

于 鹏, 吴健生, 王家林等. 上海奉城—浙江湖州长周期 MT 剖面揭示的深部电性结构. 地球物理学报, 2008, 51(2): 503 ~ 510
Yu P, Wu J S, Wang J L, et al. Using long period magnetotelluric profile of Fengcheng of Shanghai—Huzhou of Zhejiang province to study deep electrical structure. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2008, 51(2) 503 ~ 510

上海奉城—浙江湖州长周期 MT 剖面 揭示的深部电性结构

于 鹏¹, 吴健生¹, 王家林¹, 张新兵¹, 章振铨², 姚保华²

1 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2 上海市地震局, 上海 200062

摘 要 利用 GMS-06 电磁观测系统对上海奉城—浙江湖州剖面进行了大地电磁数据采集, 获得了超过 4000 s 的高质量长周期观测数据, 为沪浙地区深部电性结构研究提供了有利条件. 通过反演处理, 综合倾子解释结果和重磁资料以及最新的地震解释结果, 在电性和断裂结构上获得了新的认识, 对湖州—苏州、乌镇—马金、枫泾—川沙以及太仓—奉贤这几条深大断裂带的展布以及对区域构造格架的控制作用进行了新的评价, 其中枫泾—川沙断裂是上海断隆和湖州—南通台拱之间推覆构造过渡带的控制断裂, 太仓—奉贤断裂带的主体位置推断在亭林附近. 同时, 对高阻基底以上电性层进行了解释, 揭示了岩石圈底界面的结构和构造形态, 推断湖州—苏州断裂西侧存在壳内高导层.

关键词 大地电磁测深, 深部电性结构, 深部断裂, 壳内高导层, 倾子, 岩石圈, 沪浙地区

文章编号 0001-5733(2008)02-0503-08

中图分类号 P631

收稿日期 2007-06-05 2007-12-24 收修定稿

Using long period magnetotelluric profile of Fengcheng of Shanghai— Huzhou of Zhejiang province to study deep electrical structure

YU Peng¹, WU Jian-Sheng¹, WANG Jia-Lin¹, ZHANG Xin-Bing¹,
ZHANG Zhen-Quan², YAO Bao-Hua²

1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2 Earthquake Administration of Shanghai Municipality, Shanghai 200062, China

Abstract A magnetotelluric sounding (MT) profile from Fengcheng of Shanghai to Huzhou of Zhejiang province was conducted using GMS-06 surveying system, high quality long period data over 4000 s were obtained. By inversion and processing, these MT data provide basis for the studies of deep electrical and fault structures. Integrating with tipper interpretation result, gravity & magnetic data and updated seismic interpretation, new recognitions about the conductivity and fault structures are obtained. The styles of several large and deep faults such as Huzhou—Suzhou, Wuzhen—Majin, Fengjing—Chuansha and Taicang—Fengxian and their roles in controlling the regional tectonics are evaluated. The fault of Fengjing—Chuansha controls the nappe transition structure zone between Shanghai uplift and Huzhou—Nantong arched area. The main distribution position of the fault of Taicang—Fengxian is deduced at the vicinity of Tinglin. Moreover, the electrical strata overlying on the high resistant basement, the crustal high—conductive stratum existing in the west area of Huzhou—Suzhou fault, the bottom interface of lithosphere, are also revealed and interpreted.

Keywords Magnetotelluric sounding (MT), Deep electrical structure, Deep fault, Crustal high-conductive strata, Tipper, Lithosphere, Shanghai & Zhejiang area

1 引言

近年来电磁仪器和相关正反演方法的发展,使大地电磁测深(MT)数据采集质量与反演精度都得到了提高,在解决深部地质问题中发挥了重要的作用.MT数据可为壳幔和岩石圈研究提供重要的深部信息,在壳幔低阻层、深部大断裂和深部构造、单元划分等方面都可以取得效果.

上海及其邻区为具有一定强度和频度的中强地震活动区.20世纪90年代,在上海市区及其附近地区曾开展了包括地球化学探测、浅层人工地震勘探和钻孔以及第四系地质等方面的探测研究工作,取得了一些探测研究成果^[1].20世纪80年代完成的安徽灵璧至上海奉贤的HQ-13线地学断面^[2]探测,解释了下扬子区域性的壳幔层块结构,但受当时技术手段和精度的限制,对沪浙地区壳幔精细结构缺乏深入研究.为查明通过上海市的一系列北东或北北西向的地壳深部断裂的延伸情况、深部孕震构造环境和构造形态,上海市地震局以深地震反射方法为主,结合高分辨折射、地震宽角反射/折射和大地电磁测深,在2004年施工完成了上海及邻近地区的第一条高精度综合地球物理深部探测剖面^[1].同济大学海洋与地球科学学院设计施工了其中的沿上海奉城—浙江湖州的近东西向MT剖面,其目的是以长周期MT资料为主,结合地震与其他物探和地质资料,了解上海地区深部上地幔范围内的地质结构、电性分层、断裂结构、壳内高导层分布等问题,为上海地区断裂与深部构造和电性特征研究提供基础资料.

