第31卷 第4期
2009年12月

西 北 地 震 学 报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 31 No. 4
Dec., 2009

昆仑山口西8.1级地震前地震活动性异常特征

陈玉华[1]，张肇诚[2]

(1. 青海省地震局，青海 西宁 810001；2. 中国地震局预测研究所，北京 100036)

摘 要：利用地震活动图像演化动态跟踪、地震活动参数时间扫描及震群判定等目前较为成熟的地震预测方法，研究了2001年昆仑山口西8.1级地震前地震活动性异常。结果显示8.1级地震前地震活动性异常有序性明显，地震空区、地震条带、震群活动异常突出，且呈现配套特征。研究认为地震空区图像演化对揭示特大地震的孕育场有所帮助；大范围前兆震群活动是特大地震前多点应力积累、释放的前兆反应；结合地震活动参数扫描异常综合分析，特大地震前可能做出一定的中期—短期预测。

关键词：昆仑山口西8.1级地震；地震活动性异常；地震空区；地震条带；震群

中图分类号：P315.75 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－0844(2009)04－0374－06

Characteristics of Seismicity Anomalies before M_S 8.1 Earthquake at the West to Kunlun Mountain Pass

CHEN Yu-hua[1], ZHANG Zhao-cheng[2]

(1. *Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining* 810001, *China*;
2. *Institute of Earthquake Prediction, CEA, Beijing* 100036, *China*)

Abstract: The seismicity anomalies before M_S 8.1 earthquake at the west to Kunlun Mountain pass in 2001 are studied by using the methods of tracing dynamic seismicity evolution patterns, the parameters time scanning and earthquake swarm determination, which are all commonly used in earthquake prediction. The results show that the seismicity anomalies were obviously in order, the anomalies for earthquake gaps, belts and groups appeared in same period. It is considere that the evolution of earthquake gaps patterns is helpful to study the large earthquake prepare field, the earthquake swarm are precursory reflect of mult-points stress releasing before large earthquake, and large earthquake could be predicted in middle and short-term through synthesis analysis to the seismicity parameters time scanning.

Key words: **Large earthquake; Seismicity anomaly; Earthquake gap; Earthquake belt; Earthquake swarm**

0 引言

2001年昆仑山口西8.1级地震是我国开展地震预测预报研究以来发生的第一个8级以上特大地震。该地震发生前地震活动性异常呈现出有序性，地震空区、地震条带、震群及地震活动时空扫描均出现一些显著的配套异常，较清晰地演绎了特大地震前异常发展的时间阶段和过程。笔者归纳出18项地震活动性异常[1]。本文对主要异常做进一步人分析。

1 主要地震活动性异常

1.1 地震空区

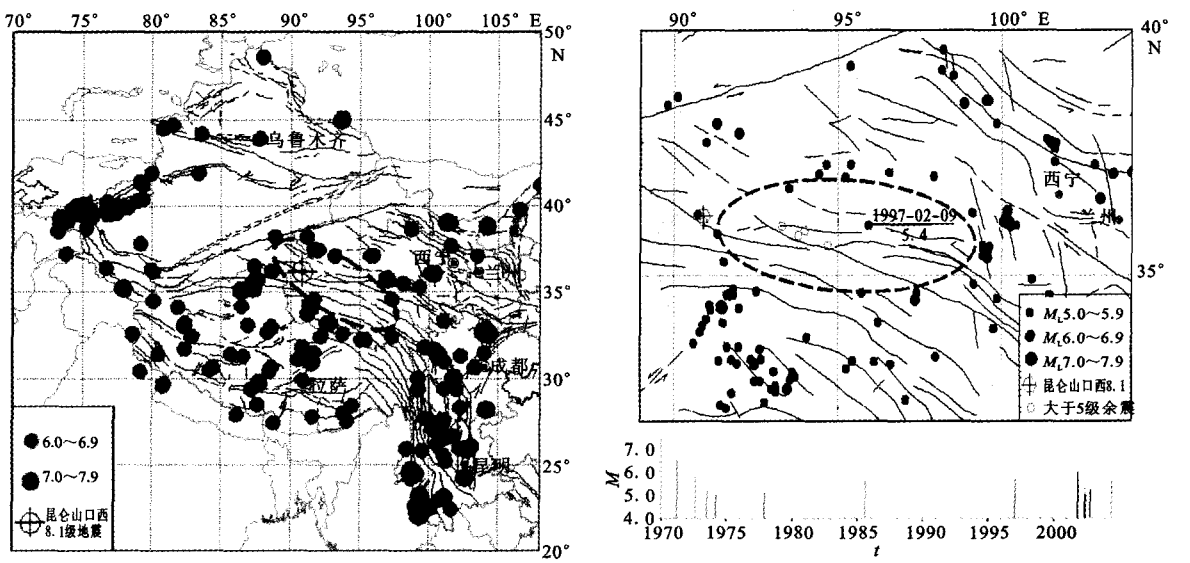
收稿日期：2009-01-05
基金项目：中国地震局地震科学联合基金(106086)
作者简介：陈玉华(1956－)，女(汉族)，河南安阳人，高级工程师，主要从事地震预报研究.

