

板 块 构 造 学 基 础

金 性 春

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统介绍板块构造的基本原理和论据,重点论述大陆裂谷、大西洋型大陆边缘、岛弧-海沟系、碰撞带等大地构造环境的特征和演化,将地槽-地台的发展与上述大地构造环境的演化联系起来进行讨论,并阐述了中国板块构造演化的基本特点。

本书综合国内外有关板块大地构造研究精华和最新成果,注重基本概念和基本原理的阐述,兼顾海洋地质和大陆地质、现代板块和古板块的讨论,观点鲜明,理论联系实际,适合地质、地理、地球物理、海洋地质、石油地质工作者和有关院校师生阅读参考,亦可作板块大地构造学教程。

序

地球科学的基本任务是认识地球。正确地认识地球的形成与演化,其本身就具有极为重要的理论意义,而对于探查矿产资源、预防灾害等许多实际工作又有重大的实践意义。但是,人们认识地球在其漫长的发展进程中所经历的活动和演变的过程却是十分曲折的。

本世纪初,Alfred Wegener 总结并发展了前人对大陆运动的认识,提出了大陆漂移说(1912),曾经在地学界引起一场轩然大波。开始是激烈的论战,随后是长时间处于僵持状况的沉寂。直到六十年代初,Harry H. Hess 发表了海底扩张说(1962),在新的基础上论述了地壳的产生和消亡,才使活动论的观点重新引起普遍的兴趣和重视。在此前后,有回声测深仪对全球性洋脊-裂谷系的发现(B. Heezen, M. Tharp, M. Ewing, 1959),核子旋进磁力仪对洋底磁条带异常的发现(A. D. Raff, R. G. Mason, 1958)和解释(F. J. Vine, D. H. Matthews, 1963),标准地震台站网的观测(L. R. Sykes, 1963)和洋底横大断裂与转换断层的发现(J. T. Wilson, 1965),尤其是岩石古地磁学对磁极游移路线的长期研究(P. M. S. Blackett, S. K. Runcorn, 1950~60)与地磁时标的建立(A. Cox, R. Doell, B. Dalrymple, I. McDougall, 1963)等,不仅为海底扩张说提供了依据,而且是有力的支持。继之而起的是岩石圈板块大地构造说的出现(X. LePichon, D. P. McKenzie, R. L. Parker, W. J. Morgan, 1967~68)和在海洋地区内进行的广泛验证活动,其中主要是地球深部取样联合海洋研究机构(JOIDES, 1964)创导下的深海钻探计划(DSDP, 1968)。格罗玛·挑战者号在大洋底获取的大量岩芯说明了这样一个事实:大洋地壳与大陆地壳相比是年青的,大洋底与大洋水相比也是年青的,从而有力地支持了大陆漂移海底扩张与板块大地构造这样一条思维线索对地球的活动方式所取得的认识。

板块大地构造在现代科学技术成就的基础上,继承并发展了大陆漂移和海底扩张的概念,对地球的演化取得十分简洁的结论:沧桑之变,或者,大陆的分合与大洋的启闭,实际就是岩石圈板块的生长、漂移、俯冲与碰撞的历史。它合理地解释了地球上绝大多数的地质现象与地质作用。板块大地构造所取得的成就是具有划时代意义的,尽管它也遭遇到许多困难并存在不少未解之谜,有待于进一步探讨。

在回顾半个世纪以来新学说诞生的历程时,确实有许多令人深思之处。任何新学说的出现,开始总是不完善的,需要有象 Wegener 那样坚定的信念,刚强的意志,勇往直前。当时,Wegener 的岳父柯本教授曾经告诫过他:大陆漂移说的建立需要占有不同科学领域的知识,同时要考虑到固定论的强大反对势力。而 Wegener 坚定不移,热情奔放地为“大陆漂移”搜集证据,直至在他五十岁生日的时候,英勇地牺牲于格陵兰冰原中心的探险活动中。Wegener 为后世作出了献身于科学事业的典范。此外,Wegener 生前确也遭受到传统势力的反对。尽管二十世纪二十年代不同于哥白尼所际遇的教会统治时期,但当时顽固保守者的攻击却也是无所不用其极的。1926 年美国石油地质工作者协会在纽约的集会上,就曾有知名人士用尽了刻薄、挖苦、讽刺的语言,来对待初生的大陆漂移说。

大陆漂移说尽管遭到冷落,但它思维的火花仍旧不时启迪着一些学者。Harry H. Hess,

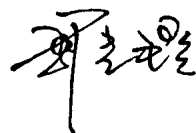
普林斯顿大学地质系主任,在太平洋战争时期任凯普·约翰逊号舰长,他利用船上回声测深仪对海底作了不间断的观测,在太平洋底发现160座海底平顶山,并对这些平顶山的性质、成因和演化作了深入研究,奠定了海底扩张概念的基础。但是,H. H. Hess是谦逊的,他将海底平顶山命名为Guyot,用来纪念普林斯顿大学的第一位地质学教授。1957年2月26日,哥伦比亚大学拉蒙特研究所B. Heezen到普林斯顿大学去报告新发现的裂谷,H. H. Hess当即指出:“您动摇了地质学的基础”。在长期冷静而严肃地分析各种资料,认真而睿智地思考之后,H. H. Hess终于提出了海底扩张说,为地球科学的发展作出了重大贡献。由于H. H. Hess的教育和影响产生出新一代地球科学工作者,其中著名的古地磁学家S. K. Runcorn就是在聆听了H. H. Hess的指导:“地磁的发现可以更好地用海底扩张造成的地理变化来解释”之后转变成板块学者的。

尽管迄今仍有苏联B. B. Белоусов、英国H. Jeffreys和美国A. A. Meyerhoff等三家坚持反对板块大地构造的概念,但是,板块大地构造的信奉者越来越多,尤其是许多年青的地质地球物理学家如Vine, Le Pichon, McKenzie等等,对板块大地构造的建立和发展作出了多方面的贡献,使学说的发展呈现一派生机勃勃的景象。现在,广泛的国际合作不断地深入,板块的研究几乎遍及世界各大洋,同时也进入各个大陆。板块大地构造说有着强大的生命力和良好的发展前景。

