南四湖流域暴雨分布特征及可能日最大降水量计算

李燕　朱桂林　刘强　马丽

（山东省济宁市气象局，济宁 272037）

摘要　利用南四湖流域 11 县市 1971～2007 年的暴雨资料，分析南四湖流域首次和末次暴雨的开始和结束时间以及暴雨的时空分布特征，发现南四湖流域暴雨的时空分布差异较大，但日降水极值的概率分布却有一定规律，呈 $\Lambda(x)$ 型渐进分布。利用耿贝尔分布计算南四湖流域多年一遇的日最大降水量极值，计算的未来 10 年、20 年、40 年的日最大降水量与历史上 10 年、20 年、40 年的日最大降水量重现期基本一致，对未来 50～200 年的估算值也具有一定的参考价值。

关键词　暴雨　时空分布　可能日最大降水量　耿贝尔分布

引言

南四湖是微山湖、昭阳湖、独山湖、南阳湖等 4 个相连湖的总称。由于微山湖面积比其他三湖较大，习惯上称微山湖，位于山东省西南部济宁市境内。全湖面积 1266 km^2，是山东第一大湖，也是中国大型淡水湖泊之一，是鲁西南的鱼米之乡。历史上较大水灾均以南四湖为中心，涉及范围是流域性的[1]，暴雨是影响南四湖流域的主要灾害性天气，对于许多大型工程设计、城市规划及生产部门都需要对一些有严重破坏性的气象灾害强度进行充分估计，特别是对未来若干年内的日最大降水量的估计。例如，水库容量的设计和城市规划中的供排水工程设计就必须考虑未来若干年的当地最大降水量，依次来推算防洪设计。在设计中，既要避免由于对暴雨强度估计不足造成重大损失，又要避免盲目加大安全系数而造成的不必要的浪费。目前，国内外求算可能最大降水量的方法很多，各有利弊[2~3]，本文利用耿贝尔分布估算多年一遇的日最大降水量极值，为此，首先对南四湖流域暴雨进行气候统计分析，归纳出暴雨时空分布特征，再利用暴雨的历史资料进行统计推算，并根据其概率分布估算出未来若干年内日可能最大降水量。

1　暴雨的时空分布特征

1.1　首次和末次暴雨

一年之中第一场暴雨和最后一场暴雨出现的时间对工农业生产和经济建设有重要的指导意义。第 1 场暴雨对解除和缓解冬春干旱有决定性的作用，而汛期最后一场暴雨对水库蓄水、工程建设也至关重要。利用南四湖流域 11 个县市 1971～2007 年资料统计，多年第 1 场暴雨最早出现在 3 月 3 日（2007 年），最迟出现在 7 月 13 日（1988 年），最后一场暴雨最早出现在 7 月 23 日（1988 年），最迟结束在 10 月 31 日（1996 年）。年际变化较大，它们为离散型随机分布。

1.2　暴雨日数分布特征

1971～2007 年南四湖流域 11 个观测站共出现暴雨 1014 站次，年平均 27.4 站次，但各年的暴雨次数不均，如最多的一年 56 次（2003 年），最少的一年只有 6 次（2002 年）。1971、1998、2003、2007 年为多暴雨年，1982、1988、1997、2002 年为少暴雨年（图 1）。暴雨集中出现在 6～9 月，占全年暴雨总次数的 93%，其中 7、8 月最多，占全年暴雨总次数的 70%。每个测站年平均暴雨日为 2.5 次，南部多于北部，