从现有研究[2-12]看,昆仑山口西 8.1 级地震发生前地震空区异常较为显著;分阶段出现了超长时段(50 年尺度和 15 年尺度)的背景空区、中长阶段(3 年尺度)和短临阶段(1 年尺度)的孕震空区,空区的围空震级、空区形态及形成时间各具特色。

1.1.1　地震背景空区

1951 年 11 月西藏当雄 8.0 级地震后,青藏块体北部逐渐形成以东昆仑断裂西段为主体的 $M\geqslant6$ 地震围空区(图 1(a))。据背景空区空间尺度和持续时间与震级间的经验关系式[13]计算,地震空区未来主震震级分别为 7.45±0.51,8.35±0.41,与实际震级接近。8.1 级地震发生在该背景空区的内部边缘地带。

1986 年—1997 年 2 月 8 日 $M_L\geqslant5$ 地震沿东昆仑断裂带中段(34.5°～37°N,91.5°～99.5°E)形成地震空区,由空区内 $M-t$ 图可清楚的看出该时段地震活动的平静现象(图 1(b))。1997 年 2 月 9 日空区内发生 $M5.4$ 地震,可能预示着该空区趋于成熟,是大震前的一种信号震。昆仑山口西 8.1 级地震发生在该空区的西边缘,地震破裂带及其强余震位于空区内部。该空区由青海地震局 2000 度会商提出①,是震前看到的最为确定的大震(7 级以上)的背景性异常[2-3]。



(a) M≥6空区　　(b) M≥5空区

图 1　昆仑山口西 8.1 级大震前的地震背景空区

Fig. 1　Seismic background gaps before the west to Kunlun Mountain pass M_S8.1 earthquake in 2001.

1.1.2　地震孕震空区

1999 年—2001 年 11 月 13 日 $M_L\geqslant4$ 地震以东昆仑构造带为中心形成地震围空区(图 2(a))。用陆远忠给出的地震空区识别[13]指标判定,该空区符合孕震空区标准。8.1 级地震发生在空区边缘,4 级以上余震发生在空区内部,沿东昆仑断裂带展布。

2000 年 11 月(即兴海 6.6 级地震)后,青海广大地区 $M_L3.0$ 以上地震异常活跃,而东昆仑断裂带中西段大面积区域出现 $M_L\geqslant3.0$ 地震平静现象。虽然该平静内少部分地域监测能力达不到 $M_L3.0$,但从空区 $R-t$ 图和 $M-t$ 图看,空区形成前后区域内均有 3 级地震活动,所以仍有较高的可信度。8.1 级地震发生在空区边缘。

