

四川地区强震前弱震空区的变化特征*

韩渭宾 席敦礼**

(四川省地震局)

摘 要

本文使用四川台网地震目录全部资料,适当参考邻省地震目录,对于四川省从1970年下半年以来发生的15组5级以上地震(另有5组缺乏完整资料无法讨论),作 $R-t$ 图、 $D-t$ 图寻找时间空区,并作相应的平面空区图。通过对比分析,发现6组6级以上和4组5级地震前震中附近出现空区现象。根据形成空区的变化过程可分为“先扩(大)后缩(小)型”和逐渐扩大的“开放型”两种类型。平面空区的位置和形状往往与构造展布有关。有5组5级震例,或因震前震中区小震不断,或因震中及其附近地区小震太少,看不出明显的空区。

本文利用出现空区的10个震例,总结出空区参数与未来地震的震级的经验关系:

$$M = 5.50 \lg R_{\max} - 2.33 \pm 1.32$$

$$M = 2.98 \lg T + 2.94 \pm 1.06$$

$$M = 2.52 \lg (R_{\max} \cdot T) - 0.51 \pm 0.96$$

文中将上述结果与大竹政和的结果作了对比。

空区不同变化形态可用金森博雄概括的突起点模式加以解释。

一、引 言

近年来,关于空区的研究更加广泛和深入。1977年大竹政和利用空区现象比较成功地预报了墨西哥 Oaxaca 地震,1980年 Lamont 主办的国际地震预报讨论会重点讨论了强震前的空区现象。根据美国国家海洋和大气管理署(NOAA)现存的世界资料,可以追溯出12个填空震例。空区的概念已从板块边缘的大地震余震带之间的空段扩展到大陆内部的强震活动前的围空区。使用的地震资料也扩展到中小地震。为避免时空尺度上的混乱,国内外一些学者,尤其是茂木^[1](1979)比较明确地提出了两种地震空区的概念。在国内,魏光兴等^[2]探讨了华北地区九次大震前的围空特征。陆远忠等^[3]研究了十二个孕震空区的震例。国家地震局和各省局还有不少人研究过空区。许绍燮在《地震预报的地震学方法评述》^[4]中对空区研究的进展作过比较好的总结。

现在,已有较多的学者承认震前空区现象是存在的。茂木总结的两类空区的概念也得到愈来愈广泛的赞同。但是画空区的任意性仍很大。除去对空区的物理本质的认识还很肤浅以外,现有的研究在资料的选取上存在的人为性,也往往使人们感到它们的说服力

* 1982年4月26日收到初稿,1983年5月5日收到修改稿。

** 夏大德同志在早期参加了部分工作。

1) 中国地震学会地震学专业委员会学术讨论会上的讲演。

不够强。例如,某些文献中常常只给出现空区的震例,而对于该地区是否有不出现空区的震例很少说明;又如,对于出现空区的同一震例,不同作者使用不同时段或不同震级限的资料,勾画的空区范围也不相同。本文准备使用 1970 年下半年以来四川台网全部地震目录,认真地按某种统一的办法来研究所有 5 级以上地震前是否都出现空区? 什么时间出现空区? 以及所出现的空区是怎样变化的? 这无论对于审议第二种空区作为地震前兆是否具有普遍性,还是对于总结适合四川地区的一种预报方法都是有一定意义的。(本文只研究由弱震构成的第二种空区,除非特别说明,文中“空区”一词均指这种空区)。

二、资料及处理办法

1970 年以前,中国科学院地球物理所和昆明地球物理所先后在四川建立了 10 个地震台,1970 年下半年四川省成立地震工作机构以后,经整顿、增建、逐步形成由 46 个台组成的四川地震台网。并从 1970 年 7 月起,逐月提供地震目录。

从 1970 年 7 月到 1981 年 10 月,四川省共发生 5 级以上地震 57 次。若把震中位置相近、相邻两次 5 级以上地震的时间间隔不超过 1 年的并成一组,则共有 20 组。若以各组中震级最大的地震为其代表,则大于 6 级的共有 6 组。有 5 组 5 级地震或因发生在台网建设初期,或因发生在边远地区,台网控制能力太差,难以详细研究弱震活动的变化(详见表 1)。

本文对于有资料的 15 组地震事件,以最大地震的震中为原点,从尽可能早的时间起,在震中分布图上量出 200 公里范围内每次微弱地震到原点的距离 R ,将 R 对时间 t 作 $R-t$ 图。

如果在 $R-t$ 图上靠近横轴的地方出现缺震区,就说明相应时段震中附近出现弱震活动相对平静期,或称时间空区。参照 $R-t$ 图上震中附近出现相对平静期的时间可以很方便地在震中分布图上圈出强震前的平面空区。对于活动性强、成带性显著的鲜水河地震带,还对沿带距离 D 和时间 t 给出地震活动的时空分布图,或称 $D-t$ 图。同样,在 $D-t$ 图上也可找出时间空段。

在 $R-t$ 图(或 $D-t$ 图)上勾画时间空区(或段)时,我们注意了以下几点:

1. 全面使用台网地震目录,切忌人为性。由于四川台网是逐步建成的,而且各地区台网控制能力的增强过程也并不相同。因此,既要按照统一的控制能力,又要详细使用微弱地震资料是困难的。本文坚持的原则是,凡四川台网地震目录给出的资料必须使用。对于松潘、盐源等省界附近地震,还参照甘肃省和云南省地震目录作了补充,在资料选取上不作人为取舍。

2. 在 $R-t$ 图上所勾画的时间空区内,除极个别的零星小震(其震级与主震震级之差不得小于 3 级),一般不允许有地震活动。本文所勾画的时间空区的半径均大于 30 公里。四川台网测定震中位置的精度多数达到 C 或 C 类以上,即震中定位误差一般小于 15 公里。半径大于 30 公里的时间空区不会是由于定位误差所引起的。空区内出现零星小震有可能是个别地震定位误差造成,也可能与介质不均匀,微小地震活动更易发生有关。

