

文章编号:1004-9045(2007)04-0323-05

# 基于水位和雨量的洪涝受灾面积评估模型研究

周月华<sup>1</sup>, 郭广芬<sup>1</sup>, 邵未兰<sup>2</sup>, 李竹君<sup>3</sup>

(1.武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2.武汉中心气象台, 武汉 430074; 3.中山大学, 广州 510275)

摘要: 在分析湖北省洪涝灾害孕灾环境和致灾因子的基础上, 利用民政部门整理的 1951-2000 年洪涝受灾面积资料, 建立了基于长江中游流域逐月最高水位和湖北省 5-10 月降水总量的湖北省洪涝灾害受灾面积定性和定量评估模型, 并给出了该模型 2001-2006 年的独立样本检验值, 探讨了该模型在年度灾害趋势预估和灾后评估中的应用。

关键词: 洪涝灾害; 灾害评估; 致灾因子; 受灾面积; 评估模型

中图分类号: S422 文献标识码: A

## 1 引言

洪涝灾害系统由于受到天、地、气等多种条件的约束和众多繁杂因素的影响和干扰, 毫无疑问, 它是一个典型的复杂系统<sup>[1]</sup>。一般而言, 形成洪水灾害必须具有以下条件: (1) 存在诱发洪水的因子(称之为致灾因子)及形成洪水灾害的环境(称之为孕灾环境)。(2) 洪水影响区有人类居住或分布有社会财产(称之为承灾体)。它们三者之间相互作用的结果形成了通常所说的灾情。从系统论的观点来看, 孕灾环境、致灾因子、承灾体、灾情之间相互作用, 相互影响, 相互联系, 形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系, 这就是洪水灾害系统<sup>[1]</sup>。灾情是这个系统中各子系统相互作用的产物。灾情可以包括人员伤亡、受损房屋、受灾面积、成灾面积、工农业直接经济损失, 社会直接经济损失等。

在进行专业灾害评估研究和实践的同时, 不少专家对自然灾害灾情评估理论和方法进行了深入地探讨和研究, 但这些评价方法大多存在指标繁多、信息获取难度大、计算繁琐、计算工作量大、技术和软件设备要求较高等不便因素, 造成灾害损失评估的普适性低, 应用范围小。本文所指的洪涝灾害评估就是在已经获取某些灾情评估指标值的基础上, 通过所建立的灾害评估模型, 对因洪水灾害造成的破坏程度进行评价。

湖北省是我国的主要产粮区之一, 且易遭受洪涝灾害, 各种不同程度的灾害几乎年年都有。1998 年 6 月至 8 月, 湖北省出现了 13 次较大范围的暴雨过程,

加上湘、赣、川、黔等省同期暴雨频繁, 产生大量洪水汇注长江, 使长江中游发生了 1954 年以来最为严重的组合型洪水, 沙市至湖口 11 个水位站有 9 个超过 1954 年最高水位。湖北省受灾人口 2 466 万, 因灾死亡(含疫病死亡)560 人; 农作物受灾面积 194.3 万公顷, 成灾面积 126.4 万公顷。因此, 对湖北省进行灾害评估对救灾、援灾和灾后重建等减灾决策具有重要的指导意义。

## 2 湖北省洪涝灾害的主要影响因子

本文洪涝灾害定义为由于降水量大、降水强度过于集中, 使过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。评估洪涝灾害相当复杂, 其难在寻找合适的致灾因子建立能反映灾情实况的评估模式<sup>[2]</sup>。

### 2.1 湖北省洪涝灾害孕灾环境识别

湖北省位于长江中游流域, 洪涝灾害影响因素比较复杂, 利用湖北省 76 个气象台站收集到的 1996~2005 年的农业受灾面积资料, 得到近 10 年湖北省农业受灾面积分布图(图 1)。由图 1 可见, 重灾区主要分布于江汉平原、长江和汉江沿岸以及鄂东南和鄂西南的大部地区。而这些区域一方面地势低, 河网众多, 另一方面, 这些区域是湖北省暴雨高发区域。因此下面将分析这些因素对湖北省洪涝灾害的影响。

