第 39 卷　第 12 期　　海　洋　学　报　　Vol. 39, No. 12
2017 年 12 月　　Haiyang Xuebao　　December 2017

马龙，郑彦鹏，刘晨光，等. 南极布兰斯菲尔德海峡区域重力场特征及异常分析[J]. 海洋学报，2017，39(12)：42－52，doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.12.005

Ma Long, Zheng Yanpeng, Liu Chenguang, et al. Regional characteristics and anomaly analysis of gravity field for the Bransfield Strait, Antarctic[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(12): 42－52, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.12.005

南极布兰斯菲尔德海峡区域重力场特征及异常分析

马龙[1,2]，郑彦鹏[1,2*]，刘晨光[1,2]，赵强[1,2]，裴彦良[1,2]，华清峰[1,2]，李先锋[1,2]，夏成龙[3]

(1.国家海洋局第一海洋研究所 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室，山东 青岛 266061；2.青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室，山东 青岛 266061；3.中国海洋大学 海洋地球科学学院，山东 青岛 266100)

摘要： 南极布兰斯菲尔德海峡及周边区域是南极大陆火山、地震等新构造活动最活跃的地区，与南设得兰海沟、南设得兰群岛一同构成南极大陆边缘现存唯一的“沟-弧-盆”构造体系。本文基于“雪龙”船第 28、第 30 航次实测数据及两个航次的国际共享资料，利用均衡改正数据处理方法获得布兰斯菲尔德海峡的莫霍面深度及其分布规律，分析深部构造一断裂的区域分布及其重力异常特征等。布兰斯菲尔德海峡内的空间重力异常呈条带状分布，走向总体与地形相近，布格重力异常则由两侧向中间升高，大致在坡折处形成异常场值为 100×10^{-5} m/s^2 的分界线，在中央次海盆和东部次海盆海山处形成两个异常高值圈闭，异常值最高为 150×10^{-5} m/s^2。莫霍面深度以弧后扩张中心为最低值，向南设得兰群岛和南极半岛两个方向递增，深度从 12 km 递增至陆坡位置的 24 km。

关键词： 重力场特征；均衡改正；异常分析；南极；布兰斯菲尔德海峡

中图分类号： P738.2　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 0253-4193(2017)12-0042-11

1　引言

南极半岛以北的南设得兰群岛、南设得兰海沟和布兰斯菲尔德海峡共同构成南极大陆边缘现存唯一的“沟-弧-盆”构造体系[1－2]。布兰斯菲尔德海峡为一新生代形成的裂谷系[3]，呈 NE 走向，属于由裂谷向海底扩张构造演变的阶段，海底地形起伏明显，主要受广泛分布的断层所控制。南极洲板块 NE 向的移动导致南设得兰海沟左旋滑动，一直延伸至南极大陆边缘的南斯科舍海脊处，在俯冲板块后撤时造成布兰斯菲尔德海峡的扩张[4－5]，形成布兰斯菲尔德海峡 NWN 向和 NEN 向两个方向的断裂构造。

20 世纪 60 年代首次对布兰斯菲尔德海峡开展了调查[6]，对其形成演化历史产生了多种观点，并被广泛讨论。Davey[7]提出布兰斯菲尔德海峡的深海槽为断层控制盆地或断堑。Elliot[8]研究了南极半岛的区域构造背景及演化特征，绘制了南极半岛地区的区域地质构造略图，阐述了布兰斯菲尔德海峡的大地构造背景。Gràcia 等[9－10]对布兰斯菲尔德海峡中部和东部盆地地形及重磁数据进行分析研究，将海底火山

收稿日期： 2016-12-16；**修订日期：** 2017-06-14。

基金项目： 南北极环境综合考察与评估专项(CHINARE2016-01-03-02，CHINARE 2016-04-01-04)；泰山学者攀登计划(tspd 2016007)；国家基金委一山东省联合基金项目(U1606401)。

作者简介： 马龙(1988—)，男，江西省九江市人，研究实习员，主要从事海洋地球物理调查技术方面研究。E-mail：malong@fio.org.cn

* **通信作者：** 郑彦鹏(1972—)，男，山东省日照市人，研究员，博士，主要从事海洋地球物理与海底构造方面研究。E-mail：zhengyp@fio.org.cn

构造发育分为 3 个阶段,并认为新洋壳伴随海底火山作用持续形成,由于海盆整体的左旋走滑运动,导致两者表现为完全不同的地形地貌、火山活动及沉积特征,分别处于海底扩张初期和扩张前弧后裂谷阶段。Barker 等[11]基于在海峡内获得的地震及 OBS(海底地震仪)数据,获得地壳厚度图,发现早期的弧壳比洋壳厚 25%,可能并非洋壳。Schreider 等[12-13]将布兰斯菲尔德海峡的基底岩石圈扩张分为 4 个主要阶段:(1)南极半岛外缘陆壳局部因张应力增加而张裂;(2)南极半岛北部形成一个类地堑结构;(3)持续扩张导致剧烈的火山活动并在地堑内充填沉积物;(4)南设得兰群岛近岸火山活动并堆积上部沉积物。因此,通过查明布兰斯菲尔德海峡的重力场特征,开展数据反演,对研究南极半岛及邻区的盆地形成、地壳结构和构造演化历史具有非常重大的科学意义。

2　数据和方法

1984 年,我国首次南极科学考察期间,对布兰斯菲尔德海峡进行了重力、磁力、水深等海洋地球物理综合调查。基于上述调查数据,吕文正和吴水根[1]研究了布兰斯菲尔德海峡新生代形成的裂谷系特征及其形成机制,将海峡形成过程划分为两个主要阶段:(1)俯冲活动引起的弧后扩张;(2)大规模俯冲活动停止后,由于地幔物质上隆造成岩石圈拉张、减薄和破裂,形成一系列地堑、地垒,地幔基性岩浆在裂谷轴部涌出,扩张中心向大洋迁移,形成现今的不对称裂谷。持续发生的断裂活动对南极半岛地区的火山和地震活动起着明显的控制作用,并促使形成欺骗岛、企鹅岛、布里奇曼岛等仍具有现代火山活动的岛屿[2-3]。

1990—2014 年,我国在 3 个南极考察航次中对布兰斯菲尔德海峡进行了海洋重力调查,积累了一定数量的船测重力资料。本次研究区范围如图 1 所示(61°～64°S,64°～52°W),海底地形由两侧向中间呈阶梯形下降,北陡南缓,以欺骗岛和布里奇曼岛为界,可划分为西部次海盆(WBB)、中央次海盆(CBB)和东部次海盆(EBB)3 块。本文以“雪龙”船第 28、第 30 航次实测数据及美国国家地球物理数据中心(NGDC)两个航次的共享资料[14]为基础,基于最小二乘算法[15-18]平差处理融合布兰斯菲尔德海峡内的船测重力数据,融合后的船测重力数据交点标准差[15]为 1.545×10^{-5} m/s^2。本文是在前期数据处理基础上开展重力异常场空间分布规律及其地质构造意义的研究。主要包括利用均衡改正数据处理方法获得研究区的莫霍面深度及其分布规律,分析深部构造—断裂的区域分布及其重力异常特征等。

