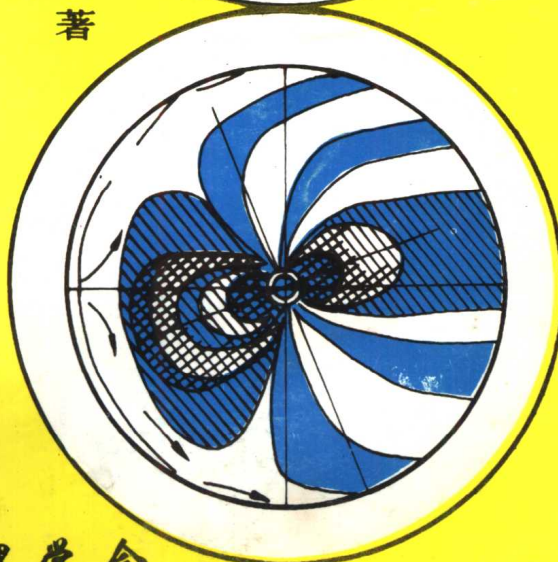


地球物理科普文选 第二集

地球物理 与经济建设



中国地球物理学会 编著
刘光鼎



中国地球物理学会

083

Q

编者的话

这本书是中国地球物理学会计划编辑出版的《地球物理科普文选》的第二集,它是中国地球物理学会理事长、中国科学院院士刘光鼎教授在他向中央领导同志所作的科学技术讲座讲稿的基础上,加以补充而成。书中对地球物理学的基本知识作了全面而扼要的介绍,并对地球物理科学和技术为国民经济建设服务方面作了回顾和展望。本书不仅对公众和青少年了解地球物理科学是一本好读物,也对各级领导和非从事地球物理工作的技术人员了解地球物理技术可能为本地区、本部门和本人所从事工作方面能作哪些服务,以及防灾、减灾方面能发挥什么作用有所佐益。当然,由于篇幅所限,本书仅能对后者作概略的介绍。《地球物理科普文选》在随后的各集中,将会向读者提供这些方面更具体的实例和内容。本书虽篇幅不大,但内容较全面,对从事地球物理工作各不同领域的科技工作者来说,也是值得一读的。

科学普及工作是一项需长期坚持而又难度较大的工作,地球物理科学技术的科普工作需要广大地学工作者的参与。中国地球物理学会和各地方地球物理学会采用多种形式进行科普工作。编辑出版《地球物理科普文选》就是其中一项重要工作,这本书就是由中国地球物理学会和许多地方地球物理学会合作出版的,其中有上海地球物理学会、云南省地球物理学会、江苏省地球物理学会、北京地球物理学会、河南省地球物理学会、陕西省地球物理学会、桂林地球物理学会、湖南省地球物理学会、甘肃省地球物理学会筹备组。

中国地球物理学会
科普及继续教育工作委员会

1995年10月

本书责任编辑:林清媛

地球物理与经济建设

刘 光 鼎

(中国地球物理学会)

一、我们的地球 (1)

——20 世纪地球科学的发展

1. 地球的现状
 - (1) 地表特征
 - (2) 地球内部结构
2. 对地球认识的发展
 - (1) 大陆漂移
 - (2) 海底扩张
 - (3) 板块大地构造
3. 中国在全球构造中的位置

二、地球物理 (25)

——研究地球的高科技

1. 重力与重力勘探
2. 地球磁场与磁力勘探
3. 大地电场与电法勘探
4. 地震学与地震勘探
5. 热流
6. 放射性
7. 遥感及其它

三、地球物理的应用 (31)

1. 资源勘探

(1) 石油与天然气

(2) 煤炭资源

(3) 金属与非金属矿床

2. 环境保护

3. 灾害防治

四、地球物理学为国民经济建设服务 (34)

地球物理与经济建设

一、我们的地球

——20 世纪地球科学的发展

地球表层及其外部空间,是人类赖以生存和活动的环境,而地球内部蕴藏着人类社会发展和繁荣所需要的各种物质资源。长期以来,人类在不断地深化对地球的认识,为寻找和合理利用地球资源、保护和改善生存环境、防治和减轻自然灾害提供科学依据,其目的则是促进人类社会与自然环境的协调发展。

