

48-56

p315.9

应用灰色系统理论进行地震灾害
等级划分和灾情分析比较

杨仕升

(广西壮族自治区地震局, 南宁 530022)

摘要 通过对地震时人员死亡、受伤、房屋破坏和直接经济损失4个灾害损失指标的函数转换,使得用不同的损失指标判别灾害等级的标准取得了统一,然后,应用灰色聚类方法划分地震灾害等级,并用灰色关联度排序方法对不同的灾情进行分析比较。同时还对1966~1983年我国大陆7次重要地震和1995年我国大陆17次地震进行了灾害等级划分和不同灾情的分析比较。结果表明,该方法基本可定量准确地评价地震灾情。

主题词: 震害评估, 灰色理论, 灾害损失指标

地震灾害

等级划分

灾情

1 引言

目前国内外对于地震灾害等级的划分尚无统一的标准和方法。马宗晋、高建国、王子平、于庆东、冯利华、尹之潜等人提出的灾度和震灾等级的划分标准是用绝对数量或用相对比值描述灾害的大小的,都较好地反映了地震灾害损失。但在选取反映地震灾害损失的因素方面和对不同灾情的分析比较方面还存在一些值得探讨的问题。房屋破坏(包括毁坏和严重破坏)这个因素不仅反映经济损失,而且也间接地反映救灾规模和震后恢复的难易程度;同时在一些地震中往往伴有人员伤亡,有时是伤多亡少,而受伤人员(包括重伤和轻伤)这个因素间接地反映受灾面及灾害程度。因此在选取地震灾害等级划分指标时,本文选用了地震死亡人数、受伤人数、房屋破坏面积和直接经济损失这4个因素,从而使得分级结果能较全面地反映地震灾害的实际情况。

2 地震灾害等级划分和单指标分级标准

参考马宗晋的“灾度”概念及尹之潜的分级标准,将地震灾害等级分为5级:巨灾、大灾、中灾、小灾和微灾。

根据前人已有成果并考虑我国地震灾害的实际资料,本人采用的地震灾害单指标分级标准如表1。

为了简化计算和实现用不同指标判别地震灾害等级的标准的统一,故引入相应的转换函数对表1的分级标准进行等价变换。

收稿日期:1996-07-01

作者简介:杨仕升,男,1960年7月生,工程师,从事地震预报和灾害物理研究。

表1 地震灾害等级单指标划分标准

分级指标	巨灾	大灾	中灾	小灾	微灾
死亡人数(人)	$(10^4, +\infty)$	$(10^3, 10^4)$	$(10^2, 10^3)$	$(10, 10^2)$	$(0, 10)$
受伤人数(人)	$(2 \times 10^4, +\infty)$	$(2 \times 10^3, 2 \times 10^4)$	$(2 \times 10^2, 2 \times 10^3)$	$(2 \times 10, 2 \times 10^2)$	$(0, 20)$
房屋破坏(m^2)	$(10^6, +\infty)$	$(10^5, 10^6)$	$(10^4, 10^5)$	$(10^3, 10^4)$	$(10^2, 10^3)$
直接损失(元)	$(10^{10}, +\infty)$	$(10^9, 10^{10})$	$(10^8, 10^9)$	$(10^7, 10^8)$	$(10^6, 10^7)$

(1)对死亡人数引入转换函数

$$V(x) = \begin{cases} 1 & x > 10^5 \\ 0.2\lg x & 1 < x \leq 10^5 \\ 0 & x \leq 1 \end{cases}$$

(2)对受伤人数引入转换函数

$$V(x) = \begin{cases} 1 & x > 2 \times 10^5 \\ 0.2\lg(\frac{x}{2}) & 2 < x \leq 2 \times 10^5 \\ 0 & x \leq 2 \end{cases}$$

(3)对房屋破坏引入转换函数

$$V(x) = \begin{cases} 1 & x > 10^7 \\ 0.2\lg(\frac{x}{10^2}) & 10^2 < x \leq 10^7 \\ 0 & x \leq 10^2 \end{cases}$$

(4)对直接经济损失引入转换函数

$$V(x) = \begin{cases} 1 & x > 10^{11} \\ 0.2\lg(\frac{x}{10^6}) & 10^6 < x \leq 10^{11} \\ 0 & x \leq 10^6 \end{cases}$$

转换函数中, x 分别表示死亡人数(人)、受伤人数(人)、房屋破坏面积(m^2) 和直接经济损失(人民币元), $V(x)$ 为相应的灾害等级转换函数值. 转换后得到新的分级标准见表2.

