

高精度重力探测油气藏的可能性

袁业培*

金文丽

金 红

(河南石油勘探局研究院)

摘 要

袁业培,金文丽,金红. 高精度重力探测油气藏的可能性. 石油地球物理勘探, 1995, 30(1): 139~144

在国外已经正式发表了多种类型油气田与重力负效应相对应的实例。重力理论研究表明:岩石中饱和石油和水之间的密度差可达 $-0.3 \times 10^3 \sim -0.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; 饱含油气储集层与其围岩之间的密度差为 $-0.6 \times 10^3 \sim -0.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。据此,采用高精度重力观测,有可能发现重力负效应对应的油气藏。文中列举了泌阳凹陷下二门油田和安棚油田两个地区进行高精度重力观测的实例。通过重力定量解释,进一步证实下二门油田与重力负效应相对应,而安棚油田由于油层少而薄,埋藏又比较深,所获得的重力负效应极小值要远大于该区油气藏的理论值。这种差异,有可能指示新的低密度体存在。

主题词 高精度 重力勘探 负效应 油气探测 定量解释

ABSTRACT

Yuan Yepai, Jin Wenli and Jin Hong. Possibility of hydrocarbon accumulation discovery using high-accurate gravimetric survey. *OGP*, 1995, 30(1): 139~144

Foreign geophysicists have offered some examples of various oil and gas fields which are related to negative gravity effect. Theoretical gravity research shows that the density difference between saturated oil and water in rock may be $-0.3 \times 10^3 \sim -0.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, and that the density difference between hydrocarbon reservoir and country rock may be $-0.6 \times 10^3 \sim -0.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Hence, the high-accurate gravimetric survey may lead to the discovery of the hydrocarbon accumulations which are related to negative gravity effect. Two examples are given of performing high-accurate gravimetric survey in Xiaermen and Anpeng oil-field areas in Miyang depression. The quantitative gravimetric data interpretation confirms that Xiaermen oil field coincides with negative gravity effect while the minimum negative gravity effect observed in Anpeng oil field is much higher than the theoretical value corresponding to the oil reservoir because the oil reservoir is small, thin and deep. Such deviation indicates that there may be other low density bodies in the area.

Subject heading: high accuracy, gravimetric survey, negative effect, hydrocarbon

* Yuan Yepai, Exploration & Development Institute, Henan Bureau of Petroleum Exploration, Nanyang City, Henan Province, Postcode: 473132

本文于1994年3月10日收到。

引言

早在 20 世纪 30 年代,在美国南加利福尼亚和前苏联阿塞拜疆南塔吉斯坦的某些产油背斜上发现了重力极小值(即相对重力负异常),但在一个相当长的时期内人们对这些重力极小值的地质解释基本上是各抒己见,认识不统一。到了 60 年代后期,T. H. 麦克拉赫^[1]对不同类型的油气藏所引起的相对重力负异常(称为重力负效应)进行了较为详细的研究,认为大多数油气藏都可以引起重力负效应,特别是当油气藏规模较大、埋藏较浅时更是如此,而与油气藏的圈闭类型无关。这一观点受到愈来愈多的地球物理学家的关注和支持。麦克拉赫还给出了桑塔·菲·斯普林斯油田引起的重力负效应实例(仅展示了其布格重力异常的平面形态,而未把油气藏的重力负效应从背景场中分离出来)。K. K. 沙波什尼科夫等已对前苏联西西伯利亚的阿甘地区和乌列戈列—塔尔科萨林地区进行了研究,结果表明:大多数油气田都和重力极小值的范围相一致。但是,在其研究成果图上他们只给出了重力极小值的范围,而并未给出与油气田有关的相对重力负异常的形态。M. A. Каршенбаум 等的研究结果^[2]虽然给出了 Фонтановская、南锡瓦什、Волоховская、Коробочкинская、萨哈林等九个油气田引起的重力极小值的剖面异常形态,由于没有标明纵横比例尺,看起来好象只是示意图,但已定性地说明油气田可导致重力负异常的产生。

在国外已经正式发表的各种类型油气田所引起的重力负效应实例当中,尽管还存在着这样或那样的不足之处,但它们毕竟是此方面的研究实例。而在国内此方面的研究甚少,这反映了我国在该研究领域内所处的滞后状态。

