

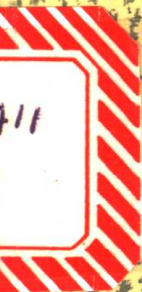
地质

# 和实践 析的理论方法

中国地质大学出版社  
资助项目  
国家自然科学基金

## 变形分

傅强仁 任建强 著  
单文琅 宋鸿林





# 构造变形分析的理论、方法和实践

单文琅 宋鸿林 傅昭仁 任建业 著

(国家自然科学基金资助项目)

中国地质大学出版社

## 内 容 简 介

本书以北京西山的构造研究成果为例,系统阐述了现代构造解析的基本原理和方法,并着重介绍了构造变形相分析的具体内容和工作准则。根据现代构造理论,比较详细地论述了伸展构造在基岩中的种种表现型式:剥离断层、变质核杂岩构造、近水平正向韧性剪切带等的构造特征及识别标志;提出了“褶皱层”、“横向构造置换作用”、“构造地层型”等新概念,并在此基础上讨论了中、浅变质岩区变质构造的一般演化规律以及变质岩区填图的构造地层学准则;另外,还讨论了褶皱-冲断构造断层面扩展的位错模式。

本书内容丰富,理论结合实际,并以大、中、比例尺地质填图和成矿预测工作中的构造研究为重点,故可供地质类各专业的教学、科研工作者,尤其是野外地质工作者参考。

### 构造变形分析的理论、方法和实践

单文琅 宋鸿林 傅昭仁 任建业 著

责任编辑 刘士东

责任校对 董 英

中国地质大学出版社出版

(武昌喻家山, 430074)

石首市第二印刷厂印刷 湖北省新华书店经销



开本787×1092 1/16 印张 10.625 插页 2 字数 265 千字

1991年1月第1版 1991年1月第1次印刷

印数1—3000册

ISBN 7-5625-0477-6/P·159

定价: 5.10元

地质学按其性质来说主要是研究那些不但我们没有经历过而且任何人都没有经历过的过程。所以要挖掘出最后的、终极的真理要费很大的力气，而所得是极少的。

—— 恩格斯《反杜林论》

## 序

我国作为以大陆为主体的国家，拥有不同特色的地质体和丰富多彩的大陆构造变形及相关的资源，我们理应在广泛实践的基础上对大陆构造研究作出较多的贡献。随着板块构造的兴起，构造地质学中的构造观和方法论发生了很大的变革，我国广大地质工作者在新的生产和科研实践中，不仅积累了丰富的实际资料，开拓了矿产资源的前景，而且在大陆构造变形和成矿作用的研究方面取得了显著成效。特别是随着80年代新一轮1:5万区调工作的开展，我国变质岩构造的研究获得了许多突破性进展。这本著作就是其中的一项具有理论和实际意义的优秀成果。

作者们应用变质岩构造解析的基本原则和方法，在1:5万区调的基础上，对北京西山浅变质盖层岩系中丰富多采的地质构造现象作了全面的研究。不仅初步阐明了北京西山不同层次、不同变形相和不同变形场的各类构造的特征、形成机制及演化序列；而且比较系统地总结了变质岩区构造解析的一些基本原则和方法，强调了多尺度、多层次、多体制、多因素、多类型构造的全方位动态综合分析的原则。

书中比较完整地阐述了北京西山南部的盖层构造演化序列，将变形、岩浆和变质序列相结合，提供了一个典型地区的复杂变形史，从而总结出一些地壳构造演化的一般性规律：多次伸缩交替的变形史，变质地质体的构造变形相和变形习性在构造旋回中的系统演变等。书中系统论述的构造变形相分析，山区基岩中的古伸展构造的基本表现型式——近水平韧性剪切带、剥离断层及变质核杂岩，作为变质岩区早期构造基本型式的“褶皱层”及其相关的顺层固态流变构造群落，不同变质相条件下的动力变质岩的野外和显微构造特征，以及变质岩区填图的构造地层学准则和不同构造置换区（纵向构造置换和横向构造置换）的地质制图方法等等，对当前正在普遍开展的变质岩区1:5万区调填图及许多浅变质岩区的矿田构造研究，无疑具有重要的参考价值。特此向广大地质工作者推荐本书，并向作者们表示衷心的祝贺。