表2 转换函数值与地震灾害等级的对应关系

灾害等级	巨灾	大灾	中灾	小灾	微灾
转换函数值	(0.8, 1.0)	(0.6, 0.8)	(0.4, 0.6)	(0.2, 0.4)	(0, 0.2)

若要对几次地震灾害进行等级划分, 则将其第 i 次($i = 1, 2, \dots, n$) 地震灾害中的死亡人数、受伤人数、房屋破坏、直接经济损失代入相应的转换函数 $V(x)$, 得到该次地震的灾害一指标序列 $V_i(u_{ij}), u_{ij}(i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4)$ 表示第 i 次地震灾害的第 j 项分级指标的转换函数值. 由此可得到全部几次地震的灾害一指标矩阵

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

3 应用灰色聚类方法进行地震灾害等级划分的计算

把要进行等级划分的地震灾害 $i = 1, 2, \dots, n$ 记为聚类对象, 分级指标 $j = 1, 2, 3, 4$ (分别对应于死亡人数、受伤人数、房屋破坏、直接损失) 记为聚类指标, 划分等级 $k = 1, 2, 3, 4, 5$ (分别对应于巨灾、大灾、中灾、小灾和微灾) 记为聚类灰类, 则应用灰色聚类方法进行灾害等级划分的步骤如下:

第一步: 根据灾害—指标矩阵来构造样本矩阵 u .

第二步: 确定灰类白化函数 $f_{jk}(u_{ij})$. $f_{jk}(u_{ij})$ 为第 i 个聚类对象对第 j 个聚类指标所拥有的白化函数. 当 $k = 1$ 时,

$$f_{j1}(u_{ij}) = \begin{cases} 0 & u_{ij} \leq 0.6 \\ \frac{u_{ij} - 0.6}{0.2} & 0.6 < u_{ij} \leq 0.8 \\ 1 & 0.8 < u_{ij} \leq 1.0 \end{cases}$$

当 $k = 2, 3, 4$ 时,

$$f_{jk}(u_{ij}) = \begin{cases} \frac{u_{ij} - u_k + 0.2}{0.2} & u_k - 0.2 < u_{ij} \leq u_k \\ 1 & u_k < u_{ij} \leq u_k + 0.2 \\ \frac{u_k + 0.4 - u_{ij}}{0.2} & u_k + 0.2 < u_{ij} \leq u_k + 0.4 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

u_k 为第 k 灾害等级对应的分级指标下限 ($u_2 = 0.6, u_3 = 0.4, u_4 = 0.2$). 当 $k = 5$ 时,

$$f_{j5}(u_{ij}) = \begin{cases} 1 & 0 < u_{ij} \leq 0.2 \\ \frac{0.4 - u_{ij}}{0.2} & 0.2 < u_{ij} \leq 0.4 \\ 0 & u_{ij} > 0.4 \end{cases}$$

第三步: 求聚类权 η_{jk} . 第 j 个指标对于第 k 个灰类的权为

$$\eta_{jk} = \frac{\lambda_{jk}}{\sum_{j=1}^4 \lambda_{jk}}$$

λ_{jk} 表示按第 j 个指标划为第 k 灾害等级时的分级指标的下限. 显然, 对本问题有 $\eta_{jk} = \frac{1}{4}$, 即对所有的分级指标, 属于某个灾害等级的权值都相同.

