

郭广芬,周月华,史瑞琴,等.湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J].暴雨灾害,2009,28(4):357-361.

湖北省暴雨洪涝致灾指标研究

郭广芬^{1,2},周月华^{1,2},史瑞琴^{1,2},李 兰^{1,2},万 君^{1,2}

(1.武汉区域气候中心,武汉 430074;2.湖北省气候变化中心,武汉 430074)

摘要:利用湖北省 76 站逐日降水量资料,采用耿贝尔极值型分布和百分位方法,分别对日最大降水量和过程最大降水量计算湖北省暴雨洪涝各等级的阈值,并统计洪涝历史发生次数,与实际灾害次数进行对比分析。结果表明:(1)虽然强度较大的日降水量也能导致灾害发生,但过程降水量则能更好地反映持续性降水累积效应的致灾作用;(2)百分位法中“分区域指标”和“全省统一指标”的渍涝次数两者接近,但是轻涝和一般洪涝在三峡河谷地区“全省统一指标”的次数明显小于“分区域指标”的次数,较重洪涝和严重洪涝次数在鄂西北和鄂西南地区“全省统一指标”统计结果明显偏少;(3)与实际洪涝灾害个例对比分析表明,百分位方法中“分区域指标”统计的洪涝灾害次数与各区域代表站的实际灾害次数更为接近。

关键词:耿贝尔极值型分布;百分位;重现期;洪涝等级阈值

中图分类号:P468.0*24 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)04-0357-05

1 引言

湖北省位于东亚季风气候区,受亚热带夏季风影响,降水过程频繁,暴雨日数多,洪涝灾害严重。每年 5 月进入汛期后,降水明显增多,江河湖库水位开始上涨,其中以 6 月中旬至 7 月中旬梅雨期雨强最大,最易发生洪涝灾害。9 月以后降水减少,汛期基本结束。

洪涝灾害是由于降水量大、降水强度过于集中,使用量的雨水短时无法排出,或者江河、水库水位上涨以及上游来水量过大、下游水库顶托作用而发生溢流、溃坝所导致的灾害^[1]。因此在暴雨洪涝灾害评估和风险区划研究中主要考虑的致灾因子是降水量,但是不同的研究在描述洪涝灾害等级时所用的致灾雨量阈值和持续日数各不相同。文献[2]根据年降水量和年暴雨日数取不同的阈值将洪涝划分为四级;文献[3]、[4]根据 1~3 d 降水持续日数不同而定义了不同的降水量阈值,也将洪涝划分为四级。另外,也可以通过灾情损失程度与降水量的关系来确定洪涝等级的降水量阈值,但是目前通过灾情普查收集到的各台站历史灾情资料存在很多问题,很难通过这种方法来分级。本文试图通过数学方法确定不同洪涝等级的降水量阈值,此方法可以应用到不同地区进行洪涝等级阈值的确定。

2 资料和方法

2.1 资料与处理

降水资料为湖北省 76 个气象站逐日降水量,起止年份为各站建站时间到 2006 年。过程降水量指一

次连续降水过程(包括 1 d),且其中必须有一天降水量大于 50 mm,大于 1 d 的过程其间不能出现降水量小于 0.1 mm 的日降水量,如出现则认为该过程中断。根据持续的天数,分为 1 d、2 d、…、10 d 的过程降水,其中大于 10 d 的过程降水归到 10 d 里。

灾情资料为各站历史洪涝灾情序列资料,包括由于暴雨洪涝而导致的经济损失、受灾人口、农业受灾面积等,通过各气象台站对历史灾害普查而获得。对所收集的灾情进行分析,发现存在洪涝灾害个例不全、灾情不完整、洪涝灾害个例与实际降水不匹配等问题,因此在湖北省 5 个区分别选取一个灾情资料相对较为全面,灾害个例较多,数据较为准确的站点作为代表站进行分析,鄂西南为利川,鄂西北为郧县,江汉平原为钟祥,鄂东南为黄石,鄂东北为大悟。

