

文章编号:0253-9985(2008)05-0639-09

综合地球物理方法在环渤海残留盆地分布研究中的应用

郝天尧¹, 吴健生², 徐亚¹, 王家林², 宋海斌¹, 黄松¹, 王真理¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 同济大学, 上海 200092)

摘要:采用以重、磁数据为主体, 以大地电磁测深(MT)和浅部地震等高精度数据为约束, 以正、反演技术为途径的综合地球物理研究方法, 剥离新生界及深部地质体的影响, 圈划出环渤海地区残留盆地的宏观分布, 给出残余厚度的分布特征。环渤海地区残留盆地分布总体呈“东西分带”的特征, 中生界与上古生界叠合区域为前新生代油气勘探有利区。结合残余厚度与油气条件, 进一步圈划出10个前新生代油气资源有利区。

关键词:残余厚度; 残留盆地; 前新生代; 环渤海; 综合地球物理方法

中图分类号: P631

文献标识码: A

Application of comprehensive geophysical methods in the research of the pre-Cenozoic residual basins in circum-Bohai Bay region

Hao Tianyao¹, Wu Jiansheng², Xu Ya¹, Wang Jialin², Song Haibin¹, Huang Song¹, Wang Zhenli¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Macro spatial distribution of residual basins in the circum-Bohai Bay area and the characteristics of their residual thickness distribution are defined through peeling off the influences of the Cenozoic and deep basement and by adopting an integrated geophysical method. The method is mainly based on gravity and magnetic data, and it takes data of high accuracy such as MT and shallow seismic data as the constraints and is realized through forward modeling and inversion. The residual basins in the area shows an 'E-W zonation', with the superimposed area of the Cenozoic and Upper Paleozoic as the favorable target for the Pre-Cenozoic oil and gas exploration. Ten favorable areas of the Pre-Cenozoic are also defined through combining the residual thicknesses of the basins and geological conditions for oil and gas accumulations.

Key words: residual thickness; residual basin; Pre-Cenozoic; circum-Bohai Bay; integrated geophysical methods

随着近期我国海相油气勘探的一系列重大突破^[1~3], 前新生代残留盆地油气资源的广阔前景已展现在世人面前, 前新生代残留盆地必将成为未来我国油气勘探的主战场之一^[4~8]。但是, 由于残留盆地的油气埋藏深度大、演化历史长、构造复杂, 残留盆地的油气勘探还面临一系列的难题。

如宏观构造规律、前新生代残余厚度以及基底分布情况认识模糊、难以具体指导宏观格架的建立, 海相储层分布的规律性差、难以识别和预测等等, 这些给前新生代残留盆地油气研究带来了很大的难度^[9~11], 必须开辟新的思路。

环渤海地区是我国重要的石油工业基地, 也

收稿日期: 2008-08-18。

第一作者简介: 郝天尧(1957—), 女, 研究员, 海、陆油气盆地综合地球物理研究。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA09Z359); 国家自然科学基金资助项目(40674046, 40620140435); 中国科学院知识创新重大工程项目(KZCX1-SW-18)。

是针对前新生代油气资源取得过很好研究成果的地区之一。冀东、胜利等油田的勘探实践,虽然已成为我国东部潜山油气勘探成功的范例,但针对前新生代残留盆地油气研究仍需要进一步深入。这个地区的残留盆地遭受过后期强烈的破坏与改造,新生代期间发生了强烈的板内沉降^[12,13],残留盆地埋深很大,仅仅依靠地震勘探技术已无法达到勾绘残留盆地宏观格架及盆地基底结构的目的,这成为急需突破的难点之一。针对这一问题,本文探索从重、磁数据出发,以大地电磁测深(MT)数据为约束,以正、反演技术为途径的综合地球物理研究方法^[14],剥离新生界及深部地质体的影响^[15,16],圈划出环渤海地区残留盆地的宏观分布并给出残余厚度的分布。

1 残留盆地宏观格架与分布的研究方法

1.1 残留盆地重、磁异常场的分离

由于重、磁异常是地下深、浅地质界面加地质体的叠加效应,而残留盆地油气研究的目标是针对前新生代地层,因此只要剥离掉由浅部新生代地层和深部构造所引发的重、磁效应,就可以获得残余前新生界的剩余重、磁异常,对其进行反演计算,最终可得到前新生代残留盆地深部界面的分布。由于我国东部油田新生代油气的勘探程度很高,大量的地震、钻井资料成为浅部异常剥离的最佳约束,因此残留盆地研究中更重要的是如何剥离深部构造引发的重、磁效应,即深部区域场的提取十分重要。

由于区域重磁异常相比浅部地层引起的异常而言更多具有低频的特征,因此可以通过维纳滤波^[17]、小波多尺度分解^[18,19]等方法进行分离,并可结合莫霍面正演结果确定深部地层的重力异常^[20]。同样,也可以通过匹配滤波的方法消除浅部磁性体引发的磁异常,分离出反映磁性基底的区域磁异常场。比如小波多尺度分析方法的特点是可以将位场信息分解到不同的尺度空间,因此可根据不同的地质目标选择合适的分解尺度及其组合,实现具有地质意义的分解^[19,20],以便从不同

