

高等学校教材

构造地质学

朱志澄 主编

中国地质大学出版社



“面向 21 世纪地学专业基础课程体系和教学内容改革”系列教材
“构造地质学课程体系和教学方法体系的更新与重建”项目成果

高等学校教材

构造地质学

主 编：朱志澄

编写成员：朱志澄 韦必则 张旺生

曾佐勋 索书田

中国地质大学出版社

内 容 简 介

构造地质学是地质学的主要分支学科,是地质学专业的基础课程,为了教学需要,于1990年由朱志澄、宋鸿林主编出版了《构造地质学》。近十年来,构造地质学又有了新的进展,为适应构造地质学的发展水平和学科建设,对原书章节和内容作了较大幅度的调整、更新和充实。

编写修订本的指导思想和思路是:反映以新构造观为核心、以构造解析为思路的构造地质学现代水平,符合教学规律和要求,并具有中国特色。全书在系统论述构造地质学基础理论的基础上,着重培养学生认识和分析各类构造的开阔视野、动手能力和创新思维,以适应21世纪对地质学人才的构造地质学知识的基本要求。

本书可作为高等学校地质专业的教材,也可供研究生、地质生产和科研人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

构造地质学/朱志澄主编. —武汉:中国地质大学出版社,1999.12
ISBN 7-5625-1459-3

- I. 构…
- II. 朱…
- III. 地质学-构造
- IV. P54

构造地质学

朱志澄 主编

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)邮编:430074

责任编辑 张华璞 责任校对 熊华珍 版面设计 阮一飞

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 450千字 插页 6

1990年11月第1版 1999年12月第2版 2004年2月第4次印刷

印数 12 501—15 500册 定价:23.00元

ISBN 7-5625-1459-3/P·519

再版前言

本书是1990年中国地质大学出版社出版的《构造地质学》一书重新修编的再版本。原书由朱志澄、宋鸿林主编，李智陵、郭颖、李德威等参加编写，马杏垣作序。曾两次重印，并于1996年获原地质矿产部第三届普通高等学校优秀教材一等奖，1997年获原国家教育委员会国家级教学成果二等奖。

在原书编写中，我们曾提出编写的指导思想和内容安排的思路。概言之即是：教材内容应反映以新构造观为核心、以构造解析为思路的构造地质学的现代水平，符合教学规律和要求，并具有中国特色。在这次修编再版中，我们仍然遵循这一指导思想和思路。

基于近十年来构造地质学的新进展及社会主义市场经济对地质人才的要求，对原书内容作了较大幅度的调整、修改和充实。首先将原书19章和实习作业共20个单元通过重新组合调整为16章；把原实习作业、赤平投影统一归属于第二版中新的一章“构造地质学的研究方法和技术”，并予以充实和更新，以便为培养跨世纪地质人才全面掌握构造研究方法和技术打下基础。为在构造研究中更明确地渗透辩证思维，将原书第十八章（构造解析的基本原理）合于第二版绪论一章；将原书第二章（沉积岩层的基本产状）和第三章（沉积岩层的构造）合为一章（第二版第二章）；将原书第十七章（岩浆岩体构造）删去，其中属于构造地质学的内容分散于有关章节，以使全书结构更严谨，系统性更强；其他各章也作了相应的修订和更新。总之，这些调整和安排的目的在于：使学生能系统地掌握构造地质学的基础理论、基础知识和基本方法。

本书为高等院校地质学专业的专业基础课教材，但其内容具有延伸性，可供高年级学生和研究生参阅。

本书以朱志澄为主编，编写分工如下：第一、二、十、十一、十三、十四章，朱志澄；第四、六、七、十五、十六章，韦必则；第八、九章，张旺生；第三、五章，曾佐勋；第十二章，索书田。本书编写中吸取了构造地质教研室（原区域地质教研室）同志们多年来的教学和科研成果，所以在一定程度上该书可以看作是教研室同志们共同劳动的结晶，尤应对作为本书第一版的主编之一宋鸿林和李智陵、郭颖、李德威为本版奠定的基础致以谢忱。

对于关心、鼓励和支持本书出版的同志们，尤其对主审蔡学林、刘德良两位教授的精心审阅及对原书提出宝贵建议的同志们谨表谢忱。全书图件由中国地质大学（武汉）方敏等清绘，在此一并致谢。

本书出版之时正值马杏垣教授八十华诞，我们也以此书的出版，向他表达多年来对我们的赤诚教诲、悉心指导、热情关怀、多方鼓励和再次作序的衷心感谢。祝愿他晚霞更灿烂。

限于水平，书中缺点和疏漏在所难免，敬希指正。

编者

1999年4月于武昌

第一版序

长期以来向往着有一本以马克思主义哲学为指导、以我国的地质构造实践和实际资料为基础的构造地质学教材，并曾以“解析构造学”为主题加以讨论（马杏垣，1983^①）。该文曾开宗明义地说：“提出解析构造学是为了探索地质构造教学的一种新体系。”在这个体系中以唯物辩证法为核心去观察和研究各种地质构造的矛盾运动及其规律性，这将构成我们的构造观和方法论。

