

唐山7.8级强震前地震波特性的异常变化

冯德益 顾瑾平 盛国英

(国家地震局兰州地震研究所)

敖雪明

赵 兵

(新疆维吾尔自治区地震局) (青海省地震局)

一、前 言

1976年7月28日唐山7.8级地震是发生在我国地震台网及前兆观测台网较密的地区,认真分析这次强震前出现的各种前兆异常现象,对于地震预报研究工作无疑有较大的实际意义。本文试图探讨此次强震前通过孕震区的地震波运动学特性及动力学特性的某些前兆异常变化,为此,我们收集了河北、北京、天津、山东四个区域地震台网及国家地震局地球物理研究所有线传输台网所属的五十多个台自1970年以来记到的唐山震区及其外围地区地震的 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ 波到时及振幅资料,分别用几种不同的方法研究了这一地区波速、波速比及振幅比的前兆异常变化。

二、唐山地震前的波速异常

由于大范围内地震震中位置的不同及各台站的工作状况有差异,在计算各次地震的波速及波速比时,选用的台站也往往有所不同。 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ 波到时的量测误差不超过0.3—0.5秒,各台的相对钟差估计一般不超过0.5秒。为了消除某些误差较大的资料混入后的影响,我们按一定标准(和达图法、可疑值的统计舍弃法等)对原始资料进行了必要的筛选,同时还对计算结果作了一些统计处理。从探索波速异常的目的出发,用三种不同的方式分别研究了波速比、和达曲线曲率系数以及P波速度在这次强震前的异常变化。

1. 平均波速比的异常变化 用最小二乘法分别算出1970年以来唐山周围地区多次地震的平均波速比后,便可得出异常的平面分布,如图1所示。由该可图以看出,波速异常呈现低值的地震分布在一个较大的异常区(视波速比异常区)内,7.8级地震的震中位于该异常区的东南部。为了突出波速比异常点较多的地区,还划出了一个范围较小的明显异常区的大致边界。

*兰州地震研究所钟廷蛟、罗瑞铭二同志参加了本文中的部份计算工作。

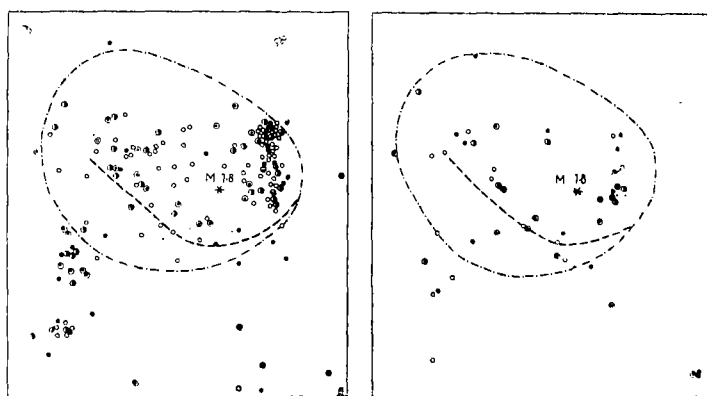


图1 唐山地区及其外围地区波速比的平面分布

图2给出了视波速比异常区内波速比随时间的变化过程。图中的 $\bar{\gamma}$ 一般为按月平均的波速比值，若某个月仅发生1—2次地震，就再与相邻月份的地震加起来作平均。横线段表示平均时所取的时间区间，竖线段表示均方根误差。由于资料欠缺，1970年以前波速比的变化情况难于得出，更无法求出其出现异常以前波速比的正常值或基值。为了对比分析，我们把图1所示的异常区外围63次地震的波速比进行平均，得出 $\bar{\gamma}_0 = 1.765$ ，并把这个 $\bar{\gamma}_0$ 值作为

