

# 青藏高原北部中强以上地震震兆异常的分级特征研究

罗国富, 赵卫明, 盛菊琴, 马禾青

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

**摘要:**通过对青藏高原北部中强以上地震前普遍出现的地震活动异常进行了系统的分析和总结, 发现各地震活动前兆异常参数与主震震级有分级特征, 其结果对未来青藏高原北部中强以上地震的预测具有一定的实用和参考价值。

**关键词:** 青藏高原北部; 分级地震活动; 异常特征; 地震预测

**中图分类号:** P315.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2009)02-0179-07

## Research on Characteristics of Earthquake Activity Classification before the Strong and Moderate-strong Earthquakes in Northern Qinghai-Tibet Plateau

LUO Guo-fu, ZHAO Wei-ming, SHENG Ju-qin, Ma He-qing

(Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** The seismicity anomaly before strong and moderate-strong earthquakes in northern Qinghai-Tibet Plateau is common and credible, it is summarized and analyzed systematically in this paper. It is found that the precursor anomaly parameters of small and moderate earthquake activities before main-shock have a classificational characteristic relationship with the magnitude of main-shock. The result provides practicality and reference to earthquake prediction for this region.

**Key words:** Northern Qinghai-Tibet Plateau; Classification of seismicity; Anomaly characteristic; Earthquake prediction

### 0 引言

已有的一些研究结果和经验表明, 青藏高原北部多数中强以上地震前震源周围一定时空范围内往往会形成地震空区、条带、弱震震群和前兆地震等地震活动异常<sup>[1-3]</sup>, 构成异常的地震震级越大, 一般对应的主震的震级也越大<sup>[4-7]</sup>。一般表现出如下特征: 如 7~8 级地震前, 多由 4 或 5 级地震形成空区和条带异常, 而 5~6 级地震往往成为该地震前的“信号震”; 而 5~6 级地震前, 多由 2 或 3 级以上地震形成空区、条带异常等。总的来说, 构成异常的地震震级越大, 异常持续的时空范围也越大, 则主震震级也越大。本文对青藏高原北部有一定监测能力的区域内中强以上地震前出现的地震活动异常进行系统研究, 重点分析地震活动性异常参数与主震震级的关

系。

### 1 资料选取与分析规则

#### 1.1 地震目录和震例的挑选

本文使用的弱震目录来自中国地震局台网中心强震目录来自中国地震局监测预报司整编<sup>[8]</sup>。青藏高原北部研究区域为 90°~110°E, 32°~43°N。从研究区挑选出有明显地震活动异常的中强以上地震震例事件共 46 次, 其中 1920 年 1 月至 2007 年 6 月 8.0 级以上地震 3 次, 7.0~7.9 级地震 5 次, 5.0~6.9 级以上地震 38 次(1991 年内蒙古阿拉善左旗的 3 次 5 级左右地震和 1992 年 6 月 21 日青海祁连 5.0、1993 年 10 月 23 日青海祁连 6.0 级地震分别作

收稿日期: 2008-04-14

基金项目: 国家科技支撑计划资助(2006BAC01B03-04-02); 地震科学联合青年基金项目(C08020)

作者简介: 罗国富(1978-), 男(汉族), 山西沁源人, 硕士, 主要从事地震活动性研究。

为一次地震事件看待),在上述各震例事件前的地震活动异常分析中,与《中国震例》或其它公开发表文章中提到的相一致的异常直接采用。

### 1.2 异常分析规则

地震活动异常的判别遵循如下规定:特征震级是构成地震活动异常的主要地震震级,假若再提高震级,则不足以构成此异常;地震空区指孕震空区;地震平静异常一般是在地震增强之后一段时期,地震频度比正常年平均量出现明显降低现象;信号震主要指在时间上(一般主震前1~8个月)、空间上(一般距震源400 km范围内)距离主震较近的一次

