

# 中国地震历史资料的信息开发与利用\*

宋治平 梅世蓉 薛 艳

(中国北京 100036 国家地震局分析预报中心)

## 摘 要

本文对全国历史地震资料的有用信息作了进一步的开发和利用,按统一方法处理了大量有感以上地震的文字记载,确定了每个独立地震的时间与地点;分区求得地震的有感区长半径与震级的关系式;确定了历史有感地震的最低震级为4;取得了8000余次有感地震的基本参数;用等震线测定了巨大地震的震源参数;将有感地震目录与强震目录统编成全国与几个大区  $M > 4.0$  地震目录,按《地震学地震预报实用程序系统》(EPSEIS)的格式要求建库;同时编制出两套汉字系统地震目录,为全面、系统研究全国强震前后地震活动图象特征提供了有利条件。

关键词: 历史地震资料 信息 有感地震 地震目录 震源参数

## 一、引 言

我国是世界上历史资料最丰富的国家。40多年来经过多次系统地收集与整编,先后出版了《中国地震历史资料年表》<sup>[1]</sup>(1956年);《中国地震历史资料汇编》<sup>[2]</sup>(1983年)。有关破坏性地震的文字记载,经过地震学家的研究和整理,得出三个版本的中国地震目录(1956年、1971年、1983年),包括  $M > 4\frac{3}{4}$  地震的基本参数(经度、纬度、时间、震级、震中烈度、深度)。1993年以闵子群为首的课题组完成的《中国强震目录》\*\*除增补、修正破坏性地震目录外,还处理了部分数县有感但无破坏记载的  $M > 4\frac{3}{4}$  地震,使历史地震资料更为丰富和充实。这些资料在新编《中国地震烈度区划图》中发挥了重要作用。

然而,历史资料中还有不少县或一县记载的大量有感地震没有处理,这些资料中包含着大地震的前兆信息,对研究历史强震震前活动图象特征是宝贵的资源,值得开发、利用。为此,我们按照统一的原则和方法处理了《中国地震历史资料汇编》<sup>[2]</sup>(以下简称《汇编》)中记载有感但无破坏的地震,确定其基本参数(发震时间、震中经度、纬度以及震级),并将这些数据整编入库,以便使用攻关研究中完成的《地震学地震预报实用程序系统》(EPSEIS),以揭示大震前活动图象异常的规律性。同时,还尝

\* 1993年8月收到本文初稿,同年9月收到修改稿。

\*\* 闵子群等,新编《中国强震目录》(待出版)。

试利用巨大地震的等震线,测定其震源参数,从而拓宽了历史地震资料的信息利用范围。

为了开发、利用历史地震资料中的有用信息,首先,必须将那些文字描述性的记载转换成计算机能处理的数据,这时面对的主要问题是:如何判定多条记载是一个独立地震?如何确定没有破坏的地震震级与发震地点的经纬度?只有一个县记载的有感地震,其震级为多少?如何从等震线中获得震源参数信息等等?本文将讨论这些问题。

## 二、独立地震事件的判定

历史地震的记载方式和内容经常是不统一的,有些地震记载较详细,年、月、日、时辰都有,而有的只记年、月,不记日或只记年,不记月、日,如何判别它们是多次独立地震的记载?抑或同一地震的分散记载?经过反复实践,针对不同情况,拟定了不同的处理方法:

1. 《汇编》中记载为同年、同月、同日的不同地点均有感,并且,几个有记载点呈相对集中区分布,该区长度应小于4.8级地震有感区最大长度(由多次地震拟合的经验关系确定),则为一次独立地震。

2. 如果某条记载只记年、月,不记日,但该条记载位于有明确的年、月、日的多条地震记载区内,则判定该条记载不是一次独立地震,并将它与其余多条记载归在一起。

3. 如果大部分有记载的县比较集中,个别县较远,则将集中区内的各县作为一次独立地震。远处的记载另作考虑,它们既可能是另一次独立地震,也可能是某个较强地震的远处反应(烈度异常点),必须根据不同情况分别处理。

