



大气和海洋

— 人类的流体环境

[英] J. G. 哈维 著

科学出版社

大气和海洋

—人类的流体环境

[英] J. G. 哈维 著

张立政 赵徐懿 译

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书是英国东英吉利大学的J. G. 哈维博士为气象学和物理海洋学编著的一部统一的基础教程。全书共分十四章。作者把大气和海洋这两种流体视为一个系统，并应用共同适用的一些基本原理和概念阐述了大气和海洋的物理学方面的问题，诸如水分循环、能量及热量分布、气团和水团、运动和力、波浪和潮汐、大气环流和大洋环流等。本书题材新颖、图文并茂、言简意赅，是一本较好的海-气相互作用基础理论读物。

本书可供海洋学、气象学、地理学以及环境科学、航海科学技术人员和教学人员学习，也可供热心于大气和海洋科学的领导干部和科技管理人员参考。

J. G. Harvey

ATMOSPHERE AND OCEAN

Our Fluid Environments

The Artemis Press Ltd., 1976

大 气 和 海 洋

——人类的流体环境

〔英〕J. G. 哈 维 著

张立政 赵徐懿 译

责任编辑 杨玉梅

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年9月第一版 开本：850×1168 1/32

1982年9月第一次印刷 印张：6

印数：0001—2,750 字数：152,000

统一书号：13031·1916

本社书号：2629·13-17

定价：1.15 元

译 者 的 话

地球是宇宙空间的一个天体，太阳系的一颗行星。它不停地绕着太阳旋转，公转一周为时一年，产生了春夏秋冬的季节变化；它还以地轴为中心每天自西向东自转，自转一周便产生了昼夜的交替。地球的表面为海水所覆盖，大陆只是突出海面的岛屿，水陆相间，蔚为奇观。地球表面还被大气层所环绕，碧空蓝天，风云变幻。地球蕴藏着丰富的资源，可供人们长期取用。地球上的生命繁多，生生不息，是我们人类赖以生存的好天地。但是，我们对旋转地球上的两种流体——大气和海洋——的了解还远远不够。本书就是一本介绍这方面知识的入门书。

随着科学的发展，大气和海洋在政治上、军事上和经济上的重要性愈来愈显著，人类也愈来愈需要深入了解自己周围的流体环境——浩瀚的大气和深邃的海洋。但是，较深入地了解这两种流体，并把它们的相互作用作为一个课题进行全面深入的研究还只是最近二、三十年来的事情。众所周知，由于大气和海洋不断地相互作用，所以研究大气时必须了解海洋，研究海洋时必须了解大气。大气和海洋是旋转地球表面上的及其邻近空间的流体，对它们的物理性质及其运动来说，许多基本原理和基本概念都是共同适用的。基于这种考虑，东英吉利大学的 J.G. 哈维博士以海-气相互作用这个环节把气象学和物理海洋学连接起来，编著了第一部统一的气象学和物理海洋学基础教程——《大气和海洋——人类的流体环境》一书。

本书是作者根据东英吉利大学的环境科学教学大纲编著的，阅读本书的读者必须具备一定的数学知识，特别是公制单位、矢量和微商，但读者可借助于书后所附“数学符号表”来了解本书所列方程的物理意义。

本书所涉及的概念很多，限于篇幅，作者未能把一些概念详加阐述。书后所列有关参考书可进一步帮助读者理解本书提到的内容。

作者在本书中主要阐述大气和物理海洋学方面的问题，为使读者有一个完整的概念，在开始几章中简单的阐述了洋盆的起源以及大气和海水的化学组成。本书既能为教师提供大气和海洋——人类的流体环境——的综合知识，又可作为海洋学、气象学、地理学和环境科学、航海科学学生的基础教程。

本书译出后，有关海洋部分承蒙山东海洋学院物理海洋系副教授陈宗镛同志及周天华同志校订，有关大气部分承蒙中央气象局气象科学研究所朱福康同志校订，在此一并致谢。限于译者水平，不妥和错误之处在所难免，望读者批评指正。

