

# 西南地区近代地震的震中烈度与有感半径的统计研究<sup>1</sup>

雷建成<sup>1,2)</sup> 高孟潭<sup>1)</sup> 俞言祥<sup>1)</sup>

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 四川省地震局, 成都 610041

**摘要** 本文对中国西南地区的近代破坏性地震资料进行了较为系统、全面的清理, 按地震构造环境和震害特点进行了地震区域分区; 全面收集不同区域内既有仪器测定震级, 又有宏观烈度调查资料的地震; 分别统计得到西南地区和四川盆地地区震中烈度与震级、有感半径与震级之间的关系; 并与几个已有统计关系进行了对比。本文统计结果可应用于地震安全性评价、震害预测与快速评估的工程实践中。

**关键词:** 西南地区 四川盆地地区 震中烈度 有感半径

## 引言

地震烈度是指某一地区的地面所遭受地震动影响的强烈程度, 并且这种影响是通过人的感觉、人工结构物的损坏、物体的反应、自然现象的变化等4大方面的宏观等级描述来标定的。虽然地震烈度本身没有明确的物理意义, 但它可作为震害轻重的一种简便、直观估计, 还可以作为描述地震影响强弱的一个宏观尺度。地震烈度在对比利用历史震害资料、震害预测与快速评估、缺乏强震观测资料地区地震动衰减关系的转换确定等领域中有着广泛的应用。

地震对特定地点的影响和破坏, 取决于地震能量的释放和传播。简单地讲, 主要受到地震的震源性质、传播距离和传播介质特性的影响和控制。在不同的地区, 地震孕育和发生的构造背景、构造应力场、介质的几何扩散、阻尼吸收和非弹性衰减等均有很大的不同, 因而地震能量的释放和传播的方式以及效果也有很大的不同, 所以地震动衰减具有强烈的地区性。

震中烈度和有感范围是反映地震的工程性质的两个重要参数。前者主要体现了地震在极震区的破坏, 更多地与地震的震源参数有关; 后者反映了地震的远场特征, 与震源性质、传

1 中华人民共和国科技部社会公益研究专项(2005DIB3J119)资助

【收稿日期】2006-04-22

【作者简介】雷建成, 男, 生于1965年。1988年获工程地震硕士学位, 副研究员。主要从事地震活动性、地震危险性分析、场地地震动参数确定的研究与应用工作。E-mail: jclei@126.com

播距离关系较大。二者在震害预测与快速评估、地震烈度衰减关系的确定中都起着重要的作用。

对于震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  之间的关系,前人做过一些研究并得到了一些成果,绝大多数成果均认为震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  之间存在线性相关关系。《西南地震简目》(1988)曾给出过四川、云南地区的统计关系:

$$\text{四川: } M = 0.692 I_0 + 0.727 \quad N = 24, s = 0.23, r = 0.97 \quad (1)$$

$$\text{云南: } M = 0.57 I_0 + 1.65 \quad N = 99, s = 0.31, r = 0.90 \quad (2)$$

其中  $N$  为样本数;  $s$  是标准离差;  $r$  是相关系数。

考虑到地震的几何衰减特征,一般认为有感半径的对数与震级之间也存在线性相关关系。沈斯伟(1989)根据云南省内 36 次既有仪器测定震级 ( $4.7 \leq M \leq 7.7$ ),又有宏观调查资料的地震,得到有感半径(IV度等效半径)  $R$  (km) 与震级  $M$  的关系:

$$M = 0.03 + 2.92 \log_{10} R \quad N = 36, s = 0.40, r = 0.86 \quad (3)$$

汪素云等(1993)根据《中国地震目录》记载的中国大陆 1900—1979 年的地震资料,统计得出了如下公式:

$$\log_{10} R = -2.803 + 0.974 M \quad N = 21, s = 0.166, M \leq 5 \quad (4.1)$$

$$\log_{10} R = 0.611 + 0.289 M \quad N = 52, s = 0.147, M \geq 5 \quad (4.2)$$

并在《中国地震烈度区划图(1990)》的编制中得到了应用(国家地震局,1996)。

国内外关于震中烈度与震级、有感半径与震级之间的统计关系还有不少,但如同上面的研究成果一样,还存在一些不足:有的数据样本太少而代表性不够,有的地域太大不利于反映地震动的地区性特点,有的数据样本的震级参数不是仪器测定的,等等,这些都制约了它们的工程应用。