文献[3]就德国生产的GMS-06与MMS-03和V5-2000大地电磁系统同步采集的数据进行过对比分析,GMS-06观测的视电阻率和相位曲线连续性好,自由频段的选择和丰富的频点信息有助于揭示更细致的浅-深的电性层分布,文献[3]曾做了单测点的反演解释,揭示了研究区壳内高导层的分布等问题.

姚保华等^[1]以深地震反射方法为主,结合高分辨折射、地震宽角反射/折射和MT的探测解释结果,获得了上海奉城—浙江湖州这条高精度综合地球物理剖面由地表至莫霍面的精细速度结构、电性结构、深浅构造关系和断裂展布,其成果大大提高了上海地区深部构造的地球物理探测水平,深化了对该地区深部结构的认识.文献[1]对MT处理解释结

果只做了简要的说明,展示了深度30和140 km的电性反演结果,揭示了壳内高导层的分布和岩石圈底界面的形态.

于鹏等^[4]对这条MT剖面进行了重新处理和解释,从电性角度通过倾子资料重点研究了断裂的展布问题,结合深度达到200 km的最新反演结果,特别是对断裂、高导层分布深度以及岩石圈底界面形态等深部电性结构问题,获得了一些新的认识,本文将综合已有的以及最新的相关研究结果分别予以阐述.

2 沪浙地区长周期MT剖面的数据采集与处理分析

2004年底至2005年初,利用3套GMS-06标准5分量仪器沿上海奉城—浙江湖州一线进行了60个MT物理点的资料采集.剖面东起上海东海之滨的泥城,向西依次经过奉城、亭林、朱泾等地,穿过枫泾、吴江,向西延伸至浙江省的湖州市太湖南滨附近,测线全长约162 km(见图1),其中1套仪器布置在浙江余杭市附近的远参考点,记录同步参考道信号,2套仪器进行数据采集.

通过3套仪器的一致性试验、重复性试验、数据采集时间长短试验、环境电磁干扰试验、互参和远参压制干扰试验以及定位精度试验等^[3],检验了仪器工作的性能和稳定性,试验了克服和压制干扰的方法技术,客观评价了资料质量.野外数据实际采集时间都在20个小时以上,观测频率范围为8000~0.000244 Hz,有效周期超过4000 s,经过远参考处理,改善了MT资料的质量.

图2a、2b为实测TM极化模式的视电阻率和相位断面.剖面由西向东可分为60~53号、52~50号、49~38号、37~1号几个测点区段,电性变化呈现不同区段的特征.剖面的中高频段为低阻沉积层,由西向东高阻基底逐渐抬升,低频段52~50号测点段为明显低阻断裂带的反映,经49~38号测点段的过渡,剖面37~1号测点段表现为巨厚高阻沉积,并且这一高阻内部也存在间断的特征,而不同区段之间可能正是断裂控制的反映.

文献[3]曾就采集的单点数据做了说明和处理及初步反演解释,对V5-2000与GMS-06仪器采集数据的阻抗走向角度通过张量分解进行了比较分析,说明了GMS-06确定的走向角度较稳定,并且两类仪器在二维偏离度(skewness)曲线形态上吻合较好.

