

鄂尔多斯盆地北部地区重力资料的 解释方法及其效果

陈 明 远

(内蒙古自治区第一物探化探队)

本文用实例介绍了作者对已有的重力勘探资料进行深化解释的方法。在一定条件下,根据重力资料可以推断出某些地质界面的形态和深度。

鄂尔多斯盆地是我国现阶段油气勘查重点地区之一。在此开展新、老重力资料的解释或再解释工作,不仅可能获得有益的新成果,而且一旦取得经验,将对类似地区重力资料的解释或再解释工作起参考作用。我国陆地大部分油气勘查区以往做过不同比例尺的重力调查。相同比例尺的新、旧重力资料相比较,新资料的精度有所提高,各项外部改正更趋完善,但测点比旧资料稀,且分布不规则。所以,新、旧资料所获信息内涵并无实质差别;在新的一轮重力工作中,从已有的资料中掘取出更多的有用信息并使之转化为地质语言,是很重要的事情。

目前,重力资料的解释工作一般面临两类地质任务:一是为解决沉积盆地的某些基础地质问题提供比以往更多、更为确切的解释推断成果;二是解释某些特定的地质问题。

鄂尔多斯盆地北部,目前急待解决的问题是上、下古生界界面的整体形态。固然,地震方法解决这一问题最为有效——它不仅可以了解整个界面的宏观形态,也可以了解整个界面的微观结构。但地震方法耗资甚多,假如能用非地震方法求出上、下古生界面的粗略形态,然后再用地震法有选择地进一步勘查,则在经济上是合算的。这就给重力工作提出了一项新课题——从整体的意义上给出上、下古生界界面的宏观形态。这是一个解单一密度界面的问题。

在密度差恒定的前提下,反演单一密度界面的问题,理论上早已解决,有各种解题方法,各有优劣。总的来说,实现反演并不困难,关键在于如何建立待求界面的等效重力场——这正是本文将重点探讨的问题。

一、地质-地球物理模型

在解题之前,首先要建立起研究区域内的地质-地球物理模型,这是研究一切问题的出发点。

本区自太古界至白垩系,已查明的地层单元有18个。密度资料表明,几乎每两个相邻地层单元之间均存在或大或小的密度差。显然,欲从如此众多的密度界面所形成的重力场中把待求界面的重力场分离出来,是不可能的。事实上总有一些界面密度差比较大,起着主导作用,也会有一些相邻地层趋于平行,而且层厚和层内密度变化趋于稳定。因此,我们可以根据地层之间的密度差大小、空间位置以及变化规律,划分出“等效密度层”或“密度构造层”。鄂尔多斯北部地质-地球物理模型就是建立在这种基础之上的(图1)。当然,检验“等效密度层”是否确定得合理,不单要看它们是否符合物性前提条件,还要看它们是否能够最大限度地对应实测异常。

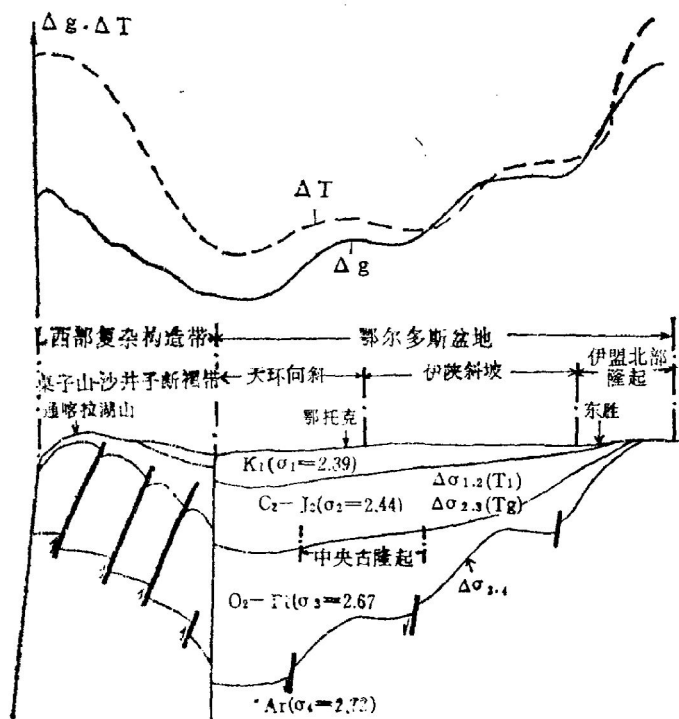


图1 鄂尔多斯盆地北部地区地质-地球物理模型

根据以上原则,我们把本区地层划分成5个“等效密度层”,4个“等效密度界面”(图1)。这4个界面是:

