

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.01.08

引用格式: 张玄杰,张婉,范子梁,等. 南黄海北部航空重力场特征及主要地质认识[J]. 中国地质调查,2017,4(1): 50-56.

南黄海北部航空重力场特征及主要地质认识

张玄杰, 张婉, 范子梁, 朱卫平, 佟晶, 姚国涛

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 南黄海北部重力场信息丰富、梯级带发育、异常特征明显,充分反映了该区隆拗构造格局、断裂展布等地质特征。综合研究认为: NE 向断裂构成了南黄海北部主体构造格架,嘉山—响水断裂、南黄湖北缘断裂共同构成了苏鲁造山带南部边界;依据航空重磁资料新发现的 NW 向宫家岛深大断裂对南黄海北部基底构成、岩浆岩分布具有重要的控制作用;通过重磁联合反演,发现在南黄海北部坳陷的东北凹陷存在着前寒武系稳定的结晶基底;航空重力资料表明,胶莱盆地向东延伸进入南黄海,在海域内其最大沉积厚度可达 3 km。上述地质认识和发现为南黄海北部海洋区域地质调查、油气资源调查及重大基础地质问题的解决提供了借鉴。

关键词: 南黄海北部;重力场;苏鲁造山带;嘉山—响水断裂;宫家岛断裂;胶莱盆地

中图分类号: P631.1; P631.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2017)01-0050-07

0 引言

与其他调查技术手段相比,航空物探方法能够快速采集区域性基础地球物理信息,具有范围大,受地形、人文、气候等影响因素较小的优点,尤其航空重、磁资料能够充分反映深部地质特征,对解决区域地质问题具有显著的优势,一直以来被广泛用于确定基底性质、圈定深大断裂、划分构造单元、圈定岩浆岩等工作中。2006 年,中国国土资源航空物探遥感中心(以下简称航遥中心)引进具有国际先进水平的 GT 系列航空重力测量系统,在某海域开展航空重力测量工作,标志着我国航空重力测量在地球物理探测领域应用的开始^[1];之后,航空重力测量在海域及陆域含油气盆地内相继开展,均取得了较好的测量效果^[2-4]。2012 年,为满足南黄海海洋区域地质调查及油气资源调查需要,航遥中心在南黄湖北部海域及海陆过渡区开展了航空重力测量工作,获取了高质量航空重力数据,为解决南黄湖北部地区关键基础地质问题提供了数据基础。本文在区域重力场特征分析的基础上,探讨了苏鲁造山

带南部边界、南黄海北部坳陷的东北凹陷基底性质以及胶莱盆地在海域内的延伸等基础地质问题。

1 区域地质背景

研究区涉及了苏鲁造山带和南黄海盆地等多个构造单元,区内岩浆活动发育,构造复杂。

苏鲁造山带是大别—苏鲁造山带的一部分。大别—苏鲁造山带西起湖北信阳,过红安、岳西、潜山后被郯庐断裂切断,北移到江苏新沂县、东海县,后经日照、胶南延至山东半岛最东段的荣成、威海,延长达上千 km。该带广泛分布着含柯石英的榴辉岩、片麻岩、大理岩等,形成了世界上规模最大的超高压变质岩(UHPM)^[5]。

南黄海盆地是下扬子板块的主体,目前多数学者认为南黄海盆地是叠合于前震旦系变质岩基底之上,由海相中、古生界残留盆地和中、新生代断陷盆地构成的多旋回叠合盆地^[6]。其中,陆相中、新生代盆地一般被划分为南部坳陷、中部隆起、北部坳陷三大构造单元,形成现存“一隆两拗”的构造格局^[7];海相中、古生界分布广泛,但由于后期受印支、

收稿日期: 2017-01-03; 修订日期: 2017-01-16。

基金项目: 国家专项“海洋航空地球物理探测及应用(编号: GZH200900502)”和中国地质调查局“海南岛及周边航空物探调查(编号: DD20160141)”项目资助。

