

引用格式: 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.

天津周边海-陆过渡地区航空重力调查及主要成果

林晓星,陈斌,张玄杰,吴云,范江

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要: 随着人类对海洋矿产资源需求的日益增加,海洋基础地质调查对海洋矿产资源勘探具有重要意义。我国海洋地质地球物理调查起步较晚,整体工作程度较低,而航空重力测量作为一种快速高效的地球物理测量方法,对加强海洋基础地质调查研究具有重要作用。2006年我国引进了国际先进的GT-1A航空重力测量系统,并于2011年首次在天津周边海-陆过渡地区开展了1:20万比例尺航空重力测量工作,完成了高质量的航空重力测量数据3万测线公里,在海-陆过渡地区实现了海-陆连续测量,填补了研究区内高精度航空重力测量的空白。阐述了本次航空重力调查工作取得的主要成果,并从航空重力的角度对研究区内石臼坨凸起进行了研究,认为石臼坨凸起基底具有分段性,并圈定出新的基岩凸起构造,为石臼坨凸起油气资源的进一步勘探提供方向;同时对渤海中凹陷正高磁异常体可能的地质成因进行了探讨。对海-陆过渡地区主要构造单元的重力场特征进行研究,在基底和断裂研究方面取得的新认识对海-陆过渡地区基础地质和环境研究具有重要意义。

关键词: 海-陆过渡地区;航空重力测量系统(GT-1A);石臼坨凸起;渤海中凹陷

中图分类号: P631.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2016)06-0057-06

0 引言

航空重力测量是地球科学研究、资源勘查、国民经济建设和国防技术建设的重要基础资料之一^[1]。我国航空重力测量始于20世纪50年代,但受当时重力仪、导航定位设备以及垂直加速度测量精度的影响,测量精度仅为10 mGal,不能满足实际应用要求^[2]。在随后近30 a的时间里,航空重力测量并未取得实质性成果。我国对航空重力测量的实质性研究始于1996年,研制成功的首套航空重力测量系统CHAGS^[3]先后于2001年、2002年和2003年分别在汉中、大同和哈尔滨地区进行了飞行测量试验,试验精度对于5'×5'格网的平均重力异常为±2~5 mGal^[4]。2000年以后,航空重力测量技术发展突飞猛进,逐渐趋于成熟并进入应用阶段,特别是随着差分GPS技术的发展,航空重力测量精度也有了很大提高。俄罗斯莫斯科重力测量技术公司研制的GT-1A航空重力测量系统的

测量精度(RMS)可达0.4~0.7 mGal,空间分辨率1.5~2.75 km(固定翼)或0.75~1.5 km(直升机)^[5]。随着我国基础地质研究和矿产资源调查日益增长的需要,2006年我国引进了GT-1A航空重力仪,并自主集成了具有国际先进水平的航空重力测量系统,首次对天津周边海-陆过渡地区进行航空重力测量,取得了高质量的航空重力数据资料,满足了区域性地球物理勘查精度要求,填补了该地区航空重力资料的空白。

海-陆过渡地区是我国海洋区域地质调查的重要组成部分,但因资料不足,对海-陆过渡带的研究一直是我国海洋地质研究中的薄弱环节,而航空重力测量的海-陆一体化优势恰好可以弥补这个薄弱环节。航空重力测量可以充分发挥海-陆连续测量的优势,解决地面重力测量和船载重力测量难以解决的一些问题^[6-8],对海-陆过渡地区的基础地质研究和海洋资源勘探具有重要意义。

航空重力测量在研究区取得了很多成果,本文概述了其中的主要成果,并从航空重力的角度对研

收稿日期: 2016-07-27; 修订日期: 2016-09-18。

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“河北磁县-河南安阳地区航磁调查(编号: 12120115039701)”项目联合资助。

第一作者简介: 林晓星(1981—),女,工程师,主要从事航空地球物理调查综合研究。Email: linxiaoxing2012@163.com。

究区内的部分地质问题进行探讨,以期为航空重力数据的地质解释打下基础,同时也为进一步开展海洋及海-陆过渡带研究提供依据。

1 研究区概况

本次航空重力调查研究区主要为渤海中西部海域和冀东部分地区。研究区北部为燕山隆起区,太古宇结晶基底及中、上元古界和下古生界碳酸盐岩地层广泛出露,上覆新生界厚度不足 1 km;南部为渤海海域拗陷区,古近系断陷和新近系拗陷广泛发育。