2.2 方法

利用重现期和百分位^[5]两种方法确定暴雨洪涝等级致灾指标阈值,重现期采用耿贝尔极值型分布型^[6,7]。

2.2.1 耿贝尔极值型分布法原理

极值型分布函数为:

$$F(x)=P(X_{\max}<x)=e^{-e^{-a(x-u)}} \quad (1)$$

其超过保证率函数,即 Gumbel 概率分布函数是:

$$p(x)=1-e^{-e^{-a(x-u)}} \quad (2)$$

式中 $F(x)$ 为极大值的分布函数, $P(X_{\max}<x)$ 为极大值的概率分布表达式,重现期为概率的倒数, a 及 u 是极大值分布参数,计算公式为:

$$a=\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (4)$$

收稿日期:2009-04-01;定稿日期:2009-10-18

基金项目:湖北省暴雨风险区划研究项目和武汉区域气象中心科技创新团队共同资助

作者简介:郭广芬,女,1980 年生,工程师,主要从事短期气候预测和监测诊断以及灾害影响评估研究。E-mail: guogf@cma.gov.cn

$$u = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \bar{y} \tag{5}$$

其中 \bar{x}, σ_x 分别为样本序列的数学期望和均方差, \bar{y}, σ_y 可根据不同的样本数通过查表得到。

不同重现期的降水量可通过下式求得:

$$X_p = u - \frac{1}{a} \ln(-\ln(1-p)) \tag{6}$$

其中 p 为概率, 即重现期的倒数。

2.2.2 百分位法计算原理

百分位数是一种位置指标, 常用于描述一组样本值在某百分位置上的水平, 多个百分位结合使用, 可更全面地描述资料的分布特征。百分位数法的计算采用下面的经验公式^[8]:

$$\hat{Q}_i(p) = (1-\gamma)X_j + \gamma X_{j+1} \tag{7}$$

$$j = \text{int}(p \times n + (1+p)/3) \tag{8}$$

$$\gamma = p \times n + (1+p)/3 - j \tag{9}$$

式中, $\hat{Q}_i(p)$ 为第 i 个百分位值, X 为升序排列后的样本序列, p 为百分位数, n 为序列总数, j 为第 j 个序列数, Y 为第 $j+1$ 个序列数权重。

3 不同计算方法的结果分析

3.1 利用重现期法确定洪涝等级阈值

3.1.1 日最大降水量重现期

每个站每年选取 1 个日降水量最大值组成历史序列, 利用耿贝尔极值分布型计算不同重现期的降水量值。将湖北省五个分区的所有站点值进行平均得到该区域的 2 a、5 a、10 a、20 a 和 50 a 一遇的降水量, 如表 1。本文将洪涝分为 5 级, 分别将 2 a、5 a、10 a、20 a 和 50 a 一遇的降水量作为渍涝、轻涝、一般洪涝、较重洪涝、严重洪涝指标的临界值。由表 1 可见, 渍涝等级致灾阈值最小的为鄂西北, 即当日降水量达 69 mm 就可致灾, 最大的为鄂东北, 当日降水量达到 103 mm 才可能出现洪涝灾害, 随着等级的加重雨量也开始逐渐加大, 严重洪涝灾害的致灾雨量阈值鄂西北最小为 160 mm, 鄂东南和鄂东北最大, 均为 243 mm, 其中鄂东北和鄂东南的各等级阈值都比较接近。

表 1 日最大降水量不同重现期的降水量(单位:mm)

区域	重现期/a				
	50	20	10	5	2
鄂西北	160	136	118	98	69
鄂西南	205	175	151	126	89
江汉平原	227	192	166	138	96
鄂东北	243	206	178	148	103
鄂东南	243	206	177	147	101
全省平均	216	183	158	131	92

由于湖北省汛期可能出现连续几天降暴雨或特大暴雨, 仅用一日降水量定义洪涝等级, 一方面使一次洪涝过程被分为了几次, 另一方面如果将一次连续几天的暴雨过程分为几次从而降低了洪涝灾害的等级, 因此下面的指标确定均采用过程降水量。

3.1.2 最大过程降水量重现期

每个站每年选取过程降水量最大值按年组成最大过程降水序列, 然后利用耿贝尔极值分布型分别计算不同重现期对应的降水量。分别计算湖北省 5 个区 2 a、5 a、10 a、20 a 和 50 a 一遇的降水量, 并将其作为渍涝、轻涝、一般洪涝、较重洪涝、严重洪涝的致灾指标阈值, 结果列于表 2。由表 2 可见, 从鄂西北到鄂东南各级指标阈值逐渐增大, 与表 1 对比可见, 用最大过程降水量, 洪涝等级阈值明显增大。渍涝灾害致灾雨量阈值最小的为鄂西北, 即当过程降水量达 88 mm 可致灾, 最大的为鄂东南, 当过程降水量达到 170 mm 才可能出现洪涝灾害; 严重洪涝灾害的致灾雨量阈值鄂西北最小为 285 mm, 鄂东南最大, 为 492 mm。