第一作者张玄杰(1979—),男,高级工程师,主要从事航空物探调查综合研究。Email: zhangxuanjie@163.com。

燕山等构造运动的强烈改造作用,造成大部分地区遭受强烈隆升、褶皱和剥蚀,逆冲断裂广泛发育。

2 岩石物性分布特征

2.1 密度分布特征及主要密度界面

南黄海及邻区岩石密度分布呈不均匀性。横向上,不同的大地构造单元,其岩石密度及密度分层各不相同;纵向上,随其沉积年代的由新到老、由浅到深,沉积岩密度逐渐增大。

根据研究区周边已有及实测资料统计结果,南黄海及邻区有多个密度界面,其中密度差相对较大的界面有2个:一个是新近系与古近系间界面,上下界面平均密度差为-0.22 g/cm³,界面埋深最浅,因此在重力异常上反映最强烈,目前,南黄海盆地内的地震数据可以确定该界面的深度,采用重力正演计算方法可取得该界面引起的异常信息;另一个为陆相中、新生界和海相中、古生界之间的印支面,上下地层之间的密度差可达-0.23 g/cm³(表1),该界面起伏大,呈区域性分布,是本区局部重力异常最主要的成因。

表1 南黄海地层密度特征表

Tab.1 Characteristics of stratum densities
in the South Yellow Sea (g·cm⁻³)

时代	变化范围	平均值	密度差
Q	2.02~2.15	2.11	0.22
Ny	2.12~2.17		
Es	2.21~2.33	2.33	0.15
Ed	2.37~2.40		
Ef	2.38~2.54	2.48	0.23
Kt	2.38~2.60		
T ₁	2.65~2.76	2.71	0.05
P ₁	2.74~2.75		
C	2.76~2.77	2.76	-0.06
S-D	2.65~2.74		
O	2.66~2.75	2.70	0.09
⊔	2.77~2.78		
Z	2.78~2.82	2.79	

2.2 岩石磁性分布特征

南黄海周边地区主要磁性地层分布于胶东与江苏地区。胶东地区主要为太古宇—古元古界胶

南群变质岩地层及中生代火山岩,江苏地区磁性地层主要为震旦系下部胸山组,中元古界云台组、锦屏组及中、新生代火山岩也能够引起局部升高异常。此外,胶东半岛地区广泛分布的燕山期侵入岩体也具有一定的磁性,但是变化较大,在磁场图上能够引起强度及规模均较大的正磁异常。

3 重力场特征

南黄海北部重力场值总体上以正值为主,异常值具有正负相间的分布特征。在重力高低场值变化过渡区发育规模、水平梯度变化不等的重力梯级带,且分布广泛。全区布格重力异常走向总体上以NE向为主,反映该区主体构造走向为NE向;NE向的重力梯级带或重力异常往往在NW向、NNW向发生扭曲或错断,表明NW向构造在区内也具有重要的构造意义。

根据南黄海北部研究区总体重力异常特征,将该区划分为日照—青岛低值异常区(I)、连云港—千里岩高值异常区(II)、南黄海北部低值异常区(III)以及南黄海中部高值异常区(IV)4个重力异常区(图1)。

3.1 日照—青岛低值异常区(I)

该区位于胶东半岛南岸日照—青岛一线,是苏鲁造山带上最明显的重力异常低值带。异常区整体表现为低值背景场,重力场值以崂山为界,具有南西低、北东高的特点,在胶州湾地区,场值最低。异常区北东段异常展布呈近EW向,北高南低,高低值之间发育有一宽缓梯度带。航磁ΔT化极图上,异常区南西段与日照—青岛高值磁异常带具有很好的对应关系,磁异常带由多个强磁异常组成,强磁异常的方向以NE向为主。

该低值异常区地表主要出露了太古宇—古元古界胶南群及五莲群变质岩。区内燕山期岩浆活动强烈,形成了规模大、类型复杂的各类岩体,主要有花岗岩、花岗闪长岩,其次有闪长岩、石英二长岩等。作为基底的太古宇—古元古界被岩浆活动强烈改造,形成岩体与老地层交织分布的特征,在深部,花岗岩类分布可能更为连续。由于花岗岩类密度普遍低于太古宇—古元古界变质岩,从而在布格重力异常图上,形成了大面积低值异常分布区。根据物性资料,燕山期各类侵入岩体具有强度不等的磁性,在磁场图上引起高值磁异常。