20 世纪里形成的地球科学,是要了解地球在太阳系中诞生并发展、演化到目前状态的历史;对地球的物理、化学、地质的作用过程,建立详细的、定量的概念性预测模式,以提高对地球时空演化过程及其与人类之间相互关系的认识。因此,地质学根据地表岩石露头和坑道、钻孔等多种资料,来认识岩石的组成、构造运动和地质作用,以及地质演化的历史。地球物理应用物理学的原理、方法和技术来研究地球的运动、状态、结构及各种物理过程。地球化学则从化学的角度研究地球中元素的迁移、富集及其在时间和空间上的分布规律。只有使地质、地球物理与地球化学相互结合,并进行高层次的综合研究,才能对复杂的地球作出比较全面的规律性认识,也才是现代地球科学。

1. 地球的现状

地球处于运动和发展之中。地球现今的状态是我们了解其过去历史的依据,又是预测未来发展的出发点,尽管其演化历史具有漫长的时间尺度。

(1) 地表特征

地球的表面,主要可以划分为陆地和海洋。地球表面总面积为 5.1 亿 km^2 ,其中海洋覆盖着 3.62 亿 km^2 ,占 71%,而高出海平面的陆地为 1.48 亿 km^2 ,占 29%。陆地并不是均匀地分布于地球表面,65%以上集中在北半球,而只有 19%在南半球。

但是,如果覆盖着南极洲和格陵兰的冰全部融化,海平面将要升高 70m,那么,上述地球表面海陆分布的格局就会全部改观,大片陆地将会被海水淹没。如果将海水从地表排走,使海平面下降 200m,则将使全世界的大陆架暴露出来。如果使海平面下降到 4—6km 的深度,则可以清楚地看到整个地球的固体表面状态。这样,地球固体表面有两个主要的特征,即大陆台地和大洋盆地。它们的分界在大陆坡,也就是从大陆边缘向外,以 3—6°倾角急剧下降,增到深度达 3—6km 的深海底(见图 1)。

大陆台地上有山脉隆起。它们大多是最近 65Ma 内形成的年青山脉,约占地球总面积的 10%。横跨洋底的年青活动山脉,一般呈弧形展布,是由火山熔岩堆积而成的一系列岛屿,称为火山岛弧,并有窄而深的海沟并列。其中太平洋西部和北部的岛弧形状象装饰成的垂花彩带,被称为花彩列岛。年青大陆山脉和火山岛弧,在地球表面形成横穿地中海—亚洲(阿尔卑斯山、喜马拉雅山、印度尼西亚、新几内亚和新西兰)和环太平洋(菲律宾群岛、日本、阿拉斯加、落矶山脉、安第斯山和南极洲)两大条带,它们还伴有强烈的地震和火山活动。

