

庐枞矿集区大地电磁探测及电性结构初探

肖晓¹⁾, 汤井田¹⁾, 周聪¹⁾, 吕庆田²⁾

1) 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙, 410083;

2) 中国地质科学院矿床资源研究所, 国土资源部成矿作用和资源评价重点实验室, 北京, 100037

内容提要:在庐枞矿集区开展大地电磁测深(Magnetotelluric, MT)工作, 有助于研究庐枞矿集区区域地质结构、构造, 同时, 对强干扰地区大地电磁干扰信号规律的研究和 MT 数据的处理与解释水平的提高有着重要的理论意义。论文首先阐述了庐枞盆地的地质概况及深部 MT 探测的研究现状, 接着介绍了庐枞矿集区大地电磁测深数据采集及相关实验研究, 包括仪器的一致性实验、MT 单点采集时间对比实验及数据质量评价等; 然后对庐枞矿集区典型的大地电磁干扰类型进行了简单的分析, 并讨论了矿山强干扰地区大地电磁信号去噪的方法; 最后对庐枞矿集区大地电磁测深数据进行了人机交互的二维连续介质反演, 并结合区域地质构造背景对剖面反演结果进行了初步的分析与解释。

关键词: 庐枞矿集区; 大地电磁测深; 信号处理; 数据处理; 反演

庐枞盆地地处扬子地块的北东缘, 西邻郯庐断裂带, 位于长江中下游断陷带内, 是长江中下游成矿带的一个重要矿集区(常印佛等, 1991; 翟裕生等, 1992; 董树文等, 1991, 2009; 赵文津, 2008; 周涛发等, 2008)。庐枞矿集区是我国重要的铁矿资源基地, 已经发现有罗河、大包庄、龙桥、沙溪等大中型矿床。矿集区的主体为中生代“继承性”陆相断陷火山岩盆地, 侏罗系和三叠系构成盆地的基底, 并出露于盆地四周; 盆地内出露的火山岩为白垩纪(主要是早白垩世)偏碱性的玄武安山岩—安山岩系列到碱性粗面岩—响岩系列, 并伴有大量次火山岩, 为壳幔同熔(混源)型岩浆的产物(任启江等, 1993; 常印佛等, 1996)。“深部探测技术与实验研究(SinoProbe)”专项下属的“庐枞矿集区立体探测技术与深部成矿预测示范(SinoProbe-03-04)”项目选择庐枞盆地开展综合探测研究, 寻找深部容矿层, 揭示成矿系统结构(董树文等, 2010, 2011)。探测庐枞矿集区深部结构、构造, 查明成矿系统结构, 对认识我国东部陆内成矿过程、揭示陆内成矿规律具有重要的科学意义[●]。

大地电磁测深法是研究地球深部结构与物质状

态的主要地球物理方法, 被广泛应用于油气勘探、矿产资源勘探以及深部地球物理调查等领域(魏文博等, 2006, 2009; 陈乐寿, 2008; 金胜等, 2010)。随着地球科学的发展以及人类对资源的需求不断增长, 大地电磁测深法在方法理论、仪器设备、数据采集、数据处理及反演解释技术等方面都获得了突破性的进展(陈乐寿等, 2008)。同时, 大地电磁测深法以其场源能量大、频带宽、仪器轻便、探测深度大、不受高阻层屏蔽以及对低阻体和低阻层反应灵敏等优势, 在地球内部电阻率纵向分布规律研究、大尺度地质构造的地球电磁感应研究(孔祥儒, 1992)、区域性壳幔结构研究、油气资源勘查、天然地震预报、地热田的勘探与监测等方面取得了成功的应用(Chen L et al., 1996; 程业勋, 2001; Bai Denghai et al., 2003; Wei Wenbo et al., 2001; Unsworth M J et al., 2005; 魏文博等, 2006, 2009; 金胜等, 2006, 2007; 王运生等, 2007; 方慧等, 2007; 陈乐寿, 2008)。

由于用天然大地电磁场做场源, 大地电磁探测的抗干扰能力较弱, 特别是在矿集区及经济发达区等强干扰地区往往很难采集到高信噪比的数据(肖鹏飞等, 2010)。而无论是研究深部地质构造还是寻

注: 本文由国家专项“深部探测技术与实验研究”(编号 SinoProbe-3-4)和国家自然科学基金项目(编号 40930418)资助的成果。

收稿日期: 2010-12-20; 改回日期: 2011-03-20; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 肖晓, 男, 1981 年生。博士, 讲师。应用地球物理专业。通讯地址: 410083, 中南大学地球科学与信息物理学院; Email: csuxiaox@gmail.com。

DOI: CNKI: 11-1951/P. 20110512. 0910. 013 网络出版时间: 2011-5-12 9:10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20110512.0910.013.html>

找深部的隐伏矿床,都不可能完全避开强干扰地区,为了提高大地电磁的应用效果,需要研究强干扰等地区的数据采集方法技术及特殊处理技术。根据 SinoProbe-03-04 项目的要求,庐枞矿集区的大地电磁测深工作,除了要配合其他地球物理探测及地质资料进行综合解释,揭示庐枞矿集区深部(5~10km)结构框架,建立矿集区 3D 结构模型外,同时还要开展矿山强干扰区大地电磁干扰信号规律研究和二、三维 MT 反演及处理解释新技术研究,形成复杂地质地形条件下矿集区电性结构探测的技术解决方案。

1 庐枞矿集区 MT 数据采集

本次采用加拿大凤凰公司的 V5-2000 大地电磁测深系统进行 MT 数据采集,共投入 6 套 V5-2000 采集系统进行数据采集工作。本次 MT 数据采集采用 1-8-5 模式,滤波频率设为 50Hz。通过测量 AC 和 DC 电位差,以及观察饱和数据的比例、设置合理的增益进行测量。为有效压制随机噪声,提高数据品质,通过对比实验,确定本次单点 MT 数据采集时间应控制在 20h 以上。

1.1 MT 测线布置

测区位于安徽省境内,主要经过三县两市辖区,涉及约 40 个乡镇。测区内人口稠密、水系发育、交通网密布、通信电力网发达,另有较多的矿山正在开采,错综复杂的干扰源为 MT 数据的采集和处理带来了许多困难。如图 1 所示,测区内共部署了 5 条测线,设计点距 500m,设计 MT 测深点 655 个。本次在庐枞矿集区 MT 测深数据采集的过程中,由于山区深切地形、水域、城镇、矿山及电力干扰等因素的影响(刘宝勤等,2001),共丢弃 155 个测深点,实际完成测深点 500 个,各条测线的实际测深点完成情况统计见表 1。另外加上检测点 10 个、实验点 13 个,共完成 MT 测深点 523 个。

1.2 MT 数据采集系统一致性实验

为验证 6 套 V5-2000 系统的一致性,选择测区内干扰较小的地方进行了仪器的一致性实验。图 2 为 6 套仪器同点同时采集 20h 的视电阻率和相位曲线。图中两个方向的视电阻率和相位曲线除个别高噪点出现波动外,整体形态一致。试验结果表明本次采用的 6 套 V5-2000 系统一致性较好,所采集的数据可以进行统一处理和解释工作。

1.3 庐枞矿集区 MT 数据单点采集时间对比

针对测区内干扰源众多,干扰严重等不利因素,

考虑到探测深度要达到 5~10km 的目标,对单点采集时间的选择进行了对比实验。在测区内干扰相对较少的区域进行了单点 36h 的数据采集实验。图 3 中,随着采集时间的增加,随机噪声得到有效的压制,曲线的低频部分越来越光滑,且数据的误差棒越来越小。当采集时间达到 12h 时,视电阻率曲线在 0.1Hz 以下的频点跳动仍比较厉害,且误差棒也比较大,无法满足要求。综合考虑采集成本和数据质量,本次 MT 探测的单点采集时间都控制在 20h 以上。

表 1 庐枞矿集区 5 条测线实际测深点完成情况统计

Table 1 Statistical of finished sounding stations of 5 MT survey lines

测线号	测线长度(km)	设计测点数(个)	实测测点数(个)
LZ01	60	121	105
LZ02	80	161	115
LZ03	54.5	110	84
LZ04	75	151	113
LZ05	55.5	112	83
合计	315	655	500

