

723855

典型构造分析

植村 武 著
水谷伸治郎
邵 济 安 编译
刘瑞珣 犁春 校



地 质 学 社

典型构造分析

植村 武
水谷 伸治郎 著
邵 济 安 编译
刘瑞珣 犁春 校

地质出版社

典型构造分析

植村 武 水谷伸治郎 著

邵济安 编译

刘瑞珣 犁春 校

*

责任编辑：毕立君

地质出版社出版发行
(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：850×1168^{1/32}印张：6.0625字数：157000
1990年4月北京第一版·1990年4月北京第一次印刷
印数：1—1460册 国内定价：3.20元

ISBN 7-116-00623-0/P·529

译 者 的 话

这本书的日文原版“地质构造的形成”属于都城秋穗、上田诚也等著名地质学家主持的岩波讲座——地球科学第九讲，由植村 武和水谷伸治郎主编。1984年被英国享有很高学术威望的威利父子公司选入“地球科学教科书”系列，译名为“Geological Structures”。现在编译为“典型构造分析”一书，可作为地质专业高年级学生和研究生参考教材，也可供广大地质科研人员和生产人员学习和参考。

该书在编写方面独具特色，努力把中小尺度的构造、区域构造乃至全球构造的研究结合起来，在区域地质构造研究中引入力学机制甚至微观构造的研究，而中小构造的研究又紧密结合区域构造背景的分析。其次是将理论研究和应用学科紧密结合起来。使我们在不长的篇幅中接触到当代构造地质学中所关注的一些主要课题，可以从9个世界典型构造的剖析中获得丰富的地质资料，又可以从这些经典构造的研究思路中得到有益的启迪。在3—6章各种基本构造要素形成机理和环境的分析中，可以窥见近年来构造地质在方法学方面的进展。最后本书还涉及了断裂研究在工程地质方面的应用，讨论了基岩和边坡稳定性评价等问题，体现了编者力图把理论和实际紧密结合起来意图。

最后我要对支持过这本书翻译的水谷伸治郎教授、何国琦教授等表示感谢。

邵济安

1989.7.25

目 录

第一章 绪论	(1)
1. 地质构造的起因	(1)
2. 地质构造的分类	(2)
3. 构造地质学	(4)
4. 地壳运动和构造运动的类型	(6)
第二章 地质构造实例	(9)
I 东非裂谷	(13)
1. 地质概况	(15)
2. 裂谷的深部构造	(18)
3. 陆壳的裂开和裂谷系的发展	(22)
II 圣安德列斯断层	(25)
1. 断层的展布和构造	(27)
2. 第三纪和前第三纪的断层运动	(31)
3. 第四纪断层活动	(34)
4. 作为一个板块边界的圣安德列斯断层	(35)
III 中国山东省的断块运动和郯庐断裂带	(38)
1. 山东地质区在中国有关地质单元中的位置	(39)
2. 郯庐断裂带的新认识	(40)
3. 前第三纪的构造演化	(44)
4. 山东地块运动的特点	(47)
IV 加拿大落基山的逆掩断层作用	(48)
1. 加拿大落基山的位置	(49)
2. 麦克康奈尔逆断层和加拿大落基山丘陵带的构造	(50)
3. 断层面的形状和伴生的褶皱构造	(52)
4. 加拿大落基山的地层	(55)
V 瑞士阿尔卑斯的推覆构造	(59)
1. 格拉鲁斯逆掩断层和赫尔维特推覆体	(61)
2. 推覆构造的形成	(65)
VI 弗朗西斯克组 and 构造混杂堆积	(69)

1. 弗朗西斯组建造和变质作用	(72)
2. 构造混杂堆积	(74)
3. 克拉马斯-谢拉带和大峡谷层	(78)
VII 加拿大地盾和拗拉谷	(81)
1. 加拿大地盾西北地区地质学	(82)
2. 科罗内申造山带	(83)
3. 阿萨巴斯卡拗拉谷	(85)
4. 拗拉谷的建造	(87)
VIII 海湾沿岸的盐丘	(91)
1. 威克斯岛盐丘	(93)
2. 盐丘的发育过程	(97)
3. 盐丘的分布	(101)
IX 萨德伯里古陨石坑	(103)
1. 萨德伯里侵入体	(104)
2. 底板岩石——震裂锥和角砾岩化	(104)
3. 萨德伯里侵入体和矿床	(107)
4. 顶板岩石——奥纳平凝灰岩	(108)
5. 根据陨石冲击假说作出的解释	(109)
6. 冲击坑和古冲击坑	(112)
第三章 节理、断层和应力场	(115)
1. 断裂的力学条件	(116)
2. 应力场的恢复	(116)
(a) 地壳的应力状态	(116)
(b) 共轭断层和主应力轴	(117)
(c) 小断层分析	(118)
(d) 小断层分析的问题	(121)
3. 应力场的形式	(122)
4. 区域节理的起源和应力场	(125)
第四章 岩石劈理	(130)
1. 板劈理的成因	(131)
(a) 剪切假说	(131)
(b) 压扁假说	(132)
(c) 构造脱水假说	(133)