表 2 年最大过程降水量不同重现期的降水量(单位:mm)

区域	重现期/a				
	50	20	10	5	2
鄂西北	285	233	193	151	88
鄂西南	382	320	271	221	145
江汉平原	407	338	284	228	144
鄂东北	471	389	326	259	159
鄂东南	492	407	342	274	170
全省平均	408	337	283	227	141

3.2 百分位法洪涝等级阈值确定

因为用日降水量或者最大过程降水量都很难准确反映暴雨洪涝的累积效应产生的暴雨灾害程度, 因此分别统计每个站 1 d、2 d、3 d……10 d 过程降水量, 这里分两种情况, 一种是将全省 76 个站的过程降水作为一个序列, 可以保证序列足够长, 另一种情况是将湖北省 5 个区分别选出代表站, 每一分区统计一个序列, 可以解决鄂东南到鄂西北降水量逐渐递减的问题, 然后计算不同的百分位对应的临界值。

3.2.1 全省统一的指标

分别计算 1 d、2 d、3 d……10 d 的全省序列的 98%、95%、90%、80%、60% 的降水量阈值, 具体阈值见表 3, 根据洪涝越严重发生的次数相对于较轻的洪涝所占的比例越少, 从而将洪涝分为 5 个等级。分别为介于 60%~80% 为渍涝, 80%~90% 为轻涝, 90%~95% 为一般洪涝, 95%~98% 为较重洪涝, 大于 98% 为严重洪涝。

3.2.2 分区计算不同的指标

分别计算湖北省 5 个区 1 d、2 d、3 d……10 d

表 3 湖北省 1~10 d 过程降水量不同百分位对应阈值(单位:mm)

天数/d	序列长度	百分位				
		98%	95%	90%	80%	60%
1	1 103	163.7	130.0	107.1	86.6	69.9
2	2 648	181.8	148.2	128.1	105.1	83.5
3	2 463	225.0	175.9	147.4	122.7	97.6
4	1 930	272.2	219.5	183.6	146.0	114.7
5	1 125	281.7	227.0	196.4	166.1	129.2
6	832	313.1	263.3	217.3	183.7	144.3
7	668	424.6	315	249.6	197.5	155.4
8	382	405.1	331.3	282.4	216.8	170.4
9	255	482.2	400.0	327.6	247.1	182.5
10	527	659.2	477.9	411.7	320.9	240.1

表 5 鄂西北 1~10 d 过程降水量对应的不同百分位阈值(单位:mm)

天数/d	序列长度	百分位				
		98%	95%	90%	80%	60%
1	34	112.9	110.5	80.1	72.4	61.4
2	123	129.3	112.0	106.7	91.0	74.5
3	111	165.9	145.4	123.0	103.6	84.5
4	84	227.4	183.3	156.9	135.7	105.5
5	72	243.1	213.9	178.9	154.5	124.2
6	39	322.0	249.9	194.4	165.1	137.1

的过程降水量的 98%、95%、90%、80%、60% 的降水量阈值,其中序列数少于 35 的没有进行分级。从而将洪涝分为 5 个等级。表 5 和表 6 分别将湖北省 5 个区中洪涝各等级临界值最大(鄂东南)的与最小(鄂西北)的列出,由于篇幅原因其他三区的临界值不再一一列出。从表 4 和表 5 可以发现 1~4 d 两个区域的各等级的临界值相差比较大,5~6 d 比较接近,并且 7~10 d 鄂西北的序列分别为 32、15、7 和 20,因序列小于 35,本文没有将其再进行分级,并且其值也比鄂东南的临界值小很多。由表 4、表 5 对比分析可以发现从序列长度来看,全省 76 个站的序列长度明显长于各分区选取代表站的长度,但是不同区域计算得到的各级洪涝等级的阈值在 7~10 d 的阈值却相差很大。因此,分区的指标更能代表不同区域的洪涝情况。

3.2.3 两种指标发生次数对比分析

分别统计全省统一指标和分区指标 1~10 d 的各级洪涝发生次数,将不同时间段的各级洪涝次数

表 4 鄂东南 1~10 d 过程降水量对应的不同百分位阈值(单位:mm)