1.2　地震条带

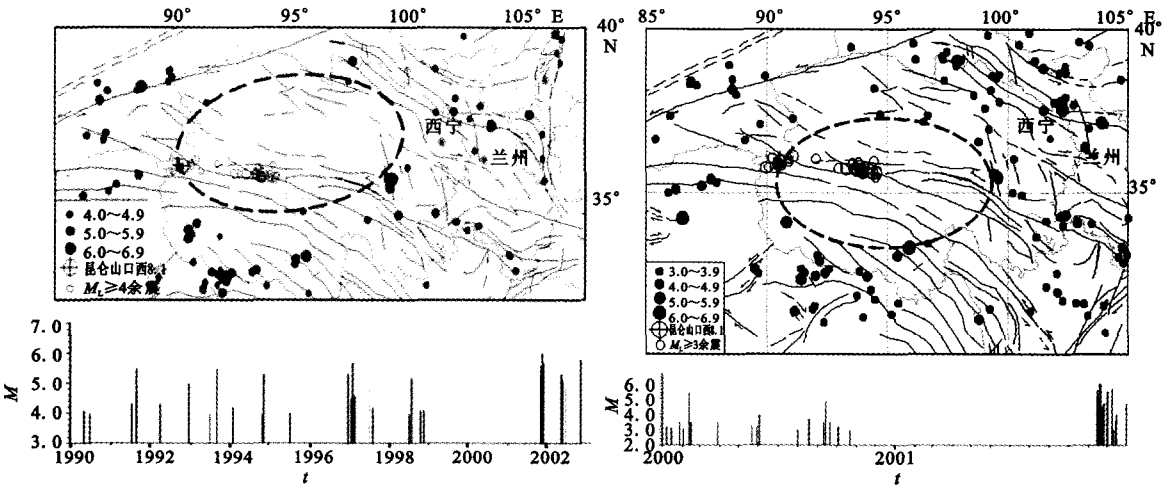
昆仑山口西 8.1 级地震前中国大陆 6 级以上强震显示出非常好的有序分布特征,出现规模较大的地震条带。图 3(a)是 1991 年—1996 年 6 级以上强震的空间分布,数千公里的谢通门至包头 NE 向条带非常醒目。1997 年 11 月西藏玛尼 7.8 级地震后至 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震前,强震活动除继续沿 NE 向条带等间距分布外,还出现 NW 向条带(图 3(b))。2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震发生在靠近 2 个条带的交汇部位。

此外,杨立明等[9]研究认为,1998 年以来青藏块体 5 级以上地震活动(以 5 级为主)也有类似的地震活动图象。张晓东等[10]研究认为震前 M_L5 以上

① 青海省地震局.青海省 2000 年度地震趋势研究报告,1999.

地震形成明显的条带状分布。

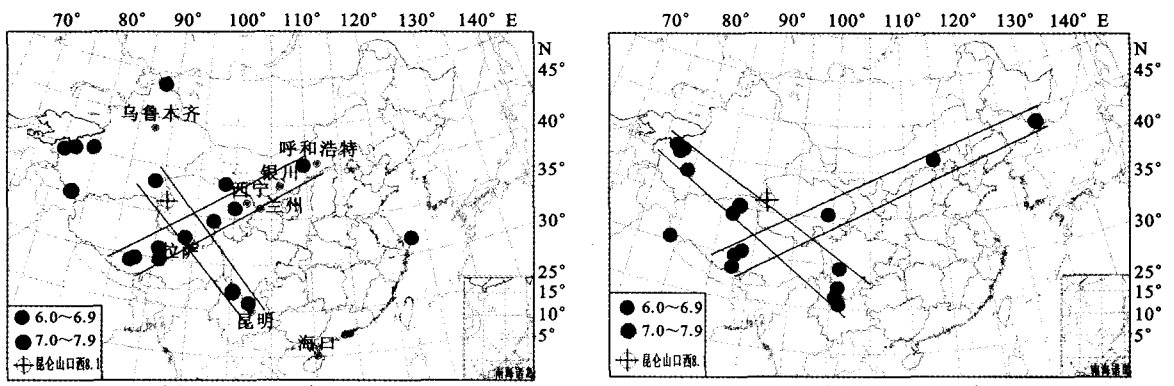
1.3 地震震群



(a) M_L≥4.0 (b) M_L≥3.0

图 2 8.1 级大震前孕震空区及空区内 $M-t$ 图

Fig. 2 The seismogenic gaps and the $M-t$ diagrams before the M_S8.1 event.



