

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

李继军¹, 汪启年²

(1. 天津市地质调查研究院, 天津 300191; 2. 安徽省勘查技术院, 安徽 蚌埠 233000)

摘要:天津作为城市地质调查的试点城市之一,在地质条件上具有其特殊性,属深覆盖地区,在深覆盖地区城市三维地质结构调查中,通过采用重、磁、电探测方法和不同的反演处理方法进行相互验证,综合解释,对查明地层主要界面的埋深、分布范围和厚度,断裂的平面展布状况和深部发育情况,隐伏岩体的分布状况等具有较好效果。通过Z14线剖面实例,介绍了重、磁、电综合分析解释方法的运用,可供类似地区的三维地质结构调查借鉴和参考。

关键词:三维地质结构;深覆盖区;重磁电综合解释;城市地质调查;天津

中图分类号: P631.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2007)05-0444-07

城市地质调查是采用现代综合方法和手段,以已有地质资料为基础,开展多学科、多目标、多用途的综合城市三维地质调查,是中国地质调查局近几年大力促进地质大调查与国民经济发展相结合,更加主动地为经济与社会发展服务的重要工作任务。

天津是滨海平原区城市,作为城市地质调查的试点城市,在地质条件上与其他试点城市不同,其中最突出的是松散沉积物覆盖层厚度大,属深覆盖地区。笔者就天津地区的城市三维地质结构调查中重、磁、电综合分析整理、联合解释研究的方法运用进行了介绍,以期类似地区的三维地质结构调查提供借鉴和参考。

1 地质背景

天津地区地处Ⅰ级构造单元华北地台东北部,以宁河—宝坻断裂为界分为北区和南区,北区和南区地质构造特征具有明显的差异(图1)。北区属于Ⅱ级构造单元燕山台褶带的Ⅲ级构造单元蓟宝隆褶,其构造线大致呈EW向,断裂以EW向为主导,控制着地层的发育和构造形态。南区属华北断拗,是中、新生代断陷、拗陷盆地。华北断拗自西向东又可分为3个Ⅲ级构造单元,即冀中拗陷、沧县隆起和黄骅拗陷,区内隆起、拗陷及次一级的凸起、凹陷的延伸方向和较大断裂的走向均呈NNE向,形成雁列式相间排列的构造格局,规模较大的主干断裂控制着各级构造单元的边界和发展。

天津地区绝大部分被第四系覆盖,古老岩系仅

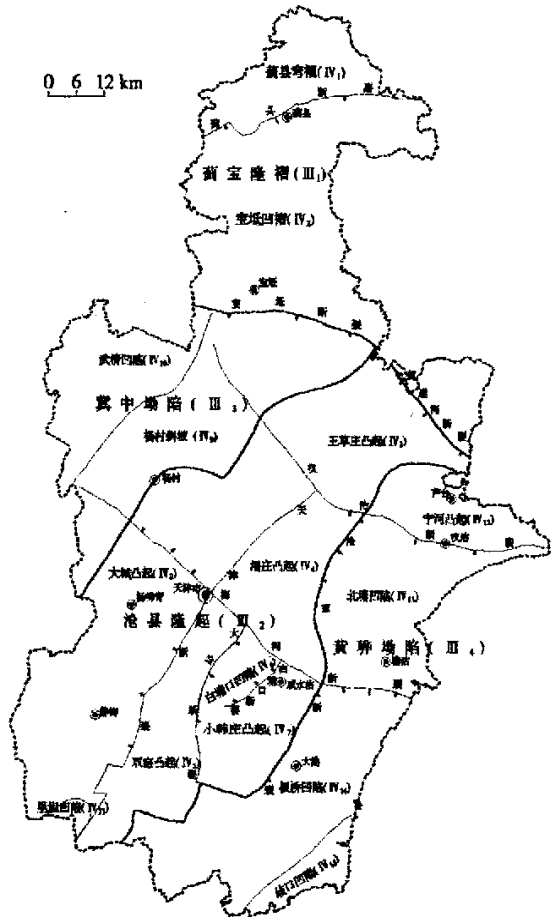


图1 天津市构造单元划分

在北区蓟县北部出露。从太古界至新生界均有发育。北区一般不发育新近系和古近系,第四系缺失下更新统中下部,覆盖层厚度 50~300 m,一般为 100~200 m。南区广泛发育着第四系和巨厚的新近系和古近系渐新统,覆盖层厚度 850~5 000 m,一般为 1 000~4 000 m,其中第四系厚度 260~430 m。

