从地壳密度结构看中国大陆深层油气盆地的分布

杨文采[1)],于常青[2)],杨午阳[3)]

1)浙江大学地球科学学院,杭州,310027;2)中国地质科学院地质研究所,北京,100037;
3)中石油勘探开发研究院西北分院,兰州,730020

内容提要:面对21世纪的中国能源问题,要研究深埋在5 km以下的古生代沉积盆地和潜在油气储层。由于结晶基底密度大、磁性较强,盆地沉积岩密度低而磁性弱,可用密度成像及磁性体顶面深度反演来确定深埋沉积盆地和潜在储层的分布范围。应用重力异常多尺度分析和密度成像方法,可以计算出反映中国深埋沉积盆地和潜在储层分布的密度扰动图,预测中国深埋盆地的分布。密度成像的低密度扰动区与磁性结晶基底顶面深度大的区域吻合,与反射地震剖面探测结果一致。通过密度扰动成像预测深埋沉积盆地主要分布在中国西部的塔里木、柴达木、四川、准噶尔和鄂尔多斯等盆地深层。东部岩石圈裂谷带也可形成深埋结晶基底裂隙型储层,分布在华北和东北下方。中国深埋沉积盆地和潜在储层的总面积可达地面沉积盆地面积的45%左右,估计陆上面积1600000 km^{2}左右,海域面积600000 km^{2}左右,具有广阔的天然气勘探前景。

关键词:深埋盆地;潜在储层;分布预测;中国;密度成像;多尺度分析;天然气勘探

解决21世纪人类社会高消耗生活方式与资源枯竭之间的矛盾是社会可持续发展的关键问题之一。我国主要沉积盆地在深度5 km以上大多数为中—新生代陆相沉积地层(戴金星等,2003;康玉柱,1997),多年来中国石油地质学家发展了陆相生油理论,成功地找到了大量陆相的油气田,取得了举世瞩目的成果,支撑了中国工业化的实现。面对21世纪社会可持续发展的能源问题,我们把目光聚焦在5 km以下深埋的古生代沉积盆地和潜在油气储层上。古生代深埋的油气沉积盆地面积有多大?都分布在什么地方?其中的油气前景如何?地理上的盆地只代表地表中—新生代沉积物地面上的分布范围,而不代表深埋的油气盆地和储层的分布范围。深层油气勘探首先要查明深埋的油气沉积盆地和储层分布范围,本文应用区域重力场小波变换多尺度反演方法(杨文采等,2015~2018),研究我国5大区深埋盆地和潜在储层分布,可为国家油气勘探和经济社会的持续发展决策提供依据。

就全球而言,在北美、欧洲和亚洲,古生代、元古宙的含烃沉积盆地广泛分布,有丰富的油气资源。由于中国大地构造演化的特殊性,中国的沉积盆地具有演化时间长和结构叠置的特点,石油工业界称之为叠合盆地,深埋海相沉积盆地多数在叠合盆地的下部和底部(金之钧等,2004;戴金星等,2003;李景明等,2008;宋岩等,2008;杨文采,2009;何登发等,2010)。中国深埋海相沉积盆地分布很广泛,在中国西部的四川、鄂尔多斯和塔里木,都发现了古生界、元古宇海相油气田,如四川威远气田(震旦系古风化壳型)、陕西靖边气田(奥陶系裂缝—溶洞型)等。在中国东部,古生界、元古宇潜山型海相油气田也有发现。东部中—新生代沉积盆地的下部也可能有深埋海相沉积盆地,深埋裂谷盆地底部或侧部结晶岩中还可能发育裂隙型油气潜在储层。在上一篇文章中(杨文采等,2016a),我们只报道了有关研究摘要和中国大陆深层油气盆地的分布图,并没有对研究结果进行具体分析。本文比较详细地分析了中国五大区的深层密度成像图,并与反射地震剖面进行了比较(杨文采,2009,2012),介绍了编制中国大陆深层油气盆地分布图的根据。

1 中国深埋海相沉积盆地的地质和地球物理特征

据统计,我国海相沉积总面积大于4550000 km^2,其中陆上海相盆地28个,面积3300000 km^2;

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41574111)的成果。
收稿日期:2018-07-15;改回日期:2018-09-29;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2018.06.001
作者简介:杨文采,男,1942年生,教授,博士生导师,中国科学院院士。主要从事固体地球物理学研究,1964年毕业于北京地质学院物探系,1984年在加拿大McGill大学取得博士学位,Email:yangwencai@cashq.ac.cn;yang007@zju.edu.cn。

海域海相盆地 22 个,面积 1250000 km^2。中国海相层系具有发育时代早(以早古生代、晚古生代地层为主)、埋藏深度大、演化程度高、成烃过程长、构造活动期次多的特点。在多期构造活动背景下,中国海相层系发育了优质烃源岩,储层以碳酸盐岩为主,受沉积环境和构造演化控制。研究表明,中国深层盆地有多种盖层发育,海相层系多期油气成藏,具有广阔的油气勘探前景(戴金星等,2003;李景明等,2008;宋岩等,2008;何登发等,2010)。

在表 1 中对比了常见沉积岩和结晶岩的密度,可见结晶岩石一般密度比沉积岩大、磁性较强。沉积岩中碎屑岩石密度远小于结晶岩石,而碳酸盐岩石密度一般比较大,与花岗岩相当(杨文采等,2005; 杨文采, 2009, 2012)。但是,花岗岩基一般出现在造山带中,而在沉积盆地少见,因此容易区分花岗岩基对应的异常。深埋海相沉积盆地的结晶基底的密度总体上大于上面的碳酸盐岩石,在地震剖面上大都有明显的反射波,就表明了这一点。在表 1 中也对比了沉积岩和结晶岩的磁性,结晶基底的磁性明显大于上面的沉积岩石。由于结晶基底密度大、磁性较强,盆地沉积岩密度低而磁性弱,可用密度成像及磁性体顶面深度反演来确定深埋海相沉积盆地和潜在储层的分布范围。

