

海原断裂带断层通道波观测与破碎带宽度

刘明军 李松林 张先康 樊计昌 宋占龙

(中国地震局地球物理勘探中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 断层通道波是低速断层破碎带与高速围岩之间的边界相干多重反射形成的, 其振幅和频率强烈依赖于断层的几何形态和物理性质, 故能用于探测断裂带的内部结构。在宁夏海原西安州附近海原断裂带上, 横跨1920年海原8.6级地震地表破裂带布设2条测线, 接收测线之间人工爆破激发的断层通道波。每条测线由14台3分量数字地震仪组成, 靠近破裂带台间距30~40 m, 远离破裂带台间距增大至230~250 m。对测线1的台站接收到的一炮垂直道地震波数据进行了0.1~4.0 Hz频段的滤波, 结果表明在S波到时之后存在多组强振幅、低频率、长波链的断层通道波。由断层通道波揭示的海原断裂带在西安州附近的断裂破碎带宽度约为250 m。

关键词: 海原断裂带, 断层通道波, 破碎带宽度, 细结构

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2004)06-0549-04

断层内部结构是认识地震破裂的关键。在地震危险性预测中, 一个极为重要的问题是地震破裂发生在断层的哪一段, 破裂段从哪里开始, 如何传播, 终止于何处, 破裂引致地振动的分布在空间的分布如何^[1]。长期以来, 研究破裂段的方法主要是地质填图、探槽开挖、地震勘探及层析成像。但控制破裂的产生、传播和终止的因素目前还未很好地为人们所知。断层在几何、结构和活动性方面的时空不连续性将影响地震的破裂, 其中断层的内部结构可能是认识地震破裂物理过程的关键^[2], 断层结构的时空变化知识将帮助预测将来地震的行为。

近年来, 国外将通道波用于断裂带内部结构的研究取得了许多实际成果。当一低速薄层夹在高速介质之间时, 在完全内反射条件下, 在低速薄层中会出现一种沿着“之”字路径传播的波, 这种波中的一部分频率成分(一定的波长)会发生相长干涉形成一种看起来沿层传播的波, 而且波在传播过程中强度基本上不减小, 这就是所谓的通道波。如勒夫波、煤层中的槽波等。在断层带内传播的通道波即为断层通道波(fault zone trapped waves), 为区别于压缩波P和剪切波S, 可用Fz表示。通过对断层通道波的观测, 断层细结构得到更好的认识。因为通道波产生于低速断层带和高速围岩之间的边界相干多重反射, 其振幅和频率强烈依赖于断层的几何形态和物理性质, 所以这些波能够高分辨地探测断裂带的内

部结构。Li Y. G. 等用通道波研究了美国加州 Landers 地震破裂带、Anza 附近的 San Jacinto 断层带和日本神户地震破裂带的细结构和连续性^[3-6]。

我国断层通道波研究起步较晚, 近两年才开始进行野外观测实验。2001年, 中国地震局地球物理勘探中心在地震科学联合基金重点课题“断层震相与地壳盲断层的三维成像”的资助下, 用人工爆破源在1920年的宁夏海原8.6级地震破裂带上进行了断层通道波观测。2002年对2001年昆仑山口西8.1级地震的破裂带通过余震和爆破观测了断层通道波。笔者就海原断裂带断层通道波观测做一探讨。

1 构造简介

海原断裂带为青藏高原地块与鄂尔多斯地块相交的弧形构造区西南边界断裂(图1)。弧形构造区

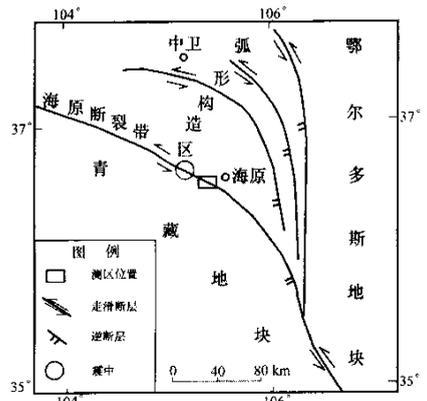


图1 断层通道波观测区构造位置

由南西向北东发育一系列弧顶指向北东的弧形断裂带,主要有海原断裂、香山—天景山断裂、烟囱山断裂和牛首山断裂。单条断裂平面上呈反“S”形,并以向东北凸出段为主体。从横切断裂的横剖面上看,山地与盆地相间分布,呈波状起伏^[7]。

