

地震危险区的确定和检验方法

秦保燕 姚立珣

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

区域应力场在一定时期内是比较稳定的。尽管大陆地壳存在着不均匀性,存在着断裂带和破碎区,但在稳定的区域应力场作用下,很难由地震活动显示出局部介质强弱区的差异。但是,在一次大地震发生之后,它的能量就会向邻近地区传递,在这种附加力源的作用下,周围不同地区就会显示出地震活动的差异。在介质强度低、岩石较破碎的地区就会发生较多的中、小地震,而在介质强度高、岩石较完整的地区就不容易发生中、小地震,这样就可能形成地震空区或空段。根据这些地震空区或空段我们可以初步确定未来大震的危险区。地震危险区确定之后,我们还可以利用附近再次发生的中、强地震对空区或空段进行检验,以检查地震空区或空段存在的真实性,提高可信程度。

本文总结了1966年邢台地震之后中国发生的几次大地震资料,结果表明,用上述方法确定地震危险区比较客观,可靠性较强。

引 言

1983年本文作者曾提出一种地震危险空区的动力检验方法^[1]。该方法认为在一个稳定的变化不大的区域应力场作用下,震源区以及附近要在较短时期内显示地震活动性差异是比较困难的。因而提出把大地震发生作为一种快速作用的力源,然后观察在这种力源作用下的地区其地震活动反映。如果被作用地区有震源存在,由于震源区和其附近的应力调整区介质强度、完整性以及应力水平的差异,在上述动力源作用所引起的附加应力场和原来的稳定的基本应力场共同作用下,快速调整运动所引起的地震活动将能够反映震源区和周围调整区的差异。这种方法的优点是可以间断地通过多次大震所引起的周围地区地震活动对地震危险空区进行多次检验。在文献[1]仅讨论了少数几次大震,因为所取的震级下限较高($M_s = 4.7$),地震资料少。本文按照文献[1]的思路探讨了震级下限较低情况下这种方法的适用程度,通过对1966~1976年最近这一次中国大陆地震高潮期的检验,我们发现,动力检验法可降低地震震级下限来做,特别是对于地震活动水平较低的地区。震级下限的下降使小震的资料量大大增加,因而对危险空区确定的可靠性有相应提高,同时还可进一步根据中小地震分布确定较具体的震源区。值得指出的是,大地震的附加动力源作用,只有在地震活动高潮期才变得比

较显著。这是因为在地震活动高潮期，整个区域应力水平较高，形成应力集中的地区较多，这时外来的触发力就能起作用。而在地震活动平静期，由于整个区域的应力水平较低，外来的触发力不足以引起地震，这时大地震的动力作用就不显著了。所以，我们主要研究中国大陆第四次地震活动高潮^[2]（1966—1976年）中大地震的动力作用及由此确定地震危险区的可能性。

一、华北地区和西南地区大地震的附加动力作用及危险区的确定

自1966年邢台7.2级地震之后，华北地区进入地震活跃期，图1给出了1966年4月份之后华北地区的地震分布。由图1可以看到，1966年邢台地震之后，特别是1969年渤海地震之后，华北地区的地震活动显著增强。以邢台地震和渤海地震为附加动力源，研究这二次地震之后华北地区的地震活动，我们发现，中小地震活动在邢台地区、海城地区和唐山地区形成三个密集区。此外，还有一些地震分布在山西地震带和阴山—燕山地震带，但比较零散，没有形成小震密集区。

在上述三个小震密集区中，邢台属于老震区，再次发生大震的危险性不大。海城地区和唐山地区历史上未发生过强震，这时出现较强的地震活动，是值得注意的地方。

西南地区，主要指南北地震带中南段。在1970年通海地震之后，该区进入地震活动高潮期。我们以1970年1月5日通海7.7级地震为附加动力源，研究该区在通海大震后的地震活动特征（图2）。在研究四川地区地震活动特征时，除用通海大震作为附加动力源外，还用1973年炉霍地震（ $M=7.9$ ）作为附加动力源（图3）。

