

皖南庐江—枞阳多金属矿集区反射地震剖面的速度结构

卢占武^{1,2}, 高 锐^{1,2}, 匡朝阳³, 刘金凯^{1,2,3}, 鄧少英^{1,2,4}, 王海燕^{1,2}, 侯贺晟^{1,2}

LU Zhan-wu^{1,2}, GAO Rui^{1,2}, KUANG Chao-yang³, LIU Jin-kai^{1,2,3},

FENG Shao-ying^{1,2,4}, WANG Hai-yan^{1,2}, HOU He-sheng^{1,2}

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 中国地质科学院深部探测与地球动力学重点实验室, 北京 100037;

3. 中国石化股份有限公司华东分公司处理解释中心, 江苏 南京 210007;

4. 中国地震局地球物理勘探中心, 河南 郑州 450002

1. *Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;*

2. *Earthprobe and Geodynamics Open Laboratory of CAGS, Beijing 100037, China;*

3. *Data Processing & Interpretation Center, Hua-Dong Petroleum Bureau, SINOPEC, Nanjing 210007, Jiangsu, China;*

4. *Geophysical Exploration Center of CEA, Zhengzhou 450002, Henan, China*

摘要:利用反射地震剖面处理过程中获取的叠加速度得到庐枞(庐江—枞阳)矿集区地壳浅部的速度结构剖面,为研究庐枞矿集区近地表—上地壳的结构提供了新依据。地震剖面综合研究表明:郟庐断裂、罗河—缺口断裂、长江断裂是庐枞地区的 3 条重要的断裂,断裂深部均表现为低速异常。罗河—缺口断裂、长江断裂的发育深度和规模均不及郟庐断裂。火山岩出露地区表现为地震波速高和反射波组凌乱的特征;新生代沉积地层则表现为波速低和反射波组连续的地球物理特征。罗河矿区位于强、弱反射转换区,同时也是低、高速体的转换区。

关键词:矿集区;反射地震;试验;叠加速度;初步解释;庐枞地区

中图分类号:P61; P631.4+25

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)09-1412-06

Lu Z W, Gao R, Kuang C Y, Liu J K, Feng S Y, Wang H Y, Hou H S. Reflective seismic wave velocity structure in the Lujiang-Zongyang polymetallic ore concentration belt, southern Anhui Province. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30 (9): 1412-1417

Abstract: The velocity section computed by processing reflection seismic data can provide new image of the structure from the surface to the upper crust in the Luzong (Lujiang-Zongyang) polymetallic ore concentration belt. Studies show that Tanlu fault, Luohe-Quekou fault and Changjiang fault are main faults in this area, showing relatively low velocity characteristics. Tanlu fault is deeper and larger than other faults. Seismic wave velocity becomes faster in volcanic rocks with disorderly reflection, but becomes slower with continuous reflection in Cenozoic sedimentary basement. The Luohe ore district is located in a transfer zone between strong and weak reflection and between high and low velocity.

Key words: ore concentration belt; reflection seism; test; stack velocity; preliminary interpretation; Luzong area

收稿日期:2009-12-30;修订日期:2011-06-07

资助项目:国家自然科学基金项目《庐枞火山岩盆地莫霍面反射特征及其对深部成矿作用的启示》(编号:40704016),财政部科学专项《矿产资源深部探测实验》(编号:140102),国家深部探测专项、国土资源部公益行业基金项目《深部探测技术集成与断面构造地球物理综合解释技术实验研究》(编号:201011045, SinoProbe-02-06)、《深地震反射剖面探测试验与地壳结构研究》(编号:201011040, SinoProbe-02-01)和中国地质科学院地质研究所基本科研业务费项目《庐枞多金属矿集区深部构造研究及其对成矿作用的启示》(编号:j0724)

作者简介:卢占武(1978-),男,副研究员,从事地球物理与深部构造研究。E-mail:luzhanwu78@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

庐枞(庐江-枞阳)多金属矿集区是中国长江中下游重要的成矿区,曾经为沿江工业的腾飞做出巨大贡献。随着矿山的持续开发和资源需求的日益增加,向矿集区深部进军,开展“第二深度空间”找矿^[1-2],已成为这一地区乃至整个长江中下游矿集区找矿工作所面临的重要任务。

