

# 不同类型地震的地震矩—震级标度关系研究

钟羽云, 朱新运, 张震峰

(浙江省地震局, 浙江 杭州 310013)

**摘要:** 收集整理了中国大陆 1977~2001 年发生的 107 次  $M \geq 5.0$  地震的震型、震源机制、发震断层、地震矩等参数, 在此基础上研究了不同震型、不同断层性质地震的地震矩与震级的关系。结果表明, 地震矩和震级标度关系中直线的斜率与地震视应力和介质非均匀程度相联系, 走滑断层地震的视应力和介质的非均匀程度均高于非走滑断层地震, 走滑断层中孤立型地震的视应力和介质的非均匀程度均低于多震型地震。

**关键词:** 地震矩—震级关系; 断层性质; 地震序列类型; 视应力

**中图分类号:** P315.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2004)01-0057-05

## 0 引言

有很多地震学家都研究过地震矩—震级关系, 并得到关系式:  $\log M_0 = a \cdot M_s + b$ , 由于不同研究者所统计地震的区域不同, 关系式中  $a$  和  $b$  在数值上略有差异。实际上,  $a$ 、 $b$  值是震源区介质的应力水平和非均匀程度相联系的, 不同的  $a$  和  $b$  反映了不同地区介质应力水平和介质非均匀程度的不同。对于应力水平的估计, 有很多地震学家提出了很多计算方法, 例如视应力方法、应力降方法、环境剪应力方法等。不同地区区域应力水平的差异已经得到了地震学家的公认。那么对于不同性质发震断层的地震, 以及不同类型的地震, 其应力水平是否也存在规律性的差异呢? 如果有, 这种差异是否能够为震型判别提供一些有用的线索呢? 本文通过地震矩—震级关系中的  $a$ 、 $b$  值研究了不同性质断层的地震和相同性质断层不同类型地震的应力水平。同时用视应力方法估计了这些情况下的应力水平, 结果与用  $a$ 、 $b$  值判断应力水平的结果是一致的。

## 1 资料选取

《中国地震年鉴》<sup>[1]</sup>和《中国地震年鉴》<sup>[2]</sup>对几乎所有的中国大陆 5 级以上地震进行了比较详细的描述, 包括了地震序列、震源机制解和主破裂面等丰富的信息。哈佛大学从上世纪 70 年代末开始发表全球约 5.5 级以上地震的矩心张量(CMT)解, 可以通过因特网得到。本文以中国地震局分析预报中心在 Apnet 网上发布的地震目录为基础, 对照《中国地震年鉴》、《中国震例》和哈佛大学的 CMT 目录, 逐一筛选出 1977 年以来 107 个  $M \geq 5.0$  地震, 编制了一个包括地震类型、地震矩、主压(张)应力  $P(T)$  轴方向、主破裂面等参数在内的震源参数目录。地震类型采用《中国震例》或《中国地震年鉴》中的结果, 地震矩、主压(张)应力  $P(T)$  轴方向采用 CMT 目录结果, 大多数主破裂面参数是根据《中国震例》或《中国地震年鉴》中发表的主破裂面方向, 选用 CMT 目录中相应的节面参数, 少数地震的主破裂面参数是根据《中国地震年鉴》中发表的烈度分布的长轴方向, 在 CMT 目录中选用相应的一个节面参数。对震群型地震只选其中一个地震列入震源参数目录中。图 1 为所用地震的空间分布。

## 2 地震类型统计结果

收稿日期: 2003-05-08

基金项目: 浙江省科学技术委员会重点项目资助(991103263)

