

基于气象水文要素的洪涝灾害损失评估

胡俊锋¹, 杨月巧^{2,3}

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100124; 2. 中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080; 3. 防灾科技学院, 河北 三河 065201)

摘要: 洪涝灾害损失评估是我国洪涝灾害救助中非常重要的环节, 对于灾害科学研究和救灾工作具有重要的理论和实践意义。根据洪涝灾害损失与气象水文要素之间的相关分析, 建立了历史气象水文要素和受灾面积、财产之间的关系模型, 利用财产损失率和固定资产本底数据, 评估洪涝灾害造成的直接经济损失, 用于灾前预评估和灾后快速评估。以淮河流域中游安徽段为例, 选取2007年淮河洪水进行了分析, 评估结果与实际上报数据进行了对比, 表明该评估方法可行, 评估结果可靠。

关键词: 气象水文要素; 洪涝灾害损失; 直接经济损失; 灾前预评估; 灾后快速评估; 淮河流域; 洪灾重演

中图分类号: X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)01-0026-06

Flood and Waterlogging Disaster Loss Assessment Based on Meteorological and Hydrological Elements

HU Jun feng¹, YANG Yue qiao^{2,3}

(1. National Disaster Reduction Center, Ministry of Civil Affairs of China, Beijing 100124, China;

2. Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China;

3. Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, China)

Abstract: The flood and waterlogging disaster loss assessment is a very important component for the disaster relief work, which has important theoretical and practical significance for the research of disaster and its relief. According to the correlation analysis between the flood disaster loss and meteorological and hydrological elements, a correlation model between the area and property of flood disaster loss and historical meteorological and hydrologic factors was developed. The property loss rate and background data of permanent assets were used to evaluate the direct economic losses caused by flood disaster, which are useful for the pre-disaster preliminary assessment and post-disaster rapid assessment. In this paper, the flood of the middle reach of Huaihe River in Anhui Province in 2007 was analyzed, which provided similar assessment results of flood disaster loss with those reported data in reality. Therefore, the evaluation method is applicable and reliable.

Key words: meteorological and hydrologic factors; flood and waterlogging disaster; direct economic loss; pre-disaster preliminary assessment; post-disaster rapid assessment; Huaihe River Basin; flood recapitulation

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一, 其中洪涝灾害发生频次高、影响范围广、造成损失大和突发性强, 自古以来就是人类高度关注和深入研究的自然灾害之一^[1]。20世纪70年代以来, 国内外对洪涝灾害的损失评估进行了大量的研究^[2-7]。然而, 由于洪涝灾害本身的时空复杂性和基础资料的不完备, 目前较适用的快速评估方法还较少见。本文将气象水文要素和历史资料相结合, 提出一种适用于洪涝灾害损失预测评估和灾后损失快速评估的方法, 对于安排受灾群众的生活救助和灾后恢复重建具有重要的理论和实际意义。

1 基于气象水文要素的洪涝灾害损失评估方法

根据已有的历史洪涝灾害损失与影响因素之间的相关分析, 建立回归方程, 可以较快的实现对洪涝灾害损失的快速评估^[8]。

1.1 评估流程

首先, 建立历史气象水文要素(降雨、水位等)与灾害损失指标(如受灾面积、财产损失等)的相关关系。然后选择典型年份、确定重演年份, 同时量化资产损失率变化系数、物价

收稿日期: 2013-10-19 修回日期: 2013-12-05 网络出版时间: 2013-12-17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3724/SP.J.1201.2014.01029.html>

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAC44B04; 2008BAC44B01); 质检公益性行业科研专项项目(201010261)

作者简介: 胡俊锋(1974), 男, 山西长治人, 副研究员, 博士, 主要从事综合减灾、自然灾害风险评估等方面研究。E-mail: hujunfeng@ndrcc.gov.cn

因素折算系数和资产增长折算系数等因子。最后,重演计算得出洪涝灾害损失与财产的关系曲线和水文要素与受灾面积关系曲线,实现洪涝灾害经济损失的快速评估。洪涝灾害损失评估技术流程如图 1 所示。

