

东秦岭深地震剖面上莫霍基本特征的研究

徐明才,高景华,刘建勋

(国土资源部物化探研究所,廊坊 065000)

[摘 要]东秦岭深地震剖面上反映的华北、秦岭和扬子莫霍地震波组的特征具有明显差异。通过对莫霍地震波组特征的研究,指出秦岭壳幔过渡带的不均匀程度和厚度大于华北和扬子壳幔过渡带。受地壳均衡作用的影响,已形成的秦岭壳幔过渡带起到了通常所说的“山根”作用。

[关键词]深地震剖面 地震波组 壳幔过渡带 反射波 散射波 不均匀性

[中图分类号]P542+.5 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2000)01-0040-04



技术·方法

秦岭横亘中国东部,是分割中国南北方大陆的重要造山带,根据在“七五”和“八五”期间完成的东秦岭深反射地震剖面能够解释秦岭的现今构造是华北向扬子作陆内俯冲,扬子地壳向北楔入到华北中地壳形成的燕山造山带(袁学诚,1994,1996)。

从地球化学角度,秦巴地区上地壳是相对偏基性的,中、下地壳总体物质组成是花岗闪长质的(高山等,1991)。在上地幔内,物质组份为尖晶石二辉橄榄岩和石榴石二辉橄榄岩(Cao, Zhu, 1983)。壳幔过渡带为一岩性界面。在地球物理方面,区域重磁异常较为平静,秦岭造山带重磁异常变化幅度较大(周国蕃,1991)。华北和扬子克拉通的地震波速度相对稳定,在秦岭中、下地壳,存在一明显的低速层。在壳幔过渡带附近,地震波速度约从 6.6 km/s 增加到 7.8 km/s,且在横向上,层速度变化较大,表明了深部构造对莫霍的影响。

地质上,常把莫霍分为新莫霍和古莫霍。在造山过程中,造山运动破坏了古莫霍。在深地震剖面上呈现的莫霍结构在大多数情况下为新莫霍结构。根据深地震时间剖面上反映的莫霍地震波组并对此进行深入研究,有助于对造山过程进行研究。

1 莫霍地震波组的震相特征

在穿越东秦岭造山带的近 300 km 长的深地震剖面上,莫霍地震波组在不同的大地构造单元内,具有不同的震相特征。

1.1 华北克拉通南缘的莫霍

东秦岭深地震剖面始于河南叶县,对应的大地

构造单元为华北克拉通南缘。在该剖面段,莫霍地震波组相位稀少,振幅相对较弱,甚至个别地段追踪中断(图 1)。在该剖面段,莫霍深度约在 29 km 至 31 km 之间,呈现有轻微起伏。

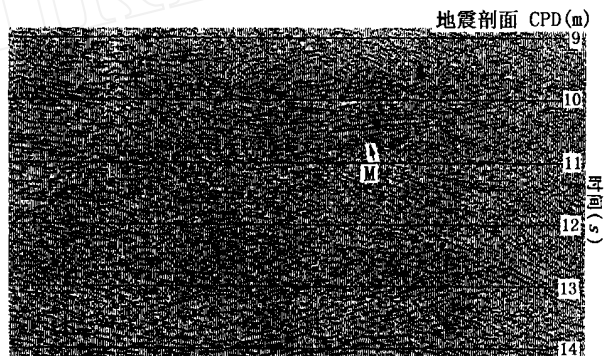


图 1 华北克拉通南缘方城的莫霍地震波组

1.2 秦岭莫霍

受华北克拉通向秦岭腹地俯冲影响,北秦岭莫霍地震波组相位较多,且振幅较强(图 2)。南阳以南,莫霍地震波组相位减少,出现尖棱,形状类似隔挡式褶皱,且在该深地震剖面上的中、下地壳,地震波组稀少,近似透明条带。从地震波组特征能够推断该处为南北秦岭边界,地质上与商丹断裂相对应。