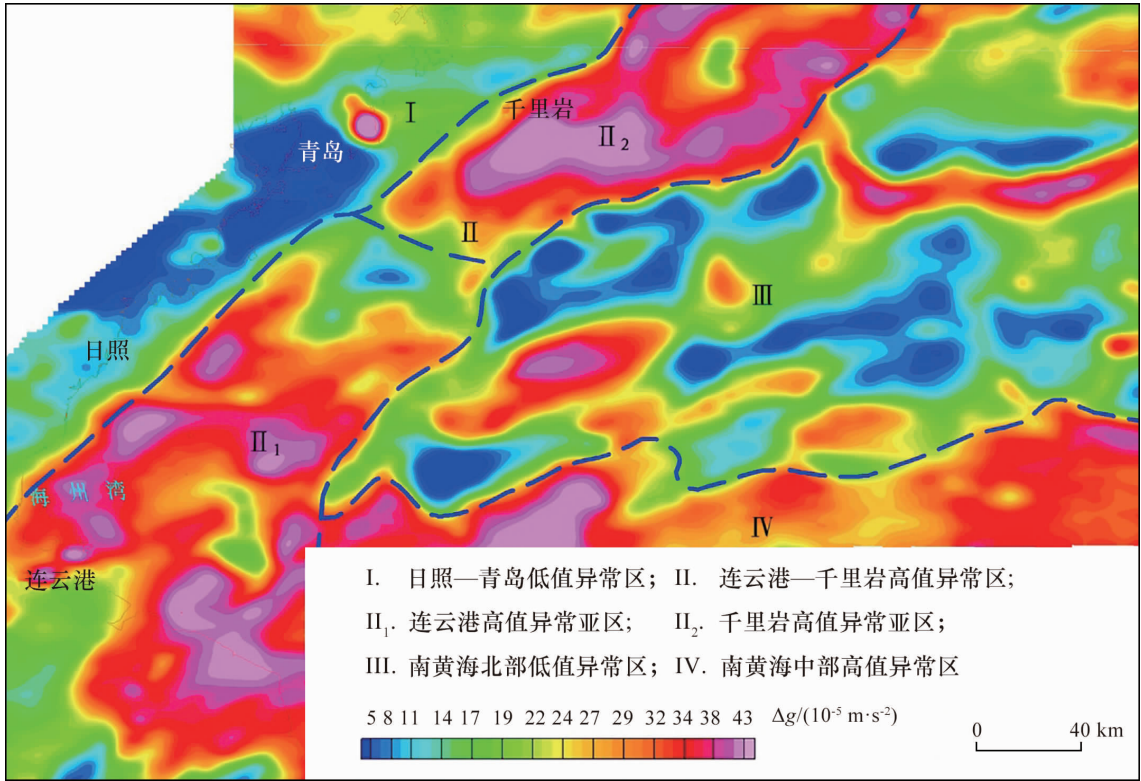


图1 南黄海北部航空布格重力异常阴影图

Fig.1 Airborne Bouguer gravity anomaly shadow map in the northern South Yellow Sea

3.2 连云港—千里岩高值异常区(II)

该重力异常高值区为研究区内特征最为显著的重力异常带。异常高值区呈 NE 向延伸,两侧均以规模较大的重力梯级带为边界。在布格重力图上,可以看到该重力异常区显示为 2 个团块状高值重力异常,二者之间存在一个重力低值异常。根据区域重力场特征,该重力异常区可分为南北 2 个亚区,即北部的千里岩高值异常亚区(II₂)和南部的连云港高值异常亚区(II₁)。2 个亚区虽然同为高值异常特征,但其在异常强度、局部异常组合特征等方面存在着一定差异。北部亚区局部异常以 NE 向为主,异常规模、强度更大;南部亚区局部异常多为 NEE 向和近 EW 向,异常规模较小。在航磁 ΔT 化极图上,该异常区对应负背景场,局部磁异常较发育。

连云港地区的云台山、东西连岛及灌云伊山出露中元古界云台组(Pt₂y)变粒岩、石英岩;响水河口、开山岛出露震旦纪莲沱组(Z₁l)变质石英砂岩;达山岛出露混合岩、白云斜长片麻岩。上述岩石均

