

2003 年鲁甸 5.1、5.0 级地震  
震害异常影响因素分析<sup>\*</sup>

解 丽, 谢英情, 非明伦, 卢永坤  
(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 通过对以往震例的对比分析, 发现 2003 年鲁甸震区震害明显偏重。在此基础上, 综合分析了震害异常的主要影响因素, 并且探讨了它们的致灾机理, 认为该地震引起的明显震害异常, 主要与地震发生在夜间、震区社会经济条件低下、场地存在软弱岩土和建筑物抗震性能差等因素有关。  
关键词: 鲁甸地震; 震害异常; 影响因素; 致灾机理  
中图分类号: P315.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0607-05

0 引言

2003 年 11 月 15 日、26 日, 云南鲁甸先后发生了 5.1、5.0 级破坏性地震, 此次地震造成的人员伤亡和经济损失之大, 在云南有史以来的同级地震甚至  $M \leq 5.5$  地震中, 都属于震害异常偏重的罕见震例。因此, 分析该地震震害异常的主要影响因素, 探讨其致灾机理, 具有一定的科学和现实意义。

1 震害异常特征

1.1 概况

2003 年 11 月 15 日凌晨 2 点 49 分, 鲁甸发生了 5.1 级地震, 在震区形成 VII 度极震区, 并且在布嘎、马家包包、茨院等地发现 VIII 度异常点, 造成 4 人死亡、24 人重伤、70 人轻伤 (非明伦等, 2004), 直接经济损失 19 190 万元。随后, 26 日夜间 21 点 38 分, 在同一地点 (两次地震微观震中相距 4 km), 再次发生 5.0 级地震, 造成 2 人重伤、22 人轻伤, 直接经济损失 9 300 万元 (表 1)。

1.2 同级震例对比分析

自从国务院明确了地震灾害损失必须由地震部门进行评估 (袁正明等, 2005) 以来, 云南省地震局从 1992 年开始履职进行云南境内的地震灾害损失现场评估工作, 到 2005 年 10 月 1 日为止 (此后的灾评, 由于 GB/T 18208.4-2005 新规范的颁布实施, 计算选取参数的变化导致经济损失大幅度增加, 和之前的灾评结果没有可比性), 一共进行了 27 次 5.0~5.5 级地震灾害损失评估。经过对比分析, 除 2004 年保山  $M_s 5.0$  地震因灾区包含地级城市致使经济总损失偏大外, 发现其余 26 次同级地震中, 鲁甸地震在人员伤亡和经济损失方面均排在最前面 (图 1、表 2)。

1.3 震害异常特征

鲁甸地震与其余 24 次 5.0~5.5 级地震对比, 具有以下特征:

- ① 地震经济总损失大。鲁甸 5.1 级地震是 26 次地震中震级最大的, 5.0 级地震接近 24 次地震中的最高水平 (表 1)。
- ② 地震人员伤亡大。死亡和重伤人员是 26 次地震中最多的, 也是云南有史以来同级地震 (5.0~5.1 级) 中最多的。

表 1 鲁甸地震参数和灾情概况表

发震时间	震中位置		震级	震源深度	震中	死亡	重伤	轻伤	经济总损失
年-月-日 时:分:秒	北纬	东经	$M_s$	/km	烈度	人数	人数	人数	/万元
2003-11-15 02:49:42.69	27°10′	103°37′	5.1	10	VII	4	24	70	19 190
2003-11-26 21:38:54.70	27°12′	103°38′	5.0	8	VII	0	2	22	9 300

表 2 云南地区 5.0~5.5 级地震灾害损失表 (1992~2005 年)