最早向中国介绍板块大地构造概念的是尹赞勋和傅承义两位教授。随后,李春昱、朱夏、郭令智等教授分别针对中国的地质情况进行了板块大地构造的研究。但是,在国内还没有见到一本全面而系统地论述板块大地构造的著述。在这种情况下,同济大学海洋地质系金性春同志编著了这本《板块构造学基础》,是具有积极意义的。在仔细阅读之后,我认为这本书是值得向地质、地球物理工作者,特别是高等院校师生推荐的。

当前,板块大地构造学的发展异常迅速,在此学说的指引下,学术思想空前活跃。有关文章有如雪片般飞来,要想在这种背景情况下写成一本全面而系统地介绍板块构造学的书来,显然要花费十分巨大的劳动。法国Jean Coulomb在七十年代初曾追随当时海底扩张与板块大地构造的发展编写了一本《海底扩张与大陆漂移》。现在看起来,正如该书作者所说的,只能是作为给研究生用的讲座内容,因为它仅提纲挈领地作了阐述。当然,在当时的情况下,也不应要求作者对大洋的启闭、大陆的离合作进一步的介绍。加拿大J. Tuzo Wilson与J. A. Jacobs、R. D. Russell合作,经过十多年的酝酿,1974年出版了《物理学与地质学》的第二版,是作者转变观点后提供的一本全面而内容丰富的书,其中用了较多的篇幅来阐述大洋盆地的演化,即所谓Wilson旋回。但是,这本书出版至今已将近十年,而新的进展却层出不穷。金性春同志在编写《板块构造学基础》的过程中,已经注意到了这些情况。

因此,我希望《板块构造学基础》问世之后,能得到广大读者的关注。同时还祝愿有更多的地学工作者象Wegener那样热情坚定,象Hess那样冷静深思,用板块大地构造的观点来解决中国地学领域的实际问题,为我们伟大祖国的繁荣昌盛作出贡献。



1982.7.28 上海

前 言

本世纪六十年代板块构造说兴起,这是当代地球科学发展中的划时代事件。板块学说的孕育,先后经历了六十年(1910~1970)坎坷曲折的历程。它发端于1912年魏格纳(A. L. Wegener)创建的大陆漂移说,后经阿尔冈(E. Argand, 1924)、霍姆斯(A. Holmes, 1928)、迪图瓦(Du Toit, 1937)等进一步发挥;它奠基于是赫斯(H. H. Hess, 1960, 1962)提出的海底扩张说,后经迪茨(R. S. Dietz, 1961)、瓦因和马修斯(F. J. Vine and D. H. Matthews, 1963)、威尔逊(J. T. Wilson, 1965)、海茨勒(J. R. Heirtzler et al., 1968)等进一步论证;板块学说本身则是大陆漂移和海底扩张说的引伸和发展,它是1967~1968年期间由摩根(W. J. Morgan, 1968)、勒皮雄(X. Le Pichon, 1968)、麦肯齐等(D. P. McKenzie and R. L. Parker, 1967)以及伊萨克斯等(B. Isaacs et al., 1968)提出来的。

板块构造说的基本概念相当简洁。它揭示了地球的表壳——岩石圈被裂解为若干巨大的板块,坚硬的岩石圈板块驮伏在塑性软流圈之上,横跨地球表面发生大规模水平运动。板块与板块之间,或相互分离,或相互聚合,或相互平移。在分离处,软流圈地幔物质上涌,冷凝成新的海洋岩石圈,导致板块增生;在聚合处,大洋板块俯冲至相邻板块之下,返回地幔,导致板块消亡。板块运动及其相互作用激起了地震和火山活动,带动了大陆漂移和大洋盆地的张开与关闭,也导致了种种地质构造作用。可以说,直至板块学说问世之后,地球科学家才第一次比较成功地回答了“地球是怎样活动的”问题。

回顾十八世纪末叶地质科学诞生以来,曾取得不少重大成就。可是,迄本世纪六十年代以前,地质学在许多方面还带有描述性质,地质学的各部门相互割裂,对于许多地质现象之间的因果关系和本质联系,仍然是不明不白的,在地质科学中还未能建立起一种完整统一的严密的理论体系。

而今,在板块构造活动统一的图案中,一系列地质现象获得了相互关联、协调一致的解释。新学说使得地质学逐渐从过去拘泥于自然现象的单纯描述和事实的罗列中解脱出来,使得相互割裂的各分支学科逐渐组合起来,趋向于形成一种统一的地质概念。板块构造说所提供的坚实的理论基础,促使地质学有可能从定性描述走向定量和预测,从区域性的研究走向全球规模的探索,从资料的搜集走向原理的探求。

显然,板块构造说并非某一学科少数学者研究的产物,它不是一种学术派别,而是国际上许多国家,地球科学各个分支学科的无数学者广泛运用现代化科学技术联合研究的成果。它是世界科学的共同财富。近二十年来的迅猛发展表明,板块构造说已经不是一项推断性的假说,而是地质学和地球物理学的基本理论,它实际上已成为理论地质学的指导思想和核心。1971年,日本学者上田诚也在其名著《新地球观》中称板块构造说为“伟大的假说”。过了八年,上田修正了这一说法,认为板块说是对“伟大事实的认识”。许多学者指出,板块理论的意义和重要性,堪与哥白尼的发现及达尔文的学说相媲美。这方面,尹赞勋先生的一段话十分热情而又中肯:“在地质学发展史上,板块学说标志着一个时代的终止和另一个时代的开始。”在这种背景下,板块构造理论本身,理所当然地构成了一门新型的现代大地构造