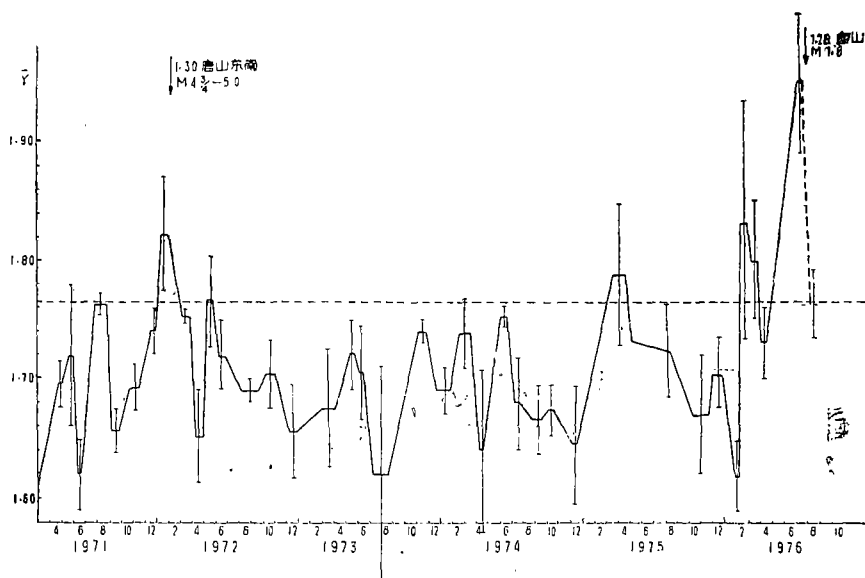


图2 唐山地震前平均波速比随时间的变化

该地区正常期波速比的一个参考基值。由图2可以看出，波速比在1970年以前就开始呈现异常，1972年1月恢复到参考基值以上，并伴有一次 $M = 4 \frac{3}{4}$ 级地震；此后，波速比继续异常，直到1976年2月以后明显急剧回升，以致临震前达到 $\bar{\gamma} = 1.95$ 左右的高值。

从波速比恢复到正常值以上的1972年1月算起，到主震发生为止，经过了四年半左右

的时间,按照文献[1]中给出的经验公式可推算出主震震级应为7.8级。从视波速比异常区大致范围可得出异常区的短半轴 b 约为85—90公里,按文献[2]的经验公式推算出震级应为7.2。所以用前一种方法算出的震级与事实相符,后一种则略偏小。

2. 和达曲线曲率系数的异常变化 用文献[3]中的和达曲线二次逼近法,计算了唐山周围地区一些地震的和达曲线曲率系数 β 。结果如图3、4所示。可以看出, $\beta \leq -0.01$ 的



图3 唐山地区及其外围地区和达曲线曲率系数 β 的平面分布(1970.1—1974.12)

地震主要分布在一个与图1中的波速比明显异常区大致相符的和达曲线曲率系数异常区内。图4为该异常区内和达曲线曲率系数随时间的变化曲线,图中竖线段表示曲率系数 β 值的计算误差。由图4可知,唐山7.8级地震前该和达曲线曲率系数有较明显的异常变化,最大异常幅度超过了 $\beta = -0.05$;震前则是振荡式回升,并达到 $+0.03$ 的高值。从1970年5月恢复到超过基值($\beta = 0$)时算起,到主震发生之间的时间间隔约为2250天,按[3]中给出的 $\Delta T_{1\beta}$ 随 M 变化的经验关系图可以得出,主震的震级应大于7.3。

3. 纵波速度的异常变化 为了探索纵波速度 V_p 在震前的变化,采用了一种利用5个以上 $\bar{P}$ 波到时资料同时确定近地震震源参数(震中位置、震源深度及发震时刻)与波速的计算方法。此方法的基本思路是先求

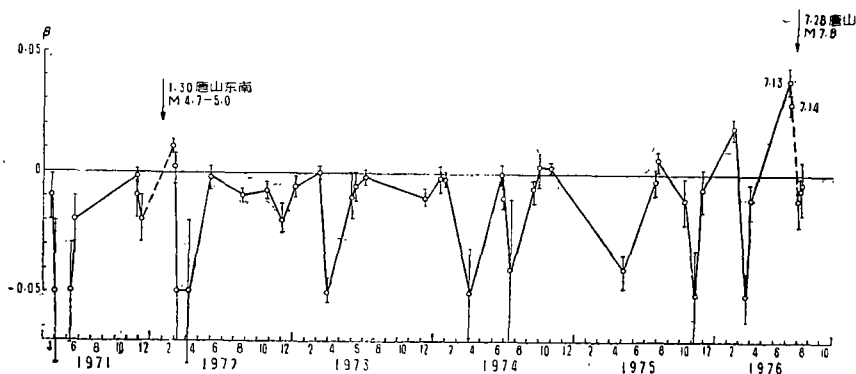


图4 唐山7.8级地震前和达曲线曲率系数 β 随时间的变化

计出一组较适当的初值,然后用循环优化迭代法解以下残差方程:

$$F(\varphi, \lambda, t_0, h, V_p) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left((t_i - t_0 - \frac{\sqrt{\Delta_i^2 + R^2}}{V_p})^2 \right),$$

式中 φ, λ 为震中经纬度, t_0 为发震时刻, h 为震源深度, V_p 为P波速度; Δ_i 为各台的震中距,由相应的球面三角公式算出。五个震源参数的综合计算精度可通过最终的 F 值来估计,各参数的测定误差也可用相应公式分别算出。

本文所用的计算结果对应着 $F < 2 \text{秒}^2$,相应的纵波速度计算误差小于0.3公里/秒。纵波速

度异常区范围与图1所示的波速比异常区范围基本相符,该异常区内纵波速度随时间的变化如图5所示。由于缺乏1970年以前的资料,我们只能以外围地区多次地震速度平均值6.20公里/秒作为参考基值。此外,可计算出纵波速度的地震数目较少,不能按月平均,因而纵波速度随时间的变化起伏性较大,也很难和平均波速比异常曲线完全对应。由图5可以看出,从1970年到1974年,纵波速度有明显异常,绝大多数地震的纵波速度低于6.20;1975年曾有一度回升,然后又再次出现异常,直到临震前才恢复。

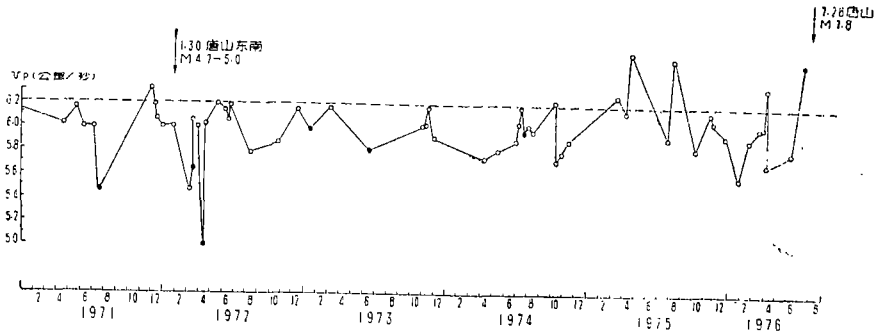


图5 唐山地震前纵波速度时间的变化

为了论证纵波速度异常,首先作纵波速度统计分布图,即图6。图中 $\Delta n/n$ 为 V_p 介于 $V_p - \Delta V_p$ 与 $V_p + \Delta V_p$ 之间的地震次数选用所占的总地震次数的百分比。异常区内地震的纵波速度分布与外围正常区内纵波速度分布有明显的区别,异常区内地震的纵波速度分布的峰值明显偏低,且分布区间较宽。除此之外,1975年1月以后异常区内地震的纵波速度分布与1974年12月以前的分布也有一定差别,其分布范围是向高值方向移动,但差别不是特别显著。第二种方法是作t检验。由外围正常区内的46次地震可得 $\bar{V}_{p1} = 6.20$ 公里/秒,标准离差的平方 $S_1^2 = 0.0679$ 公里²/秒²,由1974年12月以前异常区内的50次地震得 $\bar{V}_{p2} = 5.93$ 公里/秒,标准离差的平方 $S_2^2 = 0.0842$ 公里²/秒²;于是可以计算出统计参量 $t = 4.82$ 。对显著性水平 $\alpha = 0.190$,查t分布表可得 $t_{0.001} = 3.55$ 。由于 $|t| > t_{0.001}$,故应否定 $V_{p1} = V_{p2}$ 的假定,即异常区内的