作者简介: 钟羽云(1966-), 男(汉族), 江西瑞金人, 高级工程师, 主要从事地震预报和震源物理研究。

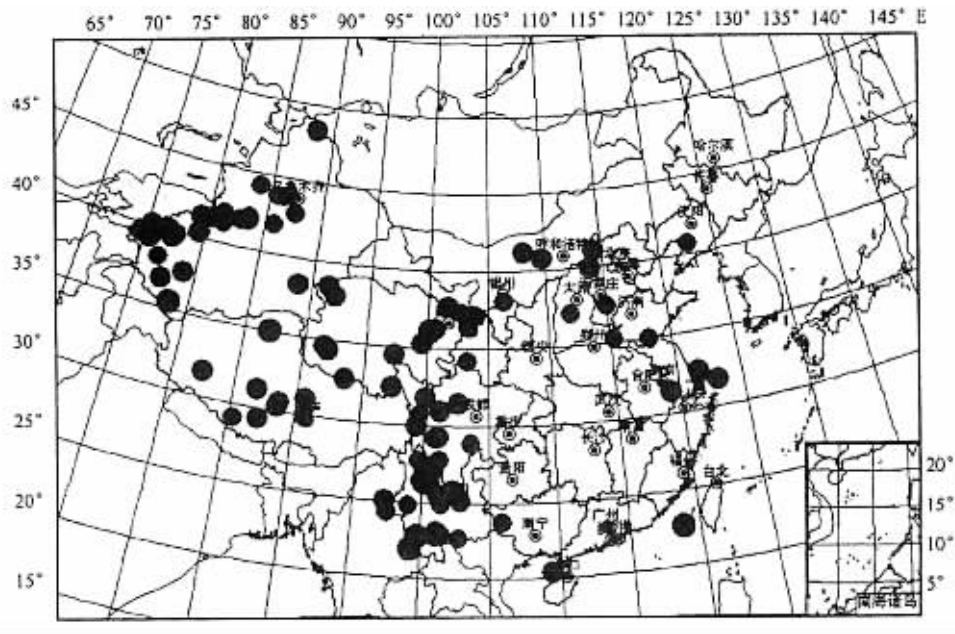


图 1 中国大陆  $M \geq 5.0$  地震地震事件的空间分布( 1977 ~ 2001 )

Fig. 1 Distribution of earthquakes with  $M \geq 5.0$  in Chinese mainland( 1977 ~ 2001 ).

2.1 地震序列类型

一般把地震序列分为孤立型、震群型、双震型和主余型等几种类型<sup>[3]</sup>,其中主余型地震比较复杂,其余震的强度和频次及主震释放的能量占全序列总能量之比差别很大,文献[3]进一步把主余型地震划分为无强余震型、强余震较少型、强余震较多型和强余震极多型四种情况。为了综合研究各种震型以及同种震型中各种情况的地震,本文把地震序列分成三种类型:第 1 类为孤立型,包括表示孤立型和无强余震的主余型地震;第 2 类为主余型,包括强余震较少的主余型地震;第 3 类为多震型,包括强余震较多、强余震极多的主余型地震和双震型、震群型地震。

在本文收集的 1977 ~ 2001 年间 107 次  $M \geq 5.0$  地震中,孤立型地震为 24 次,占 22%;主余型地震为 55 次,占 53%;多震型地震为 28 次,占 26%。主震震级的大小对序列类型有一定的影响,7 级以上地震序列属于主余型的较多,约占 67%,且无孤立型 5 ~ 6 级地震,孤立型比例较高,约占 36%;多震型地震比例较低,约为 14%(表 1)。

表 1 中国大陆地区地震序列类型统计

类型	各级地震次数				总数	
	$M \geq 8.0$	$M 7.0 \sim 7.9$	$M 6.0 \sim 6.9$	$M 5.0 \sim 5.9$	$M_{\max}$	%
孤立型			8	16	6.9	24 22
多震型		3	19	6	7.6	28 26
主余型	1	5	27	22	8.1	55 53

2.2 发震断层的性质

根据地震主破裂面的滑动角  $\lambda$  可以判断地震发震断层的性质。本文将发震断层分为走滑断层、逆断层和正断层三类:(1)当  $-45^\circ < \lambda < 45^\circ$ 、 $\lambda < -135^\circ$  和  $\lambda > 135^\circ$  时为走滑断层;(2)当  $45^\circ \leq \lambda \leq 135^\circ$  时为逆断层;(3)当  $-135^\circ \leq \lambda \leq -45^\circ$  时为正断层。根据本文的震源参数目录进行统计,50% 的地震是走滑断层活动的结果,30% 的地震是逆断层活动的结果,20% 的地震是正断层活动的结果。这个结果与环文林根据震源机制解三个应力主轴仰角进行分类统计的结果大体一致<sup>[5]</sup>。

