

甘肃及邻近地区中强地震前弱震空区的时空参数研究

李亚荣, 何新社, 陈军

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要:用 $R-T$ 图方法研究了甘肃及邻近地区发生的 19 次中强地震前震源及附近地区出现空区的现象以及空区的时空参数。结果表明其中 16 次震前都出现了明显的空区。根据空区时空参数拟合出了空区的最大空间尺度和持续时间与主震震级的关系, 为研究“区域-时间-长度”算法 (RTL 算法) 对甘肃及邻近地区中强地震前的地震活动异常特征 (平静和活跃) 提供了依据。

关键词: 甘肃及邻近地区; 中强地震; 地震空区; 时空参数

中图分类号: P315.71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2008)03-0293-05

Study on the Temporal and Spatial Parameters of Seismic Gaps Formed by Weak Earthquakes before Moderate-strong Earthquakes Occurred in Gansu and Its Nearby Region

LI Ya-rong, HE Xin-she, CHEN Jun

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The seismic gaps and their temporal-spatial parameters appearing around the source areas before 19 moderate-strong earthquakes in Gansu and its nearby region are studied using the $R-T$ plots method. The result shows that 16 events among the 19 earthquakes formed seismic gaps before main shocks. The empirical formulas connecting the maximum spatial dimension and duration of the gaps with the magnitudes of the impending earthquakes are obtained from the temporal-spatial parameters of gaps of 16 earthquakes. It makes a basis to apply the "region-time-length" (RTL) algorithm to study anomalous seismic activities (activation and quiescence) before moderate and great earthquakes and its application in earthquake prediction in Gansu and its nearby region.

Key words: Gansu and its nearby region; Moderate-strong earthquake; Seismic gap; Temporal-spatial parameters

0 引言

地震活动空区是目前研究得比较深入的前兆性地震分布图象之一。为避免时空尺度上的混乱, Mogi^[1] 提出两种地震空区的概念。作为未来中强地震前震源区附近地震活动水平下降, 从而形成的地震活动空区称为第二类空区, 即弱震空区。通过研究这类空区的时空特征预测未来强震的地点、大小和发震时间, 是利用前兆性地震活动图象预报地震的一个有希望的方法, 已经有一些成功的震例。但

是目前空区的确定以及其变化特征和在预测中的应用还是一个十分复杂的问题。

近年来发展了一些研究地震活动异常特征 (包括平静和增强) 的算法, 例如用“区域-时间-长度”算法^[2] (RTL 算法) 来研究地震活动变化特征的时间进程。这种算法有效地排除了所研究地区背景地震活动的影响, 使地震活动异常特征表现得更加直观, 在预测方面的应用也更加有效。但是我们也注意到, 这种算法对其中两个重要的特征参数 (特

收稿日期: 2007-08-02

基金项目: 国家自然科学基金 (40574026) 资助; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20070068

作者简介: 李亚荣 (1954-), 女 (汉族), 甘肃天水人, 高级工程师, 主要从事地震学研究。

征距离 r_0 和特征时间 t_0) 的确定, 以往的作者通常是综合考虑中强地震的破裂尺度和定位精度, 经验性地人为“规定”, 然后在一定范围内进行试算决定, 在一定程度上带有主观性, 影响了结果的客观性。鉴于 RTL 算法中特征参数的重要性, Chen 和 Wu^[3] 提出一种分别求取一组 r_0 和 t_0 的相关系数的方法来决定这两个特征参数, 并应用在台湾集集地震中, 可以得到比较稳定的 RTL 函数图象。但是该方法对每一个计算区域都要进行大量的计算, 因此很难在实际中应用。考虑到 RTL 算法与地震活动空区有着相同的物理基础, 荣代滢等^[4] 将这两种方法结合起来, 根据一个地区中强地震前空区的时空参数来估计 r_0 和 t_0 , 可以将这一算法用于一个地区中强地震危险区的搜索和判定。

由于空区的时空参数存在地区差异, 本文对甘肃及邻近地区发生的中强地震前出现空区的时空特征加以研究, 估计其时空参数与主震震级的关系, 为更好地将这种研究地震活动异常的算法应用在本地区地震危险性研究和预测中打下基础。

