

大陆漂移—板块构造

大陸漂移—板塊構造

張朝文 編



四川省地质学会

一九八〇年八月

前 言

板块构造，经过十多年的实践检验，在欧美及其它一些国家，已被广泛地接受。在我国，自1972年，由尹赞勋、傅承义、李春昱等系统介绍进来以后，对我国地质工作者也有很大的影响，有关板块构造的专著和论文日益增多。

为了满足广大地质工作者进一步学习板块构造理论的要求和普及这一理论，笔者在1975年以来的讲稿基础上，经过若干修改和补充，写成此书。

笔者是从便于教学和自学的角度来编写此书的，并力求准确、系统、通俗。但是，由于笔者知识、经验欠缺，错误难免，请予批评、指正。

本书所用图件，大部分由我院绘图室绘制，封面由四川冶金地质科学研究所阎宗昌同志设计，仅致谢意。

成都地质学院
区地教研室 张 朝 文

1980.5.

目 录

前 言

第一章 绪言	(1)
第二章 大陆漂移	(2)
一 魏格纳大陆漂移说之兴衰	(2)
二 古地磁学与大陆漂移说复活	(3)
三 大陆漂移的新证据	(7)
第三章 海底扩张	(12)
一 引言	(12)
二 海底地形	(12)
三 海底地质	(17)
四 海底磁异常	(21)
五 小结	(26)
第四章 板块构造	(27)
一 引言	(27)
二 地震与板块划分	(28)
三 板块边界类型和大陆边缘类型	(30)
四 板块运动	(32)
五 板块俯冲与地震、火山、变质、造山作用的关系	(34)
六 板块运动的驱动力	(40)
第五章 古板块俯冲带的标志	(45)
一 地槽褶皱山系	(45)
二 活动型复理石建造	(45)
三 超壳深断裂带	(46)
四 蛇绿岩套	(46)
五 混杂岩	(47)
六 对变质带	(49)
七 岩浆岩的分布规律	(51)
八 内生矿产的分布规律	(56)
九 地震震中分布	(56)
十 地磁极游移曲线	(56)

第六章 板块构造的研究意义	(57)
一 推动了地球科学的发展.....	(57)
二 修正了地槽的理论.....	(58)
三 开辟了研究、预报地震的新途径.....	(64)
四 提供了预测矿产的新依据.....	(66)
第七章 对板块构造的评价	(72)

第一章 绪 言

板块构造，又名新全球构造，是六十年代以来兴起的一种新的大地构造理论，是活动论学派在现代的主要代表。

大陆是固定的还是移动的，或者说，地壳运动以垂直运动为主，还是以水平运动为主，是本世纪争论一直很激烈的一个地质课题。大陆固定论或者地壳垂直论长期占据着统治地位，被称之为传统观点。

本世纪初，魏格纳（Wigener, 1912）的大陆漂移说，首次系统地向这个传统观点提出挑战。后因大陆漂移机制存在问题，又缺乏对大陆内部地质构造的说明，等等，遂于三十年代开始衰落下去。

五十年代，大陆漂移说从古地磁学那里得到支持，又复活了。

到了六十年代，由于海洋地理、海洋地质和海洋地球物理学的迅猛发展，大陆漂移说又获得了许多新证据，并以海底扩张（1961）的名字获得新生。

以后，随着国际上地幔计划（1960—1970）的实施，通过深海占探、海底打捞、人造地球卫星遥测、高温高压模拟试验以及使用了一些较完善的地球物理方法和进行深入的岩石地球化学研究等，对海底地质、地壳深部及上地幔的物质组成、物理状态等有了更多的了解，不但验证了海底扩张，而且海底扩张又进一步引伸、发展成为板块构造（1968）。故有“大陆漂移、海底扩张和板块构造是一个问题的三部曲”之说（傅承义，1972），或者说大陆漂移、海底扩张包含于板块构造之中。

板块构造创建以后发展很快。初期研讨的对象几乎全在海洋及其大陆边缘地区，涉及的地质时期只限于中—新生代或最近1—2亿年。到了七十年代，特别是从1972年开始实施国际地球动力学计划（1972—1977）以后，板块构造的研究被引向地幔深处，并逐步“登陆”，相继出现了用板块构造理论来探讨岛弧和边缘海的形成，来重新解释大陆上地槽褶皱山系的演化和发展，来阐明地震活动、岩浆活动、变质作用、成矿作用与板块构造环境的关系和规律；板块运动驱动力的研究也出现新的进展。在大陆上的实践表明，板块构造这个模式不但适应于古生代以后，而且也适应于前寒武纪，至少是晚前寒武纪。板块构造的广泛应用，又进一步论证、补充和发展了板块构造理论。

板块构造在国际上作为一股强大的学术思潮，已引起很多国家的地质、地球物理和地球化学工作者的重视和关注。在许多国际地质会议上，板块构造都被列为重要课题之一。有关板块构造的文章尤如雨后春笋。经过十多年的激烈论战和实践检验，在西方诸国，板块构造已被普遍接受。在我国也有很大的影响。

