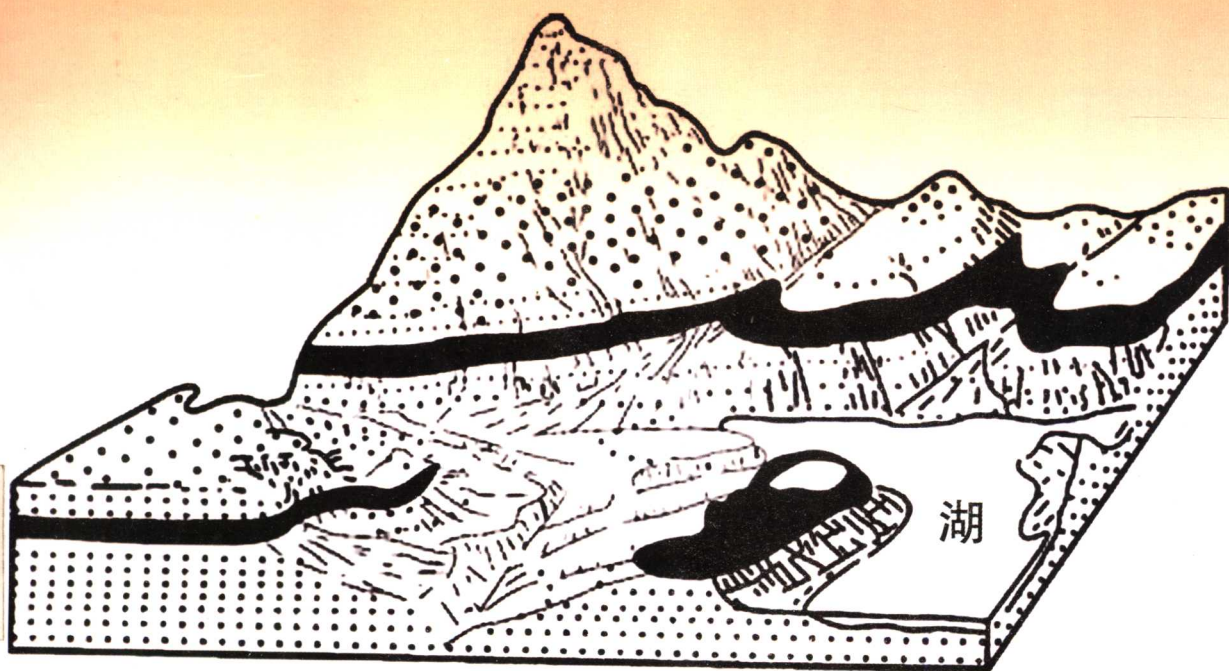


高等学校教学用书

构造地质学

GOU ZAO DI ZHI XUE

谢仁海 渠天祥 钱光谟 编



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校教学用书

构造地质学

谢仁海 渠天祥 钱光谟 编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本教材供煤炭高等院校煤田地质勘查、地质矿产勘查、水文地质与工程地质、勘查地球物理、矿场地球物理等专业本科生使用。全书包括分析地质构造的力学基础、岩层及其产状和地层接触关系、褶皱、节理、断层、岩浆岩体构造、变质岩区构造、区域地质构造综合分析、极射赤平投影及其在地质构造研究中的应用等九章,还附有课堂实习指导书。本书体现了煤炭高等院校的特点,在阐明一般地质构造的基本形态、组合规律、力学成因和研究方法的基础上,以沉积岩层的地质构造为主,重点突出了煤田中的中、小型地质构造。在章节的安排上尽量按教学的进程循序渐进,力求文字简练、多配插图,有利于读者阅读。

本教材也可供从事地质构造研究的地质人员参考。

责任编辑 宋德淑

高等学校教学用书

构造地质学

谢仁海 渠天祥 钱亮谋 编

中国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/16 正文印张 21.75 袋装插页22张

字数 562千字

1991年2月第一版 1991年2月第一次印刷

印数 1—4000册

ISBN 7-81021-436-5

P·15 定价 30.00元

(附图一袋)

前 言

《构造地质学》是为煤炭高等院校的煤田地质勘查、地质矿产勘查、水文地质与工程地质、勘查地球物理、矿场地球物理等专业编写的。

本书除阐明构造地质学的基本概念以外，重点突出这些专业对构造地质学的基本知识和基本理论的要求，以及研究煤田地质构造的基本方法。为此，以介绍沉积岩层的地质构造为主，兼顾说明岩浆岩体和变质岩系地质构造的一般知识；以介绍中、小型地质构造的空间形态和组合规律为基础，同时以适当的篇幅说明地质构造成因的力学机制；在介绍观察和分析地质构造基本方法的同时，加强对地质构造的综合分析。

