

文章编号: 1004- 4574(2010) 06- 0017- 10

1970年云南通海 7. 8 级地震烈度震亡比调查分析

李永强^{1, 2}, 聂高众³, 杨杰英²

(1 中国科学技术大学 安徽 合肥 230026 2 云南省地震局 云南 昆明 650224 3 中国地震局 地质研究所, 北京 100029)

摘 要: 首先系统收集整理了通海地震灾区地震当年县、公社、大队、小队各级行政单元的人口数量、震亡人数和所处烈度等级; 然后计算各行政单元人员震亡比, 得到了不同行政单元烈度震亡比矩阵, 分析了不同行政单元震亡数、震亡比的空间分布特征; 最后用回归分析方法研究了烈度震亡比关系, 建立了 Logist 烈度震亡比模型。结果表明, 通海地震烈度震亡比具有典型的非线性增长特征, 所建烈度震亡比矩阵对云南农村和乡镇地区仍具有实用意义。

关键词: 通海 7. 8 级地震; 人员伤亡; 震亡比; 震亡比增长模型; 云南
中图分类号: P315. 9 文献标识码: A

Relation between ratio of earthquake-caused death and seismic intensity of the M_s 7. 8 Tonghai, Yunnan earthquake in 1970

LI Yong-qiang^{1, 2}, NI Gao-zhong³, YANG Jie-ying²

(1 University of Science and Technology of China Hefei 230026 China; 2 Yunnan Earthquake Prevention and Disaster Reduction 650224 3 Institute Geology China Earthquake Administration Beijing 100029, China)

Abstract Firstly we collected the data of the population, caused death, and seismic intensity of the M_s 7. 8 Tonghai earthquake-stricken area which includes 4 administrative levels such as county(or district), people's commune, production brigade and production team. Then we deduced the matrixes which describes the relation between the earthquake-caused death ratio and the seismic intensity at different level of administrative units and analyzed the spatial distribution characteristics of the earthquake-caused death number and death ratio in the administrative units. Finally the Logist model depicting the relation between the earthquake-caused death ratio and the seismic intensity was built up through regression analysis. It is found that the earthquake-caused death ratio features a typical nonlinear growth with the seismic intensity and the matrix is practical for the estimation of the earthquake casualties in the villages and towns in Yunnan in future.

Key words M_s 7. 8 Tonghai earthquake; casualty; earthquake-caused death ratio; growth model of earthquake-caused death ratio; Yunnan

1970年 1 月 5 日 01 时 00 分在云南通海、峨山、建水一带发生了 M_s 7. 8 级强烈地震, 震中位于北纬 24° 1', 东经 102° 6', 震源深度 13km。震中烈度高达 10 度, 15 621 人震亡, 26 783 人受伤。这是自中华人民共和国成立以来, 除 1976 年唐山地震、2008 年汶川地震以外, 人员伤亡和经济损失在我国是最惨重的。汶川地震应急救援的经验再次表明, 基于不同行政单元的震亡快速评估是政府应急决策的关键依据, 震亡快速评估应该向分析空间化、单元多样化方向发展。也就是说人员伤亡的评估应该是基于县、区、乡镇、行政村、自然村

收稿日期: 2009- 10- 25 修订日期: 2010- 09- 23

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BAK50B03- 04)

作者简介: 李永强 (1963-), 男, 正高级工程师, 主要从事地震应急和地震灾害研究 E-mail: lyqcy176@ shou. com

等不同行政级别的可视化分级评估,而不仅仅是缺乏空间和行政区划表述的震亡总数评估。基于这种考虑,有必要按照新思路对我国大震人员震亡进行深入研究。

笔者认为,前人对通海地震人员震亡研究较少,通海地震人员震亡需要深入研究。首先,由于历史的原因,通海地震人员伤亡资料在 20 世纪作为机密资料予以保存,直到 2000 年才予解密。其次,深入研究通海地震人员震亡特征,对认识当前和未来云南农村及城镇地区震亡风险仍具有现实意义。通海地震灾区房屋主要以土木结构房屋为主^[1],根据 1993 年实施规范化地震灾害损失评估以来云南 29 个地震灾区房屋结构比例统计^[2],云南农村和城镇地区土木结构房屋比例为 69% ~ 91%。最后,前人未对通海地震人员震亡进行系统调查分析,包括县、公社、大队、自然村四个不同行政区划级别的人员震亡数量及震亡率,以及基于 GIS 技术的人员震亡空间分布特征。探讨基于不同行政区划单元的烈度震亡空间关系,对于大震巨灾人员伤亡数量、空间分布的快速评估具有重要意义。

基于上述考虑,本文将从深入调查入手,探讨通海地震不同行政单元的震亡空间特征及其与烈度关系,以期云南大震巨灾的人员震亡快速评估工作提供参考经验。本文的思路是按照行政区划单元,由粗到细,从县区 公社 大队 小队 4 个级别调查地震当年各单元人口数、震亡数、烈度等级,计算地震烈度 - 人员震亡比。分析不同单元震亡数与烈度震亡比特征,探讨烈度震亡比关系。地震当年的县公社、大队、小队相当于当前的乡镇、行政村、自然村。