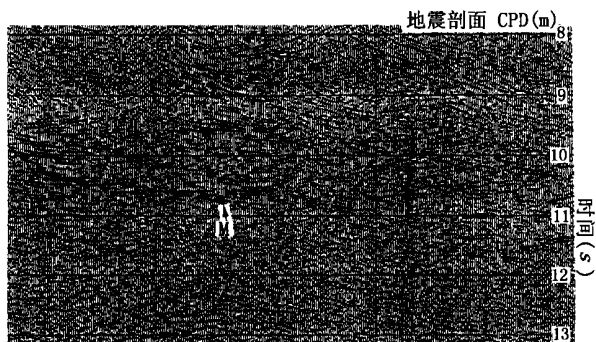


图 2 北秦岭南阳的莫霍地震波组

[收稿日期]1998-12-20;[修定日期]1999-04-15;[责任编辑]王延忠
[基金项目]原地矿部地质行业科学技术发展基金资助项目。

在南秦岭,莫霍地震波组呈多相位出现,振幅较强(图 3)。从莫霍地震波组的本身虽难以分辨南、北秦岭莫霍,但从莫霍地震波组与上下壳幔地震波组之间的关系能够很容易地分辨南、北秦岭莫霍。

秦岭莫霍深度变化较大,最深处达 32.4 km,最浅处约 29 km。反映了造山运动对莫霍深度及不均匀层厚度的影响。

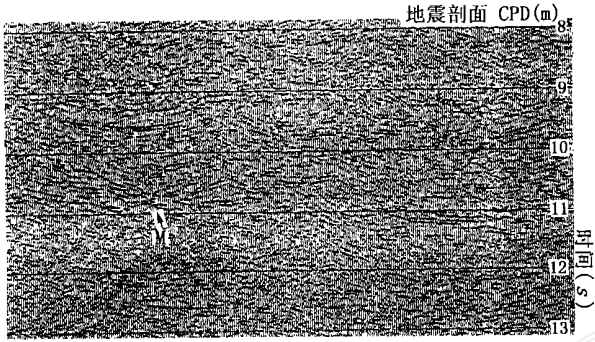


图 3 南秦岭穆东的莫霍地震波组

1.3 扬子克拉通北缘莫霍

东秦岭深地震剖面止于湖北南漳县。在地表地质研究中,秦岭的南界为贯穿十堰、襄樊的公路断裂。由此可知,该剖面终止在扬子克拉通内。图 4 表示了扬子克拉通北缘莫霍地震波组特征。可以看出,在扬子和华北克拉通内,莫霍地震波组具有类似特征。即:莫霍地震波组相位较少,振幅较弱。该震相特征与秦岭莫霍地震波组特征形成了明显差异。

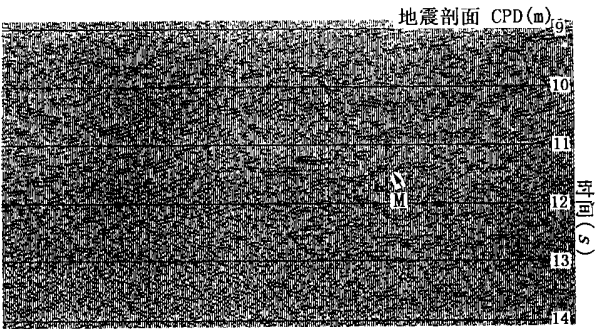


图 4 扬子克拉通北缘襄樊的莫霍地震波组

东秦岭深地震剖面上反映的莫霍不均匀层的内部结构主要为层状和似层状结构,如图 1~图 4 所示。但在华北地壳向秦岭上地幔俯冲处,莫霍出现错断,形成错断结构。在南北秦岭交界处等地段,莫霍形成尖棱结构。在一些地段,还缺失反射震相。

2 莫霍地震波组形成的机制

2.1 基本理论

当地下存在有光滑且连续的地质界面时,该界

面能够产生反射波;反之,当地下地质体表面不光滑连续时,随着该地质体几何尺度的减小,或埋深增加,该地质体将产生散射波,其散射波场为:

$$U_{sc}(\vec{r}, \vec{s}, t) = - \int f(\vec{x}) \delta''[t - \tau(\vec{r}, \vec{x}, \vec{s})] A(\vec{x}, \vec{y}) d^3\vec{x} \quad (1)$$

