

邵末兰,张宁,岳阳,等.基于距离函数的区域性暴雨灾害风险预估方法研究[J].暴雨灾害,2009,29(3):268-273

基于距离函数的区域性暴雨灾害风险预估方法研究

邵末兰¹,张宁¹,岳阳²,孟英杰¹,张萍萍¹,谢萍¹

(1.武汉中心气象台,武汉 430074;2.湖北省气象局科技处,武汉 430074)

摘要:以湖北省历史暴雨灾害资料为基础,筛选、确定暴雨灾害个例,采用正态概率密度函数、区间平移和欧氏距离函数等方法,构建湖北省 5—9 月区域性暴雨天气过程强度等级、可能产生的灾情损失值风险预估模型。应用结果表明,该模型对区域性暴雨强度等级风险预估的正确率达到 66.7%,对受灾人口、农作物受灾面积风险预估的正确率分别达到 62.5%、55.6%,但对直接经济损失的风险预估效果略差。

关键词:暴雨灾害;等级风险;预估方法;欧氏距离函数

中图分类号:S165+.25 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)03-0268-06

1 引言

湖北省是气象灾害相对较多的省份之一,其中暴雨造成的灾害最为常见,也是影响较大、造成损失最重的一种灾害性天气。暴雨常诱发洪涝、渍涝、山洪、泥石流、山体崩塌等次生灾害,每年给全省造成的经济损失高达数 10 亿元,并影响到人民群众的生命财产安全。因此,开展暴雨灾害风险预估方法研究,对提高气象灾害防御、预警与服务水平,提升气象灾害应急反应能力及防灾减灾具有重要现实意义。

近年来,各省气象部门对暴雨灾害风险评估及其相关工作都十分重视,在此研究方面取得一些初步成果。如陈艳秋等^[1]通过对区域性暴雨事件历史资料的统计分析,利用平均降水量、降水强度和覆盖范围 3 个指标,建立了基于距离函数的暴雨事件快速评估模型;盛永等^[2]应用基于概率分析的暴雨事件快速评估模型,对 2005 年 8 月 8—10 日辽宁区域性台风暴雨灾害进行了评估;王博等^[3]在综合 20 年来国内外一些学者在灾害风险评估方面所取得的研究成果和相关文献资料的基础上,着重对暴雨灾害风险评价具有借鉴意义的模糊综合评判方法、灰色系统理论、信息量模型、人工神经网络方法等 4 种数学评价模型的适用性进行了分析;刘荆等^[4]以淮河流域暴雨灾害为对象对其灾害风险进行评估,发现淮河流域暴雨灾害高风险区集中在河南南部、安徽北部以及江苏东部。总体来讲,上述研究对暴雨灾害预估具有重要指导作用,但对区域性暴雨天气过程强度等级及其产生的灾害损失量化预估尚未涉及。本文以湖北省 1960—2006

年暴雨灾害资料为基础,确定个例标准,筛选历史个例,基于欧氏距离函数分析法^[5],按月(5—9 月)构建区域性暴雨天气过程强度等级及灾情损失值风险预估模型,对区域性暴雨灾害进行风险预估。

2 区域性暴雨及其灾害个例标准

对 1960—2006 年间 5—9 月发生在湖北省境内的所有暴雨过程,根据国家气象中心《强降水和强对流入库标准及相关规定》(气中函[2007]221 号文)附件中的标准,并结合湖北的暴雨特点,挑取区域性暴雨天气过程。其标准如下: 1) 出现 10 站或 10 站以上 24 h 降水量 ≥ 50 mm; 2) 出现 7 站或 7 站以上 24 h 降水量 ≥ 100 mm; 3) 出现 5 站或 5 站以上 24 h 降水量 ≥ 200 mm; 4) 出现 4 站或 4 站以上 24 h 降水量 ≥ 300 mm; 5) 9 站 24 h 降水量在 50 mm 以上,其中 1 站超过 100 mm; 6) 8 站 24 h 降水量在 50 mm 以上,其中 2 站超过 100 mm 或 1 站超过 200 mm; 7) 7 站 24 h 降水量在 50 mm 以上,其中 1 站超过 300 mm(或 1 站超过 100 mm 且 1 站超过 200 mm; 或 2 站超过 200 mm)。满足其中任一条,记为一次区域性暴雨天气过程。同时,以区域性暴雨天气过程相对应的灾情作为暴雨灾情资料。该资料来源于湖北省气象灾情数据库。

按照上述标准进行统计,1960—2006 年 47 年中共筛选出湖北省区域性暴雨灾害个例 315 次。

3 区域性暴雨天气过程强度等级风险预估模型

3.1 预估指标选择

在天气预报实际工作中,常用过程降水总量、最

收稿日期:2010-02-04;定稿日期:2010-06-02

资助项目:湖北省气象局基金项目“湖北省暴雨灾害风险评估方法研究”

