

鹤壁市单日降水量极值估算

任丽伟¹, 王辛方², 李喜平², 荆冰凌², 段秀英², 杜滨鹤², 王福州²

(1. 浚县气象局, 河南 浚县 456250; 2. 鹤壁市气象局, 河南 鹤壁 458030)

摘 要: 利用耿贝尔 (Gumber) 极值分布原理, 对鹤壁市 1965—2004 年最大日降水量进行降水分布拟合, 估算预报时段内可能出现的最大日降水量, 得出 50 a、80 a 鹤壁市可能出现的最大日降水量分别为 278.7 mm 和 301.9 mm; 利用二次指数平滑法, 得到鹤壁市最大日降水量年际变化总体上呈线性减少趋势。统计结果显示: 鹤壁市最大日降水量有峰值增大、谷值减小的趋势, 说明在未来一定时期, 极端最大日降水量发生的可能性不断增加; 最大日降水量集中出现在 7~8 月份, 有明显的季节特征。

关键词: Gumber 极值分布; 最大日降水量; 特征; 理论估算

中图分类号: P426.61⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2009)02-0046-04

引 言

近年来, 极端气候事件如洪涝、干旱、暴雨、大风、严寒、高温等频繁发生和加剧, 已经成为当今社会和科学界愈来愈关注的焦点。所谓极端气候事件, 实质上是由某种气象要素或变量引发的, 当其正负异常超出了一定的阈值时, 即发生一定区域和时段上的气候极值。它们可能导致某种气象灾害事件的发生, 如洪水、暴雨、干旱等。早在 20 世纪中叶, 人们对气候极值的重要意义就有所认识。例如, 在国民经济建设中, 许多大型工程设计必须考虑气候极值发生的可能性, 以及它们对社会经济和环境所造成的危害。在建筑设计中必须考虑大风的破坏作用, 设计要估计今后若干年内可能出现的最大风速和风压; 在水库建设中, 必须考虑流域内降水和暴雨的极值及今后若干年内可能出现的最大降水或大暴雨, 等等。上述问题在国民经济建设中经常遇到, 也是统计气候学为经济建设服务的重要课题之一。一般将此类问题称之为“气候极值推断”问题^[1-2]。极端降水事件是气候变化研究的重要内容之一, 随着全球气候变暖, 水循环加剧, 全球范围极端降水事件及其导致的灾害呈增加的趋势。某一地区因降水过量而造成洪涝灾害, 在很大程度上是由于日降水量过大。

鹤壁市地处暖温带向北亚热带过渡带、西部山区向东部平原的过渡带, 属季风气候区。区域内有豫北地区最大的水利枢纽工程——盘石头水库和 1 座中型水库、19 座小型水库, 防洪任务非常艰巨。日降水量过大, 不仅会形成局部内涝, 同时也会对鹤壁区域内的水利工程造成威胁, 危害人民生命财产安全, 同时, 许多工程的设计也需依据给定重现期的降水极值^[3]。因此, 对未来时段内可能出现的最大日降水量进行理论估算, 具有非常重要的意义。

人们曾采用记录资料中的一些极值作为指导工作的依据, 这种估算极值的方法具有一定的局限性。从统计学意义上讲, 随机变量的极值是不稳定的, 但是从概率论的意义上, 事件的极值可以是稳定的, 对其极值的变化可以进行概率预报, 概率推算是其中一种重要的方法。极值分布的推算问题主要有两种类型: 一是运用经验分布函数 (或曲线), 二是根据随机变量的母体分布推断它的理论分布。当前在极值统计中常用的经验分布函数有皮尔逊型和正态分布函数, 但它们是经验分布。现代统计理论已经根据随机变量的母体分布推断它的极值理论分布, Gumber 极值分布就是个较完全的极值理论分布^[4]。本文立足统计学原理, 运用 Gumber 极值分布理论对鹤壁市区域今后一段时间内可能出现的最大日降水量极值做出估计, 并对鹤壁市区域内最大