序号	时 间 年—月—日	发震地点	震级 M <sub>S</sub>	震中 烈度	受灾人口 /万人	伤亡人数			经济损失 /万元		
						死亡	重伤	轻伤	房屋建筑	生命线及其它	总损失
1	1993-02-01	大姚	5.3	Ⅵ	10.69	0	0	4	1 103.2	46.8	1 150
2	1993-06-03	景谷	5.0	Ⅵ	5.18	0	3	10	1 172	20	1 192
3	1993-06-04	临沧	5.0								
4	1994-09-19	景谷	5.2	Ⅵ	2.17	0	1	10	1 870	350	1 520
5	1995-02-18	沧源—澜沧	5.1	Ⅵ	1.73	0	0	0	526	204	730
6	1996-07-02	丽江	5.2	Ⅵ	2.32	2	6	51	2 082	100	2 182
7	1997-01-25	勐腊—景洪	5.1	Ⅵ	2.15	0	0	0	1 391	169	1 560
8	1997-01-30	景洪—江城	5.5	Ⅶ	3.73	0	0	2	4 394	910	5 304
9	1997-10-23	丽江	5.3	Ⅵ	3.70	0	0	1	2 665	15	2 680
10	1998-10-02	宁蒗	5.3	Ⅶ	5.93	0	9	23	6 873	2 075	9 098
11	1998-10-27	宁蒗	5.2								
12	1998-12-01	宣威	5.1	Ⅶ	45.36	0	5	79	7 300	3690	10 990
13	1999-11-25	澄江	5.2	Ⅵ	5.76	1	1	8	7 207	450	7 657
14	2000-01-27	丘北	5.5	Ⅶ	26.02	0	4	65	8 010	2 364	10 374
15	2000-08-21	武定	5.1	Ⅵ	7.34	2	1	219	5 786	2 084	7 870
16	2001-03-12	澜沧	5.0	Ⅵ	4.54	0	0	6	5 328	247	5 575
17	2001-06-08	施甸	5.3	Ⅵ	10.61	1	0	15	3 270	390	3 660
18	2001-07-10	楚雄	5.3	Ⅵ	6.81	0	0	1	1 620	310	1 930
19	2001-07-15	江川	5.0	Ⅵ	6.18	0	0	4	3 270	500	3 770
20	2001-09-04	景谷	5.0	Ⅵ	5.01	0	2	7	2 890	870	3 760
21	2003-11-15	鲁甸	5.1	Ⅶ	23.67	4	24	70	16 080	3 110	19 190
22	2003-11-26	鲁甸	5.0	Ⅶ	24.67	0	2	22	7 620	1 680	9 300
23	2004-12-26	双柏	5.0	Ⅵ	3.57	1	1	19	3 110	960	4 070
24	2005-01-26	思茅	5.0	Ⅵ	4.00	0	0	5	3 670	1 670	5 340
25	2005-08-05	会泽	5.3	Ⅵ	19.87	0	0	19	8 370	2 070	10 440
26	2005-08-13	文山	5.3	Ⅵ	12.76	0	2	27	5 980	3 240	9 220

注：资料来源于云南省地震局的各个地震灾害损失评估报告。

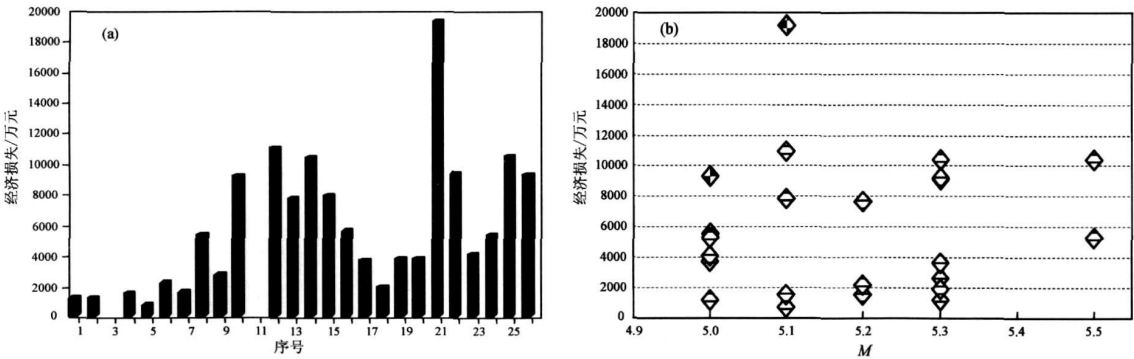


图 1 1992 年以来云南地区 5.0~5.5 级地震经济损失对比图  
(a) 地震序号与经济损失柱状图；(b) 震级与经济损失散点图

③ 地震烈度较高。极震区烈度达Ⅶ度，且局部出现Ⅶ度破坏现象。

2 震害异常影响因素分析

2.1 地震发生时间

鲁甸两次地震均发生在夜间。5.1级地震发生

在凌晨 2 点 49 分，是造成人员伤亡的主要原因之一；5.0 级地震发生在夜间 21 点 38 分，多数人当时未入睡，并因有短临预报，采取了避震措施，人员伤亡明显减轻。

2.2 社会经济状况

震区所属的昭通市人口密度为 213.7 人 / km<sup>2</sup>，户 口 密 度 为 52.13 户 / km<sup>2</sup>（在 云 南 16 个 地、市

