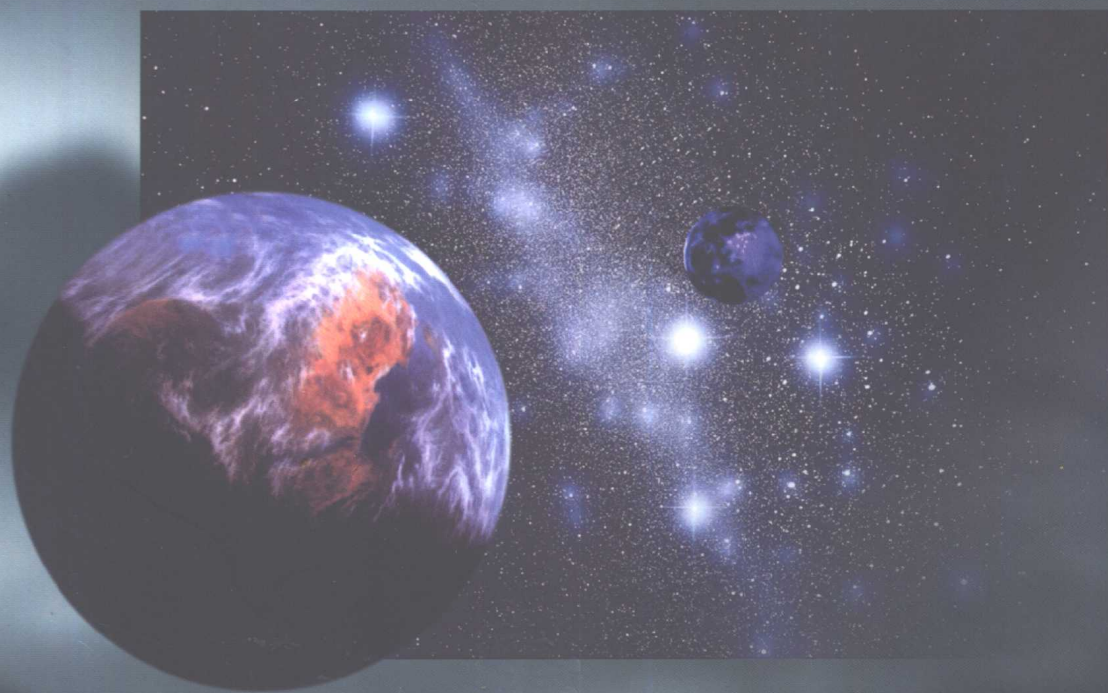


中国科学院动力大地测量学开放研究实验室
地震科学联合基金 资助

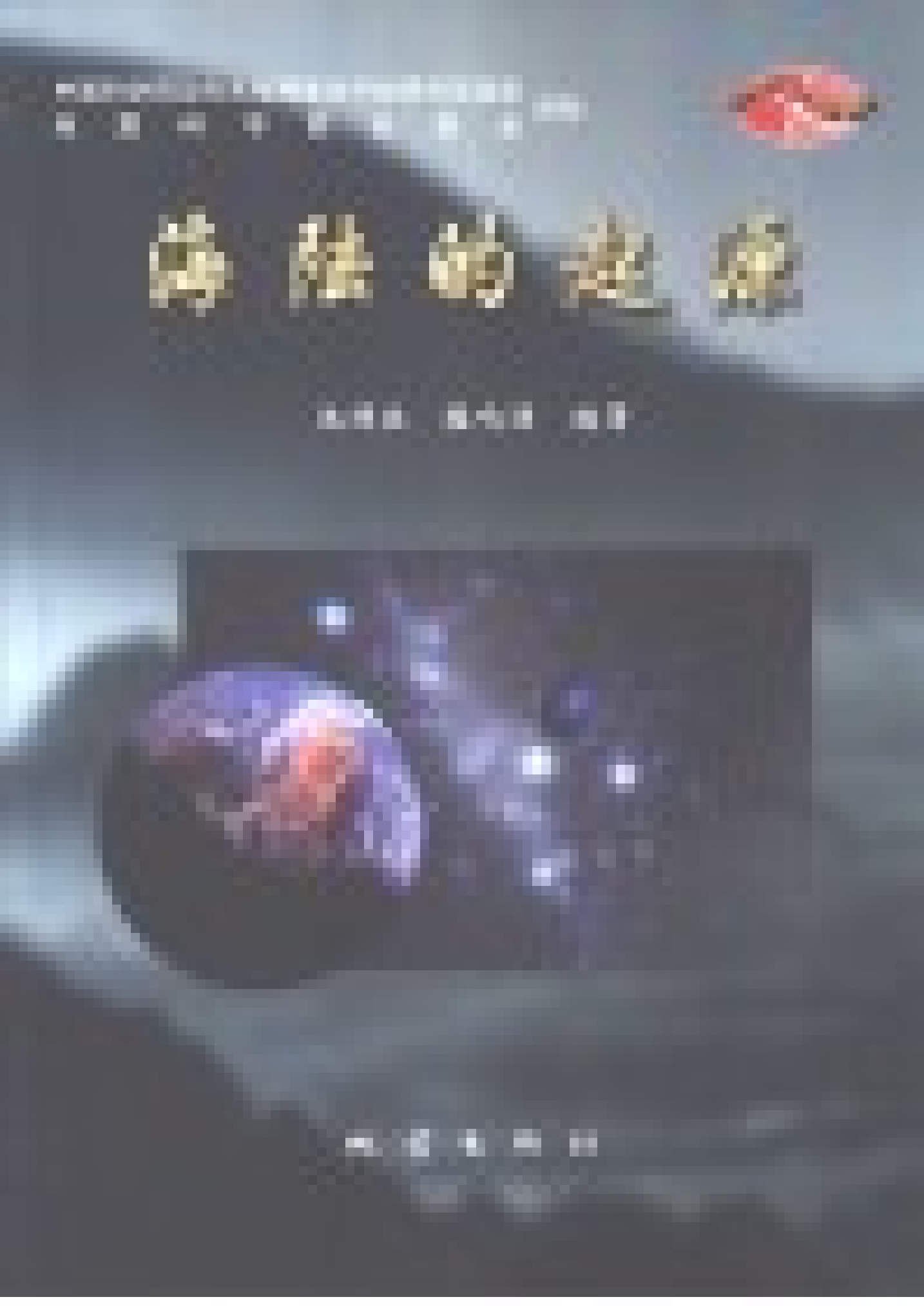


海陆的起源

池顺良 骆鸣津 编著



地震出版社



中国科学院动力大地测量学开放研究实验室 资助
地 震 科 学 联 合 基 金

海 陆 的 起 源

池顺良 骆鸣津 编著

地 震 出 版 社

2002

图书在版编目 (CIP) 数据

海陆的起源/池顺良、骆鸣津编著.

—北京:地震出版社,2002.1

ISBN 7-5028-1968-1

I. 海… II. ①池… ②骆 III. 大地构造学—研究 IV. P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 069357 号

海陆的起源

池顺良 骆鸣津 编著

责任编辑:吴冰

责任校对:张晓梅

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号 邮编:100081

发行部:68423031 68467993 传真:68423031

门市部:68467991 传真:68467972

总编室:68462709 68423029 传真:68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2002年1月第一版 2002年1月第一次印刷

开 本:787×1092 1/16

字 数:256千字

插 页:1

印 张:10

印 数:0001~2000