以往在中国中、东部地区进行的近地表金属矿产勘查中,一些非地震方法,如地质雷达、电阻率法、瞬变电磁、重磁勘探等技术手段发挥了重要作用。然而,这些方法存在探测深度有限(一般小于500m)、较深部位分辨率不足等问题。源于石油工业的反射地震方法,不仅探测深度可达数千米,而且在深部分辨率上优势明显,可以有效地探测500m以下的“第二找矿空间”,是当前开展深部找矿最具有应用前景的方法之一^[3]。

进行深部找矿,首要的问题是要解决矿区深部的构造样式,探讨矿区深部是否还有成矿的可能。在国际上,能够对地壳深部结构进行精细成像的深反射地震剖面技术已经是被公认的深部探测的先锋技术^[4-6]。但在国内,深反射地震技术在矿集区的应用实例并不多,为了实验庐枞火山岩矿集区深反射地震方法技术,揭露矿集区深部成矿背景,2007年初,在国家财政部《矿产资源深部探测实验》专项的资助下,中国地质科学院地质研究所在庐枞矿集区进行了深反射地震剖面试验,获取了质量较高的地震数据。

本文阐述了地震数据采集和处理的过程,针对数据处理过程中形成的叠加速度值进行分析,获得沿测线的叠加速度剖面,并结合地震剖面给出相应的解释。所选择的 LZ06-1 线跨长江、庐枞火山岩出露区、罗河铁矿、郟庐断裂等多个不同的地质单元。

1 研究区概况及深反射地震剖面位置

庐枞陆相火山岩盆地地处扬子板块的北缘,郟庐断裂带的南段^[7-8],形成于碰撞造山作用及其相关的伸展构造或晚中生代中国东部岩石圈地幔伸展的动力学背景下^[9-10]。庐枞火山岩盆地向北东方向与巢湖-滁县古生代地层褶皱带相连,向南西方向与怀宁-宿松古生代地层褶皱带相连。该区地层属下扬子地层分区,出露的地层主要有志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系及第四系,可分为下部基底地层和上部火山岩盖层

地层。基底志留纪至侏罗纪地层主要出露于盆地周边,盖层早白垩世陆相火山岩构成庐枞火山岩盆地的主体。

研究表明,中国东部中生代燕山期岩浆大爆发形成的盆地内部的火山岩和隆起区中的侵入岩与长江中下游铜铁多金属矿床的形成关系密切^[11-13]。

深反射地震剖面 LZ06-1 线沿北西—南东向展布,横跨火山岩出露区、罗河铁矿,测线两端分别跨越郟庐断裂和长江中下游的凹陷带。主要目的是揭示火山岩盆地内深部的精细结构,研究深部结构与矿产资源的关系,位置如图 1 所示。

2 数据采集与处理

反射剖面为共深度点(CDP)叠加剖面,野外数据采集使用法国 SERCEL 408XL 数字地震仪,仪器前放增益 12db。使用 SM-24 型超级检波器,线性组合,道间距 40m,罗河矿两侧道间距加密至 10m,采样间隔 2ms,记录时间 20s;采用井中爆破震源,井深 18~20m。药量矿区内 4~10kg,炮间距 80m;矿区外 18~20kg,炮间距 240m。偏移距 20m,中间放炮。

资料处理流程包括数据输入、解编、道编辑、静校正、真振幅恢复、去噪、地表一致性振幅补偿、地表一致性反褶积、速度分析、剩余静校正、动校正、叠加、叠前时间偏移、剖面输出。处理中针对高程、近地表条件突变等情况采用了分频提高信噪比的技术、改进的无射线层析反演静校正技术、起伏地表叠前偏移技术(PSGMIG)、高精度交互速度分析技术、STACK-POWER 剩余静校正技术等,取得了一定的效果,提升了剖面的质量。

主要处理参数为:带通滤波 6-8-100-120,叠后滤波 8-12-70-80(浅层)、6-8-45-55(中深层);静校正基准面 100m,替换速度 3500m/s;反褶积预测距离 $D=28$,算子长度 $L=240$;速度谱 CDP 间隔 40 道,分析距离 800m;自动剩余静校正最大允许量 5ms。

