

海底

海洋地质学入门

E. 塞博尔特

著

W.H. 伯格尔



海 底

——海洋地质学入门

E. 塞博尔特
W.H. 伯格尔 著

手 粹 中 译

海 洋 出 版 社

1991 年 · 北 京

内 容 简 介

本书共分十章,讨论内容涉及以下方面:洋盆的起源以及大陆边缘的成因和地貌形态;海平面变化过程和作用效应;海洋沉积物来源、组分和深海沉积作用模式;海底生物分布和环境重建;海洋沉积物的气候分带标志;古海洋学以及海底资源等。

原书系联邦德国高等院校的补充教材,由E.塞博尔特教授撰写,1981年W.H.伯格博士译为英文版时,增补了有关深海沉积作用、更新世海洋学以及深海钻探计划实施的一些成果。全书图文并茂,是一本较好的带有科普性的海洋地质学入门书,可供地质学、海洋学、环境科学等方面的科研人员、高等院校学生以及未受过严格自然科学训练、但对海底感兴趣的其他方面人员阅读。

(京)新登字087号

责任编辑 盖广生

责任校对 刘兴昌

海 底

——海洋地质学入门

E·塞博尔特 著
W.H.伯格 著
李 梓 中 译

海 洋 出 版 社 出 版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 国防科工委印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.125 字数: 300千字

1991年10月第一版

1991年10月第一次印刷

印数: 1-400

ISBN 7-5027-0172-9/P·29 定价: 12.00元

译 者 的 话

海洋是资源宝库，蕴藏着巨大的开发潜力。随着我国人民对海洋资源重要性认识的日益加深，掌握海洋地质学的基本概念、了解海洋地质调查取得的重大成果的学习热潮必将进一步高涨。

本书以比较浅显的道理和简练的文字概括叙述了国外在海洋科学某些新领域里的最新进展。近二十年来由于海洋地质学家和地球物理学家采用了新装备和新技术对世界各大洋进行了广泛深入的调查，其结果导致了地质学的巨大革命，彻底改变了人们对地球特别是其最上部100公里内的岩石圈的认识。书中除对板块构造等最新资料及论点仍给予充分注意，并用它来说明海洋各种地貌形态的成因外，还强调了外营力作用过程，海底物理、化学和生物环境对沉积物形成过程，沉积物特性所产生的重要影响。对古海洋学——人们预测未来海洋地质领域内继板块构造学说后另一个可能有重大进展的学科领域的研究新动向、新成果也作了详细的介绍和总结。

海底的研究无疑对有效开发利用海洋，理解全球气候和生命演化有着重要意义，也必将对未来世界的经济发展和我国工业的潜力产生巨大影响。

全书译稿完成后，对其中某些专业和文字问题承中国科学院南海海洋研究所梁元博同志审阅，谨致以衷心的感谢。盼广大读者阅后提出宝贵意见。

译 者

1984年1月

序 言

最近二十年来,人类对于行星的合并及其演化的认识有了根本的改变。地质学的巨大变革——目前通常把它归在板块构造及其有关的分支学科概念之下——是人们研究海底的必然结果。它对地球科学所产生的巨大影响可以与一百多年前查·达尔文(1809—1882)引起的革命相比喻。生物圈的进化是那时研究的中心。而现在我们讨论的则是地球最上部100公里内岩石圈的演化。达尔文从比格尔航行期间所进行的观测中得到了启发,他的工作对首次全球性海洋考察,“挑战者”号的航行(1872—1875)也起着巨大的推动作用。从那以后,海洋学的研究直接地与地球科学认识方面的基本进展发生了联系。这种情况的出现是不足为奇的。因为在我们生活的行星表面,绝大部分是由海洋组成的。

这本小册子是地质学、海洋学以及环境科学的入门书,书中总结了海底的构造和地貌特征,在深海和陆架海进行的地质作用过程以及深海沉积物中的气候记录。

本书的目的是想对上述课题作出简要的概括,努力满足对此领域感兴趣的各方面人员的要求,其中包括那些没有受过自然科学基本训练的人员在内。今后的几十年人类对自然资源的依赖性包括人们把海洋作为气候机器、废物贮藏器以及能源和矿物来源等方面的重要性认识将日益增长,这个认识的一个重要组成部分就是要对海洋地质学的一些基本事实和概念作出正确评价。

在这本小册子中我们将首先简要地评述内生作用力对海底地貌的塑造结果。读者可以把几个非常好的总结实例与大陆漂移理论紧密地联系在一起,这个课题已成为近二十年来地质学讨论的中心。然后我们将着重介绍外生作用过程,它决定了海底的物理、化学和生物环境,并尤其关系到海洋的合理开发利用以及我们对海洋在气候和生命演化过程中所起作用的认识。