针对西南地区地震安全性评价、震害预测与快速评估工程的迫切需要,本文对该地区的近代地震资料进行了较为系统、全面的清理,首先按地震构造环境和震害特点进行地震区域分区,全面收集不同区域的既有仪器测定震级,又有宏观烈度调查资料的地震,以《中国近代地震目录(公元 1912 年—1990 年,  $M_S \geq 4.7$ )》为蓝本,对各次地震的震级参数进行统一校核,分别统计得到相应的经验关系。

## 1 地震活动特征分区

受地震构造环境的构造应力场的影响和作用,中国大陆内部的地震活动及其震害分布具有明显的地区性特征。在本文的工作中,将四川及邻区的地震活动分成西南地区和四川盆地地区 2 个区域分别进行了研究(图 1、图 2):

### 1.1 西南地区

西南地区指青藏高原东南缘(甘肃、青海、四川西北部)以及川滇菱形块体的区域,大致相当于《中国地震动参数区划图》(2001)中鲜水河—滇东地震带的中南段、龙门山地震带南段、巴颜喀拉地震带南段。该地区多次孕育、发生 7 级以上强震,地震活动的频度高、强度大,地震发生一般受断层活动的明显控制,发震断层活动方式以走滑、逆走滑为主,震害分布大多表现为明显的椭圆形,在大型走滑断层上以及块体边界断层上,地震震害呈更为狭长的椭圆分布。