作者简介:邵末兰,女,1957 年生,高级工程师,主要从事决策气象服务及气象灾害服务。E-mail: shao_ml@126.com

大降水量、降水范围、持续时间等来描述一次降水天气过程的强弱。因此,本文选用区域性暴雨天气过程的平均降水量、最大降水强度、覆盖范围和强降水持续日数 4 个指标^[1]衡量一次区域性暴雨过程的强弱,并选取上述 4 个因子作为区域性暴雨天气过程强度等级的风险预估指标。

(1)平均降水量(I_{pre})。其数学计算式为:

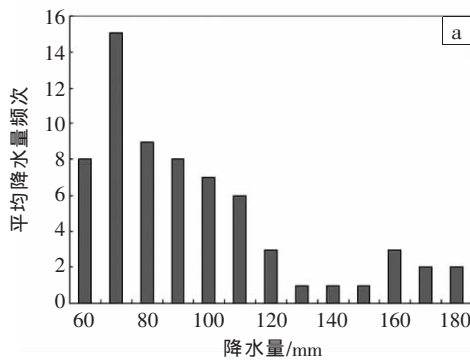
$$I_{pre} = \frac{I}{n} \sum_{j=1}^n P_j \quad (1)$$

式(1)中, n 为某区域内降水量达到暴雨标准的观测站点个数, P_j 为其中第 j 个观测站点在该过程中的总降水量(单位: mm), $i=1, \dots, n$ 。

(2)最大降水强度(I_{pin})。其数学计算式为:

$$I_{pin} = \max\left(\frac{P_{max1}}{50}, \frac{P_{max6}}{80}, \frac{P_{max24}}{200}\right) \quad (2)$$

式(2)中, P_{max1} 、 P_{max6} 、 P_{max24} 分别为第 j 个观测站点在暴雨过程中最大的 1、6、24 h 观测到的最大降水量(单



位: mm)。

(3)覆盖范围(I_{cov})。其数学计算式为:

$$I_{cov} = n/N \quad (3)$$

式(3)中, n 同式(1), N 为区域内观测站点总数。

(4)强降水持续日数(I_{dat})。 I_{dat} 为暴雨过程中连续出现 10 站以上降水量 ≥ 25 mm 的日数,记为 M 。

3.2 强度等级标准

对平均降水量(I_{pre}),首先,通过转换使预估指标呈现正态分布;然后,利用相应的正态概率密度函数,确定逐月数年一遇的概率,以此概率值(分位数)作为等级标准;最后,根据所得的等级标准按月(5—9月)建立区域性暴雨天气过程强度等级风险预估模型。

这里,以 5 月份数据分析为例,说明强度等级标准的计算过程。图 1 给出 5 月份湖北省区域性暴雨平均降水量频次分布和自然对数概率值检验结果。从图中可看出,数据集中的数值呈偏态分布,因此需要对其进行正态化处理。

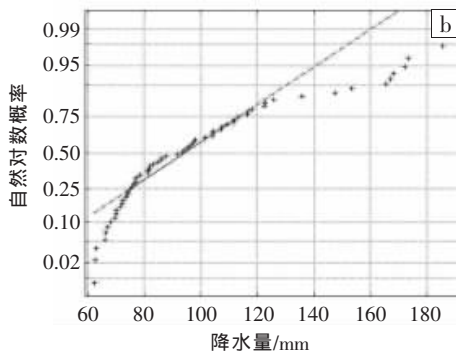


图 1 1960—2006 年 5 月湖北省区域性暴雨平均降水量频次分布图(a)和自然对数概率值检验结果(b)

以 Q_1 、 Q_2 分别表示下 4 分位数和上 4 分位数, R 表示 4 分位极差,即 $R=Q_2-Q_1$ 。通过 $Q_1-1.5R$ 、 $Q_2+1.5R$ 确定数据集的下、上截断点,就可去除数据集中的异常值。 Q_1 、 Q_2 的求法如下

$$M_p = \begin{cases} x_{(np+1)} & np \text{ 不是整数} \\ (x_{(np)} + x_{(np+1)})/2 & np \text{ 是整数} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, $p=0.25$ 、 0.75 , n 为样本容量, $x_{(1)}$ 、 $x_{(2)}$ 、 \dots 、 $x_{(n)}$ 为数据集按从小到大排列的次序统计量。于是, Q_1 、 Q_2 分别为 $M_{0.25}$ 、 $M_{0.75}$ 。从而平均降水量的下上截断点数值也可计算得到。表 1 给出湖北省逐月的平均降水量下、上截断点的值。