当然，板块构造也存在一些没有完全解决的问题，诸如板块运动的驱动机理，与板块构造相矛盾的一些事实，等等。因而，还有一些人反对。尽管如此，它仍然是地质学或大地构造理论研究中一项突出成就，具有深远的理论和实践意义。

第二章 大陆漂移

一、魏格纳大陆漂移说之兴衰

尽管大陆漂移的思想早有萌芽，但是第一个全面、系统地论述大陆漂移的学者是魏格纳（1912）。他认为：在古生代时，全球只有一块陆地，名为泛大陆（联合古陆）；一个海洋，名为泛大洋。从中生代开始，特别是中生代末期（大约两亿两千万年前），这个泛大陆逐渐发生分裂、漂移，直到现今这个样子。大西洋、印度洋是在大陆分裂、漂移过程中形成的，太平洋是泛大洋的残余（图2—1）。

魏格纳提出大陆漂移的主要根据有以下六点：

1. 大西洋两岸的海岸线相互平行。若两岸大陆相向移动，可接合得很好。尤如撕成两半的报纸再结合起来一样。这一条是魏氏大陆漂移说的出发点。

2. 根据当时地球物理资料，知洋底和大陆的物质组成根本不同。洋底物质较大陆物质比重大，磁性强。洋底物质平均成分近于玄武岩，大陆物质平均成分近于花岗岩。因而得出轻的花岗岩质大陆，按阿基米德原理漂浮于重的硅镁质之上，尤如舟浮于水。这一条是当时地壳均衡说的主要内容，也是大陆能够漂移之理论根本（图2—2）。要漂移首先必须能够漂浮啊！

3. 有关大陆，特别是大西洋两边大陆的地层、岩石、构造遥相呼应。如非洲南端和阿根廷南部上古生代构造方向、岩石层序和所含

化石之一致；非洲西部高原和巴西高原片麻岩构造线方向一致，火成岩和沉积岩也有许多相同之处；欧洲和北美至少有三个位置对应、方向和谐、时代相同（元古代、志留纪末、石炭纪）的褶皱带，其北端都有分布甚广的玄武岩层，其中沉积岩夹层含有

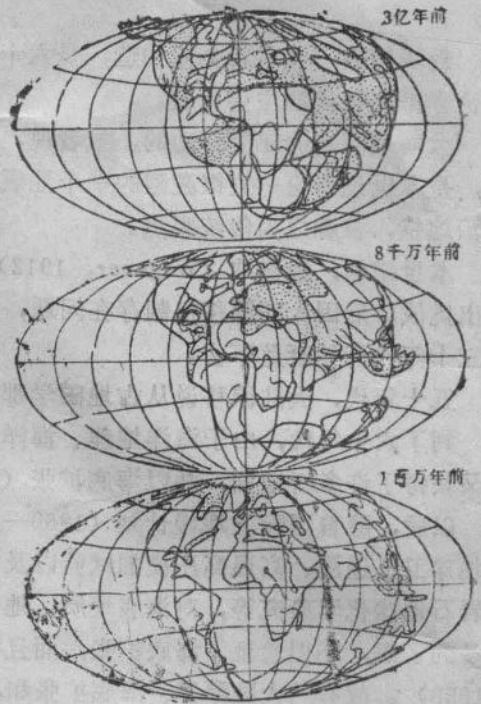


图2—1 魏格纳的海陆演化图
在三个图中，都把非洲固定在今天的位置上，有细点的区域表示浅海（1915）。



图2—2 地壳构造断面图（上田诚也，1971）

相同的石炭纪植物化石，等等。

4. 各相邻大陆，特别是大西洋两岸生物群的亲缘关系，这方面的资料比较浩繁，涉及的生物主要有植物、陆生动物、海生动物、两栖类及淡水鱼等。不能跨越深海水的生物为什么在两岸大陆对应部位分布，说明两大陆曾经是联结在一起的。

5. 现在靠近北极的一些地区发现有石炭纪——白垩纪的热带植物化石和老第三纪的温带植物化石；现在处于热带的南美、非洲、印度、澳洲等地发现有广泛分布的石炭二迭纪冰川堆积。何故？有两种解释：一曰地轴移动，二曰大陆漂移。冰川堆积单用地轴移动很难解释，极地如何会有这么大？若用大陆漂移则可迎刃而解。即这些大陆原是联合在一起，置于极地，后来分裂、漂移了。冰川分布的总面积与极地面积相近就是一个很好的证明（参阅图2—13）。

6. 同一地点前后数十年测得的经纬度数值不同。

魏格纳还认为大陆漂移具有两种趋势：向赤道和向西。向赤道（离极）移动是由于地球旋转的离心力引起的。向西移动是由于日、月对地球的引力产生的。由于这两种方向移动，结果形成美洲西海岸的经向山脉，阿尔卑斯——喜马拉雅的纬向山脉，以及因粘附作用遗弃在各大陆东部的大陆碎片所形成的岛屿和浅滩，等等。

