

# 中国地震灾害损失评估模型与实证分析研究

门可佩<sup>1</sup> 崔蕾<sup>1</sup>

## 摘要

中国是世界上地震灾害多发的国家之一,对强震灾害损失进行准确的评价研究具有重要的经济和社会意义.文章着重对震灾的经济损失方面进行评估,将其分为直接经济损失和间接经济损失2个部分.首先运用K-S检验确定我国年地震损失额的分布函数,并对月地震次数进行拟合,然后运用灰色聚类法和主成分分析法对不同震灾分别进行直接和间接经济损失评级,最后对2006—2009年我国地震所造成的经济损失进行评估,对8次震灾进行综合经济损失评级.

## 关键词

地震灾害;经济损失评级;灰关联聚类分析;主成分分析;评估模型

中图分类号 X43

文献标志码 A

收稿日期 2011-12-27

作者简介

门可佩,男,教授,主要从事应用统计分析、信息预测理论、天灾预测与地震预测研究.  
menkepei@163.com

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 数学与统计学院,南京,210044

## 0 引言

中国是世界上地震灾害多发的国家之一,对地震灾害损失进行分析评估,是灾害物理学与灾害统计学的基本研究内容,也是当代防灾减灾的必然要求,这对于我国经济社会可持续发展具有重要的现实意义.目前,国内外关于地震灾害等级的划分尚无统一的标准和方法,一般从对社会经济造成的损失的角度来评估灾害的影响,如Mitchem<sup>[1]</sup>运用主成分分析法筛选出自然易损性和社会易损性指标;英国的查尔斯等利用投入-产出表,研究地震灾害的直接损失与影响及地震产生的连锁反应<sup>[2]</sup>;我国地震专家赵阿兴等<sup>[3]</sup>结合重大自然灾害的研究提出了灾度概念,用其表示灾害造成的损失程度并划分等级;于庆东等<sup>[4]</sup>应用灰色聚类方法建立了绝对灾情的分级模型;任鲁川<sup>[5]</sup>提出了模糊灾度的概念,并建立了模糊灾度等级的隶属函数,给出模糊灾度判别法;于庆东等<sup>[6]</sup>提出了综合灾情分级的指标体系,应用灰色聚类方法建立了综合灾情分级模型;毛国敏等<sup>[7]</sup>提出了FAPE分类模型和HCWS分级模型,将地震灾害分为8种类型和5个等级;常相全等<sup>[8]</sup>利用因子分析法对地震灾情统计的相关指标进行分析,构建了有3个主因子的地震灾情评价的指标体系,谷萃等<sup>[9]</sup>在此基础上,建立了基于神经网络的地震灾害经济损失评价模型;童蕾<sup>[10]</sup>针对震灾的经济损失的影响因子进行灰关联分析,试图把灾害社会学对经济损失的定性分析定量化.

上述研究主要侧重于强震的直接经济损失的评估,而强震的间接经济损失的评估由于时间、空间与链式反应的复杂性其量化更为困难,很少有学者进行研究.本文试图将多元统计分析、灰色系统理论与模糊数学相结合,在兼顾直接损失和间接损失的基础上,着重研究间接经济损失,把定性分析定量化,然后将所建立的灾害损失评估模型应用于“十一五”期间我国地震灾害对国民经济所造成损失的评估,同时对2006—2009年间地震灾害进行评级.

## 1 我国地震灾害损失分布函数

21世纪以来,环太平洋地震带和欧亚地震带东南部的青藏滇缅印尼巨型歹字型构造体系大震频发,这表明全球进入一个巨灾群发期<sup>[11-13]</sup>,必将对我国大陆产生重大影响.据统计,发生在我国陆地上的强震约占全球大陆地震的1/3左右,全国60%的国土面积位于VI

度或Ⅵ度以上烈度区<sup>[14]</sup>. 2001—2010 年我国大陆西部(境内)发生了 8 级大震 2 次(2001 年昆仑山 8.1 级和 2008 年汶川 8.0 级)、7 级强震 2 次(2008 年和 田 7.3 级和 2010 年玉树 7.1 级)<sup>[15-17]</sup>. 此外,“十一 五”期间还发生绵阳、海西、玉树等 6 级以上强震多 次. 确定地震损失分布是防震减灾的一项基本内容. 本文通过收集的最新资讯,分析我国地震损失额和 每年地震灾害次数,以确定我国地震灾害损失分布 函数.

### 1.1 地震损失额分布函数

本文选取 2000—2009 年我国地震灾害所造成 的年直接经济损失  $z$  为样本数据,全部数据来源于 《中国统计年鉴》. 将数据进行统计分析后发现,样 本并不符合常用的分布函数形式,如正态分布、指数 分布、均匀分布等. 将直接经济损失数据进行对数预 处理后,运用 SPSS 软件做出样本数据的 P-P 图(图 1). 图 1 中数据点大体围绕在 P-P 图的 45°线附近, 基本符合对数正态分布.

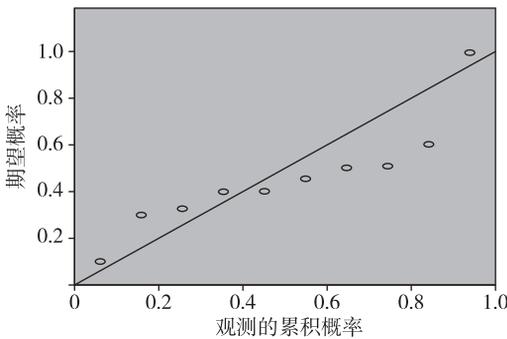


图 1 地震灾害直接损失的对数正态 P-P 图  
Fig. 1 Lognormal P-P figure for direct loss of earthquake disaster

采用 K-S 检验法<sup>[18]</sup>进行对数正态分布检验. 经 计算可得 K-S 检验统计量为 0.941,其  $P$  值为 0.338,在 0.05 的显著性水平下通过检验,即本文中 地震直接损失额(对数)可近似认为来自正态分布 总体. 综上所述,我国年地震损失额近似服从均值为 12.469 5、标准差为 2.245 1 的对数正态分布,即  $\ln z \sim N(12.469 5, 2.245 1)$ .

### 1.2 地震次数拟合

地震灾害发生频次本身是一种随机变量,具有 概率特征. 本文统计了“十一五”期间(即 2006— 2010 年)发生在我国大陆地区(不包含台湾省)所有  $M_s \geq 3.0$  地震,将其总数  $x$  作为样本数据,全部数据 来自中国地震台网中心的地震数据管理与服务系

统. 以月为单位,假设地震次数服从参数为  $\lambda$  的泊松 分布.