表 1 湖北省 1960—2006 年 5—9 月逐月的平均降水量下、上截断点数据表

截断点	月份				
	5	6	7	8	9
下	17.300	-18.225	-32.525	57.600	8.600
上	170.900	247.975	338.475	151.200	195.800

将数据中小于下截断点和大于上截断点的数据

定为异常值。由于数据集中的平均降水数值来源于降暴雨的观测值,所以没有小于下截断点的数值。将剔除异常值的数据集中的每一元素进行取自然对数或开平方的处理,可得到更接近正态分布的数据集。进一步对数据集进行 Jarque-Bera 检验,可验证在 0.05 信度下正态分布假设成立。经计算,逐月数据集的均值和标准差见表 2。

表 2 湖北省 1960—2006 年 5—9 月逐月平均降水量数据集处理后的均值和标准差表

截断点	月份				
	5	6	7	8	9
下	4.52	2.16	5.00	4.63	4.57
上	0.26	0.08	0.39	0.18	0.28

以上处理后的数据集均经 0.05 信度下的 t 检验,可认为正态总体的均值和方差与之相等。然后根据样本年限和可用个例数来确定平均降水量数年一遇的概率值及对应的无量纲分位数。表 3 给出逐月平均降水量对应的数年一遇的分位数。

表 3 湖北省 5—9 月逐月平均降水量对应的
数年一遇的分位数表

概率	月份				
	5	6	7	8	9
50 年一遇	5.08	2.35	5.92	4.98	5.07
20 年一遇	4.98	2.32	5.78	4.91	4.94
10 年一遇	4.89	2.30	5.66	4.84	4.82
5 年一遇	4.78	2.27	5.53	4.75	4.66
1 年一遇	4.32	2.17	5.05	4.07	3.70

使用与上述计算平均降水量相同的方法,可计算得到降水强度、覆盖范围、强降水持续日数的概率值及对应的分位数。

3.3 指标的权重系数

在上述各指标的概率值及对应分位数确定之后,就可得出各单项指标预估的初步标准,其中五级、四级、三级、二级和一级分别对应 1 年一遇、5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇的无量纲分位数(表 4)。

表 4 湖北省 5—9 月区域性暴雨天气过程
强度等级预估初步标准表

月份	预估指标	五级	四级	三级	二级	一级
5	P^*	4.32	4.78	4.89	4.98	5.08
	I^*	0.78	0.97	1.01	1.05	1.09
	C^*	0.41	0.54	0.58	0.60	0.63
	M^*	1	2	3	4	5
6	P^*	2.17	2.27	2.30	2.32	2.35
	I^*	0.88	1.01	1.04	1.08	1.11
	C^*	0.49	0.57	0.60	0.62	0.64
	M^*	1	2	3	5	8
7	P^*	5.05	5.53	5.66	5.78	5.92
	I^*	0.88	1.00	1.04	1.07	1.10
	C^*	0.47	0.55	0.57	0.59	0.61
	M^*	1	2	3	5	8
8	P^*	4.07	4.75	4.84	4.91	4.98
	I^*	0.39	0.93	0.99	1.05	1.10
	C^*	0.05	0.26	0.29	0.32	0.35
	M^*	1	2	3	4	5
9	P^*	3.70	4.66	4.82	4.94	5.07
	I^*	0.08	0.83	0.96	1.05	1.15
	C^*	0.04	0.26	0.30	0.34	0.37
	M^*	1	2	3	4	5

注: P^* 、 I^* 、 C^* 、 M^* 分别表示平均降水量、降水强度、覆盖范围和强降水持续时间;“*”表示各评估指标为初步标准。

根据单项指标预估初步标准,建立无量纲化的等级标准矩阵,即

$$A_i^* = (a_{ikt}^*) \quad (i=5,6,7,8,9; k=1,2,3,4; t=1,2,3,4,5)$$

其中, (a_{ikt}^*) 是第 k 个指标第 t 级的标准与 50 年一遇标准的比值, i 表示月份。

在计算出矩阵 A_i^* 的各行向量的标准差与均值之后,就可计算变异系数(w_{ik}^*):

$$w_{ik}^* = s_{ik}^* / \mu_{ik}^* \quad (i=5,6,7,8,9; k=1,2,3,4) \quad (5)$$

变异系数 w_{ik}^* 可代表各指标的权重^[6],对变异系数归一化可得到各指标的权向量;式(5)中, i 表示月份, w_{ik}^* 表示第 k 个指标的变异系数, μ_{ik}^* 表示第 k 个指标的平均值, s_{ik}^* 表示第 k 个指标的均方差。 μ_{ik}^* 、 s_{ik}^* 的计算式如下:

$$\begin{cases} \mu_{ik}^* = \left(\frac{1}{5} \sum_{t=1}^5 a_{ikt}^* \right) \\ s_{ik}^* = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^5 (a_{ikt}^* - \mu_{ik}^*)^2}{5}} \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中, $i=5,6,7,8,9; k=1,2,3,4; t=1,2,3,4,5$ 。

