

56.388

03251

[美] F. P. 谢帕德 著

地质海洋学

海岸、大陆边缘和深海底的演化

388

51

科学出版社

56.388

03251

地质海洋学

——海岸、大陆边缘和深海底的演化

[美] F. P. 谢帕德 著

苏宗伟 张立政 王人龙等 译

科学出版社

1981

内 容 简 介

本书根据海洋地质学家 F. P. 谢帕德博士在澳大利亚悉尼大学所作海洋科学讲座的讲稿整理编纂而成。作者以其广博的学识,用通俗的语言论述了海洋地质学的各个方面问题,基本上概括了这一科学领域的最新成就。全书图文并茂,是一部较好的科学普及作品,可供初学海洋学或非海洋专业的学生及有关科技工作者参考。

Francis P. Shepard

GEOLOGICAL OCEANOGRAPHY

*Evolution of Coasts, Continental
Margins, and the Deep-Sea Floor*

Heinemann, London, 1978

地 质 海 洋 学

——海岸、大陆边缘和深海底的演化

[美] F. P. 谢帕德 著

苏宗伟 张立政 王人龙等 译

责任编辑 苏宗伟

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

*

1981 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1981 年 12 月第一次印刷 印张: 9 插页: 3

印数: 0001—1,730 字数: 203,000

统一书号: 13031·1715

本社书号: 2342·13—14

定价: 2.20 元

译 者 的 话

人类赖以生存的地球表面约有四分之三为海洋所覆盖。从事地质工作的人如果不去了解海洋，特别是海底的情况，则将无从解释各式各样的地质现象以及推知其历史状况，更无从展望地表环境的演变趋势。近二、三十年来，海洋调查工作迅猛发展，海洋地质学的辉煌成就不仅填补了地质学领域的某些空白，而且以雄辩的实证校正了许多似乎早已成为定论的那些不正确的概念。譬如，在深海底原认为非常稳定的区域，似乎只有富含有机物的灰质软泥堆积，现已查明，那里有强劲的海流，一点儿也不平静，而且在大陆坡还发现了比陆地上的大峡谷还要大得多的海底峡谷。

五十年代以前还处于反对观点沉重压抑下的大陆漂移说，如今已从海洋地质科学研究领域中崛起，正以其海底扩张——大陆漂移——板块构造这一整套理论体系逐步形成，并且其深远影响遍及地学的各个领域。在这个问题上，如果没有大规模的海洋调查，特别是海洋地球物理工作和深海钻探计划的实施，则大陆漂移说可能还得徘徊在二十年代魏格纳的假说水平上，那末地质科学研究的局面就大不一样了。

从进一步扩大矿产资源远景储量的角度来看，海洋（特别是深海底）的潜力毫不逊色于其作为人类获取丰富的高蛋白质食品的后备基地的光明前景。这是因为海洋地质工作业已查明深海底某些部位有成带分布的正在形成中的高品位多金属铁锰结核，只待一旦开发工艺技术过关，便可为人类提供无法估量的物质财富。

美国斯克里普斯海洋研究所的荣誉教授弗朗西斯·谢帕德博士的这本《地质海洋学》著作是他在澳大利亚悉尼大学所作一系列海洋科学演讲的讲稿整理编纂而成的。作者以其丰富的海洋地质学识和通俗的语言成功地论述了十个重要课题，对初学海洋科学或者非海洋地质专业的读者都有一定的参考价值，因为他几乎把近年来这方面的科学进展都概括进来了。

参加本书翻译工作的有：王人龙（第一、十一章）、苏宗伟（第二、八章）、张立政（第三、四章）、周明鉴（第五章）、李增全（第六、七章）、石永泰（第九、十章）等同志，原作者序言由衣晓云同志译出。初稿译成后，均经相互校订，统一术语，并力求语调风格上前后协调。第三、四两章由李磊、赵徐懿同志校订。所以，这实际上是集体劳动的结果，但由于水平所限，译文难免错漏，望读者不吝指正。

1979年10月于北京

序 言

在十八世纪,地质学家们就发现了大陆上的大部分沉积岩都是在海洋里沉积的。只是到了二十世纪中叶,地质学家们才开始进行大规模的海洋地质研究,以探索今天大洋中的变化,包括阐明沉积岩成因并探索漫长的地质时期中大洋的演变。自从人们认识到地质科学上的这一大段空白以来,在各种科学刊物上涌现了大量的文献。这些文献是以指数曲线形式增长的,以致新的论据与新论点两者不可能一直保持齐头并进的状态。本书试图向初学者和感兴趣的读者概括介绍海洋地质学这个新领域的一些研究成果,试图以通俗的语言及简单的叙述来阐明高深的专业性书刊中的研究成果。