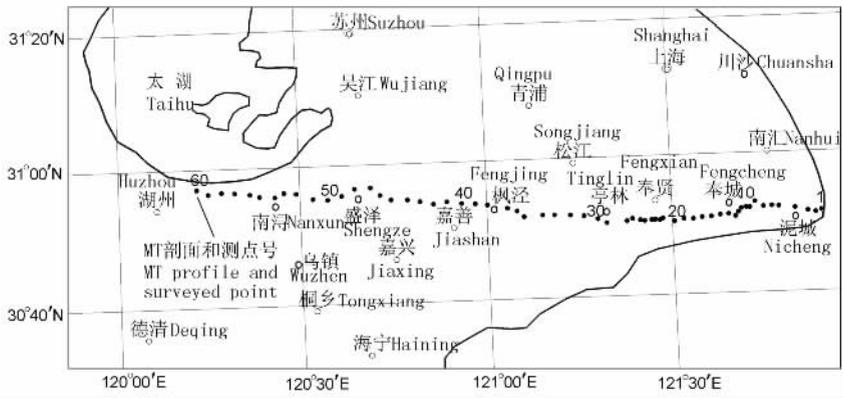


图 1 沪浙 MT 剖面位置示意图

Fig.1 Location of the surveyed MT profile

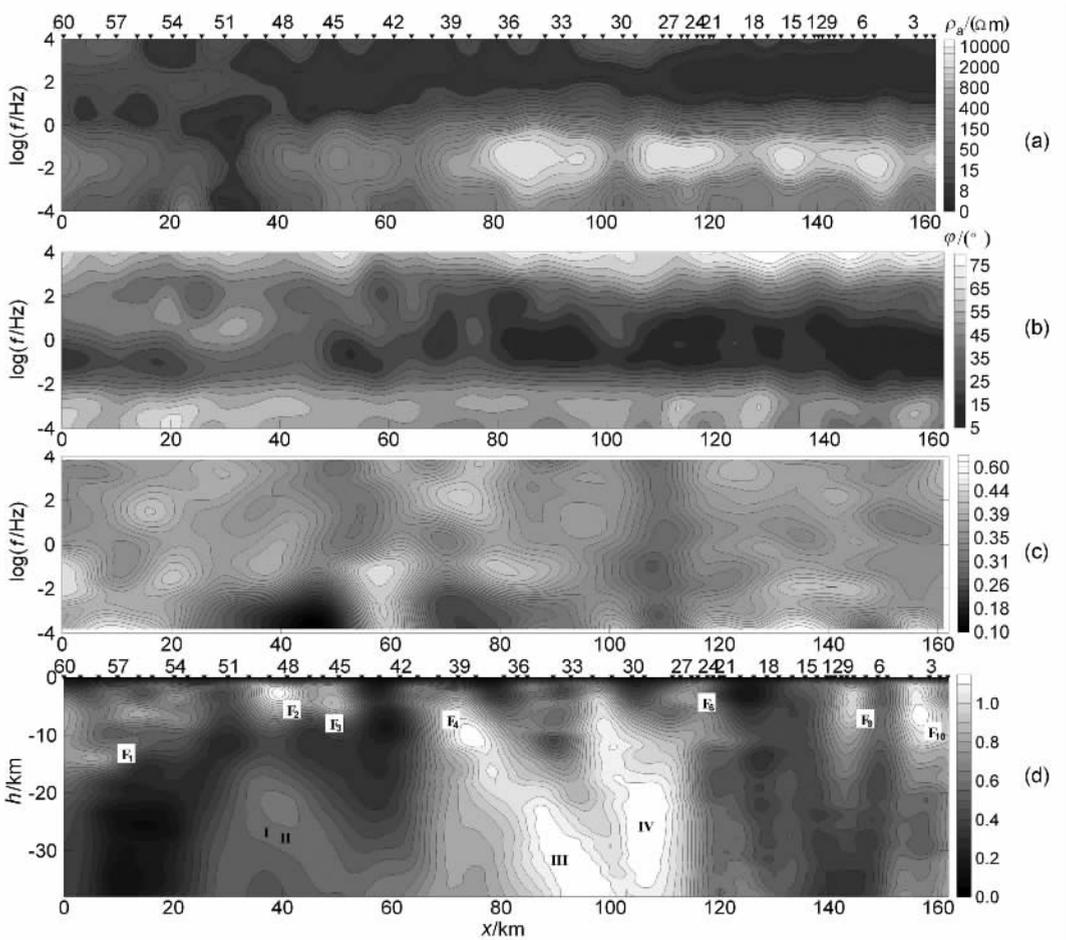


图 2 沪浙 MT 剖面视电阻率断面 (a) , 相位断面 (b) , 二维偏离度 (c) 与视倾子频率深度近似转换结果 (d)

Fig.2 Cross-section of apparent resistivity (a) & phase curves (b) , 2-D skewness (c) and tipper inversion (d) of the profile

图 2c 为该剖面的二维偏离度 , 其数值普遍小于 0.4 , 说明该剖面具有较强的二维性特征 , 沿剖面 0 ~ 20 km 与 120 ~ 162 km 处低频端的偏离度相对较大 , 说明这些区段深部电性结构较复杂 . 此外研究区主要

构造走向为北北东向^[5] , 经张量阻抗分析得出的主轴方位表明测线基本沿着电性构造的倾向 , 因此利用二维反演揭示深部电性结构是可行的 . 在常规反演和 MT 偏移成像基础上^[6] , 利用不带约束的模拟

退火二维反演方法^[7]进行了反演。

此外,对该剖面重新处理过程中,从电性角度出发,通过倾子资料重点研究了断裂的展布问题。倾子可反映地电构造水平非均匀性的变化,尤其是在断裂判别上可以作为一个重要的参数,但由于实测数据质量较差而往往不能得到充分应用。笔者在倾子定义的基础上^[8],基于大地电磁场平面波入射的条件,忽略水平磁场水平梯度的变化,提出了如何利用视倾子来研究断裂的特征^[4,9]。如果了解了二维情况下电性主轴上的阻抗值即可求得视倾子的值,克服了实测倾子易受噪声干扰、品质差、实际应用效果差的缺点,并且可以由受干扰影响小且资料质量相对好的视电阻率和相位换算得到,与实测倾子资料具有很好的可比性,在一定程度上提高了资料解释的可信度,为下一步地质解释可提供有价值的信息。文献^[4,9]通过模型试验表明,视倾子的各种异常响应对不同断裂模型均有较显著的反映,可以用来判断断裂的位置、倾向、规模和埋深以及电性差异等,但不能判断断裂的倾斜程度,在不需要更多先验信息的条件下,利用视倾子可以直接判断电性横向的变化尤其是断裂的展布,因此为研究地电构造和地质解释创造了新的条件。

由实测视电阻率和相位计算得到沪浙剖面的视倾子资料,分析其特征并利用 Bostick 反演^[10]进行频率深度转换得到视倾子相对深度结果(图 2d),图中的极值响应可能就对应着深、浅和规模不同的断裂特征,因此可以从定性的角度帮助判断断裂的位置和规模,编号 I ~ IV 与 $F_1 \sim F_{10}$ 为可能存在的深浅断裂的位置(下文相同)^[4]。应该指出频深转换只表示一相对深度的结果,并不能代表断裂的实际延伸深度,但可定性表征断裂的相对深浅和规模大小,结合下文的电性反演结果与解释将予以具体讨论。同时,MT 偏移成像^[6]反射系数结果^[4]、同相轴错断与不连续的特征也直观地揭示了断裂的存在。