沉积地层水平面上的密度差异反映了盆地沉积岩层的岩性和地层结构上的横向不均匀性。沉积岩内部同一深度的平面上横向密度高低也有可能是地层起伏引起的。例如,塔里木盆地浅层为碎屑岩,深层为碳酸盐岩石,地层的隆起也可能造成同一平面上由岩性变化引起的密度差异。但是,在地层平坦岩性均一的条件下, 沉积岩中孔隙裂缝是影响密度扰动的最重要因素,孔隙裂缝是流体通道,可以造成明显的低密度扰动。

自从 1975 年以来,地质矿产部在中国开展了不同比例尺的高精度重力测量,因此可以用密度成像揭示深埋的沉积盆地和潜在储层分布范围。陆上 1∶100 万比例尺高精度重力测量大部分已经完成,许多地区开展了 1∶25 万比例尺高精度重力测量。在国土资源部等有关单位的大力协助下, 我们汇编了各种比例尺的高精度重力测量数据。由于测量是在不同时间、不同仪器和不同精度要求下进行的, 对布格重力异常数据的舍取与同化处理是必不可少的。根据《重力测量规范》"五统一"的要求对全区重力数据进行了整理与同化处理, 分西北、东北、华北、华南和青藏五大区统一作 1∶50 万比例尺的布格重力异常编图,取得布格重力异常方差不超过 1 mgal。所得数据用于五大区地壳密度扰动成像,本文采用的重力测量数据均来源于此。下面,将简单介绍深埋沉积盆地和潜在的储层分布的密度成像方法。

2 重力异常多尺度分析和密度成像方法

由于重力场包含不同深度场源引力作用的叠加,直接用地表高精度重力观测资料研究沉积盆地密度结构非常困难。沉积盆地密度结构可表为不同深度水平面上的密度横向不均匀性,而不同深度场源引起的重力场的尺度有所区别。多年来,我们研究重力场的二维离散小波变换多尺度分析方法、并集成功率谱分析和广义线性密度反演三项方法,以描述地壳的密度结构,这种新方法称为多尺度密度反演方法。

多尺度密度反演方法根据布格重力异常确定地下密度结构,归纳起来主要包括三大步骤(杨文采,2015; Yang Wencai et al., 2016):

(1)用小波变换进行异常分解,即从布格重力异常中划分出对应于不同埋藏深度的等效层异常。小波变换是重力异常多尺度分析的重要工具, 二维离散小波变换的原理和应用已在前文作过介绍(侯遵泽等, 1997,1998,2011,2012;杨文采等,2001)。对重力异常作多重分解, 我们应用 Mallat 塔式算法(Mallat, 1989), 构造出专门的小波基。

(2)根据布格重力异常的功率谱特征(杨文采等, 1978; 杨文采, 1985, 1986, 1987, 1997), 决定

表 1 常见沉积岩和结晶岩密度磁性对比表

Table 1 Comparison of density and magnetic property between common sedimentary and crystalline rocks

岩石类型	岩石	常见密度	磁性	注: 密度变化
沉积岩	低孔砂岩	2.4~2.7	微弱	取决于孔隙度
	粉沙岩	2.4	微弱	
	泥岩	2.0~2.6	微弱	取决于孔隙度
	页岩	2.5~2.7	微弱	取决于孔隙度
	凝灰岩	2.4~2.6	微弱	取决于孔隙度
	石灰岩	2.6~2.75	微弱	取决于裂隙
	白云岩	2.65~2.8	微弱	取决于裂隙
结晶岩	花岗岩/片麻岩	2.7~2.8	弱—中	
	玄武岩	2.8	强	
	辉长岩	3.03	强	

重力异常分解成几个层次,也用平均功率谱计算出各等效层异常源的埋藏深度。重力场功率谱斜率都正比于场源埋藏深度。因此,由功率谱斜率可以计算出小波细节对应的场源深度,使小波分析结果有对应的平均埋藏深度概念。

(3)得到分解的各等效层重力异常集和异常源的埋藏深度后,用广义线性反演方法求取引起它的各等效层密度扰动(杨文采,1987,1997)。

我们将小波变换多尺度分析和密度反演方法应用于塔里木盆地、华北、南岭等多地区重力异常的分解和盆地三维密度结构研究(杨文采等,2001,2015a,2016c;杨文采,2016a,b;侯遵泽等,2011,2014),方法技术日趋完善,显示了其在区域地球物理研究中应用的诸多优点。本文又应用于中国五大区地壳密度成像,方法技术没有改变。研究结果可用于区域地壳上地幔属性和结构研究,结合地质地球化学成果揭示区域地壳上地幔的演化规律。由于本文只讨论密度成像揭示深埋沉积盆地和潜在的储层分布,因此只讨论 4.5~10 km 深度等效层异常源密度扰动成像的研究结果。

3　分区等效层异常源密度成像结果

3.1　西北区

西北区中心深度 8.8 km 等效层密度扰动图示于图 1a。由图可见,很强的低密度扰动区主要反映造山带内的花岗岩基。不强的低密度扰动区主要反映盆地深层,主要有塔里木盆地(图中记为 Tm)下方,柴达木盆地(Qd)下方,准噶尔盆地(Jr)下方和吐哈盆地(TH)下方。塔里木盆地深层包括满加尔和塔西南两个坳陷,低密度扰动与孔隙裂缝发育有关,古生代碳酸盐岩孔隙裂缝发育使密度降低(杨文采等,2015b—d)。对比地震剖面和钻井剖面可知,不同深度水平面上的密度横向不均匀性与古流体活动带平面分布范围有关,对油气勘查有指导意义。密度成像结果与航遥中心的深埋沉积盆地分布研究成果吻合。图 1b 为新疆区磁性结晶基底顶面