1.4 MT 数据质量评价

评价 MT 数据质量的方法有很多,相干度可以用来度量两个场之间的相关程度,是评价 MT 数据质量的指标之一。图 4 展示了测区内 6 个具有代表性的测深点的水平场量相干度曲线。图 4(a)~(d)所展示的 4 个测深点,除去个别突变频点,相干度都在 0.7 以上,总的来看,高频段相干度较高,且相对于低频段较稳定。图 4(e)和图 4(f)所展示的 2 个测深点的相干度在高频段较高,除去个别频点相干度都在 0.7 以上,低频段相干度较低且剧烈振荡。

依据中华人民共和国地质矿产行业标准——《大地电磁测深技术规程(DZ/T 0173-1997)》中关于数据质量评价标准规定,对庐枞矿集区 MT 数据进行了质量评价。表 2 给出了 5 条测线实测大地电磁测深点的数据质量分类统计的结果,总的来看,数据质量合格的测深点达到了 95.4%,其中一类点占测深点总数的 71.6%。统计结果表明本次 MT 采集工作完全符合大地电磁测深技术规程,数据可靠。

2 庐枞矿集区 MT 数据分析

2.1 庐枞矿集区 MT 数据干扰分析

测区内干扰类型众多,主要干扰源有城镇村庄、开采矿山、民用及工业电力线、通讯光缆等。但通常

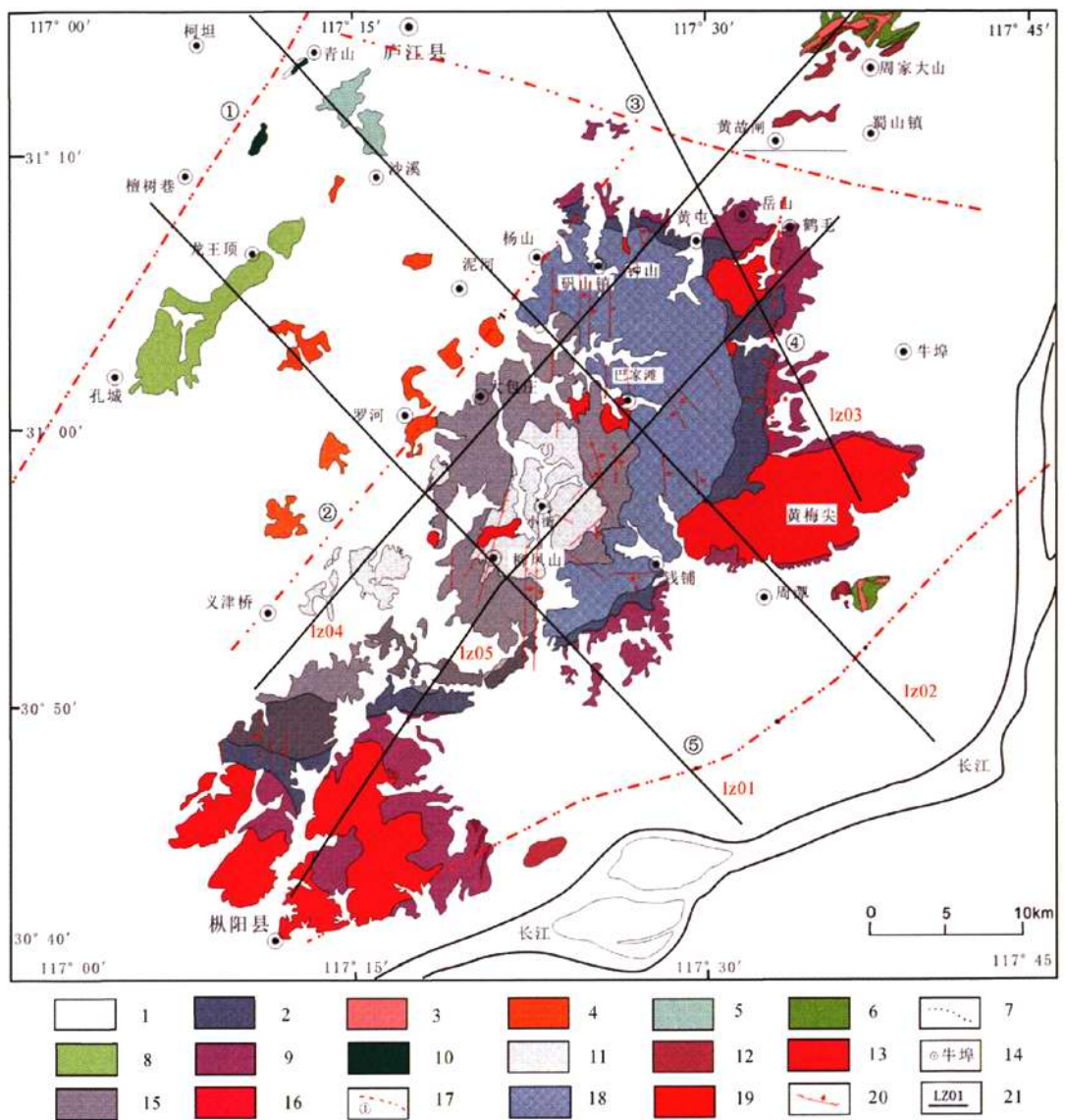


图 1 庐江-枞阳矿集区地质简图及 MT 测线布置图(据董树文等,1:20 万铜陵幅地质图修改,2009)

Fig. 1 Geological sketch map and MT line layout of Lujiang-Zongyang ore concentrated area

(modified from 1 : 200,000 Tongling Geological Map,Dong shuwen, 2009)

1—第四系松散沉积;2—白垩系龙门院组火山岩;3—泥盆系砂岩夹页岩;4—第三系砂砾岩;5—侏罗系毛坦厂组火山岩;6—志留系砂岩;
7—不整合界线;8—晚白垩世砂砾岩;9—侏罗系砂岩;10—奥陶系白云岩;11—白垩系浮山组火山岩;12—三叠世灰岩;13—燕山期侵入岩;
14—主要地名;15—白垩系双庙组火山岩;16—二叠系灰岩夹硅质页岩;17—区域、基底断裂及编号;18—白垩系砖桥组火山岩;19—石炭系
硅质灰岩;20—一般断裂;21—庐枞矿集区 MT 剖面及编号;①—滁庐断裂;②—罗河断裂;③—庐江-黄陂湖断裂;④—襄安镇-大通镇断裂;
⑤—长江断裂

1—Quaternary Sediments; 2—Cretaceous Longmenyuan Formation volcanic rocks; 3—Devonian sandstone; 4—Tertiary sandy conglomerate; 5—Jurassic Maotanchang Formation volcanic rocks; 6—Silurian sandstone; 7—uncomfortable boundary line; 8—Late Cretaceous sandy conglomerate; 9—Jurassic sandstone; 10—Ordovician dolomite; 11—Cretaceous Fushan Formation volcanic rocks; 12—Triassic limestone; 13—intrusive rock of Yanshan eriod; 14—main place name; 15—Cretaceous Shuangmiao Formation volcanic rocks; 16—Permian limestone; 17—fault and its number in regional; 18—Cretaceous Zhuanqiao Formation volcanic rocks; 19—Carboniferous siliceous limestone; 20—General fault; 21—Lu-Zong ore Concentrated Area MT section and its number; ①—Tanlu fault; ②—Luohe fault; ③—Lujiang-Huang pihu fault; ④—Xiang'an-Datong fault; ⑤—Changjiang fault

