

黄河下游泛区洪水经济损失 敏感度分析

陈利顶 陆中臣

(中国科学院生态环境研究中心)

提 要: 本文给出一种计算洪水经济损失敏感系数的方法, 并据以计算黄河下游泛区32个县市的洪水经济损失敏感系数, 将之分为5个敏感级别, 为黄河决口抗洪救灾, 也为进一步研究洪水经济损失提供一种方法。

主题词: 泛区 洪水经济损失 敏感度 敏感系数 黄河

黄河以其多沙、河悬地上和决溢频繁闻名于史、著称于世, 曾被视作害河。历史时期黄河下游曾多次决溢和发生洪泛, 公元前206—1938年的2144年中, 大改道7次, 决口413次, 明、清以来每两至三年决口一次, 大水之年“洪水横溢、尸漂四野”的记载史不绝书^[1]。黄河下游决口泛滥为人们所关注。建国40年来, 由于增修堤坝, 疏浚河道, 30多年黄河下游尚未出现决口, 但由于两岸大堤愈修愈高, 下游地上河愈悬愈高。一旦决口, 对下游两岸地区将是巨大的灾害。本文试图分析区域工农业生产和洪水之间的影响关系, 研究黄河下游泛区洪水经济损失的敏感度, 为下游的抗洪救灾和区域国民经济发展提供参考。

一、黄河下游泛区的范围

黄河下游何时决口、决口的地段、洪水所淹没的范围和所造成的经济损失, 前人已作过大量工作。文献^[2]利用水力学的方法分析了黄河下游决口的可能地段和不同流量下的洪水淹没范围。认为: 黄河下游在北岸原阳和曹岗决口的可能性最大, 在最大流量 $55000 \text{ m}^3/\text{s}$ 情况下, 洪水淹没范围的北界将不超过漳卫河, 南界济南以上以黄河北大堤为界, 济南以下经辛集过徒骇河至潘桥后, 沿徒骇河北堤至河口(图1)。包括河南15个县、市, 山东18个县、市; 土地面积2万多平方公里, 耕地2000多万亩, 受灾人口1200多万。

二、黄河下游泛区社会经济基本情况

黄河下游泛区在黄淮海平原中部, 是我国重要的农业区。泛区33个县、市的社会总产值为2994118万元, 工业总产值为1129991万元, 农业总产值达到1384430万元。33个县、市的