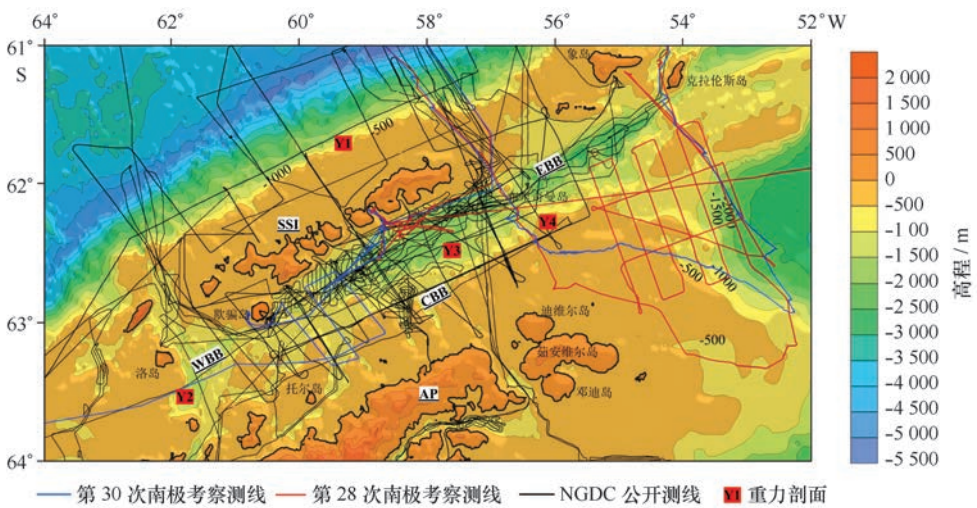

图 1　研究区海底地形图及调查数据位置

Fig.1　Topographic map of the study area and the distribution of cruise data

SSI.南设得兰群岛;AP.南极半岛;WBB.西部次海盆;CBB.中央次海盆;EBB.东部次海盆

SSI.South Shetland Islands; AP.Antarctic Peninsula; WBB.Western Bransfield Basin; CBB.Central Bransfield Basin; EBB.Eastern Bransfield Basin

地形特征的均衡补偿主要有两种形式,一种是局部均衡补偿,补偿通过地壳以密度不变而厚度变化

(艾里模型)或横向密度变化(普拉特模型)实现;另一种是区域均衡补偿,不仅考虑壳幔密度差别的浮力支撑,还考虑地表地形起伏及地下莫霍面起伏,认为在多数情形下,岩石圈对长期表面载荷的反应,近似于一个上覆于较弱液体的弹性薄板[19-23]。按照该模型,沉积物和水体的负荷局部受基底支撑,而裂谷后期倾斜平缓的沉积物与广阔海岸平原的存在,说明绕曲模型适用于大陆边缘演化后期。艾里均衡模型对应于区域均衡模型中的挠曲刚度为零的特殊情况[24],前人研究也表明在裂谷作用早期艾里模型最为适用[25-27]。

布兰斯菲尔德海峡海底是一个第四纪的弧后盆地,直到上新世期间,南设得兰群岛之下的俯冲停止才导致布兰斯菲尔德海峡的张开,属于裂谷作用早期。此外,海底地震仪折射剖面[11]和多道地震剖面[28]显示布兰斯菲尔德海峡莫霍面为具有一定起伏的曲面。综上分析本文基于艾里模型[29-31],结合地形栅格图、区域密度、莫霍面密度对比和海平面补偿深度等数据资料来计算莫霍面(即"根")的深度(图2),利用研究区布格重力异常和地形高程数据进一步进行均衡残余改正处理,获得布兰斯菲尔德海峡均衡残余异常值,避免了多项式拟合或滤波对浅层地质特征造成的重力异常处理时的随意性误差影响,更好地模拟了海峡的地壳结构。

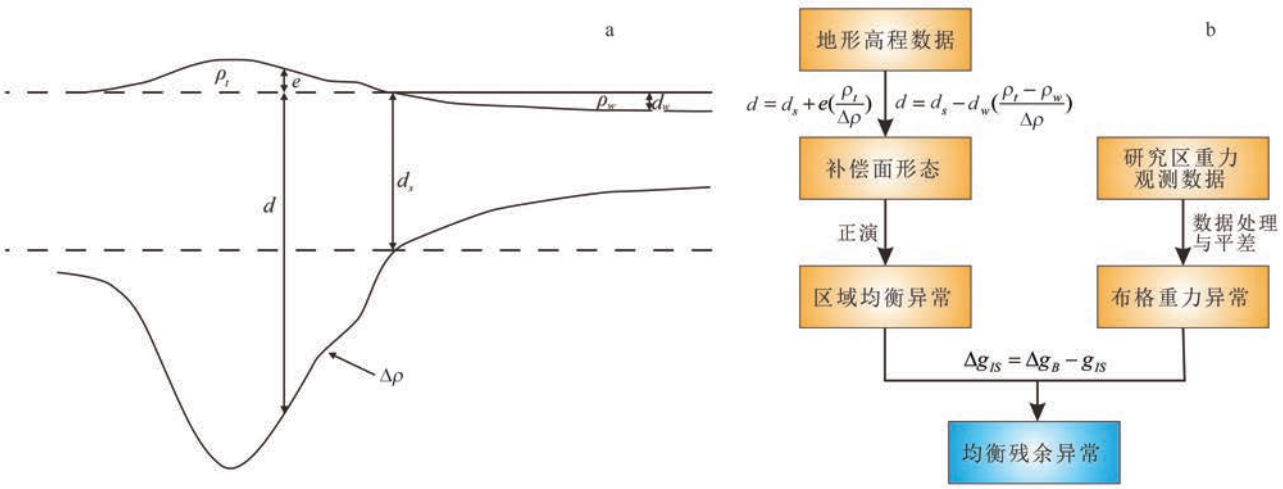

图 2 均衡改正分析图

Fig.2 Analysis of isostatic correction

d 为山根深度;d_s 为莫霍面补偿深度,e 为海底地形高度;ρ_t 为地壳密度;$\Delta\rho$ 为地壳与上地幔密度差异;ρ_w 为海水的密度;d_w 为海底深度。通过补偿面形态正演区域均衡异常。均衡残余异常(Δg_{IS})由研究区的布格重力异常值 g_B 和正演获得的均衡重力异常值 g_{IS} 相减得到

d is depth to bottom of root; d_s is depth to bottom of root for sealevel elevation; e is submarine topography; ρ_t is density of crust; $\Delta\rho$ is density contrast at depth across bottom of root; ρ_w is density of seawater; d_w is depth of water. Isostatic regional gravity is calculated from the topographic data. Isostatic residual gravity anomaly(Δg_{IS}) is calculated by subtracting the isostatic gravity anomaly(g_{IS}) from the Bouguer gravity anomaly(g_B)