根据实际应用的需要,可对各指标的权重进行调整。调整方法是在原有各指标上减一个常数。这样的调整只作区间的平移而不会改变资料集的分布特征,因而概率密度函数和分位数在平移后性质不变。根据实际经验,本文权向量应为 $w=[0.5 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.2]$ 。可固

表 5 调整权重后的暴雨灾害单项指标预估标准表

月份	预估指标	五级	四级	三级	二级	一级
5	P	-0.9247	-0.4647	-0.3547	-0.2647	-0.1647
	I	0.0071	0.1971	0.2371	0.2771	0.3171
	C	0.4100	0.5400	0.5800	0.6000	0.6300
	M	-5.1552	-4.1552	-3.1552	-2.1552	-1.1552
6	P	-0.3561	-0.2561	-0.2261	-0.2061	-0.1761
	I	0.0529	0.1829	0.2129	0.2529	0.2829
	C	0.4900	0.5700	0.6000	0.6200	0.6400
	M	-5.8499	-4.8499	-3.8499	-1.8499	-0.8499
7	P	-1.0051	-0.5251	-0.3951	-0.2751	-0.1351
	I	0.0480	0.1680	0.2080	0.2380	0.2680
	C	0.4700	0.5500	0.5700	0.5900	0.6100
	M	-5.7916	-4.7916	-3.7916	-1.7916	-0.7916
8	P	-0.8566	-0.1766	-0.0866	-0.0166	0.0534
	I	-0.2983	0.2417	0.3017	0.3617	0.4117
	C	0.0500	0.2600	0.2900	0.3200	0.3500
	M	-6.2642	-5.2642	-4.2642	-3.2642	-2.2642
9	P	-1.2786	-0.3186	-0.1586	-0.0386	0.0914
	I	-0.3980	0.3520	0.4820	0.5720	0.6720
	C	0.0400	0.2600	0.3000	0.3400	0.3700
	M	-6.3637	-5.3637	-4.3637	-3.3637	-2.3637

注: P 、 I 、 C 、 M 分别表示平均降水量、降水强度、覆盖范围和强降水持续时间。

定覆盖范围,调整其余指标,经计算可得各指标调整的常数。调整权重后的单项指标预估标准见表 5。

根据调整权重后的单项指标预估标准,可分别得到如下 5—9 月最终无量纲化标准矩阵 A_5, A_6, A_7, A_8, A_9 :

$$A_5 = \begin{pmatrix} 5.6155 & 2.8219 & 2.1539 & 1.6073 & 1 \\ 0.0223 & 0.6215 & 0.7477 & 0.8738 & 1 \\ 0.6508 & 0.8571 & 0.9206 & 0.9524 & 1 \\ 4.4626 & 3.5969 & 2.7313 & 1.8656 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_6 = \begin{pmatrix} 2.0222 & 1.4543 & 1.2839 & 1.1704 & 1 \\ 0.1870 & 0.6465 & 0.7526 & 0.8940 & 1 \\ 0.7656 & 0.8906 & 0.9375 & 0.9688 & 1 \\ 6.8832 & 5.7065 & 4.5299 & 2.1766 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_7 = \begin{pmatrix} 7.4376 & 3.8858 & 2.9239 & 2.0359 & 1 \\ 0.1792 & 0.6269 & 0.7761 & 0.8881 & 1 \\ 0.7705 & 0.9016 & 0.9344 & 0.9672 & 1 \\ 7.3159 & 6.0527 & 4.7896 & 2.2632 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_8 = \begin{pmatrix} -16.056 & -3.3108 & -1.6240 & -0.3120 & 1 \\ -0.7247 & 0.5870 & 0.7328 & 0.8785 & 1 \\ 0.1429 & 0.7429 & 0.8286 & 0.9143 & 1 \\ 2.7666 & 2.3249 & 1.8833 & 1.4416 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_9 = \begin{pmatrix} -13.980 & -3.4835 & -1.7339 & -0.4216 & 1 \\ -0.5922 & 0.5238 & 0.7173 & 0.8512 & 1 \\ 0.1081 & 0.7027 & 0.8108 & 0.9189 & 1 \\ 2.6923 & 2.2692 & 1.8461 & 1.4231 & 1 \end{pmatrix}$$