• i •

学,即板块(大地)构造学(Plate Tectonics)。

板块构造学以岩石圈板块及其相互作用为研究对象,并力图将地壳运动、岩浆活动、变质作用、沉积作用、成矿作用、地槽发展、地壳的形成和演化等地质学重大问题纳入统一的板块构造理论范畴中去。这就是说,该新兴学科既论述板块学说的基本原理,也包括板块学说在地质学各个领域的发展和应用。

板块构造学在推进地球科学基本理论的发展方面意义深远,在预测地震、寻找矿产资源的实践中已获得广泛的应用。还在这场地球科学革命刚揭开序幕的时候,威尔逊曾经大声呼吁:要不失时机地吸取新学说的成果,大学的课程应作出相应的改变。美国地质学会1973年调查指出,地质系学生学习电子计算机应用、遥感技术、板块构造等课程,对适应当前工作需要是很有利的。笔者认为这些提示是有道理的,因此不揣浅陋,在该课程讲稿的基础上,经过认真改写,撰成《板块构造学基础》一书。

本书前几章,系统地讨论了板块构造的基本原理和论据。在此基础上,重点对大陆裂谷、大西洋型大陆边缘、岛弧-海沟系、碰撞带等大地构造环境特征和演化进行论述(第五章),这是板块构造原理在地质构造学中的具体阐发和应用。第六章将地槽-地台的发展与上述大地构造环境的演化联系起来,力图将对地槽学说的认识与板块理论融为一体,从而为陆上古板块构造的研究(第七、第八章)打下基础;其中对地台的活化及地洼区的性质问题,作了专门的探讨。第八章就中国板块构造演化的模式和基本特点,提出了一些粗浅的看法。在总结性的第十章里,概括地讨论了地壳运动、地壳构造演化的若干基本观点。

本书兼顾海洋地质与大陆地质、现代板块构造与古板块构造的讨论;着重基本概念和基本原理的分析和综合,避免繁琐区域性资料的堆砌,并努力吸取新的研究成果,希望能有助于初学者开阔思路,提高分析问题的能力。在一些大地构造学教程中,开头部分常有地球内部结构和物理性质等章节。考虑到这些内容大多在普通地质学教科书中作过介绍,为使本书更为紧凑,我们略去了这些章节。此外,为便于读者进一步查考,将主要参考文献分别列于各章的末尾,书中援引的部分零星资料或观点,在脚注中注明出处。鉴于板块构造及其相关领域的文献浩如烟海,对不少问题,各家的意见颇有分歧,加之作者学识和能力所限,本书难免有错误和疏漏之处,姑作引玉之砖,犹望读者多加指教。

本书初稿承刘光鼎教授审阅,又蒙朱夏教授抱病审阅了本书的大部分章节。刘光鼎教授欣然为本书作序并提供了文献资料。在搜集、查阅资料的过程中,得到作者的同事姚明、莫惠林的热情帮助。工作中还得到我系领导人及其他一些同志的关心和支持。书中插图由何福英、王秀雅、吴梅英等同志清绘。在此一并致谢。

作者于同济大学海洋地质系

1983年11月

目 录

序

前 言

第一章 历史的回顾	1
第一节 一些经典大地构造假说的历史评述	1
第二节 魏格纳的大陆漂移说	4
一、漂移说的基本内容和依据	4
二、漂移说的衰落	7
第三节 大陆漂移说的新证据	8
一、古地磁与大陆漂移	8
二、大陆拼接及其他	10
第二章 海底扩张说	15
第一节 洋底地形	15
一、大洋中脊	15
二、洋盆底部	17
三、大陆边缘	18
第二节 洋底地壳	19
一、大洋地壳的三层结构	19
二、洋底主要单元的地壳结构	21
第三节 海底扩张说的提出	23
第四节 海底磁异常与地磁场倒转	24
一、条带状的海底磁异常	24
二、瓦因-马修斯假说	24
三、海底沉积岩芯的磁化方向	26
第五节 海底年龄与海底扩张速率	27
一、海底等时线	27
二、海底扩张速率	29
三、深海钻探和海底扩张	30
第三章 板块构造基本原理	34
第一节 岩石圈和软流圈	34
一、低速层及软流圈的性质	34
二、岩石圈与软流圈的区分	36
第二节 转换断层	37
一、转换断层与平移断层对比	37
二、转换断层的地质地貌特征	38
三、转换断层的类型	39
第三节 板块的划分和板块边界类型	41
一、地震带与板块的划分	41
二、板块边界的类型	44

三、各类板块边界的地震活动特点	45
第四节 大洋中脊与板块的扩张	47
一、中脊的重力	47
二、中脊的热流	48
三、洋底岩石圈厚度的变化	49
四、洋底在扩张中的沉降	51
第五节 贝尼奥夫带与板块的俯冲	55
一、贝尼奥夫带	55
二、板块俯冲的证据	58
三、板块俯冲的某些后果	60
第六节 板块的运动	61
一、关于板块的刚性	61
二、板块的扩张增生与压缩消亡之间的补偿	62
三、板块沿球面的旋转运动	63
四、板块相对运动速度的测定	66
五、板块的三联接合点	68
六、现代板块运动的全球图式	69
七、板块相对运动的概念及板块边界的迁移	72
八、板块的绝对运动	73
第七节 大洋的起源和发展阶段	74
一、大洋的起源问题	74
二、威尔逊旋回	75
第八节 边缘盆地的形成和演化	78
一、边缘盆地的特征和成因	78
二、弧间盆地与残留弧	81
三、边缘盆地的发生机制	83
第九节 热点-地幔柱假说	86
一、无震海岭与热点的概念	86
二、地幔柱假说	87
第十节 板块的驱动机制	89
一、地幔热对流	89
二、地球内部的物质组成和重力对流问题	92
三、驱动板块的其他机制	93
第四章 板块构造格架中的岩浆活动、变质作用及地壳的形成	97
第一节 板块扩张带的岩浆活动与洋壳的形成	97
第二节 板块俯冲带的岩浆活动与陆壳的增生	100
一、三种火山岩系列及其鉴别	100
二、岛弧的成分极性	105
三、俯冲边界地区岩浆的起源	107
四、陆壳的增生与花岗岩的成因	109
第三节 边缘盆地的火山岩性质	112
第四节 洋底变质作用和俯冲带变质作用	113
一、洋底变质作用	113
二、俯冲带附近变质相的分布及区域变质作用的压力类型	115
三、成对变质带	117