3 电性和断裂结构分析

3.1 研究区概况

据前人研究^[5]结果,上海地区自前晋宁期以来经历过多次构造变动,相应地形成了一系列规模不等、性质不同的断裂构造。上海市区域性断裂构造按其展布方向可分为北东向、北北东向、北东东向—近东西向与北北西向 4 组,其中以北东向断裂最为发育,有枫泾—川沙断裂和张堰—南汇断裂等,控制了

晚元古代的展布和震旦纪—古生代的沉积,与基底褶皱伴生。加里东—燕山早期的断裂构造表现出继承性特点,也呈北东方向延伸。燕山晚期的主干断裂呈北北东向展布,并控制着燕山晚期的岩浆侵入。晚白垩世开始,区域应力场以引张为主,相应发育了一系列张性断裂和陷落盆地。北北西向断裂是在早期张扭或扭裂结构的基础上于喜马拉雅期继续活动发展而成的,切割了其他方向的断裂,具较强的新生特点。上述这些不同时代形成的主干断裂和它们的配套构造相互交错,构成了本区复杂的断裂构造网络。

MT 剖面经过处由西向东为苏南—上海断隆,传统认识上又以湖州—苏州断裂为界分成西边的湖州—南通台拱和东边的上海断隆。构造形变特征上,上海地区基本呈块断构造,而相邻的苏南地区则为典型的推覆构造带。图 2 的视电阻率和相位断面图也揭示了这一基本构造格局。

3.2 地壳浅部结构

依据地表露头和钻孔资料、岩石物性特征、区域地质和地震资料^[5],对电性反演的地层属性进行了标定和推断(地层分布情况见图 3,图中编号 I ~ IV 是本文重点要讨论的大断裂编号,其他相对浅的断裂以编号 $F_1 \sim F_{10}$ 表示,这些断裂根据其对应的地理位置分布进行了命名)。根据 10 km 深度的反演结果,沿剖面 38 ~ 37 号测点处以 III 号枫泾—川沙断裂(亦称松江—上海断裂、松江—嘉兴断裂)为界,高阻基底以上沉积的相对低阻地层,其东侧有 2 套,而西侧有 3 套,该断裂是高阻基底上覆盖层从西侧的三层结构跃变为两层结构的分界处,电性梯度带特征明显,切割了基底,表现为由东向西的推覆。晚古生代地层在 I 号湖州—苏州断裂以东的上海地区缺失。前震旦系变质岩高阻基底面具有“西低东高中间隆”的特点,与重力异常以及地震资料^[1]揭示的上地壳和中地壳底界面形态基本一致,并且 10 km 深度的电性反演结果与文献^[1]给出的高分辨率折射剖面速度分布结果具有很强的可比性,虽然速度界面并不是电性的分界面,但是结合电性差异的纵横向变化,并进一步结合视倾子资料和重磁等资料有助于揭示断裂的展布状况。

下面仅分析浅部的几条断裂的展布和性质。

F_3 芦墟—青浦—龙华断裂切过剖面的 46 ~ 45 号测点处,它位于较为显著的重力梯度密集带上,断裂两侧分布有侏罗系火山岩。在电性剖面上,其断面向西北倾斜,断裂两侧电性层厚度有明显差异,断裂切割了基底,表现出逆冲特点。 F_4 嘉善—壹山断裂

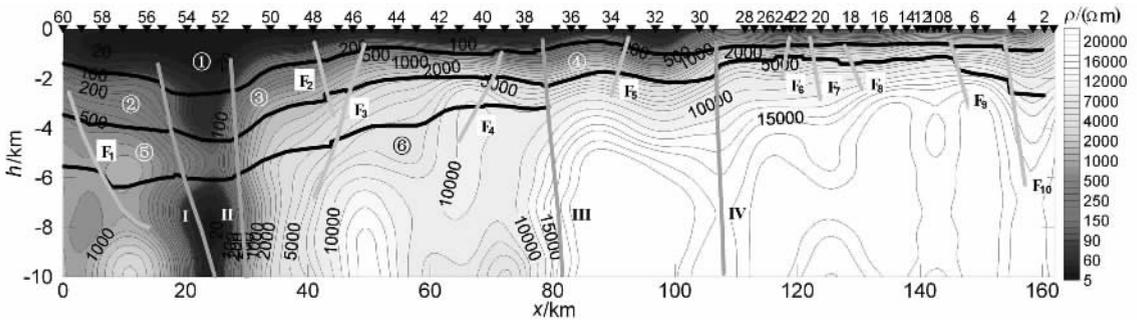


图3 沪浙 MT 剖面浅部电性结构反演结果

①新生代和中生界上白垩统地层;②上古生界;③上侏罗统火山岩地层;④侏罗系和古生界地层;⑤下古生界;⑥前震旦系变质岩基底;I~IV和 $F_1 \sim F_{10}$ 表示推断的断裂,I 湖州—苏州断裂,II 乌镇—马金断裂带,III 枫泾—川沙断裂,IV 太仓—奉贤断裂带, F_1 湖州—苏州断裂西支, F_2 乌镇—马金断裂东支, F_3 芦墟—青浦—龙华断裂, F_4 嘉善—壹山断裂, F_5 廊下一大场断裂, F_6 太仓—奉贤断裂东支, F_7 朱行断裂, F_8 张堰—南汇断裂, $F_9 \sim F_{10}$ 南通—上海断裂带。

