

大别山造山带的 横波特征与地壳结构

李英康 李敬卫

(中国地质科学院 562 综合大队)

吴宣志 卢德源

(中国地质科学院岩石圈中心)

安徽大别山造山带出露的大面积超高压 (UHP) 变质带是陆—陆碰撞造山作用的直接产物,成为窥视大陆造山带深部地质的窗口和认识超高压变质岩形成、折返的场所。随着地表地质研究的深入和榴辉岩中柯石英与金刚石包体的确认,研究重点逐渐转移到大别造山带的深部研究上。1994 年底地矿部资助立项,参加了横穿大别山造山带实施的爆炸地震测深剖面 (国家地震局负责) 的探测项目。本文主要研究爆炸地震获取的横波信息,并讨论有关的深部地质问题。

一、大别山造山带的地壳横波速度结构

大别山造山带的地震测深剖面北起安徽合肥以西的长丰,经岳西、湖北的黄梅,跨长江、止于江西的安义。测线沿公路布设,测线长 420km,走向为 NE25°,如图 1。

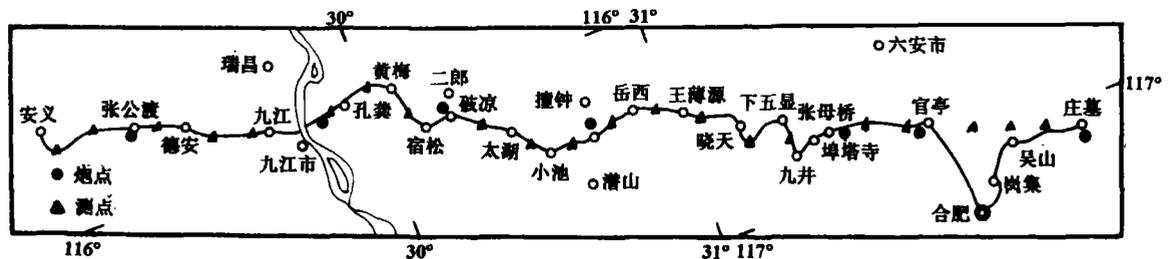


图 1 爆炸地震测深位置图

在 8 张地震记录剖面图上可以明显地观察到丰富的横波信息,浅层基底和莫霍面的反射横波十分清晰,完全能够与纵波相对应,给大别造山带的横波速度结构研究,纵、横波的联合正演提供了前提条件和原始资料,如图 2。

横波记录剖面图上,识别出 S_g 、 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_m 等沿整剖面能够连续追踪的横波震相,首波震相 S_n 不明显。 S_1 是上地壳底面的横波反射震相, S_2 是中地壳底面的反射横波震相, S_3 是下地壳中的横波反射震相, S_m 是下地壳底面(莫霍面)的横波反射震相。在回折横波震相 S_g 的正演拟合过程,识别出 2~6km 范围存在两个速度梯度间断面。上述横波震相在反演基础上,经 Seis81 正演程序,反复拟合实测走时曲线,获得的地壳横波速度结构,如图 3。

1. 上地壳 包括两个速度界面,第一个界面的深度为 4~6km。横波速度为 2.75~3.0km/s。相当 P 波、S 波出现的回折波的范围,该层底面平缓、稳定。第二个反射界面的深度为 10~12km,层速度为 3.55~3.58km/s,界面比较平缓。上地壳总厚度为 10~12km。

2. 中地壳 底面大幅度起伏,深度为 18~26km。层速度为 3.65km/s,横向速度变化不明显。层厚度 8~14km,在北大别之下达 14km,最薄处在二郎河附近,仅 6km。

3. 下地壳 顶面 18~26km,底面 31~41km,总厚度 13~15km。该层整体起伏较大,最深部位在大别山腹地岳西之下,深达 41km。在扬子板块之下,下地壳分为两层,上层厚 8km,层速度为

3.75km/s。下层厚6~8km,层速度为3.84km/s。大别山造山带、北淮阳构造带及华北地块,下地壳的层速度为3.87~3.88km/s。

4. 莫霍面 下地壳的底面即为莫霍面,深度为31~41km。扬子板块的莫霍面深度为34km,下地壳的下部呈楔状向北插入,莫霍面下倾,具有小型鳄鱼构造的造山带叠覆构造的特征。大别山造山带为33~41km,北淮阳构造带为31~36km,华北板块为32~33km。莫霍面总体形态呈锅状,锅耳分别在蔡山以北和官亭以南,大别造山带有6~8km的山根。

