

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.518>



日照—连云港地区重磁异常特征及其构造意义

张婉, 张玄杰, 佟晶, 范子梁

中国地质调查局国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

摘要: 航空重力、磁力测量是解决海陆过渡区地球物理资料不连续问题的有效途径, 所获取的数据为进一步认识苏鲁造山带西段断裂展布、大地构造属性等基础地质问题提供了科学依据。基于最新高精度航空重磁数据, 编制了日照—连云港地区1:25万重力、磁力异常图, 结合区域地质资料, 分析重、磁异常特征, 在日照—连云港地区圈定了郯庐断裂带、桑墟—连云港断裂、东海—赣榆断裂、五莲—桃园断裂等基底断裂构造。研究认为苏鲁造山带南部边界为桑墟—连云港断裂(连黄断裂), 以该断裂为界, 北侧基底为华北板块组成部分, 断裂南侧为下扬子板块基底; 以东海—赣榆断裂为界, 苏鲁造山带可分为南部和北部, 两部分在后期构造活动方面差异显著。

关键词: 重磁异常; 苏鲁造山带; 桑墟—连云港断裂; 东海—赣榆断裂; 五莲—桃园断裂; 地球物理。

中图分类号: P631

文章编号: 1000-2383(2018)12-4490-08

收稿日期: 2018-01-10

Gravity and Magnetic Anomaly Characteristics and Its Geological Interpretation in Rizhao and Lianyungang Areas

Zhang Wan, Zhang Xuanjie, Tong Jing, Fan Ziliang

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

Abstract: Airborne gravity and aeromagnetic data are very effective and important for solving the basic geological structure problems. Based on the newly acquired high-precision airborne gravity and aeromagnetic data, the 1:250 000 gravity and magnetic anomalies map were compiled, the gravity and magnetic field characteristics with regional geological and geophysical materials were analyzed, the basement faults including Tanlu fault belt, Sangxu-Lianyungang fault belt, Donghai-Ganyu fault belt and Wulian-Taoyuan fault belt were recognized. It is believed that the south boundary of Sulu orogenic belt is Sangxu-Lianyungang fault, the northern basement of the fault belongs to North China plate and the southern basement belongs to the Lower Yangtze plate. Bounded by Donghai-Ganyu fault belt, the Sulu orogen can be divided into southern and northern segment, which have quite different tectonic movements.

Key words: gravity and magnetic anomaly; Sulu orogen belt; Sangxu-Lianyungang fault; Donghai-Ganyu fault; Wulian-Taoyuan fault; geophysics.

日照—连云港地区处于苏鲁造山带西段, 华北板块与下扬子板块构造交汇部位。由于所处构造部位的特殊性和重要性, 对苏鲁造山带形成时代、变质作用、造山机制、造山带范围等的研究被广泛关注,

也取得诸多成果。随着研究的深入, 对苏鲁造山带的大地构造属性、边界范围等基础地质问题争议仍然较多。关于苏鲁造山带基底的大地构造属性, 目前主要有4种观点: (1) 属于华北板块南缘, 山东省地矿

基金项目: 中国地质调查局项目(No. DD20160141); 中国国土资源航空物探遥感中心子项目(No. DD2016014106)。

作者简介: 张婉(1982—), 女, 高级工程师, 主要从事航空重磁数据处理、反演与解释方面工作。ORCID: 0000-0003-0678-2907. E-mail: zhangwan102@163.com

*** 通讯作者:** 张玄杰, ORCID: 0000-0001-7069-3285. E-mail: zhangxuanjie@163.com

引用格式: 张婉, 张玄杰, 佟晶, 等, 2018. 日照—连云港地区重磁异常特征及其构造意义. 地球科学, 43(12): 4490-4497.

局过去 20 多年间在该地区完成的 1:20 万和 1:5 万区调项目得出此认识;(2)部分是华北板块,部分是扬子板块(李永刚等,1999);(3)既不是华北板块,也不是扬子板块,而是一个独立的大地构造单元(陆松年,1998;王沛成等,2004;孟小红等,2007);(4)属于扬子板块北缘(蔡乾忠,1989;索书田等,2000;周开富等,2007;邱检生等,2010).关于苏鲁造山带的边界,杨巍然和王豪(1991)提出苏鲁造山带西部边界应为郯庐断裂,而东部边界为五莲—威海断裂;周建波等(2001a,2001b)认为大别—苏鲁造山带板块缝合线应位于现今厘定的五莲—威海断裂以北;Faure and Lin(2001)认为大别—苏鲁造山带板块缝合线应位于蓬莱群变质杂岩以北;陈沪生(1988)、王岚(2005)认为连黄断裂为中朝板块与下扬子板块之间的界线;李三忠等(2009)认为苏鲁造山带边界是变动的。