1981年10月于北京

序 言

本书是为气象学和物理海洋学编写的综合教程。基于大学一年级各门课程的独立教学经验，我确信，一门综合教程是非常符合需要的。对此，有两个主要原因：其一是，相同的基本原理适用于这两个学科的许多方面，因为这两个学科都与旋转地球表面上及其附近的流体的物理性质和运动有关。所以，对这两个学科来说，诸如流体静压力、垂直稳定度、科氏效应、地转流和涡度这些概念都是共同适用的，而当其中某一概念同时在这两个学科中应用时，就更能理解它们的共同性和统一性了。第二个原因是，大气和海洋在很大程度上彼此是相互作用的。热能、动量和水穿越海-气界面的交换在确定各种流体的物理特性时，起着重要的作用，而气体（尤指二氧化碳和氧）和盐的交换，尽管其重要性比较有限，也是应该考虑的。因此不论研究大气还是研究海洋都必须了解另一个学科和其中的物质运动和分布。

在最近几年里，我曾有机会为东英吉利大学环境科学教学大纲第一年计划开设这样一门综合课程，本书就是由此产生的。我希望本书能作为其它大学、工业院校和教育学院的海洋学、气象学、地理学和环境科学的学生以及航海军事院校的航海科学学生的基础教程。如果本书能使教师们在以前缺少大气和海洋知识的情况下，以综合的方法把它介绍给学生们的，我会是特别高兴的。

本书读者必需具备某些基本的数学知识，特别要熟悉公制单位、矢量和微商；但每个读者都能借助于“数学符号表”（附在本书174—178页上）来理解用于本书的方程的意义。

我感谢所有曾直接或间接对本书问世而尽力的同事和学生，尤其要对早期读过本书各章草稿并提出有益评论的 K. Clayton 教授，T. Davies 博士，H. Lamb 教授，P. Liss 博士，C. Vincent 博士

和 F.Vinre 教授，表示我的谢意。我也非常感谢为本书的出版清绘了全部插图的 D.Mew 先生。此外，我的妻子 Chris 多次阅读并修改原稿，不断予以鼓励，Artemis 出版社的 M.Bizony 先生为使本书论理透彻作了许多有益的改动，Artemis 出版社快速高效地出版了本书，在此一并致谢。

本书主要涉及大气和海洋的物理学方面的问题。为使本书完整起见，在开始几章中简单阐述了大洋海盆的特征与起源和大气与海水的化学组成，若读者有兴趣进一步探讨这些课题可参考其它书籍。本书不打算涉及生物学的问题，或人类与大气-海洋相互作用的关系。在很多书籍中都已从经济上充分证明了有必要为研究大气和海洋投入物力和财力，这些书中除探讨了人类对其流体环境的各种影响外，还特别研究了人类利用流体环境并受其影响的直接和间接方法。关于将从大气和海洋中获得经济利益的评价已导致了許多国家和国际组织的科学机构的建立，以鼓励和实现这方面的研究。

J.G. 哈维

1976年5月于英国诺里季东英吉利大学环境科学院

目 录

译者的话	(v)
序 言	(vii)
第一章 大气和海洋的起源及其地质背景	(2)
第二章 一般流体——大气和水	(8)
可压缩性	(8)
目前的大气成分	(11)
绝热变化	(12)
粘滞性	(12)
水	(13)
第三章 水分循环：大气中的水	(17)
蒸 发	(19)
凝 结	(21)
云的形成	(24)
云的类型	(26)
降 水	(29)
第四章 海洋中的盐类、气体和冰	(32)
盐 度	(32)
营养盐类	(36)
溶解气体	(37)
海冰及冰山	(39)
第五章 能源及热量分布	(45)
太阳辐射	(45)
大气中的传输	(48)
地球表面效应	(50)

热量平衡和逆向辐射·····	(51)
大气和海洋内部及其之间的热量输送·····	(53)
温度的日变化和季节变化·····	(55)
温度的水平分布·····	(58)
第六章 垂直稳定度和温度分布 ·····	(64)
海洋的稳定度·····	(65)
大气的稳定度·····	(66)
焚 风·····	(68)
对流层中的环境递减率·····	(69)
高层大气的温度结构·····	(71)
温跃层及海洋的温度结构·····	(72)
第七章 气团和水团 ·····	(76)
气团的概念·····	(76)
气团的源地·····	(77)
气团的变性·····	(78)
气团及与不列颠群岛相关的天气·····	(78)
水团及其 T-S图·····	(80)
保守性质与非保守性质·····	(82)
水团的实例·····	(82)
第八章 运动和力 ·····	(86)
片流和湍流·····	(88)
运动尺度·····	(89)
力的类型·····	(90)
离心力·····	(91)
科氏力·····	(92)
第九章 波浪和潮汐 ·····	(97)
前进波·····	(97)
风 浪·····	(100)
质点运动和浅水效应·····	(103)
津 波·····	(105)
驻 波·····	(106)