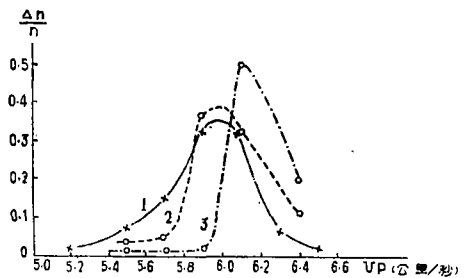


图6 唐山地震前异常区内两个时间段及外围正常区内 V_p 的统计分布

纵波速度 V_p 与外围正常区内的纵波速度 V_p 在统计上有显著的差别。如果把异常区内1975年1月以后的地震的 V_p 与1974年12月以前的地震的 V_p 作比较,则可算出统计参量 $t = 1.86$ 。对显著性水平 $\alpha = 10\%$ 查t分布表得, $t_{0.10} = 1.67$ 。由此可以看出, $|t|$ 略大于 $t_{0.10}$,即异常区内纵波速度在1974年12月以前及以后虽在统计上也有一定的差别,但这种差别不太显著。

三、唐山地震前的 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 波振幅比异常

以文献[5]中的理论分析为基础,我们探讨了唐山地震前震中地区及外围地区 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$

波垂直向位移最大振幅的比值随时间及空间的变化。选用地震的震级一般为 $M_s = 1.0 - 4.0$ ，振幅的量测误差不超过0.2—0.3毫米。用作分析研究的 A_s ， A_p 要求大于1毫米，多数情况下大于3毫米。由于振幅比依赖于震源机制、震中距、台站方位等方面的因素，我们必须固定台组来对某些地震进行观测；同时，为了消除种种误差，需作必要的统计平均处理。为此，我们把唐山及其外围地区按半度的步长分为小块，求出西北方向的车尔营（停台时以龙泉寺代替）、马道峪、平谷、周口店四台记到的每一小块内的每次被选中的地震的 $\overline{S}$ 、P波振幅比 $A_{s,i}/A_{p,i}$ ，再求出四台的平均值 $A_{s,0}/A_{p,0}$ ，然后取一定时间段内发生的地震对应的振幅比平均值来进行分时段平均，即得各小方块在不同时间段内的振幅比均值。

实际计算结果表明，唐山地震前震中附近有一个振幅比相对低的异常区，该异常区内的振幅比在1974年7月以后有所回升。振幅比的平面分布情况见图7，图中各经纬度小分区上边的数值表示从1970年1月到1974年6月期间的振幅比均值，下边方框内的数值表示从1974年7月到1976年7月期间的振幅比均值。可以看出，在1974年6月以前，北纬39.5°度以北存在着一个振幅比相对低值区，该区内的 $\left(\frac{A_{s,0}}{A_{p,0}}\right)_{i,j} < 2.60$ ，图中标出了这个低值区内的部份边界；由于资料所限，另一部份边界未能划出。从1974年7月到1976年7月，除7.8级主震震中所在的那个小方块仍然处于低振幅比状态之外，原低值区的其它分区内振幅比均有所增加。从1970年1月到1974年6月，整个低值区内的振幅比总平均值为2.10，而图7中的南部外围地区的