苏鲁造山带位于胶东半岛与南黄海北部之间的海陆过渡区,海陆之间地质及地球物理资料的不连续性给上述地质问题的研究、探索带来了困难.基于航空物探的测量优势,航空重磁资料可作为解决基础地质问题、发现能源资源的重要地球物理依据,通过对区域场与局部异常的分析,解决基底性质、断裂构造特征、岩浆岩分布等基础地质问题.尤其是在海陆过渡区,与其他资料相比,航空重磁资料对解决海陆构造衔接问题更具独特优势(张玄杰等,2016,2017).近年来,中国国土资源航空物探遥感中心在该区域开展了高精度航空物探测量,获取了海陆连续的重磁资料,为解决上述基础地质问题提供了重要依据.基于统一编制的日照—连云港地区 1:25 万重力、磁力异常图,对该区域主要断裂带、基底构造性质等进行了研究和探讨。

1 区域地质背景

1.1 大地构造位置

研究区位于华北板块与下扬子板块构造交汇部位,区内主体构造单元为苏鲁(胶)造山带,另外涉及鲁西隆起、莱阳盆地和苏北南黄海南部坳陷等多个构造单元(图 1)。

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,延伸长达上千千米,该造山带广泛分布着含柯石英的

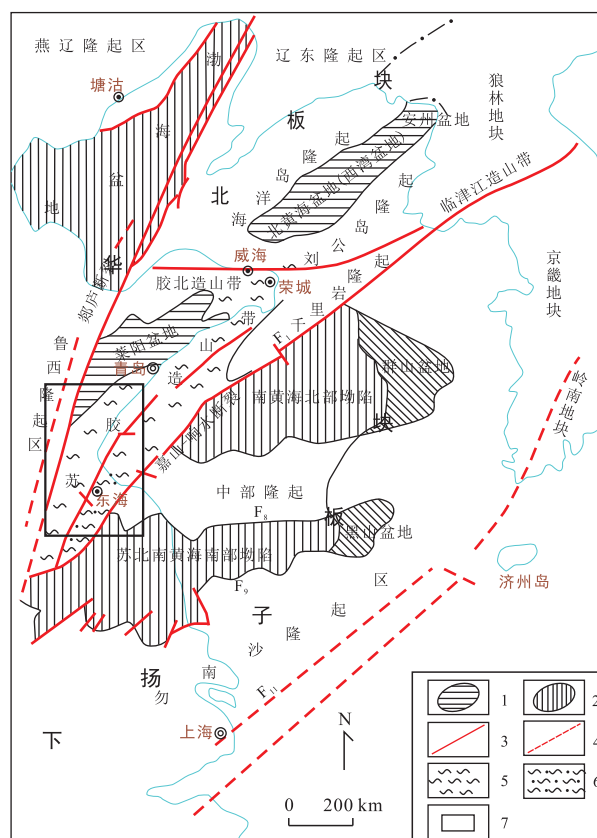


图 1 黄海及邻区构造简图

Fig.1 Tectonic setting and structure outline of Yellow Sea and its adjacent areas

据蔡乾忠(2005);1.以中生代为主的沉积盆地;2.中生代沉积盆地;3.主要断裂带;4.推断断裂;5.苏鲁超高压变质带;6.麻粒岩;7.研究区范围

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(杨文采,2005)。

区内断裂构造较发育,主要为 NE 向和 NNE 向,其次为 NW 向.断裂构造发育的规模大小不一,性质不同,活动性不同.已知大型断裂构造主要包括郯庐断裂、连云港—千里岩断裂和嘉山—响水断裂等。

1.2 区域地层分布

研究区内地层复杂,太古宇—古元古界、元古宇、古生界、中生界、新生界均有出露,但分布不均.太古宇—古元古界主要分布在胶南地区,主要岩性为黑云变粒岩、浅粒岩、斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、黑云片岩等.江苏海州地区见有元古宇分布,主要由白云(二云)石英片岩夹白云钠长变粒岩、磷灰岩等组成.中生界主要分布于研究区西北部的胶莱盆地及沿郯庐断裂带分布的一些断陷盆地内(高丹等,2016;张振凯等,2017),以侏罗系和白垩系为主,侏罗系主要由砾岩、砂岩、粉砂岩等组成,白垩系除

正常沉积的碎屑岩外,还分布有大面积的由安山岩、角闪安山岩、安山质集块角砾岩、熔结角砾凝灰岩、流纹质角砾岩、英安岩等构成的火山岩地层.新生界零星出露,区内不常见.

1.3 岩浆岩分布

研究区内岩浆岩分布广泛,在苏鲁造山带尤为发育,以燕山期岩浆岩为主,此外还有太古宙—古元古代、新生代的岩浆活动产物.

2 数据来源

日照—连云港地区为海陆交互区,由于航空物探测量具有不受地形影响,能够实现海陆过渡区地球物理数据连续测量的特点,故本次研究使用的数据以中国国土资源航空物探遥感中心实测的航空重磁测量成果为主.