#### 2.1.1 地形地貌

湖北省位于长江中游, 地跨北纬 29°01'~33°16', 东经 108°21'~116°07', 东西长约 740 km, 南北宽约 470

收稿日期: 2007-09-18; 定稿日期: 2007-11-20

基金项目: 中国气象局新技术重点推广项目“长江中游气象水文预报与服务系统研究”(CMATG2006Z08)、中国气象局多轨道建设项目“长江中上游暴雨洪水定量预报和水循环影响评估系统”; 湖北省气象局基金课题“湖北省干旱、暴雨气象灾害评估研究”(2004Z02)共同资助

作者简介: 周月华, 女, 1963 年生, 正研级高工, 主要从事气候预测与气候影响评价。E-mail: zyh\_dmm@tom.com

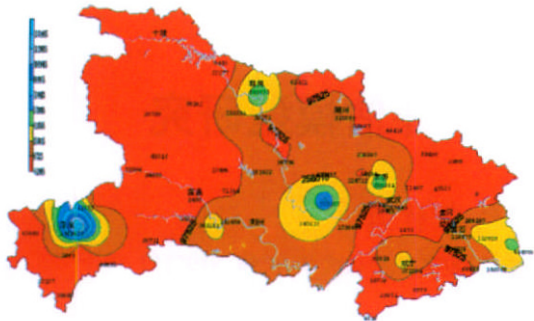


图 1 1996~2005 年湖北省农业受灾面积分布图

km, 总面积 185 900 km<sup>2</sup>。西、北、东三面环山, 依次为武陵山、齐岳山、巫山、大巴山、武当山、桐柏山、大别山、幕阜山, 中间环抱着低平的江汉平原, 构成了南部向洞庭湖敞开的不完整盆地。江汉平原及鄂东沿江地区, 海拔 30 m 左右。平原地区低洼, 地面高程均低于最高洪水位 5~6 m, 汛期江水高出地面, 内部渍水不能外泄, 且正值多雨季节, 极易涝渍成灾, 长江流域易涝面积中, 90% 集中分布在长江中下游, 受洪水威胁地区以平原地区最为严重, 因此江汉平原素有“水袋子”之称。

### 2.1.2 河网密布

湖北境内河流纵横, 湖泊众多。长江自西向东贯穿全省, 境内流程 1 061 km, 在中国水利史上有“万里长江, 险在荆江”的说法, 荆江河段河道复杂, 支流众多, 九曲回肠, 在下荆江河段, 直线长仅 87 km, 河槽弯曲竟达 247 km。汉水从陕西白河进入湖北, 省内流程 878 km, 在武汉汇入长江。湖北省还承接湖南“四水”流域 120 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 下泄水量<sup>[3]</sup>。湖北省还有河长 10 km 以上的河流 1 707 条, 其中河长 50 km 以上的 135 条, 河长 100 km 以上的 38 条(不含长、汉江)。这些河流呈枝状辐合, 流向汉水、长江。其中集雨面积较大的有: 清江、府澧河、堵河、沮漳河、南河、汉北河等。湖泊之多为全国之首, 1 km<sup>2</sup> 以上的湖泊 275 个, 总面积 2 762 km<sup>2</sup>, 其中接近或超过 100 km<sup>2</sup> 的重点防汛湖泊有: 洪湖、长湖、斧头湖、梁子湖、汉阳湖等。

### 2.1.3 季风气候

湖北省位于东亚季风气候区, 全年雨量丰沛, 受亚热带夏季风的影响, 降水过程频繁, 雨量集中, 暴雨日数多, 是湖北省汛期降水的主要特点。而长江径流中雨水补给量约占年径流量的 75%~80%, 洪水一般由暴雨形成。湖北省每年从 5 月份开始进入汛期, 降水明显增多, 江河湖库水位开始上涨, 到 9 月份以后, 降水减少明显, 汛期基本结束。汛期时间长, 6、7 两月是长江中游的主汛期(图 2), 暴雨频繁, 强度大, 汛期出现的时间随雨带由东南向西北推移。通常湖北省范围大、灾害重的大洪涝灾害, 多是由于长江上游地区的

雨季提前, 形成洪水顺江而下, 与长江中游地区强降水所产生的洪水在荆江河段相遇, 洪水量超过荆江河段的安全泄洪量, 便泛滥成灾所致<sup>[4]</sup>。湖北省 1788、1860、1870、1931、1954、1980、1998 年 7 个突出的大洪涝年, 都是上游来水与中游地区洪水遭遇造成外洪内涝的结果<sup>[5]</sup>。