3 速度剖面获取

速度分析是数据处理的重要环节,通常意义下的叠加速度是将共中心点(或共反射点)道集内反射同相轴校平,叠加后反射波振幅能量出现最大值对应的速度^[15],在数据处理中是至关重要的环节,甚至影响到叠前偏移的效果,叠加速度是否准确,关乎整个数据处理剖面的质量。

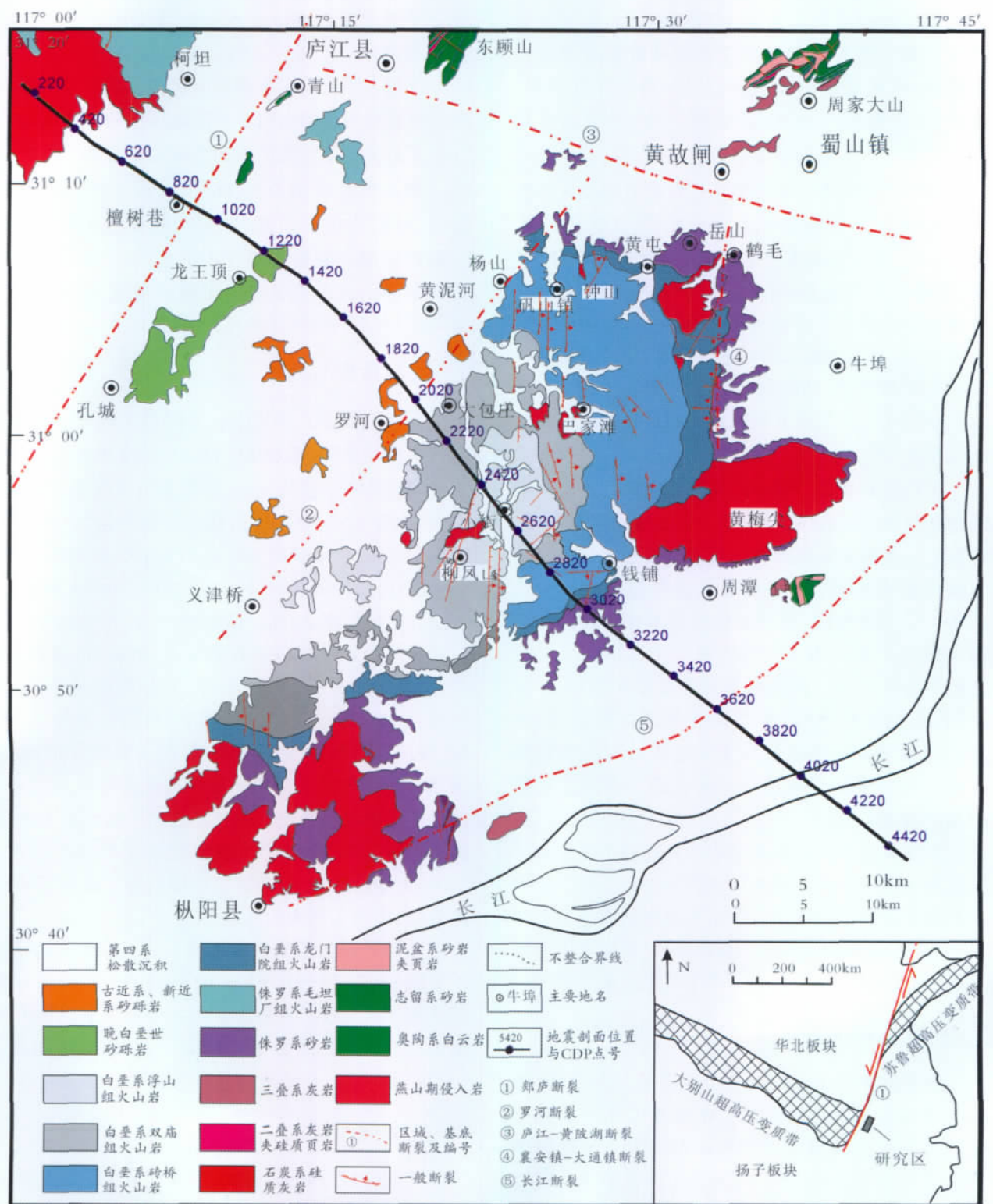


图 1 深反射地震剖面的位置与庐枞矿集区地质简图(据参考文献[14]修改)