航空重力测量是近年来新兴的地球物理勘探手段,在我国海域及海陆过渡区实现了局部覆盖(Li *et al.*, 2016).虽然海州湾地区已有 1:20 万航空重力数据,但对于研究区并未实现航空重力数据的全覆盖,因此使用了航空重力与地面重力两种数据,进行统一编图.其中,航空重力数据来源于中国国土资源航空物探遥感中心于 2012 年在南黄海北部实测的成果数据,该数据测量比例尺为 1:20 万,平均海拔飞行高度为 1201 m,调平后测量精度为 $\pm 0.91 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$;地面重力数据主要来源于山东省物探大队与江苏省物化探大队 20 世纪 80—90 年代获取的 1:20 万地面重力数据,数据总精度优于 $\pm 0.76 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$.海州湾地区使用的重力数据为精度相对较低的 1:100 万地面重力数据,数据总精度为 $\pm 2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$.

航空磁力数据全部来源于中国国土资源航空物探遥感中心于 2004 年在南黄海海域获取的 1:10 万高精度航空磁力测量成果,该数据飞行高度为 200 m,调平后测量总精度为 $\pm 1.35 \text{ nT}$.

3 岩石物性

根据实测物性统计,山东半岛前寒武系密度值较高,平均值为 2.65 g/cm^3 左右;下扬子地区前震旦纪云台组—锦屏山组及下部胸山组片岩、片麻岩及混合岩平均密度为 $2.62 \sim 2.76 \text{ g/cm}^3$;苏北盆地中下三叠统及整套古生界地层平均密度约为 2.68

g/cm^3 ;胶莱盆地及苏北盆地上三叠统至中下侏罗统密度多为 $2.51 \sim 2.59 \text{ g/cm}^3$;苏北盆地上白垩统至新生界密度较小,一般小于 2.3 g/cm^3 .统计结果显示,区内形成了两个较为明显的密度界面,一个是中生界与前中生界之间的界面,另一个是新生界与中生界之间的界面.此外,胶东半岛广泛分布的花岗岩体密度值多为 $2.56 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$,与中生界密度相近,但明显小于古生界及前寒武系,因此当岩体分布于中生界中,不会引起明显的重力异常,而当它们侵入到前寒武系中时,会引起低值重力异常.

日照—连云港地区的磁性地层在胶东地区主要为太古宇—古元古界胶南群变质岩及中生代火山岩,胶南群大山沟组和甄家沟组花岗片麻岩、斜长角闪岩等变质岩系磁化率平均值可达 1500×10^{-5} 以上,分布于胶莱盆地的白垩系火山岩磁化率平均值为 1500×10^{-5} 左右.在江苏地区磁性地层主要为震旦系下部胸山组,平均磁化率一般为 $650 \times 10^{-5} \sim 3200 \times 10^{-5}$,能引起明显的磁场变化;而出露于海州地区的中元古界云台组、锦屏组磁化率平均值可达 628×10^{-5} ,但分布较不均匀,仅能引起局部磁异常;苏北地区新生代火山岩具有较强的磁性,但其分布较为零星.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,实测分布于五莲、崂山、海阳、石岛文登等地区的燕山晚期花岗岩类磁化率平均值为 500×10^{-5} 以上,最大可达 3300×10^{-5} 以上,由于该期岩体分布广,规模大,因此在磁场图上能够形成强度及规模均较大的正磁异常区.

4 重磁异常特征

4.1 布格重力异常特征

研究区布格重力异常场整体具有南高北低的特征(图 2a),高值重力异常主要集中分布于海州湾及其南部陆地地区,高值重力异常呈 NE 向展布,布格重力值整体上西低东高,最大重力异常值可达 $21.6 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$;研究区西北部七宝山镇、夏庄—南古镇等地区重力异常值也较高,呈 NNE 向展布,西窄东宽,异常最大值为 $17.4 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,分布于七宝山镇之东.区域地质图显示,海州湾西部陆地地区零星出露有元古宇,七宝山镇、夏庄—南古地区出露有侏罗系、白垩系,结合区域物性资料特征,推断区内高值重力异常主要为前寒武系基底隆起所引起.胶南地区为区内最为明显的重力低值异常区,低值重力异常主要分布于桃林镇西南、徐福镇北东等地,异常规模较大,延