(a) 1991-1996年 (b) 1997-2001年

图 3 8.1 级大震前中国大陆 6 级以上地震条带

Fig. 3 Seismic belts of M≥6.0 in China mainland before the M8.1 earthquake.

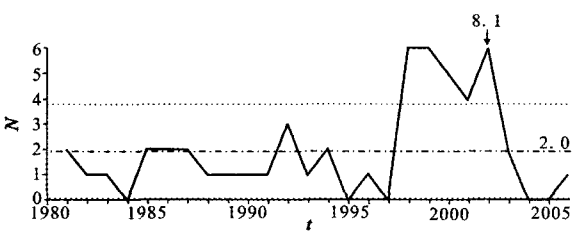


图 4 1980—2005 年青海及邻区震群活动年频次图

Fig. 4 Yearly frequency of earthquake swarms in Qinghai and surrounding area from 1980 to 2005.

1996 年底—2001 年 9 月青海地区震群事件异常突出，由图 4 看出该阶段震群活动年频度高出 1980 年以来的历史水平。统计该阶段共发生震群事件 30 起，参数计算其中 19 起为前兆震群(表 1)。这些前兆震群主要分布在与 8.1 级地震震中相邻的柴达木盆地和东昆仑断裂带附近，可能是 8.1 级地震孕育演化过程中多点应力积累、释放的前兆反应。

1.4 地震活动性参数时间扫描异常

青海地区整体监测能力不均匀，东北部可达到 M_L2.0～2.5，东南部可达到 M_L2.5～3.0，西部部分地区达到 M_L3.0，部分地区只能达到 M_L4.0。在多年来青海省监测能力没有大的变化的情形下，为了得到地震活动性参数计算样本，青海省月会商及年度会商中一贯将最小震级选定在 M_L3.0。采用中国地震局台网中心提供的《中国地震目录》，剔除序列余震，对 M_L≥3 地震以 12 个月窗长，1 个月步长进行地震活动性参量滑动扫描计算。根据异常标准所判断的异常在以往震例中对应率较高。1999 年 11 月份进行的 2000 年度会商 1)就提出青海省范围地震活动性多项参数出现了长时间、大幅度的异常