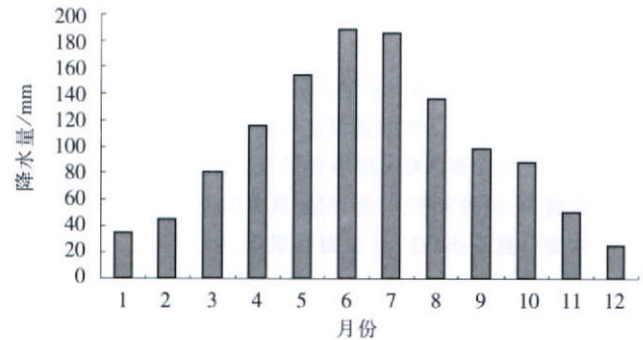


图 2 湖北省 76 站点 1951~2000 年逐月平均降水量

## 2.2 洪涝灾害致灾因子识别

### 2.2.1 降水变率的影响

湖北省汛期降水集中, 暴雨多。汛期暴雨主要出现在 5~10 月, 汛期(5~10 月)降水量占全年降水量的 70% 左右, 全省连续 2~3 d 的大暴雨几乎每年可见。图 3 为湖北省 5~10 月降水量历年变化曲线, 可见历史上的湖北省大涝年 1954、1980、1983、1998 年的降水量均为历史同期的较高值。降水变率变化幅度也较大, 最大达 500 mm(1983 年)左右, 并且暴雨过程持续时间长、强度大。

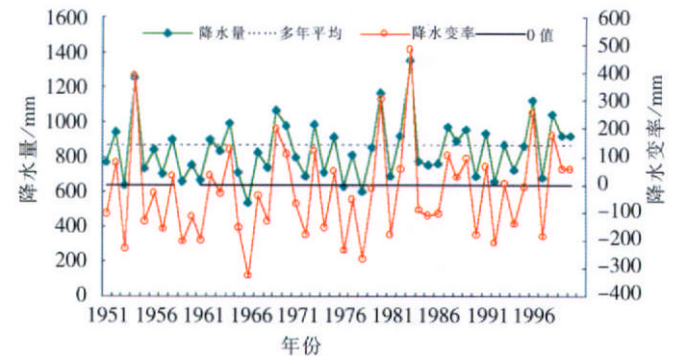


图 3 湖北省 1951~2000 年 76 站点 5~10 月平均降水量和降水变率变化曲线

### 2.2.2 影响因素相关分析

从上面分析可以看到, 湖北省洪涝灾害的主要成因包括地形、河网和季风气候, 如何客观的用某种量将各因子联系起来? 为此选择了降水量和库水位, 采用湖北省 5~10 月降水量来表示季风年际变化, 长江中游水文观测站的水位表征江河、水库水位上涨以及上游来水量过大、下游湖库顶托作用。利用相关分析, 找出最适宜建模的因子。

影响因素的相关分析主要是考察致灾因子的时间变化对灾害损失的时间变化的影响, 利用民政部门整理的 1951~2000 年洪水受灾面积资料 (其中缺 1959、1960 年资料), 与长江中游流域水位站点资料进行对比分析。将寸滩、宜昌、沙市、城陵矶、汉口各水文观测站 5~10 月的最高水位、上述 5 站的最高水位和、以及宜昌、沙市、城陵矶和汉口 4 站最高水位和、湖北省 5~10 月降水量、受灾面积和成灾面积均分别作相

关分析, 相关系数见表 1。由表中可见, 湖北省受灾面积和城陵矶、汉口的最高水位的相关系数分别达到 0.70 和 0.63, 而和宜昌、沙市的最高水位仅达 0.12 和 0.24, 和全省 5~10 月的降水总量也有 0.66 的相关系数。说明湖北的洪涝主要还是由于省内降水异常和南水顶托, 洞庭湖调蓄不够有关。另外, 受灾面积和成灾面积也有很好的相关性, 因此, 本文只对受灾面积进行建模评估, 不再重复对成灾面积的评估分析。

表 1 水文、气象和灾情之间各要素相关系数表

	寸滩	宜昌	沙市	城陵矶	汉口	5 站和	4 站和	R- 全省	涝灾- 受灾	涝灾- 成灾
寸滩	1.00									
宜昌	0.73	1.00								
沙市	0.67	0.93	1.00							
城陵矶	0.06	0.35	0.53	1.00						
汉口	0.04	0.33	0.46	0.93	1.00					
5 站和	0.78	0.87	0.91	0.63	0.61	1.00				
4 站和	0.40	0.74	0.83	0.88	0.86	0.88	1.00			
R- 全省	0.02	0.33	0.37	0.64	0.67	0.44	0.63	1.00		
涝灾- 受灾	-0.12	0.12	0.24	0.70	0.63	0.31	0.54	0.66	1.00	
涝灾- 成灾	-0.06	0.20	0.30	0.67	0.62	0.35	0.57	0.73	0.97	1.00