当时突出“解析”还有另一层意思，就是针对过去地质构造实践中的一种倾向，即往往通过比较的推理去追求对构造总体的把握而疏于细致分析的思维方式和工作方法，突出了从具体到整体的解析式的工作方法。当然，解析与综合两种思维方式和工作方法还是要结合与统一的。

中国地质大学区地教研室的教师们曾沿着这个方向进行了广泛的地质构造实践，取得了丰硕的成果。现在以朱志澄、宋鸿林两位教授为首的编写集体在此基础上，结合近年来国内外构造地质研究的先进成果编写出这份教材，并适度引进了当代构造地质学的一些新方法、新概念、新模型和新理论，基本上反映了现代构造地质学的发展趋向，有助于读者开拓思路、敢于创新、深化认识。

应该指出的是：构造过程是力与岩体这一对矛盾在空间和时间中相互作用的过程。因此，书中注意了把力学分析的原则和理论与传统的构造地质方法相结合。为了加强流变学原理的应用，本书增加了塑性变形和微观机制的论述，如韧性剪切带、侵入体热动力变形等，还相应地单列一章讨论了应变测量，体现了构造地质研究从定性到定量，从几何学到运动学和动力学分析的趋向。

把断裂及相关构造分四章论述，体现了“伸、缩、剪、滑”四种变形体制及其与特定构造背景的关系，以及它们之间相互独立而又相互关联的思想，突破过去的挤压作用为主导的传统论述。

编者还结合嵩山地区五佛山群重力滑动构造的研究与再认识，编写了“软沉积变形”一部分，着墨不多，但体现了构造成因的多样性和构造变形的多期性。

还有许多值得提出的，就不一一列举了。在指出本书优点的同时，也应提到它还存在着种种不足，但它毕竟迈出了可喜的一步。我深信它必将在我国地质教育的园地里哺育出新一代的地质工作者。为此，我对辛勤劳动的编者致以衷心的祝贺。

马杏垣

1990年5月

^① 马杏垣，1983，解析构造学刍议，地球科学，第3期。

第二版序

构造地质学是地质学主要分支学科之一，是培养地质人才的奠基性学科。我在《构造地质学》第一版序言中写道：“长期以来向往着有一本以马克思主义哲学为指导、以我国的地质构造实践和实际资料为基础的构造地质学教材，并曾以‘解析构造学’为主题加以讨论。”以朱志澄、宋鸿林两位教授为首的编写集体以此为基本思路于1990年编写出版了本书第一版《构造地质学》。原书出版十年来受到我国地质界等有关学者和使用本书师生们的关注和欢迎，并于1996年受到原地质矿产部第三届普通高等学校优秀教材评选委员会和1997年原国家教育委员会教学成果评选委员会的嘉奖。

正如我在第一版序言中指出的“……在指出本书优点的同时，也应提到它还存在着种种不足……”，阅读和使用本教材的师生也反映了本书中一些有待提高与完善的方面，并提出了一些中肯有益的建议。以朱志澄为首的新的编写集体认真考虑并吸取了这些意见和建议，结合构造地质学的新进展，社会主义市场经济、知识经济和可持续发展对工科和理科地质人才的要求，对原书作了新的调整、修改和充实，进一步提高了新版《构造地质学》的水平。

首先新版本重新安排了章节，调整了全书结构，使全书结构更趋于严谨和合理，学术体系和教学体系更臻于统一。尤其是将原书实习作业和赤平投影一章予以合并并加以充实提高，组成“构造地质学的研究方法和技术”一章，再结合各章内容的更新和扩展，将使学生能更深入全面地理解构造地质学的基础理论和研究方法，从而改善了以单纯读图、制图和野外工作能力为主的培养方式，以有助于提高和增进学生的创新思维、开拓视野，以及适应多方面需求的基础知识和技能。

对于具体体现辩证思维的“构造解析”一章，在新版本中除进一步渗透于各章的论述外，并置于绪论一章，从而更突出其在构造研究中的指导意义。还可提出的是，新版本在阐明构造解析的几何学、运动学和动力学三个原则时，更明确地渗进了其物理学意义，强调了流变学分析的原则。

本书新版虽有较程度的提高，从处于跨世纪的历史阶段和科教兴国的新形势来看，尚有难以适应之感。尤其在内容的更新和我国地质特色的反映方面，尚需作进一步的努力。

马志垣

1999年2月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 构造地质学的内涵、构造尺度和构造变形场	(1)
第二节 地壳-岩石圈的层圈式结构和构造层次	(2)
第三节 构造观和褶皱幕问题	(4)
第四节 构造解析的基本原则	(5)
主要参考文献	(9)
第二章 地质体的基本产状及沉积岩层构造	(11)
第一节 面状结构和线状结构的产状	(11)
第二节 沉积岩层的原生构造	(12)
第三节 软沉积变形	(15)
第四节 水平岩层	(17)
第五节 不整合的构造意义和研究	(18)
主要参考文献	(21)
第三章 构造研究中的应力分析基础	(22)
第一节 应 力	(22)
第二节 应力场	(26)
主要参考文献	(30)
第四章 变形岩石应变分析基础	(31)
主要参考文献	(39)
第五章 岩石力学性质	(40)
第一节 岩石力学性质的几个基本概念	(40)
第二节 影响岩石力学性质的因素	(43)
第三节 岩石的能干性	(48)
第四节 岩石变形的微观机制	(50)
第五节 岩石断裂准则	(56)
主要参考文献	(59)
第六章 劈 理	(60)
第一节 劈理的结构、分类和产出背景	(61)
第二节 劈理的形成机制和应变意义	(65)
第三节 劈理的观察与研究	(69)
主要参考文献	(70)
第七章 线 理	(72)
第一节 小型线理	(72)
第二节 大型线理	(73)

