

島 孤

〔日〕 上田 誠也 著
杉村 新

地
資
出
版
社

岛 弧

(日) 上田诚也 著 谢鸣谦 译
杉村 新 谢鸣一

地质出版社

岛 弧

〔日〕上田诚也 杉村 新 著

谢鸣谦 谢鸣一 译

国家地质总局书刊编辑室编辑

地 质 出 版 社 出 版

地 质 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1979年2月北京第一版·1979年2月北京第一次印刷

印数1—5,110册·定价0.50元

统一书号: 15038·新321

译 者 的 话

几十年来，为阐述大陆和海洋起源的有关学说，都很重视对岛弧的研究。

环绕太平洋西缘的岛屿，引起了人们广泛的注意，然而更使人注目的是：这里是深源、浅源地震的密集带；是重力、地磁、热流等异常的交替区；也是火山的集中活动地带。因此它是全球构造体系中最活跃的部分，也是现代地球科学研究的重要课题。

岛弧的研究，开始于20世纪，直到30年代初期才较系统的提出了关于岛弧形成的假说。50年代以来，随着海底地球物理学的发展，为研究岛弧又提供了较丰富的资料，特别是把岛弧的形成与地幔对流连系起来，使它成为60年代兴起的板块构造假说的重要组成部分，进而丰富和发展了新全球构造观点，深化了对地壳演变的认识，促进了海洋地质工作的发展。

本书是日本学者上田诚也、杉村 新收集整理了世界岛弧资料，特别是对典型的日本岛弧作了较深入的研究后，对岛弧的形成和发展提出的比较详细的论述。书中资料丰富，观点明确，阐述也比较清楚，是一本较好的参考书。

本书译出后，承蒙许东禹，刘海阔等同志进行详细审校，深致谢意。限于译者水平，错漏一定难免，希同志们批评指正。

译 者

序 言

太平洋周围的花彩般的岛弧，由于它的剧烈的火山活动和地震活动，所以历来就引起了地球科学家的兴趣。日本列岛就是其中的一个典型。本书的目的就是从岛弧理论的观点出发，对前辈和同行所阐明的日本列岛的各种特征，进行综合性的论述。

在学科发展的进程中，搜集资料并精心研究，有时会使问题豁然开朗，获得显著的效果。地球科学在经过长期的研究和巩固工作以后，以国际地球内部开发计划（所谓的上地幔计划）的精确研究成果为基础，最近1—2年来，固体地球科学确实迎来了“一个大转变时期”。大陆和大洋的生成理论，有如鲜花盛开之势，在此理论体系中，应该说岛弧的研究起了很大的作用。因此，世界的学者目前也开始予以重视。当此时期，我们试图整理现有资料，作为今后提高的阶梯，这是作者编写此书的动机之一。

地球物理学者和地质学者，对于同样的问题往往持有完全不同的态度，这大概是由于他们的知识和资料的局限性所致。因此对于现在的固体地球科学上的一些问题——特别是本书所涉及的岛弧理论——来说，是一个很大的障碍。为了设法排除这种障碍，从事地质学和地球物理学的我们两人试图共同研究这一问题，这是作者编写此书的动机之二。

根据上述动机，并在著名的地球科学家都城秋穗博士的推动下，把1968年2—9月期间在“科学”杂志上连续发表的有关资料汇编成本书。在本书的第一章绪论中简要地阐明了作者的基本观点，对岛弧问题从全球的观点进行了论述；第二章是以日本列岛为中心，对岛弧表现的各种现象作了综合整理，并强调了它们的带状排列；第三章讨论了世界其他岛弧中各种现象的带状排列；第四章试图就这些问题进行了系统地阐明。作者虽然对目前

流行的新全球构造 (The New Global Tectonics) 寄予很大的期望，但本书中对此提出了作者的看法，至于岛弧与新全球构造如何恰当的结合，是今后需要研究的课题。因此，我们的工作成果，的确是微不足道的，但是学术的研究工作是一刻不停地向前发展，所以，虽然担心本书落后于时代，但是另一方面，在某一阶段中倘能起到资料汇总的作用，作者也就感到非常满意了。此外，由于本书资料曾在杂志上连续刊载，故在叙述上可能有一定的重复，希望读者见谅。