3. 寻找变化的空区。为避免把不具备发震条件的地区画成空区,在 $R-t$ 图上勾画

表 1 四川 5 级以上地震及其分布

组号	地震日期 (年.月.日)	震中地区	震级 M_s	备注	组号	地震日期 (年.月.日)	震中地区	震级 M_s	备注		
1	1970.7.31	雷波西宁	5.4	资料不全	10	1974. 6.5	乡城	5.3	资料不全		
2	1970. 9.5	壤塘	5.5	资料不全	11	1974. 9.23	若尔盖	5.7	资料不全		
	11.8	壤塘	5.5		12	1974.12.30	马边	5.2			
3	1971. 8.16	马边	5.8		13	1975. 1.15	康定、九龙	6.2			
	8.17	马边	5.8			1.16	康定、九龙	5.2			
	8.17	马边	5.6		14	1976. 8.16	松潘、平武	7.2			
	8.17	马边	5.4			8.16	松潘、平武	5.2			
	8.18	马边	5.1			8.16	松潘、平武	5.2			
4	1972. 4.8	康定沙德	5.2	8.19		松潘、平武	5.8				
5	1972. 9.27	康定塔公	5.8		15	8.22	松潘、平武	6.7			
	9.30	康定塔公	5.8			8.23	松潘、平武	7.2			
	9.30	康定塔公	5.5			9.1	松潘、平武	5.3			
6	1973. 2.6	炉霍	7.9			15	9.21	松潘、平武		5.3	
	2.7	炉霍	5.4				11.14	松潘、平武		5.1	
	2.8	炉霍	6.3				1976.11.7	盐源、宁蒗		6.9	
	2.16	炉霍	5.2				11.7	盐源、宁蒗		5.6	
	3.24	甘孜	5.6		11.7		盐源、宁蒗	5.0			
	9.9	甘孜	5.7		12.13		盐源、宁蒗	6.8			
	9.9	甘孜	5.7		12.22		盐源、宁蒗	5.2			
	1974. 6.15	甘孜	5.2		1977. 2.7	盐源、宁蒗	5.1				
	7	1973. 6.29	马边		5.0		16	4.4	盐源、宁蒗	5.0	
6.29		马边	5.5	5.3	盐源、宁蒗			5.2			
6.29		马边	5.2	17	1977. 1.13			冕宁	5.3		
6.30		马边	5.3	17	1978. 7.13			黑水	5.3		
	1973. 8.2	筠连	5.2	资料不全	18	1978. 8.13	盐源、宁蒗	5.4			
8	1973. 5.8	松潘、南坪	5.2			1979. 3.7	盐源、宁蒗	5.3			
	8.11	松潘、南坪	6.2		19	1980. 2.2	木里	5.8			
	1974. 1.16	松潘、南坪	5.8		20	1981. 1.24	道孚	6.9			
	11.17	松潘、南坪	5.8								

时间空区时,要对比前后的地震活动。在出现空区前,当地一定要发生过地震。这种做法也很自然地避免了由于早期台网较稀造成的假空区。在 $R-t$ 图上用直线(或折线)描述空区扩大或缩小的趋势。

作出全部图件后,发现远处地震影响不大。为节省篇幅,本文只给出 100 公里范围内的 $R-t$ 图。在平面空区图上尽可能标出了该地区主要断裂。

三、空区现象及其变化过程的分类

为叙述和讨论问题的方便,将上述 15 组 5 级以上地震事件前后的弱震活动在 $R-t$

图、 $D-t$ 图以及在平面图上的表现,按地区或构造带归并叙述于下:

1. 松潘、南坪 6.2 级地震和松潘、平武 7.2 级地震

从图 1(a) 和图 1(b) 可见, 这两次地震前都出现空区, 并且都经历了空区先逐渐扩大再逐渐缩小的过程。从图 2(a) 和图 2(b) 上看, 1976 年 8 月松潘、平武 7.2 级地震前的空区与虎牙断裂带一致。1973 年 8 月松潘、南坪 6.2 级地震前的空区出现在松潘、平武地震前的空区的西北。作者^[4]曾根据震源机制、等震线、余震序列以及地质资料论证过这两组地震之间的联系, 认为在深部虎牙断裂带可能向北西方向延伸。松潘、南坪 6.2 级地震就发生在这延伸线上。对照图 1(a) 和图 1(b) 还可看到, 这两组地震前的空区有联系。在图 1(a) 上先后出现过两次时间空区。1971 年 10 月以后出现第一次空区, 其最大半径 R_{\max} 达 65 公里。在这个空区逐渐缩小后, 发生了松潘、南坪之间的 4 次 5 级以上地震。其时间与图 1(b) 上出现空区的时间也相仿。而后, 第二次出现逐渐扩大再逐渐缩小的空区, 直到 1976 年 8 月, 松潘、平武之间发生两次 7.2 级、一次 6.7 级地震。空区的变化过程也说明这两组地震之间可能有成因上的联系。

