

苏鲁超高压变质带地震波场特征及地震资料处理

李桂花, 朱光明

(长安大学 地质工程与测绘工程学院 陕西 西安 710054)

[摘要] 中国通常人们认为地震勘探在变质岩地区可能得不到有用的反射, 地震资料会难以处理和解释。以实例分析苏鲁超高压变质带的地震波场特征, 并介绍一条测线纵波地震资料处理的过程, 说明超高压变质带在有破碎带、韧性剪切带和大的岩体界面的情况下用适当的采集方法和资料处理方法, 有可能得到可以解释的地震反射资料, 并对超高压变质带地震资料所反映的地质现象作了部分解释。

[关键词] 中国大陆科学钻探; 超高压变质带; 地震波场特征; 地震资料处理

[中图分类号] P631.4 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)03-0078-04

Seismic Wave Characters and Data Processing Over the Sulu
Ultra high Pressure Metamorphic (UHPM) Belt in Eastern China

LI Gui hua, ZHU Guang ming

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract Usually, it is believed that seismic waves could not be well reflected in metamorphic rock regions, it is difficult to process and interpret the seismic data. This paper shows a historical case. It analyzes the seismic wave field characters over the Sulu high pressure metamorphic belt and introduces the 2D seismic data processing flow. The results demonstrate that useful information may be acquired on the high pressure metamorphic belt if proper acquisition and processing strategies adopted and shear belts existed. Partial geological deductions are interpreted by the seismic data possible from the high pressure metamorphic belt.

Key words: Chinese Continental Scientific Drilling; UHPM belt; seismic wave field character; seismic data processing

0 引言

超高压变质岩是指原来位于地壳浅部的岩石, 后深入到地下 100 km 深处, 经历了超高压变质作用又折返回地表的岩石。研究超高压变质带的形成与折返机制是探索大陆动力学的前沿问题^[1]。中国大陆科学钻探钻孔选址于苏鲁超高压变质带南部连云港东海县毛北村附近, 被认为是研究超高压变质带的最有利地区。孔区地质构造复杂(图 1)^[2], 出露的岩石主要为超基性岩、榴辉岩、角闪岩与经过超超

压变质的片麻岩等。其中有一个规模很大的反 S 型榴辉岩体, 产状很陡, 倾角大于 60°, 在浮土之下出露。近年来, 在此带中进行了大陆科学钻探(深度 5 100 m)和以深反射地震为主导的详细的综合地球物理调查^[3-12], 发现了丰富的反射体, 为研究超高压变质带地壳上地幔组构提供了难得的基础资料。

笔者以实例分析本区二维地震剖面上的地震波场特征, 并介绍一条测线纵波地震资料处理的过程, 说明变质岩地区沿破碎带和大的岩体界面也能形成良好的反射, 在一定条件下用适当的资料采集和处理方法可以得到这些反射, 得到可用于解释的

[收稿日期] 2005 11 04
[基金项目] 九五国家重点科学工程项目(CCSB GEOP 005)
[作者简介] 李桂花(1977-), 女, 黑龙江宝清人, 从事地球物理勘探与研究。

