

# 两种不同类型大陆边缘的初步研究\*

王述功 刘忠臣 吴金龙

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

**提要** 1986年10月—1987年5月, 中国第三次南极考察暨首次环球科学考察的实测重力资料表明, 太平洋型活动陆缘重力异常面貌复杂, 空间异常变化剧烈, 处于极度不均衡状态。用  $\sin x/x$  法反演了莫氏面深度, 利用水层和地壳引起的垂直引力之和与实测的空间异常之差反演了软流层顶界的深度。结果显示, 在海沟及其洋侧冷的软流层发生了大规模的沉降, 而弧后热的软流层则强烈抬升。在弧沟间隙两侧, 软流层这种大规模的差异运动是造成太平洋型活动陆缘强烈构造活动及不均衡状态的主要原因。而大西洋型被动陆缘, 以单调的正、负不对称重力异常为主, “地壳的边界效应”在这里表现的较为明显; 它缺少大规模的软流层升降运动和其它强烈的构造活动, 且已达到均衡状态。

**关键词** 大陆边缘 重力异常 构造活动 应力状态 大洋构造

在漫长的地质历史中, 在地球内外营力的作用下, 大陆边缘不断地进行着塑造和改造过程, 基于其构造特点, 大致可划分为两大类, 一类是太平洋型活动陆缘, 另一类是大西洋型被动陆缘。前者过渡带的现代火山作用和地震活动相当普遍, 相应的重力异常则是变化强烈、组合关系复杂, 反映出这个地区具有复杂的构造形态和强烈的构造活动及应力状态。后者结构比较简单, 只有被海水淹没的大陆架、大陆坡和大陆裙, 现代火山作用和地震活动只具有次要的和局部意义, 相应的重力异常则是以单调的正、负不对称为其主要特征, 反映出该地区的构造活动相对稳定。为区分两种大陆边缘的类型, 本文根据实测资料大陆边缘的重力异常、对深部构造、均衡状态进行初步研究。

## 1 资料来源及研究方法

1986年10月—1987年5月, 中国进行了第三次南极考察和首次环球科学考察(图1), 其中, 首次环球重力剖面测量的任务由国家海洋局第一海洋研究所承担。在整个环球考察中, 共获取 52 780 km 的重力剖面数据, 填补了我国在大西洋和印度洋重力资料的空白。本文即根据这次实测的重力资料, 对两种不同类型的大陆边缘进行了初步的研究和探讨。根据收集的有关海区的一些地震折射柱, 利用各柱的层速度, 换算出层密度及地壳与地幔之间的密度差(王永吉等, 1986); 利用实测的重力异常, 使用  $\sin x/x$  法反演莫氏面的深度; 根据有关的地震资料, 利用水层和地壳引起的垂直引力之和与实测的空间异常之差, 反演软流层顶界的深度。研究结果如下。