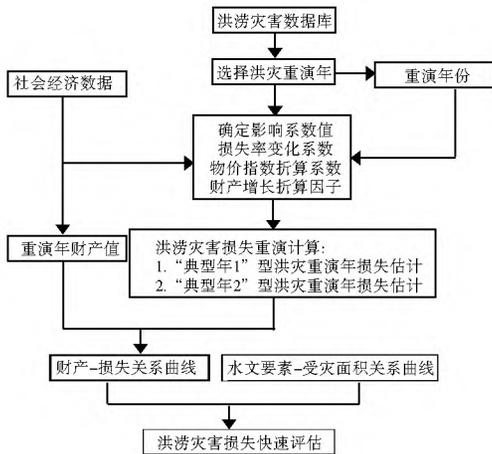


图 1 洪涝灾害经济损失快速评估流程

Fig. 1 Flow chart of the rapid assessment process of flood and waterlogging disaster loss

1.2 基于降雨量的受灾面积估算

大量研究表明,洪水淹没面积与短时间强降雨存在紧密相关关系,因此,可以通过建立流域一定时间内平均最大降雨量与受灾面积关系曲线的方法进行流域洪涝灾害受灾面积估算:

$$S = f(P_{\max}^t) \quad (1)$$

式中: S 为洪水淹没受灾面积; f 为平均最大面降雨量与洪水淹没受灾面积的函数关系; P_{\max}^t 为平均最大面降雨量; t 为降雨时间。

1.3 财产-损失关系模型

随着经济社会发展,各类财产不断增长,物价也处在不断变化中,即使同样频率的致灾洪水发生在不同时期、不同地区所遭受的损失不一样。为建立财产-损失关系模型,需选择多个年份进行重演损失分析计算,从而较全面反映不同时期社会经济及洪涝灾害损失特性。

影响洪涝灾害损失变化的主要因素有:财产种类、随经济发展各类财产的价值增长、各类财产洪涝灾害损失率的增减趋势及程度、各单项损失在总损失中所占比重等。本研究采用损失率变化系数、物价指数折算系数、财产增长折算因子来综合量化洪涝灾害损失增长率,从而以典型年为基础,重演多个年份的洪涝灾害损失:

$$Y_{(\text{计算年})} = Y_{(\text{基准年})} \cdot a \cdot b \cdot c \quad (2)$$

式中: $Y_{(\text{计算年})}$ 为计算年洪涝灾害损失; $Y_{(\text{基准年})}$ 为基准年洪涝灾害损失; a 为损失率变化系数,反映各类财产洪涝灾害损失率的变化率; b 为物价指数折算系数,其意义是统一价格水平,使计算结果具有可比性; c 为财产增长折算因子,即各类财产的增长率。 a 、 b 、 c 的确定方法如下。

(1) 损失率变化系数 a 。利用已有数据,结合不同行业损失率计算公式,可计算出不同年份的损失率,进而求得损失率的变化系数:

$$a = (n_2 - n_1) \sqrt{\frac{X_2}{X_1}} - 1 \quad (3)$$

式中: a 为损失率变化系数; X_1 、 X_2 为 n_1 、 n_2 年份某类承灾体损失率。

(2) 物价折算系数 b 。将不同年份、不同物价水平下的损失值,统一到相同总体物价水平下的损失值。这里用商品零售物价指数作为衡量整体物价水平的指标。在选择某一年作为比较基准年后,其它年份则用累计物价指数来修正,用基准年和折算年之间的累计物价指数的倒数作为折算系数,即:

$$r = 100 \prod_{i=1}^n \left(\frac{r_i}{100} \right) \quad (4)$$

$$l = \frac{100}{r} \quad (5)$$

式中: r 为累计物价指数; r_i 为第 i 年的物价指数; l 为折算系数。

(3) 财产增长折算因子 c 。通过计算年与基准年财产的比值计算。

$$c = \frac{h_m}{h_0} \quad (6)$$

$$k = n \sqrt{\frac{h_m}{h_0}} - 1 \quad (7)$$

式中: c 为财产增长折算因子; h_m 为计算年财产值; h_0 为基准年财产值; k 为年均财产增长率。

1.4 洪涝灾害直接经济损失评估

在获取影响灾害损失率各个因素基础上,利用公式(2)重演大于 5 个年份的灾害损失,然后分别建立基于不同典型年的灾害损失与财产之间的关系模型:

$$L_i = f_i(G) \quad (8)$$

$$L_j = f_j(G) \quad (9)$$

式中: L_i 、 L_j 分别表示“ i 年”型和“ j 年”型洪涝灾害损失; G 为某区域财产值; f_i 、 f_j 为洪涝灾害损失与财产值的函数关系。

公式(8)和公式(9)分别表示“ i 年”型和“ j 年”型洪涝灾害损失随财产(财产无法统计使用 GDP 代替)变化的曲线,即本研究建立的洪水灾害损失即时评估模型。参照洪水频率,本模型引入洪涝灾害频率概念:当受灾面积等于 i 年洪涝灾害面积时,认为是“ i 年”型洪灾;当受灾面积等于 j 年洪涝灾害面积时,认为是“ j 年”型洪灾;当受灾面积发生介于 S_i 、 S_j 之间时,可通过插值计算得出洪涝灾害损失:

$$L = L_i - \frac{(S_i - S) \cdot (L_i - L_j)}{S_i - S_j} \quad (10)$$

式中: L 、 L_i 、 L_j 分别表示某年、“ i 年”型和“ j 年”型洪涝灾害损失; S 、 S_i 、 S_j 为某年、“ i 年”型和“ j 年”型洪涝灾害的受灾面积。

2 洪涝灾害损失计算实例

为证明上述研究方法的可行性,本文选择淮河流域作为研究实例,进行灾害损失评估。

2.1 研究区概况

淮河流域介于长江、黄河两大流域之间,是南北气候、高低纬度和海陆相三种过渡带的重叠地区^[9]。由于历史上黄河长期夺淮使淮河入海无路,入江不畅,加上特定的气候和下垫面条件,在淮河中下游和淮北地区经常出现因洪致涝、

洪涝并发现象,下游地区还极易遭遇江淮并涨、淮沂并发、洪水风暴潮并袭的严重局面^[10]。

根据淮河流域洪涝灾害频发和数据获取情况,选取淮河流域中游安徽段为研究区(见表 1)。

表 1 淮河流域中游安徽境内研究范围

Table 1 The study area of the middle reach of Huaihe River in Anhui Province

省辖市	县(市)	市辖区
六安市	霍山、金寨、霍邱、寿县	金安区、裕安区
阜阳市	太和、临泉、阜南、颍上、界首市	颍东区、颍泉区、颍州区
淮南市	凤台	田家庵区、大通区、八公山区、谢家集区、潘集区
蚌埠市	怀远、固镇、五河	蚌山区、龙子湖区、禹会区、淮上区
宿州市	萧县、砀山、泗县、灵璧	埇桥区
亳州市	涡阳、蒙城、利辛	谯城区
滁州市	定远、凤阳、来安(20%)、明光市、天长市	
淮北市	濉溪	相山区、烈山区、杜集区
合肥市	肥西(30%)、肥东(20%)、长丰	
安庆市	岳西(20%)	

2.2 水文要素-成灾面积关系曲线的建立

通过淮河流域 1960 年-2007 年近 50 年最大面降雨量数据和 1949 年-2004 年淮河流域及其安徽段的洪涝灾害成灾面积数据^[11],经分析、整理、筛选和拟合,最终建立了淮河流域安徽段 3 日最大面降雨量、7 日最大面降雨量、15 日最大面降雨量、30 日最大面降雨量与淮河流域安徽段成灾面积的关系曲线(图 2-图 5)。

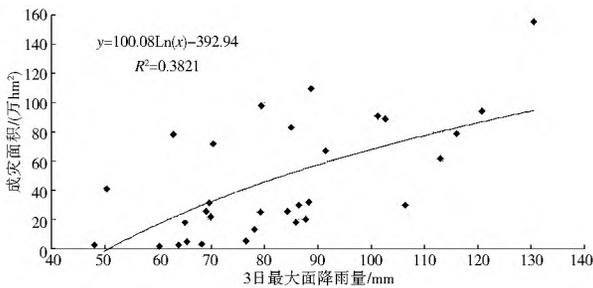


图 2 淮河流域安徽段 3 日最大面降雨量-成灾面积关系曲线

Fig. 2 Relationship between the maximum 3 day precipitation and damage area in Anhui section of the Huaihe River