书中提到的所有研究结果和学术观点都是很多著名海洋地质学家广泛工作的产物。在第一页我们用照片介绍了某些特别杰出的科学家。还有更多的学者我们也在书中不时地提到了他们所作出的重要贡献。但是在这本书中,我们不可能对所有那些应该得到这些荣誉的科学家一一地加以系统的评价。在这里我们向这些博学多才的海洋地质同事们致以真诚的歉意。读者对所讨论的有关论题希望深入钻研时,可查阅参考文献目录。

本书是在塞博尔特早期一书(《Der Meeresboden》)的基础上增写的,原书为联邦德国高等院校的补充教材。塞博尔特重写了一部分。伯格爾把它翻译和编辑成英文版,并增加了有关深海沉积作用、更新世海洋学的材料以及深海钻探计划实施的一些成果。塞博尔特感谢基尔大学地质和古生物研究所的同事们,他们在最近二十年来通过“流星”号等其他调查船的大规模考察获得了十分惊人的发现。伯格爾向斯克里普斯海洋研究所的老师、同事以及学生们致谢!特别向那些帮助我们搜集照片的朋友和同事们致以衷心感谢!

E.塞博尔特

W.H.伯格爾

1981年4月于基尔和拉霍亚

目 录

海洋地质学的先驱者	(2)
第一章 洋盆的起源和形态	(5)
一、海洋的深度	(5)
二、内生过程	(8)
三、外生作用	(9)
四、历史回顾	(10)
五、大洋中脊的地貌形态	(12)
六、海沟的地貌形态	(14)
七、断裂带和板块构造	(16)
八、海山、岛链和热点	(17)
九、海底扩张的“证据”:磁条带	(18)
十、进一步研究的课题和任务	(21)
第二章 大洋边缘的成因和地貌形态	(23)
一、大陆边缘的一般特征	(23)
二、边缘弧沉积物的捕截	(25)
三、大西洋型(被动)边缘	(26)
四、被动边缘研究中尚未解决的一些问题	(28)
五、太平洋型(活动)边缘	(29)
六、剪切大陆边缘和复合大陆边缘	(30)
七、陆架区	(30)
八、陆架坡折线	(31)
九、陆坡和陆隆	(32)
十、海底峡谷	(34)
十一、海底扇	(36)
第三章 海洋沉积物的来源及组分	(37)
一、沉积物旋回	(37)
二、沉积物来源	(37)
三、沉积物和水体组分	(40)
四、主要沉积物类型	(42)
五、岩源沉积物	(42)
六、生源沉积物	(45)

七、非骨骼碳酸盐类	(47)
八、自生沉积物	(50)
九、沉积速率	(52)
第四章 波浪和海流作用	(55)
一、沉积物搬运	(55)
二、波浪的作用	(58)
三、海流效应	(64)
第五章 海平面变化过程及其结果	(74)
一、海平面位置的重要性	(74)
二、海平面作用过程和标志	(76)
三、海岸地貌和目前海平面上升的效应	(79)
四、冰川成因的海平面波动	(84)
五、构造成因的海平面波动	(87)
六、海平面和威尼斯命运	(90)
第六章 海底生物(底表和底内)的分布、活动和环境重建	(93)
一、海洋生态环境	(93)
二、底栖生物	(97)
三、生物和岩石底质	(98)
四、砂质底质	(100)
五、泥质底质	(101)
六、痕迹和洞穴	(103)
七、生物扰动作用	(105)
八、古生态重建的局限性	(106)
第七章 海洋沉积物的气候分带性标志	(109)
一、气候分带性和主要因素	(109)
二、气候的生物地理指标	(111)
三、作为气候指标的分异度和贝壳化学	(114)
四、珊瑚礁——热带气候的标志	(116)
五、气候的地质指标	(119)
六、受限制海域提供的气候线索	(120)
第八章 深海沉积作用模式	(126)
一、分类和评述	(126)
二、红粘土和粘土矿物	(130)
三、钙质软泥	(132)

四、硅质软泥·····	(136)
五、浊积物·····	(140)
第九章 古海洋学——深海记录·····	(142)
一、更新世海洋学·····	(142)
二、冰川时期的海洋·····	(143)
三、更新世旋回·····	(145)
四、变化的动力探讨·····	(148)
五、古海洋学·····	(150)
六、第三纪氧稳定同位素记录·····	(150)
七、碳酸盐线的波动·····	(153)
八、深海含氧量的波动·····	(155)
第十章 海底资源·····	(159)
一、资源类型·····	(159)
二、海底石油·····	(159)
三、陆架的矿产资源·····	(166)
四、深海底的重金属·····	(168)
五、海底作为废物的倾卸场所·····	(174)
后 记·····	(176)
参考文献·····	(178)
附 录·····	(183)
A1 常用美制单位和米制单位间的换算关系·····	(183)
A2 地形统计值·····	(183)
A3 地质年代表·····	(181)
A4 元素周期表·····	(185)
A5 常见矿物·····	(186)
A6 常见的岩石类型·····	(187)
A7 地球化学统计值·····	(189)
A8 放射性同位素和测年·····	(190)
A9 对海底形成过程具有重要意义的常见的主要海洋生物群的概述·····	(193)