2. 应变分析和板劈理	(133)
(a) 应变椭球的方向和板劈理	(134)
(b) 变形图	(134)
3. 板劈理发育的部位	(138)
(a) 面理构造在造山带中的展布	(138)
(b) 板劈理发育时的深度	(138)
(c) 构造层次和板劈理	(140)
第五章 褶皱和褶皱作用	(142)
1. 褶皱作用的基本型式	(143)
2. 单层褶皱	(144)
(a) 力学理论	(145)
(b) 主波长的存在	(146)
(c) 层厚度的变化	(147)
3. 层内褶皱	(149)
(a) 各向异性弹性体的内部纵弯	(150)
(b) 各向异性粘性流体的内部纵弯	(152)
(c) 三波川结晶片岩中的层内褶皱	(154)
4. 褶皱作用的三维分析	(156)
5. 横弯褶皱和披盖式褶皱	(158)
第六章 岩石的流动	(162)
1. 构造流动及其特征	(162)
2. 蠕变和应力松弛	(164)
3. 构造应力场和褶皱的生长	(167)
第七章 断裂和基岩	(171)
1. 断裂和工程地质	(171)
2. 基岩中的不连续面	(173)
3. 由于断裂而引起基岩物性的变化	(174)
4. 评价基岩的方法	(179)
(a) 岩石分类	(180)
(b) 基岩模型	(184)
(c) 边坡稳定性	(186)

第一章 绪 论

重要的三部四卷本巨著《地球的特征》的作者——奥地利地质学家徐士 (Eduard Suess) (1831—1914) 在开篇第一行写道“如果一个观察者能从天外移向地球，把淡粉色的云层推开，环顾下面的地球，“他首先会注意到那些向南延伸的V字形大陆，而且会意识到它们是地壳内部构造的反映。现在卫星照片能够使我们看到徐士所想象的一切。撇开大陆、山脉、广阔的平原、裂谷、岛屿和岛弧等的展布和排列不说，如果我们能够穿透海洋观察到大型的海底地貌，我们会看到环绕地球的巨大山脉及一系列从大陆边缘横穿海沟延伸到平坦洋底的起伏地形。这一切无疑已超过徐士和他同代人的想象。从徐士之前很长一段时间起直到现在，人类付出了极大的努力，才逐步加深了对大型构造的认识。使得我们进一步认识到决定大型地貌特征的地壳内部构造与更细微的岩石构造之间存在着某些密切的联系。

人们很自然地会问“山脉是怎样形成的？”我们现在已能够根据地层和现存构造特征辨认出早在前寒武纪或古生代形成的、现已失去了山脉外貌的古山脉。从山脉怎样形成的问题又进一步牵涉到“山的内部是什么样子？”的问题，并导致了19世纪中叶造山理论的形成。那时主要集中在欧洲阿尔卑斯的研究，就是在这样一个背景下，构造地质学作为一门专门研究地球构造的学科而建立起来的。

1. 地质构造的起因

“地质构造”是指地球多种形式的运动在地壳中传播时岩石发生扭曲作用和断裂作用的产物。这种变形不论规模大小都称为地质构造，不过巨大的构造显然与地壳下面的地幔有关，因此地

质构造不能只限于地壳中的构造。

上述成因的地质构造一般被称为次生构造，与此相对应的原生构造是指在成岩过程中暂短的低固化条件下形成的构造迹象。一般所说的地质构造是指次生构造。

与物体的物理形态有关的特征一般分为外部特征和内部特征。后者称为物体的构造或“组构”。因此地质构造是地质体的内部构造，褶皱之所以称之为褶皱正是由于它们特定的内部构造，不论规模大小，都属于褶皱构造。而它们的外部特征，即地质体的外貌除了与其内部构造紧密相关之外，还会由于外力侵蚀作用而发生显著的变化。这样，我们所看到的地壳外貌往往并不直接反映它们的内部构造。