上田 诚也

杉村 新

1969年12月

目 录

第一章 绪论	1
1. 引言	1
2. 海底扩张	1
3. 岛弧-海沟系的位置	7
4. 岛弧的研究史	15
第二章 日本列岛	19
5. 地形：东日本岛弧系和西日本岛弧系	19
6. 重力	23
7. 地壳和上地幔的构造	29
8. 地震活动	33
9. 发震机制	37
10. 火山	40
11. 火山岩	43
12. 地壳热流量	46
13. 地下的电导率异常	52
14. 地磁	54
15. 新第三纪以来的造山运动	56
第三章 带状排列的普遍性	63
16. 岛弧的分布：“环太平洋”的意义	63
17. 各类现象的带状排列 I	65
18. 各类现象的带状排列 II	73
19. 各类现象的带状排列 III	81
第四章 岛弧理论	86
20. 岛弧的剖面	86
21. 地幔流假说	86
22. 伴随下降流的应变	92

23. 伴随下降流的应力·····	96
24. 岛弧的地下温度·····	100
25. 岩浆发生的场所·····	105
26. 深源地震和岩浆的发生·····	109
27. 岛弧下面的热过程和边缘海的起源·····	113
28. 岛弧活动强度的比较·····	115
29. 岛弧形成的历史·····	118
30. 地幔流的起源·····	124

第一章 绪 论

1. 引 言

岛弧和与之伴随的海沟是地球上各种地质现象演变最活跃的长条状地带，由于这些现象的存在，也可以把岛弧看作是现代造山带的表征。本书将概括地介绍目前已知的有关岛弧的各种现象，并试图探讨合理地解释这些现象的可能性。

2. 海 底 扩 张

1967年春，在华盛顿召开的美国地球物理协会上和同年秋天在瑞士召开的国际大地测量学、地球物理学协会上，宣读了100多篇关于海底扩张的论文，从而促使“海底扩张”假说的迅速发展（宝来，1968）。自此以后，沿着这个线索的研究日益开展起来。许多学者发表了对“海底扩张说”的解释，提出了所谓的“新全球构造”（the new global tectonics）[W. J. 摩根（Morgan, W. J.），1968；D. P. 麦肯齐与R. L. 帕克（Mckenzie, D. P. and R. L. Parker），1967；X. 拉皮向（Le pichon, X.），1968；B. L. 埃萨克斯等人（Isacks, B. L. et al.），1968]。本书目的，不是详细论述所有这些问题，但是，下面将会逐渐明白，要了解岛弧的成因，首先必须理解海底扩张假说，并且给予正确地评价。这里，作为了解岛弧问题的背景，有必要简单地回顾一下“海底扩张假说”的起因之一，是在古地磁学成果基础上的大陆漂移说的复活。

以A. 魏格纳（Wegener, A.）和杜·托特（Du Toit）等人为代表的旧大陆漂移说，尽管基于各大陆形状的拼合和古气候学

上的有力“证据”，但由于存在许多问题和缺乏合理的物理机制，所以自20年代末期以来就完全衰落了。虽有A. 霍姆斯(Holmes, A., 1931 年)提出的地幔对流说，对此假说给予了支持，不过，很少受到人们的注意。根据地幔对流说，认为大陆是载浮于地幔流之上而移动的，不是象过去所说的那样，推开地幔而前进。在这种状况下，以S. K. 朗科恩(Runcorn, S. K.)和P. M. S. 布莱克特(Blackett, P. M. S.)为首的英国学者根据测定岩石在自然状态下保留的剩磁性质，以独特的方法表示了大陆移动的实际性，其主要道理扼要地叙述如下。岩石带有微弱的磁性(岩石的天然剩磁)，但是磁性的方向，通常认为是与岩石生成时的地球磁场的方向相一致的。即岩石的天然剩余磁性的方向，以火成岩来说，就是在其冷却固结时的地磁方向，沉积岩则为其沉积时的地磁方向，以此来研究过去地球磁场历史的科学叫做古地磁学。日本的永田等人(1961)，对此方法的基础理论的研究，在40年代作了很大贡献。但是，实际上把古地磁学广泛用于地质时代的是50年代的英国科学家。根据他们的测定结果，认为过去的地磁极与现在地磁极的位置并不一致，它好象随着地质时代的变迁而移动的(极移)，而且，相对于各大陆的极移似乎各不相同的，地质时代的地球的主磁场也是偶极子的，因此，只要设想在南北两半球上各有一个磁极，那么如果大陆之间没有相对运动时，上述事实则是不可理解的，这就是古地磁学上的大陆漂移的论据。还有令人惊奇的是，从古地磁学提出的大陆移动的设想与A. 魏格纳早在约半个世纪前完全以另外的根据提出的设想正好一致，这样，大陆漂移说在50年代末期就迅速的复活了，但是，关于移动的物理机制仍然是不清楚的。因此，S. K. 朗科恩等就采取了A. 霍姆斯提出的地幔对流引起大陆的牵制移动的这一机制。