图P.1 海洋地质学的奠基者

上行(自左至右): J.默里 (1814—1914), J.沃瑟尔 (1860—1937), A.魏格纳 (1880—1930);

中行(自左至右): J.布卡特 (1891—1965), P.H.奎宁 (1902—1976), H.H.赫斯 (1906—1969);

下行(自左至右): M.尤文 (1903—1976), B.C.希曾 (1924—1977), F.P.谢帕德 (1897—)

海洋地质学的先驱者(见图P.1)

海洋地质学作为地质学的一个年轻分支学科是从赫顿 (James Hutton, 1726—1797) 所著《地球的理论》一书开始的 (Edinburgh, 1795)。在这本书中, 他研究了陆地上的海相岩石。海平面变化(“海洋的侵入”以及“在海底堆积并位于目前海面以上大气圈中的沉积物”)是他的“理论”的核心。因此在开始进行系统的地质调查时, 人们就提出了海洋底部究竟曾发生过什么的问题。如果人们想了解陆地上的海相沉积物的话, 那末就必须从事这方面的研究。涉及如此重大的课题, 当然不可能由赫顿单独一人进行。在《地球的理论》一书出版的前几年, 伟大的化学家拉瓦锡 (Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794) 就已区分出两类海相沉积层, 即一类形成于外海大洋很深处的、他称之为远海的沉积层; 另一类形成于滨岸的、他称之为近岸的沉积层。对拉瓦锡来说, “很深”一字意味着浪蚀基准面以下的所有深度。拉瓦锡认为, 沉积颗粒在深水中应该是平静地下沉, 那里的再造作用应该要比滨岸带明显弱得多。

当地质学家走向海洋、探索他们所熟悉的陆地上海相岩石的海洋形成过程时, 海洋地质学的研究才算真正开始了。很显然, 这类工作是从潮间带、人们比较容易到达的浅水区开始的, 很多地质工作者在那里进行了研究。德国地质学家沃瑟尔 (Johannes Walther, 图P.1) 非常熟悉这项工作所取得的一些研究成果, 他本身就是这个研究领域内的一位先锋战士。他以传统地质学为立足点, 成为一个应用均变说的光辉典范, 即利用获得的海洋作用过程可以充分解释地质记录的赫顿学说 (Lithogenesis of the Present, Jena, 1894, 德文)。在海洋生态学的专著中 (Bionomie des Meeres Jena, 1893), 他对海洋环境及其生物的生态学作了描绘, 特别强调了有贝壳的生物及其所形成的沉积物。在此以后的四十年内, 关于海洋沉积作用方面的研究成果已由特拉स्क (P.D.Trask) 作了总结, 编辑了《近代海洋沉积物》(Recent Marine Sediments, AAPG, Tulsa, 1939) 一书。该专题论文集包括了从海滩直到深海的整个沉积环境范畴, 其中很多论文是由海洋地质学方面的先驱者撰写的。

随着海洋地质研究工作的不断进展, 人们愈来愈向外海推进, 这样在确定研究课题的重点方面也逐渐有了变化。海底本身成为人们注意的中心, 这不仅是由于陆地地质学要求通过海底的研究为它提供线索, 而且也是由于海底自身要求为其演化及在地球发展史中的作用提供线索。这种新的研究重点首先表现在“挑战者”号考察船上 (1873—1876) 的自然主义者、苏格兰人默里 (John Murray, 图P.1) 的研究工作中。该次考察是由生物学家汤姆逊 (Charles Wyville Thomson, 1830—1882) 领导的, 它标志着现代海洋学的开始。它确定了深海底的一般地貌特点及覆盖在海底以上的各种沉积物类型。默里的主要专著《深海沉积物》(Deep Sea Deposits, A.F.Renard 著, 1891年出版) 奠定了深海沉积学的基础 (见第三章)。默里的研究确定了沉积物基本上划分为两大部分, 即浅水的陆架沉积物以及深海沉积物, 他认为在陆地上任何地方都找不到真正的深海沉积物的说法已成为教科书上常用