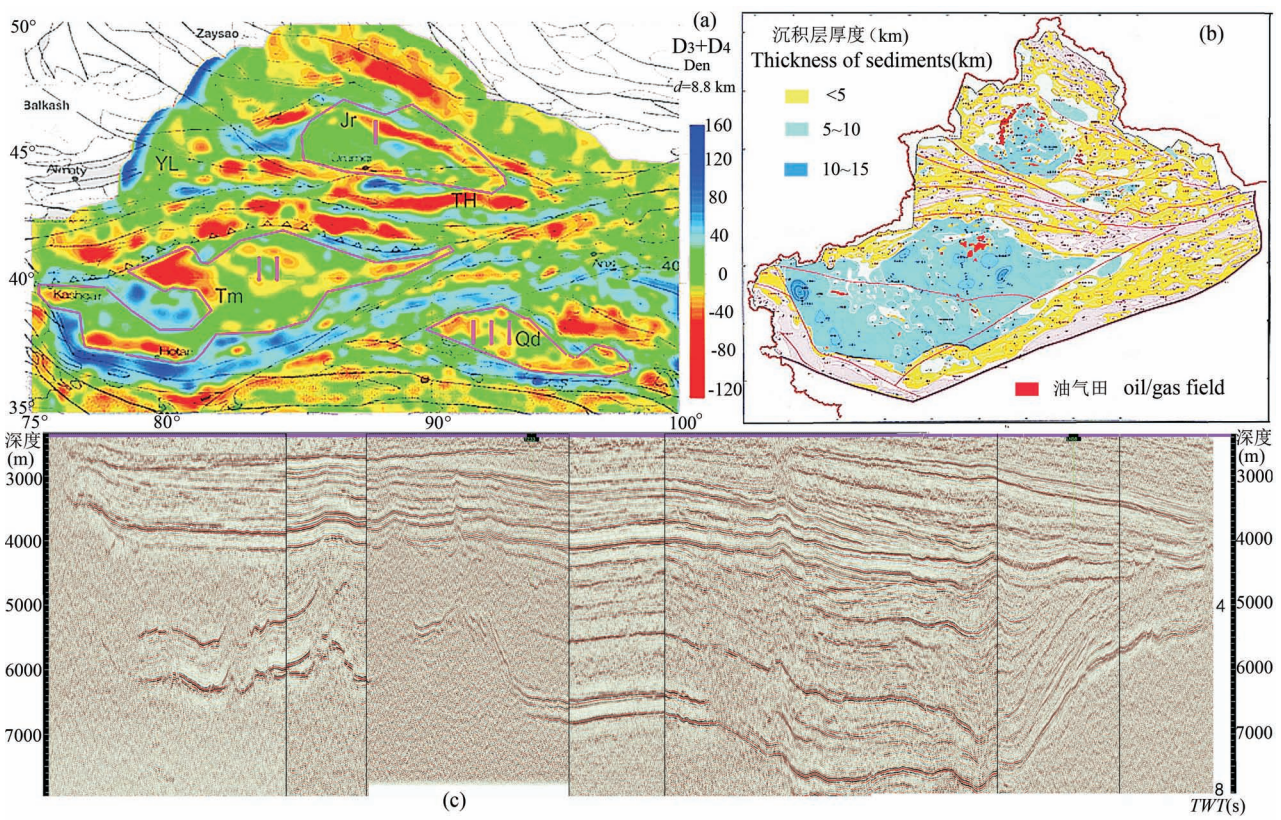


图 1(a)西北区中心深度 8.8 km 等效层密度扰动,色标单位为 0.01 g/cm^3;(b)新疆区磁性结晶基底顶面深度平面图(引自中国地质调查局航遥中心报告);(c)一条穿过塔里木盆地中央的反射地震剖面

Fig. 1 (a) Density disturbance image of the equivalent layer at depth 8.8 km, Northwest region of China, unit in the color scale is 0.01 g/cm^3; (b) top-depth contour map of the crystalline basement, Xingjiang area; (c) a reflection seismic profile across Tarim basin