地质体的内部构造由哪些要素组成呢？物体的内部构造通常是某些具有指示意义的特征标志来识别的，而这些标志仅仅反映了物质颗粒的排列。如果物质的排列是二维均匀的，那么就构成了一个“面状组构”；如果只是在一个方向上均匀就是“线状组构”。层理或片理等层状构造是典型的面状组构。但也有一些面状构造，如断层、节理以及褶皱轴面，并不直接由物质本身的排列所决定。线状构造也不仅仅包括矿物的排列或颗粒的拉伸方向，而且还包括褶皱轴或两个面的交线。无论如何，所有类型的构造都由面、线及其组合成的几何要素所组成。在构造岩石学或岩组学中岩石组构即被看作这些面和线的结合，而且根据它们的对称性分为四种类型，即轴对称，斜方对称，单斜对称和三斜对称。

2. 地质构造的分类

地质构造类型很多，这里不对它们做系统描述，而只集中讨论两个对地质构造分类极为重要的问题。

第一个问题是设法把从最简单到最复杂的各种构造分成“基本”构造和“复合”构造。基本构造是相对简单的，能够用面和线进行描述的构造。它们可以组成复合构造，也可以以完全独立的形式出现，例如节理、断层、各种类型的面理和线理。褶皱是

由面和线两者组成的，但是通常也被当作基本构造来看待。复合构造由基本构造组合而成，例如以褶皱为主叠加有断层要素的构造可以造成推覆体或者飞来峰；而各种类型的块状构造，例如叠瓦构造、地堑、地垒、掀斜断块以及断陷盆地都属于主要由断裂作用形成的构造。复合构造可以由同一地区，不同时间形成的两种或多种构造所组成，也可以由在一系列地壳运动的最初阶段到最后阶段连续形成的不同类型的构造叠加而成。不过，一些基本构造组合在一起总是构成一定的型式，完全无边际的和随机的组合在自然界是不会出现的。在造山带中，在以褶皱为主的“阿尔卑斯”型构造中，或者在以断裂为主的“日尔曼”型构造中都可以看到这些构造布局的自然规律（图1.1）。

