

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

研究
进展

大别山超高压变质带层析地震调查

彭聪¹⁾ 姜枚¹⁾ 宿和平¹⁾ 史大年¹⁾ A. Schulze²⁾ T. Ryberg²⁾

1) 中国地质科学院矿床地质研究所, 北京, 100037

2) GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg A17,
14473 Potsdam, Germany

内容提要 1997年3月中德合作进行了大别山科学钻探选址区层析地震调查, 研究结果揭示出大别山超高压变质带(UHP)地壳精细结构。郟庐断裂带近垂直延伸至 Moho 界面(可能更深), 在 Moho 界面以上郟庐断裂带西侧大别山地壳物质没有迁移进入其东侧。在主测线(横中至潜山镇)20 km 深度发现一个由西向东倾斜的强反射层, 推测可能是一个大的滑脱层。超高压变质岩石(或地幔物质)可能由地幔深处通过郟庐断裂带再沿此滑脱层折返到地壳上部, 经后期剥蚀出露地表。

关键词 大别山 超高压变质带 郟庐断裂 地震层析成像 广角反射

中国中部的秦岭—大别造山带是中朝地台和扬子地台在三叠纪碰撞形成的(周焯秀等, 2000)。大别造山带的超高压变质作用及其地球动力学问题引起了众多国内外地球物理学家的广泛兴趣, 大别山造山带之所以成为造山带研究热点, 是因为出露了世界上面积最大的以柯石英榴辉岩(Xu et al., 1987; Wang et al., 1989; Okay et al., 1989)和含金刚石榴辉岩(Xu et al., 1992)为代表的超高压岩石, 而这些含有柯石英和金刚石变质杂岩是来自 100 km 以下的地下深处(Hacker et al., 1995)。

大别造山带深部构造的研究工作开始于 1992 年。原地质矿产部第一物探大队完成了第一条横穿大别造山带的大地电磁(MT)测深剖面(董树文等, 1993), 测线北起六安, 南止瑞昌, 全长 280 km。研究结果显示大别山超高压变质带具有高阻电性特征, 由地表延伸至 5 km 范围内为 200~35 k Ω ·m 的高阻体; 六安—瑞昌剖面上电性层由北向南倾斜, 发现有两层高导层分别存在于上地壳和下地壳之中。上地壳高导层很薄, 厚度约 2 km。下地壳高导层较厚, 厚度近 10 km, 高导层由北端埋深 20 km 向南加深至 50 km, 推测可能是一个滑脱带, 华北地块可能沿此滑脱带插入到大别山下。

1994 年, 在大别地区由安徽省地质矿产局、中国地质科学院、国家地震局共同完成了一条宽角反射/折射地震剖面, 北起安徽长丰, 南止江西安义, 全长 420 km(董树文等, 1998)。地震剖面得出 4 个速度层和 4 个速度界面, 并揭示出超高压变质带(UHP)具有较高的 P 波速度(5.6~6.0 km/s), 推测 UHP 带厚度约 5 km, 这和大地电磁高压变质带高阻体结果一致。但是地震分层界面比较平缓, 没有反映出象大地电磁高导层那样的壳内倾斜滑脱带。

1997 年 3 月, 中德合作进行了大别山科学钻探选址区层析地震调查, 参加单位有中国地

质科学院、德国波茨坦地学研究中心和华东石油局第六物探大队。利用层析方法和近垂直反射法进行研究, 研究结果揭示出岳西县大田至潜山镇长度 64 km 的剖面上大别山超高压变质带和郟庐断裂带附近的精细地壳结构。郟庐断裂带近垂直延伸至 Moho 界面(可能更深), 至少在 Moho 界面以上郟庐断裂带西侧大别山地壳物质没有迁移进入其东侧。在主测线(横中至潜山镇)20 km 深度发现一个由西向东倾斜的强反射层。

