

唐山大震前的地震空区和围空地震的机理*

刘蒲雄

(国家地震局分析预报中心)

摘要

本文通过分析区域小震活动的变异,指出:1)唐山大震前不同震级下限的围空图象,实际上是唐山附近的地震平静和外围三支小震带活动,二者合成的结果;2)空区边缘的应力集中和地震活动增强,主要是断裂带活动的结果。最后用强度和应力分布不均匀的断层模式讨论了围空图象形成的力学过程。

一、引言

大震前的空区图象是相当复杂的,包括围空、空段、地震环和其它多种型式的部分围空。空区图象细节上的差别不仅与构造背景、应力的作用方式等因素有关,而且与分析方法、监测精度和所取震级下限有关。因此,仅仅从形式上认识空区,往往带有较大的不定性。另外,在研究地震空区时,人们多侧重于在直观图象所勾划出来的空区基础上,研究空区内外一定区域的地震活动性参数的变化。无疑,这方面研究对于判别与大震孕育有关的空区是重要的。但是,从统计上、经验上找到的指标,有时因判据不够明确而难于在地震预报中实施。

本文利用京、津、唐地区,1966年以来的微震观测资料,以唐山大震为例,试图从另一个侧面,即通过分析围空地震的机理,来认识大震前围空图象的形式和它的物理实质。

二、唐山大震前的地震空区

图1是唐山大震前,华北北部4级以上地震的震中分布。可以看出,以1969年为界,二个时段地震的震中分布是明显不同的。1960年8月至1969年7月渤海地震前,在华北北部形成一个背景性空区(图中虚线所示)。分析表明^[1],背景性空区是7级以上强震前,普遍存在的一种空间特征,其特点是空区由中等强度地震所围或部分所围;空区尺度比震源区的尺度大得多,平均半径约有二、三百公里;空区状态的持续时间为十年左右或更长些,但往往不延续至主震的发生。本文对背景性空区不作进一步讨论。在1969年渤海大震后,背景性空区内部的地震活动出现明显增强。结合其它震例分析认为,这种增强

* 1983年3月25日收到,1983年12月5日收到修改稿。

与渤海大震对邻近应力集中区的影响有关^[2]。罗焕炎等^[3]对华北地区运用有限元方法, 模拟计算了渤海地震的发生对外围应力场的影响。结果表明, 在渤海地震前, 唐山震源区应

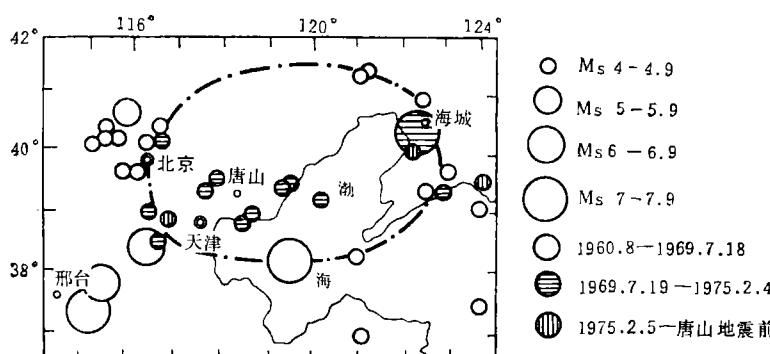


图 1 1960 年 8 月—唐山地震前华北北部地区 4 级以上地震分布

力比邻近地区高一倍左右。渤海地震后, 唐山震源区的应力比邻近地区约高三倍。梅世蓉^[4]认为, 对同一个断裂带, 处于已发生大地震破裂面的延伸方向上的应力集中区, 往往应力进一步增强。

图 2 是背景性空区形成以后, 在空区内部二个时段 $M_L \geq 3$ 地震的震中分布, 这是为进一步搜索在背景性空区内部, 可能存在的大震孕育区。从图中可以看出, 1973 年以后,