第四步: 求聚类系数. 第 i 个聚类对象对于第 k 个灰类的聚类系数为

$$\sigma_{ik} = \sum_{j=1}^4 f_{jk}(u_{ij}) \cdot \eta_{jk} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 f_{jk}(u_{ij})$$

第五步: 构成聚类向量

$$\sigma_i = (\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{i5}) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

第六步: 进行聚类. 根据最大隶属度原则, 取最大的 σ_{ik} ($k = 1, 2, 3, 4, 5$) 所对应的 k 值为聚类结果, 由此得到灾害等级划分结果.

4 用灰色关联度排序方法进行不同灾情的分析比较

对地震灾害的不同灾情的比较, 可应用灰色关联度排序的方法按如下步骤进行:

第一步:取母因素为 $V_0 = (1, 1, 1, 1)$.

第二步:各子因素 $V_i(u_{ij})$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 即为需要比较灾情的各次地震的灾害 — 指标序列.

第三步:求差序列

$$\Delta_{\alpha}(j) = |V_0(u_{0j}) - V_i(u_{ij})| \quad (i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, 4)$$

第四步:求两级最大差与最小差

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_j |V_0(u_{0j}) - V_i(u_{ij})|$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_j |V_0(u_{0j}) - V_i(u_{ij})|$$

第五步:计算关联系数

$$\xi_{\alpha}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{\alpha}(j) + \rho\Delta_{\max}} \quad (\text{取 } \rho = 0.5)$$

第六步:计算关联度

$$r_{\alpha} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 \xi_{\alpha}(j)$$

第七步:排出关联序.按关联度大小排列,关联度 r_{α} 越大,它所对应的那次地震的灾情就越重,反之就越轻.用此办法既可比较同一灾害等级中不同地震灾情的轻重次序,也可以比较相邻灾级中灾情的接近程度.

5 灾害等级划分及不同灾情分析比较实例

本文选取我国大陆 1966~1983 年 7 次重要地震及 1995 年 17 次有灾害记录的地震(灾害损失见表 3 和表 4)进行了灾害等级划分和不同灾情的分析比较.

表 3 我国大陆 1966~1983 年 7 次重要地震灾害损失

编号	发震时间	震级 (M_s)	地点	死亡人数 (人)	受伤人数 (人)	房屋破坏 (m^2)	直接损失 (亿元)
1	1966-03-08	6.8	邢台	8 064	3 845	$8\,128 \times 10^4$	10.0
2	1975-02-04	7.3	海城	1 328	18 308	$2\,405 \times 10^4$	8.1
3	1976-05-29	7.6	龙陵	171	3 642	892.2×10^4	1.4
4	1976-07-28	7.8	唐山	242 769	164 000	$9\,959 \times 10^4$	100.0
5	1976-08-16	7.2	松潘	41	756	8×10^4	0.9
6	1979-07-09	6.0	溧阳	42	3 094	265.5×10^4	1.3
7	1983-11-07	5.9	菏泽	46	844	577.6×10^4	2.4

5.1 地震灾害分级指标的函数转换

用前面引入的转换函数将表 3 和表 4 中的灾害分级指标分别转换成表 5 和表 6 的灾害分级指标转换函数值.

5.2 地震灾害等级的灰色聚类

用表 5 和表 6 中的函数转换值分别计算白化函数 $f_{jk}(u_{ij})$ 和聚类系数即可得到聚类向量 σ_{jk} , 然后按最大隶属度原则可得到地震灾害等级划分结果.聚类向量 σ_{jk} 及灾害等级划分结果

见表7和表8.