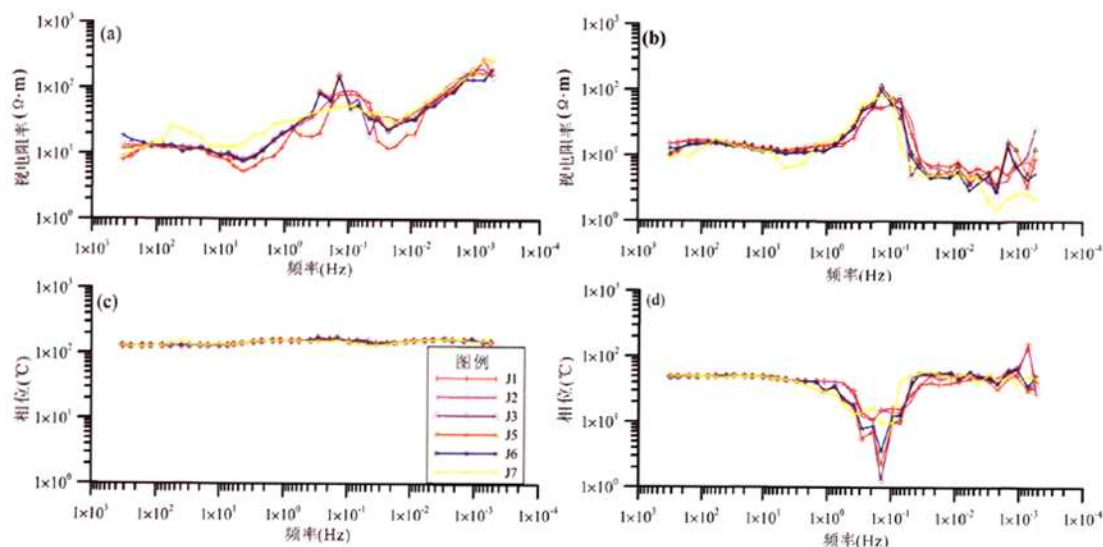


图2 仪器一致性实验曲线图

Fig. 2 Consistency experiment of the apparatus

(a)和(b)分别为yx和xy方向视电阻率曲线,(c)和(d)分别为yx和xy方向相位曲线,J1、J2、J3、J5、J6和J7分别为6套仪器的编号

(a) and (b) are apparent resistivity curves of yx and xy direction; (c) and (d) are phase curves of yx and xy direction;

J1, J2, J3, J4, J5, J6 are marks of the 6 apparatus respectively

多种干扰源同时作用,造成综合干扰,难以辨别区分(Junge A., 1996)。图5所示的三种典型干扰源的时间序列特征相对明显,也是测区内主要的干扰类型。

表2 庐枞矿集区5条测线大地电磁测深点
数据质量统计表

Table 2 Statistical of data quality evaluation
of 5 MT survey lines

线号	实测点数(个)	一类点(个/%)	二类点(个/%)	三类点(个/%)
LZ01	105	81/77.1	19/18.1	5/4.8
LZ02	115	97/84.3	14/12.2	4/3.5
LZ03	84	62/73.8	20/23.8	2/2.4
LZ04	113	70/62.0	38/33.6	5/4.4
LZ05	83	48/57.8	28/33.8	7/8.4
总计	500	354/71.6	119/23.8	23/4.6

图5(a)中两电道受到了严重的工频干扰,信号基本上呈正弦波变化,振幅也大概相等,而有效信号基本上被湮没。此类干扰可通过特定频率滤波进行压制(李桐林等,2000)。图5(b)中干扰呈现一定的周期性,在细节上由许多尖峰干扰组合在一起,尖峰干扰正向过冲、负向过冲则比较随机,主要为交通要道过往车辆所致的振动和电磁干扰。对于此类干扰,可以通过单个周期的分析,找出其干扰规律,进

行滤波处理(汤井田等,2008,2009)。图5(c)中,电道Ex和Ey都受到了比较严重的方波干扰,而且方波长短、振幅都具有随机性,而磁道Hx和Hy则受到了比较严重的尖峰干扰,特别是在相应电道方波干扰比较剧烈的地方,尖峰干扰情况特别严重。对于方波干扰,常用的远、近Robust技术无法有效压制,可通过小波变换将交织在一起的不同频率组成的混合信号分解成不同频率的信号块,并进行信噪识别,然后再用常规的处理方法对噪声进行压制(范翠松,2008)。

图6展示了庐枞矿集区典型的近源干扰MT测深曲线,视电阻率曲线在10~0.1Hz之间甚至更大的频率范围内呈45°上升,相位在该频段接近或等于0°或180°。而在该频段以外的低频段视电阻率曲线突然降低,视电阻率和相位在低频段比较凌乱。对于这种近源干扰目前的去噪方法都很难凑效,关艺晓、李桐林等(2007)提出了用人机交互的办法进行时间域信号编辑,取得了一定的效果,但对于数据量巨大的大地电磁信号来说,这种方法进行剖面处理是不现实的;汤井田等(2010)提出了用广义形态滤波的方法进行处理,并取得了初步的成果,显示了广义形态滤波方法在矿集区强干扰大地电磁信号去噪中的良好应用前景。

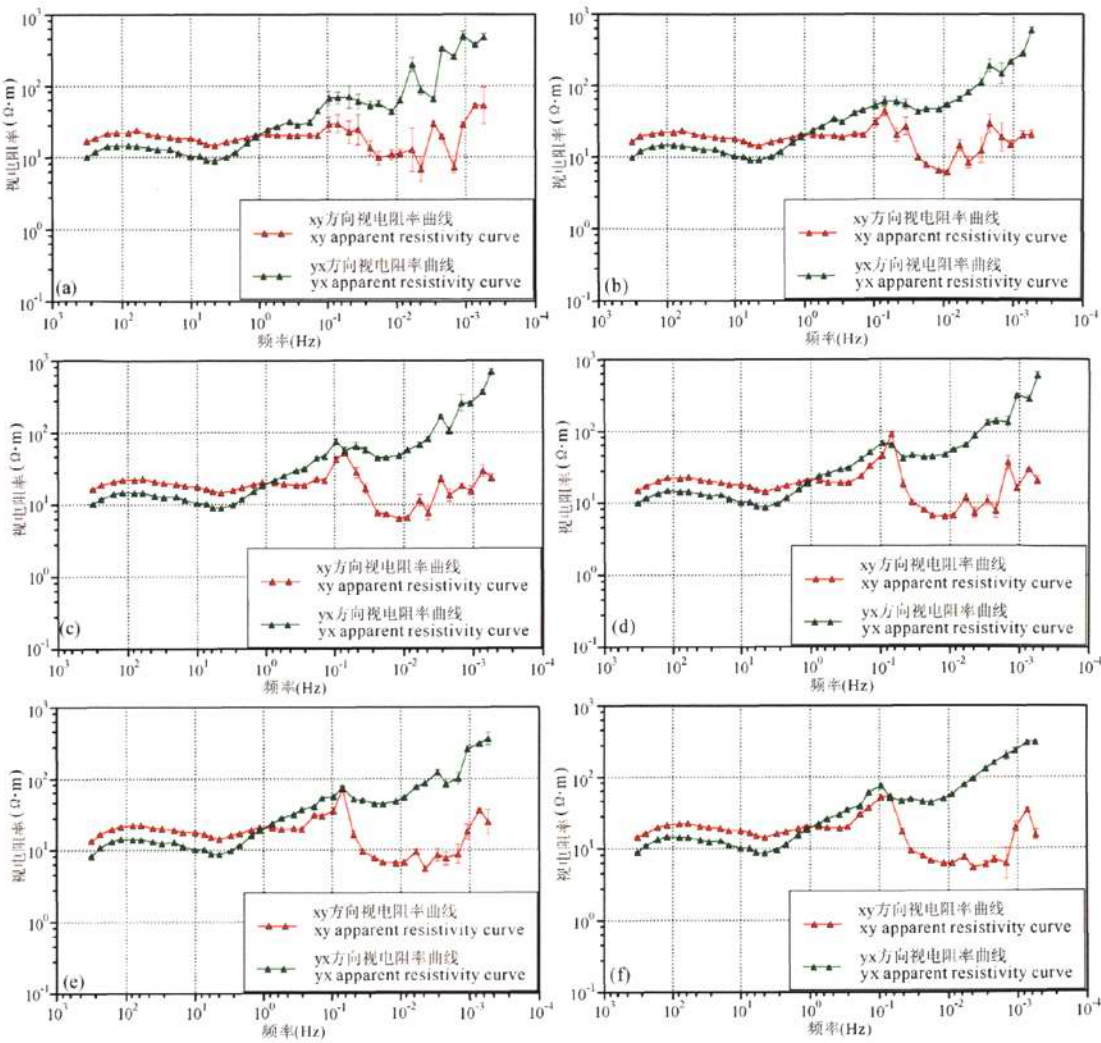


图 3 相同测深点不同采集时间的视电阻率曲线

Fig. 3 The apparent resistivity curves of different acquisition time in a same station

曲线(a)~(f)分别为 6 小时、12 小时、18 小时、24 小时、30 小时和 36 小时 6 个时间长度所对应的两个方向上的视电阻率曲线
Fig (a) to (f) are the apparent resistivity curves of 6 hours, 12 hours, 18 hours, 24 hours, 30hours, 36hours respectively