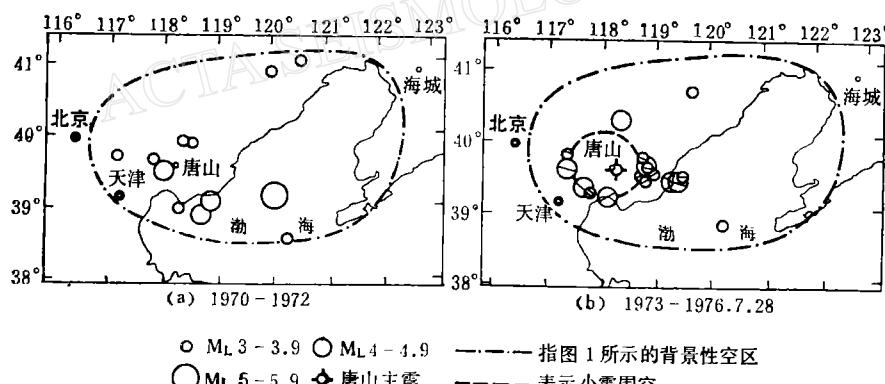


图 2 背景性空区内部二个时段 $M_L \geq 3$ 地震震中分布

(a) 1970 年—1972 年 (b) 1973 年—1976 年 7 月 28 日

地震活动的空间分布更趋集中, 并在唐山附近形成围空。黄德瑜^[5]分析表明, 在这期间该空区内也无 2 级以上地震发生。陆远忠^[6]把落在背景性空区内部的小震围空称为孕震空区。与一般的围空图象相类似, 参加围空的地震并不是均匀地分布于空区的周围。图 2(b)中有的部位地震较为集中, 而在空区的北西和南东边缘地震很少。以下分析表明, 这种不闭合的围空图象的型式决非偶然, 它涉及到围空地震发生的机理。

三、小震条带活动和围空图象形成

图3是京、津、唐地区(北纬 38.5° — 41° ,东经 115° — 120°)自1972年至唐山大震前,不同时段2级以上地震的震中分布,虚线表示相应图2(b)的空区。资料取自国家地震局地球物理研究所汇编的1966年4月以来的北京及邻区地震目录。从图中可以看出,自