艾里均衡的补偿面深度一般选取莫霍面平均深度,此处选取 21 km 主要是参照南设得兰群岛区域至南极半岛区域范围内莫霍面深度的平均值,并取地壳密度为 2.67×10^3 kg/m^3,壳幔密度差为 0.45×10^3 kg/m^3,水深数据来源于实测及卫星高程数据,计算获得莫霍面的"山根"或者"反山根"形态,并依据界面形态正演计算求出均衡重力异常及均衡残余异常。

3 区域重力场特征

基于布兰斯菲尔德海峡内船测重力综合平差结果,绘制空间重力异常图和布格重力异常图(图 3,图 4)。空间重力异常反映了实际的地球形状和物质分布与参考椭球体的偏差[32]。大范围负值表示亏损,大范围正值则表示盈余。

历史资料显示布兰斯菲尔德海峡中央次海盆目前仍存在一些十分活跃的海底火山[34],它们沿盆地扩张脊 NE—SW 向零星分布[33,35]。布兰斯菲尔德海峡空间重力异常被构造线划分为多个区域,总体走向为 NE—SW 向,与海底地形分布趋于一致,随地形起伏变化剧烈,在海底火山附近产生多个低值区域生成重力梯级带。

布兰斯菲尔德海峡内空间重力异常由两侧向海

峡中央以降低异常为主,异常值范围为$-40\times10^{-5}\sim100\times10^{-5}$ m/s^2,大部分区域空间重力异常值都大于20×10^{-5} m/s^2,在海峡内洛岛东部、霍西森岛和特里尼蒂岛内存在一个重力异常低值圈闭,最低值小于-10×10^{-5} m/s^2,东部水深1 000 m以深的区域空间重力异常为负低值,范围为$-40\times10^{-5}\sim0$ m/s^2。空间重力异常走向总体与地形相似被欺骗岛和布里奇曼岛分割为3个区域,被NWN走向的构造线及海底火山隔断,在中央次海盆形成多个异常低值圈闭。

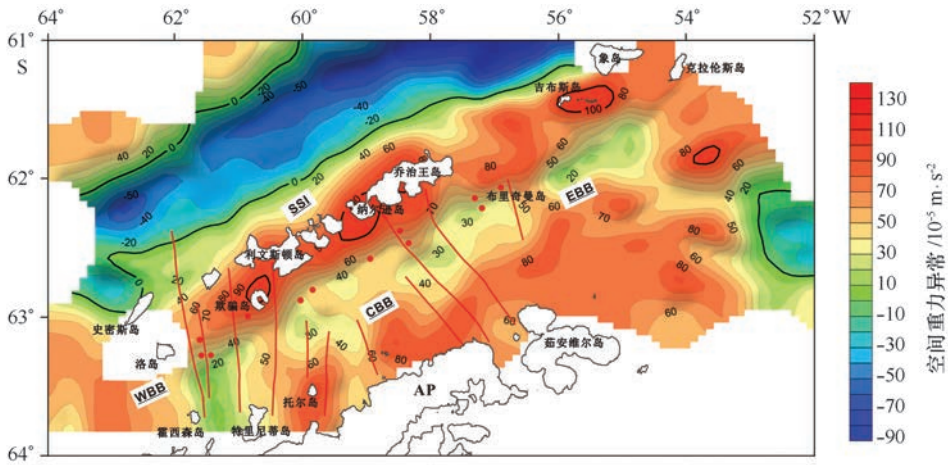

图3　布兰斯菲尔德海峡空间重力异常

Fig.3　Free-air gravity anomaly in the Bransfield Strait

白色区域为陆地或测线未覆盖区域;红色实线为断层;红点为海底火山;位置据文献[12]和[33]

The white area in the figure locates the land or the survey line; the red solid lines show the fault; the red dots indicate the submarine volcano; locations are based on the references [12] and [33]

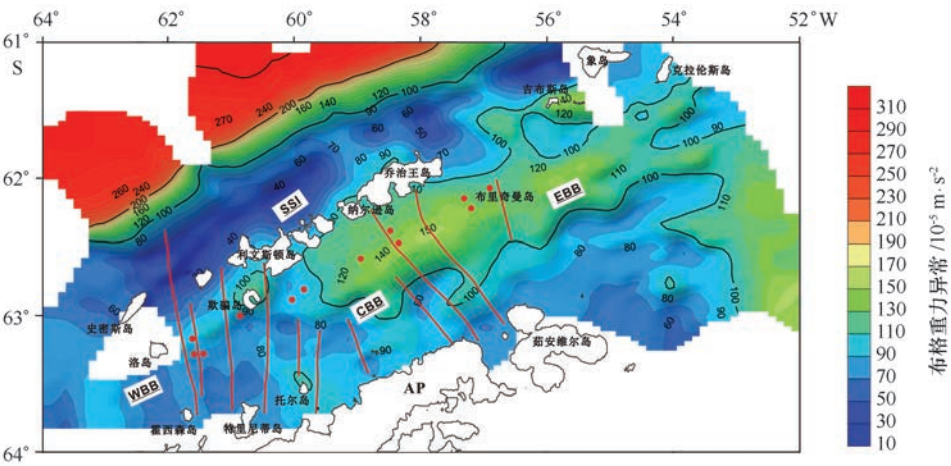

图4　布兰斯菲尔德海峡布格重力异常

Fig.4　Bouguer gravity anomaly in the Bransfield Strait

布格重力异常(Δg_B)包含了壳内各种偏离正常密度分布的矿体与构造的影响,也包含了地壳下界面起伏而在横向上相对上地幔质量的巨大亏损或盈余影响[32]。布兰斯菲尔德海峡布格重力异常值范围为$0\sim320\times10^{-5}$ m/s^2,总体特征呈条带状分布走向ENE,与其展布方向一致。异常场值由两侧向中间升高,大致在坡折处形成值为100×10^{-5} m/s^{2}的分界线,在中央次海盆和东部次海盆水深变化明显且海底火山广泛分布的区域,布格重力异常形成两个异常高值圈闭,异常值最高为150×10^{-5} m/s^2。东部次海盆

由于水深变化没有其余两处剧烈，在中心区域未见明显的异常高值，主要为 80×10^{-5} m/s²，并在陆坡区形成多处圈闭异常。

南设得兰群岛北侧，属于弧前盆地向南设得兰海沟过渡带，空间重力异常呈条带状分布，走向 ENE。沿 NWN 方向空间重力异常值经历一个先降后升的过程，与南设得兰海沟北侧外缘隆起水深变浅相对应，空间重力异常值范围为 $-90\times10^{-5}\sim40\times10^{-5}$ m/s²。在海沟西南部和东北部低水深区域为两个空间重力异常低值区，整个研究区空间重力异常最低值分布于海沟东北部为 $-90\times10^{-5}\sim-60\times10^{-5}$ m/s²，海沟主体基本都处于空间重力异常负值区。由于南设得兰海沟水深的急剧变化，布格重力异常值差异变化也非常明显(图 5)，异常值范围为 $60\times10^{-5}\sim100\times10^{-5}$ m/s²。