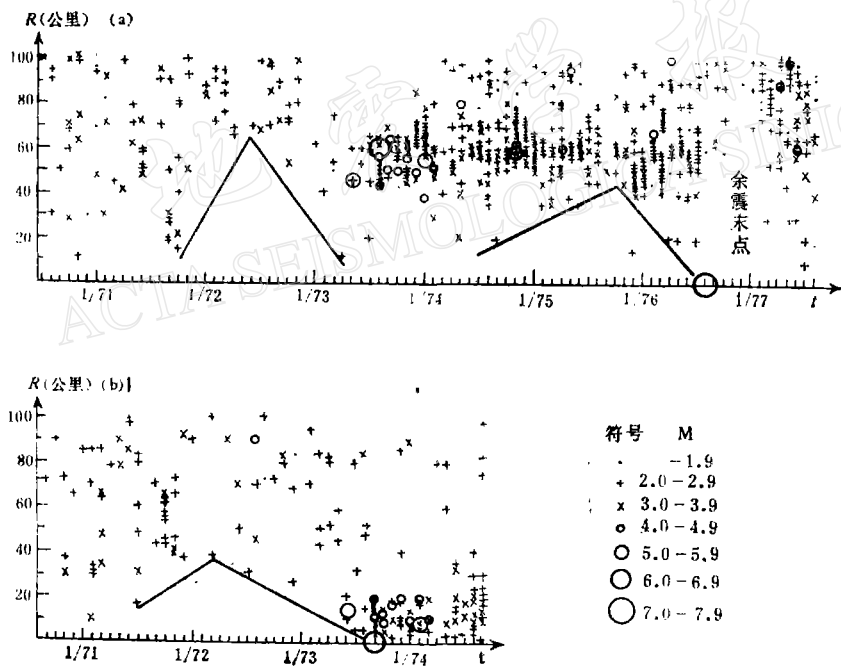


图 1 (a)松潘、平武 7.2 级地震及 (b)松潘、南坪 6.2 级地震前的 $R-t$ 图

(本文所有 $R-t$ 图或 $D-t$ 图的图例均与此相同)

2. 炉霍 7.9 级、道孚 6.9 级和塔公 5.8 级地震

这三组地震发生在鲜水河地震带上。由图 3 可见, 这三组地震前, 沿鲜水河地震带, 在强震的震中附近都出现过空段。

在 $R-t$ 图(图 4)上可见, 炉霍地震的空区是逐渐扩大的, 而塔公地震前空区先扩大后缩小。从历史 5 级以上地震的震中分布图可以看到, 道孚到乾宁之间是一个历时几十年的第一类空区^[5]。1973 年炉霍 7.9 级地震的余震延伸到道孚附近。1974 年、1975 年在

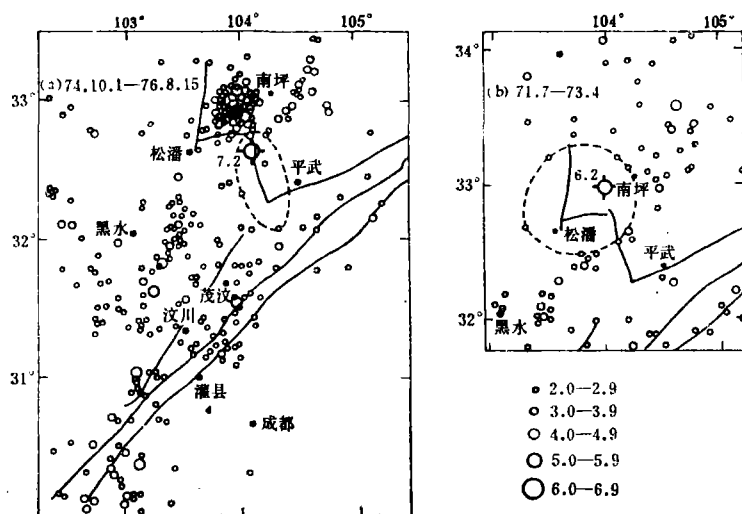


图 2 (a)松潘、平武 7.2 级及(b)松潘、南坪 6.2 级地震前的平面空区图
(本文所有平面空区图的图例与此相同)

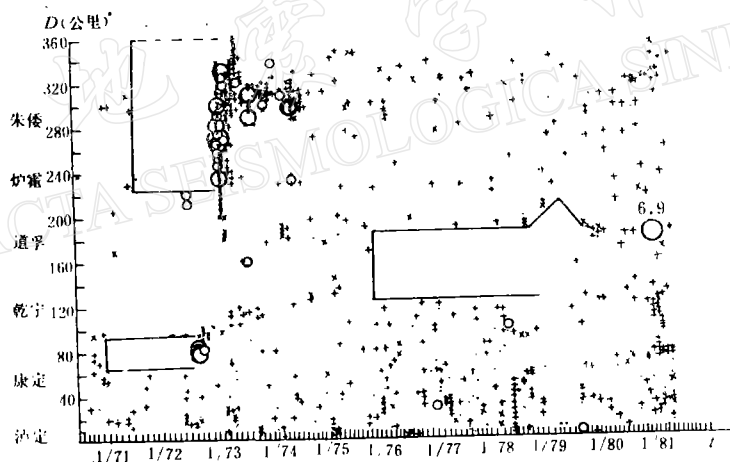


图 3 鲜水河地震带地震活动时空分布图 ($D-t$ 图)

道孚到乾宁间出现一些小震活动, 1976—1978 年该段又十分平静。从 1978 年 10 月到 1979 年 9 月, 道孚北出现附加的小空区。1979 年 10 月后道孚附近小震密集。这就是说, 道孚 6.9 级地震前, 在道孚到乾宁这个长时间的第一类空区里出现了震情变化, $R-t$ 图也反映出这个附加变化。应当指出的是, 道孚地震的极震区、地裂缝长度以及余震区已填满附加的小空区, 但不能填满这个第一类空区^[5]。

3. 盐源 6.9 级地震和木里 5.8 级地震

从 1976 年 11 月盐源、宁蒗 6.9 级地震以来, 共发生 5 级以上地震 11 次。按本文约定的原则, 可分成三组。有空区显示的只有二组(见图 6、图 7), 并且都是先逐渐扩大再逐渐缩小。不同的是, 盐源、宁蒗 6.9 级地震前震中附近小震活动两起两伏, 也就是说, 空区出现两次。另外, 由于震中以东地区长期以来地震活动性很弱, 平面图上只能勾画出半个