全书共分九章，包括：分析地质构造的力学基础、岩层及其产状和地层接触关系、褶皱、节理、断层、岩浆岩体构造、变质岩区构造、区域地质构造综合分析、极射赤平投影及其在地质构造研究中的应用等。本教材还包括课堂实习指导书，共设14个实习，附有实习作业图18幅和赤平投影网4幅，可以根据教学需要选择使用。书中，引用了国内外最新资料，并列举了以我国为主的较多实际例子，力求图文并茂。

本书是由中国矿业大学谢仁海（绪论和第一、二、四、八章，以及实习二、三、四、七、八、九、十四、附表等）、中国矿业大学北京研究生部钱光谟（第三、六章，以及实习五、六、十三等）、山西矿业学院渠天祥（第五、七、九章，以及实习一、十、十一、十二等）编写的。谢仁海为主编。

本书由蔡竹友同志题字，在此表示感谢。

由于编者水平有限，缺点、错误在所难免，欢迎读者批评、指正，以便修改和补充。

编 者 1990年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 分析地质构造的力学基础	(4)
第一节 力和应力	(4)
一、力	(4)
二、外力和内力	(5)
三、应力	(6)
第二节 应力状态分析	(8)
一、应力状态的概念	(8)
二、单轴应力状态的二维分析	(10)
三、双轴应力状态的二维分析	(11)
四、三轴应力状态的三维和二维分析	(15)
五、应力集中现象的分析	(20)
六、构造应力场	(21)
第三节 岩石变形分析	(23)
一、岩石的变形和应变的概念	(23)
二、岩石变形的方式	(25)
三、岩石变形的阶段	(26)
四、岩石的力学性质	(29)
五、岩石的蠕变和松弛	(30)
六、岩石的强度和断裂变形方式	(32)
七、岩石剪裂角的分析	(33)
第四节 应变椭球体和递进变形	(36)
一、应变椭球体	(36)
二、递进变形	(38)
第五节 影响岩石力学性质和变形的因素	(41)
一、岩石的成分、结构和构造	(42)
二、围压(静岩压力)	(42)
三、温度	(43)
四、溶液和孔隙压力	(44)
五、时间	(45)
第二章 岩层及其产状和地层接触关系	(48)
第一节 沉积岩层的概念	(48)
一、沉积岩层及其层面	(48)
二、判别沉积岩层顶、底面和层序的原生构造	(49)
三、划分沉积岩层应注意的几个问题	(52)

第二节 岩层的产状	(52)
一、岩层产状的概念	(52)
二、岩层的产状要素	(53)
三、岩层产状的表示方法	(54)
第三节 岩层的厚度和埋藏深度	(55)
一、岩层的厚度	(55)
二、岩层的埋藏深度	(56)
第四节 岩层的露头	(57)
一、岩层露头和露头线的概念	(57)
二、岩层露头线的形态及其影响因素	(57)
三、岩层露头的宽度及其影响因素	(60)
四、根据岩层露头宽度换算岩层的真厚度	(62)
第五节 地层接触关系	(63)
一、整合接触	(63)
二、假整合接触	(64)
三、不整合接触	(64)
四、地理式不整合接触	(66)
第三章 褶皱	(68)
第一节 褶皱的概念和褶曲的基本型式	(68)
一、褶皱的概念	(68)
二、褶曲的基本型式	(68)
第二节 褶曲的要素和基本特征	(69)
一、褶曲要素	(69)
二、褶曲的基本特征	(72)
第三节 褶曲的形态分类	(72)
一、褶曲在横剖面上的形态分类	(72)
二、褶曲在地质图上的形态分类	(77)
三、褶曲按轴面和枢纽产状分类	(79)
第四节 褶皱的形态分类	(82)
一、褶皱在横剖面上的形态分类	(82)
二、褶皱在地质图上的形态分类	(85)
三、褶皱的综合分类	(86)
第五节 褶皱的形成机制	(87)
一、褶皱形成机制的类型	(87)
二、影响褶皱发育的因素	(92)
第六节 褶皱的观察和研究	(96)
一、褶曲基本型式的确定	(96)
二、褶曲要素的测定	(96)
三、褶曲类型的确定	(97)
四、褶曲形态深部变化的研究	(97)
五、叠加褶皱的研究	(98)
六、褶皱形成时代的确定	(99)