的细节提取相关的地质信息。在环渤海残留盆地的研究中,采用通过正演实验研究,综合考虑小波基的数学特征,选择与待分析异常信号形态相似的小波基进行小波多尺度分析的方法,得到了较好的结果,可较为准确地把已知界面或地质体重磁效应进行剥离。

关于残留盆地宏观分布和残余厚度提取的研究流程参见文献[20],流程重点强调岩石物性和地质-物探模型的建立^[21]。从流程图来看,能否较为准确地把已确定的残留盆地界面或地质体的效应剥离,关键在于两点:首先是已确定的岩层或地质体内岩石物性参数的空间变化;其次是合适的正演数学模型。在以残留盆地为研究对象时,由于新生代盆地中有大量的地震及钻井等资料可以参考^[16,22],因此有助于中、新生界重力效应的剥离和利用剩余重力异常反演残留盆地的宏观分布^[15]。

1.2 环渤海地区残留盆地宏观分布研究

环渤海地区残留盆地宏观研究所用的重、磁数据范围为北至燕山,西至太行,东以郯庐为界,南界为苏鲁造山带。采用以陆地数据为主,部分海域补充海区数据的方法,以 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 的网格形成了环渤海地区布格重力异常图和磁力异常图^①。

1.2.1 岩石物性特征

环渤海地区地层分布基本相同,但由于受后期构造改造的影响,前新生界地层发育不全,一些地方缺失中生界,新生代地层直接覆盖在下古生代地层之上。从岩石物性特征来看,全区地层密度横向基本可比,磁异常主要来自太古界和下元古界变质岩以及中、新生代的中基性火山岩。

在大量岩石物性参数统计的结果上^{[16],②},选择参与研究区地球物理正、反演的参数如下^[23]。

1) 密度

海水层密度为 1.03 g/cm^3 ;第四系与新近系平均密度为 2.20 g/cm^3 ;古近系平均密度为 2.40 g/cm^3 ;中生界-上古生界密度取 2.48 g/cm^3 ;前上古生界的密度取 2.69 g/cm^3 ;地壳和地幔之间的

① 郝天兆,刘洪. 中科院知识创新工程重大项目“环渤海(湾)地区前新生代海相油气资源研究”项目研究报告. 中国科学院地质与地球物理研究所,2006

② 郝天兆,徐亚. 歧口凹陷大地电磁测深研究报告. 中国科学院地质与地球物理研究所,2006

密度差取 0.42 g/cm^3 。

2) 磁性

新生界磁化强度为0;中生界-上古生界磁化强度为0;下古生界-中元古界磁化强度为0;下元古界磁化强度取 $0.25 \sim 0.45 \text{ A/m}$ 。

1.2.2 重力基底与中生界残余厚度求取

浅层重力效应包括了海水层、第四系、古近系和新近系,采用长方形组合模型三维重力正演公式计算它们各层的重力效应。深部区域场的提取主要在参考小波分解的结果的同时,采用长方形组合模型三维重力正演公式计算莫霍面起伏引起的重力效应(密度差为 0.43 g/cm^3),求取区域背景场($\Delta g_{\text{区}}$)。对布格重力异常($\Delta g_{\text{布}}$)进行区域重

力异常及盖层重力效应($\Delta g_{\text{盖}}$)的剥离后,得到剩余异常: $\Delta g_{\text{剩}} = \Delta g_{\text{布}} - \Delta g_{\text{盖}} - \Delta g_{\text{区}}$ 。对剩余重力异常进行反演,给出了本区重力基底埋深分布(图1)。

在环渤海地区,太行山东麓断裂带以西, 40°N 以北和鲁西隆起等地有大量的前上古生界出露地表,并在郯庐断裂带以东地区也有零星出露。除此之外,全区重力基底均有一定埋深,但是特点并不相同(表1)。

研究区是我国东部的主要油气产区,因此新生界底界面的埋深可以参考地震和钻孔资料来确定^[16,22]。以重力基底埋深减去新生界底界面的埋深,就可以获得研究区中生界(包括部分上古生界)的残余厚度分布(图2)。图上深咖啡色块表