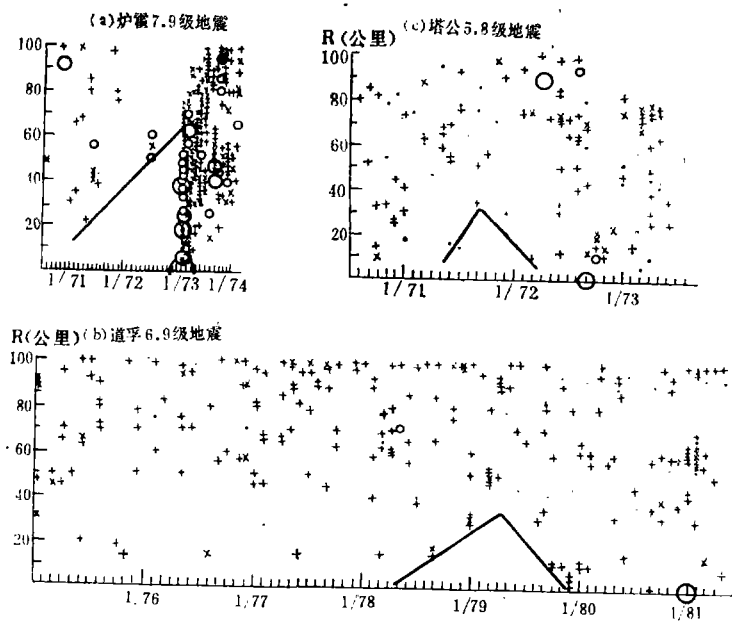


图4 炉霍、道孚和康定、塔公地震前的 $R-t$ 图

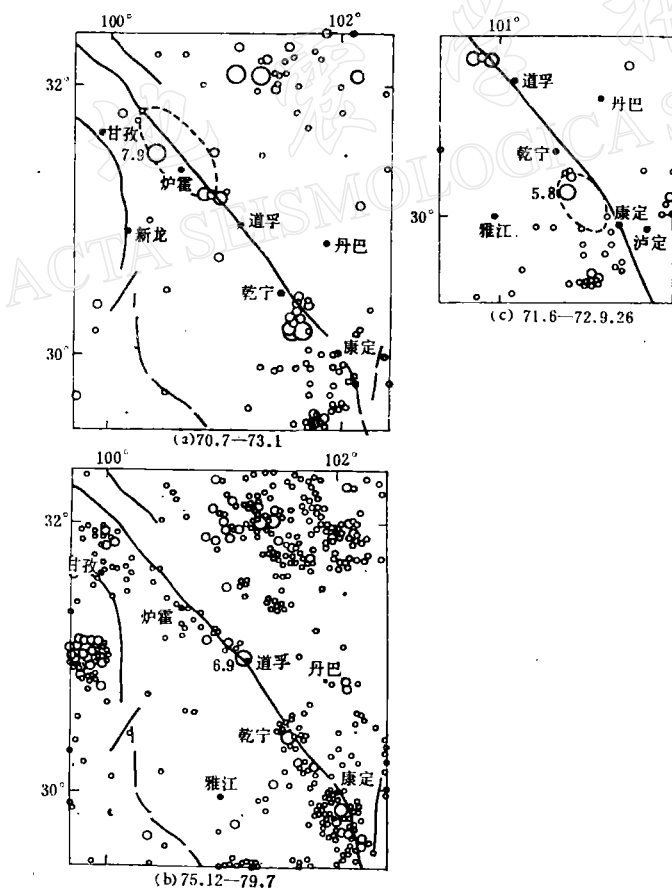


图5 炉霍、道孚和康定、塔公地震前的平面空区图

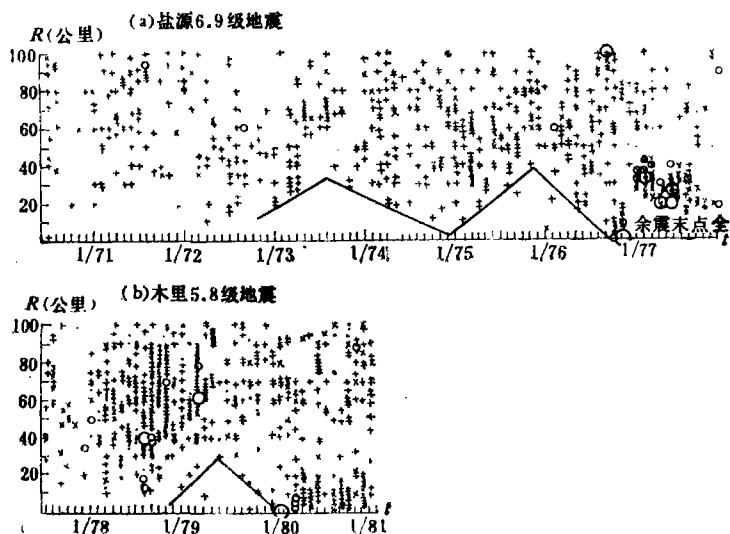
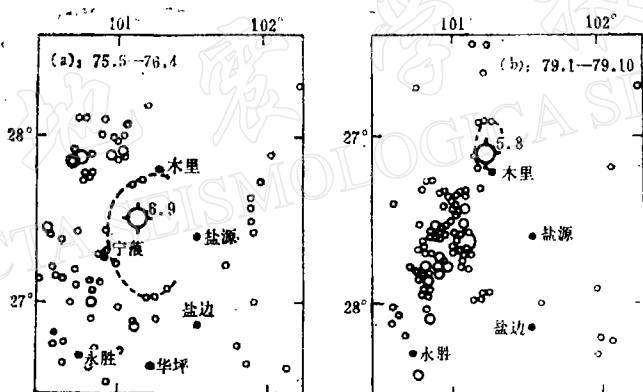
图6 盐源 6.9 级和木里 5.8 级地震前的 $R-t$ 图