第三节	线理的观察与研究	(78)
主要参考文献	(79)	
第八章	褶皱的几何分析	(81)
第一节	褶皱和褶皱要素	(81)
第二节	褶皱的描述	(82)
第三节	褶皱的分类	(88)
第四节	褶皱的组合型式	(94)
第五节	叠加褶皱	(97)
主要参考文献	(101)	
第九章	褶皱的成因分析	(103)
第一节	纵弯褶皱作用	(104)
第二节	横弯褶皱作用	(119)
第三节	剪切褶皱作用	(122)
第四节	柔流褶皱作用	(124)
第五节	关于褶皱作用问题	(125)
主要参考文献	(127)	
第十章	节理	(128)
第一节	节理的分类	(128)
第二节	雁列节理和羽饰构造	(132)
第三节	节理脉的充填机制和压溶作用	(135)
第四节	区域性节理	(137)
第五节	岩浆岩体中的节理	(139)
第六节	节理的野外观测	(140)
主要参考文献	(142)	
第十一章	断层概论	(143)
第一节	断层的几何要素和位移	(143)
第二节	断层分类	(145)
第三节	断层形成机制	(147)
第四节	断层岩	(150)
第五节	断层效应	(151)
第六节	断层的识别	(154)
第七节	断层的观测	(156)
第八节	断层作用的时间性	(161)
主要参考文献	(163)	
第十二章	伸展构造	(164)
第一节	伸展构造型式	(164)
第二节	伸展构造模式	(167)
第三节	构造反转	(170)
第四节	伸展和挤压两种作用和两类构造对比	(170)
主要参考文献	(171)	

第十三章	逆冲推覆构造	(173)
第一节	逆冲推覆构造的组合型式.....	(173)
第二节	逆冲推覆构造的几何结构.....	(175)
第三节	逆冲推覆构造的扩展.....	(181)
第四节	逆冲作用与褶皱作用.....	(183)
第五节	逆冲推覆构造的运动学和动力学.....	(185)
第六节	逆冲推覆构造的地质背景及其与滑覆和岩浆活动的关系.....	(187)
	主要参考文献.....	(190)
第十四章	走向滑动断层	(192)
第一节	走向滑动断层的基本结构.....	(192)
第二节	走向滑动断层的应力状态.....	(193)
第三节	走向滑动断层控制下形成的构造.....	(195)
第四节	区域剪切应力场引发的雁列构造和陆块旋转.....	(200)
	主要参考文献.....	(202)
第十五章	韧性剪切带	(204)
第一节	剪切带的基本类型.....	(204)
第二节	韧性剪切带的几何特征.....	(206)
第三节	韧性剪切带内的岩石变形.....	(208)
第四节	韧性剪切带的运动方向的确定.....	(213)
第五节	韧性剪切带的观察与研究.....	(216)
	主要参考文献.....	(217)
第十六章	构造地质学的研究方法和技术	(219)
第一节	面状和线状构造产状的测定方法.....	(219)
第二节	极射赤平投影的原理和方法.....	(221)
第三节	地质图的读图分析.....	(231)
第四节	基础性地质剖面图的编制.....	(238)
第五节	岩石有限应变测量的技术和方法.....	(245)
第六节	构造主应力方位的确定和古应力大小的估算.....	(250)
第七节	构造模拟与实验研究.....	(256)
第八节	计算机技术在构造地质学中的应用.....	(259)
	主要参考文献.....	(261)

附 图

- 附图 1 凌河地质图
- 附图 2 望洋岗地质图
- 附图 3 松溪地形图
- 附图 4 金山镇地质图
- 附图 5 凉风垭地区地形图
- 附图 6 吴尔福网

绪 论

第一节 构造地质学的内涵、构造尺度和构造变形场

一、构造地质学的内涵

构造地质学是地质学的基础学科之一，主要研究组成地壳的岩石、岩层和岩体在岩石圈中力的作用下变形形成的各种现象（构造）。研究这些构造的几何形态、组合型式、形成机制和演化进程，探讨产生这些构造的作用力的方向、方式和性质。

二、构造尺度

构造尺度主要是指构造规模。地壳和岩石圈中的构造规模相差极大，大至全球性，小至纳米级，为研究方便乃对各级不同规模的构造划分为不同尺度。构造尺度的划分不仅与研究的内容和侧重点相关，而且与研究方法和手段有关。各种尺度的构造既表现在空间的组合和叠加，还表现在构造的主次控制关系。每一构造单元和构造实体，都可划分为不同尺度的构造。每一级尺度的构造既具有其自身特征，又反映其总体规律。因此，越是从不同尺度观察和研究构造，对构造的认识也越全面越深入。

