

高等学校教学参考书 679330

# STRUCTURAL GEOLOGY

OF ROCKS AND REGIONS

GEORGE H. DAVIS

## 区域和岩石构造地质学

张樵英 马曹章 李智陵 等译  
宋鸿林 朱志澄 单文琅 校



地质出版社

高等学校教学参考书

# 区域和岩石构造地质学

〔美〕 G.H.戴维斯 著

张樵英 马曹章 李智陵 等译

宋鸿林 朱志澄 单文琅 校

地质出版社

## 内 容 提 要

该书是由G. H. Davis编写的构造地质学新教材。全书共十二章，分为两大部分：第一部分（包括六章）为构造分析的基本原理；第二部分（后六章）为构造学，介绍了各种构造的基本概念以及具体的研究方法。本书通俗易懂、内容较新颖，适合作为大专院校教材和学生自学读物，也可供广大地质工作者参考。

※ ※ ※

## Structural Geology of Rocks and Regions

G. H. Davis

John Willey & sons, Inc. 1984

高等学校教学参考书

### 区域和岩石构造地质学

[美]G. H. 戴维斯 著

张樵英 马曹章 李智陵 等译

宋鸿林 朱志澄 单文琅 校

\*

责任编辑 常志忠 魏春海 张荣昌

地质出版社出版

(北京西四)

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发行

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：25.125 字数：600000

1988年11月北京第一版·1988年11月北京第一次印刷

印数：1—1500册 定 价：4.95元

ISBN 7-116-00269-3/P·242

## 译 者 的 话

G.H.Davis (1984) 编写的《区域和岩石构造地质学》是一本通俗易懂的构造地质学新教材，非常适合于大学本科生使用或作为自学读物。

书中用各种型式的精美插图、照片或模型图、特别是其中的漫画式草图，形象地解释了构造地质学中的一些重要概念，这将增加学生的学习兴趣。纵观全文，著者采用了与一般构造地质学教科书不同的新的体系，将构造地质学研究的内容、方法和理论贯穿起来，既介绍了传统的理论和描述分析方法，又反映了现代构造地质学的进展，并不乏创新之见。该书的不足之处是对区域构造和显微构造论述较少。

本书由武汉地质学院区域地质教研室组织翻译。其中第一、十章由宋鸿林译，第二、三章由张樵英译，第四、五、八章由马曹章译，第六章由杨巍然译，第七章由王豪译，第九章由吕新媛译，第十一、十二章由李智陵译。全部译稿由宋鸿林、朱志澄、单文琅校。

# 前 言

本书的目的在于阐明地壳的优美的物理和几何的建筑，以及这种建筑能反映构造运动动力学的程度。重建地球外壳的物理演化的尝试具有哲学和历史的价值。我们对于自己以及所处时空的感觉取决于对我们借以生存的地壳历史发展的认识 and 解释。认识到我们的行星是运动着的而不是静止的，使我们能意识到我们生活在一个活跃的和特有的环境之中。

我们已逐渐了解到，我们的地基不是固定的。我们生活于一直在缓慢运动着的大陆规模的板块上。这些板块的相互作用对地壳岩体的形成和变形起着主要的作用。对现代板块构造活动的知识能帮助我们解释过去的构造运动。而对过去的动态的认识和解释，可以帮助我们预测现在的运动将如何发展。

构造地质学的应用范围很广，包括认识地球构造所具有的实用价值。金属和碳氢化合物的勘探，对处理放射性废物埋藏的建议的评价，预测地震和火山爆发等地质事件，都是很伤脑筋的事，需要具备关于地球结构和动力学的丰富的知识。

野外关系是构造地质学家知识的源泉。在了解地球动力学方面野外的价值如何！著名的英国学者H. Lowry精辟地说明了原始资料的重要意义。他的话对地质学家很有意义：

“（原始资料）我们指的是第一手的资料，是事实和思想的可靠基础，是其余东西的源泉……尊重原始资料使人们避免推测、窜改资料、不成熟的意见和猜想——各种花言巧语……只依靠二手资料的人是学术上的倒卖者。它会使我们自以为聪明……广博的知识，即使各方面都知道一点，亦有其明显的价值。但如果没有坚实的原始资料的基础，则这种广度就没有什么价值。它只会使我们在较宽的基础上一知半解，使我们天真地轻信和上当，使我们太轻易相信我们所读到的东西”（引自H. F. Lowry）。本书就注重于原始资料。相信多数地质学家将会从中对构造地质学有更好的了解。本书注重于在区域构造分析和勘查地质中的应用，但始终强调理解基本概念和原则是十分重要的。

George H. Davis

# 目 录

<b>第一篇 基本原则</b> .....	1
第一章 构造地质学的性质.....	1
第二章 详细构造分析的概念.....	11
第三章 描述性分析.....	27
第四章 运动学分析.....	74
第五章 动力学分析.....	118
第六章 板块构造.....	149
<b>第二篇 构造</b> .....	179
第七章 接触关系.....	179
第八章 原生构造.....	206
第九章 断层.....	231
第十章 节理.....	287
第十一章 褶皱.....	312
第十二章 劈理、面理和线理.....	356
<b>结束语</b> .....	394