魏格纳大陆漂移说由于论据多，曾经盛行一时。但因存在许多问题，诸如地球离心力和日月的潮汐作用是否有如此之大？硅镁层是刚性的，硅铝层何以能在其上“航行”？海底山脉走向何以会与大陆移动方向垂直？美洲向西漂移，为什么硬的大陆（硅铝层）前缘褶皱成山，而“软”的海底（硅镁层）边缘拗陷成为海沟？等等。总之，由于大陆为什么漂移、怎样漂移的问题没有解决，又缺乏对大陆内部地质历史发展差异性的说明，在传统地质学和地球物理学的权威们极力反对之下，到了三十年代，伴随着魏格纳的不幸遇难（1930），就逐渐衰落下去了。

尽管如此，大陆漂移的主要证据并没有被否定。有的只是给予另外的解释。还有少数地质学者和古生物学者依然坚持大陆漂移的观点。当古地磁学和海底扩张说使大陆漂移复活后，这些证据又重新受到重视，并进一步丰富发展起来了。

二、古地磁学与大陆漂移说复活

大陆漂移在五十年代复活，是与古地磁学（研究岩石剩余磁性或地球磁场历史的一门科学）的发展分不开的。为了说明这个问题，需先从古地磁学的几个有关概念讲起。

1. 岩石的剩余磁性

在外界磁场作用下，物质获得磁性，当外界磁场去掉后，又永远保持不变的磁性谓之剩余磁性。铁物质在外界磁场作用下，先加热后冷却，便可获得剩余磁性——一般称之为热剩余磁性或热剩磁。大部分火成岩，特别是含铁质的火成岩都具有这种热剩余磁性。这是因为火成岩是由高温岩浆冷却而成。在冷却过程中，被地球磁场磁化了，并永远保持当时地球磁场的方向而不变。部分沉积岩，特别是含铁质的碎屑岩和铁质化学沉积岩，在沉积时，也可获得剩余磁性，分别称之为碎屑剩余磁性和化学剩余磁性（图2—3）。根据岩石剩余磁性，可以确定古地磁极位置及磁场强度、性质，追溯地球磁场的历史，确定岩石的年代，故剩余磁性又有磁化石或化石磁性之称。它是古地磁学研究

的基础。

2. 居里温度或居里点

居里 (Curie) 通过实验发现, 磁石加热到一定温度之后就会失去磁性。灼热的岩浆没有磁性, 冷却到一定温度以下才具有磁性。这个临界温度即居里温度或居里点。根据实验, 火成岩在通过 $500-450^{\circ}\text{C}$ 的温度段时能获得强热剩余磁性 (威利Wyllie, 1971)。

3. 偶极子型地球磁场及地磁磁场倒转

众所周知, 地球磁场的形状是规则的偶极子型的, 即具有两个极: 正极 (北极) 和负极 (南极)。

地球不仅现在具有偶极子型的磁场, 而且在地质时期内它的主磁场也是偶极子型的。

地球磁场是否正极永远在北、负极永远在南? 根据古地磁测量得知并非如此。三十年代日本人松山发现日本第三纪以后的熔岩约有一半的磁化方向与现代地球磁场方向一致; 另外半数磁化方向正好相反。这种现象后来称之为地球磁场倒转 (或地磁回返, 极性互换)。即每隔一定时期 (最长300万年, 最短约5万年, 一般为数十万年), 地球南、北两磁极会发生极性互换: 正性变负性, 负性变正性。这个反转过程通常是在极短的时间内发生的。

4. 地磁极游移

地球磁极位置和地理极位置并非完全重合, 但相距不远, 可视为近似一致。

过去, 人们认为地磁极和地理极是固定不变的。经古地磁研究, 得知地磁极位置在地质历史时期是逐渐地有规律地变化着。

若地磁极位置不变, 大陆固定, 那么所有大陆所有时代的岩石剩余性所指示的地磁极位置都应和现代地磁极位置一致。但是, 事实并非如此。五十年代, 英国人朗科恩 (Runcorn) 首先对英国和欧洲大陆的前寒武纪以来各个时代的岩石, 作了磁极位置测定, 发现各个地质时代的磁极位置都不一样, 其磁极游移轨迹连线是一条平滑曲线 (图2—4)。这种现象只能用磁极游移, 才能作出合理的解释。