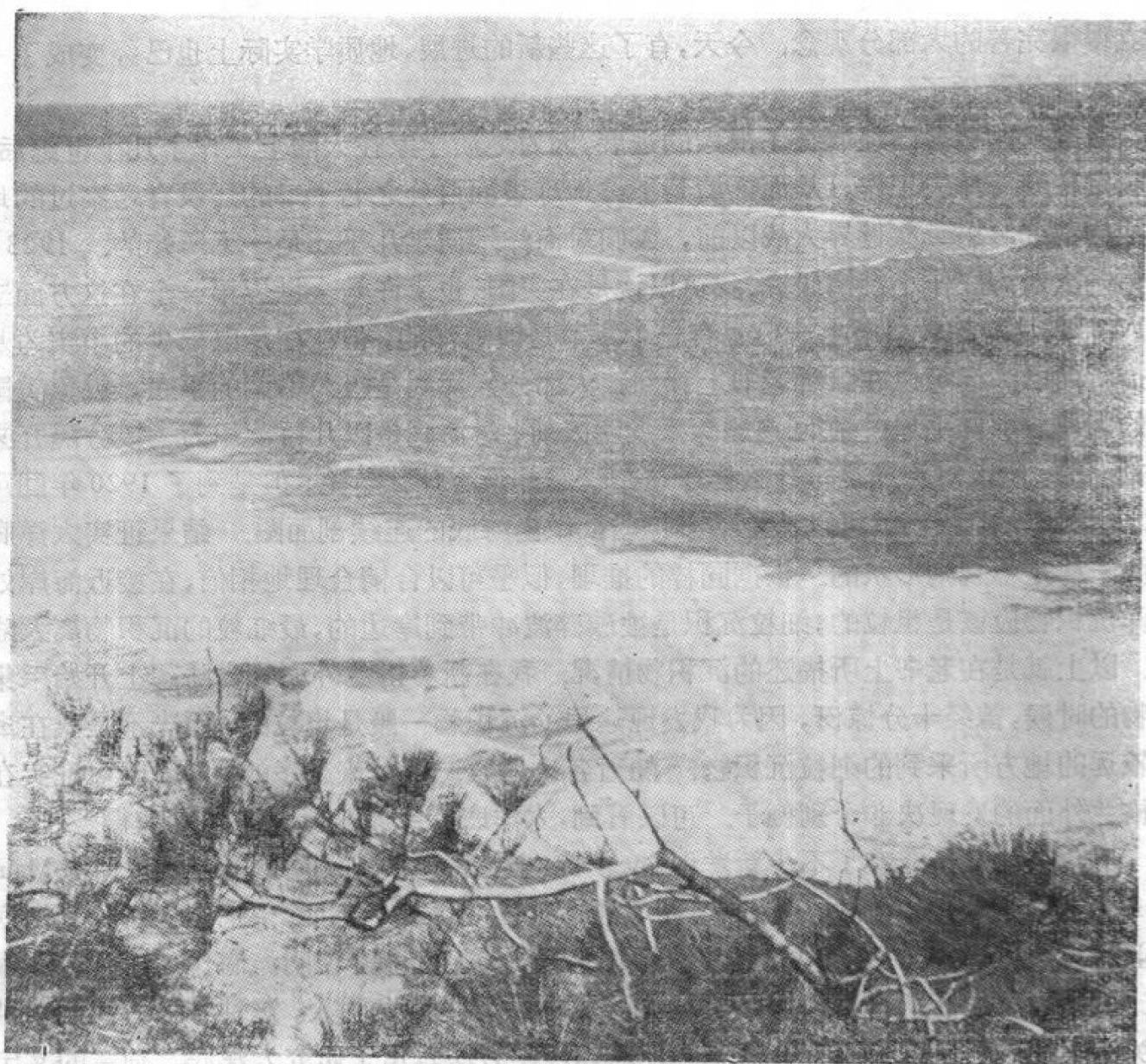
这些研究成果包含着革命性的新观点,这种新思想的产生,是由于地质学家和地球物理学家们采用了在五十年前连想都不敢想的新装备和新技术对世界上各大洋进行海上调查的结果。这些新资料的大量涌现,不仅大大改变了科学家们过去对有关地球历史的一些观点,而且对未来的世界经济和我们的工业潜力都将有巨大的影响。人们过去认为快要用光了的资源,今天却正在海底及其深部大量发现。

全书涉及的距离单位用英尺和英里表示,但为了便于换算成公制,还在圆括号里加注了米和公里。有些用英寻表示的深度(一英寻等于六英尺),也已换算成了米制。可是在一些地方深度只有用海里表示才较为合适,一海里等于 6,080 英尺。

感谢我的同事爱德华·布拉德爵士、罗伯特·阿瑟和 E. L. 温特勒博士,他们分别对本书的第二、三、十一章提出了有益的建议,我妻子伊丽莎白·谢帕德,帮助统一了全书的文风,帕特里克·麦克洛林和尼尔·马歇尔对插图提出了宝贵的意见。南斯·诺思对文献目录编排曾给予特别的帮助。

目 录

译者的话	ii
序 言	iii
第一章 绪论	1
第二章 新洋盆形成与大陆滑移	5
第三章 波浪和海流——不稳定的海洋	17
第四章 灾难性的波浪	29
第五章 为什么海岸会是各式各样的?	36
第六章 我们的海滩将会消失吗?	46
第七章 海岸线在历史时期中的变化	61
第八章 大陆架及其宝藏	78
第九章 珊瑚礁奇境	96
第十章 切割大陆坡的大峡谷	104
第十一章 深海底	121
地质年表	137
图版 I—III	



第一章 绪 论

诺贝尔奖金获得者哈罗德·尤里 (Harold C. Urey) 在要得到美国地质学会授与的第二次奖金的时候, 回忆说: 当他在本世纪初学习地质学时, 实际上并不喜欢这门科学。这倒是令人费解的一件事情: 为什么这么一位对科学有很大影响, 而又兴趣这样广泛的人物, 竟然并没有因为他最早接触到地质学而喜欢上地质学, 可是地质学又恰恰是一门涉及到地球发展到现在这种状况的迷人历史的科学。但是地质学在那个时候的确不像它今天这样动人。地质学曾经过这样一个发展阶段, 即当时有几位知名教授认为他们已经解决了这门科学上的重要问题了, 所以就教育他们的学生要把他们的那一套当作宗教信条一样去信奉。我记得我在学生时代, 曾经因为为什么在好多问题没有解决以前, 我还不是一位地质学家而深感遗憾。当然这一切都是在地质学发生了重大变革以前的事了。六十年代, 我们突然发现, 我们正在放弃我们这颗行星是按部就班演化的大部分基本原理, 而接受了原先像是预言般梦想一样的大陆在一块一块地分裂和新的海洋还在形成等等新的学说。地质学史上的许多难题, 突然间开始得到解答; 我们也开始在放弃我们过去曾经认为

建立得很完善的大部分观念。今天,有了这些新的进展,地质学实际上也已经变成了一门引人入胜的科学了。

这些新的概念已经取得了很大的进展,因为地质学家在大陆上工作了几个世纪后,终于决定转向海洋去工作,从而弄清楚了占地球表面百分之七十二的还没有考察过的地区下面的情况。第二次世界大战以前,人们对海洋地质学几乎还是一无所知的。1923年,我第一次对海底作小规模研究,我可以说是在美国,也或许是全世界第一个在这方面工作的人。在从前的教科书上一般也有一个章节是谈海洋的,但往往是以很少的事实为基础的推断而已。你可以在这种老书上读到,大部分大洋底是极为单调的平底,就象美国中部的大草原那样平坦。在回声测深术发明以前,对海底是以几百英里为一段分隔开来探测剖面的,所以对海底是个什么样子这个课题并没有什么争论;但是到了1920年回声测深术出现以后,我们就可以甚至不必停船就做出海底的连续剖面图。结果证实大洋底和大陆一样是不规则形状的。根据同样的推理,似乎可以合情合理地相信,在接近海岸处的大洋沉积物应该是粗粒的,细粒沉积是被破碎波冲带到岸边的,最细粒的沉积物离大陆更远。以上就是在老书上所描述的沉积物情况。我在新英格兰外面的大陆架上开始采集沉积物的时候,曾经十分惊讶,因为我发现这里的沉积物一般是粗粒的,而决不是我在离岸比较远的地方所采到的细粒沉积物。随着各次考察取得越来越多的标本,已可证实在新英格兰外面的发现决非个别例子。可以看到,大洋底要比原来所认为的复杂得多。

