

文章编号: 0253-3782(2004)S0-0058-06

可能的地震前兆的一个统计性质 及其与地震类型的关系^{*}

吴忠良^{1, 2)} 王林瑛²⁾

1) 中国北京 100039 中国科学院研究生院地球系统科学中心

2) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

摘要 定点观测地震前兆异常的性质看上去与地震的类型有关, 以出现异常的台项数与当地定点观测前兆的总台项数之比来度量异常出现的程度, 称为“相对异常台项比”. 对倾滑型地震、东部的走滑型地震、西部的走滑型地震, 分别考察其“相对异常台项比”随地震震级的变化. 对于走滑型地震, “相对异常台项比”随震级的增加而线性增加, 东部的斜率大约是西部的斜率的二倍; 而对于倾滑型地震, “相对异常台项比”并不随震级的增加而增加. 有限的数据库所给出的线索显示: “相对异常台项比”似乎与视应力水平有关. 这一结果对地震预测工作可能具有启发意义.

关键词 地震前兆 震源机制 视应力

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A

引言

很多证据表明地震的前兆——如果确有地震前兆的话——似乎与地震的类型有关 (Tsuruoka *et al.*, 1995; Reasenber, 1999; 万永革等, 2002). 对地震不加分类的地震前兆检验, 往往会给出误导性的结论 (Wu, 1999, Nature debates, <http://helix.nature.com/debates/>). 这里, 我们使用一些中国地震的地震前兆的观测结果 (张肇诚, 1988, 1990a, b; 1999; 2000; 陈棋福, 2002a, b, 2003), 研究定点观测地震前兆的性质与地震类型之间的关系. 这项研究与张肇诚 (1993, 2001) 和吴富春等 (1998) 的研究类似, 但我们的研究中考虑了地震本身的分类.

1 所用资料

本研究使用的地震前兆的资料来自《中国震例》(张肇诚, 1988, 1990a, b, c; 1999; 2000; 陈棋福, 2002a, b, 2003). 在《中国震例》中, 一般给出当地已有的全部观测台项的分布图和震前出现异常的观测台项的分布图. 为使资料的分析具有可以接受的可靠性和一致性, 我们仅分析同时给出已有观测台项分布图和异常台项分布图的震例, 这种做法使一些早期的不够规范的震例报告被排除在外. 在观测台项的分布图上, 我们仅取有 20 个以上

^{*} 国家自然科学基金项目 (40274013) 和国家科技部项目 (2004CB418406) 资助. 中国地震局地球物理研究所论著 04AC1034.

2003-09-02 收到初稿, 2004-10-08 收到修改稿并决定采用.

已有观测台项的结果. 对于观测台项数少于 20 个的情况, 则仅取那些已有观测台项以震中为中心至少覆盖 135°方位角的震例. 这样, 对于最近的一个地震活跃期, 共有 41 次地震, 如表 1 所示; 对上一个活跃期和平静期, 有 22 次地震作为补充, 如表 2 所示. 实际所用地震的时间范围为 1974~1999 年, 约占 1/4 个世纪. 图 1a 给出了这些地震的空间分布.