5. 大陆漂移之复活

朗科恩等人又用同样方法, 从北美大陆岩石求出另一条磁极游移轨迹曲线 (图2—4)。

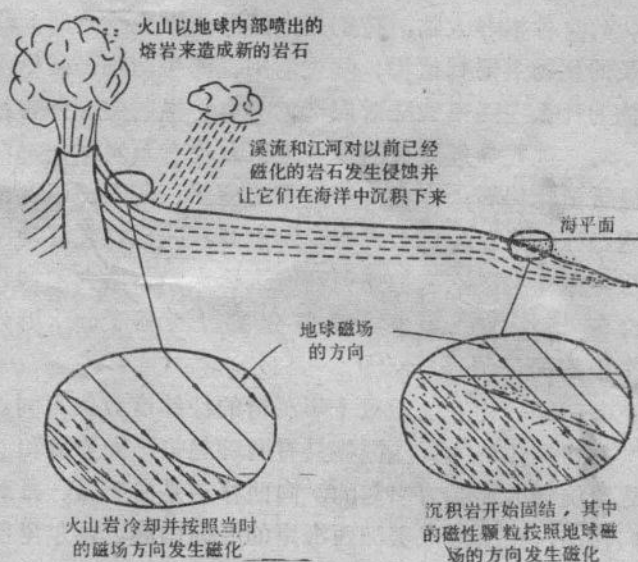
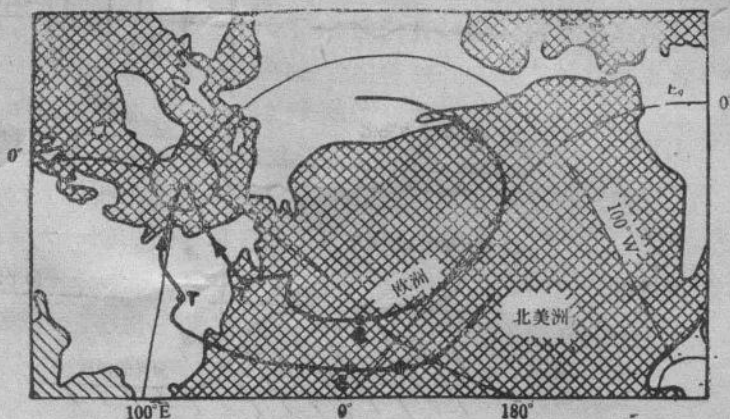


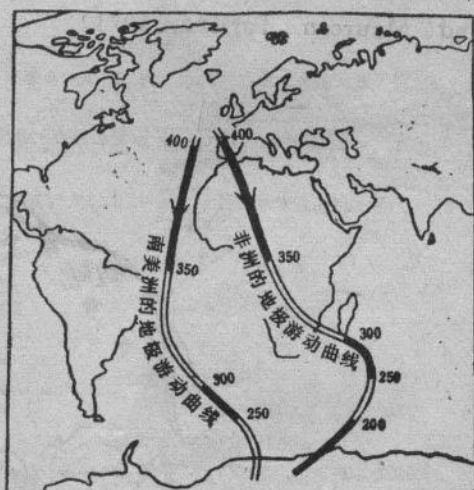
图2—3 岩石是怎样获得剩余磁性的?
(Don and Maureen Tarling, 1971)

如果大陆固定，
只是地磁极游移，那
么各大陆的磁极游移
轨迹都应该一致。但
事实也不是这样。

图 2—4 欧洲
和北美洲磁极游移曲
线比较 (Runcorn,
1962)

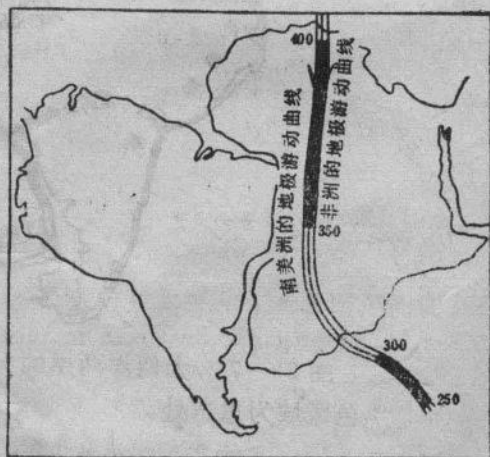


比较图 2—4 两个磁极游移轨迹曲线可
知：北美磁极游移轨迹曲线位于欧洲磁极游
移轨迹曲线的西面。在三迭纪以前，两线大
致平行；三迭纪以后，两线逐渐接近，最后
相交于今日的磁北极。这个现象是因为北美
大陆向西移动了约30度造成的。若北美大陆
向东退回约30度，两个磁极游移轨迹曲线即
可重合，大西洋也就不存在了。两个磁极游
移轨迹曲线为什么在三迭纪以前平行而以后
逐渐接近、相交？这正好说明两个大陆是从
中生代开始分裂漂移的。



(a)

图 2—5 把南美洲和非洲拼合起来
后，两个洲的磁极游移曲线即可彼此重
合。数字表示地质年代，单位：百万年
前。(Don and Maureen Tarling, 1971)



(b)

南美洲和非洲的磁极游移轨迹曲线同样
说明这一问题 (图 2—5)。以后大量古地
磁资料表明：同一大陆同一时代岩石中测出
来的地磁极位置是相同的；而不同大陆同一
时代岩石测出来的地磁极位置则显然不同。