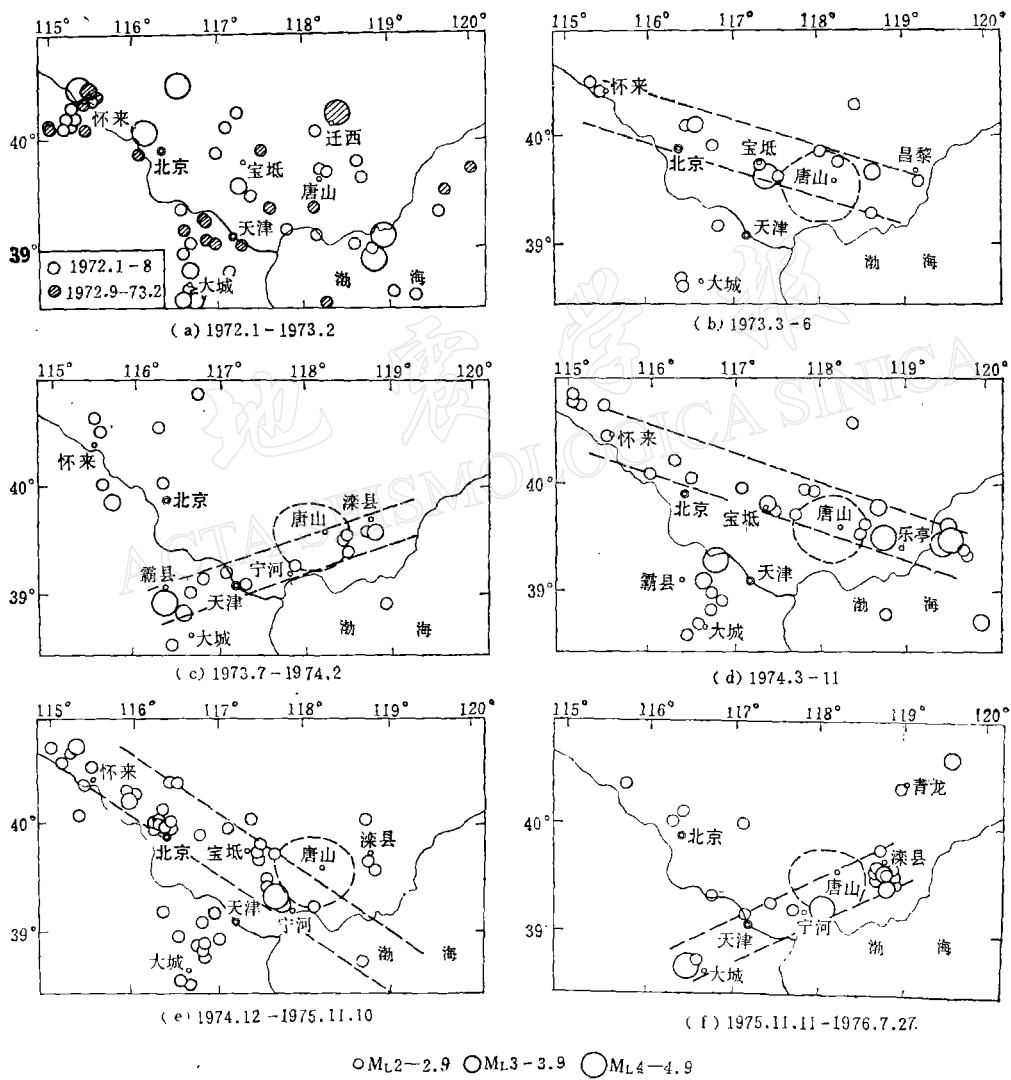


图3 唐山地震前不同时段京、津、唐、渤地区地震震中分布
(虚线指图2(b)所示的围空)

1973年至大震前的3年多时间里,区域地震活动相继以条带活动的形式出现,小震条带的展布方向有北东、北西西和北西三支[图3(b—f)]。分析表明,在1973年以前和1976年唐山大震后,虽然也零星出现过北西和北东小震条带活动,但在通常情况下,区域小震活

动呈现分散、零乱分布[例如图 3(a) 所示, 这里不占更多篇幅详述]. 上述情况是 1966 年以来仅出现的一次.

岩石破裂实验结果表明^[7], 岩石受压过程中, 随着应力的不断增强, 产生的振动源由零散分布逐渐集中于一个或几个有限区域. 由上述对比可见, 1973 年以后, 区域小震活动由原来的零散分布到集中成带, 与岩石破裂实验中微振动的特点有相类似之处. 它可能是应力增长进入高应力阶段后, 破裂发展过程中所显示的特点. 因此, 如果说 1969 年渤海大震, 使得唐山地区的构造应力出现明显增强, 那么, 上述资料说明, 这种应力加强的过程一直在继续和发展. 这与华祥文^[8]、刁桂苓^[9]等得到的 1973 年以后, 小震综合断层面解的矛盾符号比明显降低是一致的.

进一步分析表明, 上述小震条带活动具有以下特点:

1. 小震条带的规模和展布基本上与大的构造断裂带一致: 北西西小震条带与阴山—燕山隆起带的南缘——燕山褶断带基本一致. 在该带以北小震活动稀少. 北东小震条带与沧州—宁河—昌黎的北东断裂带一致. 北西小震条带与渤、张断裂带一致. 马宗晋认为, 该带上每一段断层延伸不长, 但断断续续可以连接成带. 马瑾认为, 这是第四纪以来出现的一系列盆地组成, 沿北西向呈串珠状排列;

2. 沿上述三支断裂带相继活动的小震条带汇于唐山附近, 如图 5(c) 所示. 因此, 围空图象实际上是唐山附近的小震平静和外围小震活动条带二者合成的结果. 空区也是小震活动条带的空段, 而围空地震均发生在小震成带活动时, 其条带与空区的相交部位(见图 3). 由此说明, 围空图象的形式与空区外围断裂带的分布特点密切相关;

3. 这三支小震条带的长度达三百公里左右, 但条带上 3 级以上地震并不是均匀分布的. 1973 年至唐山大震前发生在这三支条带上的 20 次 3 级以上地震, 其中 11 次都集中发生在空区边缘三十公里范围内, 图 2(b) 中圈内的横线表示该地震发生时, 背景小震活动条带的走向. 如果说, 空区边缘较高震级地震的集聚是应力集中的结果, 那么, 从唐山震例看来, 应力集中的机制主要与震源外围断裂带的活动有关. 关于这一点, 下文还要作进一步说明. 由此看来, 在研究地震空区时, 如果仅仅把震源内外介质物理性质的不一致, 作为解释围空的小震活动的模式, 似乎是过于简化. 以上结果与马瑾根据唐山所处的构造部位进行有限单元分析, 认为唐山地震的发生是由于唐山外围一些断层的活动引起唐山附近应力集中的结果是一致的^[10].

综上所述, 1973 年以后, 唐山附近出现地震平静的同时, 较大范围的小震活动由分散状态转为集中沿断裂带活动, 并导致空段附近的应力集中和地震活动增强, 这就决定了如图 2(b) 所示的围空图象的形式. 对于不同震级下限(例 $M_L \geq 2$ 或 $M_L \geq 3$) 的围空图象, 虽然从局部区域的直观图象看来是不同的, 但其实质都是一样的. 至于像茂木清夫所说的环形图象或其它第二类空区的型式是否也属于这种性质的图象, 还有待进一步研究.

