

重磁电联合反演方法在天津基岩构造研究中的应用

马 为,李世斌,徐新学,郑 军,赵洪鹏,李华强

(天津市地球物理勘探中心,天津 300170)

摘 要:以地层和岩石的综合物性研究为基础,采用重磁电联合反演方法,对横穿天津地区重力、大地电磁(MT)长剖面进行数据处理,并对天津基岩构造中主要地层、断裂、隐伏岩体特征等进行了综合解释。结果表明,重磁电联合反演对克服多解性、提高定量解释精度具有较好的效果。本文还通过应用实例,介绍了重磁电综合分析解释方法的运用,可供类似地区的基岩地质构造研究借鉴和参考。

关键词:重磁电联合反演;构造;地层;定量解释

中图分类号: P631.1;P631.2;P631.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2014)03-0212-05

各类地球物理方法是根据地地质构造及岩石不同的物理参数进行解释推断,而各单一地球物理反演结果各有侧重,不可避免的存在反问题的多解性,影响了地质解释成果的精度。联合反演方法以同一地质目标体的多种地球物理参数(电性、密度、磁性)为基础,互为约束,可以提高反演结果的分辨率与置信度,适应了地球物理综合解释的需要,因此在基岩构造研究、油气矿产勘查等多种领域内得到了越来越多的重视,其中应用较多的联合反演为重磁电方法的联合^[1-7]。

为研究天津地区的基岩地质构造,笔者完成了北东方向的重力、大地电磁(MT)综合长剖面。该剖面西起武清,东至北塘,与本区主要构造单元走向垂直,为进行重磁电联合反演提供了基础。鉴于本区具有丰富的地层和岩石物性研究成果和钻孔资料,可以为联合反演提供准确的约束条件,同时联合反演技术可以结合重力划分断裂和大地电磁进行垂向地层分层的优势,提高基岩构造解释工作的精度。故本文采用重磁电联合反演技术,将地质与物探有机结合,建立最优化的地质-地球物理模型,解决了天津基岩构造研究中地层、断裂、隐伏岩体等问题,划分了“两坳一隆”的格局,取得了较好的效果。

1 区域地质背景

天津位于渤海湾盆地中西部,渤海湾盆地为典

型的多旋回盆地^[8],中、新生代期间经历了几次重要的断裂和沉降阶段,从更新世晚期以来处于总体沉降背景下振荡式升降运动过程中,在第四纪新构造运动中不断伴有区域断裂的发育,现今构造环境是在继承和改造中生代晚期构造格局的基础上在新生代逐渐发展形成的。

天津地区大地构造地处华北地台东北部,以宁河-宝坻断裂为界分为北区和南区。北区属于燕山台褶带的蓟宝隆褶,南区属华北断坳,是中、新生代断陷、坳陷盆地。本次研究主要针对华北断坳进行。华北断坳松散沉积物覆盖层厚度大,属深覆盖地区。广泛发育着第四系及巨厚的新近系和古近系的渐新统^[2],覆盖层厚度850~5000 m,一般为1000~4000 m,其中第四系厚度260~430 m。

2 物性特征

物性差异是地球物理勘探的基础,也是地球物理成果和地质成果之间的纽带。通过系统分析和总结天津地区的地层密度、磁性及电性特征,才能准确解释物探异常,并转化为有意义的地质成果。笔者在收集整理前人物性资料^[8-9]和实测的基础上,对全区密度、磁性及电性等主要物性资料进行了分析统计,获取了研究区岩石与地层的物性特征,为重磁电联合反演模型提供了可靠的物性参数。

收稿日期: 2014-05-24

资助项目:中国地质调查局与天津市国土房管局合作基金项目:天津市基岩地质构造调查与区域地壳稳定性评价(1212011220232)

作者简介:马为(1981-),男,硕士,工程师,2007年毕业于中国地震局地质研究所固体地球物理专业,主要从事地球物理电(磁)法勘探工作,Email:mawei13@hotmail.com。