1 资料的调查与分析方法

笔者通过走访调查方式,查阅了云南省档案馆、玉溪市档案馆、玉溪市地震局、玉溪市民政局、红河州档案馆、红河州地震局、红河州民政局以及相关灾区县档案馆、民政局、地震局等部门,获取了大量资料,其中两份最为重要,分别是云南省革委会抗震救灾办公室于 1970 年 6 月 15 日编写的通海大地震 关于地震受灾情况的报告。该报告详细记载了 7 个受灾县的面积、公社数量、大队数量、小队数量、总户数、总人数、震亡数、受伤数;还详细记载了各个受灾公社的总户数、总人数、震亡人数、受伤人数。另一份是中央地震工作小组云南地震队 1970 年 2 月编写的 云南省通海县地震宏观、地震地质调查报告,该报告记载了现场考察的原始资料,在烈度图上标注了主要乡镇和村庄的烈度等级。上述资料对于通海地震烈度震亡分析提供了重要信息。从调查结果来看,样本具有较强的代表性,能够在不同行政单元上反映通海地震人员震亡的空间特征、烈度特征。

通过本次调查收集、清理分析,得到如下主要资料:

- (1) 灾区 7 个有震亡县的当年人口数、震亡数。能够把人员震亡明确到县级行政区划的为 15 621 人,占 100%。
- (2) 灾区 7 个县 68 个公社的当年人口数、震亡数,能够明确到公社的为 15 489 人,占 99.15%。
- (3) 建水、峨山 2 个县 55 个大队的当年人口数、震亡数,大队级别的震亡数为 10 022 人,占 2 个县总震亡数的 96.12%。
- (4) 峨山县灾区 12 个大队中的 77 个小队的地震当年人口数、震亡数。
- (5) 地震当年灾区县、公社、大队、小队的行政区划图。

本文主要利用 GIS 的空间分析法对通海地震震亡特征进行研究。利用在县民政局收集到的地震当年的四级行政区划纸介质地图和 ArcMap 9.0 软件,对其进行矢量化,获得地震当年县区、人民公社、生产大队和生产小队矢量化地图,与矢量化烈度等震线叠加,实施烈度震亡空间分析。根据云南行政区和烈度区空间交互的结果来看,县级行政单元跨烈度区比较明显,难以用一个烈度等级进行表示。因此面对像的烈度 - 震亡比分析主要以公社单元为主。作为点对象的大队和小队,在烈度归属上比较好处理,但是由于小队级别的调查单元过小,难于获取完整的小队级震亡与人口数据,因此本次基于点对象的震亡比分析主要以大队级为主,兼顾小队级。

由于无法用一个烈度值标示县级行政单元,故只计算县级行政单元的人口震亡比,而无法计算烈度 - 人口震亡比。对于公社单元,利用公社单元面对象与烈度区面对象的空间关系来确定烈度等级。如果某一烈度区完全包含了某一公社面对像,则该公社面对像烈度等级为该烈度等级。如果某一公社跨两个或多个烈度区,则综合考虑该公社在不同烈度区所占的面积、人员震亡所在的烈度区,来确定该公社的烈度等级。

烈度震亡比关系研究主要利用回归分析法, 根据大量统计数据, 分析烈度震亡比的内在关系, 选择合适的分析方法和数学原型, 建立本次地震的烈度震亡比模型。

2 震亡人员的空间分布及烈度震亡比特征

2.1 县级行政单元人员震亡特征

通海地震造成 15 621 人震亡, 主要分布在建水县、通海县、峨山县、玉溪县、石屏县、华宁县、江川县共 7 个县。另根据 1970 年 6 月 15 日云南省革委会抗震救灾办公室 关于地震受灾情况 报告, 震亡人员中, 驻地部队指战员 183 人, 昆明工学院在震区实习师生 120 人未归入行政区划内统计 (表 1)。

在县级行政区划单元上, 从震亡的绝对数量上看, 震亡数量差异较大。震亡数量最多的是建水县、通海县和峨山县, 空间上主要集中在 9~10 度区, 且沿烈度等震线的方向, 从东南向西北逐渐减少 (图 1)。考虑地震灾区人口分布, 震亡率最大的是峨山县、通海县和建水县, 空间上主要集中在 9~10 度区, 且沿烈度等震线的方向, 从东南向西北逐渐增加 (图 2)。

表 1 通海 7.8 级地震各县人员震亡统计表

Table 1 Statistics of earthquake-caused death in counties in M_s 7.8 Tonghai earthquake

地区	人口数 /人	震亡人数 /人	震亡率 /%
建水县	318 922	7 415	2.325 0
通海县	165 043	4 426	2.681 7
峨山县	95 694	3 012	3.147 5
玉溪县	206 678	253	0.097 1
石屏县	189 487	127	0.067 0
华宁县	123 632	49	0.039 6
江川县	154 425	36	0.023 3
部队		183	
昆明工学院		120	
合计	1 253 881	15 621	1.245 8