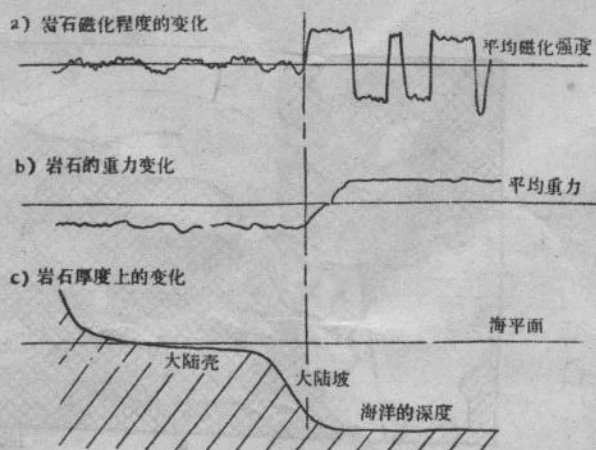


图 2—6 根据重力、磁力测量及高度变化，海陆分界线应在大陆坡 (Don and Maureen Tarling, 1971)



图 2—7 大西洋两岸的大陆拼合 (Bullard et al, 1965), 黑色区域为重迭处。

每一大陆都有一条磁极游移轨迹曲线，不同大陆有不同的磁极游移轨迹曲线，但最终都相交于今日的磁极。如果把各个大陆大致按魏格纳的说法拼合起来，则每一地质时代的磁极位置，大致可以落在一个小地区内，各大陆的磁极游移轨迹曲线亦可互相重合。根据古地磁研究得出的与魏格纳根据地质研究得出的大陆漂移的设想非常一致。

古地磁学就是这样有说服力地使大陆漂移说复活了。

至于以后海底古地磁的研究，则给予大陆漂移以决定性影响（详见第三章）。

三、大陆漂移的新证据

大陆漂移的复活，进一步激发对大陆分裂边缘地理、地质、古生物、古气候的吻合性的研究。取得的证据不但越来越丰富，而且越来越精确。现略举数例如下：

1. 单是大陆几何形态上的拼合，方案就有很多种。过去，都是在二度空间上，以海岸线作为大陆边缘来拼合的。实际上，地球的各部分是一个三度空间。大陆分裂后，由于侵蚀、增生、沉陷以及各种因素的干扰，现在的海岸线与分裂时的大陆边缘相比，可能发生巨大的、相差数百公里的变化。故在二度空间上，把海岸线当作大陆边缘来进行大陆拼合并不准确。根据大量的重力、磁力测量及地质资料，选择大陆坡作为海、陆分界线是适宜的（图2—6）。1965年，布拉德（Bullard）等使用电子计算机，选择500呔（915米）等深线（相当于大陆坡中点）作为大陆的真正边缘，对大西洋两岸大陆进行拼合，效果很好（图2—7）。在大部分边缘上其平均误差不超过1°。

2. 赫尔利（Hurley）由此对大陆漂移发生兴趣，并用比较大西洋两岸岩石序列和年龄来进一步检验这种拼合。结果是令人满意的。非洲与南美洲不但岩石年龄、地质

区之间的界限、构造线方向是一致的（图2—8），而且各岩带的矿物特征，例如锰、铁、金、锡的成矿带也都显示出两海岸过去是相连的（参阅图6—6，图6—7）。

图2—9说明非洲西南部和巴西东南部在5.5—1.0亿年期间具有相同的地质史，是

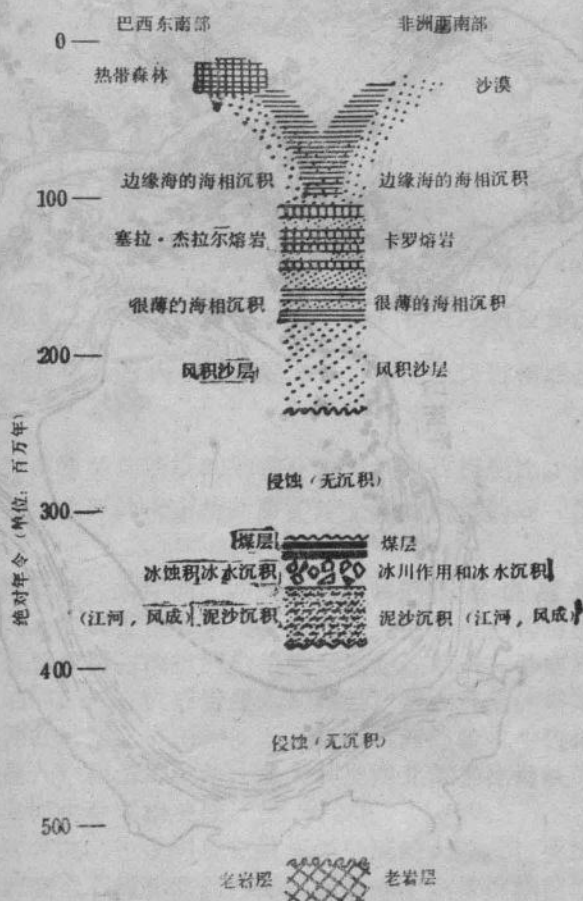


图2—9 巴西东南部和非洲西南部的地层层序(Don and Maureen Tarling, 711)