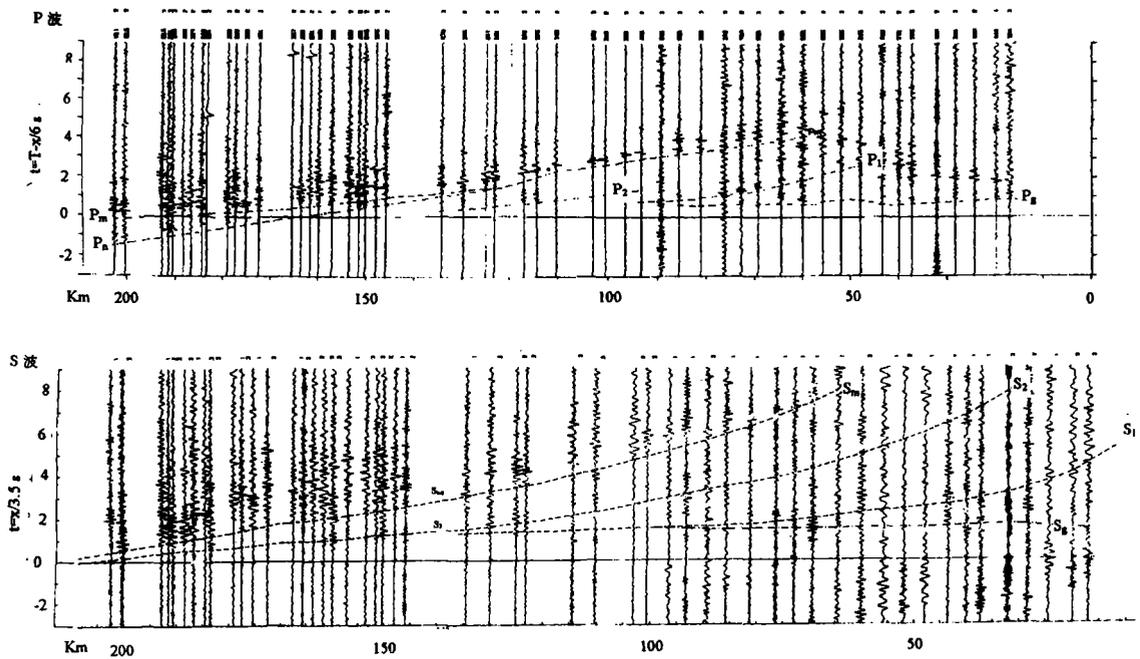


图2 纵波与横波震相对比截面图(庄墓)

