洪灾害频发地区。而在滇西北丽江市华坪附近的气象站点百年一遇的理论估计值虽然在 200 mm 左右,但其附近乡镇雨量自动站已观测到 310 mm (撒坝子乡)的特大暴雨,且造成了严重的山洪和地质灾害,因而上述估算值及分布和变化趋势,与近年来的观测事实及灾害分布相吻合,具有很好参考意义。

4. 结论

通过对云南各气象站近 70 年逐日雨量极大值及其时空分布规律、重现期的分析以及不同重现期内可能出现的极端最大日降水量的估算,初步得到如下结论:

1) 云南极端最大日雨量存在明显空间分布不均匀, 分别在滇西北、滇东北、滇东及滇南存在几个大值中心, 其中心附近日雨量极值超过 200 mm; 气象站已观测到的极端最大日雨量达 250.1 mm (普洱市江城站), 而滇西北迪庆州大部地区极端最大日雨量在 80 mm 左右, 两者间的差距在 3 倍以上。

2) 云南极端最大日雨量与云南省多年平均年雨量的空间分布趋势并非完全一致。在滇西北丽江市东部、滇东北昭通市东北部、滇东曲靖南部等年雨量并不太大的地区, 却出现了其极端最大日降水量的大值分布区, 表明极端日最大降水事件未必只发生在年雨量丰沛的地区。

3) 云南强降水的年站次存在明显的年际变化特征, 即上世纪的 60 年代和 80 年代为相对小值期, 70 年代和 90 年代为相对大值期; 且强降水年站次略呈增加趋势。

4) 对云南全省干季(10 月~次年 4 月)强降水站次与全年站次的百分比的分析表明, 近年来云南干季强降水总体呈现增加趋势, 这再次提醒我们即便在干季也应注意防范。

5) 对不同重现期内可能出现的极端最大日雨量的计算结果表明, 云南 100 年一遇的极端最大日雨量超过 200 mm 的区域中心与目前的极值中心分布趋势相近, 但降水量及分布区域均呈增大态势; 滇南部分站点 200 年一遇的极端日雨量甚至突破 320 mm。

参考文献

- [1] 韩军彩, 王传辉, 陈静, 等. 石家庄市暴雨变化特征及降水极值重现期研究[J]. 干旱区研究, 2013, 30(5): 796-801.
- [2] 杨萍, 侯威, 封国林. 中国极端气候事件规律性研究[J]. 气候环境研究, 2010, 15(4): 365-369.
- [3] 马京津, 李书严, 王冀. 北京市强降水分区及重现期研究[J]. 气象, 2012, 38(5): 469-576.
- [4] 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.
- [5] 陆佳政, 张红先, 彭继文, 等. 基于皮尔逊 III 型概率分布的湖南电网覆冰重现期计算[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 80-86.
- [6] 李红梅, 周天军, 宇如聪. 近四十年我国东部盛夏日降水特征变化分析[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 358-369.
- [7] 张波, 谷晓平, 古书鸿. 贵州省最大日降雨量时空分布及重现期估算[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 167-172.
- [8] 陈静, 姚蓉, 文强, 等. 湖南省降雨型地质灾害致灾雨量阈值分析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 42-47.
- [9] 姚莉, 赵声蓉, 赵翠光, 等. 我国东部逐时雨强分布及重现期的估算[J]. 地理学报, 2010, 65(3): 293-300.
- [10] 翁子豪, 王魏竹, 等. 覆冰气象指数法在福建山区覆冰重现期确定中的应用[J]. 岩土工程, 2018(5): 46-51.
- [11] 刘德地, 杜佩玲. 不同条件下水温要素重现期的计算方法[J]. 水文, 2014, 34(5): 1-5.
- [12] 史黎翔, 宋松柏. 具有趋势变异的非一致水文序列重现期计算研究[J]. 水力发电学报, 2016, 35(5): 40-46.
- [13] Du, T., Xiong, L., Xu, C., et al. (2015) Return Period and Risk Analysis of Non-Stationary Low-Flow Series under Climate Change. *Journal of Hydrology*, 527, 234-249. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.041>
- [14] 叶长青, 陈晓宏, 长进鸣, 等. 具有趋势变异的非一致性东江流域洪水序列频率计算研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(12): 2105-2116.
- [15] Yue, S., Ouarda, T.B.M.J., Bobee, B., et al. (199) The Gumbel Mixed Model for Flood Frequency Analysis. *Journal of Hydrology*, 276, 88-99.
- [16] 陈建昌, 郭化文. 用 Jenkinson 法推算山东年最大日雨量重现期值的初探[J]. 应用气象学报, 1995, 6(4): 486-491.
- [17] 王晓光. 气象要素重现期的计算方法比较[J]. 内蒙气象, 2015(5): 29-32.
- [18] 冯平, 王仲钰. 基于二维 Gumbel 分布的降水径流频率分析模型及应用[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 21(10): 68-72.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2168-5711，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：crl@hanspub.org