

“区域—时间—长度算法”用于甘肃及邻近地区 中强地震预测的回溯性检验

梅秀苹^{1,2}, 刘小凤¹

(1. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州地球物理国家野外科学观测研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:应用蒋海昆等改进后的“区域—时间—长度算法”研究了甘肃及邻近地区的中强震地震活动前兆特征。结果表明,该方法在地震预测回溯性检验中效果较好,可作为检测本区的地震活动性异常的一种手段。36 次 $M_s \geq 5.0$ 中强以上地震震例中,检测出 RTL 值异常的地震达 24 次,占研究总数的 66.7%,出现异常的时间距离主震的时间间隔集中在 10~37 个月。

关键词: RTL; 甘肃及邻近地区; 地震活动

中图分类号: P315.75 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2013)增刊-0061-06
DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0061

Retrospective Test on Application of Region—Time—Length Algorithm to Monitoring Moderate Earthquakes in Gansu Province and Its Surrounding Areas

MEI Xiu-ping^{1,2}, LIU Xiao-feng¹

(1. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China;
2. Lanzhou National Observatory of Geophysics, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: The precursory characteristics of moderate earthquakes in Gansu province and its surrounding areas were studied by the region—time—length algorithm improved by Jiang Haikun and others. The result showed that this method could be used to detect the anomalous seismic activity of this area, for it had a good effect in retrospective test on monitoring earthquake. In the 36 $M_s \geq 5.0$ earthquakes, 24 earthquakes of abnormal RTL value had been detected, accounting for 66.7% of total. The intervals between abnormal time and time of main shock were centered on 10~37 months.

Key words: RTL; Gansu province and its surrounding areas; seismic activity

0 引言

RTL 算法(region—time—length algorithm)是最早由 Sobolev^[1]等提出的一种检测地震活动水平相对变化的“区域—时间—长度算法”。提出这种算法的理念在于:地震活动存在两个具有相对普遍意义的现象,其一是中强地震前在围绕未来主地震断层的大范围内出现地震平静;二是地震活动在靠近

未来地震断层的附近区域增强。地震活动的平静或增强被定义为在震源地区或围绕震源的地区,平均地震活动水平相对于先前背景地震活动水平的减弱或增高。

Sobolev、Huang 等利用 RTL 算法对堪察加地区 7 级以上地震^[1-2]、Nemuro 半岛 6.8 级地震^[3]以及阪神(Kobe)7.2 级地震^[4]等震例进行了较详细的

收稿日期:2013-04-27

基金项目:甘肃省地震局地震科技发展基金(2012M02)

作者简介:梅秀苹(1979—),女(汉族),福建建阳人,高级工程师,主要从事地震活动与地震应力触发研究工作。

研究。结果表明,这几次 7 级左右地震之前均检测出具有前兆意义的地震活动平静与增强。吴怡萱、陈建志^[5]等将 RTL 算法应用于台湾地区,得到的结果显示 1999 年 9 月 21 日集集地震前存在地震宁静及地震活化,肯定了 RTL 在地震活动前兆上是可靠的工具。蒋海昆等^[6-7]对 Sobolev 等的 RTL 算法进行了局部改进。他们对华北地区 32 次 5 级地震进行了回顾性检验,结果表明,大部分 5 级以上地震之前均有较好的异常显示,改进的 RTL 算法所得到的“异常”具有短期或中短期特征。

我们利用蒋海昆等改进后的 RTL 算法对甘肃及边邻地区的中强地震做了震例研究,得到了具有一定实用价值的结果。

1 RTL 算法及其改进

Sobolev 等^[1]提出了“区域—时间—长度算法”,算法中选定任意时空坐标 (x,y,z,t) ,假定 t 之前发生的所有地震对位置 (x,y,z) 处的介质变形均产生影响,并且当一个已发生地震的时空坐标距 (x,y,z,t) 越近,其影响的权系数越大。并定义了震中距函数 $R(x,y,z,t)$ 、时间函数 $T(x,y,z,t)$ 、破裂尺度函数 $L(x,y,z,t)$ 及 $RTL(x,y,z,t)$ 函数。考虑到中强地震前 1~3 年地震活动特征的研究结果,大部分震例表现为地震活动强度增高,或强度增高的同时出现时、空丛集,仅有少数震例比较单纯地表现为地震活动的时、空丛集^[8]。即地震强度或能量的变化在震前是显著的,而地震强度或能量与破裂尺度 L 密切相关。蒋海昆等^[6]比 Sobolev 等更强调了破裂尺度的影响,规定破裂尺度的影响与震中距和时间的影响程度同样以指数的形式进行表达。并对 RTL 函数进行归一化处理,保证 R 、 T 、 L 对 RTL 的贡献等权,同时归一化处理之后 RTL 在 $[-1,1]$ 之间变化,便于相互比较。