为具有密度高、磁性弱的特征,为引起连云港高值异常亚区的因素。而千里岩隆起则是一个受燕山期岩浆活动改造的太古宇变质岩古隆起,由胶东群和粉子山群的深变质岩组成。据岩石密度测定,燕山期的花岗岩密度为 2.54 ~ 2.60 g/cm³,而太古宇变质岩密度为 2.68 ~ 2.70 g/cm³。由于千里岩隆起区具有较大规模的燕山期花岗岩侵入体,因此会形成高值背景上的重力低异常。

3.3 南黄海北部低值异常区(III)

异常区位于研究区中东部,呈西窄东宽的楔形,北侧以区域性展布的异常梯级带为界与连云港—千里岩高值重力异常区相邻,南部与南黄海中部高值重力异常区相接。异常区以大面积降低负异常为主,在异常区东北部存在一条近 EW 向的重力异常高值带,将全区分隔为南北 2 个重力异常低值区。其中,北部重力异常低值区内局部异常以近 EW 向或 NEE 向为主;南部重力低值区内,局部异常的延伸方向主要为 NE 向,多个高值异常与低值异常相间排列。

根据区域地质及地震资料,认为该重力低值区即是南黄海北部盆地的分布范围,发育巨厚中、新生代陆相断陷沉积。第四系和新近系,由东向西厚度逐渐增大,最大厚度超过了 1 000 m,在 1 000 m 以下仍发育较厚的古近系。中、新生代主要发育陆相碎屑岩沉积,岩石密度相对较小,与前中、新生代碳酸盐岩或变质岩地层之间形成了区内主要的密度界面,该界面的起伏变化是引起区内重力异常的主要因素。区域磁场特征显示,该异常区南部深部发育稳定的强磁性基底,该套基底强度较大,相对稳定,其上可能发育古生界海相地层,同时平静的磁场特征也反映了强磁性基底区内岩浆活动较弱的特点。而异常区北部东西向高值异常带可能是在断裂构造作用下,形成的中生代地垒,其上可能缺失新生界,两侧为新生代沉积厚度较大的凹陷,由于在横向上存在较大的密度差,形成高值异常带。

3.4 南黄海中部高值异常区(IV)

南黄海中部高值异常区与南黄海北部重力低值区相邻,主要由 NE 向高值重力异常组成,由西向东异常值逐渐降低,高值背景场上发育有多处规模不等的局部低值异常。在航磁 ΔT 化极图上,该异常区对应南黄海中部团块状高磁异常区,且高值磁异常梯度带宽缓,规模较大,是强磁性基底的反映。

根据已有地质资料及重、磁同高的地球物理场

特点,推断该区在稳定的强磁性基底之上发育了厚度较大的中、古生代碳酸盐岩地层。

4 主要地质认识

4.1 苏北—胶南造山带南部边界为嘉山—响水断裂

在大连周边海域航空重力调查中,通过航空重力资料综合对比,提出苏鲁造山带北界为牟平—即墨—刘公岛断裂带,南部边界为嘉山—响水断裂^[2],但该文中只涉及了造山带东段,未能展示该造山带南部边界全貌。最新航空重力数据显示,在 SW 方向上,嘉山—响水深大断裂作为造山带南部边界的重力场特征依然明显,显示为梯度陡、延伸长的梯级带,梯级带特征在布格重力垂向一阶导数图上显示更为明显(图 2(a))。断裂北侧为重力高值异常区,是构造隆起区变质岩基底的反映;磁场上表现为高频杂乱磁异常区,认为该区后期岩浆活动较为频繁,形成了分布广泛的岩体。断裂南侧为南黄海北部重力低值异常区,在低值背景场中分布有 NE、NEE 向局部升高的重力异常带,各异常带均在嘉山—响水断裂所在位置截止;磁场上断裂两侧显示为平静磁场区叠加 NE 向磁异常条带(图 2(b)),重磁场特征反映该区域为拗陷区,即为南黄海北部拗陷。因此,嘉山—响水深大断裂既是苏鲁造山带的南部边界,也控制了南黄海北部拗陷的形成与发展。