1990年10月27日

# 目 录

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| <b>第一章 绪论</b> .....                       | ( 1 )  |
| 一、当代构造地质学的进展.....                         | ( 1 )  |
| 二、北京西山构造的特色.....                          | ( 2 )  |
| <b>第二章 构造解析的原则和方法</b> .....               | ( 4 )  |
| 一、构造解析的基本原则和观念.....                       | ( 4 )  |
| (一) 构造的尺度观.....                           | ( 4 )  |
| (二) 构造的层次观.....                           | ( 7 )  |
| (三) 构造的新陈代谢观.....                         | ( 12 ) |
| (四) 构造组合的观点.....                          | ( 16 ) |
| 二、构造解析的内容和方法.....                         | ( 17 ) |
| (一) 构造几何学分析.....                          | ( 18 ) |
| (二) 构造运动学分析.....                          | ( 21 ) |
| (三) 构造动力学分析.....                          | ( 23 ) |
| (四) 构造变形相分析.....                          | ( 27 ) |
| (五) 构造序列分析.....                           | ( 27 ) |
| <b>第三章 构造变形相分析</b> .....                  | ( 30 ) |
| 一、概念和术语.....                              | ( 31 ) |
| 二、构造变形相分析的基本原理和方法.....                    | ( 32 ) |
| (一) 岩石的变形习性.....                          | ( 32 ) |
| (二) 岩石变形的环境因素和时间因素.....                   | ( 38 ) |
| (三) 岩石的变形机制、环境和变形相.....                   | ( 39 ) |
| 三、构造变形相分析的工作准则.....                       | ( 40 ) |
| (一) 同相异样准则.....                           | ( 40 ) |
| (二) 同物异相准则.....                           | ( 42 ) |
| 四、北京西山的构造变形相分析.....                       | ( 42 ) |
| (一) 北京西山的变形相序列.....                       | ( 42 ) |
| (二) 北京西山的变形相变.....                        | ( 43 ) |
| <b>第四章 区域变质岩的构造序列解析和变质构造的理想演化模式</b> ..... | ( 48 ) |
| 一、北京西山南部的盖层构造演化.....                      | ( 48 ) |
| (一) 变形序列.....                             | ( 49 ) |
| (二) 岩浆活动序列.....                           | ( 52 ) |
| (三) 变质作用序列.....                           | ( 54 ) |
| 二、构造演化史纲要及变质构造的理想演化模式.....                | ( 55 ) |
| (一) 北京西山南部变质盖层构造演化史纲要.....                | ( 55 ) |
| (二) 变质构造的理想演化模式.....                      | ( 56 ) |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| <b>第五章 伸展构造在基岩中的表现</b>      | ( 59 )  |
| 一、伸展构造模式及其基本类型              | ( 61 )  |
| 二、剥离断层                      | ( 64 )  |
| 三、近水平的韧性剪切带                 | ( 65 )  |
| 四、北京西山的剥离断层与近水平的韧性剪切带       | ( 67 )  |
| (一) 断层的几何学                  | ( 67 )  |
| (二) 两盘岩石的变形特征               | ( 69 )  |
| (三) 小结                      | ( 71 )  |
| 五、变质核杂岩构造                   | ( 72 )  |
| <b>第六章 糜棱岩的构造研究</b>         | ( 76 )  |
| 一、韧性剪切带及其产状                 | ( 76 )  |
| (一) 逆冲式韧性剪切带                | ( 76 )  |
| (二) 走滑式韧性剪切带                | ( 77 )  |
| (三) 正断式韧性剪切带                | ( 77 )  |
| 二、岩石塑性变形机制简介                | ( 77 )  |
| (一) 晶内滑移和位错滑移               | ( 78 )  |
| (二) 位错蠕变                    | ( 79 )  |
| (三) 颗粒边界滑动和超塑性流动            | ( 81 )  |
| (四) 压溶作用                    | ( 82 )  |
| 三、糜棱岩类岩石的基本特征               | ( 83 )  |
| (一) 糜棱岩概念的新认识               | ( 83 )  |
| (二) 糜棱岩的宏观地质特征              | ( 83 )  |
| 四、糜棱岩类岩石的显微构造特征             | ( 84 )  |
| 五、糜棱岩系列岩石的分类                | ( 88 )  |
| 六、糜棱岩与变质相                   | ( 90 )  |
| <b>第七章 褶皱层与顺“层”固态流变构造群落</b> | ( 93 )  |
| 一、褶皱层的概念及其基本构造特征            | ( 93 )  |
| 二、北京西山褶皱层的顺“层”固态流变构造群落      | ( 95 )  |
| (一) 顺层韧性剪切带                 | ( 95 )  |
| (二) 顺层掩卧褶皱                  | ( 96 )  |
| (三) 顺层面理(片理)和拉伸线理           | ( 101 ) |
| (四) 粘滞性香肠构造和构造透镜体           | ( 102 ) |
| (五) 同构造分泌结晶脉                | ( 103 ) |
| 三、褶皱层的形成机制                  | ( 105 ) |
| (一) 褶皱层发育的构造条件              | ( 105 ) |
| (二) 顺层掩卧褶皱的发育机制             | ( 105 ) |
| <b>第八章 构造置换作用</b>           | ( 109 ) |
| 一、面状构造的置换                   | ( 109 ) |
| (一) 纵弯褶皱压扁过程中的面状构造置换        | ( 111 ) |
| (二) 韧性剪切带递进单剪过程中的面状构造置换     | ( 112 ) |

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| 二、构造置换的变形分解和剪切-压溶机制 .....         | ( 113 )        |
| (一) 构造变形分解作用 .....                | ( 113 )        |
| (二) 剪切-压溶分异作用 .....               | ( 117 )        |
| 三、构造置换的类型 .....                   | ( 120 )        |
| (一) 纵向构造置换 .....                  | ( 120 )        |
| (二) 横向构造置换 .....                  | ( 121 )        |
| 四、横向构造置换面理与顺层面理 .....             | ( 123 )        |
| <b>第九章 区域变质岩区填图的构造地层学准则 .....</b> | <b>( 126 )</b> |
| 一、变质地质体的填图单位 .....                | ( 126 )        |
| (一) 变质地质体的构造分类 .....              | ( 126 )        |
| (二) 区域变质岩系的双重地层系统概念 .....         | ( 127 )        |
| 二、区域变质岩系构造地层单位的基本模式 .....         | ( 128 )        |
| (一) 褶皱层的成层构造特性 .....              | ( 128 )        |
| (二) 褶皱层的构造地层型 .....               | ( 129 )        |
| 三、划分构造地层单位的构造地层学准则 .....          | ( 131 )        |
| 四、区域变质岩区的填图方法 .....               | ( 134 )        |
| <b>第十章 逆冲推覆构造 .....</b>           | <b>( 139 )</b> |
| 一、北京西山的推覆构造 .....                 | ( 139 )        |
| (一) 印支期逆冲推覆构造 .....               | ( 139 )        |
| (二) 燕山期逆冲推覆构造 .....               | ( 143 )        |
| 二、平衡剖面及位移距离的估算 .....              | ( 146 )        |
| (一) 编制平衡剖面的基本原则 .....             | ( 147 )        |
| (二) 平衡剖面的编制步骤 .....               | ( 148 )        |
| (三) 北京西山逆冲推覆构造平衡复位的研究 .....       | ( 149 )        |
| 三、黄山店褶皱-冲断构造的位移-距离图解 .....        | ( 151 )        |
| (一) 断层面扩展的位错模式 .....              | ( 151 )        |
| (二) 位移-距离图的编制 .....               | ( 152 )        |
| (三) 黄山店褶皱-冲断构造的位移-距离图解 .....      | ( 153 )        |
| 四、讨论 .....                        | ( 153 )        |
| (一) 逆冲断面的几何学 .....                | ( 153 )        |
| (二) 逆冲断层的扩展作用 .....               | ( 154 )        |
| (三) 逆冲断层和褶皱作用 .....               | ( 155 )        |
| <b>结束语 .....</b>                  | <b>( 157 )</b> |
| <b>主要参考文献 .....</b>               | <b>( 158 )</b> |
| <b>附图 北京西山南部地质构造图</b>             |                |



