

outh  
merica

# 海洋地球物理

## MARINE GEOPHYSICS

E. J. W. Jones 著

金翔龙 等译

Thurston  
Island

Amundsen  
Sea

Ross  
Sea

George V  
Basin

Gunnar  
Ridge

Amery  
Basin



海洋出版社



WILEY

# 海洋地球物理

E. J. W. Jones 著

金翔龙 等译

海洋出版社

2009年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

海洋地球物理/(美)琼斯(Jones, E. J. W.)著;金翔龙等译. —北京:海洋出版社, 2009. 12

书名原文: Marine Geophysics

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7650 - 3

I. ①海… II. ①琼… ②金… III. ①海洋地球物理学—文集  
IV. ①P738 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 238245 号

图字:01 - 2008 - 0655

Copyright © John Wiley & Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO 19 8SQ, England

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except under the terms of the Copyright, Designs and Patents Act 1988 or under the terms of a license issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, 90 Tottenham Court Road, London W1T 4LP, UK, without the permission in writing of the publisher. Requests to the Publisher should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, or emailed to [permreq@wiley.co.uk](mailto:permreq@wiley.co.uk), or faxed to (+44) 1243 770571.

责任编辑:项翔

责任印制:刘志恒

**海洋出版社 出版发行**

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京盛兰兄弟印刷装订有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

开本:787 mm × 1092 mm 1/16 印张:37.5

字数:756千字 定价:96.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

## 《海洋地球物理》编译人员名单

**翻译人员：**金翔龙（第1章、第12章、第13章、第14章、第15章、第16章）；赵俐红（第2章、第3章）；孙鹏（第4章）；吴振利（第5章）；张涛（第6章）；陈美（第7章）；尚继宏（第8章）；李军、章家保、刘春秋、张杰、周普志（第9章）；赵俊卿（第10章）；周建平（第11章）。

**校对人员：**金翔龙、高金耀、方银霞、赵俐红、褚春雷、叶芳

**汇总校对：**方银霞、林长松、赵俐红

**制图排版：**徐赛英

**最终校对：**金翔龙

本书的翻译出版获得了原著出版社授予的版权，刘保华研究员在促进版权洽谈过程中给予了及时的帮助，在此谨表感谢！

本书出版得到了国家海洋局海底科学重点实验室的全额资助，在此深表感谢！

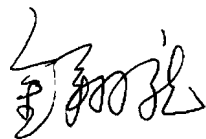
## 译者序

现将《海洋地球物理》(Marine Geophysics) 奉献给大家。Marine Geophysics 是 E. J. W. Jones 编著的系统性海洋地球物理专著, 1999 年由英国 John Wiley & Sons 有限出版公司出版。

海底科学研究在二十世纪有过辉煌的成就, 引发了整个地球科学的革命。在深海、大洋发现绵延八万多公里长的海底山系(大洋中脊山系)和相对洋中脊对称的海底地磁条带。这些重大发现促进了海底扩张说和板块构造说的形成, 推动了地球科学思想的巨大变革和整个地球科学的革命。

海洋地球物理对于二十世纪海底科学的发展有着不可磨灭的突出贡献。如其他学科一样, 海洋地球物理的快速发展和深厚实力。是与当代的技术进步密切相关的。海洋地球物理技术在对深海大洋的探测, 对人类认识地球及其随时间变化的过程具有重要的影响, 并对建立现代板块构造理论和引发地球科学革命具有关键性的作用。海洋地球物理技术对浅海和大陆边缘的探测, 在人类认识大陆边缘的形成与演化, 沉积盆地的形成, 以及寻找石油、天然气等海洋资源中占有举足轻重的地位。

《海洋地球物理》一书全面阐述了当前海洋地球物理技术的发展, 深入探讨了近一个世纪以来人们对海底探测研究的重要成果及其理论意义。因此, 本书对于探测研究海底和认识地球的发展演化具有重要的参考价值。



## 原书序

利用地球物理技术进行海洋探测有助于我们深刻理解地球及其演化的过程。深海观测对于建立现代板块构造理论非常关键，并在第一代地球物理学家出海调查时，出乎意料的将地球科学的研究拓展到了海洋领域。浅水观测揭示了大陆边缘是如何形成、沉降并被沉积物堆积覆盖的。在这些地区开展的地震和其他方法揭示了最显著的构造细节，这使得地球物理成了寻找石油和其他自然资源的一种不可缺少的工具。经过长期的发展，现在，地球物理还能告诉我们海底构造和大洋及其边缘的演化方式。

正如其他的科学一样，海洋地球物理学的迅速发展与技术的进步紧密相关。因此本书第一部分着重介绍了进行海上地球物理观测的仪器和方法。精确定位探测器和测绘海底地形对于研究固体地球是非常必要的。有关这方面的介绍在引言后的第2章和第3章中做了介绍。接着讨论了用于研究地球内部的地震技术。第6章到第10章分别介绍了用于研究海底地质的海洋重磁场、海底热损耗、电法和放射性法。第11章介绍了海上钻孔中的地球物理测量。在之后的章节里，汇总了各类观测来讨论深海底、大陆边缘和岩石圈板块汇聚区的构造及其演化。在完成各章节的编写后，我清楚地意识到现场研究、仪器开发和数据分析的重要性，但当初为了使书的篇幅合适，提得很少或被省略。为了弥补上述不足，我特向读者提供了一些在文中并未引用的文献。