Fig.3 Inversed shallow electrical structure of Shanghai-Zhejiang MT profile

切过剖面 40~39 号测点处,断面向西南倾斜,切割了第一和第二低阻层底界面。 F_5 廊下一大场断裂经过 34~33 号测点处,断面向西南倾斜,断裂两侧岩性有所差别。北东向的 F_8 张堰—南汇断裂(又称南汇—奉贤断裂)经过 19~18 号测点处,断面向东倾斜,切割了基底,具有正断层特点,为早期活动断裂,沿断裂带出现多个呈串珠状分布的磁异常,经钻证实大多为燕山期中酸性侵入岩,多个钻孔中可见挤压片理、动力变质岩和构造破碎带^[5]。 F_9 南通—上海断裂经过 8~7 号测点处,断面向东倾斜,切割了基底,具有正断层特点,推测形成于燕山晚期或新生代,1624 年上海 4.3 级地震就可能发生在此断裂上,断裂在重磁异常上均有反映,为一连续的北西向梯度带,沿断裂的钻孔中均有挤压破碎带^[5]。

几处浅部断裂在视倾子结果(图 2d)上的特征也得到了体现。对电性层划分和基底及浅的断裂的推断解释,与掌握的已有资料和地质解释及认识^[1,5]基本吻合。依据电性特征和视倾子结果,本文新推断了 F_1 和 F_6 以及 F_{10} 断裂,分别归到相应的湖州—苏州断裂带和太仓—奉贤断裂带以及南通—上海断裂带。 F_6 断裂认为是由 I 号与 II 号断裂带引起的旁支断裂,属于壳内断裂。 F_{10} 断裂虽造成电性特征的较大落差,但是深部特征并不显著,可能正在形成之中,认为归属于南通—上海剪切断裂带,也属于壳内断裂。

3.3 深部电性和断裂结构

根据 30 km 和 200 km 深度的反演结果(图 4)(图 4c 中的 C1, C2, M 见文献[1]的解释),I 号湖州—苏州断裂(亦称苏州—安吉断裂),是一条已被综

合物探、地质资料确定的隐伏断裂^[3],属早—中更新世活动断裂,在重力异常图和倾子图上均有特征体现,延伸深度大,电性反演结果表现出低阻破碎带的明显特征,断裂两侧电性特征不同,倾向东南。

II 号乌镇—马金断裂带在重力异常图上(图 4a)沿断裂表现为密集的呈北东走向的重力梯度带,并且磁异常沿断裂带北东向带状正负异常变化明显。在电性剖面上,该断裂带分为两支,西支断层经过 52~51 号测点处,东支断层位于 48 号测点处即 F_2 ,断面都倾向东南,但西支断层经过处表现为十分明显的低阻带,并延伸至地壳深处,东支断层切割了第一电性层底界,只影响至近地表的第二电性层,故认为西支断层是乌镇—马金断裂带中的主要断裂。在深部上地壳底界面处, I 号与 II 号断裂带汇聚在一起,这一特征延伸至壳幔深处,可能收敛到岩石圈底界面上,故认为该断裂带至少是一条壳幔断裂。I 号与 II 号断裂带在图 2 中的倾子极值响应由于低阻破碎带的原因虽不如 III 号 IV 号处的显著,但也指明了断裂深度大和倾向的特征。

以 II 号断裂为界,东侧基底下部岩石层电阻率值较高,也相对较均匀,暂没有推断壳内高导层。而西侧基底下部岩石电阻率值相对偏低,于 15~17 km 埋深左右出现厚度 2 km 左右的壳内高导层,其形态西低东高,有一定落差。陈沪生等^[11]在研究下扬子及邻区岩石圈结构特征与油气资源评价时指出,本区存在一水平破裂带(低速高导层),其顶界面埋深在 16 km 左右,电性剖面上揭示的壳内高导层可能就是这一反映。此外,对沿测线 55 号的测点在文献[3]中专门做了分析和反演处理解释,也揭示了深部高阻基底内部 16~18 km 深度处有一明显的壳内低

