

从航空重力看郯庐断裂系(渤海)及其围区 构造几何学特征

李文勇, 周坚鑫, 熊盛青, 郭志宏, 徐剑春, 周锡华, 安战锋, 李 冰, 罗 锋

中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

摘 要: 本文以我国首次试验的渤海西、南部海陆结合带航空重力测量资料为依据, 探讨了郯庐断裂在渤海西、南部海域的空间展布及其围区的构造几何学特征。研究表明, (1)渤海南部和西部两个明显的 NNE 向重力异常梯级带属于区域不同重力场的分界线, 分别是郯庐断裂带东支断裂(主干断裂)和西支断裂的反映; (2)郯庐主断裂东侧主要发育 NE-NNE 向重力异常梯级带, 西侧呈现 NW 向、NE-NNE 向、近 EW 向重力异常梯级带相互交错的面貌, 反映了东、西两侧不同的断裂构造格局; (3)重力异常小区与异常梯级带的不同组合, 反映了拉张、压缩、扭动三类构造样式; (4)不同的重力异常区、亚区、小区, 反映了不同的沉积构造特征, 分别对应不同的构造单元。

关键词: 航空重力; 构造几何学; 郯庐断裂系; 渤海围区

中图分类号: P631.125; P542.3 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)04-549-08

Tectonic Geometry of Tan-lu Faults in the Bohai Sea and Its Adjacent Areas Viewed from Airborne Gravity

LI Wen-yong, ZHOU Jian-xin, XIONG Sheng-qing, GUO Zhi-hong, XU Jian-chun,
ZHOU Xi-hua, AN Zhan-feng, LI Bing, LUO Feng

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

Abstract: Based on the airborne gravimetric data obtained from the first test in China, the authors studied the tectonic geometry of the Tanlu faults in the onshore-offshore transitional area of the western and southern part of the Bohai Sea and its adjacent areas. As a result, some conclusions have been reached: (1)the two obvious NNE-trending gravity anomaly gradient belts in the southern and western parts of the Bohai Sea are the dividing lines of different regional gravity fields, which respectively correspond to the east Tanlu fault(dominant fault)and the west Tanlu fault; (2)there are mainly the NE-NNE striking gravity anomaly gradient belts on the east side of the Tanlu fault, and the intercrossed NW, NE-NNE and near EW-striking gravity anomaly gradient belts on the west side of the Tanlu fault, which show different structural frameworks on the east side and the west side; (3)different assemblages of gravity anomaly blocks and gradient belts reflect three types of structural styles, namely, stretching, compression and torsion; (4)different gravity anomaly areas, subareas and blocks reflect different sedimentary-structural characteristics, which correspond to different structural units.

Key words: airborne gravimetry; tectonic geometry; Tanlu faults; Bohai Sea and adjacent areas

为了获取地球重力场信息, 尤其是海陆结合带和其它复杂地区, 为我国基础地质研究和矿产资源寻找等服务, 2006 年我国引进了用于地质调查的国

际先进的航空重力测量系统, 并首先在渤海西、南部海陆结合地带进行了 1:20 万测量试验, 获得了高质量的原始重力数据资料, 不仅为我国今后的航空

本文由国家重大科技攻关专项(编号: GZH200200301)资助。

收稿日期: 2010-02-26; 改回日期: 2010-04-13。

第一作者简介: 李文勇, 男, 1966 年生。博士, 教授级高工。主要从事构造地质与地球物理等研究工作。E-mail: liwy66@163.com。

重力测量打下了基础,而且为该区的地质研究提供了新的技术方法。

航空重力信息可用于多种目标的基础地质研究和矿产资源预测,如何利用获取的航空重力数据进行构造几何学研究,进而为区域构造演化、构造控矿预测等提供依据,是本次引进航空重力测量系统的一个基础且重要的任务之一。郯庐断裂系是我国东部有重要影响的深大断裂构造体系,多年来有众多学者进行了关注和研究,并取得了丰富的成果和认识(许志琴等,1982;马杏垣等,1983;陈丕基,1988;徐嘉炜等,1992;徐锡伟等,1994;陈发景,1996;万天丰等,1996;Zhu et al.,1997;Gilder et al.,1999;王小凤等,2000;朱光等,2001;乔秀夫等,2002;施炜等,2003;董树文等,2009);其研究工作主要是基于地面重、磁资料以及地质填图、岩石学、地质年代学等方面。渤海湾盆地是受控于郯庐断裂系的重要含油气盆地,不仅进行过大量的地面勘探工作,而且有许多研究工作(胡朝元,1982;赵重远,1984;吴振明等,1985;刘训,1988;田在艺,1990;李鹏举等,1995;漆家福等,1995;李军等,1998;吴兴宁等,2000;邓运华,2002;翟光明等,2002;贾志斌等,2003;漆家福等,2003)。限于海域资料的缺乏、老资料的不完整或可信度等影响,以往对郯庐断裂系构造几何学的研究主要侧重于陆区范围,对渤海海域的推断缺乏直接或充分的地球物理资料或存在空白区。本文以航空重力测量获取的最新数据资料为依据,充分结合该区的航磁资料,对郯庐断裂系在渤海海域南部和西部的构造几何学特征进行分析,以提高对该区段郯庐断裂的研究认识程度。

1 郯庐主断裂及其分支断裂

从航空布格重力(图1)可以看出,郯庐断裂系对应一系列平行或斜列的NNE向重力异常梯级带,说明该断裂系由一系列断裂所组成,其空间展布总体表现为NNE向。其中,断裂系的东支所反映的航空布格重力异常尤为明显,应属于郯庐主断裂(F_1);西支所对应的重力异常也比较突出,应属于该断裂系的西部边界断裂(F_5)。