不久以后又相继有了不少新发现。拉蒙特-多赫蒂地质观测所的莫里斯·尤因(Maurice Ewing)从三十年代就开始了他的革新生涯。他发明了许多东西,象把照相机投到海底去作业的海底摄影术。我们从这种海底照相上开始找到证据,说明海底作用过程在深水中要比原来想象的活跃得多。尤因也是声传播方法的主要发明人,这种方法为我们提供了有关海底的最早认识。还有其他一些地球物理学方法也用于研究大洋底。荷兰的文宁·迈内兹(Vening Meinesz)首先在一艘潜艇上测定重力。剑桥大学的爱德华·布拉德爵士(Sir Edward Bullard)和斯克里普斯海洋研究所的罗杰·雷维尔(Roger Revelle)开始用固着在海底的探测器来测定地热;现在在斯克里普斯海洋研究所的维克多·瓦奎(Victor Vacquier)则着手测定海底的磁性。所有上述方法都已取得了惊人的结果。

终于科学家们决定,是用深潜器来观察海底的时候了。1945年,奥古斯特·皮卡德(Auguste Piccard)建造了一艘基本上是一个潜水钟式的充油航海气球的深潜器(Bathyscaphe),并作了第一次深潜洋底作业。不久以后,雅克·库斯托(Jacques Cousteau)紧接着在“潜水碟”号上作出了卓越的考察结果。后来又制作出了不少深海潜水器。这样,地质学家终于得到了机会到水下去实地观察他们的仪器在陆上作业所探测到的那些有意义的特征。在第二次世界大战期间,库斯托和埃米尔·盖格南(Emile Gagnan)第一次发明了现在称为“斯库巴”的潜水器,地质学家们就可以亲自去观察浅海底了。

洋底钻探为我们提供了丰富的资料宝藏。我们揭开了好多古老的沉陷陆地的秘密;发现了大量的地磁倒转资料;填补了许多地球历史中的空白。发掘到了珍贵的化石。现在北半球的一些地区已被发现原来是在南半球上的。钻探表明,大洋底下的地壳曾经相当活跃地在大陆底下滑动,所以我们向下打钻所碰到的沉积物决不会和陆上发现的最早期海洋沉积物一样老。

1872—1876年英国“挑战者”号考察船的活动为科学家第一次提供了材料,说明大洋

盆地的本质是什么东西。但是一直到第一次世界大战前有关这方面的进展并不大，因为当时人们感兴趣的是向海底发出声波去寻找是否有潜艇而已。我们现在知道，海洋哺乳动物多少年来就是用这种方法透过漆黑的海水来获得隐藏的食物。大战结束后，科学家应用回声的方法来测出船底下的水深，这样不久就发明了回声测深法。这种测深法是测定从发出一个信号到收到一个回波的时间，回声在最深的水中传播只需要几秒钟；而与之相比，用古老的垂直投锤法，在一根绳索上缚上一块重锤，投下大海再观察吊在船下绳索的长度，却要用半天时间。虽然第二次世界大战有毁灭文明的危险，但这次大战却又促进了许多重要的科学发明。为了试验用不同的声频来找到潜艇，科学家发现，低频可以使声波通过海底并从深埋岩层反射回来。这种声发射方法使得海洋地质学领域发生了根本性的变化。这种方法不但科学受益，甚至连工业，特别是在寻找新能源方面，确定石油产地提供了新途径。在很多毗邻大陆地区的地点，本来并没有什么产油的征兆，但是现在毗邻的海底地区却找到有储量极为丰富的油田，这大部分是海底探测的成果。

陆地和海洋的交界处称为滨线或海岸，它们值得人们去好好研究，主要是因为它们太变化多端了。人们喜欢住在靠近海洋的地方，一来是因为海洋是巨大的食物来源地；另一方面是海岸地区风光绮丽，在海里游泳更是一件惬意的事。更有一层道理是，沿海气候几乎总是宜人的，冬暖夏凉。但是，沿海的住宅大多是修筑在靠近海边的沙滩平台上的，这里又恰好是海岸线上最容易遭受大自然急剧变化的地方。一场大风暴或异常高潮位（地震海啸或津波）就可能把那些盖在接近大洋、得以饱览海洋绮丽风光的房屋摧毁。我们逐渐学会了在盖房子的时候怎样避开这种危险地点，同时也找到了怎样保护已经修建在那里的各种设施的办法。几年前，我们对能引起地震的大海潮和在飓风时引起侵入大陆的大型风暴潮方面的知识还不多；但是现在这几种天灾的为害情况已经很好地记录下来了，我们正在研究怎样去减少这些自然灾害所造成的损失。

地质学教授们从前对他们的学生说，深洋底是被海洋中的微体动物的石灰质或硅质的遗骸所覆盖的，只有在极深的地方这种有机遗骸因为分解了，所以是一种红色粘土覆盖着洋底。现在，由于我们从深洋里采到了大量沉积物，我们发现在深海沉积物中并不是没有砂。尽管褐色粘土在深海沉积中很常见，但是象这种红色粘土实际上还是极为罕见的。有一件使我们十分惊异的事情，那就是发现在不少广阔的海底铺满了圆形的锰结核。这种锰结核中还含有大量的钴和镍，现在正计划在海上用船和巨大的采掘器去挖取。甚至有人设想，这种类型的矿产将来总会取代陆地上的矿产的，至少对钴和镍这两种金属来说是这样。

今天，我们通过大量的斯库巴深潜活动和戴上面具潜入海底进行考察，对盛产于热带地区的珊瑚礁的知识就掌握得更多了。只是从第二次世界大战以来我们才充分领会到一百多年前查理·达尔文（Charles Darwin）提出的那个学说的重要意义。达尔文的设想是，所谓环礁的那种环状珊瑚礁是珊瑚虫环绕海洋火山生长的结果。当珊瑚礁向上生长的時候，这些海洋火山却是向下沉陷，最后峰顶完全淹没，只留下周围的礁。我们发现在海洋中是有很多平顶海山的，它们在海面以下可深达一英里。有人认为，这种平顶海山就是下沉的浅滩，当它们下沉时，就不能再有向上生长的珊瑚群体继续堆积成接近海平面的礁台了。

近年来还有一个令人兴奋的发现，就是在大陆边缘，特别是在大西洋两岸的深洋底上

耸立有无数卵圆顶的小丘。这种卵圆顶的小丘在一些大部分是被陆地包围的很深的内陆海中也有,其中最著名的就是地中海和墨西哥湾。根据钻探的结果,我们现在确认,它们大部分是盐丘。这种盐丘是被覆盖洋底的沉积物挤压上来的,它们相当于那种在证实可以在大陆和大陆架上找到石油方面有巨大价值的盐丘。存在有大量厚达几千英尺并覆盖广大地区的组成盐丘的盐层,意味着巨大的盐湖或盐海只能在干旱到足以使水分蒸发并浓缩水分中的盐分在海底沉积成厚盐层的天气条件下才能存在。为什么这种情况能在那些大洋发源地发生的呢?还有很多有关大洋底的谜,只是到了今天我们想我们才有可能来着手解答了。很明显,我们是置身在一部精彩的侦探小说中间了,由于我们在海洋学中的一些新方法,很快就能获得资料,这样我们现在也就可以去推究许多过去看来几乎是无法理解的许多陌生的东西了。

(王人龙译)

补 充 书 目

Davis, R. A., Jr., *Principles of Oceanography* (Menlo Park, California: Addison-Wesley Publ. Co., 1972), Ch.1.
Ross, D. A., *Introduction to Oceanography*. (New York: Appleton-Century-Crofts, 1970), pp. 29—40.



