

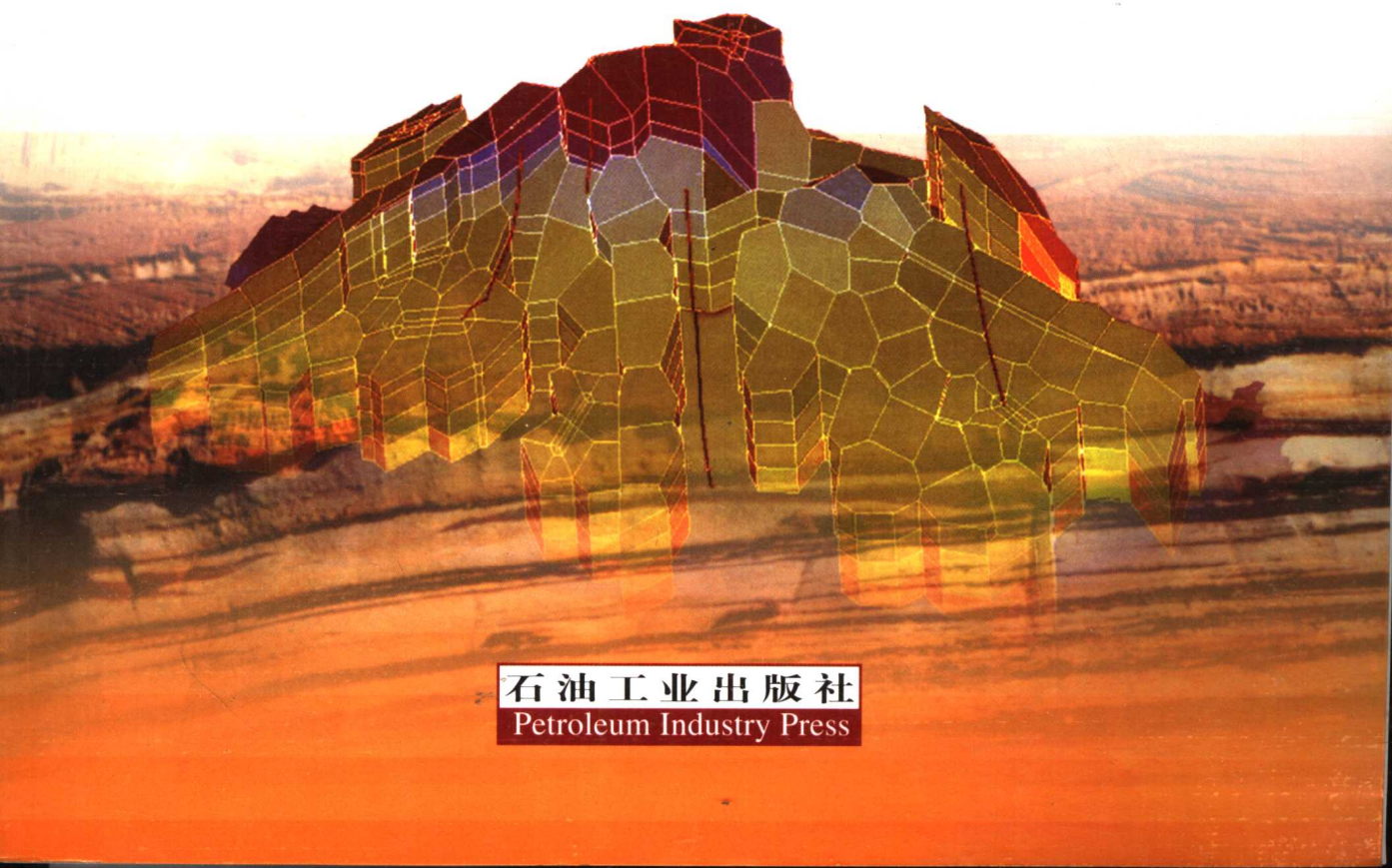


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

构造地质学及大地构造

戴俊生 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等院校石油天然气类规划教材

构造地质学及大地构造

戴俊生 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书包括两部分。前半部分在应力和变形分析的基础上,着重讲述了节理、褶皱和断层的形态特征、分类、观察描述内容、研究方法和力学成因机制;后半部分主要讲述了板块构造的基本原理、中国区域构造的基本轮廓和含油气盆地分析的基本内容。