研究区内重力勘探最早始于 20 世纪 60 年代,目前已完成 1:20 万比例尺区域重力测量,局部地区完成了 1:5 万比例尺船载重力测量。1959 年,在渤海及周边地区开展了 1:100 万比例尺航磁调查工作;至 2002 年,中国国土资源航空物探遥感中心(简称“航遥中心”)已完成 1:5 万比例尺航磁测量,基本实现了大比例尺航空磁测覆盖,为开展天津周边海-陆过渡地区航空重力调查和重磁联合解释奠定了技术基础。

2 航空重力测量

2.1 测网布置

研究区内地形复杂,北部为山区,地形高差较大,向北地形出现急剧升高;南部为平原和海洋交互地形,主要构造走向为 NE 向,少量为 NW 向,二者近于垂直分布。综合地形条件、地质构造线方向等因素,确定研究区北部测线方向为 EW 向(即测线方向为 90°、270°),切割线方向为 SN 向(即测线方向为 0°、180°),飞行高度为 1 200 m;南部测线方向为 SN 向(即测线方向为 0°、180°),切割线方向为 EW 向(即测线方向为 90°、270°),飞行高度为 600 m。

根据目前航空重力测量系统的测量精度和空间分辨率,参照国外同类系统作业测量比例尺,确定本次测量比例尺为 1:20 万(即测线间距 2.0 km,切割线间距 10.0 km,组成 2 km×10 km 测网)。

2.2 航空重力测量系统

2006 年,航遥中心引进了先进的航空重力测量系统,主要包括空中测量系统、导航定位系统、地面差分 GPS 观测系统^[9]和数据预处理系统等^[9]。

空中测量系统为俄罗斯莫斯科 GT 公司研制的 GT-1A 型航空重力测量系统,由 GT-1A 型航空重力仪、Asthech Z-Xtreme 差分 GPS 系统、数据收录系统(CDU)和 UPS 电源系统组成。该重力测量系统具有测量精度高(精度可达 0.6 mGal)、在强烈湍流条件下性能可靠、作业效率高等特点^[5],能够满足本次航空重力调查的需求。

导航定位系统采用 HD-01 型双星座全球卫星导航系统。该系统可以实时提供飞机的三维空间位置、飞行高度及速度等导航信息,定位精度可达 1.6 m。

地面差分 GPS 观测系统为 AsthechZ-MAX 大地测量级接收基站。该观测系统具有高精度三维定点、定速、定时且不受任何天气影响等特点。

航空重力数据预处理系统由航遥中心自主研发的航空地球物理数据处理系统(GeoProbe)、GT-1A 航空重力处理软件和 Geosoft 数据处理系统等专用软件组成。

3 地面岩石密度测量

地层起伏及其间存在的密度差是研究区内引起重力异常的主要因素,了解研究区主要地层岩石密度分布情况是进行重力异常解释的基础。鉴于研究区内海域岩石密度资料较少,本着“由陆及海”的原则,本文在研究区及周边的陆域地区进行岩石密度测量,在综合整理实测数据和收集数据基础上,确定研究区主要存在 3 个密度界面。

(1) 新近系与古近系界面。该界面存在 0.20 g/cm³左右的密度差,是区域性密度界面;且界面近于水平,只影响布格重力异常区域场大小,不会产生局部布格重力异常,故由该密度界面产生的重力异常对局部重力异常的产生基本没有影响。

(2) 新生界与中生界面。该界面的密度差值在 0.15 g/cm³左右,是影响重力异常局部变化的因素之一。该界面在研究区是一个非区域性和不连续的局部性密度界面。

(3) 下古生界顶面。下古生界主要发育灰岩地层,具有较高的密度值,因而与上覆地层形成了 0.15 g/cm³左右的密度差。这是研究区存在的一个最主要的区域性密度界面,其起伏变化是影响区域性重力异常的主要因素。

4 取得的主要成果

4.1 测量成果

本次航空重力调查使用国际先进的 GT-1A 型航空重力测量系统,对天津周边地区开展了 1:20 万比例尺航空重力测量。这是我国首次将航空重力测量系统正式应用于天津周边区域的海洋及海-陆过渡地区区域地质调查工作,获取了高质量的航空重力测量数据近 30 000 测线公里,原始测量总精度达 $1.58 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,充分满足了区域性地球物理勘查的需求。研究区内高差较大,涉及的海-陆过渡区域范围广,航空重力海-陆一体化测量不仅弥补了地面重力和船载重力的不足、填补了研究区高质量航空重力测量的空白,而且也为海洋资源勘探、海-陆过渡地区环境、工程等研究提供了技术保障,更为今后开展海洋航空重力调查工作奠定了基础。