七、表示褶皱的地质图件·····	(100)
第四章 节理 ·····	(104)
第一节 节理的概念·····	(104)
第二节 节理的分类·····	(105)
一、按节理与有关构造的几何关系分类·····	(105)
二、按节理的力学性质分类·····	(106)
第三节 节理的组 合·····	(109)
一、节理组和节理系·····	(110)
二、节理的分期·····	(111)
三、节理的配套·····	(112)
四、节理的密度·····	(116)
第四节 节理的观察和 研究·····	(117)
一、节理的野外观测·····	(117)
二、节理资料的整理·····	(118)
三、利用节理统计成果分析古构造应力场·····	(120)
第五章 断层 ·····	(123)
第一节 断层的概念·····	(123)
第二节 断层要素·····	(123)
第三节 断层的断距、落差和平错·····	(125)
一、断距·····	(125)
二、落差和平错·····	(127)
第四节 断层的分类命名·····	(127)
一、按断层与有关构造的几何关系分类·····	(127)
二、按断层两盘相对位移的方向分类·····	(128)
三、断层的地层效应·····	(130)
第五节 断层的标志·····	(131)
一、断层面的特征·····	(131)
二、断层破碎带和构造岩·····	(133)
三、牵引褶曲和反牵引褶曲·····	(135)
四、派生小构造·····	(136)
五、构造中断·····	(137)
六、地层的重复和缺失·····	(137)
七、地貌特征·····	(139)
八、其它标志·····	(141)
第六节 断层各论·····	(141)
一、正断层·····	(141)
二、逆断层·····	(146)
三、平移断层·····	(152)
四、顺层断层和圈层滑动·····	(158)
五、重力滑动构造·····	(159)
六、韧性断层·····	(160)
第七节 断层的形成和活动时代的确定·····	(164)

一、断层形成时代的确定·····	(164)
二、断层多期活动的识别·····	(165)
第八节 断层的成因分析·····	(166)
一、均匀介质中断层与主应力轴的关系·····	(167)
二、非均匀介质中断层与主应力轴的关系·····	(169)
三、岩性和深度对断层的影响·····	(171)
第九节 断层的观察和研究·····	(171)
一、断层存在的确定·····	(171)
二、断层类型的确定·····	(172)
三、断层断距的测定·····	(172)
四、断层的组合规律、形成时代和力学机制的分析·····	(173)
五、观察和研究断层时可能遇到的几种特殊情况·····	(173)
六、表示断层的地质图件·····	(174)
第六章 岩浆岩体构造·····	(177)
第一节 岩浆岩体的概念·····	(177)
第二节 岩浆岩体的产状·····	(177)
一、岩浆侵入体的产状·····	(177)
二、岩浆喷出体的产状·····	(182)
第三节 岩浆岩体的原生构造·····	(184)
一、岩浆侵入体的原生流动构造·····	(184)
二、岩浆侵入体的原生破裂构造·····	(186)
三、岩浆喷出体的原生构造·····	(187)
第四节 岩浆岩体的次生构造·····	(189)
一、岩浆岩体的次生褶皱·····	(190)
二、岩浆岩体的次生断裂·····	(190)
第五节 岩浆岩体与围岩的接触关系·····	(190)
一、侵入接触·····	(190)
二、沉积接触·····	(192)
三、喷出接触·····	(192)
四、断层接触·····	(192)
第六节 岩浆岩体形成时代的确定·····	(192)
一、岩浆侵入体形成时代的确定·····	(193)
二、岩浆喷出体形成时代的确定·····	(193)
第七节 岩浆岩体构造的观察和研究·····	(194)
一、观察和研究岩浆岩体构造的方法和内容·····	(194)
二、表示岩浆岩体构造的地质图件·····	(196)
三、煤矿中浅成侵入岩体的实例分析·····	(196)
第七章 变质岩区构造·····	(199)
第一节 变质岩区构造的基本特征·····	(199)
第二节 面理和线理·····	(200)
一、劈理·····	(201)
二、线理·····	(206)

第三节 构造置换	(210)
一、层理的置换过程	(211)
二、置换现象的野外识别	(211)
三、变质岩区地层系统的双重概念	(212)
第四节 叠加褶皱	(212)
一、叠加褶皱的干扰型式	(212)
二、叠加褶皱的识别	(214)
第五节 变质岩区不整合接触带和断层的特征及其识别	(216)
一、变质岩区不整合接触带的特征及其识别	(216)
二、变质岩区断层的特征及其识别	(218)
第六节 变质岩区构造的观察和研究	(218)
一、填绘构造岩性图	(218)
二、编制变形面图	(218)
三、选定重点地段及深入进行构造研究	(219)
四、测制地质剖面图及全面建立地层系统	(219)
五、构造数据的收集和分析	(219)
第八章 区域地质构造综合分析	(223)
第一节 区域地质构造组合型式的分析	(223)
一、压应力作用下形成的地质构造组合型式	(223)
二、张应力作用下形成的地质构造组合型式	(225)
三、直扭应力作用下形成的地质构造组合型式	(227)
四、旋扭应力作用下形成的地质构造组合型式	(228)
五、弯应力作用下形成的地质构造组合型式	(230)
第二节 区域地质构造发展历史的研究	(231)
一、构造层及其划分标志	(232)
二、构造旋回、岩浆活动期及其划分	(233)
三、区域地质构造发展历史的举例分析	(234)
第九章 极射赤平投影及其在地质构造研究中的应用	(236)
第一节 球面投影的基本原理	(236)
一、球面投影的坐标系统	(236)
二、通过投影球原点的直线的球面投影	(237)
三、通过投影球原点的平面的球面投影	(237)
四、不通过投影球原点的平面的球面投影	(237)
第二节 赤平投影的基本原理	(238)
一、通过投影球原点的直线的赤平投影	(238)
二、通过投影球原点的平面的赤平投影	(239)
三、不通过投影球原点的平面的赤平投影	(241)
第三节 赤平投影网的原理	(245)
一、吴氏网	(246)
二、施氏网	(247)
三、极等角距网和极等面积网	(250)
四、普洛宁网	(251)