$$\left\{\begin{aligned} R(x,y,z,t) &= \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_v(x,y,z,t) \\ T(x,y,z,t) &= \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_v(x,y,z,t) \\ L(x,y,z,t) &= \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_v(x,y,z,t) \\ RTL(x,y,z,t) &= \frac{R(x,y,z,t)}{R(x,y,z,t)_{\max}} \cdot \frac{T(x,y,z,t)}{T(x,y,z,t)_{\max}} \cdot \frac{L(x,y,z,t)}{L(x,y,z,t)_{\max}} \end{aligned}\right.$$

(1)

上式相关参数的含义见文献[6]。实际计算中

必须引入约束条件

$$\begin{cases} M_i \geq M_{\min} \\ r_i \leq R_{\max} = 2r_0 \\ t_i \leq T_{\max} = 2t_0 \\ d_i \leq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中 M_i 为第 i 个地震的震级; $M_{\min}$ 为震级下限; r_0 、 t_0 为特征距离和特征时间跨度; d_i 为第 i 个地震的震源深度; d_0 为截止深度。其中第一项主要涉及地震样本集的完备性,其余三项人为“规定”了对 (x,y,z,t) 具有影响的地震的空间取样范围。这一“规定”综合考虑了中强地震破裂尺度的量级及定位精度。

第 i 次地震的破裂尺度 l_i 由式(3)简单得到^[9],其中 M_i 为地震震级:

$$l_i = 10^{\frac{1.13M_i - 4.38}{2.1}} \quad (3)$$

由式(1)可见, R 、 T 、 L 及 RTL 均为无量纲函数,RTL 以 0 为期望,其数值表征了 t 时刻地震活动相对于动态背景变化率的偏离,偏离程度以其标准差 $\sigma = \sigma_R \sigma_T \sigma_L$ 为单位进行表征。RTL 下降意味着 (x,y,z) 附近地震活动相对于背景变化率的降低,在一定程度上表征了地震活动的平静;RTL 从低值状态向背景水平的恢复可理解为地震活动的重新活跃。RTL 上升则表征 (x,y,z) 附近地震活动水平相对于背景变化率的增高,意味着地震活动增强。

2 甘肃及邻近地区中强地震前 RTL 中短期前兆特征

2.1 资料选取

我们利用蒋海昆教授提供的 RTL 算法程序对 $32^{\circ} \sim 43^{\circ}N, 92^{\circ} \sim 107^{\circ}E$ 区域 1975 年以来的 36 次 5 级以上中强地震进行了震例研究,所有地震均发生在青藏高原东北缘地区。其中 6 次位于甘肃东南部次级地块,2 次为宁夏灵武地震,其余 28 次地震分布在祁连山地震带(图 1)。每一个震例的研究时段均截止于主震前 1 天。最小震级取相关区域的最低震级下限,所选地震参数见表 1。资料计算时段在允许的条件下一般取 6 年,保证了计算资料的完备性。为减少人为因素影响,统一取特征时间 $t_0 = 12$ 月、特征距离 $r_0 = 60$ km,时间 t 以 10 天为步长滑动变化。计算中亦采用了不同的特征时间和特征距离取值,结果将随取值的不同有所变化。图 2 列出 $t_0 = 12$ 月、 $r_0 = 60$ km 的计算结果,图中箭头所示为主震发生时间,同时还示出了主震震级。RTL 异常值以归一化结果显示,在 $[-1,1]$ 之间变化,定义 RTL