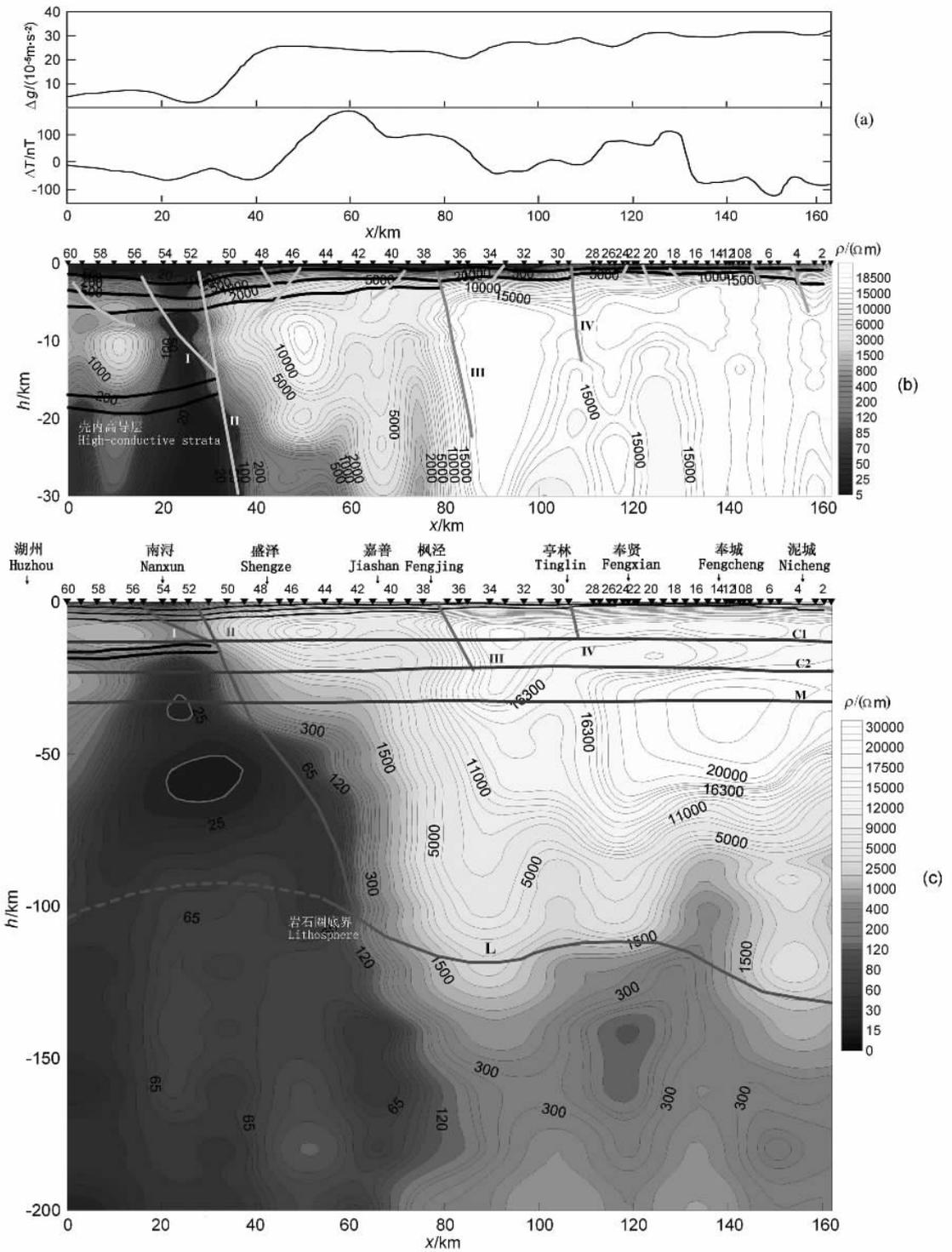


图 4 沪浙 MT 剖面重磁异常 (a) 与 30 km (b) 和 200 km (c) 电性结构反演结果与解释

Fig. 4 Gravity & magnetic anomalies (a) and 30 km (b) & 200 km (c) inversion and interpretation results of the profile

阻层的存在 进一步验证了以上结论,也修正了文献 [1] 中对其深度的认识.

以往对 II 号断裂以东上海地区断裂的认识,多认为是基底断裂^[5],主要是对第四纪地层起控制作

用,文献 1 利用最新资料,认为在奉贤、奉城和洪庙附近(即剖面 24~10 号测点之间)出现复杂的花瓣状断裂构造,有三条断裂错断基底并在奉贤以东有一条大断裂最终归并到略向东倾伏的上地壳底界面

上,同时文献 [1] 根据震源深度多位于中地壳内的统计结果,认为剖面经过处不存在发生大地震的深部构造条件(即深断裂)。与这些认识不同的是,通过这次处理解释,发现Ⅲ与Ⅳ号断裂应该是上海断隆内部值得重视的 2 条大断裂。

Ⅲ号枫泾—川沙断裂切过剖面的 38~36 号测点之间,在地理位置上,呈北东向延伸展布,隐伏于第四系之下,控制了晚元古代的地层沉积并对震旦纪—古生代的沉积建造有明显控制作用,与基底褶皱伴生。在重力异常以及向上延拓后的异常图上有明显显示,均呈梯度带延伸,磁异常表现为正负磁场交变带(图 4a)。在电性剖面上,断面向东南倾斜,作为高阻基底上覆低阻盖层从西侧三层结构跃变为东侧两层结构的分界处的一条重要断裂,使电性结构表现为由东向西的推覆。通过本次研究,它在视倾子图 2 中特征最为显著,倾向明显向东且延伸深度大,我们认为它应该是一条较陡立深剪切断裂,至少切割了基底和上地壳,从电性特征上看也可能切割了中地壳底界面而延伸至地幔,它与Ⅱ号断裂之间即东边上海断隆和西边湖州—南通台拱之间,呈现出与东西两侧截然不同的电性结构,具有一推覆构造过渡带的特征,其东侧才是更为稳定的高阻块体。