1 区域构造背景

大别造山带自南向北分为两个地块(图 1): 南大别地块(SDB)、北大别地块(NDB)。南大别地块, 其南界是襄樊—广济断裂(XGF)。超高压变质带位于南大别地块和北大别地块之间(岳西和太湖之间), 在菖蒲—水吼岭一带, 分布于水吼—龙井关断裂和乌石埡—桐城断裂之间的北东向带状分布的太古宙地层内(图 2)。北大别地块的北界为磨子潭—晓天断裂(MXF)。

大别山超高压变质带层析地震调查剖面穿过大别造山带和东部潜山中新生代盆地两个构造单元。以桐城—乌石埡深断裂(它是郟城—庐江深断裂的一段)为界, 断裂以西大别造山带出露大片太古宙大别山群古老变质岩系; 断裂以东为潜山中新生代盆地。水吼岭—龙井关断层和桐城—乌石埡深断裂之间为水堆磨—棹椅尖背斜带。菖蒲—黄柏断层和水吼岭—龙井关断层之间为菖蒲复向斜(图 2)。

2 深反射地震和层析地震数据采集

大别山超高压变质带层析地震调查布置两条测线(图 2)。近东西向测线相当弯曲, 长度为 64 km。西端起自岳西县田头, 经菖蒲、潜山县横中、水吼、东端止于潜山镇。该剖面横跨大别超高压变质带和 NNE 向的郟庐断裂带。其中潜山县横中至潜山镇为深反射地震剖面(称为主测线)长度为 24 km, 重点揭示 UHP 带地壳内部反射特征和波速结构。另外一段南北向测线, 从

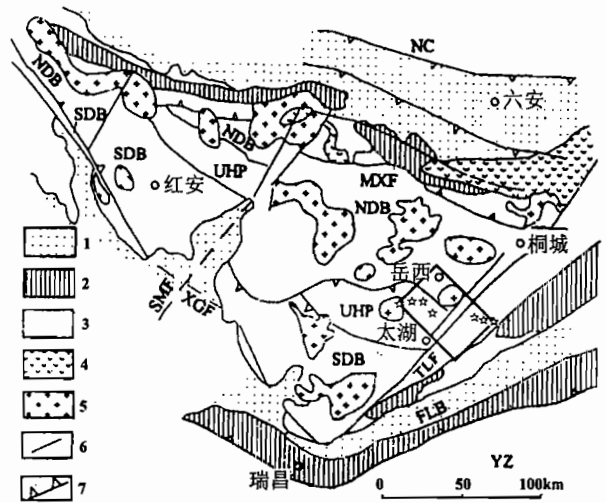


图 1 大别地区区域地质背景图

Fig. 1 The geological settings of the Dabieshan area

1—中生代盆地; 2—古生代地层; 3—元古宙变质杂岩; 4—晚侏罗—早白垩世火山岩; 5—燕山期花岗岩; 6—断层; 7—重要边界断裂; NC—华北地块; YZ—扬子地块; FLB—前陆带; TLF—郟庐断裂; NDB—北大别地块; UHP—超高压变质带; SDB—南大别地块; MXF—磨子潭—晓天断裂; XGF—襄樊—广济断裂; SMF—商城—麻城断裂。方框为研究区, 五角星表示大炮点位置。(地质底图引自董树文等, 1998)

1—Meso-Cenozoic basin; 2—Palaeozoic stratum; 3—Proterozoic metamorphic complex; 4—late Jurassic-early Cretaceous volcanics; 5—Mesozoic granites; 6—fault; 7—major border fault; NC—North China block; YZ—Yangtze block; FLB—foreland belt; TLF—Tancheng—Lujiang fault; NDB—North Dabie block; UHP—ultra-high pressure metamorphic belt; SDB—South Dabie block; MXF—Mozitan—Xiaotian fault; XGF—Xiangfan—Guangji fault; SMF—Shangcheng—Macheng fault. Rectangle on the right half indicates the target area of seismic investigations. Stars indicate the 16 wide-angle shots (with a charge size of 200 kg). (Base map after Dong et al., 1998)

