

# 重力归一化总梯度法勘探浅层油气藏浅析

沈庆夏, 王志强, 李 瑞

(成都理工大学 信息工程学院, 成都 610059)

**摘 要:** 随着仪器采集精度的提高, 分析、反演解释技术的长足进步以及油气藏重力勘探的需要, 出现了重力归一化总梯度法。结合测井资料, 通过重力模型正反演计算, 得出高精度重力勘探浅层油气藏是可行的结论。重力归一化总梯度法自提出以来获得了不断的完善发展, 并在某气田的实践中被证明是勘探浅层油气藏的有效方法。

**关键词:** 重力归一化总梯度法; 浅层油气勘探; 地球物理勘探

**中图分类号:** P631.1; P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)01-0072-04

## 0 引言

地震方法以查明隐蔽构造为其技术特长。在能源需求与日俱增, 而未查明的构造油气藏日趋减少的背景下, 该方法正面临新的挑战, 迫切需要适合于各种地貌景观、简便易行、廉价有效的非地震油气勘探新技术。40年来, 尤其是近年来高精度重力仪的灵敏度与数据处理速度的日益提高, 分析和反演解释技术取得了长足进展, 这为重力归一化总梯度法勘探浅层油气藏提供了前提条件。

重力归一化总梯度法是由苏联的 B. M. 别列斯基(1967)首先提出的<sup>[1]</sup>。1981年, 肖一鸣向国内同行介绍了这一方法<sup>[2]</sup>, 后又综述了该方法在我国的应用情况<sup>[3]</sup>。重力法是利用地面上的实测高精度重力异常值确定地下场源分布的一种方法。即已知地面上的高精度重力值, 通过解析延拓、求导、计算断面内不同深度上的重力水平导数及垂向导数值, 进而求出重力归一化总梯度及总梯度相位, 并绘制出重力归一化总梯度断面图和相位曲线断面图, 然后联系实际进行地质解释, 确定场源的位置与分布。

## 1 高精度重力勘探直接找油的可行性分析

在重力勘探直接预测油气藏研究中, I. N. 米哈依诺夫通过分析所观测的重力异常值发现, 在含油

气区上方存在有  $0.1 \times 10^{-5} \sim 0.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$  的负异常。I. N. 米哈依诺夫通过多种资料研究分析后发现油气藏在重力场中呈现出下列规律:

(1)任何类型的油气藏都毫不例外地具有重力负异常的特征, 这种负异常的变化梯度较大。

(2)对于具有工业意义的单层油气藏而言, 它们产生的局部负异常的幅值(经各项改正后)可达到: 石油为  $0.05 \times 10^{-5} \sim 0.15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , 天然气为  $0.1 \times 10^{-5} \sim 0.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ; 对于多层油气藏而言, 其综合异常幅值可达到  $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$  或更高。

(3)对背斜构造油气藏, 当其含油构造孔隙仅占背斜构造的百分之几时, 油气藏所产生的微弱重力异常在构造重力背景上反映不出其局部负异常的特性。

上述规律对于多层位及多层油气藏也都适用。正是在这些经验性规律的基础上, I. N. 米哈依诺夫提出了高精度重力勘探直接预测油气藏的方法。随着技术的进步, 测量精度也有了显著的提高, 特别是近年来 GPS 定位精度的提高, 从以前的数十厘米提高到数厘米, 这为重力异常总精度的提高起到了非常大促进作用。现阶段精细重力勘探的异常总精度可以达到  $0.005 \times 10^{-5} \sim 0.030 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ , 满足了重力归一化总梯度法对重力勘探精度的要求。由于充满油气的多孔储集层与其围岩之间的负密度差可达  $0.2 \sim 0.6 \text{ g/cm}^3$ , 油气储集层能够引起明显的重力负异常<sup>[4]</sup>, 因而重力归一化总梯度法可以勘探浅层油气藏。

收稿日期: 2009-10-16; 改回日期: 2009-12-11

作者简介: 沈庆夏(1982-), 男, 福建福州人, 硕士研究生, 成都理工大学 2007 级固体地球物理学专业毕业。

现选择某已知气田,结合位于气田的 2 口气井的测井资料,对高精度重力勘探浅层油气藏的可行性进行模型研究。

### 1.1 测井资料分析

气井 1 声波换算密度资料(图 1)显示,在 600~800 m 的主要产气层段存在明显的密度降低;同样,气井 2 在 806~813 m 的主产气段声波时差曲线(图 2)增高明显(密度与声波时差反相关: $\rho=0.31(10^6/T)^{1/4}$ ),相应的密度降低明显。说明由于地层含气会造成同一套地层的密度降低。