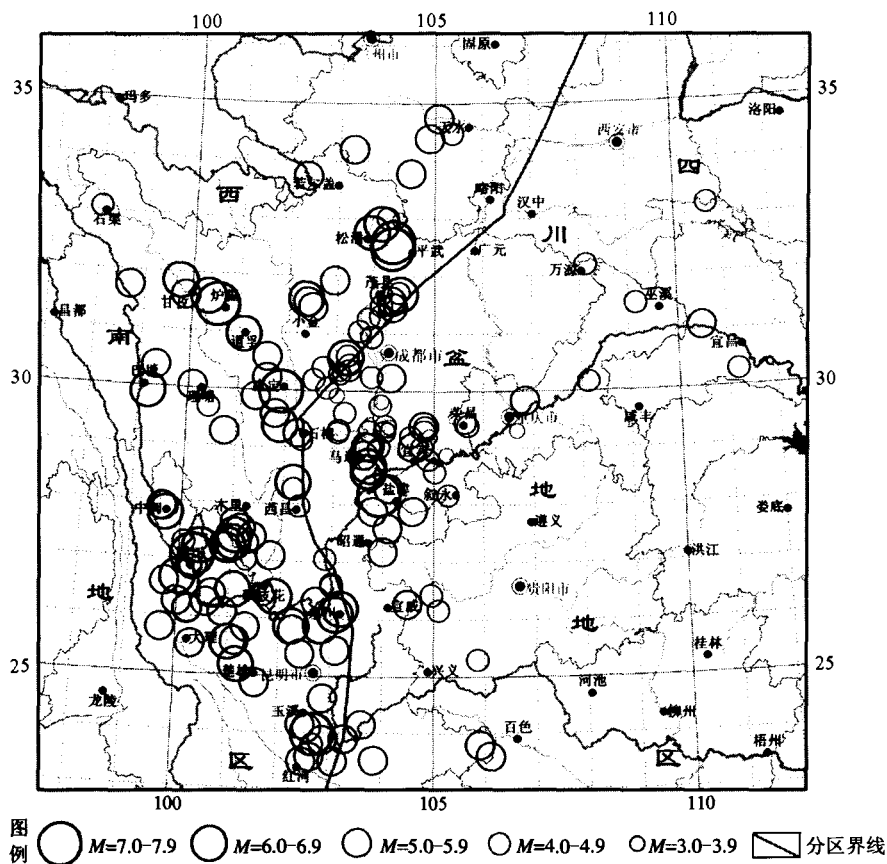


图 1 关于震中烈度的震例

Fig. 1 Earthquake data for near-epicentral intensity

## 1.2 四川盆地地区

四川盆地地区指龙门山断裂带以南、安宁河断裂带、则木河断裂带以东，包括四川马边、雷波、四川盆地、滇东北、重庆、贵州、湖北等地区，大致相当于《中国地震动参数区划图》(2001) 中长江中游地震带的西部。该区域处于青藏高原向华南地区的过渡地带，地形较为平坦，地壳结构较为均匀，断层规模较小，活动性较弱，断层性质以逆断层为主。地震活动一般受到断层或者与断层共生的褶皱的控制和影响，地震活动的频度和强度均较低。除四川马边、雷波地区有 6—7 级地震活动外，其余地区的地震活动大多以 5 级左右的中等强度地震为主。该区域的震害分布呈有一定方向性的椭圆形，但接近圆形。

## 2 震例选取及参数确定

为了得到客观、可靠的统计规律，本文选用上述区域的近代破坏性地震资料分别进行统计。其中震级  $M$  是由仪器测定的，震中烈度  $I_0$ 、有感地点和范围是由现场详细的宏观调查资料评定的。震例资料主要来自于：《四川地震资料汇编》、《云南省地震资料汇编》、《甘肃省地震资料汇编》、《中国震例》、《云贵地区地震等震线图集》以及有关地震的宏观考察报告等。为保证资料的可靠性和完整性，在西南地区选取 1950 年以来的震例资料、四川盆地地区选取