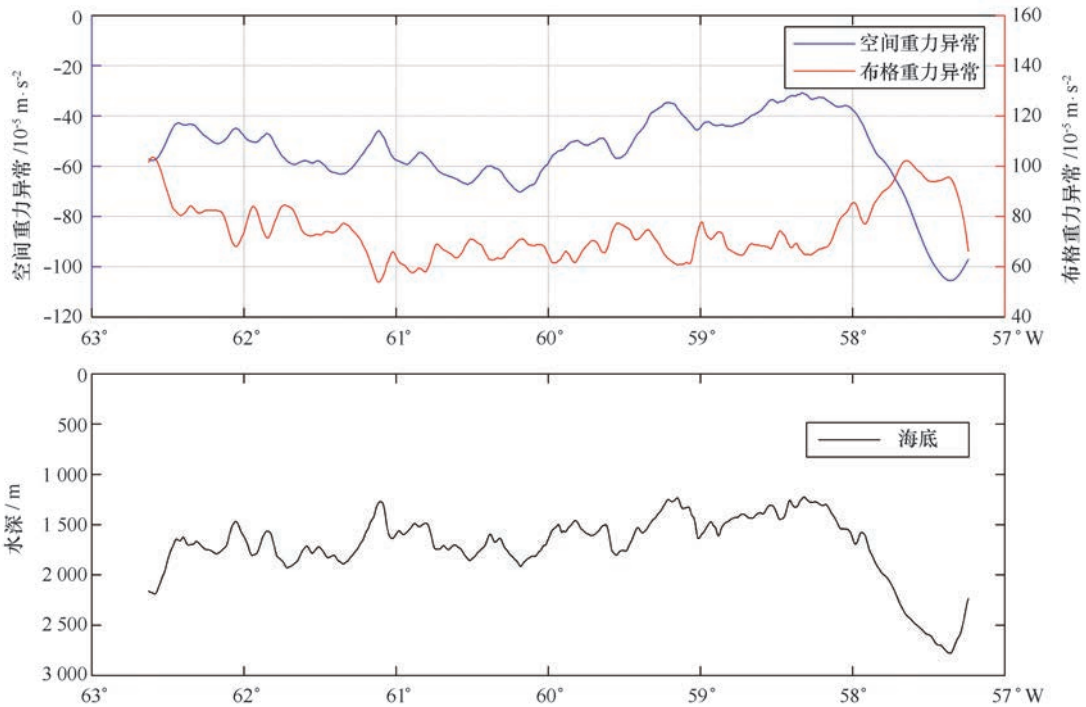

图 5 南设得兰海沟 Y1 重力剖面

Fig.5 Gravity profile Y1 in the South Shetland Islands

重力异常的数值和特征变化反映了海底以下岩石圈和深部物质在横向上质量分布的不均匀性，同时也直观地反映了地质构造的特征，与布兰斯菲尔德海峡相比，海沟内水深明显更深，可以通过两者之间数值的对比来揭示海峡内 3 部分海盆的重力场特征。

3.1 西部次海盆

西部次海盆位于欺骗岛以东 63°～61°W 之间，分布有多座小岛，水深相对较浅，仅在中心区域达到 1 000 m以下。空间重力异常和布格重力异常分布趋于一致，在中央深水区域均为低值区。重力异常值自南设得兰海沟向南出现大幅变化，空间重力异常从最低 -70×10^{-5} m/s² 变为东部次海盆的 $0\sim60\times10^{-5}$ m/s² 之间，布格重力异常由最高 280×10^{-5} m/s²降为 $40\times10^{-5}\sim100\times10^{-5}$ m/s²之间。

空间重力异常值总体走向近似为正北方向，并在欺骗岛和托尔岛附近最高。布格重力异常值走向不明显，在研究区形成多个圈闭，极值点与空间重力异常相近。从东部次海盆向中部延伸的重力剖面(图 6)也揭示了布兰斯菲尔德海峡海底地形起伏与重力异常值变化相互对应的关系。

3.2 中央次海盆

中央次海盆是布兰斯菲尔德海峡的主体位置，也是极地科考船主要停留和考察的位置，北部与南设得兰群岛相连，南部与南极半岛接壤，往东与东部次海盆以布里奇曼岛为界。北部水深较深，是弧后盆地的扩张中心(图 1)，邻近南设得兰

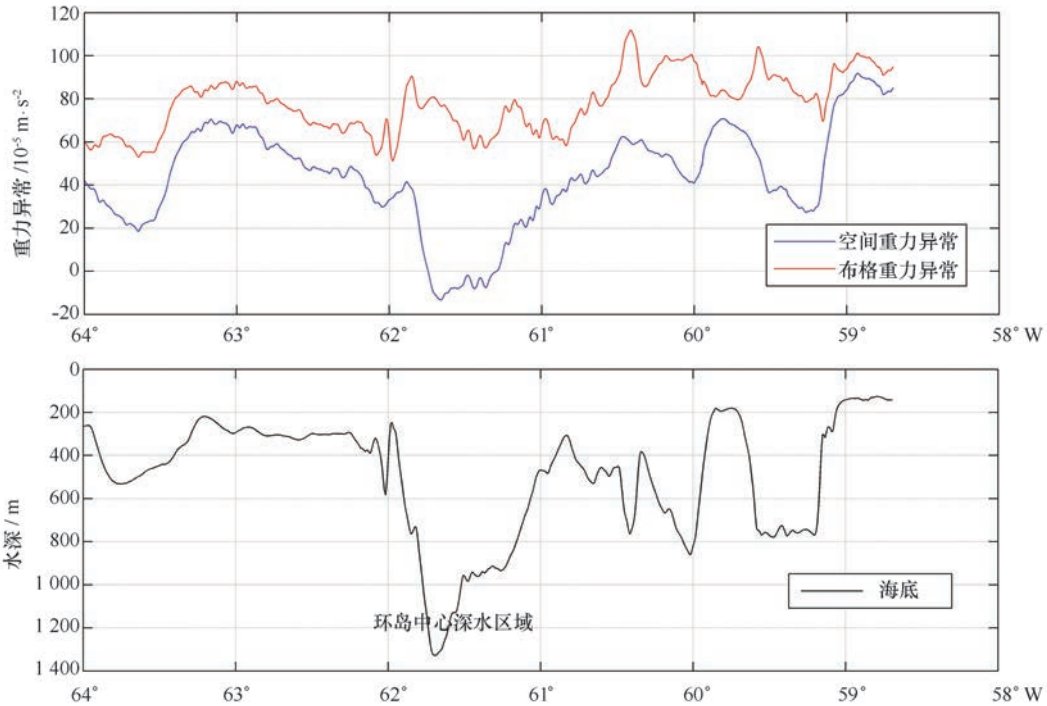

图 6　西部次海盆 Y2 重力剖面

Fig.6　Gravity profile Y2 in the western Bransfield Basin

群岛区域沿海底断裂带分布有海山、隆起及海脊包括 Ex Seamount，Three Sisters Uplift，Orca Seamount，Hook Ridge 等。