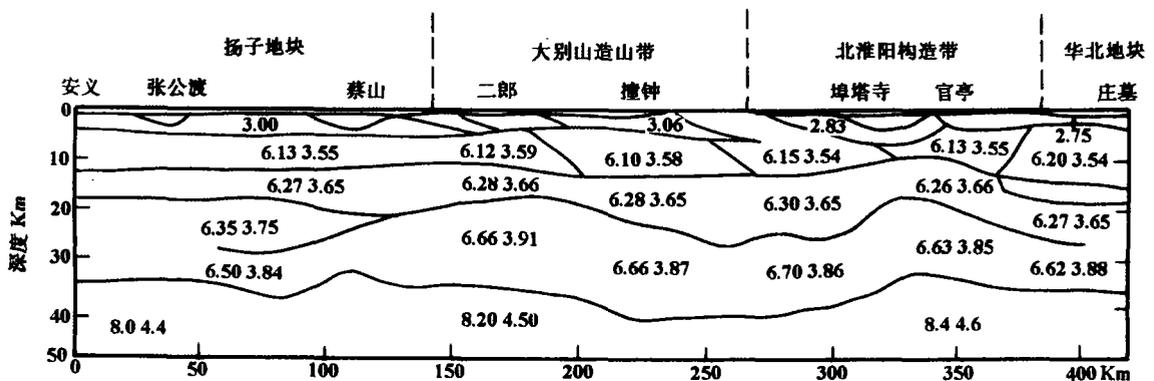


图3 安义—庄墓剖面地壳速度结构图

注:图内纵波、横波速度值是由相应速度梯度层的纵波和横波速度值经平均处理取得的。

图内数字为速度值 Km/s

二、中下地壳成分的估计

地壳深部的成分对研究大陆演化是十分重要的,但人们对此知之甚少。这主要是因为难以直接从这个重要层位取到样品,从捕虏体或高级变质地体取得下地壳岩样提供地壳深部成分的宝贵信息,但是能否把它用到整个地壳,还很难估计。如果将地震方法测定的速度值与地壳岩样在实验室测定的结果进行对比,就有可能对地壳深部的成分加以约束。

实验表明,矿物的 V_p 速度变化范围由石英的 6.0Km/s 到石榴石的 8.4Km/s (Christensen, Fountain, 1975)。多数造岩矿物的泊松比在 $0.20\sim 0.35$ 之间变化,而石英的泊松比只有 0.08 (Birch, 1961)。从这种测定值来看, V_p 可以基本上看成矿物成分的标尺。但是,仅用 V_p 值大小来判断岩石种类仍然存在许多问题。 V_p 、 V_s 联合使用,可以区分单纯用 p 波无法区分的长英质(富石英的)和镁铁质(含石英的)岩石。富含石英的岩石泊松比低,贫石英的岩石泊松比高。 V_p 与 V_s 的关系可用泊松比这一参数表达,它随 V_p 增大或 V_s 减小而增大。

W. S. Holbrook, W. D. Mooney 和 N. I. Christenson 在“大陆地壳深部速度结构(1992)”一文对利用地震波速度值约束地壳成分做了深入的讨论(该文载于 D. M. Fiuntain, R. arculars, R. W. Kay, 1992, Continental Lower crust.)。在该项研究中,假定地壳的地温梯度为 $15^\circ\text{C}/\text{km}$,上地壳的压力为 $3\sim\text{kbar}$ 的条件下实验室测定了 9 种可能是中地壳的岩样的 V_p 、 V_s 及泊松比 σ 等参数,下地壳为 $4\sim 10\text{kbar}$,测定 12 种可能是下地壳岩类的 V_p 、 V_s 及泊松比 σ 等参数。结果发现, V_p 与矿物成分之间的相关相当不唯一。也就是一个 V_p 值或一个范围的 V_p 值可能对应几种岩类,但如果 V_p 值与泊松比值联合使用,则使某些岩类得以区分。即对地壳的成分又增加了一个约束。该项研究成果给出了中地壳 V_p 为 $4.5\sim 7.5\text{Km/s}$, σ 为 $0.05\sim 0.40$ 与 9 种中地壳岩类的对应关系,给出了下地壳 V_p 为 $6.0\sim 8.5\text{Km/s}$, σ 为 $0.20\sim 0.35$ 与 12 种下地壳岩类的对应关系。

大别山造山带的 V_p 及 σ 结构,如图 3、4。大别山造山带中地壳 V_p 为 $6.2\sim 6.3\text{Km/s}$,泊松比 σ 为 $0.24\sim 0.25$,对应 4 种岩类,即花岗岩、花岗闪长岩、长英质角闪片麻岩、石英云母片岩。下地壳 V_p 为 $6.5\sim 6.6\text{Km/s}$,泊松比 σ 为 $0.24\sim 0.26$,对应的为中性麻粒岩,这种对比给出了大别山造山带中、下地壳的总体成分。但是这种对比是粗糙的,首先岩样本身是能否代表整个地壳很难估计,其次地震测深(广角)得到的是一个区域的原地的地震波速。由于其分辨率低,波速只能是该区域各种岩类的平均值,尽管如此,我们仍然可以得出大别山造山带中、下地壳的成分为中酸性岩类的结论。