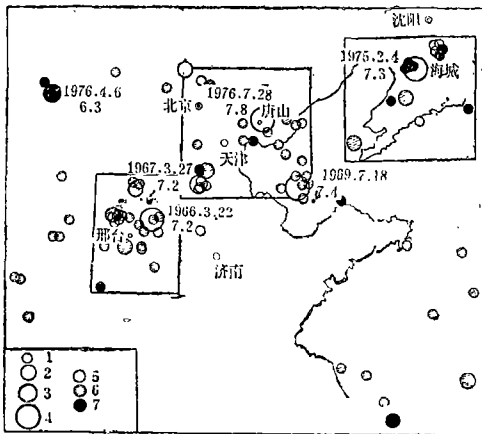


图1 1966年邢台地震和1969年渤海地震之后华北地区出现的三个地震活动区
 1. $M=4.0-4.9$ 2. $M=5.0-5.9$ 3. $M=6.0-6.9$
 4. $M=7.0-7.9$ 5. 1966年4月—1969年7月
 6. 1969年7月—1975年2月 7. 1975年2月—1976年7月

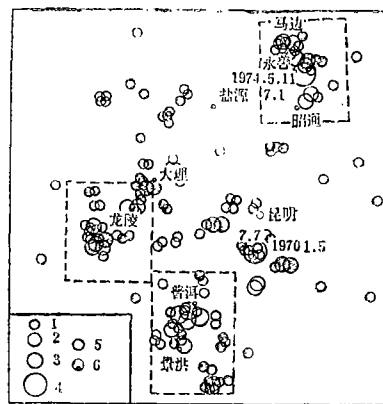


图2 通海地震后的地震活动所显示的三个地震危险区
 1. $M=4.0-4.9$ 2. $M=5.0-5.9$
 3. $M=6.0-6.9$ 4. $M=7.0-7.9$
 5. 1970年1月5日—1974年5月11日
 6. 1974年5月11日—1976年5月

Fig.1 Three seismic active regions after Xingtai earthquake (1966, $M=7.2$) and Bohai earthquake (1969, $M=7.4$)

Fig.2 Three seismic risk regions shown by the seismic activity after Tonghai earthquake ($M=7.7$) in 1970

由图2可以看到, 通海大震发生之后, 在思茅地区、龙陵地区和永善地区地震活动明显增强。此外, 在1925年大理地震 ($M=7$) 的老震区及其附近, 也出现地震活动, 但远没有上述三个地区地震活动集中。

由图3可以看出, 在1973年炉霍7.9级地震发生之后, 川滇地区的地震活动主要集中在康定地区、大理地区、永善地区、松潘地区。由于康定地区及其附近在1948年和1955年分别发生过7.4级地震和7.5级地震, 大理地区在1925年也曾经发生过7.0级地震。因此, 现在出现的地震活动属于老震区的地震活动, 这些地区再次发生大地震的可能性较小。永善地区和松潘地区历史上没有发生过强震, 发生大地震的可能性较大, 可确定为地震危险区。此外, 用1970年通海地震为附加动力源研究炉霍地震前的地震活动特征, 在一定程度上也能够确定炉霍大震的危险区。

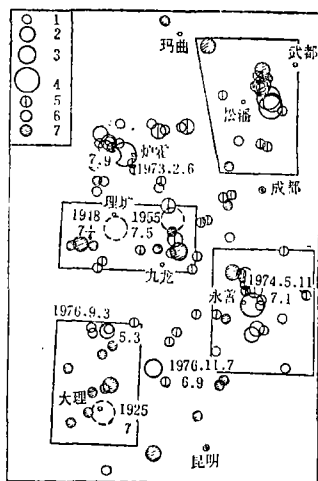


图3 1970年通海地震、1973年炉霍地震后的地震活动显示的地震危险区

1. $M=4.0-4.9$
2. $M=5.0-5.9$
3. $M=6.0-6.9$
4. $M=7.0-7.9$
5. 1970年1月—1973年2月6日
6. 1973年2月6日—1974年5月11日
7. 1974年5月11日—1976年8月