重力剖面 Y3 起于欺骗岛东侧，止于布里奇曼岛，跨越多处海山(图 7)。水深起伏变化明显，空间重力异常值也间接反应海底地形变化，幅值范围为 $10\times10^{-5}\sim60\times10^{-5}$ m/s^2。剖面线所在区域海底水深变化较大，布格重力异常与空间重力异常差异明显，需要综合更多资料研究海底构造活动。该区空间重力异常值均为正异常，在几处海山和水深较浅处为高值区，最大为 80×10^{-5} m/s^2，异常值范围为 $10\times10^{-5}\sim80\times10^{-5}$ m/s^2。在各个正异常高值区之间形成低值圈闭，与剖面 Y3 揭示的空间重力异常值对应。

中央次海盆布格重力异常分布由于北部水深较大，整体与空间重力异常明显不同，其中 150×10^{-5} m/s^2 等值线圈闭出的北部高值区正好也是中央次海盆水深最大的区域，异常场值整体也以该高值为中心向四周减小。南部水深较浅且平缓，布格重力异常分布特征不明显，且区域重力场值变化不大，东部大片区域都在 60×10^{-5} m/s^2 左右。全区的异常有北高南低的变化趋势，总体走向为 NE 向。

3.3　东部次海盆

东部次海盆位于布里奇曼岛以东，北部与吉布斯岛、象岛和克拉伦斯岛交接，向东一直延伸到 52°W。该区空间重力异常主要以大范围降低异常为主，在北部和东部两个深水位区域(最深达 3 000 m)异常值最低，最小值为 -40×10^{-5} m/s^2。在东部过渡带附近存在一个明显的重力梯度带，两侧空间重力异常差值在 20×10^{-5} m/s^2 以上。

重力剖面 Y4 上空间重力异常值从 50×10^{-5} m/s^2 减小为 -100×10^{-5} m/s^2(图 8)。空间重力异常整体与海底水深变化趋于一致，部分区域异常值起伏变化较水深更加明显，如南设得兰海沟、东部深海底，空间重力异常值随水深变大陡然减小。东部次海盆空间重力异常幅值为 $-40\times10^{-5}\sim100\times10^{-5}$ m/s^2，在内部形成多个低值和高值圈闭与海底高低起伏相对应。该区布格重力异常幅值为 $60\times10^{-5}\sim140\times10^{-5}$ m/s^2，大部分区域以 100×10^{-5} m/s^2 的布格重力异常为主要分隔线，整体呈现北高南低的趋势，在浅海区与空间重力异常分布趋于一致，二者在深海区分布则明显不同。在吉布斯岛以南，被中央次海盆和东部次海盆所包围的区域形成两个布格重力异常高值区，能较为清晰地勾画出海盆轮廓。