本书是在与许多地球物理学家、地质学家、工程师和研究生讨论以后完成的。我有幸参与了许多大大小小从北极到赤道的海上考察。我衷心感谢所有为扩大我的科学视野而从事海洋和陆地研究的同事们，尤其要感谢 Ewing J. , Laughton T. , Talwani M. , Worzel J. 和已故的 Ewing M. , Hill M. 及 Matthews D. , 是他们的鼓励和支持促使我顺利完成了海洋地球物理这本书。



在撰写手稿的时候，我得到了许多同事所给予的各种帮助。在英国伦敦大学学院，Allan A.，Cross P.，Donovan D.，Dowman I.，Iliffe J.，Patel M. 和 Robinson E. 腾出时间跟我讨论并指出我可能会忽视的一些问题。Davis D.，Humberston J.，McKenzie J. 和 Smith T. 为我厘清了地球物理学中的一些基本物理概念。莫斯科 V. I. Vernadsky 研究所的 Udintsev G. 在深海研究方面给了我很多宝贵的意见。相关集团企业给了我很多建议、插图和未公开的报告。伦敦西方地球物理公司的 Bibby P. 和 Schlumberger GeoQuest 公司的 Deeks N. 在地震数据采集资料收集方面给我提供了大力的支持。

研究论文的作者为我提供了许多图表复制副本。Baker J.，Bolton E.，Cooper S.，Ives M.，King B. 和已故的 Lloyd A.，Nash G.，Palmer R.，Pearson O.，Stuart C.，Watkins A.，Whitehead P. 帮助起草了其他许多插图。

我很感激原始稿的评审者，他们给我提出了许多改进文本的建议。我感谢 John Wiley 出版社的 Wilkinson S.，Collison M.，Portsmouth L. 和他们的同事为本书出版所付出的辛勤劳动，感谢编辑阶段 Worrall S. 的辛勤工作。

最后，我要深深感谢我的家人，他们在我长时间的写作和出海过程中给予了忍耐和不断的鼓励。

E. J. W. Jones  
2004

# Content 目录

---

第 1 章 绪论 .....	(1)
第 2 章 海洋定位方法 .....	(21)
第 3 章 用声呐和机载激光测深技术进行海底成像 .....	(39)
第 4 章 海洋地震勘探:基本原理 .....	(76)
第 5 章 海上地震数据的采集 .....	(122)
第 6 章 海洋重力场 .....	(158)
第 7 章 海洋地磁场 .....	(199)
第 8 章 热流 .....	(245)
第 9 章 海洋电法勘探 .....	(271)
第 10 章 海底放射性勘查 .....	(305)
第 11 章 海上钻孔中的地球物理观测 .....	(326)
第 12 章 深海地球物理和大洋形态的变化 .....	(361)
第 13 章 大洋岩石圈的研究:沉积盖层 .....	(394)
第 14 章 大洋岩石圈研究:地壳基底与上地幔 .....	(427)
第 15 章 裂离和转换大陆边缘的研究 .....	(479)
第 16 章 俯冲带的研究 .....	(523)
附录 .....	(557)





# 第1章 绪论

## 1.1 引言

海洋地球物理测量是为了探测海底和地球内部的性质及其行为。这些测量不仅能满足我们对于地球组成和运行规律的好奇心，而且还具有非常实际的应用价值。通过这些测量，我们可以找到和开发那些现代工业社会赖以生存的矿物资源。随着现代科学技术的飞速发展，目前我们已经可以测量下列几项内容：

1. 地球重力加速度；
2. 地磁场；
3. 由于爆炸或地震而引发的海底地震位移和水柱中的压力变化；
4. 海底热量的传输率；
5. 海底电势；
6. 通过海底的电流；
7. 海底的放射性。

为了记录海底的地面位移、热流和电流，与固体地球直接接触或把测量仪器直接安放于海底或者安放在钻孔中是非常必要的。我们能在移动船上进行地震压力波动及地球重磁场的测量，并且用这种方法收集空间信息要远比用海底传感器收集快得多。尽管通过飞机和卫星能更快速地测定重磁场且覆盖面积大，但其分辨率较低。随着测点与海底间距离的增加，地球物理特性小尺度变化的影响逐渐减小，以至于我们无力解决单个地质特征的问题。为了能够获得更好的构造细节，我们最好能够把测量仪器安放在海底或拖在海底之上，或者干脆安放在钻孔里面。

海洋地球物理学家所采用的测量方法与陆地上的有很多相似之处，例如海底热流传输率的大小主要取决于地温梯度和热传导。由于海底的热结构往往要比陆地上的稳定得多，所以这种测量在深海中确实是要显得更为直接一些。然而海洋环境却给地球物理学家提出了更为尖锐的问题。由于大部分的测量和试验是在相隔很远的区域中进行的，所以需要有一个精确的全球覆盖的导航系统；如果连测点位置都不精确的话，那么测量得到的物理参数就会变得毫无意义。在移动船上进行重力测量时，所测得的合加速度里面包含了较大的外来加速度，我们必须加以剔除。当我们要对地磁场进行记录时，无论是在船上、潜艇上、飞机上还是卫星上，传感器必须远离记录平台的磁感应。当我们用压敏水听器探测地震波在海水