四、不成对变质带	119
第五节 蛇绿岩套	120
一、蛇绿岩套与大洋地壳	120
二、蛇绿岩套的原生环境	123
三、蛇绿岩套的构造侵位	124
第五章 大地构造环境的基本类型	128
第一节 大地构造环境基本类型的划分	128
第二节 大陆裂谷	129
一、一般特征	129
二、裂谷的演化	131
三、古裂谷及拗拉槽	133
四、地壳变薄机制	135
第三节 大西洋型大陆边缘	137
一、一般特征	137
二、演化阶段和沉积作用	139
三、大陆边缘沉积的前展作用	141
四、过渡型地壳的形成	143
五、地壳沉陷机制	145
第四节 岛弧-海沟系	148
一、岛弧-海沟系的组成单元及沉积作用	148
二、增生楔形体和混杂岩体	151
三、沉积物的潜没与俯冲侵蚀作用	153
四、俯冲作用引起的构造变形	155
五、弧的类型及其演化系列	157
第五节 安第斯型大陆边缘	160
一、一般特征	160
二、弧背盆地及A型俯冲带	161
三、从大西洋型大陆边缘转化为安第斯型大陆边缘	162
第六节 岛弧-大陆碰撞带	165
一、岛弧-大陆碰撞的四种方式	165
二、岛弧-大陆碰撞带的形成和组成单元	166
三、洋底高原、微型陆块与大陆的碰撞	167
第七节 大陆-大陆碰撞带	169
一、大陆-大陆碰撞带的形成	169
二、岩石圈上层的拆离与板片构造	170
三、大陆-大陆碰撞带的基本特征	172
四、大陆碰撞与板块缝合的复杂性	174
第六章 板块构造与地槽、造山及地台的活化	178
第一节 地槽-地台说	178
一、地槽的概念	178
二、地槽的演化	179
三、地台的概念	181
四、地槽-地台说的评价	182
第二节 现代地槽	183
一、地槽与大陆边缘	183

二、地槽单元与现代海洋环境的对比	184
三、现代地槽类型及地槽的相序列	185
第三节 从板块构造看地槽褶皱带的发展	187
一、板块构造与造山作用的类型	187
二、大地构造环境的演替与地槽褶皱带的多旋回发展	189
第四节 从板块构造析地台的活化	193
一、板块构造与活化的类型	193
二、地洼区的本质及其演化问题	196
第七章 板块在地史中的演化	199
第一节 重建古板块的方法和依据	199
一、岩石构造组合	199
二、古地磁方法	200
三、古气候标志	203
四、生物地理学依据	204
第二节 前寒武纪的板块构造问题	205
第三节 古生代板块活动史	208
一、阿巴拉契亚-加里东褶皱带	210
二、欧洲海西褶皱带	212
三、乌拉尔褶皱带	213
四、古生代海陆位置的复原	214
第四节 中、新生代板块活动史	216
一、大西洋和北冰洋的扩张史	216
二、印度洋的扩张史	219
三、太平洋的板块活动史	222
四、特提斯洋的演化史	226
第五节 显生宙大陆漂移与生物演化	228
一、显生宙大陆漂移的基本趋势	228
二、大陆漂移与生物演化的关系	231
第八章 中国板块构造演化的轮廓	234
第一节 中国大地构造的大势	234
第二节 天山-内蒙古-兴安岭构造域	237
第三节 昆仑-祁连-秦岭构造域	238
第四节 青藏-川西-滇西构造域	240
第五节 华南-东南沿海-台湾构造域	243
第六节 中国板块构造演化的基本特点	247
一、游离的古中国地块与两次剧烈的大陆碰撞	247
二、微型陆块的碰撞镶接与全球最复杂的镶嵌体系	247
三、西部的挤压隆起与东部的拉张陷落	250
四、古生代与中、新生代之间大地构造面貌的巨大变革	252
第九章 成矿作用与板块构造	255
第一节 各种大地构造环境的成矿作用	256
一、大陆裂谷与大洋中脊	256
二、岛弧	258
三、安第斯型大陆边缘	259

四、岛弧-大陆碰撞带和大陆-大陆碰撞带	261
五、转换断层	261
六、板块内部	262
第二节 石油与板块构造	263
一、根据板块构造位置对盆地的分类	263
二、中东巨型油田形成的背景	267
第十章 关于地壳运动、地壳构造演化及板块理论的意义	269
第一节 地壳的垂直运动与水平运动	269
一、垂直运动的起因	269
二、垂直运动为主还是水平运动为主	273
第二节 关于地壳构造演化的若干基本观点	274
一、三种活动带与两大稳定区	275
二、活动带与稳定区(地槽、地台、地洼)之间的转化	275
三、地壳构造发展的旋回性和继承性	276
四、地壳的拉张与挤压	277
五、洋壳、陆壳的生长与破坏	278
六、地壳与地幔的转化	278
七、岩石圈、软流圈及低速层	279
八、岩石圈运动(或地壳运动)发生的机制	280
第三节 板块理论对于地球科学发展的意义及存在的难题	281

第一章 历史的回顾

大地构造学是研究地球,特别是地球表层(地壳和上地幔)的结构、运动和发展规律的科学。它的主要目的在于揭示和解释各种构造现象的本质,建立地球和岩石圈演化的基本理论。探求地壳运动、地壳构造演化的基本规律,曾经历一个逐步深化的漫长过程。根据苏联构造学家哈因(В. Е. Хаин, 1979)的意见,可以将大地构造概念或地球动力学概念的发展划分为三个主要阶段。

第一阶段指十八世纪晚期以前。其时人们对于地震、火山、海岸线变动等地壳运动和地球内部活动性的表现,只有一些粗浅而朴素的认识,例如将构造活动解释为地下洞穴的坍塌。这是大地构造概念的萌芽阶段。