按照发震断层性质对地震类型进行统计,多震型地震之中有 54% 是走滑断层活动的结果,21% 是正断层活动的结果,25% 是逆断层活动的结果。24 次孤立型地震中有 10 次发生在逆断层上(占 42%);只有 8% 发生在正断层上(表 2)。

表 2 中国大陆发震断层性质统计							
断层性质	走滑断层		正断层		逆断层		总数
	次数	%	次数	%	次数	%	
孤立型	12	50	2	8	10	42	24
多震型	15	54	6	21	7	25	28
主余型	27	49	14	25	14	25	55

3 不同震型、不同断层性质地震的震级 - 地震矩标度关系

在以  $\log M_0$  为纵坐标,  $M_s$  为横坐标的平面上分别用不同的符号表示出正断层、逆断层和走滑型浅源地震(图 2),并用最小二乘法分别拟合出  $\log M_0$  随  $M_s$  的变化关系式:

$$\log M_0 = 1.5 M_s + 8.3 \text{ (走滑型)}$$
$$\log M_0 = 1.1 M_s + 11.1 \text{ (正断层)}$$
$$\log M_0 = 1.1 M_s + 11.0 \text{ (逆断层)}$$

(1)

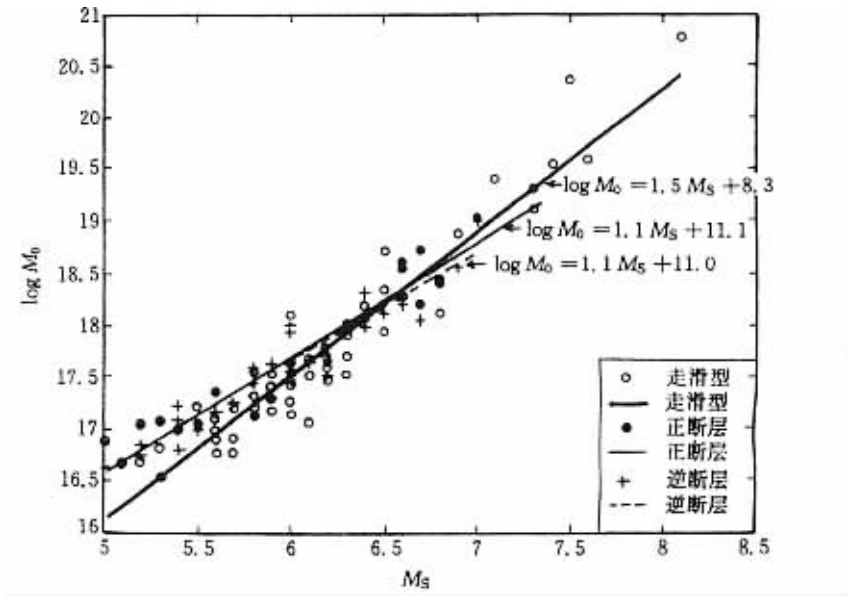


图 2 三种性质断层的地震矩与震级关系

Fig.2 Relations between seismic moment and magnitude for three kinds of fault property.

看出,走滑型地震的  $a$  值明显大于非走滑型地震的  $a$  值;正断层地震的  $a$  值和逆断层地震的  $a$  值非常接近。

图 3 给出了当发震断层同为走滑断层时不同震型的情况:

$$\log M_0 = 0.87 M_s + 12.3 \text{ (孤立型)}$$
$$\log M_0 = 1.64 M_s + 7.56 \text{ (主余型)}$$
$$\log M_0 = 1.49 M_s + 8.25 \text{ (多震型)}$$

(2)

可以看出孤立型地震的  $a$  值明显小于主余型和多震型地震的  $a$  值。当发震断层为正断层和逆断层时,地震矩与震级之间的关系则没有这种规律,三种类型地震的  $a$  值近似相等。

4 震级 - 地震矩标度关系直线斜率  $a$  的物理意义

为了叙述方便重写关系式:

$$\log M_0 = a \cdot M_s + b$$

(3)