2 地球物理特征

2.1 电阻率特征

综合以往工作情况,根据井旁测深对比分析,总结出不同地质层位组合的电性特征。

第四系—新近系明化镇组上段(Q—Nm¹):第四系主要岩性砂、黏土,总体电性不均,略呈低阻。新近系明化镇组上段主要为砂岩,总体表现为相对高阻,电阻率为 8~15 Ω·m。

新近系明化镇组下段—馆陶组(Nm²—Ng):明化镇组下段,主要岩性为泥岩,低阻反映。馆陶组为砾岩,电阻率相对较高,但由于此层较薄,且沧县隆起下伏古生界地层为高阻层,故总体是低阻反应,电阻率小于 4 Ω·m。在沧县隆起为低阻标志层。

古近系(E):以砂岩、泥岩为主,在隆起区普遍

缺失,为低阻电性层,电阻率小于 5 Ω·m。

中生界(Mz):以一套陆相碎屑岩为主,含部分火山岩,在隆起区普遍缺失,为低阻电性层,电阻率为 6~8 Ω·m。

上古生界(P₂):砂岩、含砂砾岩、泥岩,中等电性层,电阻率在 10 Ω·m 左右。

下古生界(P₁):以灰岩为主,夹泥岩、页岩,为次高阻层,电阻率为 15~50 Ω·m。

元古宇(Pt):以白云岩、白云质灰岩为主,为高阻层,电阻率大于 50 Ω·m。

良层电性层:深部一般有一良导电性层发育,电阻率为 3~10 Ω·m。

侵入岩:高阻体,电阻率大于 100 Ω·m。

2.2 密度特征

欲对典型剖面采用变密度反演拟合,将收集来的大量的密度资料进行了选择性试验,经综合分析确定了天津地区地层密度参数(表 1)。

2.3 磁性特征

天津地区地层的磁化率值以变质岩最大,火山碎屑岩次之,正常沉积岩基本无磁性。而剩余磁化强度 M_r 值以火山碎屑岩最大,变质岩次之(表 2)。

表 1 天津地区地层密度参数

g/cm³

地层		冀东地区	胜利油区	大港油区	河北物探资料 ¹⁾	综合密度	密度差	密度界面
新生界	Q	1.95	1.74	2.05	2.05	1.95	-0.30	第一密度界面
	Nm	2.10	2.10	2.11	2.23			
	Ng	2.30	2.19	2.19				
	Ed	2.31	2.30	2.20				
	Es	2.47	2.43	2.41				
中生界	K	2.54	2.53	2.46	2.46	2.56	-0.11	第三密度界面
	J			2.58	2.56			
古生界	C—P	2.68	2.65	2.60	2.58	-0.12	第四密度界面	
	Є—O			2.68	2.69			
元古宇	Pt			2.72	2.68	2.68		
太古宇	Ar				2.60			

注:1)据河北省地球物理勘察院资料

表 2 天津地区地层磁性参数

地层		岩性	河北物探资料 ¹⁾		航测资料 ²⁾
界	系		κ/10 ⁻⁶ SI	M _r /(10 ⁻³ A/m)	κ/10 ⁻⁶ SI
新生界	第四系	粉砂、黏土	10	60	50
	新近系和古近系	泥岩、砂质泥岩	5	6	25
中生界	侏罗系	砂砾岩及细砂岩	13	540	30
		火山碎屑岩	96	2750	30~2200
古生界	石炭、二叠系	砂岩、页岩	2	0	20~200
	奥陶系	灰岩及结晶灰岩	0	0	0~30
	寒武系	鲕状灰岩	11	220	0~15
中、新元古界		白云岩及石英砂岩	5	20	120~1750
古元古界		片岩类	91	510	
太古宇		片麻岩、麻粒岩	106	716	120~1750
		混合岩类	45	100	