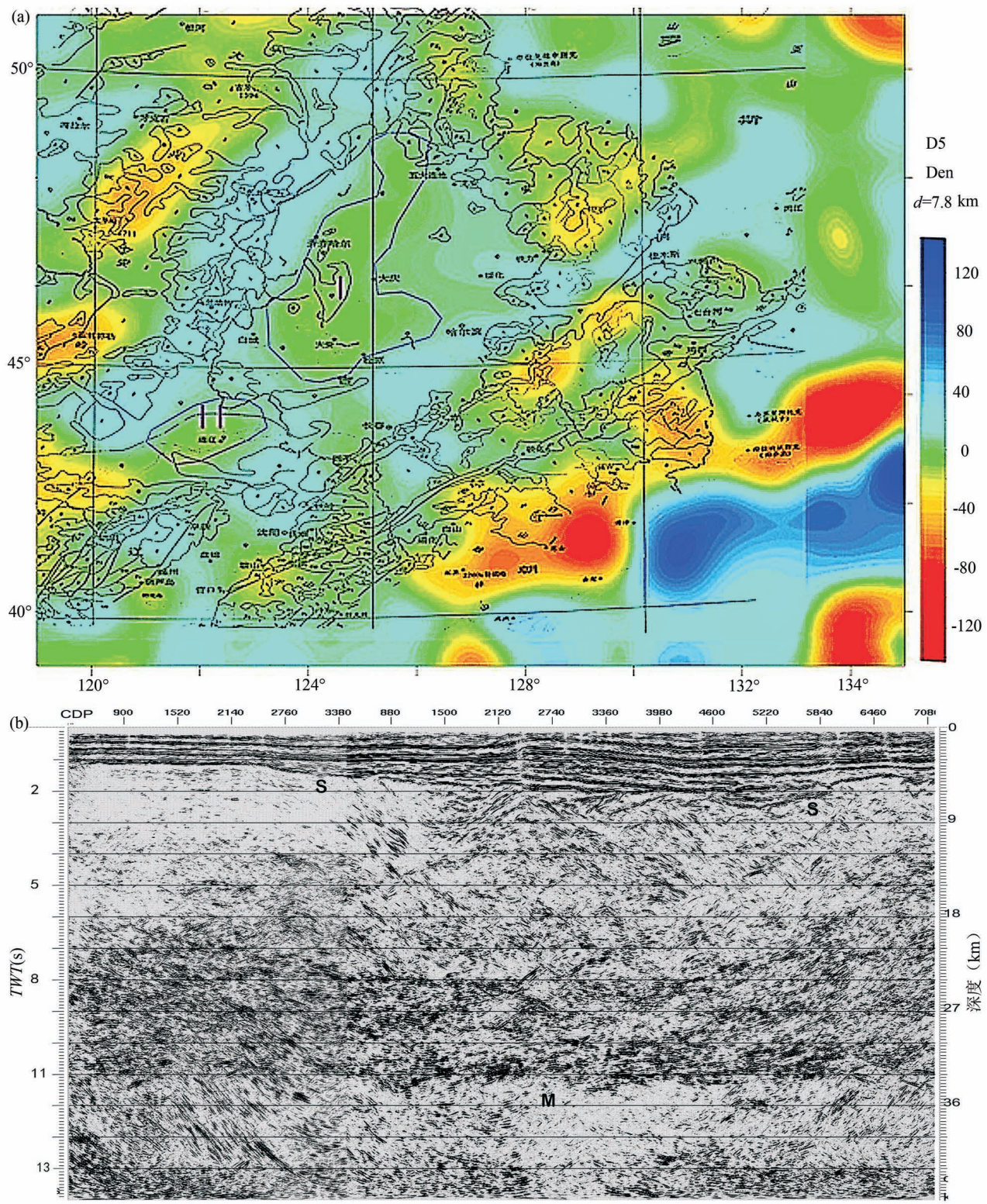


图 2（a）东北区中心深度 7.8 km 等效层密度扰动，色标单位为 0.01 g/cm^3；（b）一条穿过双辽盆地中央的反射地震剖面。字母“M”标记 Moho 面，“S”标记中生代沉积层底面

Fig. 2 (a) Density disturbance image of the equivalent layer at depth 7.8 km, Northeast China, unit in the color scale is 0.01 g/cm^3; (b) a reflection seismic profile across the Shuangliao basin

深度平面图,它表示的深层沉积层分布与图 1a 的低密度扰动区的显示基本上吻合。此外,在低密度扰动区的反射地震剖面上(图 1c),结晶基底顶面深度范围与低密度扰动区也很吻合。

3.2　东北区

东北区中心深度 7.8 km 等效层密度扰动图示于图 2a,四周很强的低密度扰动区主要反映造山带内的花岗岩基。由图可见,低密度扰动区主要有 2

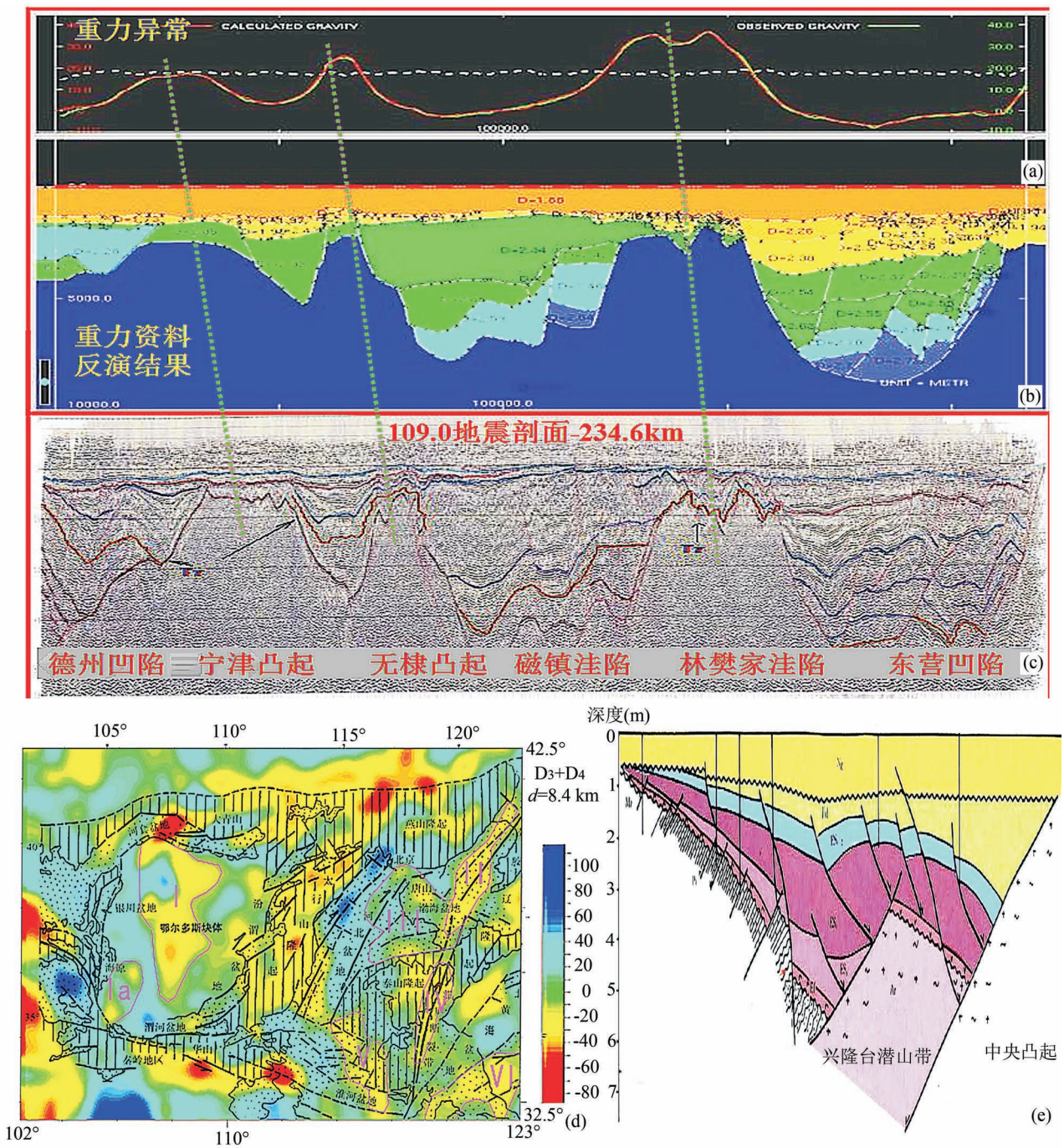


图 3 (a) 过华北裂谷带的一条重力剖面;(b) 由重力剖面反演取得的密度剖面;(c) 过华北裂谷带的一条反射地震剖面;(d) 华北区中心深度 8.4 km 等效层密度扰动,色标单位为 0.01 g/cm^3;(e) 过辽河裂谷带西部的一条地质剖面