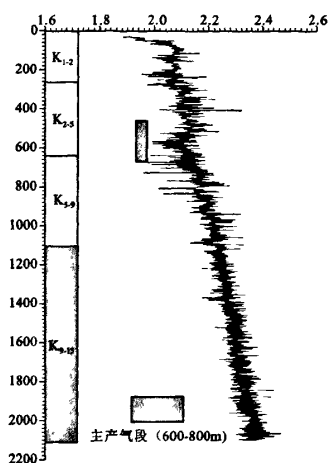


图 1 气井 1 的声波转密度曲线

Fig. 1 The sound wave-transformed curve of gas well

### 1.2 实测资料

通过对气田的重力资料处理,发现气田区存在着明显的重力负异常或严重的质量亏损。

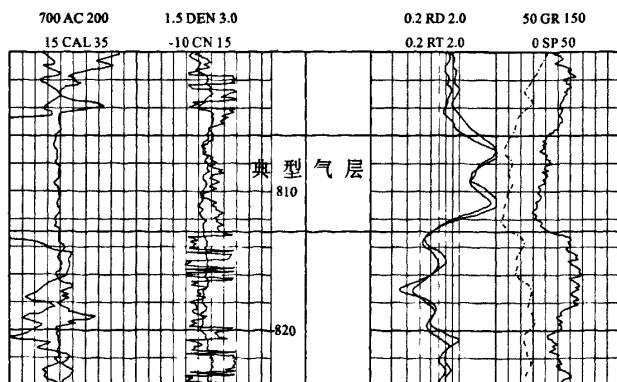


图 2 气井 2 在 806~813 m 的电性特征图

Fig. 2 Characteristics of electric property at 806-813 m in gas well

### 1.3 重力反演计算

通过对该气田某条测线的综合反演,如果假设气田区的重力低异常是由于储层含气引起的,气田区主产气层段地层密度比周围同一套地层密度低  $0.15 \text{ g/cm}^3$  左右,重力异常才能很好地拟合。

### 1.4 模型正演计算

模型(图 3):背斜隆起最大幅度 80 m,构造波动范围 700~1 800 m,气层宽度 1.6 km,气层累计厚度 110 m,气层与围岩密度差  $-0.15 \text{ g/cm}^3$ 。重力异常下拉幅度  $0.070 \text{ mgal}$  以上。远大于重力的勘探精度(重力的勘探精度为  $n \text{ mgal}$ )。

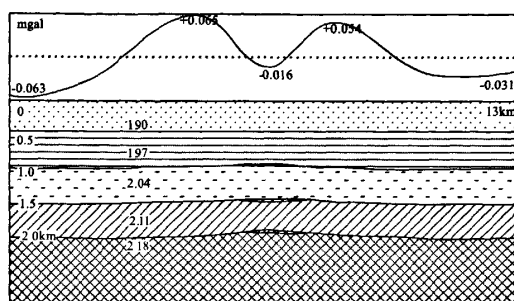


图 3 对模型的正演计算

Fig. 3 Forward modeling

### 1.5 理论计算

根据该气田分析,由于该区第四系储层以滨浅湖滩坝砂体为主,因而一般有分布较广、岩性偏细的特点;由于沉积水体的频繁进退,该区第四系储层又有单层厚度小、发育层数多的特点;由于处于早期成岩阶段,该区第四系储层还有结构疏松、原生孔隙发育的特点。压汞实验证实,不同岩类的孔隙结构差异较大,细砂岩、鲕粒砂岩和粗粉砂岩的平均孔隙度  $30\% \sim 35\%$ ,储层平均孔隙度  $25\% \sim 35\%$ ,平均渗透率  $10 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

该气田所产天然气为纯干气,相对密度  $0.55 \sim 0.56 \text{ g/cm}^3$ ,组分以甲烷为主,含量大都在  $99\%$  以上,仅少量乙烷、丙烷和氮气,不含硫化氢及其他气体。该气田地层水密度在  $1.06 \sim 1.13 \text{ g/cm}^3$  之间。