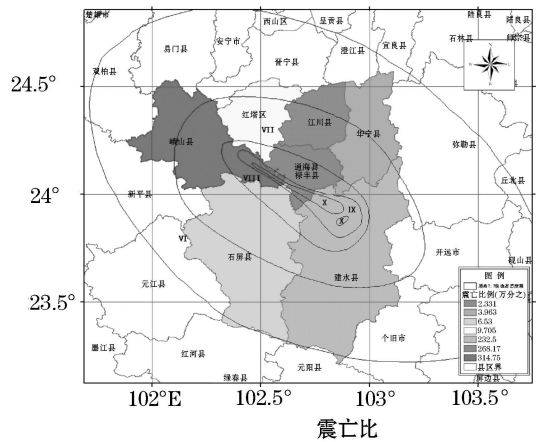
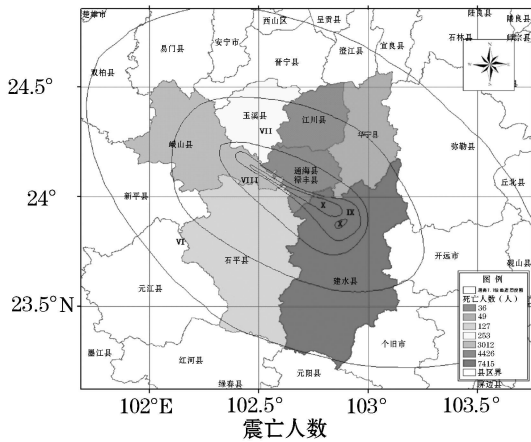


图 1 通海 7.8 级地震县级人员震亡数分布及震亡比分布图

Fig 1 Distribution map of M_s 7.8 Tonghai earthquake-caused personnel death number/ratio in county level

2.2 通海 7.8 级地震公社级人员震亡特征

笔者统计了通海地震 7 个震亡重灾县的 68 个公社人员震亡数量、人口数据和烈度等级, 除峨山县仅记录了 3 个重灾公社震亡信息, 其他 6 个重灾县记录了本县全部公社震亡信息。机关、厂矿、企事业单位震亡人员统计在所在公社地区范围。根据当时的行政区划图与烈度等震线交切关系以及震亡的分布情况确定该公社的烈度等级, 乡镇级震亡调查结果见表 2。

通海地震公社级人员震亡具有如下特点。

从行政区划来看, 在实施调查分析的 68 个受灾公社中, 无震亡的公社 22 个, 占被调查对象的 32.35%, 在空间上主体位于 6~7 度区。震亡 1~100 人的公社 32 个, 占被调查公社总数的 47.06%, 其中 81.25% 位于 7 度区, 9.38% 位于 6 度区, 9.37% 位于 8 度区。震亡 100~1000 人的公社 9 个, 占被调查公社总数的 13.24%, 其中 4 个位于 8 度区, 3 个位于 9 度区, 1 个位于 7 度区。震亡 1000 人以上的公社 5 个, 主要分布在 10 度区, 沿烈度区长轴方向呈北西向分布, 其中曲江公社和东山坝公社为震亡数最高的 2 个公社, 位于 10

度区的东南端,小街公社震亡人数排第三,位于 10 度区的西北端。震亡数位居第四、第五的高大公社和九街公社位于 10 度区的中段(图 2)

表 2 通海 7.8 级地震公社级烈度震亡信息调查统计表

Table 2 statistics of information on seismic intensities and death of $M_s 7.8$ Tonghai earthquake in community level

县区	公社名	烈度/度	人口/人	震亡/人	震亡率/%
建水县	曲江镇公社	10	30 808	4 571	14 837 1
建水县	东山坝公社	10	14 756	2 343	15 875 1
峨山县	小街镇公社	10	17 140	2 167	12 642 9
通海县	高大公社	10	79 66	1 907	23 939 2
通海县	九街公社	8	38 001	1 345	3 539 4
峨山县	红旗公社	8	22 474	634	2 821 0
通海县	城关含机关	9	11 715	417	3 559 5
峨山县	城关公社	9	3 741	347	9 275 6
通海县	四街公社	7	30 365	337	1 111 0
建水县	李浩寨公社	9	10 655	263	2 466 0
通海县	河西公社	8	35 299	238	0 672 4
通海县	杨广镇公社	7	38 990	134	0 343 7
玉溪县	研和公社	8	26 092	121	0 463 7
建水县	利民乡公社	8	9 261	118	1 274 2
石屏县	哨冲乡公社	8	11 542	89	0 771 1
建水县	陈官公社(含医院)	7	31 276	61	0 195 0
建水县	甸尾公社	7	10 144	51	0 502 8
通海县	里山公社	8	5 331	48	0 900 4
玉溪县	大营公社	7	26 925	42	0 156 0
玉溪县	春和公社	7	33 848	35	0 103 4
华宁县	城郊公社	7	25 352	24	0 094 7
建水县	南庄公社	7	29 640	23	0 077 6
玉溪县	洛河公社	7	6 317	22	0 348 2
石屏县	龙朋公社	8	17 051	21	0 123 2
华宁县	华溪公社	7	8 083	18	0 222 7
建水县	岔科公社	7	15 803	14	0 088 6
江川县	九溪公社	7	15 713	12	0 076 4
石屏县	龙武公社	7	15 222	10	0 065 7
玉溪县	高仓公社	7	12 218	10	0 081 8
江川县	伏家营公社	7	17 034	9	0 052 8
建水县	盘江公社	7	8 413	8	0 095 1
玉溪县	城关公社	7	22 970	7	0 030 5
玉溪县	周城公社	7	5 066	7	0 270 0
石屏县	陶村公社	7	25647	6	0 023 4
华宁县	新城公社(含机关)	7	16 055	5	0 031 1
建水县	坡头公社	6	15 085	4	0 025 3
江川县	后卫镇公社	7	12 810	4	0 031 2
江川县	雄关乡公社	7	5 842	3	0 051 4
江川县	安化乡公社	7	5485	3	0 054 7
建水县	面甸公社	7	24 673	2	0 008 1
玉溪县	李棋公社	7	18 211	2	0 011 0
江川县	路居镇公社	7	15 765	2	0 012 7
江川县	龙街公社	6	14 436	2	0 013 9
石屏县	宝秀公社	6	27 977	1	0 003 6
建水县	东坝公社	7	25 465	1	0 003 9
江川县	城关公社	7	3 671	1	0 027 2
建水县	西庄公社	7	25 203	0	0
建水县	官厅公社	6	20 997	0	0
建水县	青龙公社	6	9 652	0	0
建水县	普雄镇公社	6	9 498	0	0
石屏县	城关公社	7	13 292	0	0
石屏县	冒合公社	6	16 942	0	0
石屏县	坝心公社	6	23 385	0	0
石屏县	大桥公社	7	9 822	0	0
石屏县	新城公社	7	7 398	0	0
石屏县	亚房子公社	7	8 537	0	0
石屏县	牛街公社	6	17 657	0	0