1 中强地震前弱震空区的时空参数研究方法

地震活动的“空区”实际上就是主震之前出现的地震活动异常平静的地区。相对于背景地震活动的地震平静是中强地震前一种十分重要的前兆现象。Hainzl 等人^[5] 在地震孕育和发生的一维滑块模型的基础上提出改良后的二维滑块模型, 不仅能模拟出更符合现实的断层系统, 并且从模型成功模拟出各种地震现象, 例如地震平静、前震、余震等。Hainzl 等人^[6] 又利用此模型证实地震平静现象可以作为大地震来临之前的指标。

对空区的研究一般是对某一地区画出不同时间段的震中分布, 进行对比, 确定是否出现某一震级下限的空区。通过一定数量的震例研究总结出一些经验关系式, 用以估计未来中强地震的强度、发震时间等。由于勾画空区范围的人为主观性较大, 这种对未来地震参数的预测是十分粗略的。韩渭宾等^[7] 提出用 $R-T$ 图的方法来研究主震之前出现的空区特征并估计空区的时空参数, 通过四川地区震例的研究总结出空区的大小(尺度)和空区出现的时间与未来发生的主震的大小的经验关系式, 可以很方便地应用在 RTL 算法中估计特征参数。所谓 $R-T$ 图是以所研究范围的最大地震为原点, 从尽可能早的时间起计算一定范围内弱震到原

点的距离 R , 以时间为横轴作图。如果在 $R-T$ 图上靠近横轴的地方出现缺震区, 就说明震中附近出现弱震活动相对平静期, 由 $R-T$ 图可以估计空区出现的时间段以及空区的最大空间尺度, 由此可以得到空区的时空参数与主震震级的关系。由于这些关系是由通过一定数量的震例研究得出的经验关系, 可能因地区不同而有一定的差异。本文用 $R-T$ 图方法研究甘肃及邻近地区的中强地震前空区的时空参数, 试图获得适用于甘肃及邻近地区的主震震级与这些参数的经验关系。

2 甘肃及邻近地区中强地震前弱震空区的时空参数

2.1 资料

一些作者研究过发生在甘肃地区个别中强地震前出现的地震空区的特征^[8-11], 考虑到甘肃及邻近地区地震台网的监测范围和能力, 我们选择了1980年以来发生在甘肃及邻近地区的中强地震, 对地震前出现的空区用 $R-T$ 图方法进行比较全面的研究(表1, 图1)。