变化(图 5、表 1),8.1 级地震发生在这些异常回返　　之后。

表 1　青海及其邻区 1996 年—2005 年震群参数

序号	震群名称	起止时间	次数	最大震级/M_{max}	b 值	U 值	h 值	ρ 值	K 值	震群性质
1	龙羊峡	1996-12-14—1997-03-11	356	4.9	0.70	0.39	0.87	1.43	0.20	一般震群
2	格尔木	1997-01-31—1997-01-31	40	2.4	2.82	0.99	0.10	0.52	0.99	前兆震群($Uh\rho K$)
3	茫崖	1997-05-22—1997-06-05	39	4.9	0.40	0.49	0.10	0.50	0.30	一般震群
4	锡铁山	1997-06-25—1997-07-27	130	4.8	0.60	0.68	0.70	0.46	0.80	前兆震群($bUh\rho K$)
5	大武	1997-09-04—1997-09-24	42	3.5	0.60	0.79	0.49	0.46	0.20	前兆震群($bUh\rho$)
6	锡铁山	1997-10-07—1997-10-08	16	2.9	0.59	0.99		0.66	0.25	一般震群
7	锡铁山	1997-12-01—1997-12-06	65	3.6	0.70	0.75	0.6	0.69	0.39	前兆震群(bUh)
8	兴海	1998-02-12—1998-02-13	16	3.1	0.50	0.77	0.54	0.62	0.30	一般震群
9	玛曲	1998-07-05—1998-07-10	35	3.3	1.05	0.60	1.40	0.57	0.67	前兆震群($Uh\rho k$)
10	锡铁山	1998-07-30—1998-08-03	50	5.1	0.59	0.21	1.60	0.70	0.01	一般震群
11	兴海	1998-08-15 —1998-08-29	122	2.1	2.00	0.83	0.37	0.74	0.64	一般震群
12	锡铁山	1998-10-15 —1998-10-22	29	3.5	0.43	0.49	0.91	0.43	0.42	一般震群
13	锡铁山	1998-12-01 —1998-12-25	53	4.1	0.68	0.62	1.56	0.80	0.06	一般震群
14	花土沟	1998-12-03 —1998-12-13	47	2.7	0.71	1.00	0.00	0.37	0.64	前兆震群($bU\rho K$)
15	玛曲	1998-12-07 —1998-12-15	34	3.0	1.05	0.86	0.09	0.69	0.86	前兆震群($bUhK$)
16	碌曲	1999-01-23 —1999-02-04	39	3.3	0.67	0.91	0.99	0.56	0.75	前兆震群($bUhK$)
17	碌曲	1999-02-11 —1999-02-15	35	3.8	0.78	0.82	0.78	0.39	0.48	前兆震群($bUh\rho$)
18	锡铁山	1999-02-26 —1999-03-06	56	3.3	0.77	0.80	0.45	0.45	0.61	前兆震群($bUh\rho$)
19	门源	1999-09-04—1999-09-12	36	2.7	0.58	0.75	0.30	0.46	0.11	前兆震群($Uh\rho$)
20	锡铁山	1999-10-06—1999-10-18	42	2.8	0.70	0.88	1.24	0.64	0.94	前兆震群(bUk)
21	格尔木	2000-01-05—2000-01-06	19	2.8	1.09	0.30	0.2	0.27	0.59	前兆震群($bh\rho$)
22	玛沁	2000-06-17—2000-06-17	21	3.3	0.45	0.51	0.7	0.55	0.20	一般震群
23	兴海	2000-08-28—2000-08-31	22	3.8	0.51	1.00	0.7	0.52	0.25	前兆震群($uh\rho$)
24	格尔木	2000-09-03—2000-09-10	36	3.5	0.31	0.90	0.4	0.65	.020	一般震群
25	格尔木	2001-03-06—2001-03-10	25	2.2	0.84	0.74	1.5	0.43	0.75	前兆震群($bu\rho k$)
26	门源	2001-06-03—2001-06-15	28	2.5	0.45	0.83	1.2	0.57	0.43	一般震群
27	门源	2001-07-01—2001-07-26	101	32	0.75	0.80	0.4	0.73	0.47	前兆震群(buh)
28	德令哈	2001-08-03—20011-08-07	31	2.6	0.66	0.92	1.4	0.51	0.55	前兆震群($bu\rho$)
29	门源	2001-08-18—2001-08-30	52	2.4	0.67	0.43	0.4	0.49	0.69	前兆震群($bh\rho$)
30	碌曲	2001-09-20—2001-09-25	30	4.5	0.43	0.85	0.9	0.75	0.18	前兆震群($uh\rho$)
31	格尔木	2002-05-22—2001-05-30	68	4.9	0.53	0.98	0.9	0.52	0.22	一般震群
32	玛多	2002-11-17—2001-11-18	21	4.3	0.59	0.90		0.31	0.13	一般震群
33	茫崖	2005-10-24—2005-11-01	136	4.1	0.96	0.85	0.2	0.73	0.45	前兆震群(buh)