Fig. 3 The seismic risk regions shown by the seismic activity after the Tonghai earthquake (1970, $M=7.7$) and the Luhuo earthquake (1973, $M=7.9$)

综上所述, 我们用已发生的大地震作附加动力源, 所确定出的未来地震危险区大都是历史上没有发生过大地震, 而在附近大地震所产生的动力作用下出现较显著的地震活动的区域。

二、地震危险区的动力检验和震源区的确定

上述地震危险区的范围是比较大的。为了具体估计未来地震的大小和位置, 我们还需要对每一个地震危险区进行详细研究。主要是对已经划定的地震危险区, 进一步研究中、小地震所形成的空区或空段。如果附近再次发生大地震, 则利用再次发生的大震进行动力检验, 以确定空区、空段的存在及其动态变化。经过不断地检验, 找出空区或空段上中、小地震活动频繁的地区作为应力调整单元, 进一步可以确定应力积累单元, 从而较准确地确定未来地震的位置和强度。

我们用这种方法对上述地震危险区进行检验后, 发现它们大体可以分为三种类型。下面分别类型举例说明。

(1) 震前存在明显的地震空区并能用组合模式确定出应力调整单元和应力积累单元。属于这一类型的地震有永善地震、龙陵地震、唐山地震和松潘地震。

1970年通海地震之后, 永善地区地震活动逐年增强, 出现了地震空区(图4)。在此期

间，永善北面的马边在1971年和1973年发生了二次地震群，最大震级达5.8级。永善之南的大关、昭通地区在1973年4月22日发生过二次5级地震。可以把以上两个中小地震活跃的地区视为应力调整单元，中间的地震空段为应力积累单元，空段长度为90公里，根据文献〔3〕所给出的公式估计地震震级为7.4级，这与实际发生的地震基本相符。

龙陵地震前的空区，也是1970年通海地震之后形成的（图5）。龙陵西北为腾冲震群区，从1973年到1976年该区发生过多4~5级地震。龙陵东南为耿马老震区，1941年在这里发生过7.1级强震。以上两个地区介质都比较破碎，可以视为应力调整单元，中间为应力积累单元，积累单元长度约130公里，经计算震级为7.7级，实际发生的地震为7.3级和7.4级。

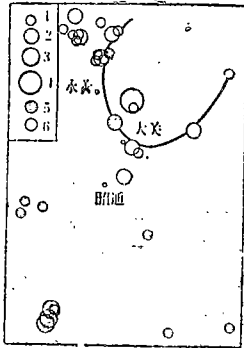


图4 1971年5月永善7.1级地震前的空区
 1. M=4.0—4.9 2. M=5.0—5.9
 3. M=6.0—6.9 4. M=7.0—7.9
 5. 1965年—1970年1月5日
 6. 1970年1月5日—1974年5月11日

Fig. 4 Seismic gap before the Yongshan earthquake (1974, M=7.1)

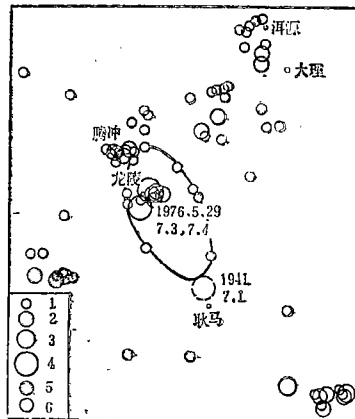


图5 1976年龙陵7.3、7.4级地震前的空区
 1. M=4.0—4.9 2. M=5.0—5.9
 3. M=6.0—6.9 4. M=7.0—7.9
 5. 1965年—1970年1月5日
 6. 1970年1月5日—1976年5月

Fig. 5 Seismic gap before the Longling earthquake (1976, M=7.3, M=7.4)

在历史上唐山地区地震活动一直比较弱，1969年渤海地震之后，该区出现较强的地震活动，1972年以后逐渐形成地震空区（图6）。1975年海城7.3级地震之后，唐山地震空区更加完善。该空区长度约130~150公里。在此期间位于唐山东北部的滦县、昌黎一带发生过多3~4级地震，位于唐山西南的宁河在1974年12月15日和1975年12月1日也发生过两次4级地震。可将以上两个地区视为应力调整单元，中间为应力积累单元，其长度为90公里，相应震级为7.5级，略小于实际地震。