五、中央密度计和边缘密度计·····	(253)
第四节 应用吴氏网绘图的基本方法·····	(253)
一、绘作通过投影球原点的直线和平面在下半球的赤平投影·····	(254)
二、绘作不通过投影球原点的平面在下半球的赤平投影·····	(257)
第五节 应用吴氏网旋转赤平投影的操作方法·····	(261)
一、绕水平轴旋转·····	(261)
二、绕倾斜轴旋转·····	(263)
第六节 赤平投影在地质构造研究中的应用·····	(266)
一、岩层产状的解析·····	(266)
二、褶曲形态要素的解析·····	(269)
三、节理极点图和节理等密度图的编制、构造应力场主应力轴的解析·····	(272)
四、断层产状和类型的解析·····	(276)
五、岩浆岩体原生流动构造及其产状的解析·····	(278)
赤平投影的应用作业题·····	(280)
课堂实习指导书 ·····	(282)
实习一 基本地质图件的认识和初步阅读·····	(282)
实习二 编绘水平岩层地形地质图和区切地质剖面图·····	(286)
实习三 阅读倾斜岩层地形地质图和编绘图切地质剖面图·····	(289)
实习四 编绘倾斜煤层底板等高线图·····	(292)
实习五 阅读褶皱岩层地形地质图和编绘图切地质剖面图·····	(295)
实习六 编绘褶皱岩层横截地质剖面图·····	(299)
实习七 编绘和分析褶皱煤层底板等高线图·····	(301)
实习八 构造模拟试验·····	(305)
实习九 编绘和分析节理玫瑰花图·····	(306)
实习十 阅读倾斜岩层、不整合接触、断层地区地形地质图和编绘图切地质剖面图·····	(310)
实习十一 阅读褶皱岩层、断层地区地形地质图和编绘图切地质剖面图·····	(315)
实习十二 编绘和分析断层地区的煤层底板等高线图·····	(317)
实习十三 阅读岩浆岩体地区地质图和编绘图切地质剖面图·····	(321)
实习十四 综合阅读和分析区域地质图, 编绘区域构造纲要图和图切区域地质剖面图·····	(323)
附 表·····	(326)
附表一 年代地层单位代号和色谱表·····	(326)
附表二 常见岩浆岩体的代号和色谱表·····	(327)
附表三 常用岩石花纹图例表·····	(328)
附表四 常用地质构造图例和地质界线图例表·····	(333)
附表五 三角函数表·····	(334)
附表六 倾角换算表·····	(335)
参考文献 ·····	(336)

绪 论

一、构造地质学的研究对象和内容

1. 构造地质学的研究对象

构造地质学是地质科学的一门分支学科，也是地质科学中的一门基础学科。研究的对象是地壳或岩石圈的地质构造。所谓地质构造，是指组成地壳或岩石圈的岩层和岩体（包括沉积岩层、岩浆岩体和变质岩系），在内、外动力地质作用下发生构造变形，从而形成的诸如褶皱、节理、断层、劈理，以及其它各种面状和线状等构造。

根据地质构造形成的动力来源，可以把地质构造分为两大类：一类是在重力作用的配合下，由地壳运动等内动力地质作用形成的；另一类是在重力作用等外动力地质作用下形成的，诸如山崩、滑坡、岩溶塌陷、冰川作用、……等，使岩层或岩体发生局部变形。前者是地质构造形成的主要原因，所以又把地壳运动称为构造运动，把岩层和岩体在构造运动作用下发生的构造变形称为构造变动。构造运动是构造变动发生的原因，构造变动是构造运动的结果，两者为因果关系。后者的动力并非来自构造运动，所以把形成这些地质构造的原因称为非构造运动，把所发生的构造变形称为非构造变动。