第二章 新洋盆形成与大陆滑移

我想，用几乎把大多数地质界人士都卷进其漩涡的大陆漂移说来作本书的开头也许是适当的。起初，这个假说称为漂移的大陆（drifting continent），概念也欠明确，主要是奥地利气象学家阿尔弗列德·魏格纳（Alfred Wegner）发展起来的。他的德文著作《大陆与大洋之起源》（第一版）发表于1912年，1924年被译成英文出版。魏格纳认为，古代大陆（包括古生代和早期中生代的所有大陆区）原是一个整体，叫联合古陆（Pangaea）（图2-1）。约于距今1亿3千5百万年前，这块广袤的大陆破裂分离，今天的北美洲和南美洲就是联合古陆的碎块，离开非洲大陆和欧亚大陆往西漂移，其裂口就造成现在的大西洋。大致与此同时，南极洲和北方大陆分开，后者往北漂移；从非洲西边和澳大利亚东边撕裂下来一块陆地，就是今天所见到的印度。印度漂移的距离最长，最后撞到南亚大陆上。澳大利亚则漂移到亚洲大陆迤东偏南的位置上。

魏格纳对他的假说作过许多论证。当把美洲东海岸大陆架边缘沿地球表面向东挪动直抵欧洲、非洲西海岸大陆架时，就会看到大西洋两侧的确显现出很好地拟合（图2-2）。而且，地质学家多年来都知道，南美洲、非洲南部、印度和澳大利亚在石炭-二叠纪（大约1亿8千万年前）时曾发生过大面积的冰川作用，而这些大陆现在都位于低纬度地带，并且

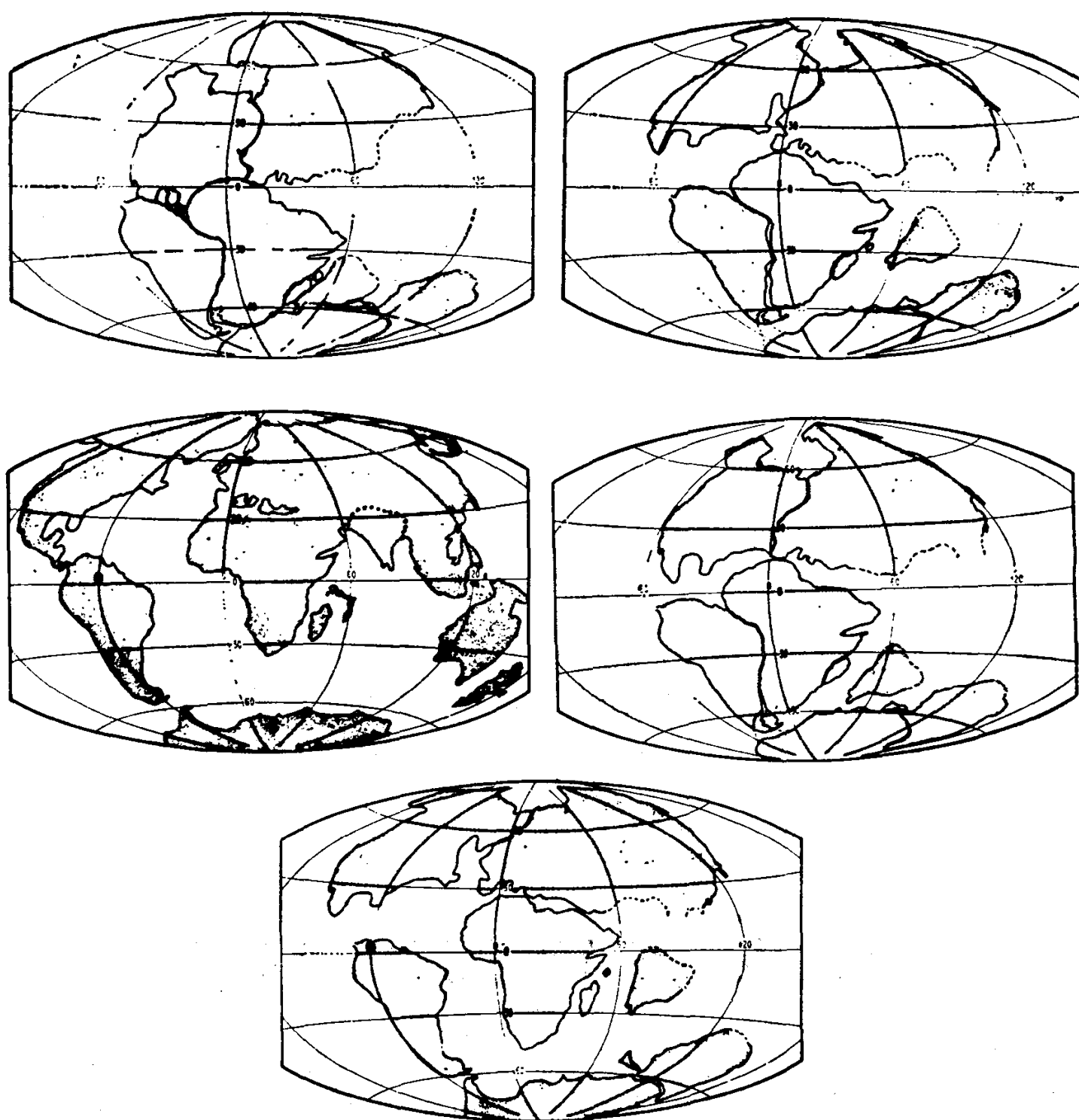


图 2-1 联合古陆之解体
(据 Dietz, P. S. and J. C. Holden, 1970)

多数是热带。因此,魏格纳断定,这些大陆一度集结于南极附近。他还注意到,大西洋两边的古生代和早期中生代化石极为相似。非洲南部、印度和澳大利亚的同时代的化石也存在着相似性。魏格纳甚至认为,大西洋两边的一些山脉正好构成两边大陆边界上的陡缘,而这些陡峭的边缘正好按照原先推断的大陆拼接方式相互吻合。