第二阶段从十八世纪晚期到本世纪中叶。在这一阶段,随着对地质现象及其规律的认识不断深化,提出了一个又一个大地构造假说,旧的假说相继被淘汰,地质学基本理论不断提高和发展。可是,这些构造假说基本上是抽象的、定性的,缺少定量的计算和精确的预测能力,通常也不具有普遍适用于全球的性质。这是大地构造学发展的假说阶段。

第三阶段指本世纪六十年代以来。海底扩张和板块构造说的兴起标志了这一阶段的开始。板块构造说集大陆漂移、地幔对流、海底扩张等构造学说之精粹,在一定程度上具备了定量和预测的性质,它第一次以综观全球的气魄和高度的概括能力,成功地解释了地球上众多的构造现象和地质作用,可以把它当作第一个大地构造理论。这是大地构造学发展的科学理论阶段。

第三阶段的重要成果,乃是本书所要讨论的主题。在阐述板块构造理论之前,有必要对第二阶段各种构造假说的更替和沿革,作一简略的回顾。这些假说中包含着一些合理的要素,它们为现代大地构造理论的诞生奠定了必要的基础;一系列构造假说的盛衰过程也为后人提供了有益的启示。

第一节 一些经典大地构造假说的历史评述

第一个大地构造假说——隆起说,系赫顿(J. Hutton, 1788)等人于十八世纪晚期创立。岩浆侵入于沉积岩之中,以及现代火山活动的壮观景象,给隆起说学者以深刻的印象。他们推论地壳的各种地质现象都是由地下热能在上升过程中造成的,从而认为,地壳运动中起主导作用的是垂直方向的上升运动,隆起的原因在于熔融岩浆的上升。当岩浆向上侵入挤进岩层之中,还会派生出斜压力或水平侧压力,再加上岩层本身的重力及所受阻力的共同作用,会导致岩层发生褶皱变形。这种褶皱应围绕着隆起中心向四周推挤而成(图 1-1)。

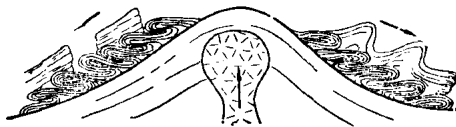


图 1-1 隆起说(据 Studer 原图改绘)

随着地质调查的深入,隆起说的破绽一一暴露。当人们仔细研究褶皱山系并从事地质

制图时,发现强烈的褶皱变形也见于距离岩浆侵入体很远的地方,甚至出现在无岩浆侵入体的地方。褶皱变形往往呈平行带状展布,延伸很远,而不是呈圆环状分布。而且,顺着褶皱山系侵进的岩浆岩经常比相邻的沉积岩更为古老,显然不能作为沉积岩层变形的原因。即便有些地方岩浆侵入发生在后,由于褶皱、逆掩作用强度很大,异常复杂,简单的上拱也难以解释它的形成。

这样,到了上一世纪三、四十年代,隆起说渐趋衰落,代之而起的是法国地质学家博蒙(Elie de Beaumont 1830, 1852)提出的收缩说。上述平行延伸的剧烈的褶皱变形,用水平方向收缩作用来解释是很自然的。收缩说认为早期的地球曾一度处于熔融的液态,以后逐渐冷却收缩。冷却先从地球表层开始,地壳就是这种冷却固结的产物。随后,冷却收缩作用进一步发展到地球的深部。结果,相对于正在缩小的地球内部来说,地壳是太宽敞了,于是迫使地壳收缩形成褶皱系,就象干缩的苹果皮一样。

如果岩层褶皱是由地球冷缩作用所致,那么褶皱应该是随机分布的,到处都可以发生。但事实并非如此,强烈的褶皱作用通常局限于某些长条状地带。十九世纪后半期已经提出了地槽的概念,认为地槽原是地表上强烈拗陷的长条地带,充填了巨厚的固结较弱的沉积地层,以后被压缩褶皱,形成绵延的褶皱山系。为解释褶皱山系为何不是到处发生,著名的奥地利地质学者修斯(Suess)于1875年对收缩说作了重要补充。他把地壳划分为刚性和柔性两种地段,当整个地壳发生收缩时,刚性地段并未卷入褶皱作用,相反对柔性地段起着老虎钳的作用。柔性地段(巨厚的地槽沉积)便在不断靠拢着的较刚性的地台或中间地块之间被揉皱,形成带状的褶皱山系。

收缩说受挫的主要原因是发现了放射性。由于地球内部放射性元素衰变释放出大量的热,从而地球是否一直在冷却,便成了问题。本世纪以来逐渐认识到,地球起源于冷的状态。地质资料的进一步积累也给收缩说以沉重的打击。在阿尔卑斯山、喀尔巴阡山、落基山等地发现了巨大的推覆体和紧密的褶皱。如果把揉皱推覆的岩层摊平开来计算它的收缩量,压缩量之大显然难以用冷却作用引起地球半径减小来解释。另外,发现褶皱的形成往往从褶皱系的中央部分向侧缘方向推进迁移,这与褶皱起因于两侧刚性地段的钳制作用是格格不入的。所有这些,导致收缩说逐渐被地质学家所抛弃。

本世纪初期,统治理论地质学达半个世纪之久的收缩说崩溃了,大地构造学在理论上面临暂时的危机,人们开始寻求解释地球构造活动的新途径。

于是,脉动说(Rothpletz, 1902)应运而生。脉动说的较完善形式是由美国地质学家布克(Bucher, 1933)、苏联学者乌索夫(Усов, 1940)等提出的。此说认为,在地球的发展过程中,膨胀和收缩是交替发生的。前者与放射性热的积聚有关,后者与放射性热的强烈析出有关。在地球膨胀时期,地壳开裂,形成地槽,伴随着玄武岩喷溢;在地球收缩时期,充填地槽的沉积物变形,形成褶皱山系,伴随着花岗岩侵入。