1. $\Delta\sigma_{1,2}=0.05\times 10^3\text{kg/m}^3$ 为白垩系与侏罗系之间的界面,相当地震 T_1 界面;
2. $\Delta\sigma_{2,3}=0.23\times 10^3\text{kg/m}^3$ 为上古生界与下古生界之间的界面,近似于地震 T_g 界面;
3. $\Delta\sigma_{3,4}=0.05\times 10^3\text{kg/m}^3$ 为太古界与元古界之间的界面,本区唯一的磁性界面;
4. $\Delta\sigma_{4,5}=0.6\times 10^3\text{kg/m}^3$ 相当于莫霍界面。

根据场的叠加原理,我们可以把经过处理(不规则测点的网格化、圆滑等)而消除了表面干扰和偶然误差的实测异常 Δg_B (图2),看成是上述“等效密度界面”重力效应的叠加总和;

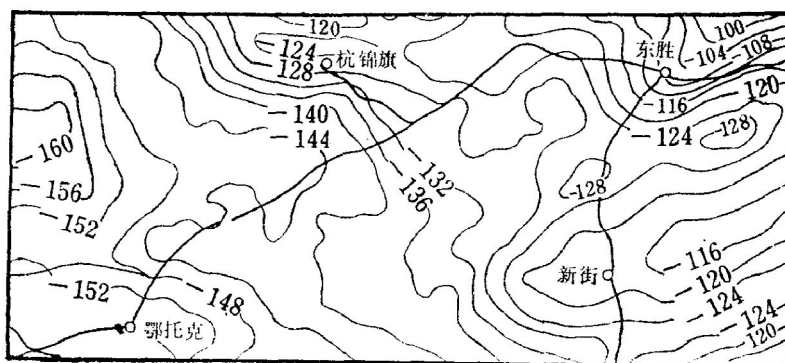


图2 鄂尔多斯盆地北部布格重力异常平面图
注记单位为10g.u., 重力值全部为负值。原图比例尺为1:20万。

$$\Delta g_B = \Delta g_{区} + \Delta g_{A_1} + \Delta g_{T_0} + \Delta g_{T_1} \quad (1)$$

式中：
 $\Delta g_{区}$ ——莫霍界面所形成的区域场
 Δg_{A_1} ——太古界与元古界之间界面形成的异常
 Δg_{T_0} ——上、下古生界界面形成的异常
 Δg_{T_1} ——侏罗系与白垩系之间界面形成的异常

设如果我们将以上解算出的基本异常场型，它给出了本区异常场型的四种主要因素，并

较开作相大分析，结果如衣1。

2. 重力局部异常分析。在研究区域内共提取出17个局部异常，其宽度和用选择法计算的异常源深度分布如图4, 5。直观地看去，两者的分布特征大不一样。相关分析表明，其相关系数为0.2。可见两者之间并不存在线性关系，亦即本区不存在异常范围越大，其场源埋深亦越大的规律。

由以上的分析可以得出两点结论：

1. 在本区，不能指望用低通滤波的方法将区域场与待求界面的“趋势场”分离开来。由于“区域场”的相对性，这里所指的区域场是相对待求界面（而不是局部地质体）而言的。因此，它应当是待求界面以下的、分布范围更大的某些界面的场。当待求界面很大（遍及研究区）时，或其趋势性变化并不比深部界面更为复杂时，将不能指望用任何滤波法把两者分开。