1930 年以来的震例资料分别进行统计。

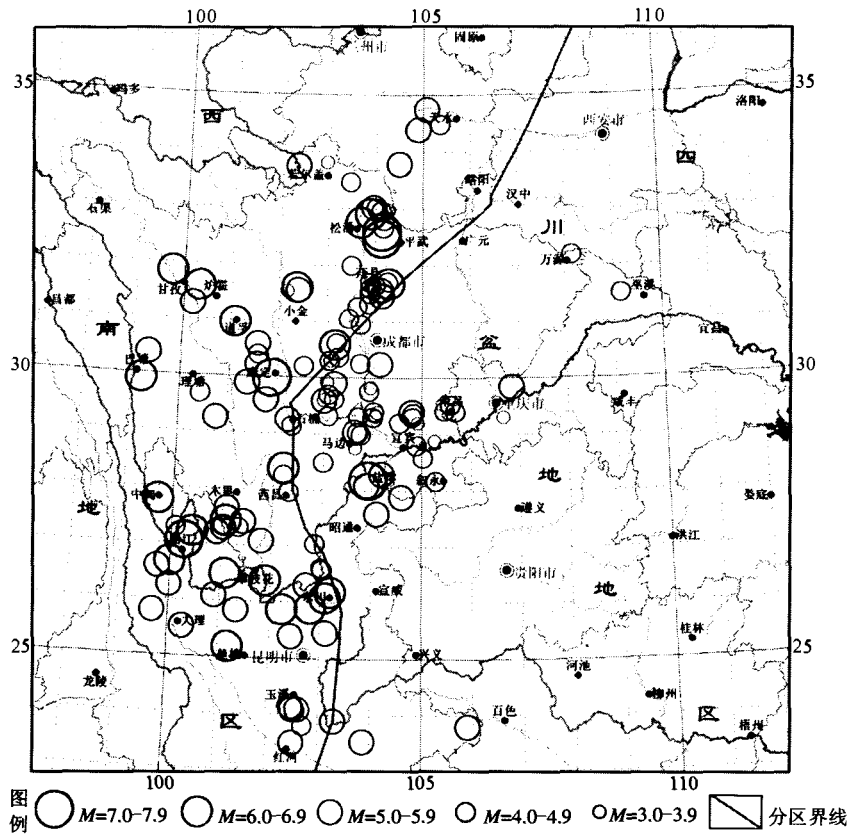


图 2 关于有感半径的震例

Fig. 2 Earthquake data for sensible radius

《中国近代地震目录（公元 1912 年—1990 年， $M_S \geq 4.7$ ）》是中国地震局编制的我国最新版本的地震目录，该目录是在对 20 世纪我国编制的 3 个版本地震目录的清理和总结的基础上修编而成，既保持了地震目录的系统性和连续性，又充分应用了各方面的研究成果，具有更新和更扎实的科学基础（汪素云等，1998）。本文所选取的整理资料来自于不同年代、不同省区的地震考察资料，为保证统计结果的系统性和科学性，对所选震例的震级参数  $M$  均以《中国近代地震目录（公元 1912 年—1990 年， $M_S \geq 4.7$ ）》为蓝本进行校核，震中位置均取地震宏观考察报告确定的宏观震中，有感半径依据震例资料的直接数据或地震有感地点与宏观震中之间的距离确定，当一次地震有多个地点有感时，取它们的平均值作为该次地震的有感半径。

### 3 震中烈度与震级之间的关系

#### 3.1 西南地区

通过对近代地震资料的全面清理，本文在西南地区共收集到 1950 年—2000 年独立测定震级  $M$  和震中烈度的震例 116 个（图 1），震级范围为 3.0—7.8 级，具体的数据分布见表 1。

经最小二乘法统计得到震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  之间的关系为（图 3）：

$$I_0 = -0.6094 + 1.3515M \quad N = 116, s = 0.53, r = 0.91 \quad (5)$$

### 3.2 四川盆地地区

通过对近代地震资料的全面清理，本文在四川盆地地区共收集到 1932 年—2000 年独立测定震级  $M$  和震中烈度的震例 60 个（图 1），震级范围为 3.0—7.1 级，具体的数据分布见表 2。

表 1 西南地区震中烈度震例的数据分布

Table 1 The magnitude distribution for near-epicentral intensity in Southwest China

| 震级区间    | 地震次数 | 比例 (%) |
|---------|------|--------|
| 3.0—3.4 | 1    | 0.9    |
| 3.5—3.9 | 1    | 0.9    |
| 4.0—4.4 | 11   | 9.5    |
| 4.5—4.9 | 19   | 16.4   |
| 5.0—5.4 | 36   | 31.0   |
| 5.5—5.9 | 17   | 14.7   |
| 6.0—6.4 | 13   | 11.2   |
| 6.5—6.9 | 12   | 10.3   |
| 7.0—7.4 | 3    | 2.6    |
| 7.5—7.9 | 3    | 2.6    |

表 2 四川盆地地区震中烈度震例的数据分布

Table 2 The magnitude distribution for near-epicentral intensity in Sichuan basin

| 震级区间    | 地震次数 | 比例 (%) |
|---------|------|--------|
| 3.0—3.4 | 3    | 5.0    |
| 3.5—3.9 | 6    | 10.0   |
| 4.0—4.4 | 12   | 20.0   |
| 4.5—4.9 | 15   | 25.0   |
| 5.0—5.4 | 12   | 20.0   |
| 5.5—5.9 | 8    | 13.3   |
| 6.0—6.4 | 2    | 3.3    |
| 6.5—6.9 | 1    | 1.7    |
| 7.0—7.4 | 1    | 1.7    |