Fig. 1 Location of the deep seismic reflection profile and geological sketch map of Lujiang-Zongyang ore concentration area

在本测线数据的过程中,采用小间隔道集(每 40 个 CMP 道集做一个速度谱)进行速度分析,参考速度扫描,求取一个初始的叠加速度,根据初选的 NMO(nomral moveout 的缩写,中文意为正常时

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

差)和速度对 CMP(Common midpoint 的缩写,中文意为“共中心点”)道集进行动校正和剩余静校正处理,并将其结果应用于原始 CMP 道集;在剩余静校正后的 CMP 道集上,进行第二次速度分析,以获得更为精确的叠加速度。其优点是每段速度的拾取能充分发挥人的智能作用。图 2 为不同速度分析间隔的叠加剖面对比。图左边为 40 个 cdp(commmon-depth-point 的缩写,中文意为“共深度点”)所做的速度分析,右边为 80 个 cdp 间隔所做的速度分析。在剖面的 600ms 处,40m 间隔的同相轴成像效果较好,能量较强,连续性较好。

对所得到的叠加速度进行插值计算获得的叠加速度剖面(图 3),为近地表速度结构的分析和资料的综合解释提供了具有参考价值的信息。

4 速度剖面综合解释

结合地质、地形资料,对庐枞矿集区叠加速度剖面和地震叠加剖面做出了综合解释。如图 4 所示,图 4- 为 LZ06-1 线速度剖面,图 4- 为反射地震叠加剖面,图 4- 表示剖面上 CDP 位置与地形图的关系,图 4- 为剖面 CDP 位置与地质图的关系。由图 4 可见,沿郟庐断裂带-庐枞火山岩区-长江断裂带一线,浅层速度横向变化较大。郟庐断裂、罗河-缺口断裂与长江断裂均表现为低速异常。这 3 条断裂可将剖面分为以下几个区域。

(1)郟庐断裂带:从剖面最西北端到 A 点部分,表现为明显的地震波低速特征。从地表至 TWT3s (折合深度约为 7.5km,按照平均速度 5km/s 计算),

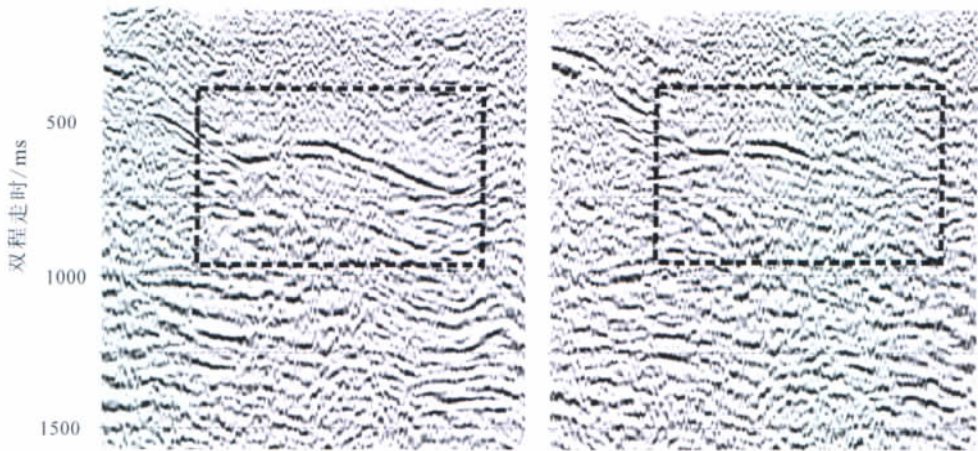


图 2 不同速度分析间隔叠加剖面对比

Fig. 2 Contrast between stacked profiles with different velocity analysis intervals

