

鄢家全, 张志中, 王健, 温增平, 俞言祥, 刘爱文, 潘华, 吕红山, 郝玉芹. 2011. 中国历史地震烈度表研究. 地震学报, 33(4): 515-531.

Yan Jiaquan, Zhang Zhizhong, Wang Jian, Wen Zengping, Yu Yanxiang, Liu Aiwen, Pan Hua, Lü Hongshan, Hao Yuqin. 2011. A study on seismic intensity scale of Chinese historical earthquakes. *Acta Seismologica Sinica*, 33(4): 515-531.

## 中国历史地震烈度表研究\*

鄢家全 张志中<sup>†</sup> 王健 温增平 俞言祥  
刘爱文 潘华 吕红山 郝玉芹

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

**摘要** 在比较分析以往烈度表的基础上, 着重增加了社会反响标志; 对Ⅹ-Ⅲ度的房屋建筑物和地表现象标志进行了调整与补充, 完善了作为12阶烈度表相应的《中国历史地震烈度表》。文中对烈度表的各项标志作了简要说明, 并列举了国内外10次历史地震事件的评定实例。本文提出的历史地震烈度表, 保持了以往烈度表的适用性与一致性。

**关键词** 历史地震 地震烈度 烈度表 烈度评定

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2011.04.011 中图分类号: P316 文献标识码: A

## A study on seismic intensity scale of Chinese historical earthquakes

Yan Jiaquan Zhang Zhizhong<sup>†</sup> Wang Jian Wen Zengping  
Yu Yanxiang Liu Aiwen Pan Hua Lü Hongshan Hao Yuqin

(*Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** On the basis of reviewing and analyzing existing intensity scales, a 12 grade scale for Chinese historical earthquakes is proposed in this paper. We have adjusted and added the indicators of building damage features and macroseismic effects visible on ground for intensity Ⅹ to Ⅲ, and supplemented the social response under different intensity levels. The diagnosis for different intensity levels are explained. Intensity evaluations for 10 domestic and world historical earthquakes are made as practical cases. The evaluation of historical earthquake intensities based on the proposed intensity scale is consistent with that following the original scale.

**Key words:** historical earthquakes; seismic intensity; Macroscopic scale; intensity evaluation

\* 基金项目 国家标准化行业公益性科研专项(10110)和地震行业科研专项(200708005)资助。本文是《历史地震烈度表研究报告》的节录稿。若查阅原报告全文, 请登录中国地震局地球物理研究所网站 <http://www.cea-igp.ac.cn>。中国地震局地球物理研究所论著 11AC1013。

收稿日期 2010-04-16 收到初稿, 2010-11-08 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: zhizhong1954@126.com

## 引言

地震烈度是根据对宏观地震现象分析归纳得来的标志评定的,是定性的.任一烈度值,都是由多种标志在相互参证对比中得到的结果为最好.它的每一项标志,都必须是有代表性的.确定一项标志,须从长期积累起来的大量地震现场调查资料中去选择,方可满足要求(李善邦,1981).通常以列表的形式给出不同烈度值相应的各项标志,这种表就称之为烈度表.烈度表是评定烈度的标准.

烈度表不是一成不变的尺度,随着建筑物的形式和质量的变化,地震经验的积累,以及人们对地震认识的深化,免不了要不断对其进行修改(Grünthal,1998).中国现行的烈度表(GB/T17742)主要用于现代地震的调查研究,缺少历史地震方面的标志,故不适用于评定历史地震烈度.本文通过对国际、国内烈度表的发展状况简述,及其对典型烈度表中历史地震标志的运用比较分析,最终提出既与现今国际烈度表接轨,又符合我国国情的《中国历史地震烈度表》(鄢家全等,2010),使之能适用于历史地震烈度的评定.

## 1 地震烈度表的国际和国内发展简况

### 1.1 国际简况

最早的烈度表是卡斯塔尔迪(J Gastaldi)于1564年编成.但初期的烈度表常常是为调查某一次地震用的,很简单,也不统一.到19世纪后期,意大利的罗西(M S de Rossi)和瑞士的弗瑞尔(F A Forel),在同一时期的研究结果很相似,遂于1883年联合发表了他们的烈度表.这是第一个得到广泛应用的R-F(罗-弗氏)地震烈度表.德国人西伯格(A Sieberg)对罗-弗氏地震烈度表进行补充和改进,并用坎坎尼(Cancani,1904)绝对烈度表的数据,每度配以地震影响作用力,以加速度表示,编制成当时最完备的12度烈度表,简称为西伯格(1924)地震烈度表(李善邦,1981).

半个多世纪以来,除日本外,国际上绝大多数国家都采用12度烈度表.这些表在实用价值上大同小异,只是在使用的复杂程度上有所变化.其中,堪称世界性的烈度表是MSK烈度表.该表是由苏联的S V Medvedev、德国的W Sponheuer和捷克斯洛伐克的V Karnik于1962年提出,不仅在欧洲通用,而且在南、北美洲等地也使用.

根据联合国教科文组织(UNESCO)地震及地震构造图工作组的意见,从1963年12月起,作为国际标准的新烈度表用加速度进行编制,并于1964年完成.这就是“MSK-64烈度表”.20世纪80年代初,该表经过修改后称之为“MSK-81烈度表”.

以G Grunthal为主席的欧洲地震委员会(ESC)地震烈度表工作组,在MSK-81烈度表的基础上,精心编制成新的《欧洲地震烈度表》(1992)(修正的MSK烈度表,1992).又经过3年的试用、征求意见和补充修改,于1996年在ESC全体委员会议上讨论通过,成为《欧洲地震烈度表》(EMS)(1998)(Grünthal,1998).该表是国际上最新的12度烈度表,不仅适用于现代地震的调查研究,同样也适用于历史地震烈度评定.在该表第6章烈度评定的实例中,有实际应用的说明.

### 1.2 中国地震烈度表的发展历程

首先是谢毓寿根据中国的地震资料,结合建筑物的形式和结构特征,参考了当时世界上各种12度烈度表,编制成《新的中国地震烈度表》(谢毓寿,1957).差不多在同一时间

段, 李善邦于 1960 年在整理、研究历史地震资料, 编制《中国地震目录》时, 提出针对评定历史地震烈度和震级的“实用地震烈度与震级简表”, 后经顾功叙等的修改、补充, 成为《历史地震烈度-震级简表》(顾功叙, 1983)。李群在整理近 30 年地震史料的基础上, 提出了《历史地震烈度表》方案(李群, 1989)。刘恢先等曾对《新的中国地震烈度表》(谢毓寿, 1957)进行补充和修改, 编制成《中国地震烈度表》(国家地震局震害防御司, 1992), 后经修订为《中国地震烈度表》(GB/T17742-1999, GB/T17742-2007)(全国地震标准化技术委员会, 2004)。但是, 后者主要是为调查研究现代地震所用的, 不包括历史地震标志, 也就不适用于历史地震烈度评定。因此, 本文仅对《新的中国地震烈度表》(谢毓寿, 1957)、《历史地震烈度-震级简表》(顾功叙, 1983)和《历史地震烈度表》方案(李群, 1989)进行简述。

### 1.2.1 《新的中国地震烈度表》(谢毓寿, 1957)

该表将地震现象分为 4 类: 房屋、结构物、地表现象和其它现象。所有表中引用的建筑物都是没有抗震措施的。坚固程度一般以材料强度、结构类型、风化程度和土质情况等为主要依据。为了各度间对比明确、叙述简单、便于使用起见, 除在数量方面作了大致划分(大多数, 许多, 少数)外, 对房屋类型和建筑物的破坏程度也作了区分。

该表在房屋分类方面不仅列举了包括古代与近现代的民居, 也涵盖了古建筑中常见的庙宇、宫殿、城楼、钟楼和鼓楼等。在烈度标志的结构物栏目内, 还列有历史地震资料中常见的牌坊、塔、碑、城墙、堞墙等破坏标志。所以, 该表也能用于评定历史地震烈度。

### 1.2.2 历史地震烈度-震级简表(顾功叙, 1983)

该表见于 1983 年版《中国地震目录》(顾功叙, 1983)的编辑说明中。由于是专门针对缺少仪器记录的历史地震确定震中烈度和震级之用, 采用了历史地震记载资料中常见的词句作为标志, 内容较为简明。该表仅给出了Ⅵ度、Ⅶ度、Ⅷ度、Ⅸ—Ⅹ度和>Ⅹ度的简要标志, 其中的Ⅸ—Ⅹ度和>Ⅹ度未做更细致的划分。

