第 29 卷 第 4 期 2007 年 12 月 Vol. 29 No. 4 Dec., 2007

河北廊坊-天津大港剖面地売上地幔 电性结构特征

徐新学^{1,3},陈宇坤²,刘俊昌¹,张宝华¹,夏训银^{1,3} (1.天津华北地质勘查局,天津 300181;2.天津市地震局,天津 300201; 3.河北九华勘查测绘有限责任公司,河北保定 071051)

摘 要:在河北廊坊一天津大港一线部署了 110 km 的 MT 勘探剖面,通过资料远参考与 Robust 估 算处理及反演解释,对剖面的构造维数及构造方向做了分析;揭示了冀中坳陷、沧县隆起、黄骅坳陷 三个不同构造单元及边界接触关系;对地壳、上地幔电性构造层进行了划分和分析。 MT 成果显示 岩石圈体现为纵向分层、横向分块的特征;沧东及大城断裂是区内重要的深大断裂,控制了隆起两 侧坳陷的沉积和形成;断裂深部对应上地幔高导层的局部隆起,两侧存在中下地壳高导层的错动。 关键词:大港一静海一廊坊;大地电磁测深;地壳上地幔;电性构造层;断裂构造 中图分类号: P631.3⁺25 文献标识码:A 文章编号: 1000-0844(2007)04-0364-07

The Crust and Upper Mantle Electrical Conductivity Structure along the Profile of Hebei Langfang — Tianjin Dagang

XU Xin-xue^{1,3}, CHEN Yu-kun², LIU Jun-chang¹, ZHANG Bao-hua¹, XIA Xun-yin^{1,3}

(1. Huabei Geological exploration bureau, Tianjin 300181, China;
2. Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China;
3. Surveying and Mapping Co. Ltd of Hebei Jiuhua, Hebei Baoding 071051, China)

Abstract: Based on the data of Magnetotelluric sounding profile from Langfang of Hebei province to Dagang of Tianjin City with 110 km, through the methods of far reference with Robust treatment and inversion, the analysis of apparent resistivity, two-dimensional skewness and electrical axes is done. The results show the touch relationships among three tectonic units of Jizhong depression Cangxian uplifted zone and Huanghua depression, divide the electrical conductivity structure layers in the crust and upper mantle. Cangdong fault and Dacheng fault are important structures in the area which contral the depressions in both side of uplifted zone and sedimentation. The deep of faults correspond updifted zone of high conductive layer of upper mantle.

Key words: Hebei Langfang — Tianjin Dagang profile; Magnetotelluric sounding; Crust and upper mantle; Electrical structures; Fault structures

0 引言

随着天津市构筑国际性海口大城市的进程和综 合经济实力的不断增强,应用先进有效的地质与地 球物理探测技术和手段查清天津市地下隐伏断裂构 造及地壳、上地幔等的构造特征,定性评价断层的地 震危险性及孕育环境,采取"避让"、"活断层分级设防"等切实有效的防震减灾措施,成为十分重大的基础性工作。

大港一静海一廊坊一线断裂构造发育。天津市

收稿日期:2007-01-29

基金项目:天津市"十五"重点项目(天津市活断层探测与地震危险性评价)(2004-1138-1-4-2)

作者简介:徐新学(1970一),男,山东青州人,硕士,高级工程师,主要从事地球物理应用与研究工作.

地震局部署本项目的目的是以大地电磁测深资料为 依据,通过结合其他物探与地质资料,了解天津市区 周边深部地壳上地幔 100 km 范围内的地质结构、 电性分层、壳内与上地幔高导层的埋深等问题,为天 津的活断层评价,以及断裂与深部构造的关系提供 基础资料。本次探测的剖面北西起自河北廊坊市杨 税务乡,向南东依次经过码头、葛渔城、独流、静海开 发区、大邱庄、小王庄到大港区太平村镇的大屯。测 线方位角 330°,剖面全长 110.8 km,测深点 112 个, 点距为 500-2500 m,其中正常周期观测点 100 个 (320-0.000 549 Hz),武清凹陷段超长周期观测点 12 个(320-0.000 068 9 Hz)。

