

Z 指数方法在小流域洪涝灾害预警技术研究中的应用

蔡敏 黄艳 朱宵峰 夏晓丰

(浙江省金华市气象局, 金华 321000)

摘要 Z 指数方法在洪涝统计方法中得到广泛应用, 考虑小流域洪涝灾害的时空特点, 采用任意连续 10 天法计算的洪涝 Z 指数更科学, 更能反映实际。通过对流域内单站洪涝指数的确定, 并与常规月洪涝 Z 指数的对比, 新方法能较好弥补常规方法的缺陷, 较好描述洪涝灾害的强度和起止时间, 由其计算而得的流域综合洪涝指数, 对历史洪涝个例有较高拟合度。

关键词 Z 指数 小流域 洪涝指数

引言

研究洪涝最关键的问题是明确洪涝定义和确定洪涝指标, 由于地理位置、下垫面性质以及人类活动等因素的不同, 各地存在很大的气候差异。具体应用到洪涝的界定标准, 无论哪一种旱涝指标都存在一定的局限性^[1]。暴雨洪水是最常见、威胁最大的洪水, 有很多学者从天气学角度研究致洪暴雨的形成机理^[2~3]。考虑到洪水发生具有随机特点^[4], 而从统计角度来看仍有一定的规律可循, 目前较为通用的洪涝的气候统计方法有降水距平百分率方法、湿度指标方法, Z 指数方法是目前应用比较广泛的方法, 也有学者提出应用水文学降水产生流量过程线的变化原理, 用降水资料推算洪涝指数的思路和方法^[5]。文献^[1]中通过对不同的洪涝指数方法对比分析, 发现 Z 指数作为划分旱涝级别的标准是 3 种方法中最佳的。目前, 学者多以季、月、旬降水资料研究洪涝特征, 这在一定程度上忽略了洪涝发生的随机特点, 存在一定的不合理性。本文提出以连续 10 天降水资料为基础, 作为小流域内洪涝 Z 指数的计算对象, 比较其与常规方法的优劣, 进而分析洪涝灾害的发生发展规律, 并对流域洪涝灾害指数进行探讨。

1 资料及方法

造成洪涝灾害的大的降水是随机的, 并不一定

按人为划分“旬、月”的时间出现, 简单用“旬、月”降水量标准统计, 难免有错漏之处。研究表明, 与月距平法、旬降水量法比较, 以任意连续 10 天法统计的“洪涝”, 减少了人为的时间切断因素, 并能更好地衡量洪涝灾害的程度^[6], 更加科学合理。同时小流域的洪涝灾害一般是由 1~2 次强降水过程引起的, 选用 10 天作为统计时长也较符合天气学规律。

么枕生等^[7]研究证明某一时段降水量用 Person III 型分布拟合效果较好, Z 指数正是假设某时段的降水量服从 Person III 型分布, 这也为计算任意 10 天降水量的 Z 指数提供理论依据。通过对降水量进行正态化处理, 可以将概率函数 Person III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布, 公式为:

$$f(x) = \frac{\beta}{\Gamma(\alpha)} (x-\alpha)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-\alpha)}, (x > \alpha) \quad (1)$$

式中: α 为形状参数, β 为尺度参数, 而后对降水量 x 进行正态化处理, 这样可将概率密度函数 Person III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布。转换公式为:

$$Z_i = \frac{6}{c_s} \left| \frac{c_s}{2} \Phi_i + 1 \right|^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{c_s} + \frac{c_s}{6} \quad (2)$$

c_s 为偏态系数, Φ_i 为标准变量, 计算公式分别为:

$$c_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n\sigma^3}, \Phi_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

根据Z变量的正态分布曲线,划分为4个等级,并确定其相应的Z界限值,各级洪涝指标见表1。

表1 Z指数(Z值)的旱涝等级

| 等级 | Z值 | 类型 |
|----|--------------------------|----|
| 1 | $Z > 1.96$ | 重涝 |
| 2 | $1.44 < Z \leq 1.96$ | 中涝 |
| 3 | $0.84 < Z \leq 1.44$ | 轻涝 |
| 4 | $-0.84 \leq Z \leq 0.84$ | 正常 |