构造地质学研究的重点是构造运动和构造变动，非构造运动和非构造运动则是工程地质学研究的重要内容之一。

2. 构造地质学的研究内容

构造地质学研究的具体内容，包括：各种地质构造在空间中的基本形态、组合型式和分布规律；在时间上的形成次序、演化过程和发展历史；岩层和岩体的岩石力学性质、地质构造的成因机制。

既要重视地质构造形态的研究，这是对地质构造进行理论研究的基础，是在对矿产的寻找、勘探和开发过程中必须解决的地质问题之一，也是在评价工程地质条件和水文地质条件中不可缺少的地质资料；同时，又要对地质构造的发展历史和成因机制进行研究，这有助于从理论上提高对地质构造的认识，更为精确地确定地质构造的基本形态、组合型式和分布规律。

不同的地质部门，对地质构造研究的侧重点是不相同的。从事构造地质学基础理论的研究部门，侧重点是泛泛地寻找各种地质构造的客观规律；从事矿产地质工作的部门，侧重点是解决矿产的寻找、勘探和开发等过程的地质构造问题；从事工程地质工作的部门，侧重点是为本工程建设评价工程地质条件而提供地质构造资料；从事水文地质工作的部门，侧重点是为本水源勘探或评价矿山水文地质条件而提供地质构造资料；从事地震地质工作的部门，侧重点是为本开展地震预报、防震和抗震等工作提供地质构造资料。

二、构造地质学的相邻地质学科

1. 大地构造学

从广义来讲,构造地质学是包含大地构造学的。随着地质科学的发展,大地构造学已发展成为与构造地质学并立的一门独立学科。大地构造学和构造地质学有明显的区别。构造地质学着重研究小区域内具体的地质构造的基本形态、组合型式和分布规律,以及它们的发展历史和成因机制;大地构造学则着重研究大区域内,以至全球的地壳或岩石圈的构造和地壳运动发生、发展的原因,它们是如何控制沉积作用、岩浆作用、变质作用、成矿作用和地质发展历史等。但是,两者又有密切的联系,并且是互相渗透的。构造地质学的研究是大地构造学研究的基础,大地构造学又是指导构造地质学研究的理论。

2. 岩石学和古生物地层学

构造地质学、岩石学和古生物地层学是地质科学中三门最基本的基础学科,关系十分密切。构造地质学是研究组成地壳或岩石圈的岩层和岩体的地质构造,岩层和岩体则是由沉积岩、岩浆岩和变质岩等三大类岩石所组成的;特别是在沉积岩分布地区,掌握地层层序是正确判断地质构造的先决条件。所以,岩石学和古生物地层学,又是研究构造地质学的基础。

3. 地貌学

地貌学是研究地球表面的形态及其形成和发展的科学。地表的形态是在内、外动力地质作用下综合形成的结果,其中起主导作用的是地壳运动。因此,可以说地质构造控制了地貌,地貌反映了地质构造,越新的地质构造表现出来的地貌特征越明显。所以,在野外进行实地观察或者对航片、卫片进行地质构造解释时,地貌特征是确定地质构造的重要依据。

4. 岩石力学

在构造地质学中,虽然存在着不同的学派,但都承认地质构造都是岩层和岩体在应力作用下变形的结果,具体特征都是与岩石力学性质、应力状态分不开的,都主张采用力学原理来分析地质构造的基本形态、组合型式和分布规律。所以,岩石力学是分析地质构造不可缺少的理论基础。

5. 地球物理学

地球物理学是研究地球物理性质的科学,包括地球的密度、重力、磁性、电性、地热、放射性、弹塑性、……等。地球表面上各种地球物理场的变化,不仅反映了地球表层各地区物质特性的变化,在一定程度上也反映了地下深部物质的特性,是确定地质构造(尤其是地下深部的地质构造)的重要依据。地球物理勘探方法就是利用地球的这些物理场建立起来的,是研究地质构造的重要手段。

总之,随着构造地质学研究的迅速发展,学科之间的相互渗透,新技术的广泛采用,使其研究的领域、与其它学科的联系日益扩大和加深。

三、构造地质学的研究指导思想和具体方法

1. 构造地质学的研究指导思想

构造地质学是地质科学中的基础学科之一,也是实践性非常强的一门学科。今日见到的地质构造,是组成地壳或岩石圈的岩层和岩体经历了漫长地质发展历史的地壳运动作用而形成的。历史是不可能重演的,人们的生命是短暂的,不可能亲自观察到现存的地质构造形成的全过程。虽然在实验室可以做些模拟试验,但毕竟是有限的,在规模和