的教条。但是默里的这种见解受到了奎宁 (P.H.Kuenen) 博士的挑战, 奎宁通过试验研究提出了沉积物可以以极大速度顺海底斜坡向下搬运, 并到达很深处, 这是由于含泥水体比其周围的清水比重要大一些。在此情况下, 以悬浮态搬运的沉积物在沉积地点上依次发生沉降。开始是重而大的颗粒, 然后是细小颗粒, 其结果形成了递变层, 象这类沉积层在地质记录中是很常见的 (即阿尔卑斯复理石沉积物)。奎宁的概念对了解深海沉积作用过程是十分重要的, 希曾 (B.C.Heezen) 和尤文 (M.Ewing) 于 1952 年第一次提出了有关这方面的最强有力的证据 (见第四章第三节)。此外, 奎宁对海洋地质学的发展还作出了其他很多方面的重要贡献, 在他的专著《海洋地质学》(Marine geology, New York, 1950) 和其他很多出版物中, 他广泛从事了海洋地质学各领域内的研究。

当地质学家开始采集岩心样时, 海洋沉积学方面的研究必然会导致人们去研究大洋的历史。确定深海沉积速率的德国“流星”号考察船 (1925—1927) 以及由彼得森 (Hans Pettersson) 领导的瑞典“信天翁”号考察船 (1947—1948) 是这方面研究的开创者。“信天翁”号的研究成果确定了, 在整个大洋中沉积作用旋回的发生是由于距今百万年来的 (包括几个冰期在内) 气候波动引起的 (见第九章)。目前正在由“格洛玛·挑战者”号船进行的深海钻探实施计划 (1968—目前), 已在这方面取得了最新和最大的成果, 它首次系统地研究了第三纪和白垩纪的沉积层序。

海底地貌的研究是与海洋沉积同时进行的。海岸的陆上部分人们最易到达, 因此在本世纪初就已积累了相当多的资料 (D.W.Johsson, Shore Processes and Shoreline Development, Wiley, New York, 1919)。在有关的这些课题中, 有不少其他方面的研究工作是由谢帕德 (F.P.Shepard) 和布卡特 (J.Bourcart) 完成的, 他们根据浅水区所搜集到的现场资料检验了早期提出来的一些概念。这两位海洋地质学的先驱学者通过地貌形态及其沉积作用过程的研究, 特别注意探讨了大陆边缘以及海底峡谷的成因问题。

谢帕德广泛从事过的现场调查海域有美国东海岸岸外陆架、美国西海岸岸外陆架和陆坡以及墨西哥湾湾底。他的教科书《海底地质学》(Submarine geology, New York, 1948, 曾多次再版) 总结了这方面的研究成果, 提出了海底地貌的全球性统计数值。其他一些具有代表性的专著有《西北墨西哥湾的近代沉积物》(Recent Sediments, North-West Gulf of Mexico, Tulsa, 1960 with F.B.Phleger and Tj.H.Van Andel) 和《海底峡谷和其他海谷》(Submarine Canyons and other Sea Valleys, Chicago, 1966, with R.F.Dill)。布卡特完成了法国岸外, 特别是地中海的与上相类似的地貌和沉积研究。他提出的绞合线在向陆方向抬升和向海方向下翘的大陆边缘“挠曲”概念, 证明对解释海平面横越陆架的移动以及研究陆坡上沉积物的堆积性质是很有用的 (见第二章)。

希曾是最为杰出的海洋地貌学家 (见图 P.1), 由他和撒普 (Marie Tharp) 合作编绘的海底自然地理图极深刻地洞察了海底构造和沉积作用过程。这张图目前几乎在所有地质学和地理学的教科书中被采用 (见图 1.3 和第二章第二节)。据说, 就是在没有什么资料可供使用的海区内, 希曾也具有编制出这类图的艺术才能 (诙谐话! E.C.Bullard)。他的很多研究工作已总结在有精美插图的《深渊的面貌》一书中 (The Face of the Deep, New York, 1971, 合著者为 C.D.Hollister)。