海原断裂带(在宁夏境内又称为西华山—六盘山断裂带)西起雷公山南麓,向东南东经毛毛山、老虎山、西华山、南华山、六盘山,向宝鸡方向延伸,走向北西西—北北西,长550 km,倾向多为南西。该断裂规模大,结构复杂,是青藏高原块体的东北边界断裂。它在第四纪以前为逆冲断裂,第四纪后由于区域应力场的改变而形成逆左旋走滑断裂^[8]。宽角地震反射/折射资料表明,海原断裂错断了莫氏面^[9,10]。1920年海原8.6级地震就发生在该断裂带上。

2 野外观测

在海原断裂的断层通道波观测的野外试验中,在西安州附近,横跨1920年8.6级地震的地表破裂布置了2条测线接收由爆破产生的地震波(图2)。每条测线布置了14台16位的DAS-2数字地震仪,每台地震仪配置的3分量检波器有1个垂直道和2个互相垂直的水平道,其中1个水平道方向与断层走向平行。横跨海原断裂地表破裂的测线布置在海原县西安州附近(图2),测线1长1.37 km,台站间距30~230 m。测线2长2.1 km,台站间距40~250 m。地表破裂附近台站间距较小,远离断裂的台站间距较大。

测线1、2的台站接收了位于2条测线之间在海原断裂上进行的多次爆破,爆破深度25 m,最大一次爆破的炸药量为50 kg。该断裂处在山地与盆地的交界部位,由于钻井施工困难,实际炮点并未在地表破裂带正中而是稍偏西安州盆地一侧(图2)。

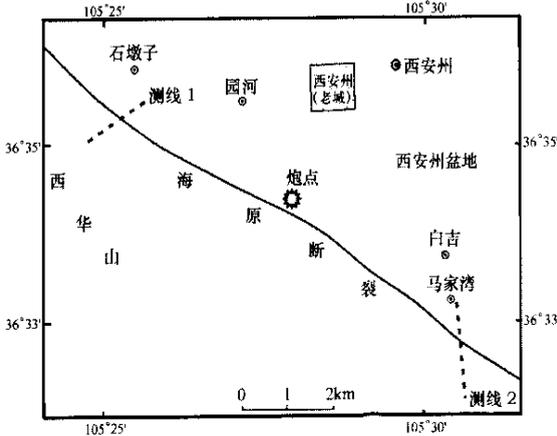


图2 横跨海原断裂地表破裂的测线布置

3 初步结果

从识别断层通道波的角度来看,获得的地震记录质量相差很大,其原因是爆破能量的差异、炮检距的差异、背景干扰程度的差异。现对横穿海原断裂地表破裂的测线1接收到的一次爆破的地震记录截面作一展示,并对其结果做一初步分析。

图3是测线1垂直道总体归一化的地震记录,炮点距测线1约4.3 km,炸药量50 kg。横轴为观测点号和距离,而距离中的0位置处于1920年海原地震地表破裂处,纵轴为时间轴。

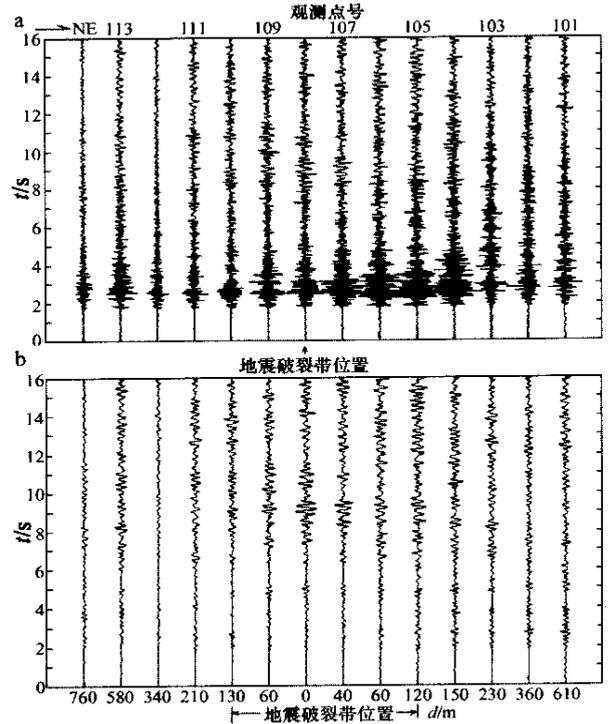


图3 测线1接收到的一次爆破地震记录
a—原始垂直道地震记录 b—滤波后的地震记录

测线1接收到了较好的断层通道波震相。图3a表明测线1的P波在时间轴的位置约1.8 s处,S波约为2.5 s。图3b是图3a的地震记录经频段0.1~4.0 Hz的滤波之后得到的,采用这样的滤波处理是由试验确定的,目的是为了压制P波、S波,提取Fz波。试验表明,本次野外观测到的P波、S波频率均大于4.0 Hz,而小炸药量的爆破也难于激发小于0.1 Hz地震波。

