

1:4 000 000

中国大地构造相图

TECTONIC FACIES MAP OF CHINA

许靖华 孙 枢 主编
王清晨 陈海泓 李继亮

科学出版社



国家自然科学基金委员会资助出版

1 : 4 000 000

中国大地构造相图

TECTONIC FACIES MAP OF CHINA

许靖华 孙 枢

王清晨 陈海泓 李继亮

主编

科学出版社

1998

内 容 简 介

这是一幅 1:4 000 000 的以大地构造相这一新概念编制的地质图件,它突破了以往地质单元上只表示岩性和时代的限制,把“相”这一表示构造沉积环境的概念融在其中,大大地丰富了地质图件的内容。该图对中国显生宙以来的大地构造格局作了解释,简明地阐述了构造演化历史,特别着重阐明了弧后造山作用的重要性,并探讨了青藏高原的形成和演化历史。

图书在版编目(CIP)数据

中国大地构造相图(1:4 000 000)/许靖华等主编. -北京:科学出版社, 1998

ISBN 7-03-006018-0

I. 中… II. 许… III. 大地构造分区-地质图-中国 IV. P548.2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01138 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

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

*

1998 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 9 月第一次印刷 印张: 10 1/2 插页: 3

印数: 1—1 200 字数: 230 000

定价: 110.00 元(含图两张)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

序

70年代后期，普林斯顿大学出版社的Ed Tenner来拜访我。曾去中国旅行的人带回了《中国分省地质图集》，对于懂中文的人这本书很有用。Tenner问我能否把说明部分翻译成英文，出一本英文版图集。我向他解释，这本图集的制图单元是以时间地层单位为基础的：寒武系、奥陶系、志留系等，并以岩性来描述：砂岩、灰岩、页岩、硅质岩、火山岩等。而我知道，外国学者常常想从图上了解更多的东西。例如，那些砂岩是浊积复理石还是三角洲相磨拉石，灰岩是陆架亮晶灰岩还是远洋泥晶灰岩，硅质岩是硅化灰岩还是条带状放射虫硅质岩等等。因此，我们需要在这个图集的基础上，发展一种新型的图件，这样才会更有用处。Tenner被说服了，放弃了翻译计划。

大约10年以后，牛津大学出版社的B. Wilcox邀请我共进晚餐。他再一次问我，能否翻译中国分省地质图集的说明书。时代不同了，我去过中国了，并与一些外国朋友一同前往。在华南的一次旅行中，John Rodgers和Celal Sengor每人得到一本图集。Sengor与我同车，他不停地让我把图集的图例翻译给他。我给他译了，并告诉他一些诸如我们看到的露头是二叠纪栖霞灰岩等答案。这对他帮助不大，他并不关心那些露头是二叠纪还是寒武纪，或者它们是栖霞组还是茅口组。他想知道那些灰岩是怎样形成的。是浅海相灰岩还是远洋序列的一部分？是被动边缘沉积还是岛弧的薄沉积盖层？是被滑脱变形的还是混杂带中的一岩块？这样一来，我就并不单单是翻译了，而是讲解了。我告诉他，栖霞是一碳酸盐台地沉积盖层的一部分，并在华南中生代前陆变形中被从基底上剥离出去，形成赫尔威特(Helvetic)型褶皱与冲断。他满意了。一星期后，我们根据阿尔卑斯的术语找到了一相互理解的语言。我告诉他，庐山上的晋宁期花岗岩是奥地利阿尔卑斯(Austroalpine)型的刚性基底推覆体。我还告诉他，“板溪群”是彭宁(Penninic) Arosa叠瓦带式的混杂带，或加州海岸山脉的弗兰西斯杂岩(Franciscan)。现在，我们的资料就非常有用了。这次旅行使我们确信，需要把地质图集予以重新解释。我们认为这并非难事。我每年夏天都来中国，区分变形类型是赫尔威特型、彭宁型还是奥地利阿尔卑斯型并不太困难。这些情况的变化促使我与牛津大学出版社签订了一个合同，提供一部中国地质图集的说明书。

美国标准地质图的说明书称之为报告，其格式与正常地质报告并无大的差异，由前言、地层学等构成。基本编图单元为岩石地层单位，即组。瑞士阿尔卑斯地质图的说明部分称为说明书，在两个主要方面与美国的不同。所有瑞土地质图的说明书均带有构造图。地质图的制图单元并不一定是组，而构造图的制图单元则绝非岩石地层单位。主要划分为赫尔威特带(Helvetide)，彭宁带(Pennide)和奥地利带(Austride)，进一步划分是，赫尔威特带可能包括Santis推覆体、Axen推覆体、Drusberg推覆体、Einsiedlen叠瓦带等。那么这些单元是什么呢？

瑞士构造图的每一单元以一沉积序列为特征，该序列形成于某一古地理范围内，尽

管作为规则每一单元还描述变形式样。当 Sengor 和我们用阿尔卑斯术语讨论中国地质时，我们用赫尔威特、彭宁和奥地利阿尔卑斯这些术语来表述构造式样。最后我们发现，古地理环境近似的沉积序列并不一定具有相同的构造式样。古地理单元赫尔威特带、彭宁带和奥地利阿尔卑斯带亦是瑞士阿尔卑斯的大地构造相单元，例如赫尔威特带就以薄壳盖层变形为特征。为阿尔卑斯地质学家所十分熟悉而外人困惑不解的事情是，北 Calcareous 推覆体在古地理上属奥地利阿尔卑斯，但在变形式样上却与赫尔威特带并无二致。人们不可能用古地理标志来区分岩石的不同构造性质。我不得不引入一新的、仅以其变形行为为标志的岩石单元类型，即大地构造相：阿勒曼相 (Alemannide)、凯尔特相 (Celtide) 和雷特相 (Rhaetide) (Hsu, 1995)。阿勒曼是古代日耳曼一部落的名称，其居住地位于现今的瑞士北部，在大地构造位置上相当于赫尔威特带与磨拉石盆地；凯尔特是古代欧洲的一民族，现零星居住在西欧，瑞士西部的居民有凯尔特人的血统，这一地区相当于彭宁带；雷特是西罗马时代由中欧迁居瑞士东部的古代民族，这一地区相当于奥地利阿尔卑斯带。在《瑞士地质》一书中，我介绍了大地构造相的概念。在这个姐妹篇里，我们应用了大地构造相的概念来解释中国的地质。