注: 寸滩、宜昌、沙市、城陵矶、汉口分别指各水文观测站 5~10 月的最高水位; 4 站和: 指宜昌、沙市、城陵矶、汉口 4 个水文观测站 5~10 月的最高水位和; 5 站和: 指寸滩、宜昌、沙市、城陵矶、汉口 5 个水文观测站 5~10 月的最高水位和; R- 全省: 湖北省 5~10 月降水量; 涝灾- 受灾: 指湖北省因洪涝灾害而造成的农业受灾面积; 涝灾- 成灾: 指湖北省因洪涝灾害而造成的农业成灾面积。

### 3 洪涝受灾面积评估模型研究

利用民政部门整理的 1951~2000 年洪水受灾面积资料, 其中 1959~1960 年的数据缺失, 与长江中游流域水位站点资料和湖北省 5~10 月的降水量进行建模。

#### 3.1 定性评估模型

定性评估模型是将致灾因子与评估对象联系起来的一种图形, 该图也被称点聚图。其横坐标与纵坐标分别代表一类或一类组合致灾因子。两类致灾因子在图中交叉的点上, 则为某个时间 (本文为年) 评估对象 (如受灾面积) 的数值, 历史资料的各个时间的评估对象均绘在图上, 然后分析各评估对象点的集中位置, 得到一张定性评估图。该图上致灾因子的选取要防止盲目性, 把那些能反映评估对象的影响因子选取出来, 作为致灾因子来做图。绘出的图上评估对象的点分布比较有规律, 数值大小接近的点分布在相近的区域, 则这种点聚图制作较成功。

分别选取城陵矶站和汉口站的水位和为横坐标, 湖北省 5~10 月逐年降水量为纵坐标, 受灾面积的距平值为评估对象绘图 (图 4)。其中白色的空心圈表示受灾面积小于多年平均值, 有颜色的实心圈表示受灾

面积大于多年平均值, 圈的大小表示数值的大小, 在该图中可基本区分开受灾面积大于和小于多年平均值的受灾年份。随着降水量增加、城陵矶和汉口两站的水位和的增加受灾面积是增加的, 而降水量较小, 水位和也较低时受灾面积也较小。

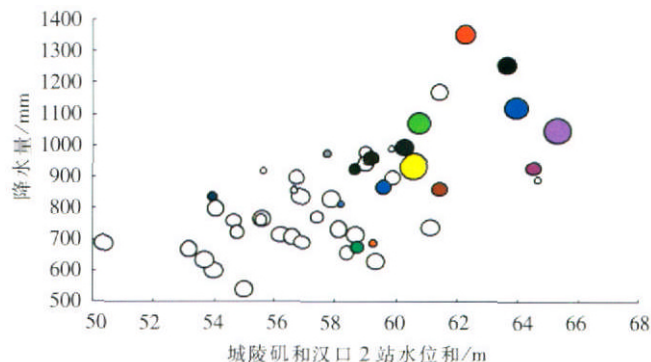


图 4 湖北省受灾面积定性评估模型图

其中 1991 的灾情 (黄色的圈) 在降水量和水位不是很高的情况下灾情却很大, 这主要是 1991 年 4 月 16 日有一次大暴雨天气过程, 发生于汛前期, 造成江汉平原和鄂东东南部大面积渍涝灾害。而这次过程在降水和水位中没有反映。另外, 暴雨集中, 也是灾害严重的主要因素。6 月 29 日至 7 月 12 日, 湖北省内发生了历史罕见的连续暴雨、大暴雨及局地特大暴雨, 部

分县市的过程总降雨量、日降雨强度、过程中的暴雨、大暴雨日数等突破了历史气象记录。强暴雨集中下在粮棉油主要产区和经济发达的江汉平原、武汉市和鄂东,造成了极为严重的洪涝灾害。在年度趋势预估中,可以根据预报的致灾因子在图中绘出相应的评估对象点的位置,通过该评估对象的落区,从而判断灾情可能出现的区间范围。