中强地震,个别信号震发生在距主震1年以上、500 km以上的范围。

## 2 地震活动异常的分析

### 2.1 地震活动异常

本文对所挑选的46次中强以上震例前的主要地震活动异常分别归类总结(表1)。发现青藏高原北部中强以上地震前中长期异常(1~10年)主要以地震空区和条带为主,中短期异常(1年内)主要以地震增强和平静为主,少部分主震前还有信号震和弱震震群。

表1 青藏高原北部5级以上中强地震前的主要地震活动异常

编号	发震时间	发震地点	震级/ $M_s$	中长期异常	特征震级/ $M_s$	震前时间	持续时间	中短期异常	特征震级/ $M_s$	震前时间
1	1920-12-16	宁夏海原	8.5	空区 明显增强	5.0 5.0	32年 10~28年	64年	平静 信号震	4.7 6.5	9年 5年
2	1927-05-23	甘肃古浪	8.0					平静	5.0	7年
3	1937-01-07	阿兰湖	7.5	空区 大面积平静	5.0 4.0	1~22年 1年	21年 1年	增强 信号震	3.0 5.4	4个月 6年7个月
4	1947-03-17	青海达日	7.7	条带	4.5	5年	5年	平静	4.0	9个月
5	1963-04-19	阿兰湖	7.0	空区 明显增强	5.0 4.7	2~13年 3~13年	11年 10年	平静 信号震	4.2 6.8	11个月 11个月
6	1970-12-03	宁夏西吉	5.5	空区	2.5	3年	3年	条带	2.0	11个月
7	1971-06-28	宁夏灵武	5.5	增强	2.0	3.5年	3.5年	条带	2.5	6个月
8	1973-08-11	四川松潘	6.5	空区	2.0	2年	1.5年	平静 条带	2.3 2.0	7个月 2个月
9	1975-01-04	青海哈拉	5.3	条带	2.1	3年	3年	增强	1.8	8个月
10	1976-08-16	四川平武	7.2	空区 条带	3.5 4.0	2~6年 3年	4年 3年	增强 平静	4.0 4.0	2年5个月 4个月
11	1976-09-23	巴音木仁	6.2	空区 条带	3.6 2.5	10~3年 2年	7年 1年3个月	信号震 震群	4.0 3.2	1.6个月 5个月
12	1979-08-25	内蒙五原	6.0	空区	3.7	3年	2年	条带 震群	2.2 1.2	1年 4个月
13	1980-04-18	青海天峻	5.2	空区	2.9	6年	5年	平静	2.5	10个月
14	1982-04-14	宁夏海原	5.5	条带	2.1	1年	1年	增强	2.0	11个月
15	1984-01-06	甘肃武威	5.3	空区	2.7	3年	2.8年	平静	2.8	1.2年
16	1984-02-17	青海祁连	5.1	空区	3.0	3年	3年	增强	1.7	1个月
17	1984-11-23	宁夏灵武	5.3	条带	2.2	1年	1年	增强	2.0	5个月
18	1986-12-21	格尔木	5.3	空区	2.7	1~7年	6年	增强 平静	2.0 2.3	1.5~2年 2~12个月
19	1987-01-08	甘肃迭部	5.9	空区	2.5	6年	6年	平静	2.0	1年
20	1987-02-26	青海茫崖	6.1	空区	3.0	5年	5年	增强	2.0	5个月
21	1987-08-10	宁夏灵武	5.5					增强 震群	2.0 1.5	9个月 6个月
22	1988-11-05	唐古拉山	6.9	空区	4.0	2.2年	2年	平静	3.0	1年
23	1988-11-22	甘肃肃南	5.7	空区 条带	2.4 2.0	7年 0.5~1.5年	7年 1年	增强	2.3	2个月
24	1990-01-14	青海茫崖	6.6	空区 增强	4.2 2.6	8年 0.5~3年	8年 2.5年	平静	3.0	6个月
25	1990-04-26	青海共和	7.0	空区 条带	4.0 2.5	10~20年 0.5~2.5年	10年 2年	平静 信号震 震群	3.0 5.2 2.8	1年 2年2个月 1年