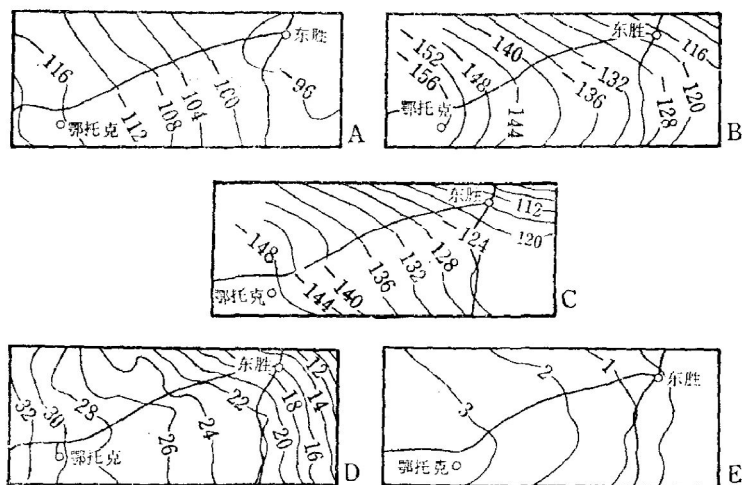


图3 $\Delta g_B \uparrow 30$ (A)、 $\Delta g_B \rightarrow 2$ (B)、 $\Delta g_B \rightarrow 3$ (C)、 $\Delta g_{T_9} \uparrow$ (D) 和 $\Delta g_{T_1} \uparrow$ 平面图
注记单位全部为 $10g.u.$

表1

Δg_B 转换场	$\Delta g_{T_9} \uparrow$		$\Delta g_{T_1} \uparrow$	
	所占比例(%)	相关系数	所占比例(%)	相关系数
$\Delta g_B \uparrow 30$	71	0.895	13	0.894
$\Delta g_B \rightarrow 2$	42	0.988	6	0.809
$\Delta g_B \rightarrow 3$	34	0.757	3	0.757

统计点数 $N > 250$ 。正演场是对地震已控部分的正演，主要是界面的趋势变化部分，为区别完整的界面，

用 T_9^1 和 T_1^1 表示。

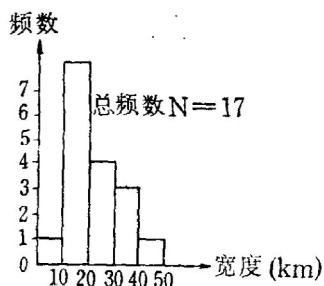


图4 局部异常宽度直方图

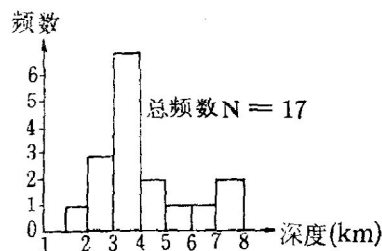


图5 局部异常源深度直方图

2. 至少在我们的研究区域内，局部异常的规模与异常源埋深之间不存在正比关系，故用滤波的方法也不可能把属于不同界面的局部异常分离开来。

上述结论迫使我们开辟另一条解决问题的途径。于是，形成了一条用“剥皮”加上对局部异常逐一分辨，然后重新构制待求界面重力场的思路。实现这一设想的前提条件是，有足以控制有关界面的趋势性变化的区域性地震大剖面。这正是本区所具备的条

件。这样,我们就可以把本区的 T_0 界面和 T_1 界面看成分别由两部分组成,即 $T_0 = T_0^1 + T_0^2$, $T_1 = T_1^1 + T_1^2$ 。于是(1)式就可以改写成

$$\Delta g_B = \Delta g_{区} + \Delta g_{A_1} + \Delta g_{T_0^1} + \Delta g_{T_0^2} + \Delta g_{T_1^1} + \Delta g_{T_1^2} \quad (2)$$

式中: $\Delta g_{T_0^1}$ —— T_0 界面的地震已控部分(以趋势变化为主)

$\Delta g_{T_0^2}$ —— T_0 界面的未知部分(以局部异常为主)

$\Delta g_{T_1^1}$ —— T_1 界面的地震已控部分(以趋势变化为主)

$\Delta g_{T_1^2}$ —— T_1 界面的未知部分(以局部异常为主)

由于 $\Delta g_{T_0^2}$ 、 $\Delta g_{T_1^2}$ 和 Δg_{A_1} 都是局部异常,即

$$\Delta g_{局} = \Delta g_{T_0^2} + \Delta g_{T_1^2} + \Delta g_{A_1} \quad (3)$$

所以 $\Delta g_B = \Delta g_{区} + \Delta g_{T_0^1} + \Delta g_{T_1^1} + \Delta g_{局} \quad (4)$

实际分解异常时是先分解(4)式,后分解(3)式,分三步进行:

第一步:剥去 $\Delta g_{T_0^1}$ 和 $\Delta g_{T_1^1}$,得到所谓“第一次剩余异常”—— $\Delta g_1 = \Delta g_{区} + \Delta g_{局}$,

