

文章编号: 1001- 6112(2002) 04- 0301- 05

东海陆架盆地海礁凸起南块基底性质研究

陈冰¹, 王家林¹, 吴健生¹, 钟慧智¹, 周平²

(1. 同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092; 2. 上海海洋石油局规划设计研究院, 上海 200120)

摘要: 通过对东海陆架盆地海礁凸起重磁资料的处理, 结合周边的地质情况及各种地球物理资料, 对海礁凸起的基底深度和岩性进行了研究, 在基底岩性推断的基础上, 求取了中生界厚度和古生界厚度, 为东海陆架盆地油气资源的进一步开发提供了依据。

关键词: 岩性; 基底深度; 海礁凸起; 东海陆架盆地

中图分类号: TE121. 2

文献标识码: A

东海陆架盆地西部为浙闽隆起带, 东部为钓鱼岛隆褶带。海礁凸起属于东海陆架盆地中次一级的构造单元, 而海礁凸起南块位于凸起南面, 它的北部为海礁凸起北块, 南部为钱塘凹陷, 西部与浙闽隆起区相邻, 东接西湖凹陷。海礁凸起南块上至今未进行钻探工作, 对于研究区内的地质情况只能依据周边陆地、岛屿以及海域内相邻区的钻探资料进行推测概述^[1, 2]。自 80 年代中期开始, 我们和海洋石油总公司及上海海洋石油局等工作单位对东海陆架盆地的地球物理资料进行了大量的处理和解释工作, 特别是运用综合地球物理研究的技术路线, 对东海陆架盆地的构造区划、断裂分布, 深部结构乃至构造演化等地质问题进行了大量的研究工作^[1]。

对于东海陆架盆地的海礁凸起, 我们在完成“六五”国家攻关项目时, 就对此地区进行了大量的工作, 对海礁凸起地震反射基底下面可能存在的中生代地层作了研究^[1]。本次研究工作是国家“九五”攻关课题“东海陆架盆地海礁凸起南块前第三系地质结构研究”中的一个研究课题, 旨在进一步采用综合物探解释的技术路线研究海礁凸起南块基底性质, 拓宽油气勘探新领域, 为平湖构造带油气勘探提供后备基底。

1 地质和岩石物性概况

1.1 地质概况

1.1.1 区域地质

在浙江和福建一带出露有前震旦系的地层, 在

浙江称陈蔡群, 在福建称建瓯群, 主要分布于绍兴—宜春和丽水—海来两大断裂带之间, 为一套巨厚的中深变质岩系。

下古生界在浙闽西部及上海地区较发育, 由寒武系、奥陶系、志留系所组成, 厚度较大, 与下伏震旦系呈平行不整合接触。

上古生界的地层在浙闽东部大面积被上侏罗统火山岩系所覆盖而出露不全, 零星分布。

中生界在三叠系和上侏罗统为海相地层。白垩系在苏、浙两地区发育较全, 闽东地区缺失上白垩统, 均为陆相红色碎屑岩沉积, 夹有火山岩及火山碎屑岩。

新生界由东海陆架盆地数十口钻井揭示, 在盆地内较为发育, 在深拗陷中最大沉积厚度大于万米, 一般都在数千米, 而在隆起或凸起南块上厚度较薄, 一般为 1 000~ 2 000m。

1.1.2 岩浆岩

东海陆架盆地及其周边陆区与沿海岛屿地区岩浆发育, 分布广泛, 既有侵入岩又有火山岩, 其时代主要与燕山期和喜山期的岩浆活动有关。

燕山期火山岩始于早—中侏罗世, 晚侏罗世达到高峰, 止于早白垩世, 受北北东向断裂控制, 以中性、中酸性火山岩为主, 岩性为凝灰岩、流纹质晶屑熔结凝灰岩、英安质角砾熔结凝灰岩和流纹岩等。

1.2 岩石物性

1.2.1 岩石密度

本区密度的变化范围通过周边地质露头 and 已打钻的岩性资料统计, 大致可分成 3 个密度界面:

收稿日期: 2001- 06- 05; 修订日期: 2002- 06- 10.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000046702- 01).

作者简介: 陈冰(1957—), 男(汉族), 江苏苏州人, 副教授, 主要从事地质—地球物理综合解释工作.