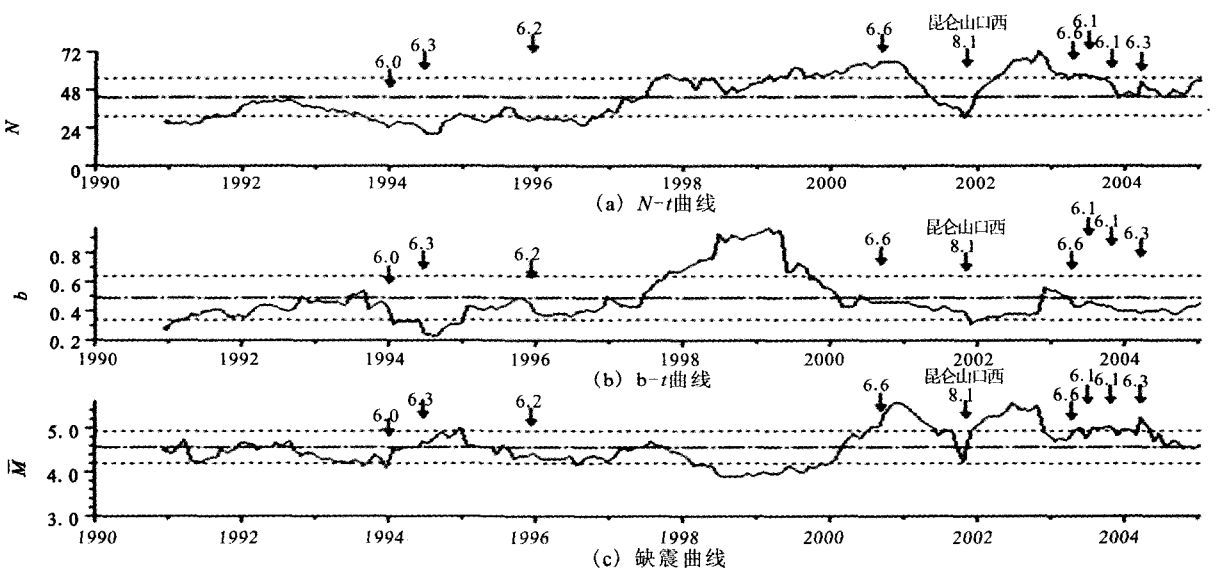


图 5　青海地区地震活动性参数曲线

Fig. 5　Curves of seismicity parameters before the M8.1 earthquake.

柴达木盆地自1991年至2003年4月17日德令哈6.6级地震前没有发生过5.5级以上地震，在2000年的年度地震趋势研究报告②中认为柴达木盆地自1997年10月开始地震活动时间扫描出现小震高频次、应变曲线、高 b 值、高 η 值、缺震等多项显著异常(该盆地地震活动性参数扫描情况和全省情况一样，只是震级下限取 $M_L \geqslant 2.5$)。从地质构造角度分析，发生8.1级地震的东昆仑断裂带恰好是北部柴达木盆地与南部可可西里—巴颜喀拉高山区的分界带。因此该盆地的地震活动性异常反映的应该是8.1级地震的应力场演化过程，从震后异常全部恢复也可佐证这一点(图6)。