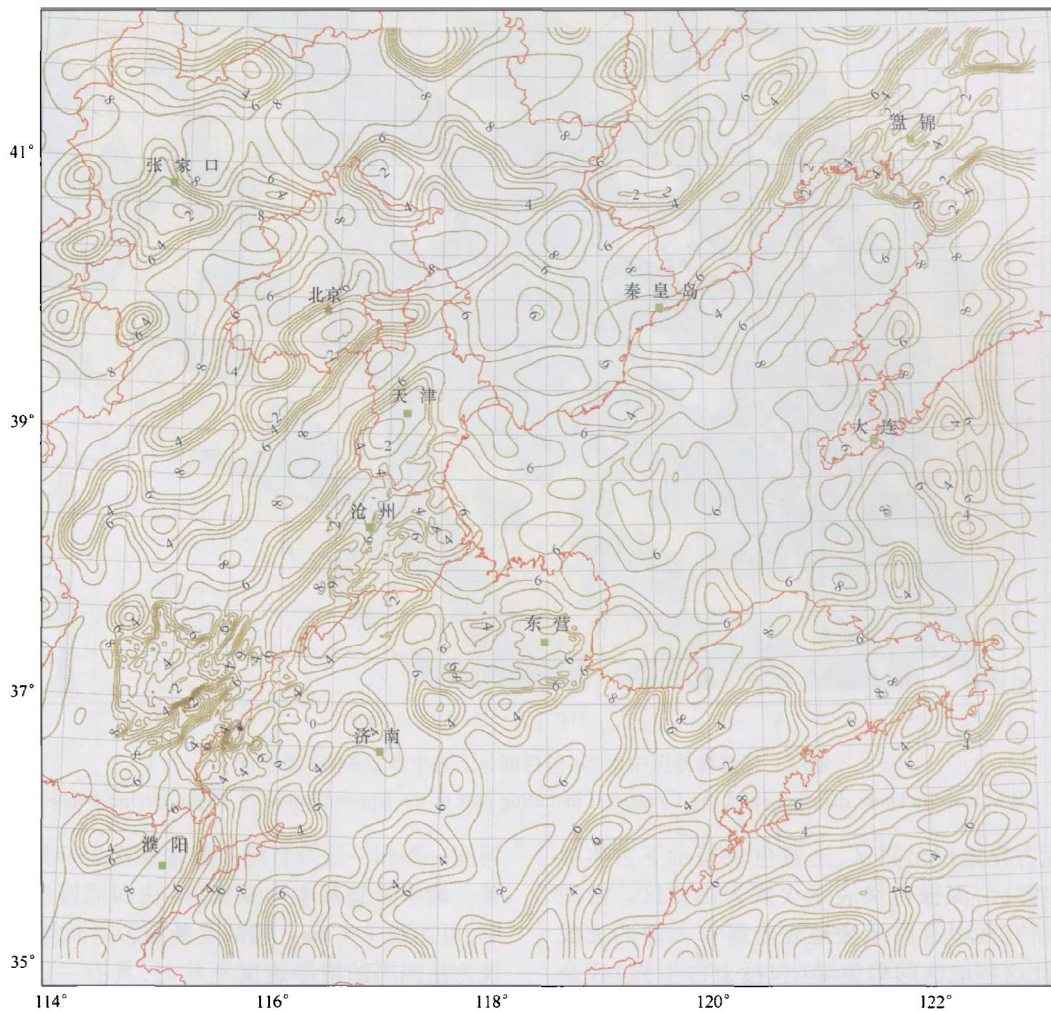


图1 环渤海地区重力基底埋深分布(单位:km)

Fig. 1 Distribution of basement burial depth obtained by using the gravity data in the circum-Bohai Bay area

表 1 环渤海地区重力基底埋深分布特征

Table 1 Features of basement burial depth distribution obtained by using gravity data in the circum-Bohai Bay area

地区	重力基底埋深分布特征
秦皇岛-大连以北	陆区平均埋深 1~5 km,海区西浅东深,总体呈 NE 方向条带状延伸
渤中-济阳	平均埋深 7 km,在此基础上有次一级的凸凹起伏,相对起伏高度可达 3 km 左右
鲁东	凸凹起伏很大,方向不一,最大埋深达到 9 km,最小只有 2 km
东濮-黄骅-冀中	以 NE 向条带状延伸为特征,隆起带埋深 2~4 km,坳陷带埋深 7~8 km
沧县隆起西缘	NE 向条带状延伸的凹陷带,埋深达到 9 km