1 区域地质、电性特征

1.1 区域地质概况

测线位于华北断陷内,自北向南依次穿越冀中 均陷(武清凹陷、杨村斜坡带)、沧县隆起、黄骅坳陷 三个大的地质构造单元,隆起与坳陷间基本为东断 西超的接触关系,沿线地表被厚层第四系所覆盖。 根据中国石油地质志和以往工作综合资料分析^[1-2], 区内基底由太古界和下元古界变质岩或浅变质岩组 成,其上覆盖了华北地台型的沉积盖层,包括中上元 古界、古生界(寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系),中 生界(三叠系、侏罗系、白垩系)和新生界(第三系、第 四系)。图1为华北断陷区域构造图。



图1 华北断陷构造单元及测线位置图

fig. 1 Distribution of geological structure of rift-depression basin in north China and MT profile.

区内的构造发展史经历了四个阶段[2]:

(1) 中、晚元古代台缘裂陷阶段。即产生燕山、 太行山裂陷槽(或称拗拉槽, Anlacogen)时期。天津 市西部太行山与冀中坳陷相接处正是裂谷发育之 地,形成的 NE 向构造格局为尔后沉积盆地发展奠 定了基础。

(2)古生代稳定地台建造阶段。以稳定的地台 升降为特征,沉积了巨厚的碳酸盐岩沉积,断裂、褶 皱和岩浆活动都不发育。加里东期造山运动在此表 现不明显,海西期则是由稳定地台整体沉降过渡到 地台解体阶段。

(3)中生代地台隆褶、解体阶段。海西运动之后,华北地台受边界板块(既太平洋板块、欧亚板块)的多向运动影响,断裂活动逐渐由地台边缘向内部发展,大型陆盆开始分异。燕山运动使整个华北地台断裂活动开始发育,区内形成断陷和坳陷。

(4)新生代断陷一坳陷阶段。进入了块断活动 为主的发展期,发育了大量的拉张正断层,形成一系 列不对称的断陷及隆起构造单元。

1.2 地球物理特征

根据前期 MT 成果和电测井资料以及邻区的 电性分析,该区内发育的几类主要岩石大致具有的 电性特征为:太古界和下元古界结晶基底具有明显 的高阻特性,电阻率值一般大于 500 Ω・m;以白云 岩、石灰岩为主的下古生界也具有高阻特征,电阻率 值一般为几百 Ω・m,上古生界含煤地层电阻率较 低,一般为几十 Ω・m;中生界的砂岩、砾岩、泥岩等 电阻率也较低,新生界为低阻沉积,特别是下第三系 的湖相泥岩的电阻率最低,电阻率一般只有几 Ω・m。

区内地壳普遍反映为明显的三层结构,最上一 层为沉积盖层,第二层一般称为花岗岩质层或硅铝 层,第三层为玄武岩层或硅镁层,再向下则为上地 幔。莫霍面的趋势总体为自 SE 向 NW 逐渐加深, 相对地壳则由薄变厚,中下地壳存在高导层;上地幔 高导层顶面呈 NNE 向展布,埋深在 50-80 km 左 右,存在以渤海为中心的下辽河拗陷和黄骅拗陷以 及沿冀中拗陷展布的两个隆起带,沿沧县隆起为上 地幔高导层拗陷带^[3-6]。

2 资料采集与处理

2.1 资料采集

资料采集采用加拿大凤凰地球物理公司生产的 具有模块化高度集成、24 位模数转换、GPS 卫星同 步等先进技术的 v5-2000 新型大地电磁观测系统, 该系统性能稳定,动态范围广,抗干扰能力相对较 强。采用五分量张量方式采集数据,正常频段为 320-0.000 549 Hz,LowMT 频 段 为 10-0.000 017 Hz。电极采用极差小于 2 毫伏的固体不 极化电极;磁棒采用凤凰公司配套提供的 MTC-50 型。工作时采用远参台站同步采集的远距离磁分量 参考方式^[7],参考距离约 120 km,该距离能有效地 改善中低频段的数据质量。测点正常采集的时间为 16~24 个小时,超长周期观测时间为 68~144 小 时。