Ⅳ号太仓—奉贤断裂带位于亭林和奉贤之间,我们划分的断裂主体位置位于亭林和奉贤之间(即剖面的 29~28 号测点之间),为电性结构上新揭示出的上海断隆内部的一条陡立剪切大断裂。地面上的太仓—奉贤断裂呈北西 330°走向经过剖面的 22~21 号测点处,断面向东倾斜,具有正断层特点,古地磁测量表明其为晚更新世活动断裂,1990 年太仓的 4.9 级地震就发生在此断裂上^[5]。该断裂沿断续分布的重力异常梯度带或等值线扭曲部位通过,北东侧有一系列重力正异常,南西侧为重力负异常区,磁异常上有一系列局部异常沿断裂带呈串珠状排列。上海及邻区的北东向和东西向磁异常带延至该断裂带附近时均明显地被其截切。地震资料揭示在奉贤、奉城和洪庙附近出现复杂的花瓣状断裂构造^[1]。文献 [1] 的深地震反射叠加时间剖面上,该区段浅部地层被多条倾向不同的断裂切割,地层反射波凌乱,区段内地层比较破碎,在奉贤以东即 20 号测点附近推断了有一大断裂穿过基底并延伸至上地壳界面上。但视倾子和深部电性反演结果揭示真正太仓—奉贤断裂带的深部主体应该西移在亭林附近。由于 MT 本身点距和分辨率的问题,其揭示的电性结构虽没有深反射地震细致,但 10 km 深度的电

性反演结果与文献 [1] 给出的高分辨率地震折射剖面具有很强的可比性,高分辨率地震折射剖面上推断了 8 条断裂,大都位于高速隆起和低速凹陷区分界附近,其延伸形态与低速区的空间形态有关,速度剖面上最显著的高速隆起区(与地质构造图上的金山隆起对应)就位于亭林以西,上述深地震反射叠加时间剖面上推断的奉贤以东穿过基底并延伸至上地壳的大断裂虽也在高速隆起区的侧翼(对应图 3 中 F₀ 断裂),但其规模和埋深远远小于亭林以西的高速区,因此结合此次电性处理结果并综合已有资料,我们认为太仓—奉贤断裂带的深部主体应该在亭林以东即 29~28 号测点附近,这也说明了浅部和深部构造的不完全一致,由于由东向西的推覆并切割了其他方向的断裂才形成了地表浅部的一系列具有较强新生特点的花瓣状断裂响应。

反演的 200 km 深度电性结构还揭示了构造分区特征以及软流圈顶界面(岩石圈底界)的埋深和分布形态,Ⅱ号乌镇—马金断裂带与Ⅲ号枫泾—川沙断裂之间为两侧构造区的分界过渡带,总体为电性梯度带的特征,其东西两侧电性特征截然不同。Ⅱ号断裂带西侧电性数值低,没有明显的岩石圈底部界限,反映了深部壳幔和岩石圈调整不均衡,断裂为苏州花岗岩等的活动性提供了通道,从而形成了近于直立的低阻带和岩浆岩活动带,图 4c 中绘出的 2 个低阻圈闭呈串珠状分布,可能是残留岩浆体的证据。此外,西侧软流圈顶界面隆起核心部位对应着Ⅰ号与Ⅱ号断裂带位置,埋深在 90~100 km 变化。Ⅲ号断裂东侧为相对稳定的上海断隆,但电性结果显示其高阻内部结构也很复杂,有高低阻的分层和厚度变化特征,软流圈顶界面起伏变化也大,隆起核部对应着Ⅳ号太仓—奉贤带,剖面东端岩石圈底界在 130 km 左右,并且在剖面东侧 16~1 号测点之间深部 80~130 km 处存在高低阻相间的构造特征。可以认为,沿剖面东部太平洋板块向北西方向的俯冲拼贴,造成了自基底至地幔在不同层次上产生了不同的构造效应,产生了内部应力的不均衡和变化,导致该剖面深部结构的复杂性,也产生了本文重点讨论的一系列北西向的活动断裂。

4 结 论

对上海奉城—浙江湖州 MT 剖面的重新处理和解释,以 GMS-06 观测的长周期资料为基础,利用了不同深度的电性反演结果和视倾子资料以及重磁等

资料 结合最新的地震解释成果,重新推断和解释了沪浙地区的深浅电性和断裂结构,获得了一些新信息和新认识.