\* 中国第三次南极考察暨首次环球科学考察项目, 102101号。王述功, 男, 出生于1948年10月, 副研究员。

收稿日期: 1995年9月11日, 接受日期: 1996年7月31日。

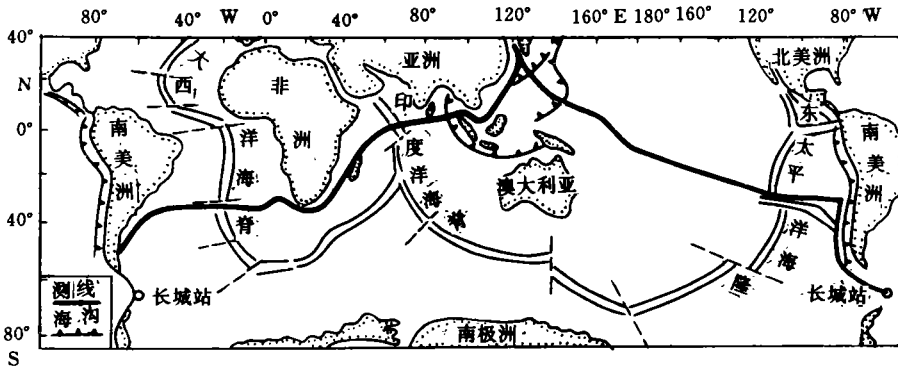


图1 全球重力调查测线位置图

Fig.1 The position map of gravity measurement line round the world

## 2 研究成果

### 2.1 太平洋型活动陆缘

环太平洋活动陆缘可划分为两种,一种是以沟—弧—盆系为代表的西太平洋型活动陆缘,另一种是以安第斯型为代表的东太平洋活动陆缘。本次的重力调查穿切了这两种陆缘,其基本构造格局及重力测量剖面位置见图1。

**2.1.1 西太平洋陆缘** 本次穿越的主要构造有:黄、东海陆架,冲绳海槽—琉球岛弧—海沟系,西菲律宾海盆,九州—帛琉海脊,帕里西维拉海盆,马里亚纳沟—弧—盆系等。图2a大致描绘了不同构造带上重力异常的差异:黄、东海陆架以低缓重力异常为主,构造活动相对稳定,为稳定的大陆型重力异常组合;西菲律宾海盆、帕里西维拉海盆和马里亚纳海槽,其地壳年龄自西向东由老变新(刘肇昌,1983),海底平均水深由深变浅,空间异常由小变大,基本上呈三级台阶变化,规律极为明显。如果把西菲律宾海盆视为处于均衡状态下的正常洋盆,那么,帕里西维拉海盆和马里亚纳海槽之上的正的空间异常则反映了这两个弧间盆地处于较强的正的不均衡状态,而且时代愈新愈不均衡;琉球海沟和马里亚纳海沟,水深超过7000m,空间异常约 $-100 \sim -250 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ,处于强的负的不均衡状态。上述不同构造带上的空间异常的大小,是其在非均衡力的作用下,构造活动强烈程度和方式的直接反映。因此,可以推测,西太平洋陆缘的弧后(间)盆地和海沟是在不同性质的外力作用下的产物。

利用本次实测的重力剖面资料及有关的折射地震资料(王永吉等,1986),估算了从东海陆架到马里亚纳海沟外测的壳幔结构(图2b)。根据初步估算结果,大致可得出:从西菲律宾海盆到帕里西维拉海盆至马里亚纳海槽,软流层顶界呈阶梯状上抬;琉球海沟和马里亚纳海沟及其洋侧,软流层发生了大规模下沉;弧沟间隙基本上可以看作是不同厚度、不同年龄岩石圈的接触地带,其两侧的软流层在陆缘区这种大规模的差异运动,可能是造成这里强烈构造活动的主要原因。

**2.1.2 东太平洋陆缘** 本次重力测量约沿着南纬 $33^\circ$ 线由智利海盆一直到南美西海岸的瓦尔帕莱索附近,横穿了安第斯陆缘的大部分,全长约500km(图1)。安第斯陆缘主要由外缘隆起、海沟、陆坡、陆架和山弧(安第斯山)等构造单元所组成。本次的实测剖

