

古安川, 夏军强, 李洁, 等. 经济发展对洪灾损失影响的主成分分析评价——以河南、山东省为例[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 220–223, 229. [ Gu Anchuan, Xia Junqiang, Li Jie, et al. Assessment of the Influence of Economic Development on Flood Loss Based on Principal Component Analysis——As an Example of Henan and Shandong Provinces [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 220–223, 229. ]

# 经济发展对洪灾损失影响的主成分分析评价

——以河南、山东省为例\*

古安川, 夏军强, 李 洁, 田庆奇

(武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:** 选取河南、山东两省为研究对象, 将地区年生产总值作为经济发展的主要指标进行研究; 采用主成分分析法, 计算了河南省 2003–2011 年的 4 个洪灾损失影响因子数据, 认为地区年生产总值在第一主成分上有较大的荷载, 且与洪灾损失呈正相关; 然后对河南、山东两省 2006–2012 年的年生产总值与洪灾损失进行分析, 进一步验证了主成分分析法得到的洪灾损失与地区年生产总值增长之间的关系, 即: 随地区生产总值逐年增加, 经济快速发展, 导致洪灾发生时造成的直接经济损失也随之增加。

**关键词:** 经济发展; 年生产总值; 洪灾损失; 主成分分析法; 河南; 山东

**中图分类号:** X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2014)04–0220–05

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.04.040

我国特殊的地理气候条件, 决定了降水量年内时空分布不均且年际变幅较大。据统计, 自公元前 206 年至 1949 年的 2 000 多年中, 我国共发生较大的洪水灾害 1 092 次, 约平均每 2 年发生一次较大水灾。相对而言, 黄河下游的洪涝灾害更加频繁。据不完全统计, 建国以来黄河下游滩区遭受不同程度的洪水漫滩 30 余次, 累计受淹耕地 173 万多  $\text{hm}^2$ , 倒塌房屋 150 多万间。2010 年河南省农作物因洪灾绝收面积 9.5 万  $\text{hm}^2$ , 直接经济损失达 158 亿元<sup>[1]</sup>。随着社会经济的发展, 对防洪投入的人力物力加大, 防洪措施更加完善, 但是由洪灾带来的损失变化趋势还不明确。因此有必要开展经济发展对洪灾损失影响的研究, 所得成果可以为地区防洪标准拟定提供依据。

洪灾经济损失一般分为直接和间接经济损失两类, 直接经济损失主要指洪水淹没造成的可用货币计量的各类损失, 如工业、商业和农业等。已有很多学者对洪灾损失评估<sup>[2–5]</sup>及洪灾对经济发展影响<sup>[6]</sup>开展了比较充分的研究。刘树坤等<sup>[2]</sup>用分类财产损失率的方法来计算洪灾直接经济损失, 通过实地调查统计和经验系数法来计算洪灾间接经济损失。付湘等<sup>[3]</sup>考虑各类灾害损失因素建立

了一次洪灾造成人员伤亡、直接经济损失、环境损失和灾害救援损失等概念模型。李谢辉等<sup>[4]</sup>以黄河中下游地区为研究对象, 利用 GIS 技术和社会经济数据的空间展布方法, 构建洪灾损失快速评估模型, 并进行洪灾损失预测和灾情等级划分。李琼<sup>[5]</sup>对 1998 年部分地区洪灾损失指标进行主成分分析, 并计算与其他洪灾损失评估方法所得结果的相关性, 发现相关系数均大于 0.9, 说明主成分分析法评估结果符合实际, 且该方法具有计算简单和实用性强等特点。马宗晋<sup>[6]</sup>提出一次洪灾对经济发展影响的简单模式, 认为发生一次洪灾, 一段时间内经济发展会受到影响, 要经过救灾、重建和恢复过程才会恢复到原来的发展速度。许多学者以损失率、经验系数、概念模型、GIS 技术及主成分分析等多种手段研究洪灾损失的计算方法和洪灾对经济发展的影响, 同时确认了洪灾损失与社会因素有很大关系。