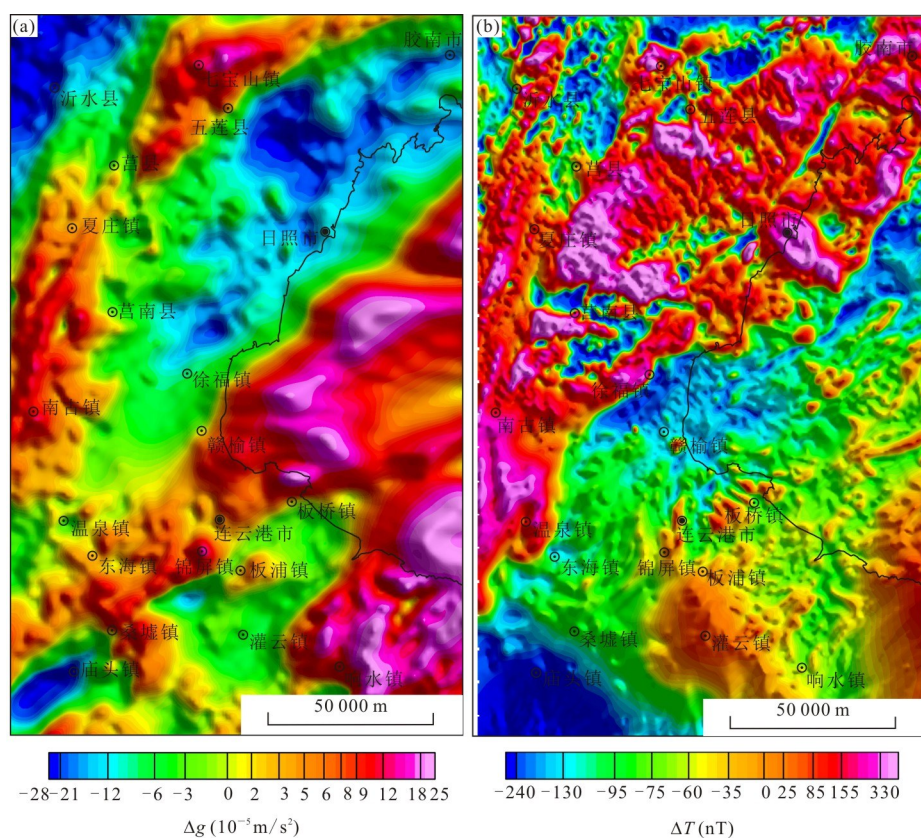


图 2 日照—连云港地区重磁异常特征阴影图

Fig.2 Color shaded grid of aeromagnetic and gravity anomalies in Rizhao and Lianyungang areas

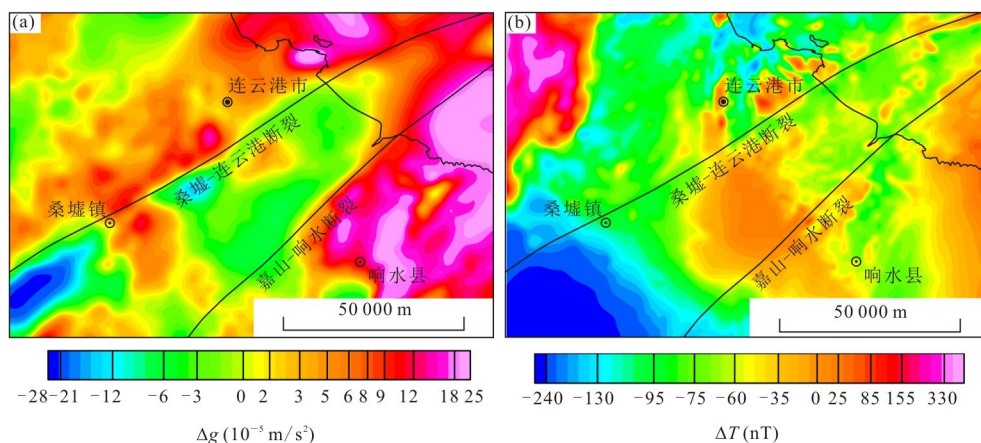
a.布格重力异常阴影图;b.航磁 ΔT 化极阴影图

图 3 桑墟—连云港断裂重磁异常特征对比

Fig.3 Sangxu-Lianyungang fault belt reflected on magnetic and gravity anomalies map

a.布格重力异常阴影图;b.航磁 ΔT 化极阴影图

伸方向较为杂乱,根据胶南地区广泛分布的岩浆岩可知,低值重力异常主要为大面积分布于太古宇—古元古界之中的中酸性岩体所致。

4.2 磁异常特征

研究区磁场整体具有北正南负的特点(图 3b),

以温泉—徐福—日照南一线为界,大致可分为南北两部分,南部磁场区整体表现为负背景场特征,沿庙头镇—锦屏镇—板桥镇分布 1 条线性磁异常带,线性磁异常带南侧发育 2 处宽缓升高异常,一处位于板铺镇—灌云县—百禄镇地区,呈北西向分布,北宽