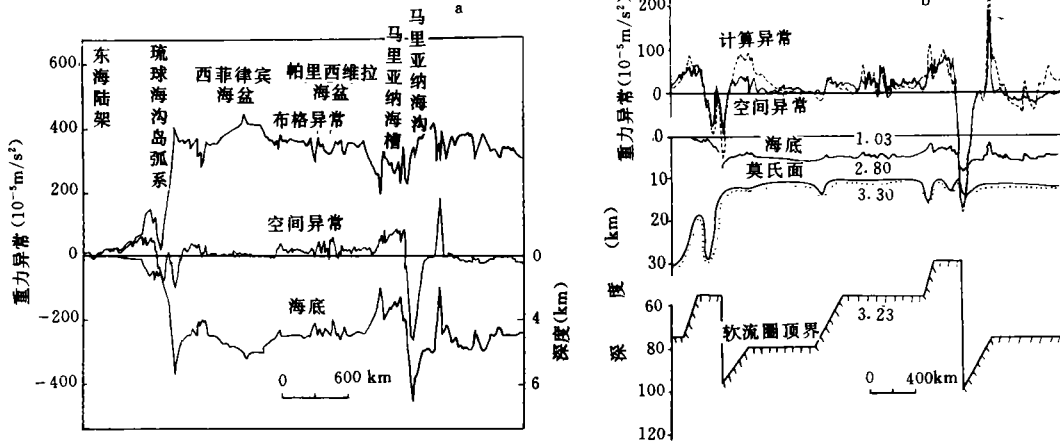


图2 西太平洋陆缘重力异常剖面图(a)和壳-幔结构图(b)

Fig.2 Gravity anomaly profile (a) and crust-mantle structure (b) maps of the Western Pacific continental margin

面绘于图3中。

智利海沟的水深超过 5 500m, 呈一略不对称的“V”型谷, 其上的空间异常可达  $-150 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。在大陆坡上出现了另一强的负异常峰 ( $-140 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ), 反映了该区可能存有一被低密度物质充填的前弧盆地。位于上述两个低峰之间(海沟坡折内侧), 异常相对抬升约  $50 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ , 可能代表着该区构造高发育较好。智利西海岸外的陆架很窄, 一般只有 10—20km 宽。布格异常从陆架低值区向海沟及其洋侧急剧增大到  $300 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$  以上, 与西太平洋陆缘相似。安第斯山弧具有强的正空间异常和大的负

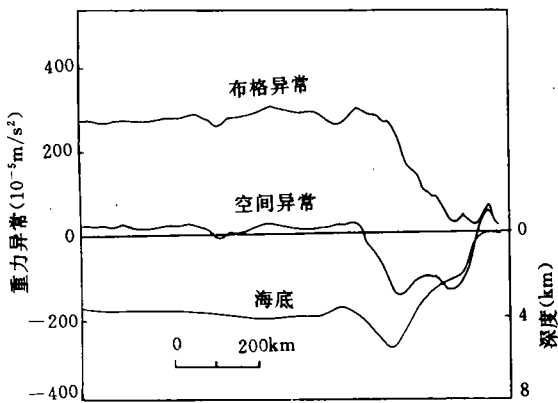


图3 智利岸外安第斯型陆缘重力剖面  
Fig.3 Gravity profile in the Andes-type continental margin off Chile coast

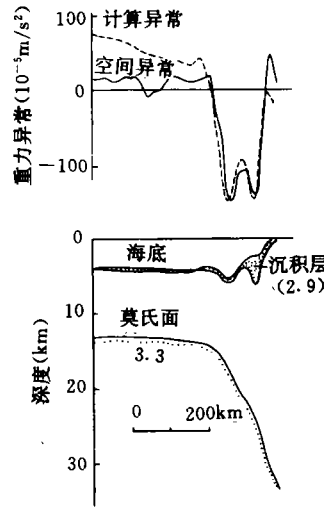


图4 安第斯陆缘地壳结构图  
Fig.4 Crust structure map of Andes continental margin

布格异常。据地震资料确定(米纳德, 1962; Seibold et al., 1982), 智利海沟西侧的智利海盆地壳厚度约 8 km, 海沟处约 10 km, 并向陆急剧增厚, 在陆架区超过 25 km, 及至安第斯山弧区可达 60—70 km。由此可知, 安第斯陆缘是薄的大洋地壳与巨厚的大陆地壳的接合部。海沟处于强的、负的不均衡状态, 而陆侧的山弧区处于强的、正的不均衡状态。