要想对洋盆和大陆边缘各种类型的全貌作出满意的解释, 看来只能依据地球物理, 因为它涉及到地球内部的运动和驱动力。地球物理学家首次阐述的并已证明是可行的大洋边缘地

貌的全球假说与气象学家魏纳格 (Alfred Wegener图P.1) 的假说是不相一致的。

魏纳格感兴趣的是与大西洋接界的一些岸线相互平行的情况 (著名的自然主义探险家亨博尔特在 1801 年就已经注意到的这些现象)。在魏纳格看来, 大陆似乎就象很多彼此可以拼合在一起的拼板一样。在非常偶然的情况下他得知, 古生物学家曾用大西洋彼此相对的岸线之间存在着陆桥的想法解释了大洋两岸化石极为类似的这一现象。然后他通过广泛查阅文献后确信, 大陆在过去曾经是连在一起的, 一直到古生代以后才分裂开来。他用大陆漂移假说替代了陆桥的概念, 他的《陆地和海洋的起源》一书 (The Origin of Continents and Oceans, Brauncchweig, 1915, 德文) 成为地质学界“本世纪末争论”的开端。他的假说是目前海底扩张和板块构造学说的一个不可缺少的组成部分 (见第一章), 这个占有统治地位的理论, 解释了洋底和地壳的地貌和地球物理总的特征 (见第一章)。正是由于地球物理工作者在海上进行了这些研究, 最终使人们接受了板块构造学说。布拉德 (E.C.Bullard 1907—1980) 在地磁、热流和地震调查方面以及尤文 (图 P.1) 及其同事们在海洋地球物理各领域内所进行的开创性工作, 对该理论的发展具有最重要的意义 (虽然尤文本身并不是海底扩张学说的倡导者)。这些科学家对说明大陆边缘的构造也进行了不少工作 (M.Ewing et al., 1937, Geophysical Investigations in the Emerged and Submerged Atlantic Coastal Plain, Bull Geol Soc Am, 51, p909; E.C.Bullard and T.F. Gaskell, 1941, Submarine Seismic Investigations, Proc Royal Soc, Ser A177, p476)。

赫斯 (图 P.1) 于 1962 年发表的研究论文《洋盆的历史》成为科学革命中的转折点, 它动摇了地球科学, 使板块构造学说的发展达到了顶峰。赫斯与丹麦的地球物理学家 维宁-迈纳茨 (F.A.Vening-Meinesz) 一起从事了深海海沟重力异常方面的十分杰出的专门调查。根据这些研究他们得出的假设是, 海沟可能是地幔对流网下降翼在地面上的表现。作为一个海军的军官, 赫斯发现并绘制了大量的平顶海山, 它们的地貌形态说明海底曾经有过广泛的下沉。以后, 根据大洋中脊一些新的发现 (裂谷地貌、热流等) 又促使他提出了海底是由大洋中脊中心处不断形成的概念, 随着年龄的增加向外向下移动, 最终消失到海沟中。“海底扩张”这个术语是由迪茨 (R.Dietz, 1961) 根据这个假设性现象引入的。“海底扩张”及随后产生的“板块构造”已成为说明很多海洋地质资料的最基本构架。在第一章我们还将论述其背景和细节方面的问题。

第一章 洋盆的起源和形态

一、海洋的深度

海洋有多深以及为什么这样深，这是海底研究中最浅显的问题。通过“挑战者”号船的航行，人们首次获得了整个深度的分布情况。图1.1表示了两种最基本的深度：接近海平面的较浅深度（陆架海）以及位于负的4—5公里之间的较深深度（正常的深洋）。连接陆架和深洋的海底部分具有过渡水深，它组成了陆坡和陆隆。有一部分海底的深度相当于通常深度的两倍：象这类深度仅出现在狭窄的沟槽系统中，主要环太平洋分布（见附录A2）。

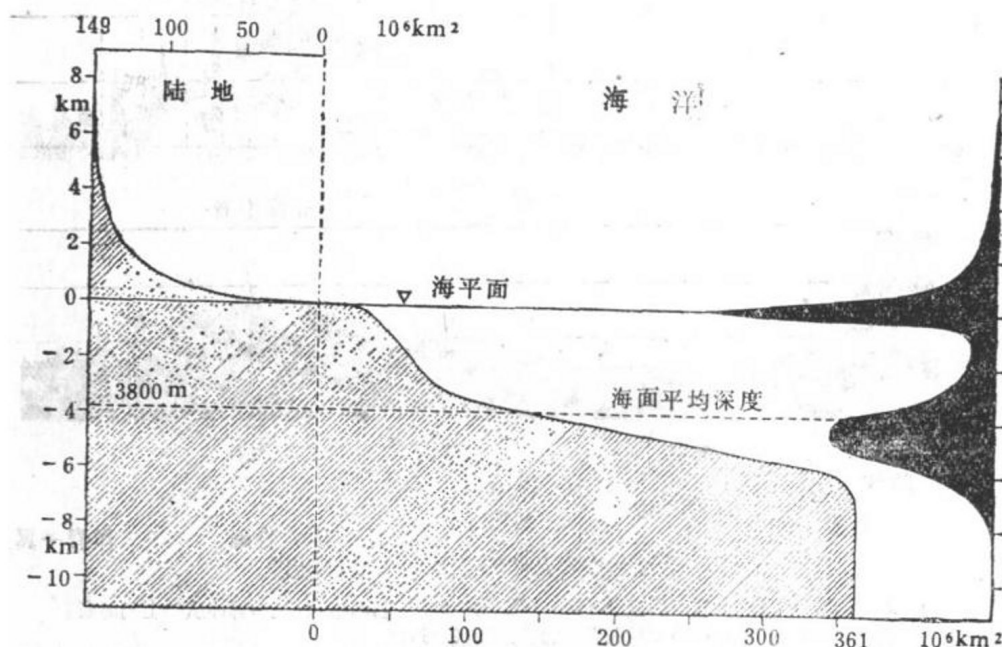


图1.1 洋底深度和陆地高度的总分布图（陆高海深曲线）

最右边是高度的频率分布

在“挑战者”号船上，测深是用繁重的测深锤进行的，即把重锤抛到海底，然后测量放出的绳缆长度。用等深线连接这些分散的测深点后，洋底看上去好象很平坦。但是当我们使用了常规的回声测深方法后才明显地揭示出海底有很大部分是由巨大的山脉组成的。它的地形起伏并不亚于阿尔卑斯山脉和内华达山脉。其中最明显的海底山脉可能是大西洋中脊，它是由著名的“流星”号考察（1925—1927年）首次发现的（图1.2）。

