

波速比异常空间演化与主震位置预测

秦保燕, 张元生

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以组合模式为基础,应用“交会法”探讨了甘肃省及邻区几次中强地震前 v_p/v_s 正负异常区的动态演化特征与主震位置的关系,发现主震发生在 v_p/v_s 正负异常区的边界附近或多个异常区之间的联接地区.认为波速比异常的成因与调整单元的运动有密切的关系.本文的讨论再次证明了“交会法”在预测主震位置中的普适性.

关键词:组合模式;波速比异常;交会法;动态空间异常;主震位置预测

中图分类号: P315.75; P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)-0005-05

0 引言

作者在文献[1]中列举了前苏联勘察加地区2次强震均发生在震前不同时段波速比低值区和高值区边界交会区的事实.本文试图用甘肃省近几年发生的中强震震例进一步论证“交会法”在用波速比异常预测主震位置中的应用,并论证了波速异常区与震源端部调整单元的关系.

1 “交会法”简述

“交会法”的物理基础是描述震源和震源环境的组合模式^[2]或综合模式^[3]中不同单元之间的差异性,即震源和调整单元之间的差异性与各调整单元之间的差异性.这2类差异性不仅是导致震前的异常复杂多变难以预测的主要原因,而且也是应用“交会法”避开复杂性进行强震位置预测的主要途径和物理基础^[4].

1.1 震源和调整单元之间的差异性产生的预报判据

无论是组合模式还是综合模式,在中强地震发生前模式中各调整单元始终是调整运动最频繁、幅度最大的区域,因而也是各种测震学异常(包括波速比异常)频繁出现的地区.而震源区是震前相对稳定的地区,不仅不能经常发生预运动,而且即使有预运动其幅度也相对比调整单元小.由于调整单元一端与震源区端部相接,因此一旦出现异常,其异常区边界总有一段通过震源区附近.这样,利用不同时段异常区边界作交会,其交会区或异常区之间的联接区即为未来主震发生的地区.调整单元的另一端与场区内的蠕滑断层或弱介质区相连接并发生协调运动.由于调整单元调整运动的复杂性(如剪切、旋转、挤压和引张等),每次参与协调运动的场区构造或弱区在不同时间其调整运动特征大多不同.加之调整单元调整运动幅度随时间是变

收稿日期:1999-10-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目,批准号:49674210.中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2000008

作者简介:秦保燕(1937-),女(汉族),江苏无锡人,研究员,现主要从事地震预报研究.

化的,当调整运动幅度特别小时,场区不参与协调运动,此时调整异常区较小;调整运动幅度愈大,则参与协调运动所构成的异常边界愈远,因此调整运动所产生的近源区一侧其异常区边界是稳定的,而源外一侧异常区边界是变动的,是一种不稳定边界.当场区内还存在另一震源时,上述源外一侧不稳定边界又会因该震源区的稳定性而使其成为稳定边界.因此,凡是存在震源的地区,必然存在异常区的稳定边界,并成为各调整单元异常边界频繁通过的交会区,或异常区之间的联接区,这样的交会区必然是震源所在.当震源在孕震后期出现异常时,由于其异常幅度小、异常区相对小,因此震源往往位于异常区的端部附近.

1.2 调整单元之间的差异性产生的预报判据

根据组合模式,震源端部有2个调整单元,但实际上可能不止2个.此外,按照综合模式则调整单元更多.这些调整单元之间也是有差异的,如介质性质、应力水平及性质、位置、体积大小和调整单元的形状等均有差异.这种差异性使它们发生异常的时间、地点、幅度和性质(正或负)往往不同.同理,调整单元之间是震源区,因而往往是异常区稳定边界通过的地区,因此可以用不同时段波速比正负异常区边界作交会图,主震必位于交会区内或不同时段正负异常区之间的联接区内.

根据以上2个重要判据,在震前对波速比异常进行分析时,只要分别找出正负 v_P/v_S 异常点的集中区,勾出其边界,则异常区的交会区或异常区的收缩部位或几个异常区之间的联接区即为未来主震的位置.