魏格纳的假说在非洲南部和南美洲流行起来了,但却招致了大多数美国地质学家以及许多欧洲地质学家的反对。巨大的陆块怎能象航船一样在固态的地球内层上面滑动呢?更不用说动辄滑移几千英里了。有人不承认大西洋两边大陆的拟合,或者说这只不过是巧合而已,而另有一些人则主张,这是地球早期熔融阶段遗留下来的痕迹,即当时大陆刚刚固结,而大洋盆地还处于熔融状态,大陆就象航船一样在洋盆上滑动,从而造成今日

所见大陆边缘的形态上的拟合。至于大西洋两边大陆上化石的极其相似则被解释为，北方大陆间有一狭窄的海峡，使生物得以迁徙；或者说，昔日曾有一个联结两个大陆的“陆桥”，后来经过沧桑巨变又被深海所淹没，生物当时就是通过这种陆桥迁移的。

石油地质学家对南美和非洲南部进行详细调查以及其它地质学家对南极洲考察之后，许多人已转到支持大陆漂移说的立场，但是多数地质学家仍然以一系列未获解决的疑难问题而有所保留。到本世纪六十年代，由于人们对大洋的工作深入了，知识增长了，终于打破了沉闷的局面。两位美国海洋地质学家，普林斯顿大学的哈利·赫斯 (Harry Hess, 1962) 和国家海洋与大气局的罗伯特·迪茨 (Robert Dietz, 1961) 差不多同时提出新的假说。迪茨把这个有关大陆漂移的假说称为海底扩张 (sea-floor spreading)。新发现在大西洋中央有一巨大的山脊，沿山脊的长度是一个陡峭的深谷，犹如非洲大裂谷，表明大西洋中部存在一个大的裂缝，并且正在被拉开，岩浆就从大洋地壳下面的熔岩层流注到裂缝中来。因此，伴随裂缝的拉张，岩浆一面充填一面固结，再充填再固结，其结果就导致洋底的不断展宽 (图 2-3)。这个理论与魏格纳的假说有某些实质性差别，但较便于阐明新的科学发现。简单明了地说，上升到巨大的大陆裂缝中的熔岩要比两旁的老大陆下面的岩石重一些，由于重力作用，熔岩就停留在比大陆为低的水平上。作为一种必然的趋势，熔岩固结后，海洋水体被压缩拉长，就象今天的加利福尼亚湾或

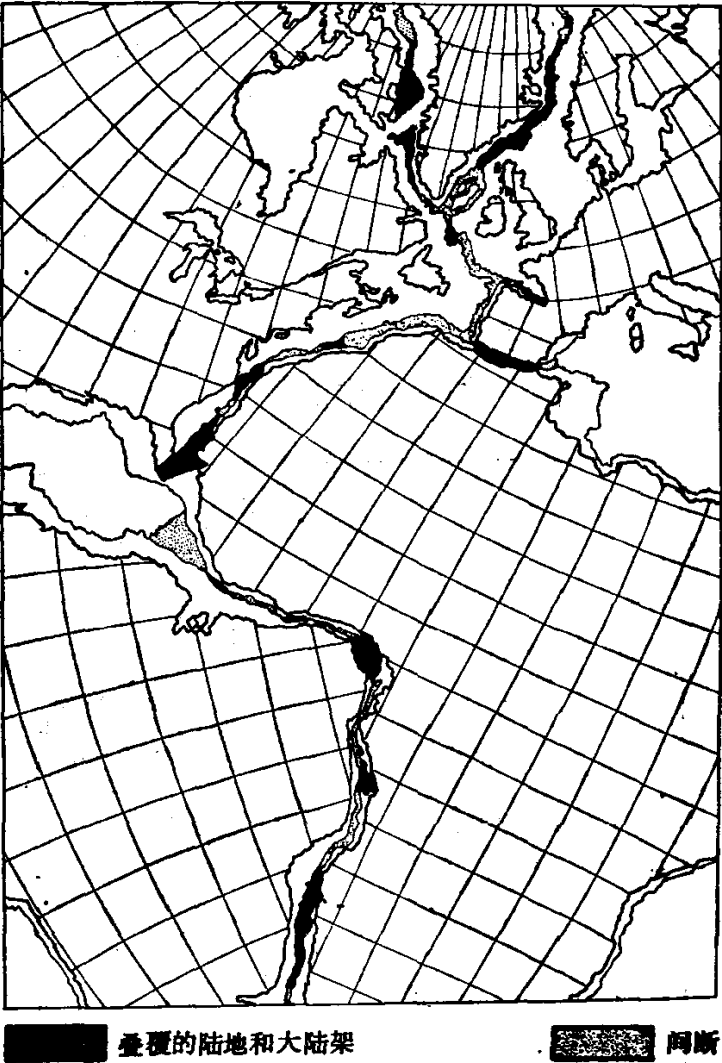


图 2-2 将美国东海岸大陆架边缘沿球面向欧洲、非洲西海岸大陆架推移所显示的大西洋两边的拟合
(据 Bullard, 1969)

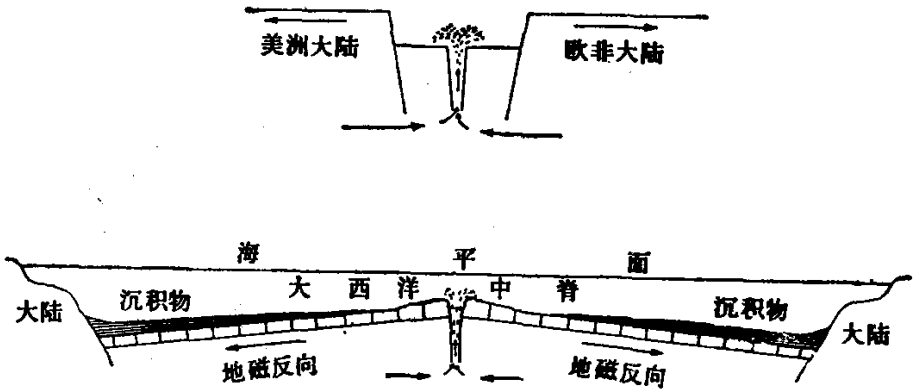


图 2-3 海底扩张假说所描绘的大西洋发展的两个阶段
交替相带表示新的大洋地壳正、反磁极之间的变化。注意：离洋脊越远沉积物越厚。

者红海那样,都被看成大裂谷。根据这个假说,下伏熔岩的巨大裂痕和古老大陆一道经受同一个破裂活动影响,并且在裂痕中央有一个新的裂缝逐渐张开,便于更多的熔岩注入。当分离的大陆被推离,原来裂缝边缘构成新的大陆边界;持续破裂和新的熔岩不断注入,就慢慢形成宽阔的大洋。在洋底扩张过程中,两边的相邻大陆都随着大洋地壳移动(如图2-3所示),大洋和大陆的联合板块就从洋脊漂离。显然,这与魏格纳的大陆漂移概念不一样。