最近，通过尤文（M.Ewing）和他的同事拉蒙特地质研究所希曾（B.C.Heezen）的大量工作已经表明，外表上延伸很长的大西洋中脊（图1.3）实际只不过是环世界大洋中脊的

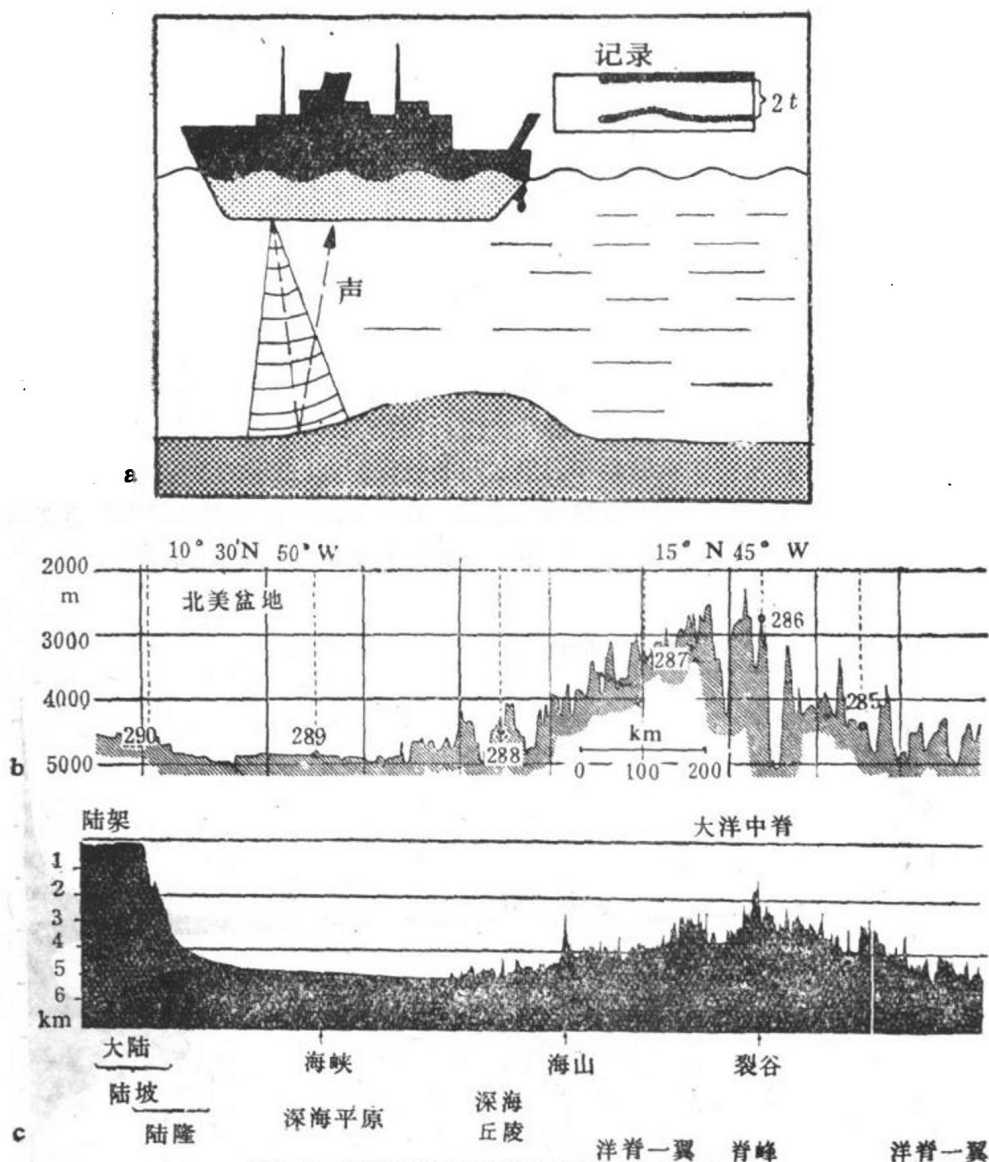


图1.2 大西洋中脊及其邻近海域的海底地形

- 连续回声测深剖面的原理。深度以 $s = v \cdot t$ 表示，式中 v 是声速， $2t$ 是声脉冲从船上到海底往返所需时间。记录由回声测深装置通过移动的纸带输出。
- 由德国“流星”号船考察（1925—1927年）所获得的回声测深记录结果。每4.5公里取一个测深点。数字为取样站位。注意中央裂谷。
- 现代地形剖面，附有表示自然地理特征的说明