表 1 所用地震的参数

编号	年-月-日	φ_N	λ_E	地点	震级	震源机制类型	台项数	异常数
1	1989-09-20	25°24′	103°05′	云南嵩明	5.0	1	60	12
2	1989-09-22	31°30′	102°26′	四川小金	6.6	1	36	13
3	1989-10-19	39°57′	113°50′	山西大同—阳高*	6.1	1	41	17
4	1989-11-02	35°58′	106°17′	宁夏固原	5.0	1	28	5
5	1990-02-10	31°41′	121°00′	江苏常熟—太仓	5.1	1	45	27
6	1990-04-26	36°04′	100°39′	青海共和	7.0	0	53	22
7	1990-10-20	37°07′	103°38′	甘肃天祝—景泰	6.2	1	44	23
8	1991-01-29	38°28′	112°32′	山西忻州	5.1	1	27	11
9	1991-05-29	39°43′	118°18′	河北唐山	4.8	1	62	8
10	1991-06-06	42°41′	87°15′	新疆和静	5.2	0	24	11
11	1991-06-16	39°00′	105°40′	内蒙阿拉善左旗	5.3	1	12	4
12	1991-07-01	24°52′	99°01′	云南施甸	5.0	0	41	11
13	1992-01-23	35°17′	121°12′	南黄海	5.3	1	57	9
14	1992-02-18	25°01′	119°40′	福建南日岛海域	5.2	0	31	11
15	1992-04-23	22°25′	98°57′	中缅交界	6.7	1	31	4
16	1992-12-18	26°22′	100°35′	云南永胜	5.4	1	46	11
17	1993-01-27	22°56′	101°05′	云南普洱	6.3	1	50	19
18	1993-02-01	25°51′	101°21′	云南大姚	5.3	1	53	10
19	1993-08-14	25°27′	101°15′	云南姚安	5.6	1	62	7
20	1994-09-16	22°36′	118°41′	台湾海峡	7.3	0	66	12
21	1994-12-31	20°26′	109°21′	北部湾	6.1	1	36	8
22	1995-02-18	22°59′	99°41′	云南澜沧	5.2	1	25	5
23	1995-04-25	22°46′	102°44′	云南金平	5.5	1	37	6
24	1995-05-02	43°47′	84°44′	新疆乌苏	5.8	1	14	5
25	1995-07-12	21°59′	99°04′	云南孟连	7.3	1	94	50
26	1995-09-20	34°57′	118°06′	山东苍山	5.2	1	51	8
27	1995-10-24	25°50′	102°19′	云南武定	6.5	1	116	21
28	1996-01-09	43°49′	85°40′	新疆沙湾	5.2	0	14	7
29	1996-02-03	27°18′	100°13′	云南丽江**	7.0	0	184	31
30	1996-05-03	40°47′	109°41′	内蒙包头	6.4	1	21	6
31	1996-11-09	31°42′	123°06′	长江口以东海域	6.1	1	25	15
32	1996-12-16	40°10′	116°29′	北京顺义	4.5	1	28	8
33	1997-01-25	21°52′	101°05′	云南勐腊—景洪	5.1	0	28	5
34	1997-05-31	25°35′	117°11′	福建永安	5.2	1	39	9
35	1997-06-04	43°19′	84°15′	新疆新源	5.0	1	14	2
36	1998-01-10	41°08′	114°25′	河北张北—尚义	6.2	0	122	39
37	1998-11-19	27°14′	100°59′	云南宁蒗	6.2	1	90	20
38	1998-12-01	26°32′	104°05′	云南宣威	5.1	1	22	4
39	1999-11-01	39°55′	113°59′	山西大同—阳高	5.6	1	59	12
40	1999-11-25	24°36′	102°52′	云南澄江	5.2	1	77	9
41	1999-11-29	40°32′	123°02′	辽宁海城—岫岩	5.4	1	70	10

注：震源机制类型：1 为走滑型，0 为倾滑型，包括逆冲型和正断型。资料来自《中国震例》；台项数，指地震之前在地震周围一定范围内已有的观测台项数，其中区域的范围与地震大小有关，沿用《中国震例》中给出的范围；异常数，表示地震之前实际出现的异常台项数，由《中国震例》中给出的异常台项图，并参考其中的文字描述给出。其中有两个特殊情况：* 大同地震，去掉了北京附近的一些原文中文字描述与图示不符的数据；** 丽江地震，原文没有异常台项图，表中使用了原文中文字描述的信息。

表 2 用作补充的地震的参数

编号	年-月-日	φ_N	λ_E	地点	震级	震源机制类型	台项数	异常数
1	1974-05-11	28°06′	104°00′	云南大关	7.1	1	19	5
2	1976-04-06	40°14′	112°12′	内蒙和林格尔	6.3	1	29	9
3	1976-05-29	24°22′	98°38′	云南龙陵	7.4	1	39	24
4	1976-07-28	39°24′	118°00′	河北唐山	7.8	1	136	118
5	1976-08-16	32°41′	104°06′	四川松潘	7.2	0	23	12
6	1976-11-07	27°32′	101°03′	四川盐源	6.7	1	34	17
7	1978-05-19	25°32′	100°18′	云南下关	5.3	1	16	4
8	1979-03-15	23°07′	101°15′	云南普洱	6.8	0	28	13
9	1981-01-24	31°00′	101°10′	四川道孚	6.9	1	25	6
10	1982-02-25	24°44′	114°48′	江西龙南	5.0	1	27	11
11	1982-04-14	36°45′	105°30′	宁夏海原	5.5	1	26	5
12	1982-06-16	31°50′	99°51′	四川甘孜	6.0	1	30	6
13	1982-07-03	26°32′	99°52′	云南剑川	5.4	1	10	3
14	1984-11-23	38°04′	106°13′	宁夏灵武	5.3	1	17	3
15	1985-04-18	25°52′	102°51′	云南禄劝	6.3	1	82	14
16	1985-09-02	23°36′	102°41′	云南建水	5.3	1	34	3
17	1986-03-13	26°12′	100°10′	云南鹤庆	5.3	1	40	7
18	1986-10-07	25°24′	102°25′	云南富民	5.2	0	48	12
19	1987-02-17	33°35′	120°32′	江苏射阳	5.1	1	33	2
20	1987-08-02	24°59′	115°40′	江西寻乌	5.5	0	26	14
21	1988-01-10	27°13′	100°56′	云南宁蒗	5.5	0	34	5
22	1988-11-06	22°50′	99°43′	云南澜沧耿马	7.6	1	119	54