南窄,北侧为线性磁异常带所截,称之为灌云县异常。另一处位于连云港东南,区内仅出露一部分,异常梯度宽缓。线性磁异常带北侧磁场为负背景场,场值明显低于南侧磁场区,且其上分布数量众多的高频磁异常。北部磁场区位于规模巨大的 NE 向强磁异常带,具有异常强度大、局部异常发育的特点。区内特征最为显著的是分布于莒南—日照一带的强磁异常区,该强磁异常区西以沭河为界,北以莒县—五莲—六汪为界,南以欢敦—徐福—日照南为界,为呈 NE 向延伸的菱形。强磁异常区内局部异常以正值为主,数量众多,延伸方向多为 NE 向、EW 向及 NWW 向。该强磁异常区与布格重力图上的胶南重力低值异常区对应较好,南北边界分别与赣榆梯级带和五莲梯级带相对应。

5 主要地质认识

5.1 桑墟—连云港断裂是苏鲁造山带南部边界

一直以来,关于苏鲁造山带南部边界存在嘉山—响水断裂与连云港—黄梅断裂(连黄断裂)之争。传统观点多认为嘉山—响水断裂是下扬子板块的北界,即苏鲁造山带的南部边界。该断裂南起郯庐断裂东侧,由盱眙、淮阴经灌南响水、燕尾港入黄海,断裂走向 NE,倾向 SE,在苏北地区断裂北西侧广泛发育中元古界及以下变质岩系,见零星震旦系,南东侧出露中生代地层。在新编制的航磁异常图上,嘉山—响水断裂处于宽缓升高背景场中,显示为异常错动和线性局部异常带特征,表明断裂两侧深部磁性基底在构成上没有明显差异。在布格重力异常图上,断裂处于高值重力异常区内,以线性局部低值异常带为标志,表明断裂两侧地层密度差异较小。嘉山—响水断裂重、磁异常特征反映出其两侧应为同一构造单元的组成部分。地震资料也证实,嘉山—响水断裂为一倾向 SE 的正断裂,而苏鲁造山带是下扬子板块向华北板块俯冲碰撞形成的,构造边界应以逆冲断层为标志,将嘉山—响水断裂作为构造边界显然不合理。杨文采(2005)通过深反射地震和大地电磁结果综合分析认为,嘉山—响水断裂带具有不对称断陷裂谷的性质,很可能是白垩纪郯庐古裂谷系的一个裂谷支,不一定与三叠纪扬子克拉通向北俯冲的逆断层重合,不等同于中朝扬子碰撞带的边界。

在新编制的日照—连云港重磁异常图上,根据重磁异常特征,沿桑墟镇、连云港一线圈定了一条

NE 向断裂,称之为桑墟—连云港断裂。经与区域地质资料对比,该断裂是连云港—黄梅断裂(简称“连黄断裂”)或连云港—千里岩断裂的组成部分。连黄断裂西接郯庐断裂,呈 NE-NNE 向,经泗阳、海州入黄海,延伸至千里岩以东海域。在布格重力异常图(图 3a)上,该断裂表现为一条特征十分明显的重力梯级带,梯级带北侧为高值异常区,南侧为低值异常区;在磁场图(图 3b)上,该位置显示为明显的磁场分界线,其北侧为发育高频异常的负磁场区,南侧为发育有升高团块状异常的平静磁场区。桑墟—连云港断裂重磁场特征显示引起重磁异常的地质因素不同,团块状升高异常应是埋藏较深的磁性基底所引起,深度计算结果表明该套基底埋藏较深,为 4~5 km,同时平静的磁场特点说明区内岩浆活动不发育,构造变形较弱,而海州湾南部海陆过渡区高值重力异常可能为元古宇变质岩或古生界碳酸盐岩所致。该断裂在江苏响水—内蒙古满都拉地学大断面上有明显反映,两侧地层厚度差异明显,北西侧地壳厚度达 30 km 以上,东南侧仅为 20 km。研究表明该断裂切割了莫霍面,是一条深大断裂(陈沪生, 1988)。因此,与嘉山—响水断裂相比,将桑墟—连云港断裂作为重要构造单元界限更为合理。

日照—连云港地区的重磁异常特征清楚地反映出桑墟—连云港断裂两侧基底构成、构造活动性等方面存在显著差异,其两侧应为不同的地质构造单元,进一步证实了桑墟—连云港断裂(连黄断裂)应为苏鲁造山带南部边界。断裂南侧发育与南黄海中部相似的太古宇—古元古界强磁性刚性基底,应为下扬子板块的组成部分,而断裂北侧高值重力异常与负磁背景场反映出其为元古宇基底隆起区,应为苏鲁造山带的组成部分。

5.2 东海—赣榆断裂将苏鲁造山带分为南北两部分

苏鲁超造山带具有独特的地质构造环境,内部结构复杂,基于不同构造单元的物性差异,其往往形成不同的重磁场特征。最新航空重磁资料显示,以东海—赣榆一线为界,苏鲁造山带南北两侧具有不同重磁异常组合特征,反映出其在物质构成上的差异。