收稿日期: 2009-01-19; 修订日期: 2009-03-10

作者简介: 任丽伟 (1971-), 女, 黑龙江鸡西人, 工程师, 主要从事大气探测及天气气候预测分析研究。E-mail: hnhbrw@163.com

日降水量特征进行分析。

1 理论依据

1.1 耿贝尔 (Gumber) 极值分布理论

耿贝尔 (Gumber) 极值分布又称为 Fisher - Tippett 型分布,最初由 Gumbel(1948)用于水文学的洪水极值计算^[1]。由于许多变量的分布都属于指数型,耿贝尔分布是个比较完全的极值理论分布^[3]。当最大日降水量序列资料年代趋向无穷长时,日降水极大值 R 由下式导出:

分布函数

$$\varphi(R) = e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

概率密度函数

$$F(R) = \alpha \cdot e^{-y} \cdot e^{-y} \quad (2)$$

其中

$$y = \alpha \cdot (R - \mu) \quad (3)$$

式中, μ 为分布密度的众数, $1/\alpha$ 为离差的测度^[3]。

1.2 求算 α, μ

设 $E(y)$ 、 $E(R)$ 分别为函数 y 、 R 的数学期望, $D(y)$ 、 $D(R)$ 分别为 y 、 R 的方差, σ_y 、 σ_R 分别为 y 、 R 的标准差。

由 (3) 式可以得到:

$$\begin{aligned} E(y) &= \alpha \cdot [E(R) - \mu] \\ \sigma_y^2 &= D(y) = \alpha^2 D(R) = \alpha^2 \sigma_R^2 \end{aligned}$$

则

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_R}, \mu = E(R) - \frac{1}{\alpha} E(y) \quad (4)$$

1.3 推导最大日降水量的估计公式

先用得到的 N 个最大日降水量样本资料, 求出其平均数和标准差, 作为 $E(R)$ 和标准差 σ_R 的最大似然估计值。至于 $E(y)$ 和 σ_y , 可首先确定和 $\bar{y}$ 后求出。根据经验频率公式, 对应于 y_m , 有

$$\varphi(R_m) = e^{-e^{-y_m}}$$

N 为样本数量, m 为次序, 由此得到与 R_m 相对应的

$$y_m = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{m}{N+1} \right) \right], m = \{1, 2, 3, \dots, N\}$$

用上式确定出 N 个 y_m 后, 便可算得平均值 $\bar{y}$ 与标准差 σ_y

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N y_m = E(y)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N (y_m - \bar{y})^2}$$

得出 $E(R)$ 、 $E(y)$ 、 σ_R 、 σ_y 以后, 即可代入公式 (4) 求

得 α 与 μ 的值。

最后将所求得的 α 、 μ 值, 代入 (3) 式, 算出 T 年内最大日降水量的估计值

$$R_T = \mu + \frac{1}{\alpha} y_T \quad (5)$$

其中

$$y_T = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right]$$

2 鹤壁可能出现的最大日降水量估算

2.1 资料

取用鹤壁区域内 1965—2004 年共 40 a 最大日降水量资料作为样本 (表略)。通过统计, 得出 40 a 最大日降水量平均值为 110.3 mm; 1965—2004 年鹤壁区域最大日降水量极大值为 2000 年的 251.8 mm, 极小值为 1965 年的 37.5 mm。

2.2 求解鹤壁最大日降水量极值分布函数

40 a 最大日降水量平均值为 $\bar{R} = 4342.4/40 = 108.6$ mm, 方差 $\sigma^2 = 2934.9$, 标准差 $\sigma_R = 54.2$ 。 $N = 40$, 标准方差 $\sigma_y = 1.1413$, 平均值 $\bar{y} = 0.5436$ 。

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_R} = \frac{1.1413}{54.2} = 0.02$$

用最大日降水量平均值 $\bar{R}$ 估值 $E(R)$, 平均值 $\bar{y}$ 估值 $E(y)$, 由 (4) 式得: $\mu = 83.12$, $y = 0.02(R - 83.12)$ 。