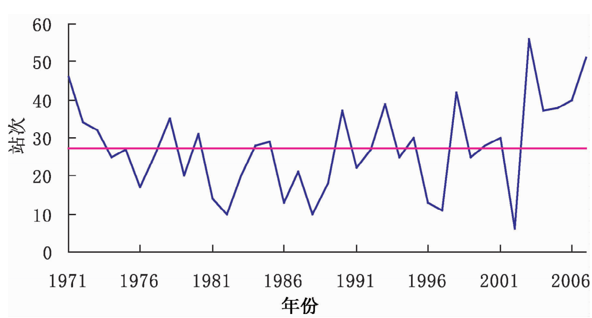

图 1　1971～2007 年暴雨站次年际变化曲线

作者简介：李燕，女，1972 年生，学士，高级工程师，从事天气预报工作，Email：liyandty@sina.com

收稿日期：2008 年 12 月 1 日；定稿日期：2009 年 6 月 10 日

其中微山最多,梁山最少。日最大降水量以微山最大达 558.5 mm(1971 年)(表 1)。

表 1 1971～2007 年南四湖流域历年暴雨大暴雨统计

		济宁	鱼台	梁山	汶上	兖州	金乡	曲阜	邹城	泗水	嘉祥	微山
暴雨	年平均日数	2.8	2.3	1.9	2.2	2.7	2.3	2.6	2.6	2.5	2.5	2.9
	平均降水量/mm	74.1	75.1	79.0	76.6	75.0	74.7	75.7	81.0	76.3	74.9	80.3
大暴雨	总次数	11	15	13	9	10	9	13	18	13	11	14
	日最大降水量/mm	220.9	139.1	175.7	272.6	191.3	190.6	178.6	321.9	207.8	188.2	558.5

2 南四湖流域可能日最大降水量的计算

暴雨的发生有其随机性的一面,同时其发生也有一定的规律性(包括时间和空间分布特征)。利用大量暴雨历史资料统计,估算稀遇暴雨进而估计可能最大洪水是现今世界上很多国家仍在广泛应用的方法。其基本思路是由已知的暴雨历史观测资料来推断它是否符合经验分布函数。由伯努里大数定律可知,当样本足够大时,经验分布函数将趋于理论分布函数。因而可以用暴雨经验分布近似地估计其总体概率分布。其数学方法简介如下:设某年日最大降水量为 q_i 的随机样本,若干年的观测值构成一个 q_i 的随机样本序列,将样本 q_i 由小到大排列成顺序统计量 $q_1^* < q_2^* < q_3^* < \cdots < q_n^*$,这里 $q_k^* = q(q_1, q_2, \cdots, q_n)$,$k=1,2,3,\cdots,n$。显然,随着子样本的不同,$q_k^*$ 也是一个随机变量,为了确定暴雨极值的分布,必然要知道暴雨其原始理论分布函数 $F(x)$。在一般情况下,原始分布是未知的,但当样本容量 $n \to \infty$ 的极限情况,随机变量 q_k^* 的极值分布函数为指数型,即 $\Lambda(x)$ 型渐进分布。我国气象工作者曾用 $\Lambda(x)$ 型渐近分布研究最大风速的分布,后来耿贝尔将其用于水文统计,故又称耿贝尔分布[4]。于是有 $P\left(\frac{q_n^* - b_n}{a} < x\right) \approx \Lambda(x)$,即 $F_n(x) = P(q_n^* < x) = \exp(-\mathrm{e}^{\frac{-x-b_n}{a_n}})$,$F(x)$ 为 q_n^* 耿贝尔分布函数。

用耿贝尔极值分布理论估算日最大降水量,方法简单,且与实况一致,具有一定的使用价值[5]。用耿贝尔分布拟合暴雨极值:令 $y = a_n(x - b_n)$,要估计参数 a_n、b_n 的值,为此记 $y = -\ln\{-\ln[\Lambda(\frac{x-b_n}{a_n})]\}$,若 $x_1 < x_2 < \cdots < x_n$ 是经过变序排列的 m 个观测值,用 $y_i = -\ln[-\ln(\frac{i}{m+1})]$ 与 x_i 对应起来,对于 m 组 $(x_1, y_1), \cdots, (x_m, y_m)$ 用最小二乘法可求得 a_n 与 b_n 的估计值:

$$a_n = \frac{\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{m}(y_i - \bar{y})^2} \tag{1}$$

$b_n = \bar{x} - a_n\bar{y}$,这里 $\bar{y}$ 只与 n 有关,应用时可查表获得,无需计算,其中

$$\bar{x} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} x_i \tag{2}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} y_i$$