注:1)据河北省地球物理勘察院资料;2)中国国土资源航空物探遥感中心资料

3 重磁电资料处理

(1) 在 MT 定性资料分析的基础上,运用多种反演方法,建立电性剖面结构。

(2) 对重、磁异常进行位场转换处理,结合地质资料进行定性解释,提出宏观地质结构模型,这个模型是粗线条的,但起到宏观控制作用。

(3) 充分利用地质、钻孔资料和重、磁定性解释成果,建立初始地球物理模型进行重力、MT 联合反演剖面解释,提出地质结构断面模型。

(4) 结合地质资料,应用重力、MT 剖面解释成果,编制主要界面埋深图,分析地层发育特征及展布特点。

(5) 综合研究各种定性、定量计算成果,确定主要断裂的展布特点和深部发育形态,分析隐伏岩体、地热分布概况。

在资料处理和解释过程中,以上所列处理内容并不是孤立地进行的,不同方法之间存在紧密的横向联系,在不同的处理阶段,各个环节也有纵向因果衔接关系,这就决定了在认识上要经过多次反馈,资料处理要有多次反复。

4 重磁电综合解释

本次研究的成果是将重、磁、电物探资料,地质资料,钻孔资料有机地结合在一起,进行综合推断解释得出的。总体上,垂向分层以 MT 资料为主,参考重力界面及剖面反演结果和航磁异常分布趋势。断裂及构造的推断,主要依据重磁平面和 MT 剖面异常的特征进行综合分析而得出的,从而根据地质及物性差异划分出岩体和地热分布范围。

4.1 重力异常解释

本区重力布格异常图(图2)上可明显看出,测区南部重力等值线呈近北东向展布,而测区北部呈东西向展布,布格异常总体表现为两高三低的特征。测区最北部的重力低应为中酸性岩体或山区均衡效应所引起,为高密度的元古宇浅埋区或出露区。宝坻重力高呈近东西向展布,在测区中东部与北东的重力高连为一体,此重力高为宝坻凸起的反应,其南侧为东西展布的密集重力异常梯级带,该梯级带为宝坻断裂在重力场上的反映。而宝坻断裂南侧为测区最低的重力异常区,为轴向呈北东向展布的鸭蛋形重力负异常,此为冀中拗陷之武清凹陷的重力效应,其东南侧的重力梯级带较为舒缓,为杨柳青断裂的反映。测区中部为轴向呈北东向展布重力正异常,其东南侧为密集的重力梯级带,它是沧县隆起的