在日照—连云港地区布格重力异常图(图 4a)上,沿东海—赣榆一线存在 1 条宽缓的梯度带,梯度带两侧形成了明显不同的重力场特征,梯度带应为断裂构造的反映,称之为东海—赣榆断裂。断裂北侧为大范围的低值重力异常区,南侧主要由高值重力异常构成。在航磁化极等值线平面图(图 4b)上,断裂表现为区域场分界线,北侧为强磁异常区,南侧整

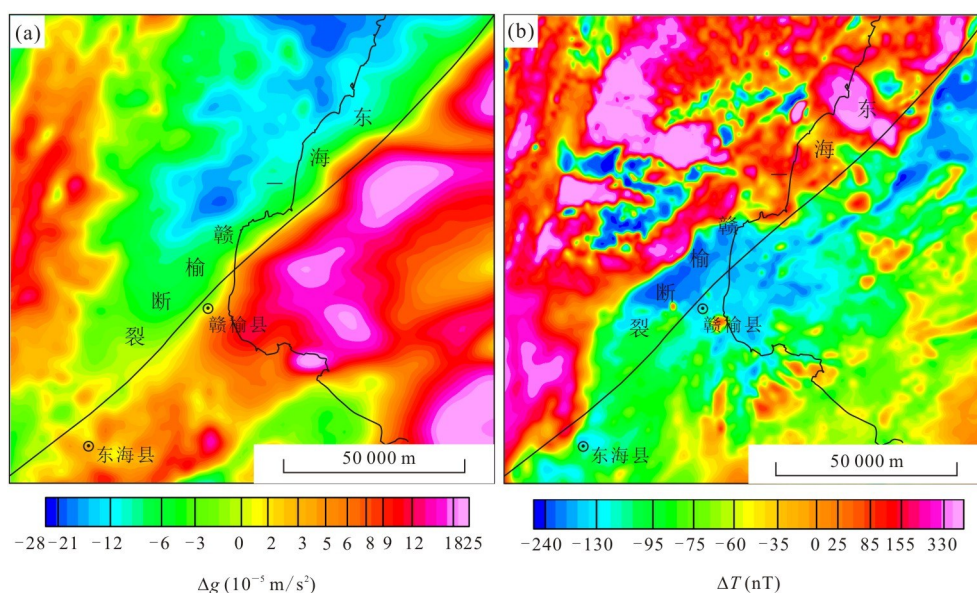


图 4 东海—赣榆断裂重磁异常特征对比

Fig.4 Donghai-Ganyu fault belt reflected on magnetic and gravity anomalies map

a.布格重力异常阴影图;b.航磁 ΔT 化极阴影图

体显示为负背景场.断裂南北两侧的重磁场特征相关性较强,呈现南侧高磁低重、北侧低磁高重的特征,反映断裂南北两侧基底性质、岩浆活动方面存在明显差异.

东海—赣榆断裂北侧广泛出露前寒武系变质岩及印支期、燕山期岩体.前寒武系胶南群、五莲群变质岩一般具有较高的密度值,而燕山期岩体密度值则相对较低,这些大面积分布于前寒武系变质岩中的中酸性岩体引起了规模较大的低值重力异常.同时,胶南群变质岩及各期次岩浆岩均具有强弱不等的磁性,在磁场上形成了高值磁异常特征.因此,通过重磁异常组合特征推断,东海—赣榆断裂以北基底主要由太古宇—古元古界构成.受板块碰撞结合作用影响,隆起区发育大规模的燕山期岩浆活动,形成大面积分布的花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩等岩体.地表广泛出露太古宇—古元古界胶南群及五莲群变质岩.与周边构造单元相比,老变质基底遭受岩浆活动的强烈改造,在布格重力异常图上表现为明显的 NE 向重力异常低值区,而区内岩浆岩及胶南群变质岩均具有一定的磁性,在航磁图上表现为菱形强磁异常分布区.

东海—赣榆断裂南侧,以覆盖区为主,仅在陆区及沿海岛屿零星出露元古宇,锦屏山地区出露的锦屏组花岗片麻岩、云母片岩、混合花岗岩、石英岩和连云港地区出露的云台组片麻岩、石英岩、浅粒岩等密度值为 2.7 g/cm^3 左右,高于中、新生界;同时磁化率值

变化范围为 $15 \times 10^{-5} \sim 2\,665 \times 10^{-5}$,平均值为 628×10^{-5} ,为弱—中等磁性岩石.因此元古宇在磁场图上多对应负磁场区,仅局部发育规模较小的高值异常.在布格重力图上表现为高值重力异常的特征.