# 第一篇 基本原则

## 第一章 构造地质学的性质

### 建筑和构造

在进入一个不熟悉领域的旅程的初始，常常总被一种向往所鼓舞着，这不是一种漫无边际的空想，而是充满着强烈的好奇和有着追求目标的一种理想。我们的旅程将是去探究我们生活着的行星的外壳建筑（architecture）的奥秘。我们首先关心的是由于地壳变形而造成的建筑的形态。变形造成岩体原始形状或体积的改变，也常使岩体的位置和方位发生变化。每个岩体不管多硬，总有一个极限，达到这个极限它就会断裂或流动。Hebgen 湖畔的一个栅栏受到1959年席卷蒙大拿州东南角的破坏性地震后的情景，就是这种概念的一个生动的实例。地面变动的结果，使栅栏缩短。在变动不太大的地区，缩短是由弯曲来调节的（图1.1A）。但在缩短超过了木板弯曲的极限处，栅栏就突然断裂了（图1.1B）。

我们对岩石比对栅栏更感兴趣，我们想要知道，岩体初始状态的构造变化如何反映了

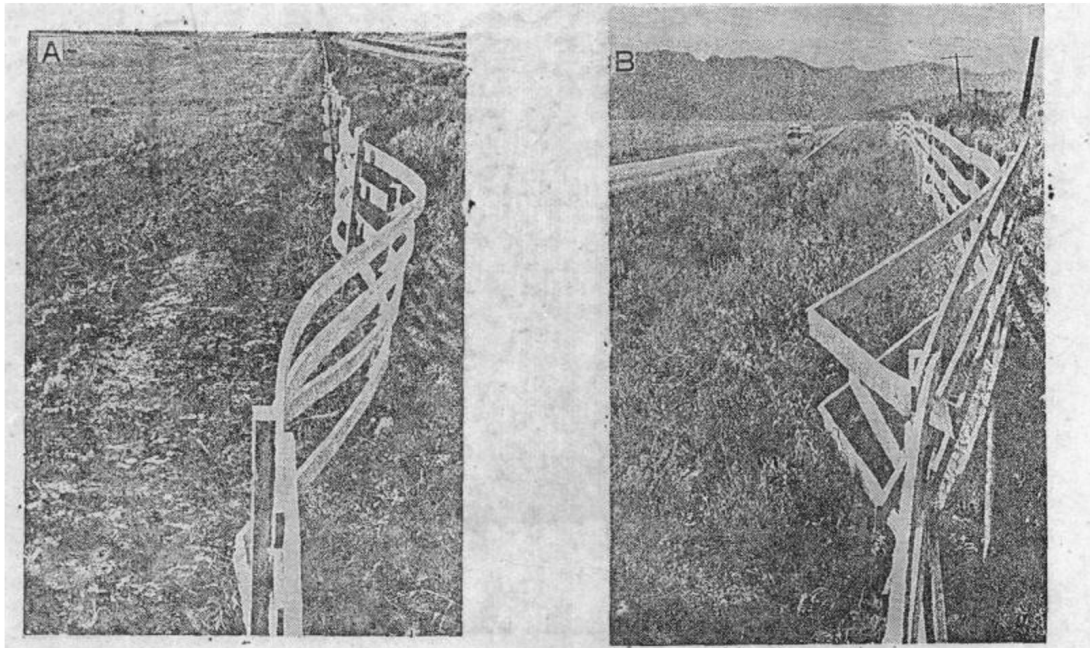


图 1.1 蒙大拿州Hebgen湖地震区的变形栅栏

A—弯曲的栅栏；B—断裂的栅栏

(J. R. Stacy摄)

部分地壳的位置和形态变化的方式。图1.2的褶皱和断层的岩石并不代表其初始的位置、形状、它们反映了地壳的变形。

Jacob Bronowski 在他的名著“*The Ascenf of Man*”(溯源)中指出,今天我们对科学的概念是一种“对大自然基本构造的描述和探究,像‘构造’、‘型式’、‘图样’、‘排列’和‘建筑’等名词经常出现在我们的描述之中”。他相信“发现事物内在的规律是人们在探究自然时的基本想法。事物的建筑揭示了其内在的构造,一种隐藏着的本质,当它一旦被揭露,就可使其与别的事物相区别”。

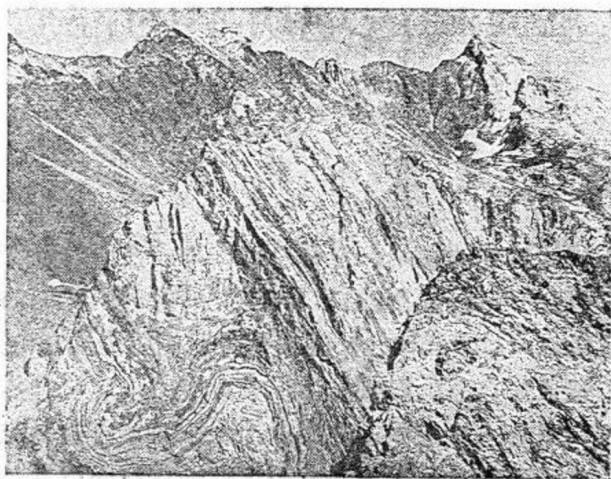


图 1.2 加利福尼亚州内华达山Upper Convict谷的褶皱和断层的变质岩  
(E. B. Mayo摄)