大地构造相是描述性术语，相单元可在野外识别出来。在中国大地构造相图中，我们已识别出了 100 多个可制图的相单元。每个单元是一块拼片，具有其自己的边界，而与相邻拼片的边界吻合才能拼出一完整的图案。现在，剩下的拼片散落并不完整了，只有知道图案才能再拼出来。那么这个图案是什么呢？正像具有许多造山理论那样具有许多图案，但其中必有一个是真正的图案。

正统的图案是，中国是由微板块拼合而成。这也是我们的图案吗？并不确切，因为微板块并不构成一图案。三亿年前从宇宙飞船上看中国是什么样子？中国是一个被陆表海、众多岛屿的多岛海、残余岛弧、弧后盆地所环绕的大陆。只有西藏还是冈瓦纳大陆一岛屿边缘。中国的造山历史是弧后盆地衰萎而导致消减与弧-弧碰撞的历史。这便是我们的图案。

我们得到这一图案并非靠直觉，而是作为学生学习了 50 年。现在我们明白了地质学是自然科学，而不仅仅是自然历史。事件的发生是因为它们不得不发生。放射性产生的热将引起热对流。地核的对流导致地磁，而地幔的对流导致海底扩张与消减。使大陆分离的海底扩张形成带有两个被动边缘的大洋。在大陆边缘附近发生的使大陆分离的海底扩张产生岛屿与盆地相间的多岛海。消减作用使弧后盆地衰萎，并导致混杂带与变质作用的形成。消减板块之上的地幔楔部分熔融产生岛弧岩浆作用，弧后盆地的衰萎产生弧-弧碰撞。一陆块仰冲到另一陆块之上使俯冲陆块的盖层产生薄壳变形。因此，所有大地构造相单元便在这些作用过程中被“制造”出来了。对于这些作用过程的了解是两个世纪地质学积累的结果，我们也发现在地质学基本原理上并无争执。我们与经典理论的不同，在于山脉是如何呈现现今模样的图案。

产生不同观念的根源在于对蛇绿混杂带的不同解释。经典理论认为其成因系由大陆活动边缘的俯冲作用或两个碰撞大陆的缝合作用所产生。问题是在一个造山体系中存在不止一条混杂带。当在迪纳拉造山带中发现两个蛇绿岩带时，地质学家仍可争辩它们是否是一个大洋的根带和飞来峰，或者有两个大洋。当发现 15 或 20 个蛇绿岩带时，人们就要寻找一个细致的答案。已有两类学术思想，但均采纳最简单的威尔逊旋回。黄汲清

与他的多旋回造山理论建议，两个大陆之间在任何时期均只有一个大洋：大洋对岸的两大块在不同地点分裂，在五亿年间又多次缝合在一起。Celal Sengor 和他的土耳其型造山理论认为，仅有一条弧前增生混杂带，其后弯曲成马蹄形并被走滑断裂错位成众多段落。我们所提出的是第三种解决方案：有 15 或 20 个弧后盆地，每一个都衰萎形成一蛇绿岩带。这一推论是对板块碰撞造山概念的挑战。板块碰撞是存在的。我们认为，中国大陆的主体由两大板块构成：北部中国板块与南部中国板块，其间以大别-秦岭-昆仑造山带为界。这两大板块在三叠纪碰撞后我们统称为华夏大陆或华夏板块。本书使用的华夏一词同狭义的“华夏古陆”不是一个概念，而同“华夏植物群”的华夏在古地理分布上有一定相似性，但范围又不那么广泛。在板块的边缘地区，存在一系列岛弧与弧后盆地。因此，北部中国板块与安加拉板块间在古生代的碰撞、华夏与西藏间在中生代的碰撞，均属板块碰撞。但板内弧-弧碰撞是更为重要的造山作用过程。领悟到这一点使我们对阿尔卑斯地质有了全然不同的认识。在中国的经历使我修正了《瑞土地质》这本书的写法。

在中国的山脉中，我们识别出了 100 多个大地构造相单元。它们是 100 多个拼片，每一个都带有一定信息。不考虑其与周围的关系，每个拼片可能会有另外的解释。如综合考虑，拼片就只能给出一个完整的图案。我们可能会在某些个别拼片的复位上犯错误，但如果我们的多岛海的想象被证明是错了我们将十分吃惊。在展示这些结果方面，我们力求资料性，而非说服力。我们将把复理石、弧火山岩、前陆盆地碎屑岩等的描述作为拼片的信息，因为对这些信息的解释已在过去二十多年间我和中国合作者们写的约 20 篇有关中国地质的论文中发表了。我们将描述岩石，分析其成因意义，解释古地理，阐明其大地构造相单元代表的是弧基底、弧盖层还是增生楔。希望得到更详细资料的读者可以查阅我们的出版物，或中国分省地质志。通过该图，读者可了解大地构造相的原理与在解释中国地质上的应用。