采用以上方法,以金华、衢州两地11个站1968~2007年4~10月逐日降水资料为基础,采用向前递推的滑动计算方法统计逐日的连续10天降水量(如7月10日的连续10天降水量为7月1~10日累计值),进而分别构建各月的长期降水序列,采用上述Z指数计算方法统计任意连续10天降水的Z指数,同时计算传统月尺度的Z指数,在求得连续10天降水洪涝指数的情况下,为能更好地反映月尺度的洪涝水平,并方便与传统的月资料计算的Z指数比较,由下式计算出新的月洪涝指标:

$$L_j = \frac{2n_1 + n_2 + n_3}{n} \quad (5)$$

式中: L_j 表示j月的新洪涝指标, $n_1 \sim n_3$ 分别为该月内由任意连续10天雨量统计的Z指数对应洪涝等级为1~3的频数。为了使L值与传统月Z值有较好的可比性和对应关系,根据传统月Z值提取出的各等级个例中对应的L值分布范围,确定L序列中分别大于等于0.6、1.2、1.8倍数均方差的值作为划分轻涝、中涝和重涝的标准。这样既能对传统月Z值统计的各级洪涝个例刚好有较高的概括率,也没有盲目放大划分范围(以下称L方法)。该方法考虑了重涝频数对一定时段内的洪涝影响程度要比其他等级的洪涝大得多,放大重涝的影响更符合实际。该方法在文献[1]的区域洪涝灾害度量中得到应用,且有较好的应用效果,证明比通常采用的面积之平均方法更符合实际。

水位资料采用的是1990~2000年兰江水文站记录到超过警戒水位的日最大水位高度。

2 单站洪涝指数的对比分析

按照连续10天降水资料计算出的新月洪涝指标对各个洪涝等级在洪涝程度上所占权重加以区分,放大了重涝等级的影响,同时避免了旱涝并存对洪涝指数量值的影响,更加符合实际。由此计算出的逐月洪涝指标与传统月降水计算的Z指数进行比较。重涝年份差异如表2。

表2 不同洪涝指标反映的重涝月份对比

| Z指数法统计的重涝月份 | L方法统计的重涝月份 |
|----------------------------|----------------------------|
| | 1968-07, 1972-08, 1972-10, |
| | 1973-05, 1973-09, 1975-10, |
| 1972-08, 1972-10, 1973-05, | 1977-05, 1980-08, 1981-10, |
| 1973-09, 1975-10, 1994-06, | 1983-04, 1983-09, 1989-09, |
| 1995-04, 1997-07, 2002-08 | 1994-06, 1995-04, 1997-07, |
| | 2000-06, 2002-04, 2002-07, |
| | 2002-08 |

从二者对比看,后者比前者多出10个月份,其中有9个月份在前者的结果为中涝。增加的几个月份,虽然月降水总量上少于传统Z值重涝月,但有以下几个特点:①由于L值计算考虑到剔除人为划分降水时段的影响,考虑了上月月末的强降水对本月月初的洪涝指数的贡献,从而会使本月的L值出现较大值,如1989年9月、2000年6月及2002年7月;②L值计算中放大了重涝等级的权重,因此如果该月中有旱涝并存现象,即降水异常集中于某一时段,而其余时段却没有明显降水,这种情况也会出现该月可能达到重涝标准,但总降水量不一定会很大,其实这种情况更易造成严重灾害,如1968年7月、1983年4月及2002年4月;③该月降水分布较均匀,但具有持续性,特别是几个暴雨日分散分布,从而使连续10日降水统计出来的达到中涝或轻涝的频数较多,根据L方法,也可能使该月达到重涝标准,如1977年5月、1980年8月及1981年10月。从7月的统计结果看,Z值重涝月只有1997年,而L值重涝月增加了1968年和2002年,虽然1968年和2002年7月总降水量为208.7 mm和213.1 mm,要低于1997年的353.3 mm,但是1968年7月强降水异常集中于7月上旬,而中下旬出现连晴天气,使得月总降水量并不大,传统Z值结果无法反映,但这种集中性的强降水往往更容易造成河道堵塞,水位上涨,城市内涝。而2002年7月则

是属于①的情况,2002年6月24日起,出现多日强降水,配合7月初的降水过程,在前期水位较高的基础上,比较容易出现洪涝灾害。

以任意10天雨量为基础,并以该时间序列为基础计算的洪涝指数,不但在原有Z指数上有所改进,使得洪涝指数更能接近实际,同时也能更好地反映每次洪涝过程的始终。如1989年,金华市因洪涝