续表 2

县区	公社名	烈度 / 度	人口 / 人	震亡 / 人	震亡率 / %
华宁县	盘溪公社	6	28 777	0	0
华宁县	青龙公社	6	24 004	0	0
华宁县	通红甸公社	6	7 232	0	0
华宁县	禄丰公社	6	9 507	0	0
玉溪县	北城公社	7	20 000	0	0
玉溪县	后所公社	7	17 581	0	0
玉溪县	小石桥公社	6	3 680	0	0
江川县	大庄公社	7	17 320	0	0
江川县	前卫公社	7	15 225	0	0
江川县	江城镇公社	6	15 549	0	0
江川县	翠峰公社	6	11 727	0	0

通海地震灾区为山地环境, 人口分布不均匀, 仅从震亡数难以准确表述烈度与震亡关系, 可以通过消除人口基数的震亡比参数研究烈度震亡关系。被调查的通海地震灾区 68 个公社的总人口为 1 159 318 人, 平均每个公社约 17 049 人。人数最多的是通海县杨广公社, 38 990 人, 最少的江川县的城关公社, 为 3 671 人, 相差 10 62 倍。在重灾的 9 度及以上地区, 人口最高的是建水县曲江公社, 为 30 808 人, 最少为峨山县城关公社, 为 3 741 人, 差 8 25 倍。

从行政区划来看, 在实施调查分析的 68 个受灾公社中, 震亡率 0% 以内的公社 22 个, 占被调查公社总数的 32.35%, 其中 86.36% 位于 7 度区, 3.64% 位于 6 度区。震亡率 0.1% ~ 1% 之间的公社 13 个, 占被调查公社总数的 19.12%, 其中 5 个位于 8 度区, 8 个位于 7 度区。震亡率 1% ~ 10% 的公社 7 个, 3 个分布在 8 度区, 3 个分布在 9 度区, 1 个分布在 7 度区。震亡率大于 10% 的公社 4 个, 主要分布在 10 度区。从空间分布来看, 震亡率最高的 5 个公社沿烈度区长轴方向呈北西向分布 (图 2)。

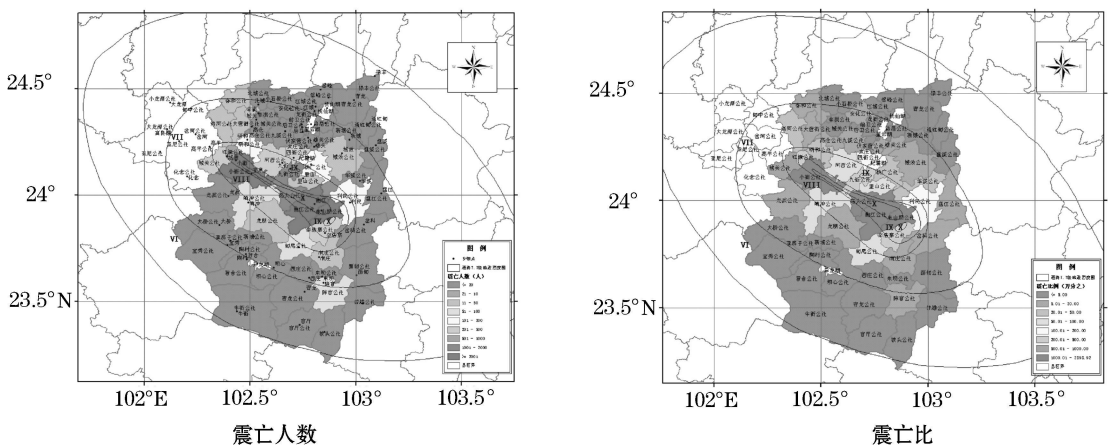


图 2 通海 7.8 级地震公社级震亡数及震亡比分布图

Fig 2 Distribution map of $M_s 7.8$ Tonghai earthquake-caused personnel death number/ratio in community level