2.2 资料处理

资料处理采用加拿大凤凰公司提供的 SSMT2000数据处理软件,观测的数据采用了远参 考与Robust相结合的方式。利用时间序列Robust 估算求取阻抗张量元素,能最大限度的保证估算的 大地电磁响应的可靠性。测点磁分量远参考道处理 技术主要是利用了天然电磁场的磁分量的平面波特 征^[8],通过一定距离磁场信号的相关处理能有效消 除局部相关噪声,有效改善干扰区观测数据的质量。 在数据处理时优选了 50 个测点,采用了常规 MT 与超宽频 LMT 频段相结合的方法,通过两个频段 数据在 10 Hz 附近相接合,实现了现有观测周期条 件下将频段扩展到 0.000 275 Hz 和 0.000 068 9 Hz,有效保证了探测深度。

3 区域构造分析

3.1 构造维数与走向分析

大地电磁测深阻抗的二维偏离度(skewness)的 取值范围可判别地下介质的维数特征,了解地下介 质电性的复杂程度^[9]。对一维和理想的二维构造 S =0,一般情况下,S值越小说明地下介质趋于二维, 当 S值小于 0.3 时,可近似的认为地下的构造具有 二维特征^[10-11]。

图 2 为沿剖面所有测点随频率变化的二维偏离 度立体示意图,数值基本上都小于 0.3,是二维模 型。34 至 80 号点附近小于 0.01 Hz 的偏离度较 大,该段基本对应沧县隆起,其中间 54-64 号点较 小,说明隆起边缘与两侧坳陷分界线附近地电构造 较单元内部复杂。该区大于 0.1 Hz 时所有测点的 偏离度值都在 0.15 附近,视电阻率曲线首支拟合在 一起,说明浅部构造的一维特征明显。

Swift 阻抗张量最佳旋转主轴是表明地下电性 构造走向特征的参数。图 3 为部分测点电性旋转主 轴方向。测区构造走向总体近 NE-SW 向,测点主 轴方向一般约在 45°左右,与测线方向存在少许夹 角,在 0.1 Hz 后变化较大些,部分测点构造主轴甚 至在 90°,可能与 SN 向构造被 EW 向构造错断有一 定关系。





3.2 反演模式选择

实践证明, TE 模式得到的反演结构在深度方向上能更准确的反映实际模型; TM 模式则在横向 上能更准确地反映实际模型。在该区实际应用中考 虑到表层低阻覆盖层较厚,表现出明显的浅部一维 构造特征,以及反演结果在坳陷区的探测深度和剖 面断裂的横向分布位置等原因,处理时采用了旋转 到主轴的 TM 模式的反演方法,并结合已知资料来 确定各电性层的深度。

为适应反演方法的要求,在纵向上对模型进行 离散化,每个薄层用一个连续函数来描述其横向电 阻率变化,因而二维连续模型可用一组连续函数集 来描述。二维连续介质反演就是通过最佳拟合剖面 上大地电磁响应函数(视电阻率、阻抗相位),来求各 个薄层的电阻率连续函数的具体形式。与一维反演 结果相比,两者在浅部的一致性比较好,而深部由于 旁侧电性的影响,一维反演的假设条件难以满足,而 二维反演由于考虑了这种旁侧电性的影响,其结果 更接近于真实的地电情况。

4 剖面电性资料分析

4.1 典型曲线分析

测点视电阻率曲线反映了该测点地下电性随深 度的变化规律,其形态与构造层有较好的对应关系。 图 4 示 010 号点(QQ 或 QH 型)位于冀中坳陷内, 第一极大值为壳内高阻体的反映,曲线低阻极值点 出现较晚且尾支阻值较低,表明在厚层高阻体下高 导层的存在;037 号点(HA 或 HK 型)在坳陷和隆 起的过渡带上(杨村斜坡带),随频率的变化曲线变 化比较平缓,呈现低、高阻相间的特征;046 点(H 或 HK 型)在沧县隆起构造单元上,曲线第一个极大值 点是上地壳高阻体的反映,1 Hz 处极小值的出现对