表4 1995年度我国大陆17次地震的灾害损失

编号	发震日期	震级 (M_s)	地点	死亡人数 (人)	受伤人数 (人)	房屋破坏 (m^2)	直接损失 (万元)
8	01-10	6.2	北部湾	1	37	2.04×10^4	991
9	02-18	5.1	云南沧源	0	0	670	730
10	03-19	5.1	新疆和硕	0	0	30	45
11	04-25	5.6	云南金平	0	20	4 230	1 100
12	04-26	5.1	四川沐川	0	5	2.178×10^4	1 481
13	05-02	5.8	新疆乌苏南	2	3	2 560	97
14	05-29	5.0	新疆吉木乃	0	0	11 190	384
15	07-09	5.3	青海共和	0	0	0	165
16	07-12	7.3	中缅边界	11	136	27.81×10^4	20 550
17	07-22	5.8	甘肃永登	12	594	21.42×10^4	10 557
18	09-20	5.2	山东苍山	0	320	220	970
19	09-26	5.3	新疆拜城	0	1	2 280	352
20	10-06	5.0	河北唐山	0	3	0	194
21	10-24	6.5	云南武定	59	13 903	139.71×10^4	77 997
22	11-01	5.2	新疆昭苏	0	0	0	58
23	12-18	6.2	青海玛多	0	0	0	218
24	12-26	4.5	四川荣昌	0	2	3 100	456

表5 我国大陆1966~1983年7次重要地震灾害分级指标转换函数值

编号 <i>i</i>	$V_i(u_i)$	死亡人数	受伤人数	房屋破坏	直接损失
1	V_1	0.78	0.66	1.00	0.60
2	V_2	0.62	0.79	1.00	0.58
3	V_3	0.45	0.65	0.99	0.43
4	V_4	1.00	0.98	1.00	0.80
5	V_5	0.32	0.52	0.58	0.39
6	V_6	0.32	0.64	0.88	0.42
7	V_7	0.33	0.53	0.95	0.48

5.3 不同灾情的灰色关联度计算

分别计算表5中各子因素 $V_1, V_2, \dots, V_7$ 对母因素 $V_0 = (1, 1, 1, 1)$ 和表6中各子因素 $V_8, V_9, \dots, V_{24}$ 对母因素 $V_0 = (1, 1, 1, 1)$ 的关联度, 得到表9和表10.

5.4 分析比较及讨论

就我国大陆1966~1983年7次重要地震灾害而言, 由表7可知, 唐山地震(编号4)灾害等级为巨灾($k=1$), 邢台、海城地震(编号分别为1和2)灾害等级为大灾($k=2$), 龙陵、松潘、

溧阳、菏泽地震(编号分别为3、5、6和7)灾害等级同属中灾($k=3$).

表6 1995年度我国大陆17次地震灾害分级指标转换函数值

编号 i	$V_i(u_0)$	死亡人数	受伤人数	房屋破坏	直接损失
8	V_8	0	0.25	0.46	0.19
9	V_9	0	0	0.17	0.17
10	V_{10}	0	0	0	0
11	V_{11}	0	0.20	0.33	0.21
12	V_{12}	0	0.08	0.47	0.23
13	V_{13}	0.06	0.04	0.28	0
14	V_{14}	0	0	0.41	0.12
15	V_{15}	0	0	0	0.04
16	V_{16}	0.21	0.37	0.69	0.46
17	V_{17}	0.22	0.49	0.67	0.40
18	V_{18}	0	0.44	0.07	0.19
19	V_{19}	0	0	0.27	0.11
20	V_{20}	0	0.04	0	0.06
21	V_{21}	0.35	0.77	0.83	0.58
22	V_{22}	0	0	0	0
23	V_{23}	0	0	0	0.07
24	V_{24}	0	0	0.30	0.13

表7 我国大陆1966~1983年7次重要地震灾害聚类向量及分级结果

σ_{ik}	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	分级结果
σ_{1k}	0.55	0.75	0.45	0	0	2
σ_{2k}	0.51	0.73	0.49	0.03	0	2
σ_{3k}	0.30	0.36	0.69	0.40	0	3
σ_{4k}	1.00	0.28	0	0	0	1
σ_{5k}	0	0.36	0.89	0.64	0.11	3
σ_{6k}	0.24	0.43	0.60	0.48	0.10	3
σ_{7k}	0.19	0.33	0.66	0.49	0.09	3

有关1995年我国大陆17次地震的灾害,由表8可知,云南武定地震(编号21)灾害等级为大灾($k=2$),甘肃永登地震(编号17)灾害等级为中灾($k=3$),北部湾、云南金平、四川沐川、新疆吉木乃、中缅边界、山东苍山、四川荣昌7次地震(编号分别为8、11、12、14、18和24)灾害等级同属小灾($k=4$),其余的8次地震即云南沧源、新疆和硕、新疆乌苏南、青海共和、新疆拜城、河北唐山、新疆昭苏和青海玛多地震灾害等级均为微灾($k=5$).