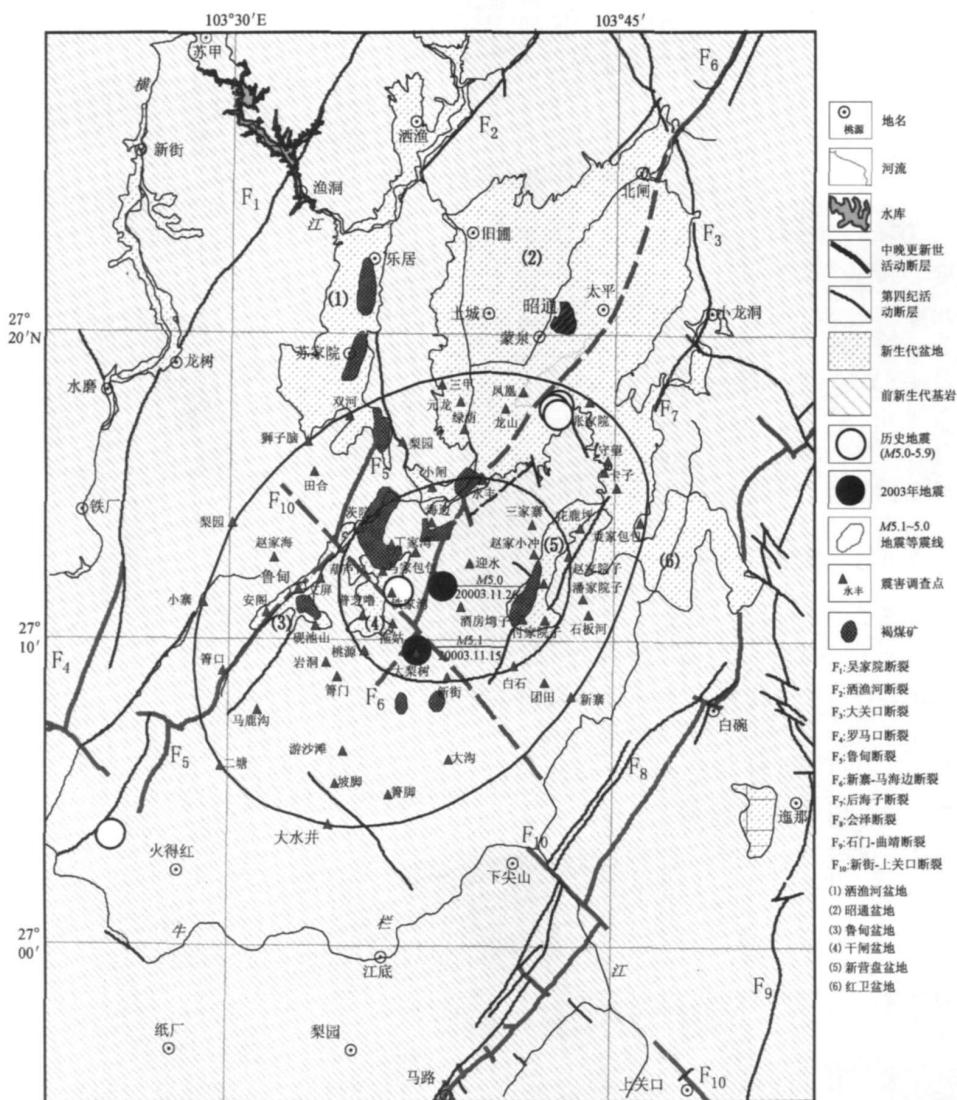


图 2 鲁甸震区地震构造简图<sup>①②</sup>

中，仅次于昆明的 301.68 人 / km<sup>2</sup> 或 64.22 户 / km<sup>2</sup>，是全省平均值（107.6 人 / km<sup>2</sup> 或 26.27 户 / km<sup>2</sup>）的 1.98 倍；2000 年昭通市的人均国内生产总值和农民人均收入分别为 2 193 元和 922 元，是全省平均值（4 553 元和 1 479 元）的 0.48 倍和 0.62 倍（云南省统计局，2001）。灾区主要位于盆地，人口密度增加到 462 人 / km<sup>2</sup>，是全省平均值的 4.29 倍。低下的社会经济状况严重影响了灾区建筑物抗震性能的提高与改善，地震时建筑物损害加重；严重偏高的人口密度，致使地震伤亡人员加大。