2.1 密度特征

密度资料通过收集、标本测量、钻井岩芯、密度测井等多种方法进行了统计。研究区密度随地层年代由新到老、密度值表现为由小变大的递增特征,覆盖地表的第四系松散层密度平均为1.95 g/cm³,属较低密度层;新近系及古近系上段密度为2.11~2.25 g/cm³,属低密度层;古近系下段至石炭系平均密度约为2.45 g/cm³,可划分为中密度层;奥陶系以下统一为高密度层,密度大于2.67 g/cm³。中、新生界火山岩密度较大,岩浆岩密度在2.60~3.00 g/cm³之间,侵入岩密度值较喷出岩大(表1)。

2.2 磁性特征

本区古元古界或更老地层组成的结晶基底以片麻岩类为主,磁性较强^[9];中、新元古界及上覆沉积地层为弱磁性或无磁性;其中侏罗系的火山碎屑岩表现出较强的磁性,可视为磁性标志层。

沉积岩基本上属无磁或微弱磁性岩石;变质岩一般都有磁性,其中古元古界片麻岩类与太古宇片麻岩类、麻粒岩类以及混合岩等变质岩系磁性相比较,差异不大。

岩浆岩有火山岩和侵入岩两类,具有较强的磁性,但其磁性变化较大。岩浆岩与围岩一般都有一

定的磁性差异。其中火山岩以基性玄武岩磁性最强,其次为中性安山岩,酸性、碱性岩体磁性较弱。侵入岩从超基性、基性、中性、酸性、碱性,其磁性依次由强到弱变化。一般基性、超基性岩磁性较强,以感磁为主;酸性花岗岩及碱性斑岩等,磁性一般不高,古老花岗岩基本无磁性。

2.3 电性特征

工作区地层总的电性特征表现为:松散的新生界为相对低阻,凹陷区的中生界低阻,基岩型的古生界和中新元古界为相对高阻。电阻率分布具有分层特征,主要存在六个电性层。各层电性存在不均匀性,如受新生界明化镇上段高阻特征影响,浅部整体表现为相对高阻的特征。此外受局部地质体含水(热水)及低阻层屏蔽等影响会存在局部的电性异常。

3 重磁电联合反演

重磁电联合反演是应用重磁电资料,在地质钻井物性地震资料约束下,综合应用多种类型的数据信息,使重磁电地球物理场观测数据模拟和主观解释都达到最佳逼近,得到最终的密度磁性电性参数有机统一的地质-地球物理模型,从而对地下地质情况做出更加客观合理的解释。联合反演过程中不

表1 天津及其邻区地层综合物性统计表

Table 1 Comprehensive physical properties of the strata in Tianjin and its neighboring areas

地 层	密度范围 (g/cm ³)	平均密度值 (g/cm ³)	电阻率 (Ω·m)	磁化率 (1×10 ⁻⁶ SI)	密度分层 (g/cm ³)	电性分层	
新生界	Q	1.742.05	1.95	5~12	10~60	1.95	相对高阻
	Nm ₂	2.11~2.19	2.15	8~15	5~25	2.20	
	Nm ₁	2.09~2.11	2.11	<4			低阻
	Ng	2.12~2.32	2.23	3-6			
	Ed	2.0~2.35	2.25	<5			
	Es	2.3~2.50	2.45	1~10			低阻
	Ek	2.45	2.45	-			
中生界	K	2.46	2.45	6~8	-	2.59	相对低阻
	J	2.58	2.58	4~14	13~1000		
	T	2.56	2.56	-	-		
古生界	P	2.33~2.61	2.57	10~35	20~100	2.59	中阻
	C	2.29~2.71	2.61				
	O	2.66~2.77	2.70	40~60	0	>2.67	高阻
	Є	2.59~2.84	2.77		0~10		
Z	2.72	2.72	-				
元古宇	Pt	2.22~2.94	2.67	>50	5~100		
太古宇	Ar	2.48~2.86	2.69	-	45~1000		

注:资料来源于河北省地球物理勘查院.华北地区岩石地层物性成果报告.2007;天津华北地质勘查局.天津基岩地质调查地球物理剖面测量物性报告,2013;天津市地质调查研究院.河北省地质调查研究院.区域地质调查报告1:25万天津市幅.2005.