关于构造尺度的划分尚无统一方案，一般分为巨型、大型、中型、小型、微型和超微型六级。

巨型构造 主要是指山系和区域性地貌的构造单元，如喜马拉雅造山带等。

大型构造 造山系等区域构造单元中的次级构造单元，如复背斜、复向斜或区域性大断裂。一般展布于 1 : 200 000 图幅或联幅范围内。

中型构造 主要见于一个地段上的褶皱和断层，在 1 : 50 000 或更大比例尺地质图可见其全貌。

小型构造 主要指出露于露头上和手标本上的构造，如各种小褶皱、断裂及面状和线状等构造。

微型构造 见于手标本或偏光显微镜下显示的构造，如各类面理和线理。

超微构造 主要是利用电子显微镜研究的构造，如位错构造。

上述构造尺度的划分是相对的，变化范围很大。不同尺度构造研究的对象、任务、目的、研究方法和手段也各不相同。构造地质学的主要研究对象是中、小型构造；大型、巨型以至全球性构造则属于大地构造学的研究范畴。

以中、小型构造为主要探讨对象的构造地质学是各地质专业的一门基础课程。由于中、小型构造与大型以至巨型构造之间有着天然的联系，在分析讨论中、小型构造时，不得不涉及更大型的构造和更广阔的区域构造背景。另一方面为了探索构造与其内部组构的关系和构造

的运动学过程、动力学机制，还必须研究微型构造和超微构造。

各级各类构造基本上都是在各级各类构造应力场中形成的。构造应力场可分为压应力场、张应力场和剪应力场及其过渡和转换型式。

三、构造变形场

对于一种主导构造应力均匀作用的空间及其形成的构造，可称之为构造变形场。根据变形场内的代表性构造及其反映的构造作用和主导应力，构造变形场可概括为六种：伸展构造、压缩构造、升降构造、走滑构造、滑动构造和旋转构造。简称之为伸、缩、升降、剪、滑、旋。

1. 伸展构造 伸展构造是水平拉伸形成的构造，或垂向隆起导生的水平拉伸形成的构造，如裂谷、地堑-地垒、盆岭构造、变质核杂岩等构造。

2. 压缩构造 压缩构造是水平挤压形成的构造，如褶皱系和逆冲推覆构造。

3. 升降构造 升降构造是岩石圈或地幔物质垂向运动的体现，表现为地壳的上升和下降，区域性隆起和拗陷。隆起造就了山系和高原；而拗陷则形成各种盆地。

4. 走滑构造 走滑构造是顺直立剪切面水平方向滑动或位移形成的构造。直立剪切面可以是区域剪切扭动形成的走滑断层，也可以是区域压缩引起的两组交叉走滑断裂。

5. 滑动构造 滑动构造主要是重力失稳引起的重力滑动构造，也包括某些大型平缓正断层。

6. 旋转构造 旋转构造是指陆块绕轴转动形成的构造。

以上六种基本构造变形场，各有其特定构造和力学属性，也存在着各种交叉和过渡型式，规模上也可以分为不同级次。

第二节 地壳-岩石圈的层圈式结构和构造层次

一、地壳-岩石圈的层圈式结构

地壳-岩石圈垂向上是成层的，侧向上是不均一的。岩石圈可分为大陆岩石圈和大洋岩石圈，两者的结构、厚度和物质组成、地球物理属性、形成演化和年代截然不同，以下讨论的主要是大陆岩石圈。

大陆岩石圈包括地壳和软流圈以上的地幔顶部，地壳可分为上地壳、中地壳和下地壳。上地壳又分为由沉积岩、火山岩和相应中、浅变质岩组成的盖层及结晶基底，后者包含花岗岩类侵入岩和片麻岩、结晶片岩等。中地壳主要是闪长岩类岩石及物性上相近的片麻岩和部分片岩。下地壳主要是玄武岩质的辉长岩类及相应变质岩等岩石。莫霍面以下的地幔岩石圈主要是超基性岩类。各层圈的密度、强度、地球物理性质互有差异，层圈内部也是不均一的。大陆岩石圈的厚度和地壳及其各分层的厚度变化很大。各层圈的界面及其内部分层界面可以是渐变的，也可以是急变的，它们不仅是物质组成的划分面，也常常是构造活动面。近年来，通过地球物理探测、地震活动性和区域构造分析提出的中地壳低速层引起地质学家的关注。

中地壳低速层是具有很高塑性的可以发生很大蠕变而表现为韧性的流动层或壳内软层，维尼克(B. Vernicke)将其称之为流壳层(Fluid crustal layer)。宋鸿林等认为维尼克模式中的流壳层更相当于一个近水平的韧性剪切带。流壳层一般位于地下10~15km处，这一深度的温度相当于绿片岩相的变质环境。由于分层的不均一性，不同岩性层进入流变限的温压条件各