图7 盐源 6.9 级和木里 5.8 级地震前的平面空区图

空区。1980 年 2 月木里 5.8 级地震也遇有类似的情况,在平面图上只能勾出半个空区。

4. 康定、九龙之间的两次地震

1972 年 4 月 8 日康定、沙德 5.2 级地震和 1975 年 1 月 15 日 6.2 级地震的震中位置十分接近,只是由于习惯,采用了不同地名称呼。虽然在平面图上可圈出形状相仿的空区(见图 8),但在 $R-t$ 图上表现都不大相同。沙德地震前的空区逐渐扩大,而九龙 6.2 级地震前的空区却先扩大后缩小(见图 9)。

5. 黑水地震

1978 年 7 月 13 日黑水 5.3 级地震前也出现逐渐增大的空区(图 10)。

6. 五个看不出空区的震例

图 11 给出 5 个看不出空区的震例的 $R-t$ 图。1977 年 1 月 13 日冕宁 5.3 级地震前震中附近小震十分稀少,很难构成空区。三组马边地震和 1978 年 8 月 30 日盐源、宁蒗 5.4 级地震前较长时间里小震活动一直很频繁,也没有空区显示。

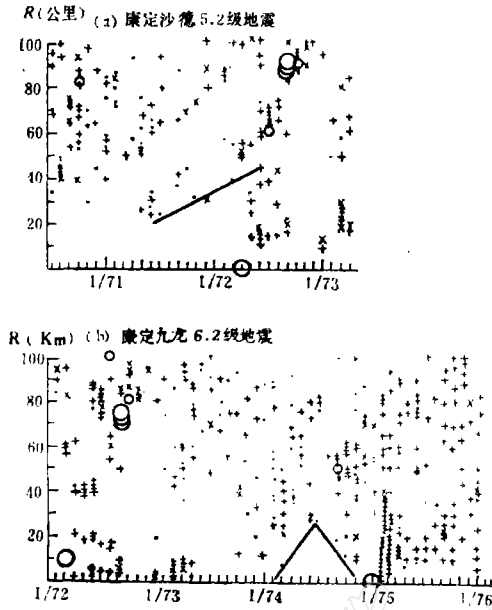


图8 康定沙德 5.2 级和康定、九龙 6.2 级地震前的 $R-t$ 图

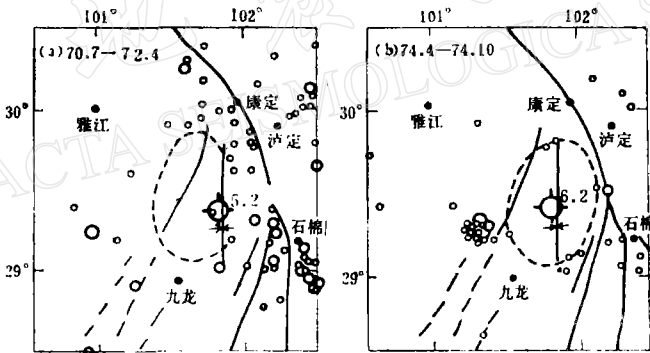
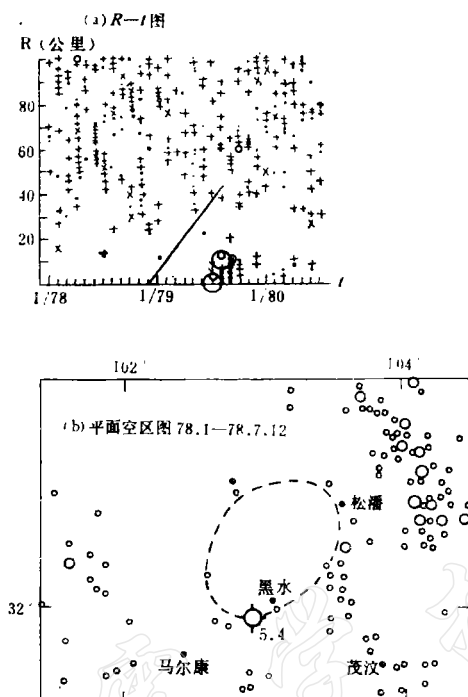
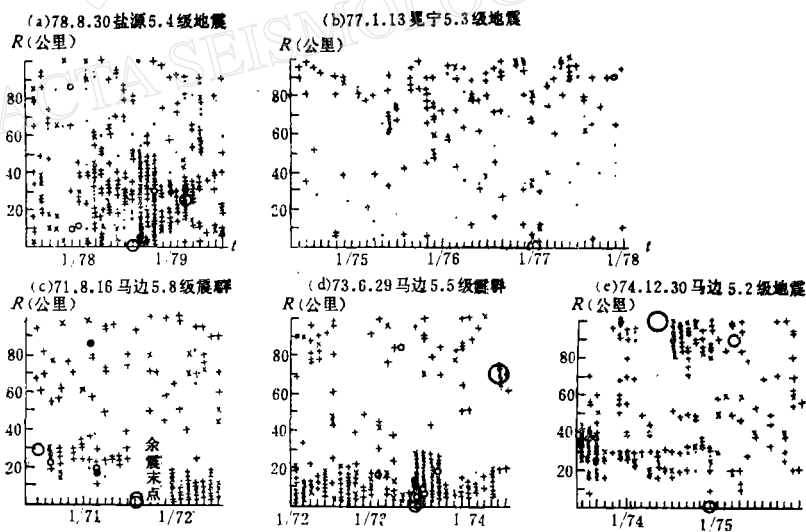