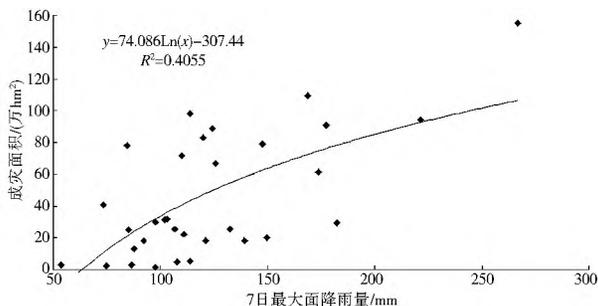


图 3 淮河流域安徽段 7 日最大面降雨量-成灾面积关系曲线

Fig. 3 Relationship between the maximum 7 day precipitation and damage area in Anhui section of the Huaihe River

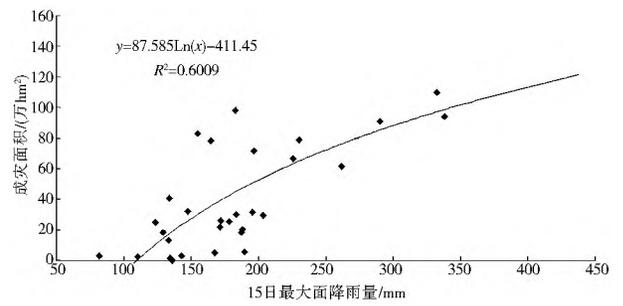


图 4 淮河流域安徽段 15 日最大面降雨量-成灾面积关系曲线

Fig. 4 Relationship between the maximum 15 day precipitation and damage area in Anhui section of the Huaihe River

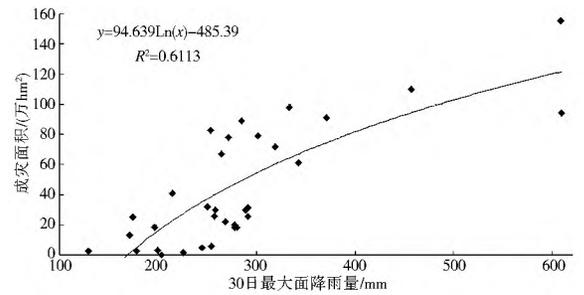


图 5 淮河流域安徽段 30 日最大面降雨量-成灾面积关系曲线

Fig. 5 Relationship between the maximum 30-days precipitation and damage area in Anhui section of the Huaihe River

2.3 典型洪水年选择

1954 年大水、1975 年大水、1991 年大水、2003 年大水和 2007 年大水是淮河流域在建国后发生的五次全流域性的特大洪水,均曾造成巨大损失^[12-15]。由于 1954 年、1975 年洪水距今时间已超过几十年,淮河流域状况和社会经济状况发生了显著的变化。因此,将 1991 年、2003 年选作典型灾害年进行重演分析计算并总结规律。其洪水损失情况见表 2。

2.4 洪灾重演年选择

为建立相关关系曲线,需选择多个年份进行重演损失分析计算,从而全面反映不同时期的社会经济及洪涝灾害损失特性。根据现有社会经济统计资料情况,1980 年、1985 年、1990 年、1995 年、2003 年和 2005 年数据资料比较全面,此外,在实际的洪涝灾害损失评估过程中,由于本年的社会经济数据在当年无法获取,故此一般使用灾害发生前一年的社会经济数据。因此选择 1981 年、1986 年、1991 年、1996 年、2003 年和 2006 年为灾害重演年,分别以 6 个点为基础建立起“1991”型和“2003”型洪灾损失曲线。

2.5 影响洪灾损失变化的各因子确定

2.5.1 损失率变化系数 a 的确定

损失率的计算通常采用实地调查不同财产种类的方法来获取,这种方法会耗费大量的人力和物力。为了更快的评价区域洪涝灾害损失率,利用洪涝灾害造成的经济损失量与同期国内生产总值(GDP)的比值来计算^[16]。据此,计算出 1991 年、2003 年淮河流域安徽段的洪灾损失率分别为 12.87% 和 10.65%。

随着社会环境的变化,减灾能力的提高,即使相同频率的洪水、相同的淹没水深,发生在不同年,其各类财产的水灾

表2 淮河流域安徽段 1991 年、2003 年洪水损失情况

Table 2 The flood damage losses in Anhui section of the Huaihe River in 1991 and 2003