地震资料。笔者对超高压变质带地震资料所反映的地质现象试作部分解释。

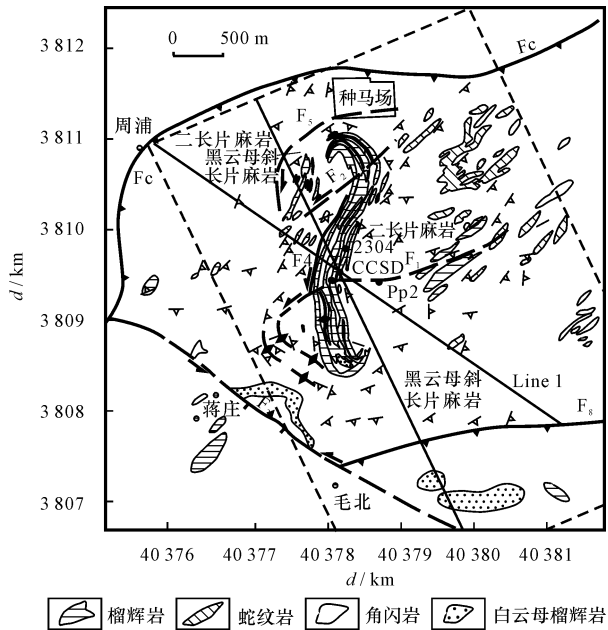


图 1 孔区地质图及有关地震反射测区与测线位置
Fig.1 Geology and Seismic Lines in the Scientific Drilling Site

1 地震资料采集

本区地面二维 Line - 1 线反射地震资料由中国石油东方地球物理公司地震开发中心 2 508 队采集。观测系统采用单边端点激发, 叠加次数最高 24 次, 道间距 30 m, 炮点距 150 m, 偏移距 150 ~ 7 320 m, 1 ms 采样, 每道 15 360 个样点。为了在变质岩地区取得高质量的地震资料, 依据本区特点, 选择炸药震源、深井激发(新鲜基岩中激发)方式, 药量 12 kg, 炮井深度 17 m。记录仪器型号是 SYSTEM - IV, 检波器为 SVSM 传感器。按照这样的采集方法, 得到了浅、中、深层反射同相轴都比较明显的地震记录。

2 地震波场分析

变质岩地区记录到的地震波场比较复杂, 剖面中可以看到多种干扰波, 也能看到有效的反射。图 2 是原始的一炮 Z 分量记录, 整个面貌显然不如沉积岩地区那样有一层一层连续分布的同相轴, 但是, 记录上也可见到比较清楚的初至, 浅、中、深层也都有明显的反射, 浅层反射轴较多, 深层在 10 s 左右有一很强的反射轴, 被分析认为是莫霍面在地震剖面上

的反应。整张剖面记录到的波场比较复杂, 反射同相轴相位较多, 单个相位延伸较短, 相位之间互相转换, 干扰波比较发育, 相关干扰波形态各异, 有直线同相轴, 也有各种弯曲同相轴, 噪音背景较大。

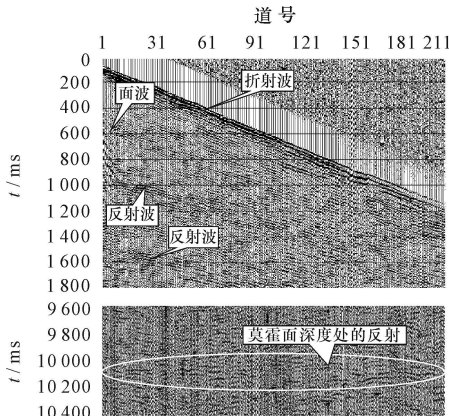


图 2 原始记录 Z 分量
Fig. 2 Unprocessed Seismic Record Z component

图 3 是 Line - 1 线第 1 炮频率扫描图, 从图 3 可见: 频带 5 ~ 10 Hz 的剖面上主要是浅层折射波(视速度约 5 350 m/s)和几组视速度不同(3 150、2 400、1 800、1 450 m/s)的面波, 该频带内几乎见不到反射; 频带 10 ~ 20 Hz 的剖面上, 浅层折射波能量仍然很强, 但波形变窄了, 低频扫帚状分布的强面波干扰中, 视速度为 3 150 m/s 和 2 400 m/s 的几组已基本消失, 1 800、1 450 m/s 的几组面波仍然存在, 该频带上断续的反射同相轴开始显现出来, 但随机噪音背景较强; 频带 20 ~ 30 Hz 的剖面上, 浅层折射波仍然能量很强, 但相位增多了, 低频扫帚状分布的面波基本上已经消失, T_0 时间为 1 s、1.54 ~ 1.6 s、1.8 s 的几组反射显现出来; 频带 30 ~ 40 Hz 的剖面上, 几组反射仍然存在, 但相位增多了, 中高频随机噪音也进一步明显增强了; 频带 40 ~ 50 Hz 和 50 ~ 60 Hz 的剖面上, 主要是中、高频随机噪声, 反射信号基本被噪音覆盖。