第二步:用通常的滤波方法将区域场分离出去,得到所谓“第二次剩余异常”—— $\Delta g_2 = \Delta g_1 - \Delta g_{区} = \Delta g_{局}$ 。因为 Δg_1 中的两项绝对满足波长差异的要求,故可以用滤波法。

第三步:区分和分离局部异常,即将得到的 $\Delta g_{局}$ 分解成(3)式右端各项。

我们认为,区分局部异常是关键而十分复杂的一步,既要投入大量的计算,又不能单纯依靠定量解释。因为任何物探方法都存在多解性,重力方法尤其如此。所以,应当因地制宜地采用多种解释方法和途径,并且有适当的判别标准,才能使多解性减小到最低限度。鄂尔多斯盆地北部的基本条件是:有一定数量的地震剖面;大多数局部异常来自有限个密度界面的局部变化,而这有限个密度界面同时又是波阻抗界面或磁性界面;有较多的密度和磁参数资料,并且研究得比较充分;有少量的电测深剖面资料,可供研究浅部地层的横向变化;有较多的钻孔,特别是深孔;有1:20万—1:100万航磁资料(包括1:100万磁性体最小埋深图)。这些资料为研究解释局部异常提供了控制因素。

我们采用的主要方法有:①带有控制条件的定量计算异常源深度;②重磁异常对应分析(ICA法,孙德梅,1985);③重力、地震剖面综合对比(包括二维正、反演计算);④异常几何参数和物理参数的多元统计——聚类分析等。举例说明:

某异常呈宽带状,走向 50° ,面积大于 4800km^2 ,幅值 255g.u. ,最大水平梯度 26g.u./km 。异常区地表大部为二叠系,有零星分布的侏罗系(J_2 、 J_3)和白垩系(K_1)。异常西端通过的地震剖面上, T_0 界面埋深 2200m ,无明显局部起伏。异常中心以西 42km 处钻井揭露,上、下古生界界面埋深 2389.5m ,为下二叠统石盒子组与中奥陶统接触。中奥陶统仅厚 18m ,以下为太古界,缺失元古界。分析结果:

1.物性分析认为,主要界面的密度差最大不超过 $0.3 \times 10^3\text{kg/m}^3$,浅层次要界面密度差在 $0.1 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 左右,浅部各层横向密度变化不超过 $0.05 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 。

2.定量计算,当取 $0.3 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 的密度差时,高密度体顶板埋深 700m ,宽 30km ,厚 $0—1500\text{m}$ 。

3.ICA分析结果,相关区与重磁异常基本吻合,最大相关系数 0.6 。

4.用航磁资料计算磁性体最小埋深为 1000m 。

5.聚类分析结果,异常属宽大、高强度类型,与相邻类型之间的距离系数为 0.7646

(本区异常距离系数变化范围是0.0043—0.7646),且本身为该类型的标准异常(因已知条件较多)。

综合判断结论:异常起因于高磁、高密度体。据其走向、规模和形态,不属于基性

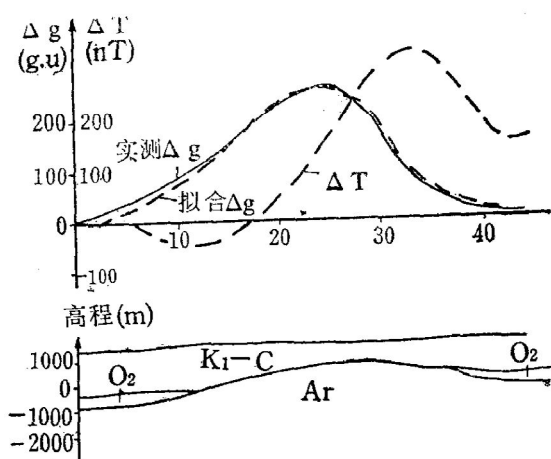


图6 局部异常解释成果剖面图

$$\Delta g_{\text{界}} = \Delta g_{T_1^1} + \Delta g_{T_2^2} \quad (5)$$

或
$$\Delta g_{\text{界}} = \Delta g_B - \Delta g_{\text{区}} - \Delta g_A - \Delta g_{T_1^1} - \Delta g_{T_2^2} \quad (6)$$