泊松分布参数的矩估计值为样本的均值,即  $\hat{\lambda} = \bar{x} = 4.285 7$ . 现利用 K-S 检验法对原假设做出判 断. 令  $v_i$  为样本落入第  $i$  个小区间的实际频数,表 1 给出了“十一五”期间我国每月发生的  $M_s \geq 3.0$  地 震频数统计.

表 1 2006—2010 年我国大陆地区  $M_s \geq 3.0$  地震月频次  
Table 1 Monthly frequency of  $M_s \geq 3.0$  earthquakes in Chinese mainland during 2006—2010

$i$	$v_i$	$i$	$v_i$
0	6	7	1
1	12	8	1
2	14	9	2
3	11	10	0
4	2	11~30	3
5	3	31~50	0
6	4	>50	1

K-S 检验表明,检验统计量为 1.126,其  $P$  值为 0.159,我国每月发生地震的次数近似服从参数为 4.285 7 的泊松分布.

## 2 地震经济损失因子分析

### 2.1 因子指标分析

地震直接灾害是指由地震的原生现象所造成的 直接后果,是造成震后人员伤亡、生命线工程毁坏、 社会经济受损等灾害后果最直接、最重要的原因. 地 震灾害打破了自然界原有的平衡状态或社会正常秩 序从而导致的灾害,称为地震次生灾害. 地震带来的 直接经济损失主要体现在农、林、牧、渔业损失、人口 伤亡、城市的财产损失方面,这些损失可以用数量单 位计量,但是需要将指标单位化,而地震带来的间接 经济损失则难以用数据表示,这是因为间接损失体 现在各行各业,在时间和空间上都有波及. 本文希望 能将间接损失定量化评价,因此选取了影响较大、较 久的指标,作为衡量间接损失的依据. 根据地震灾害 损失的内容,本文确定地震灾害经济损失的评估指 标体系如表 2 所示.

### 2.2 运用转换函数将指标单位化

在选取地震灾害直接经济损失指标时,本文选 取了死亡人数、受伤人数等 9 个因素,从而能较全面 地反映地震对社会经济的直接影响. 不同的指标因

表2 地震灾害经济损失的评估指标体系

Table 2 Index system of economic loss evaluation for earthquake disaster

目标层	准则层	指标层
地震灾害经济损失	直接经济损失指标	死亡人数
		受伤人数
		房屋毁坏及严重破坏
		房屋中度及轻微破坏
		农业损失
	间接经济损失指标	林业损失
		牧业损失
		渔业损失
		抗灾、抢险、救灾费用
		时间波及损失
		区域波及损失

素因其单位不统一,会使等级评价产生错误的结果,因此,本文首先划分地震灾害经济损失单指标的分级标准并将其指标单位化。

根据现有的“灾度”概念和分级标准,传统等级划分将地震灾害等级分为5级:巨灾、大灾、中灾、小灾和微灾。本文旨在将直接经济损失和间接损失结合起来考虑,所以需要对上述灾害等级划分稍作改动。由于间接经济损失的评价涉及时间较长,而直接经济损失只考虑当前损失影响,因此很难将二者同步统一评级。为此,本文首先根据直接经济损失将地震灾害等级分为上述5级,然后将每级细分,将间接经济损失指标放在第2指标层,进行2次评级。

在前人地震灾害等级单指标划分标准和灾情分析比较的基础上<sup>[10]</sup>,本文增加了农、林、牧、渔业损失和抗灾、抢险、救灾费用5个分级指标,修改后的灾害损失分级如表3所示。

表3 灾害损失分级

Table 3 Rating scales of disaster loss

分级指标	微灾	小灾	中灾	大灾	巨灾
死亡人数/人	(0,10]	(10,1×10 <sup>2</sup> ]	(1×10 <sup>2</sup> ,1×10 <sup>3</sup> ]	(1×10 <sup>3</sup> ,1×10 <sup>4</sup> ]	(1×10 <sup>4</sup> ,+∞)
受伤人数/人	(20,2×10 <sup>2</sup> ]	(2×10 <sup>2</sup> ,2×10 <sup>3</sup> ]	(2×10 <sup>3</sup> ,2×10 <sup>4</sup> ]	(2×10 <sup>4</sup> ,2×10 <sup>5</sup> ]	(2×10 <sup>5</sup> ,+∞)
房屋毁坏及严重破坏/m <sup>2</sup>	(1×10 <sup>2</sup> ,1×10 <sup>3</sup> ]	(1×10 <sup>3</sup> ,1×10 <sup>4</sup> ]	(1×10 <sup>4</sup> ,1×10 <sup>5</sup> ]	(1×10 <sup>5</sup> ,1×10 <sup>6</sup> ]	(1×10 <sup>6</sup> ,+∞)
房屋中度及轻微破坏/m <sup>2</sup>	(1×10 <sup>3</sup> ,1×10 <sup>4</sup> ]	(1×10 <sup>4</sup> ,1×10 <sup>5</sup> ]	(1×10 <sup>5</sup> ,1×10 <sup>6</sup> ]	(1×10 <sup>6</sup> ,1×10 <sup>7</sup> ]	(1×10 <sup>7</sup> ,+∞)
农业损失/元	(5×10 <sup>4</sup> ,5×10 <sup>5</sup> ]	(5×10 <sup>5</sup> ,5×10 <sup>6</sup> ]	(5×10 <sup>6</sup> ,5×10 <sup>7</sup> ]	(5×10 <sup>7</sup> ,5×10 <sup>8</sup> ]	(5×10 <sup>8</sup> ,+∞)
林业损失/元	(5×10 <sup>4</sup> ,5×10 <sup>5</sup> ]	(5×10 <sup>5</sup> ,5×10 <sup>6</sup> ]	(5×10 <sup>6</sup> ,5×10 <sup>7</sup> ]	(5×10 <sup>7</sup> ,5×10 <sup>8</sup> ]	(5×10 <sup>8</sup> ,+∞)
牧业损失/元	(5×10 <sup>4</sup> ,5×10 <sup>5</sup> ]	(5×10 <sup>5</sup> ,5×10 <sup>6</sup> ]	(5×10 <sup>6</sup> ,5×10 <sup>7</sup> ]	(5×10 <sup>7</sup> ,5×10 <sup>8</sup> ]	(5×10 <sup>8</sup> ,+∞)
渔业损失/元	(5×10 <sup>4</sup> ,5×10 <sup>5</sup> ]	(5×10 <sup>5</sup> ,5×10 <sup>6</sup> ]	(5×10 <sup>6</sup> ,5×10 <sup>7</sup> ]	(5×10 <sup>7</sup> ,5×10 <sup>8</sup> ]	(5×10 <sup>8</sup> ,+∞)
抗灾、抢险、救灾费用/元	(1×10 <sup>4</sup> ,1×10 <sup>5</sup> ]	(1×10 <sup>5</sup> ,1×10 <sup>6</sup> ]	(1×10 <sup>6</sup> ,1×10 <sup>7</sup> ]	(1×10 <sup>7</sup> ,1×10 <sup>8</sup> ]	(1×10 <sup>8</sup> ,+∞)