平衡潮	(107)
潮汐观测	(111)
第十章 气压梯度及其风	(116)
海陆风	(116)
水平气压梯度力	(117)
上坡风和下坡风	(118)
地转风	(119)
地面风	(121)
梯度风	(122)
旋衡风	(124)
第十一章 地转流和热成风	(127)
梯度方程	(127)
赫兰-汉森方程	(129)
热成风	(132)
第十二章 大气环流	(134)
地面气压与风的分布	(135)
转盘实验和哈得来环流	(135)
高空西风带, 急流和罗斯贝波	(140)
中纬度西风带	(143)
大陆影响, 季风	(144)
第十三章 气旋和反气旋	(149)
中纬度低压	(149)
热带气旋	(154)
反气旋	(158)
第十四章 大洋环流	(162)
风生海流, 埃克曼螺线和风暴潮	(162)
大洋表面环流	(165)
海水垂直运动与深层环流	(170)
附录: 数学符号表	(174)
参考书目	(179)

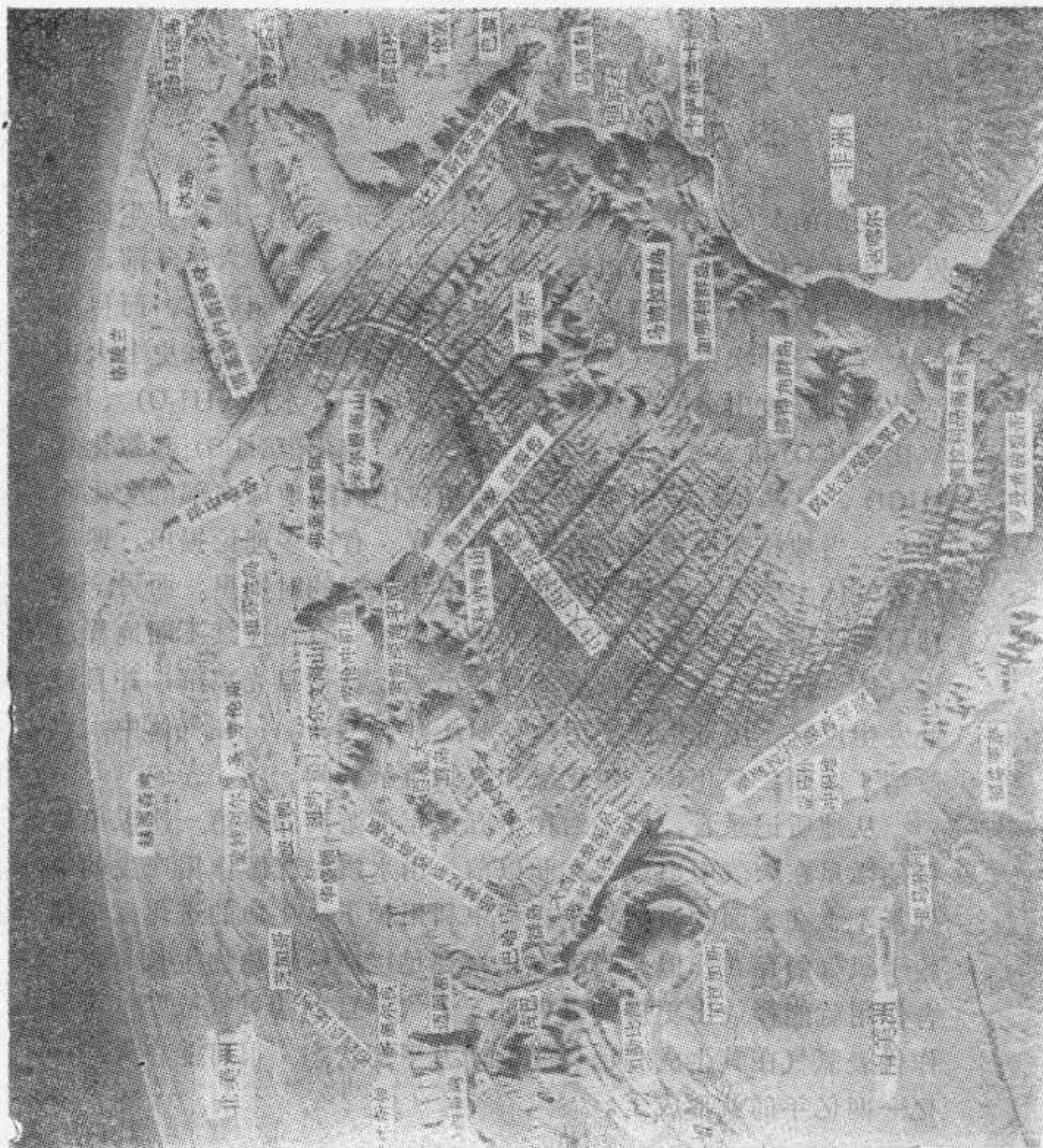


图 1.0 北大西洋海盆的洋底地形模型。斜穿中部的弯曲断裂构造为大西洋中脊，它象其它大洋脊一样是海底扩张的结果（根据拉蒙特地质观测所 B. C. Heezen 和 M. Tharp 的测深研究，由 H. C. Be-rann 描绘而成的）

第一章 大气和海洋的起源 及其地质背景

大气和海水的演变·洋盆的起源及地形

我们的大气是在整个地质时期中演变形成的，地球上生命的发展与大气的组成密切相关。地球大约形成于四十六亿年前，当时的一切原始大气似乎是在一个炽热的时期里被驱散了，而目前的大气是一种次生大气，其成分来自地球内部。在地球史上火山活动期间释放出来的气体可能含有氢 (H_2)、水汽 (H_2O)、一氧化碳 (CO) 和二氧化碳 (CO_2)、氮 (N_2)、硫化氢 (H_2S) 和氯化氢 (HCl)。