随着社会进步和经济发展, 洪水预报能力有很大提高, 防洪措施更加完善, 水灾发生频率有所减小; 与此同时, 由于受灾地区单位面积上国民生产总值增加, 公共部门及居民个人的财产密度加大, 因而相同强度的洪水灾害, 造成的经济

\* 收稿日期: 2014–04–14      修回日期: 2014–06–13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379156); 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20120141110011); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201401038)

作者简介: 古安川(1989–), 男, 重庆忠县人, 硕士研究生, 研究方向为洪水风险分析. E-mail: gac126@126.com

通讯作者: 夏军强(1974–), 男, 浙江绍兴人, 博士, 教授, 主要从事河流动力学方面的研究. E-mail: xiajq@whu.edu.cn

损失跟以往相比会增加<sup>[3,7]</sup>。目前社会经济发展对自然灾害损失影响的研究成果主要包括从易损性<sup>[8-9]</sup>、建立函数关系<sup>[10]</sup>和统计资料分析<sup>[7,11-12]</sup>等方面的研究。张海玉<sup>[8]</sup>、葛鹏<sup>[9]</sup>从易损性角度对经济发展同洪灾损失关系进行研究,认为经济与人口密度是决定洪灾承灾体易损性水平高低的主要因素;在同等防御水平条件下,灾害发生在经济发达地区比在经济落后地区带来的损失大。于庆东<sup>[10]</sup>列出了自然灾害经济损失函数,认为社会承灾体密度随经济发展而增大,自然灾害经济损失随着承灾体密度增大而增大,在总体上自然灾害经济损失随时间波浪式增加。以理论分析为基础,张晓等<sup>[7]</sup>、马宗晋<sup>[11]</sup>对建国以来自然灾害情况进行统计分析,结果表明:多年来自然灾害的发生频次与灾害损失均呈上升趋势。Chen等<sup>[12]</sup>分析了1900-2011年中国自然灾害分布情况,以GDP和中国人口数据来表示中国的社会发展状况,认为这段时期中国社会快速发展,自然灾害所引起的经济损失增加,而人员死亡人数有所下降。以上分析以探讨社会经济发展对自然灾害损失影响为主,且得到相似的结论,即:随着社会经济发展,自然灾害带来的损失会增大。

上述分析表明,前人对洪灾的评估、预测,以及自然灾害损失受经济发展影响等方面有一定研究,但地区经济发展对洪灾损失作用的主成分分析研究相对较少。因此本文选取河南、山东两省为研究对象,将地区年生产总值作为经济发展的主要指标进行研究。首先用主成分分析的方法对包括年生产总值在内的几个洪灾损失影响因子进行分析,找出地区年生产总值跟洪灾损失之间的相关性;再分析这两省的洪灾损失数据,进一步证实主成分分析法所得结论。

## 1 计算方法

本文所采用的各年份河南、山东两省年生产总值数据、森林覆盖率数据、农作物播种面积数据及郑州8月份降雨量数据均选自国家统计数据库<sup>[13]</sup>,2006-2012年河南、山东两省的洪灾损失数据摘录自2006-2012年中国水旱灾害公报<sup>[1]</sup>。本文首先选取河南、山东两省为研究对象,将地区年生产总值作为经济发展的主要指标进行研究;再用SPSS软件以主成分分析法计算2003-2011年郑州8月份降雨量、年生产总值、森林覆盖率和农作物播种面积这4个主要洪灾损失影响因子数据得到主成分的个数以及各因子在主成分上的荷载和相关系数,找出各影响因子与洪灾损失之间的关系;然后对河南、山东两省2006-2012年的洪灾损失数据进行分析,得到年生产总值增长对洪灾损失的影响,以此来验证主成分分析法得到的经