1.1 郯庐主断裂

郯庐主断裂(东支)(F_1)反映的航空布格重力异常特征主要包括四个方面:对应于梯度大、走向NNE、纵穿中部的布格重力线性密集梯级带(图1),说明断面倾角大、断层两侧密度差异大等特征;对应于特征迥然有别的两个重力异常区的分界线(图1),东侧为总体升高的正值异常区,西侧为总体

降低的负值异常区,这一特征在布格重力上延5km等值线图(图2),且位置变化不大,反映该断裂切割深度较大、产状较陡、两盘密度差异显著、属于不同时代的地层;对应于航空布格重力 315° 方向导数的条带状极小值点连线(图3a);对应于特征十分明显的水平总梯度模量极大值线性带(NNE向)(图3b)。

郯庐主断裂(东支)(F_1)在航磁异常上也有明显的反映:对应于特征不同的两个磁场的分界线(图4),东侧为胶东正负变化剧烈跳动磁场区,西侧为渤海正负变化宽缓磁场区,若从测区周围的大区域磁场看,东侧总体为负磁异常区,西侧总体为正磁异常区,反映了该断裂规模较大、两侧具有不同的

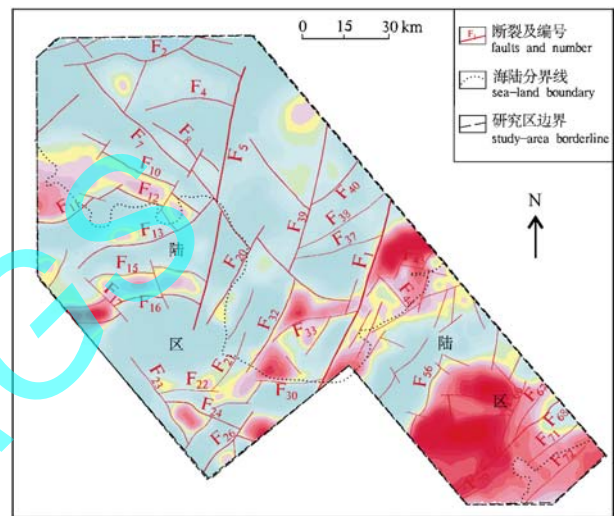


图1 航空布格重力异常及主要断裂解释图
Fig. 1 Interpretation map of airborne Bouguer gravity anomalies and main faults

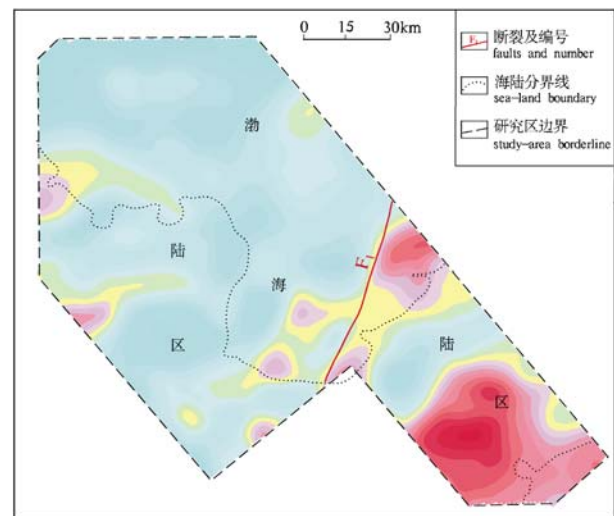


图2 航空布格重力上延5km等值线图
Fig. 2 Contour map of upward continuation of 5km for airborne Bouguer gravity

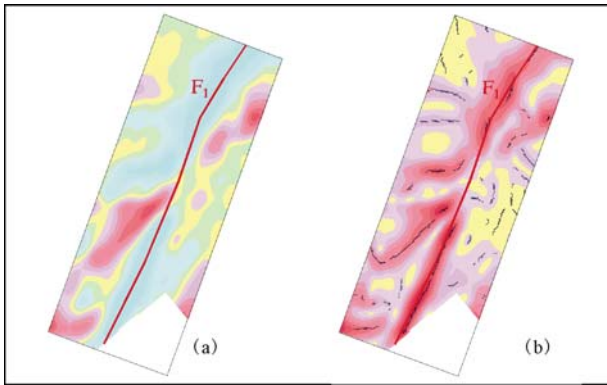


图3 郟庐东支断裂(F₁)在方向导数图与水平梯度模图的显示

Fig. 3 Directional derivative and horizontal gradient of east Tanlu fault (F₁)

- a. 315°方向导数等值线图; b. 水平梯度模等值线图
- a. Contour map of 315° directional derivative;
- b. Contour map of horizontal gradient

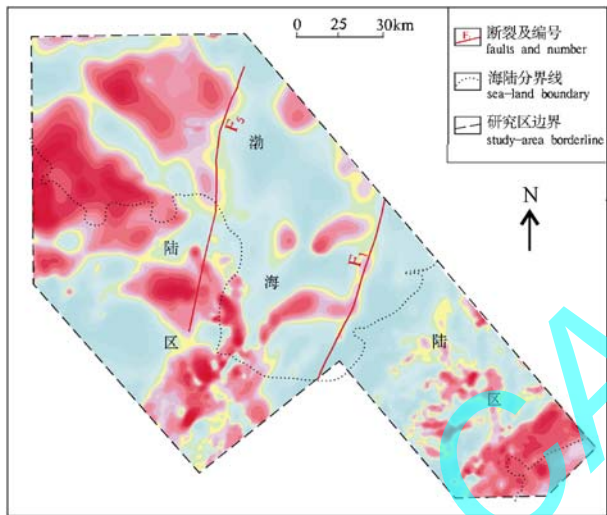


图4 航磁(ΔT)化极异常图

Fig. 4 Reduction to the pole for aeromagnetic anomaly(ΔT)