Fig. 3 (a) A Bouguer gravity profile across the western Liaohe basin; (b) the density profile inversed from the gravity data shown in (a); (c) a reflection seismic profile across the western Liaohe basin; (d) density disturbance image of the equivalent layer at depth 8.4 km, North China, unit in the color scale is 0.01 g/cm^3; (e) a geolgical profile across the western Liaohe basin

个：松辽盆地下方(图中记为 I)和通辽下方(图中记为 II)，密度降低的幅度很小。图 2b 为一条穿过双辽盆地中央的反射地震剖面。字母“S”标记中生代沉积层底面。由此剖面可见，松辽盆地中生代沉积层底面下有深埋盆地分布的可能性不大。不过，白垩纪松辽盆地的早期裂谷作用也有可能在结晶基底内形成潜在储层。

3.3 华北区

华北区中心深度 8.4 km 等效层密度扰动图示于图 3(d)。由图可见，低密度扰动区主要有 6 个：鄂尔多斯盆地下方(图中记为Ⅰ和Ⅰa)，下辽河断陷下方(Ⅱ)，环渤海盆地群下方(Ⅲ)，郯庐断裂带北段下方(Ⅳ)，南华北盆地群下方(Ⅴ)，苏北—南黄海盆地群下方(Ⅵ)。鄂尔多斯盆地下方深埋沉积盆地有两大块，中北部低密度扰动区(Ⅰ)和西南部低密度扰动区(Ⅰa)。反射地震表明靖边气田奥陶系裂缝—溶洞型油气储层和济阳盆地古生代潜在储层可下达 8~11 km。图 3 a 为过华北裂谷带的一条重力剖面；图 3b 是由此重力剖面反演取得的上地壳密度剖面；图 3c 为过华北裂谷带的一条反射地震剖面。由此剖面可见，华北盆地中生代沉积层底面下有深埋古生代盆地分布的可能性比较大，在东营坳陷深度可达 8~9 km。图 3(e) 为过辽河裂谷带西部的一条地质剖面，沉积盆地最深不超过 6 km。不过，有钻孔在结晶基底中打到了油气。裂谷带内结晶基底常发生破裂，由此华北东部的裂谷作用也有可能在结晶基底内形成潜在天然气储层。

3.4 华南区和陆架区

在图 4a 为华南 4.5 km 深度密度平面扰动图上，有 4 个深埋盆地或潜在储层：四川盆地和重庆下方(图中记为Ⅰ和Ⅱ)，江汉盆地下方(Ⅲ)，苏北—南黄海盆地下方(Ⅳ)。反射地震表明，四川盆地深埋沉积盆地深度在 6~13 km，富有天然气，典型例如深层威远震旦系古风化壳型气田。四川东北部也有大面积深埋沉积层，古生代潜在储层可达 8~11 km。

图 4a 的密度平面扰动图上有 3 个陆架区深埋盆地或潜在储层区，北部湾(Ⅳ)，南海北部(Ⅴ)和南黄海(Ⅵ)。南海北部新生界陆缘盆地分布面积很大，深层天然气资源丰富，尤其值得重视。