时间上都不能达到自然界的同等条件。所以，研究地质构造，要强调以大自然为实验室，投身于实践，充分观察和收集现存的地质构造痕迹，进行综合、分析、推理，再到实践中去验证，修正错误的认识。即所谓“将今论古”的方法，又称为“反序法”。因此，必须强调指出，研究地质构造应以辩证唯物主义为指导思想，只有通过实践—理论—再实践地多次反复过程，才能正确地认识一个地区的地质构造，掌握它们的规律。只有实践才是检验真理的唯一标准，任何主观主义、脱离实际，都会导致认识上的错误。

2. 构造地质学的研究具体方法

实践证明，要做好构造地质学的研究工作，不仅要有正确的指导思想，而且要有完善的行之有效的具体方法。

最基本的方法是传统的地质测量（地质制图或地质填图）。通过在野外对自然露头的观察和描述，将获得的地质现象标绘在一定比例尺的地质图、剖面图以及其它地质图件上，用以表示地质构造在空间的形态。

在地质测量过程中，对地表以下的地质构造的解释，是根据在地表所见到的地质现象进行推测的。如果地表是被第四纪松散堆积层所覆盖，则对地表以下的地质构造的推测就更为困难。为了正确解释地表以下的地质构造，还必须采用其它方法和手段，取得地表以下的有关地质资料。例如，槽探、巷探、钻探、地球物理勘探等，是当前揭露地表以下地质构造不可缺少的方法和手段。

随着科学技术的发展，航空地质、遥感地质、数学地质、电子计算机等在研究地质构造中得了广泛的应用，大大地提高了工作效率和可靠性。

岩组分析和室内模拟试验，也一直被人们所重视。

第一章 分析地质构造的力学基础

构造地质学所研究的地质构造，是组成地壳或岩石圈的岩层和岩体，在其自身重力作用配合下，由地壳运动所引起的应力作用发生永久变形的结果。地质构造的基本形态、组合型式、分布规律，是与岩层或岩体的岩石力学性质、所处的应力状态分不开的。对地质构造成因机制的研究，实际上就是对其进行力学成因机制的分析。

分析地壳构造的力学成因机制，主要是建立在现代岩石固体力学基础上的，是把岩石所受的应力与岩石本身的力学性质结合起来进行的。岩石固体力学，又是建立在材料力学的实验基础上的。这种实验是把材料看成均质的，是在人为条件下短时间内进行的。可是，组成岩层或岩体的岩石是不均质的，所处的环境是复杂的，变形经历的时间是漫长的。这是一个很大的矛盾。解决的办法是在一定范围内把组成岩层或岩体的岩石看成是均质的，简化所处的环境，在室内创造类似条件，进行模拟试验。实践证明，模拟试验的效果良好，是研究地质构造的力学成因机制的一条重要途径。故在介绍各种地质构造之前，先介绍与分析地质构造有关的力学概念，为在后面讨论各种地质构造的基本形态、组合型式、分布规律的力学成因机制打下基础。

第一节 力和应力

一、力

力是个矢量，使用的计量单位为牛顿（N）。按平行四边形法则，可以把一个力分解为二个或二个以上的力（图1-1a），也可以把二个或二个以上的力合成为一个力（图1-1b）。

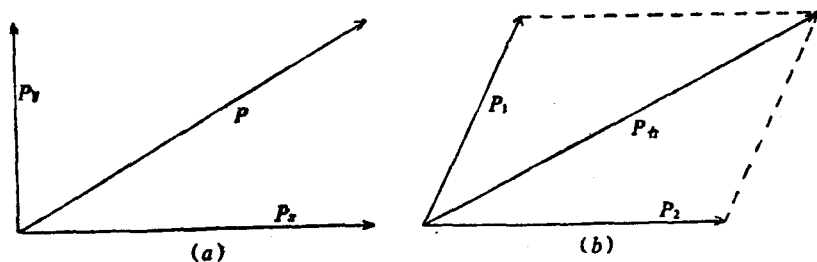


图1-1 力的分解与合成示意图

作用在岩石上的力，往往是成对出现的。当两个力作用在同一条直线上，大小相等，方向相向，称为压力（图1-2a）；当两个力作用在同一条直线上，大小相等，方向相背，称为张力（图1-2b）；当两个大小相等、方向相反的力，没有作用在同一条直线上，称为剪切力或扭力。习惯上，在构造地质学中规定：压力为正，张力为负；逆时针剪切力为正（图1-2c），顺时针剪切力为负（图1-2d）。