受灾面积13.33万 hm^2 ,直接经济损失11.43亿元,经统计1989年金华市共发生多次洪涝,而这几次过程从传统的洪涝指数上无法反映,而从任意连续10天的降水洪涝指数上却能得到体现(图1),达到重涝标准的有:7月2~8日(过程最大连续10天总降水量323.7mm);8月31日至9月2日(192.6mm);9月4~9日(247.8mm)。

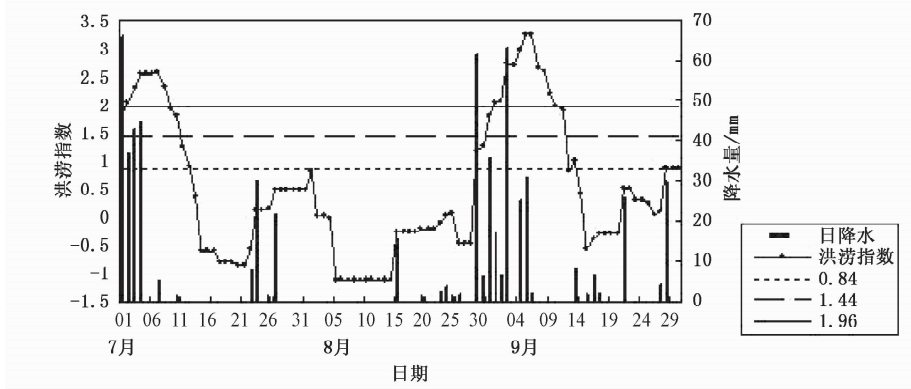


图1 1989年7~9月金华市逐日洪涝指数分布曲线(图中横线为不同旱涝等级洪涝指数界线值,下同)

3 金华站洪涝分布特征

根据 L_j 求得的月洪涝指标,金华站40年序列中19个月洪涝指数达到重涝标准,40个月洪涝指

数达到中涝及以上标准。统计金华站各旬达到洪涝标准的日数(图2)。可以看到,从历年平均状况来看金华洪涝主要发生在6月下旬到7月上旬和8月下旬,4月中旬和10月上旬也有较大可能。

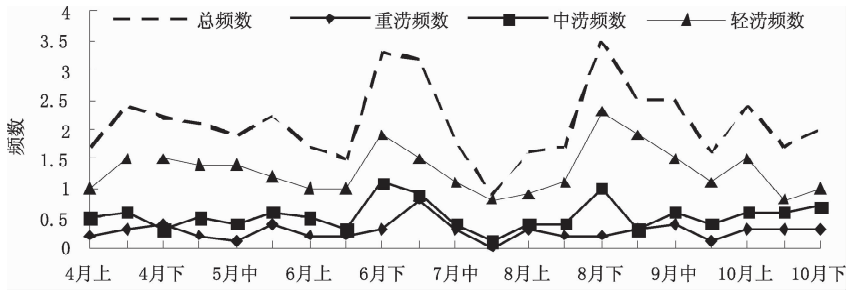


图2 金华各旬平均洪涝频数分布

发生概率为重涝、中涝到轻涝逐渐增大,三者都在6月下旬到7月上旬发生概率较大,而6月上旬到6月中旬及7月下旬和9月下旬均为低发生时段,中涝和轻涝在8月下旬到9月上旬也有高值分布。

金华历年中涝及以上洪涝频数分布(图3)能较好地反映金华洪涝的年际、年代际特征。从总趋势来看,基本平稳且略有减少,70年代前表现为10年左右的周期波动,80年代初到90年代初则为4~5年的短周期波动,90年代初到目前则为7~8年的周期,60年代末到70年代初为一高发时段,70年代

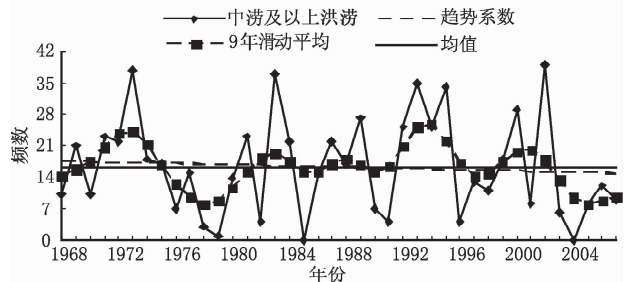


图3 金华站历年中涝及以上洪涝频数分布

中期到 80 年代处于低发期,80 年代中期至 90 年代初总体较平稳,接近常年,90 年代初至 90 年代中后期又为相对多发时段,2003 年至今处于洪涝低发期,1973 年、1983 年及 2002 年洪涝情况较为严重。按照规律,2010 年左右将是向高发期的过渡阶段。