图9 康定沙德 5.2 级和康定、九龙 6.2 级地震前的平面空区图

这样,在系统整理资料的基础上,我们对于四川省 1970 年下半年以来发生的 20 组 5 级以上地震前的围空现象可以得到以下几点看法:

(1) 6 组 6 级以上地震前在 $R-t$ 图上都出现平静期。不同的是,炉霍 7.9 级地震前,平静范围逐渐扩大,表现为“开放型”。而其他 5 次 6 级以上地震前,都经历过平静范围先逐渐扩大,然后逐渐缩小的过程,表现为“先扩后缩型”。应当说明的是,道孚—乾宁已平静八十年以上, $R-t$ 图上给出的平静是在这个第一类空区的背景上迭加的一个小空区。道孚地震的破裂带或余震区已填满了附加的小空区,但还不能填满道孚—乾宁第一类空区。

(2) 有资料的 9 组 5 级以上地震中,有 4 组震前显示空区。同样有“开放型”和“先扩后缩型”两种形态变化。属于“开放型”的有黑水 5.3 级地震和康定、沙德 5.2 级地震。属于“先扩后缩型”的有康定、塔公 5.8 级和木里 5.8 级地震。

图 10 黑水 5.3 级地震前的 $R-t$ 图和平面空区图图 11 五个看不出空区的震例的 $R-t$ 图

由 10 个震例的 $R-t$ 图可见,无论“开放型”,还是“先扩后缩型”,主震发生后,空区就逐渐消失了。

(3) 在震中分布图上,空区的位置和形状往往与构造展布有关。尤其是鲜水河断裂带的 3 次和虎牙断裂带及其附近的 2 次地震前的空区明显地受断裂控制。1972 年和 1975 年康定、九龙间 2 次地震前的空区形状相似,可能受北北东向断裂控制。盐源、木里

以及黑水附近发育着弧形构造及多种不同方向的断裂或褶皱，宏观考察中确定发震断裂有争论，平面图上也不易圈定空区。

(4) 另有 5 组 5 级以上地震前，看不出有地震空区的显示，其中有 3 组发生在马边地区。这 3 组地震前，震中附近小震活动不断，没有出现空区。1978 年 8 月 30 日盐源 5.4 级地震前在 $R-t$ 图上的表现也如此。另一组是 1977 年 1 月 13 日冕宁 5.3 级地震。震中附近小震十分稀少，在现有监测能力下，无法讨论空区问题。

四、空区参数与未来地震的震级的统计关系

图 12(a-d) 分别给出了 $R-t$ 图上空区最大距离 R_{\max} ，空区出现时间 T ， $\lg(R_{\max} \cdot T)$ 与未来地震的震级 M 之间的关系。对于前三对用最小二乘法求得直线关系为：

$$M = 5.50 \lg R_{\max} - 2.33 \pm 1.32 \quad (1)$$

$$M = 2.98 \lg T + 2.94 \pm 1.06 \quad (2)$$

$$M = 2.52 \lg(R_{\max} \cdot T) - 0.51 \pm 0.96 \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)的相关系数分别为 0.59, 0.77 和 0.81。由 $f = 10 - 2$ 查相关系数检验表^[6]知： $r_{0.01} = 0.76$ ， $r_{0.05} = 0.63$ ， $r_{0.10} = 0.55$ 。这就是说，式(2)和式(3)中 $\lg T$ ， $\lg(R_{\max} \cdot T)$ 与 M 可在信度 α 取 0.01 的情况下，被认为是线性相关的。式(1)中 $\lg R_{\max}$ 与 M 在可信度 α 取 0.10 时被认为是线性相关的。不过，用它们来预测震级，误差是比较大的。公式(2)和(3)右边第三项给出的 2 倍标准差达 ± 1 级。公式(1)的 2 倍标准差达 ± 1.3 级。

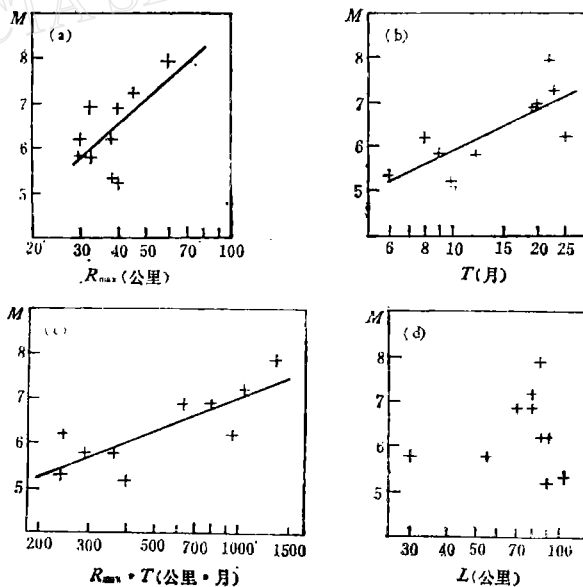


图 12 空区参数与未来地震震级的统计关系

至于在平面图上圈定的空区长轴 L 与未来地震的震级之间的关系更弱，可以说看不出线性关系。

大竹政和^[7](1979)曾收集 37 篇有关空区的论文、81 个地震(群)进行统计并指出, L 与 M 相关性很小, $\lg T$ (年)、 $\lg(LT)$ 与 M 是线性相关的,且由 T 推测 M 的精度为 ± 1 级。本文结果与这些基本结论大体一致。不过,在本文中,以 R_{\max} 代替 L ,统计结果要好些。