根据分析结果,对湖州—苏州、乌镇—马金、枫泾—川沙以及太仓—奉贤这几条深大断裂带的展布以及对区域构造格架的控制作用,较已有结果进行了新的评价,其中湖州—苏州断裂和乌镇—马金断裂带在深部汇聚在一起并延伸至壳幔深处,它是划分湖州—南通台拱和上海断隆的边界断裂;枫泾—川沙断裂作为深剪切断裂,是高阻基底上覆低阻盖层从西侧三层结构跃变为东侧两层结构分界处的一条重要断裂,它的控制作用使上海断隆和湖州—南通台拱之间呈现出一电性构造过渡带的特征,它至少切割了上地壳,本文解释它归并到中地壳界面上,也可能具有更大的延伸深度,推断了太仓—奉贤断裂带的主体位置在亭林附近,它收敛至上地壳底界面上,其延伸情况也值得重视,但根据视倾子特征,其延伸的相对深度应该小于Ⅲ号枫泾—川沙断裂.解释的其他浅部断裂有不同展布特征,认为均属于壳内断裂.此外,利用电性反演结果对高阻基底以上电性层进行了标定和推断,确定了壳内高导层分布在湖州—苏州断裂和乌镇—马金断裂带以西 16 ~ 18 km 深度处,推断了岩石圈底界的构造形态,对深部结构做了分析.

此外,以下几个问题有待深入研究:30 km 深度电性反演结果清晰揭示出上海断隆和湖州—南通台拱之间的过渡带内部具有较细致的电性分层和结构,是否受Ⅱ号断裂西侧后期构造的影响也具有可追踪的壳内高导层的分布痕迹?Ⅲ号枫泾—川沙断裂和Ⅳ号太仓—奉贤断裂带分别是收敛于中地壳和上地壳底界面上,还是具有更大的延伸深度?剖面东端深部 80 ~ 130 km 处存在高低阻相间的构造特征,是否是南华板块向西北方向俯冲到下扬子板块下部造成的岩石圈板片的依据?

致谢 本文得到了陈焕疆教授的悉心指导,在此表示衷心感谢.

参考文献 (References)

[1] 姚保华,章振铨,王家林等.上海地区地壳精细结构的综合地球物理探测研究.地球物理学报,2007,50(2):482~491
Yao B H, Zhang Z Q, Wang J L, et al. Prospecting and research on fine crustal structure by using multi-geophysics survey methods in Shanghai region. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2007, 50(2): 482 ~ 491

- [2] 陈沪生,周雪清,李道琪等.中国东部灵壁—奉贤(HQ-13)地质断面图(1:1000000)说明书.北京:地质出版社,1993
Chen H S, Zhou X Q, Li D Q, et al. Explanatory Notes of the Geoscience Transect of Lingbi-Fengxian (HQ-13) in Eastern China (1:1000000) (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 1993
- [3] 于鹏,吴健生,王家林等.GMS-06等大地电磁仪采集数据的对比分析与实测资料的处理解释.地震学报,2006,28(5):554~557
Yu P, Wu J S, Wang J L, et al. Comparisons, processing and interpretation of the surveyed data by GMS-06 and other magnetotelluric sounding systems. *Acta Seismologica Sinica* (in Chinese), 2006, 28(5): 554 ~ 557
- [4] 于鹏,吴健生,张新兵.利用长周期MT数据研究沪浙地区深部断裂结构.同济大学学报,2008,36(4)
Yu P, Wu J S, Zhang X B. Using long period magnetotelluric data to study deep fault structure in Shanghai & Zhejiang area. *Journal of Tongji University* (in Chinese), 2008, 36(4)
- [5] 火恩杰,刘昌森,章振铨等.上海市隐伏断裂及其活动性研究.北京:地震出版社,2004
Huo E J, Liu C S, Zhang Z Q, et al. Studies of Buried Fault and Its Activity in Shanghai Area (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 2004
- [6] 于鹏,王家林,吴健生.有限差分法大地电磁多参数偏移成像.地球物理学报,2001,44(4):552~562
Yu P, Wang J L, Wu J S. Multi-parameter migration imaging of magnetotelluric data using finite difference method. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2001, 44(4): 552 ~ 562
- [7] 杨辉,王家林,吴健生等.大地电磁与地震资料仿真退火约束联合反演.地球物理学报,2002,45(5):723~734
Yang H, Wang J L, Wu J S, et al. Constrained joint inversion of magnetotelluric and seismic data using simulated annealing algorithm. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2002, 45(5): 723 ~ 734
- [8] 陈乐寿,王光镔.大地电磁测深法.北京:地质出版社,1990
Chen L S, Wang G E. Magnetotelluric Sounding (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 1990
- [9] Yu P, Wang J L, Wu J S. Using the pseudo-tipper data of magnetotelluric sounding to study fault. CPS/SEG2004 International Geophysical Conference 2004. 725 ~ 729
- [10] 胡文宝,苏朱刘,陈清礼等.倾子资料的特征及应用.石油地球物理勘探,1997,32(2):202~213
Hu W B, Su Z L, Chen Q L, et al. Character of tipper data and application. *Oil Geophysical Prospecting* (in Chinese), 1997, 32(2): 202 ~ 213
- [11] 陈沪生,张永鸿,徐师文等.下扬子及邻区岩石圈结构构造特征与油气资源评价.北京:地质出版社,1999
Chen H S, Zhang Y H, Xu S W, et al. The Lithospheric Textural and Structural Features as Well as Oil and Gas Evaluation in the Lower Yangtze Area and Its Adjacent Region, China (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 1999