图 2—8 南美洲和非洲在地质构造上的拼合 (Hurley, 1968)。

1. 同位素年龄 > 20 亿年。 2. 同位素年龄 6 亿年左右。 3. 表示古大陆的地质活动带。线条代表构造线方向。

联结在一起的，1 亿年后才逐渐发生分异一分开。

更有趣的是广泛分布于圭亚那地盾上的洛腊伊马组（>10 亿年）底部所含的金刚石，越靠近大西洋颗粒越大，并在非洲西部与其相对应的位置的岩石中也含有同样的金刚石，其颗粒向苏丹（金刚石来源地）越来越大。当南美洲与非洲拼合在一起时，不难看出，洛腊伊马组的沉积物及其所含的金刚石是来自东北方向——非洲撒哈拉地盾。

3. 北大西洋地区的拼合，虽然比南大西洋困难，但也不是不可能的。当按照图 2—10 复原时，两个横跨大西洋两岸的古生代活动带就能协调地联结在一起。

同样道理，产于加拿大圣劳伦斯地堑体系中的下古生代碳酸盐质岩石与碱性岩石也可以和格陵兰与斯堪的纳维亚的类似岩石相配比。横贯苏格兰的大格伦断层与从波士顿到纽芬兰北部的卡布特断层实际上是被断离的同一条古老断层（Wilson, 1963）。

4. 随着地质研究程度的提高，南极洲、大洋洲、印度之间拼合的证据也越来越多。图 2—11 就是以 1000 米等深线作为大陆真正边缘进行拼合的，与用岩石、构造进行拼合是完全一致的。澳大利亚的阿德莱德地槽与南极洲内带前寒武纪晚期——早寒武世地槽（寒武纪后期或早奥陶世初期褶皱的，伴有火成岩侵入）相当。澳大利亚的塔斯曼地槽（志留系——下泥盆统很厚，中泥盆世发生挤压和侵入）与南极洲外带古生代地槽（下古生界很厚，中上古生代变形和侵入）相当。此外，澳大利亚西北部扬比海峡的条带状铁矿和印度辛格布姆的类似铁矿之间也存在相关性。

5. 古生物、古气候分布区划的吻合性，也说明现在被海洋分隔的大陆，过去确实是联在一起的。图 2—12 说明 3 亿年前北美东部和欧洲西部同属于一个热带植物区系；南美、非洲、印度、大洋洲、南极洲同属于一个寒带植物区系。此外，在北美、西欧还找到同期同种属的珊瑚和其它海滨——江河生物化石及其大煤层，发现有 2.5 亿年左右的沙漠和盐层。在非洲、南美又都找到相同的生活在 2 亿年时的各种爬虫类化石及生活在 1 亿年前的淡水鱼、蛙、龟类化石。在整个寒带植物区系范围内，早就发现有 3.0~2.5 亿年的厚达数百米乃至 1000 米的冰水沉积物。其中冰砾擦痕都十分奇怪的指示冰积物来自附近的海洋。但是，当把这些大陆照图 2—13 拼合起来后，也就不奇怪了。以上种种事实之所以与现代地理纬度或气候分带不符，原来是由于大陆向北漂移造成的。