基底性质。对应于明显的 NNE 向串珠状线性异常带,这一特征在航磁异常化极图及其垂向导向上均有表现(图 5),反映断面较陡,切割深度大,是岩浆上涌通道。

除此之外,从航空布格重力图和航磁化极图还可看出,郟庐主断裂(F₁)两侧的其它各种重、磁异常均在延伸到该断裂对应的梯级带部位中止或消失,再次说明该断裂是一个规模巨大的分线性主干构造。

航空重力 2765 测线反演拟合所得的断裂落差约 3700 m(图 6),断面倾向 NWW,断面倾角大于 65°,断裂西侧新生界厚度大于 4000 m,并有中生界发育,断裂东侧中、新生界均不发育,反映该断裂是一个西侧(上盘)下降、东侧(下盘)相对上升、在剖面上具有正断层性质的大型断裂,主要活动时期是中、新

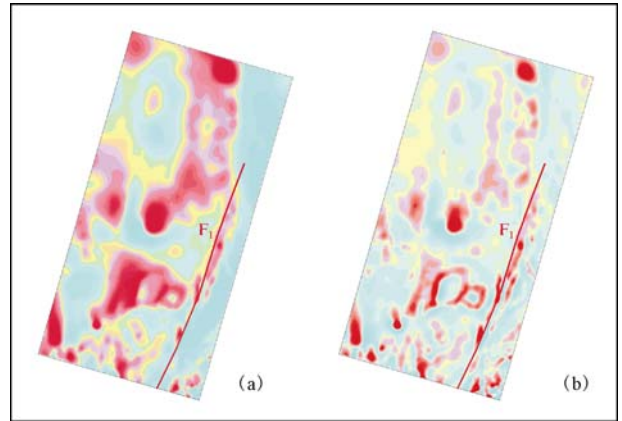


图5 郟庐东支断裂(F₁)在航磁异常图的显示

Fig. 5 Aeromagnetic anomaly of east Tanlu fault(F₁)

- a. 航磁异常化极图; b. 航磁化极垂向导数图
- a. Reduction to the pole for aeromagnetic anomaly;
- b. First vertical derivative of reduction to the pole for aeromagnetic anomaly

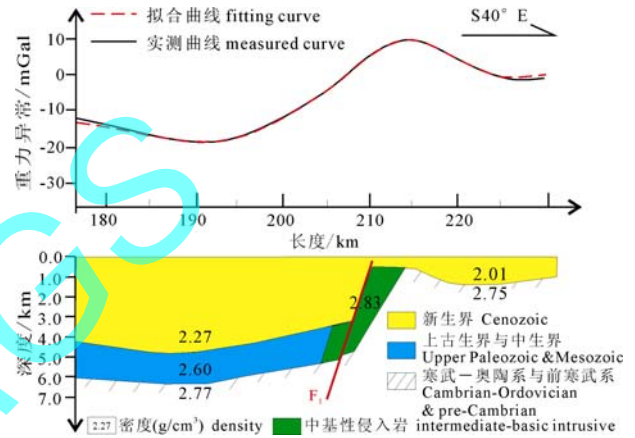


图6 郟庐东支断裂(F₁)布格重力异常反演剖面(2765 测线)

Fig. 6 Inverse profile(No. 2765 survey line)of airborne Bouguer gravity anomaly of east Tanlu fault (F₁)

生代,在新生代发生了规模较大的伸展运动。

1.2 郟庐西支断裂

郟庐西支断裂(F₅)在航空布格重力上具有明显的特征:对应于走向 NNE 的布格重力线性梯级带(图 1);对应于特征不同的重力异常亚区的分界线(图 1),东侧总体为重力降低异常亚区,西侧总体为重力升高异常亚区。在航磁异常上主要表现为:特征不同的两个磁场的分界线(图 4),东侧总体为负磁异常区,西侧总体为正磁异常区,反映了断裂两侧基底性质和深度具有重大差异。

2 郟庐主断裂两侧不同的构造格架

从图 1 可以看出,郟庐主断裂(F₁)两侧发育的重力梯级带走向明显不同。东侧主要发育 NE-NNE 向重力梯级带,西侧呈现 NW 向、NE-NNE 向、近 EW

向重力异常梯级带相互交错的面貌,反映了东、西两侧不同的断裂构造格局及形成演化。

郟庐主断裂(F_1)以东主要发育 NE-NNE 向断裂,且主要表现为对侏罗-白垩纪沉积的控制作用,断裂上盘中生界厚度明显大于下盘,说明该断裂的形成时代应为侏罗-白垩纪或侏罗-白垩纪之前。

郟庐主断裂(F_1)以西主要发育 NE-NNE 向、NW 向、近 EW 向三组断裂。三组断裂相互交叉、彼此切错或相互限制,构成了复杂的构造体系,并控制着中、新生代沉积作用,从而形成了隆(凸)坳(凹)相间或镶嵌的断块构造格局。正是这些断裂之间的相互切割及由此形成的断块格局,才使得布格重力异常显示为高、低相间或镶嵌的面貌。近 EW 向断裂相对不太发育,数量较少,且主要局限分布于远离郟庐主断裂(F_1)以西的西部;从断裂形式和控制沉积的角度看,近 EW 向断裂基本属于侏罗纪形成、后期发生继承性活动的正断层,对中、新生代沉积具有明显的控制作用,断裂上盘的中生界厚度明显大于下盘,且上盘发育的巨厚古近纪沉积与下盘缺失古近纪沉积形成了鲜明的对比。NE-NNE 向断裂数量多,分布广,各种级别均有发育,其中规模较大的断裂集中分布于郟庐主断裂(F_1)与郟庐西支断裂(F_5)之间的渤海海区;受该组断裂的控制,断裂上盘不仅发育中生界,而且形成了巨厚的新生代沉积,而断裂下盘中、新生界不发育或发育较差,由此说明,该组断裂的形成时代应为侏罗-白垩纪或侏罗-白垩纪之前,在古近纪时期又发生强烈的伸展运动。NW 向断裂比较发育,规模不一,其数量仅次于 NE-NNE 向断裂;根据 NW 向断裂与其它方向断裂的切错关系和切错位移以及断裂两盘的地层发育情况等,认为该组断裂应属于古近纪时期形成的平移-正断层;以 F_7 断裂为例,断裂两盘的中生界和新近系厚度变化甚微,但古近系厚度显著有别,上盘(西南侧)古近系厚度明显大于下盘(东北侧)(图 7),说明该断裂在中生代时期尚未活动,古近纪时期才开始活动并十分强烈(上盘下降、下盘相对上升),在新近纪时期又趋于停止。