- a) 第四系与第三系之间的密度界面, 密度差为 $0.13 \times 10^3 \sim 0.40 \times 10^3 \text{kg/m}^3$;
- b) 第三系与中生界之间的密度界面, 密度差为 $0.10 \times 10^3 \sim 0.40 \times 10^3 \text{kg/m}^3$;
- c) 中生界与古生界之间的密度界面, 密度差为 $0.05 \times 10^3 \sim 0.20 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。

东海陆架盆地海域面积广阔, 海域不同地区地质结构不同, 故上述 3 个密度界面的分布地区也有不小的差异。

1.2.2 岩石磁性

岩石磁性主要收集东海陆架盆地西缘陆地及沿海岛屿区的资料, 包括浙江、江苏、福建和上海。

沉积岩一般无磁性—弱磁性, 磁化率 $< 50 \times 10^{-6} \text{4}\pi\text{SI}$, 剩余磁化强度为 0。

侵入岩一般为酸性—超基性, 磁性增大, 侵入岩从中性—基性—超基性, 磁性逐渐增强, 磁化率一般为 $1\ 000 \times 10^{-6} \sim 10\ 000 \times 10^{-6} \text{4}\pi\text{SI}$, 剩余磁化强度为数千 $\times 10^{-3} \text{A/m}$ 。

火山岩的磁性变化范围较大, 从基性到酸性, 磁化率变化很大, 可以从 $0 \sim 10\ 000 \times 10^{-6} \text{4}\pi\text{SI}$ 变化。

变质岩为无磁性—弱磁性, 磁化率常见为 $0 \sim 500 \times 10^{-6} \text{4}\pi\text{SI}$ 。

2 重磁资料的处理和解释方法^[1]

2.1 基底深度研究

本区基底主要指的是前第三系基底, 用重磁资料计算基底, 包括重力基底与磁性基底。结合本区条件分析, 前者相当于中生界底界深度, 可能包含部分第三系; 后者为古生界的底界或包括部分元古界。东海陆架盆地海礁凸起南块上地震资料对第三系的反射层次是比较清楚的, 可以在海礁凸起南块上大面积范围内进行对比追踪, 其可靠性较大; 而第三系之下的中生界及前中生界总体上无明显反射信息, 仅在局部深的凹陷中存在一些零星的不连续反射。

2.1.1 重力基底

从重力异常中正确提取基底的重力效应, 是反演重力基底的关键。它不仅要消除浅层重力效应, 而且要消除深部场的重力效应。具体研究思路如图 1 所示。

2.1.2 磁性基底

用磁力异常求取磁性基底深度, 仍然要消除浅层磁性体异常, 但用剥离法很难计算出浅部磁力效应, 因此常用向上延拓和匹配滤波等方法来提取基底磁异常。我们对本区磁力异常化极上延了 1、2、

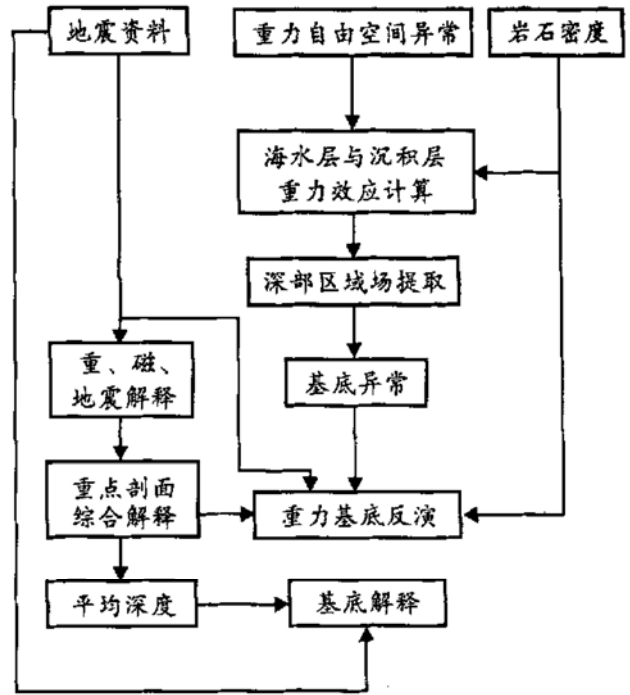


图 1 重力基底研究思路框图

Fig. 1 Flow chart of gravity basement research

5、8、10、15km 等不同高度, 最后选取了上延 8km 作为近似的基底磁异常。

对化极上延 8km 的基底磁异常, 利用空间域迭代反演方法进行计算, 求取磁性基底深度。

2.2 基底岩性研究

利用地震资料难以对盆地基底岩性作出判断, 只能借助于重、磁力资料研究盆地基底岩性。岩石密度和磁性与岩性关系较密切。一般而言, 火成岩磁性最强, 变质岩次之, 沉积岩最弱。在火成岩中, 从酸性到中性、基性乃至超基性岩, 磁性也是不断地增加, 故可用磁化率或磁化强度来进行填图; 岩石密度也同样。通过重、磁异常反演得到的是等效层的磁化强度和密度分布, 一般称为视磁化强度和视密度。