图7是松潘地震前M≥4级地震的震中分布，图中也画出了松潘地震前小震空区的位置〔4〕，由图7可以看到，在1973年炉霍地震之前，该区地震主要沿北北东向和北西向两个条带分布。在此期间松潘—平武地区小震空区不明显。在1973年2月炉霍地震之后，松潘地区的地震沿北北东向地震带分布，北西向地震带上没有地震活动，且在茂汶—南坪地区出现地震空区。空区北端的南坪地区多次发生中强震，最大震级为6.3级（1973年8月11日），空区南端的茂汶地区为1933年7.5级地震的老震区，这次也出现4级地震活动。以上两个地区可以作为松潘地震的应力调整单元，它们中间为应力积累单元，长约110公里，为松潘7.2级地震的震源区。

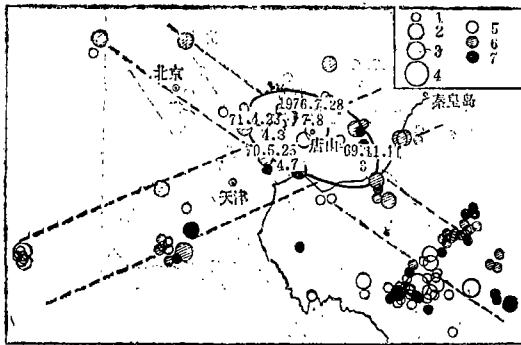


图6 1976年唐山7.8级地震前的空区

- 1. M=3.0-3.9
- 2. M=4.0-4.9
- 3. M=5.0-5.9
- 4. M=7.0-7.9
- 5. 1969年-1971年
- 6. 1972年-1975年2月4日
- 7. 1975年2月4日-1976年7月

Fig.6 Seismic gap before the Tangshan earthquake (1976, M=7.8), the dotted line shows two seismic belts before the Tangshan earthquake

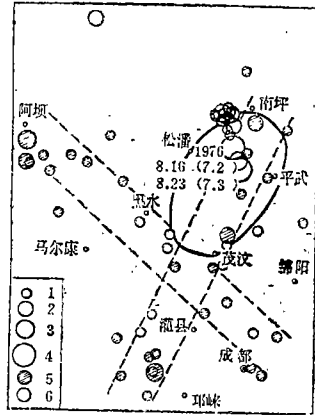


图7 1976年松潘地震前的地震活动带和空区的位置

- 1. M=4.0-4.9
- 2. M=5.0-5.9
- 3. M=6.0-6.9
- 4. M=7.0-7.9
- 5. 1965-1973.2
- 6. 1973.2-1976.8

Fig.7 Seismic gap and seismic active belts before the Songpan earthquake (1976, M=7.2)

由上述四次大震的震例可以看到，地震之前空区都是比较明显的，由地震活动性确定的应力调整单元基本上位于大震发生后余震区的两端，且与文献〔2〕给出这几次大地震的断层走向大体一致。由空区的尺度或者两个调整单元间的距离可以较好地估计地震大小。

(2) 震前空区不明显，应力调整单元也不易由地震活动性确定，但从地震活动条带上所显示的地震活动空段也可以估计未来地震的地点和强度。

炉霍地震和海城地震属于这一类型，图8和图9给出了这两次大震前的小震分布，由图8可以看到，从1965年到1970年1月通海地震之前，该区的地震主要沿北东向和北西向二条地震带分布。1970年通海地震之后，北东向地震带上地震活动变弱，与此同时，北西向地震带上的地震活动加强，在道孚附近发生多次4级地震，并在炉霍地区显示出地震活动空段。虽然由图8不能得到地震空区，但这种地震条带活动的异常变化以及地震活动带上的空段为我们确定未来的震源区提供了依据。