### 1.2.3 历史地震烈度表方案(李群, 1989)

该烈度表方案给出了从Ⅳ—Ⅺ度的标志, 未给出Ⅻ度的标志。该方案具有前两个烈度表的优点, 不仅采用了历史地震资料的常见词语表述, 且对房屋建筑进行了易损性分类, 并对其破坏程度与数量进行了划分; 对烈度评定标志及相关问题, 给予了较为详细的说明。

## 2 烈度表的运用比较

本节通过对各烈度表实际运用进行比较分析, 验证评定标志及评定结果之异同, 以便为进一步完善历史地震烈度表创造条件。为叙述简便, 将《欧洲地震烈度表》(Grünthal, 1998)称为“EMS(98)表”, 《新的中国地震烈度表》(谢毓寿, 1957)称为“(57)表”, 《历史地震烈度-震级简表》(顾功叙, 1983)称为“(83)简表”。《历史地震烈度表方案》(李群, 1989)称为“(89)方案”。我们将选择国外、国内不同时期及地区的 10 次历史地震资料, 按上述各烈度表标志进行烈度评定。因篇幅所限, 具体的评定依据从略, 详情见《历史地震烈度表研究报告》, 网址 <http://www.cea-igp.ac.cn>。上述各烈度表之评定结果见表 4。

表 4 所示结果说明, 在 10 个范例中, 各烈度表评定结果大体相当, 但也存在一定的差异, 尤其是大于Ⅸ度的影响。究其原因如下:

1) 各烈度表的标志有所不同, 必然导致结果有差异。比如, ① EMS(98)表中Ⅹ—Ⅻ

度仅有房屋建筑的标志；②(57)表中Ⅹ—Ⅻ度的建筑标志较笼统，历史地震资料难区分；③(83)简表中Ⅸ—Ⅹ度不分，>Ⅹ度也不区分；④(89)方案中的标志仅给到Ⅻ度，未列Ⅻ度的标志。

2) 由于历史地震记载资料较简略，评定中对各表所列标志的理解也会有差异。比如，对房屋的易损性分类和破坏等级的推断，很难达到唯一性。

值得注意的是：①EMS(98)表和(57)表的评定结果基本一致，体现出虽然标志表述上有变化，但从Ⅵ—Ⅻ度的分档标准仍然相当；②(57)表、(83)简表和(89)方案在Ⅵ—Ⅸ度的评定结果完全一致，而Ⅹ—Ⅻ度的差异却很显著。这也说明，新的历史地震烈度表宜对Ⅹ—Ⅻ度的标志进一步完善。

### 3 新的“中国历史地震烈度表”(2010)

前已述及，适用于我国历史地震研究的3个烈度表，与最新的EMS(98)表基本一致。为了保持这种适用性和一致性，本文将(83)简表和(89)方案为基础，着重补充完善Ⅹ—Ⅻ度的标志。在现有文献资料中，由国家地震局地球物理研究所和复旦大学中国历史地理研究所(1986)主编的《中国历史地震图集》，以及国家地震局震害防御司(1995)编的《中国历史强震目录》，较为系统地给出了历史强震各记载点的烈度值与地震影响情况。本研究遂以两文献中烈度值一致的地震情况为据，归纳相应的历史地震烈度标志。

#### 3.1 烈度为Ⅹ度的标志

由表1列出了Ⅹ度的地震影响情况。

表1 烈度为Ⅹ度的地震情况

Table 1 Cases for intensity Ⅹ earthquake

序号	地震时间	影响地点	地震情况
1	180-秋	甘肃表氏 (今高台西)	城中官寺民舍皆倾，县易处，更筑城廓。地涌水。自秋至翌年春地八十余动。
2	1303-09-17	山西临汾	城廓摧压，民居官舍多圯，府学、崇圣宫圯。为屋四百间之尧帝庙倒塌，仅存垂拱、寝殿、英皇、丹朱二祠及宾穆门。会仙观废，南乔村云海寺倒塌无存。地裂成渠，人民压死不可胜计。
3	1303-09-17	山西霍县	民居官舍震撼摧压，荡然无遗。州署、学宫、广顺寺、东西福昌寺等庙宇皆倾。
4	1303-09-17	山西介休	官舍民屋庙堂率皆崩陷，地裂成渠，泉涌黑沙。
5	1556-01-23	陕西临潼	坏城廓、庐舍殆尽，人民死者十之四。金庙、县学震圯。三年不止。
6	1556-01-23	陕西潼关	城垣沦没，民之死者十(之)七。周公渠渠所、道多湮塞，泮池圯。
7	1556-01-23	陕西大荔 (今大荔西)	一时城垣、官署、民舍、儒学、庙宇尽圯，金塔寺两砖塔亦俱圯，惟古红楼及观音堂无恙。地在陷裂，雒渭井泉俱竭，平地涌泉，高丈余，中多鱼蜗薪炭诸物。人民死者十之六。
8	1556-01-23	陕西朝邑	一时庐落尽圯。蒲城河西之大庆关，沿城创修石堤，下钉柏桩，上垒条石，中贯铁锭，城覆于隍，堤庙尽崩坏。文庙、严公祠圯。太白池地震后干涸。卑湿之处，地裂泉出高丈余，井竭，洛河可涉。泉出有鱼、有炭、有积薪，水温可浴。死者数万人。一昼夜动二十余次。
9	1556-01-23	山西蒲州 (今永济西)	城垣、衙署、房舍、庙宇、祠坛、书院、大洞堡等十三堡及两王宗室、城墙尽行倒塌。数处火起，地裂涌水，井水倒出地面。城西之黄河堤堰、堤尽崩。人民死者十之七。居民至夜露宿松(室)外。

续表 1

序号	地震时间	影响地点	地震情况
10	1605-07-13	海南琼山	公署、民房崩倒殆尽，城中压死者数千。县署、县学、伏波祠、天宁寺、谯楼、文昌祠倾圮。府学半颓，文昌塔崩颓，瑞丰桥崩坏，天王庙地震(后)修复。仓茂圩岸田沉，地裂涌沙水，南湖水深三尺，田地陷没者不可胜计，调塘(在县东南)等都田成海者计若干顷。县东寨港一带沉陷数十村。
11	1654-07-21	甘肃天水	城崩楼倾，城无遗堞，官舍崩圮殆尽，摇倒房屋三千六百七十二间，震塌窑窖不可胜计，压死男妇七千六百六十四口。(一说城垣、官署、民房崩圮十之九，死烧男女一万余口)。山皆倒置，水上高原，地震年余不止。
12	1668-07-25	山东沂水	城尽崩，县署圮，儒学明伦堂毁，棂星门无存，新兴庄(县东南)观音阁倾颓。葛沟镇闫君庙倾颓，神像坏，玉皇殿观音堂损。共坏官民房舍一万三千三百七十间，压死一千七百二十五人。
13	1668-07-25	山东费县	城崩，城楼、文庙、县堂、上司公署、城隍庙、鲁公祠俱毁，震塌城乡房屋，压死者不可胜数，平地涌水数尺，山摇水沸。奉旨免大粮三分之一。
14	1668-07-25	山东诸城	城廓、衙署尽坏，官民房舍倾圮十之九。山崩、地裂、涌水冒沙。压死在籍 2700 丁。免压死丁摇，仍免当年税粮十之四。
15	1668-07-25	山东日照	城垣崩圮始甚，房屋倾十之八九。公署、县属、察院、积贮库、义仓、寅宾馆、钟楼、更鼓楼、土地祠尽圮；关帝庙(县西南四十里)几为平壤，文庙儒学损坏，至圣先师殿倾圮。压死人民，山崩地裂，涌水喷沙。洪宁镇地陷为池。免本年税粮四分，复发银米赈济。
16	1668-07-25	江苏赣榆	城全崩，县署并六房舍宇倾圮殆尽，县学、重光寺、八腊庙、观音阁、青云塔等皆倾。地裂以丈尺计，井水上喷二丈，凡河俱暴涨。压死者以千计。
17	1679-09-02	北京通县	凡雉堞、城楼、仓廩、儒学文庙、官廨民房、楼阁寺院无一幸存者，燃灯佛塔、孤山塔亦倾仆。城内火起，延烧数十处。张湾、灤县亦然。周城四面地裂，黑水涌出丈许，月余方止。两处义冢尸棺多暴露。灤县旧学宫尽圮，小米集地裂出温泉，压死万余人。
18	1695-05-18	山西临汾	府城并东关城垣、楼堞、衙署、神佛、庙宇、民舍、仓库尽行倒塌，压死城乡居民二万七千八百六十四人。有阖门尽毙不留一人者，城内东关压死尤多。烈火烧天，黑水涌出。大云禅寺金顶宝塔毁，尧庙倾塌，通利渠倾，平水神祠震塌。
19	1718-06-19	甘肃通渭	公署、儒学、庙宇、仓廩、社稷坛等俱圮，官居民舍尽覆。东北城垣复没，只存西南一隅，官民移住西关。城东北隅平地陷裂，黄沙、黑水涌出，土山多崩，平地为高阜，南乡尤甚。城北笔架山一峰崩覆没。城乡压死人共四万有奇。
20	1739-01-03	宁夏银川	阖城庙宇、寺观(十四座)、文庙、学官、衙署、兵民房屋牌坊(二十座)等倒塌无存，城垣四面塌擗，仅存基础。房倒火起，遍城延烧，三四日来昼夜不息。男妇被压大半，兵丁被压焚而死者十之四五，郡城内掩埋死之大小口一万五千三百余具，瓦砾之中存尸尚多。平地裂成大缝，长数十丈不等，宽数寸或一二尺不等，地中黑水带沙上涌，亦有陷入而死者。
21	1739-01-03	宁夏平罗	城圮，文庙、学宫震毁。县属之洪广营衙署、仓廩、兵民房屋俱已倒塌，城廓震擗，又遭火烧，兵民打死十之四五，伤者大半，马甲打死一半。
22	1830-06-12	河北磁县	城垣倾圮过甚，十仅存一二，其存者亦岌岌若将仆。衙署、仓监、庙宇、民房倒塌殆尽(或谓倾覆十之七八)。城外大桥皆崩，南关大石桥(滏阳桥)坍塌。城乡地多坼裂，广尺余倍寻，狭以六七寸，甚至有宽数丈长半里许，深不可测者，裂处皆涌黑水夹细砂，泛滥于道。井水喷溢，甘苦互易，或有井泉反涸者。城关及彭城等被灾四百一十三村，共计倒塌房屋二十余万间，压毙万余人，可稽而报册者五千五百五十八人。
23	1833-08-26	西藏聂拉木	税卡、官邸和百姓住房倒塌、倾圮无遗。樟木、曲香两处百姓住房大都倒塌，人断炊。至边界道路、关隘、驿站、铁索桥等震倒，或被塌方流沙、滚石毁坏或阻塞，商路中断。边界宗溪房屋倒塌。