能唯拟合观测资料论,过度追求对观测资料的逼近,要对本地区的构造发育情况、岩性及地层形成明确的地质认识,使模型的建立和修改具有明确的地质含义,使用合理的物性参数,最终获得具有地质意义的最佳模型。

3.1 重磁电联合反演的思路和方法

联合反演的总体思路为首先进行电法带地形的连续介质二维反演,以其反演成果结合地质认识建立联合反演的初始地质模型(包含地层分布与埋深断裂构造等),输入密度磁性参数,正演计算理论重磁力异常;不断修改地质模型,使正演计算的理论重磁力曲线和实测的曲线拟合到最佳;将最佳拟合得到的地质模型和电法二维反演结果进行分析对比,考虑模型的地质含义,并修改电性层模型和反演参数,重新进行更加细致的二维反演解释;不断重复上述处理过程,使地质-地球物理模型与重磁电实测资料达到有机统一,逐渐逼近客观唯一解,确定最终的地质解释结果^[1]。重磁电联合反演流程如图1。

3.2 重磁电联合反演过程

电法建模反演中,以物性资料研究确定的六个电阻率高低层划分各地层界面,反演过程以电阻率物性成果和钻井资料为约束条件,确保地质模型的合理性。电法反演以二维方法为主,尝试包括快速松弛及非线性共轭梯度法等多种反演方法。

获得二维反演成果后,以电阻率等值线密集的垂向高低阻过渡带和相位低值异常的垂向错位确定

断裂分布及特征,同时充分利用重磁一阶、二阶导数对断裂构造的指示作用,建立包含断裂位置、地层信息的初始地质模型。根据地层和岩石的密度磁性资料输入地层或岩石的物性参数,建立初始地质-地球物理模型。

以建立的初始地质-地球物理模型为正演计算的初始模型,按物性分别赋予 $1.74 \sim 2.94 \text{ g/cm}^3$ 的密度值及 $0 \sim 1000 \times 10^{-6} \text{ SI}$ 的磁化率,使用RGIS2010软件正演计算理论重磁力异常曲线,比较实测重磁曲线和计算结果,计算二者之间的差异和模型修改参数,修改模型参数后重新计算,经多次反复后使正演计算成果和实测数据达到最佳拟合。以此时得到的地质模型及其参数与电法二维反演结果进行对比,计算得到电性模型修改参数对反演结果进行修改,重启建模反演过程。经过多次的反馈计算,使得电法反演结果与最终的地质地球物理模型一致,获得最终地质-地球物理模型。通过联合反演计算过程最大程度的消除了解释的多解性,又避免了重磁电单一解释误区,使最终的地质解释结果与重磁电实测资料达到统一,获得最真实的地质成果。

联合反演过程中,进行模型修改时要注重分析模型的地质含义,使得模型的更新富有地质意义而非简单的数学处理。物性资料表明,本区主要断裂构造的两侧重磁差异明显,增加了建模反演的准确性。通过实测剖面的处理,重磁计算曲线与实测曲线拟合结果良好,经修正后的电法地质模型同时达到了电法实测资料的最佳拟合,达到了重磁电联合反演的目的。

4 联合反演解释成果

4.1 断裂与构造

天津地区主要构造单元的控制断裂以东北走向为主^[10],整体上表现为NE向一系列隆坳相间的地质单元组合,在布格重力异常图中的重力高低存在良好的对应关系。航磁 ΔT 异常也表现为东西向高、低相间的磁异常展布特征,为磁性基底起伏变化的反映。构造单元间的边界断裂在电法剖面结果中表现为电阻率等值线高低值过渡带和相位等值线低值的垂向错位,重力、磁力异常表现为明显的梯级带。