岳西县金山公社经秦家河至潜山县水吼,长度 18 km,进行宽角反射/折射地震测量,使用国产 ROMAN I 型(模拟)地震仪 5 台 5 道,以取得大别超高压变质带北部边界和是否存在缝合带以及地体拆离、推覆的深部地球物理证据。东西剖面布置 3 种地震仪,西段放置中国 DFS-V 型 120 道数字地震仪;中段放置德国的 30 台 PDAS(3-D)型 6 道数字地震仪,共 100 道;东段放置德国的 SUMMIT96 道数字地震仪,4.5 Hz 检波器,道间距 80 m,均匀布置在 24 km 的测线上。不同记录系统滚动式穿过杂岩带。进行常规的共深度点法(CDP)观测,同时进行对上地壳的层析实验测量。沿线放了 112 个小炮,平均炮间距 200 m,井深 20~25 m,单井组合,炸药量 50 kg。叠加次数 25 次,记录长度 24 s,采样率 4 ms,近炮 600 m,远炮 6550 m。

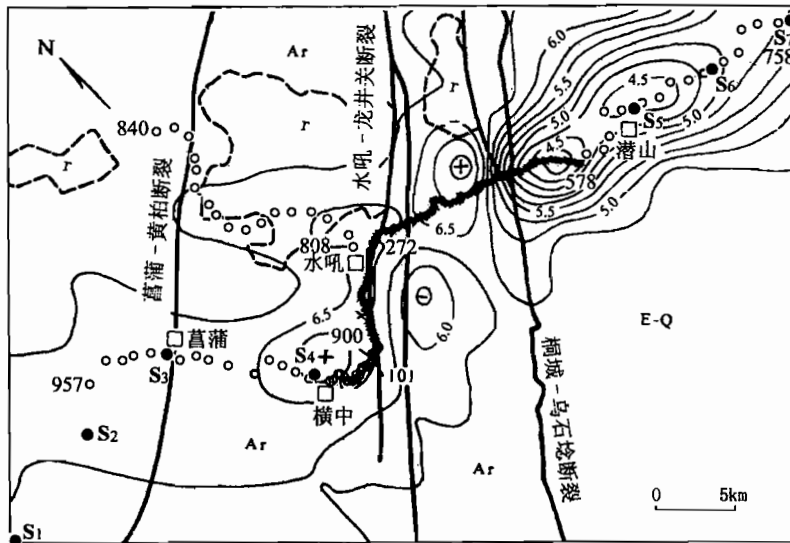


图 2 地震炮点和观测台站位置分布图

Fig. 2 The distribution of shots and stations

- 观测台站,深反射点号 101~272~570,广角点号 578~758,900~957 和 808~840;×—小炮点;●—大炮点。断裂(实线)和花岗岩范围据 1:20 万地质图简化,背景为海平面下 1 km 深度平面上的速度成像(速度单位为 km/s)
- Stations with a spacing of 100 m, 101~272~570 indicates the deep reflection profile; 578~758, 900~957 and 808~840 indicate the wide-angle stations. ; ×—102 small shots with a charge size of 50 kg; ●—big shots of 200 kg. Geological setting is after the 1:200000 geological map. The contours indicate the velocity imagery at a depth of 1 km below sea level (the unit of velocity is km/s)

宽角反射/折射测量共进行 4 天,放 16 个大炮,炮间距 6 km,炸药量 50~100 kg,两端药量增加到 200 kg,井深 20~25 m,3~7 井组合。使用两种地震仪进行测量,PDAS 型地震仪,6 道,30 台,共 180 道,台站间距为 1000 m;SUMMIT 型地震仪,96 道,台站间距为 1000 m。检波器道间距为 1000 m,组合 36 个,排列长度 6 km,叠加次数 15 次,记录长度 24 s,采样率 4 ms。

3 地震三维层析反演

地震三维层析反演结果(图 3)显示出:郟庐断裂的桐城—乌石埡段为一明显的垂向速度界面,该段以东地壳浅层为潜山中新生代盆地,平均 P 波速度值为 3.3 km/s 左右;以西,出露大片大别山群古老变质岩系。海平面正 1.5 km 左右深度,见有广泛分布的高速体,其速度值