367



徐新学等:河北廊坊一天津大港剖面地壳上地幔电性结构特征

图 4 典型测点的视电阻率曲线



4.2 剖面电性结构分析

第4期

图 5 是采用二维连续介质反演算法得到的剖面 电性结构图^[12],反演模型理论计算结果与实测数据 拟合误差为 0.182,说明反演结果与剖面实际电性 结构大体相似。该图清晰地显示了冀中坳陷、沧县 隆起、黄骅坳陷三个不同构造单元及其过渡带的电 性结构特征,冀中坳陷呈低阻特性,而沧县隆起表现 为高阻特征。各构造单元分层现象明显,深部构造 块体及其边界在电性特征上显示十分清楚,表现出 了上地壳构造复杂,中上地壳具有横向不连续的低 阻体和上地幔纵向电性差异相对较大的特点。中上 地壳高导体在断裂构造附近存在局部的上下错动, 莫霍面在电性剖面上表现为自下地壳(高阻)到上地 幔盖层(次高阻)渐变的梯度带上,上地幔高导层则 表现为横向上相对连续的低阻块体。

冀中坳陷段(1-37 点), 坳陷内存在厚层的新 中生界沉积盖层, 在码头镇 15-17 号点左右, 新生 界沉积厚度最大, 约达 5 000 m, 自西向东逐渐变 薄, 下部有约 2 000 m的中生界沉积, 浅部 600 m左 右平均电阻率在约 10 Ω的第四系覆盖也有较明显 地显示。该段武清凹陷和杨村斜坡带(盆地斜坡构 造)的形成与河西务断裂渐新世至晚第三纪的活动 密不可分[13]。

该段总体电阻率值偏低,与地壳破碎、张性裂隙 发育、富水程度较高有关。地壳厚度表现为两端厚 中间薄的特征,上部覆盖层电阻率约在几个欧姆,下 部阻值高达几百欧姆。在沉积盖层较厚的地区没有 发现壳内高导层的存在,推测巨厚低阻屏蔽影响了 下部低阻薄层的分辨率,但在该区段的两段约18 km深度壳内发现有相对低阻体。在剖面上37号 点左右深度范围在20~90 km范围内出现高阻和 低阻块体的相互堆积,成串珠状,电性边界较陡,可 以理解为上地幔软流层物质沿隐伏的断裂通道上 涌,导致强烈构造变形活动后,中下地壳遭破坏后的 结果。从主控断裂性质来看,在15 km以下,可能 存在与上地幔连通的隐伏断裂构造,受滑脱构造运 动影响,其倾向与上地壳大多相反。

沧县隆起段(37-82 点)横向相对比较连续,构 造层分层明显。上地壳上部为近地表厚约 1 000 m、电阻率值在几十个欧姆的低阻沉积盖层,上地壳 下部为高阻,厚度约在 8~12 km;中上地壳存在相 对连续的低阻高导层,推测为局部熔融的流体^[14], 该区丰富地热资源与其有关,下地壳表现为高阻;上 地幔表现为横向不均匀的低、中、高阻特征,说明沿



维普资讯 http://www.cqvip.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

剖面地幔盖层差异较大。壳内高导层埋深约 15 km,厚度约 3~5 km;上地幔高导层深度约在 70~ 80 km,在大丰堆附近有可能超过 90 km。

黄骅坳陷段(82-100 点)地壳表现出与冀中坳 陷类似的特征,上地壳厚度较大,相对冀中坳陷而 言,上部新、中生界沉积盖层较薄。在 25~30 km 深度存在高导体,并有与地幔流体相连通的趋势。 在 93 号点附近 70 km 深度左右发现存在近 10 km 宽的低阻块体,推测为上地幔高导层的局部隆起。