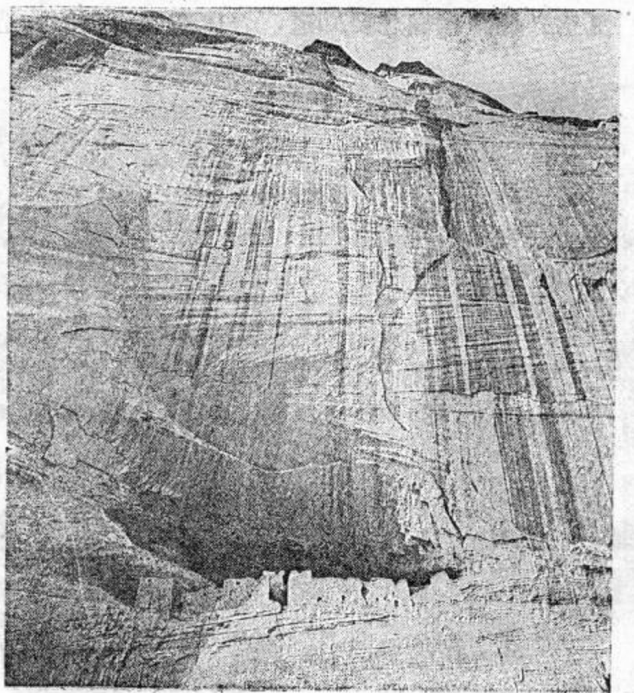


图 1.3 亚利桑那州Chelly谷中白屋废墟  
自然界的建筑和古代人的建筑的宏伟的景观的联合  
(G. H. Davis摄)



Bronowski的评论十分适用于构造地质学。简明地说，构造地质学是研究地壳由于变形而造成的建筑的科学（据Billings, 1972）。用“地壳的建筑”一词是很合适的，因为构造地质学讨论的是各种规模的地壳组分的形状、对称、几何学以及其种种优美的造型（图1.3）。同时，构造地质学也注重于地壳物质的强度和力学性质，包括现在的以及其形成时和变形时的性质。地壳的建筑主要是由地壳中的大规模的断层和流变运动铸造成的。地质学家认为，这些构造运动可以由多种方式产生。例如，在碰撞板块边缘的挤压力导致大型断层系和褶皱带的形成；火山的重力崩塌造成巨大的破火山口；海洋和大陆地壳的伸展和裂谷作用形成深的拗陷和集中的火山活动；热的岩浆从深处向上穿过岩石的持续的浮起。构造地质学力图根据科学资料来解释这些运动，但这种科学资料总是不能完全的。

虽然建筑学和构造地质学有许多共同之点，但建筑师和构造地质学家面临的却是十分不同的问题。建筑师设计一幢房屋或一座桥梁，注意的是其作用、外貌、几何特征、材料、大小、强度、成本及其它因素。然后，他或她监管着整个建造过程（每天或每周地），及时作出修改。最后，可能只有建筑师才清楚原始设计和最终建筑之间的差异。

相反，构造地质学家面临的是最终的产物，如图1.4所示的构造。他需要回答许多问题。这是什么构造？其原始材料是什么？构造的几何特征如何？在变形过程中材料如何改变形状？如何一步一步地造成的？回答这些问题的过程中又会出现更多的问题。这是什么时候造成的？它花了多少时间才形成？当时的温度和压力条件怎样？材料的强度如何？它到底是如何形成的？

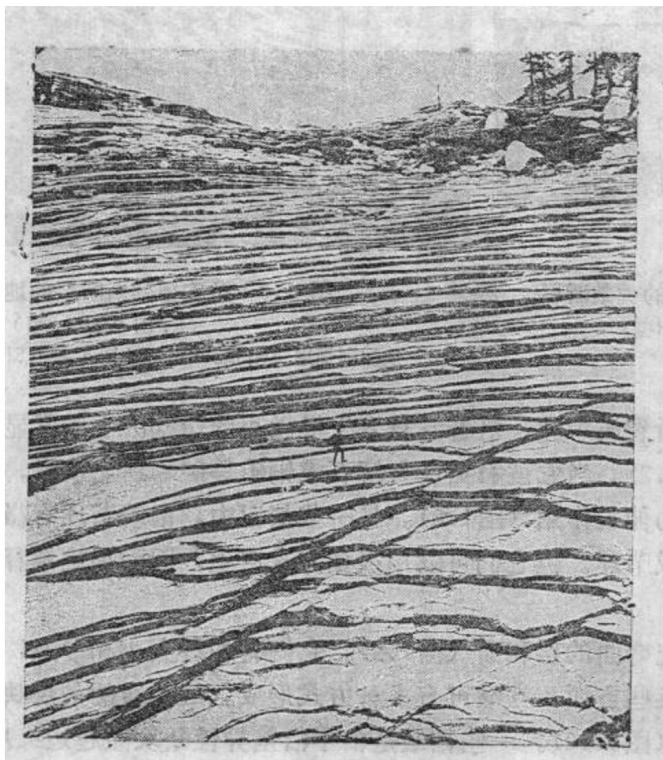


图 1.4 面临着大自然的构造的地质学家站在Shuteye峰附近花岗岩中的页状节理上  
(N. K. Huber摄)