基本原理

根据前人实验室内岩石样品的测定结果,天然状态下岩石的密度可以用下式表示

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \Phi$$

式中: σ 为天然状态下充满流体的地下岩石的密度; σ_1 为孔隙岩石骨架(不含流体时)的有效密度; σ_2 为天然条件下孔隙中所含流体(一种或多种流体)的平均密度; Φ 为岩石的总孔隙率。

由上式可知,对于地下某一深处的某种孔隙岩石来说,当其 σ_1 和 Φ 一定时,天然状态下充满流体的岩石密度 σ 只随着孔隙中所含流体的密度变化而变化。显然,在相同的温度、压力条件下,石油的密度比水的密度小,天然气的密度则更小。因此,充满油气的孔隙岩石的密度应比充满水的同一种岩石的密度要小,能够形成密度差。同样地,油气藏的密度比其围岩的密度一般要小很多,可以形成较大的负密度差。根据美国学者 T. H. 麦卡拉赫的研究结果^[1],充满石油的孔隙岩石与充满水的同一种岩石之间的负密度差可达 $-0.3 \times 10^3 \sim -0.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,充满油气储集层与其周围岩石之间的负密度差可达 $-0.6 \times 10^3 \sim -0.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。根据我们的研究,天然气藏与其围岩之间的负密度差可以达到 $-1.2 \times 10^3 \sim -0.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。因此,当油气藏的埋深不大时,便可产生明显的重力负效应。所以,使用高精度重力仪在地面上进行观测,经过计算处理,利用重力负效应来寻找油气藏是完全可能的。

所用重力资料及其质量

泌阳凹陷的高精度重力测量是由中国地质大学(武汉)应用地球物理系吴蓉元等和地矿部第二综合物探大队于1989年完成的。开工前对所使用的两台Lacoste-Romberg D型重力仪进行了格值标定、静态观测及动态试验。两台重力仪动态观测的均方误差分别为 $\pm 3.1 \mu\text{Gal}$ 和 $\pm 4.3 \mu\text{Gal}$,二者一致性的均方误差为 $\pm 3.5 \mu\text{Gal}$ 。野外观测质量检查结果表明:生产中实际的重力观测均方误差为 $\pm 6.3 \mu\text{Gal}$;固体潮校正的均方误差小于 $\pm 0.1 \mu\text{Gal}$;纬度校正的均方误差为 $\pm 3.5 \mu\text{Gal}$;布格校正的均方误差为 $\pm 5.5 \mu\text{Gal}$;地形校正的最大半径为10 000 m,近、中、远区地形校正的总均方误差为 $\pm 11.87 \mu\text{Gal}$;面积重力测量的布格重力异常的总精度为 $\pm 15 \mu\text{Gal}$ ^[3];剖面重力测量的布格重力异常精度为 $\pm 25 \mu\text{Gal}$ 。可见,泌阳凹陷高精度重力测量的原始资料质量是比较好的,可以用来进行油气藏的重力负效应研究及其正反演解释。

应 用 实 例

下二门油田油气藏重力异常实例

下二门油田位于泌阳凹陷的东部边界断裂附近,属于构造圈闭油气藏。其油气层主要是下第三系核桃园组核二段的砂岩储集层。地质储量为数千万吨,属中型油气田。具有油层较多、厚度较大、埋藏较浅(重力剖面附近油气层埋藏深度在900~1 400 m),浅部有气层等特点。通过下二门油田重力剖面的布格重力异常,形态如图1的上部所示。从中不难看出,下二门油田所引起的重力负效应恰好叠加在由边界断裂所引起的重力梯级带上。若把边界断裂引起的重力异常视为区域场,通过适当的数据处理不难去掉区域背景场的影响,即可得到剩余异常,如图1的中部所示。该剩余异常被解释为下二门油田所引起的实测重力负效应。