关于青藏高原，羌塘盆地有较好的油气显示。但是，从新近的地震勘探结果看来，中生代沉积层底面下有大深埋盆地分布的可能性不太大。图 4b 是

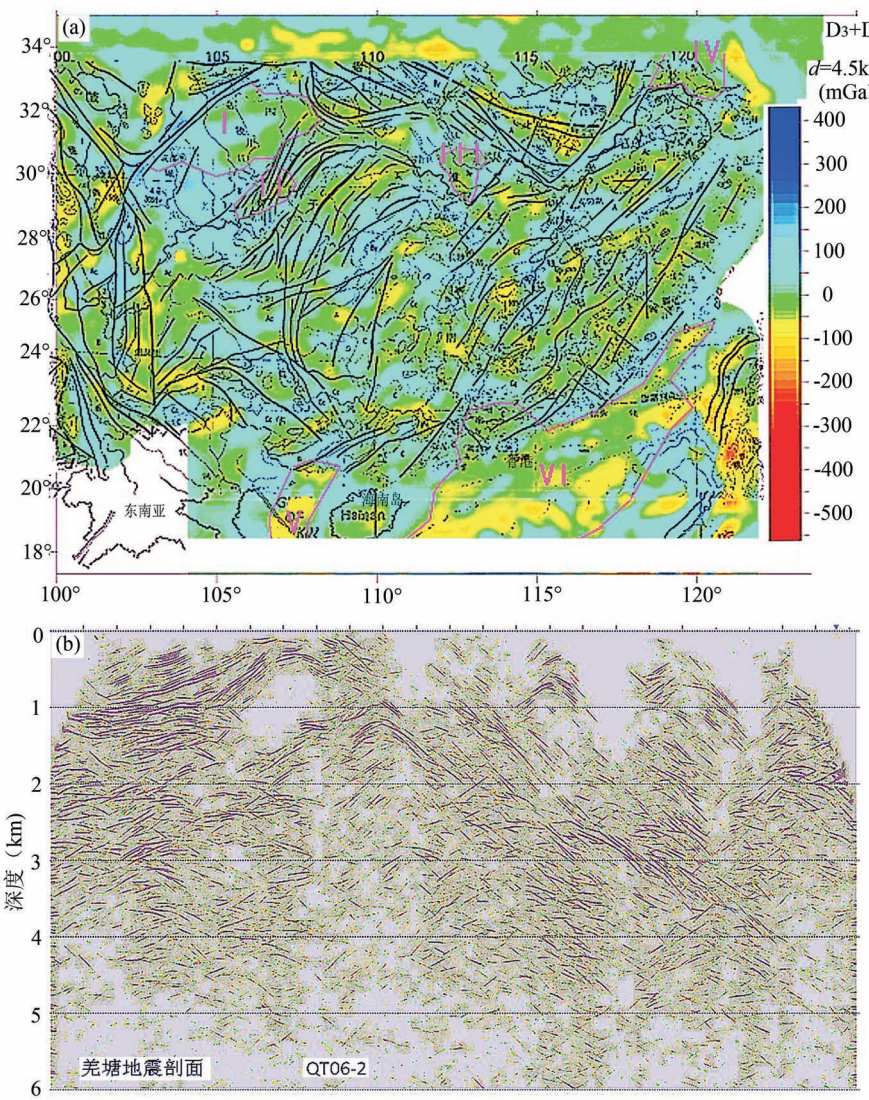


图 4 (a)华南区中心深度 4.5 km 等效层密度扰动，色标单位为 0.01 g/cm^3；(b) 一条穿过羌塘盆地中央的反射地震剖面

Fig. 4 (a) Density disturbance image of the equivalent layer at depth 4.5 km, South China, unit in the color scale is 0.01 g/cm^3; (b) a reflection seismic profile across Qiangtang Basin

一条穿过羌塘盆地中央的反射地震剖面。由此可见,羌塘盆地下面构造非常复杂,地层倾斜严重,表明盆地在成盆之后经历了强烈的构造运动,不利于油气的成藏和保存。现在青藏区的油气勘探刚进入浅层,深埋沉积盆地的资料太少,本文还不能深入讨论。

4　中国大陆深层油气盆地分布的预测

通过以上分区密度扰动成像可以得到中国大陆深层油气盆地分布图。综合图 1~5 的成像成果并结合已有油气勘探资料,得到了中国深埋沉积盆地和潜在储层的分布预测图,示如图 5。图的底图用地面沉积盆地图,用红色区域表示古生代深埋沉积盆地分布,用紫红色区域表示推测基岩中潜在储层区可能的分布。由图可见,深埋沉积盆地主要分布在西部塔里木,柴达木,四川,准噶尔和鄂尔多斯等盆地深层,面积可达地面沉积盆地面积的 55% 左右,含有多种类型的油气储层和圈闭。东部岩石圈裂谷带可形成结晶基底裂隙型储层,分布在华北和东北下方,可含有多种类型的天然气储层。中国深埋沉积盆地和潜在储层的总面积可达地面沉积盆地面积的 45%左右,估计陆上面积 1600 000 km^{2}左右,海域面积 600 000 km^{2}左右,具有广阔的天然气勘探前景。

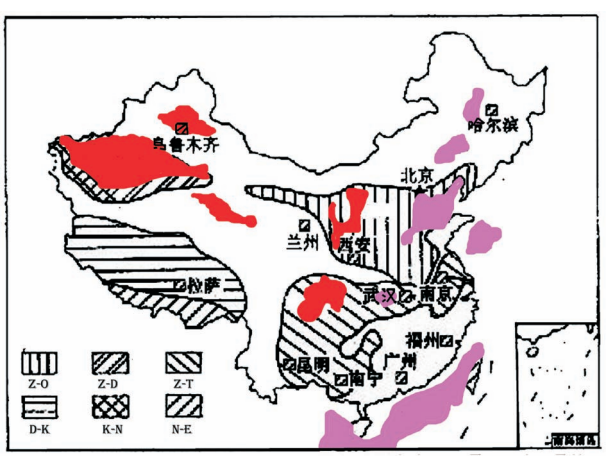


图 5 中国大陆深层油气盆地分布图

Fig. 5 Distribution map of deep sedimentary basins and potential reservoir layers in China

5　结论

(1) 应用数学物理和信息学方法于地壳密度成像,可以计算出反映中国深埋沉积盆地和潜在储层的分布的密度扰动图,预测中国深埋盆地和潜在储层区的分布。

(2) 密度成像结果的低密度扰动区与磁性结晶基底顶面深度反演结果,和反射地震剖面成果吻合。

(3) 通过分区密度扰动成像预测深埋沉积盆地主要分布在西部塔里木、柴达木、四川、准噶尔和鄂尔多斯等盆地深层,东部岩石圈裂谷带可形成结晶基底裂隙型储层, 分布在华北和东北下方。

(4) 中国深埋沉积盆地和潜在储层的总面积可达地面沉积盆地面积的 45% 左右,估计陆上面积 1600 000 km^{2}左右,海域面积 600 000 km^{2}左右,具有一定的天然气勘探前景。

参　考　文　献　/　References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

戴金星,陈践发,钟宁宁, 等. 2003.中国大气田及其气源.北京:科学出版社:170~194.

何登发,李德生,童晓光. 2010.中国多旋回叠合盆地立体勘探论.石油学报,31(5):695~709.

侯遵泽, 杨文采. 1997. 中国重力异常的小波变换与多尺度分析. 地球物理学报,40(1):85~95.

侯遵泽, 杨文采, 刘家琦. 1998. 中国大陆地壳密度差异多尺度反演. 地球物理学报, 41(5): 642~651.

侯遵泽, 杨文采. 2011.塔里木盆地多尺度重力场反演与密度结构.中国科学(D 辑), 41(1): 29~39.

侯遵泽, 杨文采. 2012. 小波多尺度分析应用. 北京: 科学出版社.

侯遵泽, 杨文采, 于常青. 2014. 华北克拉通地壳三维密度结构与地质含义. 地球物理学报,57(7): 2334~2343.

康玉柱. 2007.中国古生代大型油气田成藏条件及勘探方向.天然气工业,27(8):1~5.