在图4中,对图3b中的震相进行了进一步分析。从图4中可以看到,在观测点105~110之间,在时间轴5 s处见一组震幅不是很大的震相,但时间轴6.5~10 s存在4组强振幅、低频率的震相A、B、C、D有规律地出现。图4中有规律的大振幅的

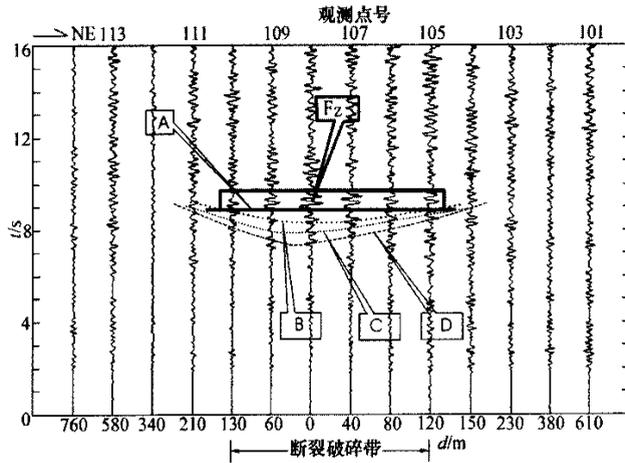


图4 震相分析

A—深部断层通道波 Fz ; B、C、D—浅层断层通道波

震相 A 几乎同时出现在观测点 105 ~ 110 之间 9 ~ 9.5 s 处,而其间的 108 号观测点位于 1920 年海原地震地表破裂处,这组震相在观测点 105 ~ 110 之外的观测点上就不明显或没有。与震相 A 几乎同时到达不同, B、C、D 三个震相具有双曲线的走时特征。研究表明^[5],断层通道波出现在 S 波的到时之后,有相对大的振幅、低的频率和长持续时间的波链,在断层破碎带上接收点的通道波振幅较大,而随着接收点远离断层带其通道波最大振幅迅速减小。因此,对比研究可知,图 4 显示的观测点 105 ~ 110 之间,时间轴 9 ~ 9.5 s 处大震幅的震相就是断层通道波 Fz, 105 与 110 号观测点间 250 m 长的距离即是断层通道波反映的海原断裂带地下破碎带的宽度。观测点 105 ~ 110 之间,时间轴 5 ~ 9 s 间的较大震幅的震相也应该是断层通道波,但 B、C、D 震相双曲线的走时特征表明距爆破源近的观测点走时短,反之则长,这 3 组震相可能受浅层松散覆盖层的影响,致使浅部断裂破碎带与浅部松散围岩从震相上未截然分开,因此这些震相都不如 A 震相那样更具典型的断层通道波的特征。综合上述分析可知,观测点 105 ~ 110 之间,时间轴 5 ~ 10 s 的多组较大震幅的震相为断层通道波;震相 A 震幅最大,断层通道波的特征最为明显,到时较晚,反映断裂带较深部的信息,是确定断裂带宽度为 250 m 的主要震相;震相 B、D 并未将断裂带与围岩完全区分开,很可能是受浅部松散盖层的影响;多组震相的出现则反映来自不同深度的断层通道波。

上述是初步结果,我们将进一步求取断层带及附近地区的速度和 Q 值等。以便能更精细地刻画断层带的几何形状和物理性质。

4 讨论

用断层通道波研究断层的细结构具有广阔的前景。从结构上来说,大的断层常常以有几百米到几公里宽度的低速带为标志,这些低速带被认为是由集中在断层附近的流体、富粘土的断层泥、增加的孔隙度和地震过程中扩大的裂隙以一种未知的组合形式引起的。低速带两侧是结构较为完整的高速围岩,断层通道波则是产生于断层带内、夹持于高速围岩间、由地震波在边界多次相干反射而形成的。因断层通道波直接来源于断层带,故对其深入研究便能够反映断层带内部的结构。断层通道波为断层细结构的研究提供了一种新的有效方法。