书 号:ISBN 7-5028-1968-1 / P·1095 (2519)

定 价:19.80元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

自然科学只要在思维着，它的发展形式就是假说。

——恩格斯

序 言

魏格纳的大陆漂移假说是以“海陆的起源”为书名出版的，本书冠以同样书名的理由是：在魏格纳的书中，海洋和陆地这些实体一开始就已存在，以后书中只是描述了陆块的分裂及海、陆位置的变迁，并未像“生命起源”或“太阳系起源”理论那样，向人们描述生命或行星等实体从无到有的生成、发展及演化过程。而本书则给出了陆地发生、维持、生长的过程与机制，并指出在我们居住的地球上，海陆演化发展的方向。因而本书有理由冠以“海陆的起源”的书名。

山脉与地槽的成因、海陆的起源、大陆的生长与维持，这些科学问题不仅地球科学家关心，广大爱好科学，渴望了解世界的人也热切希望知道答案。遗憾的是，现代地球科学还不能对这些问题作出令人满意的解答。

40年前发展起来的板块构造理论以其理论表述上的简洁性和逻辑性引发了20世纪地球科学一场革命。这一理论为人们描述了一幅海底扩张、大陆漂移与板块碰撞的宏伟图像。但更深入地探究又发现它存在根本性的缺陷和疑点，主要表现在：其动力机制的解释遇到了困难；对板块内部构造和岩浆活动的起因，对板块俯冲消减如何开始，洋底沉积层的去向以及伴随的岩浆活动的成因，边缘盆地的起源，对大陆的生长及其演化历史等重大问题都提不出有力的解释。就是板块说认为已经建立起来的基础，如关于海底扩张、板块运动及板缘碰撞造山活动等探讨较多并被认为比较确凿的过程，由于研究的深入和新资料