许靖华

1996 年 2 月于柏林

目 录

序

第一章 山脉的成因与大地构造相图.....	1
第一节 导言.....	1
第二节 关于造山作用地质思想的演化.....	2
一、造山作用的时间	2
二、造山作用的空间	4
三、山脉中的沉积岩	4
四、山脉中的火山岩	6
五、山脉中的深成岩	9
六、山脉中的变质岩.....	10
第三节 造山作用的多岛海模式.....	11
一、弧后盆地的大地构造演化.....	12
二、阿尔卑斯蓝图.....	15
三、有活动带或活动区吗?	17
四、阿尔卑斯特提斯并非大洋, 而是边缘海.....	18
五、大地构造相.....	19
第四节 中国大地构造相图的编制	20
一、史密斯填图方法的应用局限性.....	20
二、大地构造相图的编制.....	22
三、大地构造相的制图方法学.....	24
四、中国大地构造相图的编图单元.....	26
五、作者署名和致谢.....	27
第二章 青藏高原	29
第一节 两个多岛海的拼合	29
第二节 昆仑的古生代前缘弧	30
一、西昆仑.....	30
二、东昆仑.....	32
三、青海南山、大通山和西秦岭.....	33
第三节 中国北方大陆南缘的古生代多岛海	33
一、塔里木盆地	34
二、柴达木盆地	35
三、祁连山	36
第四节 中国北方大陆晚古生代与中生代的岛弧和多岛海	37
一、喀喇昆仑山脉	37
二、西羌塘地区	38
三、东羌塘地区	39
四、西松潘甘孜与北三江	40
五、南松潘甘孜与南三江	44
第五节 冈瓦纳大陆的前缘弧与西藏多岛海	47

第六节 西藏及邻区大地构造演化小结	53
一、中国北方大陆前白垩纪大地构造演化	53
二、冈瓦纳大陆前白垩纪大地构造演化	56
三、古特提斯和新特提斯的大地构造演化	56
第三章 中国北部	58
第一节 西北和北方的古生代多岛海	58
一、华北与内蒙古	58
二、北部中国板块北段的古生代边缘	60
第二节 安加拉板块的岩浆前锋	61
一、西准山地	61
二、塔尔巴哈台山	62
三、新疆阿尔泰山	62
第三节 北部中国板块多岛海的岛弧与盆地	63
一、天山	63
二、北山	68
三、阿拉善沙漠和贺兰山	69
四、内蒙古造山带	71
五、大兴安岭	76
六、华北“地台”	77
第四节 中国北方构造演化史小结	77
第四章 中国中部	80
第一节 两个华夏板块	80
第二节 华北南缘的多岛海造山过程	81
一、秦岭	81
二、伏牛山和桐柏山	85
三、大别山和淮南山地	86
四、苏鲁地区	88
第三节 北部中国板块南缘的大地构造演化	90
第五章 中国南部	91
第一节 华南古生代的多岛海	91
一、华南是造山带，不是地台	91
二、板溪问题	92
第二节 华南大地构造相单元	94
一、扬子地区	95
二、东南地区	103
第三节 西南地区的大地构造演化	111
第四节 华南大地构造演化史小结	115
第六章 太平洋沿岸地区	118
第一节 晚中生代至新生代西太平洋的大地构造	118
第二节 乌苏里造山带	119
第三节 台湾的构造演化	120

第七章 中国显生宙大地构造演化历史..... 125

 第一节 填图单元小结..... 125

 一、劳亚-华夏南部和西南部边缘..... 125

 二、中国北部 127

 三、中国中部 128

 四、中国南部 129

 五、西藏地区 130

 六、太平洋沿岸地区 131

 第二节 中国的古地理演化..... 132

 一、劳亚-华夏大陆的古地理演化..... 132

 二、冈瓦纳大陆的古地理演化 140

后记..... 144

参考文献..... 147

第一章 山脉的成因与大地构造相图

第一节 导 言

几年前，许靖华组织了一个关于造山作用的学术讨论会，行外的朋友们纳闷，我们是否在投入一个构筑山脉的计划；他们问我们是否有一个建筑师。不，我们不是在构筑山脉。盖娅（Gaia，希腊女神之一）在构筑山脉，她有建筑师。我们作为科学家假设她仅仅拥有一个基本的格架，或者说蓝图（blue print），去建筑所有的山脉。它们看起来很不同，一部分是因为它们装饰的侧重点不同，一部分是因为其各组成部分的状态不同。大地构造理论试图去恢复盖娅女神的造山蓝图，去认识造山作用的时空特征。造山作用是在一个很短的时期内完成的吗？造山作用是一个全球性同时发生的事件吗？是否确实存在诸如加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅的事件或造山幕，或者造山变形作用在不同的地点总是发生着？作为山脉的位置是怎样选定的？是否造山作用限于活动带，或者一些特殊的地区，还是造山作用可以在地球任何地方发生？

造山作用思维主流的演化导致了两种理论。地槽理论是 James Hall 在 1859 年创造的，并至高无上地统治了北美至少一个多世纪。这种理论认为，一个快速沉降的活动带——即所谓地槽将预定成为山脉。目前的理论是 Tuzo Wilson、John Dewey 等人所发展的。板块碰撞的造山作用模式是 Vine-Matthews 关于海底扩张理论的必然结果。许多经典的概念已混合在一起，以致于板块构造理论可被看作是 Emil Argand 伟大综合的修正，而 Emil Argand 曾援引 Alfred Wegener 大陆漂移理论来解释 Eduard Suess 所概括的全球大地构造经典图式。虽然板块构造理论的倡导者否认山脉的前身是地槽，但存在相同的特征：两种造山作用理论都认为存在一个早期平静的沉积作用阶段——在地槽或者被动和活动陆缘被一个短暂的全球同时的造山作用所终止。

自 1977 年许靖华重返出生地中国后，一直在试图应用板块构造去解释中国的地质。最初援引经典的阿尔卑斯造山作用作为工作假说：山脉形成于两个大陆之间的海洋消失后二者之间的碰撞过程中。中国地质学家的困难是面临经典地槽理论与现代板块构造理论的选择。而且，他们自己还早已发展了若干在中国曾有影响的大地构造理论，如李四光的地质力学、黄汲清的多旋回、张文佑的断块构造和陈国达的地洼等学说。