脉动说对于单纯强调压缩的收缩说是一种改善和发展。不过,脉动说也有其严重的弱点。例如经常可以见到,在同一地质时期,一些地区在扩张,另一些地区则处于压缩状态;更重要的是,还缺乏地球体积有过明显变化的证据。

走得更远的是地球膨胀说(O. C. Hilgenberg, 1933等)。放射性元素的发现,促使一些学者注意地球变热和膨胀的可能性。膨胀说在理论前提上与收缩说恰好对立。收缩说注意到陆上褶皱山系的压缩褶皱现象,膨胀说则着眼于现代大洋的扩张新生性质。本世纪五

十年代晚期张性的全球性裂谷系的发现,使得膨胀说增添了一些新的信徒。可是,地球表面上除扩张带外还存在着压缩带(褶皱山系),这是地球膨胀说所无法解释的。而且,在一个膨胀着的地球表面上,大陆理应处于拉张状态,出现张裂现象。但近年来地壳应力状态的测量结果表明,至少在现代,大部分地区以压缩应力占绝对优势。另一方面,如果认为大洋盆地是通过地球膨胀而新生,则难以解释巨量的大洋水体何以能在短时期内骤然生成。如果认为大陆曾一度盖满整个地球表面,则当时地球半径只有目前地球半径的二分之一左右,当时地球物质的密度要大于目前好几倍,还难以想象何种物质能有这么高的密度。古地磁资料的推算也得出,从二叠纪以来,地球的体积并没有发生过显著的变化。所以,地球膨胀说的信仰者毕竟只有少数人。

在本世纪,理论大地构造学另一项重要的进展,表现为古典的隆起说在新的基础上复活。收缩说的弱点是忽略了岩浆活动在地球发展中的作用,它只注意褶皱和逆掩变形,对大规模的升降活动估计不足。在收缩论者看来,山系的形成不过是褶皱作用的一种副产品。新隆起说试图克服这些弱点,它十分强调岩浆活动和垂直运动的作用。

与古典隆起说一样,新隆起说也认为构造作用的基本原因是地幔中升起的岩浆体,岩浆体导致地壳的巨大隆起。岩浆活动是受地球深部物质的分异作用控制的,所以这一假说也叫深部分异说。苏联学者别洛乌索夫(В. В. Белоусов, 1942~1944)强调分异作用是由地球内部放射性元素衰变释出的热所引起。深部分异说注意到岩石圈和软流圈界面上的密度倒转,认为它是导致构造变形的重要原因,因为它促使软流圈物质(其密度小于上覆岩石圈)向上涌升。在地壳内部也可能出现局部的密度倒转现象。当某地深部物质上升时,周围地区的深部物质向上升部位迁移,从而使周围地区发生补偿性的下陷;此外,壳下物质的冷却变密也会导致下沉。至于褶皱作用,则认为是由隆起作用所派生,沉积地层从隆起顶部向周围的重力滑动可导致褶皱,岩浆和变质底辟的扩张挤撑作用也会引起褶皱。深部分异说还详细论述了地槽褶皱带的发生、发展以及地壳升降交替的振荡运动(关于地槽学说详见第六章)。

深部分异说主张地幔物质在持续地分异着,强调地壳、地幔某些层次上密度倒转的重大作用,它把岩浆、变质和构造作用相互联系起来,这些都是它的长处。这一假说的片面性在于只强调垂直构造运动,对水平运动考虑非常不够,它属于大地构造领域中的固定论学派。这使它不可能把发生在地球不同区域的各种事件归纳成一种相互关联的统一图象。深部分异说还否认区域性压缩是导致地槽褶皱的一种主要机制。实际上,单凭岩浆、变质作用及其所引起的隆起活动很难解释强烈的褶皱变动和推覆体。因此在五、六十年代,一些固定论学者曾专横地否定大规模推覆体的存在。深部分异说还有一个严重缺陷是难以对洋盆的新生性质提出恰当的解释。由于大陆地壳与大洋地壳之间存在着根本差异,别洛乌索夫运用大陆地壳基性化(大洋化)的观点解释洋盆的起源也遇到重重困难(见第三章第七节)。六十年代以来,已经有越来越多的固定论者改弦更张,加入活动论的行列。

本世纪初期以来,一些目光犀利的学者在大地构造发展规律的探索中另辟蹊径,他们所开创的研究方向对于此后大地构造学的发展产生了深远的影响。1906年,阿尔卑斯山的著名研究者安普费勒(Ampferer)提出了壳下流假说(也称地幔对流说),其后曾得到万宁·曼纳兹(Vening Meinesz)等学者的支持和进一步发挥。这一假说试图解释阿尔卑斯及其他褶皱山系的形成。在这些褶皱山系中,大规模的推覆大断层令人瞩目,这分明意味着发生过强烈的汇聚挤压作用。学者们注意到,在褶皱、逆掩的构造变动过程中,一些刚性地段(地台部

分)俯冲、潜没于相邻地槽褶皱带之下,以致从地表消失了。这种下潜作用可以用地幔中的对流来解释,褶皱山系就处于地幔下降流的位置上。本世纪三、四十年代,万宁·曼纳兹则将

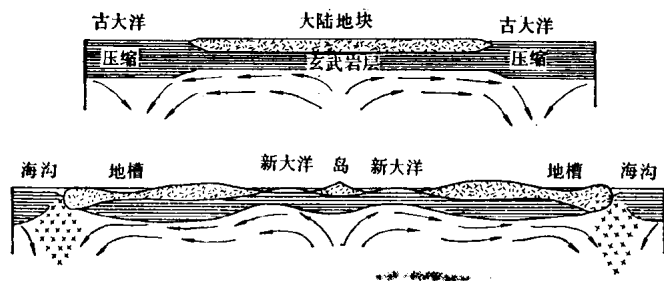


图 1-2 地幔对流说(A. Holmes, 1931)