结合地质及面积性重磁资料对实测的重磁电长剖面揭示的断裂构造及地层分布进行了解释,如图2所示,剖面的40 km和72 km处存在电性梯度带,同

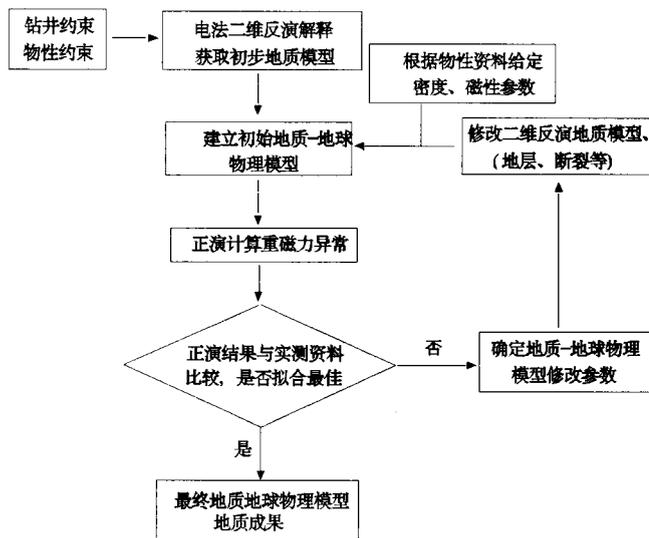


图1 重磁电联合反演流程图

Fig.1 Gravity-magnetic-magnetotelluric joint inversion flowchart

时为重磁曲线的拐点位置,分别为发育的杨柳青断裂、沧东断裂的证据,其将研究区划分为坳隆相间的三个主要构造单元。杨柳青断裂西北侧表现为凹陷特征,中生界发育较厚,而其东南侧未见中生界,表现为隆起区特征,结合区域地质认识西侧为冀中坳陷单元中的武清凹陷,东侧为沧县隆起。沧东断裂东侧有中生界存在,综合推测为黄骅坳陷中的北塘凹陷,验证了本区“两坳一隆”的块体结构。杨柳青断裂、沧东断裂最早生成于古生代,控制了中生界的分布及沉积。在坳隆相间的次级构造单元内部发育多个次级断裂,均以正断层为主,如宜兴埠断裂、天津断裂、河西务断裂等共同构成了天津地区的构造体系。

结合面积性重磁资料推断^[1],剖面揭示的前中生界基底起伏变化大,武清凹陷内部的基底埋深最大,大部分超过3300 m,局部超过6000 m,向东经杨村斜坡埋深逐渐减小,凹陷中部较深处存在一定规模的基底隆起。沧县隆起整体埋深较浅、大成凸起和潘庄凸起上埋深部约2000 m,但天津断裂控制的

凹槽部分存在局部增大的特点。北塘凹陷内基底埋深再次变大,均超过3500 m,最深部位于北塘主凹陷的中心。前中生界基底的起伏与全区整体构造格架对应关系较好。其埋深的突变部位也是边界控制断裂及次级断裂的位置。

4.2 地层分布特征

结合密度界面成果对剖面穿越地区的地层进行推断。第四系密度界面完整,表明第四系普遍发育,地层表现出明显的分区特点。沧县隆起上的前中生界界面不连续,表明新近系直接覆盖在古生界之上,整体缺失古近系及中生界,局部缺失上古生界,表明在古生界之后,整体处于隆升剥蚀阶段。新近系地层厚度受凹陷形态控制,在主凹陷部分最厚,向东、西两侧均逐渐变薄。

北塘凹陷及武清凹陷地层比较完整^[12],第四系至古生界均有分布,其中局部缺失上古生界。武清凹陷中沉积了巨厚的中生界,局部超过5000 m,相比之下北塘凹陷中的中生界厚度基本在2000~3000 m,