续表 1

编号	发震时间	发震地点	震级/ M <sub>S</sub>	中长期异常	特征震级/ M <sub>S</sub>	震前时间	持续时间	中短期异常	特征震级/ M <sub>S</sub>	震前时间
26	1990-10-20	甘肃景泰	6.2	空区 条带	3.0 2.0	1~4.5年 3年	3.5年 3年	平静 2.3	5个月	
27	1991-09-02	锡铁山	5.0	空区	2.1	2~4.3年	2.3年	平静	2.0	8个月
28	1991-06-16	内蒙阿左旗	5.3					增强	3.0	6个月
29	1992-01-12	嘉峪关	5.4	空区	3.0	0.5~5年	4.5年	增强	2.8	16个月
30	1992-06-21	青海祁连	6.0	空区、条带	3.0	1.5年	1.5年	增强	2.0	5个月
31	1994-01-03	青海共和	6.0	空区、条带	2.5	1.3年	1.3年	平静	2.0	11个月
32	1995-07-22	甘肃永登	5.8	空区 条带	3.8 3.0	30年 2年	30年 2年	增强 震群	1.8 2.1	0.6~1.5年 3个月
33	1996-05-03	内蒙包头	6.4	条带	2.0	1年	1年	平静 震群	3.0 1.7	0.8~1.5年 7个月
34	1996-06-01	甘肃古浪	5.4	空区 条带	2.9 2.9	9年 3年	8年 3年	增强	2.0	6个月
35	1997-02-09	格尔木	5.4	空区	2.0	0.9~3年	2.1年	平静 震群	2.3 0.5	1年 0.3个月
36	2000-06-06	甘肃景泰	5.9	空区、条带	2.3	2年	2年	增强	1.8	6个月
37	2000-09-12	青海兴海	6.6	空区 条带	3.4 3.0	1年 3年	1年 3年	增强 震群	3.1 1.0	0.5~1.0年 0.4个月
38	2001-07-11	甘肃肃南	5.3	空区 条带	2.3 2.6	8年 1.5年	8年 1年	平静	1.5	10个月
39	2001-07-26	青海玉树	5.7	空区	2.9	1.5年	1.5年	平静 信号震	2.3 4.9	8个月 11个月
40	2001-11-14	昆仑山口	8.1	空区 条带 增强	5.0 5.0 5.5	15年 3年 9年	15年 2年 8年	平静 信号震 震群	3.0 6.6 5.0	5个月 1年2个月 11个月
41	2002-10-27	青海都兰	5.4	空区 条带	2.5 2.0	1.3年 1年	1.3年 1年	增强 信号震	3.5 5.2	5个月 0.1个月
42	2003-10-25	甘肃民乐	6.1、5.8	空区 条带	2.0 3.4	0.4~1.5年 1年	1年 1年	平静	2.3	10个月
43	2004-09-07	甘肃岷县	5.0	空区、条带	2.1	1年	1年	增强 平静	2.3 2.5	0.7~1年 5个月
44	2006-03-30	格尔木	5.2	空区	2.0	1.2年	1.2年	增强 平静	2.4 2.3	4~8个月 4个月
45	2006-06-21	甘肃文县	5.1	增强	2.3	1年	1年	平静	2.3	3个月
46	2007-02-03	海西州	5.5	空区	2.3	1.5年	1.5年	平静	2.3	10个月

注: 表中的地震活动异常是按照本文的异常规则研究结果,与下列文献中的异常结果基本一致。具体对比为:1~2号地震与文献[9]; 3~5号地震与文献[10];6~35号地震与文献[11-18];38号地震与文献[19];40号地震与文献[20];42号地震与文献[21];45号地震与文献[22]。其它为本文结果。