## 三、有感地震震中经度与纬度的确定

根据以上方法,确认为独立地震事件后,其震中经纬度按以下方法处理:

(1) 如果记为“某县(或州府)地震”,则震中为该县(或州府)的经、纬度位置<sup>[3]</sup>,即 $(\lambda_0, \varphi_0)$ 。

(2) 如果《汇编》中记为“某县(或州府)”东(或西),则地震震中为某县(或州府)的经度加0.2度(或减0.2度),纬度不变,即为 $(\lambda_0+0.2, \varphi_0)$ 或 $(\lambda_0-0.2, \varphi_0)$ ;同理,如果记载为“某县(或州府)”南(或北)的地震,则地震震中为某县(或州府)纬度减0.2(或加0.2),经度不变,即 $(\lambda_0, \varphi_0-0.2)$ 或 $(\lambda_0, \varphi_0+0.2)$ ;如果记载为“某县(州)西南地震”,则震中为 $(\lambda_0-0.2, \varphi_0-0.2)$ 。

(3) 如果记载中是 $N$ 个县(州)同时有感,且被确定为一次独立的地震,则其震中分两种情况处理:(a)离 $N$ 条记载中有强烈震感记载处最近;(b)由 $N$ 个县(州府)的经度 $(\lambda_i)$ 、纬度 $(\varphi_i)$ 的几何中心确定震中为:

$$\lambda_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad \varphi_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

按照以上方法将历史地震震中的“文字”记载转变为计算机能处理的震中经纬度。

#### 四、有感地震震级的确定

历史地震记载有两种基本情况，只有一个县有记载；两个以上的县有记载。于是引出两个问题：

(1) 一个县有记载的地震震级如何估计？即历史地震记载的最低震级问题。

(2) 有两个以上县记载的地震，可以估计其有感区的长度，但这个长度与震级的关系如何？

表 1 华北、华南和南北带北段的近代地震震级与有感区长半轴 ( $R$ ) 参数表

序号	发震时间	震中地区	震级	$R$ (km)	序号	发震时间	震中地区	震级	$R$ (km)
1	1959. 8.11	陕西韩城	5.4	135	13	1967.10.17	甘肃靖远	4.8	120
2	1960. 2. 3	陕西舟曲	5.3	135	14	1967.12.18	山西蒲县	5.4	120
3	1960. 4.13	吉林榆树	5.8	150	15	1969. 1. 2	湖北保康	4.8	100
4	1960.11. 5	广西宜山西南	5.0	110	16	1969. 7.18	渤海	7.4	135
5	1961. 3. 8	湖北宜都	4.9	90	17	1970. 8.10	山东曲阜	4.5	100
6	1961.10. 1	甘肃岷县	6.1	360	18	1972. 4.14	辽宁庄河西北	4.8	70
7	1962. 7.29	广东河源	5.1	90	19	1974. 4.22	江苏溧阳	5.5	216
8	1962.11. 6	广东河源	4.8	50	20	1976. 4. 6	内蒙和林格尔	6.2	540
9	1964. 9.23	广东河源	5.3	115	21	1977. 5.12	天津宁河	6.2	570
10	1964. 9. 5	湖北郟西	4.9	135	22	1977. 3.14	内蒙凉城	4.7	70
11	1965. 1.13	山西垣曲	5.5	230	23	1977.10.19	广西平果	5.0	135
12	1967. 8.20	陕西南郑西南	4.8	120	24	1978. 5.18	辽宁营口	5.9	480