根据上述参数分析,选择地层水密度为  $1.1 \text{ g/cm}^3$ ,储层孔隙度为  $25\% \sim 30\%$ ,天然气密度为  $0.55 \text{ g/cm}^3$ ,计算的储层被水充填与被天然气充填所产生的密度差为  $0.1375 \sim 0.165 \text{ g/cm}^3$ ,与正反演结果基本吻合。

这说明浅部剩余重力低异常、浅层低密度分布应与储层含气关系较大,当然也有岩性、岩相变化等因素。

综上所述,该区浅层天然气藏具有明显的负重力异常,因此在该区进行高精度重力异常信息挖掘是可行的。

## 2 重力归一化总梯度法勘探浅层油气藏

重力归一化总梯度技术是以油气储集层的油气与水之间存在密度差,也就是含气构造的密度不均匀为物理地质基础。苏联的 B. M. 别列斯基把由于油气藏存在时引起的密度差归结为

$$\Delta\sigma = (\sigma_{\text{油}}(\rho) - \sigma_{\text{水}}) \cdot k_{\text{孔}} k_{\text{地}}$$

通过对含油气构造的研究,得到了含油气构造上重力归一化总梯度异常  $G_H$  值“两高一低”的识别标志,即 1 个  $G_H$  高值圈闭分裂为 2 个高值圈闭,并在中间形成 1 个低值圈闭,此时高值圈闭位于背斜翼部,低值圈闭接近于油气藏。

油气藏类型变化、地质一构造条件差异以及区域背景场的复杂性都会改变  $G_H$  值的基本特征,除了“两高一低”之外,还会出现“两高一拱”、“两高两低”等特征。

对背斜类油气田来讲,“两高一低”特征的出现主要与油水密度差、含油部分的体积、整个背斜的形态、规模、埋深等有关。当  $\Delta g_{\text{油}}/\Delta g_{\text{背}} < 1/10$  时,上述特征不明显,当此比值  $> 1/5$  时,特征比较明显。

根据重力归一化总梯度技术特点,应用最优化选择法及在微机上实现的人机会话正反演模拟法,可使重力反演问题得到较好的解决。油气藏本身引起的重力效应比起其赋存的构造及区域构造的异常要小很多,所以要

用重力异常反演求油气藏,必须从实测的叠加异常中分离出单纯由油气藏引起的微弱异常。勘探发现这一微弱的异常要求重力勘探仪器的精度足够高。本文重力原始资料由 CG-5 自动读数重力仪获得,该重力仪操作方便,实践观测精度为  $\pm 0.005 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,实现了高精度微重力勘探目的,满足了重力归一化总梯度法的需要。为了探测油气藏,可以把重力异常进行数学变换。应用异常变换求出的重力场中的一些奇点,能够反映场源体的一些特征点,如质量中心、角点等的位置。由于探测的目标是浅层构造中包含的较小油气藏,因此所采用的方法必须具备两个特点:其一是进行导数(梯度)变换以突出小地质体的重力异常;其二是通过向下向上延拓进一步突出深或浅层地质体的异常。

重力归一化总梯度定义为:

$$G_H(x, z) = \frac{G(x, z)}{G_{cp}(z)} \\ = \frac{\sqrt{V_{xx}^2(x, z) + V_{zz}^2(x, z)}}{\frac{1}{M_i} \sum_{i=0}^M \sqrt{V_{xx}^2(x_i, z_i) + V_{zz}^2(x_i, z_i)}}$$