根据重力异常和地震等资料, 对该区的各主要构造层引起的引力值进行了初步的估算(图 4)。计算的空间异常与实测的空间异常形态基本相似, 但仍有一定的差别。在智利海盆, 计算的异常偏大约为  $50 - 60 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ , 而且从智利海盆向智利海沟方向偏差逐渐变小。理论与实测异常的这种差异, 可能与该区岩石圈厚度较小有关。简单估算可得, 在智利海盆, 软流圈顶界深约为 50—50 km, 到智利海沟及其洋侧加深到约为 60km。这个结果, 与该区距东太平洋海隆较近, 洋壳年龄较小是一致的。由于资料有限, 对安第斯山弧区了解甚少, 故不能对整个安第斯陆缘的壳幔结构进行较完整的研究。但从已有的资料(Seibold et al., 1982)可知, 安第斯山弧区存有高温的异常地幔膨胀上升, 并穿透地壳, 于是造成了安第斯山弧区强烈的火山活动和断块抬升作用。

### 2.2 大西洋型被动陆缘

南大西洋东西两侧, 即南美东海岸外和西南非洲岸外, 是世界上最宽广的陆架之一。它们在构造上长期处于稳定下沉状态, 是典型的被动型大陆边缘。下面仅以阿根廷东海岸沿南纬约  $35^\circ$  线向东测量的测线为例(图 1), 对大西洋型被动陆缘作一探讨。

重力异常剖面如图 5 所示, 在大陆和大洋地壳交界处的向洋一侧(陆隆), 空间异常为负值, 其值在  $-20 - -40 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ; 向陆异常逐渐上升, 在陆架的坡折带上为一正异常, 其峰值可达  $50 - 80 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。总的形态为正、负不对称, 而正异常的幅度大, 波长短; 负异常的幅度小, 波长长。布格异常从陆架低值区(一般不超过  $\pm 30 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ) 向洋急剧升高到  $300 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$  以上。

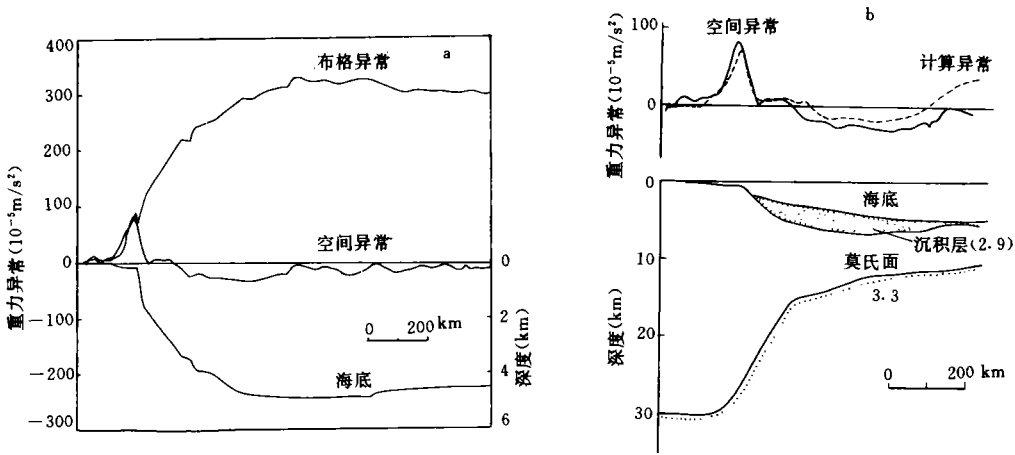


图 5 南美东海岸外被动陆缘重力剖面图(a)和地壳结构图(b)

Fig.5 The gravity profile (a) and crustal section (b) maps on passive continental margin off the eastern coast of South America

南美东海岸的被动陆缘, 其大陆地壳和大洋地壳直接接触, 因此产生一种所谓的地壳边界效应, 通常在陆架出现正的重力高, 向海一侧出现重力低(图 5a)。当两种地壳边界形状发生变化时, 正负异常的幅度和峰值之间的距离也发生变化。与太平洋陆缘相比, 这里的构造活动比较单一, 以张性下沉为主, 地壳边界效应表现的较为突出。因此, 可以认为, 这种地壳边界效应是产生大西洋型被动陆缘正负不对称重力异常的重要原因。