2 1993年托来 $M_S6.0$ 地震前 v_P/v_S 空间异常演化与主震位置预测

波速比异常的研究从50年代开始至今已有40年了,虽然对异常的存在褒贬不一,但愈来愈多的事实证明大多数中强地震前确有波速比异常存在,并发现不仅有正异常,而且还有负异常^[5,4].由于波速比异常直接来自于孕震层和震源区附近,因此波速比的空间异常无疑对预测主震位置带来更多的信息.为了研究波速比异常的动态演化过程,作者计算了甘肃省1982~1993年的 v_P/v_S 的全部资料,并根据交会法的原理先将 v_P/v_S 正负异常点按年画出,当出现 v_P/v_S 正负异常点集中分布时,则分别勾出其异常区边界,然后根据这些基本图件做出震前波速比动态异常图.其中动态异常边界的交会区或动态异常区之间的联接区几何中心可做为地震预测点位置.下面以1993年10月26日托来地震为例进行研究.

托来地震前 v_P/v_S 正负异常区从1991年开始明显出现,1991年有3个异常区,主震位于3个异常区之间;1992年为单区异常,主震位于异常区西端;1993年又出现3个异常区,主震位于3个异常区之间,如图1所示.图1d给出了动态异常叠合图,由异常区之间的联接区(波速比异常空区)可求其几何中心X,此点即为预测震中,由X点到联接区边界为预测误差半径.由图1可见,由X点到实际主震震中仅25~30 km.这表明托来地震前的调整单元以NW和NWW向为主,在震源的NE和SW方向几乎无波速异常出现.说明在震源区的NE和SW方位无调整单元.

3 “交会法”的普适性特点

为了考察“交会法”的普适性,现再列举河西走廊地区发生的另外3次地震,即1986年8月26日门源 $M_S6.4$ 地震,1988年11月22日肃南 $M_L6.0$ 地震和1988年12月26日临泽 $M_L5.1$ 地震.为了节省篇幅,图2中仅分别给出了正负异常区的边界.由图2可见,这3次中强震均位于几个异常区之间或异常区边界交会区附近.

4 v_P/v_S 正负异常混合区在判定主震位置中的意义

在分析处理资料时发现,有些正负异常点在很近距离同一年出现.此外还存在主震后的余震的波速比异常也呈现正负异常同时出现的情况.

经初步研究认为,这种现象可能是调整单元较强的调整运动的表现.因为调整单元运动可直接导致其端部及其附近产生拉压应力集中区,当地震波的路径大多经过压区时,则波速比有可能升高,通过拉区时则有可能下降.由于压区和拉区相距非常近,因此 v_P/v_S 的正负异常点混杂在一起.余震区是强震发生后由积累单元转化为调整单元的地区,它与震前调整单元的基本特征是一致的.因此余震区(主震发生后震后调整运动)的 v_P/v_S 变化特征可基本反映震前调整单元 v_P/v_S 的特征.根据这一思路,作者将甘肃省及邻区每个主震

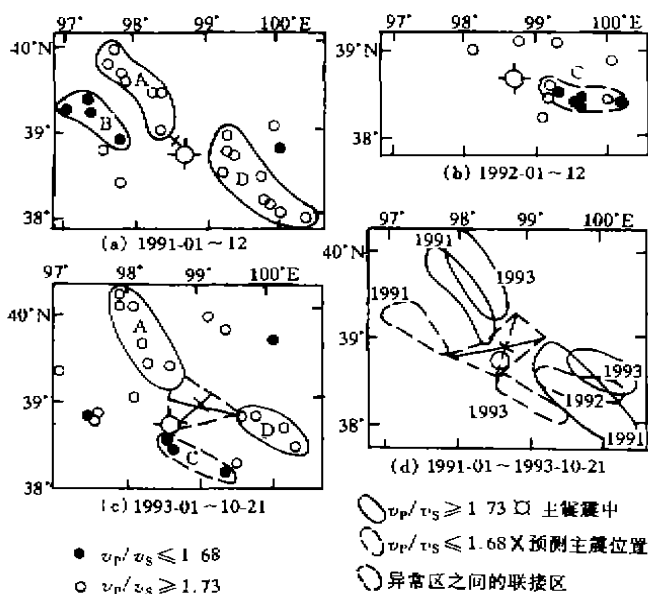


图1 1993年托来 $M_{5.0}$ 地震前 v_P/v_S 正负异常区空间演化与主震位置

Fig. 1 Space evolution of positive and negative anomaly areas of v_P/v_S before the Tuolai $M_{5.0}$ earthquake of 1993 and the location of the main shock.