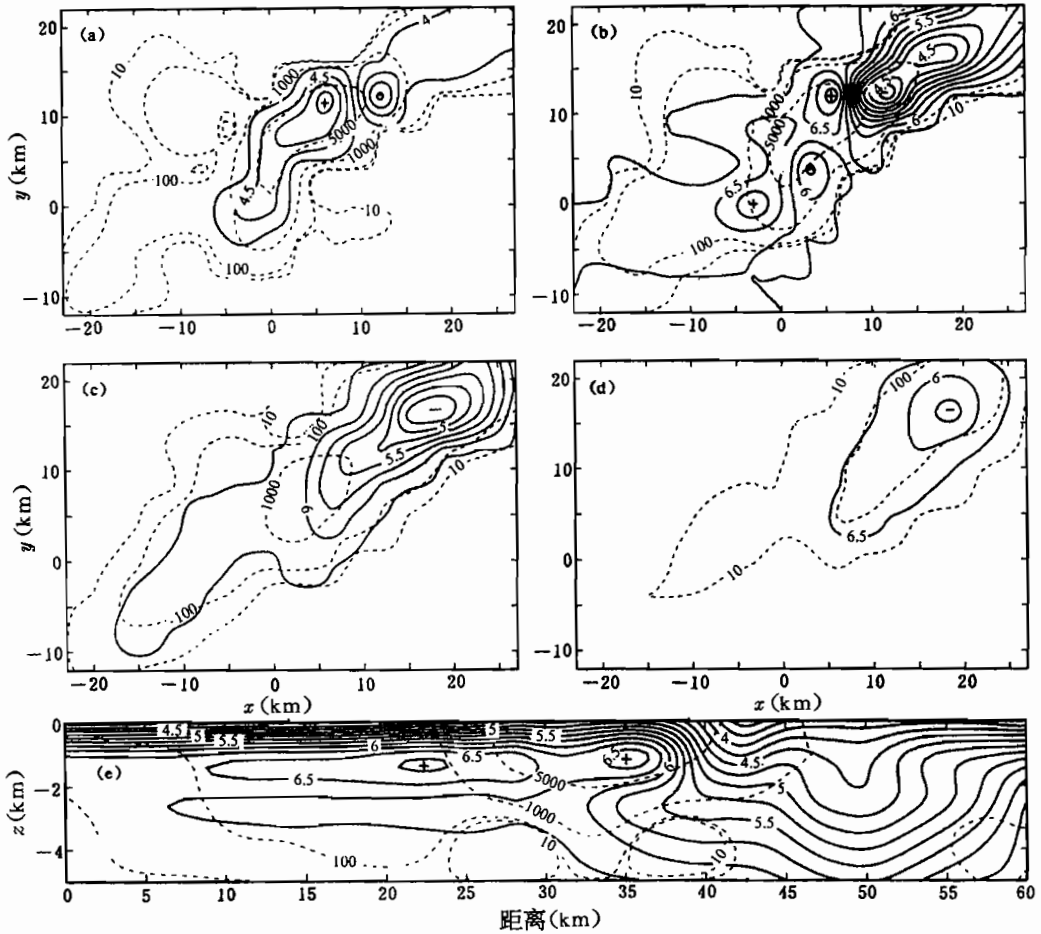


图 3 地震三维层析反演结果图

Fig. 3 Results of the 3D inversion

水平速度切片:(a)—海拔 0 km;(b)—海平面下 1.0 km;(c)—海平面下 2.5 km;(d)—海平面下 5.0 km;

(e)—垂直速度切片;实线为等速度线,虚线是单元内等射线数

(a)~(d)—Velocity imagery on the horizontal plane at a depth of 0 km, 1.0 km, 2.5 km and 5 km below sea level respectively; (e)—velocity imagery on the vertical plane along the down-left to up-right diagonal of the above panels.