那末,我们能描绘一下大西洋中脊吗?从下面上升充填到裂缝里的熔融的熔岩要比较早期上升的、已经固结了的熔岩轻得多,所以老的熔岩洋底必然下沉。因此,新注入的大洋地壳开始总是处于稍浅些的部位,如红海,并且当侵入体被推到边上去时,老的熔岩就冷却并沉浸到较低的水平,离开中洋脊。洋脊中央,除了有被侵入熔岩填充了的裂缝的地方外,都有拉长形的裂谷。

移动中的美洲大陆另一侧的情况如何,这是新假说所要阐述的下一个问题。如果把美洲大陆西侧看作航行中的船首,那末明显的答案就是,大陆正朝着大洋底下的地壳推

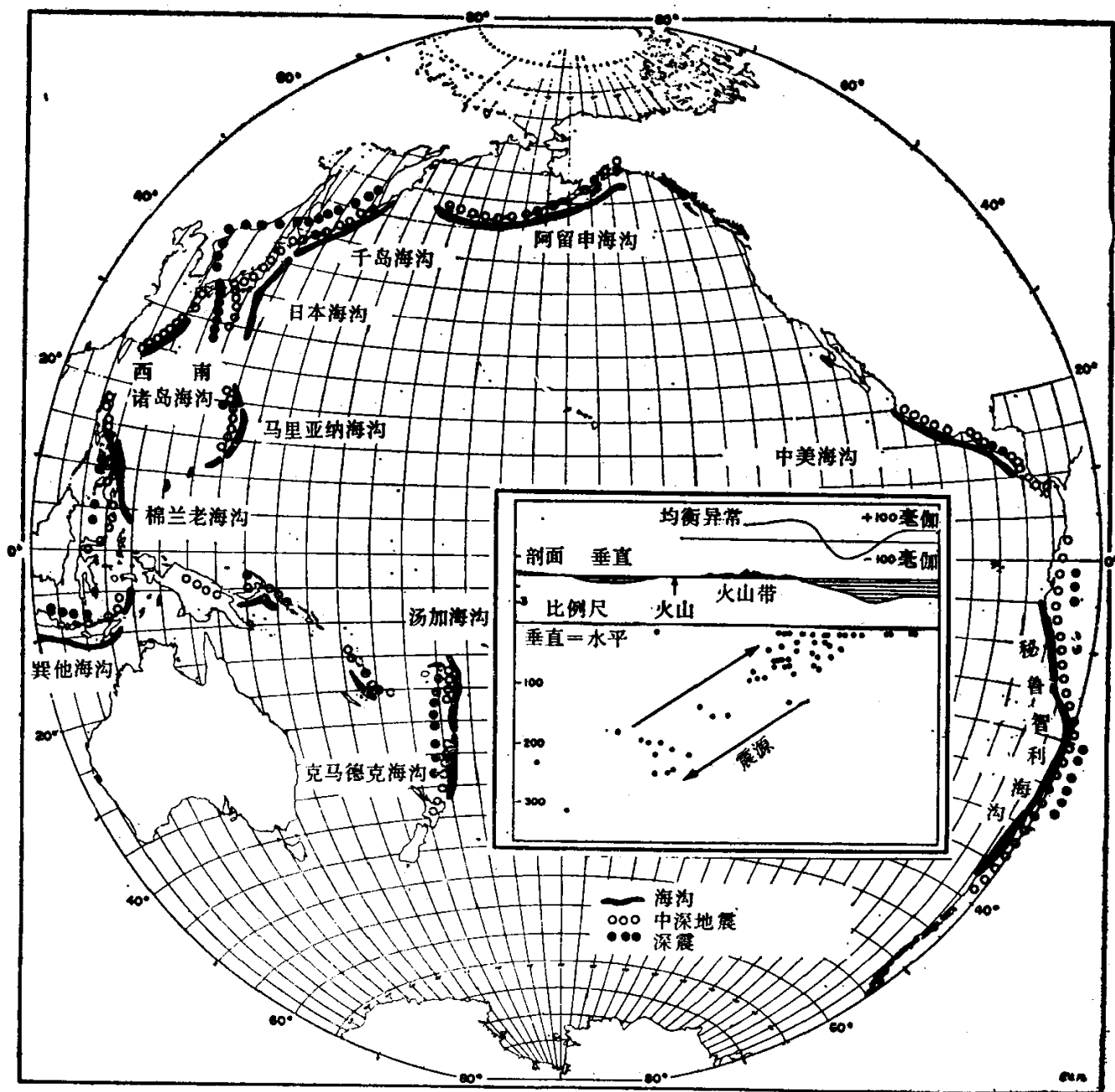


图 2-4 太平洋深海沟及其邻近大陆底下的浅震、中深震和深震

本图可表明大洋地壳在大陆之下消减的情形,如箭头所指。

进,大洋地壳必将沉没到移动中的大陆下面去。近来在美洲西海岸和亚洲东海岸的大部分地区通过地震探测发现有大的断裂面,展布在大陆边缘下面(图2-4)。科学家可以通过对比几个地震台站测出的地震波到达的时间作出的地震波曲线图确定地震发生的深度。人们发现,进入太平洋海岸,地震发生的深度越来越大。同样,大部分太平洋海岸朝海方向存在着世界大洋中最深的长条形凹陷(图2-4),叫作海沟(trench)。这些深海沟显然是前进中的大陆底下的大洋地壳下沉所造成的。

当大洋地壳被推到大陆底下时,越来越靠近灼热的地球内部,可以想象岩石必然会熔融。这也就是我们见到的大部分太平洋沿岸的火山岛弧。在秘鲁-智利海沟内侧的安第斯火山带上有世界上最高的一些山脉,高可达27000英尺(8230米),阿留申海沟内侧的火山岛和日本海沟内侧火山岛则要低一些。

大陆和大洋移动的证据

我们知道,洋脊、洋脊中央裂谷、沿太平洋边缘分布的巨大深海沟以及邻近大陆和群岛的火山链都适用海底扩张假说来解释。海洋调查提供了更多的证据。首先,我们有了深洋钻探资料,这些钻探主要是在美国国家科学基金会支持下进行的,近来又接受了苏联、英国、瑞士、加拿大和日本的援助。十年前,没有人能梦想很快就拥有上百个打到洋底深达数千英尺的钻孔资料。有了这些钻孔岩芯,我们现在就能够验证新假说的某些重要内容。如果大洋地壳,象图2-3所示,在洋脊下面移动,则离洋脊越远,熔岩的年代就越老,而覆盖在熔岩上面的沉积物也就越来越厚,并且直接与熔岩接触的大洋沉积物也就越来越老。这些就是深海钻探作业所揭示的实际情况(参阅图2-3、图11-11以及图版I)。另一方面,如果大西洋在侏罗纪以前就已存在,而当时的超级大陆就有裂缝张开了,则在钻孔打到底部熔岩之前必然要穿透比侏罗系还要老些的沉积物。迄今,无论在大西洋抑或其它大洋里都没有找到这类较老的沉积物。