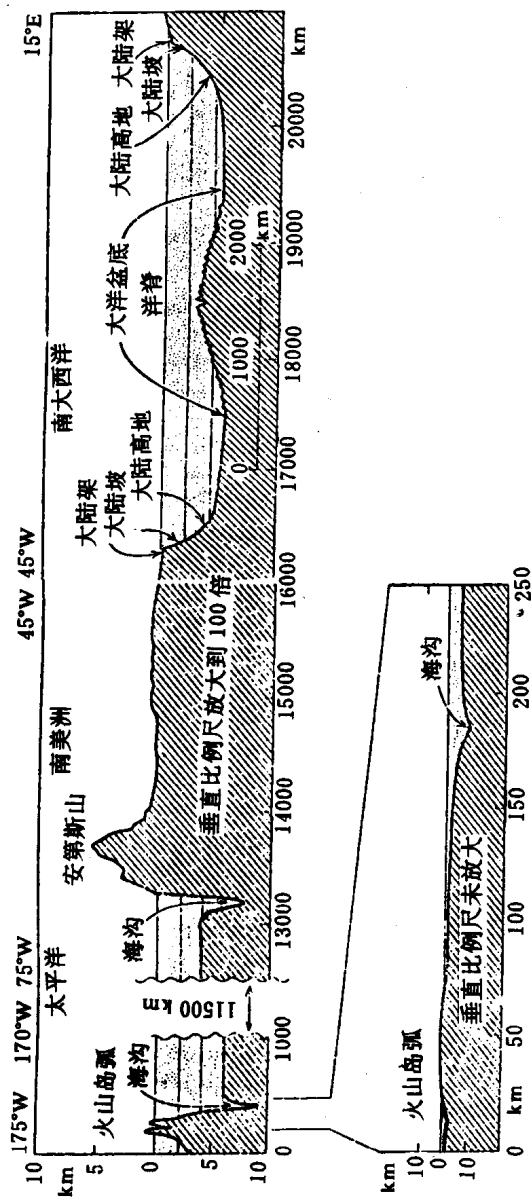


图 1

但是,更为雄伟壮观的却是隆起于大洋盆地的海底山脉。它是全球规模的山脉体系,纵贯大洋盆地,长达 65000km 以上,平均宽度为 1000km,覆盖着地球总面积的 25%。这个洋脊体系有两部分:一支横过北冰洋,纵穿大西洋,在非洲和南极洲之间进入印度洋,并与另一支相遇;另一支洋脊则由红海出发,横越印度洋,在澳大利亚和南极洲之间穿过太平洋,而在加利福尼亚湾附近与北美洲相遇。洋脊受到一系列与之垂直的横大断裂带的切割和错动,从而使大洋底崎岖不平,既有陡峭的悬崖和深邃的裂谷,更有大量浅源地震活动(见图 2)。

应该说明,地球固体表面的基本特征是与活动带紧密联系在一起的。活动带的标志是地震的发生和火山的喷发,而引起这些现象的主要原因则在于地球内部的运动过程。大陆的平均高度为 0.88km,而洋底的平均深度为 3.7km,它们之间相差 4.6km。这是由于大陆岩石的密度要比洋底岩石小,从而设想大陆是由轻质岩石组成的巨大板块,漂浮于相对致密的岩石之上,而由于地球内部作用产生缓慢的运动,并在活动带上表现出地震和火山的活动。

(2)地球内部结构

探索地球的起源、发展和活动,始终是人类文明进程中的重要课题。人类在地球的有限空间内,为谋求生存而耕种、猎狩和渔捞,为发展工业生产而寻找并开发矿产资源,其中包括石油、天然气、煤炭等能源,以及各种金属与非金属矿床。这就需要在不断深化对地球认识的基础上,详细了解地球的内部结构及其中各种地球动力学过程,作为生产实践的理论指导。其实,不仅资源勘探、开发如此,就是环境保护和灾害防治也需要深入认识地球内部结构,探索其成因机制和制约条件。

地震波在地球内部传播,其传播速度随深度的变化而不同。地震波速度取决于地球介质的弹性和密度。地震波在地球内部传播有几个速度发生急剧变化的界面,称为速度间断面。它们也是弹性

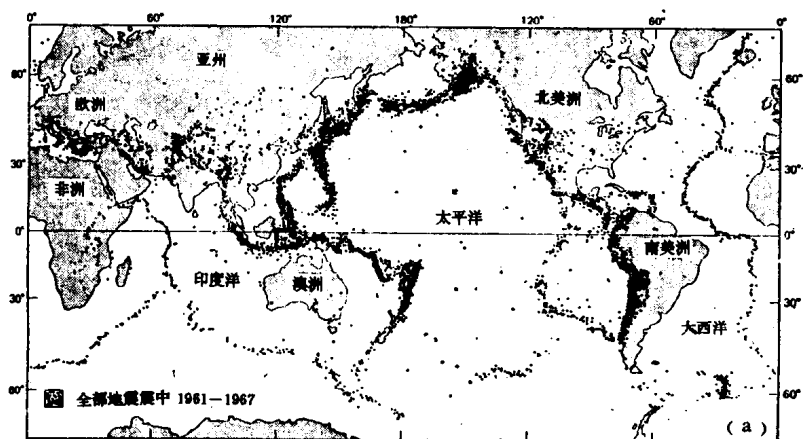


图 2 (a) 美国海岸和大地测量局在 1961 年到 1967 年记录到的全部地震的震中分布(引自 M. 巴拉赞吉和 J. 多尔曼,《美国地震学会公报》,59,369,1969)。