# 基本构造

对最普通的构造做些初步的描述，可能说明为什么像形状和几何学、样式和对称性、方位和次序等词在构造地质学家的词汇中有着特别的位置。自然界的基本地质构造是：断层，节理、褶皱，劈理，面理，和线理。

断层是调节了地壳中岩石位移的断裂（图1.5）。它们是唯一能经常作为新闻标题的地质构造，因为它们是地震的常见地面表象之一。在变形过程中，岩石常被迫互相运动以达到更好的吻合。断层作用使地壳的部分可以缩短或伸长。一些断层是地壳中的重要破裂（图1.6）。它们以多种方式起作用，从产生灾难性的地震到控制了矿化而使繁荣的矿业城市的兴起。

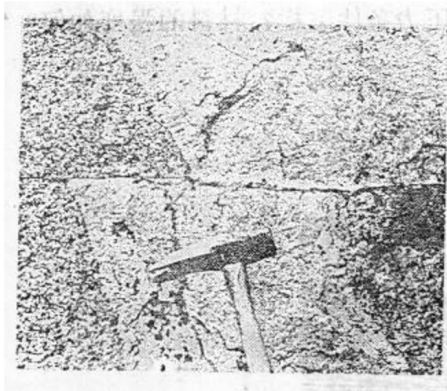


图 1.5 细粒岩墙中的一条断层  
(J. P. Lock wood摄)

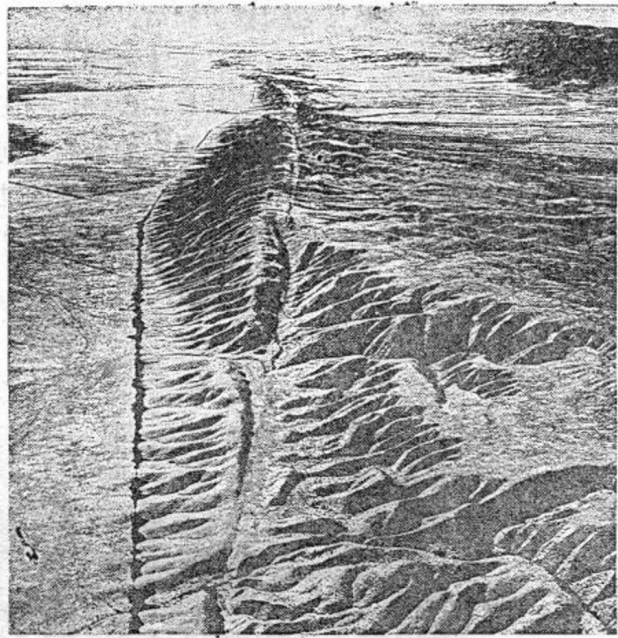


图 1.6 圣安德列斯断层的地貌景观  
(R. E. Wallace摄)  
从加利福尼亚州San Luis Obispo 县沿Elkhorn悬崖向北看

节理是岩石中的断裂或裂隙，沿着它只发生极微小的运动。它们常显示出一种系统的几何性和对称性（图1.7）。当它被石英、方解石或铜矿等矿物所充填时，节理就成为脉，调节了它们所处岩石的伸长作用（图1.8）。另一些情况中，沿着节理有微小的错位。在实验室用实验很容易造成节理。但它们可以用很多方式产生，因而很难解释一套具体节理系的确切成因。

褶皱是岩石中系统弯曲的层和面（图1.9）。它们有各种大小和形态，它们的内部结构反映了其发育条件的某些方面。褶皱可有多种方式形成。最普通的是反映了初始水平层两端受力而弯曲和缩短（图1.10）。一些褶皱是由于沿差异性断块隆起边缘所造成的岩层的区域性阶状弯曲。在高温条件下，重力对塑性变形的层的作用可以造成连续堆叠的褶皱，像软糖似地堆在一起（图1.11）。褶皱提供了精彩的三维的几何形象。