的积累，证实这些过程的真实性也还存在疑问。地震层析没有发现对流的证据，却发现大陆克拉通具有 400~500 km 深的“大陆根”，使对流实际上难以进行；海洋地质调查发现了一系列否定板块假说的重要证据，尤其是大西洋中多处发现古岩石，使海底扩张模型受到严重挑战；在位于大西洋中脊上的冰岛和位于红海两侧的阿法尔地区跨越扩张脊的一系列否定扩张的大地测量结果则令人进而怀疑板块运动的真实性。加上板块模式不适于解释复杂的大陆地质等事实，已令板块构造理论陷入了深刻的危机之中。目前各国地学工作者正在积极寻找超越板块理论的新假说。

这里介绍的海陆起源与地壳运动的内波假说，是以地幔分异为地壳物质来源，以地球自转为主导能源的全球构造新假说，企图解释大陆生长、海陆起源、海陆的四面体分布、大洋中脊体系的发生、内海及岛弧的形成及地槽和造山活动等主要的地质现象。

内波假说主张一个海陆分布相对稳定的地球更符合地质实际；设想中的地幔对流实际上并不存在；也没有板块的漂移和碰撞。

内波说建立在地球因重力分异形成了密度较小，浮在地幔上的玄武岩原始地壳为其理论展开的物质基础；以壳—幔界面在地球自转导致的潮汐变形策动力下的自激波动为地壳运动的动因；地壳深部的热过程为运动速率的控制因素；源于太阳辐射的外动力地质作用为运动的激发因素；内波的长波长分量形成全球尺度构造现象，短波长分量则支配着区域性的构造运动。

在地球这个有水的星球上，大气剥蚀作用极其强烈。任何一种地壳运动理论必须回答，大陆是如何不为剥蚀作用侵蚀而得以保存的。内波假说提供了使薄地壳底部物质向厚地壳底部搬运迁移的机制，使原始大陆得以产生。这种与剥蚀搬运相对立的物质迁移机制不仅抵消了陆壳表层物质向海洋大规模定向搬运对大陆的吞食，使大陆得以保存。而且正是内波动力机制，在数十亿年漫长时期中，将洋底地壳物质经过长距离水平运移，集中到大陆地壳底部，在地球上创造出了人类赖以生存的陆地。

提出内波说的作者是从事地震监测预报工作的科技工作者。地震预报工作是公认的世界难题，征途上一个重要的难关是要搞清地震的成因，作者就是在探索中国大陆地震成因问题上卷入了对地壳运动起源的研究，历时 26 年。

在研究中，作者曾向中国科学院长沙大地构造研究所杨洪之研究员请教有关大地构造方面的问题，获益匪浅。

该项工作，1991 年以“全球动力的内波机制研究”列入中国科学院测量与地球物理研究所动力大地测量学开放研究实验室项目。中国地震局地震科学联合基金会及河南省鹤壁市科委也对该研究给予了资助。中国科学院武汉分院院长许厚泽院士、张赤军研究员，开放实验室主任高布锡研究员、王勇研究员等对此项研究给予了热情的支持与帮助，中国地震局地球物理研究所的陈运泰院士、分析预报中心的郝钦文研究员及地震系统的许多同行也给予了热情的支持、关心和帮助。

