

重力、地震联合反演方法确定深层油气藏的分布 ——以锡林凹陷石炭系分布为例

刘天佑¹ 杨宇山¹ 李媛媛¹ 邓荣来² 宋桂桥²

(1.中国地质大学·武汉 2.中国石化河南石油勘探局)

刘天佑等.重力、地震联合反演方法确定深层油气藏的分布.天然气工业,2005;25(5):34~36

摘要 文章以内蒙古巴彦浩特盆地锡林凹陷为例,说明重力、地震联合反演方法在确定深部生油目的层石炭纪地层的应用效果。巴彦浩特盆地多期构造影响,造成逆冲、剥蚀及断块作用十分显著;在地震资料解释中,同相轴难以追踪或会误追踪。采用 $2\frac{1}{2}D$ 重力模型反演与地震走时反演的联合反演对 x5、x6 线高精度重力与地震资料进行处理,指出了原根据地震资料确定的局部高隆起不是目的层石炭系而是剥蚀殆尽的寒武系;同时还给出了锡林凹陷石炭系的分布范围,避免了勘探风险。

主题词 重力勘探 地震勘探 反演 石炭纪 锡林凹陷

一、地质概况

巴彦浩特盆地是贺兰山以西一个面积大,沉积厚的盆地,其盆地东部的锡林凹陷面积达 4000 km^2 , bch2 井揭露了锡林凹陷发育逾千米的石炭系沉积,并在中石炭统发现 26 个油气显示段,含油砂岩厚 89.6 m,证实了锡林凹陷石炭系具有很好的找油气前景。但是锡林凹陷石炭系分布复杂,受中新世代多期造山运动挤压、抬升、剥蚀与破坏,构造十分复杂,一些看似十分有利的局部构造实际上是受挤压抬升遭受剥蚀的寒武系,含油目的层石炭系早已遭剥蚀殆尽。x1、x2 井和 bch2 井相距最远也不过十多公里,但地层截然不同;bch2 井钻遇千米厚石炭系,羊虎沟组、靖远组、臭牛沟组等生油层完整;而 x1 井石炭系上部的羊虎沟组已剥蚀殆尽,只有靖远组和臭牛沟组;与 x1 井相距咫尺的 x2 井,石炭系则全遭剥蚀。由此可见锡林凹陷石炭系分布十分复杂。

二、资料采集与岩石物性分析

为了确定布置参数井 x2 井,河南石油勘探局曾布置了两条过 x1、x2 井和过 bch2 井的二维地震剖面。1:5 万高精度重力测量采用拉科斯特重力仪(LoCosete—Romberg D 型),总观测精度为 ± 16.7

$\times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。还收集和测定了 x2 井取心段岩样标本的密度和波速,结合 x1 井、bch2 井测井资料获得如下结论:石炭系与下伏的寒武—奥陶系存在约 0.2 g/cm^3 的密度差,它们之间可以形成明显的密度界面和波阻抗界面,而寒武系与奥陶系之间没有明显的密度差异,因此,利用高精度重力、二维地震勘探资料的联合反演可以确定石炭系的分布。

三、重力、地震联合反演方法

联合反演是两类不同的观测数据相对加权的最小二乘反演。设 G 为由 m_g 个数据组成的重力观测值, S 为 m_s 个地震旅行时数据, G^f 为模型正演重力值, S^f 为正演地震数据,还设反演模型由 N 个界面构成,速度和密度有共同的分界面。由最小二乘原理,重力、地震联合反演可表示为:

$$W_G^2 \| G - G^f \|^2 + W_S^2 \| S - S^f \|^2 \leq \epsilon \quad (1)$$

式中: W_G 、 W_S 分别为相对加权矩阵。

对数据作归一化,根据非线性问题的广义线性反演理论,在给定初始模型 m° 附近作线性展开,变为迭代求解线性反问题:

$$\begin{bmatrix} W_G & A^G & 0 \\ 0 & W_S & A^S \end{bmatrix} X = \begin{bmatrix} W_G & B^G \\ W_S & B^S \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: X 为模型参数修改向量; A^G 和 A^S 分别为模型