海原断裂带断层通道波观测对断裂破碎带宽度的认识有了深化。研究表明,在宁夏海原县西安州附近,海原断裂带由断层通道波揭示的断裂破碎带的宽度约为 250 m,远大于 1920 年海原 8.6 级地震产生的地表破裂带的宽度。事实上,此断裂带具有很长的活动历史,而且探槽揭露了多次古地震事件^[8],所以有较宽的破碎带是不奇怪的。当然,破碎带的宽度在不同的地段可能不同,这与断裂带在不同地段的表现形式有关,如单条断层出现的地段与多条断层共同出现的地段或雁列断层交接地段的断裂破碎带宽度就会有较大的差异。

参考文献:

[1] 丁国瑜,田勤俭,孔凡臣等.活断层分段[M].北京:地震出版社,1993.
 [2] Mooney W D, Ginzburg A. Seismic measurements of the internal properties of fault zones. Pure App[J]. Geophys, 1986, 124, 141-157.

[3] Li Y G ,Vidale J E ,Aki K ,et al. Fine structure of the Landers fault zone :Segmentation and the rupture process[J]. Science ,1994 , 256 367 - 370.

[4] Li Y G ,Aki K ,Vidale J E ,et al. Delineation of the Nojima fault ruptured in the M7. 2 Kobe ,Japan ,earthquake of 1995 using fault zone trapped waves[J]. J Geophys Res ,1998 ,103 7247 - 7263.

[5] Li Y G ,K. Aki ,John E ,et al. Shallow structure of the Landers fault zone from explosion - generated trapped waves[J]. J Geophys. Res. ,1999 ,104 20257 - 20275.

[6] Li Y G ,Vernon F L. Characterization of the San jacinto fault zone near Anza ,California ,By fault zone trapped waves[J]. J Geophys Res ,2001 ,106 30671 - 30688.

[7] 《国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京 地震出版社 ,1998.

[8] 国家地震局地质研究所 ,宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂带[M]. 北京 地震出版社 ,1990.

[9] 李松林 ,张先康 ,任青芳 ,等. 西吉—中卫地震测深剖面及其解释[J]. 地震地质 2001 23(1) 86 - 92.

[10] 李松林 ,张先康 ,张成科 ,等. 玛沁—兰州—靖边地震测深剖面地壳速度结构的初步研究[J]. 地球物理学报 ,2001 45(2) : 210 - 217.

THE OBSERVATION OF TRAPPED WAVES AND THE WIDTH OF THE SHATTERED ZONE IN HAIYUAN FAULT ZONE

LIU Ming-jun , LI Song-lin , ZHANG Xian-kang , FAN Ji-chang , SONG Zhan-long
(*Research Center of Exploration Geophysics , CSB , Zhengzhou 450002 , China*)

Abstract : Two linear seismic arrays are deployed across the surface rupture of 1920 M 8. 6 earthquake along Haiyuan fault zone near Xianzhou , Haiyuan County , Ningxia , to receive fault zone trapped waves generated by near-surface explosions within the fault zone between the two lines. Each array consists of 14 three-component portable digital seismic stations , with the interval between two stations being 30 ~ 40 m near the fault zone and 230 ~ 250 m away from the fault zone. After filtering in a frequency range of 0. 1 ~ 4. 0 Hz , vertical component seismograms on Line 1 show fault zone trapped waves with relatively large amplitude , low-frequency and long-duration wave train after the S waves. Since the trapped waves arise from coherent multiple reflection along boundaries between the low-velocity fault zone and the high-velocity surrounding rock , their amplitudes and frequencies are strongly dependent on the fault geometry and physical properties. Thus , fault zone trapped waves can be used to explore inner structures of the fault zone. The study of the fault zone trapped waves reveals that the shattering width of Haiyuan fault zone near Xianzhou is about 250 m.

Key words : Haiyuan fault zone ; fault zone trapped wave ; width of the shattered zone ; fine structure

作者简介:刘明军(1962 -)男,江西人,1982年毕业于华东地质学院地质普查勘探专业,在职博士生,高级工程师,已发表论文数篇。



上接 548 页

Abstract : Quartz is an important gangue mineral and a main carrier of gold in the Chiweigou deposit. By means of electrical conductivity and infrared spectra of quartz , it is known that the electrical conductivity and the $D(\text{CO}_2)$ of IR are in positive correlation with the Au content of quartz. Where electrical conductivity is higher than 35. 7 μS and $D(\text{CO}_2)$ higher than 0. 2 , gold mineralization is relatively good. Through the study , the authors have obtained some useful prospecting information , which is of guiding significance in the prospecting and evaluating of gold deposits in this area.

Key words : electrical conductivity ; infrared spectrum ; mineralogy for ore prospecting

作者简介:武子玉(1957 -)男,黑龙江望奎人,博士。主要从事地球化学研究工作。