一部分。

当然这是一个极其重要的发现。它证明了行星具有一个统一的地貌形态，目前已认识到的海底各个分散的小板块必须和中央板块相拟合。另一个规模比较大的洋底地形就是环太平洋分布的海沟槽系统（图1.4）。从六十年代以来，通过海底地磁、地震和热流分布的研究，大洋中脊系和海沟槽系这两种地形相互间的重要意义日益明显。到六十年代末，关于新的洋底形成于大洋中脊处，并且它向着下沉的海沟槽方向运动的假说已得到了一般的公认。

这个假说称之为“海底扩张假说”，它极为完美地解释了海底主要地形的深度分布特征。



图1.3 大西洋底的自然地理图
由国家地理学会H.C.贝蓝恩根据B.C.希曾和M.撒普的水深研究编绘的

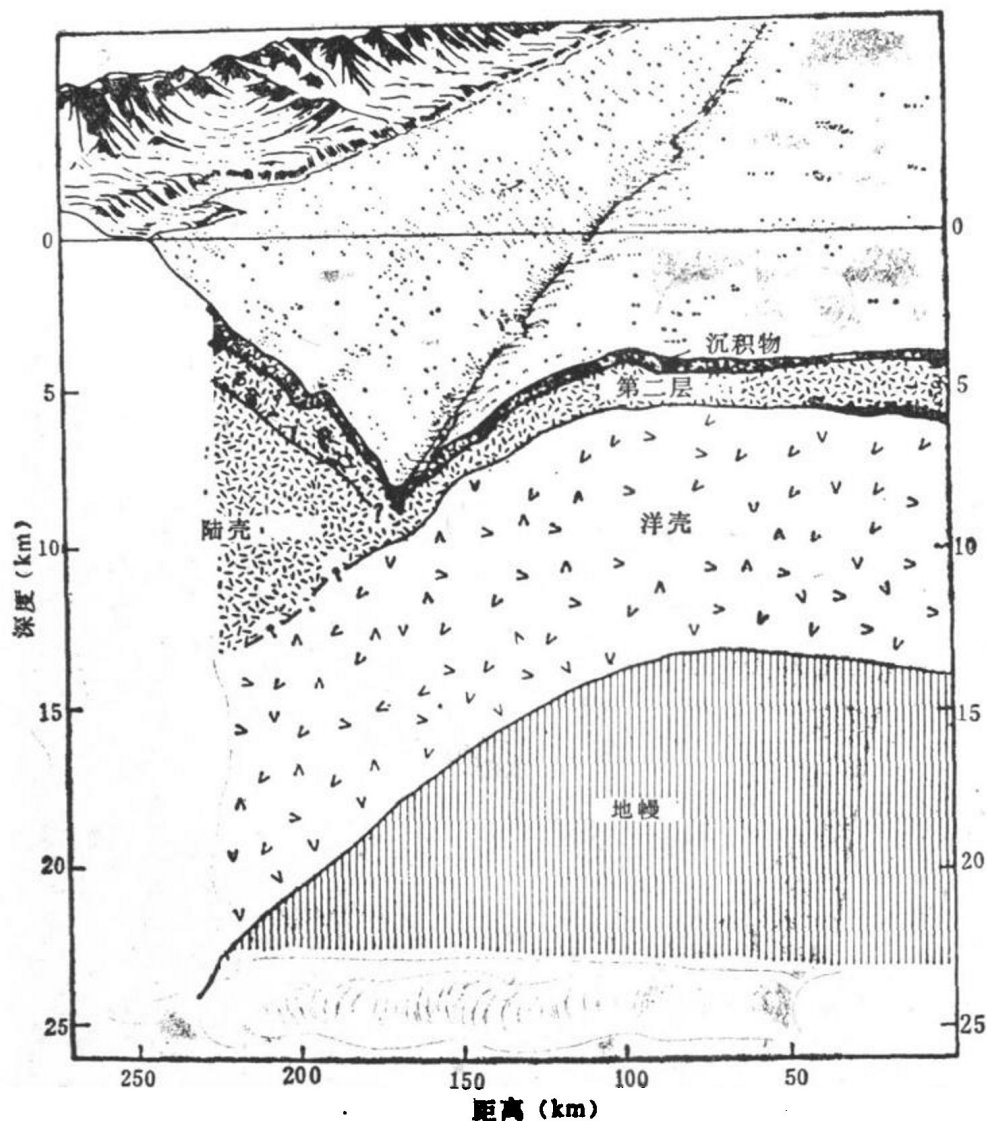


图1.4 智利北部岸外大洋边缘的地壳结构，根据地震反射研究的结果得出

(据R.L.Raith, 1962, Deep-Sea Res; 9:423)