### 3.2 定量评估模型

前面已分析,湖北省受灾面积和城陵矶、汉口 5~10 月最高水位和湖北省 5~10 月降水量相关系数较高,另外与 4 站水位和相关也较高,为了减小误差,这里将宜昌、沙市、城陵矶、汉口水位分别引入评估模型,利用水文数据和气象数据以及灾情资料建立了定量评估模型:

$$y = -5089.3 - 68.1x_1 - 95.4x_2 + 574.4x_3 - 276.0x_4 + 3.1x_5$$

其中,  $y$  为湖北省全省受灾面积,  $x_1 \sim x_4$  分别为宜昌、沙市、城陵矶、汉口水文站 5~10 月最高水位值,  $x_5$  为 5~10 月全省平均降水量。

根据该评估模型得到 1951~2000 年的预测值,预测值小于 0 时按历史实际出现的最小值处理。图 5 为预测值与实际值的比较。由图可见,预测值与实际值拟合的较好,能较准确的反映受灾面积的逐年变化趋势,尤其是在几个重灾年,模拟的结果与实际值拟合得很好。

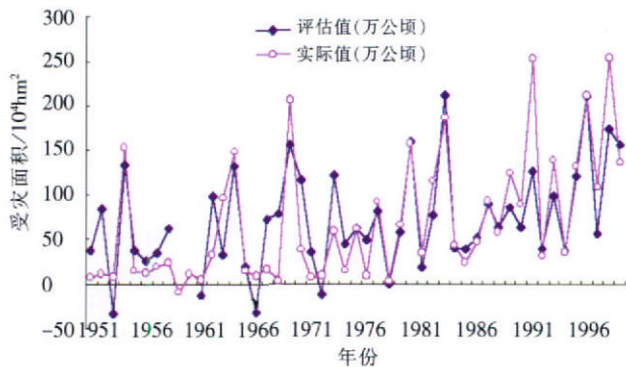


图 5 受灾面积模型评估值与实际值的拟合

用该评估模型对 2001~2006 年的受灾面积进行独立样本检验,结果列于表 2。2001 年值为负,反映洪涝面积明显偏小的趋势,评估值按历史出现的最小值  $2.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$  (1978 年) 处理。

表 2 2001~2006 年湖北省洪涝受灾面积独立样本检验值(单位:  $10^4 \text{ hm}^2$ )

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006
受灾面积(实际)	-	-	-	82.6	90	27.8
受灾面积(评估)	-7.0(2.3)	151.9	110.9	81.3	58.0	25.1

注: 2004~2006 年实际资料来自于中国气象灾害年鉴。

## 4 年度洪涝受灾面积评估模型应用

魏一鸣等指出,从水灾的时间演变过程来看,区域洪涝灾害损失评估可分为:洪涝灾害影响评价、洪涝灾害预评估、洪涝灾害实时评估和洪涝灾害后评估四个方面<sup>[6,7]</sup>。本文所建的定性评估模型和定量评估模型均可用于灾前预估和灾后评估。

### 4.1 年度洪涝灾害预评估

洪涝灾害定量评估模型需要输入的因子:城陵矶、汉口、宜昌、沙市的最高水位预测值,全省 5~10 月的降水总量预测值,从而得到预测的全省受灾面积,进而定义年景为何种程度的洪涝灾害。

首先给出一个定义洪涝灾害程度的方法,本文用降水量和灾情来定义洪涝灾害程度,并给出其指数计算公式:

$$I = (Z_i - \bar{Z}) / \bar{Z} + (R_i - \bar{R}) / \bar{R} \quad (2)$$

其中,  $I$  为洪涝灾害等级指数,  $Z_i$  为第  $i$  年的灾情,  $\bar{Z}$  为多年平均的灾情,  $R_i$  为第  $i$  年的 5~10 月降水量,  $\bar{R}$  为多年平均的降水量。

根据洪涝等级指数的范围定义洪涝灾害等级,  $I > 1.0$  时为严重洪涝;  $1.0 > I > 0$  时为较重洪涝;  $0 > I > -0.5$  时为一般洪涝;  $I < -0.5$  时为旱重于涝。

由此可以得到历年洪涝指数变化图,其中,因为缺少 1959~1960 实际灾情资料,将这两年与 2001~2006 年均用预测的灾情进行计算,在图中用红色表示。由图 6 可见,1954、1969、1980、1983、1991、1996、1998 这几个大涝年被很好的表示出来。