还要感谢中国地质矿产信息研究院报道室、中国地震局地球物理研究所图书资料室、中国地震局地震研究所资料室在查阅资料方面给予的方便与帮助。

作者还要感谢鹤壁市政协与市政府为本书的出版筹集了资金。

本书在成稿中，池亮和池毅帮助组织了插图的扫描和编排。钟荣融对文稿文字方面的错误耐心地进行了改正。

对以上方方面面给以支持和帮助的各位同仁，在此表示衷心的感谢！

作 者

2001 年 7 月 13 日



作者简介

骆鸣津，1934年生，四川省资中县人，河南省地震局研究员。1954年清华大学毕业，1962年中国科学院大地测量研究所研究生毕业。曾任河南省地震局监测预报中心主任、中国地震学会地壳形变专业委员会委员、中国地震学会理事、河南省地震学会副理事长、地球物理学会常务理事、中国科学院大地测量与地球物理研究所开放实验室学术委员会副主任。从事大地测量及地球物理研究、地震预测、工程地震及仪器研制工作。1958年完成中国重力测量布置及施测，1962年提出等效内球理论，是中国首次研究大地物理测量的边值问题。建立应变固体潮响应理论，并开拓了应用领域。多次获中国科学院二等奖、国家地震局二等奖、三等奖等奖项。发表论文有《运用球函数解重力测量的基本微分方程》、《用耦合加力测定绝对地应力》、《三维钻孔应变仪的力学模型》和《起潮力作为地球演化的一种动力的探讨》等。配合池顺良提出了地球动力学的新学说——海陆起源和大地构造的内波假说。1992年获国务院政府津贴。



作者简介

池顺良, 1940年生于上海市。1963年上海同济大学毕业, 同年分配到北京市规划局, 1970年迁居鹤壁市。任中国地震学会地震观测技术专业委员会委员、中国科学院大地测量与地球物理研究所开放实验室客座研究员、河南省地震学会副理事长、地震学报编委、鹤壁市政协副主席、市科委副主任兼地震局局长。1976年开始研制高精度地震前兆仪器, 独立设计研制的多分量钻孔应变仪解决了美国萨克斯体应变仪只能观测单一应变分量的不足。研制的钻孔应变仪和倾斜仪先后获国家地震局和中国科学院科技进步二等奖。安装在泰安国家基准台的YRY-2型钻孔剪应变仪所测资料多次获全国观测资料评比第一名。1976年开始研究地震的根本成因, 发表有关论文十余篇。1996年在第三十届国际地质大会上发表了《海陆起源与大地构造的内波假说》。目前仍从事钻孔应变仪的改进和完善工作, 并在北京、上海、华北、浙江等地进行仪器布设。1992年获国务院政府津贴。

目 录

前 言	(1)
第 1 章 板块构造质疑	(2)
1.1 地震层析成像显示地幔中不存在板块假说推测的对流	(2)
1.2 “地幔对流”概念的物理及化学根据不足	(4)
1.3 海洋地质调查发现否定海底扩张假说的重要证据	(7)
1.4 与板块构造相抵触的古气候、古地理与古生物证据	(9)
1.5 板块构造假说难以包括大陆构造演化的复杂内容	(12)
1.6 对板块运动真实性的疑问	(13)
1.7 板块构造理论的内在缺陷	(16)
1.8 板块构造理论其他方面的问题	(17)
参考文献	(22)
第 2 章 如何创立行星地球地壳运动新学说	(25)
2.1 历史的回顾	(25)
2.2 来自天文学的借鉴	(27)
2.3 从地槽运动规律寻找地壳运动驱动机制	(30)
参考文献	(31)
第 3 章 大地构造及其演化的主要事实	(32)
3.1 地球表面形态的宏图特征	(32)
3.2 陆壳永存及大陆生长	(35)
3.3 地球的重力分异、圈层结构和地壳的形成	(39)
3.4 地壳均衡原理和莫霍面的性质	(40)
3.5 从地槽活动规律揭示其物质迁移运动	(42)
3.6 其他一些地质现象	(49)
参考文献	(51)
第 4 章 地壳运动的内波动力机制	(53)
4.1 地壳运动的能源分析	(53)
4.2 地球自转的效应	(54)

4.3 固体地球中的潮汐应力及潮汐机械能流	(57)
4.4 分层介质中的内波	(61)
4.5 潮汐作用引起莫霍面上内波生长的力学机制	(66)
参考文献	(73)
第 5 章 海陆起源及大地构造的内波假说	(75)
5.1 用莫霍面上内波生长机制解释地槽的演化	(75)
5.2 海陆起源的内波理论	(80)
5.3 洋底火山与大陆溢流玄武岩	(89)
参考文献	(95)
第 6 章 地球热能与地质外动力在内波假说中的地位	(97)
6.1 热在内波运动中的重要作用	(97)
6.2 地质外动力在地壳运动中的重要地位	(99)
参考文献	(99)
第 7 章 重力是推动地壳运动的杠杆.....	(100)
7.1 莫霍面波动在地壳中引起的构造应力	(100)
7.2 重力引起断层、褶皱、推覆构造与地震的实例	(101)
7.3 构造断裂引起自重压力消失、引发激烈的岩浆活动	(102)
参考文献.....	(104)
第 8 章 中国大陆地震成因机制探讨.....	(105)
8.1 中国大陆地震成因与板块碰撞无关	(105)
8.2 青藏高原物质重力流引起中国大陆地台区地震活动	(106)
参考文献.....	(111)
第 9 章 内波假说对中国区域大地构造运动的认识.....	(113)
9.1 中国区域大地构造的主要特征	(114)
9.2 地槽活动与中国大陆的形成	(116)
9.3 关于青藏高原的隆升	(117)
参考文献.....	(121)
第 10 章 内波假说的证据	(122)
10.1 来自月质学的证据.....	(122)
10.2 内波与分异说的地球化学证据.....	(126)
10.3 全球地震活动释放能量的纬度分布特点.....	(127)
10.4 深部岩石定向流动的证据.....	(129)
10.5 构造运动的计算机模拟.....	(131)