图 2—10 北大西洋两岸在地质上的拼合 (Don and Maure-en Tarling, 1971)。

1. 从 5 亿到 4 亿年前的加里东山脉和老阿帕拉契山脉；
2. 主要和大约从 4 亿年到 3 亿年前的花岗岩相联系的“海西”构造。

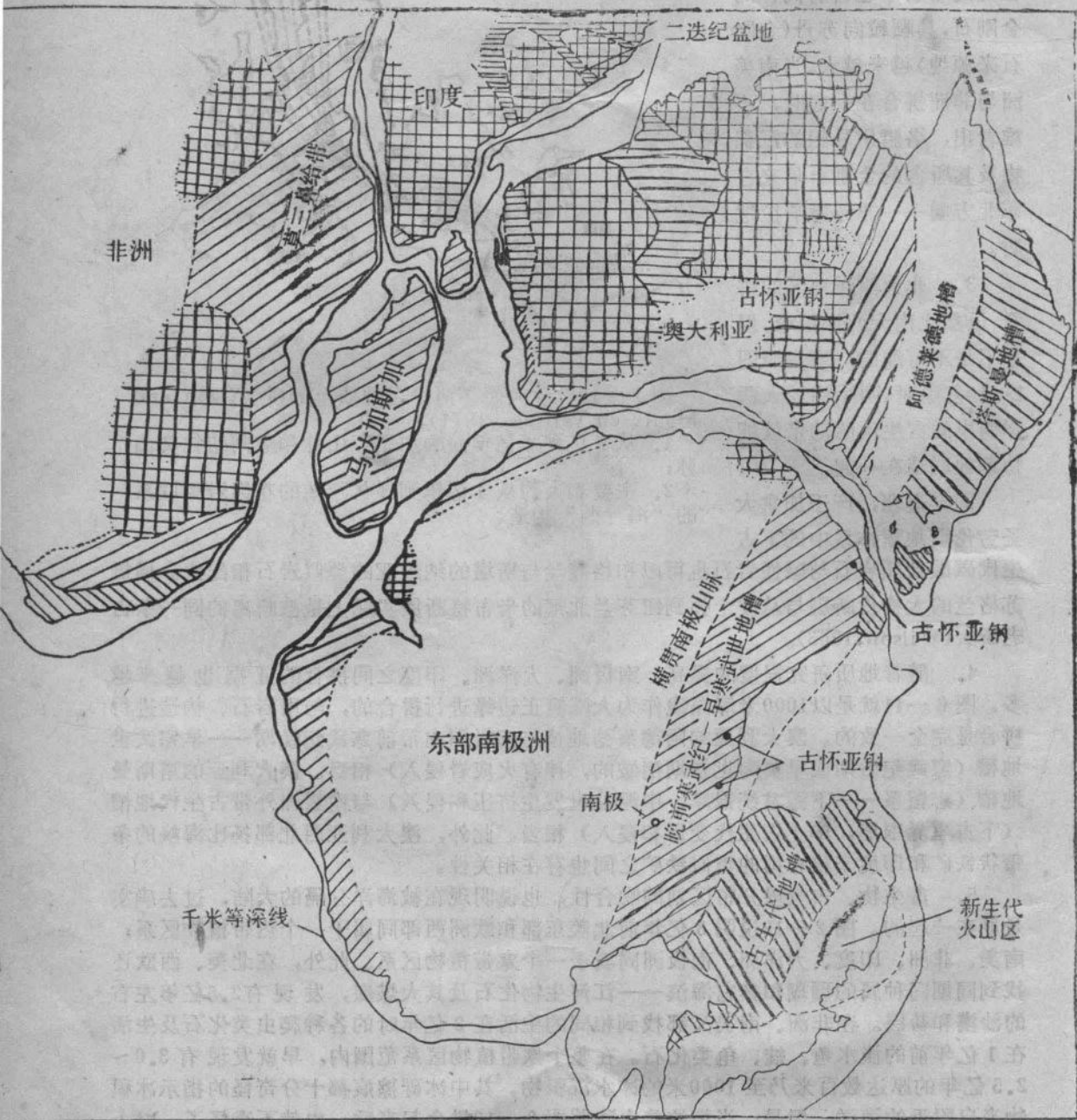


图 2—11 南极洲、大洋洲、印度、非洲的拼合 (Hurley, 1968)。

6. 爬行动物和哺乳动物的研究成果, 从生物变异角度论证了大陆漂移。爬行动物自二迭纪后期开始兴盛至白垩纪末, 持续时间约2亿年之久, 只有20个目。哺乳动物从新生代初期兴盛起来, 虽然至今只有0.65亿年, 却有30个目。为什么前者生存时间长, 种属少, 而后者时间短、种属多? 有人认为生物种类的多少是与大陆数目的多少相对应的, 即大陆集中时, 生物种属总的数量减少; 大陆分散时, 生物种属总的数量增多。

(Kurten, 1969; Valentine and Moores, 1972) 在爬行动物统治时代, 有两个超级大陆: 冈瓦纳和劳亚。而在哺乳动物开始代替爬行动物兴盛起来后, 两个超级大陆分裂了, 大陆数目增多了, 生物变异也就加快了。

以上各条, 都是从大陆上获取资料来说明大陆漂移的。六十年代以后兴起的海底扩张和板块构造学说, 又从海底获得的各种资料论证了大陆移动。不但大陆最后一次分裂时间、移动方向、拼合图案等等前后相似, 而且后者还为大陆漂移机制提供了更有说服力的论据。

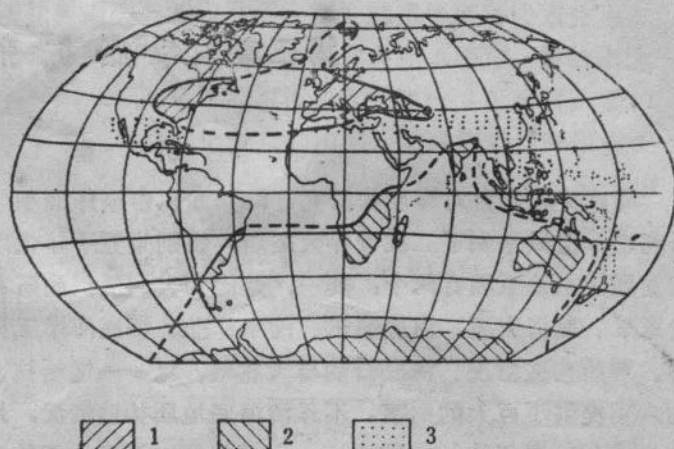


图 2—12 三亿年前生物的生活环境 (Don and Maureen Tarling, 1971)。1. 劳亚古陆的热带植物区系; 2. 冈瓦纳古陆的寒带植物区系; 3. 特提斯海的有孔虫目分布区。