2.2 地震活动异常的分级特征

(1) 地震空区

表1中的主震震级与其震前地震空区参数的关系见图1(a)~(d),可以看出随着主震震级的增大,围空地地震的特征震级亦逐渐增大,围空震级与主震震级之间成线性关系,线性拟合关系可通过 $\alpha=0.01$ 的t检验,即线性关系的置信度为99%(图1(a));另外,空区长轴长度总体随主震震级增大而增大,有一定的线性关系,但离散度较大,能通过 $\alpha=0.1$ 的t检验,置信度为90%(图1(b));地震空区起始时间和持续时间都随主震震级增大而增大,呈一

定的自然对数关系(图1(c)、(d)),都可通过 $\alpha=0.05$ 的t检验信度为95%;研究还发现主震发生在地震空区内部的占69%,边缘的占28%,发生在空区外的仅占3%,说明主震的发生位置与空区分布有关。

(2) 地震条带

表1中主震震级与其震前地震条带的各参数关系见图2(a)~(d),可以得出随着主震震级的增大,构成条带上地震的特征震级亦逐渐增大,线性拟合关系可通过 $\alpha=0.01$ 的t检验,置信度为99%;地震条带的长度也随主震震级增大而增长,有一定线性

关系,但离差较大,不能通过  $\alpha=0.05$  的  $t$  检验;条带起始时间和持续时间都随主震震级增大而越长,用自然对数关系拟合,都可通过  $\alpha=0.05$  的  $t$  检验,

置信度为 95%;主震发生在共轭条带交汇部位的占 60%,一支条带上的占 40%,没有发生在条带外的现象;说明主震发生位置与条带分布有关。

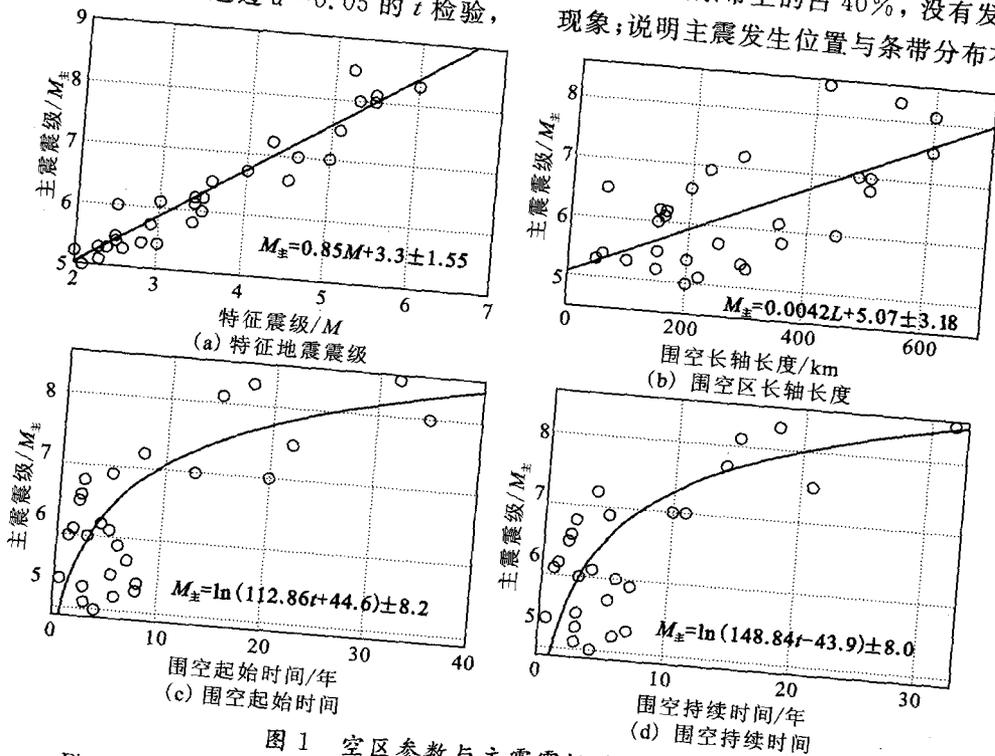


图 1 空区参数与主震震级的关系  
Fig. 1 Relationship between magnitude of main-shock and the gap parameters.