作者简介:刘天佑,1945年生,教授,博士生导师;现从事地球物理教学与科研工作。地址:(430074)湖北省武汉市鲁磨路388号中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院。电话:(027)87481452。E-mail:liuty@cug.edu.cn

响应对参数的偏导数矩阵; B^G 和 B^S 分别为重力残差向量和地震残差向量。

四、x5、x6 线剖面资料联合反演

根据上述联合反演方法,对 x5 线、x6 线进行了联合反演,x5 线的反演结果如图 1 所示。重力剖面长 50 km,地震剖面长近 36 km,地震剖面在重力剖面上的位置是 1021~37021 重力点号之间,但重力剖面西端 1021~4000 共 2.979 km 没有施工,因此重震测线西端重叠点是 40389 桩号(4649CDP 号和 4000 重力号),如图 1 所示。由图 1 可以看出,剩余重力异常曲线上 13000~30000 重力点是局部重力高,它对应着寒武—奥陶系隆起部分,其中 x2 井于井深 1900 m 钻遇寒武系。47500 重力点号附近对应着山前断阶。在重力剖面的西段,即 4000~20000 重力号,根据地震推断结果反演的重力异常与实测的剩余重力异常对应很好;在 x2 井附近,12000~20000 重力点号对应着寒武系的局部高隆起带,其两侧为断层所控制。在 20000~30000 重力点号,剩余重力异常仍然是局部重力高,它应当是高密度地层上隆的反映,在本区白垩纪—侏罗纪地层密度为 $2.45\sim 2.55\text{ g/cm}^3$,上古生代地层密度代相差为 $0.18\sim 0.19\text{ g/cm}^3$,推测该局部高密度地层断隆是奥陶与寒武纪。而 40000~46000 点号的山前断阶,推测还有石炭系分布。按此联合反演所建立的地质剖面,在锡 2 井以东的锡林凹陷,石炭系大多已剥蚀殆尽,只有山前断阶还有石炭系。该结论在平面图上与地震构造、重力剩余异常联合解释的结果一致(图 2)。重力与地震联合反演的结果纠正了单一依靠地震资料把寒武、奥陶系的断隆当作生油目的层石炭系的错误解释。

剩余重力异常的等值线,而阴影部分为根据重震联合反演划出的石炭系分布范围。剩余重力异常值小于 $(-2\sim -4)\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$ 范围的大致反映石炭系的分布,而大于 $(-4\sim -2)\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$ 。则是寒武—奥陶系的分布,北东向的锡林高勒断层控制了石炭系的分布,凹陷西部石炭系保留完好,而东部则大部分遭剥蚀。Beh2、x1 井都打在锡林高勒断层的西侧,而 x2 井却打在锡林高勒断层的东侧。对比地震资料重新解释的结果(地震资料解释的石炭系反射层构造图,河南石油勘探开发研究院,2000),两者锡林凹陷东部边界基本一致,不一致的地方是根据 x5 线高精度重力和地震资料联合反演,在阿左旗南北向断裂西为山前断阶,在断阶内还有石炭系分布,而地震资料没有覆盖到山前断阶。