济发展对洪灾损失影响的关系。

主成分分析法是基于“降维”的思想,在保证数据信息损失最小的前提下,经线性变换和舍弃小部分信息,将多个指标转换为少数几个综合指标的数学变换方法,其理论基于多元统计及代数逼近等多种理论方法<sup>[5]</sup>。主成分分析法可以得到各指标与主成分及研究对象的相关关系。主成分分析法的计算步骤包括如下<sup>[5,14]</sup>。

### (1) 数据标准化处理

采用标准差法标准化数据:

$$y_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / s_j, (i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J) \quad (1)$$

式中: $x_{ij}$ 为第*i*个样本第*j*个指标的原始数据; $\bar{x}_j, s_j$ 分别为第*j*个指标原始数据平均值和样本标准差。

### (2) 计算相关系数矩阵 $R$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $r_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n; n = \max(I, J))$ 为原变量 $x_i$ 与 $x_j$ 的相关系数, $r_{ij} = r_{ji}$ ,其计算公式为:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}} \quad (3)$$

式中: $k = 1, 2, \dots, n$ 。

### (3) 求特征值及对应特征向量

求解特征方程 $|\lambda I - R| = 0$ ,得到特征值 $\lambda_i$ ,并按大小顺序排列;再求解特征值 $\lambda_i$ 对应的特征向量 $e_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

### (4) 计算主成分贡献率及累计贡献率

第*i*个主成分的贡献率 $E_i$ :

$$E_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^n \lambda_k, (k = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

累计贡献率 $E$ :

$$E = \sum_{i=1}^m E_i, (m = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

一般 $E > 85\%$ 时的最小 $m (m \leq n)$ 值即为主成分个数<sup>[14]</sup>。

### (5) 计算主成分荷载

主成分荷载计算公式:

$$l_{ij} = \sqrt{\lambda_i} e_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中: $e_{ij}$ 表示特征值 $\lambda_i$ 对应的特征向量 $e_i$ 的第*j*个分量。

## 2 计算结果

### 2.1 对河南省洪灾损失影响因子主成分分析

将河南省4个洪灾损失影响因子2003-2011年变化情况统计数据(表1)<sup>[13]</sup>用标准差法标准化处理,再以SPSS软件计算这4项指标得到各成分的特征值和贡献率(表2)。将特征值按从大到小顺

序排列,由表2可知,当累积贡献率大于85%时,主成分有两个。这两个主成分的累积贡献率为92.46%,基本包括全部指标的信息。

表1 河南省洪灾损失影响因子变化情况(2003-2011年)

年份	郑州8月 降雨量/mm	年生产 总值/亿元	森林覆 盖率/%	农作物播种 面积/khm <sup>2</sup>
2003	313.2	6 868	12.5	13 684
2004	121.7	8 554	16.2	13 790
2005	118.0	10 587	16.2	13 923
2006	162.1	12 363	16.2	14 186
2007	228.5	15 013	16.2	14 088
2008	58.5	18 019	16.2	14 147
2009	270.2	19 481	20.2	14 181
2010	178.6	23 092	20.2	14 249
2011	137.0	26 931	20.2	14 259

表2 各成分特征值及贡献率

成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%	主成分贡献率/%
1	2.77	69.12	69.12	69.12
2	0.93	23.34	92.46	92.46
3	0.20	4.89	97.35	—
4	0.11	2.65	100.00	—

经计算可得洪灾损失影响因子的主成分矩阵,如表3所示。由表3可知,地区年生产总值、农作物播种面积以及森林覆盖率在第一主成分上有较大的载荷,且与洪灾损失呈正相关。说明地区生产总值增加、农作物播种面积越大以及森林覆盖面积越大,当洪灾发生时冲毁的基础设施,淹没的农作物和森林就越多,造成的损失也就越大。8月份是洪灾发生频繁的时间段,郑州8月份降雨量在第二主成分上的载荷为0.94。因为降雨量作为一个很重要的直接致灾因素,与洪灾损失正相关,当降雨量愈大洪水就愈大,造成的损失就更大,与实际情况相符合。结果表明:农作物播种面积、森林覆盖率和8月份降雨量对洪灾损失都有一定影