续表 1

序号	地震时间	影响地点	地震情况
24	1833-09-06	云南 嵩明 杨林	房屋倒塌甚多,市廛旅馆尽反而覆诸土中,瞬成平地,人多伤亡。地面裂而复合,夹死牛畜,黑水涌出。震时河水、塘水泼上岸。关圣宫、老城城皇庙坍塌,土主庙望海楼倾复殆尽,童保乡金轮寺残毁破坏,东岳街、光灵街房屋皆倒,北街房屋仅剩一所,东岳庙七十二间房惟存三间正殿。杨林附近数公里内,八步村房屋倒塌甚多,地陷积水成海;八步海地开大裂,宽五六尺;李官营倒房甚多,山坡开裂;新村地开大裂,人畜掉下。
25	1879-07-01	甘肃 武都	东乡压毙六百五十余人,牲畜房屋压坏十分之二;南乡压毙四千一百余人,牲畜房屋毙坏十分之四;北乡压毙一千三百二十余人,牲畜毙十分之六。城外万寿山玉皇宫、龙兴寺、至凤山太山庙、岳王庙坍塌佛殿共六十余间,木石无存。至临学宫、官舍;州署、厅署、大堂及二堂、官衙科房及仪门头门梁柱多半欹斜,墙壁倒塌过半,各处小房均塌。城身多有开裂,城墙垛口全行摇落。山裂水涌,滨城河渠失其故道,上下游各处,节节土堆塞积潦纵横。南山崩塌,冲压西南城垣数十丈,民居二百家。城中突起土阜,周二里许。各处山飞石走,地裂出水。死九千八百八十一人。

表 1 所列 25 个 X 度震例说明,早期记述较为笼统、概略,基本上是以州府、县治为中心的管辖区的记述;晚期的记述相对翔实,可及路、乡、村级的震灾情况。由表 2 所列地震情况,可以归纳出烈度 X 度的主要标志是:

官署、民居、学府、公廨等倒塌殆尽或仅存个别;庙宇、殿堂多倾圮,或仅存一、二;城垣、城楼多崩塌;石牌坊尽行倒塌,塔崩颓,桥崩塌;山多裂崩,阻绝道路或积水成湖,地裂普遍涌水冒砂,井水喷溢或井泉干涸;有地陷积水或陆陷成海者。人畜伤亡数以千计。赈济、免税赋。

### 3.2 烈度为 XI 度的标志

表 2 列出了烈度为 XI 度的地震影响情况。

表 2 烈度为 XI 度的地震影响情况  
Table 2 Cases for intensity XI earthquake

序号	地震时间	影响地点	地震情况
1	1303-09-17	山西赵城	本县尤重,靡有子遗,庙学圮,娲皇庙倾圮,长春观洞屋庐摧圮,为之一空。上、下渠堰陷坏,水不得通流。营田东北山摧阜移,范宣义郇堡山移途十余里,所过居民庐舍皆摧压倾圮。
2	1303-09-17	山西洪洞	儒学震陷。广胜寺下寺摧毁殆尽,城隍祠颓,二者震后重建。城南渡涧二里附近安乐庙圮、济民渠东堤兑塌。甘亭乡北羊村三教庙扫地俱空,瓦砾可伤。淹底乡上张村灵聪殿宇崩坏。古罗乡上寨村三教庙倾圮。
3	1556-02-02	陕西华县	山川移易,道路改观,屹然而起者成阜,坎然而下者成壑,倏然而涌者成泉,忽然而裂成涧;民庐官廨,神宇城池,一瞬而圮,堵无尺竖,惨不可言。民之死者十之六,伤者数万,间有生者,亦病不能兴。地在在皆裂,裂之大者,水出火出,怪不可状。有人坠入水穴而复出者,有坠入穴之下地复合,他日掘一丈余得之者。凤谷山寺水泉涸废。唐郭忠武王碑折其半。
4	1556-02-02	陕西渭南	公私庐舍、寺庙、宝塔、庙学一时尽圮,城池楼檐墙堦倾淹殆尽,城门陷入地中。县东十五里塬移路凸,城中人和街北,自县治至西城陷丈余。城东旧东赤水山,山甚高大,山岗陷入平地,高处不盈寻丈。县东神川塬上原五指山,震后毁削无存。地裂数十处,水涌、有薪、有船板、有鲜黄瓜,深者二三丈。人之死者什五(一说死数万人)。一昼夜震二十余次,人人自危。

续表 2

序号	地震时间	影响地点	地震情况
5	1556-02-02	陕西华阴	垣屋尽倾，西岳庙、华岳观、寿圣寺、府君庙等诸庙寺观殿宇倾毁。驻马桥摧毁。人畜压死不可胜计。地裂水涌，人多坠于穴。汉太尉杨震家凡七，其六皆陷，独西一家无恙。华岳庙之唐碑多毁。
6	1668-07-25	山东郯城	城楼垛口、监仓衙库、官舍民房并村落寺观一时俱倒如平地，闾县震塌房屋约数十万间，死男女八千七百有奇。马头集房屋尽塌，压死男妇千余。李家庄一镇并陷，凡数千家。刘马庄庄尽毁，地裂处或宽不可越，或深不敢视。地陷塌如阶级，有层次，裂缝两岸皆有淤泥细沙。地裂涌泉，上喷二三丈高，遍地水流，沟浚皆盈，移时即化为乌有。瘟疫随作，人民流散。
7	1668-07-25	山东莒县	官民房屋、学署、寺庙、监库、牌坊、城垣俱倒。六房文案沉压泥水无存，周围百里无一存屋。十三层塔崩裂一半。马著山崩四散。五庐崮山劈裂一半，自家崮、旋风朵、科罗朵、马齐山大山各裂一半。城内四乡遍地裂缝，或宽一尺至三尺，长数丈至数百步，也有十字形裂者。沐河东崖裂，缝宽三尺。自官庄至葛湖长十五里裂处皆翻土扬沙，涌冒黄水，压死人丁在册三千五百九十余丁，男女老幼死者共二万余人。诏发赈银九千九百一十五两，大粮赦免六分。
8	1679-09-02	河北三河	城垣、房屋存者无多，城内外计剩房屋五十间有半，县治各官署、儒学、神祠等俱圮无存。舍利塔顶檐四坠，层级难分。转角碑乃因地震撼动转向而得名。地多坼裂，黑水兼沙涌泛。有骑驴行道中者随裂而坠，了无形影。西行三十余里至柳树屯地脉中断，落二尺许，渐西北至东务里，则东南界落五尺许，又北至香各庄，则正南界落一尺许。闾境似甄之脱坏，人几为鱼鳖。压死二千六百七十七人。
9	1679-09-02	北京平谷	城廓村庄，房屋塔庙荡然一空。地断裂丈余，黑水兼沙水从地底涌出，田禾皆毁。山多崩陷，县东南自水峪至海子及新开峪，连接蓟县之盘山，其崩陷尤甚。海子庄东南锯齿崖，南北长里许，山皆参差松散，形如锯齿。盖地震摇而未崩陷者，其他中断如刀切而止存其半者，皆崩而陷入地中者也。邑西北大辛寨庄南一砖井歪斜变形，人呼为搬倒井。闾境人民，除墙屋压毙及地裂陷毙之外，其生存者十之三四。县之境，较低于旧时，或二尺或尺丈不等。