后来，这些观点得到了进一步的发展，便形成了R. S. 迪茨(Dietz, R. S., 1961)、H. H. 赫斯(Hess, H. H., 1962)等人的所谓的海底扩张说，即认为海底地壳产生在地幔对流涌出口的中央海岭处，载浮于深部地幔流之上自海岭向外扩张，运载在地

慢流上的大陆也就随之移动，这也就是所谓的传送带的模型。根据这样的设想，就可以直接说明大西洋两岸的形态与中央海岭平行的现象。

幸好，与此同时迅速发展海底地球物理学，对于这种观点进而提供了一些证据。地壳构造、地磁、地震震源、地壳热流量等的测量结果也给这种设想提供了非常有利的资料。例如大西洋中央海岭和东太平洋海隆中的热流量较之其它地方的热流量高达数倍，象这种局部地带的高热流量不能简单的以固体的热传导来说明，而必须认为它是在地下深部的高温条件下因物质流动而产生的热传导。所谓的地幔内部的对流，则认为是在中央海岭处上升的。在图1中用双线表示的地带就是环绕世界的中央海岭及其延伸部分，又称世界裂谷系 (World rift system)。事实上，这个海岭带顶部的许多地方，可以看到与其延伸方向平行的巨大裂谷。上升的地幔流从这里达到地表——即洋底，然后分开向两侧扩散，因此就这样形成了裂谷。

按这种观点就能够合理地解释现有的各种现象。J. T. 威尔逊 (Wilson, J. T., 1965) 提出的转换断层 (transform fault) 就是其中的一个典型。他认为，如果在不同的地方有两股上升流，则由于从这里涌出来的地幔流在这两点之间向着彼此相反的方向移动，所以这两股流之间就产生错动，结果在其间引起了断层，著名的圣·安德烈斯断层就可以此得到很好的说明。关于转换断层在日本虽然尚无恰当的译名，但用图2所表示的模型就很容易理解 (图2见下节说明)。中央海岭由于转换断层的作用，发生象“右旋走向断层” (right lateral strike slip fault) 那样的错动。但它与一般的右旋走向断层不同，转换断层是断层两盘之间的相对运动，只局限在海岭顶部所夹的区段内 (图2中的 $R-R'$)，而且，海岭的错动方向与右旋走向断层正好相反，如图1所示，裂谷系被许多断层 (破裂带) 所切割。L. R. 塞克斯 (Sykes, L. R., 1967) 证明了这些断层属于上面提出的新型断层。他证明，在切割裂谷系的破裂带中，地震只在 $R-R'$ 区域发