≥2 为异常，为均方差。

表 1 用于 RTL 计算的地震参数及 RTL 异常特征

序号	主震参数			起算震级	RTL 异常	异常开始距	异常结束距	RTL 异常
	时间	地点	震级/ M_s	M_L	起止时间	主震的时间/月	主震的时间/月	形态
a	1975-01-04	青海哈拉湖	5.3	2.7	1973-02—1973-12	23	13	I (a)
					1974-10—1974-12	3	1	I (a)
b	1978-02-21	青海久治	5.1	2.7	1976-1—1977-01	15	13	I (a)
					1977-04—主震前	10	0	I (a)
c	1980-04-18	青海天峻	5.2	2.7	1979-05—主震前	11	0	I (b)
d	1980-06-01	甘肃肃北	5.6	2.7	1979-04—1980-03	10	3	I (b)
e	1982-04-14	宁夏海原	5.5	2.0	1981-11—主震前	5	0	II
f	1984-01-06	甘肃天祝	5.3	2.7	1981-04—1983-04	23	9	I (a)
g	1984-02-17	青海祁连	5.3	2.5				不明显
h	1984-11-23	宁夏灵武	5.3	2.4	1983-10~主震前	13	0	II
i	1987-08-10	宁夏灵武	5.2	2.5	1985-02—1986-12	30	8	I (a)
j	1986-08-26	青海门源	6.4	2.5	1984-01—1986-01	32	8	I (a)
k	1987-01-08	甘肃迭部	5.8	2.0	1986-09—主震前	4	0	I (a)
l	1990-10-20	甘肃景泰	6.2	2.7	1986-12—1988-12	47	14	I (b)
					1990-02—1990-08	9	3	I (a)
m	1992-01-12	甘肃嘉峪关	5.4	2.7	1990-02—1991-09	23	4	I (a)
					1991-11—主震前	2	0	II
n	1993-10-26	青海托莱	6.0	2.7	1992-01—主震前	23	0	I (a)
o	1995-07-22	甘肃永登	5.8	2.5	1992-10—主震前	33	0	I (b)
p	1996-06-01	甘肃天祝	5.4	2.0	1995-08—主震前	10	0	II
q	1999-09-27	青海河南	5.1	2.3	1998-12—主震前	10	0	II
r	1999-11-26	青海玛沁	5.0	2.3	1997-01—主震前	36	0	I (a)
s	2000-06-06	甘肃景泰	5.9	2.5	1999-04—主震前	14	0	I (b)
t	2001-07-11	甘肃肃南	5.3	2.7	1998-06—1999-12	37	20	I (b)
u	2002-12-14	甘肃玉门	5.9	2.8	2000-07—2001-12	30	12	I (a)
v	2003-10-25	甘肃民乐	6.1	2.5	2001-05—主震前	35	0	I (b)
w	2003-11-13	甘肃岷县	5.2	2.7	2003-07—主震前	4	0	II
x	2006-06-21	甘肃文县	5.1	2.3	2005-11—2006-04	8	2	I (a)

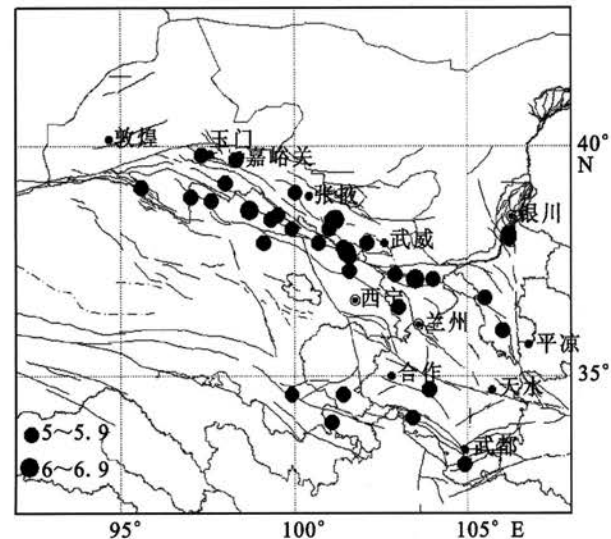


图 1 甘肃及邻近地区 1975 年以来的 36 次 5 级以上中强地震震中分布图(黑色实心圈为地震震中,线条为活动断裂)

Fig. 1 Epicenters distribution of 36 moderate-strong earthquakes with $M_s \geq 5.0$ occurring in Gansu province and its surrounding areas since 1975 (black solid circle refers to the epicenter, line refers to the active faults)