3 构造样式类型及其识别

构造样式是指在特定应力场作用下形成的构造几何形态,是同一期构造变形或同一应力作用下所产生的构造的总和。一定的构造样式通常引起一定的重力异常及其组合;反之,某种重力异常及其组合常常反映一定的构造样式,这就是本次利用布格重力异常研究构造样式的地球物理基础。

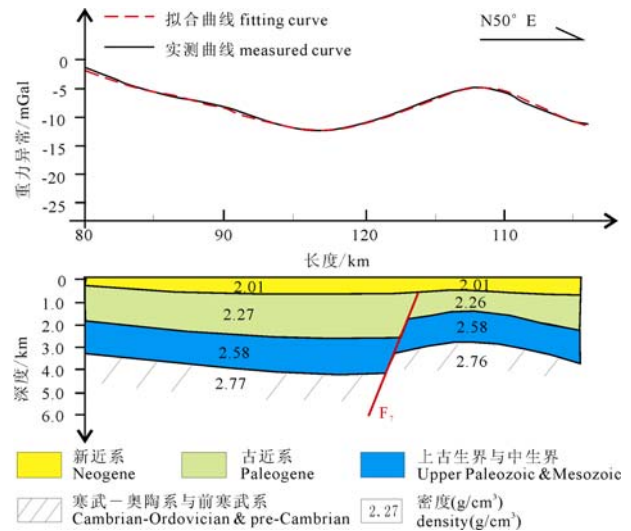


图 7 F_7 断裂布格重力异常反演剖面(7090 测线)
Fig. 7 Inverse profile (No. 7090 survey line) of airborne Bouguer gravity anomaly of fault F_7

结合地球动力学背景和应力场特征等,本文将识别的构造样式划分为三类,即拉张构造样式、压缩构造样式以及扭动构造样式。

3.1 拉张构造样式

拉张构造样式是在拉张应力场作用下形成的构造表现形式,它主要通过正断层及其组合表现出来。拉张构造样式在测区最为普遍,主要有以下两种基本表现形式:

单断型样式:平面上,布格重力异常表现为一侧线性梯级带和宽缓重力低异常的组合,且宽缓重力低异常的幅值向另一侧逐渐变大;剖面上表现为一侧发育主干断裂,另一侧不发育或无明显断裂的簸箕状。如东营凹陷(图 8),其北侧发育的近东西向主体断裂(F_{16})明显控制了该凹陷的形成,反映了以近南北向拉张为主的构造应力场的作用。

双断型样式:平面上,布格重力异常表现为两侧线性梯级带和中部宽缓重力低异常的组合;剖面上表现为两侧发育对倾的主干断裂,中部为巨厚沉积的凹陷。如埕北凹陷(图 9),反映了北东-南西方向的拉张应力场的作用。

垒堑型样式:它是由若干个前两种样式的组合。平面上,布格重力异常表现为一系列近于平行的线性梯级带与其间所夹持的宽缓带状重力高、低异常的组合;剖面上表现为受断裂控制的若干个相间展布的凸、凹单元。如测区西部相间分布的埕宁隆起、车镇凹陷、义和庄凸起、沾化凹陷、陈家庄凸起、东营凹陷等(图 10),反映了近南北向的强烈拉张作用。

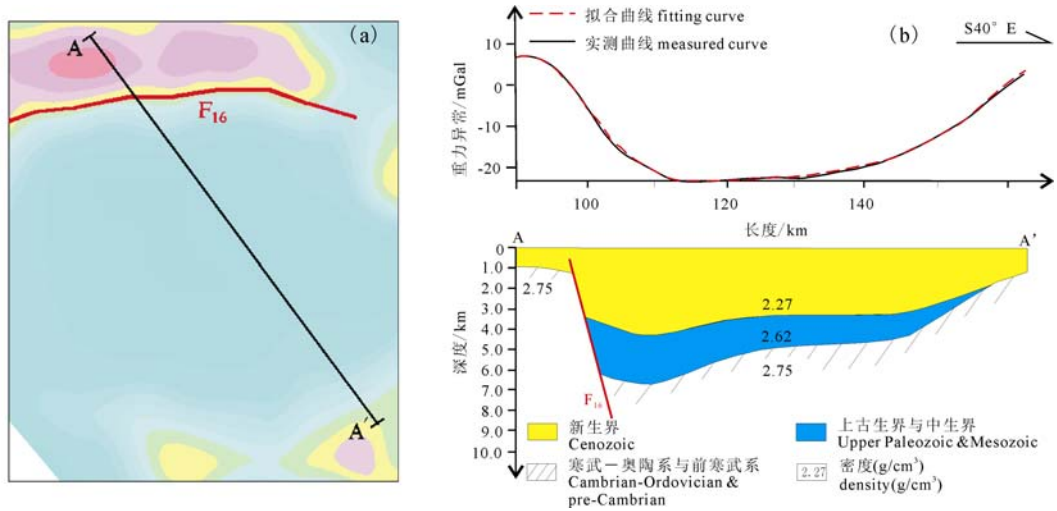


图 8 单断型构造样式(东营凹陷)