2.2 庐枞矿集区 MT 测深曲线展示

对 MT 实测曲线类型的分析、比较是资料定性认识解释及准确地获得测区地质信息的重要组成部分。曲线类型定性地反映出了地下电性层的分布特征,如电性层数、相对埋深和各电性层间电阻率的相对变化情况,可以帮助我们选择和制定定量解释的步骤、方法和参数,有效地克服资料解释过程中的多解性问题,提高地质解释的准确性。

图 7 展示了庐枞矿集区 LZ01 线和 LZ05 线几个典型的视电阻率及相位曲线图。图中所展示的曲线都经过了“飞点”剔除、三次样条平滑以及空间滤

波处理。曲线类型多为 K 型或 KH 型曲线。

3 庐枞矿集区 MT 数据初步反演

3.1 地质概况

庐枞陆相火山岩盆地地处扬子板块的北缘,邻-庐断裂带的南段(董树文等,1991,1998)大别-苏鲁超高压(UHP)碰撞造山带前陆缩短带(宋国奇,2006),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地球动力学背景下(袁锋等,2008)。盆地边界被 NNE 向罗河断裂、EW 向庐江-黄陂湖断裂、NS 向襄安镇-大通镇

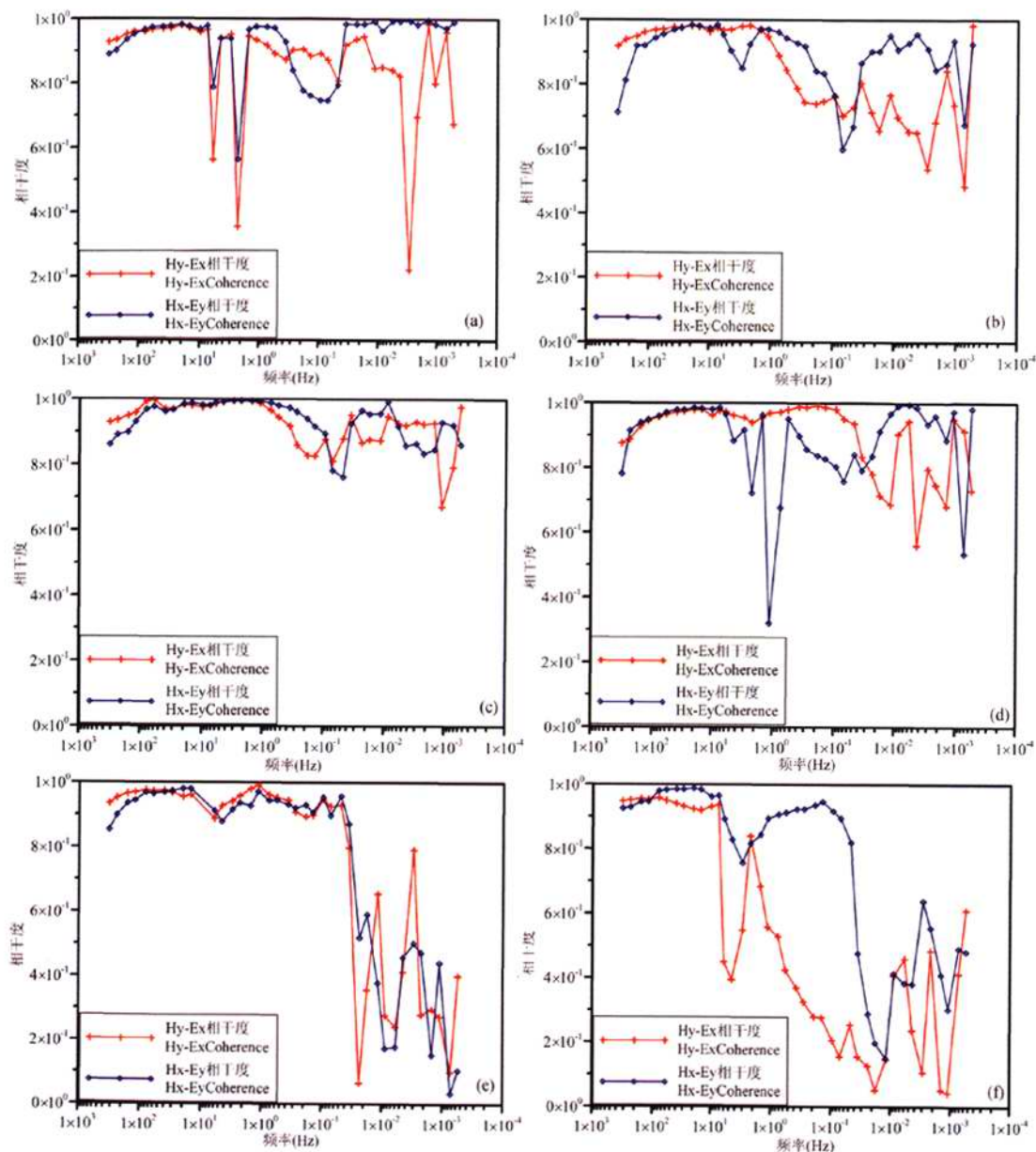


图 4 MT 测点相干度曲线图

Fig. 4 The curves of degree of coherence of MT sounding stations

(a)和(b)LZ01 线 5713 点和 3238 点水平场量相干度曲线,(c)和(d)LZ03 线 3357 点和 LZ02 线 5974 点水平

场量相干度曲线,(e)和(f)LZ04 线 2839 点和 LZ05 线 3391 点水平场量相干度曲线

(a)and(b): The curves of degree of coherence of horizontal field of station 5713 and 3238 in line LZ01; (c)and(d): The curves of degree of coherence of horizontal field of station 3357 in line LZ03 and station 5974 in line LZ02; (e)and(f): The curves of degree of coherence of horizontal field of station 2839 in line LZ04 and station 3391 in line LZ05