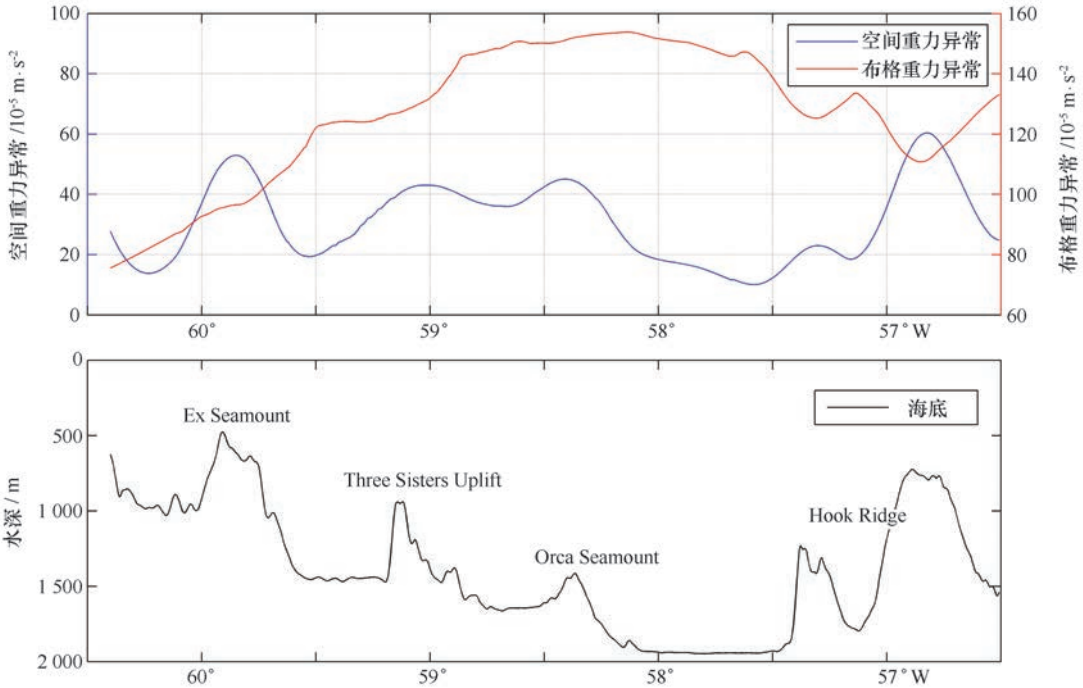

图 7 中央次海盆 Y3 重力剖面

Fig.7 Gravity profile Y3 in the central Bransfield Basin

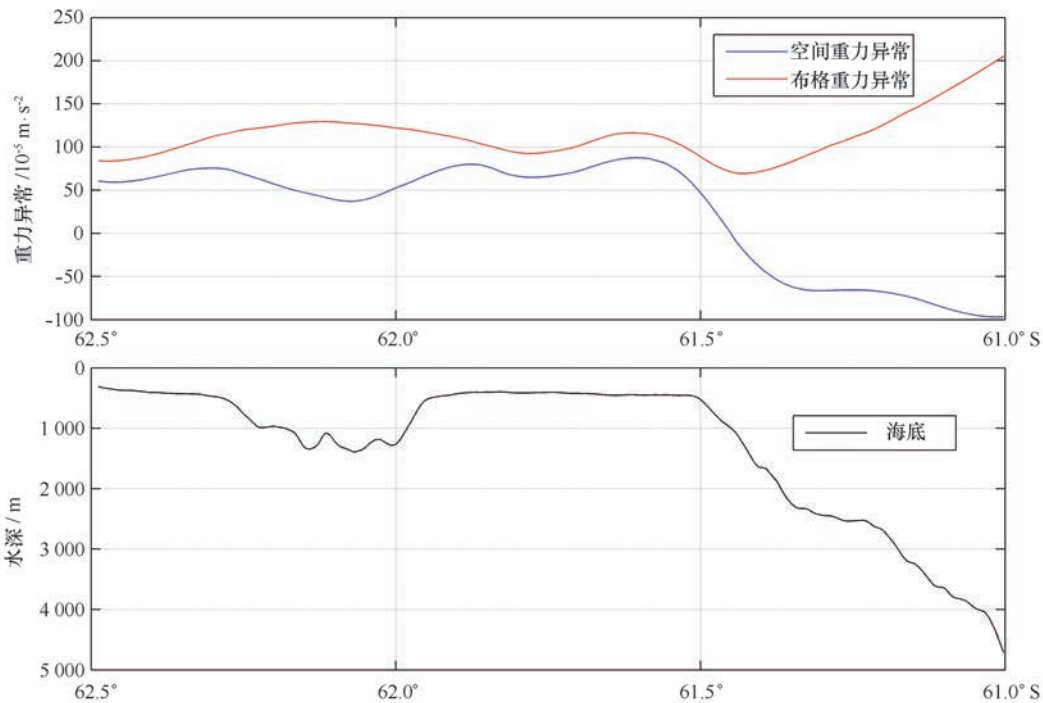

图 8 东部次海盆 Y4 重力剖面

Fig.8 Gravity profile Y4 in the eastern Bransfield Basin

4　异常场分析

布兰斯菲尔德海峡的海底是一个近 NE 走向,从断裂到扩张的弧后硅铝层上的裂陷扩张盆地[36-38],它将南设得兰群岛从南极半岛的北端分离出来。布兰斯菲尔德海峡莫霍面界面深度范围为 12～24 km(图 9),与 Barker 等[11] 2003 年利用海底地震仪获得的莫霍面深度 12～21 km 接近。中央次海盆莫霍面最浅,约 12 km,向南设得兰群岛和南极半岛两个方向递增至陆坡位置的 24 km,与布兰斯菲尔德海峡南北分带,东西分块的构造格局相对应。

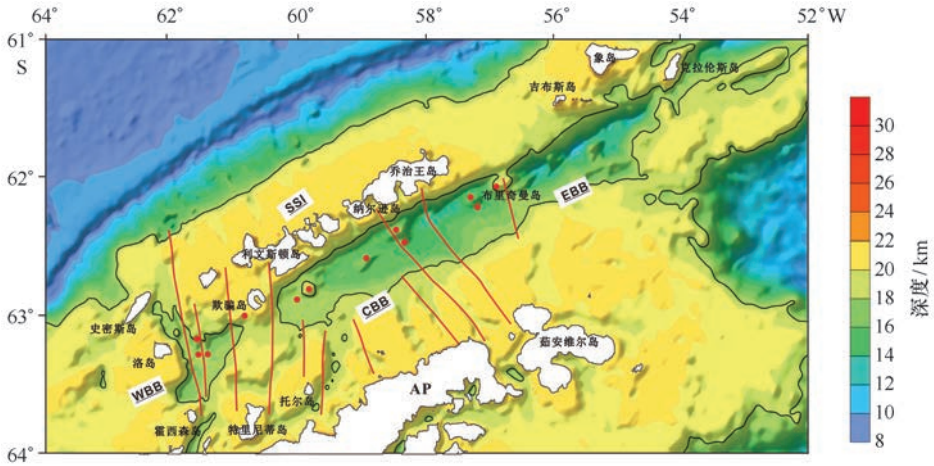

图 9　莫霍面界面深度图

Fig.9　Depth of Moho

研究区均衡重力异常值范围为-20×10^{-5}～205×10^{-5} m/s^2(图 10),在西部次海盆、中央次海盆的海底火山,以及东部次海盆 Hook 海脊区域形成均衡重力异常场高值圈闭,最高异常值为 70×10^{-5} m/s^2,火山构造活动使地幔物质上涌,均衡力还不足以使莫霍面达到补偿深度。布格重力异常与均衡重力异常相减,获得均衡残余异常(图 11)。布兰斯菲尔德海峡中央次海盆均衡残余异常高值均出现在海底火山和水深相对较深的位置,大致以 60×10^{-5} m/s^2 为主要分界线,均衡残余异常低值则表现为块状圈闭。

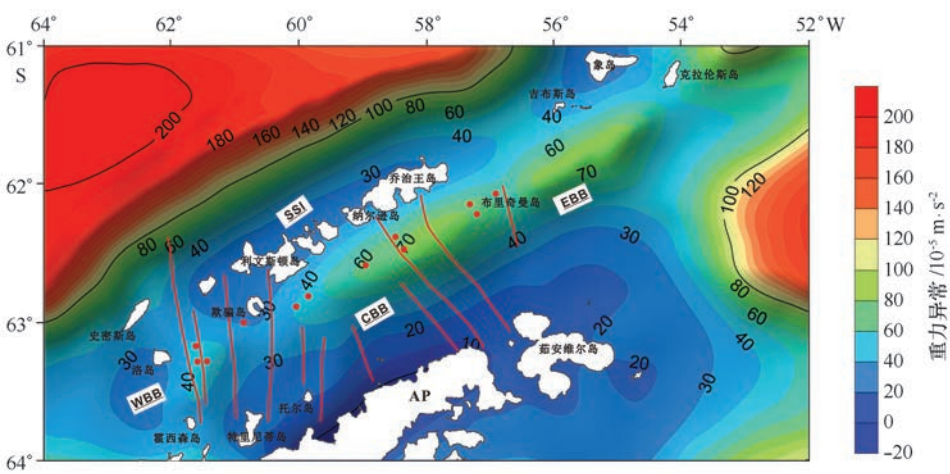

图 10　均衡重力异常

Fig.10　Sketch map of isostatic gravity anomaly

布兰斯菲尔德海峡中央次海盆经历了 NE－SW 向的断裂延伸,导致沿扩张脊水深加深、火山活动和

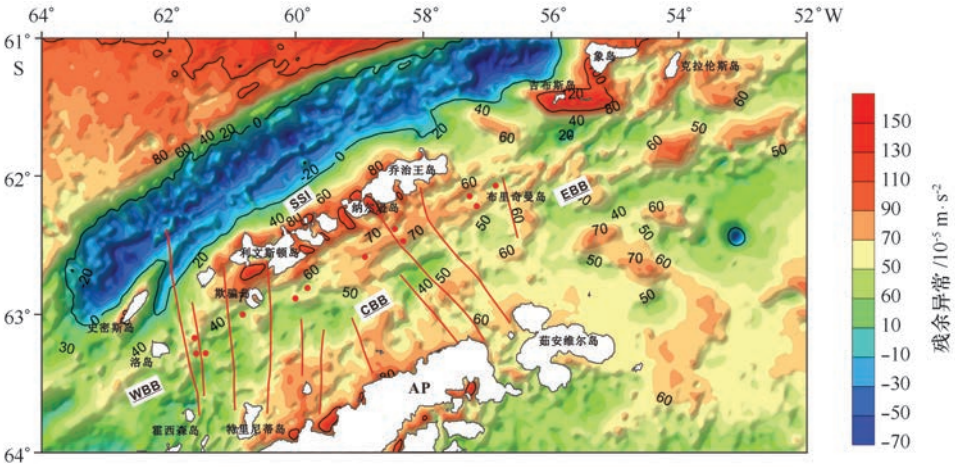

图 11 均衡残余异常

Fig.11 Isostatic residual gravity anomaly

地壳减薄[34,38-39]。结合区域重力场特征分析，布兰斯菲尔德海峡新生代以来经历了漫长复杂的演化过程，其演化受区域板块运动、深部地幔流动、地壳拉伸及结构变化等因素控制，最终形成如今之构造格局。