通过对中国地质 20 年的合作研究，我们认识到了把中国地质引向板块构造之路的困难所在。我们有时也反问自己，我们是不是在强行让一双东方脚去适应标准的西方鞋。但是，“东方脚”是畸形的吗？确实如人们所熟知的，地质学是有区域性特点的，但区域上的差异是否足以构筑一个中国式的大地构造？我们的回答是不：我们在中国看到了和我们在阿尔卑斯、阿巴拉契亚、加利福尼亚海岸山脉、南美科迪勒拉、澳大利亚和新西兰以及印度尼西亚群岛所看到的相同的大地构造单元。中国的山脉和世界其它地方的山脉

之间不存在本质上的差别。事实使我们再一次坚信，地质学决不能简单地被看作是“区域性的科学”，它同物理学、力学、化学等一样，基本的规律都是普适性的。任何一个区域的地质特点，都受到基本地质规律的支配。

因此，我们没有发现具有中国特色的大地构造模式：中国山脉的形成与阿尔卑斯、阿巴拉契亚、欧洲的加里东、美洲科迪勒拉、澳大利亚、南太平洋、日本、印度尼西亚和中亚山脉具有相同的基本原理。我们不必去敲打不同的鼓点，我们应该去寻找协调中国、欧洲和北美地质明显差异的普遍适用的理论。

这幅中国大地构造相图就是我们的答案。我们的理论就是板内变形的多岛海模式。我们的方法学就是大地构造相填图。在此书中，我们将回顾导致我们地质新模式形成的地质思维演变。我们将介绍野外填图的新方法，特别强调在不能应用史密斯地层原理的地区的地质填图问题。我们将展示我们的野外观察结果。用我们的野外工作来解释现有的中国地质图，我们已经确定了大地构造相单元，重建了古地理变化，并解释了中国大地构造演化。

第二节 关于造山作用地质思想的演化

一、造山作用的时间

直到18世纪晚期，欧洲的学者仍依靠圣经去解释地球历史。诺亚洪水是一次巨大的事件，而山脉仅仅是洪水后的大“碎石堆”。然而，瑞士的自然主义者注意到岩层的内部结构：比如说，他们描述了在卢塞恩湖滨的沉积地层中的S型弯曲，即我们今天熟知的平卧褶皱。James Hutton对这些观察留下了深刻的印象，并指出山脉是形成于来自地球内部的剧烈力量(Playfair, 1802)。

Hutton运用形容词“剧烈”来描述阿尔卑斯山脉岩石的平卧褶皱作用。从他的观点来看，短期的破坏作用打破了长时期的宁静。当Georges Cuvier认识到地球历史灾变性生物绝灭后，他的年轻的同龄人Elie de Beaumont在1831年为解释这种生物演化而提出了数期造山幕。当海进和海退的发生被认为是快速的生物和气候变化的缘由时，一个必然结果就是建立由造山事件来划分地质体的框架。这种宁静和剧变周期性交替的图式在1898年被美国地质学界的“主教”T. C. Chamberlin编纂进他有关地质历史划分和时间分段的经典中。

我们拥有3个显生宙的“代”和12个“纪”。有多少“临界期”或者“造山幕”？Elie de Beaumont在1831年以一个整数12开始，但是在1875年被Leconte减为10。Dana在1895年把这个数目加大了一倍，但Haug将其削减了一半(见Hsu, 1989a的评论)。从那以后，Chamberlin和Salisbury于1905年把这个数目削减到6，而Blackwelder在1914年将其升至11。Stille在德国大萧条之后的1924年列为30，而Bucher在1933年将其增加了少许。最终我们结束计数，因为似乎数字太多，如此地多，以致科学家们开始怀疑是否有这么多造山幕。无论如何，“造山革命”与地质年代的“代”或者“纪”之间的界线并无对应关系。最后，James Gilluly，一个自Chamberlin之后半个世纪的美国地质学界的“主教”，在他作为美国地质学会理事长的辞职演说中声明：他和他的年轻淘气鬼们

相信造山活动总是连续地进行着。

我们都读过 Gilluly 的讲话,许多人仍不同意他的观点,而造山幕的图式一直持续到今天。这个错误概念的源泉可能来自于 Hutton,他错误地把如阿尔卑斯平卧褶皱所示的变形强度与剧烈运动同等对待。现代板块构造理论告诉我们,山脉形成于岩石圈板块的缓慢位移作用。阿尔卑斯的变形确实强烈,但它的速率是难以察觉的。Hutton 的形容词“剧烈”是不适宜用来描述每年厘米级或更少的位移。卢塞恩湖滨沉积地层中的 S 型褶皱不是被剧烈力量所致,这些灰岩的平卧褶皱是经过数百万年连续变形作用而成。

尽管板块构造理论总体上被地球科学家所接受,幕式造山的旧概念仍难以根除。当观察到一个叠加构造时,它们仍被解释为“再生造山幕”的证据。我们尊敬的同行 Rudolf Trumphy 曾在 1973 年写道:

通过对阿尔卑斯的变形分析,可以获得这样的结论:许多具有大范围的构造作用过程发生于惊人的短暂、仅为数个百万年的时间尺度内。尽管存在地区偏见,即经典的造山幕概念如加里东、华力西和阿尔卑斯都是来自欧洲,但是,变形期次无可争议地存在。

因此,Trumphy 认为山脉的地质证据与板块构造的地球物理理论矛盾。由于他的结论从根本上是重要的和不肯妥协的,许靖华在 1989 年的一次讲演中分析了这种矛盾。我们的分析产生了这样的认识,即 Trumphy 和其他地质学家得出了曾是他们最初假设的最后结论:阿尔卑斯在始新世晚期不到 5Ma 的时间内同时发生的“突发性”变形作用的结论,出自于存在一个阿尔卑斯“突发性”变形作用和这种“突发性”变形作用在一个造山幕中同时发生的假设。Trumphy 已经成为他自己循环推论的牺牲品。如果我们应用一个没有全球或区域性同时发生的“突发性”事件,即阿尔卑斯的变形是在 130Ma 内持续地发生的模式,阿尔卑斯的地质将支持这样的结论,即阿尔卑斯的变形确实是在 130Ma 内持续地发生的。一个方程式不可能给出两个未知量的解,只有启发式地去考虑所有方程式中的所有变量,才能得到一个唯一解。