由表 2 所列 9 个 XI 度震例的地震情况，可以归纳出相应烈度的主要标志为：

民居、官署、学府、庙宇倾塌殆尽，或仅存个别；城垣、城楼尽倾塌，存者无多；石碑扭转或翻到；塔倾颓，桥摧崩；山劈阜移，地貌改观，地裂、地陷普遍，涌泉喷高丈许，夹沙土等物。人畜死伤数以万计。赈济、免税赋。

### 3.3 烈度为 XI 度的标志

在《中国历史地震图集》和《中国历史强震目录》中，未查到有关地震烈度为 XI 度的评定结果。究其可能的原因有二：① 现有的历史地震烈度表（如(83)简表和(89)方案）只给出了 > X 度或 XI 度的标志，没有 XI 度的标志；② 历史地震记载，尤其是早期的官方档案，多以郡、州县为记述单位，烈度评定也多以县为单位。而特大地震破坏最重的地带，往往局限在发震构造中心地段较小范围内，并不一定包含某县治所在地。比如经详细调查过的 1920 年 12 月 16 日海原 8½ 级地震（国家地震局震害防御司，1999），发震构造长约 200 km，XI 度区仅为从李俊堡至干盐池约 80 km 长、10 km 宽的狭长地带，并不包括海原和西吉县城。海原县城为 XI 度；西吉县城为 X 度。

作为与 12 阶烈度表相一致的历史地震烈度表，应该有 XI 度的评定标志。从前面的论述中也反映出（表 1），根据 EMS(98)表和(57)表的标志，1556 年 2 月 2 日地震对华县的影响可评为 XI 度；1668 年 7 月 25 日地震对郯城的影响可评为 XI 度。本研究参考 EMS(98)表和(57)表中有关 XI 度的标志，结合表 2 中序号为 1, 3, 4, 5, 6, 7 内所述的极端地震情况，给

出Ⅻ度的主要标志是：

民居、官署、庙宇、寺观、学府、会馆、监仓等倒塌如平地，或仅有子存；城垣、城楼倾塌殆尽；塔崩颓，碑、桥尽毁；山川改易，地形地貌剧烈变化；地裂地陷，且规模宏大；地表水和地下水发生剧烈变化。人畜死亡过半。赈济、免税赋。

### 3.4 新的《中国历史地震烈度表》(2010)

据以上论述，兹提出新的《中国历史地震烈度表》(2010)，如表 3 所示。

表 3 中国历史地震烈度表(2010)

Table 3 China intensity scale for historical earthquakes (2010)

烈度	人与社会 反响	房屋建筑	构筑物	地表现象
Ⅲ	地微震			
Ⅳ	大地震 地震有声	房屋动		
Ⅴ	大地震 有声如雷 山谷响应	房屋响动，或震落檐瓦	坏土城堞	偶有山石滚落
Ⅵ	惊逃户外 偶有伤亡 (个别)	坏民居，屋瓦落，墙壁损坏，间或有倒塌者。	坏城堞或城垣，石牌坊轻微损坏。塔顶损坏或坠落。石桥栏杆有损坏。	山石滚落
Ⅶ	杀人或压 杀人畜 (数十)	民居多坏，房屋倾圮。房屋倾圮无算，或无数。坏官民庐舍，庙宇两庑有损坏者。	坏城垣、城楼，或城垣局部倒塌。土城崩。墙垣多圮。塔顶部分圮。石牌坊顶部有震塌。桥面及桥体震裂。	崖岸崩塌，山石崩落。地裂涌水。
Ⅷ	伤亡人畜 (数十至数百) 赈济	官民庐舍尽坏。民居、公廨多倾圮。官署、学府、仓监等多坏，或部分倒塌。坏庙宇、殿堂，或庙宇两庑倾圮。	大坏城廓。城垣多倒塌。城楼震圮。塔崩裂或上部塌落。石牌坊部分倒塌，或个别倒塌。桥梁震坏，部分震塌。	山裂、山崩。平地开裂，黑沙水涌出，出现新泉，或有泉水干涸。
Ⅸ	压杀人众 (数百至上千) 赈济、减免 税赋	民居、公廨、官署、学府、监仓等倾圮殆尽或存一二。庙宇、殿堂多坏或部分倒塌。	城垣、边墙、墩台多坍塌或砖城墙崩。城楼倾圮。石牌坊大部分倒塌。塔倾圮。桥倾圮。	山裂山崩，阻塞道路或河流。地开裂，黑沙水涌出。井水外溢，或井泉干涸。
X	伤亡甚众 (数千至万) 赈济、免税赋	民居、公廨、官署、学府、监仓等倒塌殆尽或仅存个别。庙宇、殿堂多倾圮，或仅存一二。	城垣、城楼多崩塌。砖城墙崩数十丈。石牌坊尽行倒塌。塔崩颓。桥崩圮。	山多裂崩，阻绝道路或积水成湖。地开裂普遍，涌水冒沙。井水喷溢或井泉干涸。有地陷积水或陆陷成海者。
XI	伤亡甚众 (数万) 赈济、免税赋	民居、公廨、官署、学府、监仓、庙宇殿堂等倒塌殆尽或少有存者。	城垣、城楼尽倾塌存者无多。砖城墙多崩塌，石碑扭转或翻到。塔倾颓。桥摧崩。	山劈阜移，地貌改观。地裂地陷普遍，涌泉喷高丈许，夹沙土石等。
XII	压杀惨重 (死亡者过半) 赈济、免税赋	民居、公廨、官署、学府、监仓、庙宇、殿堂等俱倒塌如平地，或仅有子存。	城垣、城楼倾塌殆尽。砖城墙尽崩毁。碑、桥尽毁。	山川改易，地形地貌剧烈变化。地裂地陷规模宏大。地表水和地下水发生剧烈变化。

若与(83)简表和(89)方案相比较，可见表 3 的表列形式有变化，但Ⅸ度以下的标志是基本一致的，只是 X—Ⅻ度的标志有所不同。其中增加了社会反响标志，并着重对 X—Ⅻ度的房屋建筑、构筑物和地表现象标志进行了调整和补充。

## 4 说明

因历史地震记载资料，尤其是早期的记载资料非常简略，表 3 中只列出了主要的标志。为便于应用，兹对表 3 所列之历史地震烈度标志说明如下。

### 4.1 人与社会反响

在历史地震资料中，常有人、畜伤亡的具体记述。当地震灾害较重时，会采取赈济、减免税赋等社会措施。因此，将人与社会反响程度为烈度表的标志之一。

然而，人畜伤亡程度会随房屋的耐震性能、地质地貌环境条件和地震时刻等不同而差别很大。比如 1604 年 12 月 29 日戌时发生在泉州海外的 7½ 级地震，影响到泉州等 15 个州县的地震烈度达Ⅷ—Ⅵ度，但史料中却没有入、畜死亡的记载(95 版《中国历史强震目录》143—144 页)(国家地震局震害防御司, 1995)。据调查，该地区的房屋多以木架结构、瓦房顶、木板或竹笆镶墙。这类房屋的耐震性能好，墙体较轻，不易产生墙倒屋塌压死人畜的现象。