地质学家现在已能乘坐深潜装置潜入大西洋中脊的一个裂谷作直接观察了。1973—1974年,一个名为“法-美联合大洋水下调查”考察队(FAMOUS)的地质学家们曾亲临水下观察,采回明显的证据,包括许多清楚地说明近几年来才被推开的海底裂缝和岩块的照片(Ballarol et al., 1975)。同时,他们还看到新近喷出的熔岩流,仍在散发着相当大的热量。

对洋底岩石所作的磁力测量提供了更有力的证据。熔融的岩石冷却时,岩石颗粒中的磁力方向是指向地球磁北极的。然而,我们知道过去地质年代里,地球的两个磁极曾在不规则的时间间隔(平均约1百万年)内一再变迁。(进一步的阐述见Cox et al., 1967)通过地磁测量,有可能了解到大洋下面的熔岩冷却的时候地球的磁北极究竟是在北半球(此种情况被称为地磁正向)还是在南半球(称为地磁反向)。因此,如果说海底扩张假说是正确的,那末,我们一定会找到平行大西洋中脊展布的地磁正向和反向的带状分布。多次穿越洋脊考察所发现的洋脊两侧地磁正向带和反向带的排列次序近于一致(图版I)*。虽然马逊和腊夫(Mason and Raff, 1961)在加利福尼亚湾近海工作时就发现过平行的地磁带的存在,洋脊两边地磁带的对称性则是英国地球物理学家菲因和马修斯(Vinc F.

* 图版I,原书作为环衬,根据作者的注释意见,改为图版I;原来的图版I、II相应地改为图版II、III。——译者注

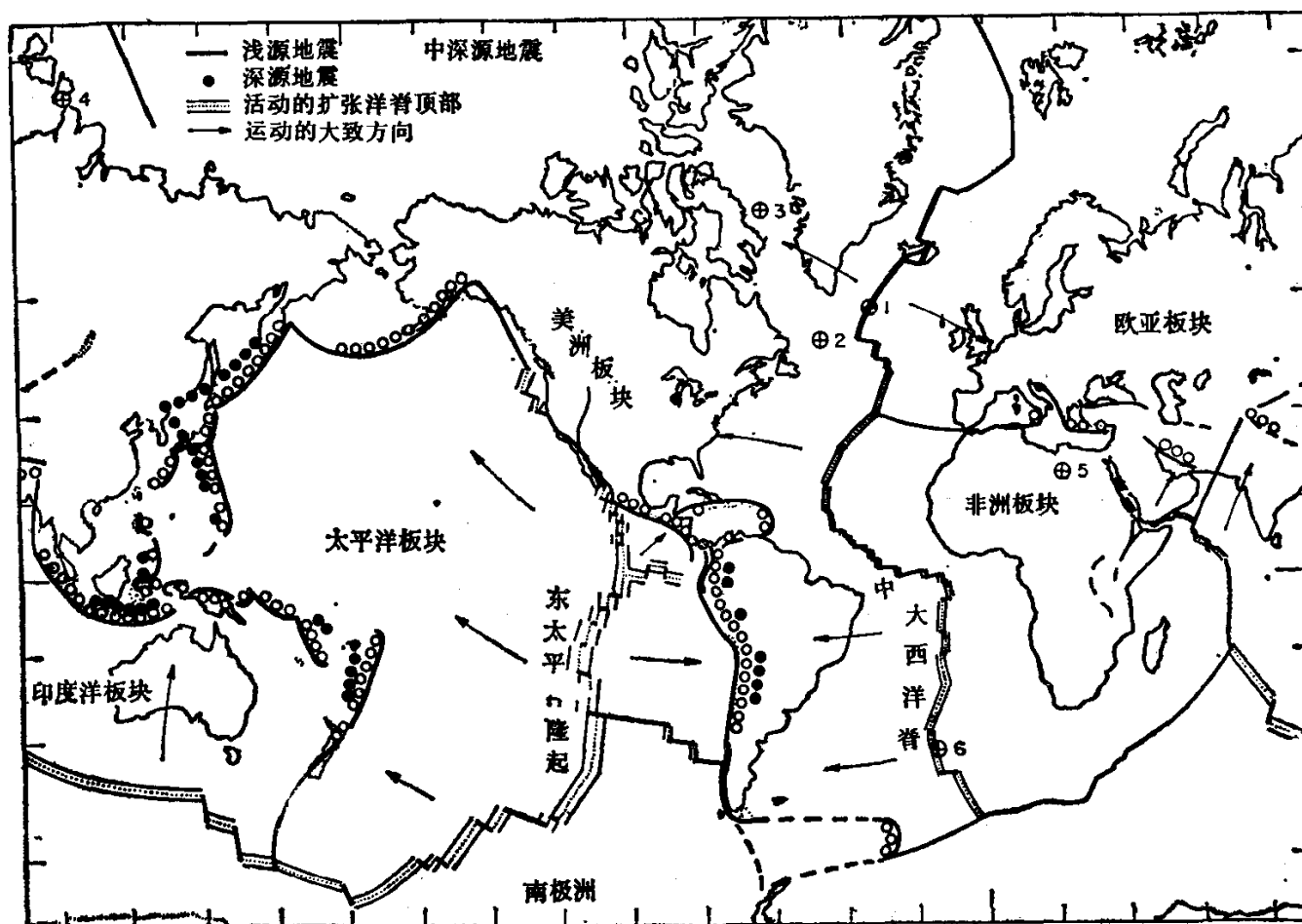


图 2-5 延伸到印度洋和太平洋中的大西洋中脊

箭头所指是各个板块漂移的方向。注意断裂带造成的洋脊分支。(参阅图 2.9B 和图 2.10)

J. and D. H. Mathews, 1963) 发现的。

大西洋中脊的南端向东南方向延续,环绕非洲,进入印度洋(图 2-5),并在那里撕裂,有一支向北伸延进入亚丁湾和红海,另一支则弯向澳大利亚,然后转折向东进入太平洋,在那里最终进入加利福尼亚湾,一直钻到北美大陆底下。



图 2-6 发育在联合古陆上的石炭-二叠纪冰川运动的方向

如果把它放在现代大陆上,则这些冰川将落在大洋中间,这样一来,冰川就将出现于热带地区。

(据 Hamilton and Krinsley, 1967)