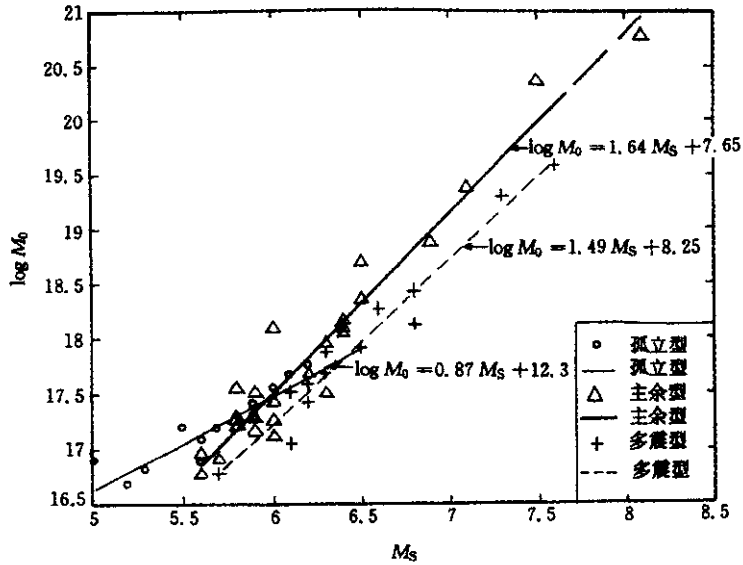


图 3 不同震型的走滑断层地震矩与震级关系

Fig. 3 Relations between seismic moment and magnitude of strike-slip fault in different types of earthquake sequence.

而

$$\log E = 4.8 + 1.5 M_s \tag{4}$$

由式 (3) 和 (4) 式可以得到

$$\begin{aligned} \log(E/M_0) &= (1.5 - a) M_s + \\ 4.8 - b &= A \cdot M_s + B \end{aligned} \tag{5}$$

式 (5) 说明,  $a$ 、 $b$  和  $E/M_0$  联系在一起。我们知道视应力可以写成

$$\sigma_{app} = \mu E/M_0 \tag{6}$$

式中  $\mu$  是介质的剪切模量,  $E$  是地震波辐射能量,  $M_0$  是地震矩。

假设不同地震震源区介质的剪切模量相同, 则由 (5) 和 (6) 式可以知道  $a$ 、 $b$  是与地震视应力和视应力随震级的分布相联系的。(3) 式表示了地震矩和震级在一定震级范围内的统计关系;  $b$  表示了在某一起始统计震级下的地震矩  $M_0$ ,  $b$  值越大,  $M_0$  越大, 视应力越小;  $a$  值则反映了地震矩  $M_0$  随震级  $M_s$  的变化情况, 在  $M_s$  变化量相同的情况下,  $a$  值越小表示  $M_0$  变化越小, 视应力变化范围越小, 介质视应力随震级的分布越集中, 介质越均匀。因此  $a$  值反映了震源区介质应力的分形特征, 反映了介质的非均匀程度。

图 2 反映了走滑型地震介质的视应力和非均匀度均高于非走滑型地震, 图 3 反映了走滑型断层中孤立型地震介质的视应力和非均匀度均低于多震型地震。

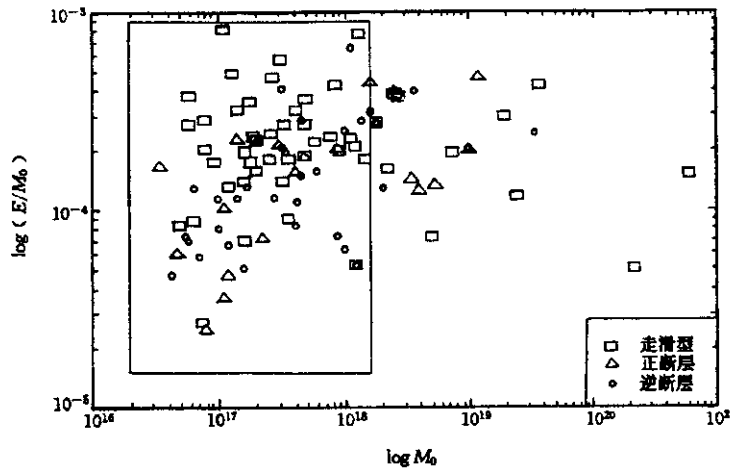


图 4 三种性质断层地震视应力比较

Fig. 4 Comparison among the apparent stresses for three kinds of fault property.