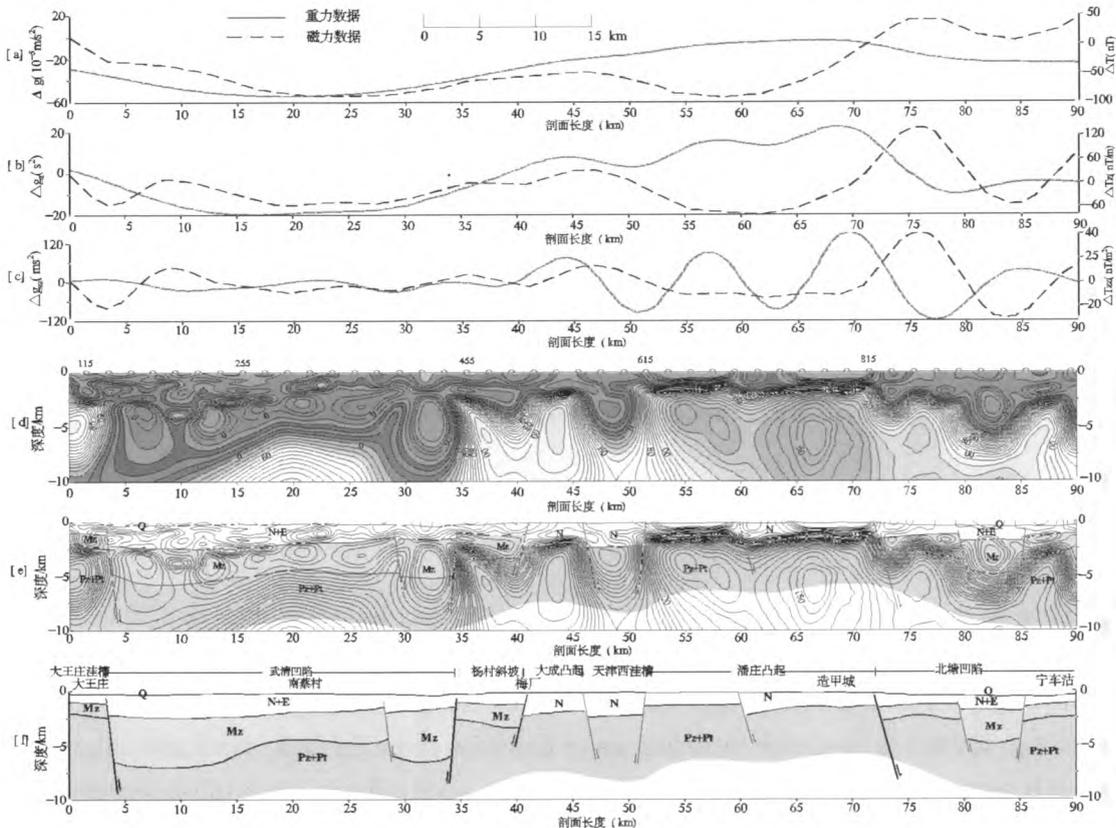


图2 长剖面重磁电联合反演综合地质解释成果图

Fig.2 Integrated geological interpretation results of the long profile using gravity-magnetic-magnetotelluric joint inversion method

[a].实测重磁异常曲线;[b].重磁一阶方向导数曲线;[c]重磁二阶方向导数曲线;[d].大地电磁二维反演电阻率剖面; [e].初始地质-地球物理模型;[f].联合反演确定的最佳地质-地球物理模型