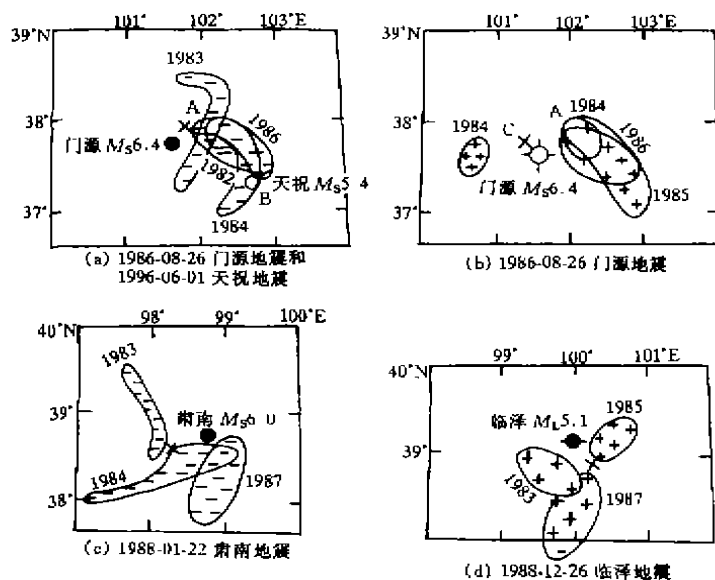


图2 河西走廊地区3次中强地震前 v_P/v_S 正负异常区边界演化与主震位置预测

Fig. 2 Evolution of boundary of positive and negative anomaly areas of v_P/v_S before 3 mid-strong earthquakes in Hexi corridor and forecast of the main shock locations.

前多年内同一年近距离正负波速比异常点投影到同一张图上,勾出正负波速比混杂的区域边界,发现主震或位于正负波速比混杂区边界附近,或位于2个或3个混杂区之间.

有几次中强地震前的 v_P/v_S 异常区与主震的关系似乎较勉强,如肃南地震和景泰地震.有的异常不够完整,如迭部地震和礼县地震等,这主要是受甘肃省地震台站的限制,如能补充青海、宁夏、四川、陕西的有关资料,则波速异常会更完整地显示出来.

综上所述,正负异常区交会法和正负异常混杂区交会法均可以在地震预报工作中试用,它们对确定未来主震位置是相辅相成的.

5 主震发生前 v_P/v_S 空间异常区成因——调整单元运动

在以往对波速比异常的研究中,大多认为波速比异常是由于在区域压力作用下震源区产生扩容裂缝导致的后果,因而始终把注意力集中在 v_P/v_S 的负异常区,并把它作为判定震源区位置的重要指标.但事实上波速比异常的时空演化非常复杂.这种复杂性很难用震源区介质的扩容过程进行解释.根据本文对有关震例的研究,波速比异常主要与调整单元的运动以及与场区某些构造和弱介质区的协调运动有关.当然扩容裂缝在组合模式和综合模式中也可能存在,但主要起调整单元的作用,其位置多位于震源区端部.下面就主震发生前 v_P/v_S 空间异常的成因进行论证.

(1) 中强地震前主震区及其附近区域无波速比异常,而且该无异常区比实际震源区大得多.对中强地震来说,震前震源区介质均匀,强度相对高,其应变比调整单元小.而这种震源区的相对稳定性对与它相连接的调整单元运动有较强抑制作用,致使 v_P/v_S 异常(向震源一侧)边界向外推移,同时在某些中强地震孕震后期在震源区附近会出现 v_P/v_S 异常,虽然不能确定异常区,但却是一种发震的信号,如1993年托来地震前就出现2个 v_P/v_S 负异常点,它们紧靠主震震区.

(2) 主震前波速比异常区的空间位置、走向和大小随时间发生变化,且异常具有不连续特征,证明了波速比异常主要由调整单元所引起.如前所述,由于调整单元之间的差异性(应力水平、体积、位置和介质特征等),它们各自发生调整运动的时间不同,因此,调整单元运动的交替性和间歇性是调整单元固有的特征.只有在应力水平很高的情况下,各调整单元之间由于相互作用导致的正反馈后果才引起双区或多区异常同时出现.对于波速比异常区位置的变化与尺度的变化等均可由不同调整单元的位置差异以及各调整单元与场区内不同构造、不同弱介质区的关联协调运动得到较好的解释.如果 v_P/v_S 异常是由震源区引起,则波速比异常区应具有稳定性、持续性特征.