鹤壁市最大日降水量 Gumber 极值分布函数为

$$\varphi(R) = e^{-e^{-0.02(R-83.12)}}$$

概率密度函数为

$$f(R) = 0.02e^{-0.02(R-83.12)} \cdot e^{-e^{-0.02(R-83.12)}}$$

利用皮尔逊 χ^2 检验法检验鹤壁市最大日降水量是否符合 Gumber 极值分布^[4]。

统计量:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{12} \frac{(n_i - f(x_i)) \cdot x_i \cdot n}{f(x_i) \cdot x_i \cdot n} = 6.627$$

分布函数两个估计参数中, 自由度为 $12 - 2 - 1 = 9$, 显著水平为 0.05, 得到: $\chi_{0.05}^2 = 16.919$, $\chi_{0.05}^2 > \chi^2$, 说明鹤壁市 1965—2004 年最大日降水量符合耿贝尔分布, 有较好的拟合效果, 通过检验 (见表 1)。

2.3 估算鹤壁可能出现的最大日降水量

$\alpha = 0.02$, $\mu = 83.12$, 由 (5) 式得到

$$R_N = \mu + (1/\alpha) y = 83.12 + 50y$$

因为在 T 年内出现一次最大日降水量 $\geq R$ 的概率为

$$1 - \varphi(R) = \frac{1}{T}$$

表 1 鹤壁市 1965—2004 年最大日降水量耿贝尔拟合度计算

组限	组中值 x_i	实际频数 n_i	y	组距 x_i	分布密度 $f(x)$	理论频数 $f(x)$	$x_i \cdot n$
30 - 50	40	3	- 0.86	20	0.0044	3.55	
50 - 70	60	10	- 0.46	20	0.0065	5.19	
70 - 90	80	6	- 0.06	20	0.0073	5.87	
90 - 110	100	6	0.34	20	0.0070	5.59	
110 - 130	120	4	0.74	20	0.0059	4.74	
130 - 150	140	3	1.14	20	0.0046	3.72	
150 - 170	160	2	1.54	20	0.0035	2.77	
170 - 190	180	1	1.94	20	0.0025	2.00	
190 - 210	200	2	2.34	20	0.0017	1.40	
210 - 230	220	1	2.74	20	0.0012	0.97	
230 - 250	240	1	3.14	20	0.0008	0.66	
250 - 270	260	1	3.54	20	0.0006	0.45	

$$\varphi(R) = \frac{T-1}{T} = e^{-e^{-y}}$$

当 T 值一定时, 可通过两边取对数求得 y 值, 继而计算出它所对应的 R 值 (T 年内出现一次的可能最大日降水量):

$$y = -\ln\left[-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right]$$
$$R_T = \mu - \frac{1}{a} \left\{ \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \right\}$$
$$= 83.12 - 50 \left\{ \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \right\}$$

当 $T = 50$ 时, $R_{50} = 83.12 - 50 \times \{ \ln[-\ln(1 - 1/50)] \} = 278.7 \text{ mm}$, 可以求得 50 a 可能出现的日降水极大值 278.7 mm。

$T = 80$ 时, $R_{80} = 83.12 - 50 \times \{ \ln[-\ln(1 - 1/80)] \} = 301.9 \text{ mm}$, 可以求得 80 a 可能出现的日降水极大值 301.9 mm。

2.4 鹤壁市最大日降水量年际变化

利用二次指数平滑法, 可以得到鹤壁市最大日降水量线性趋势方程为

$$y = -0.1136x + 110.89$$

可见, 多年来, 鹤壁最大日降水量总体上呈线性减少趋势。但由最大日降水量变化曲线 (图 1) 可见, 最大日降水量变化幅度呈逐年加大趋势, 最大日降水量峰值有逐年增大趋势, 最大日降水量谷值有逐年减小趋势^[5]。