注：具体说明参见表 1.

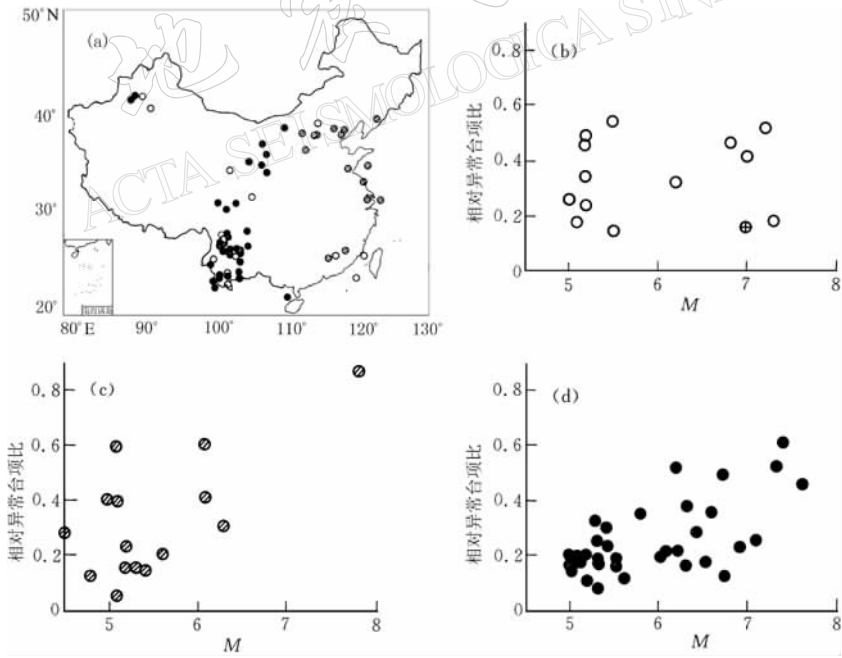


图 1 (a) 所用地震的空间分布：阴影圆表示东部的走滑型地震，实心圆表示西部的走滑型地震，空圈圆表示倾滑型地震；(b~d) 相对异常台项比(纵坐标)与震级(横坐标)之间的关系：倾滑型地震(b)，图中十字圆表示 1996 年 2 月 3 日丽江地震，详见正文；东部的走滑型地震(c)；西部的走滑型地震(d)

前兆的类型,从物理量来说,包括地磁、地电、地下水位、地下水的化学成分等,在这里不加以区分。前兆的报告在《中国震例》中分为3类:可靠(A)、基本可靠(B)、存疑备查(C)。在我们的研究中,对这3类情况亦不加以区别。这种笼统考虑所有的前兆类型和所有的前兆报告的做法,一是由于可用数据很少,因此没有条件进行更为详细的分类;二是由于在实际地震预测工作中,前兆异常出现的“程度”,即各种前兆出现的范围和频度,常常是进行预测判断的一个非常重要的因素。考虑到前兆的观测和确认常常需要至少一个时期的背景观测,这里我们只考虑定点前兆观测项目,而不考虑流动性或临时性测量所给出的可能的前兆的报道;我们亦不考虑无法进行定量化的宏观前兆的情况;在分析中,我们也不考虑由地震活动性给出的各种前兆异常。在分析中的一个基本假定是,尽管每一次地震、每一条前兆的报告,都有可能存在这样那样的问题,但很多地震、很多前兆的结果汇集在一起,仍有可能给出一些有物理意义的信息。