2.2.1 基底视磁化强度

正确提取基底磁异常是反演基底视磁化强度的关键。基底磁异常的求取是采用化极上延 8km 的磁异常作为基底磁异常, 然后利用空间域变深度视磁化强度迭代反演方法来提取基底的磁性信息。

2.2.2 基底视密度

对重力异常进行浅、深部的重力效应剥离, 得到剩余重力异常, 利用迭代反演方法来求取基底视密度。

3 基底性质解释

盆地基底岩性的确定是一个极其复杂的综合问

题,必须是各种地球物理资料包括地震、重、磁、海洋电法、钻孔及地质多种信息的综合。海礁凸起南块有其自身的特殊性,它位于东海海域内,被海水所覆盖,与陆地的露头有一定的距离,凸起上无一口钻孔资料,地震剖面上基底以下地震反射信息微弱或无反射的地震相结构,能应用于进行岩性解释的资料是重、磁资料^[3,4]。

重、磁力异常是一种体积效应。我们在野外利用仪器所观察到的每一个点的重、磁数据,是每个物理观察点周围及其地下由浅入深各种地球物理及地质因素的综合结果。海礁凸起南块上重、磁力异常的深部场主要反映前第三系盆地的基底结构,故依据重、磁异常特征,可以对基底岩性进行推断解释。

根据基底视密度与视磁化强度、重磁场特征、岩石物性与浙闽隆起带重磁场特征对比以及该区地表露头和东海陆架盆地内的钻探资料,结合海礁凸起南块的地震反射特征,我们将海礁凸起南块第三系之下基底的岩性推测为中生界的 J_3-K_1 地层,其岩性由酸性、中酸性火成岩和陆相碎屑岩组成,也可能还包含部分第三系。

以上结论的推断理由如下。

海礁凸起南块西侧与陆上浙闽隆起带相邻,上述两个地区的 ΔT 异常基本特征一致,总体以负异常为背景,在负异常背景上叠加了正磁异常,正、负异常急剧变化,异常呈北东走向。宁波地区地质图上所出露的中生代地层与航磁 ΔT 异常图有较好的对应关系。在宁波地区,地表大范围出露上侏罗统及下白垩统。上侏罗统岩性为酸性、中酸性及中性火山岩,有凝灰岩、安山岩、流纹岩、安山玢岩、英安岩及火山碎屑岩等,上侏罗统的陆相碎屑岩有含砾砂岩、砂砾岩及砾岩等。上侏罗统由下而上分6个岩性段,每一个岩性段岩性大同小异,均为火山岩夹沉积岩,而每个段厚度变化较大。如最下部第一岩性段大爽组,衢州—金华—慈溪地区,地层厚度238~2017m;龙泉皂口—丽水—舟山地区,厚800~4081m。浙东地区上侏罗统岩性主要是酸性—中酸性火山熔岩、火山碎屑岩及沉积岩,表明浙东地区在晚侏罗世时发生大范围的火山喷发活动,导致火山岩系广布,但由于各地区沉降幅度不同,离火山物源区远近差异,引起了厚度上差别很大。早白垩世在浙江东南沿海火山岩较发育,但与上侏罗统相比沉积岩所占比重有所增大。晚侏罗世—白垩纪火山岩系在浙江与福建东南沿海广为发育,地表大范围出露,与航磁 ΔT 异常有较好的对应关系。地质图上出露的 J_3-K_1 地层对应的航磁 ΔT 为负磁异

常,异常值一般为-50~-100nT,局部地区负异常值绝对值可以大于200nT;而中生代岩体或侵入岩对应的磁异常均为正,最高达400nT,一般为100~200nT。在地质图上和航磁 ΔT 图上特征明显,酸性、中酸性火山岩以负磁异常为主,岩体为正磁异常。为什么同一个地区、同一中生代的火成岩有正、负磁异常之别?