定义  $x_j(j = 1, 2, \dots, 9)$  为地震灾害直接经济损失因子,其中  $x_1$  为死亡人数(人),  $x_2$  为受伤人数(人),  $x_3$  为房屋毁坏及严重破坏(m<sup>2</sup>),  $x_4$  为房屋中度及轻微破坏(m<sup>2</sup>),  $x_5$  为农业损失(元),  $x_6$  为林业损失(元),  $x_7$  为牧业损失(元),  $x_8$  为渔业损失(元),  $x_9$  为抗灾、抢险、救灾费用(元)。定义  $V_j(x)$  为转换函数。以下是对  $x_j(j = 1, 2, \dots, 9)$  的转换函数。

$x_1$  的转换函数:

$$V_1(x) = \begin{cases} 1, & x > 1 \times 10^5, \\ 0.2 \lg x, & 1 < x \leq 1 \times 10^5, \\ 0, & x \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

$x_2$  的转换函数:

$$V_2(x) = \begin{cases} 1, & x > 2 \times 10^6, \\ 0.2 \lg(x/20), & 20 < x \leq 2 \times 10^6, \\ 0, & x \leq 20. \end{cases} \quad (2)$$

$x_3$  的转换函数:

$$V_3(x) = \begin{cases} 1, & x > 1 \times 10^7, \\ 0.2 \lg(x/100), & 1 \times 10^2 < x \leq 1 \times 10^7, \\ 0, & x \leq 1 \times 10^2. \end{cases} \quad (3)$$

$x_4$  的转换函数:

$$V_4(x) = \begin{cases} 1, & x > 1 \times 10^8, \\ 0.2 \lg(x/10^3), & 1 \times 10^3 < x \leq 1 \times 10^8, \\ 0, & x \leq 1 \times 10^3. \end{cases} \quad (4)$$

$x_5, x_6, x_7, x_8$  的转换函数:

$$V_i(x) = \begin{cases} 1, & x > 1 \times 10^9, \\ 0.2 \lg \frac{x}{5 \times 10^4}, & 1 \times 10^4 < x \leq 1 \times 10^9, \\ 0, & x \leq 1 \times 10^4. \end{cases} \quad (5)$$

$x_9$  的转换函数:

$$V_9(x) = \begin{cases} 1, & x > 1 \times 10^9, \\ 0.2\lg(x/10^4), & 1 \times 10^4 < x \leq 1 \times 10^9, \\ 0, & x \leq 1 \times 10^4. \end{cases} \quad (6)$$

通过上述转换函数计算,得到新的分级标准如表 4 所示.由表 4 可对某次地震灾害的直接经济损失进行等级划分,需要将其死亡人数等指标值代入相应的转换函数  $V_j(x)$ ,得到地震的指标矩阵  $U = (u_1, u_2, \dots, u_9)^T$ ,其中  $u_i$  表示第  $i$  个指标的转换函数值.

表 4 灾害分级

Table 4 Rating scales of disaster

灾害直接经济损失等级	转换函数值
微灾	(0, 0.2]
小灾	(0.2, 0.4]
中灾	(0.4, 0.6]
大灾	(0.6, 0.8]
巨灾	(0.8, 1.0]

### 3 灾害损失评估模型

#### 3.1 直接经济损失评估

由于地震过后数据调查与收集的困难性,许多相关数据难以找到.因此,本文根据灰色系统理论构建不确定数学模型对直接经济损失进行评估<sup>[19]</sup>.首先确定影响地震灾害直接经济损失的因素,运用灰色关联法确定其关联序,然后根据上文确定的直接经济损失评价指标,运用灰色聚类模型将不同地震灾害评级.

##### 3.1.1 灰色关联分析

首先介绍灰色关联分析模型.设母序列为  $y_0 = \{y_0(1), y_0(2), \dots, y_0(n)\}$ ,子序列为  $y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n)\}, i = 1, \dots, m$ .

1) 初始化预处理.将每个序列都除以该序列的

第 1 个数,令  $x_0(k) = \frac{y_0(k)}{y_0(1)}$ ,则有

$$x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}, \\ x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}, i = 1, \dots, m.$$

2) 求绝对差.令  $\Delta_i = |x_0(k) - x_i(k)|, \Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_i, \Delta_{\max} = \max_i \max_k \Delta_i$ .

3) 求关联系数.  $\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_i + \rho \Delta_{\max}}$ ,其中,  $\rho$  称为分辨率,  $0 < \rho < 1$ ,一般取  $\rho = 0.5$ .

4) 求关联度.  $R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$ .

5) 确定关联序.根据关联度的大小排出关联序,将  $m$  个子序列对同一母序列的关联度按大小顺序排列起来,便组成关联序列,记为  $\{x\}$ ,它反映了各子序列对于母序列的“优劣”关系.

本文将地震灾害直接经济损失总额作为母序列,选取适当的影响因素作为子序列.据文献[10],现有的研究通常选择下列因子作为比较序列:地震震级、震源深度、发震时间、灾区乡镇数以及灾区人口.本文在此基础上,增加地震上年度该地区人均 GDP 和该地区地貌形态 2 个因子.因此本文选择下列与震害直接经济损失有关的因子作为比较序列: $y_1$  为地震震级、 $y_2$  为震源深度、 $y_3$  为发震时间、 $y_4$  为灾区乡镇数、 $y_5$  为灾区人口、 $y_6$  为地震上年度该地区人均 GDP、 $y_7$  为该地区主要地貌形态.其中,发震时间  $y_3$  属于状态因子,将其按 5—8 时、8—18 时、18—23 时、23—5 时划分为 4 个时段,分别取值为 1、2、3、4.地区主要地貌形态  $y_7$  也属于状态因子,将其分为山地、高原、盆地、丘陵和平原 5 类,分别相应取值为 1、2、3、4、5.这样就可以对其进行量化处理,计算得到各序列的灰色关联度,排出关联序.