参考文献.....	(131)
第 11 章 地幔物质分异研究的新进展	(133)
11.1 玄武岩质地壳的成因.....	(133)
11.2 地球排气作用导致放射性元素向地表集中.....	(136)
参考文献.....	(138)
结 语.....	(139)
参考文献.....	(142)
附 录.....	(143)
一、固体地球中潮汐应力的计算.....	(143)
二、地幔中的潮汐能量及其转化.....	(145)
三、内波形成机制的弹塑性力学描述.....	(147)
四、结束语.....	(149)
参考文献.....	(149)

前 言

大地构造学是研究地壳构造运动，即海陆的起源与演化、山脉的成因、地层褶皱的形成等的发生、发展规律及其成因的一门科学。因其与人类生活的密切关系，大地构造学一直受到社会广泛关注。但这门科学主要是“……研究那些不但是我们所不曾经历过的，而且一般地是任何人所不曾经历过的过程，所以在这里要获得终极的最后真理是非常费力的事情……。”^[1]150年来大地构造学各种学说不断的更替史是恩格斯这段论述极好的写实。从1852年法国地质学家鲍蒙（Elie de Beaumont）发表冷缩说到丹纳（Dana）、阿尔冈（Argand）关于地槽理论专著发表、魏格纳（Wegener）关于大陆漂移设想的《海陆的起源》出版到20世纪60年代板块构造理论创立，大地构造学的基本理论几乎每隔半个世纪就更替一次。大地构造学基本理论的连续更替既说明人类对地球认识的不足，也反映了人类对他居住的这颗行星认识的不断深入。

被誉为20世纪地球科学伟大革命的板块构造理论是一个全球构造学说，比以往流行的区域性的槽-台学说无疑具有更引人入胜之处。板块理论的创立，受到19世纪全球地理大发现和20世纪40~50年代全球海底大发现的重大影响。当海洋科学将隐藏在大海波涛深处的海底地貌第一次揭示在人们面前时，地球科学家们激动的心情和丰富的联想是可以想见的。但40~50年代全球性的发现只是个开端，1980年之后，随着地震层析、卫星测量、地幔岩包裹体分析、陨石学与行星起源理论的进展等以及计算机技术的飞速发展，地球深部结构、全球重力模型及地球化学等大量资料已展现在大地构造学家面前，更新更完善的全球构造学说的出现已是“箭在弦上”。

对当前流行的、占主导地位的传统理论质疑与批判性的剖析，往往是新理论提出的前奏。板块说作为当前大地构造学主流学派，尽管得到大多数地球科学家的认同，但这个理论确实在许多方面存在疑问，值得人们进行更深入的剖析和探究。

第 1 章 板块构造质疑

从魏格纳提出大陆漂移设想到板块构造理论的创立,地球科学经历了一场真正疾风暴雨般的革命。现在,板块构造理论已经为大部分地球科学家接受,成为认识地壳运动和大地构造成因及演变的基础理论。板块构造的内容已被编入学校教科书,“大陆漂移”、“板块碰撞”等概念已广泛流传。在所有各个层次的地球科学论著中,关于造山作用、地震和火山活动以及地质学的其他方面都在依据板块构造理论和大陆漂移的模式加以解释。“一边倒的趋势使得许多研究者不加批判地接受了这个假说”^[2]。“如果一位请求在美国大学某系任职的青年,在 1960 年公开宣称他信奉大陆漂移学说,就足以使这位应试者不会受到任何任命。与此相同,一位同样的应试者若在 1975 年申明他(或她)不相信大陆漂移学说的证据,也可能会遭到同样的命运”^[3]。如今,五六十年代在我国地学界曾经百家争鸣的诸多大地构造学学派,因板块构造假说的冲击而几乎消声匿迹。经过几代地质人员艰辛劳动所获得的经典地质学成果已快被人们遗忘了。