中的传播过程时，观测是在诸如船震动或水运动引起的压力波动条件下进行的。自由漂浮的仪器也会由于风或流的作用而发生相应的漂移。由于仪器是浸没在海水中的，所以它要求特殊的数据记录和数据传输到海面的方式，并且在设计时也得考虑到要能经受得起外界的流体静压力、侵蚀、拖应力和便于在恶劣海况下投放和回收的结实手柄。同时我们也必须记住，海水是一种电介质，因而海底的电流、时变磁场和电场都会受到其传导率的影响。然而，虽然由于测量平台与海底之间传导性良好和扰动的巨厚水层会造成很多困难，但实际上在海洋中的许多地球物理测量往往要比陆地上的容易而且也要快一点。

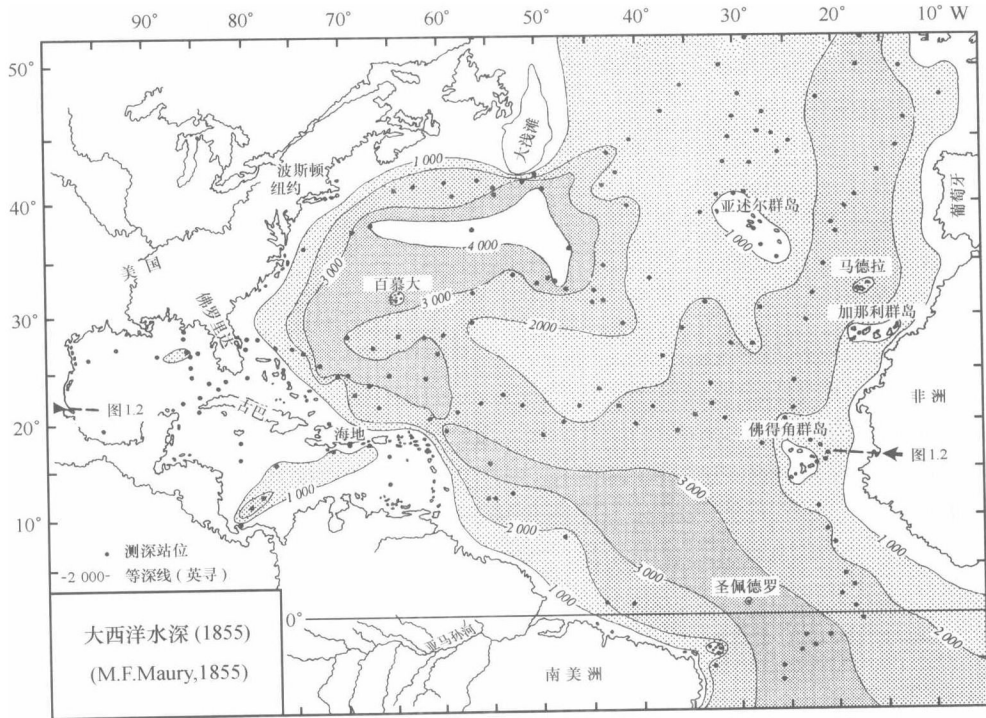


图 1.1 北大西洋水深图，据 1855 年 M. F. Maury 发表的图版重绘。水深线的单位是英寻 (fa) (1 000 fa = 1 829 m)。虽然单点回声测深的间距较大，但还是较清楚地勾画出了大陆边缘、深海盆和大西洋中脊。图上 Maury 所用的地名现在仍保留着。

## 1.2 海底地貌：地球物理测量的框架

许多海洋地球物理测量关注的是海洋中主要地形形态的结构、起源和演化的调查与研究。最早对海底地形进行测量是在 18 世纪开始的水文测量和 19 世纪的

海洋探险中采用的重锤单点水深测量。图 1.1 和图 1.2 是 1855 年 M. F. Maury 测量得到的墨西哥和西非之间的北大西洋水深图和测深剖面。虽然当时测得的深度点很少但已能清楚地揭示出毗邻大陆的浅台地、通往深海的陡坡、中大西洋的较浅区域及加勒比海边缘的深海沟。