东海—赣榆断裂南北两侧的重磁场特征的不同反映出其地质构造上的差异.以往的地质研究也表明,苏鲁造山带的内部构成是不均一的.断裂北侧广泛发育了与板块碰撞造山作用有关的岩浆活动,太古宇—古元古界基底被强烈改造,在重力场图上形成大面积分布的低值重力异常区,可称之为胶南隆起;断裂南侧以元古宇为主的基底保存较完整,受后期岩浆改造及构造变形较弱,形成的主要是高值重力背景场,可称之为连云港隆起.

因此,东海—赣榆断裂是苏鲁造山带内部的一条重要构造界线,其北侧的胶南隆起主要发育与碰撞造山作用有关的岩浆活动;而其南侧连云港隆起构造变形及岩浆活动相对较弱,元古宇保存较为完整,且该隆起在海域内与千里岩隆起相接,整体呈 NE 向延伸.

6 结论

(1)依据重磁资料圈定的桑墟—连云港断裂(连黄断裂)是苏鲁造山带南部边界,断裂南侧构造活动弱,发育埋藏较深且稳定的磁性基底,具有下扬子板块基底特征;(2)以东海—赣榆断裂为界将苏鲁造山带分为南北两部分,南部磁力低、重力高,北部磁力高、重力

低,表明两侧在后期构造活动方面有显著差异。

致谢:审稿专家对稿件提出了建设性的修改意见,对改进文章质量起了重要作用,在此表示衷心的感谢。

References

- Cai, Q. Z., 1989. Formation Mechanism of Ludong (Eastern Shandong Province) Terrane and Its Actual Subordinateness. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 9 (1): 5—15 (in Chinese with English abstract).
- Cai, Q. Z., 2005. Relationship between Sino-Korean Orogenic Belt Traversing Yellow Sea and Basin Evolution and Hydrocarbon Generation in North and South Yellow Sea Basins. *Oil & Gas Geology*, 26 (2): 185—192, 196 (in Chinese with English abstract).
- Chen, H. S., 1988. Comprehensive Geophysical Survey of HQ-13 Line in the Lower Yangzi Reaches and Its Geological Significance. *Oil & Gas Geology*, 9 (3): 211—222, 327 (in Chinese with English abstract).
- Faure, M., Lin, W., 2001. Where is the North China-South China Block Boundary in Eastern China? *Geology*, 29 (2): 119—122.
- Gao, D., Cheng, R. H., Shen, Y. J., et al., 2016. Southwestern Provenance-Sedimentary System and Provenance Tectonic Setting of Eastern Sag in the North Yellow Sea Basin. *Earth Science*, 41 (7): 1171—1187 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.095>
- Li, S. Z., Liu, X., Suo, Y. H., et al., 2009. Triassic Folding and Thrusting in the Eastern Block of the North China Craton and the Dabie-Sulu Orogen and Its Geodynamics. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (9): 2031—2049 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. Y., Liu, Y. X., Li, B., et al., 2016. Hydrocarbon Exploration in the South Yellow Sea Based on Airborne Gravity, China. *Journal of Earth Science*, 27 (4): 686—698. <https://doi.org/10.1007/s12583-015-0607-y>
- Li, Y. G., Guo, J. H., Zhai, M. G., et al., 1999. Geochemical Differences of Basement Felsic Gneisses in Shandong Peninsula and Its Significance to the Boundary between North China Plate and Sulu UHP Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (4): 557—563 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. N., 1998. Geochronology and Sm-Nd Isotopic Geochemistry of Precambrian Crystalline Basement in Eastern Shandong Province. *Earth Science Frontiers*, 5 (4): 275—283 (in Chinese with English abstract).
- Meng, X. H., Yu, Q. F., Guo, Y. Z., et al., 2007. A Pilot Study on Paleomagnetism and Rock Magnetism of Maobei Eclogite. *Earth Science*, 32 (4): 533—539 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, J. S., Hu, J., Li, Z., et al., 2010. Comparison of Protolith Assemblages of Metamorphic Rocks in the Dabie-Sulu Orogen and the Late Mesozoic Magmatic Rock Associations in the Coastal Region of Zhejiang and Fujian Provinces: Implications for the Neoproterozoic Tectonic Setting of Northeastern Yangtze Block. *Geological Journal of China Universities*, 16 (4): 413—425 (in Chinese with English abstract).
- Suo, S. T., Zhong, Z. Q., You, Z. D., 2000. Location of Triassic Tectonic Suture Line between Collided Sino-Korean and Yangtze Cratons in Dabie-Sulu Tectonic Zone. *Earth Science*, 25 (2): 111—116 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L., 2005. New Insights into Tanlu and Lianhuang Major Faults. *Progress in Exploration Geophysics*, 28 (5): 368—372 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P. C., Zhang, G. R., Xu, H. Y., et al., 2004. On Geotectonic Property of the Su-Lu Orogen Basement—Taking Rongcheng-Weihai Sector as an Example. *Geological Survey and Research*, 27 (4): 239—244 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. C., 2005. Tectonic Framework of the Eastern Segment of the Central Orogenic Belt of China. *Geology in China*, 32 (2): 299—309 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Wang, H., 1991. The Outline of China Plate Tectonics. *Earth Science*, 16 (5): 505—513 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. J., Chen, B., Zhu, W. P., et al., 2016. Achievements in Airborne Gravity Survey around the Dalian Sea Area. *Geological Survey of China*, 3 (2): 40—45 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. J., Zhang, W., Fan, Z. L., et al., 2017. Characteristics of Airborne Gravity Field and the Main Geological Discovery in the Northern South Yellow Sea. *Geological Survey of China*, 4 (1): 50—56 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. K., Zhou, Y. Q., Peng, T. M., et al., 2017. Geochemical Characteristics and Signatures of Siltstones from Laiyang Group at Lingshan Island, Qingdao, Shandong. *Earth Science*, 42 (3): 357—377 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.027>
- Zhou, J. B., Zheng, Y. F., Li, L., et al., 2001a. Accretionary Wedge of the Subduction of the Yangtze Plate. *Acta Geologica Sinica*, 75 (3): 338—352 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. B., Zheng, Y. F., Li, L., et al., 2001b. On Low-Grade Metamorphic Rock within Dabie-Sulu Ultrahigh Pres-