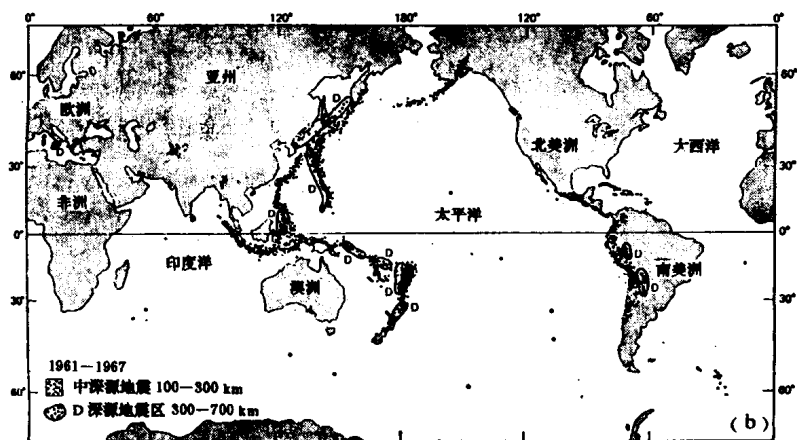


图 2 (b) 由美国海岸和大地测量局在 1961 到 1967 年间记录到的中深源和深源地震的震中分布(引自 M. 巴拉赞吉和 J. 多尔曼,1969,见图(a))。

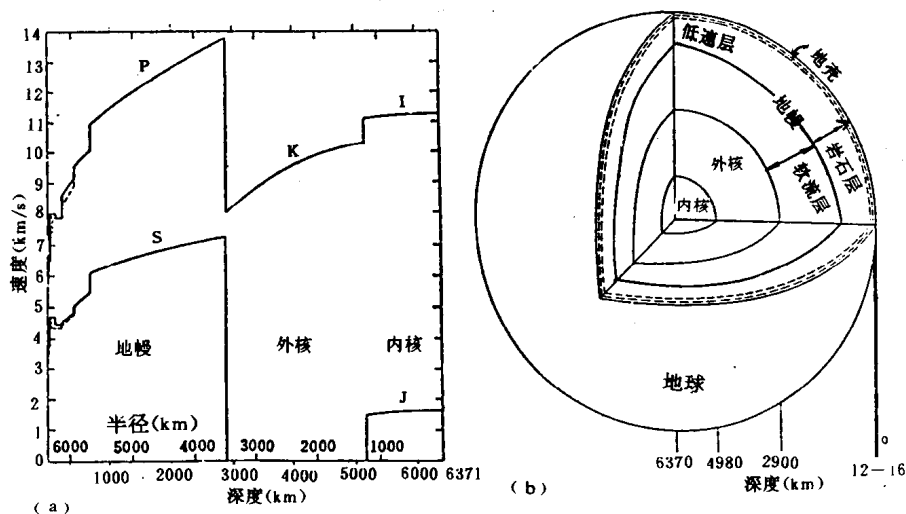


图3 地球内部体波(Pyo S)的速度数据,取自
Dgiewonski 等的地球模型

和密度不连续的界面(图3)。1909年,南斯拉夫地震学家莫霍洛维奇(Mohorovicic)首先发现第一个间断面,纵波速度由7.6km/s突然加到8.1km/s,横波速度由4.2km/s增加到4.6km/s,称为莫霍面,并作为地壳的底界。第二个间断面在地球内部2900km深度上,纵波速度由13.6km/s降低到8.10km/s,横波速度由7.30m/s而突然消失。这个间断面称为古登堡(Gutenberg)面,并被看成是地幔与地核的分界。于是,根据这两个间断面,将地球内部结构分为三个主要的圈层:地壳、地幔和地核。

莫霍间断面,作为地壳(Crust)的底界,在地球上广泛存在的。它在大陆地区的平均深约为33km,在我国青藏高原竟超过70km;在大洋地区平均埋深为17km左右,最小可达5km上下。大陆地壳由花岗岩质层和玄武岩质层组成,其间的次一级间断面称为康拉德(Conrad)面,其上还有沉积岩层,只是沉积岩层的厚度