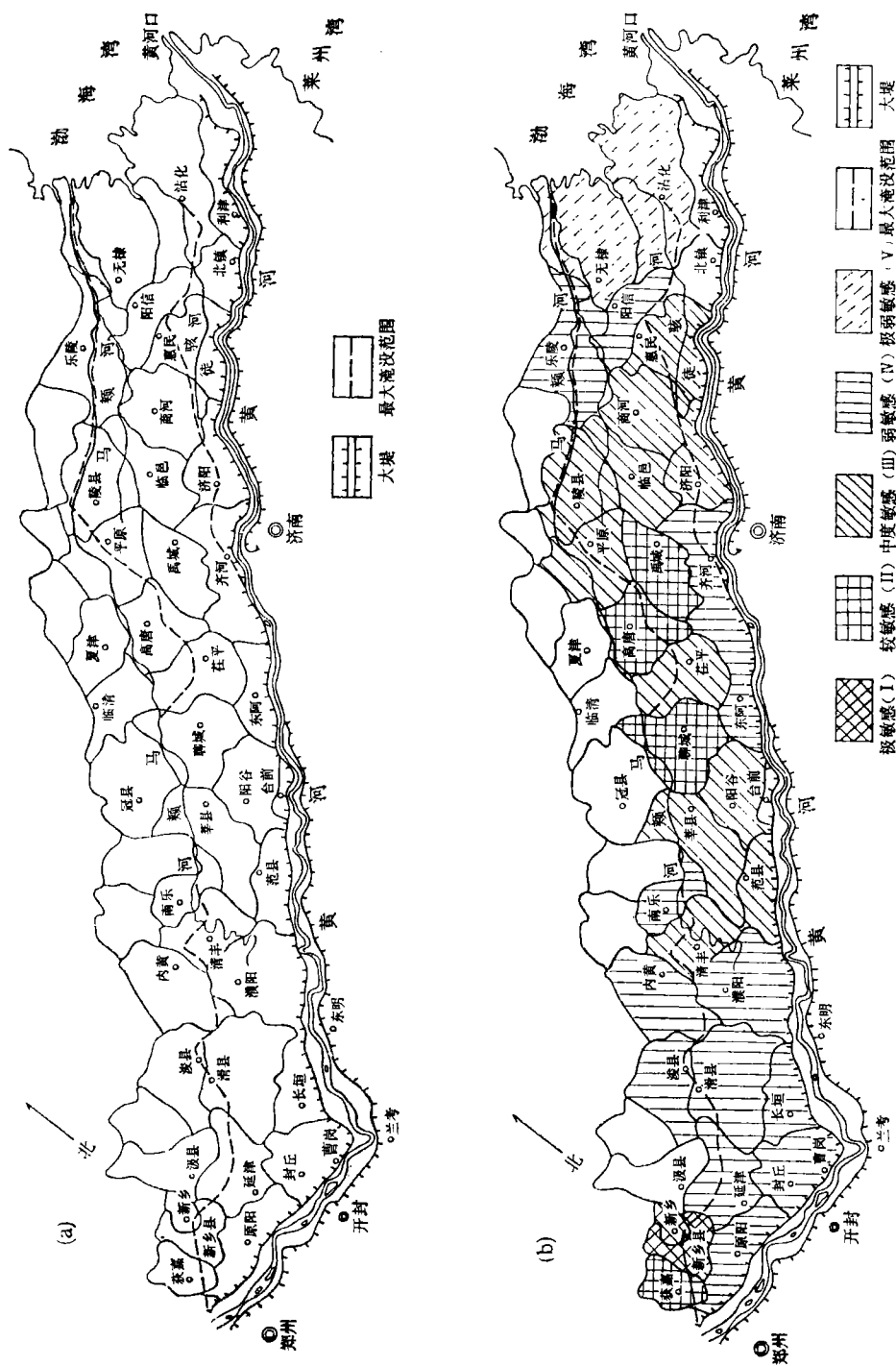


图 1 黄河下游泛区淹没范围(a)及泛区洪水经济损失敏感度分级(b)示意图
 A sketch map of inundated area in lower Huanghe River (a) and Classifying map of sensitivity on economic damage of flood in the flooded area of lower Huanghe River(b)

总人口为 2 487.37 万, 由于有部分县市为部分淹没, 泛区人口为 1 200 多万。下面给出泛区 33 个县市的经济社会基本情况。

表 1 黄泛区各縣市社会经济基本资料^{1、2)}

The basic social and economical data of all the counties
and cities in Huanghe River Flooded Area

经济指标 县市	总人口 (万人)	年末耕地面积 (万亩)	土地面积 (平方公里)	社会总产值 (万元)	工业总产值 (万元)	农业总产值 (万元)
原阳县	51.17	81.42	1 118	67 543	18 668	10 101
封丘县	60.39	93.91	1 187	76 314	23 919	42 069
长垣县	66.58	88.20	886	73 493	29 301	32 278
濮阳市	89.89	134.86	1 733	88 963	18 311	53 825
滑 县	104.61	164.50	1 753	1 23 851	11 962	65 702
台前县	29.27	27.97	379	21 436	7 897	8 535
范 县	40.57	51.05	525	41 167	9 309	25 121
延津县	38.73	63.19	739	61 268	21 135	26 122
新乡县	36.22	47.79	578	140 732	85 316	31 311
获嘉县	31.92	44.38	475	65 812	29 539	22 853
内黄县	60.69	93.80	1 161	62 260	14 669	35 636
浚 县	57.88	103.87	1 088	79 693	21 386	39 547
新乡市	58.0		187	1 139 300	671 800	278 300
清丰县	57.60	86.11	872	70 551	16 974	45 533
南乐县	40.76	58.27	604	41 306	13 425	23 357
阳谷县	68.99	102	1 018	112 105	45 996	46 825
东阿县	39.56	73	787	68 083	29 034	29 703
禹城县	46.90	80	990	117 942	47 295	55 939
临邑县	45.26	86	1 007	109 950	47 242	44 370
商河县	56.11	107	1 194	121 887	50 922	58 522
阳信县	41.21	69	793	49 357	16 146	21 656
无棣县	41.58	83	1 982	65 241	21 348	32 729
莘 县	81.92	129	1 388	1 35 673	41 122	74 029
聊城市	78.82	127	1 245	1 95 674	97 222	65 615

(续表1)