这些被释放出来的气体的相应比例随地球内部的变化而变化，当地核和地幔形成时尤其是这样。有许多理论提出，地球释放气体主要发生在地球历史上一个比较短的时期里，而另一些理论则假定，在大部分地质时期里，地球一直在连续不断地释放出气体。这些气体一旦被地球释放出来就易受日光离解，并且彼此发生反应。因此形成了甲烷 (CH_4) 和氨 (NH_3)；在气体中水汽凝结了，而二氧化碳、氯化氢和氨则溶解其间。

从地质记录看，似乎约在十五亿年前游离的氧第一次以可估量的数量在大气中出现。在此以前，由水汽经光解作用产生的氧气基本上在表面物质的氧化过程中利用掉了。生命的进化完全依赖于氧气的存在，但是当氧气积聚到足以使绿色植物生长时，光合作用就能释放出更多的氧气进入大气。目前的氧气浓度（可看作代表氧气在其生成和消耗间的动力平衡状态）很可能在大约一亿一两亿年前就形成了。

初期大气成分中的碳是埋藏在沉积物中的碳酸盐（例如石灰石， CaCO_3 ）和矿物燃料（例如煤和油）的主要成分；而水已形成海洋并溶有大量的氯化物；氯则以氯化物（例如 NaCl ）的形式存在于盐矿床中。此外，初期大气成分中的硫则存在于沉积岩中（例如黄铁矿， FeS_2 ）；氮则仍主要聚集在大气中，而氢由于其分子量小已逸向空间，同时还由于上层大气温度高，使得氢分子的速度足以摆脱地球重力场。氦和氡通过钾、铀和钍的放射性裂变进入了大气，而氦已在大气中聚集，氡则象氢一样分子量很小，足以逸向空间。

因此在地质历史中，水相当早就已存在于地球表面了。水是一种溶剂，它不仅溶有火山喷发出的物质和大气分解的物质，而且还溶有被风化的地壳物质。前面这些物质是从地球内部释放出来的，而不是地球形成时由原始星云的凝结作用生成的，故这些物质一直被称为“过剩挥发物”，其中包括碳、氮和水本身，还包括氯、溴、硫和硼。从沉积物中取得的证据看来，至少远在三十亿年前地球表面上就有了大量的水。