然而，在比较详细地讨论引人注目的海底扩张概念以前，还是让我们回过头来再研究一下造成地球表面（包括洋底）的一些基本作用过程。

二、内生过程

海底与整个地球表面一样，它也是通过两类作用过程形成的，一类起源于地球内部的能，称之为内生过程，另一类起源于太阳，称之为外生过程。

地球内部的力产生了火山作用和地震；我们可以通过夏威夷的喷发、黄石公园的间歇喷泉以及加利福尼亚的地震认识到它们的存在。经过长时期的作用，由地球内部热源引起的内

力造成了山脉，如内华达山脉和喜马拉雅山脉，或产生了巨大裂谷，如死谷和莱茵地堑。我们可以合理地认为这些海底山脉是代表了内力的抬升作用的结果，而巨大的海沟则是内力使海底下陷造成的结果。当然发生这类运动在地球内部需要有物质的流动。因此物质必须上升才能形成海底山脉，而下降才能形成海沟。在海底扩张假说的模式中，地幔的跃变面被看作是这种运动必然的表现，并构成了对流系统的一部分(图1.5)。

地球内部深处的力和运动的确切性质还不可能通过取样等直接观测来加以认识。即便是最深的钻孔(大约深10公里)也只能穿过地球的表面，它们不可能穿透固体地球的最上层——地壳。陆壳大约厚20到50公里，而洋壳要薄得多，约为5公里。位于地壳下面的地幔是内力对地壳进行作用的力的源泉。地幔厚2850公里，它组成了地球物质的2/3(图1.6)。其余的1/3主要是地核(半径=3470公里)。地壳只占地球物质的0.4%。如果在一个直径为6英尺的圆球上，海洋的深度将小于1毫米厚。即使对地壳、上地幔和大陆组成的厚为100公里的岩石圈来说，它在这个圆球上所占的厚度也将比一根粗钢笔还要细。

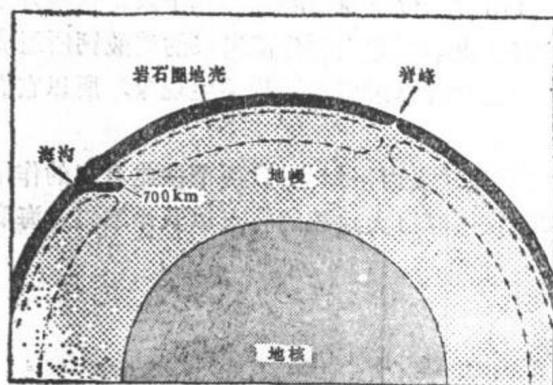


图1.5 设想中的上地幔对流系，它产生了海底扩张和大陆漂移
这是很多对流模式中的一个，它已被用来解释大洋中脊和海沟的成因

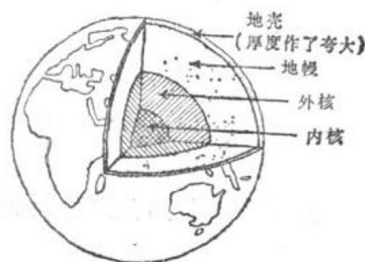


图1.6 地球的洋葱构造：地壳、地幔和地核

因此，山脉和大海沟在行星上只不过是一些很细小的皱纹。海底和大陆的运动是引起热岩庞大球体的最表面发生变化的原因。它们究竟是些什么样的岩石类型？为什么是热的？我们还了解得不很确切。根据从大洋中脊一些深裂缝中采掘到的岩石类型以及在海岭玄武岩中深钻时所揭露的岩石类型，推测它们与上地幔物质是非常的相似(参阅附录A 7)。当地幔物质在大洋中脊处上冲时，它通过压力释放，排气，特别是与海水的作用，而改变了它的性质。

热可能大部分来自放射性元素的衰变。另外，热可能来源是轻、重物质的重力分异，它首先形成了地球的洋葱构造。为了获得“来自于地幔的信息”即关于它的构造和内部作用过程资料，地球物理学家们进行了地震测量，研究了地磁场和重力场的特征。矿物学家们和岩石学家们研究了岩石在高压和高温条件下的赋存状态，地球化学家们则根据太阳系中元素丰度以及地球内部的密度分布获取了地球内部的间接证据。

三、外生作用

虽然大尺度的洋底地形是由内力塑造的，但海底也反映了外力作用的影响，即侵蚀和堆积作用过程。深海平原——直径达几百英里的极宽广的平坦海底，可作为这方面典型实例