经济指标 县市	总 人 口 (万人)	年末耕地面积 (万亩)	土地面积 (平方公里)	社会总产值 (万元)	工业总产值 (万元)	农业总产值 (万元)
甘平县	51.18	109	1 117	117 759	47 723	46 574
齐河县	63.44	126	1 555	119 192	47 329	46 574
高唐县	43.77	93	948	113 229	39 021	50 269
济阳县	49.22	98	950	100 226	39 870	50 263
平原县	44.79	85	1 105	111 571	44 744	51 902
陵 县	56.57	110	1 445	152 642	52 180	77 784
惠民县	58.95	112	1 371	115 326	36 699	63 311
沾化县	37.08	80	2 215	76 576	28 441	34 070
乐陵县	57.74	99	1 117	94 266	42 543	36 510
总 计	2 487.37	2 907.32	35 542	2 994 118	1 129 991	1 384 430

1) 河南省统计年鉴, 1988

2) 山东省统计年鉴, 1988

三、黄河下游泛区洪水经济损失敏感度计算方法

黄河下游泛区洪水经济损失敏感度指黄河决口后不同区域国民经济受洪水影响的敏感程度, 即, 单位面积上洪水可能造成经济损失的大小。区域经济愈发达, 其受洪水影响的经济损失愈大。不同区域, 经济发展水平相当, 但由于生产力布局不同, 其所受的经济损失不同。很明显, 农业受洪水影响较大, 工业的影响程度较小。为了衡量黄泛区不同县市受洪水影响的敏感程度, 我们采用下述方法计算各县市的敏感系数。

第一步: 选取参数。选取受洪水影响的 7 项单位面积经济指标。计有单位面积社会总产值(a_1)、单位面积工业总产值(a_2)、单位面积农业总产值(a_3)、单位面积建筑业总产值(a_4)、单位面积运输业总产值(a_5)、单位面积商业总产值(a_6)、以及人均社会总产值(a_7)。

$a_1 - a_6$ 由各区域该项目的总产值除以区域土地面积, a_7 由区域社会总产值除以区域总人口求得。

尽管工业、建筑业、运输业、商业和土地面积没有直接关系, 但洪水泛滥为面上均匀淹没, 其面积越大, 上述 4 项的经济损失亦越大。农业总产值包括了林、牧、副、渔业的产值, 除以区域土地面积为单位面积农业总产值。区域社会总产值愈高, 地区愈富裕, 相应人均财产拥有量就越大, 人均社会总产值和人均财产拥有量为线性相关, 所以, 为反映人民财产损失, 选用了人均社会总产值。

第三步: 参数标准化。将各区域参数分别除以它们中的最大值, 即

$$x_j = \frac{a_j}{\max(a_j)_n} \quad (1)$$

第三步：根据各参数受洪水影响的程度，确定各参数与敏感系数之间的权重，利用下式计算不同区域的敏感系数 L_j 。

$$\begin{aligned} L_j &= k_1 x_{1j} + k_2 x_{2j} + k_3 x_{3j} + k_4 x_{4j} + k_5 x_{5j} + k_6 x_{6j} + k_7 x_{7j} \\ &= \sum_{i=1}^7 k_i \cdot x_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

其中， L_j ——第 j 个区域的敏感系数， x_{1j} 、 x_{2j} …… x_{7j} 分别为第 j 区域标准化后的各参数， k_1 、 k_2 …… k_7 分别为各参数对应的权重。

在式(2)右边7项中，第1项为平衡项，从总体上反映了区域经济发展水平对敏感系数的影响，第2—6项分别表示工业、农业、建筑、运输业、商业对敏感系数的影响，第7项表示了区域人民财产受洪水影响的程度。从每个参数看，其值越大，敏感系数值越大，相反，其值越小，敏感系数越小；在不考虑其它因素的影响时，敏感系数和每个参数均为正相关。

从敏感系数的计算看， L 值越大，表示该地区对洪水影响越敏感，即，该地区越脆弱，在洪水淹没时，单位面积的经济损失越大，反之，敏感系数越小，洪水对其影响越不敏感，其单位面积的洪水损失也就越小。

四、黄河下游泛区洪水损失敏感系数计算

(一) 洪水经济损失敏感系数的计算

依据表1和所选参数 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_7 ，并从中选出各最大值。考虑到各县建筑业、运输业、商业总产值的统计值暂缺，而且此3项受土地面积影响较小，在计算敏感系数时，将此3项作为一个整体，用各县社会总产值减去工农业总产值代替。式(2)则变为如下形式：

$$L_j = k_1 x_{1j} + k_2 x_{2j} + k_3 x_{3j} + k_4 (x_{1j} - x_{2j} - x_{3j}) + k_7 \cdot x_{7j} \quad (3)$$