4 流域洪涝指数分析

金华是洪涝灾害多发地区,较明显的洪涝灾害大约每 4 年一遇,严重洪涝灾害平均每 10 年一遇^[8-9]。境内兰溪江流域是洪涝灾害防治的重中之重,兰溪市位于浙中金衢盆地钱塘江中游,地处“三江”之汇,即金华江、兰溪江、衢江(图略)。兰江洪水主要是衢州、金华两区的强降水和水库的调度,研究区域性降水与流域洪涝等级的关系可为洪涝灾害的服务决策提供更多的参考信息^[10]。从上述单站洪涝指数着手,分析流域洪涝等级与上游单站洪涝指数的线性关系,进而为流域洪涝等级预报提供依据。兰江上游有金华、衢州 10 个主要站点,通过经验判别各站点对流域洪涝等级的贡献度,计算兰江流域洪涝等级指数 Z_L :

$$Z_L(i) = \sum_{n=1}^{10} r_n z_n(i) \tag{6}$$

式中: i 为对应的计算洪涝指数的日期, r_n 为第 n 站的洪涝等级贡献度, $z_n(i)$ 第 n 站 i 日的洪涝 Z 指数。10 个站对应的贡献度分别为:兰溪(0.3)、金华(0.14)、龙游(0.14)、衢州(0.1)、义乌(0.08)、东阳(0.06)、武义(0.05)、江山(0.06)、常山(0.05)、开化(0.02)。

统计 90 年代,兰江的 42 次洪涝过程,根据水位高度划分得到 3 级洪涝(轻涝)19 次,2 级洪涝(严重洪涝)16 次,1 级洪涝(特大洪涝)7 次,并求得对应的当日洪涝指数与其拟合,可以看出各次洪涝过程在洪涝指数上都能得到反映,并且强度也能有较好的对应(图 4),3 级洪涝个例的平均洪涝指数为 1.55,2 级洪涝个例的平均洪涝指数为 1.92,1 级洪涝个例的平均洪涝指数为 2.1,且发生各级洪涝的前一天洪涝指数就有反映,1 级洪涝的前一天基本达到中涝标准,甚至重涝标准;2 级洪涝的前一天能达到中涝标准,个别重涝标准;3 级洪涝的前一天基本达到轻涝标准,个别中涝标准。

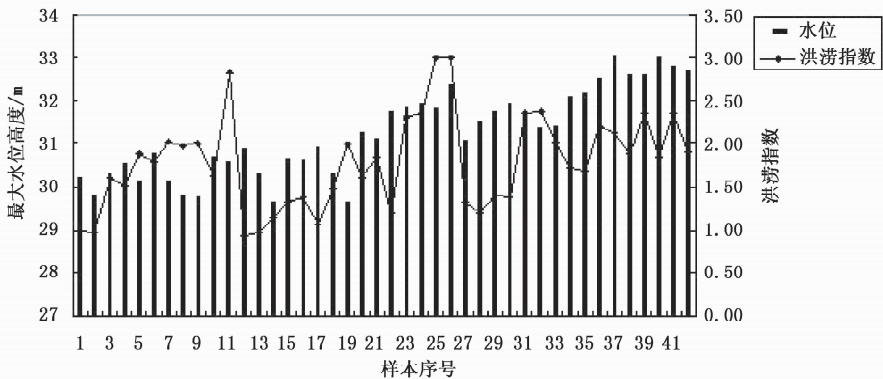


图 4 兰江洪涝过程水位与洪涝指数对比

说明用该方法来预测洪涝灾害有一定前瞻性,前期的洪涝指数以及未来降水的预测对洪涝灾害的发生以及发生强度起到决定性作用,他们之间的关系还需在应用过程中不断研究和探索。