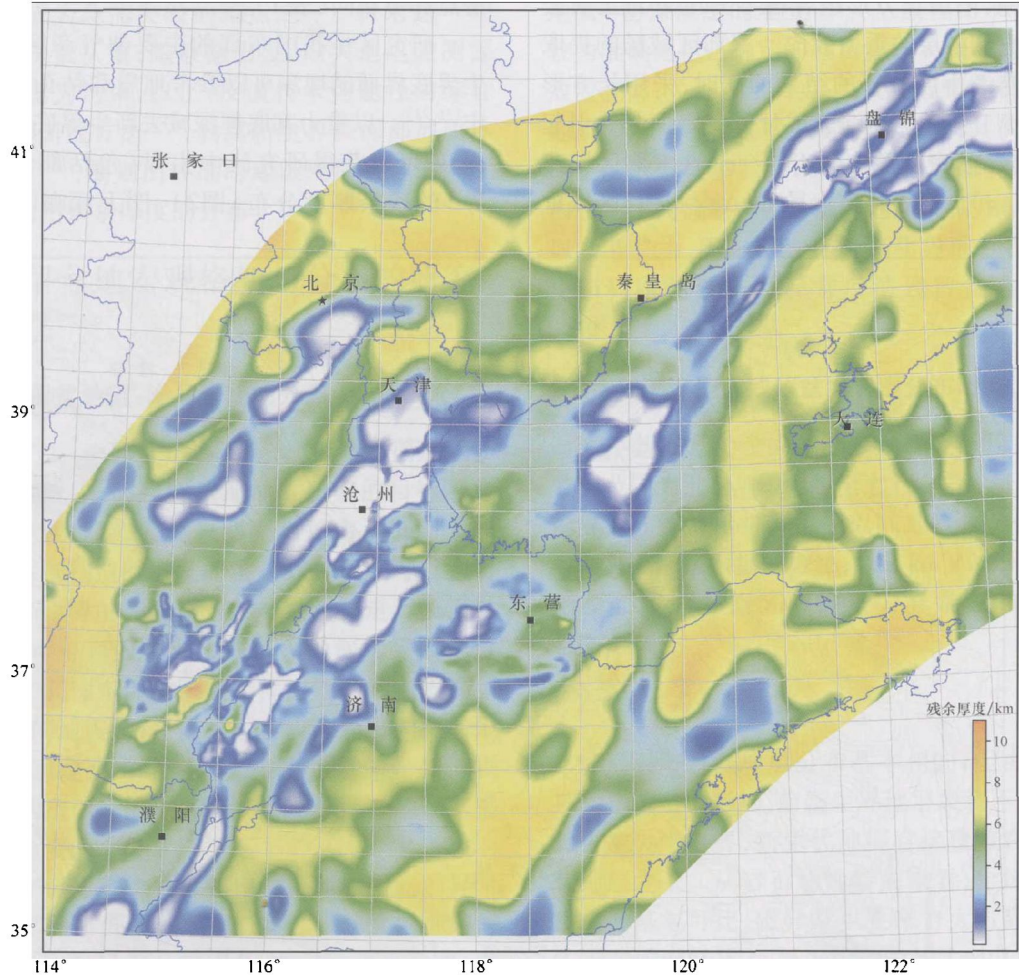


图 2 环渤海地区中生界(包括部分上古生界)残余厚度分布

Fig. 2 Residual thickness distribution of the Cenozoic (including part of the Upper Paleozoic) in the circum-Bohai Bay area

示下元古界地层出露区,土黄色块表示下古生界地层出露区,深绿色块表示火成岩出露区。由图可见,研究区中有些地区地表出露有大量的火成岩,因此这些地区的中生界(包括上古生界)残余厚度较厚。同样,在郯庐断裂带以东,鲁东和辽东半岛鞍山市以南和大连市以北地段也见有大量的火成岩体。残余厚度超过 5 km 的增厚带分别是

河间—深州一线及自海兴县向东至郯庐断裂带两条。渤中隆起基本为缺失区,往四周厚度不断增厚,可达到 4.5 km。轴部受断裂影响而复杂化,表现为往四周的增厚速度不均匀,具有一定的方向性。其他地区特点不一:秦皇岛—葫芦岛,残余厚度分布与郯庐断裂带的展布方向一致,埋深 1~3 km;下辽河地区,残余厚度增厚和减薄带沿

NE 走向相间展布,增厚带厚度为 1~2 km,受断裂带的控制。济阳拗陷区残余厚度分布具有东西分带的特点。东西方向上表现为两个减薄带和两个增厚带相间展布,增厚带厚度可达 5 km;南北方向上表现为减薄带由南往北厚度增加。黄骅拗陷为西薄东厚,厚 1~2 km,最厚地区靠近海边,残余厚度大约 5 km。

1.2.3 磁性基底与古生界海相残余厚度求取

采用了 ΔT 化极上延、小波变换以及匹配滤波等方法^[20,23-25],来消除浅层磁性体产生的异常。通过比较,选取了上延 5 km 结果,同时参考小波分解的结果,求得区域背景场。在已有的先验信息约束下,利用单层磁性起伏界面反演的快速方法和空间域迭代反演方法进行计算,求取磁性基

底深度(图 3),并利用天津—海兴的大地电磁实测剖面资料^[26]对盆地基底和磁性基底埋深进行校正。

磁性基底埋深与重力基底埋深相减,便获得了下古生界(包括部分元古界)的残余厚度分布(图 4)。有一些区域为下古生界残余厚度的缺失区。区内下古生界残余厚度较大的包括渤中—济阳的西南部、黄骅—冀中、沧县隆起带和北京—保定一线。济阳拗陷区(包括其西部的德州—惠民一带)是一个下古生界残余厚度分布的增厚中心,中心残余厚度可达 2.5 km 以上,由 3 个沿东西向展布的次增厚中心组成。滨县、陈家庄、青城等地的潜山构造已经揭示出奥陶系和寒武系的存在。黄骅拗陷东北端,一系列 NEE—NE 向的次增厚中心组成近 SN 向展布的增厚中心,已知的潜山构造