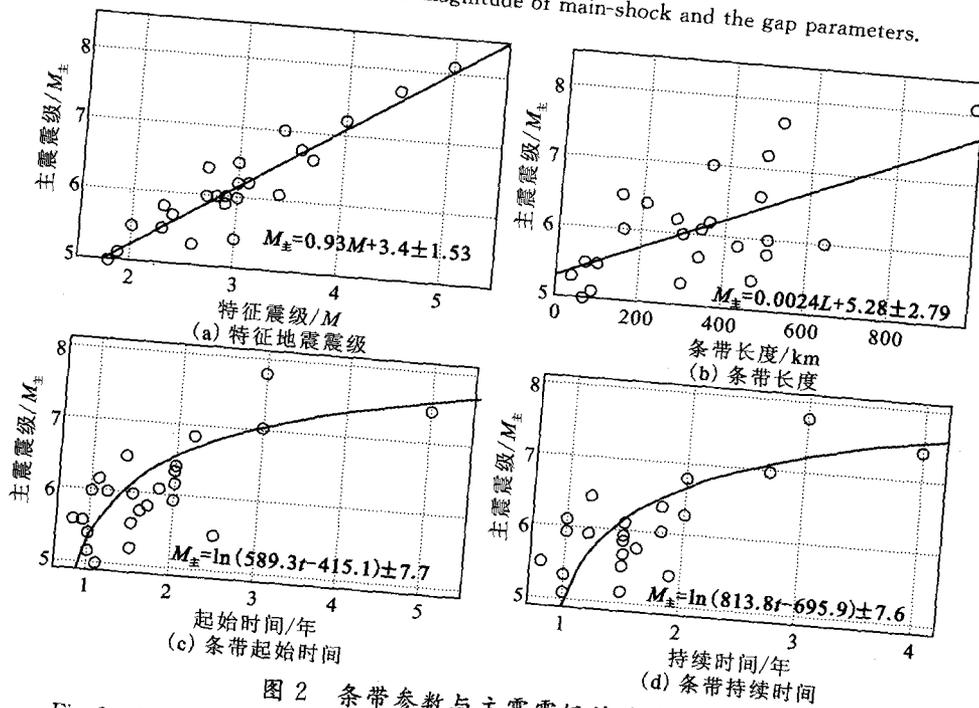


图 2 条带参数与主震震级的关系  
Fig. 2 Relationship between magnitude of main-shock and the band parameters.

(3) 地震增强

表 1 中的主震震级与其震前地震增强各参数的关系见图 3(a) ~ (d), 可以得出随着主震震级的增

大, 构成地震活动增强地震的特征震级亦逐渐增大, 线性拟合关系可通过  $\alpha=0.01$  的  $t$  检验, 置信度为 99%; 地震活动增强的起始时间与 6.0 级以上主震

震级成自然对数关系,拟合关系可通过  $\alpha=0.05$  的  $t$  检验法,置信度为 95%,但与 5.0~5.9 级主震震级变化关系不大,基本在主震前一年半内随机变化;地震活动增强的持续时间随主震震级增大而增大,成

自然对数关系,可通过  $\alpha=0.05$  的  $t$  检验,置信度为 95%;地震活动增强距震中的空间分布与主震震级成线性关系,线性拟合可通过  $\alpha=0.05$  的  $t$  检验,置信度为 95%。