2.2 甘肃及邻近地区中强地震前 V_{RTL} 参数的变化特征

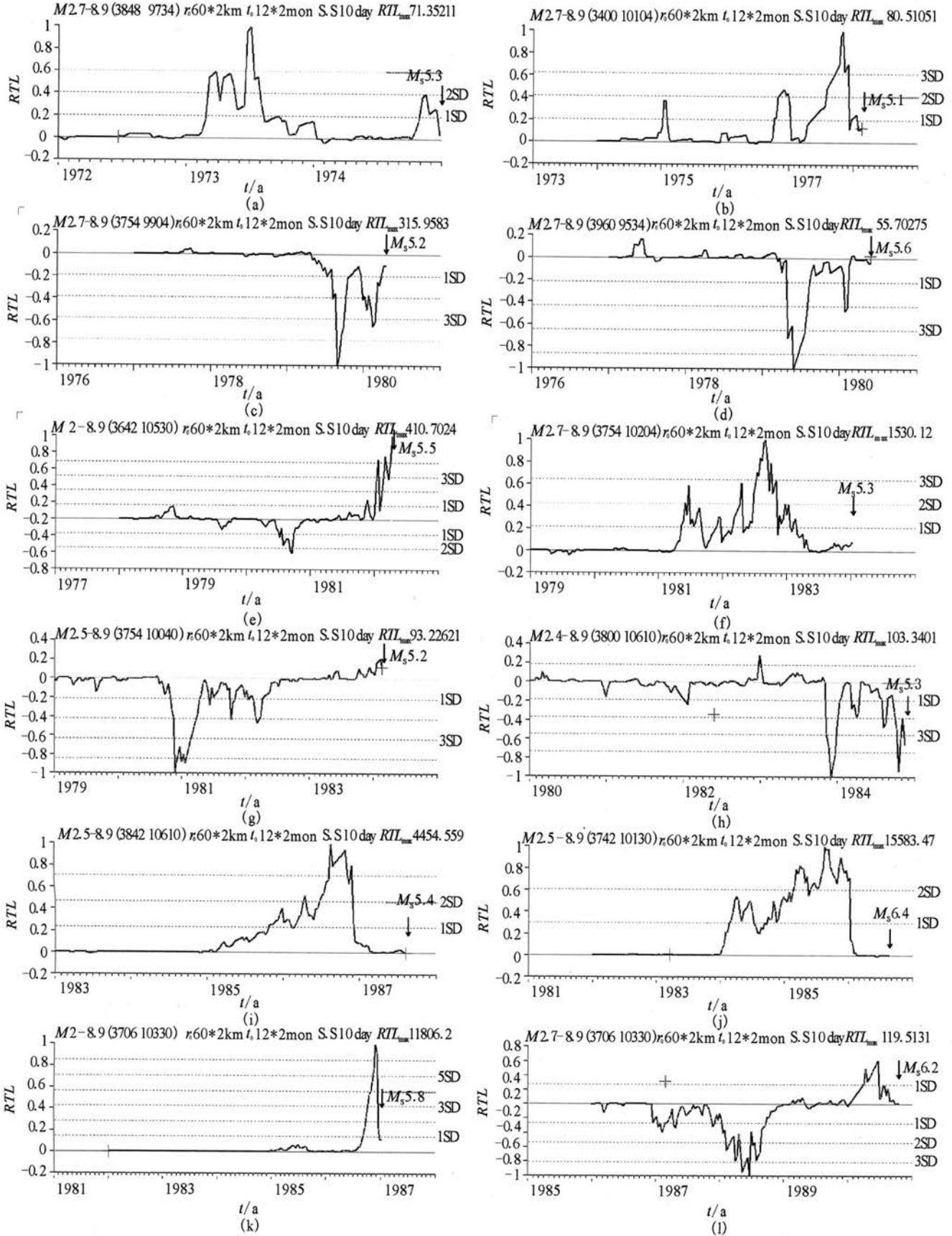
在上述参数条件下,考察的 36 次震例中有 24 次地震前有较好的短期或中短期异常显示,异常形态主要有两类: I 类表现为从 0 开始的“上升—转折—下降”和“下降—转折—上升”形态,具有相对完整的变化形态; II 类为从 0 开始的急剧上升或下降,主震发生在 RTL 极值附近。

2.2.1 6 级地震前 RTL 中短期前兆特征

研究时段内甘肃及邻近地区共发生过 4 次 6 级以上地震,分别为 1986 年青海门源 6.4、1990 年甘肃景泰 6.2、1993 年青海托莱 6.0、2003 年甘肃民乐 6.1 级地震。所有 6 级以上地震前 RTL 值无一例外地出现了异常,异常开始距主震发生的时间间隔分别为 32、47、23、35 个月。其中门源和景泰地震前 RTL 值在主震前 8 个月和 14 个月恢复了正常,即这两次地震的 RTL 值出现了约 3 年和 4 年的中期异常,而没有表现出几个月~1 年的短期异常特征。托莱和民乐地震则直到主震发生前均能检测出小震