进一步转化为：

$$\begin{aligned} L_j &= k_1 \cdot a_{1j} / a_{1m} + k_2 \cdot a_{2j} / a_{2m} + k_3 \cdot a_{3j} / a_{3m} \\ &\quad + k'_4 (a_{1j} - a_{2j} - a_{3j}) / (a_1 - a_2 - a_3)_m + k_7 \cdot a_{7j} / a_{7m} \end{aligned} \quad (4)$$

其中， L_j 为第 j 区域的敏感系数， a_{1j} 、 a_{2j} 、 a_{3j} 、 a_{7j} 和前述含义相同， a_{1m} 、 a_{2m} 、 a_{3m} 、 $(a_1 - a_2 - a_3)_m$ 、 a_{7m} 分别为相应各参数中的最大值， k_1 、 k_2 、 k_3 、 k'_4 、 k_7 为待确定的各参数的权重，由于洪水对经济的影响相当复杂，如，洪水对农业的影响，洪水直接淹没农田和冲毁水利设施影响农业收获，沙压沙埋改变土壤质地影响下一季农作物播种，对农业影响较大，而且农业中，除了粮食作物小麦、玉米外，还有经济作物棉花、花生、大豆、烟叶等，各类农作物受洪水影响差异较大，农业总产值中又包括林、牧、副、渔业的产值，不

表 2 黄泛区各县经济参数
The economical parameters of all counties in
Huanghe River Flooded Area

经济参数 县名	a_1 (元/亩)	a_2 (元/人)	b_1 (元/亩)	c_1 (元/亩)	$(a_1 - b_1 - c_1)$ (元/亩)
原阳县	402.76	1 319.97	111.32	239.12	53.32
封丘县	428.78	1 264.18	131.31	236.28	58.16
长垣县	552.99	1 103.83	220.47	242.87	89.65
濮阳市	342.23	989.69	70.45	207.06	64.72
滑县	471.01	1 183.93	159.58	249.86	61.57
台前县	377.06	732.35	138.91	150.13	88.02
范县	522.76	1 014.72	118.21	318.99	85.56
延津县	552.71	1 581.93	220.43	235.65	96.63
新乡县	1 623.21	3 885.84	984.04	361.49	277.68
获嘉县	923.68	2 061.78	414.58	320.74	188.36
内黄县	357.51	1 025.87	84.23	204.63	68.65
浚县	488.31	1 376.87	131.04	242.32	114.95
新乡市		19 643.10			
清丰县	539.38	1 224.84	129.77	348.11	61.5
南乐县	455.92	1 013.40	148.18	267.80	39.94
阳谷县	713.14	1 624.95	292.60	297.87	122.67
东阿县	576.76	1 721.01	245.95	251.61	79.17
禹城县	794.22	2 514.75	318.48	376.70	99.04
临邑县	727.90	2 429.30	312.76	293.74	121.4
商河县	697.30	2 225.75	284.32	326.76	86.22
阳信县	414.94	1 197.69	135.74	207.28	71.92
无棣县	219.45	1 569.05	71.81	110.09	37.55
莘县	651.65	1 656.16	197.51	355.57	98.57
聊城市	1 047.79	2 482.54	520.60	351.35	175.84
茌平县	702.83	2 300.88	248.83	277.97	176.03
齐河县	511.01	1 878.81	202.91	211.53	96.57
高唐县	796.27	2 586.91	275.68	353.51	167.08

续表 2

经济参数	a_1	a_2	b_1	c_1	$(a_1 - b_1 - c_1)$
县名	(元/亩)	(元/人)	(元/亩)	(元/亩)	(元/亩)
济阳县	703.34	2 036.29	279.79	352.72	70.83
平原县	673.13	2 490.98	269.95	313.13	90.05
陵 县	704.23	2 698.29	240.74	358.87	104.62
惠民县	560.79	1 950.34	178.15	307.86	71.18
沾化县	230.48	2 065.16	85.60	102.54	12.34
乐陵县	562.61	1 632.59	253.91	217.91	90.79
最大 值	1 623.21	3 885.48	981.04	361.49	277.68