相对来说要小很多。在大洋地壳中,花岗岩质层的厚度显著变薄,甚至消失,而主要是玄武岩质层。在我国的边缘海,如南中国海,作为大陆边缘,既有大陆地壳的展布,又有大洋地壳的出现,则说明其过渡性质。

在莫霍面和古登堡面之间的圈层称为地幔(Mantle),其厚度近2900km,体积占地球的82%,质量占67.8%。地幔中于984km处存在另一个次一级的间断面,将地幔分为上、下两层。上地幔为榴辉岩层或橄榄岩层,所以时常与地壳合在一起,称为岩石层(Lithosphere)。下地幔,可能由于放射性元素的大量集中,而具有异常高温,使其中物质处于局部熔融状态并表现出流变的性质,称为软流层(Asthenosphere)。

古登堡面到地心,称为地核(Core)。在其中约5000km的深度处,也有一个次一级的间断面而将地核分为外、内两部分。由于地震横波到达古登堡面时突然消失,而纵波进入内核之后又会转换成横波,从而认为,外核是流体状态,内核是固体的。

地球内部结构的分层性和层圈中的不均匀性是20世纪内地球科学所取得的重大认识之一,虽然它只是在宏观上提供了深入研究的基础,例如,大洋底的主要构造形态大多直接表现出地球内部的运动过程:软流层中上升的热对流作用,使大洋盆地出现隆起,而岩石层受对流作用而俯冲、下沉处出现海沟、岛弧和弧后盆地。因此,应该认为,大陆、大洋盆地、年青山脉和火山山脉,以及地震、火山的活动,矿产资源的形成与分布等,全都受到,甚至直接受到地球内部(深部)作用的控制和制约。今后研究的重点应更多地集中于地球动力学方面。

2. 对地球认识的发展

地学,作为研究固体地球的科学,在本世纪的发展中,长期经历着固定论和活动论之争。在对大洋底和地球内部有了一定认识

与了解之前,曾经出现许多学说(均变、收缩、膨胀、波动、脉动与铅垂构造等),大都同意并支持大陆作周期性升降运动和大洋盆地永存的观点,而反对或不承认在地球表面有巨大水平运动,称为固定论。在地学领域内,还出现了活动论观点,即在承认大陆具有铅垂升降运动的同时,还强调巨大水平运动的重要性。经过近一个世纪的消长,历史给出活动论发展的一条红线:大陆漂移—海底扩张—板块大地构造。

(1)大陆漂移

1912年左右,奥地利气象学家魏格纳(Alfred Lothar Wegener)在前人工作的基础上,广泛地搜集了许多地理的、生物的证据来探讨海陆成因,并提出了大陆漂移说(Continental Drift)。魏格纳认为,地球表面的大陆是处于漂移运动之中,就象船在海上行进那样;并从几何形态上指出,南北美洲和非洲曾经是拼合在一起的。尽管魏格纳勇敢地开创了地球活动论的先声,但是,大陆漂移说在很长时间里并没有得到地球科学界的承认。布拉德(E. C. Bullard)等用电子计算机确实将大西洋两侧拼合到一起(图4),但已经是1966年的事了。

(2)海底扩张

1960—1962年间,美国普林斯顿大学赫斯(H. H. Hess)教授总结他在第二次世界大战期间积累起来关于大洋底地形的资料,提出海底扩张说(Seafloorspreading),认为大洋盆地内,新洋壳沿洋脊中央裂谷上涌并扩张而产生。海底扩张说得到大洋地球物理研究的支持。1963年,凡因和马修斯(F. J. Vine, D. H. Matthews)在大洋洋脊附近发现对称于中央裂谷分布的磁条带异常(图5),而其年龄又是离开中央裂谷越远就越老。