Stille (1924) 认为,我们生活在一个后造山或者非造山的时代,最后的造山幕——所谓“帕沙德纳造山作用”(Pasadena Orogeny) 发生在 1Ma 之前的中更新世。然而,地震的牺牲者永远会有这样的幻觉,他们是一次造山作用“活动幕次”中的牺牲羔羊。今天我们不再问诸如是否我们生活在一个造山或者非造山的时代这样毫无意义的问题,因为它们不存在。我们可以从人类历史中吸取地球历史的启示,虽然和平在某个时期存在于这里或那里,但人类历史是一个长期的、持续的战争链。同样地,不难想象地球历史是一个长期的、持续的造山链,虽然“和平”或者平静总是存在于这里或那里,加尼福利亚、日本和印度尼西亚正在经历激动人心的造山活动,但西伯利亚和非洲现正处于“非造山”期。

板块构造理论已经摒弃了造山幕理论。然而,一些地质学家继续愉快地运用加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅这些术语;他们没有注意到这些“造山作用”是用来描述全球性同时发生的期次运动。由于造山变形作用并非全球性同时发生的事件,因此它们既不是加里东、海西,也不是印支、燕山、喜马拉雅造山幕。尽管它们也许是方便的简称,但我们避免使用这些术语而代之以早古生代、晚古生代、早中生代、晚中生代和新生代来命名在不同时间、不同区域的造山变形作用。

二、造山作用的空间

山脉是地球表面的线状特征，人们称之为山链。山脉中的岩石发生了褶皱、断裂作用，或者变形和变质作用。山脉之间许多地方的岩石是平坦的。在本世纪的前 50 年，地质学家选用“活动”一词来描述地球上岩石发生变形的那一部分，山脉就被认为是活动带。在逻辑上人们可能会问是否一个活动带总是一个带，还是它也可能是已经收缩在一起的宽阔的活动地带。十分有趣的是，很可能由于 James Hall 在 1859 年发明的地槽造山理论，几乎没有地质学家屑于提出此类问题。

向斜是一个用来描述沉积层向下弯曲构造的术语，它是一个线状构造特征。地槽就是 James Hall 用来描述一个很大的向斜特征而发明的。以他的意见，地槽形成于造山作用的最初阶段。注意到山脉中的沉积层具有比山外地层大得多的厚度，Hall 在 1859 年确信地球表面的活动带曾持续地向下弯曲而形成一个槽子来接受沉积，地槽由此而产生。根据 Hall 的理论，地槽中的沉积物最终被收缩在一起，形成山脉中变形了的岩层。如 R. D. Dana (1873) 这样的理论家开始在地槽的成因中寻找山脉的成因：造成地壳开始下降的力量必定是最后造成它隆升的同样的力量。这种造山作用前的地槽前身理论最后成为统治北美一个多世纪的定则。

欧洲学者推断，在未被沉积物充填的地槽中，其向下弯曲的表面可能成为一个深水槽。注意到阿尔卑斯沉积中确实存在那些深水沉积物时，一些欧洲学者喜欢美国学者的主意而把阿尔卑斯地槽作为阿尔卑斯造山带的前身。Eduard Suess (1909) 作为世纪之交数十年的欧洲地质学鼻祖，对地槽理论很少使用，认为阿尔卑斯的深水沉积仅仅是海洋沉积物。Alfred Wegener 引用大陆漂移理论来解释造山作用：环太平洋山脉形成于大陆“骑越”太平洋的过程，所谓特提斯山脉则形成于大陆漂移的碰撞作用。Emil Argand 拥护两位大师的意见，提出了他伟大的阿尔卑斯盖娅蓝图的重建；指出阿尔卑斯是形成于欧洲和非洲两个大陆的碰撞作用。

已经出版了许多书籍来表达板块构造战胜地槽造山理论的胜利。Bill Dickinson (1970) 在第一次彭洛斯 (Penrose) 会议后对旧理论的宣判后声明，地槽理论已死，板块构造万岁。北美和欧洲很快达成了共识，以致最近 20 年来很少有编辑敢接受出现“地槽”的手稿。今天我们不再讨论地槽，我们已经认识到线状山脉的前身可能是任意形状的沉积盆地。但是如果没有一地槽样前身的话，难道盖娅女神随便选择一个地点就造山？有没有原因表明为什么活动带的岩石发生变形而形成山脉，而在稳定地块的岩石却不发生变形？或者这些仅仅是多余的话？为了回答这些问题，我们必须对山脉的岩石有一个细致的了解。

三、山脉中的沉积岩

James Hall 得出地槽的概念是因为他发现阿巴拉契亚山脉中的古生界沉积岩厚度比中西部内陆地区同时代地层的厚度要大得多，他也注意到了这两个层序均主要由浅海相碳酸盐组成。于是他得出结论，认为山脉中的沉积物必定堆积于一个沉降的槽中，但是

因充填速率与沉降保持同步而使沉积的地方保持了浅水环境。这个概念是实用的，地槽可以在世界上任何地方的山脉中发现。但是，似乎没有人知道到哪里去发现一个今天的地槽，哪里有现实的类比物？与现实主义的脱离导致了随意教条的形成——被逐出教门的人带来了 20 世纪 60 年代的地学革命。