# 第一章 绪 论

## 一、当代构造地质学的进展

20世纪60年代以来,随着人们对未来资源和自然灾害预防等的日益关心,新技术的进步及其在地质实践中的广泛应用,使当代构造地质学得到了革命性的进展。许多新思想、新概念和新方法急剧涌现,积累了多方面的基础资料和新的发现,从而突破了50年代及以前的过时的构造观和方法论,使构造地质学成为一门内容崭新的现代科学。

马杏垣教授[1987a、b]指出:“板块构造的出现标志着过去准静态的地球模式已被抛弃,代之以高度活动的动力地球观。”板块构造应用于大陆的地质实践,使人们获得了许多有关大陆边缘和造山带构造的新认识。1974年,大陆反射剖面合作项目(COCORP)对阿帕拉契亚山的地球物理研究,在过去所谓的阿帕拉契亚山结晶轴的兰山之下,发现了一条巨大的近水平的逆冲拆离构造,它使前寒武变质岩系远距离地逆冲到下古生界地层之上。这一具有重大理论意义和实际意义的发现,引起了对逆冲推覆构造的一次研究高潮。70年代末,对美国西南部盆岭区构造的研究(G.A.Davis和G.S.Listev,1988; G.A.Davis等,1986)揭示了大规模低角度正断层的存在,使伸展构造的研究得以蓬勃发展。地质和地球物理研究的结合,使人们认识到岩石圈的多层次滑脱,对大量薄皮构造的认识是对深断裂在地壳中占主导地位的传统概念的突破。古地磁在地质学中的应用,揭示了地壳岩石圈块体的大规模平移的存在。所有这些成就,使构造地质学从以注重于造山带的挤压体制下形成的褶皱和断层的研究扩大到对不同体制下形成的构造的研究,即对收缩构造、伸展构造、走滑构造和隆升构造的全面研究。

在岩石变形微观机制的研究方面,超微技术的应用及模拟天然变形条件下的高温高压岩石变形实验研究,揭示了晶体塑性变形的微观机制,促使对糜棱岩的重新定义,提出了断层的双层模式,推动了对韧性剪切带的研究,确定了韧性剪切是深层次基底岩石塑性变形的主要机制。从而使构造地质学家注意到,岩石圈不同构造层次具有不同的变形环境和不同的岩石变形机制,进而提出了构造层次和变形相的概念。从此,构造地质学从主要研究中浅构造层次的褶皱和脆性断裂扩大到转而注重于深层次的韧性变形的研究。显微构造的深入研究和位错理论的引入,不仅揭示了微观的晶体变形机制,也影响到人们对宏观构造变形机制的认识,提出了断层扩展的位错模式、岩石变形的裂合机制、变形分解作用等概念。

定量分析技术的应用,使构造地质获得了又一重大的进步。电子计算机的应用,促进了有限应变测量方法的广泛采用,从而能够定量或半定量地了解区域岩石的变形量、变形形式和岩石变形的运动学图象。平衡剖面原理和技术的发展,使人们可以较精确地估算造山带的缩短量、盆地的伸展量等岩块的相对位移量。利用成因矿物学、包体测温及变形岩石的显微组构等古温度计和古应力计,有可能定量地估算岩石变形时的围压、温度、应力差及应变速

率等参数。对现代地形变和地应力的测量揭示了许多地区新构造运动的特点。利用电子计算机进行数学模拟,可以定量地检验各种地块变形的动力学模式的可行性。总之,从定性到定量,引起了对许多构造地质基本问题的重新认识,如关于地壳运动的力源问题。

区域构造的详细研究,尤其是变质岩区构造的研究,发展了一套构造解析的研究方法。从研究面理的置换、各类构造的样式划分与对比、各样式群的叠加和世代的划分,得出一个地区地质构造的序列,进而探讨一般的地壳演化的规律。

航空、航天遥感技术的应用和地球物理探测方法的发展,为地球构造的研究开辟了更广阔的视域,增加了对深部地质透视的深度,并将全球构造与宇宙星体的研究结合起来。

所有这些研究是从宏观到微观的多尺度、多层次、全方位的研究。不同尺度的研究,有不同的侧重面及不同的研究方法。看问题的尺度越多,就越有机会得到比较全面的认识。如前所述,大尺度的构造研究常结合地球科学的各个学科,尤其是结合地球物理的研究,解决全球性的地壳运动的模式,从宏观上指导着一个具体地区的构造研究;而微观的构造研究揭示了岩石变形的机制及其他有关变形过程的信息,为进一步了解构造变形的环境、发展演化以及各种构造的内在有机联系,提供了单凭肉眼难以得到的信息。