天数/d	序列长度	百分位				
		98%	95%	90%	80%	60%
1	94	165.2	132.0	104.8	84.4	69.2
2	329	173.8	151.0	133.5	109.1	86.0
3	317	236.8	179.1	143.7	123.2	101.2
4	224	244.0	216.6	181.5	143.1	111.0
5	146	228.9	206.8	184.6	151.6	125.2
6	111	343.5	232.3	199.8	173.5	137.3
7	81	489.9	306.3	251.7	186.2	156.4
8	61	449.4	355.8	326.1	272.5	182.7
9	38	648.6	468.8	396.3	246.9	196.7
10	68	622.6	503.1	468.1	411.9	284.7

相加,从而得到两种指标的各级洪涝发生总次数(图 1)。渍涝历史发生次数两种指标分布特征较相似,全省统一指标渍涝总次数在鄂东南、鄂东北和鄂西南大部为 30~50 次,江汉平原为 20~30 次,鄂西北最少,为 7~20 次(图 1a);分区指标统计的渍涝次数大部站点比全省统一指标次数略偏少(图 1b)。轻涝和一般洪涝两种指标的次数在鄂东北和鄂东南比较接近,在鄂西北和鄂西南全省统一指标的次数略少于分区指标的次数,江汉平原全省统一指标的次数略多于分区指标的次数,全省统一指标定义的一般洪涝在鄂西北的房县次数为 0(图 1c、d、e、f)。对较重洪涝和严重洪涝的统计,鄂西和江汉平原部分地区全省统一指标的次数明显小于分区指标次数,鄂西北大部和鄂西南部分地区全省统一指标的次数为 0,而鄂东南全省统一指标的次数仍然多于分区指标的次数(图 1g、h、i、j)。

总体来说,全省统一指标各级洪涝在鄂东北和鄂东南大部地区的次数多于分区指标的次数,而在鄂西北和鄂西南则明显偏少,随着灾害等级的加重,这种偏少的程度更为明显,甚至没有严重等级及以上的洪涝发生。但是,通过分析灾害大典记载的洪涝灾害^[9],鄂西南和鄂西北也有多次严重洪涝灾害记录,尤其是鄂西南是湖北省严重洪涝灾害的高发区,并且由于其大部为山区,特殊的地形使每次灾害都造成严重的经济损失,而全省统一指标不能反映这种灾害特征。因此,两种指标的历史各级洪涝灾害次数的比较表明:分区域定义洪涝等级临界值能够更好地反应湖北省洪涝灾害的实际分布特征。

4 与实际灾情对比

由于灾情中各经济损失等数据存在数据不完整和数据需要核实等问题,这也是目前灾害评估中比较难解决的问题,所以很难对实际灾情进行分级。但是灾害的个例经过核实还是比较准确,因此这里仅对洪涝灾害的总次数进行比较分析,其中只要有灾害损失记录的即算作一次灾害。将代表站的全省指标和分区