反应,而此梯级带则为沧东断裂的重力效应。测区最南部为重力低值区,由若干局部重力高和重力低组成,为黄骅拗陷的反应。

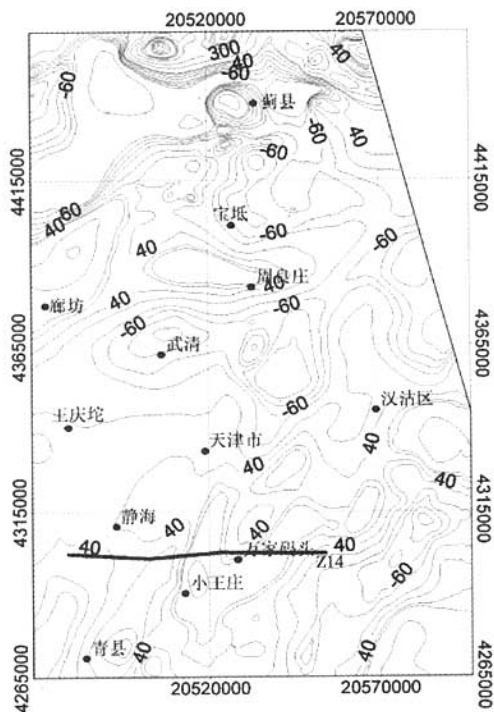


图2 天津地区重力布格异常

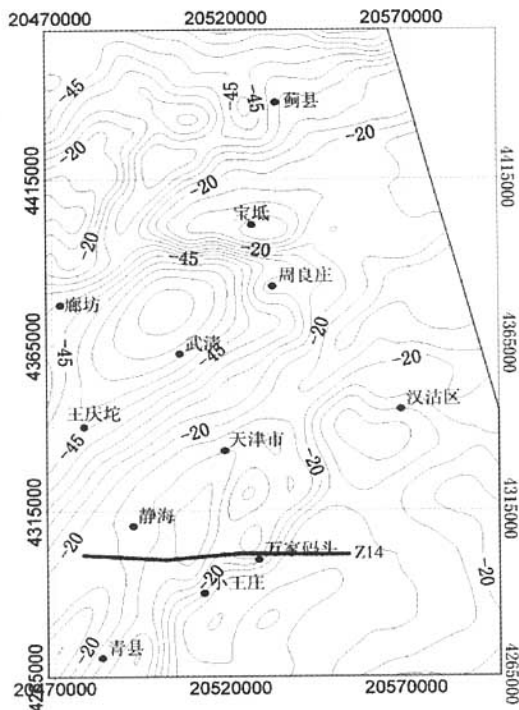


图3 天津地区航磁化极异常

4.2 航磁解释

依据航磁化极异常图(图3)、航磁上延 10 km 异常图和航磁深源场异常图,本区分为蓟县北磁高区、三河—新安镇磁低区、香河—周良庄磁高区、武清磁低区、小王庄—塘沽磁高区、海滨村东磁低区和海域磁高区。

蓟县北高磁场区表现出形态规则、强度大、梯度大的特征,结合重力资料分析,低重高磁相关性好,推测为酸性、中酸性或中性岩体所引起,这些岩体埋藏浅或出露。

三河—新安镇低磁场区表现为低背景,其上叠加着形态规则、强度大、梯度大的局部磁异常,结合重力资料分析,高重低磁相关性好,推测为酸性、中酸性或中性岩体所引起,这些岩体埋藏浅。

香河—周良庄高磁场区表现为形态规则、强度大、梯度大的强磁场背景,其上叠加着形态规则的局部磁异常,结合重力资料分析,低重高磁相关性好。推测它们为侏罗系火山岩所引起,其上局部异常则为火山岩的局部增厚引起。

武清低磁场区表现为低背景,其上仅叠加着形态规则、强度大的大白庄小范围的局部磁异常。结合重力资料分析,低重低磁相关性好,推测为武清凹陷的反映,局部异常则为火山岩引起。

小王庄—塘沽高磁场区为全区最复杂的磁场区,表现为强磁场背景,由多个局部高磁异常组成,其上叠加着形态规则、强度大、梯度大的局部磁异常,结合重力资料分析,高重高磁相关性好,推测为沧县隆起的反映,局部异常则为中酸性侵入岩引起。

海滨村东低磁场区表现为低场值背景,结合重力资料分析,低重低磁相关性好,推测为黄骅坳陷的反映,局部异常则为火山岩引起。

海域磁高区表现为整体磁高背景,在测区内只有小部分。结合重力资料分析,高重高磁相关性好,推测为太古宇结晶基底隆起的反映。

从航磁化极异常展布看,磁场总体表现为南部呈近北东向条带状展布,总体为高磁异常背景,北部总体为负背景场(除局部地区外)。

4.3 MT 解释

4.3.1 曲线类型图

总体来看,北部视电阻率较高,曲线是 K 型,首支低阻部分相对较短,反映低阻层很薄,此为新生界(中生界缺失)的反映,即元古宇高阻电性层埋深极小;这种曲线类型也是区内蓟—宝隆褶的共同特征。

南部冀中坳陷、黄骅坳陷、沧县隆起上曲线类型主体是 KH 型,其 K 型高值部分推测为明化镇上段

的反映,而 K 型第一段为浅地表低阻反映,反演深度极浅,剖面解释中难以划分,划入 Q—Nm¹ 电性层;曲线类型上 H 型低值部分为中、新生界低阻电性层反映,H 型低值部分越长,反映中、新生界沉积越厚,反之则说明中、新生界低阻电性层发育越薄,甚至缺失某些层位。在武清凹陷和黄骅坳陷等地区,H 型低值部分较长,反映中、新生界沉积很厚;在沧县隆起区 K 型高值部分和 H 型低值部分均较短,反应中、新生界总体相对不厚,甚至缺失某些层位。