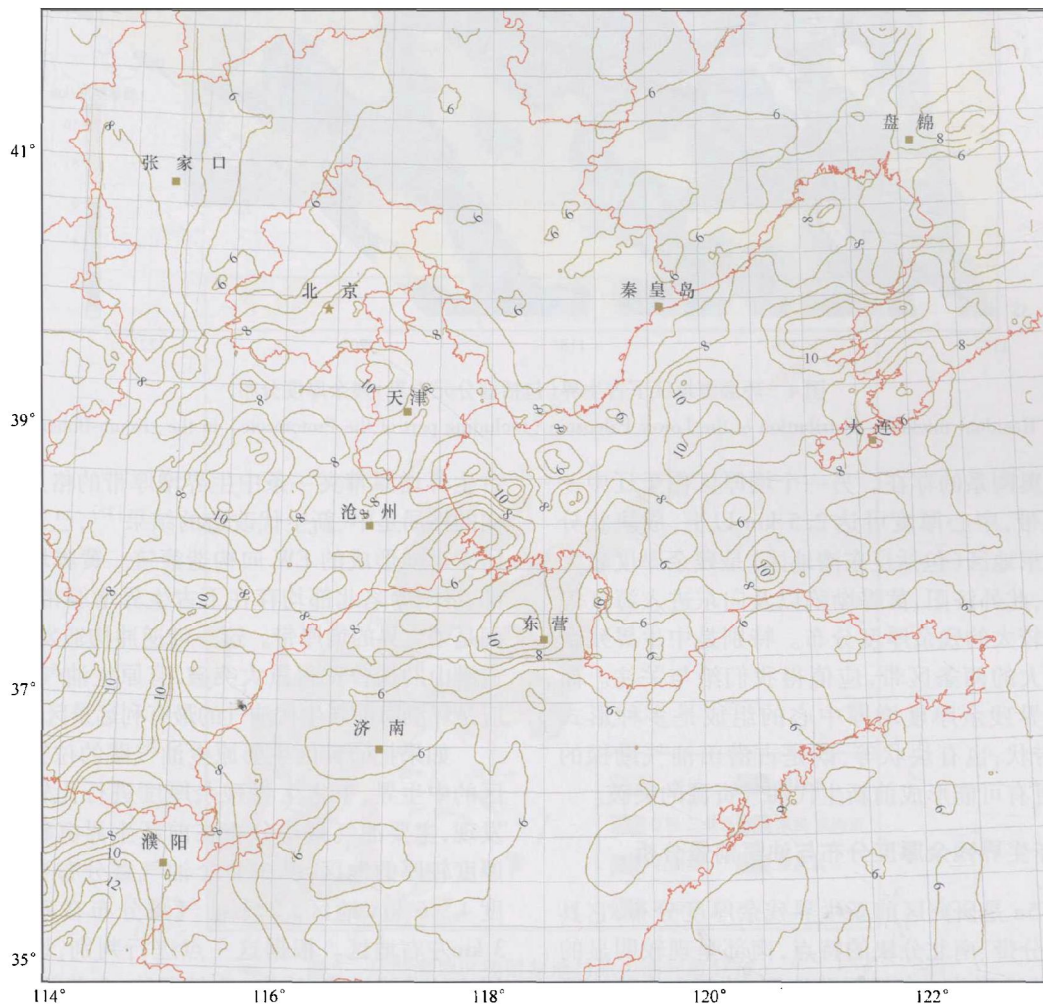


图 3 环渤海地区磁性基底埋深分布(单位:km)

Fig. 3 Distribution of basement burial depth obtained by using magnetic data in the circum-Bohai Bay area

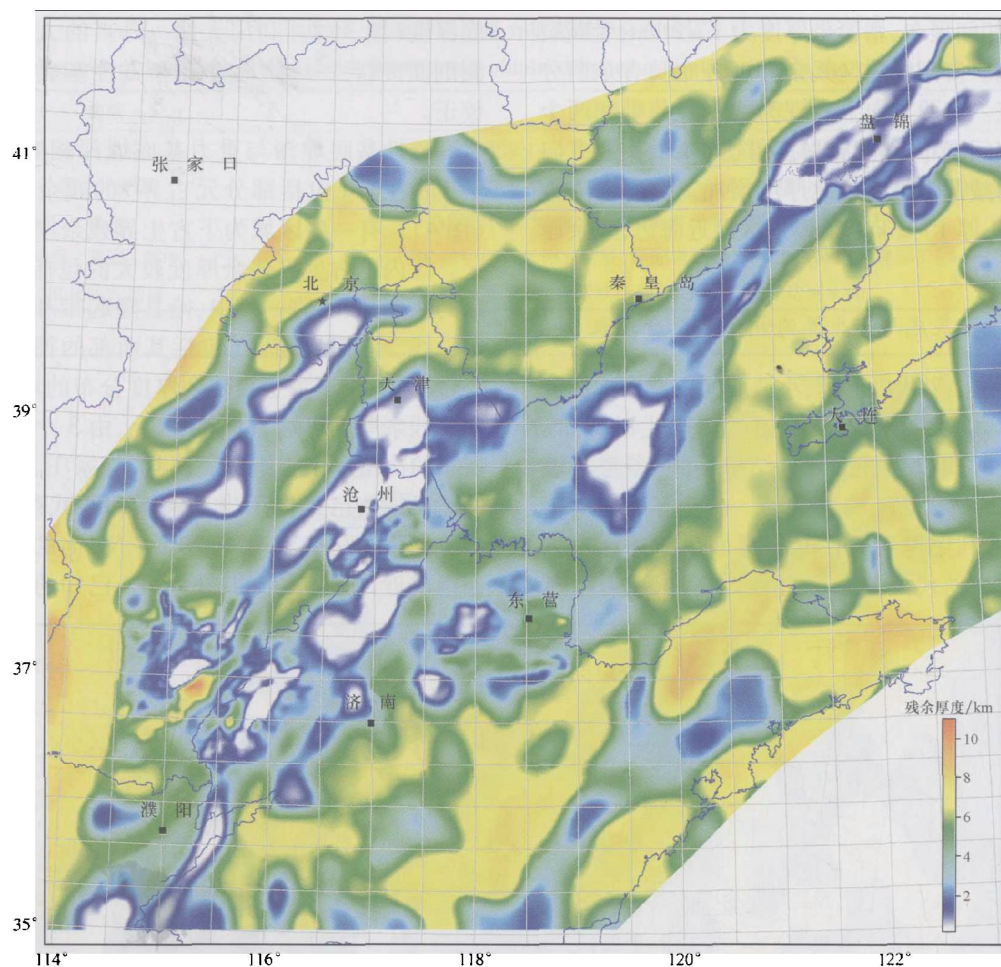


图4 环渤海地区下古生界(包括部分元古界)残余厚度分布

Fig. 4 Residual thickness distribution of the Lower Paleozoic (including part of the Proterozoic) in the circum-Bohai Bay area