3.4 区域性暴雨天气过程强度等级风险预估模型的建立

以上新的无量纲化标准矩阵,可认为是在四维空间中的 5 个固定向量,当预报有一次区域性暴雨天气过程时,可得到 4 个预估指标 P, I, C, M ; 然后,各自除以相对应的一级指标值,组成被预估向量 $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 。于是事件等级的预估问题就转化为计算被预估向量与各固定向量的距离问题。计算多维空间向量间距离的方法有绝对值距离法、欧氏距离函数法和马氏距离函数法等,本文选用欧氏距离函数法。

通过计算 X 到矩阵 A 中各列向量的欧氏距离,就可得到如下区域性暴雨天气过程强度等级风险(d_j)预估模型:

$$d_j = \sqrt{\sum_{k=1}^4 (x_{ik} - a_{ik})^2} \quad (7)$$

若 $d_m = \min_{1 \leq j \leq 5} \{d_j\}$, 则此暴雨事件属于第 $m=6-j$ 级。

其中, j 为与暴雨强度等级有关的暴雨评估等级; i 为月份(5—9 月), 分别取 5、6、7、8、9; k 为平均降水量、降水强度、覆盖范围和强降水持续四个指标, 分别取 1、

2、3、4; t 对应的是由历史资料得到的第 k 个评估指标某一等级的无量纲分位数。

4 暴雨灾情损失风险预估

暴雨造成的灾情严重、损失巨大、影响范围广。分析气象灾害普查资料表明: 湖北省气象灾害损失主要是由暴雨及其衍生灾害造成; 全省 1961—2006 年因暴雨及其衍生灾害累计造成的受灾人口约 1.5 亿人次, 农作物受灾面积近 3700 多万公顷(其中绝收近 250 万公顷), 直接经济损失 100 多亿元(其中农业经济损失 200 多亿元); 因暴雨灾害造成的直接经济损失占气象灾害总损失的 75%^[7]; 受灾人口、农作物受灾面积和直接经济损失较严重的地区主要有荆州、荆门、武汉、随州、襄樊; 山洪、山体滑坡、泥石流等灾害所造成损失较严重的地区主要在恩施、十堰、宜昌西北部、咸宁; 受灾人口、农作物受灾面积、直接经济损失等灾情大小与当地人口密度、地理环境、可耕作农田面积、国民生产总值等密切相关。

4.1 灾情损失风险预估指标

一般而言,形成灾害必须具备以下条件: 1) 存在诱发灾害的因子(即致灾因子)及形成灾害的环境(即孕灾环境); 2) 灾害影响区有人类居住或分布有社会财产(即承灾体)。三者之间相互作用形成灾情^[8]。表示灾情大小、强弱的指标很多,从历史资料的完整性和灾情风险预估的精确性考虑,本文选择因暴雨灾害所造成的受灾人口、农作物受灾面积、直接经济损失 3 个要素作为灾情预估因子,其单位分别为人、公顷、万元。

4.2 灾情损失等级标准

以 1960—2006 年湖北省气象灾害数据库的灾情资料作为基础数据,筛选区域性暴雨天气过程个例所对应的灾情,按月(5—9 月)形成各指标的数据集,各数据集值域最小值大于 0。根据选取的暴雨灾情风险预估因子,应用与建立区域性暴雨天气过程强度等级风险预估模型同样的方法,建立具有统计意义的暴雨灾情风险预估模型。其主要思想是,首先,通过处理使各指标呈正态分布; 然后,利用相应暴雨指标数年一遇的概率等级对应的正态概率密度函数,确定各灾情指标的等级标准。

4.2.1 受灾人数

经筛选,得出 5—9 月区域性暴雨天气过程受灾人数的数据集,按照上述相同方法求其频率分布和概率值检验结果。因各月数据集的数据并不完全符合正态分布,必须对其进行正态分布处理。由于历史灾情资料的不完整性和不规范性,特别是早期的暴雨灾害,其灾情记录更少,记录方式也不尽相同。但近 10

年来其记录较为完整,从归一化角度考虑,以此资料进行分析更为合理,对分析结果的准确性影响不大。

以 $2.5Q_1-1.5Q_2$ 、 $2.5Q_2+1.5Q_1$ 确定数据下、上截断点。 Q_1 、 Q_2 分别为下四分位数和上四分位数,其求法见式(4)。同样, $p=0.25$ 、 0.75 , n 为样本容量, $x_{(1)},x_{(2)},\dots,x_{(n)}$ 为数据集按从小到大排列的次序统计量。于是, Q_1 、 Q_2 分别为 $M_{0.25}$ 、 $M_{0.75}$,即可计算出各月下、上截断点,数据中小于下截断点和大于上截断点的数据定为异常值。将其剔除后再进行相应转换更有利于接近正态分布,从而得出各月可用的受灾人口样本个例及上、下截断点。