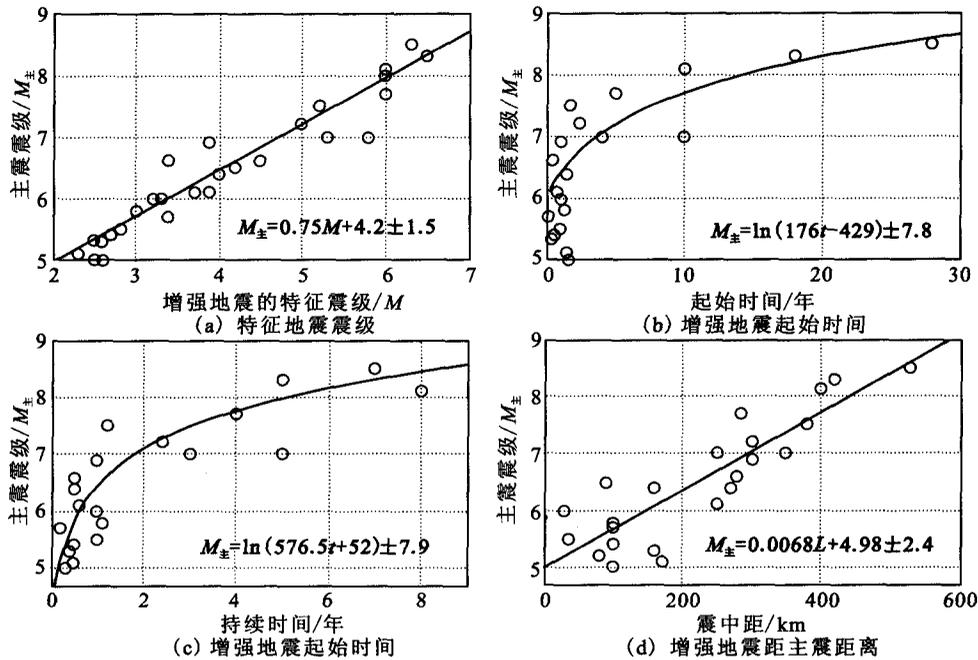


图 3 地震活动增强参数与主震震级的关系

Fig. 3 Relationship between magnitude of main-shock and the seismicity intensification parameters.

(4) 地震活动平静

表 1 中主震震级与其震前地震平静异常各参数的关系见图 4(a)~(d)。可以得出:随着主震震级

的增大,构成地震活动平静的特征地震震级亦逐渐增大,成线性关系,其线性拟合可通过  $\alpha=0.01$  的  $t$  检验,置信度为 95%;地震活动平静的起始时间与