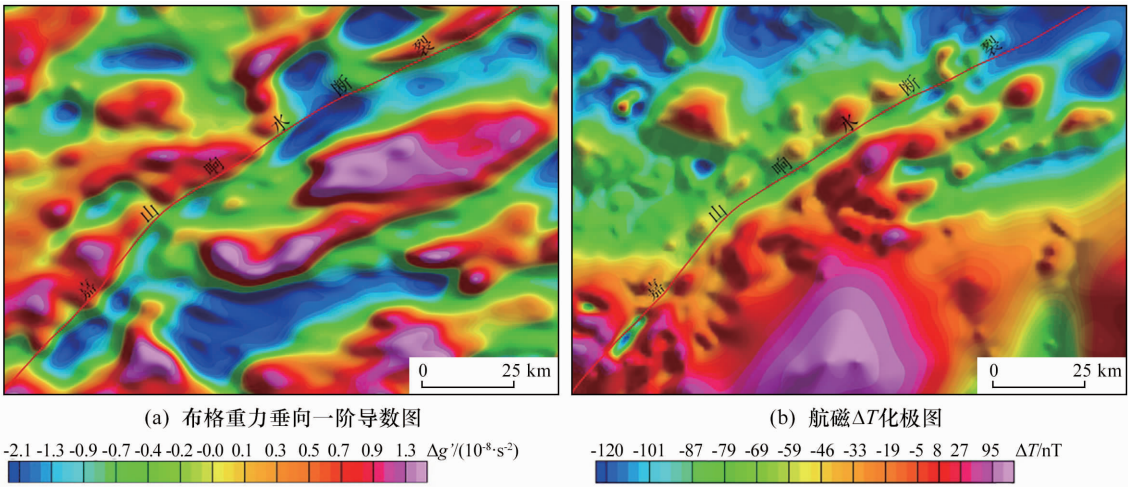


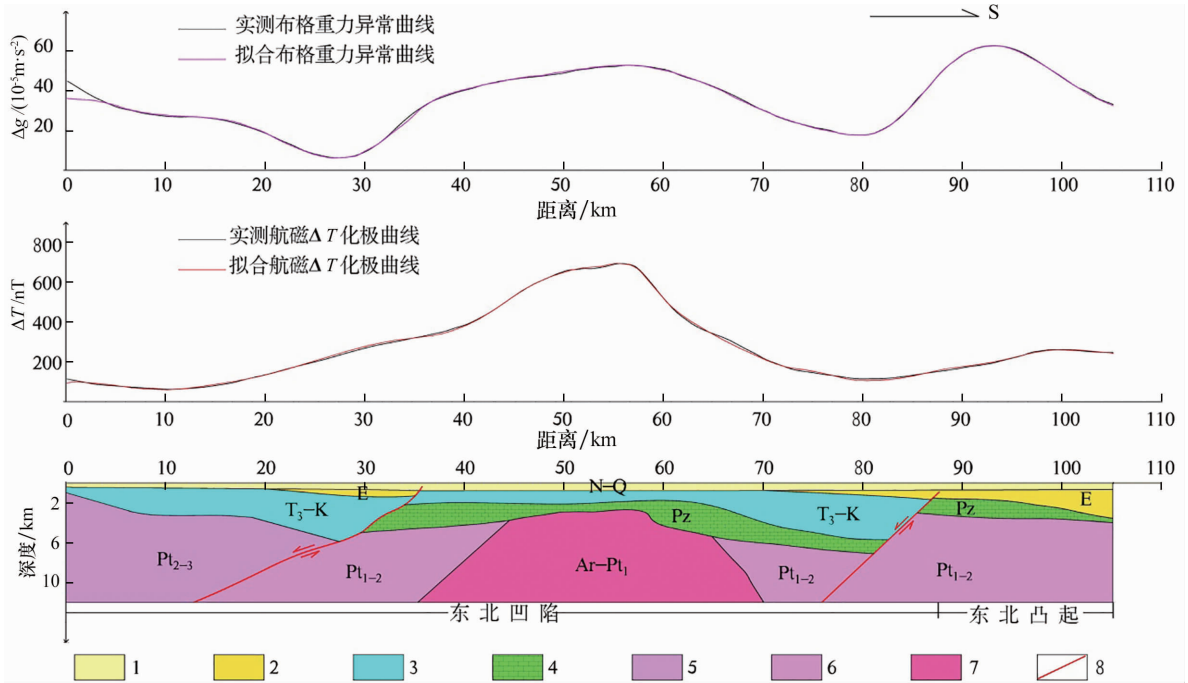
图 2 嘉山—响水断裂重磁场特征

Fig. 2 Characteristics of gravitational and magnetic field in Jiashan - Xiangshui fault

4.2 南黄海北部坳陷的东北凹陷存在前寒武系稳定结晶基底

南黄海北部坳陷的东北凹陷位于研究区东北角,西侧以南黄海北缘断裂为界与千里岩隆起相接,南部以东北凸起构造为界与坳陷内其他构造分隔。已有的地震、钻井资料表明,东北凹陷内广泛发育中—新生界,其中,中生界厚度巨大。根据重磁资料,凹陷南部是中生界最为发育的地区,推断最大沉

积厚度可达 5.0 km 以上。在凹陷中部发育一宽缓的 NEE 向构造带,构造带分为南、北两支,北浅南深,构造带主体多浅于 2.0 km。而根据航磁异常推断,该构造部位磁性基底埋深在 5 km 以上,推断中—新生界陆相沉积之下发育厚 2~3 km 的中古生界海相地层(图 3)。同时,依据重磁同高的地球物理场特征,认为中央构造带为前寒武系结晶基底隆起所致,其深部存在与南黄海中部类似的磁性较强的变质岩。



1. 新近系—第四系(N—Q); 2. 古近系(E); 3. 上三叠统一白垩系(T₃—K); 4. 古生界(Pz); 5. 中—新元古界(Pt₂₋₃); 6. 古—中元古界(Pt₁₋₂); 7. 太古宇—古元古界(Ar—Pt₁); 8. 断裂