然而，目前的洋盆是比较年轻的地壳特征，几乎所有洋盆的年龄都小于二亿五千万岁（仅为地质时期的5%）。在此，我们应辨别洋壳（它主要在现在海平面下2—6公里间）和较老的陆壳（现在被其上方200米深的水覆盖的大陆架）（图1.1）。这两类地壳被大陆坡分隔着，大陆坡有一个较陡的斜坡（一般坡度在 $1/10$ — $1/20$ 之间）。把水和大陆隔开的海岸线是非常短暂的形态，当水离开大洋并在大陆冰层中冰冻起来，或者当这些冰层融化又返回海洋时，海岸线的变化是很大的。在更新世冰期期间，这样的海面升降的变化使得当时的海平面位于现在海平面下100米左右；据估计，如果使现在南极大陆和格陵兰岛上所有的冰融化，那末整个地球上的海平面将升高60米。目前的情况是，地球表面的大约70%被海水覆盖着，但仅把60--65%看作是洋壳。

洋盆的显著特征是，它们全都互相连接着。太平洋、大西洋和印度洋从绕极的南大洋的中心象轮辐一样向外伸展出去。北冰

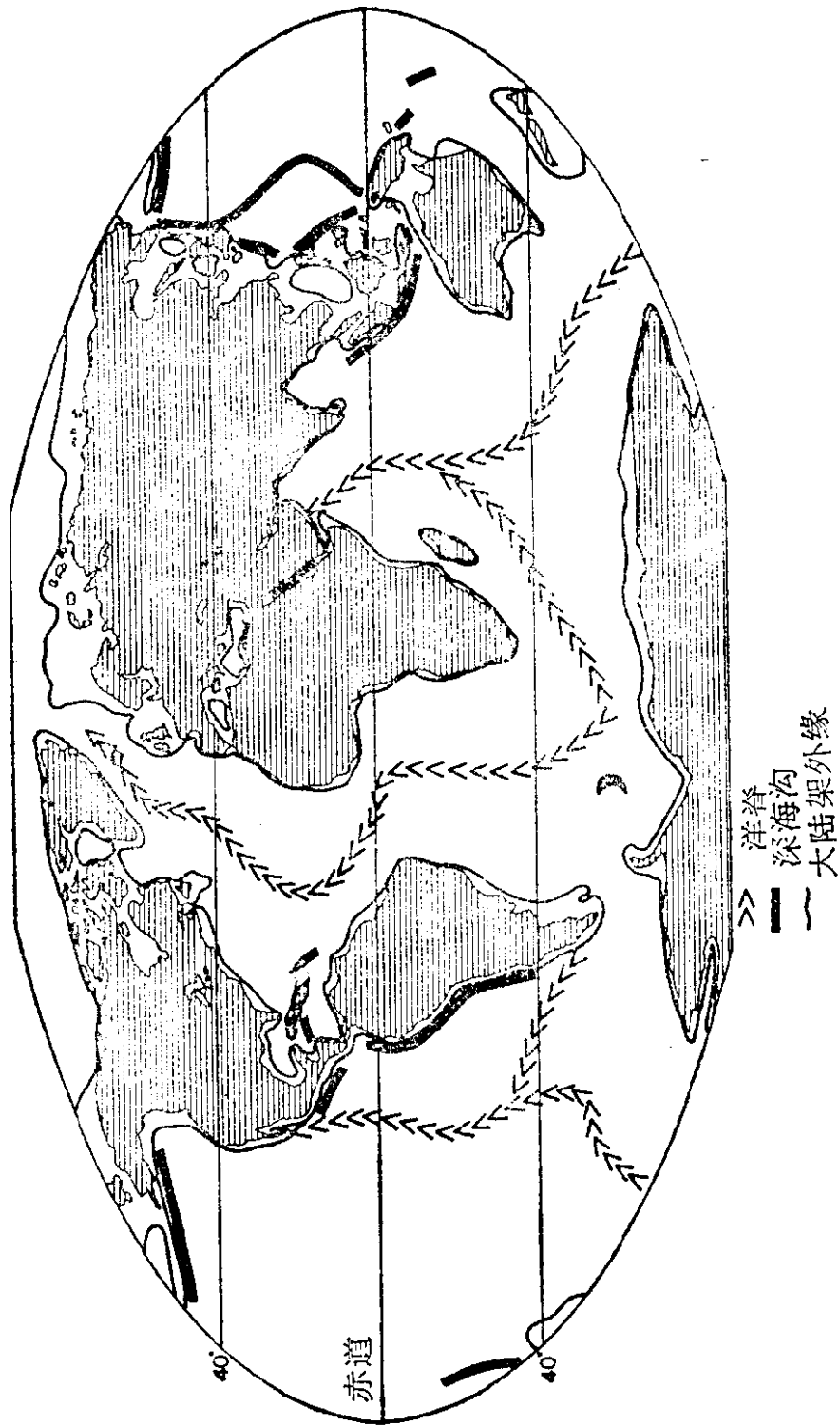


图 1.1 洋盆的主要特征

洋和欧洲亚北极海可认为是一个被大陆半封闭和由海脊与毗连的洋盆隔开了的大地中海。在最近几年，洋盆的地形特征已显示出与其形成和发展有关。这个过程称为海底扩张，现在它包括在所说的板块构造概念内。洋壳来源于地幔物质，这些物质在地壳出现裂开的地带上升到地球表面。这就形成环绕世界大洋的洋脊（图 1.1），它大约高出其周围洋底 2—3 公里左右。在南大西洋可看出，至少在最近八千万年来，中大西洋洋脊的任何一边海底都侧向伸展约 2 厘米/年，因此洋盆的宽度约以每两万五千年一公里的速度增长。