岩石圈驮伏在地幔对流体上,从大洋中部的扩张带向两侧的挤压带移动;扩张带位于上升流处,挤压带(如海沟)则处于下降流之上(图 1-2)。这实际上已粗略地勾划出了六十年代海底扩张和板块构造概念的轮廓。

如前所述,收缩说单纯注重地壳的压缩,膨胀说片面强调地壳的扩张,脉动说认为地壳的扩张和挤压在时间上是交替发生的,只有地幔对流说才合理地解释了地壳上同时存在的拉张和挤压现象。遗憾的是,由于历史条件的限制,这一正确观点在当时却遭到冷遇。

大陆漂移说是现代板块大地构造说的先驱,下面专门讨论它的发生、发展问题。

第二节 魏格纳的大陆漂移说

主张地球表层存在着大规模水平运动的活动论观点,首先是以大陆漂移假说的形式公布于世的。简朴的大陆漂移见解可一直追溯到几个世纪以前。法国学者斯奈德(A. Snider, 1858)、美国学者泰勒(F. B. Taylor, 1910)等都曾论证过大陆漂移。不过,一般公认德国气象学和地球物理学家魏格纳是大陆漂移说的创始人。

一、漂移说的基本内容和依据

魏格纳最初于1912年发表大陆漂移观点,至1915年进一步著成《海陆的起源》一书,系统地论述大陆漂移问题。漂移说立足于地块漂浮的地壳均衡论。它认为,地球上所有大陆在中生代以前曾结合成统一的巨大陆块,魏氏称之为联合古陆(Pangaea^①,或译泛大陆)。中生代以来,联合古陆分裂,它的碎块——即现代各大陆,逐渐漂移到目前所处的位置上。由于大陆原来是一大块,所以从前根本不存在大西洋、印度洋,而只有一个围绕泛大陆的广阔海洋,叫做泛大洋。以后,由于各大陆分离,张开了大西洋和印度洋,泛大洋(古太平

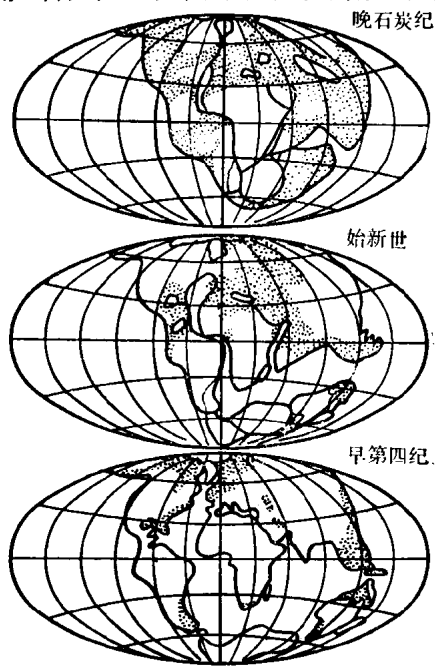


图 1-3 大陆漂移的过程(Wegener, 1922):
点子表示浅海

① Pangaea 一词译自希腊文,原意指所有的陆地。

洋)收缩而成为现今之太平洋(图 1-3)。

魏格纳起初曾从大西洋两缘海岸线弯曲形状的相似性中得到启发。后来他进一步发现美洲和非洲、欧洲在地层、构造和古生物化石的分布方面均有密切联系。例如北美洲纽芬兰一带的褶皱山系与西北欧斯堪的纳维亚半岛的褶皱山系遥相呼应,同属于早古生代的加里东褶皱带;美国阿巴拉契亚山的海西褶皱带,其东北端没入大西洋,延至英国西南部和中欧一带复又出现;北美东部和西欧有些地方都分布着一种古生代的老红砂岩;非洲西部的古老岩石省(老于二十亿年)可以与巴西的岩石省相衔接,而且二者之间的岩石结构也彼此吻合;非洲南端的开普山脉与南美布宜诺斯艾利斯附近的山脉在地层和构造上可以彼此衔接等等。对此,魏格纳作了一个很浅显的比喻。他说,如果两片撕碎了的报纸按其参差的毛边可以拼接起来,且其上的印刷文字也可以相互连接,我们就不能不承认这两片破报纸是由一大张撕开来的。魏格纳还指出,在非洲和印度、澳大利亚等大陆之间,也有地层、构造之间的联系,而这种联系都限于中生代以前的地层和构造。

古生物学家早就发现,在目前远隔重洋的一些大陆之间,古生物面貌有着密切的亲缘关系。中龙是一种营淡水生活的小型水生爬行类,它既见于巴西石炭二叠系的淡水湖相地层中,也出现在南非的石炭二叠系同类地层中。而迄今为止,世界上其他地区都未曾找到过这种动物化石。这表明巴西和南非之间,一定有过陆地相联系。又如舌羊齿植物化石,广布于澳大利亚、印度、南美、非洲等南方诸大陆的晚古生代地层中。为解释这些现象,地质古生物学家曾提出“陆桥说”,设想在这些大陆之间的大洋中,一度有陆地或一系列岛屿把遥隔的大陆联系起来,后来这些陆桥沉没消失了,大陆才被大洋完全分隔开来。然而,魏格纳却认为,各大陆之间古生物面貌的相似性,并不是因为它们之间有什么陆桥相联系,而是由于这些大陆本来是直接毗连在一起,到后来才分裂漂移开来。舌羊齿植物化石所在的印度与南美洲、南极洲,目前在纬度上相去甚远,纵使有陆桥把它们联系起来,仍很难解释舌羊齿这种要求寒冷气候条件的植物,为什么会散布于气候带如此不同的地区。然而,根据大陆漂移说,这些大陆本来是聚在一起的,当时它们在气候带上相差并不远,都有舌羊齿生长。这样解释比陆桥说更为圆满。

在魏格纳提出的漂移说的论据中,古冰川的分布占有重要地位。距今约三亿年前后的晚古生代,在南美洲、非洲中部和南部、印度、澳大利亚和南极洲都发生过广泛的冰川作用。有的还可以从冰川的擦痕判断出古冰川流动的方向。晚古生代冰川沉积分布极广,在广大地区古冰川呈放射状流布,当时的冰川遗迹显系大陆冰川,而不是山岳冰川的产物。

