第9卷 第2期 西北地震学报 Vol.9,No.2
1987年6月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL June,1987

未震空区与卸载地震

陆远忠 愈言祥
（安徽省地震局）

摘 要

近年来，地震预报的地震学方法清理结果表明，利用地震空区预报未来强震有一定的效果，但是虚报率较高。作者研究发现，在一些没有发生地震的孕震空区周围，发生了某种“卸载地震”，以至终止了空区的孕震过程。文中总结了某些卸载地震的特点和利用对卸载地震的识别从而减少虚报的效果。卸载地震的作用有可能对其它无震前兆异常提供解释。

文献1）对孕震空区在地震预报中的实际应用进行了总结，统计结果表明，报准率为86%，虚报率为57%。陈立章、韩渭宾曾讨论过未震空区问题，但未涉及其鉴别。郭增建曾研究过断层的缓慢滑动对孕震区的卸载作用，指出地震的孕育和卸载是经常发生的现象。本文进一步研究了未震空区以及减少虚报的问题。

未震空区与卸载地震

图1给出了两个孕震空区，它们相应的应变释放曲线和空区内外频度比$N_{外}+1/N_{内}+1$随时间的变化曲线表示于图2和图3中。

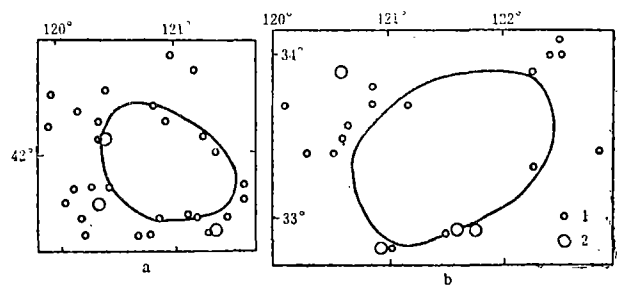

图1 未震空区
a.空区(1)，1975年1月—1976年12月 b.空区(2)，1978年1月—1979年12月
1.M=2.0—3.0 2.M=3.0—4.0

Fig.1 Some examples of seismic gaps of no following earthquake

1）陆远忠等，孕震空区在地震预报中的实际应用，1984。

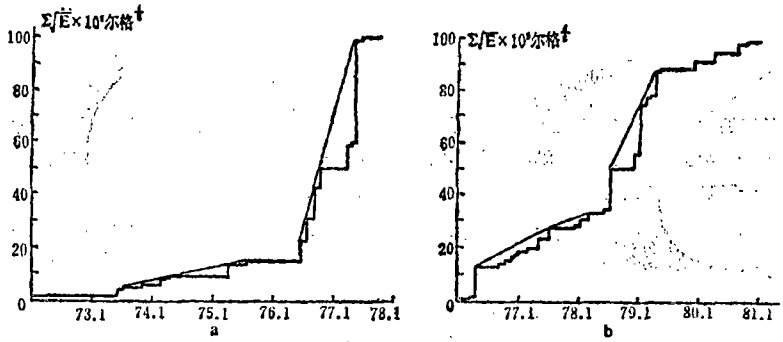

图 2　未震空区内及其邻近区域的地震应变释放曲线
a.空区（1）　b.空区（2）

Fig. 2　Strain release curves of earthquakes that occurred inside the gaps showed fig. 1 or their neighbouring

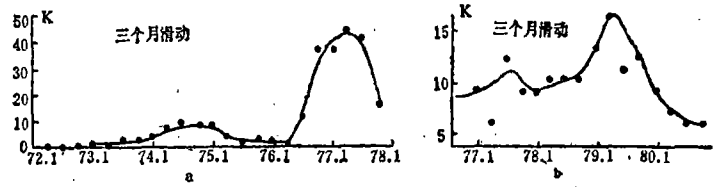

图 3　空区内外地震频度比（$K = N_{外} + 1 / N_{内} + 1$）随时间的变化
a.空区（1）　b.空区（2）

Fig. 3　The changes of the ratios of earthquake frequency outside the gaps to that inside them