年份	直接经济损失 / 亿元	受灾面积 / 万 hm ²	成灾面积 / 万 hm ²	水利设施直接经济损失 / 亿元	倒塌房屋 / 间	GDP / 亿元	损失率
1991	175	174.73	155.2	7	118.9	1 359.87	0.128 688 772
2003	159	188.11	109.6	18.6	71.3	1 492.36	0.106 542 66

损失率也是不同的^[7]。因此,在进行多年洪灾损失率的分析中应该考虑损失率的变化,即损失率变化系数。据表2可以计算出1991年至2000年淮河流域安徽段洪灾损失率变化系数为-0.015 65。

表3 相对于基准年2005年的物价指数折算系数

Table 3 The price index conversion coefficient relative to the base year of 2005

年份	商品零售价格指数	物价折算系数	年份	商品零售价格指数	物价折算系数	年份	商品零售价格指数	物价折算系数
1980	103.4	0.285	1989	117.1	0.467	1998	98.1	0.929
1981	101.7	0.295	1990	101.9	0.547	1999	96.6	1.028
1982	101	0.299	1991	105.7	0.557	2000	98	0.993
1983	101.1	0.303	1992	106.6	0.589	2001	99.6	0.973
1984	102	0.306	1993	112.9	0.6281	2002	99.2	1.040
1985	106.4	0.312	1994	123.2	0.709	2003	101.3	0.961
1986	105.2	0.332	1995	112.7	0.873	2004	102.7	1.027
1987	109.7	0.349	1996	107.1	0.984	2005	100.6	1
1988	121.8	0.383	1997	99.4	1.054	2006	100.8	1.008

2.5.3 财产增长折算因子c的确定

根据公式(6)和公式(7),从经济统计年鉴中查取前连续五年财产增长指数,求得多年平均增长率。

根据以上步骤,综合分析得到“1991”型和“2003”型各种影响因子a、b、c的取值情况见表4。

表4 洪灾重演损失计算表

Table 4 The calculated results of flood recapitulation loss

灾害年	重演年	基准年损失	a	b	c	Y
1991	1981	175	1.167 994	0.295	0.256 947	15.493 31
1991	1986	175	1.080 738	0.332	0.576 793	36.217 35
1991	1991	175	1	0.557	1	97.475
1991	1996	175	0.924 161	0.984	3.518 902	560
1991	2003	175	0.827 551	0.961	5.911 844	822.771
1991	2006	175	0.789 302	1.008	6.791 5	945.6
2003	1981	159	1.407 245	0.295	0.043 463	2.868 859
2003	1986	159	1.302 115	0.295	0.097 566	5.958 892
2003	1991	159	1.204 839	0.557	0.169 152	18.049 21
2003	1996	159	1.114 83	0.984	0.596 276	104.003 5
2003	2003	159	1	0.961	1	152.799
2003	2006	159	0.953781	1.008	1.567 314	239.586 5

2.6 洪灾重演损失计算

根据洪涝灾害重演各类财产损失计算公式(2),计算得到“1991”型洪灾和“2003”型洪灾重演计算结果见表4。

2.7 洪灾损失-财产关系曲线的建立

根据表4可得“1991”型洪灾和“2003”型洪灾重演于各年的综合损失。根据安徽统计年鉴得到淮河流域安徽段

2.5.2 物价指数折算系数b的确定

本文选取2005年为价格基准年。按照淮河流域安徽段各种零售物价平均指数,根据公式(5),计算出相对于基准年2005年的物价指数折算系数,见表3。

GDP值见表5。将综合损失值作为纵坐标,将GDP值作为横坐标,建立损失-财产(GDP)关系曲线,取幂函数作拟合线型,得损失评估模型(见图6)。

表5 洪灾重演综合损失及GDP

Table 5 Flood recapitulation comprehensive loss and GDP

灾害年	重演年	GDP(X) / 亿元	重演损失(Y) / 亿元
1991	1981	170.51	15.493 312 13
1991	1986	382.76	36.217 349 59
1991	1991	663.6	97.475
1991	1996	2 339.25	560
1991	2003	3 923.1	822.771 017 4
1991	2006	6 148.73	945.6
2003	1981	170.51	2.868 859 1
2003	1986	382.76	5.958 892 439
2003	1991	663.6	18.049 209 78
2003	1996	2 339.25	104.003 509
2003	2003	3 923.1	152.799
2003	2006	6 148.73	239.586 497