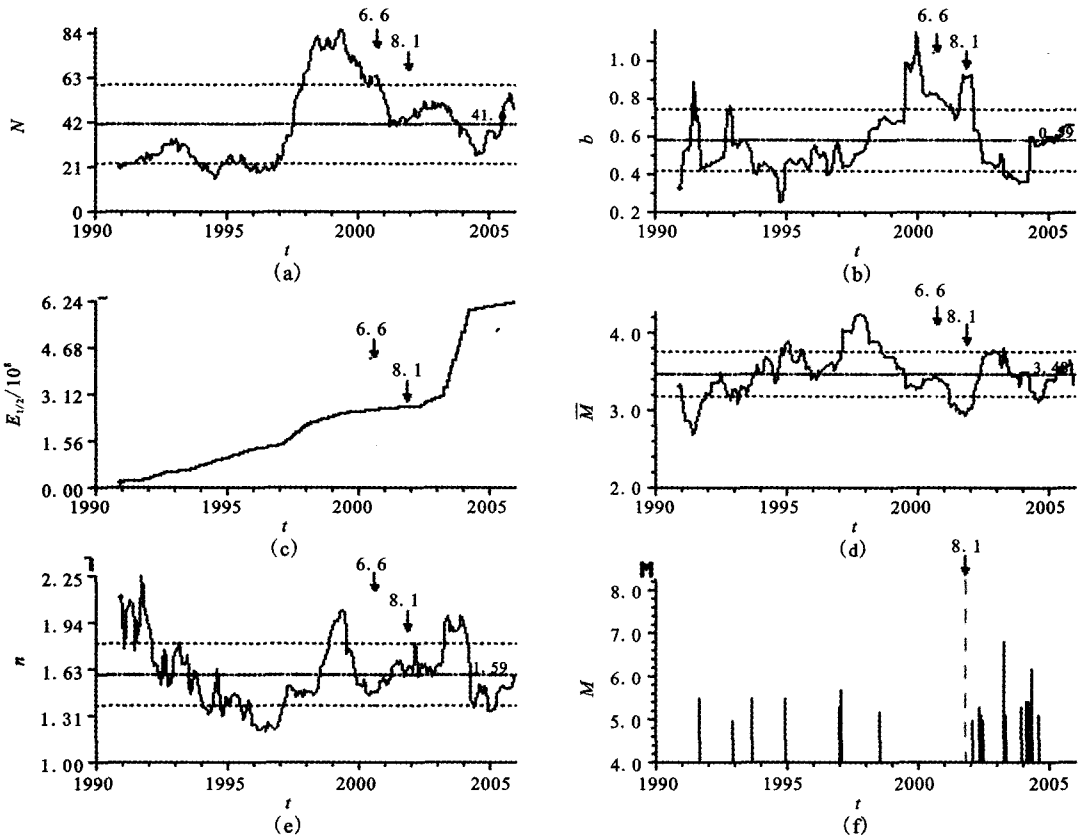


图6 柴达木盆地地震活动性参数扫描曲线

Fig. 6 Curves of seismicity parameters for Chaidamu basin area before the $M8.1$ earthquake.

2 昆仑山口西8.1级地震前的地震活动性的特征、启示和讨论

2.1 昆仑山口西8.1级地震前地震活动性异常特征

昆仑山口西8.1级地震前地震活动性异常特征有序、突出，地震空区、地震条带、震群及地震活动时空扫描等均出现一些显著异常。尤其是不同震级档的地震空区具有清晰的阶段性和配套演变特征。纳起来有如下几点：

(1) 各震级档地震围空区域均以青海中部的东昆仑断裂为中心展布，变化不大；

(2) 主震发生在空区内西部边缘地带，余震沿发震断裂分布在空区中部；

(3) 各震级档地震空区的形成时段差别较大，震级越小，空区形成时间越短，如8.1级地震前6级地震空区持续50年，5级空区持续15年，4级空区持续3年，3级空区仅1年；

(4) M_L4 以下地震空区的出现，逼近主震发生的中短期阶段。

2.2 特大地震的启示与问题讨论

(1) 就昆仑山口西8.1级地震的前兆观测资料和研究[1,14]看，8.1级地震震中近场区没有前兆台网，无法看到近场区的前兆异常，但从远场看到一些非常明显的和该次地震有关联的前兆异常，尤其是

② 青海省地震局. 青海省2001年度地震趋势研究报告，2000.

一些大幅度、大范围的同步趋势性异常显著。研究[1,14]认为记录最远的前兆异常距震中达到 2 900 km,这和俄国学者多勃罗沃利斯基的理论研究结果[15]:"地震前兆可以在距震中 $R = 10^{0.433M} \approx e^{M}$ (km)的范围内发现"相一致。所以 8 级地震前利用一个省、甚至一个片区的前兆资料根本无法判定未来主震的发震地点及震级,需要更大范围的前兆台网资料分析、研究和追踪。但是地震活动图像可以为我们提供一些强震孕育的蛛丝马迹。首先长时间、大面积的强震平静容易引起关注,这时如果注意追踪该区域逐级配套出现的地震活动的平静现象,以及其它地震活动性异常,有可能对我们发现特大地震的孕育场有所帮助。