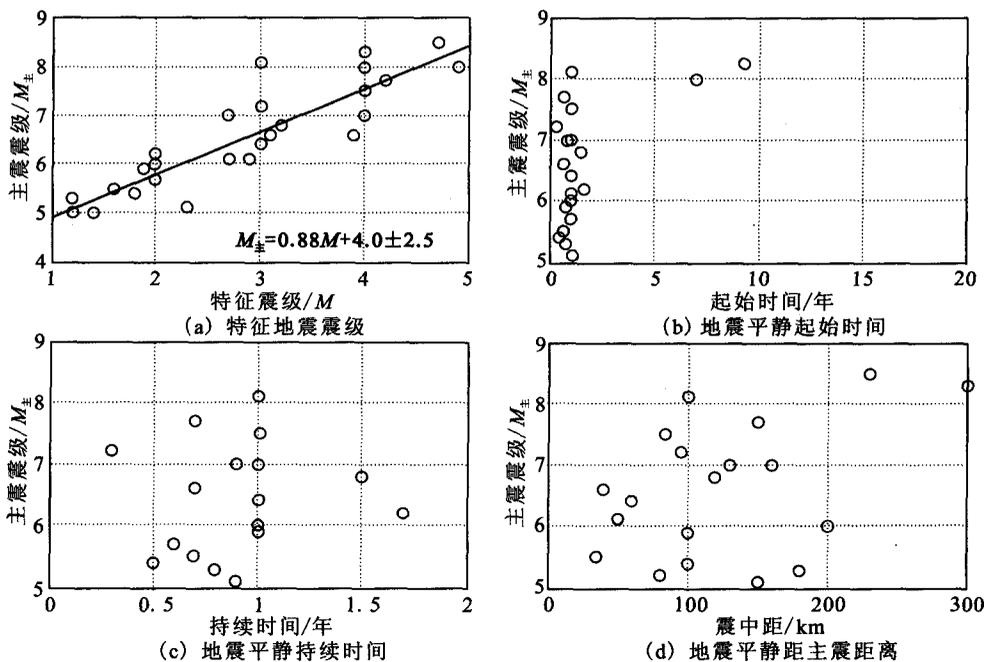


图 4 地震活动平静参数与主震震级的关系

Fig. 4 Relationship between magnitude of main-shock and the seismicity quietness parameters.

主震震级关系不大,5.0~7.9级范围内的地震前地震活动平静起始时间主要在震前2年内变化,仅有2次8级以上地震(1920年宁夏海原地震和1927年甘肃古浪地震)前出现5.0级以上地震大范围、长时间平静,可能与当时地震监测能力以及资料不完整有关;地震活动平静持续时间和空间范围都与主震震级关系不大,呈随机变化。

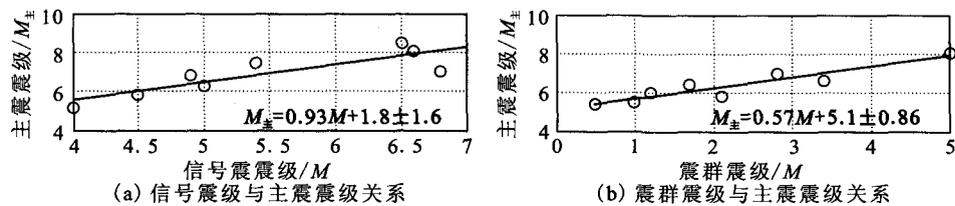


图5 信号震和震群的参数与主震震级的关系

Fig. 5 Relationship between magnitude of main-shock and the foreshock and earthquake swarm magnitudes.

### 3 结论与讨论

通过上述对青藏高原北部研究区中强地震前有明显地震活动异常的46次震例的分析和研究,得出如下结论:

(1) 青藏高原北部研究区绝大部分7.0级以上强震、少部分5.0~6.9级地震前都出现地震活动异常参数与主震震级的分级特征。中长期(1~10年)异常参数主要以地震空区和地震条带为主,中短期(1年内)异常主要以地震增强和平静为主,少部分还有信号震和弱震震群。

(2) 中强以上地震的主震震级与各异常参数的分级特征为:主震震级与围空地地震的特征震级、空区长轴长度都成线性关系,与围空地地震的起始时间和持续时间成对数关系,主震一般发生在空区内部及边缘;与形成条带的特征震级、条带长度都成线性关系,与条带的起始时间和持续时间成对数关系,主震往往发生在共轭条带的交汇处或条带的一端;与增强震地震的特征震级、距震中的距离都成线性关系,与增强震地震的起始时间和持续时间成对数关系;与地震平静的特征震级、信号震震级、震群震级都成线性关系,与地震平静的起始时间、持续时间以及距震中距离呈随机变化。

总之青藏高原北部研究区内部分中强以上地震前有明显的地震活动异常,异常参数与主震震级呈分级特征。但大部分中强地震前没有地震活动异常,或者地震活动异常不明显,没有地震活动分级特征,这些地震前的异常特征有待进一步研究。

青藏高部北部中强以上地震前地震活动分级特征机制与该区域的动力构造有关<sup>[23-24]</sup>。梅世蓉<sup>[25]</sup>

#### (5) 信号震和震群

表1中主震震级与其震前信号震、震群的震级的变化关系为图5(a)~(b),该图可以得出:信号震和震群的震级都随着主震震级的增大而增大,呈线性关系,其线性拟合都可通过 $\alpha=0.01$ 的 $t$ 检验,但由于其样本量较少,线性关系的可靠性较差。