经验证明,对于大量的区域构造研究而言,露头和本地尺度上的小型构造研究仍是构造地质研究的最基本的方面,它能获得直观而确凿的第一性资料,是研究大型构造和显微构造的基础。因此必须强调,野外观测和地质制图仍然是研究构造的基本方法,并将始终起着决定性的作用;反之,由于地质图是野外地质研究成果的综合反映,因此地质图的精度取决于对该区地质构造的研究程度,两者之间有着相辅相成的密切关系。从我国当前正在开展的大规模1:5万区域地质调查和大、中比例尺成矿预测工作的经验已经证明,深入的构造研究对于这些工作的成败起着明显的决定性的作用。理论来源于实践,又经受实践的检验。这条马克思主义的认识论的观点在构造地质规律的研究中得到了生动的体现。可以期望,随着我国广大区域的1:5万区域地质调查工作和大、中比例尺成矿预测工作中构造研究的普遍开展,一些新的构造规律和概念将不断地涌现;反过来,如果这些新的构造规律和概念在指导其它图幅和矿区的构造研究中得到验证和成功的应用,就会证明这些理论和概念的正确性。

本书的宗旨是,在我们进行的北京西山和中条山中浅变质岩区构造研究的实践基础上,着重讨论近年来发展起来的现代构造变形分析的一些理论和方法,并结合典型地区的实例加以论述。

## 二、北京西山构造的特色

北京西山周口店一带位于华北平原的西北缘,太行山脉北端的东侧。它虽位于华北板块的内部,但构造甚为复杂,在范围不大的地区集中了比较齐全、丰富多采、具有一定典型意义的地质现象。这一地区构造变形的主要特点是:

(1) 区内地层发育比较完全。从中元古界到古生界各组地层的岩石类型清楚,虽经普遍的绿片岩相变质作用及部分岩石的透入性糜棱岩化,但在野外仍能清楚地分辨出其原岩的岩性、层理、层序及所属的时代。与其它板岩区或中深变质岩区相比,该区对于搞清各类构造的几何学及运动学特征具有十分有利的条件。

(2) 本区经历了多次强烈的构造变形,是研究面理置换、构造叠加和世代划分的典型地区。本区不仅有露头尺度的叠加关系,亦有显微尺度和区域尺度的叠加型式。

(3) 不同的世代,有其特有的构造样式,反映了其生成时的环境条件:既有反映地壳下部层次的固态流变构造,亦有反映中部构造层次的纵弯褶皱和代表上部构造层次的脆性剪切变形的构造。

(4) 区内岩石类型较齐全。不同的岩石类型,如灰岩和白云岩或砂岩和页岩,在同一世代、同样的变形条件下可形成不同样式的构造,从而为研究岩石力学性质及其与构造样式的关系提供了丰富的材料。

(5) 区内不同世代的构造,反映了各自形成时的构造体制。区内既有代表近水平伸展的流变构造、剥离断层和脆性破裂,又有代表水平挤压下的推覆构造和纵弯褶皱,还有代表垂直隆升的底辟式的岩浆热动力构造。

(6) 这些不同世代、不同层次、不同体制下形成的构造,组成了一个比较完全的构造序列,提供了一个变质岩区地壳演化的一般途径。与我国或国外一些研究比较详细的变质岩区相比,本区的地壳演化规律有一定的典型性。

正是这些特点,使北京西山、特别是周口店一带成了我国构造研究的典型地区,并长期以来成为进行地质构造教学的重要实习基地,被誉为“地质工作者的摇篮”。

本书的内容不在于象一般地质报告似地全面描述区域地质构造<sup>①</sup>,而是以北京西山的构造研究实践为例,重点讨论若干与之有关的现代构造变形分析的某些理论和方法,特别是与中浅变质岩区的区调和矿区构造有关的理论与方法。

本书是在周口店幅(1:5万)区域地质调查(1985—1988)基础上的集体科研成果,是在大量前人工作基础上的新一轮构造研究的总结。书中涉及的许多新概念、新认识都是通过集体研究得出的。全书通过集体讨论、分工执笔写成。具体分工如下:单文琅:负责四、七、九章;宋鸿林:一、五、六章;傅昭仁:二、三、八章;任建业:十章,由单文琅统编定稿。先后参加研究工作的成员还有:葛梦春、李智陵、黄万夫、成勇、李志中、何斌、赵占元、韦必则、郑在胜、彭少梅,以及历届本科毕业实习生等。

研究工作得到国家自然科学基金的资助与北京市地质矿产局的大力帮助,并经常得到马杏垣老师的鼓励和指导,以及张吉顺、郭铁鹰、王人镜、王方正等许多同志的热情帮助;此外,张俊霞同志协助清抄稿件,朱彩霞、张小玉同志协助清绘插图,在此均表示感谢。

---

<sup>①</sup>关于本区的区域地质特征,请参阅已出版的“周口店幅(1:5)区域地质及矿产地质调查报告”,(北京地质矿产局,中国地质大学(武汉)北京地质调查大队,1988)。



## 第二章 构造解析的原则和方法

在地质构造研究领域中，H·施蒂勒（Stille, 1924）提出的“比较构造学”（comparative tectonics），在国际上影响极为深远。“比较”这一基本的逻辑方法在构造地质学乃至整个地球科学中都广泛地应用着。人们要区分各种构造现象和构造类型，就要进行比较，通过比较进行鉴别、分类。然而在过去的地质构造研究中，对这种方法的应用，常常是“就事论事”，把观测得到的现象堆砌在一起，用逻辑推理方法去作出结论，缺乏对各种地质构造现象的内在矛盾的观察和分析以及根据这种动态的分析去认识地质构造的实质，因而传统的构造地质学研究是有其局限性的。

构造解析（structural analysis）是马杏垣教授多年来反复强调和大力提倡的一种构造研究方法。这种方法抛弃了以往构造地质学单纯描述、堆砌构造现象及简单比较的方法，把构造地质学带进了以辩证唯物构造观为指导的，以现代系统科学方法为特点的多尺度、多层次、多体制、多因素和多类型构造全方位动态解析的领域。