5 结论

(1)布兰斯菲尔德海峡内空间重力异常走向总体与地形相似，由两侧向海峡中央以降低异常为主，范围为$-40\times10^{-5}\sim100\times10^{-5}$ m/s^2。大部分区域空间重力异常值都大于20×10^{-5} m/s^2，在海峡内西部洛岛、霍西森岛和特里尼蒂岛范围内存在一个重力异常低值圈闭，最低值小于-10×10^{-5} m/s^2，东部水深1 000 m以深的区域空间重力异常值在$-40\times10^{-5}\sim0$ m/s^{2}之间，为低值区域。空间重力异常场被欺骗岛和布里奇曼岛分为3个区域，同时被NWN走向的构造线及海底火山隔开，在中央次海盆形成多个异常低值圈闭。

(2)海峡内的布格重力异常由两侧向中间升高，在中央次海盆和东部次海盆海山处形成两个异常高值圈闭，异常值最高为150×10^{-5} m/s^2，并大致在坡折处形成异常场值为100×10^{-5} m/s^{2}的分界线，在陆坡区多呈圈闭异常。

(3)布兰斯菲尔德海峡中央次海盆莫霍面最浅，约12 km，向南设得兰群岛和南极半岛两个方向递增至陆坡位置的24 km，与布兰斯菲尔德海峡南北分带，东西分块的构造格局相对应。

(4)均衡重力异常在西部次海盆和中央次海盆的海底火山区域，以及东部次海盆Hook海脊形成异常场高值圈闭，最高异常值为70×10^{-5} m/s^2，推测为火山构造活动使地幔物质上涌，使莫霍面还未达到补偿深度。中央次海盆均衡残余异常高值出现在海底火山位置。

(5)布兰斯菲尔德海峡中央次海盆经历了NE—SW向的断裂延伸，导致沿扩张脊水深加深、火山活动和地壳减薄，其演化受区域板块运动、深部地幔流动、地壳拉伸及结构变化等因素控制，最终形成如今之构造格局。

致谢：感谢国家海洋局第一海洋研究所阚光明副研究员、韩国忠教授级高级工程师、梁瑞才研究员、李官保副研究员和李西双副研究员在数据现场采集和论文写作过程中提供的指导和帮助。感谢两位审稿专家提出的宝贵修改意见。

参考文献：

[1] 吕文正，吴水根. 布兰斯菲尔德海槽——新生代裂谷[J]. 极地研究，1989(4)：28－35.
Lu Wenzheng, Wu Shuigen. The Bransfield Trough—A Cenozoic Rift[J]. Antarctic Research, 1989(4): 28－35.

[2] 陈圣源，刘方兰，梁东红. 南极布兰斯菲尔德海域地球物理场与地质构造[J]. 海洋地质与第四纪地质，1997，17(1)：77－86.
Chen Shengyuan, Liu Fanglan, Liang Donghong. Geophysical field and geologic structure of the Bransfield sea area in the Antractic circle[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1997, 17(1): 77－86.

[3] 姚伯初，王光宇，陈邦彦，等. 南极布兰斯菲尔德海峡的地球物理场特征与构造发育史[J]. 南极研究，1995，7(1)：25－34.
Yao Bochu，Wang Guangyu，Chen Bangyan，et al. The characteristics of geophysical field and tectonical evolution evolution in the Bransfield Strait [J]. Antarctic Research，1995，7(1)：25－34.

[4] Dziak R P，Park M，Lee W S，et al. Tectonomagmatic activity and ice dynamics in the Bransfield Strait back-arc basin，Antarctica[J]. Journal of Geophysical Research：Solid Earth (1978－2012)，2010，115(B1)：B01102.

[5] Galindo-Zaldívar J，Gamboa L，Maldonado A，et al. Tectonic development of the Bransfield Basin and its prolongation to the South Scotia Ridge，northern Antarctic Peninsula[J]. Marine Geology，2004，206(1)：267－282.

[6] Griffiths D H，Riddihough R P，Cameron H A D，et al. Geophysical investigation of the Scotia arc[R]. London：British Antarctic Survey，1964：43.

[7] Davey F J. Marine gravity measurements in Bransfield Strait and adjacent areas[C]//Antarctic Geology and Geophysics－Symposium on Antarctic Geology and Solid Earth Geophysics Antarctic Geology and Geophysics. Oslo：Universitetsforlaget，1972：39－45.

[8] Elliot D H. Tectonic setting and evolution of the James Ross Basin，northern Antarctic Peninsula[J]. Geological Society of America Memoirs，1988，169：541－556.

[9] Gràcia E，Canals M，Farràn M L，et al. Central and eastern Bransfield basins (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data[J]. Antarctic Science，1997，9(2)：168－180.

[10] Gràcia E，Canals M，Farràn M L，et al. Morphostructure and evolution of the central and Eastern Bransfield Basins (NW Antarctic Peninsula) [J]. Marine Geophysical Researches，1996，18(2/4)：429－448.

[11] Barker D H N，Christeson G L，Austin J A，et al. Backarc basin evolution and cordilleran orogenesis：insights from new ocean-bottom seismograph refraction profiling in Bransfield Strait，Antarctica[J]. Geology，2003，31(2)：107－110.

[12] Schreider A A，Schreider A A，Evsenko E I. The stages of the development of the basin of the Bransfield Strait[J]. Oceanology，2014，54(3)：365－373.

[13] Schreider A A，Schreider A A，Galindo-Zaldivar J，et al. Structure of the Bransfield strait crust[J]. Oceanology，2015，55(1)：112－123.

[14] National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA-NESDIS-NCEI(formerly GDC)-Maps-Trackline Gephysical Data [EB/OL].[2016－12－01]. http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/geophysics/.

[15] 马龙，郑彦鹏，裴彦良，等. 南极布兰斯菲尔德海峡船测重力资料平差处理[J]. 海洋科学进展，2015，33(3)：403－413.
Ma Long，Zheng Yanpeng，Pei Yanliang，et al. The adjustment of shipborne gravimetric data for the Bransfield Strait[J]. Advances in Marine Science，2015，33(3)：403－413.