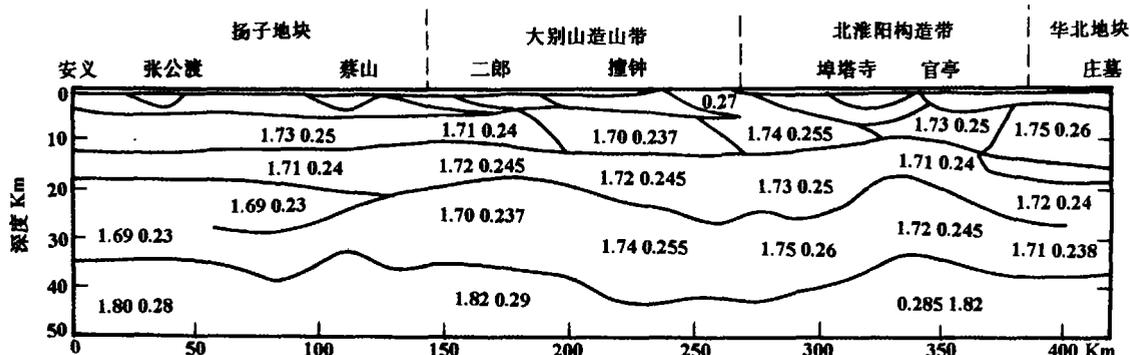


图 4 安义—庄墓剖面地壳 V_p/V_s 及泊松比 σ 结构图

这一结论表明,出露于大别山造山带的高压、超高压,含有榴辉岩的变质带不是原地的。否则其

下应该有高速的,高泊松比的中、下地壳,所对应的岩类应该是富含镁铁质的麻粒岩类。

三、横波偏振与应力方向

地球介质呈现地震各向异性已经得到广泛的承认,最显著的成果是横波偏振异常的发现和证实了横波分裂现象。英国 Crampin(1984)教授用 EDA (Extensively Dilatancy Anisotropy)模型解释横波分裂现象。

地震各向异性的起因是地球内部广泛分布的薄层组合,应力控制的裂隙、晶体的定向排列,称为应力诱导的各向异性 SGA (Stress Guidance Anisotropy)。当横波通过这种含有微构造的介质时,将产生横波分裂,造成不同体波间的耦合,速度大小随方位变化等现象。这些现象除能够由地震波的各向异性基本方程描述和数值模拟之外,横波分裂还能够经过简单的处理,由地震记录直接识别出来。地震波质

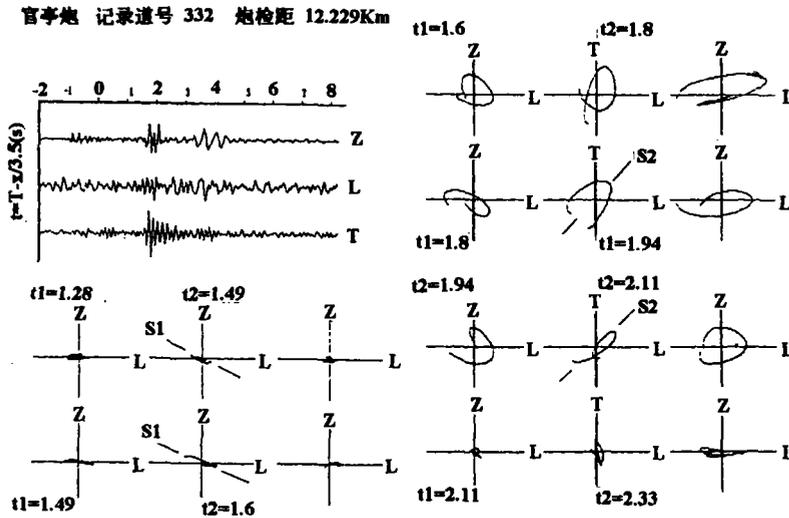


图 5 横波典型波组偏振分析图

图中 S_1 、 S_2 分别表示快、慢横波的偏振方向。 T_1 、 T_2 分别是横波在一个视周期内,质点运动的起始、结束时间。L、T、Z 分别是径向、切向和垂向分量。横波分裂的偏振图是最简单、直观的方法,其最大优点是能够重现不同地震波的偏振特征和检验其他处理方法的可行性。该方法的应用条件是快、慢横波间的最小时间延迟 $\Delta t \geq 0.5 \sim 0.7T$ (T 是横波信号的优势周期 Schute, 1988)。这时快、慢横波的质点轨迹相隔 Δt 时间,在偏振图上呈近正交的图形,如图 5。并且,快分裂横波的偏振方向平行于裂隙的方向,并与主水平压应力场的方向一致。据此,我们可以得出研究区的主压应力方向。