2.3 通海 7.8 级地震大队级震亡特征

为了深入调查大队级震亡情况, 对震亡人数最多的建水、通海、峨山 3 县进行调查时发现, 建水县和峨山县档案馆保存了 55 个大队的震亡资料, 通海县大队级的震亡资料在文革中被毁。建水、峨山两县共计震亡 10427 人, 本次调查震亡人员 10022 人, 占两县震亡总数的 96%。建水县和峨山县 55 个大队震亡信息见表 3。

表 3 通海 7.8 级地震行大队级震亡信息表

Table 3 Statistics of information on seismic intensities and death of M_s Tonghai earthquake in production brigade level

序号	烈度 / 度	大队名	人口数 / 人	震亡数 / 人	震亡率 %
1	10	馆驿	2 470	864	34.979 8
2	10	新街	5 179	859	16.586 2
3	10	西山	2 020	710	35.148 5
4	10	山田	2 740	629	22.956 2
5	10	王和营	3 780	571	15.105 8
6	10	右所	1 882	452	24.017 0
7	10	桥头	2 990	423	14.147 2
8	10	兴隆	2 755	416	15.099 8
9	10	水寨	3 957	416	10.513 0
10	10	欧营	3 755	407	10.838 9
11	10	由义	2 137	321	15.021 1
12	9	小街	2 478	282	11.380 1
13	10	干寨	2 233	274	12.270 5
14	10	乐得救	1 213	269	22.176 4
15	10	大海洽	1 153	253	21.942 8
16	10	水车田	8 96	222	24.776 8
17	10	小里寨	2 111	222	10.516 3
18	9	兴旺	1 337	215	16.080 8
19	10	金家庄	1 260	213	16.904 8
20	9	城关	3 778	198	5.240 9
21	10	小海洽	1 112	191	17.176 3
22	10	野马	1 253	161	12.849 2
23	9	石邑	1 073	157	14.631 9
24	9	登云	1 781	153	8.590 7
25	10	龙街	2 736	151	5.519 0
26	9	双山	1 344	125	9.370 3
27	9	文明	954	118	12.369 0
28	9	沐勋	757	113	14.927 3
29	9	王马寨	1 141	93	8.150 7
30	10	勒白	2 113	78	3.691 4
31	8	甸尾	951	64	6.729 8
32	9	柏井	1 925	61	3.168 8
33	10	香木桥	914	53	5.798 7
34	9	石泉	659	43	6.525 0
35	8	棠梨树	1744	37	2.121 6
36	9	土官	1650	31	1.878 8
37	9	永昌	817	28	3.427 2
38	8	杨家寨	1643	28	1.704 2
39	9	大白邑	1 073	27	2.516 3
40	8	舍朗	1 438	14	0.973 6
41	7	暮阳	1544	14	0.906 7
42	9	李浩寨	1 392	12	0.862 1
43	8	利民	1527	12	0.785 9
44	7	振兴	844	9	1.066 4
45	7	高平	1 315	9	0.684 4
46	7	新建	702	6	0.854 7
47	9	温塘	817	6	0.734 4
48	8	小矿野	1 629	5	0.307 0
49	8	大微堵	514	3	0.583 7
50	8	富泉	1 681	2	0.119 0
51	7	新华	1 554	1	0.064 3
52	8	冷水沟	1 921	1	0.050 2
53	8	棚租	1 064	0	0
54	9	里长营	1 601	0	0
55	8	雨来救	888	0	0

从行政区划来看, 在实施调查分析的 55 个受灾大队中, 无震亡的大队 3 个, 占调查对象的 5.45%。震亡 1~100 人的大队 24 个, 占被调查大队总数的 43.63%, 主要位于 8~9 度区。震亡 101~399 人的大队 18 个, 占被调查大队总数的 32.73%, 其中 8 个位于 9 度区, 10 个位于 10 度区。震亡 400 人以上的大队 10 个, 全部分布在 10 度区。震亡 500 人以上的大队共 5 个, 分别是馆驿大队、新街大队、西山大队、山田大队、王和营大队, 全部分布在 10 度区的东南端。

被调查的通海地震灾区 55 个大队的总人口为 96 195 人, 平均每个大队 1749 人。人数最多的是新街大队, 5 179 人, 最少的仅 514 人, 相差 10.08 倍。在实施调查分析的 55 个受灾大队中, 震亡率 1% 以内的公社 15 个, 占被调查大队总数的 29.09%, 主要位于 10 度区。震亡率 10%~20% 的大队 17 个, 占被调查公社总数的 30.91%, 其中 5 个位于 9 度区, 12 个位于 10 度区。震亡率大于 20% 的公社 7 个, 全部分布在 10 度区。