### 2.3 场地条件

震区发育 NE 向断裂、褶皱构造（谢英情等，2004），主要有断拗陷盆地、垅岗谷地、构造侵蚀低—中山、石丘洼地及构造溶蚀侵蚀高山峡谷等地貌单元。基岩主要为华里西、印支构造层的碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩等。昭鲁盆地新生代沉积物最厚达 490 m，主要由新近系粘土、砂质粘土及褐煤组成。在鲁甸至昭通一带煤层埋深浅（仅数米），含煤层厚 80 多米。

震区半数以上居民点位于含煤盆地中（图 3），含煤地层含水量高，孔隙比大，抗剪、抗压强度

① 云南省地质局，1978 1:20 万昭通幅、鲁甸幅区域地质调查报告。

② 云南省 143 煤田地质勘探队，1981 云南省昭通县褐煤盆地详细地质报告。

低，属具中等膨张、收缩性的软塑结构土。这种地基土在地震时容易变形，使建筑物震害加重。

底层墙体或顶层加建房屋墙体明显开裂（图 5）。



图 3 含煤盆地

2.4 建筑物抗震性能

震区民房以土木房为主，少数为砖混平房。土木房的典型结构为：厚夯土墙，部分有砖砌面墙，土搁梁，青瓦顶。这类房屋的整体性不好，夯墙土具有的膨张、收缩性使墙体易于开裂，抗震性能差。震后部分房屋倒塌、倾斜、墙体局部倒塌，多数房屋墙体变形、开裂、位错，普遍梭瓦、掉瓦（图 4）。5.1 级地震死亡的 4 人及大部分重伤人员均与该类房屋破坏有关。

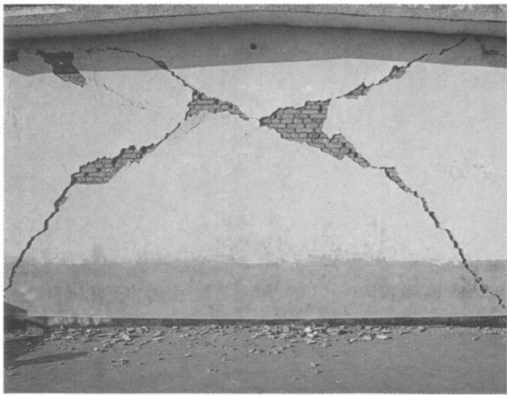


图 5 砖混房屋震害

3 致灾机理探讨

鲁甸 5.1、5.0 级地震引起的震害，从机理及因果关系上分析主要与下述 4 种效应有关。

3.1 软弱（岩）土效应

震区广泛分布的新生代盆地的松散沉积中，含有 3 种软弱（岩）土：① 第四系含淤泥软土；② 新近系为含煤地层，褐煤层厚度巨大；③ 含煤地层中含有膨润土，风化后属具中等膨张、收缩性的软塑结构土。这种有多种软弱（岩）土共聚一地的情况在其它震区非常罕见。

《建筑抗震设计规范》（2001）将软弱（岩）土列为不利的场地地段。理论分析和实测结果都证明，基岩之上的覆盖土层对基岩输入的地震动有明显的放大作用，一般峰值加速度被放大 2~4 倍（薄景山等，2003），这种地震动的放大作用使震害明显加重。云南震害调查的实践反映，新近系含煤地层对地震动有明显放大作用，可使同等条件下的地震烈度提高 1 度左右，比如 2008 年盈江 5.9 级地震的多数高烈度异常点（区）均与含煤地层有关<sup>①</sup>。至于膨润土与震害的关系，公开发表的资料报道不多，致灾机理也不很明确，但根据鲁甸震区震害调查实践可知，膨润土富集地段的房屋震害有加重现象。此外，由于震区土壤多属具中等膨张、收缩性的软塑结构土，很多居民

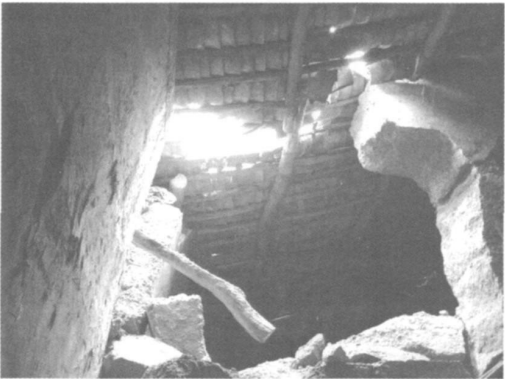


图 4 土木房屋震害

震区公房以多层砖混结构房为主，有少数框架和砖木结构房。震后受破坏的大部分砖混房的混凝土及砂浆标号低劣，少部分没有构造柱，施工质量差，因而造成房屋抗震性能较差。地震使个别砖混结构房屋倒塌，部分多层砖混结构房屋