图9是1975年海城7.3级地震前的地震分布。1965年1969年7月海城地区地震相当少。1969年7月渤海7.4级地震发生之后，辽东半岛出现比较频繁的地震活动。从1969年到1972年地震活动沿辽东半岛形成北东向地震活动带。在条带北部即辽阳以北，地震较少，而在南部地震较频繁且强度较高。在1973年之后，地震活动主要集中在条带北部，发生了辽阳震群和参窝水库群震，在条带南部地震则较少。在海城及其以北地区形成地震空段，长约90公里，相当于7.4级地震。

(3) 有些地区在大地震动力源作用下出现较强的地震活动或震群活动，但没有明显的空区或空段。这些地区不会发生强震(M≥7.0)。属于这一类型的有思茅-普洱地区的震群活动。

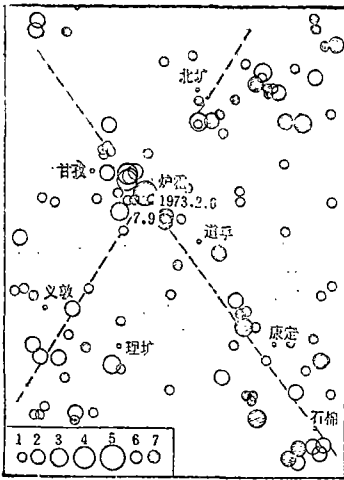


图8 1973年炉霍7.9级地震前的地震活动条带及空段
 震活动条带及空段
 M = 3.0-3.9 2.M = 4.0-4.9 3.M = 5.0-5.9
 4.M = 6.0-6.9 5.M = 7.0-7.9
 6.1965年1月-1970年1月5日
 7.1970年1月5日-1973年2月6日

Fig.8 Seismic active belts before the Luhuo earthquake(1973, M=7.9) there was a seismic gap from Luhuo to Ganzi

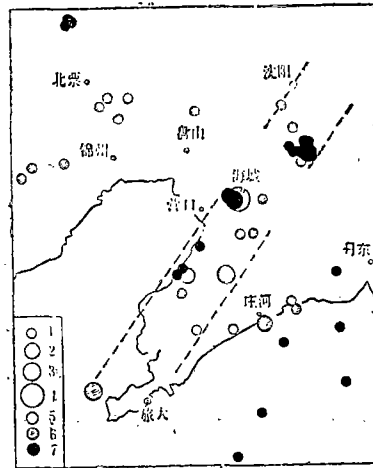


图9 海城地震前的地震活动带
 1.M = 3.0-3.9 2.M = 4.0-4.9
 3.M = 5.0-5.9 4.M = 7.0-7.9
 5.1965年-1969年7月 6.1969年7月-1972年
 7.1973年-1975年2月

Fig.9 seismic active belt before the Haicheng earthquake (1975, M=7.3) It is seen that the seismic activity was alternatly in southern and nouthern segments of the belt

图10给出了思茅—普洱地区的地震序列图，1969年之前该区地震活动比较弱，1970年1月通海地震发生之后，思茅—普洱地区相继出现多次震群活动，每次震群活动都发生多次5~6级地震，其中最大震级达6.8级。由图10可以看出，活动高潮期主要发生在1970—1976年，其次为1978—1979年。这里的地震活动表明，该区介质比较破碎，难于积累起较大的能量。尽管在1970年通海大震后触发起这里的地震活动，並出现中、小震活动高潮，但没有形成空区或空段，发生强震的可能性较小，实际上这里发生的最大地震是6.8级。

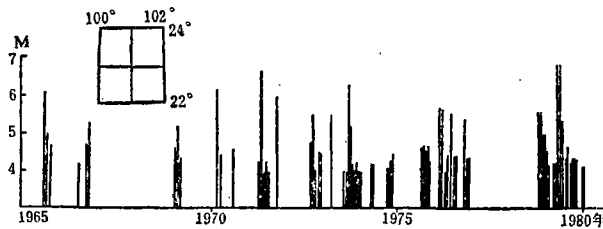


图10 普洱—思茅地区地震序列图
 Fig.10 Seismic sequence in Puer-Simao region

上述事实表明，用已发生的大地震产生的动力确定地震危险区后，再不断地对危险区进行动力检验，就能较准确地确定震源区。虽然有的地震，如海城地震、炉霍地震的震前空区不易确定，但也能够由地震条带上地震活动的变化所显示的空段确定未来地震的位置和强度。