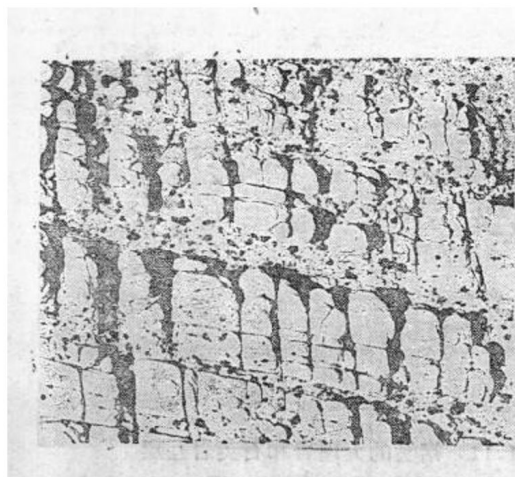


图 1.7 犹他州Canyonlands砂岩中的节理  
(G. F. Mc Gill摄)  
最大的断块边长约50m。侵蚀的沟是密集的节理带

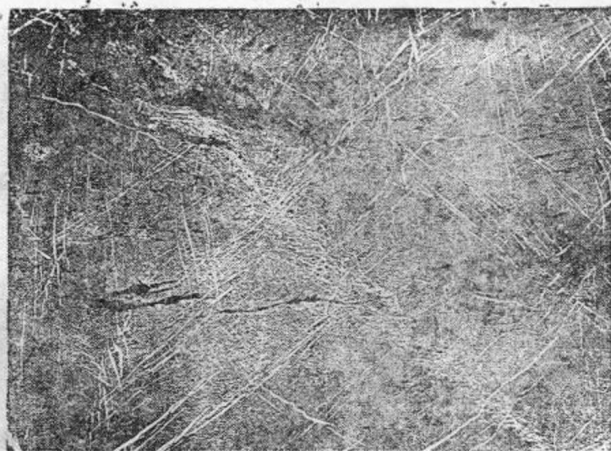


图 1.8 灰岩中的方解石脉  
(C. D. Walcott摄)  
佛蒙特州Highgate泉Linckiln点附近



图 1.9 褶皱的白云岩和灰岩  
(A. Keith摄)  
佛蒙特州Danby附近

劈理、面理和线理是最后一类常见的构造。它们形成于升高了的温度和或压力的条件下，通常在岩浆或变质环境中的韧性流动过程中通过变形和重结晶作用而形成。面理是象云母类矿物、晶体、显微断层和压扁砾石等构造要素的紧密的平行排列（图 1.12）。劈理是面理的一种特殊类型，是密集的近于平行的面，使强烈变形的岩石具有可劈开的性能。



图 1.10 片岩中尖棱褶皱的显微照片  
(A. L. Albee摄)



图 1.11 褶皱的大理岩和石英岩互层  
(G. H. Davis摄, D. O'Day画)

劈理是由于褶皱时缩短作用而造成的(图1.13)。某些劈理具有十分微小的错动。但多数劈理反映一种不连续面,沿着它岩石部分地受压溶而带走,使岩石物质可以受到更大的缩短。线理是像角闪石细条、矿物集合体,微褶皱束或广布于岩体中的擦痕或槽沟等要素的优选的线状排列(图1.14)。在极少数的情况下,线理大到可以当孩子们的滑梯(图1.15)。在岩浆岩或变质岩中面理或线理的存在,反映岩石的形状发生了相当大的变化。

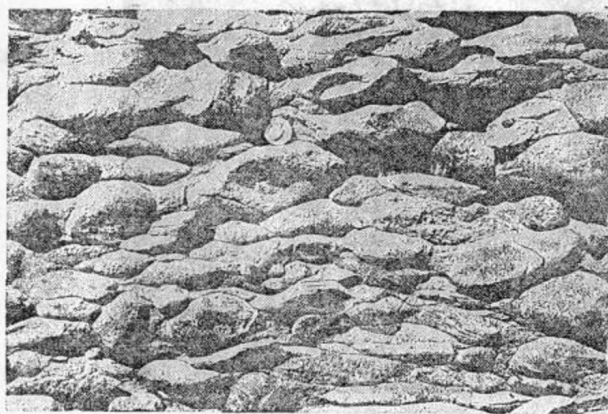


图 1.12 Rhode岛Purgatory砾岩中变形砾石排列而成的面理  
(据Mosher, 1981)

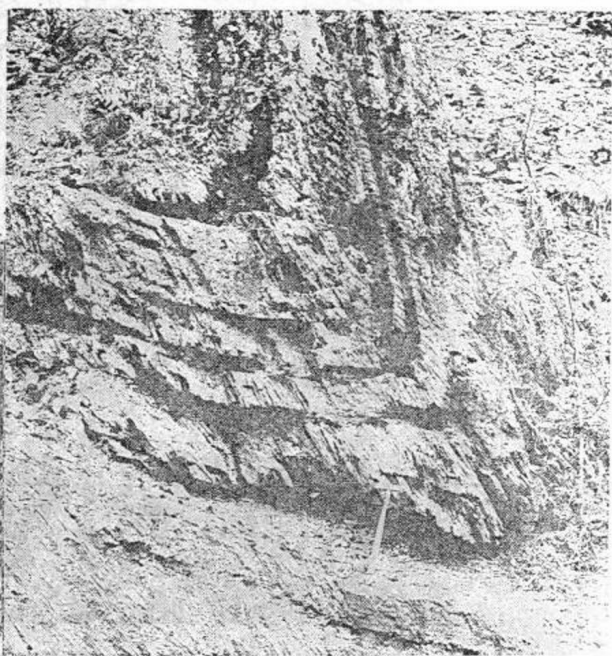


图 1.13 田纳西州Walland附近条带状板岩中的劈理  
(A. Keith摄)

具有透入性的劈理、面理和线理的岩石叫构造岩。这是固态流度造成的岩石。产生面理和线理的流动透入于整个岩石物质之中,就像一枚被火车压扁的硬币内所产生的内部运动一样。只要有已知原始形状和大小的参考标志,如变形岩石中的化石或压扁硬币面上的