经最小二乘法统计得到震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  之间的关系为（图 4）：

$$I_0 = 0.6267 + 1.1722M \quad N = 60, s = 0.56, r = 0.86 \quad (6)$$

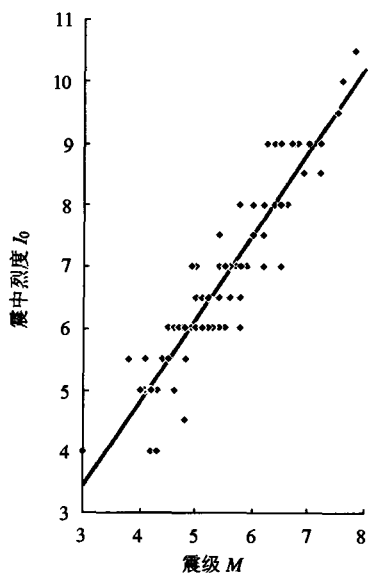


图 3 西南地区震中烈度与震级的关系

Fig. 3 The relationship between near-epicentral intensity and magnitude in Southwest China

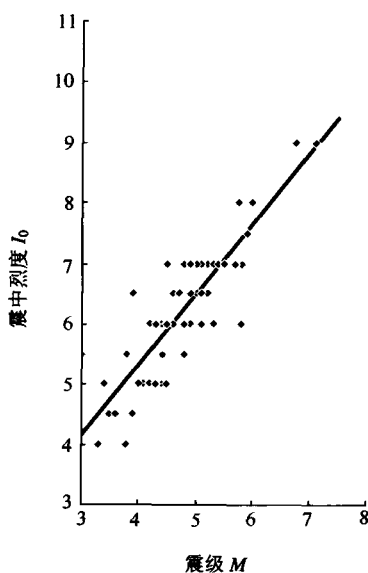


图 4 四川盆地地区震中烈度与震级的关系

Fig. 4 The relationship between near-epicentral intensity and magnitude in Sichuan basin

### 3.3 几个震中烈度与震级之间统计关系的对比

四川、云南、西南地区的几个震中烈度与震级之间统计关系的对比见图 5, 从中可见:

(1) 在相同震级条件下, 四川盆地地区(公式 6)的震中烈度一般较西南地区(公式 5)的略高, 但当  $M \geq 6$  级时, 二者基本一致;

(2) 在相同震级条件下, 四川(公式 1)大致与西南地区(公式 5)的震中烈度相同;

(3) 当  $M < 6$  级时, 云南(公式 2)震中烈度一般低于西南地区(公式 5)和四川盆地地区(公式 6), 但当  $M \geq 6$  级时, 云南(公式 2)震中烈度高于西南地区(公式 5)和四川盆地地区(公式 6)。

## 4 有感半径与震级之间的关系

### 4.1 西南地区

通过对近代地震资料的全面清理, 本文在西南地区共收集到 1951 年—1999 年独立测定震级  $M$  和有感半径的震例 96 个(图 2), 震级范围为 3.0—7.5 级, 具体的数据分布见表 3。根据数据集的分布特点, 并便于与较为广泛使用的公式 4 进行对比, 我们按  $M \leq 5.0$  和  $M \geq 5.0$ , 采用最小二乘法, 分别统计得到有感半径  $R$  (km) 与震级  $M$  之间的关系为(图 6):

$$\log_{10} R = 1.0818 + 0.1548M \quad N = 44, s = 0.25, r = 0.28, M \leq 5 \quad (7.1)$$

$$\log_{10} R = 0.5321 + 0.2629M \quad N = 60, s = 0.21, r = 0.67, M \geq 5 \quad (7.2)$$