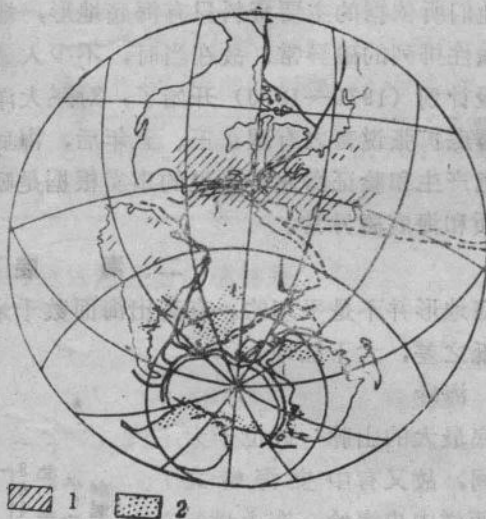


图 2—13 2.5—3 亿年之间的极地冰川和热带沙漠 (Don and Maureen Tarling, 1971)。1. 3 亿年前的热带成煤森林的分布区, 这些地区在 5 千万年后又变为大片热带沙漠; 2. 从距今 2.5~3.0 亿年之间的冰川分布区, 箭头方向表示冰川的移动方向。

第三章 海底扩张

一、引言

海底扩张来自对海底的研究。海洋面积占全球面积约72%。很早以前,人们就开始研究它,但只是到了二次世界大战后,特别是五十年代以后,对海底的研究才有了迅猛的发展。主要原因有两个:其一,是因为人们认识到研究海洋地质具有重大的实际和理论意义。航海交通、海底通讯、潜水作业、海底海岸工程建设,都必需首先弄清海底地形、地质构造情况。海底石油与天然气、锰——锰结核、多金属热卤——软泥的发现,为人类提供了巨大的财富。不弄清海底地质构造情况,地质上的一些重要课题,如地壳的生成和发展规律、成矿理论、大洋起源、深源地震的成因等等都不能很好解决。其二,科学的进一步发展,为研究海底地理、地质提供了必要的技术手段。诚然,研究海底需要有与研究大陆完全不同的观测手段和特殊装备。

在五十年代海底研究所取得的资料基础上,六十年代初期,赫斯(Hess, 1960)首先提出海底可能是运动着的,大洋中脊是新地壳不断产生的地带,后形成的地壳将先形成的地壳从洋脊轴依次向两侧推开。迪茨(Dietz, 1961)把这一理论命名为海底扩张。当时,他们所依据的主要资料只有海底地形,地热,重力,年幼的海底,美国西部海底南北向线性排列的磁异常。故在当时,不少人感到不好理解,未予重视。恰在这时,国际上地幔计划(1970—1970)开始了,对三大洋的海底研究全面展开了。越来越多的资料说明海底扩张说言之有理。三、五年后,海底扩张说竟以破竹之势向前突飞猛进。

究竟产生和验证海底扩张说的事实根据是哪些呢?主要有以下三个方面:海底地形、海底地质和海底磁异常。

二、海底地形

海底地形并不是平坦的。有高出海面数千米的山脉,有低于海面以下1万多米的深渊。高低之差,大于陆地。

1. 海岭

海底最大的山脉一般位于大洋的中间,故又有中央海岭之称。大西洋中央海岭,在上世纪中期,因敷设横越大西洋的海底电线时就已发现,当时称为电讯高原。后来,在印度洋中央、太平洋东部也发现这种大型海底山脉。到了五十年代,进一步发现各大洋的海岭是串通一气的,具有全球的规模。纵贯大西洋的中

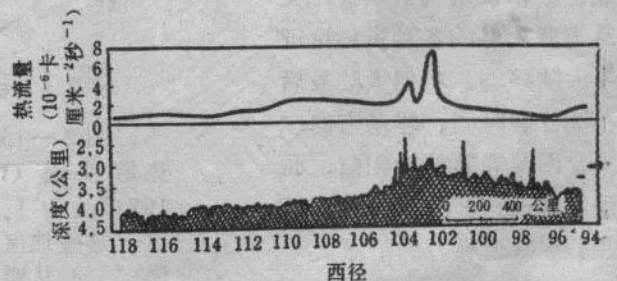


图3—1 东太平洋海岭及其地壳热流量) 上田诚也, 1971)