然而,板块构造假说的基础并非已牢固确立。相反,一系列事实表明,大陆漂移和板块构造的真实性仍然存在疑问,主要表现在:其动力机制解释仍然困难重重;对板块内部构造和岩浆活动的起因,对于板块俯冲消减如何开始,洋底沉积层的去向以及伴随的岩浆活动的成因,边缘盆地的起源以及对大陆的生长演化等重大问题都还提不出有力的解释;就是板块学说认为已经建立起来的基础,如关于海底扩张、板块运动及板缘碰撞造山活动等探讨较多并认为比较确凿的过程,由于研究的深入和新资料的积累,其真实性也大有疑问。许多与“板块构造-地幔对流”假说矛盾的事实不断被发现。

1.1 地震层析成像显示地幔中不存在板块假说推测的对流

在板块构造提出的同时,地球物理学家就开始尝试解释是什么力量引起板块运动。大部分地球科学家认为,只有地幔对流可能成为板块运动的原动力。因此,地球物理学家们希望给出一个能确定驱动力和描述深部物质运动的定量模型,一个确定的地幔对流模型。这方面最重要的努力是三维地震层析成像的研究^[4,5]。

但是,已获得的地震层析成像资料没有显示地幔中存在层状对流的证据。无论从体波或面波层析图上都可看到高波速的大陆根的存在,反映波速扰动大于 2% 的高速体位于各大陆块下方,深达 400 km 以上(彩图 1, Fukao et al.). 大陆具有深达 400 km 的“壳根”,表明地球缺乏完整的软流圈,使大地构造运动难以纳入地幔对流模型(图 1-1)。地表大地构造同深部异常的对应只适用于 200 km 深度以浅部位,暗示了大地构造现象的地球浅部属性^[6]。

图 1-1 显示北美克拉通和北大西洋速度结构的 SW-NE 向地震层析剖面。高速岩石圈为暗色调,位于加拿大地盾之下深达 250~500 km。因而,文献[7, 8]指出,克拉通具有深地幔根,其下的低速带或者缺失,或者很薄。这个剖面或类似剖面说明陆核固定在

地幔中^[9]。

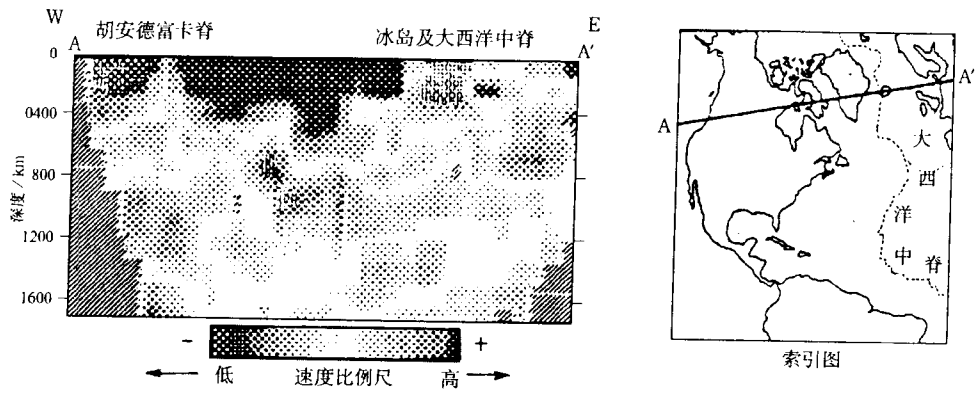


图 1-1 大陆地盾具有深达 400 km 的壳根

速度标尺：深度 320 km 以上为 -3%~3%；320~405 km 为 -1.5%~1.5%；405 km 以下为 -0.9%~0.9%

同时发现，洋脊和许多热点下方的热区位置也仅限于 250 km 以浅部位，说明洋脊和多数热点的热源区同样位于浅部，显然，与深部热对流或热地幔柱上涌形成洋脊和热点的模式不符（图 1-2）^[10~12]。