响,但年生产总值的增长对洪灾损失影响最大。

表3 主成分矩阵

洪灾损失影响因子	主成份	
	1	2
地区年生产总值	0.96	0.13
农作物播种面积	0.94	0.04
森林覆盖率	0.93	0.16
郑州8月降雨量	-0.33	0.94

2.2 对河南、山东两省洪灾损失数据统计分析

将河南、山东两省2006-2012年的洪水灾害损失情况整理,如表4所示。由表4可知,这两省2007年和2010年受洪灾影响人数较多,最高达1400万人,农作物成灾面积很大,直接经济损失数目最多达158亿元,因洪灾死亡人数最多达到127人。山东省2012年农作物因洪灾成灾面积达791 km<sup>2</sup>,直接经济损失为近几年之最,达178亿元。2006-2012年几年间,河南省除了2007年和2010年洪灾直接经济损失占本省年生产总值的比例比较高之外,其余几年的比例都小于10‰;山东省近几年洪灾直接经济损失占本省年生产总值的比例平均保持在18.1‰,波动较河南省小,这与洪灾损失和当地经济发展有很大关系。以2010年为例,河南省因洪灾直接经济损失158亿元,年生产总值为23 092亿元;山东省因洪灾直接经济损失116亿元,年生产总值为39 170亿元<sup>[13]</sup>,由于生产总值相差悬殊,因此当年山东省因洪灾直接经济损失占当地年生产总值的比例比河南省小很多。

本文将表4中洪灾损失统计数据转换成相应受灾比例,对地区年生产总值增长率、洪灾受灾人口与当年总人口之比、农作物成灾面积与当年播种面积之比以及直接经济损失与当年生产总值之比进行对比分析。由图1可知,两省各年份洪灾损失存在如下规律。

(1)受灾人口比例、农作物成灾比例和直接经济损失所占比例三者变化趋势呈正相关,即受灾

表4 河南、山东洪灾情况统计表(2006-2012年)<sup>[1,13]</sup>

年份	省份	受灾人数/万人	死亡人数/人	农作物成灾面积 /khm <sup>2</sup>	直接经济总 损失/亿元	直接经济总损失占 年生产总值比例/‰
2006	河南	386	7	114.5	10.6	8.6
	山东	164	4	194.5	17.9	8.2
2007	河南	1 005	86	520.7	63.0	42.0
	山东	609	46	153.9	56.6	22.0
2008	河南	48	1	52.3	4.0	2.2
	山东	124	0	81.6	8.6	2.8
2009	河南	121	0	32.8	6.1	3.1
	山东	684	0	184.6	61.0	18.0
2010	河南	1 400	127	548.3	158.4	68.6
	山东	1 367	1	444.5	116.0	29.6
2011	河南	47	8	29.8	8.6	3.2
	山东	356	10	171.7	47.5	10.5
2012	河南	150	3	31.5	5.4	1.8
	山东	874	7	791.0	178.3	35.7