穿越这个环球洋脊的地磁仪测线表明,这些相同的地磁带与其它洋脊平行延伸,并在洋脊两边以大致相同的次序重复出现。尽管这样的对比还欠完善,但是代表地史上出现过的事件的地磁带交替出现是没有多少疑问的。我们既然有可能大致确定地磁正向和反向异常的时期,所以也就有可能用各个带的宽度来算出地史上海底扩张的过程有多么快。我们发现,大西洋的扩张速度要比太平洋慢一些:大西洋是每年 1 英寸 (2.5 厘米),而太平洋是 3 英寸 (7.5 厘米)。看起来扩张速度并不算快,但是自

从大裂缝张开以来的 1 亿 5 千万年间平均每年扩张 2 英寸 (5 厘米),则洋底将移动 3 亿

英寸或者 5 千英里 (8045 公里)。这样就必须容许整个大西洋发展而太平洋地壳的各个部分发生消减。所以,我们在大洋底下根本找不到老的地壳,这也正如前面提到过的、大洋深部钻探已经证实了的情况。

另外,整个地球表面发生的地壳移动的生动的现代证据,来自深钻孔、地震、深潜作业和地磁研究,所以我们可以列举出比魏格纳当年提出类似的假说时多得多的论证。近年来对古代化石的研究使许多地质学家确信,前侏罗纪大陆是连成一片的,而更显著的还要算是 2 亿年前石炭-二叠纪冰川的证据。详细的野外工作,特别是美国地质学家克劳维尔和弗雷克斯 (Crowell, J. C. and L. A. Frakes, 1970) 的工作已经表明,该古冰川的规模之大甚至超过南极冰盖。此外,对于冰川河床及其刻痕(称为冰川擦痕)的研究说明现在的大洋中的某些地方正是昔日冰川所在。因此,可以很有把握地说,从前连成整块的大陆后来由于海底扩张而分离开来(图 2-6)。

洋脊破裂与横断裂带

前面的讨论中,我们把海底扩张这一个革命性的新假说有点简单化了。现在我们对海底扩张以及所导致的大陆滑移的认识,远较原来想象的要复杂得多。首先,我们想象中的巨大洋脊是弯弯曲曲的,但又是连续不断的。然而,随着考察工作的进展,我们发现所有的洋脊都破裂成许多节(图 2-8、图 2-9B 和图 11-6)。这在布鲁斯·希曾 (Bruce Heezen) 和玛丽·撒普 (Marie Tharp) 为《国家地理》编绘的一部分海洋图上可以清楚地看

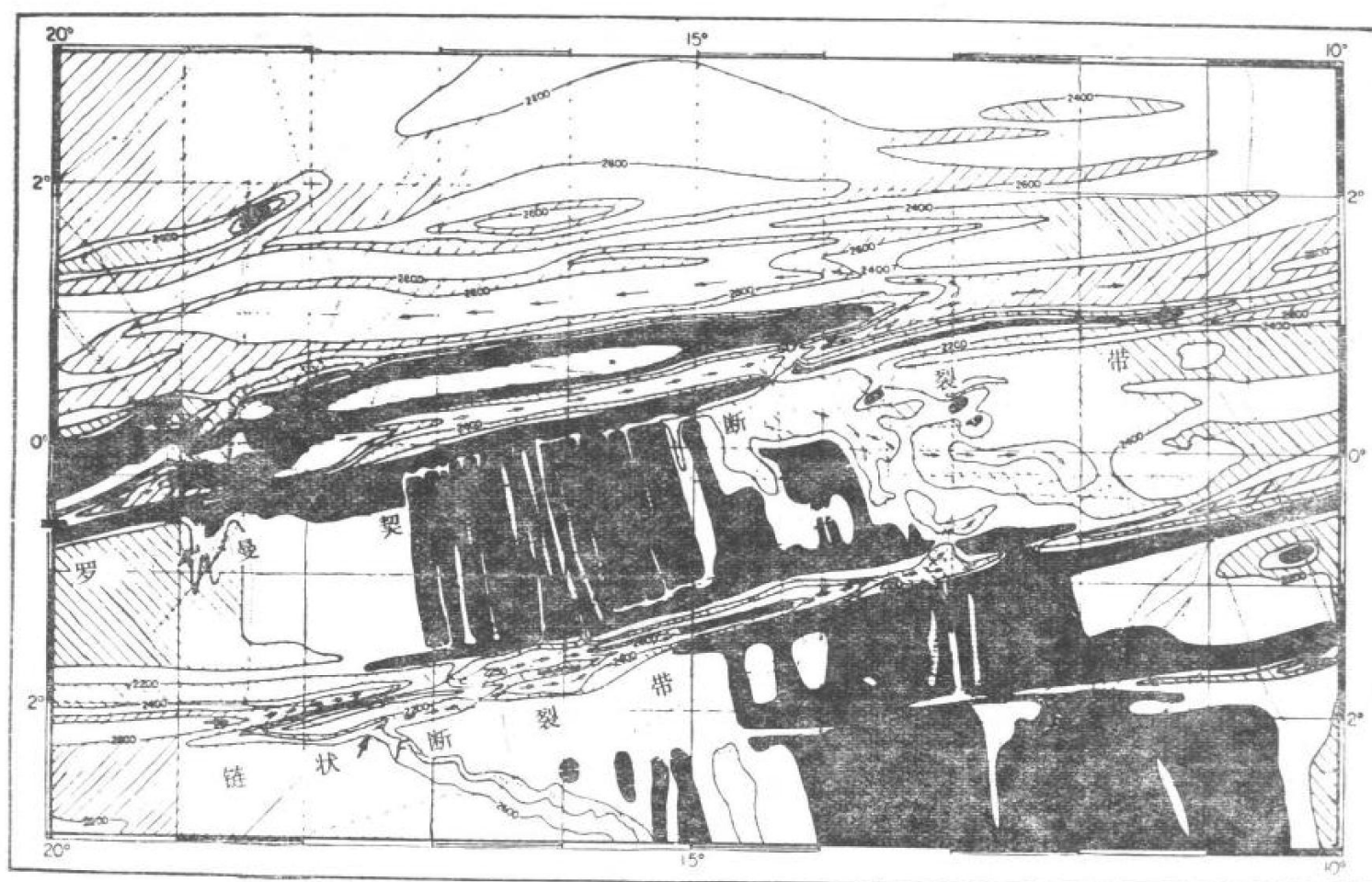


图 2-7 赤道大西洋中恰因断裂带和罗曼契断裂带的一部分

除不规则的陡壁悬崖地带用斜线标出外,等深线间距均为 200 英寻。箭头表示已知的底部水流