表 2 南北带中、南段近代地震震级与有感区长半轴 ( $R$ ) 参数表

序号	发震时间	震中地区	震级	$R$ (km)	序号	发震时间	震中地区	震级	$R$ (km)
1	1961.6.12	云南腾冲	5.8	135	18	1967. 8.30	四川炉霍	6.8	200
2	1961.6.27	云南中甸	6.0	150	19	1970. 1. 5	云南通海	7.7	320
3	1961.7. 5	四川茂汶	4.8	96	20	1970. 2.24	四川大邑	6.2	210
4	1962.2.27	四川米易	5.5	105	21	1972. 9.27	四川康定	5.8	200
5	1962.4.23	云南富宁	5.5	120	22	1973. 8.11	四川松潘	6.5	165
6	1962.6.24	云南南华	6.2	110	23	1973. 4.22	四川奔良	5	90
7	1962.7. 1	四川洪雅	5.1	110	24	1973. 8. 2	四川奔良	5.2	60
8	1963.4.23	云南永平	6.0	100	25	1973. 6. 1	云南腾冲	4.9	70
9	1964.2.13	云南宾川	5.4	120	26	1974. 5.11	云南大关	7.1	400
10	1965.5.24	云南峨山	5.0	70	27	1974. 9.23	四川若尔盖	5.6	86
11	1965.9. 7	云南建水	4.7	64	28	1975. 1.12	云南楚雄	5.6	124
12	1966.2. 5	云南东川	6.5	210	29	1975.12. 4	四川长宁	4.7	84
13	1966.7. 3	云南江城	6.1	166	30	1976.10. 9	云南峨山	5.3	110
14	1966.9.28	云南中甸	6.4	235	31	1976. 8.23	四川平武	7.2	480
15	1966.4.30	四川石棉	4.8	56	32	1977. 1.13	四川冕宁	4.8	90
16	1966.6.27	四川北川、安县	4.8	70	33	1977. 5. 3	四川盐源	5.1	80
17	1967.1.24	四川仁寿	5.5	90	34	1977. 3.17	云南洱源	5.2	60

本节先讨论第二个问题。一般说来，震级越大，有感区越广，故数县有记载的地震通常是由有感区的范围估计其震级。不少学者得出有感区平均半径与震级的关系，但这

些关系对地区差异考虑不够。加之对于有些地震, 由于记载的县数太少无法勾画出有感区, 因而难以求出有感区的平均半径, 从而无法估计其震级, 但是, 对于这些地震, 可估计出有感区的最大长度, 若不取平均半径, 而取有感区的最大长度, 则有可能粗略估计出这类有感地震的震级。考虑到这些情况, 我们选择那些既有仪器资料测定的震级, 又有宏观调查所得的有感区资料的地震, 量出有感区的长半轴  $L$ , 分区求得  $L$  与  $M$  的拟合关系, 然后再将这些关系应用到历史地震资料中, 求得数县有记载的有感地震的震级。

使用的实际资料列于表 1 与表 2 中。中国东部与南北带北段有感区长半轴与震级的经验关系为:

$$M = 2.982 \log L - 0.539 (\pm 0.346), \quad R = 0.895$$

南北带中、南段的经验关系为:

$$M = 1.697 \log L + 1.566 (\pm 0.334), \quad R = 0.854$$

## 五、有感地震最低震级的确定

大量有感地震只有一个县有记载, 其震级应当如何估定? 这是历史地震资料统一处理中面对的又一问题。

我们采用以下几种办法来估计最低震级。

### 1. 由震级与震中烈度的经验关系估计

谢毓寿在文献〔4〕中指出:“某些地震只在个别地点记有地震, 而无任何其他具体描述。考虑到若不引起当地普遍关注, 恐难以载入史册, 因而作为 4.5 度处理...”, 笔者赞同他的意见, 也将一县记载的地震烈度估计为 4.5 度, 并将它作为震中烈度的近似值。然后, 再应用震级  $M$  与震中烈度  $I_0$  的关系式估计其震级。