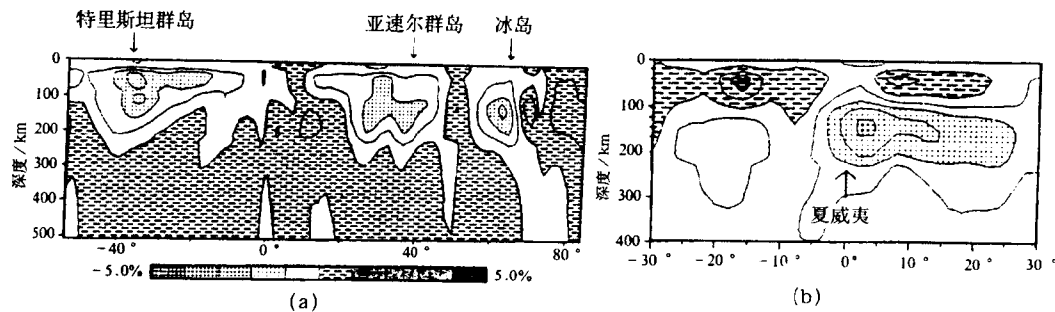


图 1-2 洋脊及热点处的地震层析速度剖面（引自文献 [12]）

（a）经过冰岛—亚速尔群岛—特里斯坦群岛的南北向剖面；（b）经过夏威夷的剖面

三维地震层析揭示了地震波速异常集中在莫霍面和核幔面附近的总体格局。图 1-3 所示的地震波速异常主要集中于壳幔及核幔界面，地幔中部地震波速十分均匀，强烈地暗示了地壳运动与地球分层界面存在有关^[4,13]。

近 20 年来地震层析提供了丰富的地球内部信息，但这些数据在地球动力学的地幔对流解释中无法与板块构造结合，以说明板块运动的动力来源，相反，观察到的图像反而使人更加怀疑对流存在的可能。正像有些地球物理学家所说的，“要为板块构造和地球动力学，要为诸如大地构造和地幔对流这样的问题提供直接的地震学证据将是一个长期的目标。”^[14]

至于如何把大地构造运动和岩石圈板块运动纳入对流模型之中，对地球科学更是一个巨大的挑战^[15]。

目前，地震层析成像资料已基本否定了关于地幔中存在全地幔对流或分层对流的原始设想。资料表明，地幔中即使存在某种对流，也不是单层对流或分层对流，可能具有复杂

的结构，也许是相当于混沌状态的某种紊流。研究地幔对流的科学家也认为，再用“对流”一词表述地幔物质的运动是不恰当的，已改称其为“地幔流动”了。那末某种紊流式样的地幔流动还能成为板块构造的动力机制吗？

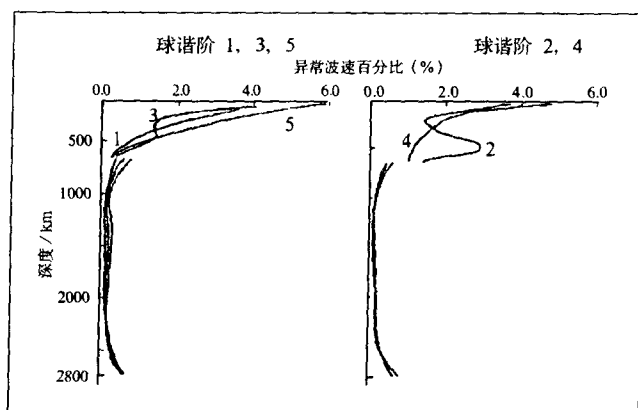


图 1-3 地幔中地震波速不均匀性与深度的关系 (引自文献 [4, 13])

1.2 “地幔对流”概念的物理及化学根据不足

在一定条件下，液体和气体都会形成对流。1928 年，Holmes 提出了固态地幔对流的概念。1939 年 Griggs 为解释造山作用提出了关于地幔对流的全盘设想。

在地幔中存在对流并没有直接的观测证据。假定它的存在是为了解释大陆漂移和板块运动。那么，地幔对流与板块运动之间成了互为证据的关系。

根据下述理由，认为“地幔对流”概念并无充分的物理与化学依据。

1.2.1 重力分异形成的圈层结构与对流不相容

根据太阳系及行星起源演化理论，行星是星际尘埃和星子物质吸积凝聚而成。随着放射性热和吸积碰撞热的积聚，行星物质中，比重大的铁镍物质向中心集聚形成星核，比重较轻的物质向表面移动，形成星幔和星壳。故而，水星，金星，地球，火星这四个类地行星具有类似的核-幔-壳分异结构。但通常认为水星，金星，火星只有分异而无对流，唯独轨道位于金星与火星间的地球被认为能发生对流。