图 5b 是利用上述已有资料和本次实测的重力异常及估算的地壳深度而编绘的南美东海岸外被动陆缘地壳剖面图。可见, 洋壳下弯使陆缘向洋一侧负异常增大; 厚的沉积层充填使陆侧的正异常幅度变小, 洋侧负异常增强; 岩石圈增厚(低速软流圈下沉)又使陆缘异常背景上抬。由此可见, 被动陆缘正、负不对称的空间异常是上述多个界面形状的综合反映。但由于缺少足够的地震资料, 上述分析只能是初步的、定性的, 尤其对岩石圈厚度的变化, 很难给出详细的描述。

### 3 讨论与结语

#### 3.1 大陆边缘的重力异常

大陆边缘位于大陆地壳和大洋地壳的过渡带上, 无论何种类型的大陆边缘, 其布格异常从陆向海都有着强烈的变化, 变化的幅度可达  $300 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$  以上。计算表明, 陆架区的布格异常变化, 可一级近似地代表着大陆和大洋之间莫氏面的起伏。而“地壳边界效应”, 则是厚的大陆地壳和薄的大洋地壳接触带上地壳性状突变的直接反映。通常, 在陆侧为正异常, 在洋侧为负异常, 随着水深、沉积层厚度和莫氏面起伏形状等的变化, 异常的幅度和正、负异常之间的距离亦发生改变。在构造简单的大西洋型陆缘, 这种效应表现的较为明显, 它可一级近似地视为空间异常。

#### 3.2 活动陆缘和被动陆缘的差异

位于西太平洋的琉球海沟—岛弧系和马里亚纳海沟—岛弧系, 皆有着复杂的重力异常面貌, 这里构造活动强烈, 处于极不均衡状态。通常, 海沟处为强的负的不均衡状态, 而弧后区则为正的不均衡状态, 暗示着西太平洋陆缘区正遭受着复杂的应力作用。初步的估算表明, 在海沟及其洋侧, 冷的软流层发生了大幅度的下沉, 而弧后, 热的软流层则强烈抬升, 于是造成了现今西太平洋陆缘的复杂构造格局。

位于南美东海岸外的大西洋型被动陆缘, 为单调的正、负不对称异常, 与西太平洋活动型陆缘相比, 重力异常的面貌要简单的多。自白垩纪以来, 随着地壳的不断增生, 陆缘早已离开了构造活动激烈的洋中脊。陆缘区, 以张性的缓慢下沉为主, 构造活动已趋稳定, 深部的软流层似乎为一单调的向陆下倾的斜坡。因此, 所谓的“边界效应”在这里表现的较为明显, 而且是产生大西洋型陆缘正、负不对称空间异常的主要原因。与太平洋陆缘相比, 这里缺乏海沟处的“俯冲”和弧后区的地幔上抬, 这就和大西洋陆缘缺少地震、火山作用及高热流是一致的。大洋地壳冷却下沉, 牵动了陆壳前缘, 加上上覆沉积物的载荷作用, 促使陆缘进一步下沉, 因此, 大西洋型陆缘基本上是属于均衡状态。

#### 3.3 东、西太平洋陆缘的差异

分布于西太平洋陆缘的海沟要比东太平洋陆缘的海沟深得多。促使海沟形成和发育的原因很多, 根据本次重力测量, 马里亚纳和智利海沟及其洋侧的地球物理差异见表 1。

从表中可以看出,海沟及其洋侧,洋壳年龄(米纳德,1962)越老,软流圈顶界深度越大,海沟越深,空间异常负值越大。

表 1 马里亚纳和智利海沟及其洋侧地球物理特征差异

Tab.1 The difference of geophysical features on Mariana and Chile trenches and their ocean-sides