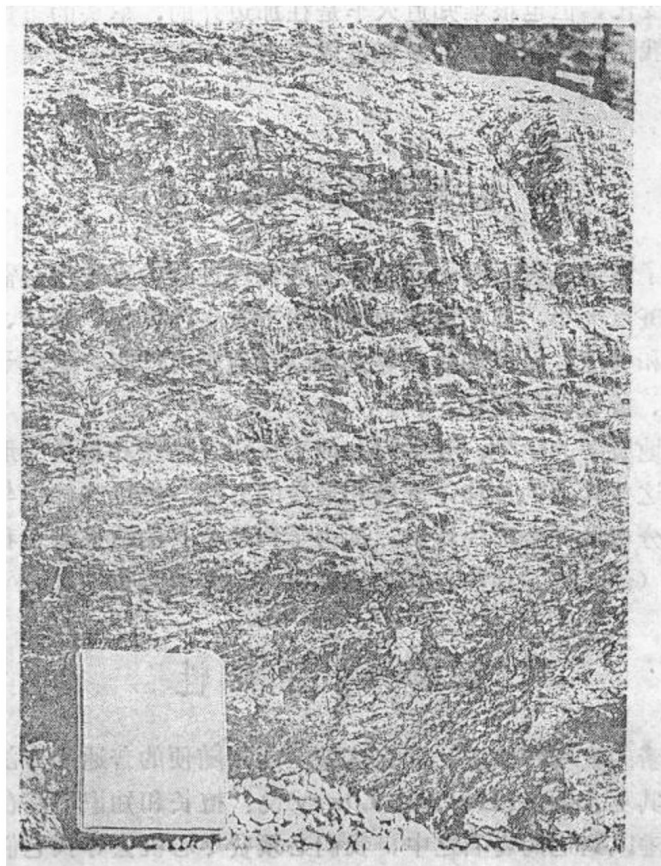


图 1.14 变质岩中的线理

(G. H. Davis 摄)

线理反映了面理化岩石中的透人性微褶皱的方向

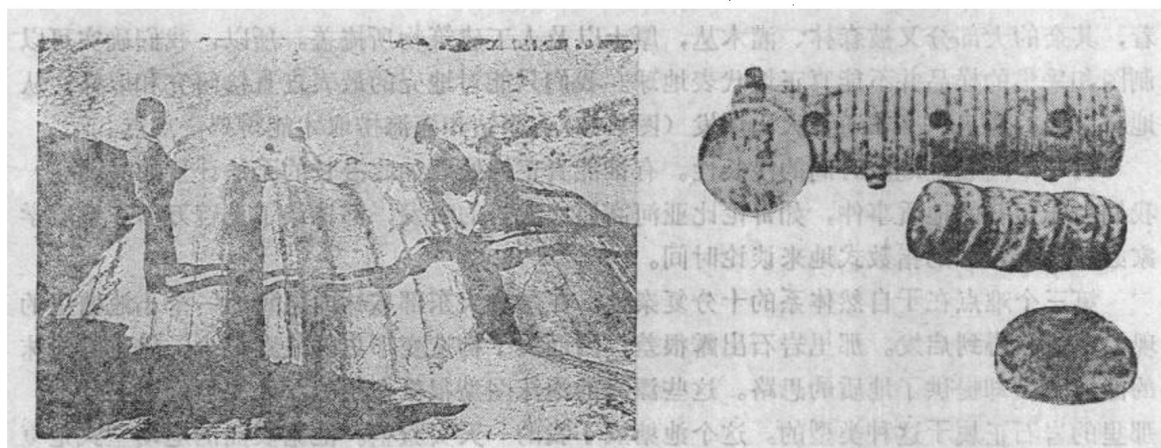


图 1.15 在巨大擦面上的线理

(L. A. Lepry 摄)

秘魯Saqsaywaman。孩子们当作滑梯，用手启动，向下滑。然后再用手制动

图 1.16 变形和不变形的海百合茎，  
变形和不变形的硬币

(G. Kew 摄)

林肯像(图1.16),就能定量地测量岩石或硬币形状的显著变化。即使能够描述压扁的硬币的形状和大小的变化,但也很难知道火车是往那边开的,车头的重量有多少或火车开得多快等问题,除非我们当时在现场。解释造成天然变形岩石中面理和线理的运动和应力状况也一样困难。

## 构造地质学的目的

构造的研究是了解地壳岩石对于过去发生的物理过程的反映所必需的。地壳的岩石,大到大陆规模小到斑点大小,都在地球力的作用下发生过位移、旋转、上升或内部形变。断层、节理、褶皱和劈理、面理和线理等之所以在地壳中广布,是由于含有它们的岩石曾发生了形状、大小、或位置的变化。

作为学习构造地质学的学生,要学习如何去认识、描述和测量变形构造的方位。我们还要学习解释造成这些构造的位移,旋转和形变的方法。把这些知识与理论和实验的概念相结合,我们就能分析地壳变形的性质。动力学构造分析的结果对于我们了解重要的自然资料,特别是能源(油、气、地热)和金属矿床,是十分有用的。

## 理解的困难性

如果我们要有新的发现和认识,那么这就不能用随便的普通的方法来进行。构造系统和过程的复杂性使其更加困难。Howard Lowry说:“擅长和知识不是在柜台上可以买到的商品。它们深埋于难以到达的岩石之中,我们必须费尽心机去寻找它们”(引自H. F. Lowry的College Talks 1969)。当我们了解到理解构造的难点时,“费尽心机”就开始了。