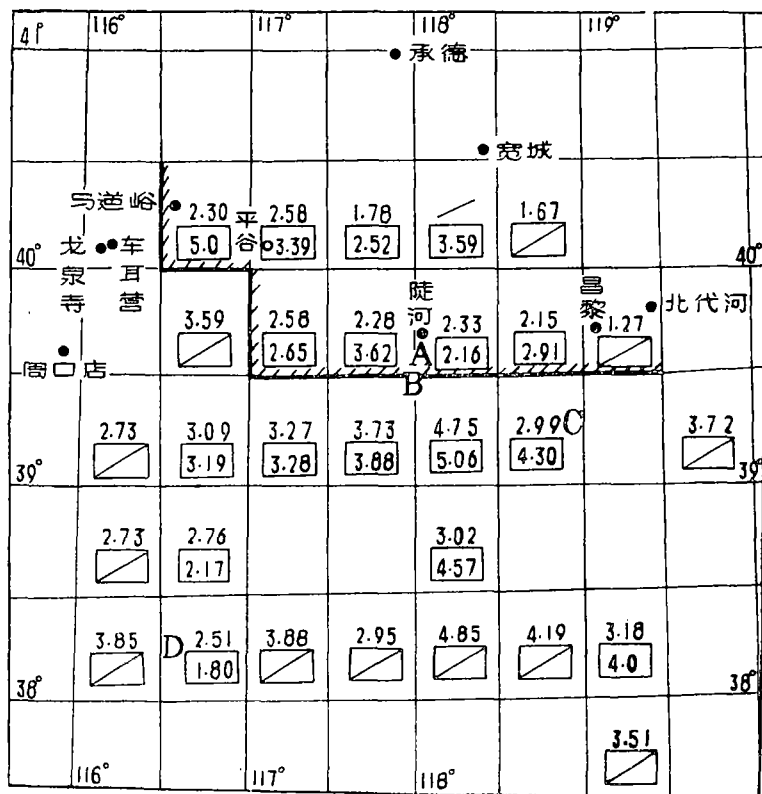


图7 唐山地震前振幅比的平面分布

振幅比总平均值为3.44; 从1974年7月到1976年7月, 原低值区内的振幅比总平均值上升到3.23, 而南部外围地区却仅变化到3.58。

振幅比随时间的变化特性依赖于台站方位以及组合方式。由东北方向的陡河、宽城、承

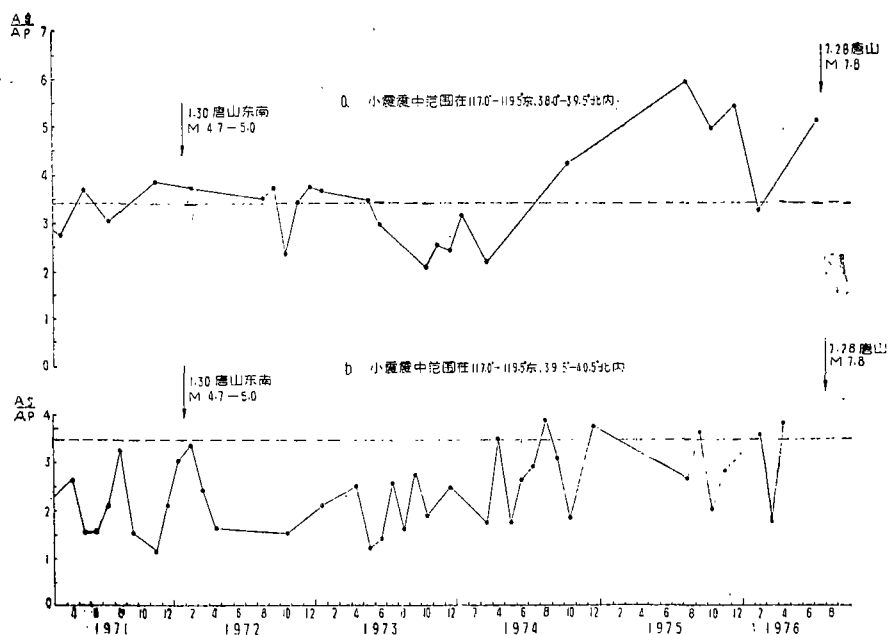


图8 唐山地震前振幅比随时间的变化

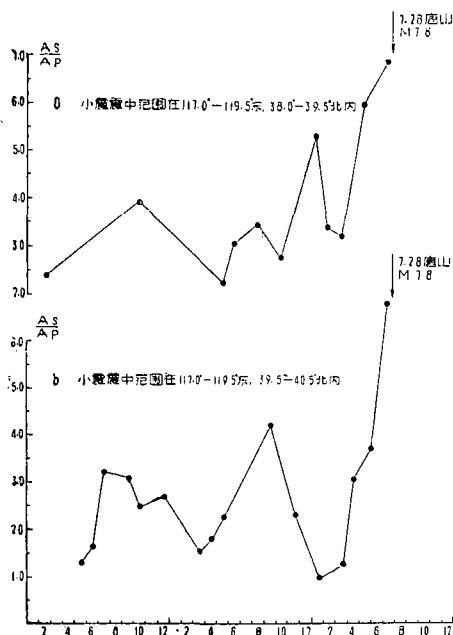


图9 陡河、宽城、昌黎、北戴河、承德等台记到的 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 波平均振幅比月均值随时间的变化