(3)板块大地构造

世界标准化地震台网(L. M. Murphy)及一些现代地震台阵的资料表明,天然地震震源在地球表面的投影是连续而闭合的;在太

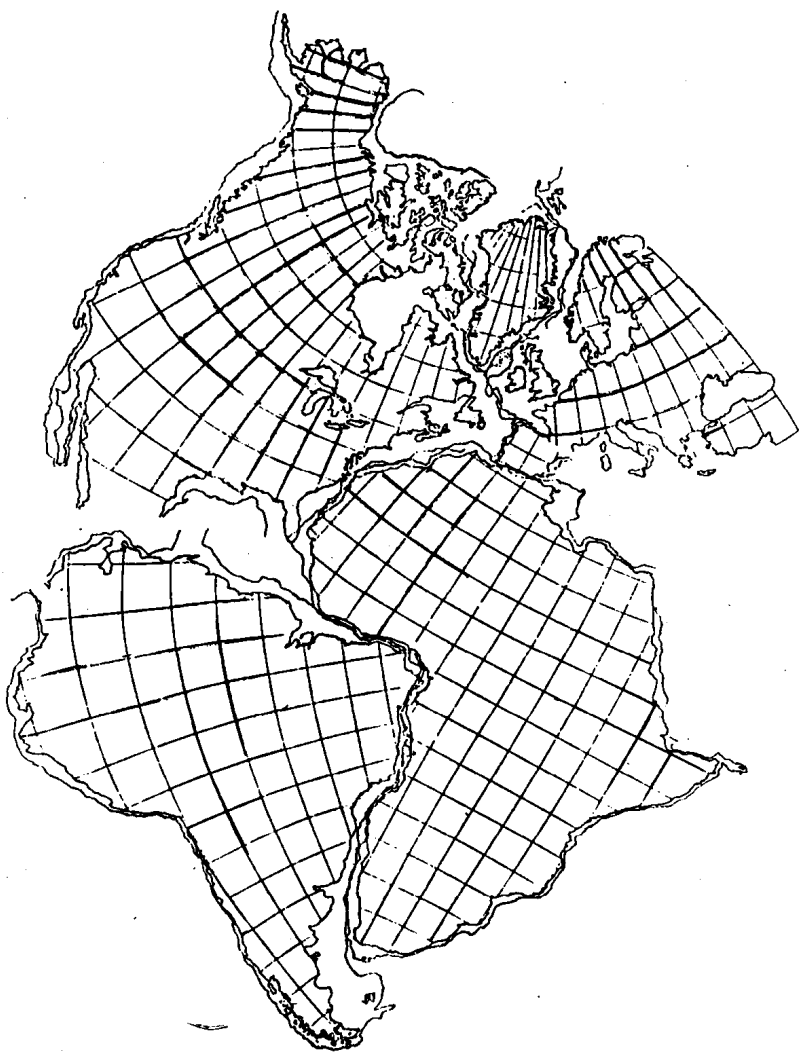


图 4

平洋周围海沟—岛弧—弧后盆地分布的地带内,震源由浅入深,可达700km以上,称为本尼奥夫(Benioff)带;而在洋脊的中央裂谷及其上的横向大断裂带,则只有浅源地震。此外,古地磁资料给出的极移曲线表明大陆是在漂移之中,而洋底热流和钻探结果也都支持海底扩张说,并且提供了这样惊人的事实:太平洋底没有老于侏罗纪的岩石,而大洋水的年龄竟远远超过2亿年。

在这些工作基础上,当时在美国拉蒙特地质研究所(Lamont—Doherty Geological Observatory)攻读博士学位的一批研究生,积极地投入工作,用电子计算机整理了全球的地质、地球物理资料,经过综合分析,提出了岩石层板块大地构造学说,也简称为板块构造。它全面而系统地总结了半个多世纪以来对地球的认识,将岩石层划分为六大板块和一系列小板块,给出每个板块的运动方向(图6箭头所示),板块边界有三种基本类型:

1)离散边界,岩石层板块向两侧作相反方向推移,如大洋洋脊上的中央裂谷,地幔物质在这里上涌,海底扩张,产生新地壳,并有浅源地震发生。其标志是有对称的磁条带异常;

2)聚敛边界,岩石层板块作相向运动,或相互碰撞产生山脉,或一个板块俯冲于另一个板块之下而消亡。它们在地形、地貌和地球物理场上都明显地表现出海沟—岛弧—弧后盆地的依次排列。本尼奥夫带表明此处地震震源深度由浅入深,可达700km以上(图7)。