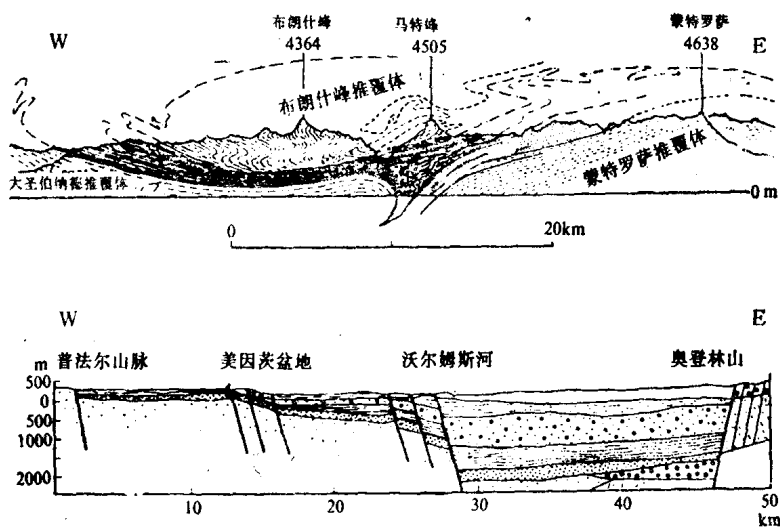


图 1.1

上图：瑞士阿尔卑斯（平宁带）的阿尔卑斯型构造的横剖面（Heim, 1922）；下图：日尔曼型构造的莱茵地堑横剖面（Billings, 1972）

我们可以根据这些组合型式判别构造形成的时间和空间的变化。

第二个问题涉及地质构造的序列（hierarchy），包括与它

们的规模、形成次序或单元划分等有关的问题。自然界是由无数的构造单元构成的，尽管它们按照各自特定的规律构成，然而它们彼此紧密相关而组成一个总体系。自然界的一切，从最大的体系如银河系、太阳系或者地球，一直到最小的分子、原子或者基本粒子都是如此。在地质构造方面也会出现由许多单元组成的一个序列的情况。概括地说地球上能找到的最大的构造可以认为是地壳、地幔和地核的分层构造。单看与地质构造关系最密切的地壳，它主要包括两个部分——即陆壳和洋壳。陆壳又可以进一步分为早已结束了各种构造变动的稳定陆块（克拉通）和各具特征性构造的造山带。大陆壳还包括象在东非所见到的巨大的地壳裂缝——裂谷带或者地堑。对洋壳的了解要比陆壳少，可将洋壳初步分为广阔的洋底、狭长的海沟以及大洋中脊这样三个主要单元。在洋陆之间的边缘地区所发现的岛弧（多数集中在西太平洋）则构成区别大陆和大洋的另一种构造单元。这些大的构造单元可以分成几个构造省（Structural Provinces），构造省又可以进一步划分为次级单元，直至单个的复合构造最后被分为几个基本构造单元为止。这样一个序列也可以在单个的基本构造中观察到。认真研究时常可以发现单一的断层是由一系列更小的、呈雁行排列的小断层所组成的。大规模的复式褶皱往往由短波长的多个连续的小褶皱组成。总之，应注意你所研究的构造在序列中所占的位置。

理解构造序列时涉及到的另一个重要问题是各个单元之间的关系，特别是相互转换的关系。例如一个造山带可能转变成稳定陆块的一部分，平卧褶皱可以发展成推覆构造。在研究每个构造单元形成过程时，各单元相互转换的关系特别重要。

3. 构造地质学

“构造地质学”是研究地质构造的学科。最初对构造和成分的研究是为了判别研究对象。对地壳来说，前者就是构造地质学，后者则对应于最广义的岩石学。在研究构造和成分的基础上

对地壳演化过程的研究应更确切地称之为“地壳演化史”。

这一学科的英文表示法有两种，一种是“Structural geology”，另一种是“tectonic geology”（或geotechnics^①）。两者意义相差甚微。前一个术语主要涉及到单个地质构造的形态和机制；而后者要考虑大规模构造，并研究它们的成因和形成过程。含混地说它们也可以分别被称为“基本地质构造”和“大构造理论”（或“地壳变动理论”），不过，这二者之间没有明确的界线。通过确定单个构造的形成机制，就有可能来讨论由这些小构造组成的大构造的起源和发展。反过来说，往往也能从大构造理论所得到的资料推论出单个小构造的形成条件。

构造地质学不限定研究对象的大小或规模，但是通常它不包括地球的层状构造（即地壳、地幔和地核）以及矿物内部构造的研究。不过由于对地质构造起源的讨论越来越多地涉及到地壳以外的范围，构造地质学的研究领域也逐渐拓宽到地球的深部科学。构造地质学也不限定研究手段，在所谓的“经典”构造地质学中生物地层学是最重要的工具。然而，岩石断裂和变形方面的实验和理论研究已取得了很大进展，现在这些领域的知识对构造地质学的研究起到了重要的推动作用。这使得构造地质学向地球物理学或者岩石力学靠近，以至在60年代出现了“构造物理学”（tectonophysics）这一新术语。构造地质学的研究首先要全面了解构造的地貌特征；在此基础上进行区域构造的研究以确定各类构造的空间分布和区域特征；另外还可进一步探讨构造的形成机制。综合起来说，就是弄清构造的形成过程和现时的分布，从而勾划出构造演化的历史。

在研究岩石力学性质的基础上，对变形或断裂现象所进行的应变分析和力学分析取得了一定的进展，从而我们对单个构造不仅能给出简单的定性估计，而且能做出定量的分析。尤其是有限单元法的应用使得构造体内部的应力应变关系的分析进展十分显

① 原文如此，应为geotectonics——校译者注。

著。不过现代构造地质学的最重要的特点可能还是实验技术的引入。

从最广泛的意义上看实验可以分成明显不同的两种类型。其一是在人为控制的条件下对一个物体进行测试，以便弄清它的性质。构造地质中这种类型的一个重要实验是用三轴高压实验装置去测定岩石或岩层的力学性质。或许这应该被称为试验 (tests)，而不是实验 (experiments)。另一种类型的实验旨在透过现象找其规律。它用于研究地质构造的形成机制和过程，大多数是所谓的“模型实验”。这些模型一般是为了验证一种从自然现象中推出的假说而建立的。有一些模型要采用适当的材料和物质，而另外一些则用数值来表达物体的性质或强度等。前一类模型实验通常包括采用各种粘土进行的塑性变形实验和采用明胶和环氧树脂进行的光弹实验。这一类实验中最重要的问题是要满足模型和它对应的原型在物理量值之间必然存在的相似性所要求的关系。后一种数值模型不受物质或尺寸的限制。由于近来高速计算机的发展使得“模拟”方法取得很大进展。尽管模型实验不过是将可用的知识加以综合从而抽象出对有关现象的认识，但从所构成的模型得到的资料仍能加深我们对现象的认识。