原则上讲,(5)式和(6)式是等效的,但实际上有一定差别。问题在于有些低于提取异常下限的微弱异常显示,不可能被详尽地提取出来,而这些微弱异常显示并不一定没有地质意义,只是因观测精度所限而没有被当作独立的局部异常提取出来加以分辨。(5)式和(6)式的差别就在于前者把这些微弱异常显示一律作为否定因素加以剔除,因此反演界面的可靠程度较高,但不详尽,后者虽然详尽但可疑成分(微弱变化)较多。

整个解释过程是一项系统工程,借用系统工程学的方法示于图7。

三、成果讨论

应用这套解释系统得出的最主要地质成果是求出了三个地质界面和一个残留厚度。

1. 上、下古生界界面

宏观而言,重力反演的上、下古生界界面的基本形态与地震剖面控制的 T_1 界面基本

或者超基性侵入体,因本区除侵入体外,太古界是唯一的磁性体。故判断为太古界顶界面局部隆起的反映,而且隆起部位缺失元古界—奥陶系(因为仅当太古界与上古生界直接接触时密度差才能达到 $0.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)。因此,该隆起构造也属于广义的上、下古生界界面(图6)。

至此,我们已将(2)式各项求出,只须重新组合即可得到所需“界面场”。反演“界面场”即得到相应的界面。上、下古生界界面场($\Delta g_{\text{界}}$)可如下构制:

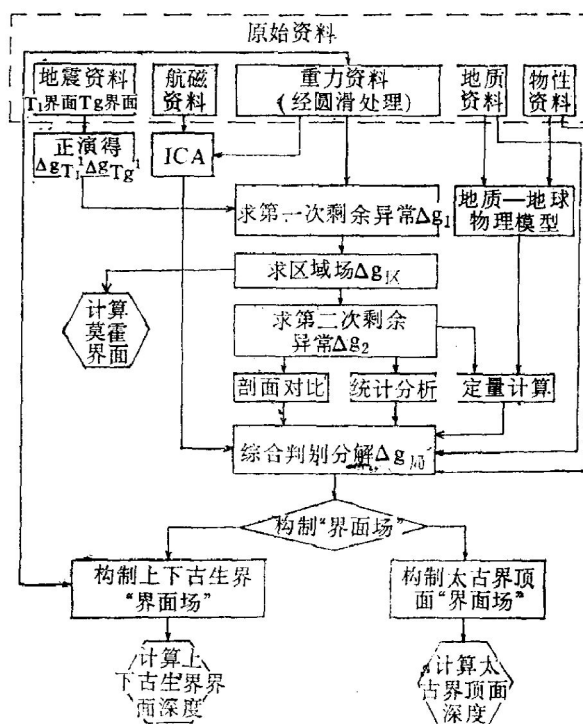


图7 解释系统方框图

相同(图8-A),这是没有发现更多的属于 T_9 界面的局部异常的必然结果。但这并不意味着重力反演上、下古生界界面是多余的,它至少佐证了地震成果。事实不仅如此,①由于重力较地震易于覆盖更大的面积,所以它能够更全面地给出上、下古生界界面宏观整体面貌。例如,在东胜南北一线以东地区,通过重力反演描绘了该区上、下古生界界面的基本形态,证实了东胜隆起构造的存在,并且揭示出构造部位 T_9 界面与太古界顶面合二而一。②在测区南部(约北纬 $39^{\circ}30'$ 线以南)地震剖面稀疏区(地震剖面间距约60 km),重力工作成果表明,在地震剖面之间不可能存在较大规模的局部构造。根据模型试验,所谓较大规模局部构造,是指局部隆起(或凹陷)幅度不小于250m、范围不小于 250km^2 的构造。