4.2 对石臼坨凸起的认识

石臼坨凸起是介于渤中凹陷和秦南凹陷之间

的构造单元,走向 EW,是渤海海域油气勘探的重要地区之一。目前,在石臼坨凸起上已发现秦皇岛 32-6,南堡 35-2、428W、427 和秦皇岛 33-1 等多个油气田^[10]。

4.2.1 基底构造的分段性

本次航空重力测量数据对石臼坨凸起有良好的反映,在布格重力场上表现为异常强度由西向东逐渐衰减;计算出的基底深度由西向东加深,由浅于 2 km 变至 4 km 左右,具有明显分段的台阶状变化。据重磁综合特征,认为石臼坨凸起西段的基岩构造特征不同于中、东段,西段基底与北部结晶基底是分离的,导致其断裂也具有明显的分段性,这对油气储藏和运移的深部机制具有重要影响。

4.2.2 石南构造的圈定

以往关于石臼坨凸起的资料显示,石臼坨凸起的南部仅存在一个狭窄的 SE 向延伸带倾没于渤中凹陷^[11](图 1),该延伸带是已知的重磁同高、同源异常,是由太古宇变质岩局部凸起所引起,新生界直接覆盖于太古宇结晶基底之上,在该延伸带上已发现油田。

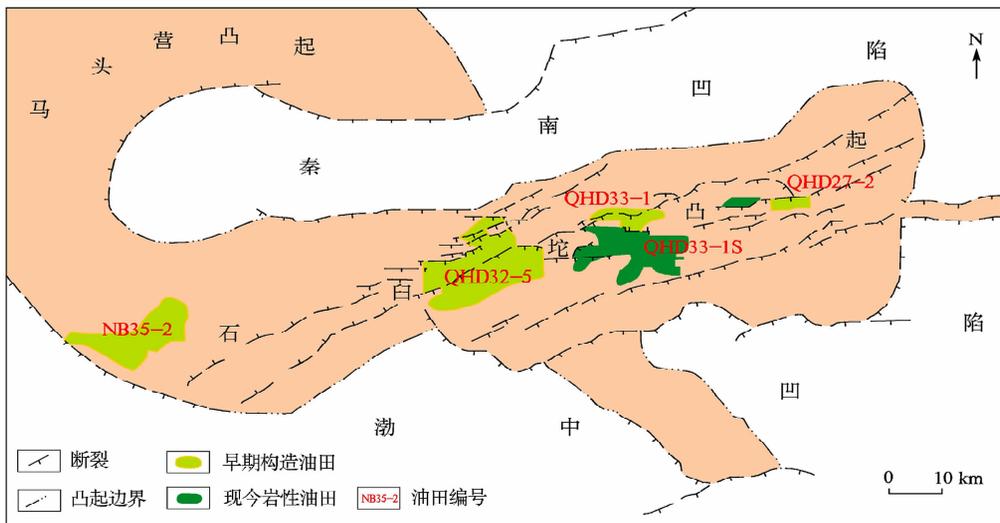


图 1 石臼坨凸起简图^[11]

Fig. 1 Sketch map of Shijiutuo Salient^[11]

本次航空重力调查研究认为,在该延伸带东侧存在另一个近 SN 向的隐伏构造,本文称之为“石南构造”,在航空布格重力垂向一阶导数图中表现为局部由重力高向重力低区域延伸(图 2),规模约为 $19.1 \text{ km} \times 8.8 \text{ km}$,异常的东、西两侧为沉积区域,在航磁化极图中表现为升高的异常条带。该构造