在同一个地区中生代时不同期的岩浆活动,极性有正、有负,导致磁异常有正、有负。另外一个重要原因是,一般侵入岩以感应磁化强度为主,感应磁化强度方向与现代地磁场方向一致,其产生磁异常一般以正为主;而火山岩的磁性往往与剩余磁化强度尤其是热剩磁为主,而剩余磁化强度与历史上的地磁场方向有关,也即与地质历史上的磁极倒转有关,因此才会有正、有负。海礁凸起南块与浙闽东南沿海的磁异常存在较大的相似性,据此我们可进一步推测海礁凸起南块是浙闽隆起向海区的延伸部分。

图2a、b是根据重、磁异常资料反演处理获得的视密度分布图和视磁化强度分布图。在海礁凸起南块第三系以下基底, F_1 断裂以西,基底视密度均在 $2.53 \times 10^3 \sim 2.58 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 之间变化,视磁化强度一般为 $-50 \times 10^{-3} \sim -150 \times 10^{-3} \text{ A/m}$,局部负视磁化强度绝对值大于 $200 \times 10^{-3} \text{ A/m}$,局部正视磁化强度可大于 $200 \times 10^{-3} \text{ A/m}$; F_1 断裂以东,即西湖凹陷,视密度值推测大于 $2.60 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,视磁化强度为正值,最大可大于 $400 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。

结合前面的岩石物性研究,从浙江、江苏、福建及东南沿海岛屿的岩石采样测定,中生界上侏罗统—下白垩统岩石平均密度为 $2.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,磁化率为 $50 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6} \text{ 4}\pi\text{SI}$,而花岗岩密度为 $2.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,磁化率为 $500 \times 10^{-6} \sim 900 \times 10^{-6} \text{ 4}\pi\text{SI}$ 。前中生界平均密度为 $2.60 \times 10^3 \sim 2.70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,沉积岩一般为无磁性或弱磁性,磁化率小于 $50 \times 10^{-6} \text{ 4}\pi\text{SI}$,大部分变质岩磁化率为 $0 \sim 50 \times 10^{-6} \text{ 4}\pi\text{SI}$,而角闪片岩磁性可达中—强,磁化率为 $1500 \times 10^{-6} \sim 10000 \times 10^{-6} \text{ 4}\pi\text{SI}$ 。重、磁资料反演所得的视密度和视磁化强度与基底岩性有较好的对应关系。

综上所述我们认为,海礁凸起南块第三系之下应为中生界地层,其岩性为酸性、中酸性火山岩及火山碎屑岩夹沉积岩,推测时代为晚侏罗世—早白垩世。中生代的火山岩系在海磁 ΔT 异常上或视磁化强度分布图上显示为负磁异常或负的视磁化强度,而侵入岩体为正磁异常或正的视磁化强度,它们