2 不同类型的地震的前兆表现

为使不同的地震之间可以进行相互比较,我们以出现异常的台项数与当地定点观测前兆的总台项数之比来度量异常出现的程度,权称为“相对异常台项比”。这个概念,类似于吴富春等(1998)所采用的概念。按照震源机制和地点的不同,我们把所有的地震分成3类:倾滑型地震、东部的走滑型地震、西部的走滑型地震。这里,因为数据有限,只能把逆冲型和正断型统一划归“倾滑型”。东部和西部的交界,划在东经 110° 。在图1a中,倾滑型地震用空心圆表示,东部的走滑型地震用阴影圆表示,西部的走滑型地震用实心圆表示。考虑到异常出现的程度应与震级有关(张肇诚,2001),我们考察“相对异常台项比”随震级的变化。

图1b~d给出了3种不同类型的地震的“相对异常台项比”随地震震级的变化。可以看到对于走滑型地震,“相对异常台项比”随震级的增加而线性增加,但伴随着很大的离散。其中东部地区的走滑型地震的斜率,大约为西部的走滑型地震的两倍,如图1c,d所示。这个结论,与以往的结果(张肇诚,2001)相同。但从图1b可以看出,对于倾滑型地震,其“相对异常台项比”并没有明显的随震级增加的趋势,相反,似乎这个量并不随震级的变化而变化。

3 对结果的讨论

本文的结果给出,对于不同类型的地震,“相对异常台项比”与震级之间的关系不同。对于走滑型地震,“相对异常台项比”随震级的增加而增加,这个结果与以往的结果(张肇诚,2001)相同;但对于倾滑型地震,“相对异常台项比”并不随地震震级的增加而增加,这个结果是以往的结果(张肇诚,2001)不同的。这个结果也提醒我们,在实际地震预测工作中,如果像通常那样,以异常出现的“程度”来判断近期的地震危险性的话,那么对于倾滑型地震,需要注意较大的地震被漏报、或者震级被低估的情况。1996年2月3日云南丽江地震——在图1b上如十字圆所示——是这种情况的一个非常典型的例子。

本文所给出的地震前兆的表现与地震类型之间的关系,看上去可以与地震视应力(Wyss, Brune, 1968)及其标度性(Choy, Boatwright, 1995; Wu, 2001)联系起来。走滑型地震的视应力随地震矩的增加而增加;倾滑型地震的视应力水平较低,且视应力随地震矩

表 3 一些地震的辐射能量和地震矩

编号	年-月-日	φ_N	λ_E	地点	震级	震源机制类型	辐射能量/J	地震矩/ $N \cdot m$
1	1988-11-06	22°50′	99°43′	云南澜沧—耿马	7.6	1	3.1×10^{15}	3.7×10^{19}
2	1989-09-22	31°30′	102°26′	四川小金	6.6	1	0.8×10^{14}	1.8×10^{18}
3	1990-04-26	36°04′	100°39′	青海共和	7.0	0	2.1×10^{14}	5.6×10^{18}
4	1992-04-23	22°25′	98°57′	中缅交界	6.7	1	3.1×10^{13}	1.6×10^{18}
5	1994-09-16	22°36′	118°41′	台湾海峡	7.3	0	3.0×10^{14}	1.3×10^{19}
6	1995-07-12	21°59′	99°04′	云南孟连	7.3	1	1.1×10^{15}	1.9×10^{19}
7	1995-07-22	36°23′	103°13′	甘肃永登	5.8	1	3.9×10^{12}	2.7×10^{17}
8	1995-10-24	25°50′	102°19′	云南武定	6.5	1	1.3×10^{14}	2.2×10^{18}
9	1996-02-03	27°18′	100°13′	云南丽江	7.0	0	1.5×10^{14}	9.9×10^{18}
10	1998-01-10	41°08′	114°25′	河北张北	6.2	0	1.2×10^{13}	4.5×10^{17}

注：具体说明参见表 1.

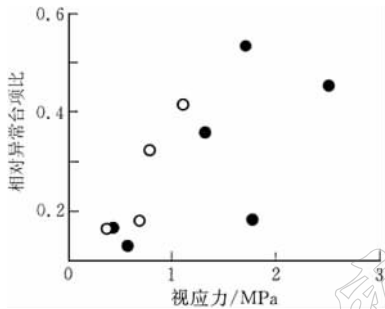


图 2 “相对异常台项比”(纵坐标)与视应力(横坐标)的关系. 其中空心圆表示倾滑型地震, 实心圆表示西部的走滑型地震, 东部走滑型地震没有数据

并无增加趋势,甚至有下降趋势. 这个结果与本研究得到的结果的对比提醒我们,“相对异常台项比”似乎与视应力有关.