将剔除异常值的数据集中每一元素取自然对数后,得其频率分布和概率值检验,结果接近正态分布,且数据点分布接近一条直线(图略)。进一步对其进行 Jarque-Bera 检验可验证,在 0.05 信度下正态分布假设成立。应用正态概率密度分布函数、样本年限以及可用个例数,根据相对应的区域性暴雨天气过程强度

等级概率值,可确定相对应暴雨灾情损失 1 年一遇、5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇的分位数。

4.2.2 农作物受灾面积、直接经济损失

应用以上同样方法,对各月筛选的农作物受灾面积、直接经济损失样本计算截断值,剔出异常值后取自然对数将指标进行正态化转换,其结果通过 0.05 信度下的 Jarque-Bera 检验。随后,可确定对应暴雨灾情损失 1 年一遇、5 年一遇、10 年一遇、20 年一遇、50 年一遇的分位数。

4.3 灾情损失值风险预估

根据灾情预估指标各级分位数,同样可得到一个无量纲标准矩阵 B ,按照与暴雨灾害等级风险预估相同的方法,采用欧氏距离函数法计算被预估灾情向量 Y 到矩阵 B 的最小距离,求出相应灾情损失值风险预估(计算方法略)。

然而,同一地区人口总数、农作物耕种面积是一

表 6 湖北省 5—9 逐月各项指标各等级对应的损失上、下限值标准值表

界限	月份	预估指标	50 年一遇	20 年一遇	10 年一遇	5 年一遇	1 年一遇
上限	5	受灾人数/ 10^4 人	933.000	674.560	341.219	168.100	28.000
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	623.1	580.1	446.3	289.8	150.0
		直接经济损失/ 10^4 万元	16.61	12.35	7.53	5.83	2.10
	6	受灾人数/ 10^4 人	1123.780	699.190	407.930	280.330	67.270
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	872.8	602.0	470.8	323.2	228.0
		直接经济损失/ 10^4 万元	18.52	13.93	11.44	7.48	4.36
	7	受灾人数/ 10^4 人	1243.220	712.870	463.640	290.220	84.900
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	965.1	760.2	537.9	422.2	315.0
		直接经济损失/ 10^4 万元	21.73	18.84	15.62	9.42	6.95
	8	受灾人数/ 10^4 人	1004.400	687.600	378.530	210.930	52.137
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	799.0	500.9	452.1	324.6	219.0
		直接经济损失/ 10^4 万元	17.84	14.82	10.50	6.41	2.31
9	受灾人数/ 10^4 人	1073.400	594.610	186.190	59.550	28.575	
	农作物受灾面积/ 10^3 公顷	847.3	680.7	572.3	372.7	279.6	
	直接经济损失/ 10^4 万元	18.43	15.15	11.48	7.64	3.09	
下限	5	受灾人数/ 10^4 人	723.290	354.500	180.000	95.900	15.000
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	453.6	246.7	125.5	99.0	18.7
		直接经济损失/ 10^4 万元	5.65	4.50	3.90	2.59	1.19
	6	受灾人数/ 10^4 人	723.780	359.100	189.300	98.330	27.270
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	487.2	270.2	160.8	104.3	21.0
		直接经济损失/ 10^4 万元	5.85	5.23	4.35	3.48	2.31
	7	受灾人数/ 10^4 人	732.200	412.800	233.600	121.200	34.800
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	565.1	366.0	237.0	122.2	21.5
		直接经济损失/ 10^4 万元	6.73	5.83	4.56	3.52	2.95
	8	受灾人数/ 10^4 人	724.400	387.600	218.500	108.930	32.137
		农作物受灾面积/ 10^3 公顷	479.9	280.9	176.2	112.6	18.9
		直接经济损失/ 10^4 万元	5.74	4.82	3.95	3.41	2.17
9	受灾人数/ 10^4 人	722.000	354.610	186.190	99.500	26.575	
	农作物受灾面积/ 10^3 公顷	487.3	298.6	192.7	121.3	19.7	
	直接经济损失/ 10^4 万元	5.83	5.15	4.81	3.54	2.16	

变化值,随着我国经济快速发展,因灾造成的直接经济损失也在迅速增大。考虑到经济发展和人口、农作物种植面积变动等因素,将受灾人数、农作物受灾面积和直接经济损失相应等级最近 5 次中最大、最小灾情值取整作为预估的上、下限值标准(表 6)。