与其左侧的已知延伸带具有相同的重磁场特征,推断该构造可能是由太古宇具磁性的变质基底凸起形成,具有向南倾伏的构造形态。

石南构造北端与石臼坨凸起相连,向南延伸至渤中凹陷,三侧均为巨厚的沉积岩系。基底隆起与周围沉积的巨厚生油岩系的接触部位,可能会成为

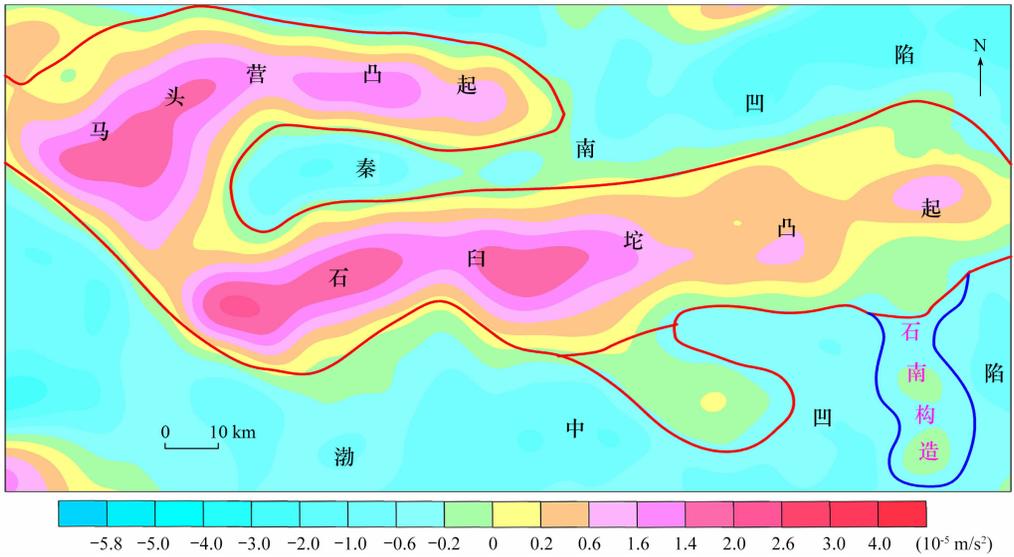


图2 石白坨凸起及石南构造布格重力垂向一阶导数异常特征

Fig.2 Anomalous character of first vertical derivative of Bouguer gravity of Shijiutuo Salient and Shinan structure

良好的储油场所。因此,石南构造具备良好的油气构造条件。

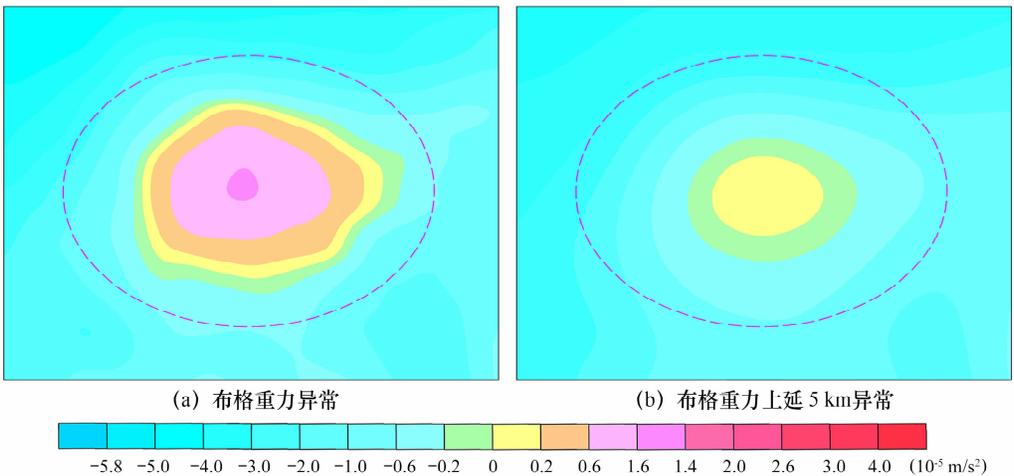
4.3 对渤中凹陷正高磁异常体的探讨

渤中凹陷是渤海盆地的沉降中心,沉积厚度大,新生界厚度达万米。一般盆地的沉积中心都表现为负磁异常,而在渤中凹陷中,盆地的沉积中心表现为正高磁异常^[12]。前人对该异常体的研究存在多种观点,此处曾被解释为地幔柱成因^[13-14],由此成为渤海盆地主动裂谷成因的论据之一;还有学者认为是岩浆囊状穿刺构造引起的异常^[15-16]。