表 1 和表 2 中的地震, 恰有 10 次地震有公开发表的哈佛 CMT 结果和 NEIC 辐射能量结果, 这 10 次地震的参数如表 3 所示. 根据地震矩和辐射能量可以计算地震的视应力(Choy, Boatwright, 1995). 在计算中, 参照 Choy 和 Boatwright(1995)的做法, 取震源区介质的剪切模量为 0.3×10^5 MPa. 图 2 给出了“相对异常台项比”与视应力之间的关系. 由为数很少的这组数据可以看到, “相对异常台项比”似乎确随视应

力的增加而增加. 不过, 目前可用的数据毕竟只有 10 个, 要确认这里的假设是否正确, 显然还需要更多的资料.

参 考 文 献

陈棋福主编. 2002a. 中国震例(1992~1994)[M]. 北京: 地震出版社, 1~429
陈棋福主编. 2002b. 中国震例(1995~1996)[M]. 北京: 地震出版社, 1~484
陈棋福主编. 2003. 中国震例(1997~1999)[M]. 北京: 地震出版社, 1~468
万永革, 吴忠良, 周公威, 等. 2002. 地震静态应力触发模型的全球检验[J]. 地震学报, **24**(3): 302~316
吴富春, 许俊奇, 张宪, 等. 1998. 中国地震台网前兆异常的统计研究[J]. 地震学报, **20**(5): 515~520
张肇诚. 1993. 中强以上震例的综合分析[A]. 见: 梅世蓉, 冯德益, 张国民, 等编著. 中国地震预报概论[M]. 北京: 地震出版社, 211~235
张肇诚. 2001. 地震前兆综合研究[A]. 见: 张国民, 傅征祥, 桂燮泰编著. 地震预报引论[M]. 北京: 科学出版社, 334~365
张肇诚主编. 1988. 中国震例(1966~1975)[M]. 北京: 地震出版社, 1~222
张肇诚主编. 1990a. 中国震例(1976~1980)[M]. 北京: 地震出版社, 1~421
张肇诚主编. 1990b. 中国震例(1981~1985)[M]. 北京: 地震出版社, 1~294
张肇诚主编. 1999. 中国震例(1986~1988)[M]. 北京: 地震出版社, 1~394
张肇诚主编. 2000. 中国震例(1989~1991)[M]. 北京: 地震出版社, 1~453

- Choy G L, Boatwright J L. 1995. Global patterns of radiated seismic energy and apparent stress[J]. *J Geophys Res*, **100**: 18 205~18 228
- Reasenber P A. 1999. Foreshock occurrence before large earthquakes[J]. *J Geophys Res*, **104**: 4 755~4 768
- Tsuruoka H, Ohtake M, Sato H. 1995. Statistical test of the tidal triggering of earthquakes; contribution of the ocean tide loading effect[J]. *Geophys J Int*, **122**: 183~194
- Wu Z L. 2001. Scaling of apparent stress from broadband radiated energy catalogue and seismic moment catalogue and its focal mechanism dependence[J]. *Earth, Planets and Space*, **53**: 943~948
- Wyss M, Brune J N. 1968. Seismic moment, stress, and source dimensions for earthquakes in the California-Nevada region[J]. *J Geophys Res*, **73**: 4 681~4 694

STATISTICAL PROPERTY OF CANDIDATE EARTHQUAKE PRECURSORS AND ITS APPARENT FOCAL MECHANISM DEPENDENCE

Wu Zhongliang^{1, 2)} Wang Linying²⁾

1) College of Earth Science, Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

2) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

Abstract: Statistical properties of reported earthquake precursors show apparent focal mechanism dependence. Intensity of anomaly is described by the “anomaly ratio” as defined by the number of stations/items reporting anomalies before the target earthquake over the number of stations/items in operation around the target earthquake. Variation of the “anomaly ratio” with the magnitude of the target earthquake was studied for dip-slip earthquakes all over China, strike-slip earthquakes in eastern China, and strike-slip earthquakes in western China, respectively. It is observed that for strike-slip earthquakes, the “anomaly ratio” increases linearly with the magnitude of the target earthquake, while earthquakes in eastern China and western China have different slopes. For dip-slip earthquakes, however, the “anomaly ratio” has no statistically significant change with the magnitude of the target earthquake. Limited data imply that the “anomaly ratio” seems proportional to the apparent stress of the target earthquake. The result might be heuristic for the analysis of candidate earthquake precursors.

Key words: earthquake precursor; focal mechanism; apparent stress