从救灾规模上来分析一下上述灾害等级的划分.巨灾,除国家负责之外,还应考虑争取国际援助;大灾一般由国家负责,可以考虑国际援助;中灾由省级负责(贫困省区除外);小灾和微灾由省以下地方政府负责.显然,上面的灾害等级划分是比较合乎我国救灾实际情况的.从恢

复时间来分析,巨灾,需2a以上;大灾1a以上;中灾0.5a以上;小灾三个月以上;微灾一个月以上.显然,上面的灾害等级划分结果是比较合理的.因此,与马宗晋和高建国的灾度标准、王子平的震灾分级、尹之潜的震害分级标准的分级结果相比较,可见上述灾害等级划分是合理而实用的.

表8 1995年度我国大陆17次地震灾害聚类向量及分级结果

σ_{ik}	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	分级结果
σ_{8k}	0	0	0.31	0.66	0.44	4
σ_{9k}	0	0	0	0.41	0.50	5
σ_{10k}	0	0	0	0	0	5
σ_{11k}	0	0	0.18	0.75	0.58	4
σ_{12k}	0	0.09	0.29	0.51	0.46	4
σ_{13k}	0	0	0.10	0.38	0.65	5
σ_{14k}	0	0.01	0.25	0.39	0.25	4
σ_{15k}	0	0	0	0.05	0.25	5
σ_{16k}	0.11	0.33	0.61	0.68	0.28	4
σ_{17k}	0.09	0.36	0.69	0.64	0.23	3
σ_{18k}	0	0.05	0.25	0.53	0.50	4
σ_{19k}	0	0	0.09	0.39	0.41	5
σ_{20k}	0	0	0	0.13	0.50	5
σ_{21k}	0.46	0.69	0.48	0.25	0	2
σ_{22k}	0	0	0	0	0	5
σ_{23k}	0	0	0	0.09	0.25	5
σ_{24k}	0	0	0.11	0.41	0.39	4

通过关联度大小的差别可以比较不同的地震灾情.由表9可知,关联度 $r_{04} = 0.89$ (唐山)远大于 $r_{01} = 0.63$ (邢台)和 $r_{02} = 0.57$ (海城),因此其灾情也远重于这两次地震;邢台和海城同属大灾,但因 $r_{01} > r_{02}$,由此可知,地震灾情是邢台重于海城.同理,关联度 $r_{03} > r_{07} > r_{06} > r_{05}$,因此同属中灾的4次地震中,灾情由重到轻的顺序是:龙陵、菏泽、溧阳、松潘.

由表10可知(因表9和表10中的关联度是分别单独计算的,故两者不宜进行比较),在1995年我国大陆的地震灾害中, $r_{021} = 0.8168$ (云南武定, $k=2$)灾情最重,该次地震造成的伤亡人数和直接经济损失都约占全国全年总数的2/3.而 $r_{017} = 0.6664$ (甘肃永登, $k=3$)和 $r_{016} = 0.6591$ (中缅边界, $k=4$)这两次地震分属不同灾害等级,但由关联度的差别可看出,灾情是相近的.这一点从表4的实际损失情况也可看出.因为 $r_{016} > r_{018} > r_{08} > r_{012} > r_{011} > r_{014} > r_{024}$,所以同属小灾的地震中,灾情由重到轻的排序为:中缅边界、山东苍山、北部湾、四川沐川、云南金平、新疆吉木乃、四川荣昌.同理,因为 $r_{019} > r_{09} > r_{013} > r_{020} > r_{023} > r_{015} > r_{022} > r_{010}$,所以同属微灾的地震中,灾情由重到轻的排序为:新疆拜城、云南沧源、新疆乌苏南、河北唐山、青海玛多、青海共和、新疆昭苏、新疆和硕.