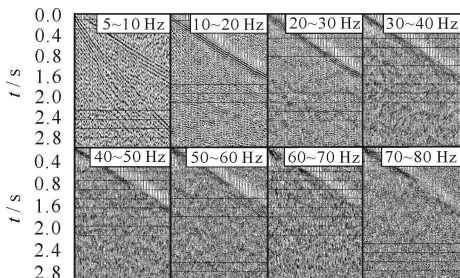


图 3 频率扫描记录
Fig. 3 Scanning Frequency Record

分析图 3 可见, 本区的主要干扰波是:

- (1)浅层来自基岩的折射, 其特点是能量强, 频带宽, 视速度高, 在远排列处可以成为初至。
 - (2)来自震源激发的面波, 特点是能量强, 有好几组, 多组面波在剖面中呈扫帚状分布, 其频率不同(5 ~ 20 Hz), 视速度不同(1 400 ~ 3 100 m/s)。
 - (3)中高频随机噪声, 频率 30 Hz 以上。
- 本区的主要反射波是:

- (1)来自破碎带或韧性剪切带的反射, 其特点是能量较强, 在单炮记录上同相轴大致呈双曲线分布, 波组延续较长, 可以延续几千米或十几千米, 波组由多个相位组成, 相位不太稳定, 常常互相转换, 分析认为波组总的形态反映的是韧性剪切带, 而各个小段则可能反映韧性剪切带中的岩体界面。
- (2)来自超高压变质岩(例如榴辉岩)岩体界面的反射, 这些岩体如果沿着韧性剪切带分布, 则表现为总体延续较长的波组(如前所述), 如果是分散的小块, 则表现为剖面上很多短的各个方向都有的同相轴。
- (3)莫霍面反射, 大约出现在地震双程时 10 s 附近, 其特征也是波组能量比较强, 连续性较好, 有多组相位, 单个相位连续不长, 各个相位之间互相转换。

3 资料处理

据前分析的波场特征, 设计处理流程(图 4)。

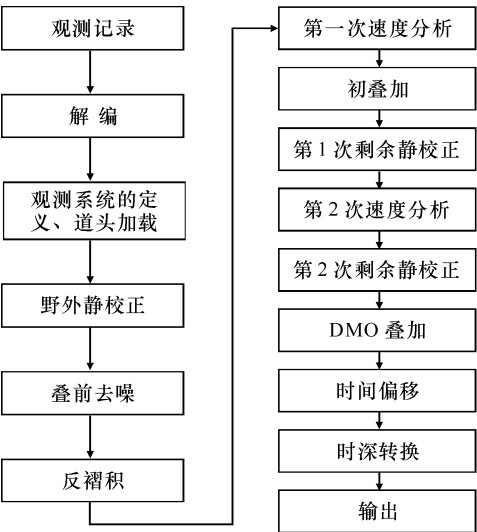


图 4 处理流程
Fig. 4 Processing Flowchart

3.1 静校正

静校正采用柏美智公司提供的地表一致性静校正模块, 主要是基于层析和统计原理, 将炮点和接收点的静校正量分离, 而后根据求出的静校正量作静校正。图 5 是第 1 炮静校正前后的对比, 在圆圈标记的位置可以明显看到, 不论是初至波还是反射波同相轴的连续性都明显增强, 由地表不一致引起的一些局部畸变都已消除。