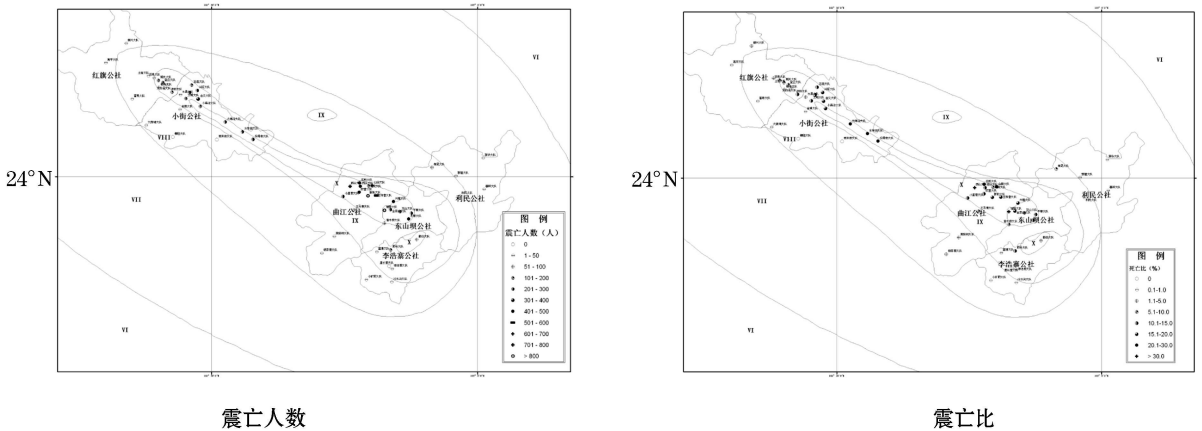


图 3 通海 7.8 级地震大队级震亡数及震亡比分布图

Fig 3 Distribution map of $M_s 7.8$ Tonghai earthquake-caused dead number/ratio in production brigada level

2.4 小队级人员震亡特征

本次调查发现, 有震亡的 7 个县中, 仅峨山县对部分重灾区 12 个大队的 77 个小队震亡情况进行了详细记录, 调查与分析结果见表 4。

表 4 通海 7.8 级地震小队级烈度震亡调查信息

Table 4 Statistics of information on seismic intensities and of $M_s 7.8$ Tonghai earthquake in production team level

大队	小队	烈度/度	总户数/户	总人口/人	震亡数/人	震亡率/%
兴旺大队	1 队	9	99	421	124	29.453 7
由义大队	6 队	9	100	403	99	24.565 8
小海洽大队	6 队	10	75	318	94	29.559 7
乐德旧大队	5 队	10	54	200	76	38.000 0
由义大队	5 队	9	95	394	71	18.020 3
小海洽大队	1 队	10	61	243	63	25.925 9
由义大队	2 队	9	62	281	57	20.284 7
乐德旧大队	2 队	10	63	254	56	22.047 2
兴旺大队	2 队	9	56	208	52	25.000 0
乐德旧大队	1 队	10	66	193	49	25.388 6
文明大队	1 队	9	104	367	46	12.534 1
水车田大队	1 队	10	47	178	45	25.280 9
由义大队	1 队	9	56	248	44	17.741 9
小街大队	10 队	9	59	237	43	18.143 5
石邑大队	3 队	9	54	220	42	19.090 9
乐德旧大队	3 队	10	67	246	41	16.666 7
小街大队	机关	9		24	837	14.919 4
乐德旧大队	4 队	10	91	318	36	11.320 8
小街大队	11 队	9	55	210	34	16.190 5
石邑大队	5 队	9	33	133	32	24.060 2
石邑大队	4 队	9	25	89	31	34.831 5
水车田大队	3 队	10	27	90	31	34.444 4
水车田大队	8 队	10	28	109	31	28.440 4
水车田大队	4 队	10	32	129	31	24.031
由义大队	3 队	9	111	426	31	7.277 0

续表 4

大队	小队	烈度/度	总户数/户	总人口/人	震亡数/人	震亡率/%
小街大队	3队	9	31	119	28	23 529 4
石邑大队	2队	9	54	199	28	14 070 4
小街大队	12队	9	56	224	27	12 053 6
小海洽大队	3队	10	51	244	26	10 655 7
水车田大队	7队	10	14	59	25	42 372 9
水车田大队	2队	10	25	82	25	30 487 8
文明大队	3队	9	76	268	25	9 328 4
小街大队	8队	9	38	149	20	13 422 8
小街大队	2队	9	43	161	20	12 422 4
小街大队	9队	9	59	238	19	7 983 2
由义大队	4队	9	98	385	19	4 935 1
小街大队	7队	9	49	187	18	9 625 7
小街大队	1队	9	47	252	16	6 3492 3
石邑大队	7队	9	36	142	15	10 563 4
水车田大队	5队	10	40	125	13	10 400 0
永昌大队	5队	9	43	177	13	7 344 5
文明大队	2队	9	92	319	13	4 075 2
水车田大队	6队	10	31	101	11	10 891 1
小街大队	4队	9	42	126	11	8 730 2
兴旺大队	4队	9	32	130	11	8 461 5
水车田大队	其他	10		23	10	43. 4783
兴旺大队	5队	9	38	114	9	7 894 7
兴旺大队	7队	9	62	236	8	3 389 8
舍郎大队	1队	8	146	604	8	1 324 5
永昌大队	1队	9	54	230	7	3 043 5
兴旺大队	6队	9	39	124	6	4 838 7
小海洽大队	4队	10	27	136	6	4 411 8
小街大队	6队	9	46	177	6	3 389 8
石邑大队	6队	9	52	211	6	2 843 6
兴旺大队	3队	9	32	101	5	4 950 5
永昌大队	2队	9	53	193	5	2 590 7
石邑大队	1队	9	21	79	3	3 797 5
小街大队	5队	9	41	150	3	2 000 0
小海洽大队	5队	10	8	60	2	3 333 3
永昌大队	3队	9	19	80	2	2 500 0
舍郎大队	5队	8	23	86	2	2 325 6
大维堵大队	1队	8	25	106	2	1 886 8
舍郎大队	2队	8	48	202	2	0 990 1
大维堵大队	2队	8	17	86	1	1 162 8
永昌大队	4队	9	33	137	1	0 729 9
舍郎大队	4队	8	42	187	1	0 534 8
舍郎大队	3队	8	45	194	1	0 515 5
小海洽大队	2队	10	24	115	0	0
舍郎大队	6队	8	23	94	0	0
舍郎大队	7队	8	19	71	0	0
大维堵大队	3队	8	11	47	0	0
大维堵大队	4队	8	34	143	0	0
大维堵大队	5队	8	19	88	0	0
大维堵大队	6队	8	10	44	0	0
棚租大队	1队	8	124	491	0	0
棚租大队	2队	8	83	371	0	0
棚租大队	3队	8	47	202	0	0