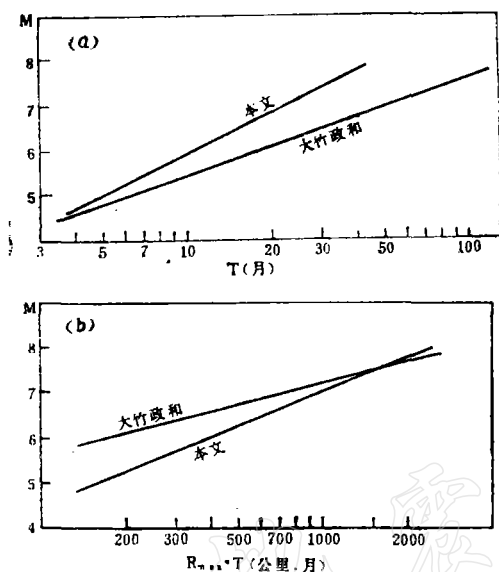


图 13 统计关系的比较

图 13(a,b) 给出本文与大竹政和的统计关系以便比较。由图 13(a) 可见,对于同样的空区时间 T ,大竹公式对应的震级一般比本文低些,其差值随震级增大而增大。这可能是因为本文对不同大小地震都使用了微弱地震资料,而大竹收集 37 篇论文,可能对于较大地震较多地使用稍大地震资料,使用资料的震级下限高,空区可能范围要大些,时间也长些。当然,图 13(a) 上两根直线相差最大也只有 1 级左右,在这两个经验关系的 2 倍标准差之内。图 13(b) 上,对于同样的震级,大竹公式 $\lg(LT)$ 比本文 $\lg(R_{\max} \cdot T)$ 要小些。可能是因为 R_{\max} 往往比 L 小得多,以 R_{\max} 代替 L 造成的影响比由于使用资料的震级限不同引起的影响大。

五、关于空区在预报中的意义及其物理解释的讨论

1. 本文按同样的办法,系统整理了四川省 20 组 5 级以上地震前后震中附近地震活动性的变化,发现有资料的 15 组地震中有 10 组即三分之二的地震前出现空区现象。考虑到国内外已有很多震例报道,可以认为空区现象是一种带有普遍性的前兆现象。至少在现有认识水平下,对于四川的地震预报,可以把它作为比较好的预报依据之一。

2. 总结过程中感到,先作 $R-t$ 图寻找震中附近小震活动平静时间,对于在震中分布图上圈定空区是很有益处的,可以在一定程度上减少人为性。作 $R-t$ 图的另一个好处是便于研究空区的变化过程。在本文的 10 个震例的 $R-t$ 图上可以看到空区有两种不同的变化过程:“开放型”和“先扩后缩型”。

但是, $R-t$ 图以震中作为计量距离的原点,这对于预报工作是不便的,除非利用电子计算机进行时空扫描。 $R-t$ 图的另一个缺点是,当强震震中偏到空区边缘,紧邻处又有很多地震时,可能难以辨认或缩小空区范围。本文在研究松潘、平武地震序列时,选取第 2 次 7.2 级地震震中作为原点就是这个原因。

对于由深大断裂带控制,地震活动带性特别显著的地震带,作 $D-t$ 图讨论震情变化,圈定空区更为方便。因为它不依赖于原点的选取。

3. 不少学者用一个断层面上强度不均匀,或周围存在一些强度更弱的小断层来解释强震前的空区现象。金森博雄^[8](1980)把它概括为突起点模式。他假设一个单元断层面

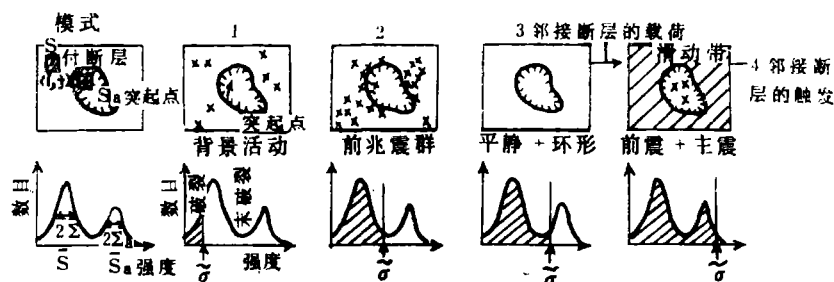


图 14 突起点模式及预测的地震活动性图象序列(取自金森博雄)

内存在一个突起点。用均值为 \bar{S} , 标准偏差为 Σ 的高斯分布描述该单元断层内的强度变化。用均值为 \bar{S}_a , 标准偏差为 Σ_a 的高斯分布来描述突起点内部的强度变化。按突起点模式, 地震活动则如图 14 所示。空区是在加载应力 σ 超过 \bar{S} , 尚未达到 \bar{S}_a 的情况下出现的(图 14, 第 3 阶段)。由于 σ 超过 \bar{S} , 突起点周围小断层大多数破裂, 随着构造应力增强, 断层面上很少再发生地震。出现平静期。又因为应力集中于突起点, 突起点周围基本上处于解耦状态, 这可能造成与单元断层面相邻的断层加载, 从而出现围空现象。显然, 突起点附近, 介质强度变化大, 应力集中。当 σ 逐渐接近 \bar{S} 时, 突起点附近即未来震中附近可能先发生小破裂, 亦先进入平静期。在 $R-t$ 图上表现为空区由内向外扩展。如果在 σ 逐渐接近 \bar{S} 时, 单元断层面内能破裂的已全破裂, 且突起点内部均匀, 即 Σ_a 很小, 不发生前震, 空区则为“开放型”。如果单元断层内在 σ 达到 \bar{S} 时没有全破裂, 随着应力继续增大, 又会发生一些小震。突起点内不均匀也易于发生前震。在这类情况下, 空区在逐渐扩大之后又可能出现缩小的趋势, 表现为“先扩后缩型”。