根据下二门油田开发编制的有效层分层数据表,结合试油、试采资料绘制出与重力剖面相对应的油气藏地质剖面图。在此基础上设计出11个形状较为复杂的地质地球物理模型,如图1的下部所示,使用2.5度体 Δg 计算程序计算出上述模型的理论重力负效应。再用计算的理论值去拟合实测重力负效应值,若不符合、则进一步修改模型进行计算。如此反复进行正反演,直到理论重力负效应和实测重力负效应基本符合为止。下二门油田所引起的重力负效应的定量解释结果如图1所示。笔者认为通过对下二门油田重力负效应的研究已经取得了一些进展:①从实测布格重力异常中识别并分离出了油气藏引起的重力负效应,而且用正规的作图比例尺将重力负效应十分精确地表示出来,从而对重力负效应有确切的概念;②一切从实际出发,尽可能准确地、仔细地研究了重力负效应的正反演问题,并通过定量解释,有力地论证了油气藏与重力负效应之间的内在联系。这里需补充说明一点,从图1可以看出,油气藏所引起的理论重力负效应与实测重力负效应曲线在两翼部分不完全吻合。诚然,欲使二者完全吻合也并非难事,但笔者认为保持目前的状态更好,这样可以多留一些真情,有待进一步思考。

安棚油田油气藏重力负异常实例

安棚油田位于泌阳凹陷安棚赵凹之间,是构造与岩性相配置形成的油气藏。其油气层主要分布在下第三系核桃园组核三上段。主要特点是油层少而薄、埋藏比较深(大于2 300m),为一