断裂和 NE-NNE 向长江断裂围限(图 1)。其地层自下而上主要以奥陶系白云岩、志留系砂岩、泥盆系砂岩、三叠系灰岩、侏罗系砂岩为主,其中,盆地外围

零星分布的是上三叠系灰岩,下、中侏罗系磨山组及罗岭组砂岩构成了陆相火山岩盆地的基底;下白垩统陆相火山岩系分布在盆地内部,以角度不整合覆

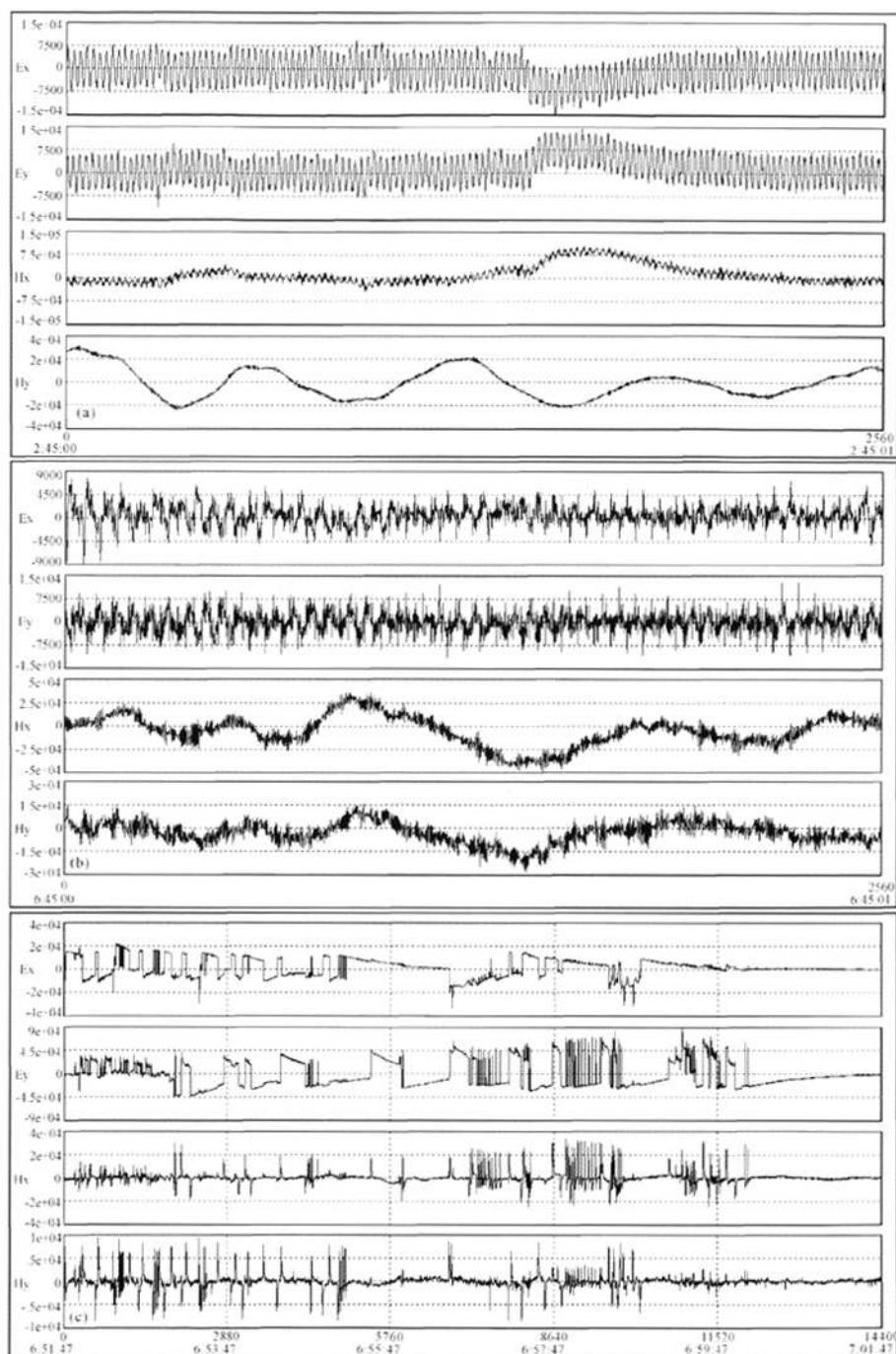


图5 庐枞矿集区典型干扰下的时间序列曲线

Fig. 5 Time series curve of some stations with typical interference from Luzong ore district

(a)—工频干扰曲线,信号长度为1s,采样率为2560;(b)—振动干扰曲线,信号长度为1s,采样率为2560;

(c)—方波干扰曲线,信号长度为10min,采样率为24

(a)—Curves with power frequency interference, the signal length is 1s, the sampling rate is 2560; (b)—curves with vibration interference, the signal length is 1s, the sampling rate is 2560; (c)—curves with square-wave interference, the signal length is 10min, the sampling rate is 24

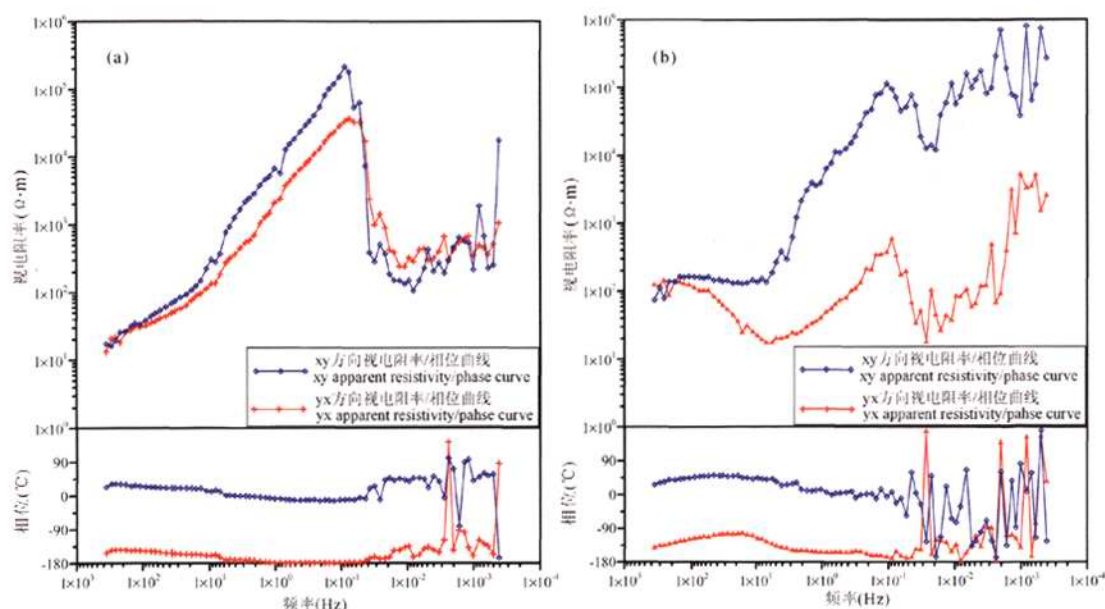


图6 典型干扰视电阻率及相位曲线

Fig. 6 The typical apparent resistivity and phases curves with near-source disturbance

(a)—D3714号测深点视电阻率及相位曲线;(b)—D3964号测深点视电阻率及相位曲线

(a)—The apparent resistivity and phase curves of site D3714; (b)—the apparent resistivity and phase curves of site D3964

盖于基底沉积岩层之上。总体来说,火山岩系在空间上大致呈同心环状分布,自盆地边缘至盆地中心依次为龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组,为一套安粗岩系(于学元等,1981;陈江峰等,1994;王德滋等,1996;周涛发等,2008)。上白垩统及第三系红层零星出露于盆地外围(董树文等,2009)。

3.2 庐枞矿集区 MT 数据的反演与解释

大地电磁测深数据的一维反演方法已经比较成熟(Oldenburg D. W., 1990),同时也有很多优秀的二维反演方法提出,具有代表性的方法有:奥克姆(OCCAM)反演法(Constable S C et al., 1987; DeGroot-Hedlin C et al., 1990)、快速松弛迭代反演(RRI)法(Smith J T et al., 1991)、尖边界反演(SBI)法(Smith J T et al., 1999)、非线性共轭梯度(NLCG)反演法(Newman G A et al., 2000)等。庐枞矿集区 MT 数据的反演采用中国石油大学戴世坤副教授提供的 Geo_GMES 反演软件,进行二维连续介质人机交互式反演(戴世坤等,1997)。在完成时间域信号的滤波去噪后,进行 MT 数据测深曲线的去除飞点、静校正、空间滤波等数据处理工作;为保证反演结果更加接近真实情况,在进行反演之前,根据数据质量评价的结果去掉了质量不合格的测深

点(李墩柱等,2009)。

图8~12分别为庐枞矿集区大地电磁测深 LZ01 到 LZ05 线双模联合反演的结果,图13为庐枞矿集区5条大地电磁测深剖面二维反演电阻率模型三维效果图。图8~12中标示的 F1~F4 分别为根据电阻率变化推测的断裂构造,结合图1所示的庐枞地区主要的断裂构造分布,有如下对应关系: F1 为 NNE 走向的罗河断裂, F2 为 NE-NNE 走向的长江断裂, F3 为近 EW 走向的庐江-黄陂湖断裂, F4 为近 NS 走向的襄安-大通镇断裂。从总的电性分布来看(图13),5条剖面交叉的部分处于庐枞盆地的内部,主要岩性为下白垩统陆相火山岩系,以及下、中侏罗统磨山组及罗岭组砂岩构成了陆相火山岩盆地的基底,电阻率表现为高阻性质;剖面交叉部分周围各剖面浅部都有低阻出现,这些浅层低阻为出露于庐枞盆地外缘以奥陶系白云岩、志留系砂岩、泥盆系砂岩、三叠系灰岩、侏罗系砂岩为主的地层所致。