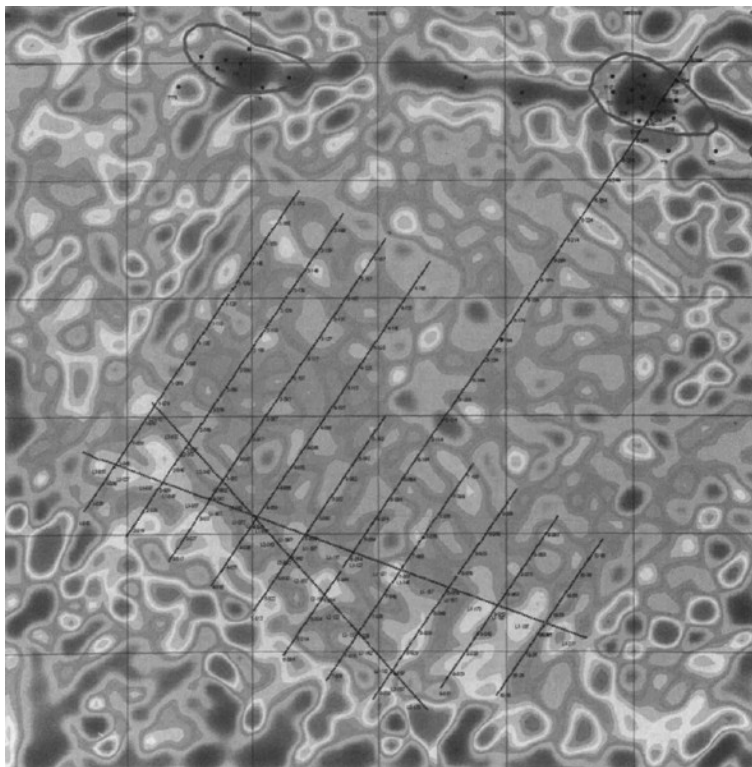


图 4 重力归一化总梯度图

Fig. 4 The normalized full gradient gravimetric map

式中,  $G_H(x, z)$  是在  $xOz$  断面内  $(x, z)$  点处的归一化总梯度值, 下标 H 是俄文归一化或规格化的第一个字母;  $V_{xx}(x, z)$ ,  $V_{xz}(x, z)$  分别为  $(x, z)$  点处  $\Delta g(Vz)$  的铅垂, 水平(沿  $x$  方向)的一次导数;  $G(x, z)$  为  $(x, z)$  点处重力异常总梯度;  $G_p(z)$  是深度  $z$  处水平线上总梯度的平均值。公式表明, “归一化”的含义是以总梯度  $G(x, z)$  值与平均值  $G_p(z)$  相除, 归一化总梯度是一个没有量纲的量。

置处的重力归一化总梯度具有非常明显的负异常特征, 而干井位置处则没有或非常微弱。这说明重力归一化总梯度法在勘探该区浅层油气藏是非常有效的方法, 同时有理由相信将该方法可以应用于其他浅层油气藏的勘探。随着更高精度的重力仪的出现以及重力归一化总梯度法的进一步完善发展, 重力归一化总梯度法勘探浅层油气藏必将获得更为广阔的空间。

### 3 重力归一化总梯度法勘探浅层油气藏应用效果

应用重力归一化总梯度技术, 对三湖地区进行重力归一化总梯度计算, 获得重力归一化总梯度图(图 4)。图中, 不同的颜色分别表示重力归一化总梯度负值异常由小到大。由于三湖地区天然气藏埋深都较浅, 且油(气)水密度差较大, 因而图中气田位

#### 参考文献:

- [1] 陈善. 重力勘探[M]. 北京:地质出版社, 1986:2-103.
- [2] 肖一鸣. 重力归一化总梯度法[J]. 石油地球物理勘探, 1981, (3):47-57.
- [3] 肖一鸣, 张林祥. 重力归一化总梯度法在寻找油气中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 1984, (3):247-254.
- [4] 奎奥 D, 普里托 D(曾华霖译). 重力勘探应用[M]. 北京:石油工业出版社, 1985:77-117.

## SIMPLE ANALYSIS OF THE NORMALIZED FULL GRADIENT OF GRAVITY ANOMALY IN THE EXPLORATION OF SHALLOW RESERVOIR

SHEN Qing-xia, WANG Zhi-qiang, LI Rui

(Information Engineering College of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** With improvement of the instrument data acquisition accuracy, considerable progress of the analysis, inversion interpretation technology and the need for gravity exploration of oil and gas reservoirs, the normalized full gradient method of gravity anomaly appears. Combined with logging data, the conclusion is made that it is feasible to conduct high-precision gravity exploration of shallow oil or gas reservoirs through the gravity modeling and inverse calculations. The normalized full gradient method has been perfected and in the exploring of a shallow oil or gas reservoirs it has proved an effective exploration method.

**Key Words:** normalized full gradient of gravity anomaly; shallow oil and gas exploration; geophysical prospecting