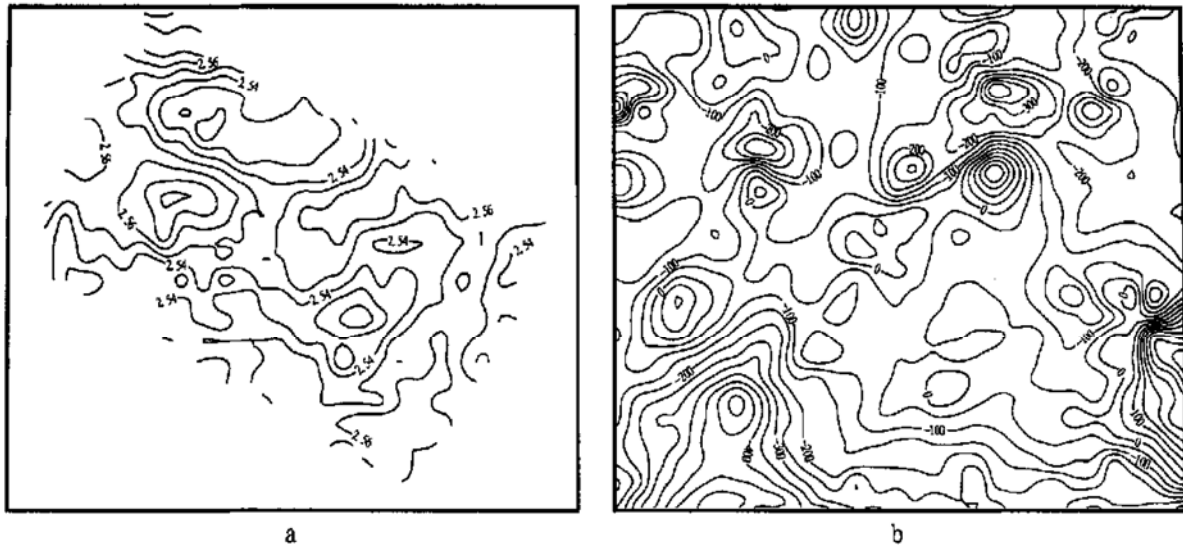


图2 东海陆架盆地海礁凸起南块视密度和视磁化强度分布图

a. 视密度分布图; b. 视磁化强度分布图

Fig. 2 Isograms of apparent density a) and apparent magnetic intensity b) for the South Haijiao Uplift in the East China Sea Shelf Basin

反映了中生代不同时期、不同极性的岩浆活动。区内火山岩以负极性期为主。

4 基底深度

4.1 重力基底深度

重力基底深度是由布格重力异常中减去第三系沉积层重力效应及深部重力效应后获得剩余重力异常,对剩余重力异常进行反演从而获得重力基底深度(图3a)。根据本章基底岩性的讨论不难看出,重力基底深度相对应的地质层位推测为中生界底界深度。

重力基底深度与基底视密度和基底视磁化强度存在一定的对应关系。在重力基底埋深浅的隆起上,视密度和视磁化强度的绝对值均比较高,视密度一般在 $2.56 \times 10^3 \sim 2.58 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 视磁化强度在 $-150 \times 10^{-3} \sim -200 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。而在重力基底埋深比较深的地方,视密度为 $2.53 \times 10^3 \sim 2.55 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 视磁化强度为 $-50 \times 10^{-3} \sim -100 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。我们认为在重力基底埋深浅的重力隆起上,以侏罗系火山岩系为主,白垩系较薄或不存在;而在重力基底埋藏较深的地方,不仅有侏罗系火山岩系,而且具有一定厚度的白垩系。因此,以侏罗系火山岩系为主的地区,视密度和视磁化强度绝对值都比较大;而当有一定厚度的白垩系存在时,平均视密度和视磁化强度绝对值都要降低。

由重力基底深度减去地震所提供的第三系底界深度,可近似获得中生界厚度。该厚度除了中生界厚度可能还包含部分第三系的厚度。

4.2 磁性基底深度

在研究区范围内磁性基底的深度在 11.3~11.7km 之间变化,变化幅度为 0.4km,表明工区内磁性基底起伏幅度较平缓,工区向南磁性基底略有加深,为 11.9km。西湖凹陷内磁性基底深度明显加深,从目前现有的资料来看,其深度为 12.8km,推测向东进入西湖凹陷中心区深度有进一步加深的趋势(图3b)。

对于磁性基底的年代问题,根据区域地层和岩石物性资料,本区第三系为无磁或弱磁性地层。中生代侏罗系—白垩系为中酸性火山岩夹沉积岩,其磁性大于上伏第三系,属于弱磁性;上古生界芝溪头组为一套浅变质岩系,属于无磁—弱磁;下古生界在浙西和闽西较发育,为海相碳酸盐岩和碎屑岩,而浙东地区该套地层大面积缺失,即使存在这套地层,其厚度也不大,只在局部分布,但从这套地层的岩性来看,属于无磁性。因此,引起本区较强的磁性基底,我们认为是前震旦系陈蔡群中的深变质岩系,其平均磁化率为 $1.461 \times 10^{-6} \text{ 4}\pi\text{SI}$ 。

5 结论

a) 根据基底的视密度、视磁化强度以及钻孔和陆区的地层资料,在海礁凸起南块第三系之下,推测为中生界,其岩性为酸性、中酸性火山岩和火山碎屑夹沉积岩。中生界火山岩系磁异常通常以负磁异常为主,岩体异常为正磁异常。中生界之下存在古生界浅变质岩系。海礁凸起南块基底是西侧浙闽隆起区向东部海域的延伸,它们在地质和地球物理上存