4. 地壳运动和构造运动的类型

早在半个世纪之前，通过对陆地上的山脉或者曾经是山脉的那部分地壳上的地质构造和岩石特征的观察，发展了“造山运动”的基本思想。斯蒂尔 (Stille, 1924*) 给造山运动下了一个清楚的定义：造山运动是在地壳经过长期平静之后，在一个相对短期的剧烈活动中发生的，而且局限在相当有限和狭窄的带内。斯蒂尔认识到在持续多次的造山运动过程中，由于快速褶皱作用，即使在连续沉积的地层之间也会形成构造不整合。他把这一强烈运动的时期叫作褶皱幕。“造陆运动”是不同于造山运动的

* 本书参考文献删略，为了便于读者查阅原书，括弧中的年代按原书保留，以下同。

另外一类地壳运动。G. K. 吉尔伯特 (G. K. Gilbert, 1890) 很久以前使用过这一术语。斯蒂尔 (1924*) 将它重新定义为在一段长时期内涉及广大区域的渐进运动, 一般不伴随着造山运动特有的褶皱, 断裂等构造出现。第三种类型的地壳运动是 v. 巴诺夫 (von Bubnoff, 1938*) 命名的“小型垂直运动”, 它们在时间和空间尺度方面介于造山运动和造陆运动之间。形成山脉和盆地交错的地形是其重要特征。

人们提出了许多理论来说明各种地壳运动的动力因素。它们可大致分为两类, 第一种理论认为地壳运动的动力来自地球中心的辐射, 也就是垂直方向的力导致在同一方向的物质运动。这意味着地壳上部所看到的地质构造起源于垂直向下的深部作用。因此这种理论不承认大规模的地壳水平运动。此概念的主张者因而也被称为“垂直论者”或“固定论者。哈尔曼 (Haarman, 1930*), 威利斯 (Willis, 1929*) 和 v. 贝麦伦 (van Bemmelen, 1932*, 1935*) 的“振荡说”或“波动说”是众所周知的, 他们推测“重力-滑动”是褶皱形成的机制。别洛乌索夫 (Beloussov, 1954*) 的理论也强调大范围地壳的上隆运动, 以垂直运动作为理论基础, 因此也可以归属这一类理论。上述种种观点被称为“深层构造学”, 而别洛乌索夫一类的理论则特别被称为“断块构造学”。尽管地球膨胀理论和拉姆伯格 (Ramberg, 1967*) 的理论基本上也属于这一类思想, 但这些理论和地壳大规模水平运动的观点也可以相容。拉姆伯格的理论是假定在地下某个层位存在密度倒转的区域, 从这里轻的物质靠浮力和静水压力差开始上移。它们到达地表后开始水平运动而导致地壳大规模水平位移并形成阿尔卑斯型构造。或许这应该被称为“底辟构造学”。

与此相反, 第二种观点则是在地球浅部寻求地质构造的直接起因, 被称为“浅层构造学”。因为它们与大规模的地壳水平运动思想相一致, 所以这些学说的倡导者被称为“水平论者”或者“活动论者”。德博蒙特 (de Beaumont, 1952*) 和戴纳 (Dana, 1847*) 提出的历史上著名的“收缩说”, 霍姆斯 (Holmes, 1928*),

维宁梅内兹 (Vening Meinesz, 1933*), 格里格斯 (Griggs, 1939*) 以及其他人的对流理论全都是有代表性的例子。另外的若干种理论也是从这些理论推演出来的。这类构造运动理论还包括目前在这一领域处于领先地位的“板块构造学”，这一学说是随着伊萨克思等人 (Isacks et al, 1968*) 的主张或作为其前提的海底扩张说 (迪茨, 1961*) 而产生的。有趣的是除了收缩说之外，所有这些理论都是从洋壳及其下面的地幔研究中推演出来的。

可以说现代构造运动理论已远远超出回答“山是怎样形成的？”这类问题的程度，也不简单地局限于弄清楚地质构造的形成，它还迅速加深了我们对各类地质现象之间关系的认识，从而能够解释地球的总的现象