图 4 给出了中国大陆  $M \geq 5.0$  地震能量 / 地震矩 ( $E/M_0$ ) 与地震矩 ( $M_0$ ) 的关系, 图 5 给出了走滑断层三种震型的地震  $E/M_0$  与  $M_0$  的关系。图 4 和图 5 也显示了走滑型地震的视应力高于非走滑型地震, 走滑断层中孤立型地震的视应力低于多震型地震。

## 5 结论

通过收集整理中国大陆 1977 ~ 2001 年发生的 107 次  $M \geq 5.0$  地震的震型、震源机制、发震断层、地震矩等参数, 研究了不同震型、不同断层性质地震的地震矩与震级关系, 得到如下结论:

(1) 地震矩的对数与震级成线性变化关系, 其直线的斜率  $a$  与地震视应力相联系;

(2) 走滑型地震的  $a$  值大于非走滑型地震的  $a$  值, 这反映了走滑型地震介质的视应力和非均匀度均高于非走滑型地震;

(3) 走滑断层中孤立型地震的  $a$  值小于多震型地震的  $a$  值, 这反映了走滑型断层中孤立型地震介质的视应力和非均匀度均低于多震型地震。

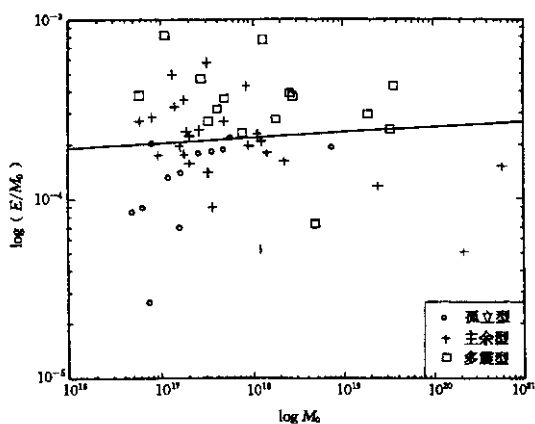


图 5 走滑断层三种震型地震视应力比较

Fig. 5 Comparison among the apparent stresses of strike-slip fault in three types of earthquake sequence.

## [ 参考文献 ]

- [ 1 ] 中国地震年鉴编辑委员会. 中国地震年鉴( 1987 ~ 2001 ) [ R ]. 北京: 地震出版社.
- [ 2 ] 中国震例编辑组. 中国震例( 1 ~ 4 ) [ C ]. 北京: 地震出版社, 1988, 1990, 1999, 2000.
- [ 3 ] 中国地震局. 地震现场工作大纲和技术指南 [ M ]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [ 4 ] 上海市地震局. 上海市的地震与应急 [ M ]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [ 5 ] 环文林, 汪素云, 宋昭仪. 中国大陆内部走滑型发震构造的构造应力场特征 [ J ]. 地震学报, 1994, 16( 4 ): 455 - 461.

# STUDY ON RELATIONS BETWEEN SEISMIC MOMENT AND MAGNITUDE FOR VARIOUS TYPES OF EARTHQUAKE SEQUENCE

ZHONG Yu-yun, ZHU Xin-yun, ZHANG Zhen-feng

( Seismological Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China )

**Abstract:** The types of earthquake sequence, focal mechanisms, main fault planes and seismic moments of 107 earthquake events with  $M \geq 5.0$  in Chinese mainland from 1977 to 2001 are gathered. Based on the events the relations between seismic moment and magnitude for different fault properties and different types of earthquake sequence are discussed. The result shows that the relation is linear and the line slopes directly relate to the earthquake apparent stress and heterogeneous extend of mediums. For both apparent stress and heterogeneous extend of medium, in the strike-slip fault event are higher than in the non-strike-slip fault event, and in the isolated type of earthquake sequence are lower than in the multiple type of earthquake sequence.

**Key words:** Relation between seismic moment and magnitude; Fault property; Type of earthquake sequence; Apparent stress