5 应用结果分析

5.1 试预估

应用上述区域性暴雨灾害风险预估方法,对湖北省 2008—2009 年达到区域性暴雨灾害天气标准的 9 次过程进行风险预估。当预报有达到一次区域性暴雨

天气过程时,选取预估指标 $P、I、C、M$ 值;将其带入风险预估模型计算,得到一组被预估向量 $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 。于是暴雨灾害的风险预估问题就转化为计算被预估向量组与标准向量组的距离问题,即计算矩阵 X 到 A 中各列向量的欧氏距离,得出这次区域性暴雨天气过程强度等级预估结果。将等级预估结果中的概率值带入灾情损失风险预估模型,计算其灾情损失预估,并根据表 6 进行极值控制,即可得到这次区域性暴雨灾害的灾情(受灾人口、农作物受灾面积、直接经济损失)损失风险预估值。表 7 给出 2008—2009 年共 9 次区域性暴雨灾害的风险预估结果及实况。

表 7 2008—2009 年湖北省区域性暴雨灾害的预估结果表

日期	区域性暴雨强度等级		受灾人口/ 10^4 人		农作物受灾面积/ 10^3 公顷		直接经济损失/ 10^4 万元	
	预估	实况	预估	实况	预估	实况	预估	实况
2008 年 5 月 2—3 日	五级	五级	88~150	150	69.4~138.8	144.4	1.7~3.3	3.6
2008 年 5 月 26—27 日	五级	五级	7~13	无数据	9.6~76.7	14.3	0.5~0.9	0.3
2008 年 6 月 7—9 日	三级	五级	133~216	34	111.6~326.7	9.9	3.2~5.9	0.5
2008 年 6 月 19—22 日	五级	五级	29~48	30	22.7~66.5	9.4	0.6~1.2	0.6
2008 年 7 月 4—6 日	五级	五级	15~35	52	7.9~117.1	40.5	1.0~2.4	2.7
2008 年 7 月 21—22 日	五级	四级	23~57	26	13.7~200.1	91.6	1.9~4.5	7.1
2008 年 8 月 15—17 日	五级	四级	20~33	226	11.9~137.9	187.5	1.3~1.4	8.3
2008 年 8 月 28—31 日	一级	一级	405~565	447	261.3~435.1	368.4	4.1~9.1	17.0
2009 年 6 月 27—30 日	二级	二级	172~467	503	100.2~378.7	315.7	3.9~8.5	9.1

5.2 结果分析

分析 2008—2009 年湖北省出现的 9 次区域性暴雨灾害的风险预估结果表明,受灾人口预估值(其中 1 次无实况数据)分别有 2、1 次低于和高于其实况值,有 5 次预估正确,其正确率为 62.5%;农作物受灾面积预估值均有 2 次低于和高于其实况值,有 5 次预估正确,其正确率为 55.6%;直接经济损失预估值分别有 6、2 次低于和高于其实况值,仅 1 次预估正确,其正确率为 11.1%;暴雨灾害等级预估分别有 2、1 次低于和高于其实况等级,有 6 次预估正确,其正确率为 66.7%。可见,该模型对区域性暴雨天气过程强度等级风险预估准确率较高,对受灾人口、农作物受灾面积的风险预估效果也较理想,但对直接经济损失的风险预估效果较差。

6 结论与讨论

应用 5—9 月区域性暴雨天气过程强度等级及灾情损失值风险预估模型,对湖北省 2008—2009 年符合区域性暴雨灾害天气标准的 9 次过程进行风险预估。结论如下: 1) 该模型对区域性暴雨强度等级风险预估的正确率达到 66.7%; 2) 对受灾人口、农作物受灾面积风险预估的正确率分别达到 62.5%、55.6%; 3) 对直接经济损失的风险预估效果较差,其正确率仅 11.1%。

上述预估效果与实际需求相比还有较大差距。为

缩短这种差距,首先要弄清影响预估效果的原因。其原因主要包括: 1) 预估模型有待进一步优化完善; 2) 实时灾情数据不够准确; 3) 灾情预估因子的基础数据归一化处理难度较大; 4) 区域性暴雨预报技术要求高。因此,今后应将模型预估因子检验分析、灾情信息数据化、相关领域预估方法引入等作为研究重点。

参考文献:

- [1] 陈艳秋,袁子鹏,盛永,等.基于概率分析的暴雨事件快速评估模型[J].气象与环境学报,2006,24(5):62-65.
- [2] 盛永,陈艳秋,廖国进,等.0509 号台风暴雨过程分析与暴雨灾害评估[J].气象与环境学报,2006,24(6):29-33.
- [3] 王博,崔春光,彭涛,等.暴雨灾害风险评估与区划的研究现状与进展[J].暴雨灾害,2007,26(3):281-286.
- [4] 刘荆,蒋卫国,杜培军,等.基于相关分析的淮河流域暴雨灾害风险评估[J].中国矿业大学学报,2009,38(5):735-740.
- [5] 陈艳秋,袁子鹏.辽宁暴雨事件影响的预评估和灾后速评估[J].气象科学,2007,27(6):626-632.
- [6] 胡守信,李柏年.基于 MATLAB 的数学实验[M].北京:科学出版社,2004.
- [7] 邵末兰,向纯怡.湖北省主要气象灾害分类及特征分析[J].暴雨灾害,2009,28(2):179-185.
- [8] 周月华,郭广芬.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.