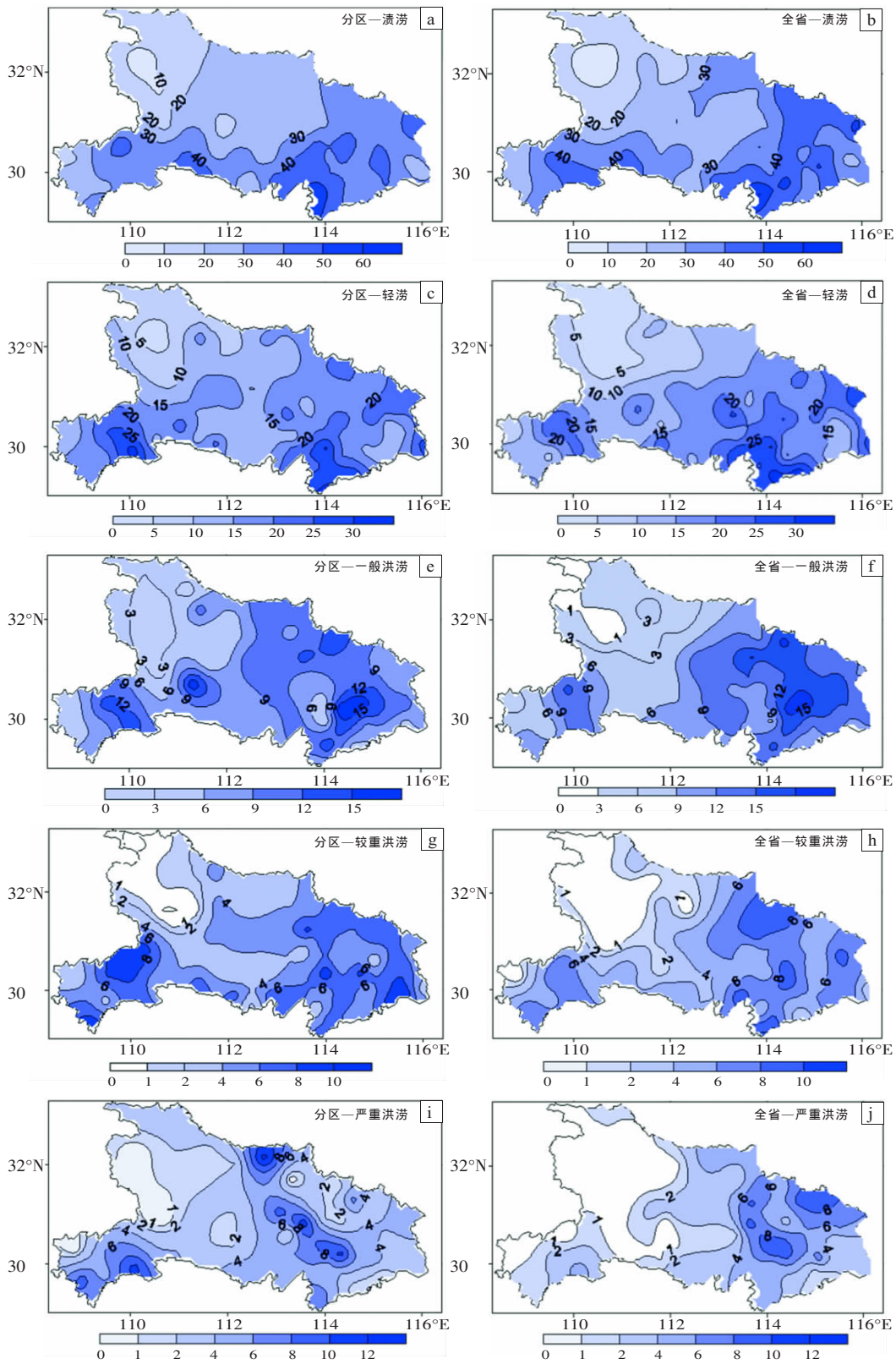


图 1 全省统一指标和分区指标统计的各站渍涝、轻涝、一般洪涝、较重洪涝、严重洪涝的历史发生次数空间分布图

- (a)分区指标渍涝次数;(b)全省统一指标渍涝次数;(c)分区指标轻涝次数;(d)全省统一指标轻涝次数;
- (e)分区指标一般洪涝次数;(f)全省统一指标一般洪涝次数;(g)分区指标较重洪涝次数;
- (h)全省统一指标较重洪涝次数;(i)分区指标严重洪涝次数;(j)全省统一指标严重洪涝次数

指标不同等级的灾害发生频次进行相加为该站历史洪涝灾害发生总次数,图 2 为各区域代表站的不同指

标洪涝灾害发生总次数对比图,由图 2 可见,郟县、利川和钟祥的分区指标与实际灾情较为接近。而黄

石、大悟各指标统计的灾害频次均大于实际的灾情资料。而全省统一指标则存在降水量小的鄂西北发生频次低,而在鄂东南、鄂东北降水量大的区域发生频次明显偏多,在鄂西南和江汉平原也没有分区域指标更接近实际灾害的缺点。因此,利用分区百分位法计算洪涝灾害等级临界值与灾情资料有较好的一致性。