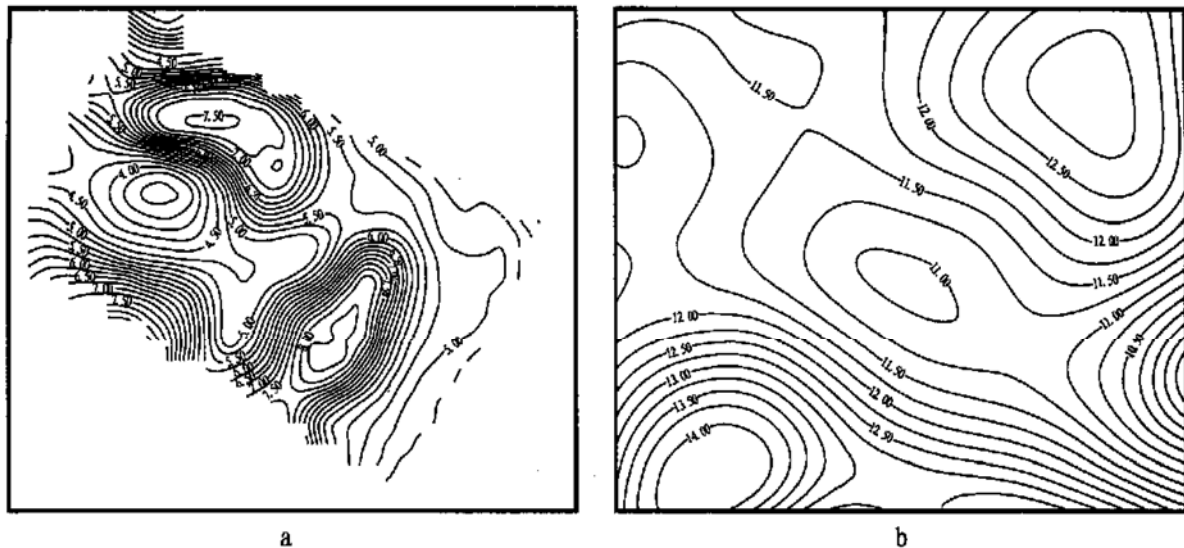


图3 东海陆架盆地海礁凸起南块重力基底深度和磁力基底深度图
a. 重力基底深度图; b. 磁力基底深度图

Fig. 3 Depth contour diagrams of gravity basement a) and magnetic basement b) for the South Haijiao Uplift in the East China Sea Shelf Basin

在较好的一致性。

b) 以重、磁为主,综合地震资料,推断了重力基底和磁性基底的深度,进而在基底岩性推断的基础上,求取了中生界厚度和古生界厚度。

c) 对海礁凸起南块中生界和古生界的含油气评价目前还很难作出肯定或否定的结论,因为在海礁凸起南块还没有一口深井来揭示上述地层的存在及其岩性组合特征,目前也只是根据周边及工区内的地球物理资料进行了推断解释,仍需要进一步的工作。从海礁凸起的化探异常来看,东海陆架盆地可能为一个多旋回的复合盆地,具有一定的生油条件^[5]。对于与海礁凸起南块相邻的钱塘凹陷尖灭

带或超覆带,寻找油气还是具有一定可能的。

参考文献:

- [1] 王家林,吴健生,陈冰,等.珠江口盆地和东海陆架盆地基底结构的综合地球物理研究[M].上海:同济大学出版社,1997.
- [2] 王家林,吴健生,陈冰.盆地基底结构的综合地球物理研究(寸丹集)[M].北京:科学出版社,1998.438-451.
- [3] 王家林,等.含油气盆地深层的综合地球物理反演方法(寸丹集)[M].北京:科学出版社,1998.394-403.
- [4] 王一新,等.石油综合地球物理方法与应用[M].北京:石油工业出版社,1995.
- [5] 李维显.东海陆架多旋回复合盆地的油气远景.石油实验地质,2001,23(2):144-145.

STUDY ON THE BASEMENT PROPERTIES OF THE SOUTH HAIJIAO UPLIFT IN THE EAST CHINA SEA SHELF BASIN

CHEN Bing¹, WANG Jia-lin¹, WU Jia-r-sheng¹, ZHONG Hu-r-zhi¹, ZHOU Ping²

(1. Key Laboratory of Marine Geology, MOE, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Planning & Designing Institute, Shanghai Offshore Petroleum Bureau, Shanghai 200120, China)

Abstract: By gravity and magnetic data processing of the Haijiao Uplift in the East China Sea Shelf Basin and Combined with peripheral geologic situation and various geophysical information, the basement depth and lithology of the Haijiao Uplift were studied. Based on the inference of basement lithology, the Mesozoic and Paleozoic thickness were obtained. This provides bases for the further development of hydrocarbon resources in the East China Sea Shelf Basin.

Key words: lithology; basement depth; the Haijiao Uplift; the East China Sea Shelf Basin