4 结论与讨论

在强干扰地区进行大地电磁测深是富有挑战性的一项工作。庐枞矿集区地处长江中下游人口密集

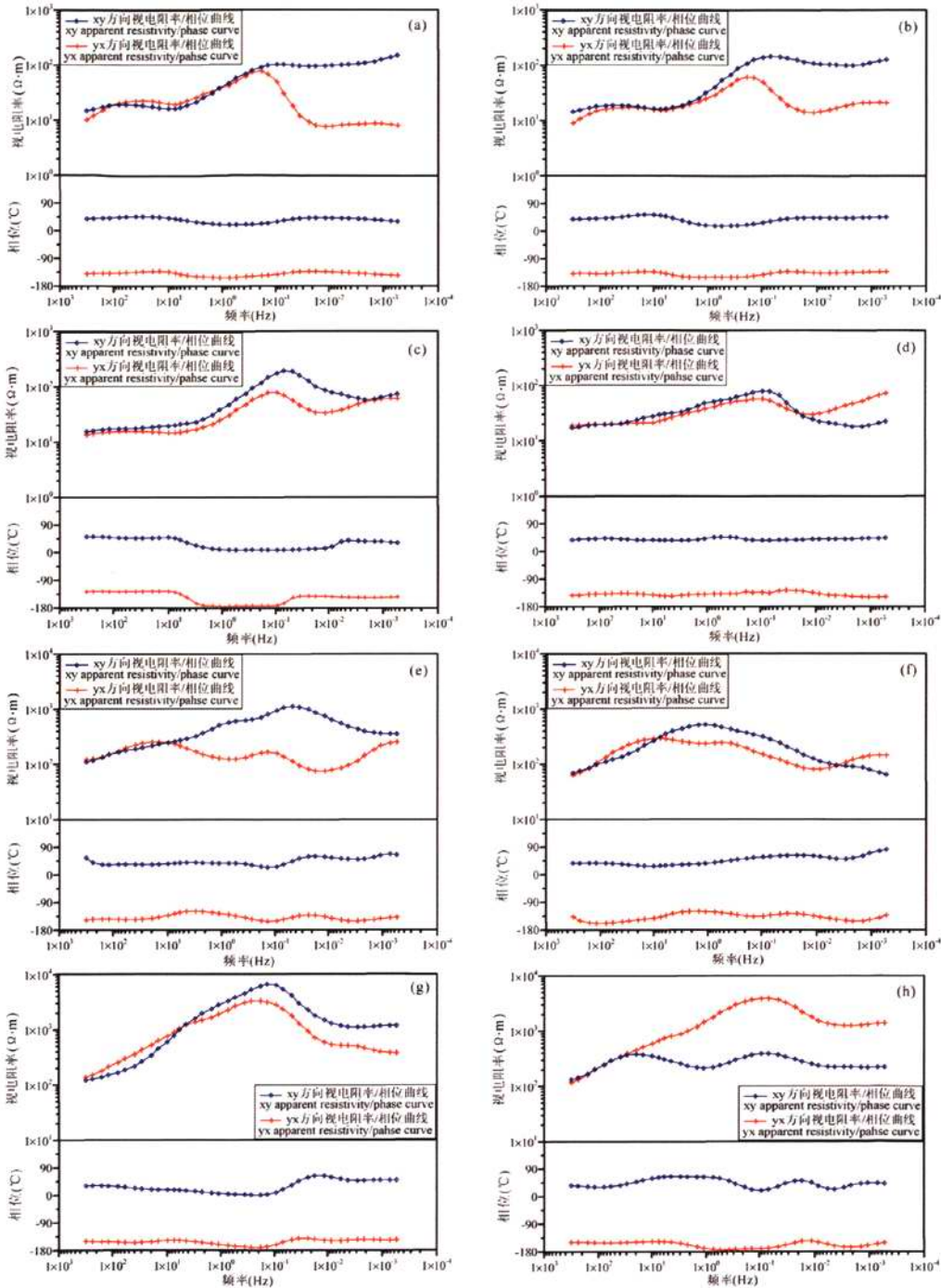


图 7 庐枞矿集区典型大地电磁测深曲线

Fig. 7 Typical MT sounding curves of Lujiang-Zongyang ore concentrated area

(a)~(d) 分别为 LZ01 线 A2713、A2738、A3813、A5188 号点的视电阻率及相位曲线；

(a)~(d) 分别为 LZ05 线 E1041、E1316、E2466、E3416 号点的视电阻率及相位曲线

(a)~(d) are the resistivity and pahse curves of the station A2713, A2738, A3813, A5188 of survey line LZ01.

(e)~(h) are the resistivity and pahse curves of the station E1041, E1316, E2466, E3416 of survey line LZ05

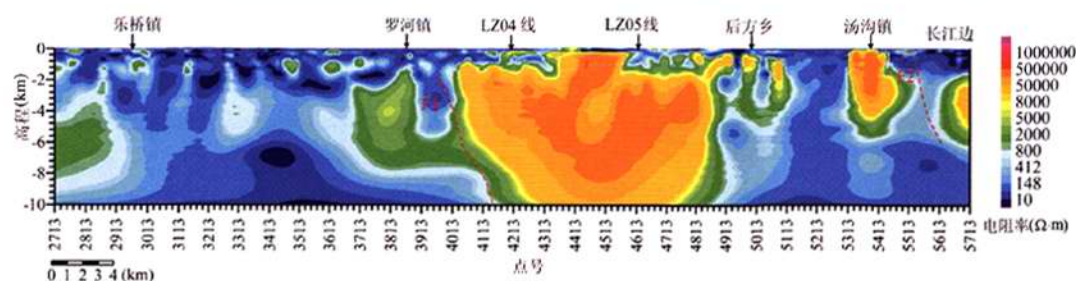


图8 庐枞矿集区大地电磁测深 LZ01 线二维反演电阻率模型

Fig. 8 Resistivity model of 2D inversion of magnetotelluric sounding profile LZ01 in Lu Zong ore concentrated area

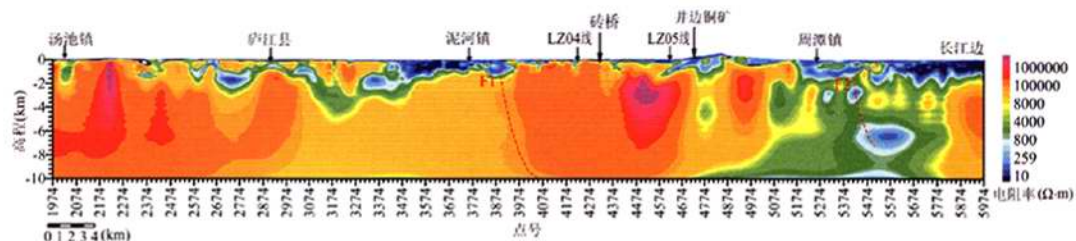


图9 庐枞矿集区大地电磁测深 LZ02 线二维反演电阻率模型

Fig. 9 Resistivity model of 2D inversion of magnetotelluric sounding profile LZ02 in Lu Zong ore concentrated area

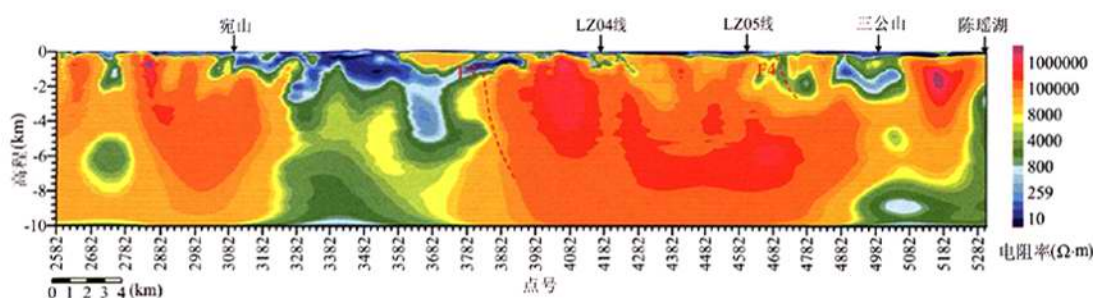


图10 庐枞矿集区大地电磁测深 LZ03 线二维反演电阻率模型

Fig. 10 Resistivity model of 2D inversion of magnetotelluric sounding profile LZ03 in Lu Zong ore concentrated area

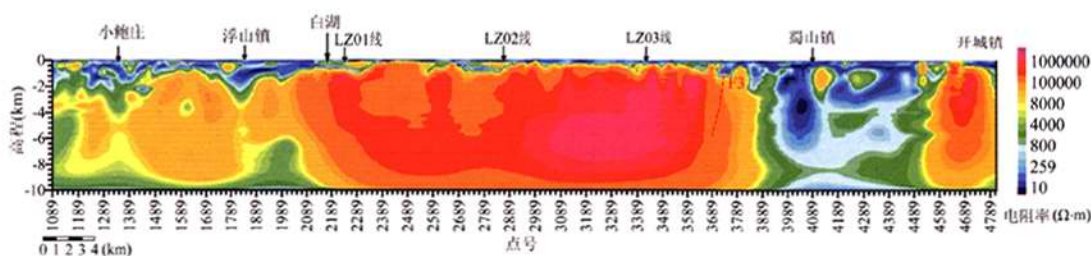


图11 庐枞矿集区大地电磁测深 LZ04 线二维反演电阻率模型

Fig. 11 Resistivity model of 2D inversion of magnetotelluric sounding profile LZ04 in Lu Zong ore concentrated area