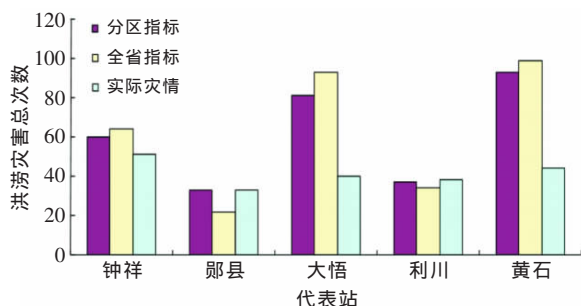


图2 湖北省各区代表站各指标历史洪涝灾害发生次数图

5 结论与讨论

(1)虽然强度较大的日降水量也能导致灾害发生,但过程降水量则能更好地反映持续性降水累积效应的致灾作用。

(2)百分位法中分区指标和全省统一指标的洪涝次数两者接近,但是轻涝和一般洪涝在三峡河谷地区,全省统一指标的次数明显小于分区指标的次数,较重洪涝和严重洪涝次数则在鄂西北和鄂西南地区全省统一指标统计结果则明显偏少,而这些地区均是湖北省洪涝灾害的高发地区。

(3)与实际洪涝灾害个例相对比,百分位方法中

分区指标统计的洪涝灾害次数与各区域代表站的实际灾害次数更为接近,尤其是鄂西北、鄂西南和江汉平原的分区指标统计的灾害次数与实际灾情比较吻合。

(4)通过数学方法确定不同洪涝等级的降水量阈值有很好的应用性,但缺乏暴雨洪涝灾害的致灾机理分析,并且不同承灾体其致灾雨量阈值也不同,也没有考虑孕灾环境和承灾体的影响。因此在暴雨洪涝灾害分析研究中还需要进一步分析成灾机理以及根据不同的承灾体而单独确定指标。

参考文献:

- [1] 周月华,郭广芬,邵未兰,等.基于水位和雨量的洪涝受灾面积评估模型研究[J].暴雨灾害,2007,26(4):323-327.
- [2] 何报寅,张海林,张穗,等.基于GIS的湖北省洪水灾害危险性评价[J].自然灾害学报,2002,11(4): 84-89.
- [3] 万君,周月华,王迎迎,等.基于GIS的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究[J].暴雨灾害,2007,26(4):328-333.
- [4] 王迎迎.湖北省气象信息实时发布与报警系统的设计与实现[D].武汉:武汉大学, 2006.
- [5] 王效瑞,梁邦云,郭秀云.百分位方法在安徽旱涝诊断中的应用[J].安徽师范大学学报(自然科学版), 2006, 29(3): 281-285.
- [6] 马开玉,丁裕国,屠其璞,等.气候统计原理与方法[J].北京:气象出版社,1993,408-413.
- [7] 陈正洪,向玉春,杨宏青,等.深圳湾公路大桥设计风速的推算[J].应用气象学报,2004,15(2):226-233.
- [8] Hyndman R J, Fan Y. Sample quantiles in statistical packages [J]. Amer Statist, 1996, 50:361-365.
- [9] 杨柏松,乔盛西,吴世经,等.气象灾害大典(湖北卷)[M].北京:气象出版社,2007:100-196.

Study on Index of Heavy Rain Flood Disaster Grade in Hubei Province

GUO Guang-fen^{1,2}, ZHOU Yue-hua^{1,2}, SHI Rui-qin^{1,2}, LI Lan^{1,2}, WAN Jun^{1,2}

(1. Wuhan regional climate center, wuhan 430074; 2. Climate Change Center of Hubei Province, wuhan 430074)

Abstract: In this paper, threshold value of heavy rain flood disaster grade is studied with Gumbel I extreme distribution and percentiles based on daily precipitation in Hubei province. Different recurrence of maximum daily precipitation and maximum continuous process precipitation was calculated with Gumbel extreme distribution. Threshold of heavy rain flood disaster grades of 1-10 days in Hubei province and in the five regions of the province was respectively computed by percentile method. The results showed that (1) Although the intensity of the larger daily precipitation can lead to a disaster, but continuous process precipitation can reflect much better the cumulative effect of persistent flooding causing a disaster; (2) With percentile method, the number of water logging indicated by the Regional Index approaches the number of that indicated by the Province Index, but the number of the light and normal water logging of the Province Index in the Three Gorges area is less than the number indicated by the Regional Index, the number of heavier floods and severe floods indicated by the Province Index in the West Hubei province was significantly less than that indicated by the Regional Index; (3) The number of the disasters indicated by the Regional Index is closer to the number of the actual disasters comparing with the numbers of actual historical disaster.

Key words: Gumbel extreme distribution; Percentiles; Recurrence interval; Threshold of heavy rain flood disaster grade