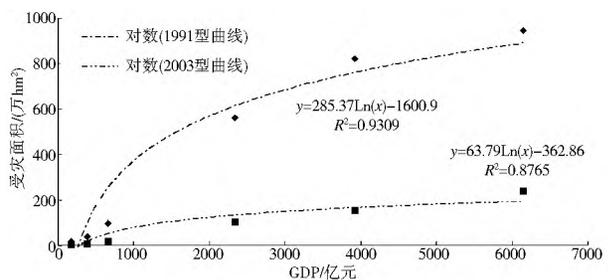


图6 淮河流域安徽段洪灾经济损失评估曲线

Fig. 6 The flood economic loss assessment curve in Anhui section of the Huaihe River

图 6 为“1991”型洪灾损失和“2003”型洪灾损失随财产变化的曲线,即本研究建立的洪涝灾害损失评估模型。当成灾面积为 155.2 万 hm² 时,认为是“1991”型洪灾;当成灾面积为 109.6 万 hm² 时,认为是“2003”型洪灾,当发生介于“1991”型和“2003”型洪水时,可通过插值计算得出洪灾损失。

由于本模型是建立在 1991 年和 2003 年类型的洪灾损失的重演计算基础之上的,因此模型的适用范围应该是发生在二者之间或是上下浮动不大的洪灾。

2.8 洪灾直接经济损失评估公式

利用公式(10)可以得出,淮河流域安徽段洪灾面积处于 2003 年与 1991 年洪灾面积之间时,直接经济损失的估算公式为:

$$L = L_{1991} - \frac{(S_{1991} - S) \cdot (L_{1991} - L_{2003})}{S_{1991} - S_{2003}} \quad (11)$$

当淮河流域安徽段洪灾面积低于 2003 年洪灾面积时,直接经济损失估算公式如下:

$$L = L_{2003} - \frac{(S_{2003} - S) \cdot (L_{2003} - 0)}{S_{2003} - 0} \quad (12)$$

式中: L 为直接经济损失(亿元); S 为洪涝灾害成灾面积(万 hm²); S_{1991} 为 1991 年洪涝灾害成灾面积 155.2 万 hm², S_{2003} 为 2003 年洪涝灾害成灾面积 109.6 万 hm²。

$$L_{1991} = 285.37 \times \ln(GDP) - 1600.9$$

$$L_{2003} = 63.78 \times \ln(GDP) - 362.86$$

其中: GDP 为洪涝灾害发生年的前一年淮河流域中游安徽段的国内生产总值(亿元)。

综上所述,当发生洪涝灾害后,按照以下步骤进行洪涝灾害损失评估。

(1) 根据流域面平均降雨量,推算出流域洪涝灾害成灾面积。淮河流域 3 日流域面平均降雨量为 105.5 mm,推算出流域洪涝灾害成灾面积:

$$S = 100.08 \times \ln(105.5) - 392.94 = 73.3 \text{ (万 hm}^2\text{)}。$$

(2) 收集整理淮河流域安徽段洪水发生年份前一年的 GDP(国内生产总值)。为计算 2007 年淮河流域洪涝灾害损失,收集 2006 年淮河流域安徽段 GDP 为 2 420 亿元。

$$(3) \text{ 计算 } L_{1991} = 285.37 \times \ln(GDP) - 1600.9 = 622.5 \text{ (亿元)}。$$

(4) 计算 $L_{2003} = 63.78 \times \ln(GDP) - 362.86 = 134.1$ (亿元)。

(5) 代入, S_{1991} , S_{2003} , L_{1991} , L_{2003} , 运用公式(11)或者(12),即可求得淮河流域安徽段洪涝灾害直接经济损失。由于 2007 年估算的洪灾面积小于 2003 年的洪灾面积,因此采用公式(12)进行计算,得出 2007 年洪涝灾害损失为 89.69 亿元。