揭示出奥陶系的存在。另一个增厚区位于辽中—辽阳一带,中心厚度可达2.5 km以上,成块状分布。辽东地区(包括辽东湾地区)是残余厚度较大的地区,此外济阳、黄骅坳陷以及向东进入海区等地也有较大的残余厚度分布。特别是中生界残余厚度较大的两条区带,应值得我们给与关注。而下古生界残余厚度增厚中心的组成是多种形式的,有带状,也有块状等,既是古潜山油气勘探的重点,更有可能形成前新生代油气资源的突破。

2 前新生界残余厚度分布与油气前景分析

图5a是研究区前新生界残余厚度分布,它具有东西分带、南北分块的特点,南部呈现较明显的EW向构造形迹。黄骅坳陷以西,前新生界残余厚度比东侧厚,可能反演结果包含了中、上元古代燕辽坳拉槽部分的沉积。该区呈现NE向的两条下

古生界增厚带夹一条中生界增厚带的格局,其NE向的格局是中、新生代改造的结果^[27],已难以寻觅印支运动形成的EW向构造痕迹。黄骅坳陷中南部、济阳坳陷北部均存在下古生界增厚带,它们之间是中生界的增厚带。这一带逆冲构造发育,近年古潜山勘探曾获得重大突破,有原生油气藏发现,应是环渤海前新生代油气的最有利远景区之一。

如果把研究区主要原生油气藏的位置与研究区的中生界、下古生界残余厚度进行比较还可以发现,主要油气藏均分布在前新生界沉积层残余厚度较厚的地区;其中4个油气藏分布在残余厚度4~6 km地区,2个油气藏分布在残余厚度3 km左右地区。根据这一点进行判别,埕宁隆起周边的黄骅坳陷、沾化—车镇凹陷、东营凹陷、冀中坳陷以及临清坳陷的西部、辽河坳陷的局部地区应属于前新生代油气的有利区。

再将主要原生油气藏与上古生界的分布进行叠合(图5b),可以发现它们均分布在石炭-二叠系发育区。由于研究区上、下古生界的发育具有

一定继承性,因此推断:研究区中,中生界与上古生界的叠合区域为前新生代油气勘探的最佳远景区(图6)。如黄骅坳陷中南部、沾化凹陷、沧县隆

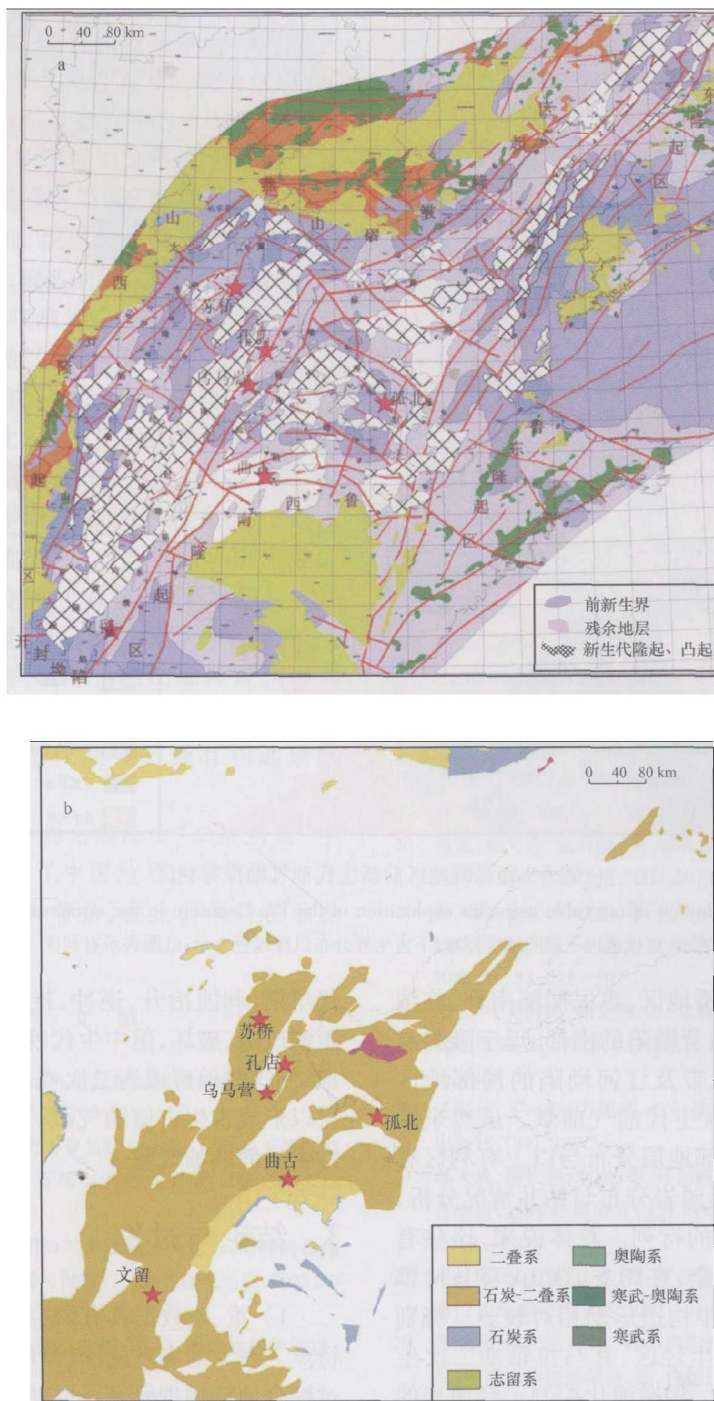


图5 环渤海地区残留盆地与原生油气藏分布

Fig. 5 Distribution of residual basins and primary oil-gas accumulations in the circum-Bohai Bay area