Fig. 8 Single-fault structural style(Dongying sag)

a. 布格重力平面图; b. 剖面拟合图(2200 测线)

a. Planar graph of Bouguer gravity; b. Fitting profile(No. 2200 survey line)

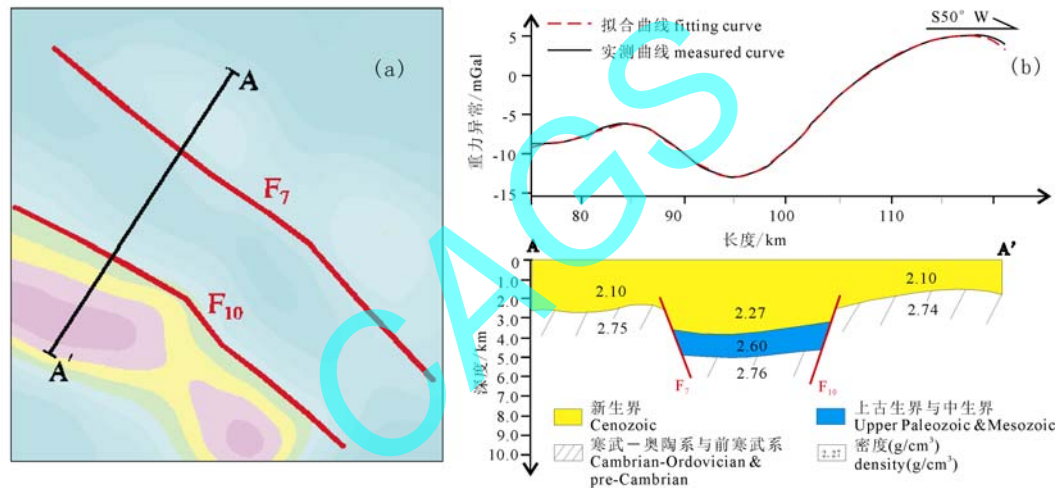


图 9 双断型构造样式(埕北凹陷)

Fig. 9 Double-fault structural style(Chengbei sag)

a. 布格重力平面图; b. 剖面拟合图(7080 测线)

a. Planar graph of Bouguer gravity; b. Fitting profile(No. 7080 survey line)

3.2 压缩构造样式

压缩构造样式是在挤压应力作用下所形成的构造表现形式,它主要通过褶皱、逆断层等形式表现出来。这类构造样式主要发育在测区东南部的基底构造层,在航空布格重力异常和航磁异常上表现为一系列等值线弯曲或扭曲,其对应一系列褶皱构造或压(扭)性逆断层(如 F₆₈、F₇₀、F₇₁、F₇₂等)(图 11),基本反映了北西 - 南东方向的挤压作用。

3.3 扭动构造样式

扭动构造与走滑断裂是地壳水平运动的重要表现。根据以往研究成果,郯庐断裂具有长距离的走滑

运动,故扭动构造样式在测区显得尤为重要。总体而言,测区扭动构造样式在平面上主要表现为雁列式。

雁列式构造样式是指沿着某一线性带排列、彼此近于平行、轴向与主线性带的夹角相近的一系列构造的组合。位于测区中部且夹持于 F₁ 与 F₅ 断裂之间的 F₃₀、F₃₃、F₃₇、F₃₈、F₄₀ 等断裂,其走向基本为 NE-NNE 向,组合面貌基本属于雁列式(图 1),这些断裂的形成应与 F₁、F₃₂、F₃₉、F₅ 断裂的左行平移走滑运动密切相关,是左行平移走滑运动产生的张扭性构造应力场作用的结果。这再次佐证了郯庐断裂的左行平移走滑性质。

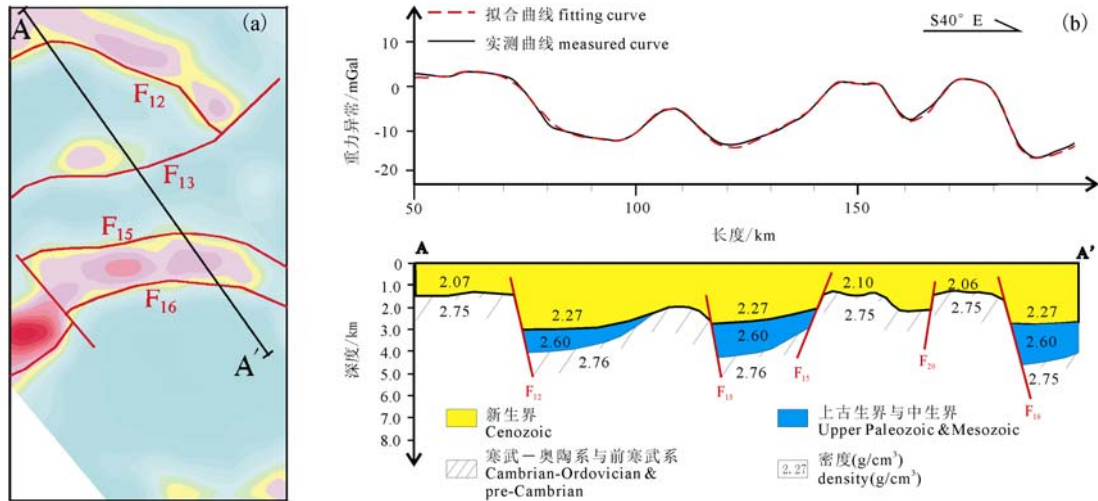


图 10 垒堑型构造样式(测区西部)

Fig. 10 Horst-graben structural style(east part of the surveyed area)

a. 布格重力平面图; b. 剖面拟合图(2360 测线)

a. Planar graph of Bouguer gravity; b. Fitting profile(No. 2360 survey line)