4.3 断裂构造分析

该区断裂分为三类:一是岩石圈断裂,它切穿岩 石圈,但不明显进入软流圈,规模大,伴有深部超基 性岩体;二是壳断裂,包括硅铝层和硅镁层断裂,硅 镁层断裂切穿地壳但不明显进入上地幔,伴有玄武 岩的喷溢,而硅铝层断裂为切穿硅铝层但不明显进 入硅镁层的断裂,常伴有酸性岩浆活动;三是盖层断 裂,切穿沉积盖层而达到结晶基底顶面,在本区非常 发育。

大地电磁测深资料中判别断裂的依据主要有两 个方面:①曲线类型变化。断裂两侧由于层位错动, 地电结构发生突变,造成曲线类型变化;②各种断面 图等值线畸变。断裂两侧地电结构的改变,导致等 值线可能形成各自封闭、扭曲以及密集带、梯度带等 现象。

(1) F1、F2 断裂(沧东断裂带)

沧东断裂属印支-燕山构造旋回的产物,它控制了此时期的岩浆活动,是沧县隆起与黄骅坳陷的分界线^[15],断裂两侧新生界发育程度差异明显。西侧上升盘是沧县隆起,东侧下降盘是黄骅坳陷。资料揭示,该断裂向下切割的深度大于10km,归于一壳内大型拆离断裂,对黄骅坳陷的形成与沉积起着控制作用。

MT资料显示在83-87号点附近电性构造层 横向有明显差异和错动,断裂南东侧破碎充水电阻 率低,北西侧电阻率较高,在断裂附近形成等值线梯 度带,表现为纵向上带状相对低阻。断裂向 SE 倾, 倾角约 60°,正断层,上断点埋深约 1 000 m。其右 侧发育诸多的次级断裂,该断裂与 F2 等共同构成 宽度近 5~7 km 的断裂带,切割较深,上陡下缓,在 约 20 km 变得比较缓平,可能到达莫霍面,成果显 示对应该断裂深度的中下地壳似乎已遭遇破坏。

(2) F3、F4 断裂(天津断裂带)

F3 天津北断裂位于 67 号点附近,在基底中造成下、中太古界与上太古界的分界,前人认为属壳断

裂,是中生代形成的产物。断裂两侧岩性有较明显 地变化,上地壳盖层电阻率等值线横向错断,下地壳 电阻率等值线也发生错断,F3 是一 NW 倾向、倾角 近约 85°的壳断裂,与前期 MT 资料推断性质一 致^①。F4 天津南断裂位于 73 号点附近,与 F3 断裂 间高阻异常体的存在有可能是受推覆构造运动的影 响。

(3) F5 断裂(大城断裂)

位于 37 点附近,是冀中坳陷与沧县隆起的分界 线,倾向 NW,倾角近 80°。MT 资料等值线出现纵 向密集的梯度带,断层西侧沉积了巨厚的新中生代 沉积,两侧沉积落差达 6 km,说明该断裂对西侧坳 陷区的形成起了重要的控制作用。沉积盖层呈现明 显的超覆现象,30 号点至 37 号点为该断裂构造的 过渡带,15 km 以下资料揭示两侧对应高阻体错断 近 6 km,中下地壳和上地幔电性特征表现为高低相 间的块状堆积,电性界面较陡,该断裂有可能进入上 地幔。

(4) F7 葛渔城断裂

该断裂为武清凹陷拉张下陷形成的盆地边界断裂,对葛渔城盆地的形成与发育起着重要的作用; F8、F9河西务断裂,其活动时期在大兴断裂基本停止了拉伸和拆离后(渐新世晚期),导致廊固凹陷与 武清凹陷的分离,该断裂的 NW 侧阻值高于南东 侧,呈现明显的背斜构造,是油气资源丰富的河西务 古潜山带。该断裂对武清凹陷内中、新生界沉积起 了重要的作用。