##### 3.1.2 灰色聚类评级

根据上文所选的 9 个指标,对灾害的直接经济损失进行评级.这里采用的是灰色聚类模型.由文献[20]中的证明,在综合灰色聚类方法的基础上,以  $k \pm 0.5$  为界点来确定综合聚类系数所属灰类的区间,所得聚类结果与排除其他聚类系数影响的一般灰色聚类法的聚类结果更加吻合.因此,本文采用此种改进的综合灰色聚类法对地震灾害的经济影响进行灰色聚类评级.

设有  $n$  个聚类对象,  $m$  个聚类指标,  $s$  个不同灰类.聚类对象  $i(i = 1, 2, \dots, n)$  关于指标  $j(j = 1, 2, \dots, m)$  的观测值为  $x_{ij}$ .进行灰色聚类分析的步骤如下:

1) 确定聚类指标  $j$  关于  $k(k = 1, 2, \dots, s)$  灰类的白化权函数  $f_j^k(*)$ .

2) 确定  $j$  指标  $k$  灰类的聚类权  $\eta_j^k$ ,其公式为  $\eta_j^k = \lambda_j^k / \sum_{j=1}^m \lambda_j^k$ ,其中  $\lambda_j^k$  为  $j$  指标  $k$  子类临界值.

3) 计算聚类对象  $i$  属于  $k$  灰类的聚类系数  $\sigma_i^k$ ,其公式为  $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \cdot \eta_j^k$ .

4) 计算聚类对象  $i$  属于  $k$  灰类的归一化聚类系数  $\delta_i^k$ ,其公式为  $\delta_i^k = \sigma_i^k / \sum_{k=1}^s \sigma_i^k$ ,其中  $\delta_i = (\delta_i^1, \delta_i^2, \dots)$ .

$\dots, \delta_i^s)(i = 1, 2, \dots, n)$  为对象  $i$  的归一化聚类系数向量。

5) 计算聚类对象  $i$  的综合聚类系数  $\omega_i$ , 其公式为  $\omega_i = \delta_i \cdot \eta$ , 其中,  $\delta_i = (\delta_i^1, \delta_i^2, \dots, \delta_i^s)(i = 1, 2, \dots, n)$  为对象  $i$  的归一化聚类系数向量,  $\eta = (1, 2, \dots, s-1, s)^T$  为综合聚类系数的权向量。

6) 把  $\omega_i$  的取值区间  $[1, s]$  分成以下  $s$  个区间:  $[1, 1.5), [1.5, 2.5), \dots, [k-0.5, k+0.5), \dots, [s-0.5, s]$ , 并对对象  $i$  进行归类: 若  $\omega_i \in [1, 1.5)$ , 则把对象  $i$  归为第 1 灰类; 若  $\omega_i \in [k-0.5, k+0.5)(k \neq 1, k \neq s)$ , 则把对象  $i$  归为第  $k$  灰类; 若  $\omega_i \in [s-0.5, s]$ , 则把对象  $i$  归为第  $s$  灰类。

### 3.2 间接经济损失评估

地震的间接经济损失主要分为时间波及损失和区域波及损失。为简化起见, 本文通过选取适当的指标反映间接损失程度, 利用主成分得分法评估每次地震的间接经济损失程度。

#### 3.2.1 间接经济损失指标

时间波及损失, 是指灾后重建恢复期间各项产值的减少以及所支付费用的总和。主要可以分为生命线工程损失和关联产业损失。根据《中国统计年鉴》的数据以及指标, 本文选取具有代表性的行业指标: 能源生产总量 ( $w_1$ )、建筑业总产值 ( $w_2$ )、交通货运量 ( $w_3$ )、社会消费品零售总额 ( $w_4$ )、货物进出口总额 ( $w_5$ )、旅游收入 ( $w_6$ )、教育经费支出 ( $w_7$ )。对以上行业指标需要进行变换处理才能作为间接经济损失评估。

令  $w_i'(i = 1, 2, \dots, 7)$  为第  $i$  个间接经济损失指标, 则有  $w_i' = 1 - \frac{w_{it}/(G_{it} - w_{it})}{w_{i(t-1)}/(G_{i(t-1)} - w_{i(t-1)})}$ , 其中,  $w_{it}$  为地震当年灾区的第  $i$  个行业指标值,  $w_{i(t-1)}$  为地震上年度灾区的第  $i$  个行业指标值,  $G_{it}$  为地震当年全国的第  $i$  个行业指标值,  $G_{i(t-1)}$  为地震上年度全国的第  $i$  个行业指标值。

区域波及损失, 是指灾害发生地以外的地区由于灾害地的毁损而引发的生产和生活费用的增加, 本文选取受灾区域面积作为区域波及损失指标, 记为  $w'_8$ 。

对选取的指标采用主成分分析法, 然后计算综合得分。得分越高说明间接经济损失越大, 反之则越小。

#### 3.2.2 主成分分析模型

主成分分析是将多指标化为少数几个综合指标

的一种统计分析方法。在问题中有很多可观测的随机变量, 选出所有随机变量的少数线性组合来尽可能刻画全部随机变量的特性, 称之为随机变量的主成分。寻求随机向量主成分, 并加以解释, 称为主成分分析, 又称为主分量分析<sup>[21-22]</sup>。

主成分分析的数学模型: 设随机向量  $X = (x_1, \dots, x_p)'$  二阶矩存在, 若常数向量  $c_1$ , 在条件  $\|c\| = 1$  下, 使  $D(c'X)$  最大, 则称  $Y_1 = c_1'X$  是  $X$  的第 1 主成分或第 1 主分量; 若常数向量  $c = c_2$  在条件  $\|c\| = 1$ ,  $\text{cov}(Y_1, c'X) = 0$  下, 使  $D(c_2'X)$  最大, 则称  $Y_2 = c_2'X$  是  $X$  的第 2 主成分; 若常数向量  $c = c_3$  在条件  $\|c\| = 1$ ,  $\text{cov}(Y_1, c'X) = 0$ ,  $\text{cov}(Y_2, c'X) = 0$  下, 使  $D(c'X)$  最大, 则称  $Y_3 = c_3'X$  是  $X$  的第 3 主成分; ……。