3)保守边界,其两侧板块作相对滑动,既没有离散,也没有聚敛,而是彼此向相反方向错动,称为转换断层,如洋脊裂谷在横向大断裂上的表现(图8)。

板块运动具有传动带模式(图9);新地壳产生于洋脊裂谷,并不断地向外推移,而老地壳俯冲并消亡于海沟,其中间的过程正如一台巨大传动带的运转。

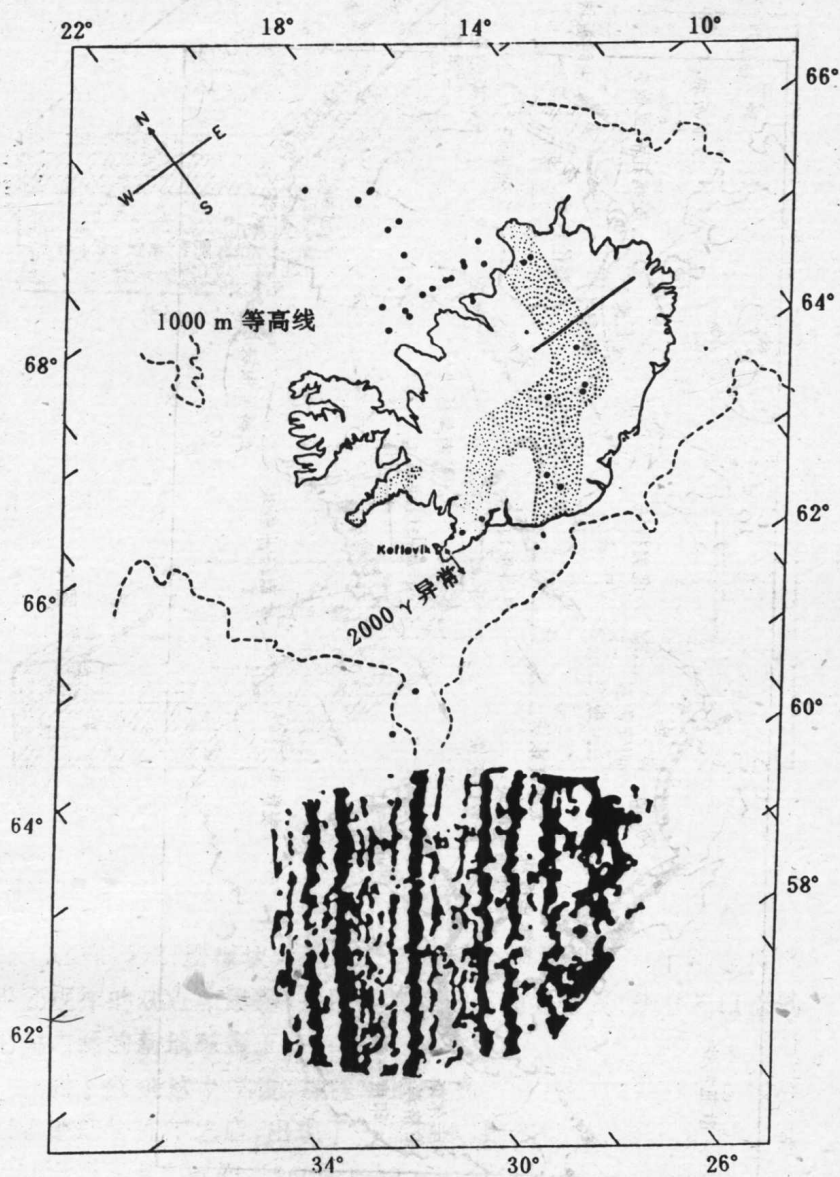
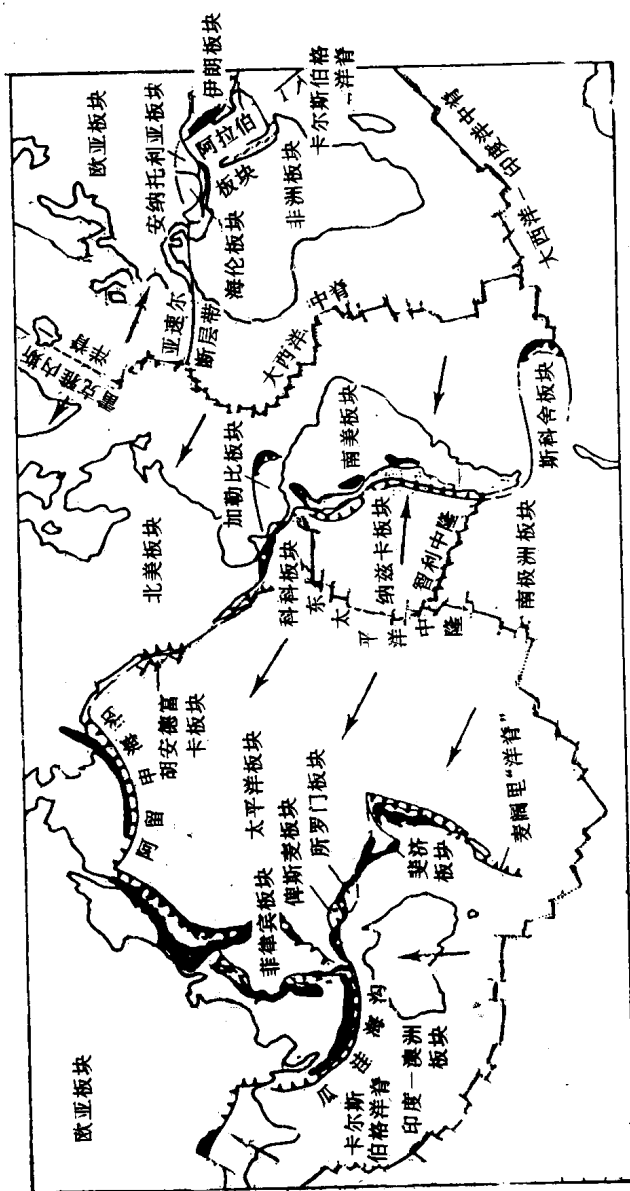