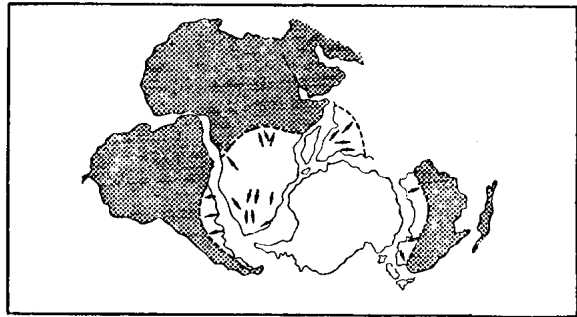
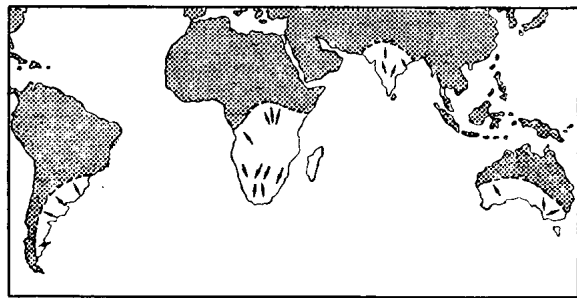


图 1-4 古冰川与大陆漂移(引自 S. Judson et al., 1976)

上: 晚古生代冰川在现代大陆上的分布, 箭头
代表古冰川的流动方向
下: 晚古生代冰川在冈瓦纳古陆上的分布

上述地区除南美洲和南极洲外,目前都处于热带或温带地区。而且南美、印度和澳大利亚的古冰川遗迹残留在大陆的边沿地区,冰川的运动方向却是从岸外向着内陆,反映古冰川不是源于本地。这样广泛的古冰川遗迹,差不多散布于小半个地球表面。纵使容许极移现象,把南极挪到古冰川分布区之间一个最适中的位置,仍然会有一些古冰川分布区位于邻近赤道的地方。或许有人会说,当时整个地球的气候可能普遍变冷,使冰流扩展到热带地区。但与此同时在北半球除印度外的广大地区,并未找到确切的晚古生代冰川遗迹,相反却见到许多暖热气候的生物化石,例如我国有些地方曾发现当时的珊瑚化石。要解释这种奇特的古冰川分布状况,非求助大陆漂移说不可。在漂移说看来,上列出现古冰川的大陆在当时曾连接为一个统一的冈瓦纳古陆^①,并处在南极附近,冰川中心位于非洲南部(图1-4),从而对这种古冰川分布作出了很合理的解释。至于欧亚和北美的广大地区,当时座落于热带和温带,所以就不见冰川的遗迹。

除古冰川遗迹外,蒸发盐、珊瑚礁、红层等作为另一些古气候标志,也可用来推断它们形成时产地的古纬度(详见第七章第一节)。魏格纳等曾将石炭纪蒸发盐、煤等的分布标在联合古陆上,其中岩盐、石膏、沙漠砂岩均集中在干燥的亚热带(图1-5),与它们所要求的古气候条件完全相符,从而为联合古陆的存在提供了旁证。

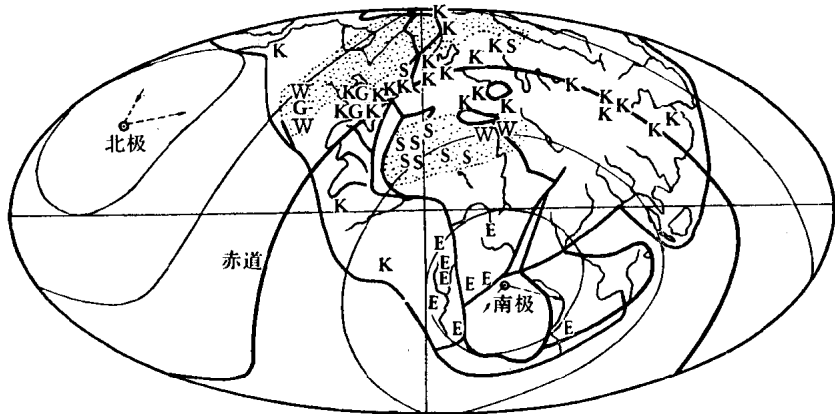


图1-5 在石炭纪联合古陆上,古冰川(E)、煤(K)、石膏(G)、岩盐(S)、沙漠砂岩(W)的分布
(W. Köppen, A. Wegener, 1924)
点子表示出现石膏、岩盐、沙漠砂岩的干燥带

这样,魏格纳从海岸线形状、地质构造、古生物地理和古气候等几个方面有力地论证了大陆过去是一大块,以后才漂移散开(魏格纳,1922)。他还根据地质构造上的联系,特别是各大陆之间古生物的联系在何时中断,得出联合古陆是从侏罗纪开始破裂的。魏格纳的这一结论在多年以后已被古地磁及其他地质资料所证实。

魏格纳注意到海陆起伏曲线中大陆台地和大洋盆地之间存在着显著的高差(相差约5公里),结合地壳均衡说,他认为陆高而质轻,洋低而质重,海陆的区分并不是地球表面上偶然的起伏不平,从而预见到大陆地壳和大洋地壳的物质组成有着根本的差异。到了五十年

① “冈瓦纳古陆”一语乃修斯所创。冈瓦纳是印度一套标准地层剖面所在地,那里是冈德部落聚居的地方。修斯根据印度、南美洲、非洲、澳大利亚、南极洲之间地质古生物上的联系,认为古生代时南大西洋和印度洋都还是陆地,从而把上列诸大陆连结组合成巨大的冈瓦纳古陆。大陆漂移说中的冈瓦纳古陆则是指这些大陆直接贴连组成的超级大陆,在含义上与修斯的本意是有些差别的。