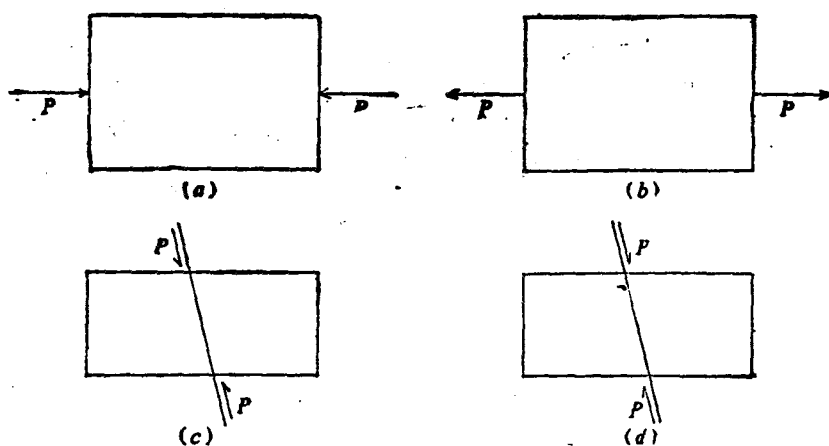


图1-2 压力、张力、正剪力、负剪力示意图

二、外力和内力

根据研究对象的不同，可以把力分为外力和内力。

1. 外力

外力是指岩石受到外界所施加的力。外力又可分为面力和体力。

1) 面力 作用于岩石表面的外力，称为面力。它是通过接触面传递的，接触面称为界面或作用面。

2) 体力 作用于岩石内部每个质点的外力，称为体力。如重力、星球间的引力等，它们不是通过接触面传递，而是在相隔一定距离之间相互作用的。

2. 内力

内力是指同一岩石内部各质点之间相互作用的力。内力又可分为固有内力和附加内力。

1) 固有内力 固有内力是指岩石内部各个质点之间原来存在的自然结合力。岩石在未受外力作用时，固有内力处于平衡状态，岩石内部各个质点都是稳定在原来的平衡位置上，故岩石保持了一定的外部形态。每种岩石都有自己的固有内力，并且是固定不变的。

2) 附加内力 当岩石受到外力作用时，就会打破岩石内部各个质点之间固有内力的平衡状态，使各个质点之间的相对位置发生改变，在新的位置上达到新的平衡。岩石在外力作用的过程中，引起内部固有内力的改变量，称为附加内力。如果岩石没有受到外力作用，固有内力的改变量必然为零，也就是不会产生附加内力；假如岩石内部没有固有内力，即使所受的外力很大，也不可能产生附加内力。所以，附加内力的产生和大小决定于岩石所受的外力和内部所存在的固有内力。

岩石在外力作用下所产生的附加内力，是随着外力的增加而增加，两者方向相反，大小相等（图1-3）。外力作用，使岩石发生变形，包括形态和体积的改变；附加内力，则反对外力作用，阻止岩石继续变形，并力图使岩石恢复原来的形状和大小。当附加内力随着外力的增加而增加到与固有内力相等时，就不能产生更大的附加内力来抵抗外力的作用，岩石便会破坏。所以，岩石的变形与外力的作用以及所产生的附加内力的反作

用有直接关系。凡在以后分析地质构造时提到的内力，都是指这种附加内力而言的。

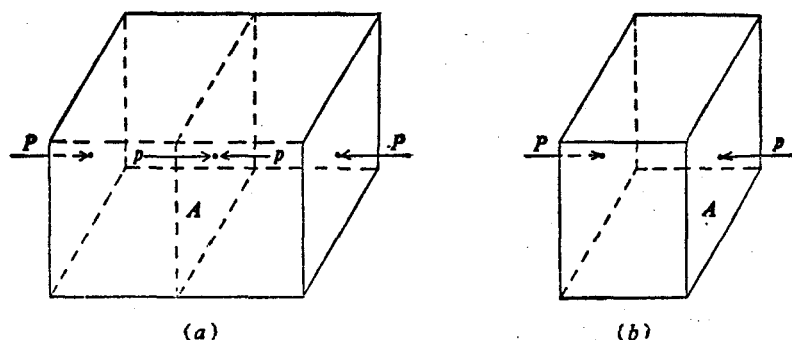


图1-3 外力和内力（附加内力）及其关系示意图

a—外力 P 在截面 A 上所产生的内力 p 立体关系示意图；b—沿截面 A 切开后，外力和内力的立体关系示意图

A —岩石内部与外力垂直的任一截面； P —作用于岩石的外力； p —在截面 A 上产生的内力（附加内力），它与外力 P 大小相等、方向相反

三、应力

作用在岩石内部任一截面上的单位面积内的内力（附加内力），称为该截面上的应力 σ 。常用单位为Pa（帕斯卡），1 Pa等于1 N/m²。应力的大小，不仅决定于总内力的大小，而且与作用面的大小有关。当总的内力不变时，作用面越小，应力越大。所以，在研究地质构造的力学成因机制时，应该用应力来度量作用力，才能更正确地说明岩石变形与作用力的关系。