<sup>①</sup> 云南省地震局，2008，2008 年 8 月 20 日、21 日盈江 5.0、4.9、5.9 级地震灾害直接损失评估报告  
?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

就地取土建盖的夯土墙房屋在还是新房的时候, 墙体就具有较多明显的收缩裂缝, 使得这些房屋的抗震性能很差。

### 3.2 人口效应

人口密度与震害有明显的因果关系。人口密度大, 震区单位面积内建造的房屋数量多, 同等地震动强度作用下产生的震害就比较严重。昭通市人口密度是全省平均值的 1.98 倍, 这也是鲁甸震区震害较严重的主要原因之一。

### 3.3 贫困效应

震区所属的昭通市 2000 年的人均国内生产总值和农民人均收入位居云南倒数第二和并列倒数第一, 是全省平均值的 0.48 倍和 0.62 倍。反映在人居房屋上就是建房资金投入明显不足, 多数民房质量低劣、抗震性能极差。当地的地震设防烈度为 VII 度 (GB 18306—2001), 多数居民因贫困难以建盖有 VII 度抗震设防措施的合格房屋, 这也是鲁甸震区震害较严重的主要原因之一。

### 3.4 夜间地震效应

一般说来, 地震引起伤亡有两个必要条件: 一是房屋倒塌, 二是人在室内。夜间尤其是深夜发生破坏性地震时, 绝大多数人都位于建筑物内并处于睡眠状态, 如有房屋或墙体倒塌, 很容易发生人员伤亡 (王景来, 1994)。从 20 世纪 90 年代资料统计得到的云南地震死亡人数在 24 小时内的分布看, 夜间死亡人数明显高于白天, 其峰值在子夜前后的 0 时至 4 时 (赵洪声等, 2001)。

鲁甸 5.1 级地震发生在凌晨 2 时 49 分, 正处于地震人员伤亡的峰值时段, 造成的伤亡是云南省内 2005 年 10 月 1 日以前同级地震中最大的, 死

亡的 4 人有 3 人为房屋或墙体倒塌砸死, 1 人为掉瓦砸死。

## 4 结论

鲁甸地震灾区烈度较高, 造成的人员伤亡和经济损失远大于云南省同级地震甚至  $M \leq 5.5$  地震的平均水平, 应属地震异常灾情。

鲁甸地震的异常灾情主要与该区社会经济状况低下 (人口密度大、贫困)、场地条件独特 (有多种软弱土)、建筑物抗震性能差以及地震发生在午夜等因素有关。

### 参考文献:

- 薄景山, 李秀领, 李山有. 2003. 场地条件对地震动影响研究的若干进展 [J]. 世界地震工程, 19 (2): 11—15.
- 非明伦, 付正兴, 谢英情, 等. 2004. 云南鲁甸 5.1、5.0 级地震震害分析 [J]. 防灾减灾工程学报, 24 (4): 432—440.
- 王景来. 1994. 云南地震死亡人数定量估算 [J]. 灾害学, 9 (4): 55—58.
- 谢英情, 厉建明, 非明伦. 2006. 鲁甸震群型地震成因探讨 [J]. 地震研究, 29 (增刊): 459—465.
- 云南省统计局. 2001. 云南统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社.
- 袁正明, 张瑞芳. 2005. 开震害评估之先河 创应急救援之经验——谈山西大同—阳高地震的震害评估与应急救援 [J]. 山西地震, (4): 1—4.
- 赵洪声, 和宏伟, 张立, 等. 2001. 云南地震灾害特征分析 [J]. 内陆地震, 15 (1): 11—22.
- GB 50011—2001. 现代建筑抗震设计规范 [S].
- GB/T 18208.4—2005. 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估 [S].
- GB 18306—2001. 地震动参数区划图 [S].

## Factors of Influencing the 2003 Ludian, Yunnan, $M_s 5.1, 5.0$ Earthquake Disasters

XIE Li, XIE Ying-qing, FEIMing-lun, LU Yong-kun

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

### Abstract

Through comparing the Ludian  $M_s 5.1, 5.0$  earthquakes in 2003 with the historical earthquakes, we found the disaster of the Ludian earthquake was particularly serious. Therefore, we study the causes of the anomalous disaster and the disaster mechanism, and consider that the heavy disaster is related with the fact that the earthquake occurred at night, the poor social and economic conditions, the weak foundation, and the bad aseismic ability of buildings in the seismic area.

Key words: Ludian earthquake; seismic disaster anomaly; influence factor; disaster mechanism