根据曲线类型的变化,可大致确定宝坻断裂、沧东断裂、杨柳青断裂,蓟运河断裂等位置和平面上的展布趋势。

4.3.2 深度切片图

反演电阻率 5 km 深切片图(图4)其电性趋势大致可分为四大块:北部蓟—宝隆褶为高阻背景,东南部黄骅坳陷、西部冀中坳陷为低阻背景,中部沧县隆起为相对高阻背景。

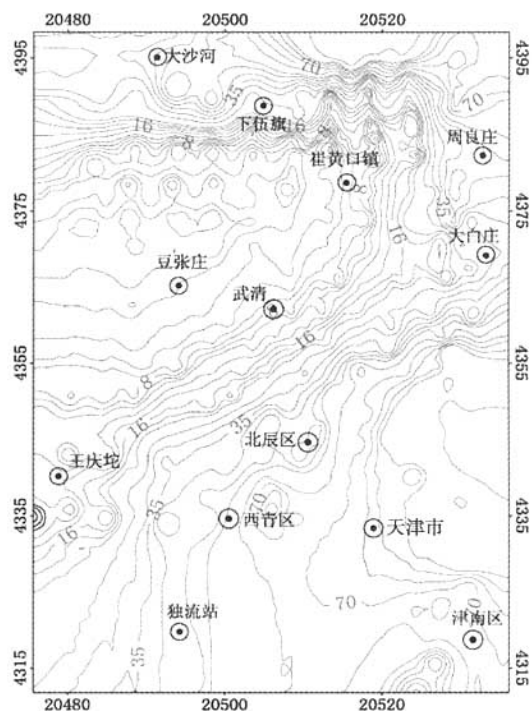


图4 天津地区反演电阻率 5 km 深切片

总体看,宝坻断裂和蓟运河断裂、杨柳青断裂、沧东断裂、康庄断裂等为电阻率变化最大的条带,另外王庆坨断裂两侧电阻率变化也较大。由图4知,这些断裂对区内中、新生界的沉积厚度控制作用较大。天津断裂南段和大城断裂在此图也反映清楚。宝坻断裂和蓟运河断裂在此图上其等值线趋势反映为同一断裂,共同控制了蓟—宝隆褶南边界。另外,

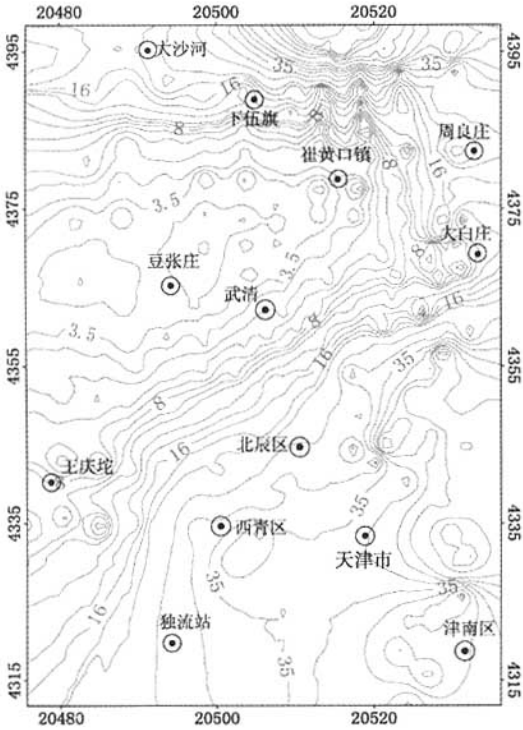


图 5 天津地区反演电阻率 3 km 深切片

在工部断裂附近有一较宽的相对低阻带,推测为古生界有一定厚度发育的显示。

反演电阻率 3 km 深切片图(图 5)其等值线趋势和反演电阻率 5 km 深切片图基本一致,推测早期宝坻断裂东延为蓟运河断裂,而在新生代宝坻断裂和韩家庄断裂对地层的控制作用更大一些,且蓟运河断裂也有进一步活动的迹象。