The solid contours indicate velocity, and the dash ones indicate ray density in each grid

高达 6.5 km/s,明显高于大别结晶基底的平均速度 6.0 km/s(王椿镛等,1997)。推测此高速体可能是超高压变质岩石呈薄皮构造,厚度 2 km 左右;不同于折射地震推测厚度 5~6 km。

桐城—乌石埧深断裂是著名的郟城—庐江深断裂带的一小段,速度特征明显。在区内航磁异常中反映极清楚,对应正磁场(西侧)和负磁场(东侧)之交变带。地表特征亦很特别,是一条长期活动的比较典型的深断裂,断裂宽度 30 km,走向 45°~50°,长 70 km。此段断裂具近直线形态、地貌差异清晰、强烈的断裂破碎带和动力变质作用发育、岩浆岩的带状分布,沿断裂带地震活动频繁及该断裂控制了不同沉积区和隆起区。

水吼—龙井关断裂错断了超高压变质带高速体与一个低速带相对应,说明此断裂生成较晚。断裂切割深度超过 5 km。水吼—龙井关断屋平行展布于主干断裂的西侧,走向 45°~50°。

地表特征明显,断裂面倾向NW,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,沿断层线地貌表现为平直深谷。断裂构成大片混合花岗岩的东南边界,水推磨—棹椅尖背斜的西界。

菖蒲—黄柏断层为主干断裂北西侧的次级羽状断层,经柳畈、菖蒲、响肠、逆水畈、黄柏、中嘴河而终止于桐城以西和深断裂斜交。走向 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,长80 km,断层面东段倾向NW,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。西段倾向SE,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,呈扭曲状。沿断层线表现为平直深切河谷。本断层和矿产关系较为密切,具明显控矿作用。自岳西县响肠至柳畈,白云母、蛭石矿点密集,尚有相当数量铜、铅—锌、钼等矿化,这些矿化均以次级NE向剪节理为赋存场所。

4 深反射地震资料处理结果

大别山地区地理和地形复杂,测量时又使用了不同型号的记录仪。所以,常规共深度点法

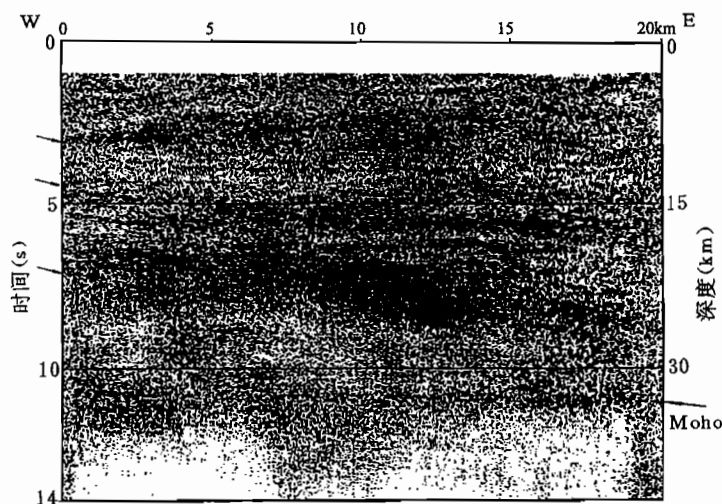


图4 横穿大别山超高压变质带的深反射地震包络振幅剖面
Fig. 4 Envelope stack image on UHP in the Dabie Mountains

处理资料时用包络线(图4),没有用振幅(Schulze et al., 1998)。采用常规速度模型进行偏移($V=6.00$ km/s)。叠加时间剖面显示出 $0\sim 11$ s(TWT)内不同反射体的细结构,在中、下地壳有一个强反射层呈自西向东倾斜的趋势。上地壳的反射体倾向则相反,指示出这个区域复杂的演化结果。Moho界面(11 s(TWT))贯穿整个剖面。在 $1\sim 5$ km的地壳内检测到一些反射单元。这些单元可能与高速体有关,类似于大别山东北方向的苏鲁带(杨文采, 1999)。上、中地壳中有大量的