图3 南黄海北部东北凹陷重磁综合地质解释剖面图

Fig.3 Comprehensive geological interpretation profile with magnetic and gravity data of northeast sag in the northern South Yellow Sea

目前,该凹陷内 RC20-2-1 井已发现近千米厚的上侏罗统暗色泥岩,具有良好的油气地质条件^[8];重磁资料认为该凹陷内中央构造带是有利的油气聚集带,具备较好的油气勘探前景。

4.3 海阳凹陷为胶莱盆地在海域内的延伸

海阳凹陷是本次研究在苏北—胶南隆起区之上新圈定的负向构造单元,在布格重力图上,凹陷整体处于低值异常区内,具有北高南低的重力异常组合特征;低值异常区南部发育有一近 NEE 向负值异常,在重力垂向导数图上,NEE 负值异常

两侧梯度带窄陡,其南侧异常梯度变化极大(图 4(左))。重力异常深度计算结果表明,凹陷最大沉积厚度在 3 000 m 左右(图 4(右))。

结合区域地质资料,本次研究认为海阳凹陷是胶莱盆地在海域内的延伸,其西侧边界受即墨断裂控制。凹陷重磁场特征同时表明,海阳凹陷具有南断北超的盆地结构特征,其形成和发展受南侧的断裂构造控制。以往人们讨论的胶莱盆地多指郯庐断裂以东胶东半岛陆地部分,认为胶莱盆地是叠置在太古宇和古元古变质基底之上的中生代沉积坳