从图 2、图 3 中可以看出，两个孕震空区的应变能释放曲线均出现了明显加速，并且空区内外地震频度比显著增加，由此说明它们都已积累了较高的能量。可以判定，这两个空区是孕震空区。然而，这两个空区在形成之后，其内并没有发生大地震，以至空区消失或变得不符合孕震空区的标准。我们把这种孕震空区称为未震空区。我们认为可能由于某些原因终止了孕震体的孕震活动，释放了已经积累的高应变能，从而解除或延缓了强震的发生。为了找出这个原因，我们把空区的研究范围扩大到距离空区中心500公里的范围内，研究这个范围内的地震活动情况。在文献 1 ）所研究的未震空区持续过程中或空区形成后一年时间内，绝大多数未震空区周围500公里的范围内，发生了一个或数个中强以上地震。例如在距图 1 b所示的空区中心341公里的唐山于1976年 7 月28日发生了M = 7.8级地震；在距图 1 b所示的空区中心274公里的溧阳于1979年 7 月 9 日发生了M = 6.0级地震。我们设想，上述孕震空区和相应的已发生的唐山、溧阳地震可能都是同期大区域应力场加强，形成多点应力集中的表现，而唐山和溧阳两次地震的发生分别使其周围较大范围内的应力场、应变场发生了调整，使某些已经孕育着强震的地区解除了应力积累，从而使上述空区变为未震空区并最终瓦解，因此，我们称这种地震是上述空区的“卸载地震”。当然，有些卸载地震在释放或解除某些地区应力集中的同时，也可能发生新的应力集中，即所谓应力转移，诱发新的地震，但这不是本文研究的范围，暂不讨论。由上述讨论可知，“卸载地震”震级越大，它所影响的范围也越大。我们对文献 1 ）中所列的未震空区和其相应的“卸载地震”进行了统计，部分结果见表 1 。

表1

孕震空区			卸载地震						其他	
时间区间	空间范围	对应地震	地名	时间	地点	震级	S(公里)	震源机制解	空间方位	夹角
73.1—74.12	41°30′—42°42′ 120°00′—121°50′	42°04′ 121°00′	海城	1975.2.4	40°39′ 122°48′	Ms 7.3	217	112°	317°	25°
74.1—75.12	32°18′—33°48′ 118°40′—121°00′	32°54′ 119°50′	溧阳 黄海	1974.4.22 1975.9.2	31°27′,119°19′ 32°54′,121°48′	5.5 5.3	169 182	31°和101° 170°	17° 270°	13° 80°
74.1—75.12	41°12′—42°36′ 119°55′—121°30′	41°49′ 120°40′	海城 唐山	1975.2.4 1976.7.28	40°39′,122°48′ 39°38′,118°11′	7.3 7.8	221 319	112° 41°	307° 40°	15° 10°
74.1—75.12	39°48′—41°05′ 111°15′—113°35′	和林格尔 M=6.3 40°14′ 112°12′ 1976.4.6	孕震空区报准							
75.1—76.12	31°48′—33°00′ 115°00′—117°15′	32°24′ 116°14′	孕震空区虚报							
75.1—76.12	41°24′—42°42′ 119°50′—121°55′	41°54′ 120°56′	海城 唐山	1975.2.4 1976.7.28	40°39′,122°48′ 39°38′,118°11′	7.3 7.8	208 340	112° 41°	311° 42°	19° 1°
76.1—77.12	41°24′—42°48′ 119°50′—121°55′	41°54′ 120°55′	唐山	1976.7.28	39°38′	7.8	341	41°	42°	1°
76.1—77.12	40°12′—41°36′ 113°00′—114°35′	40°56′ 113°50′	和林格尔	1976.4.6	40°14′ 112°12′	6.3	158	73°	61°	12°
77.1—78.12	30°12′—32°00′ 118°30′—121°30′	溧阳 M=6.0 31°27′ 119°15′ 1979.7.9	孕震空区报准							
78.1—78.12	32°36′—34°06′ 120°00′—123°00′	33°15′ 121°16′	溧阳	1979.7.9	31°27′ 119°15′	6.0	274	20°和109°	43°	23°
80.1—81.12	36°00′—37°45′ 105°00′—107°00′	海原 M=5.7 36°45′ 105°30′ 1982.4.14	孕震空区报准							
80.7—82.6	34°40′—36°30′ 114°30′—117°24′	荷泽 M=5.9 35°14′ 115°17′ 1983.11.7	宁晋	1981.11.9	37°26′ 114°58′	6.0	246	36°	172°	44°
81.1—82.12	32°30′—34°30′ 119°00′—122°00′	南黄海 M=6.2 32°29′ 121°35′ 1984.5.21	孕震空区报准							