表 3 西南地区有感半径震例的数据分布  
Table 3 The magnitude distribution for sensible radius in Southwest China

| 震级区间    | 地震次数 | 比例 (%) |
|---------|------|--------|
| 3.0—3.4 | 2    | 2.1    |
| 3.5—3.9 | 2    | 2.1    |
| 4.0—4.4 | 12   | 12.5   |
| 4.5—4.9 | 20   | 20.8   |
| 5.0—5.4 | 23   | 24.0   |
| 5.5—5.9 | 12   | 12.5   |
| 6.0—6.4 | 10   | 10.4   |
| 6.5—6.9 | 11   | 11.5   |
| 7.0—7.4 | 3    | 3.1    |
| 7.5—7.9 | 1    | 1.0    |

表 4 四川盆地地区有感半径震例的数据分布  
Table 4 The magnitude distribution for sensible radius in Sichuan basin

| 震级区间    | 地震次数 | 比例 (%) |
|---------|------|--------|
| 3.0—3.4 | 3    | 6.7    |
| 3.5—3.9 | 6    | 13.3   |
| 4.0—4.4 | 14   | 31.1   |
| 4.5—4.9 | 9    | 20.0   |
| 5.0—5.4 | 7    | 15.6   |
| 5.5—5.9 | 5    | 11.1   |
| 6.0—6.4 | 0    | 0.0    |
| 6.5—6.9 | 0    | 0.0    |
| 7.0—7.4 | 1    | 2.2    |

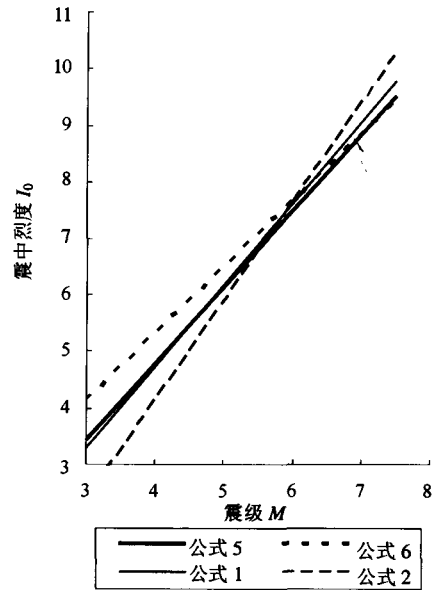


图 5 几个震中烈度与震级之间统计关系的对比  
Fig. 5 The comparison among relationships of near-epicentral intensity vs. magnitude

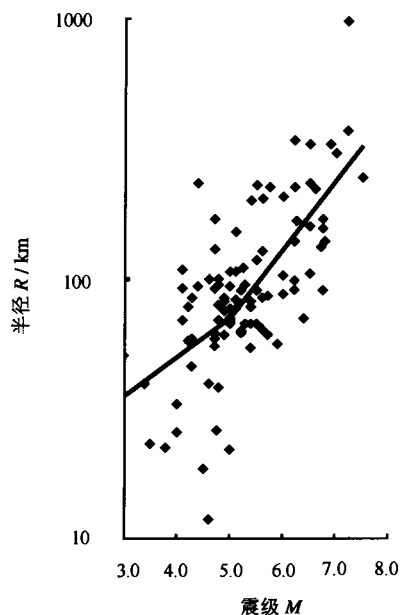


图 6 西南地区有感半径与震级的关系

Fig. 6 The relationship between sensible radius and magnitude in Southwest China area

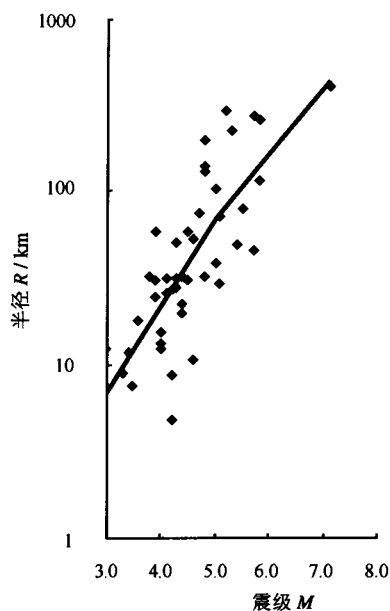


图 7 四川盆地地区有感半径与震级的关系

Fig. 7 The relationship between sensible radius and magnitude in Sichuan basin

值得指出的是，在本文的数据集中，当  $M \leq 5.0$  时，西南地区有感半径与震级之间的关系较为离散，统计回归的效果并不理想，公式 7.1 未能通过 0.05 显著水平上的 F 检验。