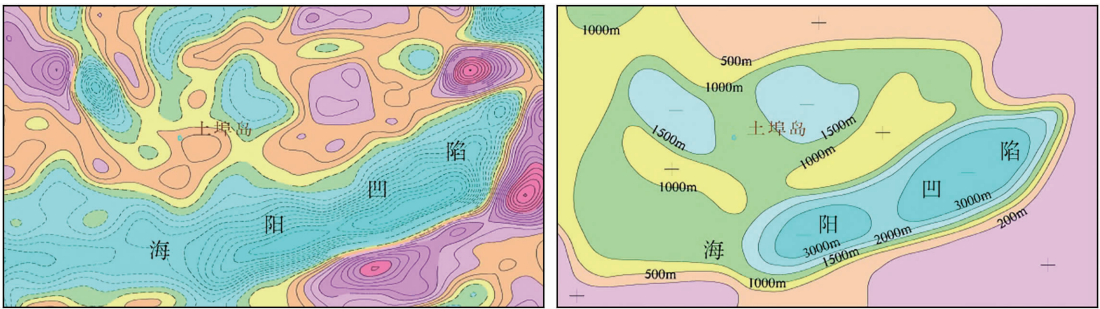


图 4 海阳凹陷重力异常特征(左)及推断深度图(右)

Fig.4 Gravity anomalies characteristics (left) and interpreted depth (right) in Haiyang sag

陷。凹陷内发育侏罗系和白垩系,其中,侏罗系上统莱阳群主要为陆相碎屑岩,下白垩统青山组由一套火山熔岩和火山碎屑岩组成,上白垩统王氏组为河湖相红色碎屑岩,大面积出露于盆地西部、南部和中部,之上有较薄的新生代沉积。在航磁图上,海阳凹陷对应的磁场区相对较为平静,表明火山岩不发育,凹陷内应以陆相碎屑岩沉积为主。

4.4 宫家岛深大断裂控制了南黄海中部刚性结晶基底的发育

本次研究新圈定了宫家岛深大断裂,该断

裂两侧重磁场面貌差异明显(图 5),表明其两侧基底岩石构成及后期构造活动各不相同。经重磁综合研究,认为宫家岛深大断裂控制了南黄海中部强磁性结晶基底的东部边界,该套结晶基底仅在断裂东侧的东北凹陷内残留。在岩浆活动方面,断裂东侧也明显强于西侧,该断裂在 SE 方向上控制了南黄海东南隆起区强烈的构造岩浆活动,在 NW 方向上切穿了规模巨大的苏鲁造山带,形成了造山带东部荣成—石岛环形磁异常。

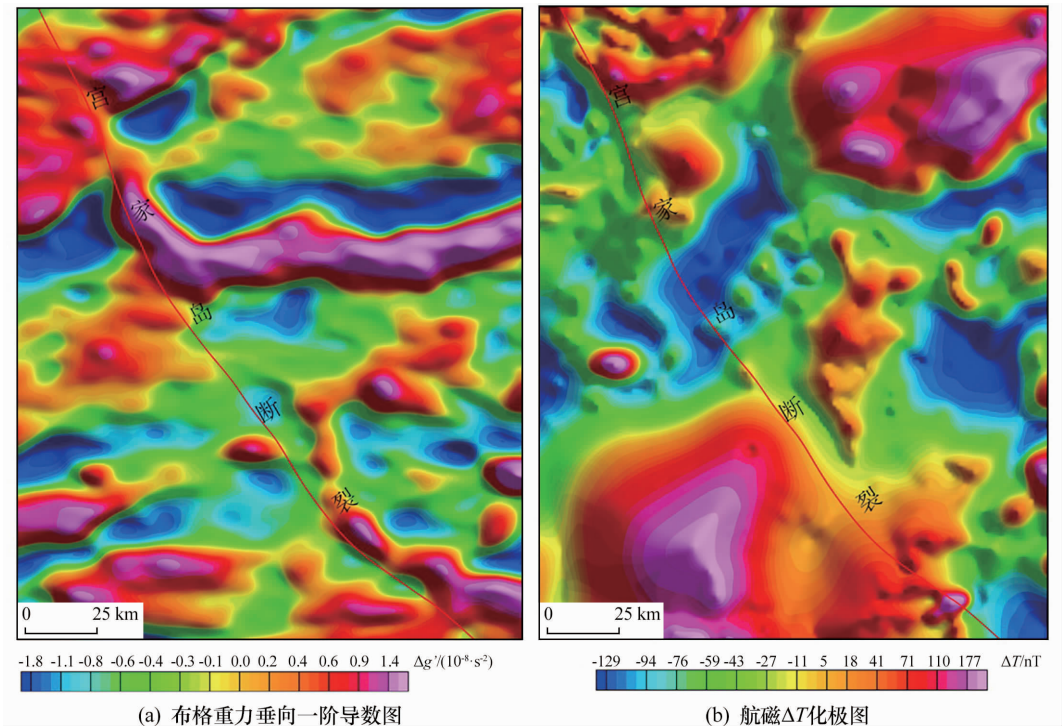


图 5 宫家岛断裂重磁异常特征对比图

Fig.5 Comparison between magnetic and gravity characteristics in Gongjiadiao fault