根据以下几个关系式:

$$M = 1 + \frac{2}{3} I_0 \quad (\text{Gutenberg and Richter, 1956})^{[5]}$$

$$M = 0.66 I_0 + 0.98 \quad (\text{国家地震局编图组, 1981})^{[6]}$$

$$M = 0.60 I_0 + 1.45 \quad (\text{卢荣俭、宋雅桐、陈达生, 1981})^{[6]}$$

$$M = 0.63 I_0 + 1.16 \quad (\text{武宦英, 1989})^{[7]}$$

取  $I_0 = 4.5$ , 所得的  $M$  均为 4。

### 2. 震级—频度关系拟合法

古登堡提出的  $\log N = a - bM$  关系式是地震学中普遍承认、广为使用的经验关系。在此先用  $M > 5.0$  地震的历史地震资料, 对  $\log N = a - bM$  关系式进行拟合, 其中  $N$  为震级大于等于  $M$  的地震频度, 求出关系式中的  $a_1, b_1, R_1$ , 再求出  $M$  大于  $M_0$  (最低震级) 的  $a, b, R$ , 分别求出  $\Delta b$  与偏差  $\Delta \delta$ 。其中  $\Delta b = |b_1 - b|$ ;  $\Delta \delta = |\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \dots|$ ,  $\delta$  代表最低震级地震至 4.7 级地震的频度对以上拟合关系的偏离值。当  $\Delta \delta$  最小,  $\Delta b$  最小,  $R$  最大时相应的  $M_0$  为最低震级的最佳值, 所得结果列于表 3 中。

表 3 两种方法所得最低震级的结果

方法	区 域	时 间	$M_0$	$\Delta\delta$	$R$	$a$	$b$
方法二	华北	1400—1993	3.5	0.03	0.98	6.1	0.68
	华南	1400—1993	4.2	0.01	0.99	6.3	0.72
	南北带	1400—1993	4.4	0.03	0.98	6.1	0.63
	全国范围	1400—1993	4.1	0.01	0.99	7.1	0.73
方法三	华北、华南和 南北带地区	1400—1949	4.0	0.016	0.993	6.5	0.68

### 3. 频度—震级关系外推法

考虑地震资料保存概率较高的时段和地区,应用  $M > 5.0$  地震古登堡的关系式进行外推,直接求出最低有感地震震级。

根据 W.H.Lee 和 D.R.Brillinger (1981)<sup>[8]</sup> 提出的“点过程模拟不完整资料的尝试”,得出中国东部地区在 15 世纪之后,资料保存较为完整,其保存概率达 0.87。故取时间窗为 1400—1949 年,进行最佳拟合,所得最低震级也是 4.0 (表 3)。

由以上几种方法得出的最低震级都是 4 级。据此,我们将历史地震记载中只有一县记载的地震震级定为 4。

### 4. 有感地震的处理结果概况

通过以上几个方面的处理,确定出 8000 余条历史有感地震的基本参数:时间、震中地区及其经度与纬度,有感区的长度及震级。

## 六、历史地震与现代地震的统编与入库

为了研究大地震震前活动图象,必须将我们处理的有感地震及《中国强震目录》,以及其他来源的  $M > 4.0$  地震按照统一格式进行整编。为此,我们在自己确定出的 8000 余条  $4.0 < M_S < 4.7$  的有感地震目录的基础上,加上了闵子群等 1993 年新编《中国强震目录》中公元前 2300 年—公元 1949 年 12 月 31 日  $M_S > 4\frac{3}{4}$  目录和近代地震目录中 1950—1992 年的  $M_S > 4.0$  目录,按 EPSEIS 要求的格式编成地震目录。与此同时还编制出带汉字震中地名的全国地震目录(公元前 23 世纪—公元 1992 年  $M_S > 4.0$  地震) 15000 余条,并按华北、华南、南北带编出分区目录。

进而再加上中国邻区  $M_S > 6.0$  和部分中亚地区<sup>[9]</sup>  $M_S > 4.0$  目录,编制了另一套带有汉字震中地名的中国及其邻区目录(公元前 2300 年—公元 1993 年,  $M_S > 4.0$ ) 20000 余条。

## 七、巨大地震震源参数的确定

地震历史资料的等震线包含着一些有关震源的信息,这些信息也是值得开发利用的。陈颢<sup>[10]</sup>、陈培善<sup>[11]</sup>、邢军<sup>[12]</sup>等假定震源为矩形断层模型(图 1),矩形断层面为  $\Sigma$ ,长为  $L$ ,宽为  $W$ ,断层中心至地面的距离为  $H$ ,倾角为  $\alpha$ ,地面坐标轴  $X$  与