同方面受洪水的影响不一样, 所以其权重很难确定。工业、建筑业、运输业和商业非面状经济, 在面上非均匀分布, 同一次洪水, 不同区域其损失差别较大。为了计算方便, 用黄河决口、洪水泛滥期间各行业的直接损失与行业年总值之比作为各参数权重的大小。

k_1 为社会总产值对敏感系数的影响度, 在此起平衡作用。区域单位面积社会总产值越高, 敏感系数越大, 单位面积社会总产值越小, 敏感系数越小, 在此 k_1 取 1。

k_2 代表工业影响系数。经查阅有关资料, 一般洪水可造成工厂停工 20—30 天。黄河决口携带的大量泥沙对工业将产生较大的影响, 取 30 天作为黄河决口工业停产的时间。那么 30 天内工业损失与全年工业总产值之比应为 k_2 的值, 因此 k_2 取 $1/12$, 约 0.083。

k_3 代表农业影响系数。黄河决口对农业的影响最大。一般洪水可导致两季农作物减收。黄河携带大量的泥沙将大大增加农业的损失, 但由于农业总产值中包括了林、副、渔、牧, 这 4 部分受洪水影响相对较小, 考虑到农作物中不同种类受灾和成灾程度不一样, k_3 取 0.75。

k_4 为建筑业、运输业和商业综合影响系数。据统计分析, 一次大的洪水造成交通中断一般为 1—3 个月, 建筑业停顿 2—3 个月; 虽然商业停业时间较短, 但由于交通运输影响, 其滞后效应明显, 损失亦较大。黄河决口泛滥远较一般洪水严重, 在此取停工最长时间 3 个月, 3 个月内的经济损失占全年总产值的比重应为 0.25, k_4 取 0.25。

k_5 为人民财产损失的权重。经有关分析, 人均财产拥有量和人均社会总产值为正相关, 其比值为 1 : 4, 如果财产损失率以 25% 计, 则 k_5 为 0.0625。

将上述各权重值和表 2 资料代入式 (4), 计算各县敏感系数, 见表 3。

(二) 洪水经济损失敏感度分级

黄河下游泛区洪水经济损失敏感度分级主要根据各县市敏感系数的大小将其分为 5 个级别。从表 3 知, 敏感系数最大的是河南省新乡县, 最小的是山东省无棣县。虽然工业受洪水影响较小, 但新乡市作为一个工业城市, 集中了大量工厂、人口和财产, 在空间上可视为一个圆点, 一旦洪水淹没, 损失惨重, 由于无土地面积, 没有计算敏感系数, 但在敏感度分级

表 3 黄河下游泛区各县市洪水经济损失敏感系数
Sensibility coefficients on economic damage of flood
of all the counties and cities in the flooded
area of Lower Huanghe River

次序	县、市	敏感系数	次序	县、市	敏感系数	次序	县、市	敏感系数	次序	县、市	敏感系数
1	新乡县	2.1455	9	商河县	1.2449	17	东阿县	0.9970	25	封丘县	0.8384
2	聊城市	1.6166	10	临邑县	1.2326	18	长垣县	0.9616	26	原阳县	0.8220
3	获嘉县	1.4722	11	茌平县	1.2262	19	延津县	0.9605	27	阳信县	0.7811
4	高唐县	1.4393	12	阳谷县	1.2186	20	浚 县	0.9403	28	内黄县	0.7302
5	禹城县	1.4273	13	平原县	1.2083	21	乐陵县	0.9281	29	濮阳市	0.7206
6	陵 县	1.3363	14	清丰县	1.1405	22	南乐县	0.9013	30	台前县	0.6465
7	济阳县	1.8252	15	惠民县	1.0978	23	滑 县	0.8965	31	沾化县	0.4333
8	莘 县	1.2712	16	范 县	1.0872	24	齐河县	0.8880	32	无棣县	0.1287

时, 将之划入最敏感一级 (见表 4)。

表 4 黄河下游泛区敏感度分级
Classification of susceptibility to the flooded
area of Lower Huanghe River

敏感级别	敏感系数范围	所 包 括 的 县 市
I (极敏感)	>1.8	新 乡 市 新 乡 县
II (较敏感)	$1.4-1.8$	聊 城 市 获 嘉 县 高 唐 县 禹 城 县
III (中度敏感)	$1.0-1.4$	陵 县 济 阳 县 莘 县 商 河 县 临 邑 县 茌 平 县 阳 谷 县 平 原 县 清 丰 县 惠 民 县 范 县
IV (弱敏感)	$0.7-0.9$	东 阿 县 长 垣 县 延 津 县 浚 县 乐 陵 县 南 乐 县 滑 县 齐 河 县 封 丘 县 原 阳 县 阳 信 县 内 黄 县 濮 阳 市
V (极弱敏感)	<0.7	台 前 县 沾 化 县 无 棣 县