左图:速度分析 CDP 间隔为 40 个;右图:速度分析 CDP 间隔为 80 个

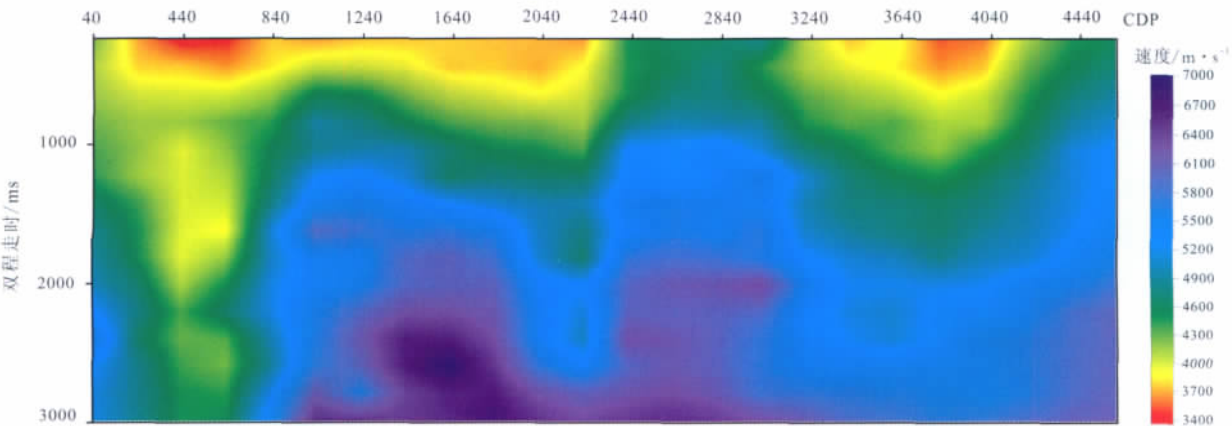


图 3 LZ06-1 线的叠加速度剖面

Fig. 3 Stacked velocity profile of LZ06-1 line

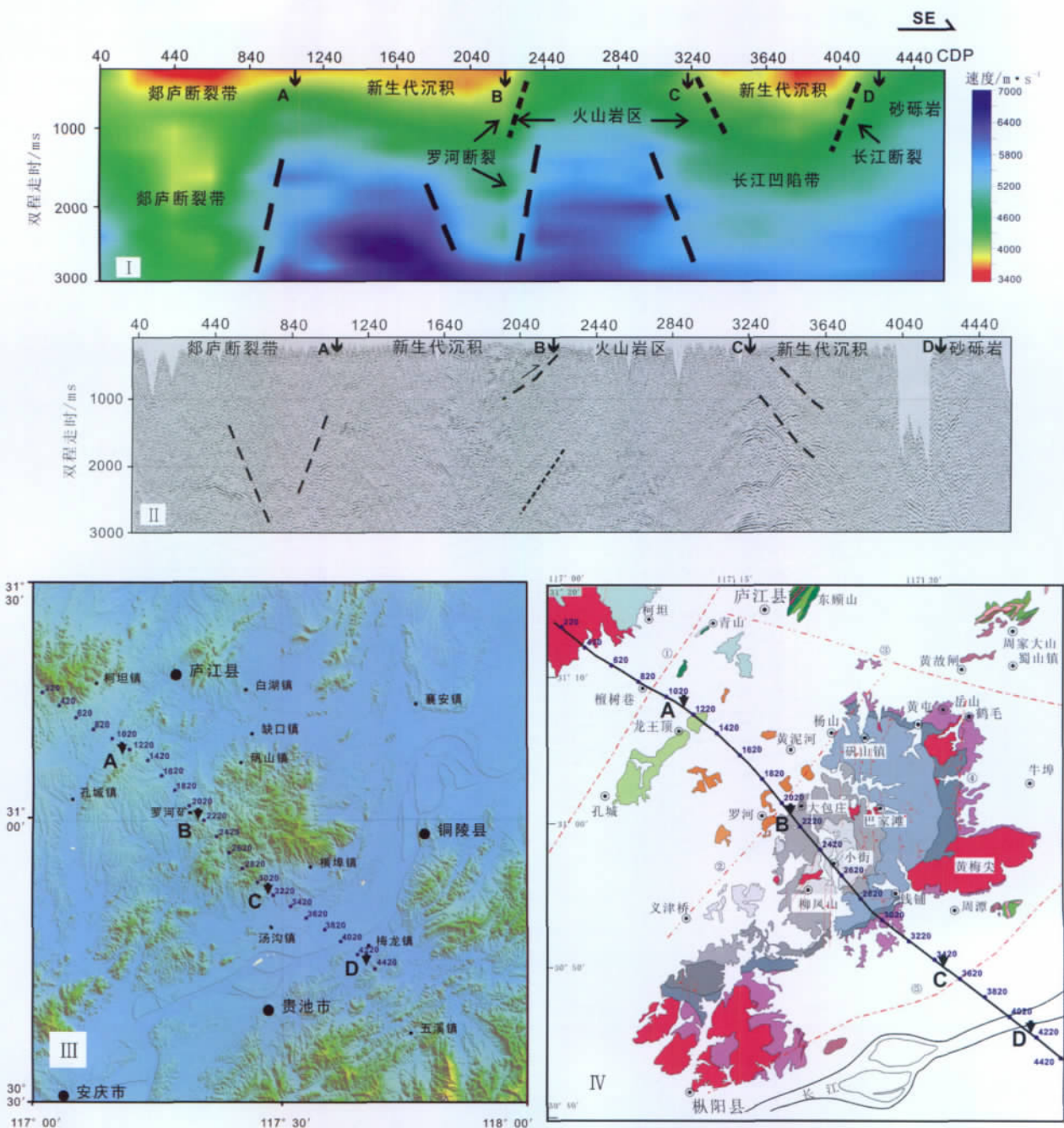


图 4 LZ06-1 线叠加速度剖面与反射地震剖面(浅部)初步解释

Fig. 4 Primary interpretation of the stacked velocity profile and reflection seismic profile (shallow part) of LZ06-1 line

地震波速度均未超过 5200m/s,并且该低速带可能会一直向下延伸到更深位置。说明郯庐断裂为具有一定宽度的深断裂,其表现出的显著低速异常可能是在郯庐断裂形成发育过程中受到构造应力变化等诸多方面的影响,导致内部岩层破碎,又在后期的多次构造活动中填充了水介质等而引起的。