金之钧,王清晨. 2004. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例.中国科学(D 辑),34(增刊 1): 1~12.

李景明,魏国齐,赵群. 2008.中国大气田勘探方向.天然气工业,28(1):13~16.

宋岩,柳少波. 2008.中国大型气田形成的主要条件及潜在勘探领域.地学前缘,15(2):109~119.

杨文采, 郭爱缨, 赵敬洗,等,1978. 重磁异常频率域解释的理论与方法,物化探研究报导,(2): 134~178.

杨文采. 1985. 位场数据的频谱分析技术(上). 物化探计算技术,7(3): 188~196.

杨文采. 1986. 位场数据的频谱分析技术(下). 物化探计算技术,8(1): 14~22.

杨文采. 1987. 用于位场数据处理的广义反演技术. 地球物理学报, 30(3): 283~291.

杨文采. 1997.地球物理反演的理论与方法.北京:地质出版社.

杨文采, 施志群, 侯遵泽, 程振炎. 2001. 离散小波变换与重力异常多重分解. 地球物理学报, 44(4):534~541.

杨文采, 徐纪人, 程振炎, 侯遵泽. 2005. 苏鲁大别地球物理与壳幔作用. 北京: 地质出版社.

杨文采. 2009.古特提斯域大地构造物理学. 北京:石油工业出版社.

杨文采. 2012. 反射地震学理论纲要. 北京:石油工业出版社.

杨文采, 侯遵泽, 孙艳云, 等. 2015a. 用于区域重力场定量解释的多尺度刻痕分析方法.地球物理学报,58(2):520~531.

杨文采,侯遵泽,于常青.2015b.青藏高原地壳的三维密度结构和物质运动.地球物理学报,58(11):4223~4234.

杨文采,孙艳云,于常青,侯遵泽. 2015c. 重力场多尺度刻痕分析与满加尔坳陷深层构造. 地质学报, 89(2): 211~221.

杨文采,侯遵泽,于常青, 2015d.滇西地壳三维密度结构及其大地构造含义.地球物理学报, 58(11):3902~3916.

杨文采,孙艳云,于常青, 2015e.青藏高原地壳密度变形带及构造分区.地球物理学报, 58(11):4115~4128

杨文采. 2016a. 中国深埋沉积盆地和潜在储层的分布预测. 地质论评,62(4): 794~795.

杨文采. 2016b. 揭开南岭地壳形成演化之谜. 地质论评,62(2): 257~266.

杨文采, 陈召曦,侯遵泽,孟小红. 2016c. 从卫星重力资料看中国及邻区地壳密度结构. 地质学报, 90(9): 2167~2175.

杨文采, 孙艳云, 侯遵泽,于常青. 2017a.用于塔里木地壳构造成像的重力场谱矩方法研究.地球物理学报,60(8):3140~3150.

杨文采,瞿辰,侯遵泽, 2017b.中国大陆造山带地壳密度结构特征. 地质论评,63(3): 539~548.

杨文采,瞿辰,侯遵泽. 2017c.中国大陆克拉通地体地壳密度结构特征.地质论评,63(4): 843~853.

杨文采,侯遵泽,徐义贤,颜萍. 2017d.青藏高原下地壳热变形和管道流研究. 地质论评, 63(5): 1141~1152.

杨文采,邱隆君,于常青,侯遵泽.2018.塔里木盆地西南部的三维密度扰动成像.地质论评, 64(1) :1~9.

Dai Jinxing,Chen Jianfa,Zhong Ningnin,et al. 2003&, Large Gas Fields in China and Their Gas Sources.Beijing:Science Press:170~194.

Dai Jinxing,Zou Caineng,Tao Shizhen,et al.2007. Formation conditions and main controlling factors of large gas fields in China.Natural Gas Geoscience,18(4):473~484.

He Dengfa,Li Desheng,Tong Xiaoguang.2010&,Stereoscopic exploration model for multi-cycle superimposed basins in China. Acta Petrolei Sinica,31(5):695~709.

Hou Zunze and Yang Wencai. 1997&. Two-dimensional wavelet transform and multi-scale analysis of the gravity field of China. Chinese Journal of Geophysics, 40(1): 85~95.

Hou Zunze, Yang Wencai and Liu Jiaqi. 1998&. Multi-scale inversion of density distribution of the Chinese crust. Chinese Journal of Geophysics, 41(5): 642~651.

Hou Zunze, Yang Wencai. 2011. Multi-scale inversion of density structure from gravity anomalies in Tarim Basin. Sci. in China (Ser. D), 54(3): 399~409.

Hou Zunze and Yang Wencai. 2012#. Wavelet Transform and Multi-scale Analysis and Applications. Beijing: Science Press.

Hou Zunze, Yang Wencai, Yu Changqing. 2014&. Three dimensional density structures of the Huabei craton and implications. Chinese J. Geophys., 57(7): 2334~2343.

Kang Yuzhu. 2007#. Reservoiring conditions and exploration direction for large scale Paleozoic oil and gas fields in China. Natural Gas Industry,27(8):1~5.

Jin Zhijiun, Wang Qingchen. 2004&. New development on typical superimposed basins and oil/gas field in China—— taking Tarim as an example. Sci. in China (Ser. D), 34 (supp. 1): 1~12.

Li Jingming, Wei Guoqi, Zhao Qun. 2008&. Exploration orientation for large gas fields in China.Natural Gas Industry,28(1):13~16.

Mallat S. 1989. Multifrequency Channel decomposition and wavelet models, IEEE ANS. On Acoustics. 37: 2091~211.

Song Yan, Liu Shaobo. 2008&. Main conditions for formation of middle large gas fields and the potential gas exploration areas in China.Earth Science Frontiers,15(2):109~119.

Yang Wencai, Guo Aiying, Zhao Jingxi, et al. 1978#. Theory and methods for interpretation of gravity and magnetic anomalies in the frequency domain. Bull. of Inst. Geophys. Geochem. Prospect, (2): 134~178.