例如,我们可以自由地去制图和采样的地区是地球体积的很小的一部分。地球的雄伟的地形起伏,从像阿尔卑斯山、安第斯山和喜马拉雅山等最高山到像马利安纳海沟等海洋最深处,当我们从地球的整个规模来看时,就成为很微不足道了。地面的3/4被水所覆盖着,其余的大部分又被森林、灌木丛,厚土以及人工建筑物所掩盖。所以,我们确实可以制图和采集的样品并不能真正地代表地球。我们只能对地壳的最表皮直接研究和取样。从地球深处的样品只有在通过火山爆发(图1.17)、深钻和深海捞取才能得到一点点。

另一个问题是地质时间的漫长性。有谁能真正地处理如此漫长的无法计量的时间呢?我们当作短暂的地质事件,如哥伦比亚河高原玄武岩的喷发,都持续了上百万年。地质学家必须学会用10的指数式地来谈论时间。

第三个难点在于自然体系的十分复杂性。在加拿大东部丛林内遇到的一个小池塘里的现象,使我得到启发。那里岩石出露很差,因而关于构造变形史的线索很少。但充满泡沫的池塘水面却提供了地质的思路。这些漂亮的泡沫图型很像在热的深处变形的岩石纹理,那里的岩石正属于这种类型的。这个池塘成了我的一天实验室。池塘表面的运动型式是复杂而多变的。看着图型的不断变化,我想到冬天来临时这些构造将会是怎样的呢?某种简单的图型将会被冻结下来;无数图型中的一个将会被保存;而这个图型也许不一定代表我所看到的运动。从而我完全意识到,我们调查的每个地质记录只是无数个冻结了的记录中的一个,是很长而复杂的戏剧中的一个暂停的镜头,我们永不会了解它的全部过程。

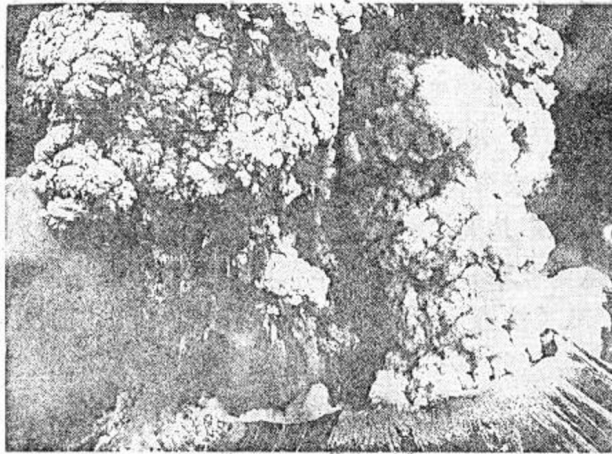


图 1.17 1980.5.18圣海伦火山的爆发  
(美国地质调查所提供)

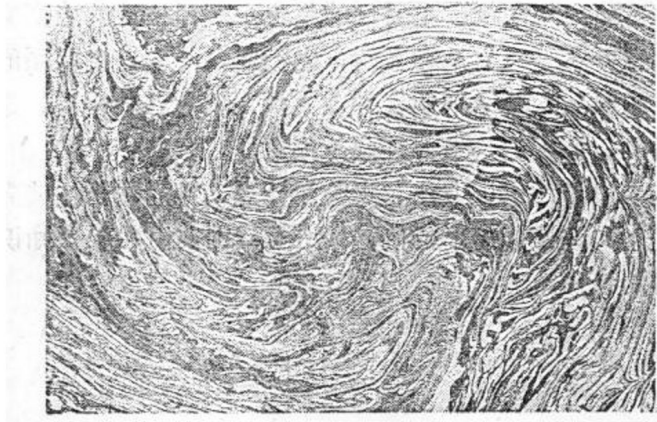


图 1.18 在落基山池塘中变形的泡沫层  
(G. H. Davis摄)  
右上角的纸杯被风吹向左，而水在重力作用下向右下角流动

不久以前，在犹他州我又一次看到了这种现象。当我俯视桥下的池塘水面，看到了同样的流动型式（图1.18）。但这次的图型带有更多的标志。由重力作用造成的水流的规则图型被一个纸杯在风的作用下的运动留下的痕迹所叠加。在地质上，我们也看到这种复杂的干涉效率，是由于热、压力和重力在造成建筑形式的作用之间的竞争之结果。

## 章节的安排

我把本书分为两部分。第一篇“基本原则”是第二篇“构造”的分析之基础。

第二章“详细构造分析的概念”提供了本书应用的构造地质学的哲学方法。构造分析包括描述性的（物理的和几何的）、运动学的（对平移、旋转、体变和形变的估算）和动力学的（对与变形有关的应力和外力的解释）分析。这三种形式的分析为阐明各种规模的（从岩石到区域的规模的）构造和构造系提供了方法。

第三章是“描述性分析”。辨认构造和描述构造的几何学是掌握构造地质学的根本基

础。第四章“运动学分析”，以我认为重要的一个概念开始，即“地壳中存在的构造和构造系是包含它们的岩石的大小或形状变化的反映”。如果没有这种变化，则构造就不会存在。运动学分析就是估算构造所反映出来的平移、旋转和形变的过程。