在实施调查分析的 77 个小队中, 无震亡 10 个, 主要分布在 8 度区; 震亡 1~10 人的小队 21 个, 占被调查大队总数的 27. 27%, 主要位于 8~9 度区; 震亡 11~50 人的小队 36 个, 占被调查小队总数的 46. 75%, 主要分布在 9~10 度; 震亡 51~100 人的小队 8 个, 主要分布在 9~10 度区; 震亡 100 人以上的小队 1 个。

被调查的通海地震灾区 77 个小队的总人口为 15 032 人, 平均每个小队 197 人。人数最多的是峨山县舍郎大队第一小队, 604 人, 最少的峨山县的大维堵大队第六小队, 为 44 人, 相差 13. 73 倍。在实施调查分析的 77 个受灾小队中, 震亡率 0 的小队 10 个, 主要分布在 8 度区; 震亡率 2% 以内的公社 7 个, 主要位于 8 度区。震亡率 2%~10% 的小队 24 个, 占被调查小队总数的 31. 17%, 其中 1 个位于 8 度区, 21 个位于 9 度区, 2 个位于 10 度区。震亡率 10%~20% 的小队 17 个, 12 个分布 9 度区, 5 个分布在 10 度区。震亡率 20%

~ 30% 的小队 13 个, 6 个分布 9 度区, 7 个分布在 10 度区。震亡率大于 30% 的小队 6 个, 1 个分布 9 度区, 5 个分布在 10 度区。

3 烈度震亡比关系模型

根据表 2-表 4 的震亡调查信息, 计算得到公社级、大队级、小队级平均震亡比, 结果见表 5。在 6~8 度区, 震亡比较低, 增长较慢; 在 9~10 度区范围, 震亡比增速加大, 似乎呈现指数增长关系, 但是根据经验推测, 随着烈度的进一步增高, 震亡比不会无限增大, 应该趋于某一个数值, 这个数值的极限为 100%。因此用具有饱和增长特性的非线性 Logistic 模型更能客观表述烈度-震亡比关系。以 y 表示震亡比, x 表示烈度, 利用 R 软件计算, 公社级烈度震亡比经验模型为: $y = \frac{1}{1 + e^{15.794 + 1.410x}}$, 其中, $1 - pchisq(0.0042723) = 0.9999258 > 0.05$ 模型通过数学检验。

大队级烈度震亡比经验模型为 $y = \frac{1}{1 + e^{13.789 + 1.216x}}$, 其中, $1 - pchisq(0.00380422) = 0.9980997 > 0.05$ 模型通过

数学检验, 实际回归效果较好, 样本数据的拟合曲线见图 4

表 5 通海 7.8 级地震烈度-震亡比调查汇总表

Table 5 Summary of investigation into seismic intensity-death ratio for $M_s 7.8$ Tonghai earthquake

行政单元	烈度	10 度区	9 度区	8 度区	7 度区	6 度区
公社级	样本数量 / 个	4	3	8	37	16
	人口数量 / 人	70 670	26 111	165 051	641 381	256 105
	震亡数量 / 人	10 988	1 027	2 614	853	7
	平均震亡比 / %	15.5483	3.9332	1.5838	0.1330	0.0027
大队级	样本数量 / 个	22	17	11	4	
	人员数量 / 人	50 659	23 240	15 000	5 959	
	震亡数量 / 人	8 155	1 447	166	39	
	平均震亡比 / %	16.0978	6.2263	1.1067	0.6545	
小队级	样本数量 / 个	20	41	7	9	
	人员数量 / 人	3 民 223	8 英雄 793	1 纪念碑 438	1 578	
	震亡数量 / 人	671	1 087	14	3	
	平均震亡比 / %	20.8191	12.3621	0.9736	0.1901	