[16] 黄漠涛，翟国君，欧阳永忠，等. 海洋重力测量误差补偿两步处理法[J]. 武汉大学学报：信息科学版，2002，27(3)：251－255.
Huang Motao，Zhai Guojun，Ouyang Yongzhong，et al. Two step processing for compensating the systematic errors in marine gravity measurements[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University，2002，27(3)：251－255.

[17] 刘晨光，刘保华，郑彦鹏，等.海洋重磁资料的最小二乘平差处理方法[J]. 海洋科学进展，2005，23(4)：513－517.
Liu Chengguang，Liu Baohua，Zheng Yanpeng，et al. Least square adjustment method for processing marine gravity and geomagnetic data[J]. Advances in Marine Science，2005，23(4)：513－517.

[18] 高金耀，张涛，谭勇华，等. 不规则重磁测线网误差模型的约束最小二乘平差[J]. 海洋测绘，2006，26(4)：6－10.
Gao Jinyao，Zhang Tao，Tan Yonghua，et al. Constraint least-square adjustment for marine gravity and magnetic track-line data in irregular survey network with arbitrary error model[J]. Hydrographic Surveying and Charting，2006，26(4)：6－10.

[19] Watts A B，Talwani M. Gravity anomalies seaward of deep-sea trenches and their tectonic implications[J]. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society，2010，36(1)：57－90.

[20] Watts A B，Bodine J H，Steckler M S. Observations of flexure and the state of stress in the oceanic lithosphere[J]. Journal of Geophysical Research：Solid Earth，1980，85(B11)：6369－6376.

[21] Watts A B. An analysis of isostasy in the world's oceans 1. Hawaiian-Emperor Seamount Chain[J]. Journal of Geophysical Research：Solid Earth，1978，83(B12)：5989－6004.

[22] Parsons B，Molnar P. The origin of outer topographic rises associated with trenches[J]. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society，2010，1(4)：707－712.

[23] Caldwell J G，Turcotte D L. Dependence of the thickness of the elastic oceanic lithosphere on age[J]. Journal of Geophysical Research：Solid Earth，1979，84(B13)：7572－7576.

[24] Forsyth D W. Subsurface loading and estimates of the flexural rigidity of continental lithosphere[J]. Journal of Geophysical Research：Solid Earth，1985，90(B14)：12623－12632.

[25] Gunn R. A quantitative study of the lithosphere and gravity anomalies along the Atlantic coast[J]. Journal of the Franklin Institute，1944，237(2)：139－154.

[26] Keen C E. Thermal history and subsidence of rifted continental margins—evidence from wells on the Nova Scotian and Labrador shelves[J]. Canadian Journal of Earth Sciences，1979，16(3)：505－522.

[27] Watts A B，Steckler M S. Subsidence and tectonics of Atlantic type continental margins[J]. Oceanologica Acta，1981(S)：143－153.

[28] Ashcroft W A. Crustal Structure of the South Shetland Islands and Bransfield Strait[M]. London：British Antarctic Survey，1972，No.66.

[29] Kaban M K，Schwintzer P，Reigber C. A new isostatic model of the lithosphere and gravity field[J]. Journal of Geodesy，2004，78(6)：368－385.

[30] Simpson R W, Jachens R C, Blakely R J. Airyroot: a Fortran program for calculating the gravitational attraction of an Airy isostatic root out to 166.7 km[R]. U.S.G.S. Open-File Report 83-883,1983:66.

[31] Simpson R W, Jachens R C, Blakely R J, et al. A new isostatic residual gravity map of the conterminous United States with a discussion on the significance of isostatic residual anomalies[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012), 1986, 91(B8):8348-8372.

[32] 曾华霖.重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社,2005.
Zeng Hualin. Gravity Field and Gravity Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.

[33] Grad M, Guterch A, Sroda P. Upper crustal structure of Deception Island area, Bransfield Strait, West Antarctica[J]. Antarctic Science, 1992, 4(4): 469-476.

[34] Lawver L A, Sloan B J, Barker D H N, et al. Distributed, active extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: evidence from multibeam bathymetry[J]. GSA Today, 1996, 6(11): 1-6.

[35] Barker D H N, Austin J A. Rift propagation, detachment faulting, and associated magmatism in Bransfield Strait, Antarctic Peninsula[J]. Journal of Geophysical Research:Solid Earth (1978-2012), 1998, 103(B10): 24017-24043.

[36] Keller R A, Fisk M R, Smellie J L, et al. Geochemistry of back arc basin volcanism in Bransfield Strait, Antarctica: Subducted contributions and along-axis variations[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012), 2002, 107(B8): ECV 4-1-ECV 4-17.

[37] Grad M, Shiobara H, Janik T, et al. Crustal model of the Bransfield Rift, West Antarctica, from detailed OBS refraction experiments[J]. Geophysical Journal International, 1997, 130(2): 506-518.

[38] Christeson G L, Barker D H N, Austin J A, et al. Deep crustal structure of Bransfield Strait: Initiation of a back arc basin by rift reactivation and propagation[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012), 2003, 108(B10):2492.

[39] Barker D H N, Austin J A. Rift propagation, detachment faulting, and associated magmatism in Bransfield Strait, Antarctic Peninsula[J]. Journal of Geophysical Research:Solid Earth (1978-2012), 1998, 103(B10): 24017-24043.

Regional characteristics and anomaly analysis of gravity field for the Bransfield Strait, Antarctic

Ma Long[1,2], Zheng Yanpeng[1,2], Liu Chenguang[1,2], Zhao Qiang[1,2], Pei Yanliang[1,2], Hua Qingfeng[1,2], Li Xianfeng[1,2], Xia Chenglong[3]

(1.*Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao* 266061, *China*; 2.*Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao* 266061, *China*; 3.*College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao* 266100, *China*)

Abstract: Bransfield Strait and its surrounding areas are the most active neotectonics region of volcanoes and earthquakes, which constitute the only existing "trench-arc-basin" system together with the South Shetland Trench and South Shetland Islands. Based on the observed data from the 28th, 30th Antarctic expeditions and the international public data, this study takes use of the isostatic correction method to invert the Moho depth and its distribution characteristics. The gravity field anormaly of the deep tectonic was analyzed. The free-air gravity anomaly shows a strip-like distribution, orienting closely to the terrain. The Bouguer gravity anomaly in the strait rises up from both of the two sides to the middle. Two high-value-anomaly traps appear in the central trough and the seamounts in the eastern trough respectively, with the highest value up to 150×10^{-5} m/s^2. The minimum value of Moho depth (12 km) appears in the back-arc spreading area. The depth gradually increases from the back-arc spreading area to the both sides (e.g., Bransfield Strait and Antarctic Peninsula), and reaches 24 km at the slope area.

Key words: regional gravity field; isostatic correction; anomaly analysis; Antarctic; Bransfield Strait