设随机向量  $X = (X_1, \dots, X_p)'$  方差存在为  $\Sigma$ 。  $\Sigma$  特征值从大到小为  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ ,  $\lambda_j$  对应的彼此正交单位特征向量为  $c_j$ , 则  $X$  的第  $j$  个主成分为  $c_j$  与  $X$  的内积, 即  $Y_j = c_j'X$ 。这里,  $\lambda_i / \sum_{j=1}^p \lambda_j$  称为主成分

分  $y_i$  的方差贡献率,  $\sum_{i=1}^k \lambda_i / \sum_{j=1}^p \lambda_j$  称为前  $k$  个主成分的累计方差贡献率,  $y_i$  与  $X$  第  $k$  个分量的相关系数  $\rho(y_i, x_k)$  称为因子负荷量。当某个主成分的方差贡献率很小时, 认为它提供的信息很少, 可以略去此主成分。通常取  $q$ , 使前  $q$  个主成分的累计方差贡献率达到 70% ~ 80%, 然后只考虑前  $q$  个主分量, 用它们解释随机向量  $X$  的特性, 最后利用综合评价函数  $y = \alpha_1 Y_1 + \dots + \alpha_k Y_k$  得到主成分综合得分。

### 3.3 综合经济损失评级

得到震灾的直接和间接经济损失评估后, 需要将二者结合成综合经济损失评级。首先需要将主成分得分转换为等级。

上文得到的主成分得分越高说明间接经济损失越大, 反之则越小。因此本文将间接经济损失等级分为 3 类, 即“ A ”类、“ AA ”类和“ AAA ”类。“ A ”代表其间接经济损失较小, “ AA ”代表其间接经济损失较大, “ AAA ”代表其间接经济损失巨大, 其评级标准见表 5。

表 5 间接经济损失评级

Table 5 Rating scales of indirect economic loss

等级	主成分得分
A	$(-\infty, 0]$
AA	$(0, 0.5]$
AAA	$(0.5, +\infty)$

一次地震灾害的综合等级若为“1-AAA”,说明其直接和间接经济损失均巨大,政府不仅要在灾后迅速进行救援抗灾,还应及时调整长远经济规划,应对该次灾害的长期负面经济效应.若震灾的综合等级为“5-AAA”,说明该次灾害的直接经济损失并不大,但对相关产业和周边地区的经济影响却是巨大的,政府部门不应该轻视该种灾害.若震灾的综合等级为“1-A”,说明此次灾害对经济的影响主要体现在一次性直接破坏上,政府部门可以把注意力集中在当时的赈灾救灾方面.

### 4 2006—2009 年我国地震经济损失评估

根据文献[23-27],选取 2006—2009 年间成灾的 29 次地震,从直接经济损失和间接经济损失 2 个方面进行灾害损失评估.

#### 4.1 灰色关联分析

首先采用灰色关联度方法计算各子因素与直接经济损失的关联度,计算出各子序列与母序列的灰色关联度,并对其排序,得到表 6.

表 6 各子因素关联度及其排序

子序列	关联度值	排序
震级	0.869 7	7
震源深度	0.871 4	4
发震时间	0.870 4	6
灾区乡镇数	0.872 5	3
灾区人口	0.874 3	1
地震上年度 GDP	0.873 5	2
地貌	0.870 5	5

从计算结果可知,对直接经济损失的影响最大的是灾区人口数.灾区人口越多,通常人口密度就越大,伤亡越大,损失也越严重.同时人口越多,涉及的社会物质财产也越多,相应所遭受的物质损失就会越严重,因此对直接经济损失影响最大.

其次,地震上年度 GDP 对直接经济损失影响很大.上年度 GDP 代表该地区的财富积累程度,一个地区的社会经济发展水平越高,财富积累程度越高,地震对其的经济影响越大.而灾区乡镇数衡量了城镇化水平,也代表了一个地区的经济发展水平,所以其关联度排序为第 3.

震源深度、灾区地貌、发震时间和震级都是地震的基本参数.震源深度与灾害直接损失通常为负相

关关系.一般震源越浅,破坏越大,损失越重.灾区地貌对直接经济损失的影响主要体现在 2 个方面:是否有后续灾害以及当地本来的经济状况.不同的地貌特征会决定不同的后续灾害,而且也是影响当地本来经济发展水平的一个因素.地震发生时间与直接经济损失有一定的联系,主要是因为地震发生时间影响人员伤亡数.由于夜间地震对人员逃亡增加困难,也不便于救助,因此一般夜间发生的地震所造成的直接经济损失比白天要大.震级的影响程度排在最后一位,说明震灾损失与震级之间并不存在正相关关系,震灾损失是由多种因素决定的.

各子因素与直接经济损失的灰色关联度排序如下:灾区人口 > 地震上年度 GDP > 灾区乡镇数 > 震源深度 > 灾区地貌 > 发震时间 > 震级.

#### 4.2 直接经济损失等级划分

应用灰色聚类模型,对 29 次成灾地震所产生的直接经济损失进行评级.此处灰类白化函数  $f_j^k(u_{ij})$  (第  $i$  个聚类对象对第  $j$  个聚类指标所拥有的白化函数) 确定如下:

当  $k = 1$  时,

$$f_j^1(u_{ij}) = \begin{cases} 0, & u_{ij} \leq 0.6, \\ \frac{u_{ij} - 0.6}{0.2}, & 0.6 < u_{ij} \leq 0.8, \\ 1, & 0.8 < u_{ij} \leq 1.0. \end{cases} \quad (7)$$

当  $k = 2, 3, 4$  时,

$$f_j^k(u_{ij}) = \begin{cases} (u_{ij} - u_k + 0.2)/0.2, & u_k - 0.2 < u_{ij} \leq u_k, \\ 1, & u_k < u_{ij} \leq u_k + 0.2, \\ (u_k + 0.4 - u_{ij})/0.2, & u_k + 0.2 < u_{ij} \leq u_k + 0.4, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (8)$$

其中  $u_k$  为第  $k$  灾害等级对应的分级指标下限,由上文得知,  $u_2 = 0.6, u_3 = 0.4, u_4 = 0.2$ .