当第一作者还是一个学生的时候，就致力于发现地槽的现今模型。他没有找到地槽，取而代之的是一篇发表的文章《地壳均衡作用与一种地槽成因理论》(Hsu, 1958)。文章没有表扬地槽理论，而是埋葬了它，并试图消除这个概念的神秘感。文章写道，所谓的地槽可能是诸如海沟一类的沉降槽，或者地槽仅仅就是地壳较薄的地方，比如被动大陆边缘，在那里沉积物负荷引起沉降作用。最后，在识别上地幔侧向不均一性后，文章指出沉降可能是由于地幔密度的改变，一种现在称为热均衡的过程 (Hsu, 1965; Oxburgh, 1982)。

南部佛罗里达的碳酸盐沉积物可能是阿巴拉契亚古生界灰岩的现实对照物。两个层序都是厚的浅海相沉积，下部是花岗质基底，也都是沉积在一个沉降的基底之上，而其基底顶部都可统称为“向斜”。佛罗里达可能称为冒地槽，并可继续称呼下去，只要这个词不带任何理论意义。然而，另一个阿巴拉契亚古生界的现实对照物是巴哈马台地上厚厚的浅海相中生界-新生界沉积。巴哈马层序沉积于一个在地貌上总是高于周围地区的浅海台地之上，它的基底不是一个想象的向斜，而将其称为“巴哈马冒地槽”当然就显得太小了。因此，板块构造理论便引进了被动陆缘和微大陆的概念来描绘相当于冒地槽的沉积地区。

人们经常赋予古代沉积层序一个大地构造意义。根据 Dana 的理论，冒地槽是所谓的活动带，它形成于水平挤压作用。然而，被动陆缘或者微大陆被认为是板内的稳定地区，那里的沉降是均衡的，或者是热均衡的。但并非所有的碳酸盐层序都是浅海碳酸盐台地的盖层。珊瑚礁生长在洋岛之上或者其周围，而一个礁灰岩层序可能是深海海山的盖层。也不是所有的碳酸盐都沉积在岩石圈板块内部的稳定地区。礁灰岩和其它碳酸盐沉积层序在菲律宾活动板块边缘十分常见。甚至，海相碳酸盐已被发现作为弧后海底隆起的沉积盖层，比如说，在西菲律宾海九州-帕劳脊或者在中国南海的礼乐滩。碳酸盐沉积物可以沉积在任何碎屑物稀少或者没有的地方，而不同地点的碳酸盐沉积作用的大地构造格架并不是不需证明的。在一个地层层序的大地构造意义被确认之前必须重建整个地区的古地理。

一些阿尔卑斯地质学家接受地槽的概念，是因为他们在前陆发现了阿尔卑斯深水沉积物的同时代层序。他们总结出山脉的沉积物必定先沉积在一个沉降的槽中，当这个槽没被沉积物充填时它将变得越来越深。Trumpy (1960) 用“狭小地槽”(leptogeosyncline) 这一术语来描述这类饥饿盆地的沉积物；这些盆地是饥饿的，因为碎屑沉积物没有流进来，而是被停留在海岸附近地区。

F. Suess (1937) 注意到阿尔卑斯的深海沉积物与蛇绿岩的基性和超基性火山岩共生在一起，于是他推断这类深海沉积物是沉积在一个或大或小的洋盆地壳之上。我们现在知道形成于洋中脊扩张作用的大洋有太平洋、大西洋和印度洋。它们的地壳由洋中脊玄武岩 (MORB) 组成。小型海盆是弧后盆地，如南太平洋的汤加盆地、日本海和南海海盆以及印度尼西亚群岛的苏拉威西和苏禄海盆等。它们中间的较大者，比如汤加盆地，是

以在化学特征上与 MORB 很近似的玄武岩为基底。然而，较小型弧后盆地是以在化学特征上与 MORB 或多或少不同的玄武岩为基底。

狭小地槽或者优地槽是活动带。在构造活动的多岛海地区，弧后盆地中的深海沉积物也许不是地槽性质的，但是它们可以被认为是活动带的沉积物。然而，开阔海深海沉积是岩石圈板块内部稳定地带的洋壳盖层。相同的深海沉积物可能形成于不同沉积作用位置，这再一次表明试图在沉积作用和大地构造之间寻找一一对应关系是徒劳的。

并非所有的深海沉积物都沉积在以洋壳为底的深海洋盆中。例如，爱琴海海底的地壳就是大陆性质的，尽管它非常薄。因此，我们不能假设所有的深海沉积物都是大洋沉积物；有一些可能是以陆壳为底的弧后地区的沉积物。我们也不能假设所有的深海沉积物都是海盆沉积，因为有一些沉积在海底的高地之上。

并非所有的阿尔卑斯深水沉积物都是深海盆地沉积，事实上，它们包括了半深海和复理石沉积物。阿尔卑斯复理石沉积物的现实对照物常出现在活动大陆边缘或者附近地带作为海沟、海底扇和弧后盆地的浊积岩层序。半深海页岩和薄层粉砂质浊积岩和等深积岩是大陆坡或者大陆隆的沉积物。然而，并非所有的复理石浊积岩都是海沟或者弧后盆地沉积，也不是所有的半深海页岩都是大陆坡或者大陆隆的沉积物。阿尔卑斯的这类深水沉积物也在前陆盆地沉积物中被识别出来，比如，北赫尔威特复理石是前陆盆地中的初始沉积物，在那之后盆地被浅水磨拉石沉积所充填。既然一个被动陆缘、微大陆或者其它海底高地在两个大陆的碰撞后能够成为前陆盆地，那么我们应该认识到复理石沉积地点并不存在唯一的古地理或者大地构造解释。

阿尔卑斯磨拉石是典型的前陆盆地沉积。大西洋和北美东海岸海湾的冲积扇-三角洲-浅海沉积是被动陆缘沉积产物。类似于阿尔卑斯磨拉石的沉积，比如中国西北的中生界-新生界，可能是沉积在内陆平原或者盆地的厚毯状沉积物。我们不能总是把磨拉石沉积等同于前陆盆地沉积。