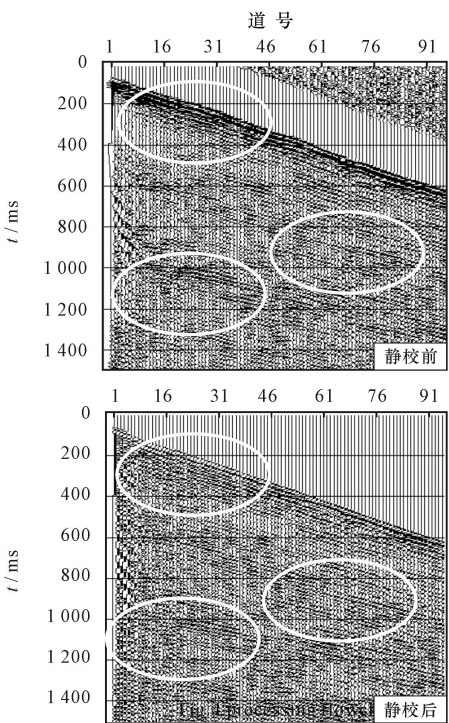


图 5 炮集记录静校正前后的对比

Fig. 5 Compare of the Data Before Static Correction with the Data After Static Correction

3.2 叠前噪音衰减

为了更好的选取衰减噪音的有效方法, 对采集的单炮地震记录分析了噪音产生的原因。噪音的干扰因素来自两方面: 一是来源于激发和表层环境, 如高压线感应的 50 Hz 噪声、机动车辆路过的低频噪声、面波干扰、声波干扰等; 二是来源于超高压变质带变质岩体的分布, 各种产状大小不一的破碎岩体形成剖面上各种形态的短同相轴和中频随机噪声。

对于受到严重干扰的记录, 采用了切除处理。对 50 周干扰, 采用了 50 Hz 陷波处理。利用相干噪声衰减、面波吸收衰减、中值滤波等压制了声波和面波等线性相干噪声, 通过 FX 域去噪、KL 去噪及其他基于统计特性的去噪方法等, 压制了随机噪声, 有效信号得到了很好恢复。

3.3 速度分析

在人工交互速度分析时, 得出的速度分析结果见图 6(局部), 左幅是速度分析得出的速度谱, 中幅是用于速度分析的共中心点道集, 右幅是常速扫描图。为了描述整个工区测线上速度变化的特点, 在图 7 中按顺序分别给出 CDP100, CDP200, CDP300, CDP400 和 CDP500 处的速度谱。从图 7 中可以看出, 该区超高压变质岩的地震波速度具有 3 个特点^[13-14]:

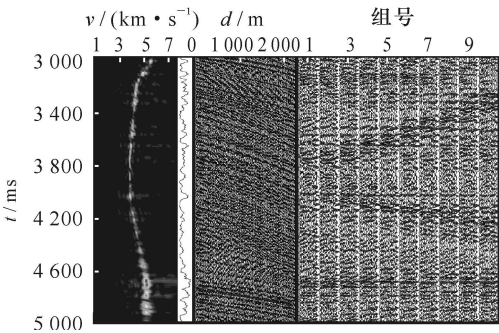


图 6 CDP 为 400 时, 速度分析图

Fig. 6 When cdp= 400, Velocity Analysis Picture

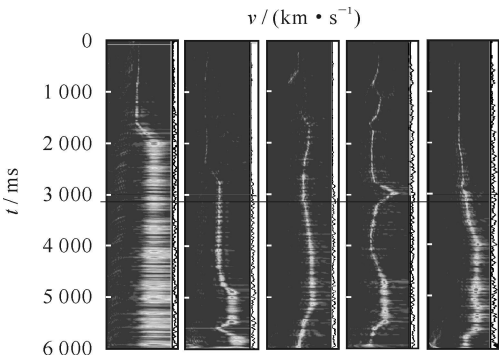


图 7 速度谱

Fig. 7 Velocity Spectra

- (1) 地震波层速度的变化范围主要在 4 500 ~ 7 000 m/s 之间, 表层超高压变质带的岩石(如榴辉岩)出露地表, 速度有时高达 6 000 m/s, 明显高于一般沉积岩地区。
- (2) 由浅到深, 速度值呈现出一种复杂的变化样式。速度主要受岩性控制, 不完全随深度增加而增加, 这一点也与一般沉积岩地区速度随深度增加而增加的规律不同。
- (3) 变质岩区波速的各向异性也很突出, 不仅片麻岩、角闪岩等片理发育或矿物定向排列的岩石有明显各向异性, 橄榄岩及榴辉岩也具有 5% 左右的各向异性, 对地震波的传播有一定影响。