最新的航空重力资料显示,该异常体在布格重力图中表现为宽缓升高异常(图3(a)),等值线闭

合,异常范围约 25 km × 30 km。对该异常进行 5 km上延处理,发现该异常体在上延图中仍有较强的反映(图3(b)),除压制了较高频的异常外,形态和规模与布格重力异常特征相比没有发生太明显的变化,表明该异常体埋藏较深(通过布格重力计算,该异常体顶面埋深约为 7 km)。

在航磁图中,该异常体表现为闭合的升高正磁异常,推断的异常体埋藏深度范围为 7 ~ 9 km。经分析,该异常体产生的磁异常高值与重力异常高值位置基本吻合,异常体规模基本一致,估算的异常体埋藏深度相近,故基本可以推断该异常为重磁同源异常。



(a) 布格重力异常

(b) 布格重力上延 5 km异常

图3 渤中凹陷正高磁异常体重力异常特征

万方数据 Fig.3 Gravity anomaly character of high magnetic in Bozhong Depression

异常体在布格重力图中呈现的规模不大,若将其地质成因解释为地幔柱,一般认为地幔柱不太可能引起如此小规模异常。因此,根据其重力特征,本文认为该异常体是地幔柱的可能性较小。

通过对研究区航空重力异常特征的研究,认为本区能引起宽缓闭合升高异常的地质因素主要有 2 类,一类是基岩的凸起,另一类是岩体的侵入。在该异常周围存在的已知基岩凸起异常通常表现为 NE 向或近 EW 向的长条状升高异常,推断基岩埋藏深度多集中在 3~4 km; 但该异常在布格重力图中呈现为一近圆形的宽缓升高异常,埋藏较深,与该异常周围已知的基岩凸起异常表现出的重力特征差别较大。结合地震剖面揭示的古近系底面深度约 6 km,显示平直,几乎没有明显的凸起变化。本文认为该异常由基岩凸起引起的可能性不大。

该异常位于渤中凹陷中部,而渤中凹陷中部地幔物质上隆,莫霍面较浅^[17]; 并且在该异常北侧布格重力异常等值线密集,表明在该异常体北侧存在断裂,且断裂切割深度较大,密度较大的地幔物质有可能沿着该断裂上涌,从而在断裂周围产生重力高异常。本文认为,该异常极有可能是由地幔物质引起,并推断异常体可能是埋藏深度较大的基性侵入岩。

4.4 对海-陆过渡地区构造单元的认识

对海-陆过渡地区构造单元的研究是海洋区域调查研究的重要组成部分,也是进行海-陆过渡带构造格局及地形和环境研究的基础。

本次航空重力调查结果对研究区内位于海陆过渡地区的构造单元均有明显和完整的反映,充分反映了新港低凸起、宁河-老王庄构造带、乐亭凹陷、马头营凸起、昌黎凹陷等一系列构造单元的特征。其中,新港低凸起的重磁异常具有独特的不对应特征,不同于沙垒田凸起、石臼坨凸起等,这说明结晶基底和碳酸盐岩地层的继承性不好,新港低凸起的构成有可能是北部凸起区向南侧分离或断落的结果; 宁河-老王庄凸起具盆地边缘隆起向坳陷过渡、构造走向转向交汇的构造格局,基底受到 EW 向和 NE 向这 2 组构造的强烈改造; 乐亭凹陷在布格重力场中反映的降低异常与凹陷范围吻合,而垂向一阶导数则反映凹陷是由若干局部降低异常组成,推断这些异常反映了新生界局部注点,推算基底深度为 4 km; 马头营凸起整体呈 EW 向展布,与南部的石臼坨凸起处于同一太古宇具磁性结

晶块体的隆起之上,其中央被秦南凹陷向西延伸的局部次注分隔,推算基底深度约 1.5 km; 前人对昌黎凹陷的研究较少,本次航空布格重力反映其为闭合的降低异常带,结合磁场特征推断凹陷内可能有中生代火山岩发育。

5 结论

(1) 使用先进的 GT-1A 型航空重力测量系统,对天津海-陆过渡地区开展了 1:20 万比例尺航空重力测量,取得了良好效果,填补了我国对该地区高质量航空重力测量的空白。通过地面工作,对研究区内的岩石密度特征进行分析和总结,确定研究区存在 3 个主要的密度界面,为航空重力资料地质解释提供了前提和基础。

(2) 利用最新的航空重力资料,结合已有的航磁资料,对研究区内含油气构造单元石臼坨凸起进行研究,认为该凸起基底构造具有分段性,对油气储藏和运移具有重要影响,并在石臼坨凸起南部圈定了与油田有关的石南构造。