Yang Wencai. 1985&. The power spectrum analysis of the potential field data—I . Technology in Geophys. Geochem. Prospect, 7(3): 188~196.

Yang Wencai. 1986&. The power spectrum analysis of the potential field data—II. Technology in Geophys. Geochem. Prospect, 8(1): 14~22.

Yang Wencai. 1987&. Generalized inversion applying in field data calculation. Chinese Journal of Geophysics, 30: 283~291.

Yang Wencai. 1997#. Theory and Methods in Geophysical Inversion. Beijing: Geological Publishing House.

Yang Wencai, Shi Zhiqun and Hou Zunze. 2001&. Discrete wavelet transform for multiple decomposition of gravity anomalies. Chinese Journal of Geophysics, 44(4): 534~541.

Yang Wencai, Xu Jiren, Cheng Zhenyan, Hou Zunze. 2005#. Regional Geophysics and Crust—Mantle Interaction in Sulu—Dabie Orogenic Belt. Beijing: Geological Pub. House: 1~161.

Yang Wencai. 2009#. Tectonophysics in Paleo-Tethys Domain. Beijing: Petroleum Industry Press.

Yang Wencai. 2014. Reflection Seismology, Theory, Data Processing and Interpretation. Waltham: Elsevier.

Yang Wencai, Hou Zunze, Yu Changqing. 2015a&. The three dimensional density structures of Qinghai—Tibet Plateau and crustal mass movement. Chinese J. Geophys., 58(11): 4223~4234.

Yang Wencai, Sun Yanyun, Yu Changqing, Hou Zunze. 2015b&. Multi-scale scratch analysis of gravity field and deep structures in Manjar depression. Acta Geologica Sinica, 89(2): 211~221.

Yang Wencai, Yu Changqing, Sun Yanyun, Hou Zunze. 2015c&. The multi-scale scratch analysis method for quantitative interpretation of regional gravity field. Chinese J. Geophys., 58(2): 520~531.

Yang Wencai, Hou Zunze, Yu Changqing. 2015d&. The crustal 3D density structure of West Yunnan and its tectonic implications. Chinese J. Geophys., 58(11): 3902~3916.

Yang Wencai, Sun Yanyun, Yu Changqing. 2015e&. Crustal density deformation zones of Qinghai—Tibet Plateau and their geological implications. Chinese J. Geophys., 58(11): 4115~4128.

Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Hou Zunze, 2016. Three dimensional crustal density structure of Central Asia and its geological implications. Acta Geophysica, 64; DOI: 1515/acgeo-2015-0056.

Yang Wencai. 2016a&, Prediction of deeply-buried basins and potential reservoirs in Chinese Continent. Geological Review, 62(4): 794~795.

Yang Wencai. 2016b&. Raise the curtain on formation and evolution of Nanling Mountain ranges. Geological Review, 62(2): 257~266.

Yang Wencai, Cheng Zhaoxi , Hou Zunze, Men Xiaohong. 2016c&. Crustal density structures around Chinese continent by inversion of satellite gravity data. Acta Geologica Sinica, 90(9): 2167~2175.

Yang Wencai, Sun Yanyun , Hou Zunze, Yu Changqing. 2017a&. A study on spectral moments of gravity field with application to crustal structure imaging of Tarim Basin. Chinese J. Geophys., 60(8): 3140~3150.

Yang Wencai, Qu Chen, Hou Zunze. 2017b&. Crustal density structures beneath orogenic belts of Chinese continent. Geological Review, 62(3): 539~548.

Yang Wencai, Qu Chen, Hou Zunze. 2017c&. Crustal density structures beneath Chinese cratons. Geological Review, 63(4): 843~853.

Yang Wencai, Hou Zunze, Xu Yixian, Yan Ping. 2017d&. A study on thermal deformation and lower crust channel flows in Qinghai—Tibetan plateau. Geological Review, 63(5): 1141~1152.

Yang Wencai, Qiu Longjun, Yu Changqing, Hou Zunze. 2018&. Three dimensional density perturbation imaging of the southwestern Tarim Basin. Geological Review, 64(1): 1~9.

Distribution of Deep Oil/Gas Sedimentary Basins of China

YANG Wencai[1)], YU Changqing[2)], YANG Wuyang[3)]

1) *College of Geosciences, Zhejiang University, Hangzhou*, 310027;

2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing*, 100037;

3) *Northwest Section of Petroleum Exploration and Production, PETROCHINA, Lanzhou*, 730020

Abstract: Facing the energy problem today, we study the deeply buried sedimentary basins and potential reservoirs beneath the surface at least 5 km in China. As density and magnetic properties of sediments are usually different from that of the crystalline basement, we apply the methods of density disturbance imaging and inversion techniques to determine location of deep sedimentary basins and potential reservoirs. The wavelet multi-scale analysis and density inversion method are used for imaging, yielding density disturbance maps at different depths in the crust, one of which is corresponding to depth between 5~9 km and can be used for locating the deeply buried basins and potential reservoirs. The results are coincide with inversion of top-depth maps of the crystalline basement produced by inversion of magnetic data and reflection seismic profiles. The density disturbance maps show that the deeply buried basins and potential reservoirs mainly distribute in Tarim, Tsaidam, Sichuan, Junggar, Odors basins and South China Sea, as well as along the rift zones in East China, whose crystalline rocks contain many cricks created by the rifting process. The potential area of the deeply buried basins may reach 1.6 million km^2 on land and 0.6 million km^2 in the marginal seas, demonstrating good prospects for gas/oil exploration.

Keywords: deeply buried basins; potential reservoirs; China; density imaging; wavelet multi-scale analysis; oil/gas exploration

Acknowledgements: This study is supported by National Science Foundation of China (No. 41574111) and Chinese Geological Survey.

First author: YANG Wencai, Ph.D on geophysics at McGill University in 1984. He is a professor of Zhejiang University, working on continental dynamics and geophysical data processing and analysis. Email: yangwencai@cashq.ac.cn; yang007@zju.edu.cn

Manuscript received on:2018-07-15;Accepted on: 2018-09-29; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.06.001