当  $k = 5$  时,

$$f_j^5(u_{ij}) = \begin{cases} 1, & 0 < u_{ij} \leq 0.2, \\ (0.4 - u_{ij})/0.2, & 0.2 < u_{ij} \leq 0.4, \\ 0, & u_{ij} > 0.4. \end{cases} \quad (9)$$

由于部分指标数据无法获取,因此目前只能选用 4 个指标对直接经济损失进行灰色聚类评级.首先使用转换函数将各指标值进行转换,然后将所得转换函数值分别计算白化函数  $f_j^k(u_{ij})$  和聚类系数,即可得聚类向量,然后按照最大隶属度原则可得地震灾害直接经济损失等级划分结果,见表 7.

表7 地震灾害直接经济损失等级划分

Table 7 Rating table for direct loss of earthquake disaster

地点	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	分级结果
青海玉树	0	0.080 5	0.5	0.296 6	0.4	3
福建顺昌	0	0	0.134 4	0.25	0.865 6	5
云南宁洱	0.51	0.455 1	0.115 1	0.369 3	0.419 8	1
新疆特克斯	0.031 8	0.5	0.416 5	0	0.4	2
四川长宁	0	0	0	0	1	5
新疆于田	0.075 1	0.295 5	0.424 9	0.204 5	0.5	5
云南盈江	0	0.168 4	0.437 4	0.331 6	0.562 6	5
湖北竹山	0	0	0	0.139	1	5
甘肃肃南	0	0.174	0.5	0.326	0.4	3
新疆裕民	0.016 3	0.445 5	0.483 8	0.054 5	0.5	3
甘肃肃南	0	0.109 9	0.5	0.390 1	0.4	3
四川汶川	1	0.039 9	0	0	0	1
内蒙古鄂伦春	0	0	0.228 8	0.25	0.771 3	5
云南盈江	0.297 9	0.5	0.202 1	0.378	0.5	2
四川仁和	0.618 5	0.362 5	0.329 1	0.5	0.170 9	1
新疆和静	0	0.031 3	0.494	0.468 8	0.506	5
新疆乌恰	0	0.192 1	0.5	0.307 9	0.4	3
西藏当雄	0.022 5	0.5	0.477 5	0.369 3	0.5	2
青海海西	0	0	0.076	0.346	0.924	5
湖北秭归	0	0	0.237 9	0.25	0.762 1	5
云南瑞丽	0	0.214 3	0.420 3	0.296 1	0.579 8	5
新疆伊犁	0	0.279 5	0.5	0.220 5	0.4	3
新疆阿克苏	0.003 1	0.381	0.496 9	0.119	0.5	5
新疆阿合奇	0	0.239 8	0.5	0.260 3	0.4	3
新疆阿图什	0	0.152 6	0.485 3	0.347 4	0.514 8	5
云南楚雄	0.482 3	0.307 1	0.085 1	0.25	0.432 6	1
重庆荣昌	0	0	0	0.075 3	1	5
青海海西	0	0	0.369	0.5	0.631	5
云南大理	0.009 9	0.469 9	0.490 1	0.077 8	0.5	5

注:分类结果中“1”代表巨灾,“2”代表大灾,“3”代表中灾,“4”代表小灾,“5”代表微灾。

经过灰色聚类评级后,2007年云南宁洱地震,2008年四川汶川地震,2008年四川仁和地震和2009年云南楚雄地震被评为巨灾,其直接经济损失为巨大。2007年新疆特克斯地震,2008年云南盈江地震和2008年西藏当雄地震被评为大灾。2006年青海玉树地震,2008年甘肃肃南地震,2008年新疆裕民地震,2008年新疆乌恰地震,2009年新疆伊犁地震和2009年新疆阿合奇地震都被评为中灾,其直接经济损失较大。其余地震均被评为微灾,没有地震被评为小灾。

从直接经济损失的角度对29个样本进行评级,其结果符合我国客观实际。根据文献[25],云南宁洱6.4级地震造成的人员伤亡和财产损失占据了2007

年全部的人员伤亡和94%的财产损失,它是2006年10次灾害地震损失总和的近2.5倍。根据文献[26],2008年汶川8.0级地震造成直接经济损失8523亿元,是我国近30年来最严重的自然灾害;2008年仁和地震造成44.6亿元的直接经济损失。根据文献[27],2009年云南楚雄地震为6.0级,造成直接经济损失21.54亿元。这些数据均说明这4次灾害对经济的影响是巨大的,应被评为巨灾。被评为大灾的3次地震的直接经济损失处于1~15亿元之间,除了2008年青海海西地震和云南瑞丽地震之外,其余地震的直接经济损失均超过1亿元。说明该聚类方法的准确率很高。

### 4.3 间接经济损失等级划分

根据上文模型,本文应选取地震各地区的间接经济损失评估指标进行主成分分析,并计算主成分得分.由于不少地震所发区域跨越几个市、县,且各县的统计指标难以获取,因此本文将受灾省份作为研究对象,对该年度省内只发生过一次地震灾害的样本进行综合评估.

本文选取 2006—2009 年遭受地震灾害的省份作为评估对象,查找其间接经济损失指标并进行指标处理后,利用 SAS 软件对 12 个对象进行主成分分析.由于前 4 个特征值所占的比重为 85.52%,所以选取 4 个主成分如下:

$$P_{rin,1} = 0.1327w_1 - 0.3571w_2 + 0.01w_3 - 0.5486w_4 +$$

$$0.137w_5 - 0.2365w_6 + 0.6009w_7 + 0.3435w_8,$$

$$P_{rin,2} = 0.457w_1 + 0.4467w_2 + 0.444w_3 - 0.0214w_4 +$$

$$0.5851w_5 + 0.0617w_6 - 0.0863w_7 + 0.201w_8,$$

$$P_{rin,3} = 0.309w_1 - 0.0741w_2 - 0.5167w_3 - 0.0925w_4 +$$

$$0.2627w_5 + 0.659w_6 + 0.1806w_7 - 0.2961w_8,$$

$$P_{rin,4} = 0.2693w_1 - 0.4097w_2 - 0.0802w_3 +$$

$$0.4683w_4 - 0.0966w_5 + 0.2142w_6 - 0.1534w_7 +$$

$$0.6747w_8.$$

得到各主成分得分后,将各主成分的方差贡献率作为权重,得到 4 个主成分的线性组合值,作为其综合得分,并按照上文的评级标准得到评级结果,见表 8.