还需要注意的是，在地震史料对人畜伤亡的记载情况中，常包含了火灾、水灾、瘟疫、饥荒等次生灾害的影响。如 1367 年发生在山西太原附近的地震事件，史料记“太原地大震，凡四十余日。又震裂坏民居舍，火从裂地中出，烧杀数万人”(汇编卷一, 214 页)(谢毓寿, 蔡美彪, 1983)。该地震事件对太原地区的房屋破坏并不严重，但地震地裂引发的火灾却是杀人主因。

人类社会面对突如其来的自然灾害等，都会采取一定的救助措施。我国自西汉起就有了社会救灾机制(冯锐, 2009)。在历史文献中，常有关于社会救灾措施的记述内容，因受灾程度不同，采取的措施也有差异。通常情况下，当遭受Ⅷ度以上地震时，人畜伤亡较多，财产损失较大，会开展赈灾救济措施；Ⅸ度以上地震时，会减免税赋；Ⅹ度以上地震时，还会委派专员核查灾情，免税赋，甚至祭司山川等。比如，公元前 47 年甘肃陇西遭受Ⅸ度地震，赈灾措施是“灾甚者无出租赋，赦天下”。又如 1303 年山西赵城、洪洞等地遭受特大地震后，除拨银十余万锭救灾外，还免太原、平阳三年差税，开放山场河泽听民采捕，天子特遣近臣祭于霍山等。因此，烈度表中列出的人畜伤亡与社会反响所采取的措施，也能大致体现地震灾害的程度。但由于造成人畜伤亡的不确定因素较多，还包括次生灾害的影响等，因此需要对史料进行仔细分析，将人畜伤亡与社会反响情况作为评定烈度的首要参考标志。

### 4.2 房屋建筑

用房屋的损坏程度来评定烈度，是分布广、数量多的常见标志，也是最主要的标志。

从农耕时代起，人们开始定居，对房屋逐步追求坚固耐用。随着社会进步，由就地取用天然的石泥草木等原料，发展到打磨加工过的石材、秦砖汉瓦、石灰、木和金属构件与结构。对其建造技术，也在场地选择(看风水)、地基处理、构造措施、保障施工质量等方面不断完善。到了唐、宋时期，就能建造各式各样坚固耐用的房屋建筑。宋人李诫于公元 1101—1125 年间编撰了共 34 卷的《营造法式》，是世界上最早的建筑规范。社会进步了，房屋建筑的防灾能力也就增强了。尤其风、雨、雪、洪水等自然灾害，是人们常见熟知的。要防风灾，就要考虑风力的水平与旋转作用；防雨、雪，要考虑垂直作用；防水灾，要做好场地选择和地基处理。有了这些最基本的防灾能力，也就必然具有相应的耐震性能了。比

如山西五台山佛光寺大殿,是我国保存最为完好的唐代古建筑(梁思成,2001).该殿建于公元857年(唐宣宗大中十一年),曾经受过1038年1月15日定襄7¼级地震和1683年11月12日原平7级地震的两次Ⅷ度影响,仍安然无恙.再如天津蓟县独乐寺中宏伟的观音阁及山门,建于公元984年(辽统和二年),曾经受过1679年9月2日三河平谷8级地震的Ⅹ度影响,仍完好无损(图1).



图1 蓟县独乐寺观音阁照片,建于公元984年(孟宪梁于1983年摄)

Fig.1 Guanying pavilion, in Jixian Dule Temple, built in AD 984  
(Photo taken by Meng Xianliang, 1983)

通常认为,一般房屋在遭受Ⅹ度地震时大都倒塌,未倒塌的已所剩无几了.因此,在我国以往的烈度表中,有关Ⅺ度或Ⅻ度的房屋破坏标志很笼统或不提及(谢毓寿,1957;顾功叙,1983;李群,1989).但众多的地震史料还是表明,即使在 $\geq$ Ⅺ度地震影响时,一些官署、庙宇、学宫、殿堂等耐震性能较好的木结构建筑,只是受到损坏至破坏的程度,也有乡绅宅院基本完好的情况.现代地震的科学考察结果也说明,一些建造质量较好的房屋建筑,是可以耐受Ⅹ度以上地震影响的.在1920年12月16日宁夏海原8½级地震时,我国传统的木结构承重的殿堂式建筑,多为庙宇、祠堂、城楼、戏台等,经Ⅹ度以上地震后仍墙倒屋不塌;凡用材考究,施工质量好的穿斗木构架民房,也可耐Ⅹ度地震(国家地震局兰州地震研究所,宁夏回族自治区地震队,1980).就是在2008年5月12日四川汶川特大地震中 $\geq$ Ⅹ度的极震区,常见未设防的传统木结构民居只是“房瓦掉落,倾而不倒”,表现出较好的防震性能.本文根据已有的地震经验,并参考EMS(98)烈度表中的标志,对Ⅹ度、Ⅺ度、Ⅻ度的建筑物标志进行了调整和补充.

从烈度表的发展趋势看,较为适用的烈度表,都要对房屋的耐震性能(也称易损性)进行分类,并对破坏程度进行分级.根据历史地震资料的实际情况,仅能粗略地分为三大类:

民居(民房)；官署、学府、庙学、儒学、学宫、书院、监仓、公廨等(简称为官房)；庙宇(不包括两庑和僧侣住房)殿堂。总体而言，庙宇、殿堂的耐震性能较好，Ⅷ度以上才有损坏或破坏；官房次之，Ⅷ度就有损坏；民居较差，Ⅵ度就可遭受到损坏或破坏。也有少数富人的房屋比当地官署的耐震性能还好。如(清)嘉庆元年的《莒州志》记：“州治旧在解元坊，明洪武元年知州赵麟重建，历任递加修葺。至国朝康熙七年地震倾圮，一时不克修建，遂借州绅庄待御家住宅西首一半为廨，俗呼小堂，岁给租价”(汇编卷三(上)，186页)(谢毓寿，蔡美彪，1987)。这表明州绅庄家住宅在经受Ⅺ度地震影响后(表2中序号7)，仍旧基本完好。若按(57)表对房屋建筑的分类，则民居多为Ⅰ类和Ⅱ类，少数为Ⅲ类；官房为Ⅱ类和Ⅲ类；庙宇两庑和僧侣生活用房为Ⅱ类，庙宇、殿堂为Ⅲ类。若按EMS(98)表对结构易损性等级的划分方案，民居多为A和B类，少数高质量的砌体结构(如用糯米石灰浆砌筑的砖石结构)为C类，正规木结构为D类；官房为B类、C类和D类；庙宇、殿堂为D类。

参照(57)表和EMS(98)表对建筑物破坏程度的分级标志，若分为5个等级：①基本完好到轻微损坏(不必修缮就可继续使用)；②损坏(经一般修缮就可继续使用)；③破坏(经专门修缮后方可使用)；④毁坏(即严重破坏，无法修复，需重建)；⑤倒塌。则对历史地震资料中的房屋建筑破坏程度，宜作如下理解：

1)“坏”包括损坏、破坏和毁坏。“坏民居”指少数民居受到损坏或破坏，个别到毁坏。“坏官民庐舍”指不仅民居遭受到破坏，甚至毁坏到倒塌；官房也遭到损坏或破坏。“官民庐舍多坏”，因官房好于民房，应视为民房多坏，官房只有少数损坏或破坏。“民居多坏”指超过半数的民居遭受到损坏、破坏或毁坏。“官民庐舍尽坏”指绝大多数的民居和多数官房都遭受到损坏、破坏、毁坏或倒塌，基本完好者为极少数。

2)“倾”、“圮”、“毁”、“倾圮”和“倾坏”均指破坏或毁坏。“房屋倾圮”，因未提及官房，宜为少数民居受到破坏或毁坏。“多圮”和“多倾圮”是过半数遭到破坏或毁坏。“皆倾”、“尽圮”和“倾圮殆尽”均指绝大多数遭到破坏或毁坏，甚至倒塌。

3)“俱”、“尽行”、“无存”、“无遗”均为全部的意思，但并不排除仅存个别或仅有子存。比如，1679年9月2日地震对三河县的影响(表2中序号8)：“县治各官署、儒学、神祠等俱圮无存。城垣、房屋存者无多，城内外计剩房屋五十间有半”。又比如1668年7月25日地震对山东莒县造成“官民房屋、学署、寺庙、监库、牌坊、城垣俱倒”，但还有州绅庄家住宅基本完好，其西院借予州署使用；而且文庙圣殿和宝恩寺之阁楼等均巍然屹立(汇编卷三，186页)(谢毓寿，蔡美彪，1987)。