(2)郯庐断裂带东南新生代沉积区:从 A 点至 B 点,跨度约 20km。该区大致为 3 层速度结构,第一层速度小于 4000m/s,出现在 0~0.5s 范围内,第二层从 0.5~1.5s,速度增加到 4000~5200m/s,第三层出现在 1.5~3.0s 之间,速度大于 5200m/s。这种速度变化的样式与郯庐断裂带下的速度结构完全不

同,因此,A点附近可能为郟庐断裂带与其东部沉积盆地的分界。

(3)火山岩区:从B点至C点,这一范围内地震波速度明显增高。与两侧结构不同,该区仅表现为2层速度结构。从地表到1s范围内,地震波速度为4000~5200m/s,而自1s以下波速均增加到5200m/s以上。对应地表地质结构,笔者认为此高速现象应是地表出露的火山岩的反映,而在图4-中的叠加剖面上火山岩区(点B—点C段)表现为凌乱反射震相,与其两侧的沉积反射震相差异明显。B、C点分别是高速和低速的转换边界,地表地质对应着火山岩区与其两侧新生代沉积区的边界。需要注意的是,在B点位置上,深部正下方表现为一个低速异常带,根据综合地质资料分析应为罗河-缺口断裂所致,从异常带规模和终止于2.8sTWT的现象来看,罗河-缺口断裂的宽度和深度远不及郟庐断裂。而罗河矿恰处于B点位置附近,从地震剖面上看,罗河断裂以西的沉积地层表现为连续的反射特征,断裂以东的火山岩反射则变得凌乱破碎,新生代沉积沿罗河断裂逆冲到火山岩之上。