四、模 式

造成上述地震活动特征的物理过程是什么? 这是一个十分复杂的问题. 近几年有些作者用强度分布不均匀的断层模式即所谓凹凸点模式来解释大震前地震活动的变化^[4,11,12].

本文根据这个模式的基本设想，并进而考虑到断裂带不同部分应力水平的不同，对上述地震活动图象给予定性的解释。

据前面分析，唐山地震前北东、北西西和北西三支断裂带的活动和由此引起唐山附近的应力集中，对地震活动图象的演变可能起了相当程度的控制作用。暂且考虑一支断裂带的情况，根据介质平均强度和应力水平的不同，可把断裂带分段加以考虑，即落在震源体的部分 III 和外围部分，同时又把外围部分划为 I、II 两部分，如图 4 所示。对于其中的每一部分可以认为，在断层面上分布有大小和强度各异的凹凸点，凹凸点部位及其周围较弱部分的强度也是不一样的。但平均来看，凹凸点部分具有大的强度。为了表示这种非均质断层，假定断层面介质强度呈正态分布，其平均强度为 \bar{s}_i ，标准离差为 σ_i [见图 5(a)]。因为震源介质仅包括个别大的凹凸点和为数不多的小凹凸点，因此相对于外围区域，震源部分其正态分布的均值大，标准离差小；而对于外围部分，设正态分布曲线相同，则有 $\bar{s}_1 \approx \bar{s}_2 \neq \bar{s}_3$ ， $\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$ 。按照这个模式可以得到以下二个阶段明显不同的地震活动图象：

当区域应力随时间增加，但断层面 1,2 应力 $\bar{\tau}$ 不超过 \bar{s}_1 (或 \bar{s}_2) 时，断层面上的一些小凹凸点和断层外围地壳介质的一些薄弱点发生破裂，地震活动分布的总体是分散的，它表示背景活动阶段。但是在这一阶段，可以认为震源区的应力 $\bar{\tau}_3$ 已达到较高的水平，如图 5

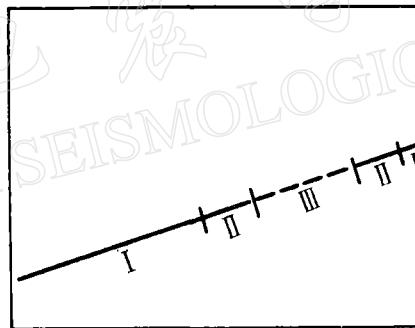


图 4 断裂带分段示意图

所示。随着区域应力的不断增强，当断层面 1,2 上的应力 $\bar{\tau}_1, \bar{\tau}_2$ 接近它们的平均强度 \bar{s}_1, \bar{s}_2 时，大部分小凹凸点开始破裂，若干凹凸点破裂使一些未破裂凹凸点上的载荷急剧增大，破裂的凹凸点便不断增加，从而形成沿断裂带分布的小震活动，并且这种应力传递过程，将导致最大凹凸 (大震震源区) 附近即 II 区的应力集中 (故图中 $\bar{\tau}_2 > \bar{\tau}_1$) 和地震活动增强。与此同时，由于断层运动加剧，将导致区域应力沿断裂带集中以及周围地区应变松弛和地震活动相对平静^[13]。在这个阶段，因为震源和外围区域介质的强度分布和应力水平存在如图所示的差异，因此震源区的地震活动表现为平静。根据以上分析，当存在三支断裂带情况时，第二阶段将出现如图 5(c) 所示的地震活动图象和震源附近的地震围空，这相当于 1973 年至唐山地震前地震活动的总体状况，而 1970—1973 年相当于背景地震活动阶段。

以上给出了该模式的基本性质和由此得到二个阶段地震活动图象的特点。一般说来，北东、北西和北西西三支断裂带的平均强度存在一定的差异，因而小震条带可能出现如图 3(b-f) 所示的交替活动现象。如假设介质强度呈双峰正态分布，则沿断裂带出现