这种活动性的洋脊是以火山活动（中央裂谷）为特点的，它还有一系列的断层，这些断层的走向与脊峰几乎成直角，并且一般与其错开几十公里。这些特征称为转换断层，它是由几乎包括地球最上层 100—150 公里的准刚性无震板块（图 1.2）的相对运动引起的。

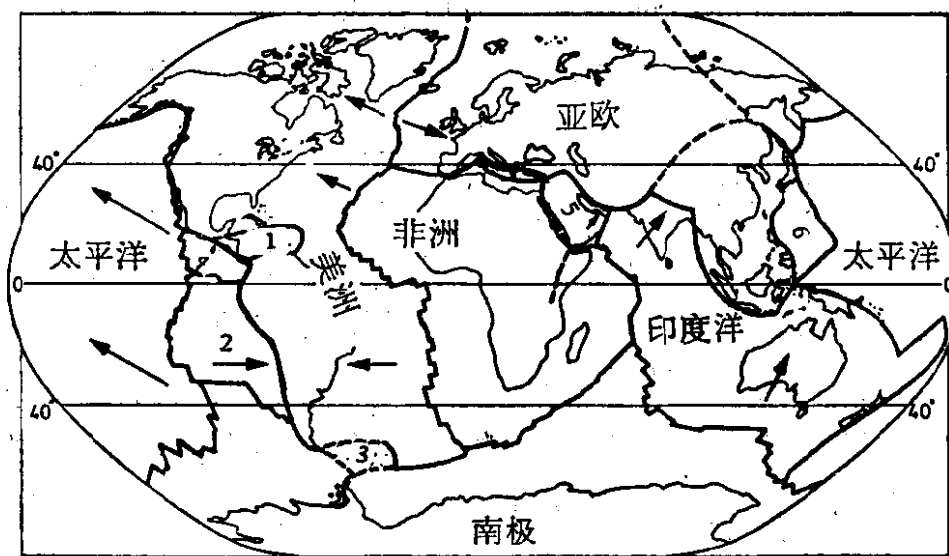


图 1.2 地球表面上主要无震板块的范围（引自 M.G.Gross）

- 1 —— 加勒比海； 2 —— 纳斯卡海脊； 3 —— 斯科舍海脊；
4 —— 科科斯群岛； 5 —— 阿拉伯半岛； 6 —— 菲律宾海沟

洋盆除不断地从地幔涌起从而构成地壳外，它还发生下陷，致使地壳物质重新进入地幔。这些下陷区就是在图 1.1 中所表示的海平面下最大深度大于 10 公里的深海沟。这样一种情况发生在南太平洋的东部，在这里，位于南美洲向西移动的板块其前缘业

已变形，并形成了安第斯山脉。凡在两块板块相聚并使洋壳合在一起的地方（如西太平洋），受其中一个板块下沉影响的火山活动，产生了一连串火山岛（例如与深海沟平行的菲律宾群岛）。

在洋底上（图 1.0）的其它主要特征是深海丘陵和海山，很明显，它们几乎都起源于火山。一部分海山就是通常所说的具有平顶的海底平顶山，即使它们现在可能在海平面下 1—2 公里，但也认为它们是一度到达洋面的火山，而后在洋面被波浪截去了顶部。这些特征的大部分大概是在洋脊的活动地区内形成的，然后通过起“传送带”作用的海底扩张把它们搬运到了现在的位置。