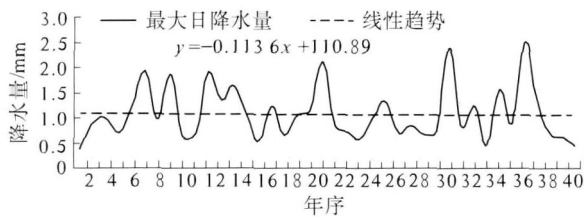


图 1 鹤壁市历年最大日降水量逐年变化及趋势线
横坐标年序中, 2 为 1966 年, 4 为 1968 年, 依次类推

对 1965—2004 年最大日降水量资料统计结果 (图 2) 表明, 最大日降水量集中出现在 5、6、7、8、9、10 月份。其中, 7 月份最多, 达 18 次, 占最大日降水量次数的 45%; 8 月份占 35%; 6 月份出现最大日降水量仅为 1 次。说明最大日降水量有明显的季节变化特征^[6]。

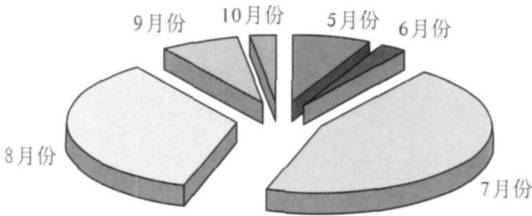


图 2 鹤壁最大降水日分布图

3 结 语

“极端气候事件”在气象学里是指出现概率小于 3% 的气候事件。利用 Gumbel 极值分布原理, 对预报时段内可能出现的最大日降水量进行理论估算, 利用二次指数平滑法对最大日降水量年际变化和分布特征进行分析得出以下结论:

通过对鹤壁市 1965—2004 年间最大日降水量降水分布拟合, 得出 50 a、80 a 可能出现的最大日降水量分别为 278.7 mm 和 301.9 mm。

利用二次指数平滑法, 得到鹤壁市最大日降水量年际变化线性趋势方程为 $y = -0.1136x + 110.89$, 可见鹤壁最大日降水量总体上呈线性减少趋势。

通过鹤壁市历年最大日降水量变化曲线可以得到, 鹤壁市最大日降水量有峰值增大、谷值减小的趋势, 说明在未来一定时期, 降水“极端气候事件”发生的可能性不断增加。

最大日降水量主要集中在 7—8 月份, 有比较明显的季节特征。

耿贝尔极值分布理论是一个比较完全的理论分布,估算最大日降水量方法简单,可操作性强,具有一定的使用价值,但极值分布中的参数均是根据历史资料确定,若遇与历史规律相差较大的特异情形,此法效果可能不十分理想。

参考文献

[1] 丁裕国. 探讨灾害规律的理论基础——极端气候事件概率[J].

气象与减灾研究, 2006, 29(1): 44 - 49.

[2] 么枕生, 丁裕国. 气候统计[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 48 - 51.

[3] 汪军, 周官辉, 张金彬, 等. 淇、卫河流域暴雨特征及其与洪水的关系[J]. 河南气象, 2002(3): 21 - 23.

[4] 马开玉, 张耀存, 陈星, 等. 现代应用统计学[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 177 - 197.

[5] 王友贺, 谷秀杰, 师丽魁, 等. 郑州市降水特征分析与水资源问题初探[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(3): 61 - 64.

[6] 李喜平, 任丽伟. 浚县暴雨特征[J]. 河南气象, 2002(2): 23.

Extreme Value Estimation of Daily Precipitation in Hebi

Ren Liwei¹, Wang Xinfang², Li Xiping², Jin Bingling², Duan Xiuying²,
Du Binghe², Wang Fuzhou²

(1. Xunxian Weather Station, Xunxian 456250, China; 2. Hebi Meteorological Office, Hebi 458030, China)

Abstract: Using the principle of the extreme value distribution about Gumber, we carry on the distribution fitting of the maximum daily precipitation from 1965 to 2004 of Hebi and estimate the possibility of the maximum daily precipitation in the forecast period. The results show that the maximum daily precipitation will be 278.7mm over 50 years and 301.9mm over 80 years. Using the secondary index smoothing, the yearly trend of the maximum daily precipitation showed linear reduce in the whole. The statistical results show the maximum daily precipitation increased at peak value and reduced at trough value. Moreover, the occurrence possibility of the maximum daily precipitation will be increased gradually in the future. The maximum daily precipitation focus on July and August, and shows seasonal feature obviously.

Key words: extreme value distribution about Gumber; maximum daily precipitation; feature; theoretical estimation