暴雨的 $\Lambda(x)$ 型渐进分布估计值为:$F_n(x) = \exp(-\mathrm{e}^{\frac{-x-b_n}{a_n}})$,有了 $F_n(x)$ 这个估计分布函数便可以估计今后出现的 N 个样本中最大值 (q_n):$q_n = \max(x_{n+i})$,$i = 1,2,\cdots,N$,即

$$q_n = a_n[-\ln(-\ln\frac{m+1}{m+n+1})] + b_n \tag{3}$$

利用南四湖流域 11 县市 1971～2007 年 37 年的暴雨资料,取每年 11 个站点日降水的极大值,按上述要求组成一个由 37 组 (x_i, y_i) 样本组成的样本库,利用式(1)和(2)估计出参数 a_n 和 b_n,$a_n = -56.1$,$b_n = 193.6$,利用式(3),可估算出南四湖流域今后各年内可能出现的日最大降水量,详见表 2。

表 2 未来 10～200 年可能日最大降水量 mm

	10 年	20 年	40 年	50 年	100 年	200 年
日最大降水量	183	213	241	249	272	290

3 检验

由表 2 可以看出,式(3)估算的未来 10、20、40 年的日最大降水量 183、213、241 mm 与历史上 10、20、40 年的日最大降水量 167、220、272 mm 基本一致,但与微山站 1971 年 8 月 9 日的日最大降水量为 558.5 mm 以及邹城站 1972 年 7 月 6 日的日最大降

水量 321.9 mm 相差较大,通过进一步个例分析发现,这两次过程均是局地性降水,降水区域小,局地性强,只在单一测站城区有大的降水,附近县市测站及所属乡镇只有 10 mm 以下小的降水,对南四湖流域防洪无太大影响,可作为特例不予考虑,所以式(3)对未来 50～200 年南四湖流域日最大降水估算值具有一定的参考价值。

4　结论

(1)南四湖流域首场和末场暴雨开始和结束的时间年际差别较大,它们为离散型随机分布。年平均暴雨 27.4 站次,但各年的暴雨次数不均,最多的一年 56 次,最少的一年只有 6 次。南部多于北部,其中微山最多,梁山最少。

(2)用耿贝尔分布拟合多年一遇的日最大降水量极值,结果表明,估算的未来 10、20、40 年的日最大降水量与历史上 10、20、40 年的日最大降水量的重现期基本一致,对未来 50～200 年的估算值也具有一定的参考价值。

参考文献

[1]　牛叔超,朱桂林. 致洪大暴雨的风险评估及气象效益[J]. 气象科技，2000,28(1):30－32.

[2]　魏生生，郭化文，陈建昌. 国内外求算可能最大降雨量研究的综述[J]. 气象科技，1998,(1):16－22.

[3]　林两位,王莉萍. 用 Pearson-Ⅲ概率分布推算重现期年最大日雨量[J]. 气象科技，2005,33(4):314－317.

[4]　屠其璞,王俊德,丁裕国,等. 气象应用概率统计学[M]. 北京：气象出版社,1984:210－215.

[5]　张金平. 用耿贝尔极值分布理论估算安庆市日最大降水量[J]. 气象与减灾,2005,(4).

Distributional Characteristics of Heavy Rainfall over Nansi Lake Basin and Calculation of Daily Maximum Possible Precipitation

Li Yan　Zhu Guilin　Liu Qiang　Ma Li

(Jining Meteorological Bureau, Shandong Province, Jining 272037)

Abstract: Using the rainfall data of 11 counties over the Nansi Lake basin from 1971 to 2007, analyzed are the starting and ending times of the first and the last heavy rainfall over the Nansi Lake basin, as well as the temporal and spatial distributional characteristics of heavy rainfall. It is found out that there are different temporal and spatial distributions in heavy rainfall over the Nansi Lake basin. The probability of daily maximum possible precipitation exhibited a $\Lambda(x)$-typed progressive distribution. The daily maximum precipitation that happened once in certain years is estimated by using the Gumbel distribution. Estimation results show that the return periods of the estimated daily maximum precipitation of the next 10 years, 20 years, 40 years are basically the same as those in history, which is a good reference for the estimates of next 50 to 200 years.

Key words: heavy rains, temporal and spatial distribution, daily maximum possible precipitation, Gumbel distribution