据表 4 作出黄河下游泛区洪水经济损失敏感度分级图 (图 1(b))。

五、黄河下游泛区洪水经济损失敏感度分析

黄河下游泛区洪水经济损失敏感度主要考虑单位面积经济损失的大小,与区域面积和人口的多少无直接关系。以下略述区域敏感度与经济损失的关系。

1. 区域敏感系数越大,洪水时单位面积上的经济损失越大,敏感系数越小,单位面积上的经济损失越小。单位面积的经济损失和敏感系数之间为线性相关,可用下式表示:

$$D = 1025 \cdot L - 137 \quad (5)$$

式中, D 为单位面积经济损失; L 为区域敏感系数。

在敏感度分级中,同一级别的县市,其受洪水影响的敏感程度相近,即单位面积上的经济损失相接近,并不表示其总的经济损失相近,不同的县市土地面积和人口数量不一样,其总的经济损失将有差别。

2. 由于城市为工业、文化、交通、建筑、居民高度集中区,尽管其受洪水影响程度比农业较小,但经济损失却是巨大的,所以城市一般较农业县市敏感。在表 4 分级中,聊城市和濮阳市并不在 I 级敏感区,聊城市为 II 级,濮阳市为 IV,是因为两城市均为新建城市,工业基础薄弱,城市规模较小,所计算的敏感系数为原聊城市和濮阳县的值。由于所用经济资料为 1988 年的,濮阳油田当时尚未发展起来,所以濮阳市的敏感级别较低。

3. 对于农业县来说,在经济发展相当的情况下,农业总产值越高,其敏感系数就大,农业产值愈低,其敏感系数就小。

4. 黄泛区河南境内,除了新乡市、新乡县、获嘉县、清丰县敏感级别较高外,其他县市均为弱敏感区;山东省境内多数县市为较敏感到中度敏感级别;两省各县市对洪水的反应的敏感程度大体上与其区域经济发展程度相一致。

5. 由图 1(b)可见,敏感极弱级的县市有 3 个,两个为靠近沿海的无棣县和沾化县,一个为临近黄河北岸的台前县。前者为黄河新形成的三角洲区,受海水倒灌影响,土壤贫瘠,经济落后;后者位于黄河老决口扇上,土质差,经济不发达,所以均为极弱敏感级。

弱敏感级中有 13 个县,其中 9 个位于河南省境内,此区为盐碱、风沙较严重的地区,4 个在山东省境内,2 个临黄河大堤,2 个靠近海岸,前者受黄河决口影响,后者受海水倒灌影响,经济都比较落后。II—III 级的县市主要集中在山东省境内,该区域为引黄灌溉区,经济发达,河南省有 2 个县,清丰县靠近山东省,受引黄灌溉影响,经济发达,获嘉县靠近新乡市,受城市经济辐射影响,经济发达。I 级敏感县市有新乡市和新乡县。

本文研究洪水经济损失敏感度时,仅涉及洪水和经济之间的关系,未考虑黄河堤坝和区域地质地貌条件对敏感度的影响。堤坝的强度和地质地貌条件是影响决口的重要因素,因而对洪水的淹没范围与程度也有重要影响,但与洪水经济损失敏感度没有直接关系。洪水经济损失敏感度分析是为预估河堤决口后的经济损失提供方法的尝试,仅为同类工作提供了某些思路。

参 考 文 献

- (1) 孙广忠等. 中国自然灾害. 北京: 学术书刊出版社, 1990.
(2) 陆中臣等. 试论黄河下游北岸可能决口地段及最大淹没范围. 地理研究, 1987, 6(1):

ANALYSIS OF SENSIBILITY ON ECONOMIC DAMAGE IN THE FLOODED AREA OF LOWER HUANGHE RIVER OF BANK-BREACHING

Chen Liding Lu Zhongchen

(Research Center for Eco-Environmental Sciences,
Chinese Academy of Sciences)

Subject terms: flooded area, economic damage of flood, sensibility,
sensitivity coefficient, Huanghe River

Abstract

Through analysing the relationships between bank-breaching and economy, the authors proposed a method to calculate the sensitivity coefficient, and have calculated the sensitivity coefficient of economic damage of flood to each county in the flooded area of lower Huanghe River with the method, further to classify the thirty-two counties into five classes on sensitivity coefficient, which provide a basis for future combatting a flood and going to the rescue in hurry, or changing the channel artificially, also to give a method for future study on economic damage of flood.