海 区	水深 (m)	空间异常 ( $10^{-5} \text{ m/s}^2$ )	地壳年龄 (m · a)	软流圈顶界深度 (km)
马里亚纳海沟	9 000	-250	>160	100
智利海沟	5 500	-150	<63	60

软流层顶界深度大,包括两个含义,首先表示岩石圈厚度大,因此,其自身的重量大,这是形成海沟负地形的部分原因。因为,“自重”仍属均衡力的范畴,它只能向均衡方向来调整。重力资料表明,海沟处于强大的负均衡状态,其质量亏损达  $1 - 1.5 \text{ t/cm}^2$ ,显然,它正遭受着一个向下外力的作用,这个力可能来自深部软流层的下沉作用。高温的软流层,其内部温度是不均一的,这必然导致其内部对流。在估算的马里亚纳海沟洋侧的壳幔结构图(图3)中,实际上代表了变冷的软流层在这里发生了大幅度下沉,其落差要比正常洋盆大几十公里。正是这个力的作用,牵动了整个岩石圈下沉,一旦这个力消失,在上浮的均衡力的作用下(因为本身质量是亏损的),海沟就要变浅,负均衡异常亦会消失。根据这个推测,智利海沟与马里亚纳海沟相比,由于距离太平洋海隆近,地壳年龄小,岩石圈厚度小,软流层温度高,下沉力测小,因此,智利海沟及其外侧的智利海盆水深都小,海沟处的负异常也小。

东、西太平洋陆缘另一个重要差异是安第斯型陆缘海沟陆侧通常伴有一个巨大的山弧系,而西太平洋陆缘的岛弧之后,则有一弧后盆地相伴生。它们虽然都具有正的均衡异常、高热流、强火山、多地震,但产生这种差异的原因可能与距洋中脊距离、岩石圈厚度、软流层的温度以及由此而造成的俯冲带的倾角大小等多种因素有关。由于资料有限,故在此不能进行更深入的讨论。

### 参 考 文 献

- 王永吉等, 1986, 中太平洋北部锰结核调查综合研究报告, 海洋出版社(北京), 136—137, 140—148。  
 刘肇昌, 1983, 板块构造学, 四川科学技术出版社(重庆), 61。  
 米纳德, H. W. 著, 1962, 郝颐寿译, 1978, 东太平洋海洋地质, 科学出版社(北京), 89—95。  
 Seibold, E. and Berger, W. H., 1982. The Sea Floor, Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg, New York), pp. 41—48.

## A PRELIMINARY STUDY ON THE TWO DIFFERENT TYPES OF CONTINENTAL MARGIN

Wang Shugong, Liu Zhongchen, Wu Jinlong

(*First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003*)

**Abstract** The third Chinese Antarctic Expedition and the First Global Scientific Investigation were successfully conducted in the period from October, 1986 to May, 1987, during which a team from the First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, carried out the a gravity survey yielding about 52 780 kilometers of gravity profile across the Pacific, Indian and Atlantic Oceans. The above data were used for the Pacific active continental margin and Atlantic passive continental margin study. On the Pacific active continental margin gravity anomalies appear very complicated, and free-air anomalies change greatly, suggesting a state of non-equilibrium. The conversion result shows that the cold asthenosphere sinks in large scale along trenches and ocean-sides and hot asthenosphere rises greatly along the arc-back area. On both sides of arc and trench, the large scale differential movement of asthenospheric materials scale contributes to the strong tectonic activities of the Pacific active continental margin, leading to a non-equilibrium state. Compared with the Pacific active continental margin the Atlantic passive margin is characterised by monotonous gravity anomalies with positive and negative unsymmetry resulting from the "boundary effect of the earth's crust". It lacks a massive lifting and sinking movement of asthenospheric materials and other tectonic activities suggeste an equilibrium state there.

**Key words** Continental margin Gravity anomaly Tectonic activity Stress state Oceanic tectonics