反演电阻率 1 km 深切片图(图 6)其等值线趋势可分为两大块:北部蓟-宝隆褶为高阻背景,南部黄骅拗陷、沧县隆起、冀中拗陷为低阻背景。在沧县隆起上电阻率变化较大,这主要是因为此部位中、新

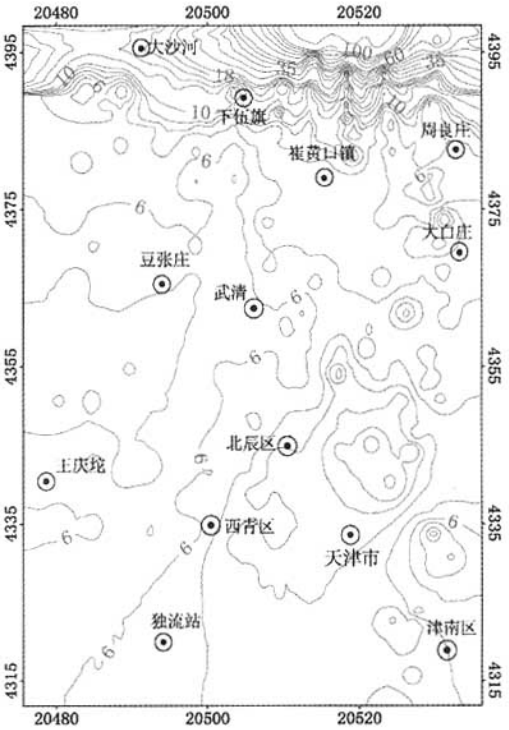


图 6 天津地区反演电阻率 1 km 深切片

生界埋深在 1 km 左右变化所致。

4.4 综合解释实例

Z14 线为东西向剖面,跨沧县隆起的大城凸起、里坦凹陷、双窑凸起、小韩庄凸起,黄骅拗陷的板桥凹陷、港西凸起等构造单元。

从曲线类型(图 7)看:整条剖面测点均呈 KH 型,但 K 型极小值和 H 型极大值所有对应频率有一定的变化,变化最大者在 WM2-016A、WM2-018A 两点之间,为沧东断裂的反映。沧东断裂东侧测点,曲线首支相对低阻的视电阻率曲线较长,反应中新界较厚,为黄骅拗陷的反应;沧东断裂西侧测点,曲线

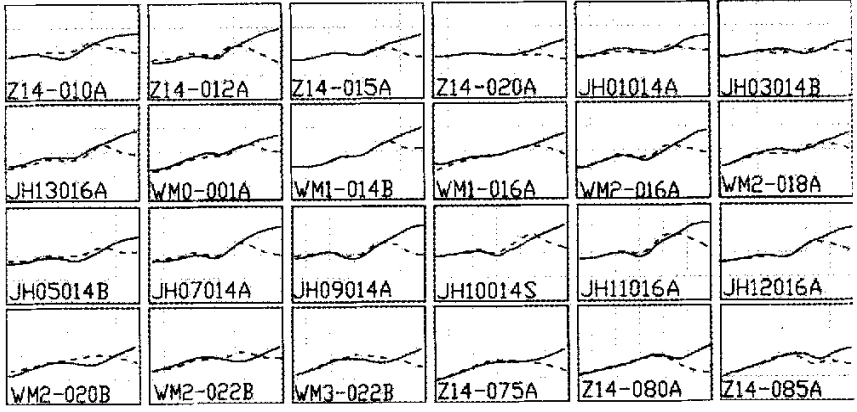


图 7 Z14 线各测点曲线类型

首支相对较低的视电阻率曲线段较短,反应中、新生界低阻电性层较薄或缺失,此为沧县隆起的显示。另外,在 Z14-015A 和 Z14-020A(大城断裂), JH05014B 和 JH07014A(天津断裂)等点之间曲线有较明显的变化,推测为断裂反应。