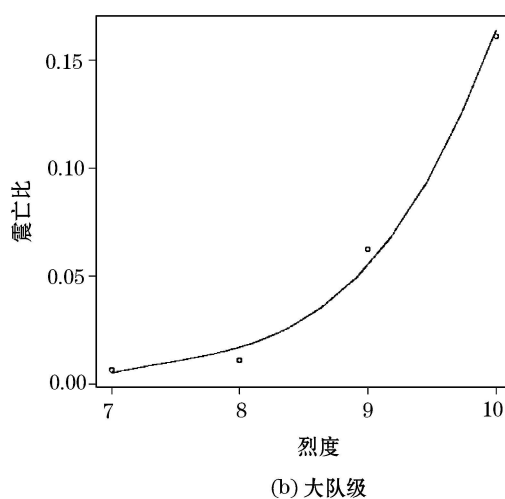
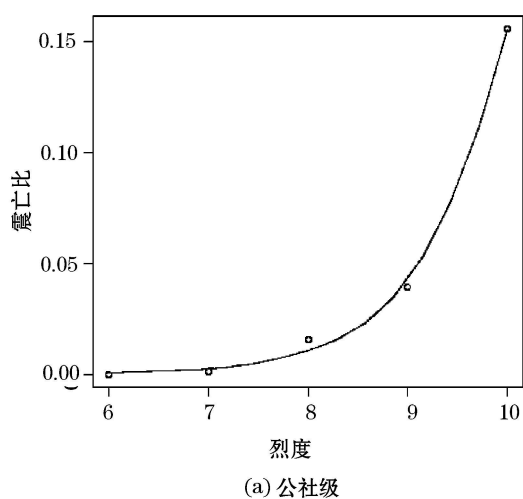


图 4 通海 7.8 级地震烈度震亡比拟合曲线

Fig 4 Fitting curves of seismic intensity-death ratio of $M_s 7.8$ Tonghai earthquake

4 认识与讨论

通过系统收集整理,本文获得通海地震灾区不同行政单元的人口数、震亡数、烈度值等资料,建立了云南通海地震平均震亡比矩阵及震亡比增长模型。研究表明,不同行政单元震亡数及空间分布主要受烈度等级和人口分布控制,震亡比主要受烈度控制,震亡比随烈度增加呈现非线性增长关系。不同行政单元震亡比对比表明,除小队级震亡比受样本代表性限制外,公社级和大队级烈度震亡比更具有代表性。

烈度震亡比模型的适用性认识。1970年通海地震人员震亡主要集中在 9~10 度区,该地区土木房屋结构比例高达 95%。根据 1993~2008 年云南 29 个地震灾区房屋结构比例统计^[2],云南农村和乡镇地区土木结构房屋比例仍然高达 69%~91%。通海地震的烈度震亡比模型仍然基本适用于当前和未来一段时期云南农村和乡镇地区。

关于烈度震亡比增长关系的外延问题。震亡比随着烈度增加应具有 S 形增长特征,在 6~8 度区,震亡比较低,增长较慢;在 9~10 度区范围,震亡比增速加大。利用公社级震亡模型,外延至 11~12 度时,平均震亡比增加到 40%~70% 之间。因此按照通海地震烈度震亡关系,推测云南农村及城镇地区的极限震亡率为 70% 左右(图 5)。

关于震亡比其它影响因素的认识。调查结果表明,震亡比随烈度呈非线性增长关系,但是同一烈度区内的不同调查单元的震亡比仍然具有较大差异,表明除烈度外,其他因素对震亡比也有显著影响。人员震亡比应该是地震、社会、环境耦合的结果,房屋抗震性能和次生灾害也是重要的影响因素。由于通海地震年代较早,缺乏相对一致的房屋结构调查记录和社会经济参数记录,因此无法建立同一烈度下震亡比随房屋结构、社会经济参数变化关系。

烈度震亡比在人员震亡评估中具有与行政单元密切结合、快速可视化分析的优势。给定烈度影响场之后,利用 GIS 软件和乡镇、行政村等点面对像以及国家公布的不同行政单元人口数量,实施该单元可视化快速评估。根据需要,可将震亡数迅速归集到特定行政单元内并进行排序,为政府应急决策提供依据。

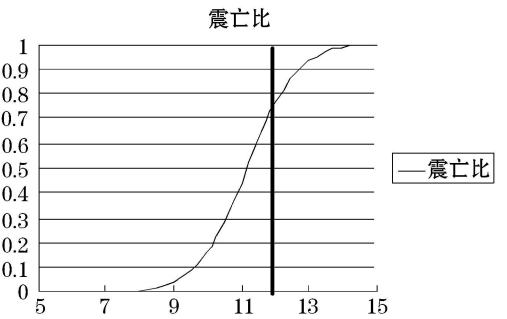


图 5 云南通海地震公社级烈度震亡率模型外延推测图

Fig 5 Extensive prediction from seismic intensity-personnel death model of M_s 7.8 Tonghai earthquake in community level

参考文献:

- [1] 韩新民,毛玉平,周瑞琦. 1970年通海 7.7级地震人员伤亡研究[J]. 地震研究, 1996, 2(19): 199-205
- [2] 李永强,王景来,等. 云南地震灾害与地震应急[M]. 北京:地震出版社, 2007: 1-7, 38-40.
- [3] 刘祖荫,皇甫岗,金志林. 一九七〇年通海地震[M]. 北京:地震出版社, 1999: 53-61
- [4] 云南省澜沧拉祜族自治县志编撰委员会. 澜沧拉祜族自治县志[M]. 昆明:云南人民出版社, 1990: 86-87.
- [5] 云南省人口普查办公室. 云南省人口统计资料汇编(1948-1988)[M]. 昆明:云南人民出版社, 1990: 56-94
- [6] 尹之潜,李树桢,赵直,等. 地震灾害预测与地震灾害等级[J]. 中国地震, 1991, 7(1): 9-19
- [7] 云南省地震局. 云南省地震资料汇编[M]. 北京:地震出版社, 1998: 7-53, 424-427.
- [8] 李德宜,李明. 数学建模[M]. 北京:科学出版社, 2009