上述关于山脉中沉积岩的讨论，既指出了对于一个特定的沉积相赋予古地理或者大地构造意义的可能性，又指出了其可能的错误。在得到由填图单元所呈现的任何地区古地理格局特定认识之前，必须启发式地去探求各种独立的判别标准。我们将在讨论大地构造相填图的方法论时再回到这个问题上来。

四、山脉中的火山岩

如果不特别强调其产状的话，火山岩这一术语对所有的细粒火成岩石来说会引起混乱。对山脉中所有沉积物和火山岩组合所应用的优地槽术语特别会起误导作用。比如，枕状熔岩、海底火山岩与放射虫硅质岩和深海灰岩的常见组合，曾被认为是优地槽的产物，特定为活动带的标志。事实上，枕状熔岩可以是扩张脊或者弧后盆地的大洋洋底，既可位于稳定的板内位置，也可位于活动边缘附近。另一方面，形成于多岛海地区火山作用的酸性、中性和基性钙碱性火山岩具有与扩张脊或者弧后盆地玄武岩完全不同的意义。这二者都应该被划为火山岩，但在许多地方并未予以区分便进行填图，从而给基于文字资料来解释中国地质的试图带来巨大困难；所以，过去 20 年我们所作的野外观察是必不可少的。

用火山岩的地球化学特征来判断其大地构造意义是板块构造专业学生的普通训练。一些岩石被描述为裂谷的碱性火山岩。另一些被认为是弧火山作用的产物。这样的划定并非在每个实例中都是正确的，因为火山岩的化学特征不仅仅依赖于它们的大地构造位置，而且也取决于它们的源岩物质的成分。比如，菲律宾弧的火山岩成分沿走向就是变化的。在南部，岩浆作用大部分源自大洋岩石圈向南海之下俯冲的部分熔融作用，那里的火山岩具有幔源化学特征。在北部，岩浆作用大部分源自俯冲增生楔的部分熔融作用，火山岩的微量元素并不具有典型的弧火山作用特征。同样，南美安第斯边缘的火山岩显示了微量元素的时间变化特征，它们或者与大地构造格架有关，或者无关。

在我们的中国大地构造解释中，我们依赖于古地理重建来解释在过去时代中不同地区的大地构造格局。我们并没有幼稚地赋予每一个火山岩套特定的大地构造意义。我们而是试图理解板块构造变形的过程来解释火山岩石的化学特征。比如，天山の下震旦统

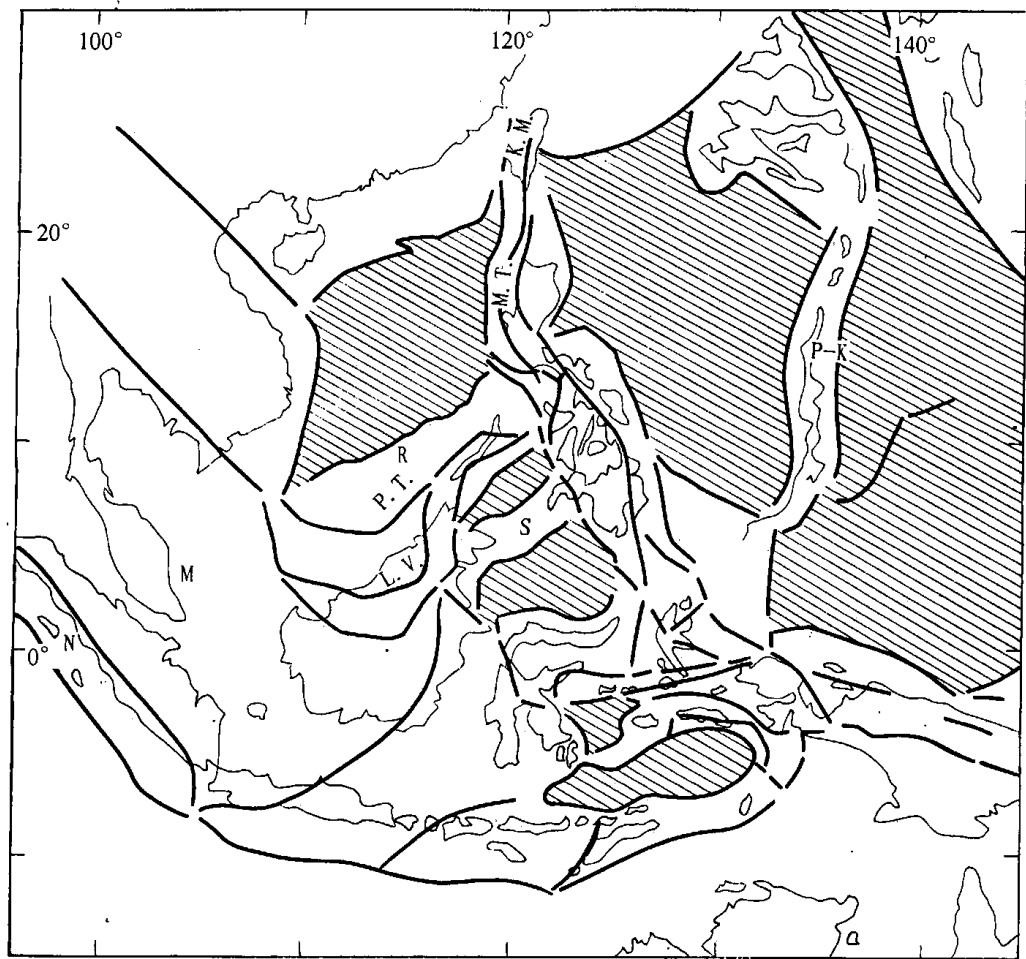


图 1.1 东南亚的多岛海

巽他-班达弧北部与伊豆-马里亚纳弧西部发育一活动带。阴影部分为较大的弧后或残余弧后盆地，其下伏有大洋地壳。先期弧后盆地之下岩石圈的消减作用产生弧-弧碰撞，碰撞缝合带以下列混杂带标示：L. V.：卢帕尔 (Lupar) 谷地混杂带；K. M.：垦丁混杂带。俯冲活跃带以海沟边缘标示：P. T.：巴拉望海槽；M. T.：马尼拉海沟。残余弧后盆地之间的为残余岛弧；R：礼乐滩；S：苏禄脊；P-K 帕里斯-维拉 (Parece-Vela) 脊。某些残余弧后盆地，如马来西亚盆地 (M)，已被沉积物充填，几乎无水深表示