图 5



6
Rm

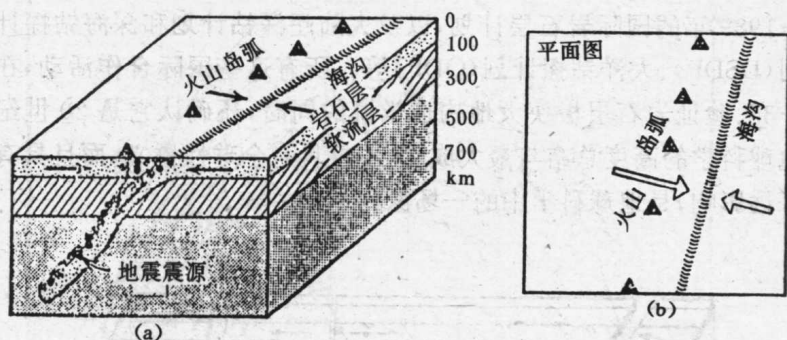


图7 与海沟和火山岛弧有关的板块相对运动

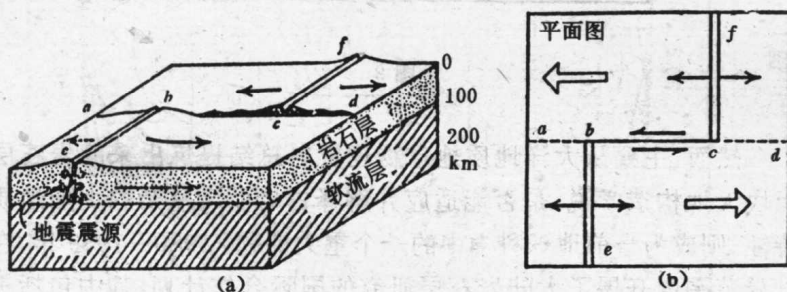


图8

这样,岩石层板块大地构造为地球科学提供了一个符合自然辩证规律的观点和思路,并用极其简单明确的模式,建立起以活动论为内涵的新地球观。

为了验证这个学说,加深对地球的认识,继 1957—1959 年的国际地球物理年之后,出现了一系列地球科学的国际合作计划,其活动至今不衰。例如,1960—1969 年的国际地壳上地幔计划,1980