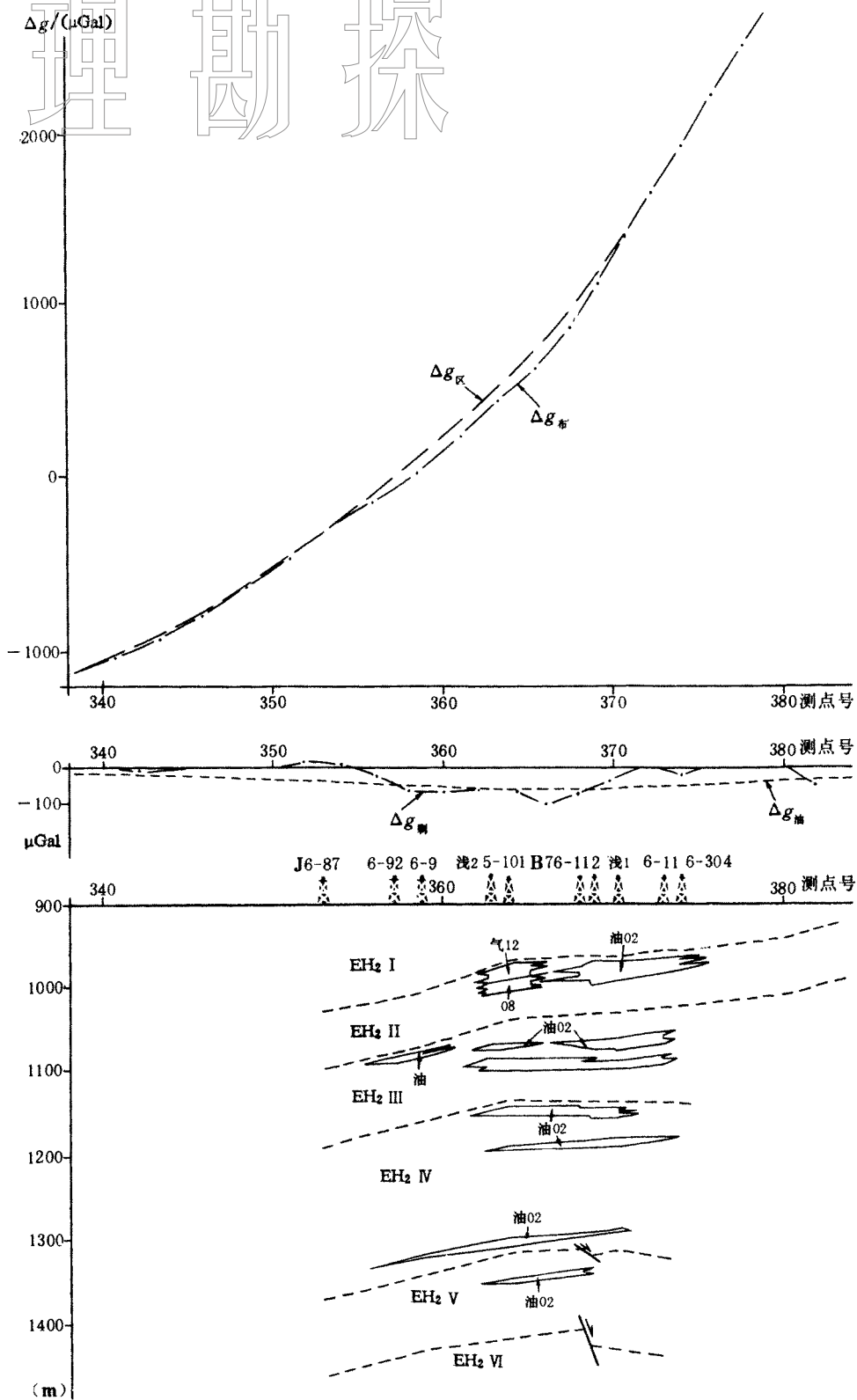


图1 下二门油田重力负效应定量解释剖面图

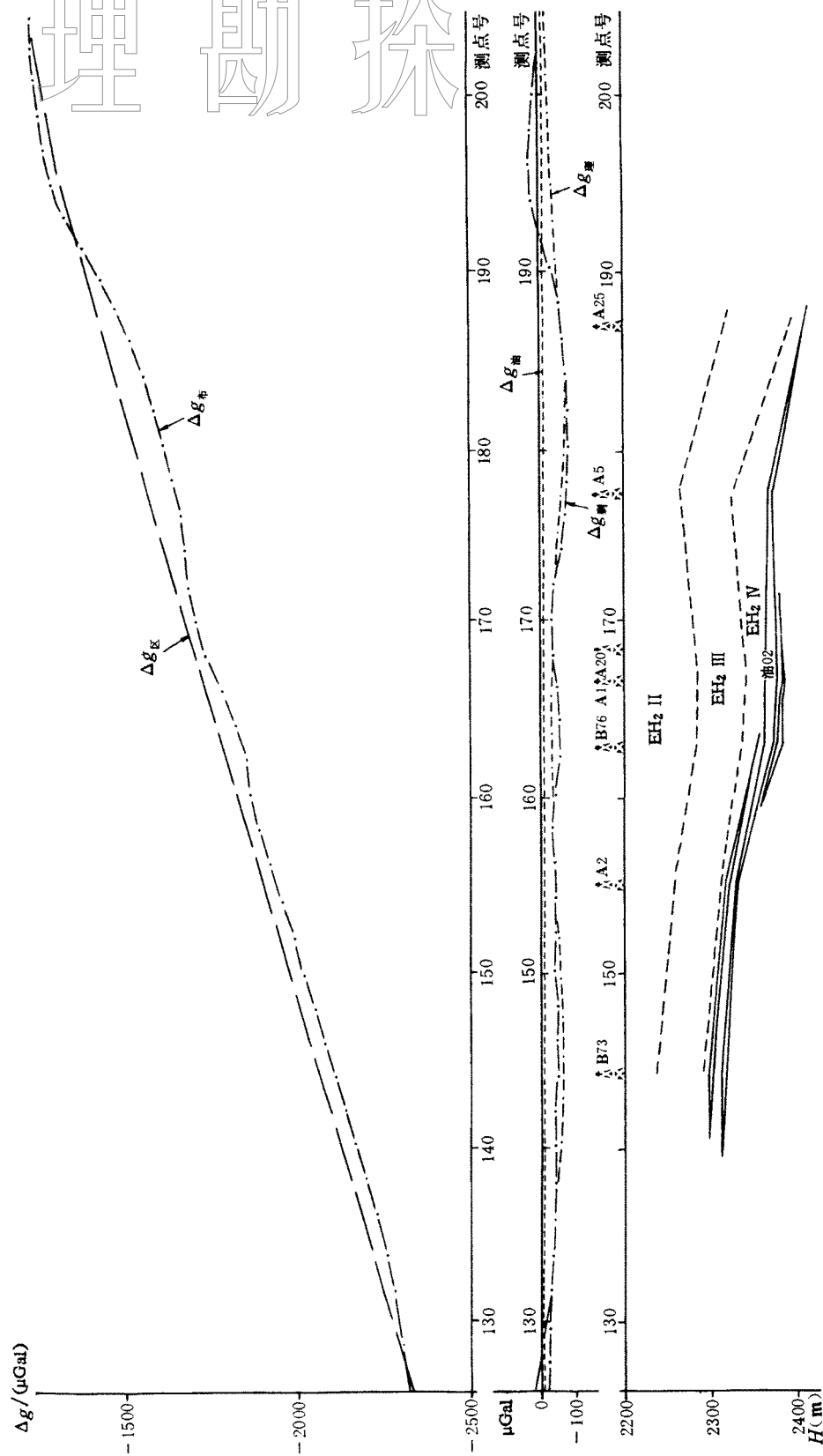


图 2 安棚油田重力负效应定量解释剖面图

个地质储量不多的小型油气田。现有重力剖面过安棚油田,其实测布格重力异常特征如图 2 上部所示,经过场的分离,所得到的剩余异常如图 2 中部所示。依据重力剖面附近的钻井资料和油田开发编制的有效层分层数据,结合试油、试采资料,绘制出油气藏地质剖面。在此基础上设计出安棚油田已知油气藏的地质地球物理模型,如图 2 下部所示。对模型进行正演所得油气藏的理论重力负效应如图 2 中部的虚线所示,其极小值仅有一 $10.6 \mu\text{Gal}$ 。显然,已知油气藏的理论重力负效应值远远小于实测的剩余重力异常值,这表明在安棚油田已知油气藏的上部可能还存在着低密度场源体。于是又在点号为 144 和 182 处下面适当的深度分别设计了两个的和三个等效的低密度体(由于比例尺的关系图 2 中未表示出来),计算出它们的理论重力异常值,再加上已知油气藏的理论重力负效应值,如图 2 中部标有“ $\Delta g_{\text{理}}$ ”的曲线所示。不难看出, $\Delta g_{\text{理}}$ 和 $\Delta g_{\text{剩}}$ 两条重力异常曲线基本吻合。通过正反演解释认识到浅部低密度场源体可能是天然气的储集场所。当然,这是我们所希望的,也是定量解释的目的所在,有待于钻探进一步验证。

结 论