在30个没有对应强震的空区中，有23个都因空区附近发生“卸载地震”而成为未震空区，有 5 个空区找不到对应的“卸载地震”，有 2 个空区因其附近区域的地震资料不详而无法判断。利用“卸载地震”剔出未震空出后，其预报效果见表 2 。其中的孕震空区数包括了上述 2 个资料不详的空区。对比发现，孕震空区总数从原来53个减少到27个，即除去了49%的空区。例如在震级下限为2.0级和时间区间为2.0年这一组合中，虚报率从原来的57%下降到17%，报准率为71%，漏报率为29%。

表 2　应用“卸载地震”后的预报效果*

空区数 M \ 七(年)	1.5	2.0	2.5	3.0
1.7	8/5/7	4/6/7	8/8/7	2/4/9
2.0		5/6/14		
2.3		8/8/4		
2.6		0		0/9/5

经过研究发现，“卸载地震”具有如下几个特点：

（ 1 ）震级一般在 5.0 级以上；（ 2 ）“卸载地震”发生在空区形成的过程中或形成后一年内；（ 3 ）“卸载地震”距空区中心的距离S满足下列经验关系（图 4 ）：

$\lg S = 0.1Ms + 1.74(\pm 0.21)$，式中 Ms 为“卸载地震”的震级，S的单位为公里。图 4 中的点虽然较分散，但不难看出随着震级的增大，其可能的卸载范围更大的特点。一个 6 级地震的卸载范围大约为150—350公里，一个7.0级地震的卸载范围大约为200 公里—350 公里。由于每一个大地震的失稳破裂方式、地震序列类型都不相同，因此，其调整应力场的作用也是不同的，加之未震空区相对于卸载地震的破裂方向的角度不同，图 4 中点较分散是不难理解的。

为了进一步研究卸载地震的机理，我们对比了所有卸载地震的破裂方向与相应的未震空区的分布关系，发现“卸载地震”的断层破裂走向与它所对应的空区所处的方位间的夹角大多数都很小，不超过30°（只有极少数例外，见表 1 ）。

图 5 是唐山地震破裂面走向与相应的未震空区方位的关系示意图，这种现象反映了“卸

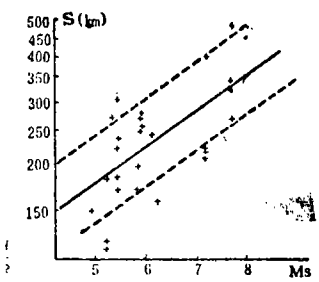

图 4　“卸载地震”距未震空区中心的距离与其震级的关系

Fig. 4　Relation between magnitudes of unload earthquakes and the distances from them to centers of seismc gaps

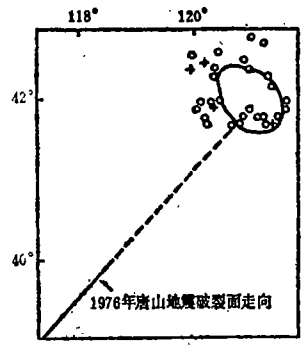

图 5　“卸载地震”与未震空区的关系

Fig. 5　The location relation between unload earthquake and seismic gap of no following earthquake

* 表 2 中空区数一栏的数自左至右依次为：报准数/考虑卸载地震后的空区数/空区数

载地震”与未震空区可能有某种力学联系，可能是沿着“卸载地震”破裂方向容易发生“让位”作用，释放其中的应力的缘故。应当指出的是，在表1中有“*”号的空区似乎应当被1981年11月宁晋、隆尧5.8级地震所卸载，从而与荷泽地震的发生产生了矛盾。但是宁晋、隆尧地震的断层破裂走向是36°，而该空区中心相对震中的方位是172°，它们之间的夹角是44°，明显大于30°。这似乎说明孕震空区所处的方位是决定其是否被卸载的重要因素之一，因此我们把表1中带“*”号的空区视为报准的孕震空区。