2.9 评估结果验证

按照安徽省民政厅提供的 2007 年淮河流域安徽段各县区上报的洪涝灾害损失数据(见表 6),该区域洪涝灾害损失为 92.57 亿元。根据本文提出的气象水文要素方法计算该区域 2007 年洪涝灾害损失为 89.69 亿元,与统计上报的直接经济损失数据相比,误差率为 -3.11%,小于 ±5%。因此,认为本方法合理可行,具有一定的适用性。

表 6 2007 年淮河流域安徽段各县区上报洪涝灾害损失

Table 6 The reported flood damage losses of each county in Anhui section of the Huaihe River in 2007

县 区	直接经济损失/万元						
霍山	9 077	颍州	7 168.5	淮上	5 776.81	明光	29 308
金寨	10 369	凤台	40 500	萧县	4 430	天长	6 867
霍邱	66 926	田家庵	11 168	砀山	2 705	濉溪	11 000
寿县	58 600	大通	8 750	泗县	12 300	相山	1 074
金安	481	八公山	1 500	灵璧	18 890	烈山	650
裕安	9 000	谢家集	3 724	埇桥	16 825	杜集	890
太和	8 680	潘集	24 281	涡阳	7 748	肥西	0
临泉	74 752.8	怀远	51 500	蒙城	7 645	肥东	7 250(20%)
阜南	85 000	固镇	48 300	利辛	12 164	长丰	19 622.5
颖上	71 636.3	五河	88 964.7	谯城	2 425	岳西	0
界首	2 951.3	蚌山	573.2	定远	11 200		
颖东	8 209	龙子湖	795	凤阳	53 911		
颖泉	1 999	禹会	3 793	来安	800(20%)	合计	92 5740.1

3 结语

洪涝灾害损失评估是我国灾害理论研究和实际灾害救助和灾后恢复重建领域的重要课题。按照评估时间,洪涝灾害损失评估分为灾前预评估、灾中应急评估和灾后详细评估。本研究基于气象水文要素与灾害损失的相关关系,以气象水文要素和历史灾情数据为基础,利用灾区损失率和固定资产数据,提出了气象水文要素评估灾害损失的研究方法,较适用于灾情预评估和灾后快速评估。对淮河流域安徽段的实例研究结果表明,该方法较为科学、合理,可以为开展洪

涝灾害损失快速评估提供借鉴。

参考文献(References):

[1] 黄会平,张昕,张岑. 1949-1998 年中国大洪涝灾害若干特征分析[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 73-76. (HUANG Huiping, ZHANG Xin, ZHANG Cen. Research on Characteristics of Flood Disaster from 1949 to 1998 in China [J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(1): 73-76. (in Chinese))

[2] Commission on Geosciences, Environment and Resources (CGER). The Impacts of Natural Disasters: a Framework for Loss Estimation [M]. Washington, D. C: National Academy Press, 1999.