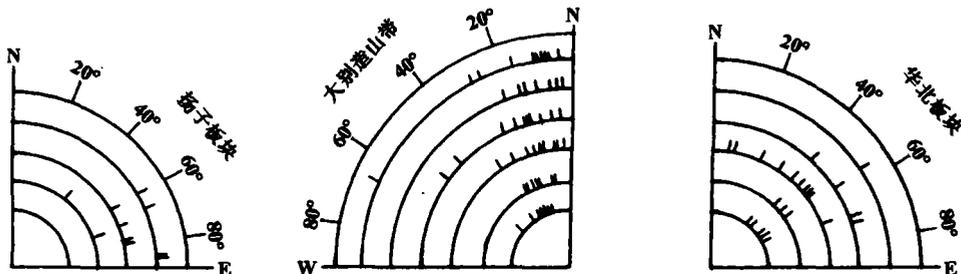


图 6 安义—庄墓剖面快横波偏振方向图

我们把纵测线上的 7 炮横波记录都绘制了偏振图,获得了快横波偏振方向综合图 6。结果表明安义—张公渡以北(修水—德安)断裂带的主水平压应力方向为 $N77^\circ E$,张公渡以北断裂带—晓天断裂带的主水平压应力方向为 $N18^\circ W$,晓天断裂带—庄墓的主水平压应力方向为 $N53^\circ E$ 。它们反

映了 10~20km 之上区域的现今活动应力的方向。

四、结论与讨论

1. 大别山造山带出露的 UHP 岩石是典型的薄皮构造,深度约为 4~6km。

Pg、Sg 波近水平的走时曲线表明:地表至(4~6km)结晶基底是小梯度的薄层组合。纵波速度约为 5.0~6.0km/s,横波速度约为 2.6~3.5km/s。其下的速度明显大于 6km/s 和 3.5km/s。大别山区的结晶基底出露地表,以英云闪长质片麻岩为代表。

在 4~6km 的深度,速度的突然变化不可能由单纯的温压随深度的增加所致来解释,而由岩石成分突变形成间断面解释更恰当。

大地电磁测深在 UHP 带之下 5~6km 深处,得到一个近水平的界面。其上的电阻率为 20000~35000 $\Omega \cdot m$,其下的电阻率为 4000~5000 $\Omega \cdot m$ 。

在地质上 UHP 带是由一系列不同环境和条件形成的岩片相互叠垛的叠瓦状构造,包括:UHP 岩片、中压的片麻岩岩片和低压的浅变质岩片(董树文等,1996;1997)。

2. 大别山造山带存在 6~8km 的山根。

不管是利用莫霍面反射走时曲线,获得的纵波平均速度 6.3km/s 和横波平均速度 3.7km/s 的反演结果,还是由分层速度、厚度的正演模拟结果,均得到在大别山造山带之下的莫霍面深度为 39~41km,两侧的莫霍面深度为 33~35km。

大别的山根不是中生代碰撞时的残留山根,而是中生代后的新山根。这是因为原山根一旦折沉,整个造山带下地壳连同上地幔一起将沉于相对热的、轻的软流圈,应出现造山带地壳比两侧薄的现象(董树文,1997)。

3. 地壳的组成

根据 V_p 、 V_s 及泊松比 σ 的综合解释,大别山造山带中地壳可能由花岗岩、花岗闪长岩、长英质角闪片麻石、石英云母片岩所组成,下地壳由中性麻粒岩所组成。尽管这种估计是粗糙的,但可以判断中、下地壳的组成为中酸性。这表明大别山造山带的高压超高压变质带不是原地的。可能是通过构造变动由地壳深部折返到地面。

4. 应力特征

横波偏振特征表明,扬子板块、大别造山带和华北板块中、上地壳应力作用集中区,分别在修水—德安断裂带、晓天断裂带。三者的主水平压应力方向,分别为 $N77^\circ E$ 、 $N18^\circ W$ 、 $N53^\circ E$ 。泊松比变化与温度、压力变化的关系表明,下地壳的应力集中区应在晓天断裂至张母桥断裂之间。