三、结 论

1. 在文献〔1〕中，我们用大地震作附加动力源讨论了察偶、当雄8级大震前的空区特征及震源区的确定。结果表明，8级大震前空区形成的时间较长，尺度较大，一般在20~30年前就显示出空区图象。在此之后，每当邻近地区发生大地震时，都可以对空区进行检验，最后得到可靠的地震空区。8级大震前的空区形状和大小常随时间而变化。本文研究的地震震例表明，大多数地震之前都存在着空区或空段，对于7—7.9级地震空区形成的时间比较短，一般在震前3~5年，空区尺度也比较小，基本上与震源体尺度相近，因此利用空区大小可以估计未来地震强度。

2. 上述7—7.9级地震空区的位置有的位于地震活动带的交汇区附近，如唐山地震、松潘地震空区；有的位于地震活动带上，形成空段，如海城地震、龙陵地震、炉霍地震。这些空区或空段主要是在附近大地震附加动力源的作用下显示出来的，它们位于介质较坚硬的区域。在用邻近再次发生的大震进行动力检验时，可以使空区更加完善可靠。由空区或空段的位置和尺度可以粗略地确定未来地震的地点和强度。

3. 由图2和图3可以看到，一个7级强地震的动力作用范围是比较大的。从本文的震例可见，最远可达1000公里左右。由于地壳介质的不均匀性以及各地区的应力状态不同，大地震对各个方向的动力作用是不相同的。从本文结果看，沿着构造带的方向动力作用明显，在其它方向则不明显。通海7.7级地震发生后，基本上沿南北地震带的方向相继发生了炉霍地震、永善地震、龙陵地震和松潘地震。其它方向没有发生7级和7级以上的地震，邢台地震后，沿北东向构造带发生了一系列大震，如渤海地震、海城地震、唐山地震等。在其它方向也没有发生大于或等于7级的地震。

4. 用已发生的大地震产生的动力作用来确定危险区和震源区的方法，有较明确的物理意义。用大地震发生的时间作为研究空区、空段及地震活动图象变化的起始时间，避免了人们在确定空区时人为取时段的主观性，突出了地震活动图象变化与外部附加动力作用的关系。由本文震例可以看到，用已发生的大地震作动力源检验地壳稳定性来确定地震危险区的方法是可行的，至少对于7级以上地震可以应用。当一个大地震发生之后，只要不断检验周围地区的中、小地震活动情况，就有可能判断出地震危险区，并能较准确地给出未来地震发生的地点和强度。这样就地地震迁移、地震空区和地震动力作用有机地联系在一起。

(本文1986年5月20日收到)

参 考 文 献

- 〔1〕秦保燕等，大震前震源区的确定与大空区形成的物理机制，西北地震学报，Vol. 5, No. 2, 1983.
- 〔2〕马宗晋等，中国九大地震，地震出版社，1982.
- 〔3〕郭增建等，震源孕育模式的初步讨论，地球物理学报，1973.
- 〔4〕罗灼礼等，1976年松潘7.2级地震主要预报依据的审查及前兆异常特征的讨论，地球物理学报，Vol. 27, No. 8, 1984.

A METHOD OF DETERMINING AND EXAMINING EARTHQUAKE RISK REGION

Qin Baoyan and Yao Lixun

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau*)

Abstract

A method of determining and examining earthquake risk region has been developed in this paper. After a strong earthquake, the energy propagated to the neighbourhood. It will become a triggering force to another earthquake in neighbouring region. Under the effect of the triggering force, the small and moderate earthquakes may easy occur in the low strength medium region, but in the high strength medium region the earthquake isn't easy to occur. Thus, the seismic gap may be shown by the small and moderate earthquakes. The high strength region (or seismic gap) can be regarded as future earthquake risk region. We can also examine the truthfulness of the seismic gap using the other earthquakes in succession.