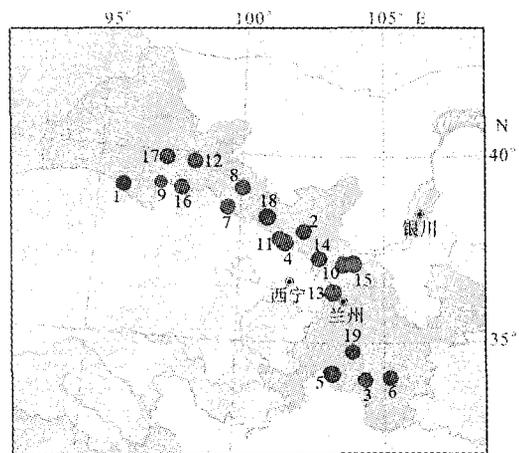


图1 所研究的中强地震的震中分布

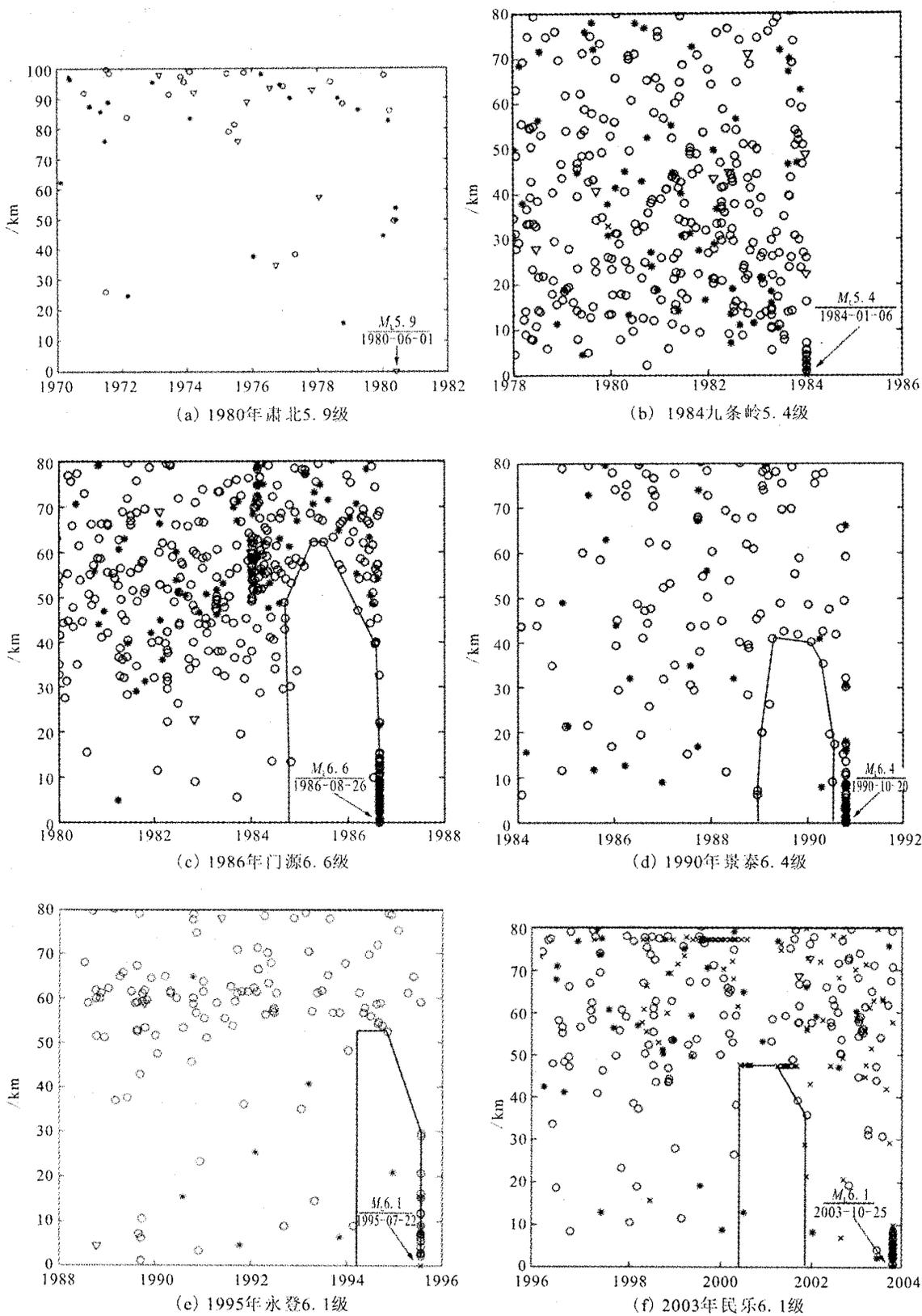
Fig. 1 The epicenters of earthquake for studying.

所用地震目录为甘肃省地震局公布的甘肃省地震目录(电子版), 为客观起见, 并保证地震资料的连续、完整, 对目录中的地震不作取舍。对所研究的中强地震的参数参考编辑出版的甘肃省地震目录(1980—1987)^[14] 以及姚同福等编辑的甘肃省地震目录(1987—2004)(姚同福等, 2005^①)作了校正。

对原目录中震级标为 M_s 的一律用公式^[15]

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1)$$

① 姚同福, 等, 编. 甘肃省地震目录(1988—2004).



(图中符号所代表的震级: +: $M_L < 1$; ×: $1 \leq M_L < 2$; ○: $2 \leq M_L < 3$; *: $3 \leq M_L < 4$; △: $4 \leq M_L < 5$; ◇: $5 \leq M_L$)

图2 几次比较典型的地震前的R-T图和空区的范围

Fig. 2 Typical R-T plots and ranges of seismic gap before some moderate-strong earthquakes.