作者感谢国家地震局地球物理所王春镛博士给予的帮助和支持。感谢董树文博士和高锐研究员在纵、横波模型研究中提供的良好建议,以及地质与地球物理相互配合的有益讨论。

参 考 文 献

- [1] Xu Z. Q., Etude tectonique et microtectonique de la chaîne Paleozoïque et Triasique des Quilings (China): Doctorate Thesis, University of science and technology, Languedoc, Montpellier, 1987.
- [2] Xu S. T., Okay A. I., Ji S. Y., Sengor A. M. C., Su W., Liu Y. C. and J. L. L., Diamonds from Dabieshan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting, Science, 256, 80-82, 1992.

- [3] A. V. Egorkin, Results of lithospheric studies from long-range profile in siberia, Tectonophysics, 140, 29-47, 1987.
- [4] S. G. Brooks, Extensively Dilatancy Anisotropy (EDA) inferred from observation of crustal shear waves generated by a refraction experiment in northern Scandinavia. Geophys. J. R. astr. Soc., 90, 225-232, 1987.
- [5] 董树文等,大别山造山带深部地质初探,《中国地质》,1997.1,32-37。

The characteristics of S-wave and the crust structures in the nearby DaBie orogenic belt

Abstract

Changfeng—Anyi Deep Seismic Sounding profile goes across three geotectonic units, that are North China Block, Dabie Orogenic Belt and Yangtze Block, the whole profile is about 420 kilometer long. S-wave's information is very rich on the eight pieces of the seismic record sections.

According to S-wave data, the crust can be divided into three layers, Moho boundary is 33 to 41 kilometer, that is 41 kilometer in nearby the Yuexi region, and there exists a mountain root of 6-8 deep below the Dabie orogenic belt.

On the basis of P-wave and S-wave velocity, the Poisson's ratio of the crustal rocks are calculated, and the composition of the rocks in the middlelower crust ate estimated. The P-wave velocity and Poisson's ratio is 6.2-6.3km/s and 0.24-0.25 respectively, that is corresponding to granite, granodiorite, felsic amph. facies gneiss and quartz-mica schist in the middle crust. The P-wave velocity and Poisson's ratio is 6.5-6.6km/s and 0.24-0.26 respectively, that is corresponding to intermediate granulite in the lower crust. The above results have shown that are probably the acidic rocks to neutral rocks below the middle-lower crust of the Dabie orogenic belt.

The S-wave splitting phenomenon is found in the polarized analysis of the typical S-wave groups, and the polarized eirection of the faster S-wave is usually corresponding to the direction of the main horizontal stress. The polarized feature of the faster S-wave in this region has shown that the direction of main horizontal stress with the Yangtze Block, Dabie Orogenic Belt and North China Block is N77°E, N18°W and N53°E respectively.

(上接第 37 页)产品总值为 20.91 亿台元。按出口矿产品的价值高低排列为:花岗石等粗石材(21.67%)、金属熔渣及灰(14.2%)、硫磺(8.38%)、膨土、火黏土(8.28%)、砂砂(7.52%)、大理石石材(5.35%)、石膏(5.2%)、锆粉(5.03%)、砾、卵石(4.23%)。出口量及价值如下:

- (1)花岗岩石材出口 2.8 万吨,价值 4.53 亿台元。
- (2)金属熔渣及灰出口 25 万吨,价值 2.97 亿台元。
- (3)硫磺出口 779 吨,价值 1.75 亿台元。
- (4)膨土、耐火黏土出口 17959 吨,价值

1.73 亿台元。

(5)砂砂出口 48.32 万吨,价值 1.57 亿台元。

(6)大理石石材出口 8662 吨,价值 1.12 亿台元。

(7)石膏出口 1.25 万,价值 1.09 亿台元。

2. 矿产制品出口

1995 年出口矿产制品总值共 3282.29 亿台元,占出口矿产品和矿产制品总值的 99.37%,部分矿产制品的出口情况如下:铝制品 28.87 万吨、铜制品 32.36 万吨、锌制品 2.89 万吨、锡制品 4600 万吨、铅制品 8944 万吨、镍制品 2650 万吨。 (地矿部矿管局)