### 4.3 构筑物

在历史地震记载资料中，常见的构筑物有城墙、牌坊、塔、碑和桥等。这些构筑物因所用材质、结构形式、施工质量各不相同，受地震影响的表现也各异。现对地震影响程度的主要标志说明如下。

1)城墙(也称城垣)。古代的城墙以土筑或“三合土”筑为主，好的用砖石包皮，厚度与高度均在数米至十数米不等。城墙上设有堞墙，高度约2m，厚不足1m，有夯土、土坯、砖或石砌的区别。有的城墙的城门洞上方还设有城楼。由于城墙厚度较大，其核心又为土体，地震破坏现象类似崖岸崩塌。城堞较薄弱，又在城墙之上，有鞭梢效应，Ⅴ度时就可能损坏。城楼多为木结构，但位于城门之上，相当于建在孤突的地形上，Ⅵ度时就可能损坏。城楼虽属房屋建筑，因基础在城墙上，又常与城墙的破坏情况相联系，故放在城墙一类的

标志中, 位于山间或山前地带的城墙, 其地基很不均匀, 因受到边坡失稳、沙土地基液化或软土震陷等影响, 比地上的城墙更容易损坏或破坏. 砖石包皮的城墙比土城墙坚固耐震, 本表中未注明是砖石城墙的, 均指土城墙.

2) 牌坊有木牌坊和石牌坊之分. 石牌坊也有类似的榫卯结构, 可榫之长和卯之深均少超过 10 cm, 而且石材本身为碎性, 因此, 石牌坊的耐震性能不如木牌坊. 但石牌坊耐雨雪风霜, 保存时间较长, 数量多, 分布也广. 本表中的牌坊标志, 均指石牌坊.

3) 塔有砖塔、石塔、木塔和铁塔等. 木塔和铁塔数量稀少, 表中所列之塔均指常见的砖塔或石塔. 塔的结构形式有较大的差异, 有瘦高秀美的, 也有纵剖面呈下宽上窄、收分较快的三角形的(如西安的大雁塔、临汾的大云寺塔等). 有空心塔, 也有实心塔(如洪洞广胜寺飞虹塔). 塔址所在地有在平地上的, 也有在孤突的山丘之顶. 再加上建造质量的差异, 塔与塔之间的耐震性能差别可想而知. 所以, 本表中所列塔的标志, 具有一般统计意义, 不能以某座塔的地震影响程度来评定烈度, 一定要结合其它构筑物, 尤其是房屋的标志等来评定为妥.

4) 碑主要是指石碑. 石碑的结构形式和重心高低各异, 所处的地震环境也不同, 其地震反应的现象有差别. 本表所列石碑标志, 是从仅有少量的历史文献中得来, 可供评定烈度参考.

5) 桥. 古时以石桥和木桥为主. 石桥的结构形式有单孔、多孔的平桥或拱桥. 木平桥也多以石桥台、石桥墩为基座. 一般石桥的耐震性能不如木桥. 也有建造质量很好的石桥(如河北赵州桥), 能经受住大地震的考验. 桥总是依河傍水而建, 桥遭受的不仅是地震动的直接影响, 还常受到边坡失稳、地基液化和软土震陷等次生灾害的影响. 然而, 对于历史文献中所记桥梁震损情况, 不可能作具体的分析, 只能大致地估计地震影响程度.

总之, 由于构筑物的数量和分布有限, 而且地震影响现象受到结构形式、建造质量、场地条件等多种因素的制约, 其标志的不确定性大于房屋建筑. 所以, 本表中所列构筑物的标志, 宜作为评定烈度的重要参考依据.

#### 4.4 地表现象

在历史地震记载资料中, 常见的地表现象有山石滚落、崖岸崩塌、山裂山崩、平地开裂、黑沙水涌出、井泉喷溢或井泉干涸、地裂地陷等. 现今的地震经验表明, 这些地表现象虽然能在一定程度上反映地震影响的强弱, 但由于受地质、地形条件的制约因素较明显, 有必要予以说明.

1) 山石滚落、崖岸崩塌、山崩山裂现象, 与地震影响强弱有关, 也与场地所在的地质、地形环境条件有关. 如页岩、千枚岩等易于风化的岩石, 加上山崖陡峻, 甚至是垂直节理发育的黄土崖坎等, 在 V 度时就可能产生滚石或崩塌. 在历史地震资料中记载的山石滚落、崖岸崩塌, 当是规模显著, 对人们的生活或生产有一定影响的, 在 VI 度或 VII 度以上才明显.

2) 地裂、涌水冒沙现象, 多发生在第四纪沉积地层发育的平原或河、湖岸边的阶地上. 在潮湿的河岸或湖边, V 度时就可能出现地裂缝. 至于涌水冒沙现象, 为砂土液化, 孔隙水压增大所致. 砂土液化不仅与地震动幅度有关, 而且与地震动频率和持续时间有关. 大地震在远场的震动幅度可能不是很大, 但频率较低, 震动持续时间较长, 同样会引起地裂缝和喷水冒砂. 比如位于黄河三角洲的胜利油田地区, 在 1969 年渤海湾 7.4 级地震时,

东营市的Ⅵ度区内就出现过规模可观的喷水冒沙现象；在1976年唐山7.8级地震时，烈度为Ⅴ度区的息利县境内黄河沿岸出现百余处地裂缝和喷水冒沙现象，可一般房屋并未受到损坏。在历史地震资料中的地裂、涌水或喷水冒沙现象，应是较为人们常见的，一般在Ⅶ度以上才普遍发育。喷水冒沙的规模与可液化地层厚度、埋深及地震动强度有关。在1966年3月邢台地区发生6.8级和7.2级地震时，Ⅸ度区内的喷水冒沙就有淹没农田；Ⅹ度区内的井水喷出高达3 m以上，并带出大量泥沙和小贝壳等物。

3) 出现新泉或井泉干涸等现象，与地下水位变化有关。这类地震现象一般出现在Ⅷ度以上的高烈度区内，尤其是7级以上地震的极震区及附近地带。这很可能是震源断层的剧烈活动影响到近地表的含水层和地下水的运移途径，造成大范围内地下水和地表水分布变化所致。地震越大，震源断层的规模越大，而且活动幅度也大，造成地下水和地表水的变化也就越剧烈。

4) 地陷现象有两类：一类是发生在Ⅹ度以上地区的地陷或地面沉降，这与震源区附近的地壳升降变化有关；另一类是与岩溶塌陷有关。灰岩地区的某些地下溶洞，没有地震时会塌陷，遇到Ⅳ度或Ⅴ度地震影响时也可能塌陷。因此，当历史地震资料中只记有“地震地陷”，未记房屋损坏情况，宜作后一类地震塌陷处理，将烈度定为Ⅴ度。在具体判断有塌陷的地震影响时，要综合考虑有无其它标志可用，并注意评定结果与附近场点及在整个地震影响场中的协调性。

5) 山劈阜移、山川改易等现象，通常发生在特大地震的极震区。往往因震源断裂的强烈活动，遇山劈山，遇河切河，所向披靡，不受任何地形和岩性的影响，形成规模巨大的地裂缝带，宽不可越，深不可视，长达数公里以上（如1668年山东郯城8½级地震和1920年宁夏海原8.5级地震的极震区都有类似的地裂缝带）。有的山劈去一半，或原在山上的房屋、田地移动到山下河流的对岸，阻塞原有河流、道路，甚至形成堰塞湖。在宏大的地震构造活动与地震动力作用下，山川、地形地貌发生剧烈变化，地表水和地下水发生大面积巨变。

## 5 应用验证

以表4中的10次历史地震记载资料为例，应用“中国历史地震烈度表”(2010)(表3)进行烈度评定，并与EMS(98)表、(57)表、(83)简表和(89)方案之评定结果比较，验证其适用性与一致性。

1) 1564年7月20日意大利La Bollene地震影响。文献资料仅提到“房屋的所有墙体都倒塌了”。按EMS(98)表的说明，“房屋的所有墙体都倒塌了”可能的解释是绝大多数建筑物遭到4级(毁坏)和5级(倒塌)的破坏，有些建筑物遭受到破坏程度甚至更小。这样的地震情况相当于“中国历史地震烈度表”(2010)(以下简称(2010)表中Ⅷ度建筑物的标志：“官民庐舍尽坏”。所以，按(2010)表的标准，1564年7月20日意大利La Bollene的地震影响宜评定为Ⅷ度。