如图1-4a所示，岩石在外力 P 的作用下，就会在岩石内部与外力作用方向垂直的任意截面 A 上产生内力 p 。图1-4b表示所产生的内力 p 是均匀地分布在截面 A 上的，只有把各个单位面积内的内力 σ 叠加起来才等于总的内力 p ， σ 即为作用在截面 A 上的应力，用公式可表示为

$$\sigma \times A = p, \quad \sigma = \frac{p}{A}$$

由于
所以

$$\begin{aligned} P &= p \\ \sigma &= \frac{P}{A} \end{aligned} \quad (1-1)$$

图1-4c表示，当截面 A 上的内力 p 分布不均匀时，则可以把该截面上每个很小面积 ΔA 上的内力 Δp 看成是均匀的，那么在 ΔA 面积上的应力 σ 则为

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-2)$$

在研究岩石受力变形时，虽然岩石受力条件往往是复杂的，内部是不均质的，在同一截面上产生的应力必然是不均匀的。但是，在一定范围内，可以简化岩石受力条件，把岩石看成是均质的，从而求出岩石内部任一截面上的平均应力。

按应力的性质、应力方向与作用面的关系，可把应力分为合应力、正应力和剪应力、主应力等（图1-5）。

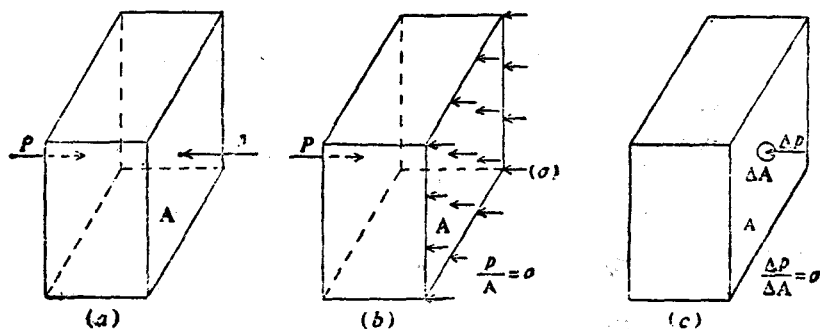


图1-4 岩石内部应力示意图
(为了简化起见, σ 是用一个箭头表示)

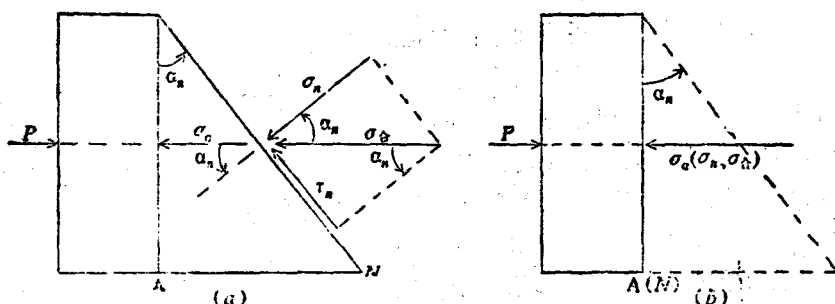


图1-5 应力的分类及其相互关系示意图

1. 合应力

在外力作用下, 于岩石内部任一截面上所产生的与外力作用方向平行的应力, 即称为作用在该截面上的合应力。如图1-5a所示, P 为作用于岩石的外力, A 为岩石内部的与外力作用方向垂直的任意截面, N 为岩石内部的与外力作用方向斜交的任意截面, α_n 为由截面 A 逆时针旋转到截面 N 位置的角度, 也就是由前者的法线逆时针旋转到后者法线位置的角度, σ_n 为作用在截面 N 上的与外力作用方向平行的合应力, 即

$$\sigma_n = \frac{P}{N} = \frac{P}{N} \quad (1-3)$$

2. 正应力和剪应力

在外力作用下, 于岩石内部任意截面上所产生的合应力, 可以运用平行四边形法则分解为两种应力。一种是与该截面垂直的应力, 称为作用在该截面上的正应力或直应力; 另一种是作用在该截面上的, 并与其平行的剪应力。在图 a 中, σ_n 为作用在截面 N 上的合应力, 运用平行四边形法则可将 σ_n 分解为 σ_n 和 τ_n , σ_n 为作用在截面 N 上的正应力或直应力, τ_n 为作用在截面 N 上的剪应力。从图中可以明显地看出 σ_n 、 σ_n 、 τ_n 的关系是

$$\sigma_n^2 + \tau_n^2 = \sigma_n^2 \quad (1-4)$$

或

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_n \cos \alpha_n \\ \tau_n &= \sigma_n \sin \alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

习惯上, 在构造地质学中规定: 压应力为正, 张应力为负, 逆时针的剪应力为正, 顺时针的剪应力为负 (图1-6)。