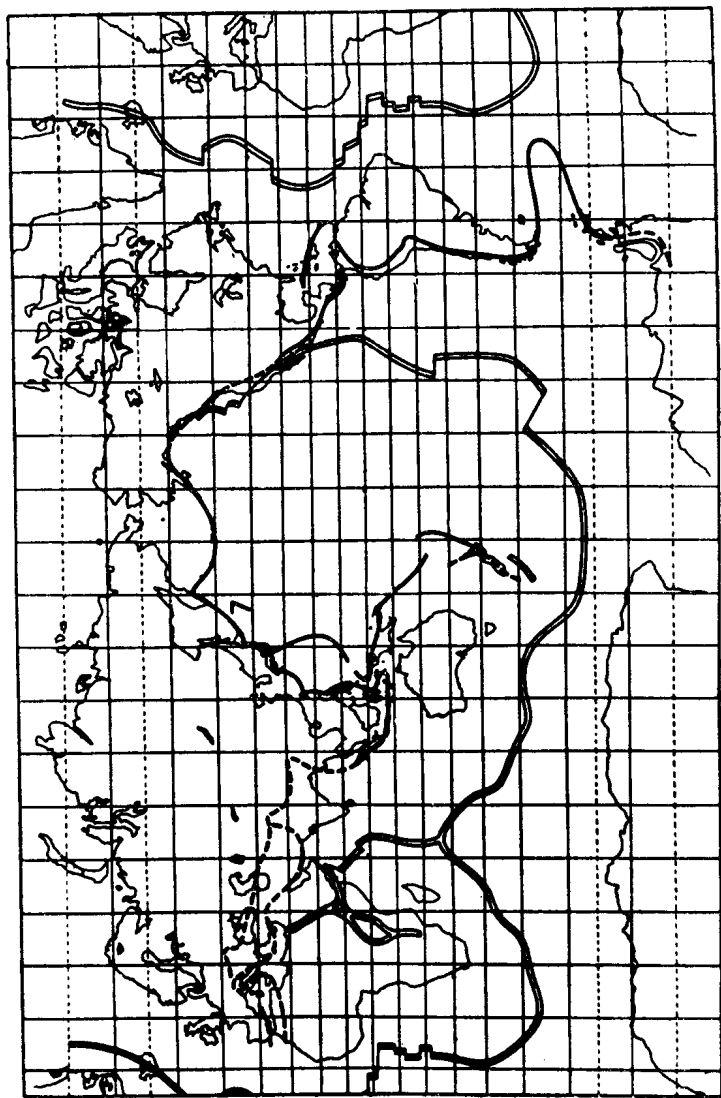


图 1 围绕全球的裂谷系（双线）和岛弧-海沟系（实线）分布图
虚线表示新造山带，裂谷系被各处的断层（单线）所切断

生，而且，伴随地震产生的地块相对运动的方向，就是转换断层的方向，并不是一般平移断层的方向。

海底扩张说导源于 A. 霍姆斯以来的地幔对流说。这个假说虽然逐渐地得到了巩固，但现在仍然缺乏实证，只是作为一个假说来接受的。现在这个假说所以盛行于世，其直接原因之一，就是由于 F. J. 瓦因和 D. H. 马修斯 (Vine, F. J. and D. H. Matthews, 1963) 及 F. J. 瓦因和 J. T. 威尔逊 (1965) 所提出的海底条带状地磁异常的成因理论。第二次世界大战后，由于饱和磁芯型磁力计和质子磁力计的用于生产，自五十年代以来，船舶可以在海上大量进行测量。继之 R. G. 梅森 (Mason, R. G., 1958) 等人发现，在大洋底的广大范围内存在着条带状地磁异常 (图 2)，这一事实引起了广泛的注意。后来 V. 瓦盖尔 (Vacquier, V., 1961) 等人，发现太平洋东部海域中的条带状地磁异常有长达 1000 公里的错动，而且由于它与已知的破裂带相一致，因此得出了海底地壳发生着大规模的水平的相对运动的结论，这样就进一步引起了普遍地关注。如果认为海底相对地移动了 1000 公里时，其结果就等于说大陆也作了那样的移动，把条带状地磁异常

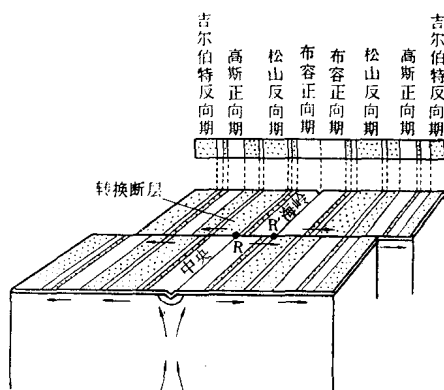


图 2 海底扩张说的说明

在中央海岭的顶部产生新地壳并磁化，向左右扩展，上面的标度表示地磁的倒转史，图中央的错动表示转换断层

的错动与大规模的水平错动断层结合起来的设想，现在受到了上述转换断层设想的挑战而不得不改变观点，而且，从近代地质史上来看，这种现象的本身就是无法改变的事实。姑且不说条带状地磁异常的“错动”，最基本的问题，是条带状地磁异常的成因，这个问题自条带状地磁异常发现以来，一直是迷惑不解的。在海底地壳中，还没有发现具有这种异常的物性的构造，而只有海底地壳的磁化，才有可能形成条带状的原因。