此外,若要将表6和表7中均属同一灾级的地震混合在一起比较其灾情轻重,例如比较邢台、海城和云南武定(同属 $k=2$),则只要计算其关联度即可比较.

表9 我国大陆1966~1983年7次重要地震灾害损失关联度

编号 <i>i</i>	关联度 r_{α}	编号 <i>i</i>	关联度 r_{α}	编号 <i>i</i>	关联度 r_{α}
1	0.63	4	0.89	7	0.43
2	0.57	5	0.36		
3	0.45	6	0.42		

表10 1995年我国大陆17次地震灾害损失关联度

编号 <i>i</i>	关联度 r_{α}	编号 <i>i</i>	关联度 r_{α}	编号 <i>i</i>	关联度 r_{α}
8	0.5542	14	0.5171	20	0.4951
9	0.5022	15	0.4900	21	0.8168
10	0.4867	16	0.6591	22	0.4867
11	0.5358	17	0.6664	23	0.4926
12	0.5423	18	0.5548	24	0.5059
13	0.5019	19	0.5023		

注:因几次灾情关联度接近,故取小数点后4位。

6 结论

本文在考虑了地震时死亡人数、受伤人数、房屋破坏、直接经济损失这4个因素的前提下,通过灰色聚类方法进行了地震灾害等级划分的计算。划分的结果是实用合理的,可以作为确定救灾规模的依据。同时,将灰色关联度的计算用于不同地震灾情的比较分析,这不仅可以比较同一灾害等级中不同的灾情,也可以比较不同灾级中灾情的差别程度,因而该方法基本符合定量、准确评价灾情的要求。

参考文献

- 1 国家地震局,等.中国大陆地震灾害损失评估汇编.北京:地震出版社,1995.130~131.
- 2 尹之潜.地震灾害及损失预测方法.北京:地震出版社,1995.93~95.
- 3 羌立新,等.地震灾害经济损失估算与预测方法.自然灾害学报,1995,4(4).
- 4 于庆东,等.自然灾害绝对灾情分级模型及应用.系统工程理论方法应用,1995,4(3).
- 5 易德生,等.灰色理论与方法.北京:石油工业出版社,1992.34~35.
- 6 郭增建,等.地震对策.北京:地震出版社,1986.
- 7 郭增建,秦保燕.灾害物理学.西安:陕西科学技术出版社,1989.

ANALYSIS AND COMPARISON OF SEISMIC DISASTER SITUATIONS AND DAMAGE GRADE DIVISION BY USING GREY SYSTEM THEORY

YANG Shisheng

(*Seismological Bureau of Guangxi, Nanning 530022*)

Abstract

In this paper, through the function transformation of four disaster loss indexes about the dead number, the injured number, destroyed buildings and direct economic loss caused by earthquakes, the standards to distinguish these disaster grades by using different loss indexes are unified. The earthquake disaster grades are divided by the grey cluster method, and the different earthquake disaster situations are compared by the sequencing method of the grey associative degree. The disaster grades of 7 important earthquakes in Chinese mainland from 1966 to 1983 and 17 earthquakes in Chinese mainland in 1995 are divided and their disaster conditions are compared by using the methods. The results show that the methods basically can evaluate quantitatively and accurately the seismic damage situation.

Key words: Earthquake disaster assessment, Grey theory, Disaster loss index

=====

清平乐

西北地震学报十八年*

一九九七年春

十八年前，
斯刊诞学坛。
蜂蝶辛劳功不没，
换得花丽果繁。

西北山高风寒，
震灾起伏连年。
研讨地秘防灾，
日新月异向前。

* 《西北地震学报》创刊者曾任编委会主编现任中国地球物理学会天灾预测专业委员会主任的郭增建教授为回忆该刊十八年的发展历程而作。