sure Metamorphic Belt, *Acta Petrologica Sinica*, 17 (1):39—48 (in Chinese with English abstract).

Zhou, K.F., Xue, H.M., Liu, F.L., 2007. Geochemical Characteristics of A-Type Granitic Gneiss in Lanshantou of Jiaonan and the Genesis of Its Protolith. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26 (2): 109—122 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

蔡乾忠, 1989. 论鲁东地体的形成机制及其归属. 海洋地质与第四纪地质, 9(1):5—15.

蔡乾忠, 2005. 横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系. 石油与天然气地质, 26(2):185—192, 196.

陈沪生, 1988. 下扬子地区 HQ-13 线的综合地球物理调查及其地质意义. 石油与天然气地质, 9(3):211—222, 327.

高丹, 程日辉, 沈艳杰, 等, 2016. 北黄海盆地东部坳陷侏罗纪西南物源—沉积体系与源区构造背景. 地球科学, 41(7):1171—1187.

李三忠, 刘鑫, 索艳慧, 等, 2009. 华北克拉通东部地块和大别—苏鲁造山带印支期褶皱—逆冲构造与动力学背景. 岩石学报, 25(9):2031—2049.

李永刚, 郭敬辉, 翟明国, 等, 1999. 胶东地区基底长英质片麻岩的地球化学特征及其构造归属. 岩石学报, 15(4):557—563.

陆松年, 1998. 鲁东前寒武纪结晶基底的年代学及 Sm-Nd 同位素地球化学. 地学前缘, 5(4):275—283.

孟小红, 余钦范, 郭友钊, 等, 2007. 毛北榴辉岩古地磁及岩石磁学初探. 地球科学, 32(4):533—539.

邱检生, 胡建, 李真, 等, 2010. 大别—苏鲁造山带变质岩原岩组合与闽浙沿海晚中生代岩浆岩组合的对比: 对扬子板块北东缘新元古代构造属性的启示. 高校地质学报, 16(4):413—425.

索书田, 钟增球, 游振东, 2000. 大别—苏鲁构造带三叠纪碰撞缝合线的位置. 地球科学, 25(2):111—116.

王岚, 2005. 对郯庐及连黄大断裂的几点新认识. 勘探地球物理进展, 28(5):368—372.

王沛成, 张国茹, 徐洪岩, 等, 2004. 浅议苏鲁造山带基底大地构造属性——以荣成—威海地区为例. 地质调查与研究, 27(4):239—244.

杨文采, 2005. 中央造山带东段岩石圈的构造格架. 中国地质, 32(2):299—309.

杨巍然, 王豪, 1991. 中国板块构造情况. 地球科学, 16(5):505—513.

张玄杰, 陈斌, 朱卫平, 等, 2016. 大连周边海域航空重力调查方法及重要成果. 中国地质调查, 3(2):40—45.

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

张振凯, 周瑶琪, 彭甜明, 等, 2017. 山东灵山岛莱阳群粉砂岩地球化学特征及意义. 地球科学, 42(3):357—377.

周建波, 郑永飞, 李龙, 等, 2001a. 扬子大陆板块俯冲的构造加积楔. 地质学报, 75(3):338—352.

周建波, 郑永飞, 李龙, 等, 2001b. 大别—苏鲁超高压变质带内部的浅变质岩. 岩石学报, 17(1):39—48.

周开富, 薛怀民, 刘福来, 2007. 胶南岚山头地区 A 型花岗质片麻岩的地球化学特征与原岩成因. 岩石矿物学杂志, 26(2):109—122.