5 结论

(1)南黄海北部重力场信息丰富、梯级带发育、异常特征明显,苏鲁造山带、南黄海北部拗陷、嘉山—响水深大断裂等重要地质体或构造在航空布格重力异常图上均有清晰显示。

(2)嘉山—响水深大断裂为重力区域场分界线,具有重力异常梯度带特征,控制了苏鲁造山带南部边界及南黄海北部拗陷的发育展布。

(3)推断南黄海北部拗陷的东北凹陷中央构造带为前寒武系结晶基底隆起所致,深部存在与南黄海中部地区类似的强磁性变质岩。

(4)推断海阳凹陷是胶莱盆地向东进入南黄海形成的次级构造单元,凹陷沉积中心位于千里岩断裂带附近,最大沉积厚度在 3 km 左右。

(5)认为宫家岛深大断裂控制了南黄海中部强磁性结晶基底的东部边界和南黄海东南隆起区强

烈的构造岩浆活动,切穿了规模巨大的苏鲁造山带。

参考文献:

- [1] 熊盛青.我国航空重磁勘探技术现状与发展趋势[J].地球物理学进展,2009,24(1):113-117.
- [2] 张玄杰,陈斌,朱卫平,等.大连周边海域航空重力调查方法及重要成果[J].中国地质调查,2016,3(2):40-45.
- [3] 林晓星,陈斌,张玄杰,等.天津周边海-陆过渡地区航空重力调查及主要成果[J].中国地质调查,2016,3(6):57-62.
- [4] 张婉,王志博,刘英会,等.航空重磁综合测量在准噶尔油气资源调查中的应用[J].中国地质调查,2016,3(6):10-16.
- [5] 杨文采.中央造山带东段岩石圈的构造格架[J].中国地质,2005,32(2):299-309.
- [6] 陈建文,龚建明,李刚,等.南黄海盆地海相中—古生界油气资源潜力巨大[J].海洋地质前沿,2016,32(1):1-7.
- [7] 姚永坚,夏斌,冯志强,等.南黄海古生代以来构造演化[J].石油实验地质,2005,27(2):124-128.
- [8] 高顺莉,周祖翼.南黄海盆地东北侏罗纪地层的发现及其分布特征[J].高校地质学报,2014,20(增刊):286-293.

Characteristics of airborne gravity field and the main geological discovery in the northern South Yellow Sea

ZHANG Xuanjie, ZHANG Wan, FAN Ziliang, ZHU Weiping, TONG Jing, YAO Guotao
(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The obvious anomalies of gravity field in the northern South Yellow Sea distribute in a gradient belt form, which reflects the main geological characteristics of structural framework with uplifts, depressions and faults in this area. The main structural framework of South Yellow Sea consists of NE-trending faults, and Jiashan-Xiangshui fault belt and north margin of South Yellow Sea fault belt formed the south boundary of Su-Lu orogenic belt together. The aeromagnetic and gravity data indicate that the Gongjiadao NW-trending deep fault, a new discovery, controls basement formation and magmatic rocks distribution in the northern South Yellow Sea. The Precambrian crystalline basement exists in northeast sag of northern depression in the South Yellow Sea from inversion and interpretation of magnetic and gravity data. The aero gravity data indicate that Jiaolai basin extends eastward into South Yellow Sea with maximum thickness of deposition up to 3 km. These new recognition and discovery can provide some solutions for further investigation of marine regional geology, oil-gas investigation, and other fundamental geological problems in the northern South Yellow Sea.

Key words: northern South Yellow Sea; gravity field; Su-Lu orogenic belt; Jiashan-Xiangshui fault; Gongjiadao fault; Jiaolai depression

(责任编辑:刁淑娟)