异,所以流壳层不止一个,更可能是一个层组。中地壳流变层是一重要的构造界面,上地壳中的某些陡倾大断裂可能终止于此面(层),某些犁式大断层则可能向下与近水平的韧性剪切带(流壳层)连通。它可以是构造滑脱面、拆离面,并且具有对上地壳伸展和挤压的调节作用。

在盖层与结晶基底之间及盖层内部也存在一些软弱岩系。这些软弱岩系及其与强硬岩系的界面,往往既是构造滑动面,又是上下层系构造不协调的划分面。

所以在构造研究中,应充分注意地壳-岩石圈的各级层圈性及其构造活动性。

二、构造层次

构造层次是与构造层圈性论述的现象近似的一个概念,也是讨论地壳-岩石圈的分层性。地壳-岩石圈的层圈式分层主要是由组成地壳-岩石圈的物质不同和变化引起的;而构造层次主要是因向地下深处温压升高引起岩石力学性质变化导致变形变化造成的。在同一次构造变形中,不同深度的各带的变形各具特点和规律,形成特征性构造。于是,自表层至深层划分成不同层次。

在构造层次划分上涉及以下几个问题:①深度问题。层次与深度关系密切,但并不严格按深度划分。不同构造区的同一构造层次有深有浅,同一构造区内同一构造层次也可以有明显起伏。②温压变化和物态问题。随着趋向深处温压升高,岩石由脆性转变为韧性以至流变,相应产生不同性质和特色的变形。在影响岩石物性变化和物态转变上,温度影响比压力影响更大更重要。③层次的代表性构造问题。一般以变形中反应物性、物态比较敏感的褶皱作为基本依据,结合断层和面理进行分层。④界面性质问题。有些界面是渐变的;有些是急变的,即不整合面尤其是断层面;也有一些渐变界面上叠加界面急变的断层。

根据深度变化引起岩石物性物态的变化和相应产出的构造,笔者将构造层次划分为:表构造层次、浅构造层次、中构造层次和深构造层次(图1-1)。

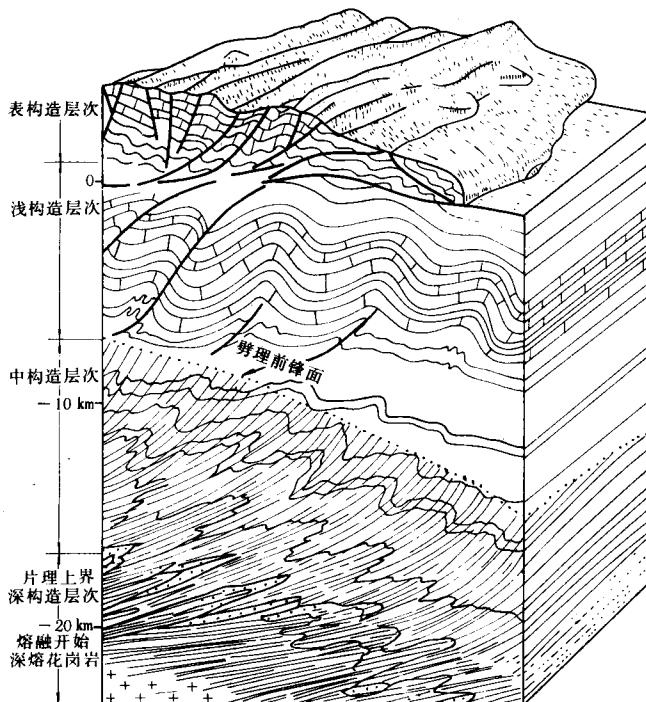


图 1-1 理想的构造层次示意图

(据 M. Mattauer, 1980, 改编)

表构造层次 主导变形作用是剪切作用和块断作用，代表性构造是各类断层、断块构造、横弯褶皱和纵弯褶皱。

浅构造层次 主导变形作用是纵弯褶皱作用，代表性构造是平行褶皱和各类断层。

中构造层次 主导变形作用是相似褶皱作用和压扁作用。该层次顶面以板劈理出现为界，即板劈理前锋面。代表性构造是相似褶皱、顶厚褶皱及韧性剪切带和断层。

深构造层次 主导变形作用是流变作用和深熔作用，顶面以片理带为界。代表性构造是柔流褶皱和韧性剪切带，深部发生混合岩化，甚至形成深熔花岗岩。

以上各构造层次一般在造山带内展示比较明显。由于造山带内地热梯度和构造梯度大且变化显著，所以层次较全，各层次的厚度较小，层次界面变化也大。由于构造变形幕中地壳的升降及多幕变形的影响，会出现层次的穿插和急变。在巨大的逆冲推覆等作用下，甚至可能发生层次倒置现象。