$L$  平行,  $Z$  轴向下。求出震源参数与烈度的关系, 建立了由等震线反演震源参数的一系列关系式。根据它们可以求出发震断层的几何参数: 走向、长度、倾向、倾角、破裂方式与速度。基于断层走向与最内圈等震线的长轴方向一致, 故由等震线的长、短轴之差 ( $a_i - b_i$ ) — ( $L/H$ ) (图 2) 的关系可求得  $L$ ; 在等震线的短轴上, 由于正方向和负方

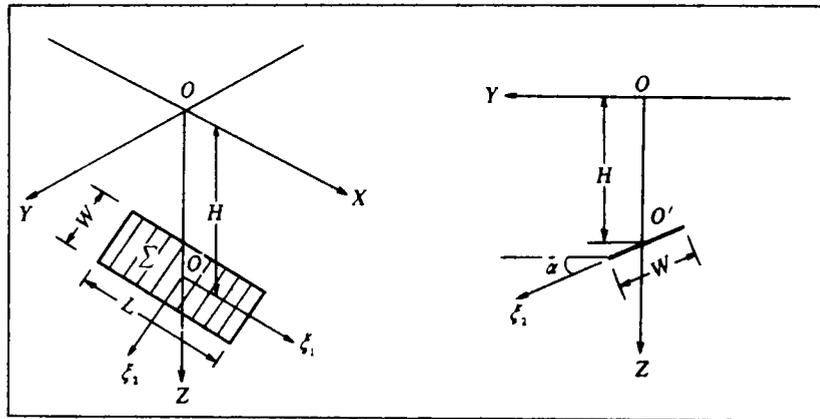


图 1 简单断层模型

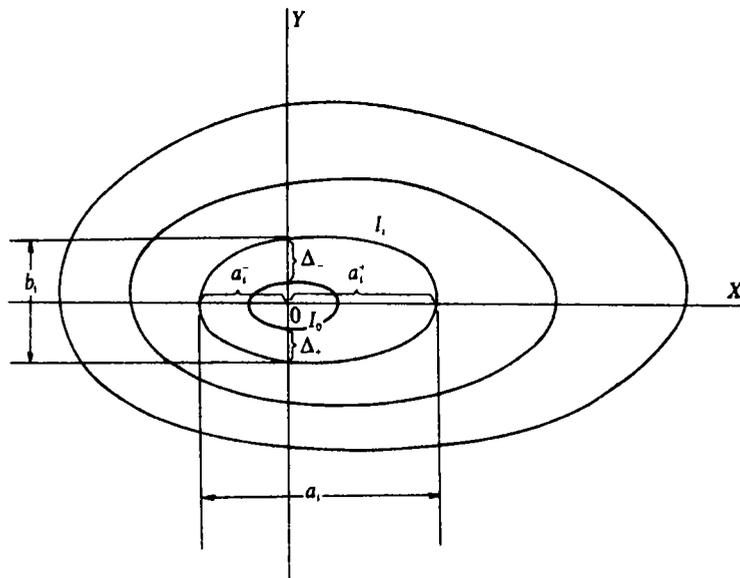


图 2 等震线示意图

向的烈度衰减是有差异的, 因此由两方向衰减快慢 (即  $\Delta_- / \Delta_+ - \alpha$  的关系) 可求得倾角  $\alpha$ ; 地震烈度分布一般受破裂方式的制约, 双侧破裂等震线在破裂两端等震线包围的面积相差不多, 而单侧破裂在开始破裂一端的等震线包围面积较大, 并且烈度沿破裂传播方向衰减较慢, 故由等震线形状可判定破裂方式; 沿破裂方向, 由烈度衰减的差异即  $a_i^- / a_i^+ - v$  的关系可以求得破裂速度。

实践中我们测出等震线的长、短半轴; 长短半轴之差; 长、短轴上烈度衰减一度对

应的距离；沿长轴，极震区的中点到各条等震线两端的距离之比；长轴两端等震线的对称性等等，运用这些数据算出华北五次巨大地震的震源参数（表4），由于篇幅所限，中国其他巨大地震的震源参数结果另文介绍。