表 8 主成分得分评级

Table 8 Rating table of principal component score

评估对象	$P_{rin,1}$	$P_{rin,2}$	$P_{rin,3}$	$P_{rin,4}$	综合得分	评级
2006 年青海	0.60486	0.22558	0.79602	-0.69563	0.357594	AA
2007 年福建	-0.58957	-0.18314	-1.89301	-1.56358	-0.87574	A
2007 年云南	-0.98714	0.76929	0.21377	-0.95954	-0.22946	A
2007 年新疆	-0.61202	0.96777	0.39722	-1.09648	-0.01483	A
2008 年四川	1.93391	1.0843	-1.25238	0.97225	0.898282	AAA
2008 年新疆	1.06274	2.85627	1.38976	0.79962	1.610436	AAA
2008 年云南	-0.21157	-1.47587	0.6091	0.07453	-0.3662	A
2008 年湖北	-0.22793	0.14996	0.4787	-0.5215	-0.01303	A
2008 年甘肃	1.87797	-1.21994	-1.53071	0.29394	0.064485	AA
2008 年内蒙古	0.11423	-2.48815	1.98503	0.28877	-0.22307	A
2008 年青海	1.04435	-0.88621	-0.41517	0.81452	0.155386	AA
2009 年青海	-4.00984	0.20013	-0.77835	1.59311	-1.36386	A

注:“A”代表其间接经济损失较小,“AA”代表其间接经济损失较大,“AAA”代表其间接经济损失巨大.

### 4.4 综合经济损失评级

对该年度省内只发生过一次地震灾害的样本进行综合评估,得到 8 次地震的综合经济损失评估等级,见表 9.

表 9 综合经济损失评估等级

Table 9 Rating of comprehensive economic loss

评估对象	综合等级	评估对象	综合等级
2006 年青海玉树	3-AA	2008 年四川汶川	1-AAA
2007 年福建顺昌	5-A	2008 年甘肃肃南	3-AA
2007 年云南宁洱	1-A	2008 年内蒙古鄂伦春	5-A
2007 年新疆特克斯	2-A	2009 年青海海西	5-AA

注:数字代表该次震灾的直接经济损失等级,“1”代表巨灾,“2”代表大灾,“3”代表中灾,“4”代表小灾,“5”代表微灾;“A”代表其间接经济损失较小,“AA”代表其间接经济损失较大,“AAA”代表其间接经济损失巨大.

### 5 结论与讨论

1) 根据 K-S 检验法,我国年地震损失额近似服从均值为 12.4695、标准差为 2.2451 的对数正态分布;我国每月发生地震的次数服从参数为 4.2857 的泊松分布.

2) 运用灰色关联分析法可以证明,各子因素与直接经济损失的灰色关联度排序如下:灾区人口 > 地震上年度 GDP > 灾区乡镇数 > 震源深度 > 灾区地貌 > 发震时间 > 震级.

3) 运用灰色聚类模型和主成分分析法对 2006—2009 年发生的 8 次地震进行经济损失评级,结果比较准确,符合我国实际.

4) 由于历史数据的贫乏和间接经济损失的因子本身所具有的灰色模糊性,一些重要的指标和地

震样本无法被检验和应用,比如表示区域波及损失的指标还有待改进,同时,由于地震对当地经济的负面影响的持续时间无法衡量,而且大多数地震的负面经济效果经常被高速发展的中国经济所掩盖,所以时间波及损失忽略了长期的影响.因此评级方法还有待改进.

5) 作为世界上地震灾害多发的国家之一,我国应高度重视灾情预警、灾情评估的研究与应用,切实提高应对严重自然灾害事件的能力,为抗震减灾安国民做出贡献.