第三节 构造观和褶皱幕问题

构造观是指对全球构造和岩石圈构造的总体结构、形成和演化、铸成构造的构造运动性质和动力来源的基本认识和观点。构造观涉及到对大地构造学和构造地质学中一系列重大问题的看法和态度。例如，是活动论还是固定论？是灾变论还是均变论？是水平运动为主导还是升降运动为主导？控制地壳-岩石圈构造变形的仅仅是挤压作用还是挤压、拉伸和剪切等多种作用？以及构造动力来源、构造旋回和褶皱幕问题等。我们不拟对这些问题一一讨论，只是提出我们在分析构造上的主导性趋向性的认识。简言之可概括如下：①以水平运动为主因的岩石圈构造是高度活动的；②构造演化是以不可逆的渗入突变的阶段式发展，而非表现为时限相对一致的旋回式进程；③构造动力主要来自地球深部活动，地球旋转和包括陨星撞击的天文活动也有一定作用；④岩石圈结构是层圈式的、不均一的，各分层界面常常是活动的，具有一定的控制性；⑤挤压作用、伸展作用和剪切作用分别或共同铸造了地壳-岩石圈的各级各类构造；⑥构造形成过程和定型有多种方式，一般表现为缓慢渐近发育达到急变而定型，但是不能认为这是构造形成的唯一方式，如某些同沉积构造和区域滑脱引发的构造就是在长期缓慢持续渐进中成型的。这又涉及到“褶皱幕”问题。

“褶皱幕”理论是著名构造地质学家施蒂莱 (H. Stille) 提出的，曾被奉为地质基本规律，也曾起过有益的作用。但是随着资料的积累和研究的深入，“褶皱幕”观点寓含的问题日益显露，受到众多地质学家的批判。关于其“褶皱幕”全球同时的观点虽已被扬弃，但其内涵的某些方面仍有较大的影响。现举一例以说明“褶皱幕”观点引起的混乱：燕山运动被认为是我国东部侏罗纪—白垩纪时期广泛强烈的运动，各地区“幕”的划分理应一致，可是在同一构造单元的各省没有哪两个省的划分是一致的，不仅时间不同，而且性质和强度各异。

“褶皱幕”应予批判的主要原因，首先是其立论依据的收缩论与当代认识的地质实际和基本理论相悖。其次，板块运动和对接缝合碰撞是区域构造变形的基本作用和主导因素，而各板块的运动是相对独立的，板块的相互缝合及不平直边缘的两板块不同部位的缝合碰撞，都不会是同时的。第三，地壳-岩石圈是三维多级镶嵌体，不均一性是其基本属性，即使在同一场构造运动中，各级块体也反映各异，变形时期也有差异。又如张治洮指出的“把造山、侵蚀、褶皱、断裂活动……都叙述在一个纪的末期，即构造幕内进行，也就是把这些长期行为塞入短期内”。

总之，在分析和认识一定构造单元的构造及其发展和演化上，应该依据以上论述的现代构造观的基本方面以及影响构造的多因、多时、多性（脆性、塑性、弹塑性和流变性等）的基本因素。对“褶皱幕”的理解和使用应严加限制，只应限定为：在结构和组成基本均一的同一构造单元的构造演化中构造急变定型的变形期。

第四节 构造解析的基本原则

如何研究构造，认识其基本面貌，揭示其发展过程和形成原因，一直是构造地质学家不懈探索的课题，并从不同视角提出了各种研究方法和思路。马杏垣基于构造研究的丰富实践，结合有关论述，以辩证唯物论作指导，提出了研究构造的解析原则，为观察、分辨、分析和处理构造树立了一条正确的构造观和方法论。他指出（1983）：“它（解析）包括几何学的、运动学的和动力学的解析三个方面。而所谓‘解析’也是一种思维方法，即把整体分解为部分，把复杂的事物分解为简单的要素加以研究的方法。解析的目的在于透过现象掌握本质，因此，需要把构造现象的各个方面放在矛盾双方的相互联系、相互作用中去，放到构造的运动、演化中去，看看它们在地壳、岩石圈的整体结构中各占何种地位，各起什么作用，各以何种方式与其他方面发生相互制约又相互转化的关系等等。”

几何学解析就是认识和测量各类各级构造的形态、产状、方位、大小、构造内部各要素之间及该构造与相关构造之间的几何关系，从而建立一个完整的具有几何规律的构造系或型式。几何学分析提供的资料和数据则是运动学和动力学分析的基础。

运动学解析的目的在于再现岩石形成至变形期间所经历的过程和发生的运动，主要是通过对岩石或岩层中的原生构造，尤其是次生构造的分析揭示其运动规律，解释改变岩层和岩体的位置、方位、大小和形态的平移、转动、体变及形变的组合情况。

动力学解析是要阐明产生构造的力、应力和力学过程，其目的是查明变形应力的性质、大小和方位。在进行动力学分析时，常常要求定量评价地质标志体的原始大小和形状的改变程度，即进行应变分析。所以，应变分析已成为构造分析的基础。

对于一套区域性构造，构造解析还涉及构造层次、演化序列、叠加置换和所处的构造变形场等等。

地质构造是地质演化至今的一个画卷，而且是一个残破的画卷。构造地质学家的任务就是从现状重塑原态，从现今再现历程。

关于构造解析的原则，除前述的构造变形场、构造尺度和构造层次外，再对其他一些原则作如下概述。

一、构造组合

任何构造总是与其他相关构造组成一个相互联系的整体。要全面认识和深入理解一种构造，必须从它与相关构造的相互联系相互依存上去考察和剖析，即进行构造组合的研究。所谓构造组合就是“去识别具有内部组合和秩序的许多密切相联系的构造要素的集合体——构造组合或构造系。它包括不同构造变形场中不同层次、尺度和序列等的各种构造单元、构造要素和构造单体的组合，也包括构造-沉积、构造-岩浆和变质的组合”（马杏垣，1983）。