#### 4.2 四川盆地地区

通过对近代地震资料的全面清理，本文在四川盆地地区共收集到 1954 年—1999 年独立测定震级  $M$  和有感半径的震例 45 个（图 2），震级范围为 3.0—7.1 级，具体的数据分布见表 4。根据数据集的分布特点，并便于与较为广泛使用的公式 4 进行对比，我们按  $M \leq 5.0$  和  $M \geq 5.0$ ，采用最小二乘法，分别统计得到有感半径  $R$  (km) 与震级  $M$  之间的关系为（图 7）：

$$\log_{10} R = -0.6494 + 0.4967M \quad N = 34, s = 0.30, r = 0.64, M \leq 5 \quad (8.1)$$

$$\log_{10} R = -0.0365 + 0.3760M \quad N = 13, s = 0.33, r = 0.56, M \geq 5 \quad (8.2)$$

#### 4.3 几个有感半径与震级之间统计关系的对比

西南地区、四川盆地地区、云南、中国大陆等几个有感半径与震级之间统计关系的对比见图 8，从中可见：

(1) 当  $M \geq 5.0$  级时，四川盆地地区（公式 8）的有感半径较西南地区（公式 7）的大，且随着震级的增大，差异加大。

(2) 在几乎所有的震级范围内，中国大陆（公式 4）的有感半径都远大于西南地区（公式 7）和四川盆地地区（公式 8）。

(3) 当  $M < 6.5$  级时，云南（公式 3）的有感半径比西南地区（公式 7）、四川盆地地区（公式 8）都小；当  $M \geq 6.5$  级时，云南（公式 3）的有感半径接近并略大于西南地区（公式 7），但仍小于四川盆地地区（公式 8）。

## 5 结论

针对不同地区的地震活动与震害分布特征, 本文对西南地区和四川盆地地区的近代破坏性地震资料进行了较为系统、全面的清理; 对震级和宏观震中位置作了校核; 补充、丰富了大量地震资料; 分别得出了震中烈度与震级、有感半径与震级之间的统计关系。除公式 7.1 以外, 本文得到的统计关系均能通过 0.05 显著水平上的 F 检验。对比分析发现:

(1) 在相同震级条件下, 四川盆地地区(公式 6)的震中烈度一般较西南地区(公式 5)的略高, 但当  $M \geq 6$  级时, 二者基本一致。

(2) 当  $M \geq 5.0$  级时, 四川盆地地区(公式 8)的有感半径较西南地区(公式 7)的大, 且随着震级的增大, 差异加大。

(3) 在几乎所有的震级范围内, 中国大陆(公式 4)的有感半径都远大于西南地区(公式 7)和四川盆地地区(公式 8)。

**致谢:** 四川省地震局的蒲晓虹高级工程师绘制了本文的部分图件, 黄伟、晏存厚工程师帮助查阅了部分地震资料, 在此表示衷心的感谢!

## 参考文献

- 陈棋福, 郑大林, 车时等, 2002. 中国震例(1992—1994). 北京: 地震出版社.
- 陈棋福, 郑大林, 刘桂萍等, 2002. 中国震例(1995—1996). 北京: 地震出版社.
- 国家地震局, 1996. 中国地震烈度区划图(1990)概论. 北京: 地震出版社.
- 国家地震局兰州地震研究所, 1989. 甘肃省地震资料汇编. 北京: 地震出版社.
- 沈斯伟, 1989. 云贵地区公元 886—1986 年  $M \geq 4.7$  地震简目. 见: 闵子群主编. 云贵地区地震危险性研究文集. 昆明: 云南四川科学技术出版社, 101—104.
- 四川省地震局地震简目编辑组, 云南省地震局地震简目编辑组, 西藏自治区地震办公室地震简目编辑组, 1988. 西南地震简目(川、滇、黔、藏). 成都: 四川科学技术出版社.
- 四川地震资料汇编编辑组, 1981. 四川地震资料汇编第 2 卷(1949 年—1979 年). 成都: 四川人民出版社.
- 四川地震资料汇编(第三卷)编辑组, 四川地震志编辑组, 2000. 四川地震资料汇编第 3 卷(1979 年 6 月—1999 年 12 月). 成都: 成都地图出版社.
- 汪素云, 时振梁, 1993. 有感半径与震级的关系及其应用. 见: 国家地震局震害防御司编. 中国地震区划文集. 北京: 地震出版社, 179—184.
- 汪素云, 吴戈, 时振梁等, 1998. 《中国近代地震目录(公元 1912 年—1990 年,  $M_s \geq 4.7$ )》简介. 中国地震, 37(3): 83—87.

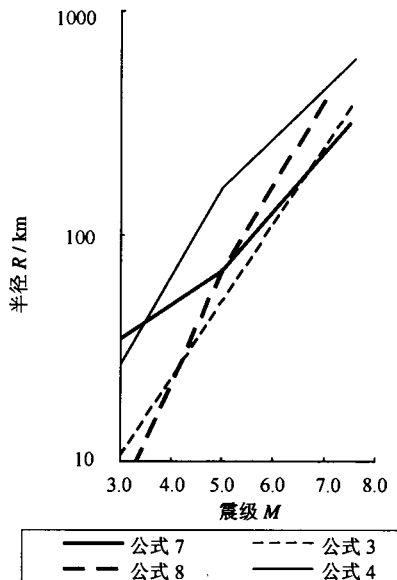


图 8 几个有感半径与震级之间统计关系的对比

Fig. 8 The comparison among relationships of sensible radius vs. magnitude



- 云南省地震局, 1988. 云南省地震资料汇编. 北京: 地震出版社.
- 云南省地震工程院, 2000. 云贵地区地震等震线图集. 地震研究, 23 (增刊).
- 张肇诚, 罗兰格, 李海华等, 1990. 中国震例 (1976—1980). 北京: 地震出版社.
- 张肇诚, 罗兰格, 李海华等, 1990. 中国震例 (1981—1985). 北京: 地震出版社.
- 张肇诚, 郑大林, 徐京华, 1999. 中国震例 (1986—1988). 北京: 地震出版社.
- 张肇诚, 郑大林, 徐京华, 2000. 中国震例 (1989—1991). 北京: 地震出版社.
- 中国地震局震害防御司, 1999. 中国近代地震目录 (公元 1912 年—1990 年,  $M_S \geq 4.7$ ). 北京: 中国科学技术出版社.

## The Statistical Study on Near-epicenter Intensity and Sensible Radius of Recent Earthquakes in Southwest China

Lei Jiancheng<sup>1), 2)</sup>, Gao Mengtan<sup>1)</sup> and Yu Yianxiang<sup>1)</sup>

1) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 10081, China

2) Seismological Bureau of Sichuan Province, Chengdu 610041, China

**Abstract** Based on the tectonic background and seismic hazard distribution of the recent destructive earthquakes in Southwest China, we classified the study area into different units. Then the statistical analysis is performed in determining the relationship between near-epicenter intensity and magnitude, as well as the relationship between sensible radius and magnitude. The comparison with some preexisting relationships from the previous studies suggests that our new results will be useful for seismic safety evaluation, earthquake damage prediction and fast disaster assessment.

**Key words:** Southwest China; Sichuan basin; Near-epicenter intensity; Sensible radius