1973 年 8 月 11 日松潘、南坪 6.2 级和 1976 年 8 月 16 日松潘、平武 7.2 级地震前先后出现的两个互相有联系空区, 也许是因为在这个地区存在两个突起点的缘故。1976 年 11 月 7 日盐源 6.9 级地震前在 $R-t$ 图上出现两次时间空区, 可能是因为第一次加载到接近突起点平均强度 \bar{S}_a 前, 逐渐卸载了, 以后又第二次加力直到突起点破裂。

4. 利用空区现象预报地震有一定的局限性。它既不是一个震前一定会出现的指标, 也不是一个必震的指标。本文所研究的 15 组 5 级以上地震中, 就有 5 组 5 级地震前没有出现空区, 约占 1/3。盐源 6.9 级地震前出现两次空区, 如果仅仅依据空区, 在第一次空区出现时, 就可能发生虚报。应当说明的是, 本文只是对已发生的地震进行总结, 这种做法不能回答误报率问题。其次, 预报时间不具体。不仅遇到“开放型”报时间有困难, 就是“先扩后缩型”, 本文总结的 7 个震例, 从空区结束到发震, 从当月到 13 个月, 长短不等, 且与震级没有明显关系。第三, 利用空区的一些参数, 可以根据经验公式推算未来地震的震级, 但精度不高, 误差可达 ± 1 级。

总之, 由弱震活动构成的第二类空区可以用来做中短期预报, 但它不是必震指标。在预报实践中, 如能把它和别的测震学预报指标以及其他方法结合起来使用, 可能会取得一定的效果。

参 考 文 献

- [1] Mogi (茂木清夫), Two Kinds of Seismic Gaps, *Pageoph*, **117**, Birkhavser Verlag, Basel, 1979.
- [2] 魏光兴等, 华北地区大地震前地震的围空区特征, *地球物理学报*, **21**, 3, 213—217, 1978.
- [3] 陆远忠等, 地震空区与“逼近地震”, *地震学报*, **4**, 4, 327—336, 1982.
- [4] 韩渭宾、夏大德、松潘、平武 7.2 级地震和川青块体的运动, *地震科学研究*, 年第一辑, 39—47, 1980.
- [5] 韩渭宾、黄圣睦, 鲜水河断裂带上的一个地震活动空区, *地震学报*, **5**, 3, 280—286, 1983.
- [6] 中国科学院数学研究所概率统计室, 常用数理统计表, 科学出版社, 1974.
- [7] 大竹政和, 地震预报中第二种空区现象的意义, *日本地震学会*, 1979 年秋季讲演予稿集 (B26).
- [8] 金森博雄, 地震活动和地震预报——南加利福尼亚的例子, 卢振恒译, *国外地震*, 9, 11—19, 1981.

TEMPORAL AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF SEISMIC GAPS FORMED BY WEAK EARTHQUAKES BEFORE STRONG EARTHQUAKES IN SICHUAN PROVINCE

HAN WEIBIN XI DUNLI

(Seismological Bureau of Sichuan province)

Abstract

This work is based on the earthquake catalog prepared by the Sichuan seismological network, with reference to some earthquake catalogs of the neighbouring provinces. The earthquakes with magnitude greater than 5 that occurred during the period from June 1970 to October 1981 are divided into 20 groups, 5 of which are excluded due to the lack of enough data. For the remaining 15 groups plots of R-t (radial distance with time) or D-t (distance along a belt with time) are made to show seismic gaps with time. Also, epicenter distribution maps are drawn to show seismic gaps in space. Through comparative analysis, it is found that in each of the 6 groups of earthquakes with maximum magnitude greater than 6 and in each of the 4 groups of earthquakes with maximum magnitude between 5 and 6, a seismic gap appeared around the epicenter of the impending strong earthquake. According to the process of development of the seismic gaps, they may be divided into two categories: “expanding and then, contracting” and “gradually expanding”. The location and shape of the spatial gaps are usually related to the regional tectonics. For the other 5 of the 15 groups also with maximum magnitudes between 5 and 6, seismic gaps did not appear. The reason may be either that earthquakes occurred incessantly in the impending epicentral area or there are too few weak earthquakes in the epicentral area and its vicinity before the main shocks.

From the data of the groups of earthquakes associated with seismic gaps three empirical formulas connecting the seismic gap parameters with the magnitudes of the impending earthquakes are obtained. They are

$$M = 5.50 \lg R_{\max} - 2.33 \pm 1.32$$

$$M = 2.98 \lg T + 2.94 \pm 1.06$$

$$M = 2.52 \lg(R_{\max} \cdot T) - 0.51 \pm 0.96$$

These relations are compared with that obtained by M. Ohtake.

It seems that the asperity model proposed by H. Kanamori could be used to explain the difference in the behaviour of the seismic gaps by assigning proper parameters to his model for different cases.

《地震地磁观测与研究》征订启事

《地震地磁观测与研究》是国家地震局地球物理研究所主办的有关基础地震学、地磁学及其观测技术、数据处理、资料汇编的专业科技刊物。读者对象主要是从事地震、地磁、空间物理、以及与地球物理有关的其它学科的科学技术工作者和大专院校师生。

本刊自 1984 年起改由知识出版社出版, 公开发行。每年出版六期, 每期定价 0.60 元。全年一次征订。订费 3.60 元。另加包装邮费每期六分, 全年 0.36 元(如需挂号邮寄, 另加挂号费每期 0.12 元)。读者请向知识出版社读者服务部——北京兴盛劳动服务公司青印管理处订阅。地址: 北京市、朝阳区白家庄路一号, 订费可通过邮局信汇或银行汇。开户银行为: 北京市朝外, 关东店人民银行分理处, 帐号 6601—93。

《地震地磁观测与研究》编辑部