联系泌阳凹陷的实际资料,对不同类型的油气藏所产生的重力负效应进行了深入地研究,经过足够数量的正反演解释,得出如下有意义的结论:①泌阳凹陷双河油田的地质储量接近于大型油田,油层多、厚度大、埋藏浅,能够产生极小值为 $-257 \mu\text{Gal}$ 的理论重力负效应,所以,如果应用重力勘探(重力异常精度为 $\pm 25 \mu\text{Gal}$)来发现类似双河油田这样的大型油气田,应该说是很有可能的;②泌阳凹陷下二门油田按地质储量属于中型油气田,因油层较多、厚度较大、埋藏较浅、上部又有气层,故可以产生 $-70 \mu\text{Gal}$ 以上的重力负效应。鉴于重力剖面的实测布格重力异常精度为 $\pm 25 \mu\text{Gal}$,所以,利用这样的高精度重力资料发现类似于下二门油田这样的中型油气田也是有可能的;③泌阳凹陷安棚油田的地质储量属小型油气田,油层少而薄、且埋藏较深,理论计算结果表明:安棚油田已知的油气藏仅能产生 $-10.6 \mu\text{Gal}$ 的重力负效应。毋庸讳言,若想利用重力剖面上的高精度重力资料(异常精度为 $\pm 25 \mu\text{Gal}$),分离重力剩余负异常,发现与安棚油田已知油气藏相类似的油气藏是不可能的。至此,本文从理论和实践上已经论述了根据重力负效应直接寻找油气藏的可能性和应用的局限性。

参 考 文 献

- 1 D 奎奥等著,曾华霖译. 重力勘探应用,石油工业出版社,1985
- 2 任翥等主编. 非地震物化探法油气勘探百例集,中国石油天然气总公司情报研究所,1991
- 3 吴蓉元等. 泌阳凹陷杨桥工区高精度重磁勘探的地质效果. 石油地球物理勘探,1991,26(6):754~765