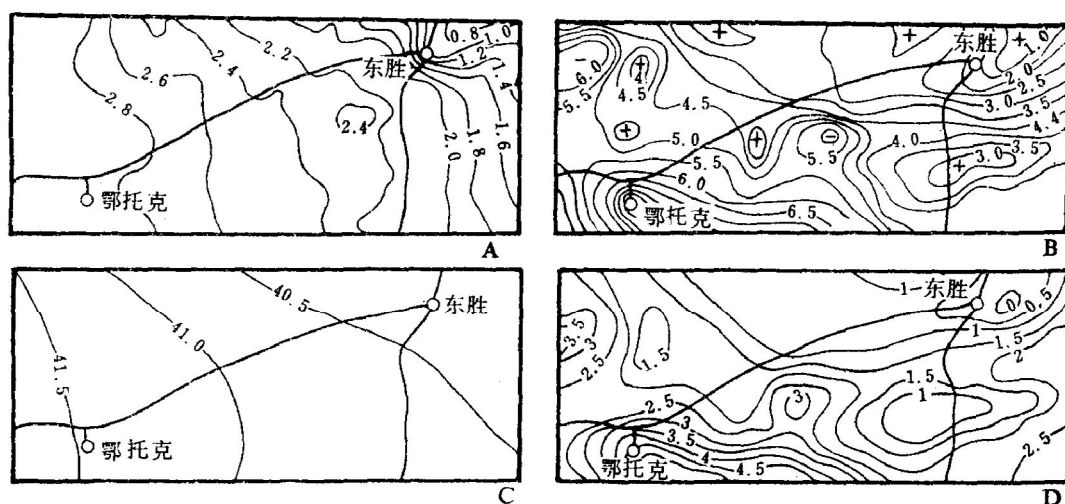


图8 上、下古生界界面等深度平面图(A)、太古界顶面等深度平面图(B)、
莫霍面等相对深度平面图(C)、元古界加下古生界残留厚度图(D)
注记单位均为km。

2. 太古界顶界面

总体呈北东高、南西低的形势,它的局部起伏变化要比 T_9 界面大得多,表现为近东西向的由北而南排列的巨大弧形断隆与断凹,并且由东向西逐次断落,形成了许多断块(图8-B)。

3. 莫霍面

在研究范围内,我们的结果比前人的计算结果要简单得多,深度变化也小了许多(图8-C)。

在所用重力资料大体一样的情况下,为什么会出现不同的结果呢?主要原因是消除浅层干扰的方法不同所致。

以往的计算一般都是用滤波法消除浅层干扰,有的也剥去了白垩系的影响。根据前面的叙述,滤波法不可能将 T_9 界面的趋势变化滤除干净,太古界顶界面的某些巨大变化也未必能滤除干净。而我们的作法可说是比较彻底地消除了这两个(如果包括白垩系则是三个)浅层界面的干扰。因此,莫霍面自然会简单一些,深度变化也会小一些。诚然,就目前所掌握的资料来看,尚不足以断定哪种计算结果更为可靠,但就获取“界面

场”的方法而言,我们认为本次采用的方法更合理一些。

4. 残留厚度

用太古界顶面深度减去上、下古生界界面深度便可得到元古界至下古生界残留厚度(图8-D)

不难看出,在本文所研究的区域内,残留厚度的变化与太古界顶面的变化有一定对应关系,即残厚小的部位太古界顶面埋深浅,反之,埋深大。

以往地质界曾认为:盆地早期活动较强烈,元古代以后才逐渐趋于缓和;元古界的沉积特点是,首先对断槽或凹陷填平补齐,尔后才向外或隆起部位广泛超覆。重力求出的残厚不仅为估计油气资源总量提供了基本数据,也为上述论断提供了证据。

四、结 论

通过本次工作,我们得出了以下认识。

1. 提高重力资料的解释必须走重、磁、电、震等多种物探方法综合解释的道路,不仅分离界面如此,区分局部异常也是如此。所谓综合解释,不同于以往的多种物探方法相互比较和印证,而是把各种地球物理场及其有关参数纳入同一解释系统作为控制条件,并使整个解释过程定量或半定量。

2. 传统的分离异常方法,如滤波法、平均场法、延拓法、趋势分析法等,以及各种正、反演方法,仍是处理和解释异常的有效手段。但因它们各有特定的应用条件,故在实践中不应盲目应用,尤其在应用重力资料解释地质界面时,不应在一开始就先分离区域场和局部异常,而应首先对异常进行预分析,有了初步认识以后再确定最有效的方法,否则将会把属于不同界面的东西混杂在一起而使结果面目皆非。试想,如果我们一开始就先用滤波法分离区域场和局部异常,势必将上、下古生界界面的趋势性变化部分划到区域场中去,而大部分局部异常又会错安到上、下古生界界面上,其结果必然是反演出的界面面目全非。总之,我们决不是否定传统方法的有效性,而是强调要合理地运用这些方法,合理“组合”,使之成为解释系统中的有序环节。