2) 1801年9月7日苏格兰贡里克地震影响(从略，详见欧洲地震烈度表1998)。

3) 公元前47年4月17日甘肃陇西地震影响(从略)。

4) 1067年11月12日前广东潮州地震影响(从略)。

5) 1474年11月5日云南鹤庆地震影响(从略)。

6) 1556年1月23日陕西华县地震影响. 据文献记载的地震情况是:“城池庙宇官廨民舍倾圮, 墙无尺竖. 山川移易, 原阜移徙, 高下尽改. 地裂隙, 水涌成渠. 死者为全数十之六”(“汇编”卷二, 402—475页)(谢毓寿, 蔡美彪, 1985). 华县所在关中地区, 是自然条件较好, 人们生活较富庶的地区. 其城池和房屋的耐震性能应好于平均水平. “城池庙宇官廨民舍倾圮, 墙无尺竖”, 说明地震的破坏已达毁灭性程度, “倾圮墙无尺竖”可等同于“俱倒如平地”, 也就相当于(2010)表Ⅻ度的标志:“民居公廨、官署、学府、监仓、庙宇殿堂等俱倒如平地”和“城垣、城楼倾塌殆尽”. 而且“死者为全数十之六”也达到“死者过半”的标志. “山川移易, 原阜移徙, 高下尽改. 地裂隙, 水涌成渠”的地表现象, 也达Ⅻ度的标志“山川改易, 地形地貌剧烈变化”. 因此, 按(2010)表的标准, 1556年1月23日陕西华县的地震影响宜评为Ⅻ度.

7) 1605年7月13日海南琼山地震影响. 据史料记载的地震情况是:“亥时地大震, 声响如雷, 庙宇、祠堂、学宫、公署、民房崩倒殆尽, 塔颓, 桥崩圮, 城中压死者数千. 地裂水沙涌出, 南湖水深三尺, 田地陷没者不可胜计”(“汇编”卷二, 675—676页)(谢毓寿, 蔡美彪, 1985). 海南琼州地区的百姓, 有就地取用火山岩毛石砌墙建房的习惯. 这些房屋虽能防风雨, 但耐震性能较差. 地震发生在夜晚, 伤亡情况比白天要重. “庙宇、祠堂、学宫、公署、民房崩倒殆尽”, 已达(2010)表Ⅺ度房屋建筑的标志:“民居、公廨、官署、学府、监仓、庙宇等倒塌殆尽或仅存个别”. 但“塔颓, 桥崩圮”仅相当于Ⅹ度的标志. “地裂水沙涌出, 南湖水深三尺, 田地陷没者不可胜计”的地表现象, 也相当于Ⅹ度的标志. 考虑到房屋耐震性能的可能差异, 按(2010)表的标准, 1605年7月13日海南琼山的地震影响宜评为Ⅹ度.

8) 1654年7月21日甘肃天水地震影响. 史料记载情况是:“城垣、庙宇、官署、民房崩圮十之九, 摇倒房屋三千六百间, 震塌窑砦不可胜计, 压死男女万余口. 山崩水壅, 塞河为潭, 或两山合为一处, 压埋村落近十里. 地震年余不止”. 也有文献记:“城垣官舍崩圮殆尽”, 或“城崩楼倾”等(“汇编”卷三(上), 62—64页)(谢毓寿, 蔡美彪, 1985). 各文献的用词差异说明, “崩圮殆尽”与“崩圮十之九”应视为相当. 其房屋建筑的毁坏程度“庙宇官署民房崩圮十之九”或“官舍崩圮殆尽”, 已达到(2010)表中Ⅺ度的标志:“民居、公廨、官署、学府、监仓、庙宇等倒塌殆尽或仅存个别”. 而“城垣崩圮殆尽”也达到Ⅺ度标志“城垣、城楼尽倾塌, 存者无多”的程度. “山崩水壅、塞河为潭”相当于Ⅹ度标志的“山多裂崩, 阻绝道路或积水为潭”, 但“两山合为一处, 压埋村落近十里”相当于Ⅺ度标志的“山劈阜移, 地貌改观”. 光压死者就达万余口, 加上伤者可达数万人之众. 死伤人口较多, 可能与“震塌窑砦不可胜计”有关, 但地震动作用确实强烈, 摇倒房屋 3600 间. 综上考虑, 按(2010)表的标准, 1654年7月21日甘肃天水的地震影响宜评为Ⅺ度.

9) 1668年7月25日山东郯城地震影响. 史料记载情况是:“砖城墙倾大半, 城楼、垛口、监仓、衙署、官舍、民房并村落寺观, 一时俱倒塌如平地, 打死男妇子女八千七百有奇. 地裂处或宽不可越, 或深不可视, 地陷塌如阶级, 有层次, 泉涌上喷高二三丈”(“汇编”卷三, 182—184页)(谢毓寿, 蔡美彪, 1987). 虽然在总体记述中称“一时俱倒塌如平地”, 但在震后5年刊印的《县志》分述中却有个别较坚固的房屋未倒塌. 若按“衙署、官舍、民房并村落寺观, 一时俱倒塌如平地”衡量, 已达到(2010)表Ⅻ度标志“民居、公廨、官署、学府、监仓、庙宇、殿堂”等俱倒如平地的程度. 考虑到综述中可能有夸张的成分, 在《县志》分述中有个别房屋并未倒塌, 仅为“毁裂”、“震裂”或“上漏下湿”的情况, 至少也达到Ⅺ度标志

“民居、公廨、官署、学府、监仓、庙宇等倒塌殆尽，或少有存者”的程度。“砖城墙倾大半”、“城楼、城堞俱倒塌”相当于Ⅻ度标志的“砖城墙尽崩毁”。“地裂处宽不可越，深不可视，地陷塌如阶级、有层次，泉涌上喷高二三丈”的地表现象，也达到Ⅻ度的标志“地裂地陷规模宏大”的程度。按(2010)表的标准，1668年7月25日山东郯城的地震影响宜评为Ⅻ度。

10) 1679年9月2日北京地震影响。据史料记载的地震情况是：宫殿、衙署、寺庙、会馆和民居均遭到破坏，倾倒房屋一万二千七百九十三间，坏房一万八千零二十八间，死人四百八十五名。平地坼裂数丈，德胜门下裂一大沟，水如泉涌；天坛旁裂出黑水。文献还对宫殿和官房的破坏与修缮情况做了详尽的记述，反映出不同类型房屋建筑物遭受地震破坏程度也不同，宫殿比一般建筑物要轻(“汇编”卷三(上)，279—300页)(谢毓寿，蔡美彪，1987)。地震之时，北京已是几代王朝的古都，建筑类型和耐震性能多种多样。但一般民居和官房中的次要建筑(如附属用房或马厩等)的耐震性能仍较差，地震中的倒塌房屋主要是这类较差的建筑。部分宫殿受损坏，仅是饰物掉落，瓦有移动破裂，或水管折断等可修复的损坏。其房屋建筑的破坏程度，已相当于(2010)表Ⅷ度标志“官民庐舍尽坏。民居、公廨多倾圮。官署、学府、监仓、会馆等多坏，或部分倒塌。坏庙宇、殿堂，或两厢有倾圮”。再考虑到“平地坼裂数丈，水如泉涌或裂出黑水”，也相当于Ⅷ度的地表现象；以及死亡485人，加上伤者则在千余人左右。因此，按(2010)表的标准，1679年9月2日北京的地震影响宜评为Ⅷ度。

为了与EMS(98)表、(57)表、(83)简表和(89)方案的评定结果相比较，在第3节结果的基础上汇编成表4。

表4 基于不同烈度表的烈度评定结果

Table 4 Intensity evaluation based on different intensity scales

序号	地震时间 年-月-日	影响地点	EMS(98)表	(57)表	(83)简表	(89)方案	(2010)表
1	1564-07-20	意大利 纳波里	Ⅷ—Ⅸ	Ⅷ	Ⅷ	Ⅷ	Ⅷ
2	1801-09-07	贡里克	Ⅵ	Ⅵ	Ⅵ	Ⅵ	Ⅵ
3	公元前 47-04-17	甘肃陇西	Ⅸ	Ⅸ	Ⅸ—Ⅹ	Ⅸ	Ⅸ
4	1067-11-12	广东潮州	Ⅹ	Ⅸ	Ⅸ—Ⅹ	Ⅸ	Ⅸ
5	1474-11-05	云南鹤庆	Ⅶ	Ⅶ	Ⅶ	Ⅶ	Ⅶ
6	1556-01-23	陕西华县	Ⅻ	Ⅻ	>Ⅹ	Ⅺ	Ⅻ
7	1605-07-13	海南琼山	Ⅹ—Ⅺ	Ⅹ—Ⅺ	≥Ⅹ	Ⅹ	Ⅹ
8	1654-07-21	甘肃天水	Ⅺ	Ⅺ	>Ⅹ	Ⅺ	Ⅺ
9	1668-07-25	山东郯城	Ⅻ	Ⅻ	>Ⅹ	Ⅺ	Ⅻ
10	1679-09-02	北京	Ⅸ	Ⅷ	Ⅷ	Ⅷ	Ⅷ