德、昌黎、北戴河等台资料平均得出的同一地区的振幅比随时间的变化如图9所示。可以看出, 上面研究过的北部低值区的振幅比总的仍比南部外围区偏低, 而且这两个区的地震的 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 波振幅比在震前几个月内均要明显急剧上升。我们还把东北方向台组的振幅变化特性与西北方向台组作了比较(西北方向台组的振幅比随时间的变化特性见图8)。二者各不相同, 而且在某些时期它们的变化甚至相反。

四、初步结论与讨论

1. 在唐山7.8级强震前, 该地区平均波速比、和达曲线曲率系数及纵波速度都有较明显的前兆异常变化。纵波速度异常区范围与波速比异常区范围基本相符, 而和达曲线曲率系数的异常区范围略小, 大致与波速比

的明显异常区范围相符。

2. 波速异常起始时间应在1970年以前, 由于资料所限, 具体起始时间难于确定。正如[1, 3, 4]中指出过的那样, 在波速异常后期平均波速比或和达曲线曲率系数回升到正常值之后, 还可能重新出现低值或呈起伏性变化, 并且二者第一次回升到正常值的时间各不相同, 其与震级间的相应经验关系式或经验关系图也各有差异。按这些经验关系式或经验关系图推算出的唐山地震的震级与实际发震震级大致相符。值得注意的是, 临震前平均波速比和达曲线曲率系数均达到足够大的高值, 这对于强震的短期和临震预报有较大的实际意义。

3. 由于能计算出纵波速度的地震数目较少, 不能按月作平均处理, 加之各次地震的震源位置与记录台站的组合不同, 纵波速度异常曲线与平均波速比异常曲线难于——对应。在1975年二者均有一度上升, 然后又呈下降异常, 并在再次回升后发震, 从总趋势上看大致相符。虽然纵波速度资料较少, 精度较差, 但从统计分布图及t检验方法等所得的结果来看, 波速异常区内的低速度值与外围正常区的高速度值在统计上的确有明显的差异。

4. 唐山7.8级地震前, 在波速异常期间, $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 波垂直向振幅比也有较明显的异常。从统计处理结果看, 振幅比异常区较大, 主震震中在振幅比高低值区的边界附近。北部低值区的振幅比在1970年以前就出现异常, 1974年以后回升, 并且振幅比的回升先从远离主震的震中处开始, 主震震中附近地区回升较晚。南部外围区的振幅比在1973年6月以前基本上为正常值, 1973年7月以后才呈现一定的异常。

5. 振幅比的异常特性依赖于不同方向的台站组合。唐山7.8级地震前, 东北方向台组记到的振幅比异常特性与西北方向台组所得的结果差异较大, 1975年以后二者甚至呈近似反向变化; 此外, 东北方向台组记到的振幅比在临震前的中短期趋势异常(明显上升)要比西北方向台组记到的更为显著。由于资料所限, 目前尚难对各个方向的不同台组所记到的振幅比异常的时空分布特性进行全面研究并作相应的统计平均处理, 因而尚难把振幅比的异常特性和平均波速比的异常特性作详细的对比。但是从西北方向一个台组所得的振幅比变化情况来看, 振幅比异常区与平均波速比异常区大部份相合, 振幅比随时间变化的一些转折时期也与平均波速比大致相近。

6. 从平均波速比, 纵波速度及振幅比随时间的变化特性来看, 1970年以来曾有过三个转折时期: 一个是1972年初, 平均波速比恢复到正常值以上, 然后又下降; 另一个是1974年下半年到1975年上半年, 振幅比回升, 速度回升, 平均波速比也有一度短期回升, 此后又再次下降; 第三个是1976年2月前后, 平均波速比开始明显回升到较高值, 纵波速度也有再次回升趋势, 振幅比亦有较明显的转折。这三个转折时期在振幅比随时间的变化曲线(图3)上反映得最为明显。对比郑治真等的研究结果^[8]便可看出。波速异常的这三个转折时期与地下水、地形变和地震波谱所显示的共同时间特征(即1972年初、1975年初和1976年初)符合较好。