其中: $f(\vec{x}) = V^{-2}(\vec{x}) - V_0^{-2}(\vec{x})$, 为介质的散射势;
 $A(\vec{x}, \vec{y})$ 为几何扩散函数。

地面接收到的散射波强度与地下产生散射波几何地质体的散射势成正比,即与地下地质体和周围介质的速度(或密度)差成正比,密度差越大,形成的散射波振幅越强,反之就越弱(Xu Mingcai et al, 1997)。在深地震时间剖面上,壳幔之间的强振幅地震波组反映了壳幔过渡带的不均匀程度较高。

若莫霍不均匀带是由若干线性地质体构成的,根据波的叠加特性,可认为莫霍地震波组是由众多这些线性地质体产生的地震波列叠加的结果。当然,这种叠合结果会使波的特征变得十分复杂。为更好地研究莫霍地震波组的形成机制,对单一地质体研究是必要的。

2.2 模型研究

图 5 所示地质模型为一十分简单的情况。在 31 km 深度以上,速度随深度增加而线性增加,在 31 km 深度处,存在有 3 km 长的水平几何尺度地质体,该地质体的埋深对应于莫霍埋深。当地表激发产生的地震波到达该地质体时将产生波的反射和散射。

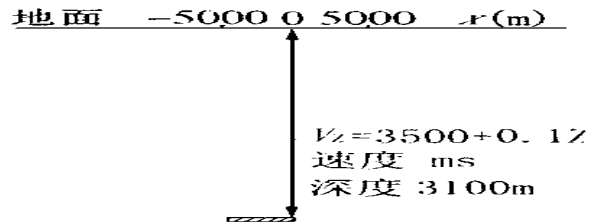


图 5 地质模型

在 $d = 0, -5000$ m 和 5000 m 处激发(图 5),得到该地质体产生反射波 R 和散射波 S 的时距曲线(图 6)。由图 6 可得出以下结论:

- 1) 无论在何处激发,散射波时距曲线的最小时间与地下地质体相对应。
- 2) 无论在何处激发,散射体产生的散射波时距曲线的最小时间梯度方向指向散射体。
- 3) 当激发点位于地下散射体的正上方时($d = 0$),该散射体产生的散射波旅行时间要比其它位置激发($d = 5000$ m 和 $d = -5000$ m)得到的散射波旅行时间更短。由于在这种情况下,地震波的传播路

径最短,因而,其散射波振幅也最强。

4) 反射波时距曲线与散射波时距曲线相切,反射波时距曲线的中点与散射波时距曲线之间的时差最大,最大时差约 15 ms。

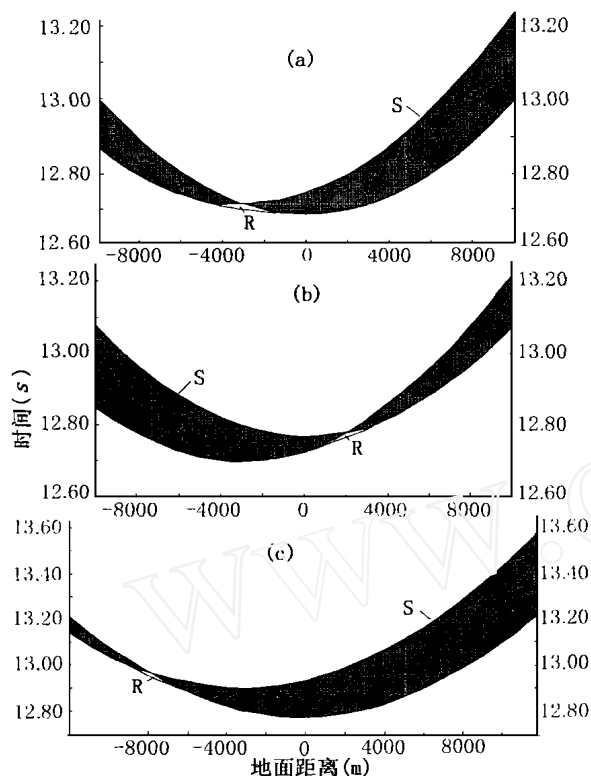


图 6 不同点激发得到的反射波和散射波时距曲线

2.3 莫霍地震波组的形成机制

在东秦岭深地震剖面调查中,采用 50 m 道间距,96 道接收,最大炮检距 5 350 m。该炮检距相对于莫霍深度偏小,因而,在 CMP 道集内,反映莫霍地震波各道时差较小,其动校正量也较小。在动校正之后,反映莫霍结构的所有能量几乎都能同相叠加(徐明才,1997)。对于水平层反射波,其动校正量为:

$$t_n = \frac{x^2}{2V^2 t_0} \quad (2)$$

其中: x 为炮检距, V 为速度, t_0 为炮检距为零时的双程旅行时。

对于地下不均匀点产生的散射波,当激发点位于该不均匀点之上方时,其动校正量 t_{sc} 为:

$$t_{sc} = \frac{x^2}{V^2 t_0} = 2 t_n \quad (3)$$

该不均匀点产生的散射波的正常时差是反射波正常时差的两倍。

当激发点不在地下某一不均匀点之正上方,且该不均匀点在地面投影点与激发点之间的距离 d 较大时,由于地层的吸收和衰减,在地面各接收点接

收到的散射波能量很弱。若不考虑远散射点激发的情况,这时:

$$t_{sc} = 2 t_n + \frac{2d(d-x)}{V^2 t_0} \quad (4)$$

由此可以看出,激发点位于地下某一散射点之正上方与不在正上方之间的动校正量仅差一量值 $2d(d-x)/(V^2 t_0)$ 。对于壳幔过渡带来说,当 d 较大时,往往因地震波旅行路径长,衰减后的散射波对地震记录的贡献很小。在 d 不太大的情况下, $2d(d-x)/(V^2 t_0)$ 量值较小。

在深地震资料处理中,深层地震波动校正量很小,散射波正常时差校正量也很小。此外,由于大地对地震波的吸收,反映莫霍地震波的频率很低(10 Hz 以下),在此情况下,动校正叠加处理不论对深层反射波,还是对能量较强的深层散射波都能起到增强作用。

通过上述分析,我们认为当构成莫霍不均匀层的单一地质体几何尺度较大时,在深地震剖面上的莫霍地震波组为反射波组,反之,为散射波组。

3 莫霍不均匀层的讨论

3.1 莫霍形态的解释

根据模型实验结果,我们知道,对于一水平不均匀体,当激发点不在地下某不均匀点之正上方激发时,散射波出现的时间不是最小时间,且能量强度低于激发点在该不均匀点之正上方激发所得到的地震波强度。对这些点产生的散射波只有在偏移处理后,才能使其归位。由此,当对深地震资料解释时,以下两点研究结果具有重要意义:

1) 在地震时间剖面上,莫霍地震波组顶部(散射波最小时间)准确反映了壳幔过渡带的上界和形态。受激发点两侧散射体影响($d \neq 0$ 处),在地震时间剖面上确定壳幔过渡带的下界和形态误差较大。

2) 深地震叠加时间剖面上反映的莫霍不均匀条带厚度为该不均匀条带视厚度。对偏移剖面进行解释得到的莫霍不均匀条带厚度才是其真厚度。

以往在对深地震时间剖面解释时,一般把莫霍地震波组的下界作为壳幔过渡带进行解释。根据上述分析后认为:把莫霍地震波组的上界作为壳幔过渡带的形态进行解释具有更可靠的理论依据。此外,对偏移地震时间剖面进行解释,其可靠性也优于对叠加时间剖面的推断解释。

3.2 莫霍异常层解释初步

对比秦岭、华北和扬子莫霍地震波组后可看出,华北和扬子莫霍地震波组相位较少,且振幅较弱,反

映了在该古老板块下的莫霍不均匀层厚度相对较薄,且不均匀程度相对较弱;而秦岭莫霍地震波组相位多,且振幅较强,反映了秦岭莫霍不均匀层厚度较大,不均匀程度相对较高。

在不同大地构造单元之内莫霍不均匀层的不均匀性和厚度的变化推测与秦岭造山带的形成有关。秦岭造山带在形成初期,华北和扬子克拉通的构造运动使莫霍层错断或发生形变,在此运动过程中,断裂两侧的上地幔物质的分异运动,使得莫霍的不均匀性和厚度发生了变化。在后来的漫长造山过程中,这种分异运动受地壳均衡作用的影响,使得秦岭莫霍的不均匀程度不断增强,起到了通常情况下的“山根”作用。而在华北和扬子克拉通,由于受造山运动的影响很小,地壳均衡作用使得对应的莫霍不均匀性改变不大。