## 参考文献

### References

- [ 1 ] Mitchem J D. Place vulnerability to tornadoes in the United States: A multi-scale assessment [ M ]. University of South Carolina, 2004
- [ 2 ] 尹之潜. 地震灾害及损失预测方法 [ M ]. 北京:地震出版社, 1996: 201  
YIN Zhiqian. Prediction methods of earthquake disaster and its losses [ M ]. Beijing: Seismological Press, 1996: 201
- [ 3 ] 赵阿兴, 马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究 [ J ]. 自然灾害学报, 1993, 2(3): 1-7  
ZHAO Axing, MA Zongjin. Appraising study for the loss evaluation system of natural disasters [ J ]. Journal of Natural Disasters, 1993, 2(3): 1-7
- [ 4 ] 于庆东, 沈荣芳. 自然灾害绝对灾情分级模型及应用 [ J ]. 系统工程理论方法应用, 1995, 4(3): 47-52  
YU Qingdong, SHEN Rongfang. An evaluation model of the absolute status of natural disaster and its application [ J ]. Systems Engineering-theory Methodology Application, 1995, 4(3): 47-52
- [ 5 ] 任鲁川. 灾害损失等级划分的模糊灾度判别法 [ J ]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 13-17  
REN Luchuan. The measurement method of fuzzy disaster degree for classification of disaster loss [ J ]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(3): 13-17
- [ 6 ] 于庆东, 沈荣芳. 自然灾害综合灾情分级模型及应用 [ J ]. 灾害学, 1997, 12(3): 12-17  
YU Qingdong, SHEN Rongfang. A grading model and its application of the comprehensive situation of natural disaster [ J ]. Journal of Catastrophology, 1997, 12(3): 12-17
- [ 7 ] 毛国敏, 顾建华, 吴新燕. 地震灾害的分类和分级方法研究 [ J ]. 地震学报, 2007, 29(4): 426-436  
MAO Guomin, GU Jianhua, WU Xinyan. Method study of classification and gradation of earthquake disasters [ J ]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(4): 426-436
- [ 8 ] 常相全, 韩静轩, 张波. 基于因子分析的地震灾害评价指标体系研究 [ J ]. 统计与决策, 2009(7): 46-48  
CHANG Xiangquan, HAN Jingxuan, ZHANG Bo. Research on the evaluation of index system of earthquake disasters based on factor analysis method [ J ]. Statistics and Decision, 2009(7): 46-48
- [ 9 ] 谷莘, 常相全, 韩静轩. 基于神经网络的地震灾害经济损失评价模型 [ J ]. 统计与决策, 2009(10): 45-47  
GU Shen, CHANG Xiangquan, HAN Jingxuan. Research on the evaluation models of economic losses of earthquake disasters based on neural network method [ J ]. Statistics and Decision, 2009(10): 45-47
- [ 10 ] 童蕾. 地震灾害及决策的灰色模型研究 [ D ]. 南京: 河海大学水利水电工程学院, 2005  
TONG Lei. Research on the gray model of earthquake disaster and decision making [ D ]. Nanjing: College of Water Conservancy & Hydropower Engineering, Hohai University, 2005
- [ 11 ] 徐道一, 孙文鹏. 歹字型构造体系在地震预测中的应用的关系 [ J ]. 地质力学学报, 2011, 17(1): 64-73  
XU Daoyi, SUN Wenpeng. Application of the eta-type tectonic series suggested by LI Siguang to earthquake prediction [ J ]. Journal of Geomechanics, 2011, 17(1): 64-73
- [ 12 ] 徐道一. 21 世纪初全球巨灾群发期的认识及其预测意义 [ C ] // 中国地球物理 2010. 北京: 地震出版社, 2010: 384-385  
XU Daoyi. The consideration of the clustering period of great disasters during the beginning of 21 century and its prediction significance [ C ] // The Chinese Geophysics 2010. Beijing: Seismological Press, 2010: 384-385
- [ 13 ] 门可佩. 青藏北块  $M \geq 7$  强震有序网络结构与汶川 8 级大震预测回顾 [ J ]. 中国工程科学, 2009, 11(6): 82-88  
MEN Kepei. Orderly network structure of  $M \geq 7$  strong earthquakes in the north block of Tibet-Plateau and retrospect of prediction for Wenchuan M8.0 earthquake [ J ]. Engineering Sciences, 2009, 11(6): 82-88
- [ 14 ] 任晓松, 凌海梅. 建筑物地震保险的若干问题 [ J ]. 世界地震工程, 2006, 22(1): 99-103  
REN Xiaosong, LING Haimei. Some problems for earthquake insurance of buildings [ J ]. World Earthquake engineering, 2006, 22(1): 99-103
- [ 15 ] 门可佩. 新疆地区  $M \geq 7$  强震有序网络结构及其预测研究 [ J ]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2012, 4(3): 270-278  
MEN Kepei. Ordered network structure of  $M \geq 7$  strong earthquakes and its prediction in Xinjiang [ J ]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(3): 270-278
- [ 16 ] 门可佩. 青藏高原北部地区  $M \geq 7$  强震有序网络结构及其预测研究 [ J ]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2012, 4(4): 307-315  
MEN Kepei. Ordered network structure of  $M \geq 7$  strong earthquakes and its prediction in the northern Tibetan Plateau region [ J ]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(4): 307-315
- [ 17 ] 门可佩. 中国大陆 8 级大震有序网络结构及其预测研究 [ J ]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2012, 4(5): 466-475  
MEN Kepei. Research on ordered network structure of  $M \geq 8$  great earthquakes and its prediction in Mainland China [ J ]. Journal of Nanjing University of Information

- Science & Technology: Natural Science Edition, 2012, 4 (5): 466-475
- [18] Conover W J. Practical nonparametric statistics [M]. 3rd Ed. New York: Wiley, 1999
- [19] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用 [M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2004  
LIU Sifeng, DANG Yaoguo, FANG Zhigeng, et al. Grey system theory and its application [M]. 3rd Ed. Beijing: Science Press, 2004
- [20] 董奋义, 刘俊娟, 刘斌. 灰色综合聚类法的改进及其在河南省农村经济发展水平评价中的应用 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(4): 478-483  
DONG Fenyi, LIU Junjuan, LIU Bin. Improved grey Integrated clustering method and its application in the evaluation to rural economic development of Henan province [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2010, 26(4): 478-483
- [21] Anderson T W. An introduction to multivariate statistical analysis [M]. 2nd Ed. New York: Wiley, 1984
- [22] Rencher A C. Methods of multivariate analysis [M]. New York: Wiley, 2002
- [23] 国家统计局. 中国统计年鉴 (2007—2010) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007—2010  
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2007-2010
- [24] 都昌庭, 李文巧, 卢宁, 等. 2006 年青海玉树 5.0、5.6、5.4 级地震灾害损失及震害特点 [J]. 震灾防御技术, 2006, 1(4): 371-377  
DU Changting, LI Wenqiao, LU Ning, et al. Characteristics of loss and hazards of Yushu earthquakes with  $M = 5.0, 5.6$  and  $5.4$  in Qinghai province, 2006 [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2006, 1(4): 371-377
- [25] 米宏亮, 李洋, 侯建盛. 2007 年中国大陆地震灾害损失述评 [J]. 国际地震动态, 2008(2): 41-45  
MI Hongliang, LI Yang, HOU Jiansheng. Earthquake disasters in Chinese mainland in 2007 [J]. Recent Developments in World Seismology, 2008(2): 41-45
- [26] 郑通彦, 李洋, 侯建盛, 等. 2008 年中国大陆地震灾害损失述评 [J]. 灾害学, 2010, 25(2): 112-118  
ZHENG Tongyan, LI Yang, HOU Jiansheng, et al. Review on earthquake disaster loss in Chinese mainland in 2008 [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(2): 112-118
- [27] 郑通彦, 李洋, 侯建盛, 等. 2009 年中国大陆地震灾害损失述评 [J]. 灾害学, 2010, 25(4): 96-101  
ZHENG Tongyan, LI Yang, HOU Jiansheng, et al. A review of earthquake disasters loss in mainland China in 2009 [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(4): 96-101

## Evaluation models and empirical analysis of earthquake disaster losses in China

MEN Kepei<sup>1</sup> CUI Lei<sup>1</sup>

1 School of Mathematics & Statistics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** China is one of the countries which have the most earthquake disasters in the world, to evaluate the losses of earthquake therefore has important social and economic value. This paper focuses on the assessment of economic losses of earthquake disasters, which is divided into two parts, namely direct economic loss and indirect economic loss. Firstly, K-S test is used to determine the distribution of the annual earthquake losses in China, and the monthly frequency of earthquake is calculated and fitted. Secondly, grey clustering method and principal component analysis (PCA) are applied for direct economic loss rating and indirect economic loss rating, respectively. Finally, the economic losses due to the earthquakes happened during 2006—2009 in China are evaluated, and eight earthquakes are rated based on the comprehensive economic loss.

**Key words** earthquake disaster; economic loss rating; grey relation-cluster analysis; principal component analysis; evaluation model