(4)长江断裂带第四系沉积区:从C点至D点,跨度约20km。该区大致为3层速度结构,第一层速度小于4000m/s,出现在0~0.5s范围内,第二层厚度较大,分布范围在0.5~2.6s之间,速度增加到4000~5200m/s,第三层出现在2.6~3.0s之间,速度为5200~5800m/s。这种速度变化的样式与郟庐断裂带下发现的大规模低速结构差异较大,与罗河断裂的速度相似,但规模远远超过罗河断裂。从速度剖面上看,长江断裂带可能一直向北西方向影响到庐枞火山岩出露区。地表上看到的长江至火山岩出露区的第四系沉积,受到长江断裂的影响和控制。

(5)长江断裂带以南古近系、新近系砂砾岩区:从D点至剖面最东南端。该区与长江断裂带第四系沉积区以D点为分界,速度有所增加。由于是在剖面的端点,叠加速度的拾取可能受到一些限制和影响,在此对该区不做太多解释。

5 主要结论

(1)利用数据处理过程中获得的叠加速度进行插值获得沿地震测线的速度结构剖面,为研究庐枞矿集区近地表至上地壳的结构提供了新证据。研究表明,郟庐断裂、罗河-缺口断裂、长江断裂是庐枞地区的3

条重要断裂,断裂深部均有不同规模的低速体存在。郟庐断裂是具有相当规模的深大断裂,罗河-缺口断裂和长江断裂的规模远不及郟庐断裂。

(2)火山岩出露地区反射弱、波组凌乱、地震波速度高,新生代沉积地层则表现出反射强、波组相对连续、地震波速度低等地球物理特征。

(3)罗河矿区位于强、弱反射转换区,同时也是低、高速体的转换区。在未来的深部找矿工作中应多加注意。

致谢:反射地震数据的野外采集由中国石化华东石油局第六物探大队完成,他们在野外工作过程中付出了辛勤的劳动,在此致以衷心的感谢。

参考文献

- [1]吕庆田,杨竹森,严加永,等.长江中下游成矿带深部成矿潜力、找矿思路与初步尝试——以铜陵矿集区为实例[J].地质学报,2007,81(7):865-881.
- [2]滕吉文.强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发[J].地质通报,2006,25(7):767-771.
- [3]吕庆田,史大年,赵金花,等.深部矿产勘查的地震学方法:问题与前景——铜陵矿集区的应用实例[J].地质通报,2005,24(3):211-218.
- [4]Brown L D. A new map of crustal "terraces" in the United States from COCORP deep seismic reflection profiling[J]. Geophy. J. Int., 1991,105: 3-13.
- [5]Nelson K D, Zhao W J, Brown L D, et al. Partially molten middle crust beneath Southern Tibet: Synthesis of project INDEPTH results [J]. Science, 1996, 274:1684-1688.
- [6]高锐,王海燕,马永生,等.松潘地块若尔盖盆地与西秦岭造山带岩石圈尺度的构造关系——深地震反射剖面探测成果[J].地球学报,2006,27(5):411-418.
- [7]董树文.长江中下游铁铜矿带成因之构造分析[J].地球学报,1991,23: 43-56.
- [8]董树文,吴宣志,高锐,等.大别造山带地壳速度结构与动力学[J].地球物理学报,1998,41(3):349-361.
- [9]任启江,王德滋,徐兆文,等.安徽庐枞火山-构造洼地的形成、演化及成矿[J].地质学报,1993, 67(2):131-145.
- [10]谢智,李全忠,陈江峰,等.庐枞早白垩世火山岩的地球化学特征及其源区意义[J].高校地质学报,2007,13(2): 235-249.
- [11]Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, et al. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 2005,233: 103-119.
- [12]Zhou T F, et al. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn-and vein-type deposits, Anhui Province, South China[J]. Ore Geol. Rev., 2007, 31: 279-303.
- [13]周涛发,范裕,袁峰,等.安徽庐枞(庐江-枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义[J].中国科学(D辑),地球科学,2008,38(11):1342-1353.
- [14]董树文,高锐,吕庆田,等.庐江-枞阳矿集区深部结构与成矿[J].地球学报,2009,30(3):279-284.
- [15]Chakraborty A 著,徐炎东译.利用小波变换法对地震数据进行频率-时间域分解[J].勘探地球物理进展,1996, (3):10-21.