讨 论

1.关于“卸载地震”的机理

“卸载地震”对于孕震空区的卸载作用可能是由于“卸载地震”及其余震释放了孕震空区附近的能量。另外，“卸载地震”发生后，产生了较弱稳滑区，使孕震空区的应力松驰。据统计，被卸载的孕震空区的长轴约为100—180公里，按文献〔1〕的统计公式，预计发生地震的震级为6.0±0.3，而一般的“卸载地震”的震级均为5.5级以上，所以，“卸载地震”及其余震所释放的能量加之其它非失稳破裂所释放的能量是可以与同一区域中的孕震空区所孕育的地震能量相比拟的。另外一个重要机理是孕震空区周围发生了较强地震并形成了余震区，在余震区内，地震时发生地壳形变，震后在应力场调整过程中也有地壳形变相伴生，或者是产生了大量的稳滑断层，它们使孕震空区的应力状态松驰。实际统计资料表明，一个大震发生时产生的形变加上震后形变或稳滑量可达数米的量级，这比每年几厘米的构造应变的速率高得多，它可使邻近一些区域发生应力松驰。

2.几个值得讨论的问题

（1）“卸载地震”与“逼近地震”

文献〔2〕提出了“逼近地震”的概念，指出在孕震空区后期，空区边缘往往会发生某种有别于正常地震活动的小地震或震群，称之为“逼近地震”。从“逼近地震”发生到主震这一段时间内基本上不再发生围空小震，并认为“逼近地震”发生后，一次大震就迫在眉睫了。“逼近地震”是孕震体孕震活动的结果，而“卸载地震”则终止孕震体的地震活动。一个空区即使发生了“逼近地震”，如果后来其周围发生了“卸载地震”，这个大震也还是可以避免的。“逼近地震”与“卸载地震”的区别在于，“逼近地震”一般震级都比较小，而“卸载地震”的震级要求在5级以上，“逼近地震”发生在孕震空区的边缘，它到主震震中的距离一般都小于孕震空区的长半轴，而“卸载地震”距空区中心的距离相对则较远。

（2）一个地震可以同时作为多个空区的“卸载地震”（表1）。

（3）本文只讨论了“卸载地震”对孕震活动的终止作用。事实上，由于其他条件的变化，也有可能使孕震体的孕震活动停止，或者以其它形式释放孕震体内所积累的能量。表1中的5个没有“卸载地震”的空区，几乎都出现在同一个地区，即苏、鲁、豫、皖交界地区，总的时间范围是从75年1月到79年6月。在这一时期内这个地区的地壳形变活动很剧烈，1979年3月2日安徽固镇5.0级地震就发生在这个地区。这些现象之间的关系值得探讨。

（4）“卸载地震”与未震空区的关系是用大华北地区的地震活动资料总结出来的，因此对大华北地区比较适用。

（本文1986年9月16日收到）

参 考 文 献

〔1〕陆远忠等，地震空区与"逼近地震"（续），地震学报，Vol.5，No.2，1983.
〔2〕陆远忠等，孕震空区与"逼近地震"地震学报，Vol.5，No.4，1982.

SEISMIC GAP OF NO FOLLOWING EARTHQUAKES AND UNLOADING EARTHQUAKE

Lu Yuanzhong Yu Yanxiang
(*Seismological Bureau of Anhui Province*)

Abstract

In recent years some research results about earthquake prediction by means of seismological methods show that we can achieve some successes of predicting strong earthquakes by use of preparation gaps. First, we can draw primary gaps on the epicenter distribution pictures on small earthquakes. Then we find out the preparation gaps based on some criteria and evaluate the magnitude, time and location of future earthquake from emperical formulars. But we will meet the problem of false prediction of earthquake. In this paper we study the false prediction of earthquake by applying preparation gap.It is found that unload earthquakes occurred in the neighbourhood of a preparation process of earthquake. So that no following earthquake will occur within the preparation gap. we sum up some characteristics of unload earthquakes and evaluate the effects to reduce false palse prediction of earthquakes from them. It is possible that the unloading role may be used to explain the phenomena of other precursors of no following earthquake.