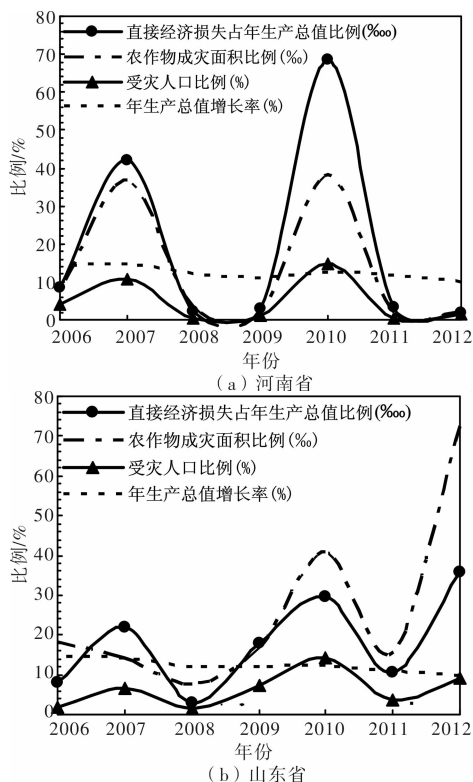


图1 河南、山东洪灾损失情况及年生产总值增长率分布(2006-2012年)

人口越多的年份,相应农作物成灾面积越大,直接经济损失也越多。但是,死亡人数与前三者变化趋势没有太大关系。例如,如表4所示,2012年山东省洪灾造成的农作物成灾面积和直接经济损失分别达到791 km<sup>2</sup>和178.3亿元,为近几年之最,而洪灾造成的死亡人数为7人。因为随着社会发展,避难设施更加齐全,更多先进技术和社会资源投入到防洪之中,且洪灾发生时影响人员撤离灾区的因素很多,比如人员的灵活性差异、洪灾预报时间长短以及人员撤离路线选择不同等<sup>[3]</sup>。

(2)受灾人口比例大于农作物成灾比例,农作物成灾比例大于直接经济损失占地区年生产总值的比例。说明当洪灾发生时受影响范围最广的是灾区人民生活保障,其次是农业生产。直接经济损失占地区年生产总值的比例相对前两者较小,因为影响因素复杂,包括洪灾范围、强度和当地经济发展情况等。

(3)虽然河南、山东两省2006-2012年的年生产总值增长率稍有下降,但两省的年生产总值增长率都保持在10%以上,经济保持快速发展的势头,且两省年生产总值增长率有着高度的相关性。2007年和2010年两省的洪灾损失都比较严重,2012年山东省由洪灾引起的直接经济损失占年生产总值的比例达到35.7‰,农作物成灾面积比例达到72.8‰,且两省三个损失指标总体上都有随年份增大的趋势。说明洪灾损失随着地区经

济增长而加大。

以上分析验证了主成分分析法所得出的地区年生产总值与洪灾损失正相关的结论,即:地区生产总值增加,经济发展,当洪灾发生时造成的直接经济损失就越大。

### 3 结论

我国洪水灾害频繁发生,经济损失日趋严重。已有研究表明自然灾害损失在总体上随经济发展而增大。本文对河南、山东两省洪灾损失统计分析,并以主成分分析法计算得到如下结论:

(1)农作物播种面积、森林覆盖率和降雨量对洪灾损失都有一定影响,但年生产总值的增长对洪灾损失影响最大,且这几个洪灾影响因子都与洪灾损失呈正相关。主成分分析结果与实际相符。

(2)受灾人口比例大于农作物成灾比例,大于直接经济损失值占地区年生产总值的比例。地区洪灾受灾人数与当地总人数的比例、农作物成灾面积与当年农作物播种面积的比例和直接经济损失值与当年生产总值的比例三者变化趋势呈正相关。但是,因洪灾死亡人数的变化趋势与前三者不同,没有明显规律。