### 一、构造解析的基本原则和观念

马杏垣教授曾多次强调：提出解析构造学（analytical tectonics）的目的是，“要在高度活动的动力地球构造观指引下，用新的构造方法学，去进行新一代的地质构造实践”。他在一般构造解析方法的基础上提出了八项基本原则：即①构造变形场；②构造层次；③尺度；④叠加、置换、序列、世代；⑤构造转化与再造；⑥岩性介质；⑦得失、增减、改组与分异；⑧构造组合。这些原则体现了探索构造现象内在联系和相互制约规律性的矛盾对立统一思想和具体问题具体分析的辩证方法（马杏垣，1981a、b，1982，1983，1987a、b）。其基本的哲学基础和构造观念大体反映在如下四个方面：

#### （一）构造的尺度观

##### 1. 构造尺度是认识地质构造现象的客观标准

所谓构造尺度，即认识地质构造现象的客观标准：包括观察、分辨、分析和处理地质构造现象的客观标准。研究构造首先要求划分构造的尺度。地质构造有不同的尺度，有空间尺度和时间尺度。每一尺度都强调某些不同的方面，有不同的研究任务和不同的解析方法（马杏垣，1981a）。

地壳上构造的空间尺度，按地质体的规模一般可以划分为巨型、大型、中型、小型、微型和超微型等六个等级（单文琅、傅昭仁，1987a）。反映当代地质构造研究的空间尺度已扩展到 $10^8$ — $10^{-8}$ cm的广阔范围（图2-1）。不同空间尺度的构造，多级组合，相互依存，在地壳的不同的构造区域内构成一定格式的构造系统。在时间尺度上，可以根据地壳变形的量变和质变关系，划分出长短不一的旋回、世代和生成的先后顺序，反映构造过程的阶段性和展

开的顺序性，以及不同阶段构造作用过程的速率。不同时间尺度的构造之间动静递进演化，构成一个递进变形和变形分阶段发展相结合的构造历史序列。因此，对不同尺度的构造的综合解析，实际上就是一个观察、分辨、分析和处理地质构造现象的系统工程。

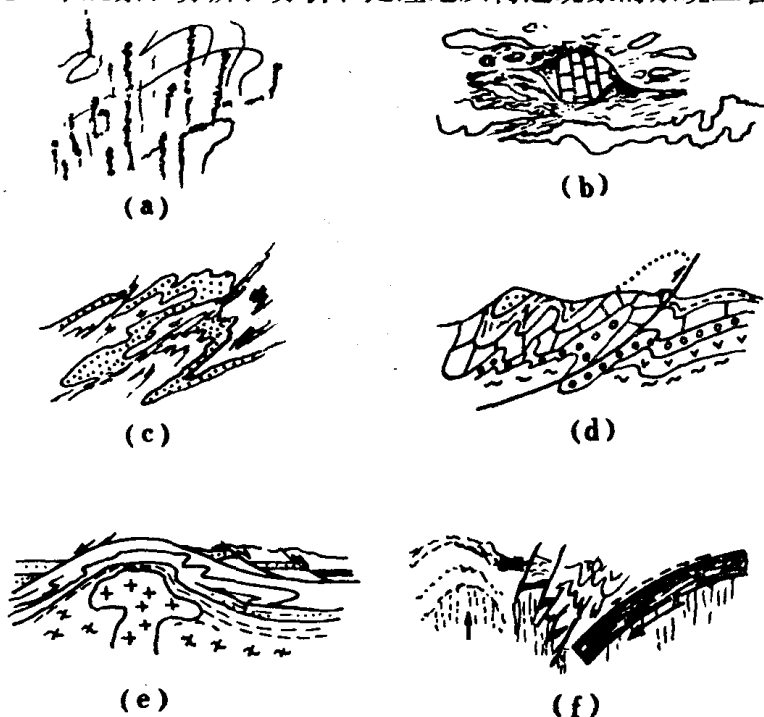


图2-1 不同等级的构造研究对象

(a)超微构造，透射电镜照片位错素描，空间尺度 $<10^{-4}\text{cm}$ ；(b)显微构造，显微镜下旋转变晶及拉长石英，空间尺度 $<10^{-1}\text{cm}$ ；(c)小型构造，流变褶皱的露头，空间尺度 $<10^4\text{cm}$ ；(d)大、中型构造，褶皱—冲断构造剖面，空间尺度 $<10^6\text{cm}$ ；(e)大型或巨型构造，变质核杂岩体结构剖面，空间尺度 $<10^8\text{cm}$ ；(f)全球构造，板块俯冲带模式，空间尺度 $>10^8\text{cm}$

## 2. 多尺度的构造观察是现代构造地质研究的基本要求

众所周知，在整个地壳变形的过程中，地壳岩石不但会发生不同程度的变形和变位，而且往往导致岩石内部组分的运动和结构的调整。我们所研究的地质构造现象实际上是一个不同空间尺度和时间尺度的构造综合的有机整体。现代研究表明，在许多构造带里，露头上或更小尺度的构造现象与山系尺度的构造往往可以类比，许多区域构造的型式与小型或显微构造的几何形式、运动学和动力学特点也存在着成因上的联系。从时间尺度来说，在地质构造演化的历史长河中，前后相继的不同时间尺度的构造之间，也存在着规律性的发展关系。因此，在一个地区的地质调查工作中，能从越多的尺度上分析问题，就越能得到比较全面的认识，作出合乎本质的结论。可以说，多尺度的观察和综合研究是现代构造分析的基本要求，因为尺度的概念不仅体现在构造研究的方法上，更重要的是体现人们的思维方法。事实上，每当工作中对一些构造形迹的几何特征和形成机制在某一尺度上研究不得其解时，常常在更大或更小一个尺度上很容易得出结论。在过去的一些区域地质调查中，往往只注意对大、中型构造形迹的观察和描述，这样，尽管在展现各时代地层的空间分布，确定褶皱、断层和侵入岩体产状、位态及接触关系等基础性工作上做得很好，但由于没有重视更小尺度的各种构造要素、特别是透入性构造的研究，因而往往不能完整地建立构造发展序列和查明变形面的转换关系，或者无法确定构造的运动方向和性质；同样，由于没有把所研究的构造放到更大尺度的构造背景中、把测区和测区外的构造之间的相互联系、运动和发展演化统一起来去确定其构造体系的归属，因而妨碍了对该区构造本质的深刻理解。