的 RTL 值异常,中、短期异常显著,中期异常时间分别为 2 年和 3 年左右。所有 6 级以上地震的 RTL 值异常形态均表现为“上升—转折—下降”或“下降—转折—上升”形态。这种结果表明甘肃及邻

近地区 $M_s \geq 6.0$ 中强地震前是存在中小地震活动异常的,年尺度的中期异常表现显著;中小地震活动以“增强—密集—恢复”或“减弱—平静—恢复”的特征为表现形式。



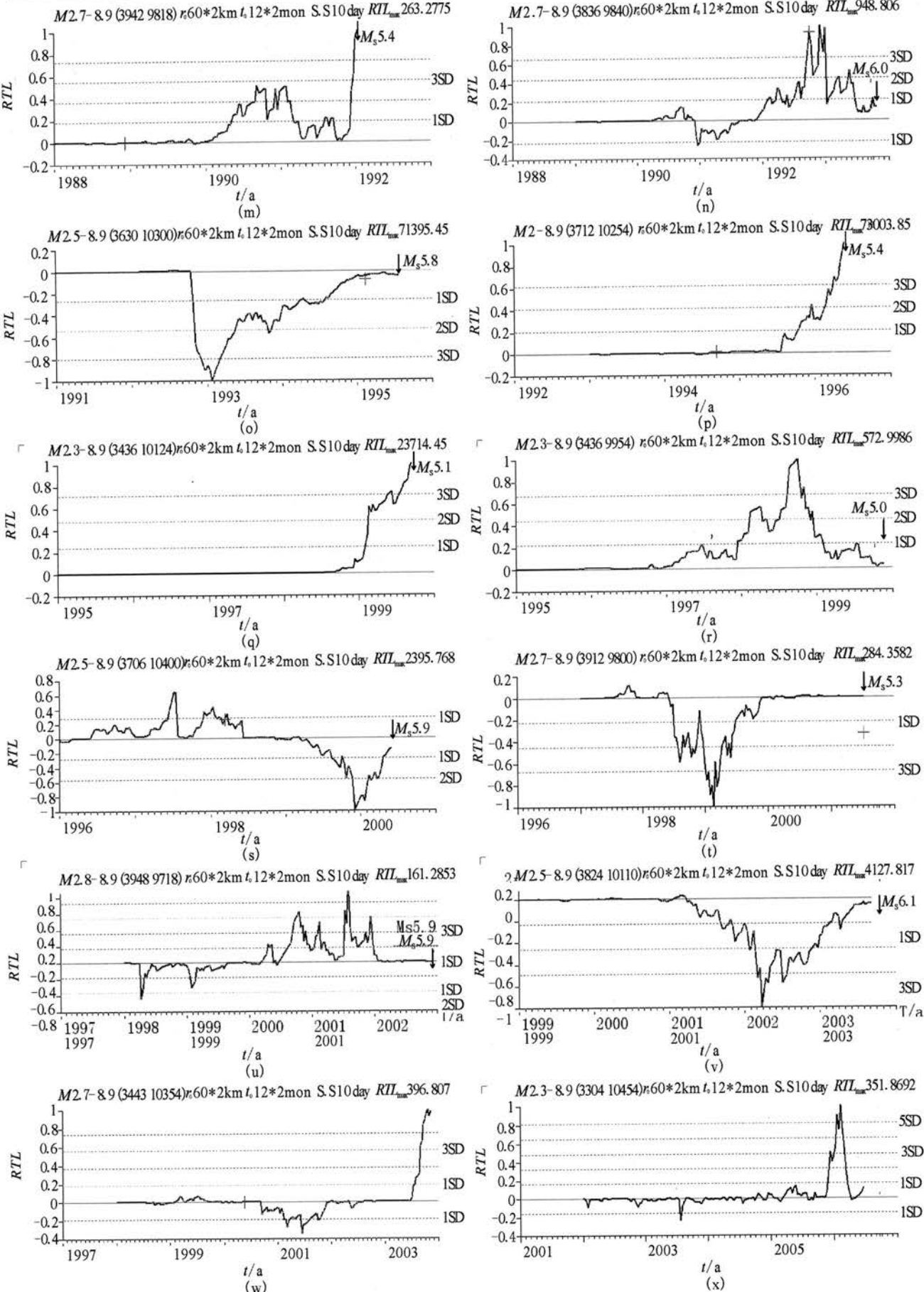


图 2 甘肃省及邻近地区 24 次 5 级以上中强地震前 RTL 曲线的变化

Fig. 2 Variation of RTL curves before the 24 earthquakes with $M_s \geq 5.0$ occurring in Gansu province and its surrounding areas