许多学者曾对构造组合进行了研究，并给以不同术语，如构造体系（李四光）、构造组合（霍布斯，1976）、构造群落（傅昭仁、单文琅，1983）、构造类型（索书田、游振东等，

1987) 等等。虽然一些学者对构造的组合使用的术语不同, 内涵和侧重点各异, 但都具有以下共同点: 几何形态的特殊性、空间发育的普遍性、成因上的共同性, 而且产于特定的地质背景中和一定的构造层次中。例如, 索书田等 (1987) 在探讨我国变质岩群的构造类型上, 从代表地层和主要岩石类型、变质程度及温压范围、混合岩化作用、原生结构要素保存完好程度、变形结构要素发育程度、构造置换程度、大型构造组合及样式特征等方面, 概括为五大类型。

构造样式是与构造组合相近似的一个概念, 常常用来分析和描述构造。样式一词原引自建筑学, 建筑样式是指一群或一幢建筑所表现的特征和风格, 以此而与其他建筑群相区分。所以构造样式是指一套相关的构造的总特征。根据构造样式可对不同地区和不同时代的构造群进行区分和比较。构造样式多用于概括褶皱的特征, 而被称为褶皱样式。

二、叠加和置换、继承和新生

(一) 构造叠加

构造叠加是指已变形的构造又再次变形而产生的复合现象。两期变形可以分属两个构造旋回, 或是同一构造旋回相继的构造幕, 也可以是同一幕的递进变形过程。叠加主要表现在褶皱的叠加, 详见第八章褶皱的几何分析。此外叠加亦发生在断裂等构造上。

(二) 构造置换

构造置换是岩石中的一种构造在后期变形中或通过递进变形过程被另一种构造所代替的现象。最常见的构造置换就是层理在褶皱发展过程中被新生的轴面劈理或片理所置换。新生的面理在以后的变形作用中则作为变形面参与变形。构造置换在构造研究中具有重要意义。傅昭仁、单文琅 (1989) 指出“变质岩区构造地质学和地质填图的核心问题是认识和对待构造置换”。

构造置换是在地壳收缩体制下发生的, 其机制一般与纵弯褶皱作用和压扁压溶作用下轴面劈理的发育过程相联系。特纳 (F. J. Turner, 1963) 等提出了置换的过程, 概括之, 可分为以下三个阶段。

1. 早期阶段 原始层理 S_0 作为变形面, 在褶皱过程中, 褶皱越来越紧闭, 逐渐发育相似褶皱, 并发生与轴面近一致的面理 (图 1-2A、B)。这时层理仍大体保持连续性, 只显示部分或初步置换。

2. 中期阶段 随着进一步地压缩, 褶皱不对称性增强, 褶皱两翼产状与新生轴面面理 (S_1) 之间的夹角愈来愈小, 强硬岩层被拉断, 发生石香肠化及片内无根褶皱 (图 1-2C)。这时原始层理的连续性已逐渐丧失, 新生的平行面状构造已开始取得主导地位。

3. 晚期阶段 完全的置换使层理 (S_0) 完全破坏, 原有岩性单位与新生面理 (S_1) 几乎完全平行 ($S_0 // S_1$) 造成了貌似均一的面理或层带, 给人以区域性沉积序列的假象, 真正的原生层序已无法确定 (图 1-2D)。

构造置换过程实质上就是新生的构造使岩层“均一化”的过程。一次重大的全面构造置换意味着地壳经历了一次重大构造-热事件。在多期变质变形地区, 可能发生不只一次构造置换, 层理 (S_0) 被面理 (S_1) 置换后, 面理 S_1 又作为变形面形成褶皱, 再被第二次变形形成的面理 (S_2) 置换。构造置换使地层的原始层序彻底改变, 造成地层重复和缺失, 似是产状单一的简单构造, 可能掩盖或包含着复杂的变形事件。

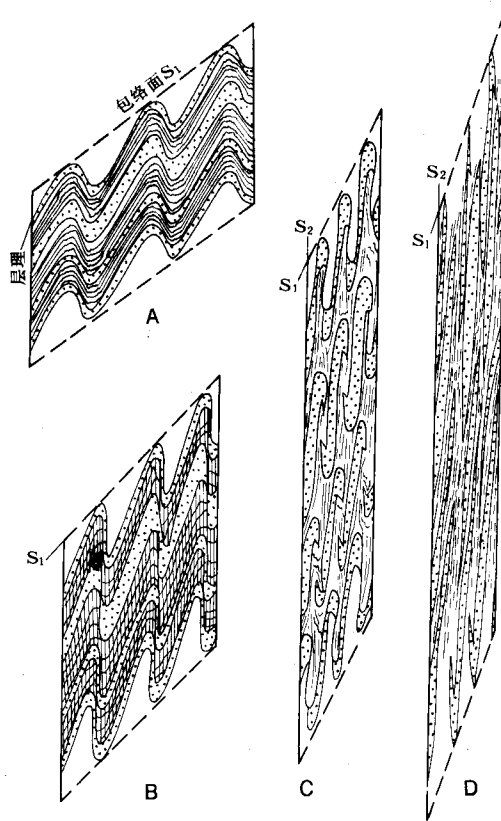


图 1-2 层理 (S_0) 被新生面理置换过程示意图

(据 Turner 和 L. W. Weiss, 1963)