(2) 2008 年四川汶川 8.0 级地震前不少地震预报人员都发现,2002 年下半年以来青海——四川出现大面积 5 级以上地震平静区域,但多数只是在会商会上提出,没有引起太多的关注。震后笔者对该次 8.0 级地震前地震活动图像进行了追踪扫描,发现其震前地震活动确有清晰的地震空区现象[16],而且地震空区配套出现特征明显。首先出现 6 级以上地震围青藏高原腹地形成长达 12 年的地震空区;5 级地震及 M_L4、M_L3 地震空区基本围青海、四川大范围形成,汶川 8.0 级地震发震断裂——龙门山断裂就位于这些空区边缘地带。汶川 8.0 级地震前 5 级地震空区持续 6 年,4 级空区 9 个多月,3 级空区仅 2 个月。

(3) 无论 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震还是 2008 年汶川 8.0 级地震,地震空区图像演变让我们看到的仅是特大地震可能的孕育场所,是一个大范围的概念,难以确定具体的发震地点。地震空区在时间上的演变也是一个大尺度概念,4 级以下地震空区的出现可能预示着地震进入中期或短期阶段。从现有研究看,依据地震空区或其它地震活动性异常还无法做出科学的地震短临预测。

[参考文献]

[1] 陈玉华,李永强,王培玲,等. 2001 年 11 月 14 日青海省昆仑山口西 8.1 级地震[A]//中国震例(2000～2002)[G]. 北京:地震出版社,2008:426-524.

[2] 陈玉华,马文静. 库玛地震带强震活动与地震空区研究[J]. 地震,2002,22(2):81-87.

[3] 马文静. 昆仑山口西 8.1 级地震主要异常及预报过程反思[J]. 高原地震,2002,14(1):2-10.

[4] 陈玉华,马文静. 昆仑山口西 8.1 级地震前地震活动图象演化特征[J]. 高原地震,2002,14(1):41-47.

[5] 宋治平,薛艳,梅世蓉,等. 昆仑山口西 8.1 级地震的地震活动特征[J]. 地震,2003(1):15-22.

[6] 孙家林,曹井泉. 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级特大地震孕育过程及中强地震活动图像演化[J]. 西北地震学报,2003,25(1):28-34.

[7] 董治平. 昆仑山口西 8.1 级地震前地震活动图象演变特征[J]. 西北地震学报,2003,25(1):59-63.

[8] 刘蒲雄,郑大林,车时,等. 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震前地震活动性异常及其思考[J]. 地震学报. 2003,25(2):205-210.

[9] 杨立明,程建武. 昆仑山口西 8.1 级地震孕育演化的阶段性初步研究[J]. 西北地震学报,2003,25(1):35-39.

[10] 张晓东,张永仙,吕梅梅,等. 青海昆仑山口西 8.1 级地震时空强有序特征探讨[J]. 地震学报, 2003(6):583-590.

[11] 曲延军,王海涛,聂晓红. 昆仑山口西 8.1 级地震前地震活动异常图象初步研究[J]. 内陆地震,2002,16(2):102-107.

[12] 王林瑛,陈佩燕,林碧苍,等. 昆仑山口西 8.1 级地震前的地震活动异常及预测意义的讨论[J]. 西北地震学报,2003(1):22-27.

[13] 陆远忠,宋俊高. 中国大陆的地震空区,地震空区与地震预报[M]. 北京:地震出版社,1989:79-98.

[14] 陈玉华,董治平,王培玲,等. 昆仑山口西 8.1 级地震的远场前兆异常特征[J]. 中国地震(待刊).

[15] Г А 索波列夫,著. 张肇诚,张炜,曹可珍. 震源物理与地震预报[M]. 北京:地震出版社,1997:78-81.

[16] 陈玉华,马震. 8 级特大地震前地震活动平静特征[J]. 高原地震,2009,21(1):1-6.