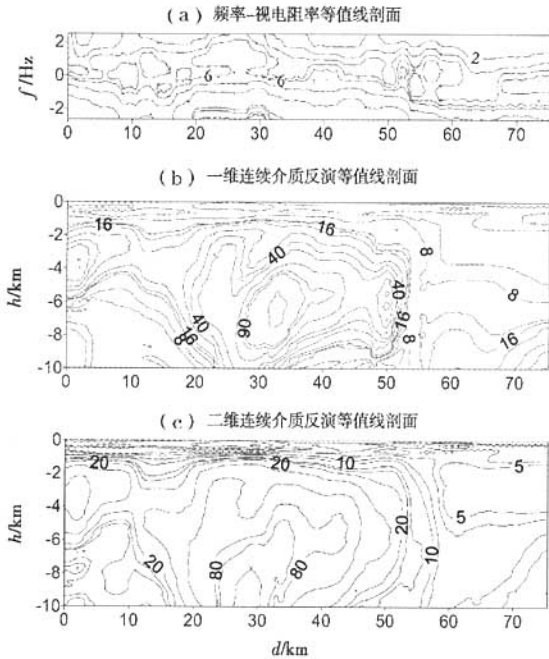


图8 Z14 线视电阻率($\rho_s/(\Omega \cdot m)$)等值线剖面

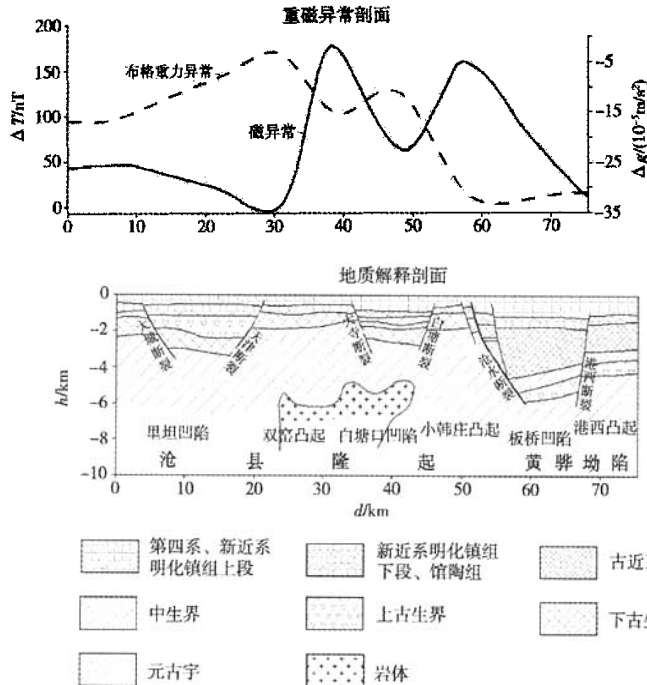


图9 Z14 线综合解释剖面

频率-视电阻率等值线剖面图(图 8a)是用上支视电阻率展开而成,是一种基础电性图件,大致勾勒出电性-地质结构剖面。所有定量解释结果不能违背其趋势,反过来也是衡量定量反演结果的正确性。

频率-视电阻率剖面上,总体结构表现为浅部低阻层和深部高阻层构成的二元结构。从高阻顶界面看:剖面西段有一相对凹陷的存在,推测为里坦凹陷;剖面中段白塘口凹陷也有一定的反映;剖面东段低阻电性层发育,此正是黄骅拗陷中新生界低阻电性发育较厚的反映,剖面最东段,深部相对高阻有隆起的趋势,这应是港西凸起的反应。

一维连续介质反演、二维连续介质反演剖面图(图 8b、c)其等值线形态即电性结构基本一致,总体可分五大电性层:

(1)浅地表(埋深小于 1 km)为相对高阻层:电阻率 $6 \sim 10 \Omega \cdot m$,推测为 $Q-Nm^1$ 电性层。

(2)中部相对低阻层:电阻率为 $4 \Omega \cdot m$ 左右。在剖面中西段(沧县隆起),此层厚度不大,横向较均匀,推测为 Nm^2-Ng 电性层,这也是沧县隆起的低阻标志层;而在剖面东段,此低阻层反映很厚,可达 3 km 以上,这应是黄骅拗陷中、新生界发育较厚的显示,在白塘口凹陷此电性层也相对较厚。