3. 重力工作在二轮油气普查中仍然发挥重大作用,关键是要深化解释。在深化解释的基础之上,重力不仅可以求出某些界面的宏观形态,节省大量地震勘探费用,还可能使得过去用传统解释方法得到的某些认识得以深化,使之更加精确、具体。

本次除反演了三个界面以外,还对盆地轮廓、基底构造格局、断裂、侵入体、推覆体等问题进行了探讨,这些成果将可能成为地质人员研究盆地形成机制、演化过程、油气预测等问题的素材。限于篇幅,文中未涉及这部分内容,在此仅提及一点,即我们根据重力资料发现了三条较大的北西向断裂,而且认为其有较大的穿透力,如果得到进一步证实,无疑将成为油气预测应当考虑的因素。

最后,必须强烈指出,在一定的条件下重力资料可以反演某些界面,但这决不意味着重力资料可以代替地震资料。这是由重力方法本身对局部构造的分辨率远不及地震方法所决定的。那种对重力工作要求过高的观点是不现实的。应当说,重力和地震各有优点,在二轮油气普查中应当充分发挥重力勘探高速、低耗、覆盖面大的优点。

INTERPRETATION METHOD OF GRAVITY DATA OF NORTH ORDOS BASIN AND THE EFFECT

Chen Mingyuan

(1st Geophysical-Geochemical Exploration Brigade,
Nei Monggol Autonomous Region)

Abstract

This article introduces a further interpretation method of ready gravitational exploration data. The example provided by the author shows that under certain condition, the forms and depth of some discontinuity surfaces can be inferred based on gravitational exploration data.

朝鲜临津群地质考察进一步表明 我胶东地块应属扬子地台

由地质矿产部石油地质海洋地质局组织的赴朝临津群地质考察团一行4人,于今年4月22日至5月6日对朝鲜中部西起松林,经兔山、法洞至东海岸元山一带进行了野外地质观察,其目的是了解朝鲜中部出露的志留泥盆系展布及其西延情况,以便同我国胶东地块的“蓬莱群”进行联系类比,继而研究下扬子地块北缘划界和胶东地块归属问题。考察期间听取了朝鲜民主主义人民共和国资源开发部中央矿物资源调查团李竹南博士和有关地质专家的介绍,参观了该调查团矿物古生物标本陈列室,查看了1:20万朝鲜北部区域地质调查图件资料。

泥盆系临津群主要分布于朝鲜半岛军事分界线两侧,北侧出露于江原道的铁原、金化,黄海北道的金川、兔山、开城板门店,以及黄海南道的延安、瓮津、康翎一带。这套变质岩系原划为元古界祥原群的一部分,后因化石的发现新划归中、上泥盆统,命名为临津群。

以铁原-金川地区剖面为例,自上而下分三个组:

1. 朔宁组 (D_3^1) 分6个岩性段: (1) 灰绿色云母质块状粉砂岩中夹角斑岩厚200余米。(2) 灰绿色泥板岩厚80—100m。(3) 灰绿色砂质石英岩厚20—30m。(4) 绿灰色云母质块状粉砂岩夹钙质砂岩厚150—200m,产化石海百合类 *Cyclocyclicus* sp., *Hexacrinites* sp., 腕足类 *Atrypa* sp.. (5) 灰蓝、灰黄色粉砂岩厚100m。(6) 深灰色云母质块状粉砂岩中夹角斑岩厚250—350m。
2. 扶压山组 (D_2^{2-3}) 分6个岩性段: (1) 灰、灰褐色砂质石英岩中夹绿灰深灰色千枚岩厚200—250m。(2) 黑色泥板岩、粉砂岩与灰褐色细砂岩互层厚250—300m。(3) 黑色泥板岩与粉砂岩互层中夹泥质灰岩含腕足类化石厚250—300m。(4) 深灰色灰岩厚70—80m,产腹足类化石及介形虫 *Quadraticavellina pulchra*, 藻类 *Sycidium melo* var. *Puskowensis*, *S. reticulatum*。(5) 黑色泥板岩、灰岩、钙质砾岩厚200—250m,产化石:植物 *Psilophyton goldschmidtii*, *Asteroxylon elbexfeldense*, *Protocaphalopteris praecox*, *Taeniocrada decheniana*。(6) 深灰色似层状灰岩厚30—50m,产化石:腕足类 *Tropidodiscus curvilincatis*, 海百合类 *Pentagonocyclicus paucus*, *P. jucundus*, *P. imatschensis*。

(下转432页)