表4所示结果说明：①与EMS(98)表和(57)表相比较，(2010)表所得结果与其基本一致；②与(83)简表和(89)方案相比较，(2010)表在Ⅵ—Ⅸ度范围内的评定结果基本相同，在Ⅹ—Ⅻ度范围内却有差异。由于(83)简表中Ⅸ—Ⅹ度和>Ⅹ度都不区分，而(89)方案只到Ⅺ度，是致使相应结果产生差异的主要因素。(2010)表是在(83)简表和(89)方案的基础上，补充了Ⅹ—Ⅻ度的标志，保持了各烈度之间的标志分级，只对表列形式作了改变。所以，(2010)表在Ⅵ—Ⅸ度范围内的评定结果与其上述4个表之结果基本一致，只是在Ⅹ—Ⅻ度表范围内与(83)简表和(98)方案有差别。

值得注意的是,对 1556 年 1 月 23 日陕西华县地震影响和 1668 年 7 月 25 日山东郟城地震影响的烈度评定结果,与《中国历史地震地理图集》(国家地震局地球物理研究所,复旦大学中国历史地理研究所,1986)与 95 版《中国历史强震目录》(国家地震局震害防御司,1995)所给出的结果有差异.按(2010)表的标准,在华县附近或郟城附近,有可能勾划出Ⅻ度的极震区来.其实,早在 1987 年,高维明等(1988)就在郟城—莒县之间划出过Ⅻ度的极震区.谢毓寿(1992)的研究结果也指出,1556 年 1 月 23 日地震对陕西华县和渭南的影响宜定为Ⅻ度.

本文对Ⅺ—Ⅻ度标志所做的调整与补充是有益的,完善了作为 12 阶烈度表相应的《中国历史地震烈度表》;本文提出的(2010)表,保持了以往各表的适用性与一致性.

## 6 讨论与结论

本文在比较分析以往烈度表的基础上,着重增加了社会反响标志;对Ⅺ—Ⅻ度的房屋建筑物和地表现象标志进行了调整与补充,完善了作为 12 阶烈度表相应的《中国历史地震烈度表》.文中对烈度表的各项标志作了简要说明,并列出了国内外 10 次历史地震事件的评定实例.本文提出的《中国历史地震烈度表》,保持了以往烈度表的适用性与一致性.相对于烈度和烈度表的定性分阶而言,用于评定烈度的历史地震资料的真实性更为重要.在一个地区或工程建设场地的历史地震影响进行复核评价时,尤其值得注意以下方面:

1) 应以正史、志书等官方档案文献记载为准,尽量避免传闻或转述中夸大灾情的影响.比如关于 1668 年 7 月 25 日地震对山东莒县的影响情况中,见有“周围百里无一存屋”,而《汇编》资料(卷三,185—186 页)(谢毓寿,蔡美彪,1987)显示其取自宣统年间的《客舍隅闻》,与各版本《州志》所述情况不符,不仅州绅庄家的房屋院落基本完好,而且文庙圣殿和宝恩寺之阁楼等均巍然屹立.而且,嘉庆元年刊本的《莒州志》还记有:“莒自遭地震,又遇水灾,今日民居,半非旧宇,而坊里名称犹未改也”.说明地震后仍有少数民居存在,并非《客舍隅闻》所言“周围百里无一存屋”.

2) 要慎重甄别疑难地震资料的可靠性.比如 1995 年版《中国历史强震目录》中编号为“2”的地震事件,其依据的资料就存疑.在《国语》和《太平御览》中,只分别记述了“昔伊洛竭而夏亡”以及“桀末年社坼裂”,均未言地震.近代学者王国维秉承五行之说,在《今本竹书纪年疏证》中附会为“[桀]十年,五星错行,夜中星陨如雨,地震,伊洛竭”.而且,也难用现代地震学知识去理解地震之地点并评定其烈度.所以,该事件因缺乏“地震”依据宜予删除(鄢家全等,2006).

3) 应注意各地区不同历史阶段房屋建筑耐震性能的差异.诚然,房屋建筑的损坏程度是评定烈度的主要标志.但是,我国地域辽阔,各地的文化历史、风土人情和房屋建筑的耐震性能差异较大.因此,在评定历史地震烈度时,一定要对该地区的文化历史和风土人情有所了解,对当时的房屋建筑耐震性能作出适当的估计,方可得到合理的烈度评定结果.

郭增建、时振梁、金严、高孟潭、李群、杨玉林、袁一凡、孙景江、李山有、董瑞树、邓瑞生、黄圣睦、齐书勤、金学申、刁守忠、刘昌森、袁定强、谢明富等先生对本文提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢!

## 参 考 文 献

- 冯锐. 2009. 中国地震科学史研究[J]. 地震学报, **31**(5): 564-582.
- 高维明, 李家灵, 郑朗荪, 林趾祥. 1988. 1668年山东郯城 8½级地震[M]//中国特大地震研究. 北京: 地震出版社: 70-97.
- 顾功叙(主编). 1983. 中国地震目录[M]. 北京: 科学出版社: 2-5.
- 国家地震局地球物理研究所, 复旦大学中国历史地理研究所(主编). 1986. 中国历史地震图集, 远古至元时期、明时期、清时期[M]. 北京: 中国地图出版社: 83.
- 国家地震局震害防御司. 1992. 地震工作手册[M]. 北京: 地震出版社: 285-287.
- 国家地震局震害防御司(编). 1995. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)[M]. 北京: 地震出版社: 99, 143-144.
- 国家地震局震害防御司(编). 1999. 中国近代地震目录[M]. 北京: 中国科学技术出版社: 14-15.
- 国家地震局兰州地震研究所, 宁夏回族自治区地震队. 1980. 一九二〇年海原大地震[M]. 北京: 地震出版社: 20-30, 91-112.
- 李群. 1989. 关于中国历史地震烈度评定的意见[G]//中国历史地震研究文集. 北京: 地震出版社: 114-118.
- 李善邦. 1981. 中国地震[M]. 北京: 地震出版社: 19-39, 170-208.
- 梁思成. 2001. 图像中国建筑史[M]. 天津: 百花文艺出版社: 77-79, 180-190.
- 全国地震标准化技术委员会. 2004. 中国地震烈度表(GB/T17742-1999)[S]. 北京: 中国标准出版社: 1-3.
- 谢毓寿. 1957. 新的中国地震烈度表[J]. 地球物理学报, **6**(1): 35-47.
- 谢毓寿, 蔡美彪(主编). 1983. 中国地震历史资料汇编, 第一卷[M]. 北京: 科学出版社: 142.
- 谢毓寿, 蔡美彪(主编). 1985. 中国地震历史资料汇编, 第二卷[M]. 北京: 科学出版社: 402-475, 675-676.
- 谢毓寿, 蔡美彪(主编). 1987. 中国地震历史资料汇编, 第三卷[M]. 北京: 科学出版社: 62-64, 82-184, 185-186, 279-300.
- 谢毓寿. 1992. 1556年关中大地震的震级[J]. 灾害学, **7**(1): 10-13.
- 鄢家全, 张志中, 潘华, 王健, 郝玉芹. 2006. 对豫西南两次历史地震的甄别与复核[J]. 中国地震, **22**(1), 103-106.
- 鄢家全, 张志中, 王健, 温增平, 俞言祥, 刘爱文, 潘华, 郝玉芹. 2010. 历史地震烈度表研究[R/OL]. [2010-12-02]. <http://www.cea-igp.ac.cn>.
- Cancani A. 1904. Sur l'emploi d'une double echelle sismique des intensities empirique et absolue[J]. *Gerlands Beiträge Geophysik*, **2**: 281-283.
- Grünthal G (ed). 1998. *European Macroseismic Scale (EMS 1998)*[M]. Council of Europe, Cahiers du centre Européen de Geodynamique et du Seismologie, 1.