(3) 波速比异常的多样性与调整单元复杂的调整运动有关.目前观测到的震前、震后波速比异常不仅有负异常,而且还有正异常以及正负异常混杂区,这种异常性质的多样性可以由调整单元运动的多样性(挤压、拉伸、剪切、旋转)得到满意的解释.此外如果调整单元的介质很软,则虽然其本身不能产生 v_P/v_S 异常,但它可使其端部附近产生上述的不同性质的变形,并引起不同性质的波速比异常.

(4) 震前存在多个波速比异常区以及异常区尺度较大,表明震前调整单元可能多于2个.从孕震到发震,震源对调整单元有选择.如果是震源引起的波速比异常,则其异常区只应有1个,且位置稳定.而 v_P/v_S 异常区尺度较大(60~160 km),则它是调整单元与场区构造或弱介质区协调运动共同造成的后果.

(5) 调整单元在整个孕震期都有间断式的运动,它导致中强地震前波速比异常较早出现,而震源区较晚出现异常.

(6) 当孕震场存在2个震源时, v_P/v_S 异常空间边界将形成2个异常区边界交会区.如1986年8月26日门源 $M_S 6.4$ 地震前,不同时段出现的 v_P/v_S 异常区存在2个交会区,一个在A区,发生了门源地震;另一个在B区,在10年后,即1996年6月1日发生了天祝 $M_S 5.4$ 地震,见图2a.

根据以上讨论可以认为,一个正确的接近自然界的模式对分析地震异常和确定未来主震位置有重要的意义.特别要指出的是震源2个端部的调整单元是最为重要的.从本文列举的震

例也可以看到,在河西走廊大多数中强地震前由波速比异常所显示的调整区基本上沿 NW 或 NWW 向主构造线分布,而震源以及震源二盘即 NE 和 SW 方位无任何调整区.这说明 NW 向的震源和其两侧岩石仍具有很高的强度和刚度,由于震源二盘有硬的支撑,使区域构造力能施加到震源区并使震源区能储存很高的剪切应变能并发生中强地震.如果震源周围都布满调整单元,仅仅只有震源是高强度的介质,则这个震源是很难积累很高的剪切应力的,因为周围的弱介质可以做环境调整,这种环境调整对震源体接受和积累应力是非常不利的.

[参考文献]

- [1] 秦保燕.强地震地点预报方法——交会法[J].内陆地震,1997,11(2):104~111.
- [2] 秦保燕.地震成因的综合模型和强震预报(英文)[J].西北地震学报,1996,18(4):83~92.
- [3] 秦保燕.再论强震地点预报方法——交会法的普适性[J].地球物理学进展,1998.
- [4] 顾瑾平,李清河,虞雪君,等.地震波速度比异常与预报[A].见:应用地震学专辑.北京:地震出版社,1989.367~377.
- [5] 勒波,斯拉维娜.勘察加震源区 v_P/v_S 的研究.见:尤焉里兹尼钦科主编.地震物理研究.韩大宇,等译.北京:地震出版社,1982.

SPATIAL EVOLUTION OF WAVE VELOCITY RATIO ANOMALY AND PREDICTION OF MAIN EARTHQUAKE LOCATION

QIN Bao-yan, ZHANG Yuan-sheng

(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the comprehensive model, the relation between v_P/v_S anomalous area evolution characteristics, positive or negative, before some moderate or strong earthquakes and main earthquake location in Gansu and its neighborhood is discussed by using convergent method. The results show that main shock often occurs on the boundary between negative and positive anomalous areas, as well as in the crossing area of different character velocity ratio anomalies. Moreover, it is discovered that there is a close relation between wave velocity ratio anomaly and the movement of adjustment element. The convergent method of wave velocity ratio spatial anomaly boundary has universal significance for predicting earthquake location.

Key words: Combination pattern; Intersection method; V_P/V_S anomaly; Dynamic spatial anomaly; Forecast of main earthquake location