a. 前新生界沉积层残余厚度与主要原生油气藏分布(前新生界残余厚度以浅紫、紫色表示,新生代隆起、凸起以填充斜方格表示); b. 残余上古生界与主要原生油气藏分布

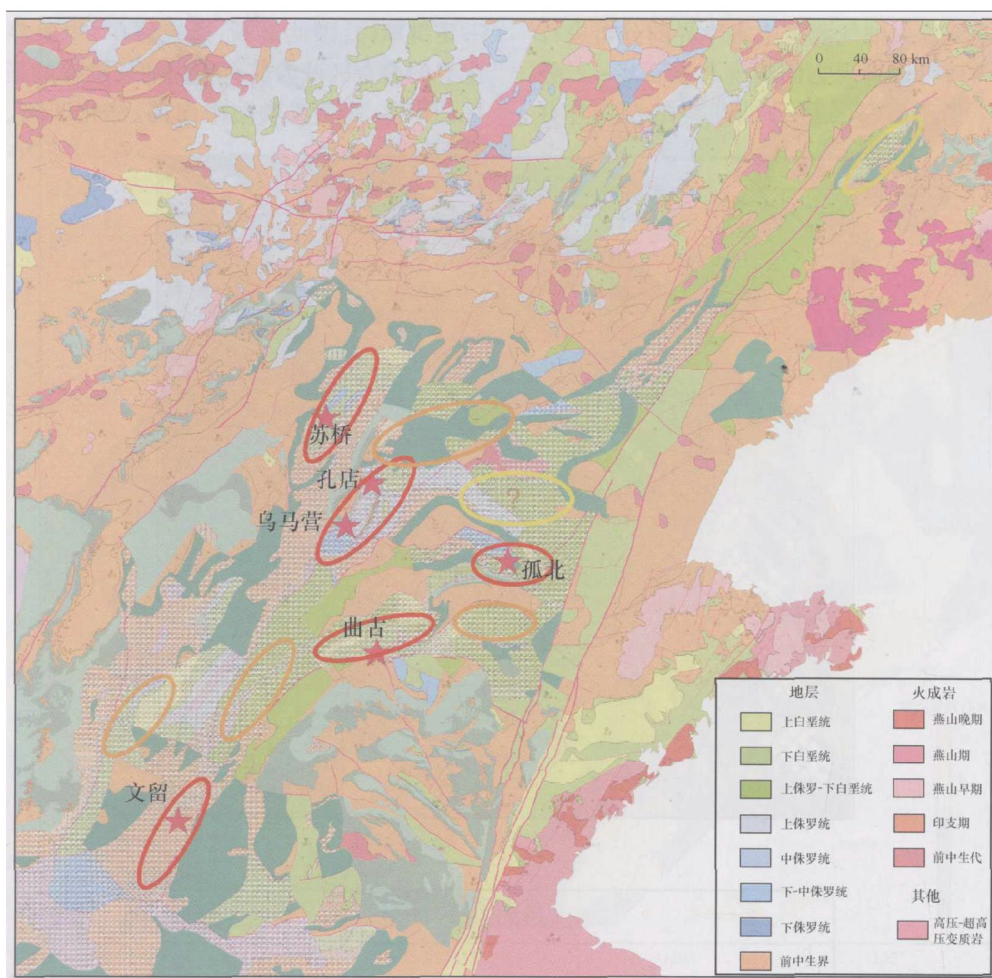


图6 环渤海地区前新生代油气勘探有利区

Fig. 6 Distribution of favorable areas for exploration of the Pre-Cenozoic in the circum-Bohai Bay area

(上古生界分布以阴影充填表示,可以透视下面的地层分布;下古生界分布以深绿色表示;红圈表示有利区,棕黄色圈表示次级有利区。)

起西部文安块坳的苏桥地区、惠民凹陷南部、临清坳陷的东部和西部、东营坳陷的南部、埕宁隆起与沙垒田凸起之间的地带及辽河坳陷的局部地区等,应具有较好的前新生代油气前景。虽然东濮凹陷及黄骅坳陷的北部地层分布与以上有利区有所不同,但根据有利烃源岩分布与钻井情况分析,也应纳入有利远景区的行列。总体说来,这些有利区的地层发育比较全,在印支、燕山、喜马拉雅运动的构造演化过程中构造运动相对较弱。特别是它们与古生界有利生烃区、喜马拉雅期二次生烃有利区的分布相近^①,构造演化控制了烃源岩的展布并制约了生、排烃与运聚过程。虽然在中生

代早期,剥蚀抬升、逆冲、推覆作用使一些油气藏遭到改造、破坏,但中生代晚期至新生代的再次深埋,使这些地区成为二次或多期生烃的有利区,既可以形成古生古储油气藏,也可以形成古生中储、古生新储的油气藏。