表4 华北五次巨大地震的震源参数

地 震	H (km)	断层走向	断层倾向	断层倾角 (°)	断层长度 (km)	破裂速度 (km/s)	破裂方式
1303.9.17 山西洪桐 8.0 级	17	NE	NW	71	107	1.4	双侧
1556.1.23 陕西华县 8.3 级	25	NE	NW	55	190	2.1	单侧
1668.7.25 山东郯城 8.5 级	24	NNE	NWW	58	146	3.5	单侧
1679.9.2 北京三河平谷 8.0 级	11	NE	SE	60	58	2.1	单侧
1695.5.18 山西临汾 7.8 级	15	NE	NE	67	63	2.0	双侧

综上所述，中国历史地震资料是一个丰富的宝库。30 多年来从这个宝库中开发的强震目录与烈度衰减规律已在中国地震活动性与危险性研究中发挥了巨大作用。本文开发的有感以上地震目录及震源信息已在“八·五”攻关的重点项目：《巨大地震前后地震活动图象特征及其预测意义》及《华北地区强震前地震活动长期演变过程的共性》中发挥了重要作用。随着今后研究工作的不断深入，有感以上地震及历史强震震源参数的进一步测定与使用，必将促进强震前后地震活动规律的认识。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 中国科学院地震工作委员会历史组，中国地震资料年表，科学出版社，1956 年。
- [ 2 ] 谢毓寿、蔡美彪主编，中国地震历史资料汇编，科学出版社，1983 年。
- [ 3 ] 国家地震局测绘科学研究所地名研究室编，中国地名录，地图出版社，1983 年。
- [ 4 ] 谢毓寿，闽粤海外的历史地震活动，地震学报，13，4，1991 年。
- [ 5 ] B.Gutenberg and C.F.Richter, Seismicity of the earth and associated phenomena, Princeton University Press, 1954.
- [ 6 ] 国家地震局震害防御司，地震工作手册，地震出版社，1990 年。
- [ 7 ] 武宜英，历史地震震级的估算，中国历史地震研究文集①，地震出版社，1989 年。
- [ 8 ] W.H.K.Lee and D.R.Brillinger, On Chinese earthquake history an attempt to model an incomplete data set by point process analysis, Earthquake prediction and Seismicity Patterns CCRG. 8, 1981.
- [ 9 ] N.V.Kondorskaya et al., New Catalog of Strong Earthquakes in the U.S.S.R., World Data Center A for Solid Earth Geophysics, July, 1982.
- [ 10 ] 陈颀，测定浅源震源参数的宏观方法，地球物理学报，18，4，1975 年。
- [ 11 ] 陈培善等，震源机制与烈度分布的关系，地球物理学报，18，1，1975 年。
- [ 12 ] 邢 军、时振梁，破裂过程与烈度分布，中国历史地震研究文集①，地震出版社，1989 年。

## THE INFORMATION DEVELOPMENT AND UTILIATION OF SEISMIC HISTORICAL DATA IN CHINA

Song Zhiping Mei Shirong Xue Yan

(Center for Analysis and Prediction, SSB)

### Abstract

This paper further developed and used the available information of seismic historical data in China. We deal with a large number of detectable recorded earthquakes, determined the original time and epicentral location of each independent earthquake, and acquire the relational formula between the long semi-axis of felt area and the magnitude of earthquake in different regions, define the minimum magnitude of historical felt earthquakes is 4, obtain the basic seismic parameters over 8000 felt earthquakes and determine the source parameters of the great earthquakes by the isoseismic lines, compile the national and several great zonic catalogues ( $M \geq 4.0$ ) by adding the felt earthquakes' catalogue to the strong one, and make data base in EPSEIS's format. Besides, two catalogues in Chinese have been edited, which provide the advantageous condition to study the seismicity features comprehensively and systematically before and after strong earthquakes.

**Descriptors** historical seismological data; information; felt earthquake; earthquake catalogue; source parameter