凹陷内的古近系厚度变化较大。

5 结论

重磁电勘探因其周期短、费用低及信息量大等优点,在天津基岩构造研究中发挥了重要的作用。通过对重磁电长剖面进行的联合反演处理,其成果验证了天津地区自西向东相间分布的冀中坳陷、沧县隆起和黄骅凹陷,即“两坳一隆”的基本构造格架,并对各构造单元的边界控制断裂进行了准确的定位,确定了杨柳青断裂及沧东断裂的规模及产状。联合反演结果对各块体单元内部的次级构造进行了细致的刻画,并划分了包括天津断裂、杨村斜坡带等在内的断裂构造体系,并取得了主要地层的缺失及其在各单元内部的分布特征,指出沧县隆起内部整体缺失古近系及中生界。应用结果表明,以物性为基础,以重磁电的联合反演处理和解释为手段的工作方法,大大消除了单一方法的多解性,取得了良好的效果。在联合反演处理中,由物性资料建立的初始地质-地球物理模型的选取是处理的基础;在解释过程中,综合重磁电各方法的特征,结合地质规律可解决基岩断裂、地层等地质问题,提高定量解释的精度。本研究的工作流程、方法和取得的成果可供其它地区开展重磁电综合勘探工程提供参考。

参考文献:

- [1] 刘建利,李西周,张泉.重、磁、电联合反演在银额盆地定量解释中的应用[J].物探与化探,2013,37(5):853-858.
- [2] 李继军,汪启年.重磁电综合解释方法在天津城市三维地质结构调查中的应用[J].物探与化探,2007,31(5):444-450.
- [3] 林珍,张莉,钟广见.重磁震联合反演在南海东北部地球物理解释中的应用[J].物探与化探,2013,37(6):968-975.
- [4] 夏吉庄,李云平,阎汉杰,等.重磁电震联合反演技术及应用[J].油气地质与采收率,2003,10(5):33-35.
- [5] 陈洁,温宁,陈邦彦.重磁电震联合反演研究进展与展望[J].地球物理学进展,2007,22(5):1427-1438.
- [6] 王耀辉.重磁电综合勘探技术在伊犁盆地昭苏-特克斯坳陷的应用[J].石油天然气学报,2012,34(12):45-49.
- [7] 杨斌成.非地震综合勘探方法在西部地区的应用[J].石油天然气学报,2005,27(1):49-52.
- [8] 天津市地质调查研究院,河北省地质调查研究院.区域地质调查报告1/25万天津市幅[R].2005,250-253.
- [9] 沈键,李继军,周志勇,等.天津市基岩地质调查成果报告[R].天津市地质调查研究院.2009,12-35.
- [10] 周志勇,田德培,李继军,等.天津市活动断裂及地壳稳定性调查报告[R].天津市地质调查研究院.2009,17-18.
- [11] 李淑玲, Yaoguo Li, 孟小红, 等.黄骅坳陷横向构造转换带与基底三分结构的重磁证据[J].地球物理学报,2014,57(2):546-555.
- [12] 刘丽峰,郝天跳,江为为,等.大港探区综合地质地球物理研究[J].地球物理学进展,2003,18(2):317-322.

Application of Gravity-Magnetic-Resistivity Joint Inversion on the Research of the Bedrock Geological Structure in Tianjin Area

MA Wei, LI Shi-bin, XU Xin-xue, ZHENG Jun, ZHAO Hong-peng, LI Hua-qiang

(Tianjin Center of Geophysical Prospecting, Tianjin 300170, China)

Abstract: Base on the research of the comprehensive physical properties of the strata and rocks in Tianjin area, the authors treat the field gravity and magnetotelluric(MT) data along a profile cross Tianjin using the gravity-magnetic-magnetotelluric joint inversion method. A comprehensive interpretation about Tianjin bedrock geological structure features is conducted including major formation about the fault, strata and concealed rock characteristic. It is suggested that the joint inversion method has a good effect in terms of overcoming the geophysical multiple solutions and improving the accuracy of quantitative interpretation. Through application examples, the authors also describe an examp of comprehensive analysis and interpretation of gravity-magnetic-magnetotelluric methods, providing a reference for other regions doing the bedrock geological structure research.

Keywords: Joint inversion of Gravity-Magnetic-Magnetotelluric; structure; stratigraphy; quantitative interpretation; Tianjin