(3)相对高阻层:电阻率在 $10 \Omega \cdot m$ 左右,为古生界地层的反映。在沧县隆起上此电性层一般为下

古生界。在里坦凹陷可分上下 2 部分,上部为上古生界,电阻率相对较低;下部电阻率相对较高,为下古生界。

(4) 高阻层:电阻率大于 $20 \Omega \cdot m$ (最大可达 $100 \Omega \cdot m$),为元古宇。

(5) 深部良导层:埋深一般在 $6 \sim 8 \text{ km}$ 以上的相对低阻的电性层推测为深部滑脱面的反应。

从重力异常看,双窑凸起、小韩庄凸起为明显的重力高异常,推测中新生界相对较薄,甚至缺失,这与电法结果是吻合的,从磁法异常看白塘口凹陷、黄骀坳陷东侧为高磁异常区,电法反演剖面上,剖面中段深有一电阻率大于 $100 \Omega \cdot m$ 的电性体,综合磁法、电法资料,推测在剖面上局部隐伏岩体分布。

从综合剖面图(图 9)上看,重、磁异常曲线的梯度带,往往也是电法剖面图上等值线密集带,也就是说,此位置密度、磁化率、电阻率等特性均在横向上有变化,为断裂的反映。

在剖面解释过程中,参照了重力异常分布趋势、重力界面(前新生界、下古生界顶)分析趋势及剖面反演结果,并结合磁异常的参数进行综合解释。

在电性剖面上,断裂的位置反映为等值线扭曲带或陡立带,这些扭曲,陡立带深部延展形态也反映

了断裂深部发育状况,剖面上,沧东、大寺、天津、大城等断裂均有反应,一般显示为正断层。

天津地区新近系下部、古近系、中生界地层均为低阻显示,电性差异小。在隆起区由于古近系、中生界地层一般缺失,故沧县隆起电性分层较简单明了。在凹陷区要对钻井、重力趋势面、一维层状反演等多种资料综合分析,根据等值线趋势来确定。

5 结语

城市地质调查工作的核心是三维地质结构调查,三维地质结构调查是城市地质调查其他工作的基础。深覆盖地区的城市三维地质结构调查,应在充分利用已有的地球物理勘查资料的基础上,进行多方法的分析研究、综合解释,它是深覆盖地区三维地质结构调查的重要工作手段,也是经济有效的工作方法。本次重、磁、电综合解释方法的运用,解决一些关键性的地质问题,取得了较好的结果。

参考文献:

- [1] 天津市地质矿产局. 天津市地质环境图集[M]. 北京:地质出版社,2004.

THE APPLICATION OF COMBINED GRAVITY-MAGNETIC-ELECTRIC METHOD TO THE URBAN THREE-DIMENSIONAL GEOLOGICAL STRUCTURE SURVEY IN TIANJIN

LI Ji-jun¹, WANG Qi-nian²

(1. Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China; 2. Anhui Institute of Geological Exploration Technology, Benbu 233000, China)

Abstract: Tianjin, as one of the pilot cities in urban geological survey, possesses specific geological conditions and deep overlying strata. During the urban three-dimensional geological structure survey, especially in the deep coverage areas, the method in which combined gravity-magnetic-electrical explanation and different inversions by mutual verification and combined explanation are adopted has proved to be very effective in detecting such phenomena as the depth, distribution and thickness of the main stratigraphic boundaries, the plane spread of the surface fractures and the deep-seated faults and the distribution of the concealed rock bodies. This paper deals with the application of combined gravity-magnetic-electrical explanation method exemplified by the cross section along Z14 line. This technique is of great reference value in the survey of three-dimensional geological structures in other cities.

Key words: three-dimensional geological structure; deep coverage area; combined gravity-magnetic-electrical explanation method; urban geological survey; Tianjin

作者简介:李继军(1964 -),男,高级工程师,中国地质大学(北京)工程硕士,从事区域地质和工程地质调查、地球物理勘查工作。