就莫霍的新旧程度而言,据此分析能够推测当今的华北和扬子莫霍更接近于古莫霍,或者说该莫霍是华北和扬子克拉通的构造运动对古莫霍破坏后保留下的部分。而秦岭莫霍是新莫霍,其形态和不均匀程度反映了造山运动对莫霍的影响。同是秦岭新莫霍,在深地震时间剖面上,也反映出来了不同的形态和内部结构,表明了秦岭造山过程和物质分异运动的复杂性。

地震测深结果表明,华北和扬子克拉通的密度和地震波速度自上地壳至中、下地壳逐渐增加,而在

秦岭造山带内,在中、下地壳却有一明显的低速、低密度层。据此推测,东秦岭莫霍的不均匀程度及厚度只有更加发育时,才能与中下地壳存在的这一低速低密度层一起补偿秦岭山脉地形的影响。

综上所述能够得出:秦岭莫霍的不均匀程度及厚度均大于华北和扬子莫霍。在秦岭造山初期,莫霍是很不稳定的,目前,由深地震调查测得的莫霍应是稳定的壳幔之边界。

[参考文献]

- [1] 高山,张本仁,骆庭川. 秦岭造山带及其邻区大陆地壳化学成份的研究. 见:叶连俊. 秦岭造山带学术讨论会论文选集[C]. 西安:西北大学出版社,1991. 238 ~ 249.
- [2] 徐明才,高景华,王广科. 用于地学研究的小宽线深反射地震技术[J]. 物探与化探,1997,21(1):6 ~ 14.
- [3] 袁学诚,徐明才,唐文榜,等. 东秦岭陆壳反射地震剖面[J]. 地球物理学报,1994,37(6):749 ~ 758.
- [4] 张国伟,张本仁,袁学诚. 秦岭造山带造山过程和岩石圈三维结构图丛[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [5] 周国蕃,陈超. 秦巴地区地壳深部构造特征. 叶连俊(主编),秦岭造山带学术讨论会论文选集[C]. 西安:西北大学出版社,1991. 185 ~ 191.
- [6] Cao R, Zhu S. Correlation of mantle Xenolith Occurrences with earth's internal zoning and tectonic in Eastern China Acta Geophys[J]. Sinica. 1983,26(2):158 ~ 167.
- [7] Xu M C, Hu Z Y, Gao J H. Research of seismic methods in base - metal ore exploration. Liu G. D(Ed.) Proceeding of the 30th International Geological Congress[C]. 1997(20), VSP Utrecht, the Netherlands:158 ~ 166.

RESEARCH OF MOHO BASIC FEATURES ON EASTERN QINLING DEEP SEISMIC PROFILE

XU Ming - cai , GAO Jing - hua , LIU Jian - xun

Abstract : There are obvious differences about the Moho seismic event features of the plate of north China and Yangtze as well as Qinling orogenic belt appeared on Eastern Qinling deep seismic profile. This paper indicates that the inhomogeneity and thickness of eastern Qinling orogenic belt Moho are larger than North China and Yangtze Moho, through researching Moho seismic event features. The Qinling Moho zone formed after crust balance play so - called "the foot of a hill" role.

Key words : deep seismic profile, seismic events, Moho zone, reflections, scattered events, inhomogeneity



第一作者简介:

徐明才(1955年-),男。1982年毕业于长春地质学院地震勘探专业,1991年获中国地质大学(北京)硕士学位。现任国土资源部地球物理地球化学勘查研究所工程勘查部主任,高级工程师,主要从事复杂条件下的地震方法技术研究和勘查工作。

通讯地址:河北省廊坊市金光道84号 国土资源部地球物理地球化学勘查研究所 邮政编码:065000