提出的“坚固体孕震模式”可以对分级地震活动异常作出初步解释。

#### [参考文献]

- [1] 杨立明,张勇,张富芳.甘东南甘青川交界地区中强地震前中等地震活动共性特征研究[J].高原地震,2002,14(3):1-8.
- [2] 任雪梅,马永青,赵卫明,等.西北地区东部强震前地震活动演化特征[J].地震,2002,22(3):45-50.
- [3] 马永青,盛菊琴,赵卫明,等.青藏块体中北部中强地震前弱震活动统计特征研究[J].中国地震,2005,21(3):378-385.
- [4] 梅世蓉,宋治平,薛艳.中国巨大地震前地震活动环形分布图像与规律[J].地震学报,1996,18(4):413-419.
- [5] 刘蒲雄,陈兆恩,高伟,等.大震前地震活动图像演变及中期向短期过渡的地震活动性标志[J].地震,1997,17(2):113-125.
- [6] 王慧敏,黎明晓,张晓东,等.强震前地震活动图像与震源机制类型的相关性分析[J].地震学报,2006,28(4):380-388.
- [7] 王慧敏,黎明晓,张晓东,等.中国大陆强震前地震活动图像演变特征研究[J].地震,2006,26(3):44-52.
- [8] 中国地震局监测预报司整编.中国强地震目录(23B.C.-2005.6A.D.)[M].北京:地震出版社,2005.
- [9] 郭增建,马宗晋,主编.中国特大地震研究[M].北京:地震出版社,1982.
- [10] 陈玉华,马文静.库玛断裂带强震活动与地震空区研究[J].地震,2002,22(2):81-87.
- [11] 张肇诚,罗兰格,李海华,等.中国震例(1966—1975)[M].北京:地震出版社,1988:1-222.
- [12] 张肇诚,罗兰格,李海华,等.中国震例(1976—1980)[M].北京:地震出版社,1990:1-421.
- [13] 张肇诚,罗兰格,李海华,等.中国震例(1981—1985)[M].北京:地震出版社,1990:1-294.
- [14] 张肇诚,郑大林,徐京华.中国震例(1986—1988)[M].北京:地震出版社,1999:1-349.
- [15] 张肇诚,郑大林,徐京华.中国震例(1989—1991)[M].北京:地震出版社,2000:1-452.

- [16] 陈棋福,郑大林,车时. 中国震例(1992—1994)[M]. 北京:地震出版社,2002:1-429.
- [17] 陈棋福,郑大林,刘桂萍,等. 中国震例(1995—1996)[M]. 北京:地震出版社,2002:1-489.
- [18] 陈棋福,郑大林,高荣胜. 中国震例(1997—1999)[M]. 北京:地震出版社,2002:1-468.
- [19] 张敏. 2000年6月6日甘肃景泰5.9级地震前中短期震兆特征研究[J]. 高原地震,2002,14(1):23-28.
- [20] 肖丽珠,刘小凤,郑卫平. 2001年7月11日肃南5.3级地震前兆异常与地震序列特征[J]. 西北地震学报,2002,24(4):273-277.
- [21] 刘蒲雄,郑大林,车时,等. 2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震前地震活动异常及其思考[J]. 地震学报,2003,25(2):205-210.
- [22] 杨立明,王兰民. 民乐—山丹6.1级地震短期预报的科学总结[J]. 西北地震学报,2004,26(1):1-9.
- [23] 陈兵,江在森,马文静,等. 青藏块体东北缘断层形变与中强地震[J]. 地测量与地球动力学,2002,22(4):49-56.
- [24] 张希,江在森,王双绪,等. 青藏块体及周缘潜在震源与强震关系研究[J]. 大地测量与地球动力学,2003,23(1):35-41.
- [25] 梅世蓉. 地震前兆物理模式与前兆时空分布特征与机制研究(一): 固体孕震模式的由来与依据[J]. 地震,1995,17(3):273-282.