3.4 叠加剖面

图 8 是叠加时间剖面转换的深度剖面, 目的是与深度域的钻井岩性柱作对比。从剖面上可以看出, 至少有几组连续性好的强反射, 这些强反射初步解释为破碎带或超高压变质带以及沿这些带分布的一串超高压变质岩体, 例如榴辉岩体界面的反射。

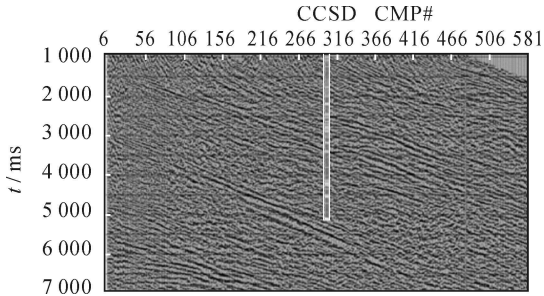


图 8 浅部叠加剖面(深度)

Fig. 8 Shallow Stack Section (Deepness)

4 结论和建议

- (1) 在单井深井中(保证在新鲜基岩中)用炸药激发是本区采集到高质量资料的关键。
- (2) 变质岩地区的地震波速度分布与沉积岩地区显著不同。从研究地区超高压变质岩的情况来看, 速度分布的主要特征是整体速度高, 随着深度增加速度有时增大有时减小。另外, 还有速度的方位各向异性。
- (3) 由于在坚硬的基岩中激发以及地下分散的各种小的变质岩体的杂乱散射, 引起剖面中较强的中频随机噪声, 他们的频带与有效反射相近, 掩盖了有效反射。压制这些噪声是去噪处理的主要内容之一。
- (4) 连续性好的强反射同相轴不是(沉积岩)地层界面的反射, 而是破碎带或韧性剪切带以及沿破碎带或韧性剪切带分布的岩体界面引起的反射。利用这些反射可以对超高压变质带的岩体分布和构造特征做出更合理地解释。
- (5) 为了接收到深部反射以及大倾角地质体的反射, 最大偏移距应加大, 但波场复杂性会增加。

文中采用大陆科学钻探工程中心以及中国石油集团东方地球物理公司开发地震工程中心 2508 队的有关资料, 北京柏美智公司提供静校正模块, 在此一并致谢。

(参考文献下转第 86 页)

在中晚侏罗世—白垩纪发生过显著构造热事件,造成砂岩型铀矿含矿层之下产生大量微裂隙与裂隙带出现,导致下部热液流体向上运移,低温热液流体的成矿作用是形成东胜铀矿床的重要因素^[9]。上述研究成果表明^[10-12],鄂尔多斯盆地浅部铀成矿与氧化还原过渡带有一定关系,但也呈现外生和深源双重性质的重要成矿特征,铀成矿过程有深部物质和含煤层气或油气流体参与,而铀矿含矿层之下大量微裂隙与裂隙带出现是深部物质影响浅部铀成矿的主要通道。盆地铀成矿的过程不仅需要充分铀源的供给,而且需要满足成矿环境条件。

3 结语

研究中收集了大量的地球物理测井资料、地质资料、完井报告、化验资料及相关研究成果,绘制并分析了相关成果图。研究中,首先对单井的测井曲线特征进行分析归纳,然后从典型剖面出发,分析高自然伽马异常的横向特征,并按层对高自然伽马的平面分布特征进行分析研究。化验测试结果和自然伽马能谱测井成果分析研究表明,本区自然伽马异常增大主要是由于铀元素增加而引起,自然伽马异常主要是由于铀的活化和聚集引起。相关研究表明,盆地深部和浅部的铀异常具有一定的关系,这有待于更深入研究。盆地历来的沉积环境变

迁是铀元素富集的主导因素,沉积环境的变迁决定了铀的时空分布特征。

[参 考 文 献]

[1] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.