### 3. 解析地质构造要十分注意下列与尺度有关的概念

- (1) 透入性构造和分划性构造。
- (2) 构造的均匀性和非均匀性。
- (3) 主体构造和从属构造。
- (4) 残余构造和新生构造等等。

这些概念虽然已在许多构造地质学教科书中作出过明确的定义，但从辩证的尺度观来看，这几组概念都是相对的。一些在宏观上看起来是透入性的构造，在更小尺度上则有明显分划性（图2-2）。一些从整体上看来是非均匀变形的构造，从局部上则可分解为若干近似

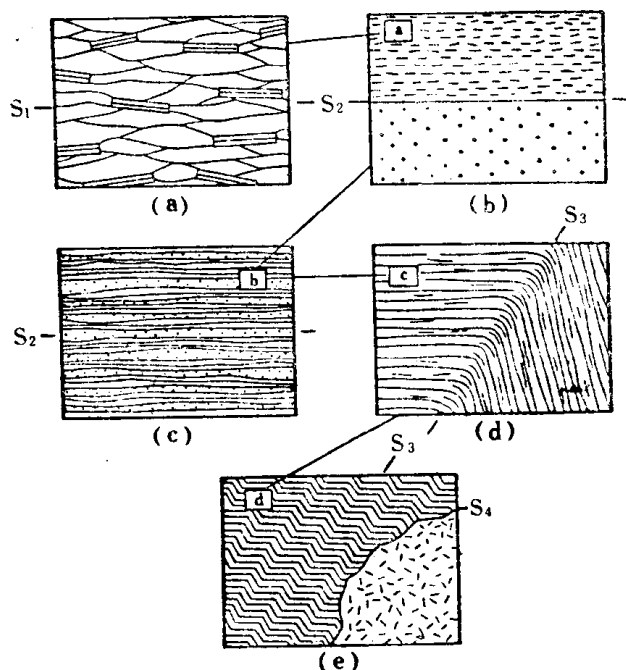


图2-2 面状构造要素在同一地质体内不同尺度中的表现，示透入性与尺度的关系

(据Turner和Weiss, 1983)

于均匀变形的构造均匀区段。此外，诸如流动与滑动、连续与不连续等变形概念也与观察尺度的大小相联系。至于残余与新生构造的概念更涉及到一个时间尺度的问题。一些在层理褶皱中形成的轴面劈理，对该世代的构造来说，它是一种新生的构造要素，但当这组劈理发生弯曲并形成面理褶皱时，对晚一期构造来讲，它又是面理褶皱内的残余构造要素。因此，对一个具有多期叠加的构造来说，其内部不同世代的构造的认识标准及其表达、描述方式也应各不相同。这就是我们在区域地质填图中，对同时代的具有不同构造特性的不同地质体，特别是对具有不同性质的变形面的地质体，要分别确定其研究任务，并采用不同填图原则和方法的主要原因。

### 4. 野外露头尺度上小型构造观察是一个地区多尺度构造分析的纽带

野外地质调查是从能直接观察到的露头和手标本尺度的小型构造研究开始的，通过地质填图进一步把不同露头中的构造形迹联系起来，用其反映中型或大型的区域构造特征；室内显微或超微尺度的构造研究所提供的信息，则可以加深对构造变形机制和演化特征的理解。显然，在多尺度的综合构造解析中，露头尺度上各种构造要素的观测，在这里起着联系纽带的重要作用。可以断言，构造研究如果离开野外脚踏实地的露头观测（包括坑内或钻孔）和

观测过程中不断进行的正确逻辑思维活动,单纯依靠前人资料来编图、或单纯依靠室内多项测试手段,都不可能对一个地区的构造作出全面、合理的结论。

### 5. 不同尺度构造解析的任务

马杏垣(1981a)曾经详细论述了不同尺度构造解析的任务:

小型构造解析主要要求解决:①小型结构要素类型的识别和描述;②结构要素的产状方位测量、记录及填图;③鉴定每一结构要素的力学性质;④各种结构要素之间相互关系的研究,辨别其时代关系和生成序次;⑤分析联合及复合的构造关系;⑥鉴定小区段内的构造均匀性;⑦确定小型构造的对称性;⑧观察研究不同岩石物理性质与受力变形之间的关系;⑨分析变形时应力分布状况及变形过程中局部构造运动方向和性质;⑩采集定向标本,以作详细的室内研究并与显微构造特征相对比。

大、中型尺度构造解析主要任务是:①研究露头上不能直接观察到的大型构造,如大褶皱、断层等,进行与上述小型尺度类似的观测;②研究大型地质体或区段中透入性小型构造,如面状、线状构造及小褶皱等的空间排布的规律性,确定它们的优选方位;③鉴定大型区段的构造均匀性和对称性;④随着观察范围的扩大,尽可能确立构造体系的存在及其归属,并鉴定构造型式;⑤分析联合及复合的构造关系。

显微构造解析通过光学的方法可观测:①岩石中矿物颗粒,其光轴或劈开面、双晶面的优选方位;②颗粒结构的均匀性和对称性;③构造变形和运动性质的直接证据;④鉴定结晶作用和不同结构要素发展的时间顺序。