植村 武

第二章 地质构造实例

世界上的大陆基本上分成前寒武纪稳定大陆和较后期的活动带。前寒武纪比后来的地质年代之和还长得多，大约占据了地壳历史的5/6。尽管如此，在地球表面前寒武纪岩石的分布既不广泛，又不均匀，而是作为连续的基底限于大陆区，构成所谓的“地盾”（图2.1）。

围绕地盾分布着古生代以后沉积的地层。地层一般较薄，几乎是水平的，很少变形。这样的区域叫作“地台”。在地盾和地台内曾发生下沉，从而形成大的内陆盆地。这些运动是和缓的，但延续时间很长，涉及的区域也很广。

在每个大陆上，从古生代初围绕地盾和地台就发育了遭受造山运动的活动带，这些带中的地层强烈褶皱，有时高度变质，而且常常可以发现花岗质的深成岩。

在每个大陆上都发现了组成地盾或地台的大面积前寒武纪岩石。例如加拿大地盾、波罗的海地盾、俄罗斯地台、西伯利亚地台、非洲地盾、圭亚那地盾和巴西地盾。

围绕这些地区发现有活动带：例如早古生代形成的西北欧加里东造山带、东格陵兰带和阿巴拉契亚造山带。晚古生代形成的海西（华力西）造山带（H）也横穿欧洲。阿巴拉契亚造山带的一部分同位于其西南方向的沃希托造山带（O）在这个时期的运动中再次遭到影响。受影响的地层主要包括南非角系统的地层（Cp）以及和它对应的志留系—泥盆系地层，它们分布在从福克兰群岛到南美洲南部的地带，它们和澳大利亚的塔斯马造山带一起组成了围绕冈瓦纳大陆边缘的造山带。新地岛到乌拉尔的古生代活动带可能与中国的蒙古活动带相连。古生代的变质岩也出现在北美科迪勒拉和安第斯，但是我们不十分了解这些地区从中生

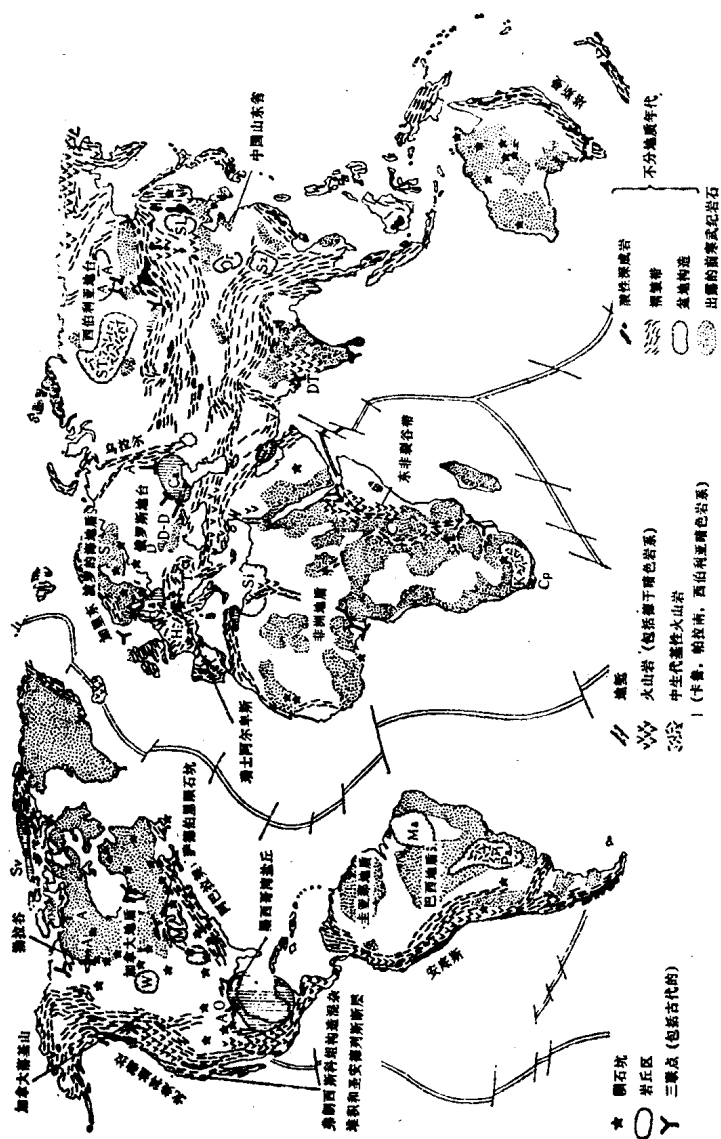


图 2.1 大陆地质和地质构造