地区,干扰类型众多、干扰强度较大,为大地电磁测深的数据采集与处理工作带来了不可估量的困难。

作为揭示地壳电性结构、探测深部地质构造的一种行之有效的地球物理手段,大地电磁测深法在强干

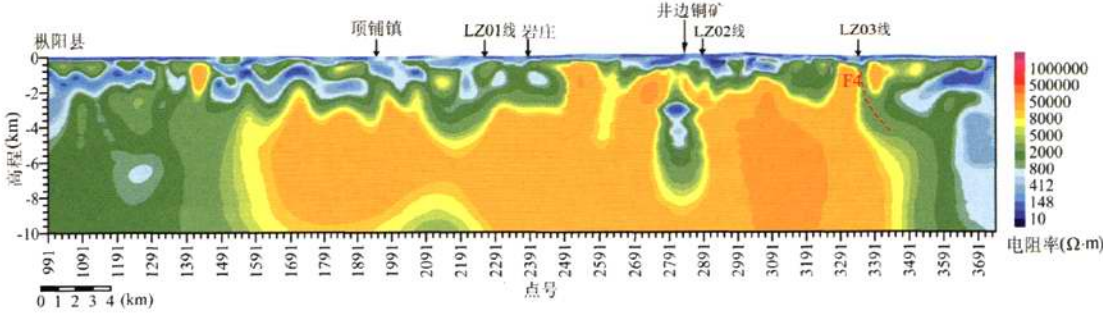


图 12 庐枞矿集区大地电磁测深 LZ05 线二维反演电阻率模型

Fig. 12 Resistivity model of 2D inversion of magnetotelluric sounding profile LZ05 in Lu Zong ore concentrated area

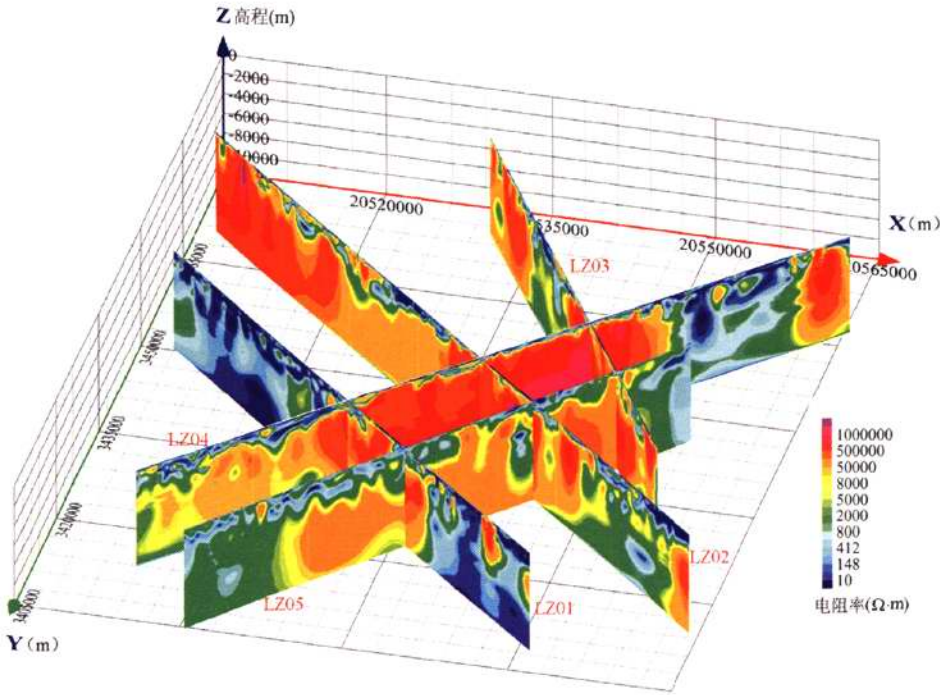


图 13 庐枞矿集区大地电磁测深数据二维反演电阻率模型三维效果图

Fig. 13 Three dimensional effect diagram obtained by contracting 2D inversion resistivity model of magnetotelluric sounding data in Lu Zong ore concentrated area

扰地区的应用研究具有重要的理论和实际意义。

庐枞矿集区的数据采集工作为在强干扰地区采集大地电磁测深数据积累了丰富的经验。强干扰地区的 MT 数据采集，一定要保证足够长的采集时间才能有效地压制随机噪声。合理的测站布置及电道、磁道铺设，能有效地降低干扰，提高数据的信噪比。强干扰地区的 MT 数据采集是一项艰苦但又必须耐心谨慎的工作，任何一个细微的改进都可能

为提高数据质量做出贡献。

通过对庐枞 MT 数据的分析、评价及初步的反演，表明本次在庐枞矿集区所采集的大地电磁测深数据的合格率达到 95%，然而由于测区人文干扰、矿山干扰、游散电磁干扰严重，一半以上的数据受到了强烈的电磁干扰。这些干扰，特别是矿山开采产生的干扰，频带宽、强度大且时间域电磁场曲线形态特征明显，仅在频率去噪非常困难，建议首先在

时间域采用数学形态滤波的办法进行去噪处理。

庐枞矿集区 MT 数据的初步的反演结果揭示了庐枞盆地内几条断裂构造的存在与深部延伸情况:北北东走向的罗河断裂倾向南东,已穿透 10km,为庐枞火山岩盆地的西界导岩控矿断裂;近东西走向的庐江-黄陂湖断裂倾向南西,为庐枞火山岩盆地的北界导岩控矿断裂;近南北走向的襄安-大通镇断裂向东倾;北东-北北东方向的长江断裂倾向南东,为庐枞盆地的东界断裂。关于矿集区强干扰大地电磁信号的去噪及庐枞矿集区 MT 数据的二、三维反演与解释正在进一步的研究中,我们欢迎并急切地期待所有同行的参与、交流与讨论。

致谢:感谢中国石油大学戴世坤副教授提供的功能强大的 Geo_GMES 反演软件;感谢中国地质科学院矿产资源所严加永博士在成文过程中给予有益的建议和讨论;感谢参加 SinoProbe-3-4 项目的其他成员在庐枞矿集区 MT 数据采集工作中所付出的努力与艰辛!