7. 本文所得的结果表明, 唐山7.8级地震前的波速异常区范围足够大, 主震震中偏于异常区的东南部。粗略看来, 波速异常区展布范围与陈培善等得出的唐山大震前(1969.4、24—1976.4、22)剪应力 τ 的高值分布范围^[6]大体相近, 而波速异常区长轴的走向则与陈运泰等由形变反演得出的唐山地震释放的主压应力轴方向(北东 104°)^[7]大致相符, 波速异常随时间的变化特征也与其它某些前兆现象的变化特征有所对应; 因此, 波速异常可能是直接由于应力在该地区集中所引起, 其不同的异常阶段也可能与应力的不同发展阶段相对

应。即断层预滑可能导致应力松弛,从而使波速比回升,多次间断性预滑的结果就可能引起波速比的起伏性变化。这种预滑的规模就唐山地震而言可能比主震还要大一些^[7],因而就有可能成为波速比几度回升的一种原因,图3上平均波速比的三次明显回升就有可能对应着三次规模较大的断层蠕滑。

(本文1980年8月10收到)

参 考 文 献

- [1] 冯德益等,我国西部地区一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(一)——波速比异常,地球物理学报,19,3,1976.
- [2] 冯德益等,我国西部地区一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(二)——波速异常区及其特性,地球物理学报,20,4,1977.
- [3] 冯德益等,我国西部地区一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(三)——和达曲线的曲率变化,地球物理学报,21,4,1978.
- [4] 冯德益等,松潘、平武7.2级地震前波速比的异常变化,地震学报,2,1,1980.
- [5] 冯德益,近地震 $\bar{S}$ 、 $\bar{P}$ 波振幅比异常与地震预报,地球物理学报,17,3,1974.
- [6] 陈培善等,唐山地震前后京津唐张地区的应力场,地球物理学报,21,1,1978.
- [7] 陈运泰等,用大地测量资料反演的1976年唐山地震的位错模式,地球物理学报,22,3,1979.
- [8] 郑治真等,根据地下水资料的数字滤波探讨唐山大震的孕育过程,地球物理学报,22,3,1979.

ANOMALOUS VARIATIONS OF THE CHARACTERISTICS OF SEISMIC WAVES BEFORE THE TANGSHAN(唐山) STRONG EARTHQUAKE(M=7.8)

Feng De-yi Gu Jin-ping Sheng Guo-ying(The Seismological
Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)

Ao Xue-ming(The Seismological Bureau of the Xinjiang
Uighur Autonomous Region)

Zhao Bing(The Seismological Bureau of Qinghai Province).

Abstract

This paper deals with the premonitory anomalies of some kinematical and dynamical characteristics of seismic waves, i.e. the seismic velocity anomalies and the anomalies of the amplitude ratio of s and p waves ^{etc.} before the Tangshan (唐山) strong earthquake (M=7.8) on July 28, 1976. By means of three different methods the temporal and spatial variations of the ^{premonitory anomalies} mean seismic velocity ratio v_p/v_s , the curvature coefficient of the Wadati diagram β and the mean longitudinal wave

Tangshan

velocity v_p in this region since 1970 have been researched respectively. At the same time the premonitory anomalous variations of the amplitude relation of the vertical maximum displacements of s and p waves recorded by two groups of seismograph stations have been investigated.

The results obtained from the preliminary study show that: (1) The anomalous variations of v_p/v_s , β , v_p , and A_s/A_p in this area were very remarkable before the Tangshan (唐山) strong earthquake ($M=7.8$); (2) the characteristics of the v_p/v_s , β and v_p anomalies are similar to those of the corresponding anomalies before some other strong earthquakes in China; (3) the A_s/A_p anomaly corresponds with the velocity anomaly in the general tendency, but its concrete characteristics depends on the directions of the groups of seismograph stations.

Finally, the results obtained in this paper are compared with some other results published about the precursors of Tangshan (唐山) earthquake and a brief discussion has been made also.