陡倾斜和近水平反射体和几个反射带,11 s时弱反射带是Moho界面。陡倾斜反射体由东向西倾斜终止于Moho界面(郟庐断裂带附近,郟庐断裂位于图4的17.5 km处)。迁移线主要特征(图5)显示出中、下地壳($5\sim 7$ s(TWT))反射体以 45° 倾角向东倾斜。在整个地壳中没有反射体迁移进郟庐断裂带的东部区域,这可能意味着郟庐断裂带是近垂直的断裂带,断裂深度至Moho界面。Moho界面深度为32 km。郟庐断裂带Moho界面虽然有间断,但是Moho界面起伏并没有大的变化,这似乎可以佐证它是平移断裂带。超高压变质岩石(或岩浆)可能沿郟庐断裂折返到地壳上部,经后期剥蚀出露地表。六安—马鞍山地震剖面的速度结构(图6)显示出郟庐断裂带下为异常地幔带,上地幔顶部速度 P_n 值仅为7.75 km/s。

基于以上研究结果,结合岩石学和进一步地震调查计划(1998~1999),以解决遗留的和提出的新问题。进一步实验的焦点应放在超高压变质岩体的三维地震探测上。目前取得的结果,加上进一步的工作将有助于研究大别山超高压变质带的结构和演化。将提供国际深钻计划区域背景的三维地质结构图象。

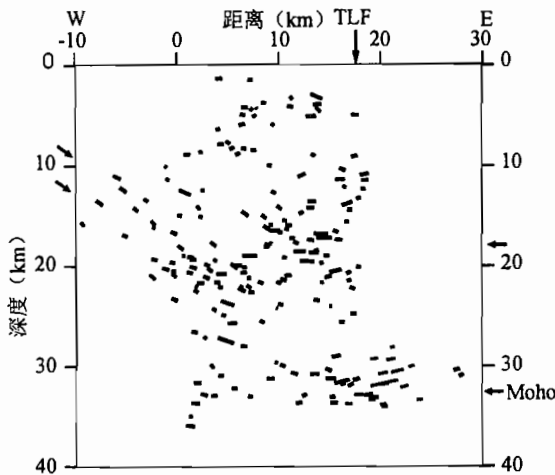


图 5 迁移线主要特征

Fig. 5 Migrated line drawing of common depth point line

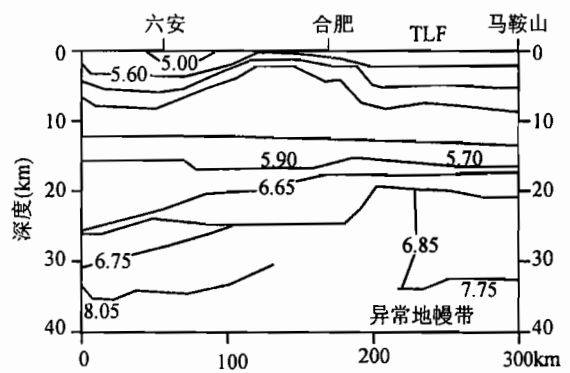


图 6 六安—马鞍山地震剖面(据郑晔等,1989)

Fig. 6 Lu'an—Ma'anshan seismic profile (after Zheng et al., 1989)

TLF—郟庐断裂,单位:km/s

Tancheng—Lujiang fault (TLF) is anomaly upper mantle, $P_n = 7.75$ km/s

5 结论

(1) 郟庐断裂的桐城—乌石埡段为一明显的垂向速度界面,该段以东地壳浅层为潜山中新生代盆地,平均 P 波速度值为 3.3 km/s 左右;该段以西,出露大片太古宙大别山群古老变质岩系,平均速度为 6.0 km/s。

(2) 大别山超高压变质带海平面下 1.5~3.5 km 深度,见有 2 km 厚的高速体,其速度值高达 6.5 km/s,明显高于大别结晶基底的平均速度 6.0 km/s。推测此高速体可能是超高压变质岩石呈薄皮构造,厚度 2 km 左右;不同于折射地震推测厚度 5~6 km。

(3) 郟庐断裂带近垂直延伸至 Moho 界面(可能更深),至少在 Moho 界面以上郟庐断裂带西侧大别山地壳物质没有迁移进入其东侧。

(4) 在主测线(横中至潜山镇)20 km 深度发现一个由西向东倾斜的强反射层,推测可能是一个大的滑脱层。超高压变质岩石(或地幔物质)可能由地幔深处通过郟庐断裂带再沿此滑脱层折返到地壳上部,经后期剥蚀出露地表。