(下转第 278 页)

参考文献:

- [1] 张洪刚,郭生练,何新林,等.水文预报不确定性的研究进展与展望[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(1):15-21.
- [2] Krzysztofowicz R. The case for probabilistic forecasting in hydrology [J]. J Hydrol, 2001, 249(1-4): 2-9.
- [3] 李俊,廖移山,张兵,等.集合数值预报方法在山洪预报中的初步应用[J].高原气象,2007,26(4):854-961.
- [4] 李岩,胡军,王金星,等.河流集合预报方法(ESP)在水资源中长期预测中的应用研究[J].水文,2008,28(1):25-30.
- [5] 宇如聪,薛纪善,徐幼平,等.AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统[M].北京:气象出版社,2004:2-4.
- [6] Cui Chun-guang, Li Jun, Shi Yan. Development and application of the advanced regional eta coordinate numerical heavy rain prediction model system in china [J]. Advances in Geosciences, 2007(6): 23-33
- [7] 陈正洪,李兰,刘敏,等.湖北省 2008 年 7 月 20—23 日暴雨洪涝特征及灾害影响[J].暴雨灾害,2009,28(4):345-348.
- [8] 李俊,王明欢,公颖,等.AREM 短期集合预报系统及其降水预报检验[J].暴雨灾害,2010,29(1):30-37.
- [9] 李俊,杜钧,王明欢,等.中尺度暴雨集合预报系统研发中的初值扰动试验[J].高原气象,2009,28(6):1365-1375.
- [10] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984:5-8.
- [11] 赵人俊,王佩兰.新安江模型参数的分析[J].水文,1988, 8(6):2-9.
- [12] PengTao, Song Xing-yuan, Shen Tie-yuan. The Application of Radar Quantitative Precipitation Estimation in Flood Forecasting during Flood Season [A] // The Proceedings of the 4th International Yellow River Forum on Ecological Civilization and River Ethics [C]. Zhengzhou:Yellow River Conservancy Press, 2010, 309-314.
- [13] 朱求安,张万昌.新安江模型在汉江江口流域的应用及适应性分析[J].水资源与水工程学报,2004,15(3):19-23.
- [14] SL25-2000.水文情报预报规范[S].北京:中华人民共和国水利部, 2000:18-22.

Preliminary Experiment on Flood Forecast in Flood Season Based on Ensemble Precipitation Prediction Products

PENG Tao, LI Jun, YIN Zhi-yuan, SHEN Tie-yuan, LI Wu-jie

(Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: In order to reduce the unfavourable influence on hydrological forecast precisions owing to the uncertainty of information, such as rain, putting into hydrological model, the paper describes a forecast research taking an information of the ensemble precipitation forecast product from AREM model about the flood process in flood season in the Zhanghe basin in Hubei province in 2008 as an input to the Xin'anjiang hydrological model and making a forecast test in the above area. The results show that more hydrological forecast information on flood peak runoff and flood peak happening time could be gotten and the sole definite forecast result could be transformed to the possible scope forecast by hydrological forecast based on precipitation ensemble prediction, thus the reliability of forecast result could be improved.

Key words: Precipitation ensemble prediction; AREM model; Hydrological ensemble prediction; Flood forecast; Xin'anjiang model

(上接第 273 页)

Study on a Disaster Risk Prediction Method for Regional Heavy Rain Events based on Euclidean Distance Function

SHAO Mo-lan¹, ZHANG ning¹, YUE Yang², MENG Ying-jie¹, ZHANG Ping-ping¹, XIE Ping¹

(1.Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074; 2.Science and Technology Division of Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430074)

Abstract: The cases of torrential rain were chosen based on the history data of heavy rain disasters in Hubei Province. The probability density function of the normal distribution, the interval movement method and the Euclidean Distance Function were used to establish the model for the strength degree of regional heavy rain and the possible loss risk prediction of disaster month by month from May to September in Hubei province. The application results show that the risk-estimated accuracy for the strength degree of regional heavy rain, the population affected by disasters and crop area affected by disasters is up to 66.7%, 62.5% and 55.6% respectively, and the risk-estimated accuracy for direct economic loss is slightly worse according to the model.

Key words: Heavy rainfall disaster; strength degree; Risk prediction; Euclidean Distance Function