火山岩曾被普遍地认为是裂谷火山作用的表现。我们没有赞同这个看法，而是去寻求这些钙碱性火山岩作为弧火山活动产物的可能性。我们要记住岛弧火山岩并不总是具有幔源地球化学特征；如果岩浆源自增生楔的部分熔融作用，它们也可能带有壳源的信息。

活动边缘的岩浆生成与岩石圈向地幔俯冲而发生部分熔融作用有关。根据板块构造模式，弧火山活动可以在岛弧边缘或者弧后地区位于海沟轴之后 200km 的地方开始。以每年数厘米的速率，俯冲板块可在俯冲作用开始后数百万年达到产生岩浆的深度。比如，爱琴海的 Santorini 岛第四纪火山岩就与发生在 10Ma 之前的洋壳岩石圈向爱琴海边缘发生的俯冲作用有关。在同一活动边缘，弧火山活动可以持续数百万年，如安第斯山脉的火山作用。火山作用会因不同的原因而终止。由于增生楔的侧向迁移或者由于弧后地区的海底扩张，海沟轴可能会向外迁移到很远。后者以西菲律宾海的残余弧为例，早期的火山作用发生于较老残余弧，当弧后地区的海底扩张使火山弧前锋（即马里亚纳弧）向东迁移时火山作用即停止（如图 1.1）。

新生代开始以来，该多岛海地区的造山作用就一直很活跃，即使在澳洲大陆远离东南亚时。即便现在，仅仅巽他-班达弧的帝汶岛已与澳大利亚碰撞，而非亚洲大陆。

阿尔卑斯-特提斯地区从一个二叠纪的岩浆弧向数个残余弧的变化，便是阿尔卑斯地区大地构造演化中大大缺乏火山作用的原因（Hsu, 1995）。阿尔卑斯常见的二叠纪侵入岩和火山岩，是在奥地利阿尔卑斯域还是二叠纪特提斯洋北岸的一个安第斯型陆缘时就位的（如图 1.2）。随着弧后盆地变宽、弧前锋向外迁移，南部阿尔卑斯出现三叠纪

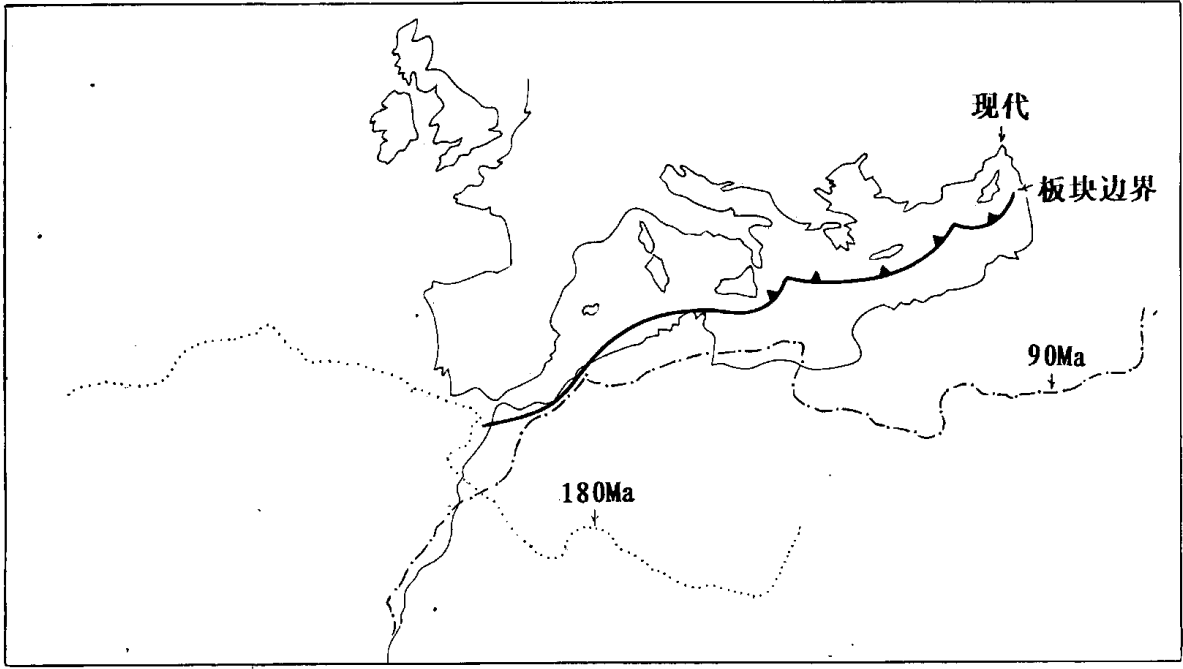


图 1.2 非洲相对于欧洲的位移

图中显示了非洲的位移，以 180Ma 和 90Ma 非洲海岸形态位置与现今位置来表示，图中显示的板块边界位于现今地中海海岭的位置，其为一拱形海底山脉，并被解释为欧洲板块南界的埋藏了的岩浆弧。特提斯或古特提斯洋是非洲板块大洋的一部分，并自 250Ma 以前的二叠纪以来便已俯冲到该板块边界之下

火山岩，奥地利阿尔卑斯域并有三叠纪凝灰岩。侏罗纪和白垩纪时期，当弧前锋远远向南迁移了数百公里后，弧后地区的火山活动便全部停止。洋壳岩石圈向曾被称为阿尔卑