表1 所研究的中强地震目录和参数

编号	发震时间	震中位置		震级 M_s	震源深 度/km	参考地点	R_{max} /km	T /月
		北纬	东经					
1	1980-06-01	39°00'	95°52'	5.9		甘肃肃北		
2	1984-01-06	37°59'	102°12'	5.4	8	甘肃九条岭		
3	1985-06-24	33°59'	104°20'	5.2	0	甘肃宕昌	20	12
4	1986-08-26	37°42'	101°34'	6.6	14	青海门源	63	18.9
5	1987-01-08	34°10'	103°14'	6.2	11	甘肃迭部	50	12
6	1987-10-25	34°03'	105°10'	5.5	8	甘肃礼县	30	10.5
7	1988-11-22	38°35'	99°32'	5.7	20	甘肃肃南	32	15
8	1988-12-26	39°06'	100°02'	5.1	16	甘肃临泽	15	9.6
9	1989-09-21	39°07'	97°10'	4.9	24	甘肃玉门	11	7.5
10	1990-10-20	37°07'	103°36'	6.4	3	甘肃景泰	40	15
11	1991-10-01	37°47'	101°22'	5.6		青海门源		
12	1992-01-12	39°45'	98°19'	5.9	20	甘肃嘉峪关	30	15
13	1995-07-22	36°22'	103°15'	6.1	8	甘肃永登	50	13.5
14	1996-06-01	37°17'	102°45'	5.8	5	甘肃天祝	30	12.9
15	2000-06-06	37°08'	103°55'	6.2	1	甘肃景泰	60	15
16	2001-07-11	39°02'	97°54'	5.6	4	甘肃肃南	20	12.6
17	2002-12-14	39°49'	97°20'	5.8	22	甘肃玉门	25	12.3
18	2003-10-25	38°21'	100°56'	6.1	13	甘肃民乐	48	18
19	2003-11-13	34°45'	103°56'	5.5	10	甘肃岷县	22	10.5

换算为 M_L 。表中所列地震除 1989 年 9 月 21 日甘肃玉门 M_L 4.9 地震外均为 M_L 5 以上的地震。震中位置相近、发震时间相隔不长(一般为一年内)的两次中强地震取其中较大的一次(如 2003 年 10 月 25 日山丹—民乐的两次地震, 2003 年 11 月 13 日和 2004 年 9 月 7 日岷县的两次地震, 2000 年 6 月 6 日和 2000 年 12 月 27 日甘肃景泰的两次地震)。

2.2 结果

从主震发生前 10 年开始,以所研究的中强地震为原点,计算了 100 km 以内的所有地震到原点的距离,从而可以画出各次地震对应的 $R-T$ 图。根据 $R-T$ 图勾画地震空区时,一般在空区内不允许有地震活动(除极个别零星小震外)。考虑到甘肃台网的定位精度大多为 B 类和 A 类,有少数 C 类,定位误差一般小于 10 km 或在 10 km 左右,所以勾画的空区范围一般大于 10 km,以保证空区的形成不是因为定位误差所引起的。

在所研究的 19 次中强地震中,绝大多数在主震前表现出比较明显的空区。为节省篇幅,图 2 只给出几次比较典型的地震前的 $R-T$ 图和空区的范围。其中,图 2(a)为 1980 年 6 月 1 日甘肃肃北 5.9 级地震,由于早期台网分布和监测能力的限制,震前出现的空区是不可靠的;图 2(b)为 1984 年 1 月 6 日甘肃九条岭 5.4 级地震,地震之前没有发现明显的空区出现,可能是由于该地区背景地震活动水平高所致,同样的情况还有 1991 年 10 月 1 日青海门

源 5.6 级地震;图 2(c)~(f)为几次震前出现明显空区的地震,图中直线围出的为空区的范围。

由 $R-T$ 图勾画出空区,由此得到空区的时空参数(空区最大尺度 R_{max} 和持续时间 T)一并列于表 1 中。将这些参数在坐标系 $M_L \sim \lg R_{max}$ 和 $M_L \sim \lg T$ 中作图,如图 3。

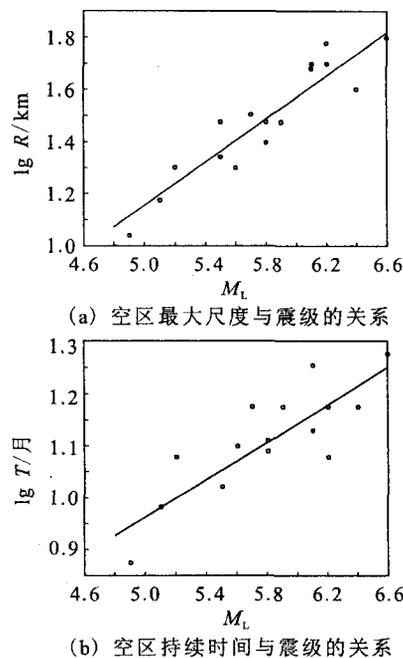


图3 空区时空参数与主震震级的统计关系及拟合直线

Fig.3 The statistic relationships between the temporal-spatial parameters and the magnitude of mainshock with fitting lines.