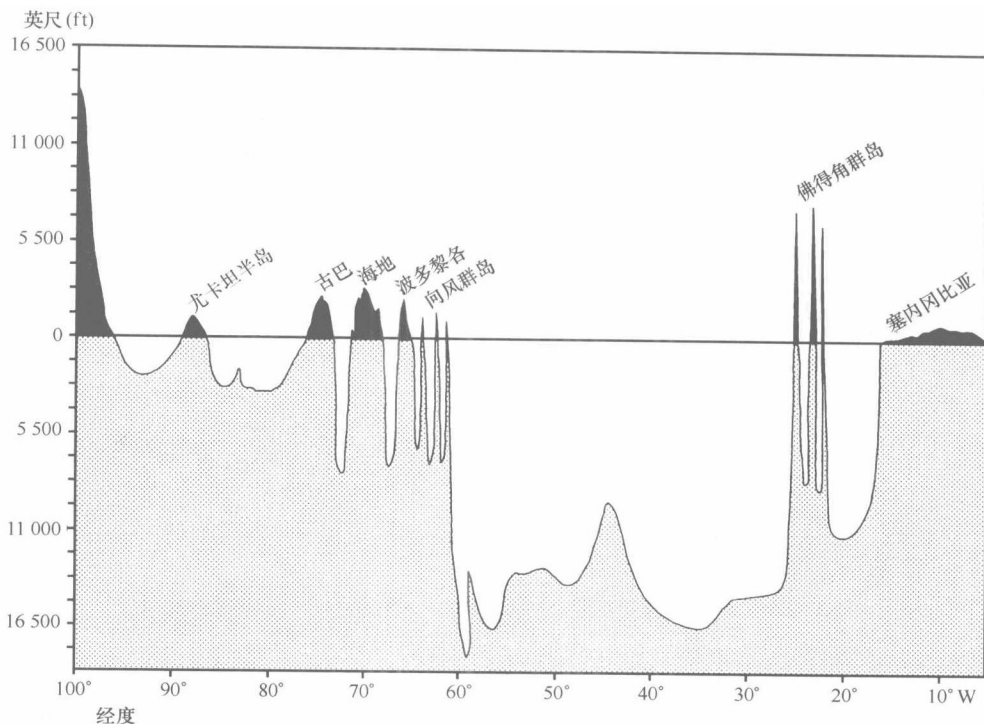


图 1.2 M. F. Maury 于 1855 年出版的墨西哥与西非间的测深剖面图。图上水深和陆地高程的单位是英尺 (ft) (5 500 ft = 1 676 m; 11 000 ft = 3 353 m; 16 500 ft = 5 029 m)。剖面的具体位置见图 1.1 中的指示。图上所标地名是 Maury 当时所用的。

图 1.3 给出了一个世纪后对该区应用电子测深技术得到的详细水深图，该图摘自 1984 年的世界大洋水深图 (GEBCO, Carte Générale Bathymétrique des Océans)。它描绘了 Maury 测深图勾画的大尺度地形特征的复杂性。从图上可知有四种海底地形：

1. 大陆边缘；
2. 深海盆；
3. 大洋中脊；
4. 深海沟。

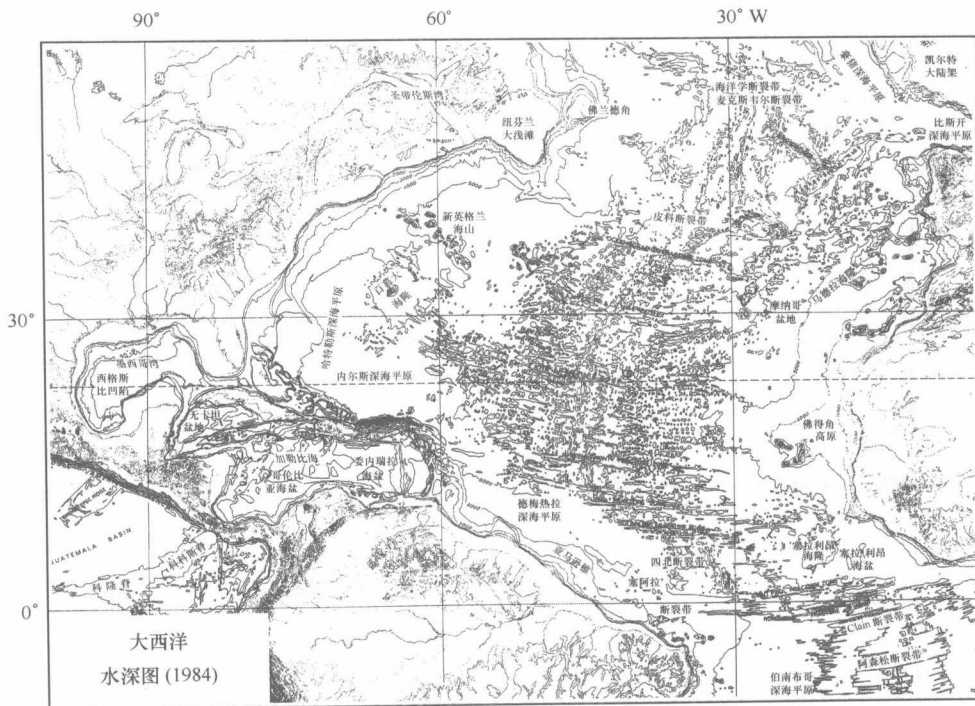


图 1.3 北大西洋的部分水深图，摘自 GEBCO。(加拿大水文测量，1984；单位：m)。

图 1.4 至图 1.6 分别给出了这四种海底地形的剖面图。大陆边缘位于大陆和水深大于 3 500 ~ 4 000 m 的海盆之间。邻近海岸区域而相对平坦的台地构成大陆架，其坡度十分平缓，平均约为 1: 1 000。陆架向外延伸到陆架坡折处，海底在此变陡，陆坡也开始于此。陆坡坡度平均约为 1: 30，很少有 1: 5 的坡度。但在海底峡谷处却发现了近垂直的坡度，如美国东部峡谷深深地切入了陆坡。在某些地区，诸如佛罗里达和几内亚，深度为 800 ~ 1 000 m 的边缘海台位于陆架和陆坡之间。