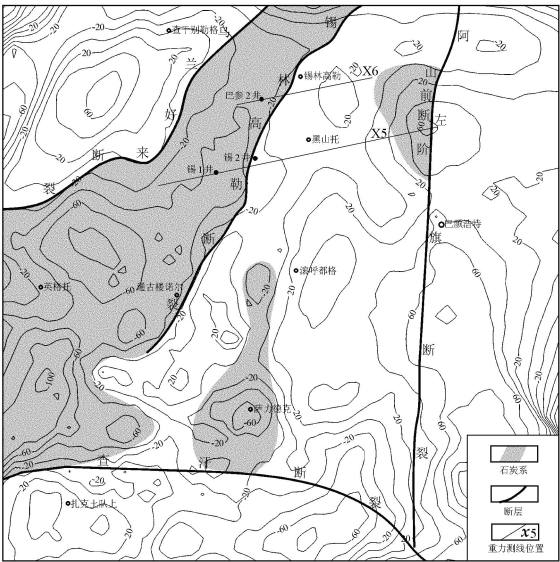


图 2 重力、地震联合反演确定石炭系分布

六、结 论

通过对高精度重力和地震资料的联合反演与综合解释,得出如下结论。

(1)锡林凹陷原推测广泛发育石炭系、中下侏罗统、下白垩统及新生界,曾认为它是盆地基底埋深较深、盖层层位齐全,展布规模较大的一个基底凹陷带。根据高精度重力与地震资料的联合反演认为,以北东向的锡林高勒断层为界,凹陷西部石炭系保留完好,而东部则大部分遭剥蚀。在锡林高勒断层以东,推测还有石炭系残留部分,另外,在南北向的阿左旗断裂西侧的山前断阶推测还有一定厚度的石炭系分布。这样,东部拗陷石炭系的分布范围缩小了将近一半的面积。

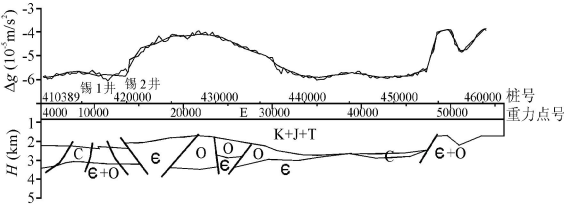


图 1 x5 线重力、地震联合反演结果

x6 线的解释结果类似,不再列出。

五、1:20 万重力平面资料联合反演

根据剖面重震联合反演的结果,利用小波多尺度分析方法提取了剩余重力场,图 2 中的等值线是

(2)形成于印支期的锡林高勒断层是锡林凹陷内规模最大的断层,它控制锡林凹陷内许多二级构造带的形成与发育,在断层上下盘形成若干牵引背斜和牵引向斜,如黑山托背斜带,但是由于该断层向北的较强烈逆冲,不仅使断层上盘遭受强烈剥蚀,形成了石炭系的大范围秃顶区,如扎克土—黑山托断隆带,而且使它的上盘古地形隆起很高,如扎克土寒武系已出露地表。因此,印支期的北东向逆断层,如锡林高勒断层及其它未命名的这类断层,是造成石炭系剥蚀的主要因素。

(3)地震勘探的理论与实践表明,由于深度增大,高频地震信号被吸收,在浅部的新老第三系高分辨反射地震能识别出17个标准层位,而在中生代(K,J,T)则能识别的标准层位则大大减少。因此,单一利用地震勘探资料作解释,有时会得出错误的结论,对于深部信息的识别提取应当采用综合地球物理方法,如采用高精度重力和地震资料的联合反演与综合解释等。

参 考 文 献

- 1 杨辉,戴世坤,宋海斌等.综合地球物理联合反演综述.地球物理学进展,2002;17(2):262~271
- 2 王家林,吴健生.中国典型含油气盆地综合地球物理研究.上海:同济大学出版社,1995
- 3 王一新,廉西京.重力与地震联合解释在石油勘探中的应用.石油物探,1983;22(3):34~41
- 4 Savino J M,Rodi W L,Masso J F.Simultaneous inversion of multiple geophysical data sets for earth structure .Presented at the 50th Ann Internat Mtg Soc Explor Geophys , 1980
- 5 Lines L,Schultz A K,Treitels .Cooperative inversion of geophysical data .In: Annual Meeting Abstracts .Society of Exploration Geophysicists ,1987 ;814—816
- 6 Lines L,Schultz A K,Treitels .Cooperative inversion of geophysical data .Geophysics ,1988 ;53(1):8—20
- 7 汪宏年等.层状介质中重力、地震联合反演的迭代算法.石油地球物理勘探,1993;28(2):153~165
- 8 冯锐等.地震—重力联合反演中的非块状一致性模型.地球物理学报,1993;36(4):463~475
- 9 Brian S *et al* .A report on the renaissance of gravity in the deep water Gulf of Mexico :A practical view of integration methods .In: Annual Meeting Abstracts .Society Of Exploration Geophysicists ,1998 ;515—517
- 10 朱介寿等.任意介质中的射线追踪方法.北京:地震出版社,1988;603~630
- 11 李媛媛.重震联合反演.中国地质大学(武汉)硕士论文,2003
- 12 (收稿日期 2005-03-07 编辑 韩晓渝)