3 结论与讨论

1) 重、磁数据具有研究范围大、经济、快速的特点。在大地电磁测深(MT)等数据的约束下,通过综合地球物理研究可以达到剥离新生界及深部地质体影响的目的,在圈划残留盆地宏观分布和

^① 郝天珧,刘洪. 中科院知识创新工程重大项目“环渤海(湾)地区前新生代海相油气资源研究”项目研究报告. 中国科学院地质与地球物理研究所,2006

残余厚度方面具有优势。本文的结果表明这一研究思路是可行并有效的。

2) 在残留盆地研究中,重力、磁性基底分布的反演至关重要,特别是磁性基底的提取,当有大面积的火成岩分布时,对残留盆地研究会有很大影响。因此,如何剔除火成岩引发的磁力效应,是今后残留盆地研究中应重点关注的内容。

3) “东西分带”是环渤海地区重力基底和残余厚度分布的共同特点。沿 NE 方向基底和残余厚度增厚带相间排列,很显然是受到了后期构造运动的影响,是叠加、改造的表现。

4) 主要原生油气藏均分布在前新生界沉积层残余厚度较厚的地区,特别是在 4~6 km 的残余厚度区,它们与石炭-二叠系分布区有密切的对应关系。由于本区上、下古生界的发育具有一定继承性,因此推断:研究区中,中生界与上古生界的叠合区域应为前新生代油气勘探的最佳远景区。在以上分析基础上,本文圈划出环渤海地区前新生代油气资源的 10 个有利远景区。

5) 围绕埕宁隆起的三角区域特别值得关注。这一带逆冲构造发育,近年古潜山勘探曾获得重大突破,有原生油气藏发现,前新生界残余厚度较大,应是环渤海前新生代油气的最有利远景区之一。

致谢:本文得益于刘光鼎院士“二次创业”学术思想的指导,并得到了中国地质大学(北京)万天丰教授的热情指导和帮助,在此向他们表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 康玉柱. 中国古生代海相油气田发现的回顾与启示[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 570~575
- 马永生, 蔡勋育. 四川盆地川东北二叠系-三叠系天然气勘探成果与前景展望[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 741~750
- 费宝生, 汪建红. 中国海相油气田勘探实例之三: 渤海湾盆地任丘古潜山大油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(3): 43~50
- 刘光鼎. 中国油气资源企盼二次创业[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(4): 1~3
- 刘光鼎. 前新生代海相残留盆地[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(2): 1~7
- 蔡东升, 冯晓杰, 高乐, 等. 中国近海前第三纪残余盆地及其勘探潜力与方向[J]. 中国海上油气, 2004, 16(1): 1~17
- 王英民. 海相改造残留盆地的地质特征和勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 28~32
- 刘光鼎, 宋海斌, 张福勤. 中国近海前新生代残留盆地初探[J]. 地球物理学进展, 1999, 14(3): 1~8
- 刘丽峰. 残留盆地研究综述[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(4): 575~581
- 刘光鼎, 张丽莉, 祝靛谊. 试论复杂地质体的油气地震勘探[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 683~686
- 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15~22
- 刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理特征[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 244~246
- 刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理图集[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- 祝靛谊. 油气勘探综合地球物理研究方法综述[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(1): 19~23
- 王家林, 陈兵, 吴建生, 等. 潮汕坳陷沉积盆地基底结构和中生界综合地质地球物理研究[A]. 见: 李家彪, 高抒, 编. 中国边缘海岩石层结构与动力过程[M]. 北京: 海洋出版社, 2003. 53~62
- 周立宏, 李三忠, 刘建忠, 等. 渤海湾盆地前第三系构造演化与潜山油气成藏模式[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003. 48
- Pawłowski R S, Hansen R O. Gravity anomaly separation by Wiener filtering[J]. Geophysics, 1990, 55(5): 539~548
- 杨文采, 施志群, 侯遵泽, 等. 离散小波变换与重力异常多重分解[J]. 地球物理学报, 2001, 44(4): 534~541
- 徐亚, 郝天珧, 周立宏, 等. 位场小波变换研究进展[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1132~1138
- 徐亚, 郝天珧, 戴明刚, 等. 渤海残留盆地分布综合地球物理研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(3): 868~881
- 郝天珧, 徐亚, 周立宏, 等. 前新生代残留盆地宏观分布的综合地球物理研究——以大港地区为例[J]. 地球物理学报, 2008, 51(2): 491~502
- 李云平, 吴时国, 韩文功, 等. 东营凹陷前古近系构造综合地球物理反演[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(2): 16~20
- 王家林, 王一新, 万明浩. 石油重磁解释[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 180
- 郝天珧, 杨长春, 刘洪, 等. 环渤海地区前新生代油气资源的综合地质、地球物理研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(4): 1269~1279
- 赵百民, 郝天珧, 徐亚, 等. 反演磁性地层界面的逐步剥离磁场法[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 611~618
- 张丽莉, 郝天珧, 徐亚. 歧口凹陷地区大地电磁测深探测[A]. 见: 中国地球物理学会, 编. 中国地球物理学会第22届年会论文集[C]. 成都: 四川科学技术出版社, 2006. 629
- 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社, 2004. 135~215

(编辑 李 军)