许多海底成为非常平坦的、被厚沉积层覆盖的深海平原。其中一些沉积物是真正起源于大洋的，例如由大洋有机体腐烂形成的各种海底沉积物。在深洋中发现的粘土由很细的颗粒构成，这些细粒是在沉降到海底以前被海流或风输送来的。在大陆边缘附近已发现了陆地起源的较粗糙的沉积物。这些沉积物就是通过河流、冰川和海岸侵蚀促成的，并经海浪和潮流的作用再加工成各种沉积形式（例如沿岸沙坝和海滩，砂波痕和沙带）聚集在大陆架上。当上述聚集的沉积物在陆架边缘上产生不稳定斜面时，也可能在地震发生时，海底山崩（就是通常所说的浊流）就沿大陆坡发展。这样的流将顺着任一斜坡流动，因此斜坡容易进一步被侵蚀，形成大陆坡峡谷。上述沉积物由于在流动中湍动而呈现悬浮状态，当它顺斜坡流动时，速度十分快，估计可达 7.5 米/秒或更高。有一次浊流破坏了纽芬兰格兰德滩附近许多条横越大西洋的电缆；从理论上业已证实这样的速度是可能的。但当这种浊流到达深海平原时，就散布开来并减慢速度，其中的沉积物沉淀下来，因此大洋底散乱地覆盖着这样一些沉积物。

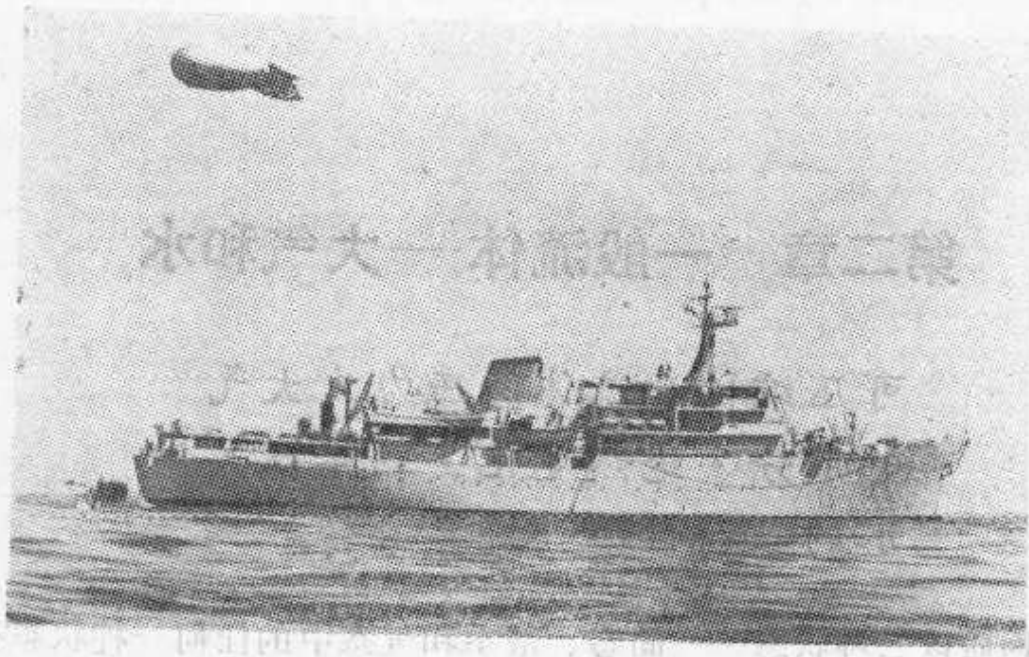


图 2.0 一艘现代调查船“H.M.S. 赫克拉”号和受该船控制的天气气球正在进行天气观测，这是在大西洋中进行的“全球大气研究计划”的一部分

气 球 组 成

气球是由橡胶或塑料制成的，内部充满了氢气或氦气。当气球被释放时，它会上升并随着风的方向移动。气球携带着各种仪器，如温度计、气压计和风速计，以收集大气数据。这些数据对于研究天气模式和气候变化至关重要。气球的组成材料必须轻便且耐用，以确保它们能够在高空长时间飞行。此外，气球的形状和大小也会影响其上升速度和稳定性。在“全球大气研究计划”中，气球被广泛用于收集全球范围内的气象数据，以支持气候模型的建立和验证。