上述各种不同尺度构造研究的任务虽各有不同,但它们的目的是为了从不同的方面收集有关构造几何学、运动学、动力学、变形相以及发展演化等方面的信息,为全方位的动态构造解析提供所要求的全部资料,最终实现构造的综合。

## (二) 构造的层次观

### 1. 构造层次是地壳物理化学条件变化所导致的构造分带

所谓构造层次(tectonic level),在这里主要是用来说明构造变形过程中,由于地壳物理化学条件变化所导致的构造分带现象。由于地壳物理化学环境的变化最直观的表现是由地表到地球深部的垂向变化,因而在这个方向上表征地壳相对活动性层次的构造分带也相应显得更为明显。这种变化不但体现在地壳及岩石圈物质的垂直分层上,即地壳的层圈构造上;而且还体现在不同层次构造要素群的构造特征上,即在不同的构造层次上发育有不同变形机制为主导的、具有不同构造生态的构造群落。

M. Mattauer(1980)在他的《地壳变形》一书中讨论山链多种多样的构造表现时指出,“当对山脉的变形进行研究时,应当将众多的变形现象分别划分到一系列的区段中去,每个区段的变形现象都应有相似的变形律,这样就可以对它们作出构造解释”。他把这些分别显示一种主导变形机制的不同区段称作构造层次。使用“层次”这一概念,目的是为了人们了解这些不同区段通常呈叠置关系。

Mattauer(1980)根据造山带的构造分带提出将地壳的构造层次划分为上、中、下三个(图2-3):

上部(表)构造层次:主导变形机制是剪切作用,以脆性断裂为主,故这里是断层分布区。

中部(浅)构造层次:主要变形机制是弯曲滑动(挠曲),以塑性变形为主,产生等厚褶皱。



下部（深）构造层次：主导变形机制有两种，先是压扁作用，然后是流动作用。因此，这里是顶厚褶皱区。下部构造层次又分两个亚层次。上部构造亚层，以广泛发育劈理的相似型或顶厚褶皱为特征，故下部构造层次的上限为劈理剪锋面。在下部构造亚层中，温压条件已达到或接近岩石的正常熔点，岩石已部分或全部重熔，呈不同粘性的流体状态发生柔流，劈理消失。

下部构造层次为变质区，故这里也可根据变质情况来划分出一系列小层次。

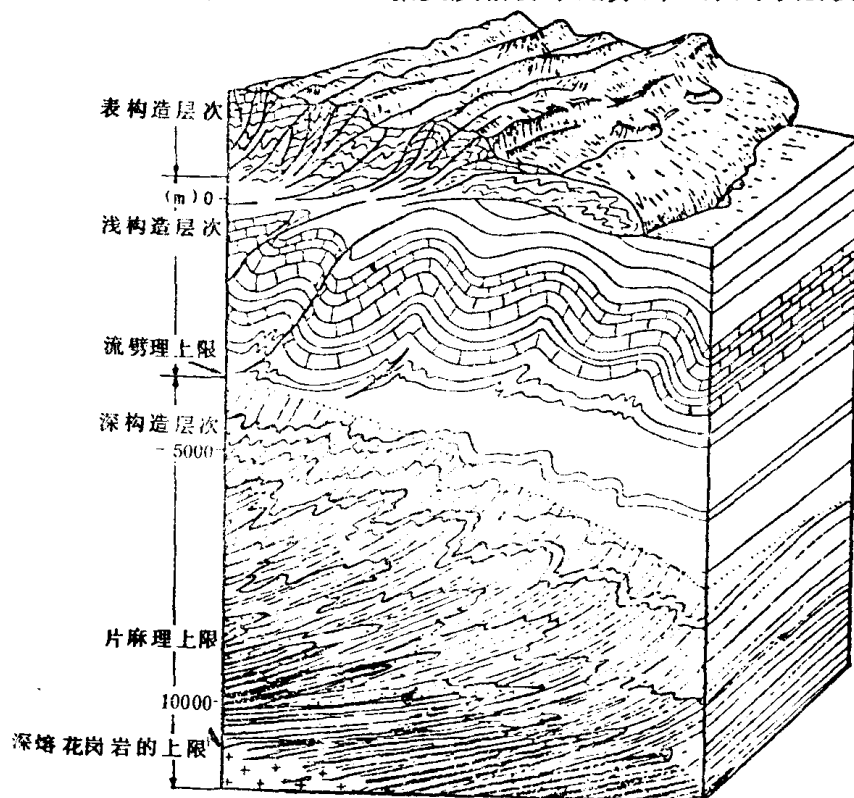


图2-3 造山带的垂向构造层次及其相应的构造群落

(据M.Mattauer, 1980)

## 2. 构造层次的主导变形机制

区分和研究以某一变形机制为主导的构造层次，可以反序地确定变形时的温压条件。

在模拟自地表到地壳深部约40km压缩变形的各种条件时，受压岩石处于压力和温度

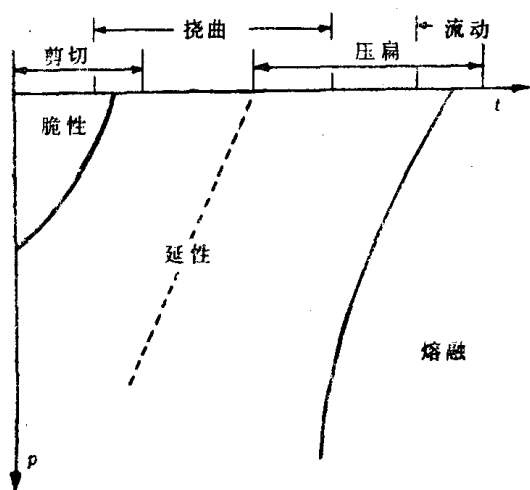


图2-4 岩石随压力和温度变化显现的各种物性状态范围及其相应的主要变形机制

(据M.Mattauer, 1980)