(3)当地区年生产总值保持快速增长时,经济快速发展,洪灾造成的经济损失会更大。

### 参考文献:

- [1] 国家防汛抗旱总指挥部. 中国水旱灾害公报2006-2012[Z]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2006-2012.
- [2] 刘树坤, 宋玉山, 程晓陶. 黄河滩区及分滞洪区风险分析和减灾对策[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1999.
- [3] 付湘, 王丽萍, 边玮. 洪水风险管理与保险[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 李谢辉, 韩荟芬. 河南省黄河中下游地区洪灾损失评估与预测[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 87-92.
- [5] 李琼. 洪水灾害风险分析与评价方法的研究及改进[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012, 37-49.
- [6] 马宗晋. 中国减灾重大问题研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [7] 张晓. 我国水旱灾害与生态环境破坏的系统分析及经济损失估计[J]. 科技导报, 1996(4): 44-48.
- [8] 张海玉, 程先富, 马武, 等. 洪涝灾害经济易损性模糊评价——以安徽沿长江地区为例[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 30-34.
- [9] 葛鹏, 岳贤平. 洪涝灾害承灾体易损性的时空变异——以南京市为例[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 107-111.
- [10] 于庆东. 自然灾害经济损失函数与变化规律[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(4): 3-9.
- [11] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策(分论)[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [12] Chen S, Luo ZK, Pan XB. Natural disasters in China: 1900-2011[J]. Natural Hazards, 2013, 69(3): 1597-1605.
- [13] 国家统计局数据库[DB/OL]. [2014-02-27]. <http://219.235.129.58/welcome.do>.
- [14] 邢旭光, 史文娟, 张译丹, 等. 基于主成分分析法的西安市地下水资源承载力评价[J]. 水文, 2013, 33(2): 35-38.

(下转第229页)

- [22] Federal Emergency Management Agency: Federal Preparedness Circular 65 [Z]. 2004 - 06 - 15. [http://www.fema.gov/pdf/library/fpc65\\_0604.pdf](http://www.fema.gov/pdf/library/fpc65_0604.pdf).
- [23] R - Eric Petersen. Continuity of Operations (COOP) in the Executive Branch: Background and Issues for Congress [R]. Washington DC: Congressional Research Service, 2004.
- [24] Juniper Networks. Integrating Continuity of Operation (COOP) into the Enterprise Architecture [R]. Sunnyvale, CA: COOP Leadership Series for Government, 2007.
- [25] 中华人民共和国突发事件应对法[EB/OL]. (2007 - 08 - 30) [2014 - 03 - 15]. [http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-08/30/content\\_732593.htm](http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-08/30/content_732593.htm).

## Western Countries' COOP Practice and its Enlightenment on China

Ma Yinnan and Zhang Yongling

- (1. *Safety and Emergency Management Research Center, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;*  
2. *School of Emergency Management, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China*)

**Abstract:** Characteristics of Continuity of Operation (COOP) in the United States (US) and Europe during Cold War, aiming at responding to nuclear war are analyzed. Then, new features of COOP after "9 · 11" which regard catastrophe as its core and process of US Federal COOP were recommended. Finally, according to experience of Western countries, enlightenment to China can be concluded from five aspects, that is, critical functions of government are divided and talent pools are built, suitable alternate sites shall be planned, communication mechanism should be established smoothly, preservation of vital records and construction of COOP also ought to be focused on. Learning from Western Countries is significant for the development of Chinese COOP under a catastrophe situation.

**Key words:** catastrophe; continuity of operation; emergency management; enlightenment; Western countries

(上接第 223 页)

## Assessment of the Influence of Economic Development on Flood Loss Based on Principal Component Analysis ——As an Example of Henan and Shandong Provinces

Gu Anchuan, Xia Junqiang, Li Jie and Tian Qingqi

(*State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China*)

**Abstract:** The research into the influence of economic development on flood damage is conducted in this paper, and the annual Gross Domestic Product (GDP) is taken as a major indicator of economic development in the Henan and Shandong provinces. Four factors relevant to flood loss in Henan from 2003 to 2011 are evaluated using the principal component analysis, which indicates the annual GDP in a region is strongly correlated with the corresponding flood damage, with the first principal component being a large load. The data of the annual GDP and the flood loss in Henan and Shandong from 2006 to 2012 are then analyzed, which verifies the relationship between the GDP growth and the flood damage obtained from the principal component analysis. It is confirmed that the direct economic loss due to floods would increase with the rapid economic development in a region.

**Key words:** economic development; Gross Domestic Product; flood loss; Principal Component Analysis; Henan province; Shandong province