在北大西洋，陆坡延伸到水深 4 000 m 处。坡脚处出现陆隆，其平均坡度为 1: 300。在一些地区，大的海山和海山群破坏了陆隆的平滑度，有一些海山岛如百慕大群岛、佛得角群岛、加那利群岛、马德拉群岛等都露出了海面。穿过该区的深海峡使海底局部变陡。在西北非和其他一些地区陆隆延伸了几百千米而在有些地区譬如佛罗里达、几内亚等地却缺失陆隆。在波多黎各及其相邻岛屿也同样缺失陆隆，但在这里出现了另外一种重要的地形：即水深超过 7 600 m 的深海沟。该地形特征在图 1.2 Maury 绘制的剖面中就已经有所显示，这一点在用电子

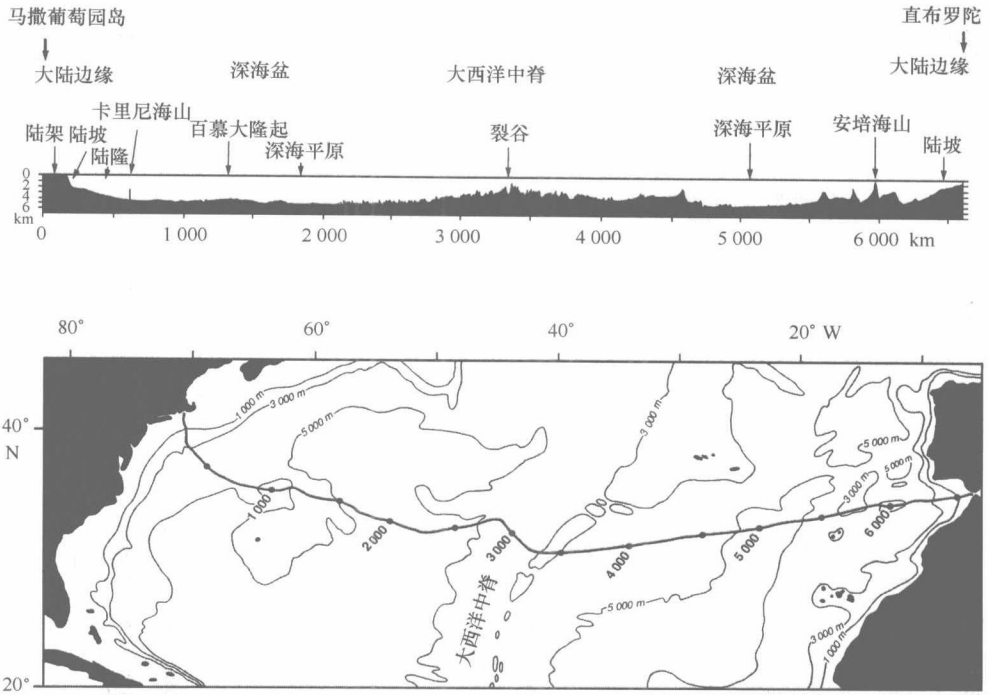


图 1.4 大西洋横穿马萨诸塞州与马撒葡萄园岛、直布罗陀之间的水深图 (Heezen et al., 1959)。

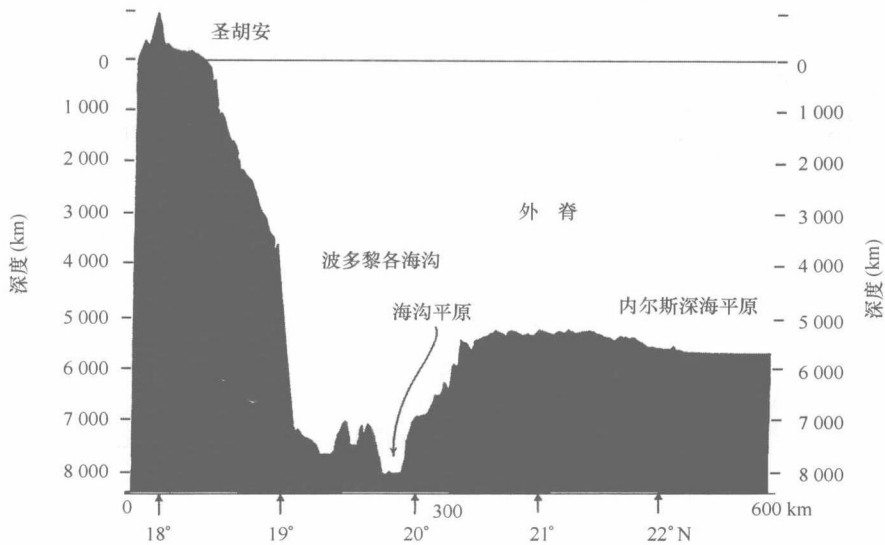


图 1.5 波多黎各海沟测深剖面图 (Ewing and Heezen, 1955)。

测深数据绘制的图（图 1.5）中看得更清楚。沿着大西洋边缘，陆隆和深海平原（Abyssal plains）（地球表面面积最大的平坦地区）混在一块，这儿的平均坡度大约为 1: 1 000。