5 结语

通过 MT 资料成果的分析,对两坳一隆三个构造单元岩石圈上地壳沉积盖层、中上地壳高导层、莫 霍面深度及上地幔高导层进行了划分。地壳新、中 生代沉积盖层在冀中坳陷最厚,厚达 5~7 km;沧县 隆起约在 1 km;黄骅坳陷约在 2~5 km。中上地壳 高导层在隆起区约为 11~15 km,在深大断裂附近 受构造运动影响有上下错动,坳陷内地壳高导层反 映不明显。莫霍面埋深约在 28~38 km,电性资料 揭示沧县隆起区厚冀中坳陷区薄;上地幔高导层深 度约在 50~80 km,沧县隆起地段局部可能超过 90 km,坳陷地段浅,隆起地段深,深大断裂附近可能存 在局部隆起。

① 天津华北地质勘查局地球物理勘探公司.天津海河流域物 探方法实验.2003.

第 29 卷

冀中坳陷、沧县隆起、黄骅坳陷三个构造单元的 边界电性构造特征明显,大城、沧东断裂、河西务西 断裂对坳陷内中新生代沉积起了重要的控制作用, 是本区主要控制性断裂构造。沧东断裂是一个断裂 带,宽度近5 km,是一切割地壳,直达上地幔的深大 断裂。

利用大地电磁测深法来研究岩石圈地壳、上地 幔电性结构特征,研究地震活动发生的深部孕育机 制,是一种最经济、快捷、有效的地球物理勘探方法, 在了解电性构造层位划分,确定断裂位置等方面也 是行之有效的。

致谢:成文资料得到天津地震局赵国敏研究员、 辽宁地震局卢造勋研究员以及天津地质矿产研究所 秦正永研究员的指导和建议,在此一并表示感谢。

[参考文献]

- [1] 河北省地矿局.河北省北京市天津市区域地质志[M].北京:地 质出版社,1989.
- [2] 大港油田石油地质志编辑委员会.中国石油地质志(卷四)-大港油田[M].北京:石油工业出版社,1991.
- [3] 刘国栋,顾群,史书林,等.京津唐渤和周围地区地壳上地幔电 性结构及其与地震活动性的关系[J].地球物理学报,1983,26 (2):149-157.
- [4] 徐常芳.中国大陆壳内与上地幔高导层成因及唐山地震机理研

究[J]. 地学前缘,2003,10(増刊):101-111.

- [5] 魏文博,金胜,叶高峰,等.华北地区大地电磁测深及岩石圈厚 度讨论[J].中国地质,2006,33(4):762-772.
- [6] 刘国栋,刘昌铃.华北北部地区地壳上地幔构造及其与新生代 构造活动的关系[J].中国科学(B辑),1982,(12):1132-1140.
- [7] 陈乐寿,王光鄂.大地电磁测深法[M],北京:地质出版社, 1990.
- [8] 陈木森,王友胜,叶柏元.由实测资料看天然电磁场的平面波特 性[J].地震地质,2001,23(2):217-221.
- [9] 杨长福,林长佑.用大地电磁法研究构造走向及维性特征[J]. 西北地震学报,2002,24(1):65-71.
- [10] 汤吉,王继军,陈小斌,等.阿尔山火山区地壳上地幔电性结构 初探[J].地球物理学报,2005,48(1):196-201.
- [11] 魏文博,金胜,叶高峰,等. 藏北高原地壳及上地幔导电性结构 一超宽频带大地电磁测深研究结果[J]. 地球物理学报,2006, 49(4),1215-1225.
- [12] 戴世坤、徐世浙. MT 二维和三维连续介质快速反演[J]. 石 油地球物理勘探,1997, 32(3):305-317.
- [13] 袁选俊,靳久强,孟庆仁,等.冀中坳陷杨村斜坡结构成因及油 气成藏模式[J].石油学报,2004,25(4):19-22.
- [14] 魏文博,谭捍东,邓明,等.西藏高原地壳的导电性一大地电磁 深探测发现西藏的地壳普遍存在流体[A]//中国地质学会80 周年学术文集[C].北京:地质出版社,2002;487-493.
- [15] 高战武,徐杰,宋长青,等.华北沧东断裂的构造特征[J].地震 地质,2000,22(4),395-403.