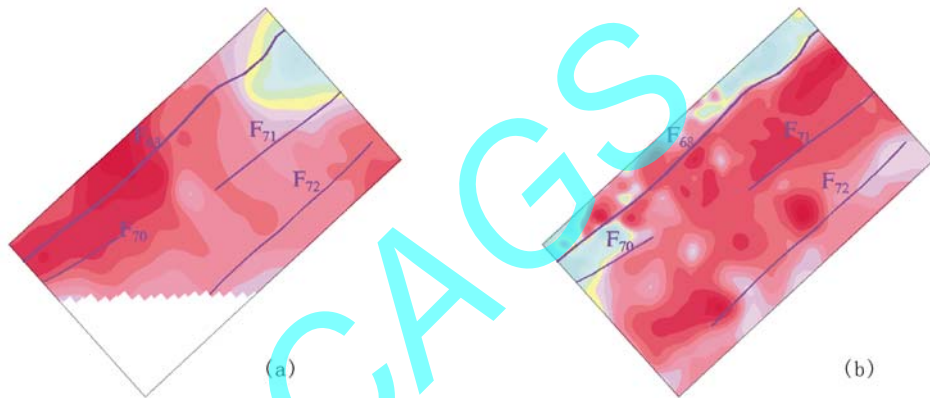


图 11 压缩构造样式(测区东南部)

Fig. 11 Compressional structural style(southeast part of the surveyed area)

a. 布格重力异常图; b. 航磁化极异常图

a. Planar graph of Bouguer gravity; b. Reduction to the pole for aeromagnetic anomaly

需要指出, 扭动构造样式往往与拉张构造样式、压缩构造样式具有内在的联系。因为纯粹的走向剪切作用实际上并不存在, 而且常常是斜向的, 其力学性质亦表现为张扭性或压扭性, 故形成的扭动构造样式往往兼具拉张或压缩特点, 但这里所指的扭动构造样式应以走向剪切运动为主, 拉张或压缩运动居于次要地位。

4 与以往认识的区别

郯庐断裂中段又称为沂沭断裂带。长期以来, 多数地质学家认为, 郯庐断裂中段的陆区部分由四条大致平行的主干断裂组成(徐嘉炜等, 1992; 陈发景, 1996; 万天丰等, 1996; Zhu et al., 1997; 王小凤等, 2000; 朱光等, 2001), 自东而西分别为昌邑—大

店断裂、安丘—莒县断裂、沂水—汤头断裂和郯部—葛沟断裂, 由于四条主干断裂的切割, 形成了中央为地垒、两侧为地堑的“二堑夹一垒”构造形式。在渤海海域, 由于缺乏地质-地球物理资料, 以往仅简单推断为由两条断裂组成(图 12)。

本次航空重力调查资料显示, 郯庐断裂系在渤海南部由一条主断裂和数条分支断裂组成(图 12), “二堑夹一垒”构造格局不复存在。东支为主断裂(F₁), 主断面西倾, 是胶辽地块与华北地块的分界断裂。西支为郯庐断裂系的西部边界断裂(F₅), 断面东倾, 但断裂在东营陆区消失。中部发育的 F₃₂、F₃₉ 断裂近于在一条直线上, 但二者倾向相反, 在向南延伸至海陆结合带附近消失; F₂₀ 断裂西倾, 虽与西支断裂(F₅)对倾, 构成一个小凹陷, 但断裂延伸距离

较小; 除此之外, 尚发育一系列与主断裂斜交的分支断裂。

值得重点提及, 本次发现了一个新的凹陷单元—莱南凹陷(图 12), 它位于渤海南部的海陆结合带—莱州湾地区, 凹陷东侧是控制凹陷发育的郯庐主体断裂(F_1), 北、西、南侧也均以断裂为边界, 但断裂规模较小, 凹陷面积约 788 km^2 。该凹陷以往推断为凸起, 划归于莱南凸起。该凹陷在重、磁场上分别对应重力低异常和负磁异常(图 1、图 4), 外围被重力高异常所环绕; 反演结果表明, 平面上基底顶界面起伏较大, 东部深度最大, 西部和南部深度中等, 中北部是一个次级凸起; 垂向上, 中生界构造层厚度较小, 新生界构造层厚度较大且变化较大, 约 $1500\sim 3600 \text{ m}$ (图 13)。

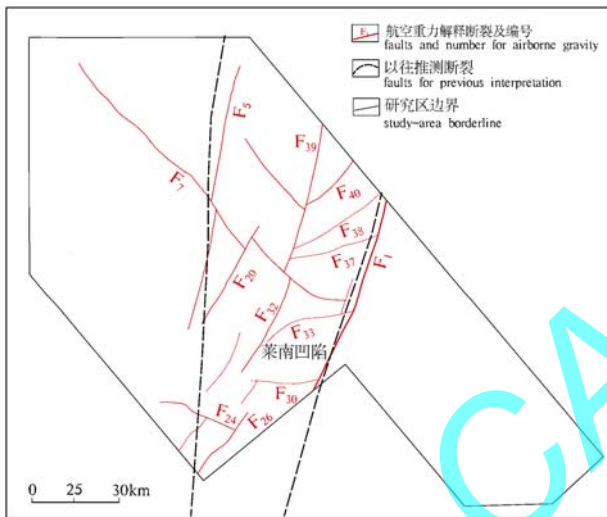


图 12 航空重力与以往推断郯庐断裂对比图
Fig. 12 Comparison of Tanlu faults between airborne gravity and previous interpretation