对这些参数用最小二乘法进行直线拟合(图 3),分别得到空区最大尺度 R_{max} 和时间 T 与震级 M_L 的关系

$$M_L = 2.41 \lg R_{max} + 2.22 \quad (2)$$

$$M_L = 5.55 \lg T + 0.34 \quad (3)$$

式(2)和(3)的相关系数分别为 0.92 和 0.84。上面两式由 16 组数据统计得出,由 $f = 16 - 2$ 查相关系数检验表^[16], $r_{0.01} = 0.60$,可见上面两式在显著水平 0.01 的情况下被认为是线性相关的。

3 结论和讨论

(1) 本文用 $R-T$ 图方法研究了甘肃及邻近地区发生的 19 次中强地震前震源及附近地区出现空区的现象以及空区的时空特征,结果表明其中 16 次震前都出现了明显的空区,根据这 16 次地震的空区时空参数拟合得出了空区的最大空间尺度和持续时

间与主震震级的关系;

(2) 据荣代璐等^[4]的研究,本文得出的上述关系式(2)、(3)可以用于估计 RTL 算法中的特征参数,由此可以将这一算法方便地应用于在一定范围内搜寻地震危险区的工作中。应用 RTL 算法对甘肃及邻近地区中强地震前的地震活动异常特征(平静和活跃)的研究以及在这一地区地震预测中的应用,将另文阐述。

[参考文献]

- [1] Mogi K. Two Kinds of seismic gap[J]. Pure and Applied Geophysics, 1979,117(6):1176-1186.
- [2] Sobolev G A, Tyupkin Y S, Low - seismicity precursors of large earthquakes in Kamchatka[J]. Volc. Seis. , 1997,18: 433-446.
- [3] Chen Chienchih, Wu Yixuan. An improved region - time - length algorithm applied to the 1999 Chi - chi, Taiwan earthquake[J]. Geophys. J. Int. , 2006,166: 1144-1147.
- [4] 荣代璐,李亚荣.“区域—时间—长度”算法中特征参数的估计及应用[J].地震学报,2007,29(3):250-257.
- [5] Hainzl S, Zoller G, Kurths J. Similar power laws for foreshock and aftershock sequences in a spring-block model for earthquakes[J]. J. Geophys. Res. , 1999,104: 7243-7254.
- [6] Hainzl S, Zoller G, Kurths J. Seismic quiescence as an indicator for large earthquakes in a system of self-organized criticality[J]. Geophys. Res. Lett. , 2000,27: 597-600.
- [7] 韩渭宾,席敦礼. 四川地区强震前弱震空区的变化特征[J].地震学报,1984,6(1):8-21.
- [8] 何秀琴,牛旺祥,王珍. 永登 5.8 级地震前几项测震学指标的异常分析[J].西北地震学报,1996,18(3):79-83.
- [9] 毕秋菊. 动态空区法在永登 5.8 级地震回顾性预报中的应用[J].西北地震学报,1996,18(3):30-36.
- [10] 刘小凤,肖丽珠,梅秀萍,等. 祁连山地震带地震活动特征及序列类型[J].西北地震学报,2005,27(1):56-60.
- [11] 高立新,曹井泉. 强震前震中区附近地震学参数中期震兆标志研究[J].西北地震学报,2004,26(4):347-352.
- [12] 李亚荣,荣代璐,韩晓明. 2003 年岷县 5.5 级地震地震学前兆特征及预报意义[J].西北地震学报,2007,29(2):150-155.
- [13] 袁道阳,何文贵,刘小凤,等. 10 余年来甘肃省中强地震的震构造特征[J].西北地震学报,2006,28(3):235-241.
- [14] 张伶,熊晓易,曹克信,等. 甘肃省地震目录(1980—1987)[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1988.
- [15] 国家地震局地球物理研究所. 近震震级[M].北京:地震出版社,1978:252.
- [16] 中国科学院数学研究所,厦门大学,数学手册编写组. 数学手册[M].北京:人民教育出版社,1979:837.