逐渐增大的状态，最初，岩石的力学习性表现为脆性；随后，当压力和温度继续增大时，便表现为韧性；最后，当达到熔点时，便呈粘性极低的流体状态。随着岩石物性的变化，岩石的变形机制也相应发生了更替。图2-4中可以看出，岩石的变形机制与岩石的变形习性有着直接的联系。当岩石呈脆性时，变形只出现破裂，即发育节理或断层。许多无褶皱区的断裂网络均在这一层次形成，其变形机制为脆性剪切（图2-5a）。当岩石具有一定韧性时，就会形成褶皱，但褶皱的形成有不同方式。在最初阶段，当韧性尚不明显时，岩层只发生简单的等厚褶皱，岩层的厚度一般无多大变化，只转折端处才有较显著的变形。这种情况下，褶皱的形成机制以

弯滑褶皱为主导(图2-5b)。但随着变形时温压条件的升高,岩石的韧性变得很大,变形作用的透入性也相应提高,岩石普遍遭受韧性剪切和压扁作用的改造,出现了力学性质上呈各向异性的构造,如劈理,褶皱顶部相应递进增厚。在这种情况下,主要的变形机制被认为是韧性剪切和压扁作用,褶皱也相应呈被动褶皱(剪切褶皱)和准弯曲褶皱(图2-5c)。最后,当温度接近或高于熔点时,岩石呈现粘性不同的流体状态发生流动,其中高熔点的某些岩层或脉岩,形成柔流褶皱。这种情况下,变形机制以深熔流动为主导。这类构造一般只在深变质或超变质混合岩区才广泛出现,与一般中、浅变质岩区的构造具有明显的差别(图2-5d)。

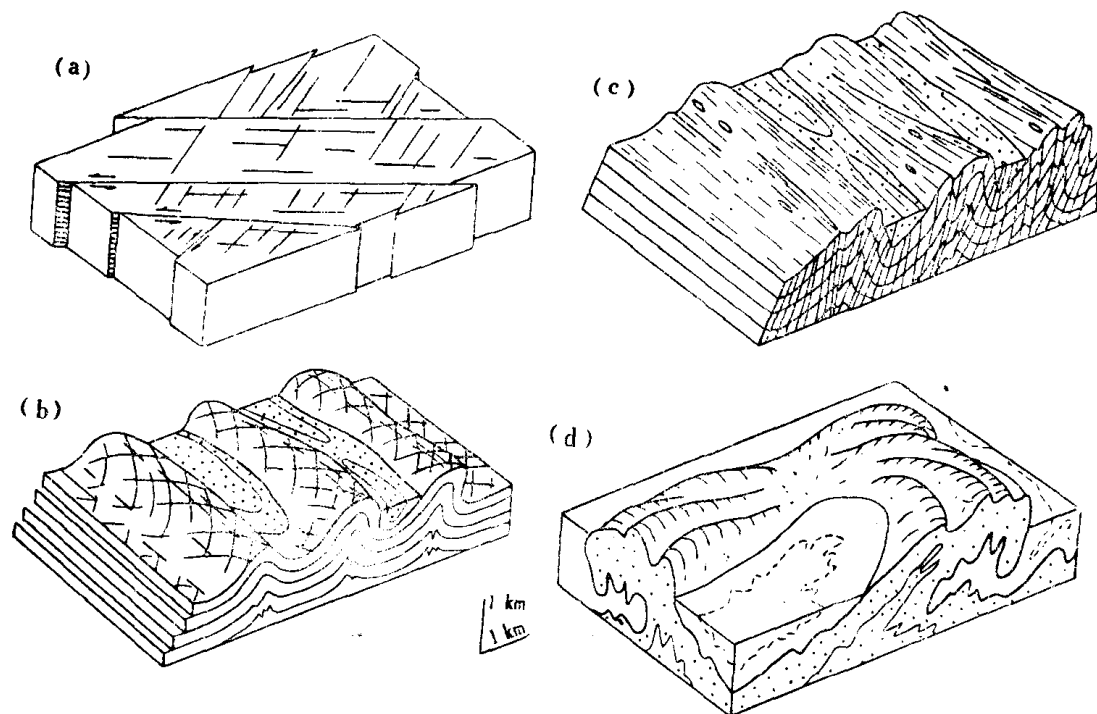


图2-5 不同构造层次地壳断面上出现的构造变形状态立体图

(据Mattauer, 1980)

(a)断层系统; (b)等厚褶皱; (c)发育劈理的顶厚褶皱; (d)柔流褶皱

需要指出,虽然不同构造层次的构造各以一种变形机制为主导,但各层次之间变形机制的转化并不是突变的,而是逐渐过渡的。因此,在某些过渡层次上会同时存在多种变形机制。然而,更多的情况是,从地壳浅部到深部,从低温低压环境到高温高压环境,总是具有符合上述从脆性到高韧性、乃至熔融状态的构造变形特征,而且在一定层次范围内总是存在一种主导的变形机制形成的构造要素群。

### 3. 构造断裂的层次

构造层次观念的建立,使得当今断裂构造的研究已从进行几何学、运动学的分类描述和构造应力场的分析,深入到断裂在不同深度和不同构造层次上的变化规律的解析,致使断裂形成的构造环境和成因机制的探讨更加深刻。近代关于断层垂向变化及分带的解析成果表明,一条大的断裂,从地表到深部,其形态、性质、结构及断裂的机制都有层次的变化。在不同的构造层次上,断裂带内具有不同的构造岩和构造要素群,它们反映不同的断裂结构和机制(J. G. Ramsay, 1967, 1980; R. H. Sibson, 1977; Илгерман, 1977; J. Grocott, 1980)。概括起来断裂的层次可划分为:

浅层次断裂。以脆性破坏为主导,呈快速地震式断层滑动,弹性摩擦活动明显,形成无