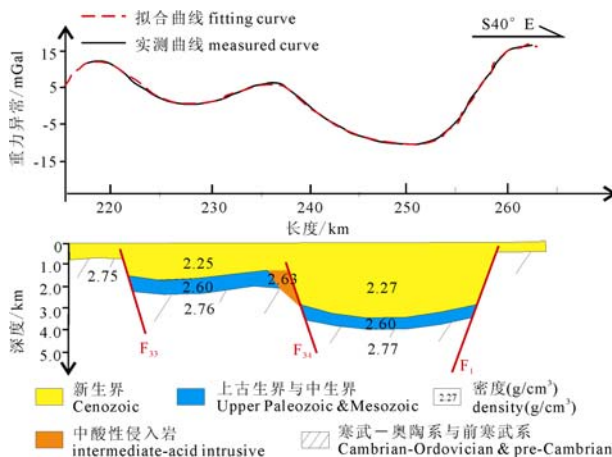


图 13 莱南凹陷航空布格重力拟合剖面(2500 测线)
Fig. 13 Fitting profile(No. 2360 survey line)of airborne Bouguer gravity anomaly of Lainan sag

5 结论

(1) 将航空重力测量引进并应用于我国的地质调查与基础地质研究, 为我国海陆结合带勘探空白区的地质研究提供了有效的手段, 对许多长期迷惑或推断的地质难题的解决具有重要意义。

(2) 利用航空重力资料分析了郯庐断裂系在渤海南部的空间几何形态, 确定了郯庐主断裂和西支断裂的具体位置, 填补了以往研究工作中郯庐断裂系在该区的具体分布问题。郯庐断裂系(渤海段)是由一系列断裂组成的复杂构造带, 其东支为郯庐主断裂, 西支构成该断裂系的西部边界, 二者之间发育断裂构造及其控制的中新生代凹陷; 该断裂系不仅具有走滑扭动性质, 而且具有明显的拉张特征。

(3) 利用航空重力资料识别解释了构造样式和构造单元, 新发现莱南凹陷, 并对其它构造单元进行了不同程度的修正, 对该区今后的基础地质研究和油气资源勘探等必将产生积极的影响。

参考文献:

陈发景. 1996. 中国东部中、新生代伸展构造特征及地球动力学背景[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 21(4): 357-365.
 陈丕基. 1988. 郯庐断裂巨大平移的时代与格局[J]. 科学通报, 33(4): 289-293.
 邓运华. 2002. 渤海油气勘察历程回顾[J]. 中国海上油气(地质), 16(2): 98-101.
 董树文, 高锐, 吕庆田, 张季生, 张荣华, 薛怀民, 吴才来, 卢占武, 马立成. 2009. 庐江-枞阳矿集区深部结构与成矿[J]. 地球学报, 30(3): 279-284.
 胡朝元. 1982. 渤海湾盆地的形成机理与分布特点新议[J]. 石油实验地质, 4(3): 161-167.
 贾志斌, 田新琦, 孟祥顺, 禹金营, 王小山, 谷维成, 宋治霞. 2003. 渤海湾盆地成因机制与油气评价[J]. 石油地球物理勘探, 38(1): 62-66.
 李军, 王燮培. 1998. 渤海湾盆地构造格架及演化[J]. 石油与天然气地质, 19(1): 63-67.
 李鹏举, 卢华复, 施央申. 1995. 渤海湾盆地东濮凹陷的形成及断裂构造研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 31(1): 128-139.
 刘训. 1988. 对中国东部中、新生代盆地沉积-构造发展的几点认识[J]. 地质学报, 62(2): 111-122.
 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 汪一鹏. 1983. 中国东部中、新生代裂陷作用与伸展构造[J]. 地质学报, 57(1): 22-32.
 漆家福, 于福生, 陆克政, 周建勋, 王子煜, 杨桥. 2003. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论[J]. 地学前缘, 10(S1): 199-206.
 漆家福, 张一伟, 陆克政, 杨桥, 陈发景. 1995. 渤海湾新生代裂陷盆地的伸展模式及其动力学过程[J]. 石油实验地质, 17(4): 316-323.
 乔秀夫, 张安棣. 2002. 华北块体、胶辽块体与郯庐断裂[J]. 中国地质, 29(4): 337-345.
 山东省地质矿产局. 1991. 山东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 453-461.
 施炜, 张岳桥. 2003. 郯庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征[J]. 地球学报, 24(1): 11-18.

- 田在艺. 1990. 渤海断陷盆地拉张量分析与油气潜力[J]. 石油学报, 11 (2): 1-12.
- 万天丰, 朱鸿. 1996. 郟庐断裂带的最大左行走滑断距及其形成时期[J]. 高校地质学报, 2(1): 14-27.
- 王小凤, 李中坚, 陈柏林. 2000. 郟庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社, 21-36.
- 吴兴宁, 周建勋. 2000. 渤海湾盆地构造成因观点剖析[J]. 地球物理学进展, 15(1): 98-106.
- 吴振明, 刘和甫, 汤良杰, 高金喜. 1985. 中国东部中、新生代主要裂谷盆地的演化及评议[J]. 石油实验地质, 7 (1): 60-69.
- 徐嘉炜, 马国锋. 1992. 郟庐断裂带研究的十年回顾[J]. 地质论评, 38(4): 316-324.
- 徐锡伟, 程国良, 马杏垣, 孙宇航, 韩竹君. 1994. 华北及其邻区块体转动模式和动力来源[J]. 地球科学, 19 (2): 129-138.
- 许志琴, 张巧大, 赵民. 1982. 郟庐断裂中段古裂谷的基本特征[J]. 地球学报, 4(1): 17-26.
- 翟光明, 何文渊. 2002. 渤海湾盆地资源潜力和进一步勘探方向的探讨[J]. 石油学报, 23(1): 1-6.
- 赵重远. 1984. 渤海湾盆地的构造格局及其演化[J]. 石油学报, 5(1): 1-18.
- 朱光, 王道轩, 刘国生. 2001. 郟庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]. 地质科学, 36(3): 269-278.