- A. 层理 (S_0) 形成近似相似型褶皱, 层理总方位由褶皱的包络面表示出来; B. 褶皱压紧, 倒转翼拉薄, 塑性岩层开始发育轴面劈理; C. 褶皱进一步压紧, 强岩层拉断并呈钩状褶皱, 翼部面理已同岩性层平行; D. 新生面理与岩性层完全平行, 个别部位仍残留无根褶皱。注意构造置换过程中 S_0 的总方位与新生面理的斜交关系

(三) 构造继承

如果前期构造控制或影响了后期构造的形成和发展, 后期构造保留了前期构造的某些主要特点, 即为构造继承。构造继承一般表现在两个构造旋回之间的大型构造关系上, 如两个旋回的构造方位一致, 是构造方位继承, 也可以表现在构造的几何形式上。区域性断裂的再次活动也具有构造继承性质。

(四) 构造新生

与构造继承对应的是构造的新生。构造新生有两重含义: ①后期构造不受前期构造的影响或制约, 形成一套在方位、几何形态、类型和样式上完全不同的构造; ②后期构造改造并使前期构造的一部分或全部卷入到后期构造之中, 形成一套完全服从后期变形的全新构造。

三、世代和序列

一个复杂变形区, 尤其是变质岩区, 一般都经历了不止一次的变形。变形世代和序列的

解析或简称序列解析就是要查明构造形成和发展的过程及顺序，即从时间上分析并再造其演化历史。

构造世代主要是指不同旋回或不同构造幕中形成的构造顺序。在一个构造幕中形成的构造群，就是一个世代的构造。不同时期的构造群按其发育的顺序构成一个完整的系列，即构造序列。

序列解析中首先要分析和查明构造的叠加、置换、继承和新生的关系。叠加和置换的构造总是晚于被叠加和置换的构造；继承和新生的构造则比被继承或被卷入的构造年轻。序列分析主要包括以下几点：①要注意探查可能残存的前期构造。②尽可能查明并恢复构造的三度空间形象、构造样式、主次构造的组合关系，以便进行配套。③研究中注意区分主期构造，主期构造是指在研究区中展布广泛、特征清楚、参数多样、易于识别的构造。主期构造一般具有控制性和主导性。在确立了主期构造的基础上，再筛分并恢复前期构造和后期构造。④应充分应用对比原则。在对构造关系较为明显的构造进行仔细研究后，再由线而面进行分析对比。⑤研究必须将大、中、小、微各种尺度的构造结合起来进行。为了研究微型构造，应采集定向标本准备在偏光显微镜下观察。在变质岩区进行序列解析时，还应与变质序列和混合岩化序列的研究相配合。

四、岩性介质

构造是各类岩石、岩层、岩系在构造力作用下的变形，同一构造变形场中不同岩石和岩层会形成服从于总体变形又各具特色或个性的构造。所以在构造研究中，应注意分析和建立岩石能干性系列和岩系能干性结构。

岩石能干性系列是指一套岩层中各种岩石粘度大小的顺序，岩系能干性结构是指能干性不同的岩石的组合关系和厚度比例关系。

岩性介质对褶皱、断层等各类构造的形成和发育有明显的影响。对褶皱的影响表现在：①褶皱规模、主次褶皱的关系；②主波长和接触应变；③在挤压中各类岩石是通过平行褶皱作用还是通过相似褶皱作用而变形。在逆冲推覆作用下，台阶式结构主要决定于岩系粘度差和厚度比。一套逆冲断层穿过岩性差异显著、厚度很大的两个岩系，断层发育会发生明显变化。索书田等（1987）在研究大别变质地体时指出：“要充分注意地质体结构的不均一性和岩层能干性差异导致变形的不稳定，以及岩层粘性和厚度对褶皱形态与大小的影响。”

岩性介质还表现在对构造层次划分的影响上，在同样变形环境中，一套纯泥质岩系的劈理前锋面的深度比一套坚实的厚层石英砂岩或长石石英砂岩的劈理前锋面高，因为前者较易屈服于压扁作用，而后者较难压扁，只有在更深层次中才会形成劈理。

在构造研究中分析和建立岩石能干性系列时，既要立足于各类岩石的能干性，还要考虑整个岩系的能干性；既要依据现在出露岩石的能干性，更要分析变形时岩石所处的层次而可能具有的能干性。

五、构造位移指向性

构造位移指向性是构造运动学的重要研究内容。近年来，许多构造地质学家相当注意变形岩石中的运动学标志，这反映了构造运移指向研究的重要意义。构造运移方向的分析 and 确定不仅在认识构造变形的运动学上，而且在认识构造动力学以至几何学上都将提供重要的信息。