第五章“动力学分析”，探究变形的成因，涉及到外力、应力和岩石强度。第六章“板块构造”，从较大的角度上来分析构造的动力学和最终成因。它阐明了我们的现代构造观，认为地壳变形许多（如果不是大多数）是直接或间接与海底扩张和板块构造有关的。它也说明了一个概念，即认为板块和板块运动不仅产生变形，而且也造成主要的成岩环境。

第二篇“构造”，从“接触关系”（第七章）开始，讨论识别几种主要接触关系：沉积接触、断层、侵入（岩浆岩的和沉积岩的）接触、和韧性剪切带。第八章“原生构造”，探讨沉积和变形成因的原生构造。原生构造指与岩石形成同时造成的构造。原生构造包括不同的规模，从交错层到火山，从柱状节理到生长断层。

地壳中的主要次生构造列于第九到十二章，即“断层”、“节理”、“褶皱”，以及“劈理、面理和线理”。用第一篇中的思想和方法来描述和解释这些构造。用了许多野外的、实验的、理论的和地下研究的实例。主要目的集中于解释构造的应变意义。

“结论”强调构造并不是孤立地存在的，它们组成一套有机联系的构造以调节应变。要恢复岩石的原始位置和结构要求阐明各种观察尺度上的各种构造。这一点是岩石和区域构造地质与区域地质构造的大地构造分析间不同之处。

整个书中，详细描述了技术、方法、实验和计算，目的在于使读者通过实验和野外实践以及课外阅读能主动实践并创新。的确，Webster词典中关于“知识”的第一个定义就强调是通过实践获得的认识。



## 第二章 详细构造分析的概念

### 概 念

我们把工作建立在构造地质学的一个分支即详细构造分析的基础上，并特别强调应变分析。(Sander 1930; Knopf和Ingerson 1938; Turner和Weiss 1963; Ramsay 1967)。详细构造分析的三个基本部分是描述性的、运动学的及动力学分析。它们是从不同的观点去观察地质构造。描述性分析是指识别和描述构造以及测量构造的方位。运动学分析集中在解释引起构造发育的变形运动上。基本的运动形式有平移、旋转、体变和形变(图2.1)。动力学分析是用引起形成构造的力与应力来解释变形运动。动力学分析通常是详细构造分析中最多解的部份，但它却通过严谨的实验与理论研究导出十分重要的推论。运动学分析及动力学分析两者都是以描述的事实作为基础的。

详细构造分析的基础是在所有尺度的观察中发现和强调变形体的深奥的几何学排列的程度。详细构造分析使我们认识到岩石内部构造的几何学和对称性特征，它反映了引起这种变形的运动及应力的几何学及对称性特征(Sander, 1930)。

Knopf和Ingerson (1938) 进一步介绍了这些见解。他们用朴素而有趣的例子说明了对称原理的主要观点。例如，站在一条电线上的鸟通常面向相同的方向(图2.2)。这种

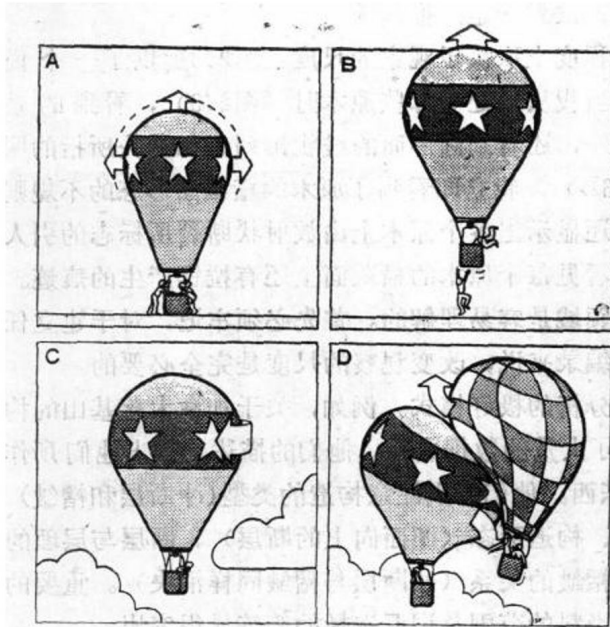


图 2.1 基本的运动方式

A—体变(体积的变化); B—平移(位置的变化); C—  
旋转(方位的变化); D—形变(形状的变化)  
(D. A. Fisher画)

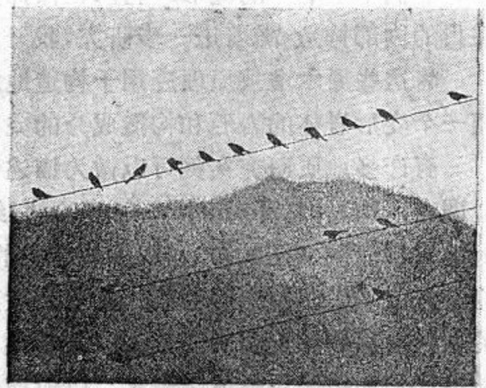


图 2.2 鸟在一条电线上的优选方位

(B. J. Young摄)