- [3] 丁志雄. 基于 RS 和 GIS 的洪涝灾害损失评估技术方法研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2004. (DING zhi xiong. A Study on the Technology and Method of Flood and Waterlogging Disaster Loss Assessment Based on RS and GIS [D]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2004. (in Chinese))
- [4] 冯平, 崔广涛, 钟响. 城市洪涝灾害直接经济损失的评估与预测 [J]. 水利学报, 2001, 8(3): 64-68. (FENG Ping, CUI Guang tao, ZHONG Yun. On the Evaluation and Prediction of Urban Flood Economic Loss [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 8(3): 64-68. (in Chinese))
- [5] Das S, Lee R. A nontraditional Methodology for Flood stage-Damage Calculation [J]. Water Resources Bulletin, 1988, 24(6): 75-80.
- [6] 仇蕾, 王慧敏, 马树建. 极端洪水灾害损失评估方法及应用 [J]. 水科学进展, 2009, (6): 869-874. (QIU Lei, WANG Huimin, MA Shujian. Assessment Method for Extreme Flood Disaster Losses and Its Application [J]. Advances in Water Science 2009, (6): 869-874. (in Chinese))
- [7] 吉中会, 李宁, 吴吉东, 等. 区域洪涝灾害损失评估及预测的 CART 模型研究——以湖南省为例 [J]. 地域研究与开发, 2012, 31(6): 106-110. (JI Zhonghui, LI Ning, WU Jidong, et al. Flood loss Assessment and Prediction Model Based on CART in Hunan Province [J]. Areal Research and Development, 2012, 31(6): 106-110. (in Chinese))
- [8] 吕娟, 苏志诚等. 太湖流域洪灾直接经济损失应急快速评估模型研究报告 [R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007. (LV Juan, SU Zhicheng, et al. A Research Report on Rapid Assessment Model of Economic loss in Taihu Lake Valley [R]. [D]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2007. (in Chinese))
- [9] 水利部淮河水利委员会. 淮河水文·勘测·科技志 (淮河志) 第三卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2006. (Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of water resources. Huaihe Hydrology · Survey · Science and Technology Journal (Huaihe) NO. 3 [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))
- [10] 宁远, 钱敏, 王玉太. 淮河流域手册 [K]. 北京: 科学出版社, 2003. (NING Yuan, QIAN Min, WANG Yutai. Handbook of Huaihe River valley [K]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese))
- [11] 水利部水文局, 水利部淮河水利委员会. 治淮汇刊年鉴 [Z]. 1991-2007. (Hydrology Bureau of Ministry of Water Resources, Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of Water Resources. The Yearbook for Control Water Pollution in Huaihe River [Z]. 1991-2007. (in Chinese))
- [12] 矫梅燕. 2003 年淮河大水天气分析与研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2004. (JIAO Meiyun. Weather Analysis and Research of Huaihe flood in 2003 [M]. Beijing: Meteorological Press, 2004. (in Chinese))
- [13] 中华人民共和国水利部. 淮河 2003 年大洪水 [M]. 珠海: 珠海出版社, 2003. (The Ministry of Water Resources. Huaihe Flood in 2003 [M]. Zhuhai: Zhuhai Press, 2003. (in Chinese))
- [14] 水利部水文局, 水利部淮河水利委员会. 2003 年淮河暴雨洪水 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (Hydrology Bureau of Ministry of Water Resources, Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of Water Resources. The Storm Flood of Huaihe in 2003 [M]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2006. (in Chinese))
- [15] 中国水利学会, 水利部淮河水利委员会. 青年治淮论坛论文集 [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (China Institute of Water Conservancy, Huaihe Water Conservancy Commission in Ministry of Water Resources. The Collected works of Control Water Pollution Forum for Youth [C]. Beijing: China Institute Water and Hydropower Research, 2006. (in Chinese))
- [16] 赵洪杰. 流域防洪体系效果评价研究 [D]. 南京: 河海大学, 2008. (ZHAO Hongjie. Study on Evaluation of Flood Control System and Effect [D]. Nanjing: Hohai University, 2008. (in Chinese))
- [17] 徐向阳, 刘俊. 洪水风险分析和定量评估 [J]. 中国减灾, 1999, 9(4): 31-34. (XU Xiangyang, LIU Jun. Flood Analysis and Quantitative Risk Assessment [J]. Disaster reduction in China, 1999, 9(4): 31-34. (in Chinese))

(上接第 15 页)

- Xinglin, XIAO Honglang, LAN Yongchao, et al. Experimental Study of Calculating Method of River Seepage in Middle and Upper Reaches of the Heihe River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(2): 460-468. (in Chinese))
- [14] Hydraulic Engineering Center of USACE. HEG-RAS: River Analysis System User's Manual Version 4.0 [M]. Davis CA: US Army Corps of Engineers: 2008.
- [15] 李婷婷, 黄津辉, 侯思琰, 等. 植物生态护岸技术的效果分析——以漳河下游陈村险工为例 [J]. 南水北调与水利科技, 2013, 3(11): 31-34. (LI Tingting, HUANG Jinhui, HOU Siyan, et al. Effect Analysis of Plant Ecological Technology on Bank Protection——A Case Study in the Lower Reach of Zhang River [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 3(11): 31-34. (in Chinese))
- [16] 于磊, 邱殿明. 基于 SWAT 模型的漳卫南流域水量模拟 [J]. 吉林大学学报, 2007, 37(5): 949-954. (YU Lei, QIU Dianming. Water Quantity Simulation of the Zhangweinan Basin Based on SWAT Model [J]. Journal of Jilin University, 2007, 37(5): 949-954. (in Chinese))