注 释

- ① 吕庆田,吴明安. 2008. 庐枞矿集区立体探测技术与深部成矿预测示范课题设计书. 深部探测技术与实验研究专项。

参 考 文 献

- 常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游钢铁成矿带. 北京:地质出版社,1~325.
- 常印佛,董树文,黄德志. 1996. 论中-下扬子“一盖多底”格局与演化. 火山地质与矿产, 17(1~2):1~14.
- 陈江峰,周泰禧,邢凤鸣,徐祥,徐立华. 1994. 长江中下游岩带含铜岩体的 Pb、Sr、Nd 同位素特征. 地球学报, (1~2):111~116.
- 程业勋,陈乐寿等主编. 2001. 探测地球的奥秘——地球物理学. 济南:山东教育出版社,205~224.
- 戴世坤,徐世浙. 1997. MT 二维和三维连续介质快速反演. 石油地球物理勘探, 32(3):305~317.
- 董树文. 1991. 长江中下游铁铜矿带成因之构造分析. 中国地质科学院院报, 23:43~56.
- 董树文,吴宣志,高锐,卢德源,李英康,何义权,汤加富,曹奋扬,侯明金,黄得志. 1998. 大别造山带地壳速度结构与动力学. 地球物理学报, 41(3):349~361.
- 董树文,高锐,吕庆田,张季生,张荣华,薛怀民,吴才来,卢占武,马立成. 2009. 庐江—枞阳矿集区深部结构与成矿. 地球学报, 30(3):279~284.
- 董树文,李廷栋,高锐,吕庆田,吴珍汉,陈宜华,周琦,刘刚,刘志强,梅琳. 2010. 地球深部探测国际发展与我国现状综述. 地质学报, 84(6):743~770.
- 董树文,李廷栋, SinoProbe 团队. 2011. 深部探测技术与实验研究 (SinoProbe). 地球学报, 32(增刊):3~23.
- 方慧,胡平,钟清,刘畅往,李晓吕,卢景奇,高宝屯. 2007. 青藏高原祁连山地区大地电磁测量初步结果. 物探化探计算技术, 29(增刊):72~77.
- 范翠松,李桐林,王大勇. 2008. 小波变换对 MT 数据中方波噪声的处理. 吉林大学学报(地球科学版), 38(增刊):61~63.
- 关艺晓,李桐林,李建平,尚通晓,林品荣. 2007. 二维大地电磁人机交互解释系统的实现. 吉林大学学报(地球科学版), 37(增刊):21~23.
- 金胜,叶高峰,魏文博,邓明, Martyn Unsworth. 2006. 青藏高原东南部地壳电性结构与断裂构造特征——下察隅—昌都剖面大地电磁探测结果. 地质前沿, 13(5):408~415.
- 金胜,叶高峰,魏文博,邓明,景建恩. 2007. 青藏高原西缘壳幔电性结构与断裂构造:札达—泉水湖剖面大地电磁探测提供的依据. 地球科学——中国地质大学学报, 32(4):474~480.
- 金胜,张乐天,魏文博,叶高峰,刘国兴,邓明,景建恩. 2010. 中国大陆深部探测的大地电磁深部研究. 地质学报, 84(6):808~817.
- 孔祥儒. 1992. 电磁感应研究的进展与展望. 地球物理学进展, 7(2):11~14.
- 李桐林,刘福春,韩英杰,赵海珍. 2000. 50 万伏超高压输电线的电磁噪声的研究. 长春科技大学学报, 30(1):80~83.
- 李增柱,黄清华,陈小斌. 2009. 误差对大地电磁深部反演的影响. 地球物理学报, 52(1):268~274.
- 刘宝勤,安海静,屈健鹏. 2001. 中国西北部地区大地电磁测点布设条件探讨. 西北地震学报, 23(1):78~81.
- 任启江,王德滋,徐兆文等. 1993. 安徽庐枞火山—构造洼地的形成、演化及成矿. 地质学报, 67(2):131~145.
- 宋守根,汤井田,何继善. 1995. 小波分析与频率电磁深部静态效应的识别、分离和压制. 地球物理学报, 38(1):120~127.
- 宋国奇. 2006. 祁连山断裂带鲁苏皖段大地电磁深部剖面与地壳结构. 油气地质与采收率, 13(6):1~4.
- 汤井田,化希瑞,曹哲民,任征勇,段圣龙. 2008. Hilbert-Huang 变换与大地电磁噪声压制. 地球物理学报, 51(2):603~610.
- 汤井田,蔡剑华,任政勇,化希瑞. 2009. Hilbert-Huang 变换与大地电磁信号的时频分析. 中南大学学报(自然科学版), 40(5):1439~1405.
- 魏文博,金胜,叶高峰,邓明,谭捍东, Martyn Unsworth, Alan G. Jones, John Booker, Shenghui Li. 2006. 藏北高原地壳及上地幔导电性结构——超宽频带大地电磁深部研究结果. 地球物理学报, 49(4):1215~1225.
- 魏文博,金胜,叶高峰,邓明,景建恩, Unsworth MARTYN. 2009. 藏南岩石圈导电性结构与流变性——超宽频带大地电磁深部研究结果. 中国科学 D 辑:地球科学, 39(11):1591~1606.
- 王德滋,任启江,邱检生,陈克荣,徐兆文,曾家湖. 1996. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用. 地质学报, 70(1):23~34.
- 王运生,王绪本,荀量,贾进斗. 2007. 松潘—邵阳大地电磁剖面深、浅部典型构造的解释. 南水北调与水利科技, 5(2):70~77.
- 肖鹏飞,白登海, Ivan M Varentsov, 刘美,孔祥儒. 2010. 长周期大地电磁深部研究——青藏高原东部 LMT 响应函数及应用. 地震地质, 32(1):38~50.

- 于学元, 白正华. 1981. 庐枞地区安粗岩系. 地球化学, 1:57~64.
- 袁峰, 周涛发, 范裕, 路三明, 钱存超, 张乐骏, 段超, 唐敏慧. 2008. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景. 岩石学报, 24(8):1691~1702.
- 翟裕生, 林新多, 姚书振. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京:地质出版社, 1~235.
- 赵文津. 2008. 长江中下游金属矿找矿前景与找矿方法. 中国地质, 35(5):771~802.
- 周涛发, 范裕, 袁峰. 2008. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 岩石学报, 24(8):1665~1678.
- 周涛发, 范裕, 袁峰, 路三明, 尚世贵, David Cooke, Sebastien Meffre, 赵国春. 2008. 安徽庐枞(庐江—枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义. 中国科学 D 辑:地球科学, 38(11):1342~1353.
- Bai Denghai, Maxwell Meju. 2003. Deep structure of the Longling-Ruili Fault underneath Ruili Basin near the eastern Himalayan Syntax: Insight from magnetotelluric imagine. Tectonophysics, 364:135~146.
- Constable S C, Parker R L, Constable C G. 1987. Occam's inversion: a practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. Geophysics, 52(3):289~300.
- CHEN L, BOOKER J R. 1996. Electrically conductive crust in Southern Tibet from INDEPTH magnetotelluric surveying. Science, 274:1694~1696.
- DeGroot-Hedlin C, Constable S C. 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from electromagnetic sounding data. Geophysics, 55:1613~1624.
- Egbert G D. 1997. Robust multiple station MT data processing. Geophys. J. Int, 130:475~496.
- Groom R W, Bailey R C. 1995. Analytic investigations of the effects of near-surface three-dimension galvanic scatterers on MT tensor decompositions. Geophysics, 56(4):496~518.
- Gary W M, Jones A G. 2001. Mutisite multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. Geophysics, 66(1):158~173.
- Junge A. 1996. Characterization and correction for cultural noise. Surv. Geophys, 17:361~391.
- Oldenburg D W. 1990. Inversion of electromagnetic data: An overview of new techniques. Surveys in Geophysics, 11:231~270.
- Rodi W, Mackie R L. 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2D magnetotelluric inversion. Geophysics, 66(1):174~187.
- Smith J T, Booker J R. 1991. Rapid inversion of two- and three-dimensional magnetotelluric data. J Geophys Res, 96:3905~3922.
- Smith T, Hoversten M, Gasperikova E, et al. 1999. Sharp boundary inversion of 2D magnetotelluric data. Geophysical Prospecting, 47:469~486.
- Smirnov M Yu. 2003. Magnetotelluric data processing with a robust statistical procedure having a high breakdown point. Geophys J Int, 152:1~7.
- Tang Jin-tian, Xiao Xiao, Zhou Cong, Lu Qingtian. 2010. Data Acquisition and Analyses of Magnetotelluric Sounding in Lujiang-Zongyang Ore Concentrated Area. American Geophysical Union, Fall Meeting.
- Unsworth M J, Jones A G, Wei W B, et al. 2005. Crustal rheology of the Himalaya and southern Tibet inferred from magnetotelluric data. Nature, 438:78~81.
- Wei Wenbo, Unsworth M. 2001. Detection of widespread fluids in the Tibetan crust by magnetotelluric studies. Science, 292:716~718.

Magnetotelluric Sounding in the Lujiang-Zongyang Ore-district and Preliminary Study of Electrical Structure

XIAO Xiao¹⁾, TANG Jingtian¹⁾, ZHOU Cong¹⁾, LÜ Qingtian²⁾

1) *School of geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha, 410083;*

2) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,*

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

Investigation of the telluric electromagnetic sounding (Magnetotelluric, MT) in the Lujiang-Zongyang ore-intensive area is conducive to studying the geological structures of this area. Meanwhile, it has important theoretical significance for MT signal law research in strongly interfered regions and MT data processing and interpretation. First, this study expounded the geologic aspects of the Lu-Zong basin and the current research state of the deep MT sounding method. Second, we introduced the data acquisition of MT sounding in the Lujiang-Zongyang ore intensive area and related experiments, such as consistency test of instruments, contrast experiment of single-point acquisition time using MT, and assessment of data quality, etc. Third, we analyzed the approaches to attenuate the noise of MT interference in the strongly interfered area in the mine. Finally, the magnetotelluric sounding data in the Lujiang-Zongyang deposit-intensive area were inversed using human-computer interaction 2-D successive medium. Combined with regional tectonic settings, the inversion results of some MT sounding profiles were probed and interpreted.

Key words: Lujiang-Zongyang Ore Concentrated Area; Magnetotelluric Sounding; Signal Processing; Data Processing; Inversion