参 考 文 献

- 董树文,孙先如,张勇等. 1993. 大别山造山带基本结构. 科学通报, 36(6): 542~545.
- 董树文,吴宜志,高锐. 1998. 大别造山带地壳速度结构与动力学. 地球物理学报, 41(3): 349~360.
- 王榕镛,张先康,丁志峰. 1997. 大别造山带上部地壳结构的有限差分层析成像. 地球物理学报, 40(4): 495~501.
- 杨文采. 1999. 后板块地球内部物理学导论. 北京:地质出版社, 122~136.
- 郑晔,腾吉文. 1989. 随县—马鞍山地带地壳与上地幔结构及郟庐构造带南段的某些特征. 地球物理学报, 32(6): 183.
- 周焯秀,肖文交,杨振宇等. 2000. 从亚洲大陆块体拼贴过程看大陆造山带的形成与演化. 地质论评, 46(3): 270~275.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L. 1995. What brought them up? Exhumation of the Dabie Shan ultrahigh-pressure rocks. *Geology*, 23: 743~746.
- Okay A I, Xu S T, Sengor A M C. 1989. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. *European J. Mineralogy*, 1: 595~598.

- Schulze A, Jiang M, Ryberg T, et al. 1998. Survey yields data on unique metamorphic rock complex in China. *Eos.*, *Transactions, American Geophysical Union*, 79(36): 429~433.
- Wang X M, Liou J G, Mao H G. 1989. Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in the central China. *Geology*, 17: 1085~1088.
- Xu S T, Okay A I, Ji S Y, et al. 1992. Diamonds from Dabieshan metamorphic rocks and its implication for tectonic setting. *Science*, 256: 80~82.
- Xu Z Q. 1987. Etude tectonique et microtectonique de la chaine paleozoique et Triasique des Qilings (Chine). These de doctorat, Univ. Sci. Tech Languedoc, Montpellier.

Seismic Tomography Investigation on UHP in the Dabie Mountains

Peng Cong¹⁾ Jiang Mei¹⁾ Su Heping¹⁾ Shi Dania¹⁾ A. Schulze²⁾ T. Ryberg²⁾

1) *Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China*

2) *GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg A 17, 14473 Potsdam, Germany*

Abstract

In the spring of 1997, scientists from the Chinese Academy of Geological Sciences and GeoForschungsZentrum Potsdam jointly collected seismic reflection data along a line in the Dabie Mountains. The seismic line, about 20 km long, begins west of the Town of Qianshan, crossing the Tancheng—Lujiang Tancheng—Lujiang Fault, and ends up in the ultra-high pressure metamorphic block in the Dabie Mountains area. The experiment mainly explored layered structure of the upper, middle and lower crust. To study the crustal reflectivity, the standard common-depth-point (CDP) experiment was carried out. The tomographic method was applied to provide velocity information for the shallow (≤ 5 km) structure, and the companion wide-angle shots gave control on the velocity structure of the deeper reflectors. The conventional CDP processing resulting in a stacked time section shows a very detailed structure with different reflectors down to 11s two-way time (TWT). The reflectors generally dip to the east in the middle and lower crust, while to the west in the upper crust, indicating complex evolution of this area. The Moho appears throughout the profile, generally at about 11s TWT. The result from the seismic tomographic image shows that the high velocity bodies might be positioned at a depth of only about 1.5 km below sea level within the Dabie ultra-high pressure metamorphic belt.

Key words: Dabie Mountains; ultra-high pressure metamorphic belt; Tancheng—Lujiang fault; seismic tomography; wide-angle reflection

作者简介

彭聪,女,1954年生。1977年毕业于长春地质学院物探系。现任中国地质科学院矿床地质研究所副研究员,主要从事地球物理资料综合解释研究。通讯地址:100037,北京百万庄路26号,中国地质科学院矿床地质研究所。