[2] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.

[3] 张祖还, 赵懿英. 铀地球化学[M]. 北京: 原子能出版社, 1984.

[4] 王剑峰. 铀地球化学教程[M]. 北京: 原子能出版社, 1986.

[5] 姚宗惠, 张明山, 曾令邦, 等. 鄂尔多斯盆地北部断裂分析[J]. 石油勘探与开发, 2004, 30(2): 20 - 23.

[6] 王庭斌. 新近纪以来中国构造演化特征与天然气田的分布格局[J]. 地质前缘, 2004, 11(4): 403 - 416.

[7] 朱西养. 东胜砂岩型铀矿微量元素地球化学特征初探[J]. 地质地球化学, 2003, 31(2): 39 - 44.

[8] 丁万烈. 绿色蚀变带的地球化学性质及其找矿意义探讨[J]. 铀矿地质, 2003, 19(5): 277 - 282.

[9] 肖新建, 李子颖. 东胜砂岩型铀矿床低温热液流体的证据及意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(4): 301 - 304.

[10] 钱 锋, 艾永峰. 鄂尔多斯南部地区早古生代主动大陆边缘演化特征[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(1): 18 - 21.

[11] 张学例, 王代国, 陈淑惠. 鄂尔多斯盆地南部旬邑—宜君地区中生界储层特征[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(4): 17 - 21.

[12] 赵军龙, 李新胜, 胡建平. 浅析陕北安塞郝家坪油区地球物理测井方法的选取及应用[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(2): 54 - 58.

(上接第 81 页)

[参 考 文 献]

[1] 张泽明, 许志琴, 刘福来, 等. 中国大陆科学钻探工程主孔(100 ~ 2 150 m) 榴辉岩岩石化学研究[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 27 - 42.

[2] 杨文采, 杨午阳, 程振炎. 中国大陆科学钻探孔区三维地震资料的初步解释[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 127 - 138.

[3] 杨文采, 程振炎, 张春贺. 中国科学深钻选址地球物理调查与大别 2 苏鲁岩石圈[J]. 地球学报, 2003, 24(5): 391 - 404.

[4] 杨文采. 后板块地球内部物理学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

[5] 杨文采, 张春贺, 朱光明. 标定大陆科学钻探孔区地震反射体[J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 370 - 384.

[6] 赵志新, 徐纪人, 杨文采, 等. 中国大陆科学钻探孔区反射地震剖面的数值模拟与分析[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 139 - 148.

[7] 余钦范, 郭友钊, 孟小红, 等. 苏北大科学钻探靶区岩石物理性质[J]. 地球物理学报, 2002, 45(1): 93 - 100.

[8] 杨文采. 大别苏鲁地区层状地幔反射体及其解释[J]. 地球物理学报, 2003, 46(2): 191 - 196.

[9] 杨文采, 余长青. 根据地球物理资料分析大别—苏鲁超高压变质带演化的运动学与动力学[J]. 地球物理学报, 2001, 44(3): 343 - 358.

[10] 杨文采, 胡振远, 程振炎, 等. 郯城—涟水综合地球物理剖面[J]. 地球物理学报, 1999, 42(2): 206 - 217.

[11] 许志琴, 张泽明, 刘福来, 等. 中国大陆科学钻探主孔 1200 米构造柱及变形构造解析[J]. 岩石学报, 2004, 20(1): 53 - 72.

[12] Yang Wencai. Deep Structures of the East Dabie Ultrahigh pressure Metamorphic Belt, East China[J]. Science in China: Series D, 2003, 46(6): 612 - 624.

[13] 姜修道, 朱光明. 变质岩区地震波速度的特点及其影响因素——以中国大陆科学钻探孔区为例[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(2): 331 - 335.

[14] 姜修道, 朱光明, 朱龙生, 等. 中国大陆科学钻探主孔零偏 VSP 资料解释[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 55 - 60.