此处所提出的看法，就是F. J. 瓦因和D. H. 马修斯（1963）的假说。在这里，我们再来谈谈古地磁学的问题，由古地磁学得知，从第三纪末到第四纪，地球磁场至少有过数次的倒转，从岩石，特别是从火山岩的天然剩磁的方向发现，它与现在地球磁场的方向是相反的。这种倒转的天然剩磁的现象，是在20世纪初法国的布容（Brunhes）发现的，日本的松山（1929）也曾报导过这一现象。但是也发现岩石本身作为其固有的性质，有时能取得反向的剩余磁化现象〔永田等，1951；上田，1958；L. 李（Néel, L., 1951）〕，因此，地球磁场倒转说在近几年来才广泛地被人们所接受（小嶋，庄野，1968）。正是美国地质调查所的研究人员，通过大量的古地磁学的调查和用钾—氩法对世界各地的火山岩进行了精确的年代测定，才阐明了地磁场倒转的历史，并确定了所谓的地磁层序年代表。当把现在的地磁场的方向定义为正向，而把与其相反的方向定义为反向时，根据地磁场的正、反方向可以划分不同的时代。考克斯等人（Cox, et al.）把现代命名为布容正向期，把约70万年以前的反向带磁期命名为松山反向期。图2上方，取水平方向上与时间成比例的轴线来表示各时代的长短，并且在以数十万年为单位的极性持续时期（epoch）中，进一步证明有更为短期（＜数万年）的极性倒转现象（叫做偶然事件）。另外，极性从一个方向反转到另一个方向的过程是在极短的时间内发生的。这些事实从地球磁场本身的成因理论来看是极为重要的。关于地磁及极性倒转的理论是现代地球物理学的一个突出的问题（参考力武所述，1967）。但是，在这里我们将把注意力暂

且集中到地磁极性倒转反复发生的事实上来。

根据海底扩张说，从中央海岭下面上升的地幔流冷却后，就形成新的地壳，在新的地壳冷却的同时就应该被磁化。尽管地壳物质的磁性来自地壳中所存在的含钛铁矿的强磁性矿物，但上述论点作为古地磁学的一般基础还是重要的。一般来说，强磁性体在高于居里温度的高温状态下就失掉了强磁性，构成新地壳的这些物质，当它从地幔上升还处于高温状态时，不是强磁性的，而涌出表面后，在其温度经过居里点下降时，就被磁化，并得到稳定而强大的剩余磁性。通常，火成岩当其在地球磁场内冷却时，获得的天然剩余磁性，称为“热剩余磁性”，这样新产生的地壳就在此时获得了剩余磁性，其磁化方向应与当时的地球磁场方向相一致。就是说，只有新生的地壳才在当时的地球磁场方向上磁化，其磁场方向就这样被“记录”下来，磁化地壳向海岭的两侧顺次向外扩展。如果上述情况属实，则按上述的地磁层序排列的地磁条带，在海底地壳中将呈水平展布。由 F. J. 瓦因和 D. H. 马修斯 (1963) 提出的磁带录音机模式的设想，在世界各海洋中，由于地磁层序和条带状地磁异常之间定量的一致现象极为明显，所以推动了海洋扩张说的迅速地推广。

如果地幔中的物质在一个地区上升，那么就应该在另一个地区下降，这个下降的地区就是下面将要论述的岛弧-海沟系，这就是本书作者的基本观点。在岛弧-海沟系中，各种地质现象非常活跃，而且，其性质与裂谷系的性质在各种意义上（以后将要叙述的）都是相对应的。岛弧-海沟系和裂谷系都是线状分布的（图1），它们既不重叠，又不相交，因此可以把现在的地表活动带分为两大类，这两者的关系用一句话来概括，就是可能有着所谓的共轭关系。

3. 岛弧-海沟系的位置

在太平洋的北面和西侧，有象阿留申、千岛、硫球那样的点

状排列的群岛，作为岛屿来说，日本和印度尼西亚虽然稍大一些，但是它们的情况是与这些群岛类似的，所以统称之为弧形列岛或岛弧。如果仅仅如此，那也不是特别引起我们关注的事情，但是，象下面提出的，地球表面的各种活动显著的部分几乎都集中在岛弧的周围。首先，让我们来看看海洋的深度分布。图3表示着水深6000米以上地区的分布情况，图中，将线状分布的部分和非线状分布的部分有意识的分别描述。一般来说，前者的深度大，叫做海沟。世界上最深的海沟是马里亚纳海沟，其深度达11034米，而非海沟部分的最深深度仅为7168米，大部分海沟的最深深度都比它深。所谓海沟并不只是“大洋底中的下凹部分”，