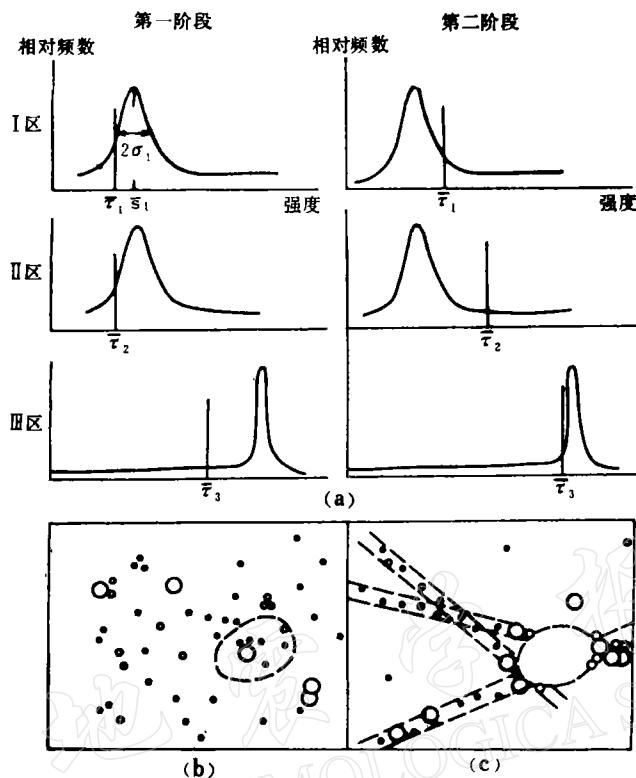


图 5 模式示意图

[图 5(a)表示断裂带不同部分的强度分布和应力水平;图 5(b) (c) 表示据此模式推测的三支断裂带二个阶段的地震活动性图象.]

小震条带活动后,相隔一段平静时期,然后沿该断裂带还会再次出现小震条带活动,但后者的活动强度应比前者高,这就可以理解为什么北西西和北东小震条带活动分别出现二次[图 3(b, d)和图 3(c, f)],且后者活动强度稍高。

五、结语

从较大范围的地震活动性研究地震围空的形成,对于认识围空图象的具体型式和围空地震发生的力学过程是重要的。由于占有资料和各种条件的限制,我们未能收集国内外更多震例进行全面的探讨,作者仅希望以此引起大家重视地震围空图象的细节,以期更深入地探讨大震前地震围空的物理实质。为此,需积累长期的详细的区域小震活动资料。另外中小地震的震源机制资料也是极其宝贵的。

参 考 文 献

- [1] 刘蒲雄、黄德瑜、王立平、王志东、郑大林、冯 浩,大震孕育过程的地震活动图象,国际地震预报讨论会论文集(一九八二年九月,北京),地震出版社,待发表。
- [2] 刘蒲雄,强震前地震活动增强特征,地震,2, 1982。

- [3] 罗焕炎,京津唐渤海及其邻近地区现代构造应力场与地震关系的数字模拟,华北断块区的形成与发展,科学出版社,1980.
- [4] 梅世蓉等,一九七六年唐山地震,地震出版社,1982.
- [5] 黄德瑜,唐山大地震前的地震空区和地震环,地震,6,1981.
- [6] 陆远忠、沈建文、宋俊高,地震空区与“逼近地震”,地震学报,4,4,1982.
- [7] Mogi, K., Laboratory study of elastic shocks prior to rock failure, *EOS*, 50,5, 1969.
- [8] 华祥文,唐山强震前后北京、天津周围地区应力的变化过程,地震学报,2,2,1980.
- [9] 弓桂苓、于新昌,唐山地震前后京津唐张地区的综合断层面解,西北地震学报,2,3,1980.
- [10] 马瑾、张渤海、袁淑荣,唐山地震与地震危险区,地震地质,2,2,1980.
- [11] 宇津德治,地震予知の問題点——総説と二、三の話題,地震予知研究シンポジウム,1980.
- [12] 金森博雄,地震活動と地震予知——南カリフォルニアの例,地震予知研究シンポジウム,1980.
- [13] 陈章立、刘蒲雄、黄德瑜、郑大林、薛峰、王志东,大震前区域地震活动性特征,国际地震预报讨论会论文选(一九七九年四月,巴黎),地震出版社,1981.

A DOUGHNUT-SHAPED PATTERN OF SEISMIC ACTIVITY AND ITS FORMATIVE PROCESS PRECEDING THE TANGSHAN EARTHQUAKE OF 1976

LIU PUXIONG

(Analysis and Prediction Center, State Seismological Bureau)

Abstract

The spatial-temporal variation of seismicity in the wide region surrounding the epicentre of the 1976 Tangshan earthquake ($M_s=7.8$) was examined. It has been pointed out that the pattern described as a seismicity gap or a doughnut-shaped pattern preceding the main shock is practically a partial manifestation for the whole pattern composed of seismically quiet epicentral area and three seismicity bands in the surrounding region, that the stress concentration toward the margin of the quiet area and the increase of seismicity are caused by the movement on the fractured zone. Finally, the mechanical process of the formation of the seismic pattern is explained by using the model of inhomogeneity of intensity and stress distribution along the fault zone.