(3) 从航空重力角度对渤中凹陷正高磁异常体进行了探讨,认为该异常体可能由地幔物质引起,推断异常体可能为埋藏深度较大的基性侵入岩。

(4) 阐述了对研究区内海-陆过渡地区主要构造单元的认识,为进行海-陆过渡地区地质研究和资源勘探打下基础。

参考文献:

- [1] 张昌达. 航空重力测量和航空重力梯度测量问题[J]. 工程地球物理学报, 2005, 2(4): 282-291.
- [2] 王静波, 熊盛青, 周锡华, 等. 航空重力测量系统研究进展[J]. 物探与化探, 2009, 33(4): 368-373.
- [3] 孙中苗. 航空重力测量理论、方法及应用研究[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2004.
- [4] 李晓燕, 肖云, 李迎春. 亚洲航空重力测量现状[J]. 测绘科学与工, 2006, 26(4): 59-62.
- [5] 张洪瑞, 范正国. 2000 年来西方国家航空物探技术的若干进展[J]. 物探与化探, 2007, 31(1): 1-8.
- [6] 朱光文. 我国海洋探测技术五十年发展的回顾与展望(三)[J]. 海洋技术, 2000, 19(1): 23-31.
- [7] 孙中苗, 翟振和, 李迎春. 航空重力仪发展现状和趋势[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(1): 1-8.
- [8] Li W Y, Zhou J X, Xiong S Q, et al. Effect and prospect of basic geological survey based on airborne gravimetry in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(1): 38-47.

[9] 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.

[10] 王应斌,薛永安,王广源,等. 渤海海域石臼坨凸起浅层油气成藏特征及勘探启示[J]. 中国海上油气,2015,27(2):8-16.

[11] 李慧勇,周心怀,王粤川,等. 石臼坨凸起中段东斜坡明化镇组“脊、圈、砂”控藏作用[J]. 东北石油大学学报,2013,37(6):75-81.

[12] 侯贵廷,钱祥麟,史譔,等. 渤海中部磁性层析成像的初步研究[J]. 北京大学学报:自然科学版,2003,39(1):112-117.

[13] 腾吉文,张中杰,张秉铭,等. 渤海地球物理场与深部潜在地幔热柱的异常构造背景[J]. 地球物理学报,1997,40(4):468-480.

[14] 李文勇,周坚鑫,周锡华,等. 航空重力局部异常地质成因分类及找矿意义[J]. 地球科学进展,2010,25(10):1061-1069.

[15] 朱伟林,米立军,龚再升,等. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京:科学出版社,2009.

[16] 侯贵廷. 渤海湾盆地地球动力学[M]. 北京:科学出版社,2014.

[17] 刘廷海,李思田,高坤顺,等. 渤中凹陷莫霍面特征及盆地形成机制[J]. 中国海上油气,2008,20(5):302-304.

Achievements of airborne gravity survey in sea – land transition area around Tianjin

LIN Xiaoxing, CHEN Bin, ZHANG Xuanjie, WU Yun, FAN Jiang

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Marine geological survey is significant important for the exploration of marine minerals, along with the increasing of human demands for marine mineral resources. The marine geological and geophysics survey in our country started late and is in a lower level now. However, as a quick and effective geophysics measurement, the airborne gravity survey plays an important role in the marine geological survey. The advanced GT – 1A airborne gravity measurement system was introduced in 2006 and the airborne gravity survey at 1:200 000 scale was carried out in sea – land transition region around Tianjin for the first time in 2011. This survey collected 30 thousands kilometers measure data with high quality, implemented the sea – land continuous measurement in the sea – land transition area and filled the blank in the high – precision airborne gravity measure in this area. This paper has given a detailed description of the achievements in airborne gravity survey, and studied the Shijiutuo Salient in the study area from the view of airborne gravity. The basement of Shijiutuo Salient was concluded to be possessed segmentation and the new basement salient was outlined to give a conclusion for further oil and gas exploration. The high magnetic anomaly in Bozhong Depression was also discussed. In addition, some important recognitions were achieved by studying gravity character of the main structural units, basement and fractures in the sea – land transition region, which are important for basic geology and environment research.

Key words: sea – land transition region; airborne gravity measurement system (GT – 1A); Shijiutuo Salient; Bozhong Depression

(责任编辑: 常艳)