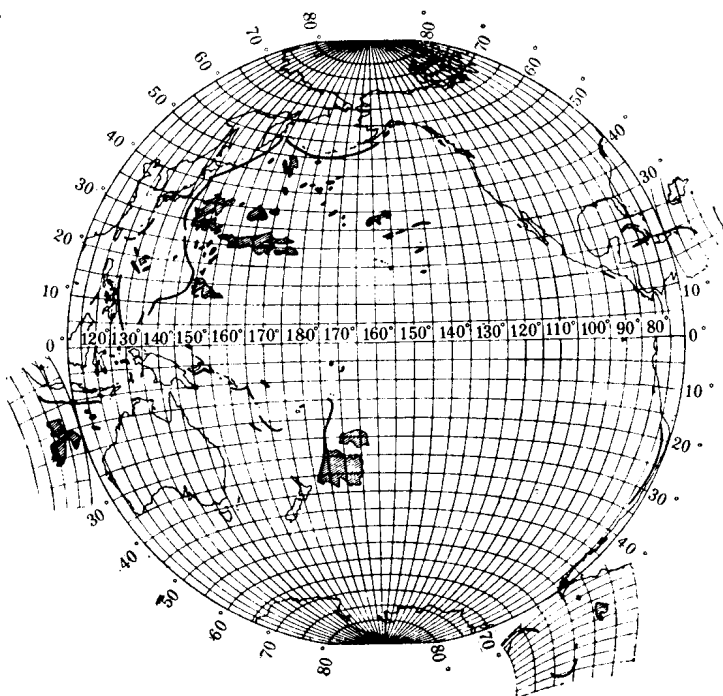


图3 水深6000米以上地区的分布图

粗线表示海沟部分

而必须是与岛弧走向平行延伸的。反过来说，岛弧并不只是那种线状隆起部分，而必须是与海沟相伴存在，如果对比一下图 1 和图 3，这个问题就会一目了然，这就是岛弧-海沟系这一名称的由来。

图 4 是太平洋地区的自由空间 (free-air) 重力异常分布图。从直接测定的重力值，减去地球的标准重力值后即重力异常，这就是测定某一点重力异常的大致标准。重力的测定，因受地形的影响而不得不在各种高度上进行，为了考虑到这种因素，必须把测定值校正到海平面高度上，如此所换算的异常值就是自由空间重力异常，这在第 6 节中还要详细地说明。不过，自由空

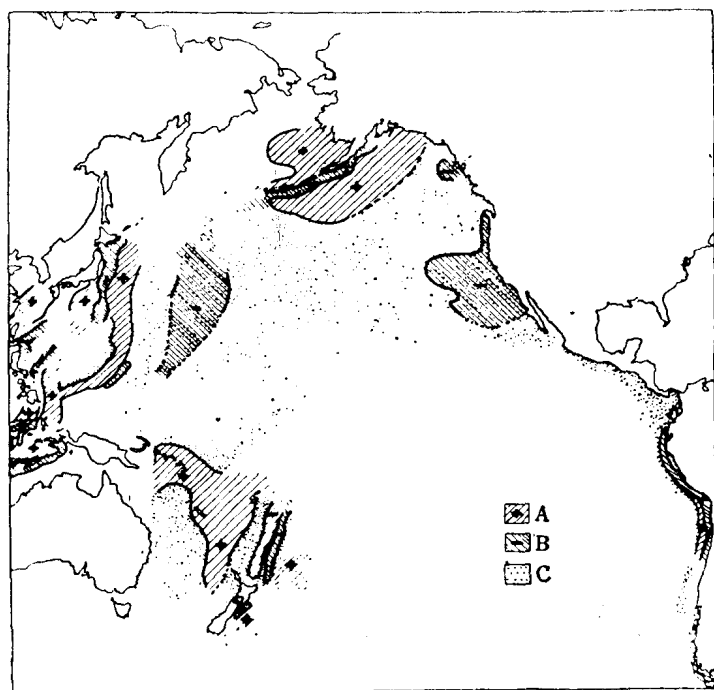


图 4 太平洋海域中的自由空间重力异常分布图

[根据 G. P. 伍拉德和 W. E. 斯特兰奇

(Woollard, G. P. and W. E. Strange, 1962)]

A—+20 毫伽以上；B—-2 毫伽以下；C—没有明显倾向的