2.2.2 5~5.9级地震前RTL中短期前兆特征

所考察的32次5.0~5.9级地震中有20次地震前出现RTL值异常,异常开始于主震前4个月至3年不等。其中异常出现不到半年就发生主震的有3次,这些异常形态多表现为急剧上升或下降,即在中小地震活跃或平静的过程中发生主震。异常出现1年左右发生主震的有8次,其余为2~3年时间尺度的异常,后两种类型的中小地震活动以“增强—密集—恢复”或“减弱—平静—恢复”的特征为主要表现形式。

3 讨论与结论

(1) 本文应用改进的RTL算法,即着重强调了已发生地震的破裂尺度对RTL的贡献,使破裂尺度函数 L 与震中距函数 R 和时间函数 T 对RTL的贡献权系数一致,对甘肃及邻近地区1975年以来的36次5级以上中强地震进行了RTL时间扫描的回溯性检验研究。结果显示,6级以上地震前RTL值无一例外地出现了异常,异常形态均表现为“上升—转折—下降”或“下降—转折—上升”形态。5.0~5.9级地震RTL值异常除上述形态外还有从0值附近开始急剧上升或下降,主震在RTL极值附近发生的形式。

(2) RTL异常的时间特征表现也有所不同。对于6级以上地震而言,年尺度的中期异常表现显著。5.0~5.9级地震RTL值异常除了一年甚至几年的中期时间尺度外,还有表现为几个月尺度的短期异常。总体而言,本区RTL异常开始距主震的时间最短为2个月,最长为47个月,主要集中在10~37个月,多数异常持续到主震发生前。Sobolev、Huang等对堪察加地区7级以上地震、Nemuro半岛6.8级地震以及阪神7.2级地震等震例检测出的具有前兆意义的地震活动平静开始于主震前1.5~3.5年,持续大约1~2.5年;后续的活动性增强大约始于主震前0.5~1.5年^[1-4]。而蒋海昆等对华北

地区的震例研究表明,该方法可用于该地区地震活动性中、短期异常的识别^[6]。

(3) RTL是一种表征地震活动增强或平静的地震学参数,不同地区的地震活动性有着不同的特点。作为发生在甘肃及其邻近地区的中强地震,震前有其独特的区域地震活动特征。相关研究表明,祁连山地震带地震前的增强活动可能在该带的某一段活动,也可能在整个区段内都出现^[10],这可能是RTL算法无法检测出所有地震异常的一个原因。

参考文献

- [1] Sobolev G A, Tyupkin Y S. Low Seismicity Precursors of Large Earthquakes in Kamchatka[J]. *Volcano Seism*, 1997, 18: 433-446.
- [2] Sobolev G A, Tyupkin Y S. Precursory Phases Seismicity Precursors, and Earthquake Prediction in Kamchatka[J]. *Volcano Seism*, 1999, 20: 615-627.
- [3] Huang Q, Sobolev G A. Seismic Quiescence Prior to the 2000 $M=6.8$ Nemuro Peninsula Earthquake[J]. *Proc J Acad*, 2001, 77: 1-6.
- [4] Huang Q, Sobolev G A. Characteristics of the Seismic Quiescence and Activation Patterns before the $M=7.2$ Kobe Earthquake, January 17, 1995[J]. *Tectonophysics*, 2001, 337: 99-116.
- [5] 吴怡萱, 陈建志, 等. 利用RTL(Region—Time—Length)演算法探讨921集集大地震之前兆现象[D]. 台湾: 国立中央大学地球物理研究所, 2006.
- [6] 蒋海昆, 侯海峰, 周焕鹏, 等. “区域—时间—长度算法”及其在华北中强地震中短期前兆特征研究中的应用[J]. *地震学报*, 2004, 26(2): 151-161.
- [7] 蒋海昆, 侯海峰, 周焕鹏, 等. “区域—时间—长度算法”在华北地区中强地震地点判定中的应用研究[J]. *地震*, 2004, 24(4): 17-26.
- [8] 王伟. 地震活动增强方式及其复杂性[J]. *西北地震学报*, 2000, 22(4): 376-381.
- [9] 郭增建, 秦保燕. 地震成因和地震预报[M]. 北京: 地震出版社, 1991: 177-178.
- [10] 杨立明, 刘小凤. 祁连山地震带短期综合预报方案研究[J]. *西北地震学报*, 2006, 28(3): 193-203.