大西洋中脊占据了北大西洋中部的 1/3，该中脊高出两侧的深海平原 2 km 以上（图 1.4 和图 1.6）。在脊顶有宽约 50 km 的深裂谷。除了脊轴被长的横切断裂带错断，表现为深峡谷和陡峭海脊以外，脊翼的地形基本上都是平行于脊顶呈线性排列（图 1.3）。在中脊的一些地方还分布着几个大的孤立海山和海山群，其中有些还高出了海平面如亚速尔群岛。在一些地区，宽的大洋隆起从大西洋中脊向外延伸，构成深海平原之间的障碍。位于大西洋赤道的塞拉里昂隆起就是这样一个地区。

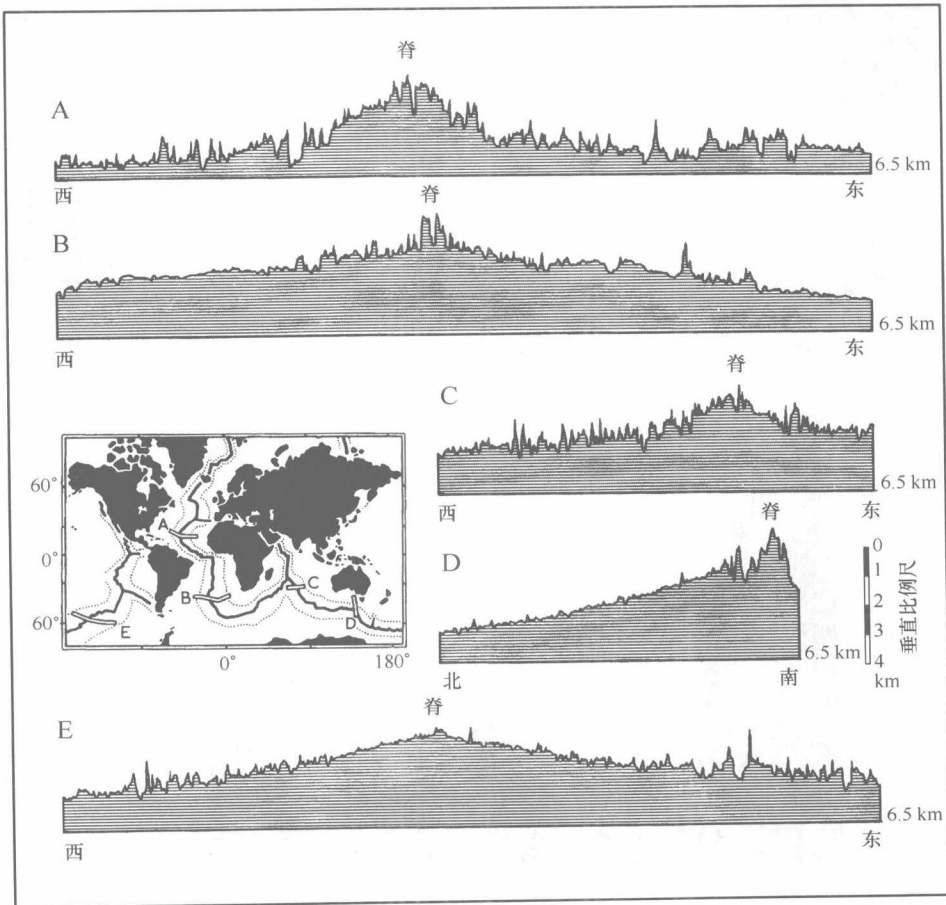


图 1.6 大洋中脊系统五个部分的测深剖面图（Heezen, 1962）。

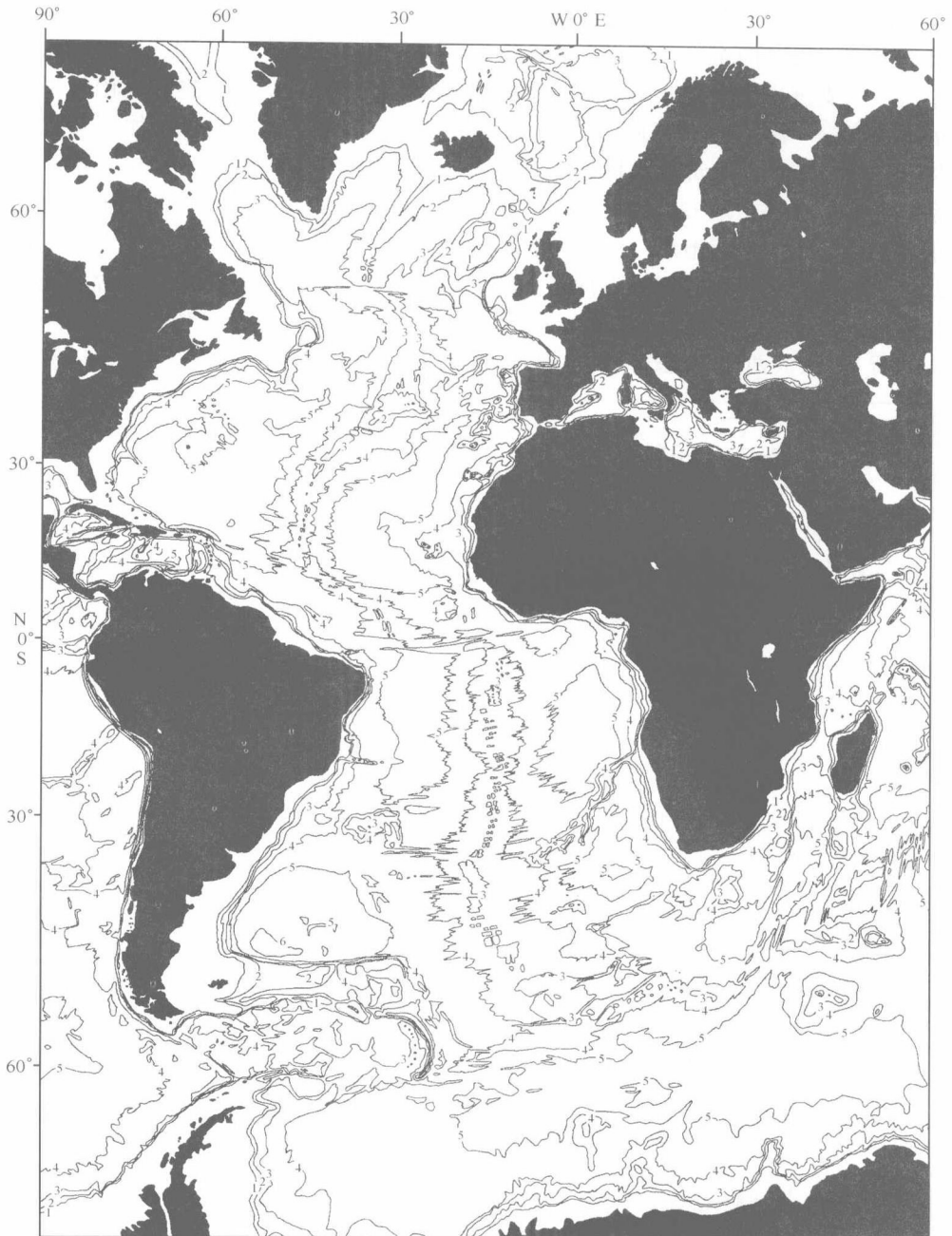


图 1.7 大西洋水深图，将 GEBCO 图简化后得到。(加拿大水文测量，1984；水深线单位：km)。

图 1.7 至图 1.10 简单地给出了世界四大洋的海底地形图。大西洋中脊向北延伸进入北极，向东进入印度洋并在这形成一倒置的“Y”形结构，一支进入亚丁湾，一支进入澳大利亚南部。在澳大利亚和南极洲之间的部分继续向南太平洋的太平洋——南极洋脊延伸，并进一步向东太平洋隆起延伸，进入加利福尼亚湾。洋脊系统的其他部分延伸进入东北太平洋。如图 1.6 沿着 8 000 km 长的洋脊系统的地形在各个地方有很大的不同，从崎岖的地形和大西洋中脊的裂轴部分到东太平洋隆起的平缓地形。深海沟主要分布在太平洋边缘。广袤的陆隆在印度洋北部的印度河和恒河河口处形成了一扇形构造（图 1.9）。印度洋也包含有几个显著的线性构造，如东经 90°海岭和几个大高原（西部的塞舌尔滩和东部的布罗肯海脊）。跟大西洋相比较，深海平原并不是太平洋的主要地形，而海山链和长