重力分异与对流是两种不相容的物质运动过程。地球物质在长期重力分异下形成化学分层，经重力分异形成的化学分层间是不能形成对流的。除非假定参与对流的地幔物质化学成分高度均一，但这样的假定并无充分根据。而根据地球化学和岩石化学研究，更可能的情况是上地幔和下地幔的物质组成在化学上有差别。上地幔中的主要矿物是橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和石榴石，以及少量的钛铁矿和铬铁矿。被玄武岩和金伯利岩喷发带到地面的地幔岩包裹体，已被确认来自 80~250 km 深度的上地幔。对下地幔的成分组成，目前只能根据地震波资料或地球模型确定的密度、温度分布与矿物岩石在相应温度、压力条件下实验室测定的密度、波速数据对比来推测。因此，下地幔与上地幔的化学成分是否相同目前仍无一致的看法。我们还不能推断地球深部下地幔的物质成分。

但陨石给我们提供了向地球深部认识延伸的机会。陨石学的研究指出,从陨石的成分和演化来说,陨石分为两大类:一类为分异型;一类为原始型。无球粒陨石、石陨石、石铁陨石、铁石陨石、铁陨石都属于分异型的,即经过了岩浆的侵入或喷出、或部分熔融而产生结晶分异,或岩浆残留物凝结形成。球粒陨石则属于原始型的,除了挥发性很强的元素或者没有凝聚、或者在陨石后来加热时丢失,它们是由原始星云中直接凝聚形成的,没有经受像分异型陨石或地球岩石那样的化学分异,它们在化学组成上非常类似于太阳的组成。一系列特征说明它们形成后一直没有强烈受热、压缩和变化,也即是说它们没有被深深埋入行星体的内部,代表了从太阳系形成以来变化很少的原始物质,而其中以 CI 型碳质球粒陨石为最原始^[16]。

分异型陨石无疑需要在行星或小行星(直径 100~500 km)内部的温压条件下,才能经受无球粒陨石的玄武岩质熔岩所要求的岩浆分异过程,允许铁陨石在其内部慢慢地冷却(从铁陨石上的维斯台登图像得到其冷却速率约为 1℃/Ma)并进行其他的分异过程。很长时间以来,人们认为分异型陨石的母体来自行星或小行星爆炸的碎块,但此问题至今众说不一^[17]。但不管陨石母体是来自小行星或较大的行星,其分异产物的多样性是个不争的事实。因此,我们完全有理由认为,地幔在重力作用下的物质分异也会造成随着深度的加大,地幔物质的化学成分密度增大,就像从石陨石到石铁陨石、铁石陨石到铁陨石存在一个几乎连续变化的系列。

关于对流的研究认为,分层间的化学成分密度差只要达到千分之一就能完全阻断对流的发生。在这样一个化学分层的地幔系统中,单靠热密度差是不可能形成冲破圈层分隔的对流的。

1.2.2 关于地幔对流的瑞利数计算中未知系数过多

流体力学通过实验与理论研究,确定了热对流发生的失稳条件及临界瑞利数值。认为地幔中可能存在对流的流体力学依据是:用已知地幔内部的地球物理参数计算地幔系统的瑞利数大于临界瑞利数,因而认为对流可在地幔中发生。

假定在地幔底部加热,并将对流体系简化为两平板中的流体系统时,瑞利数 Ra 可表示为^[18]:

$$Ra = - \frac{g\gamma\beta H^4}{D\nu}$$

式中, g 为重力加速度; γ 为体胀系数; β 为温度梯度; H 为对流层厚度; D 为热扩散系数; ν 为粘滞系数。

流体力学实验与分析指出,对不同阶的对流形式,流体系统瑞利数 $Ra > 2\,000$ 时,对流就会发生。主张地幔对流的学者认为地幔系统的瑞利数 Ra 大于临界瑞利数,因而认为对流是存在的。

其实,在地球深部高温高压条件下,计算瑞利数所需的许多地球物理参数并不确定。这些参数有:体胀系数 γ 、热扩散系数 D 、粘滞系数 ν 及对流层的层厚 H 。由于缺乏实验和观测数据,这些参数仍是不确定的。如高温高压下岩石的热扩散系数 D 事实上缺少实验数据。在地幔深处高温高压条件下,岩石的光子热导率有可能大大超过声子热导率,辐射传导成为热传导的主要方式,但我们并不清楚深部地幔岩对红外辐射的透明度。如果