以 2000 年作为试验对象,实况显示,6 月有洪涝灾害发生,图 5 为 6 月洪涝指数与日降水量的分布图。可以看到,4~9 日、23~29 日连续几天都达到了轻涝标准,且 9 日达到了中涝标准,虽然月初这次过程并没有洪涝灾害记录,不排除水库及时调节的作用,而月末这次,23~24 日水位高度表明达到

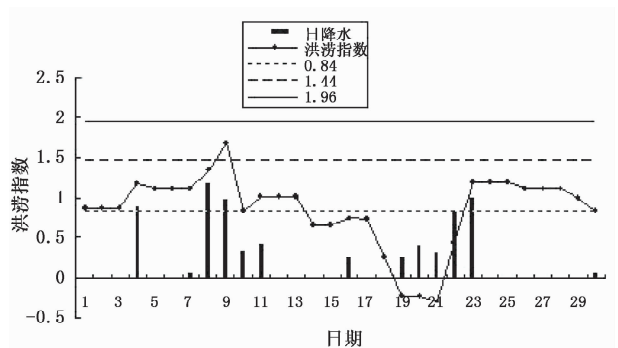


图 5 2000 年 6 月洪涝指数曲线

了轻涝标准,与指数有较好的对应,24日以后,随着没有降水的补充,洪涝指数逐渐下降,灾情逐渐缓解。

5 结论

(1)Z指数作为划分旱涝级别的标准有其独特的优势,以任意连续10天法统计的洪涝,减少了人为的时间切断因素,并能更好地衡量小流域洪涝灾害的程度,以及反映洪涝的起止过程,更加科学合理。

(2)在连续10天降水资料基础上统计得到的月洪涝指数,剔除人为划分降水时段的影响,克服了旱涝并存的因素,能更加客观地反应月尺度洪涝灾害的强度,特别是集中性强降水引起的洪涝灾害。

(3)金华洪涝发生概率为重涝、中涝到轻涝逐渐增大,三者6月下旬到7月上旬发生概率较大,6月上旬到6月中旬及7月下旬和9月下旬均为洪涝的相对低发生时段,中涝和轻涝在8月下旬到9月上旬也有高值分布。从洪涝的频数-时间分布来看,有一定得周期规律。

(4)依据单站洪涝指数计算而得的兰江流域综

合洪涝指数与历史个例有较好的拟合,可以作为预报预警的依据。

参考文献

- [1] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等.我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J].应用气象学报,1997,8(1):26-32.
- [2] 梁钰,布亚林,王蕊,等.致洪暴雨预报模型应用研究[J].气象科技,2005,33(4):305-310.
- [3] 姜丽萍,尤红,夏冠聪,等.广东罕见特大致洪暴雨形成机理个例分析[J].气象科技,2007,35(3):374-378.
- [4] 秦大河,彭广,刘立成,等.洪涝——全球变化热门话题丛书[M].北京:气象出版社,2003.
- [5] 单九生,尹洁,陈建萍,等.流域洪涝预报研究[J].气象科技,2007,35(3):317-321.
- [6] 杨琳,刘东华.洪涝统计方法探讨[J].气象与环境科学,2007,30(增刊):32-34.
- [7] 幺枕生,丁裕国.气候统计[M].北京:气象出版社,1990:161-180.
- [8] 沈水根,李邦宪.金华市洪涝灾害成因及其战略思考[J].浙江气象科技,1994,15(3):43-46.
- [9] 李邦宪,蒋天麟.兰江流域洪涝灾害发生规律研究[J].浙江气象科技,2001,21(4):1-4.
- [10] 吴森清,童建跃,邵小卫.兰溪洪涝个例库建设及应用[J].浙江气象,2006,27(4):24-26.

Application of Z Index in Flood Disaster Prewarning for Small Drainage Areas

Cai Min Huang Yan Zhu Xiaofeng Xia Xiaofeng

(Jinhua Meteorological Bureau, Zhejiang Province, Jinhua 321000)

Abstract: The Z index is widely used in flood statistics. Taking into account the temporal and spatial characteristics of flood disasters in small drainage areas, the 10-day continuous rainfall proved to be more realistic and reasonable for calculating Z index. Through determining the flood disaster index of a single station and then compared with the traditional index, it is found that the new method can make up the deficiencies of the traditional one and describe the strength and starting and ending times of flood disasters. The flood disaster index computed by means of the new method can well fit the historical flood disaster cases over small drainage areas

Key words: Z index, small drainage area, flood disaster index