References:

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Shandong Province. 1991. Regional geology of Shandong province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 453-461.
- CHEN Fa-jing. 1996. The Meso-Cenozoic extensional structural feature and geodynamic settings in eastern China[J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 21(4): 357-365.
- CHEN Pi-ji. 1988. Age and pattern of huge parallel move of the Tancheng-Lujiang Fault zone[J]. Chinese Science Bulletin, 33(4): 289-293(in Chinese with English abstract).
- DENG Yun-hua. 2002. A review of the petroleum exploration course in Bohai Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 16(2): 98 -101.
- DONG Shu-wen, GAO Rui, LU Qing-tian, ZHANG Ji-sheng, ZHANG Rong-hua, XUE Huai-min, WU Cai-lai, LU Zhan-wu, MA Li-cheng. 2009. Deep structure and ore-forming in Lujiang-Zongyang ore concentrated area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(3): 279-284.
- GILDER S A, LELOUP P H, COURTILLOT V. 1999. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) fault via middle Tri-assic to Early Cenozoic paleomagnetic data[J]. Journal of Geophysical Research, 104(B7): 15365-15390.
- HU Zhao-yuan. 1982. Geodynamic environment of Bohai Gulf basin and its oil occurrence[J]. Experimental Petroleum Geology, 4 (3): 161-167.
- JIA Zhi-bin, TIAN Xin-qi, MENG Xiang-shun, YU Jin-ying, WANG Xiao-shan, GU Wei-cheng, SONG Zhi-xia. 2003 Mechanism of contributing factor for Bohai Bay basin and appreciation of oil/gas[J]. Oil Geophysical Exploration, 38(1): 62-66.
- LI Jun, WANG Xie-pei. 1998. Structural framework and evolution of Bohai bay basin[J]. Oil & Gas Geology, 19(1): 63-67.
- LI Peng-ju, LU Hua-fu, SHI Yang-shen. 1995. Study on the formation and fault structures of the Dongpu depression of Bohai gulf, East China[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences Edition), 31(1): 128-139.
- LIU Xun. 1988. Some recognitions on the sedimentary-tectonic development of the Meso-Cenozoic basins in eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 62 (2): 111-122.
- MA Xing-yuan, LIU He-fu, WANG Wei-xiang, WANG Yi-peng. 1983. Meso-Cenozoic taphrogeny and extensional tectonics in eastern China[J]. Acta Geologica Sinica, 57 (1): 22-32.
- QI Jia-fu, YU Fu-sheng, LU Ke-zheng, ZHOU Jian-xun, WANG Zi-Yu, YANG Qiao. 2003. Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay Province[J]. Earth Science Frontiers, 10(S1): 199-206.
- QI Jia-fu, ZHANG Yi-wei, LU Ke-zheng, YANG Qiao, CHEN Fa-jing. 1995. Extensional pattern and dynamic process of the Cenozoic riftng basin in the Bohai Bay[J]. Experimental Petroleum Geology, 17(4): 316-323.
- QIAO Xiu-fu, ZHANG An-di. 2002 North China block, Jiao-Liao-Korea block and Tanlu fault[J]. Geology in China, 29(4): 337-345.
- SHI Wei, ZHANG Yue-qiao. 2003. Quaternary activity and segmentation behavior of the middle portion of the Tan-Lu fault zone[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(1):11-18.
- TIAN Zai-yi, Han Ping. 1990. Extension analysis on the Bohai faulted basin and its hydrocarbon potentiality[J]. Acta Petrolei Sinica, 11 (2): 1-12.
- WAN Tian-Feng, ZHU Hong. 1991. Tectonic events of Late Proterozoic-Triassic in South China[J]. Journal of Southeast Asian Earth Science, 6(2): 147-157.
- WAN Tian-Feng, ZHU Hong. 1996. The maximum sinistral strike-slip and its forming age of Tancheng-Lujiang fault zone[J]. Geological Journal of Universities, 2(1): 14-27.
- WANG Xiao-feng, LI Zhong-jian, CHEN Bo-lin. 2000. On Tan-Lu fault zone[M]. Beijing: Geological Publishing House, 21-36.
- WU Xing-ning, ZHOU Jian-xun. 2000. The anatomy about the tectonic cause of formation of Bohaiwan basin[J]. Progress in Geophysics, 15(1): 98-106.
- WU Zhen-ming, LIU He-fu, TANG Liang-jie, GAO Jin-xi. 1985. Evaluation and evolution of the major rift valley of Meso-Cenozoic in eastern China[J]. Experimental Petroleum Geology, 7 (1): 60-69.
- XU Jia-wei, MA Guo-feng. 1992. 10-Year review of research on Tanlu Fracture Belt[J]. Geological Review, 38 (4): 316 -324.
- XU Xi-wei, CHENG Guo-liang, MA Xing-yuan, SUN Yu-hang, HAN Zhu-jun. 1994. Rotation model and dynamics of blocks in North China and its adjacent areas[J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 19 (2): 129-138.
- XU Zhi-qin, ZHANG Qiao-da, ZHAO Min. 1982. The main characteristics of the paleorift in the middle section of the Tancheng-Lujiang fracture zone[J]. Acta Geoscientica Sinica, 4(1): 17-26.
- ZHAI Guang-ming, HE Wen-yuan. 2002. Potential resources and future exploration orientation in Bohai Bay basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 23(1): 1-6.
- ZHAO Chong-yuan. 1984. Structural pattern and evolution of Bohaiwan basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 5(1): 1-18.
- ZHU Guang, WANG Dao-xuan, LIU Guo-sheng. 2001. Extensional activities along the Tanlu fault zone and its geodynamic setting[J]. Chinese Journal of Geology, 36(3): 269-278.
- ZHU Guang, Xu Jia-wei. 1997. Displacement, timing and tectonic model of the Tan-Lu fault zone[C]. Proceedings of 30th International Geological Congress, 14: 217-228.