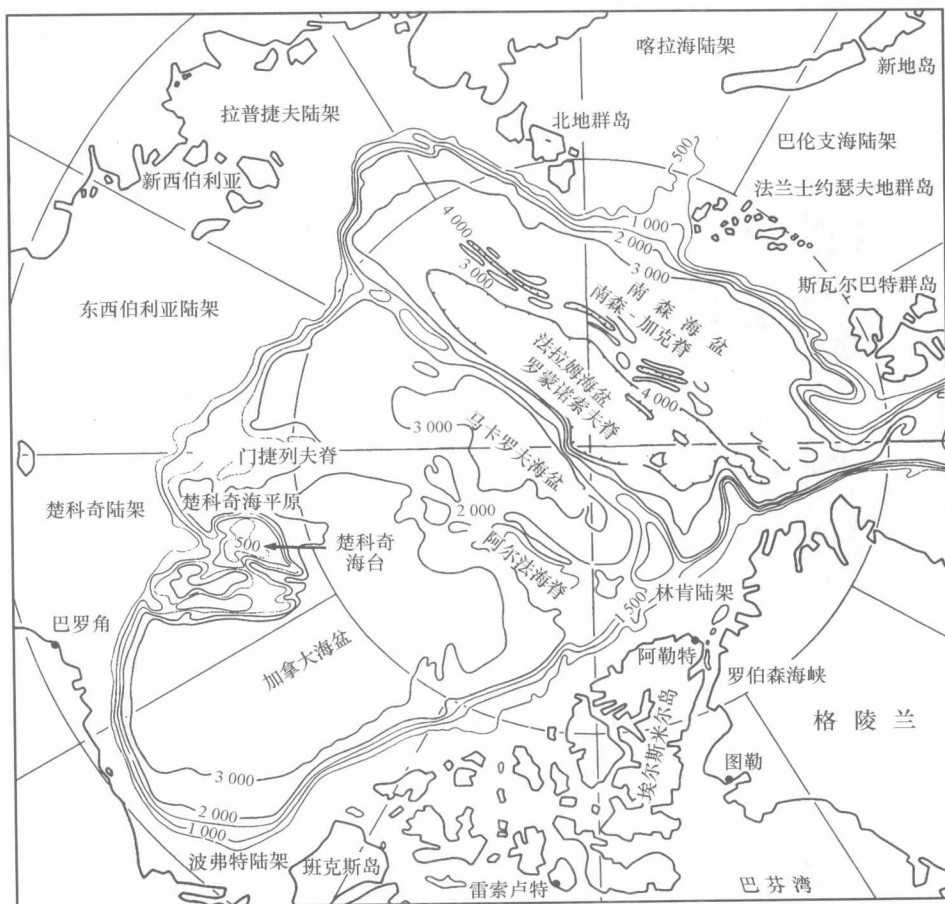


图 1.8 北冰洋水深图。(Weber and Sweeney, 1990; 单位: m)。





火山脊，如北太平洋的帝皇海山链，才是其主要的地形。

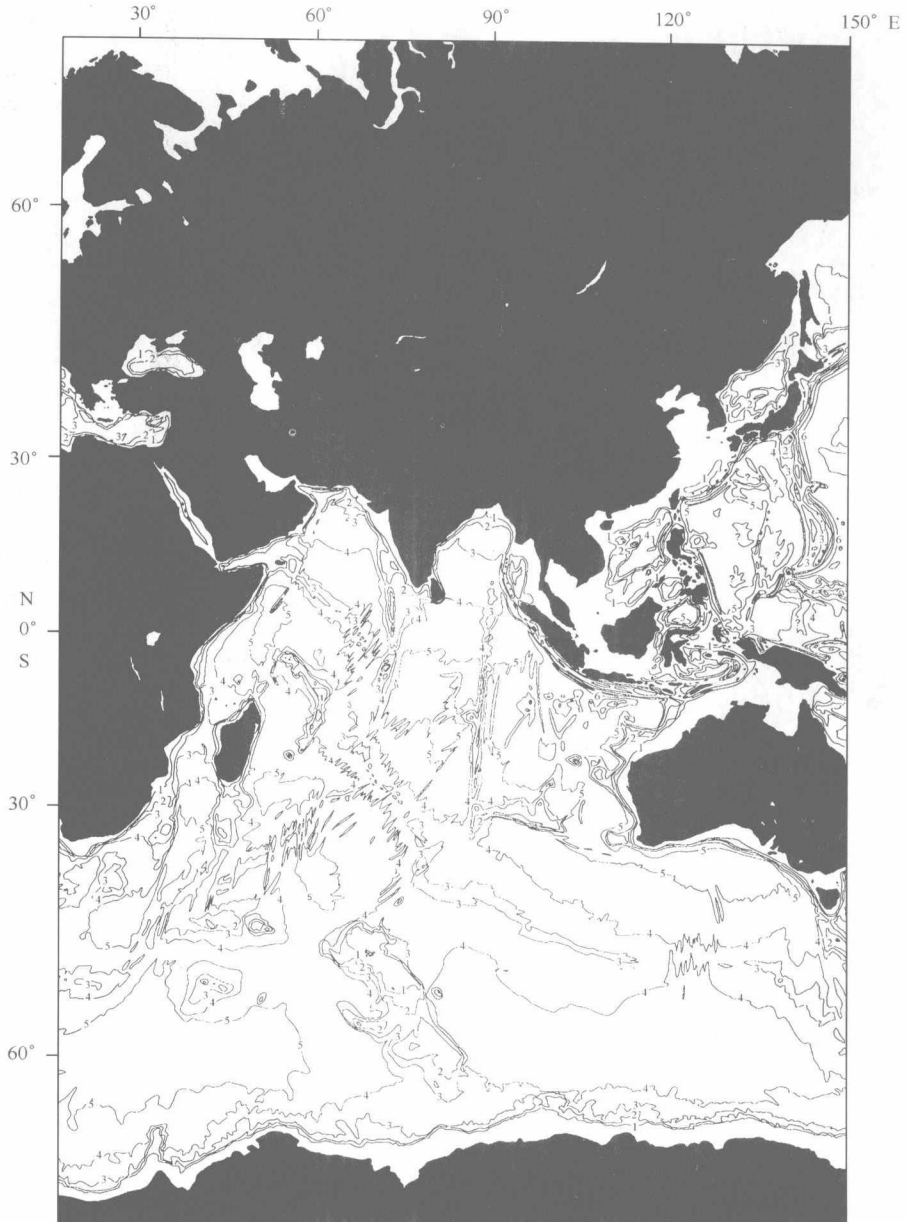


图 1.9 印度洋水深图，将 GEBCO 图简化后得到的。(加拿大水文测量，1984；水深线单位：km)。