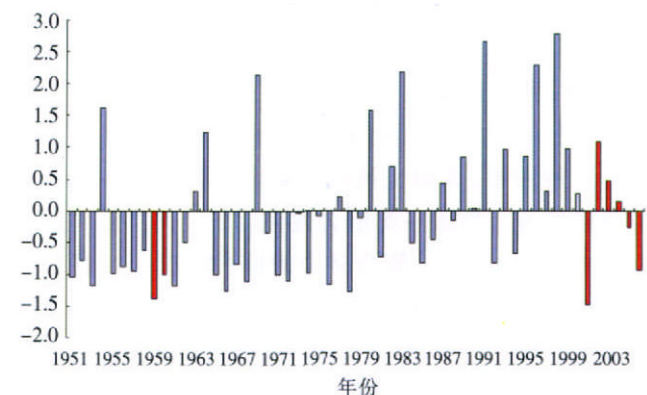


图 6 湖北省历年洪涝灾害等级变化图

### 4.2 洪涝灾害后评估

每年汛期结束后,可以利用实际出现的水位值和降水实测资料,对灾情进行评估,并和多渠道收集的灾情进行比对分析,这一方面可对灾情数据进行校验,及时分析差异的原因,另一方面可对模型进行修订完善。

## 5 小结

(1) 西、北、东三面环山, 中间低平的地形地貌、河流纵横, 湖泊众多的密布河网、降水集中的季风气候是湖北省洪涝灾害的基本孕灾环境, 而降水的年际、年内变率则是基本的致灾因子。

(2) 省内降水异常和南水顶托是湖北省洪涝灾害的重要因子, 加上上游来水构成湖北省洪涝的基本图像, 用长江城陵矶、汉口、宜昌、沙市的最高水位和全省5~10月的降水总量建立的湖北省年度受灾面积的定性和定量评估模型, 既反映了流域主要河流、湖泊的洪涝程度, 又可反映大范围强降水引发的区域范围内小河流的洪涝和内涝程度。

(3) 灾害评估是一个复杂的系统, 影响因素较多, 表征的物理变量很难把握, 灾情收集难度大, 因此无论是定性评估模型还是定量评估模型都存在很多不足, 在定性评估模型中致灾因子很难在纵横坐标中完

全反应出来, 这样就使得在相同的水位和降水条件下会出现不同数量级的灾情分布在相同的区域。而定量评估在年度灾情评估有很好的应用, 但是对于每次暴雨过程的致灾情况很难预测, 洪涝灾害评估还需要不断的进行深入研究。

### 参考文献:

- [1] 魏一鸣, 杨存键, 金菊良. 洪水灾害分析与评估的综合集成方法[J]. 水科学进展, 1999, 3(1): 25-30.
- [2] 刘敏, 杨红青. 湖北省雨涝灾情评估模式的研究[J]. 湖北气象, 2001(2): 16-18.
- [3] 刘成武, 黄利民. 湖北省旱涝灾害特点及其形成原因综述[J]. 咸宁学院学报, 2003, 23(5): 5-9.
- [4] 刘新立. 区域水灾风险评估的理论与实践[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [5] 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.
- [6] 魏一鸣, 金菊良. 洪水灾害评估体系研究[J]. 灾害学, 1997, 12(3): 1-5.
- [7] 魏一鸣. 洪水灾害研究进展[J]. 大自然探索, 1998, 17(2): 6-10.

## Study on Assessment Model of Areas Suffered from Flooding Disaster Based on Water Level and Precipitation

ZHOU Yue-hua<sup>1</sup>, GUO Guang-fen<sup>1</sup>, SHAO Mo-lan<sup>2</sup>, LI Zhu-jun<sup>3</sup>

(1. Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074; 2. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074; 3. Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)

**Abstract:** Qualitative assessment model and quantitative assessment model is built with making use up the data of areas suffered from flooding disaster from 1951 to 2000 from Ministry of Civil Affairs, water level of hydrological observing stations of the middle section of Yangtze River and precipitation from May to October in Hubei Province. Then the areas suffered from flooding from 2001 to 2006 were evaluated with quantitative assessment model. Finally, the possible application of this model in forecasting before flooding disaster and evaluation after flooding disaster is discussed.

**Key words:** Flooding disaster; Disaster assessment; Disaster inducing factors; Areas suffered from flooding disaster; Assessment model