本书可作为高等学校地质专业和资源勘查专业的教材,也可作为其他专业的参考教材,还可供地质人员和油气勘探人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

构造地质学及大地构造/戴俊生主编.

北京:石油工业出版社,2006.11

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 7—5021—5611—9

I. 构…

II. 戴…

III. ①构造地质学—高等学校—教材

②大地构造学—高等学校—教材

IV. P54

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第077956号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006年11月第1版 2006年11月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:23.5

字数:595千字 印数:1—2000册

定价:35.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，主要针对地质学专业和资源勘查工程专业的本科教学而编写，也可作为勘查技术与工程等相关专业的本科教材。构造地质学和大地构造是研究对象和研究方法不同的、属于同一领域的两个学科方向，传统做法是开设两门课程。在课程体系改革过程中，部分高校将两者合并为一门课程。考虑到使用的广泛性，本书将构造地质学和大地构造合编在一起，可以用于一门课程，也可以用于两门课程。

本着加强基础、培养能力、追踪学科前沿和突出石油特色的原则，本书系统地介绍了岩层产状、应力、褶皱、节理、断层、板块构造、含油气盆地等的基本概念、基本理论和基本研究方法；介绍了韧性剪切带、地体构造、伸展构造、压缩构造、走滑构造、反转构造等新领域，以及我国区域构造和含油气盆地研究的新认识；介绍了构造地质学和大地构造研究的新方法；针对石油勘探开发的实际，重点介绍了沉积岩层的构造，系统介绍了含油气盆地的类型和内部构造，对构造圈闭、潜山、生长背斜、生长断层和底辟构造也作了专门的介绍，同时介绍了油区构造研究的地球物理学方法。

本书包括基础、褶皱构造和大地构造三部分内容。基础部分包括岩层产状、地层接触关系和岩石变形分析的力学基础，包含潜山和披覆构造，详细介绍了平面应力状态；褶皱构造部分包括褶皱构造、节理、断层、岩浆岩体和变质岩体构造，包含生长背斜、生长断层、底辟构造和韧性剪切带，主要介绍了各种构造的形态、分类、成因和研究方法；大地构造部分包括板块构造、中国区域构造轮廓、含油气盆地，介绍了板块构造的基本原理，用板块构造的观点分析了中国区域构造的演化特征，将伸展构造、压缩构造、走滑构造、反转构造与含油气盆地类型结合在一起。

本书在陆克政主编的《构造地质学教程》基础上，参考了戴俊生主编的《油区构造分析》、杨森楠和杨巍然主编的《中国区域大地构造学》、金性春主编的《板块构造学基础》和大量教材专著及文献编写而成。

本书包括十章。第一、三、九章和第六章的第一、二、三、四、五、六节由中国石油大学（华东）的戴俊生编写；第二章和第四章的第一、二、三、四、五、六、七节由大庆石油学院的庞庆山编写；第五、八章和第四章的第八节由中国石油大学（华东）的陈清华编写；第七章和第六章的第七节由中国石油大学（华东）的李理编写；第十章由中国石油大学（华东）学院的吴孔友编写。全书由戴俊生统稿定稿。

中国石油大学的陆克政教授和中国地质大学的刘和甫教授对本书的初稿作了详细审阅，提出了许多宝贵的修改意见和建议，在此深表谢忱。

由于编者水平所限，书中欠妥之处敬请读者指正。

编 者
2006年9月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 岩层产状和地层接触关系	(4)
第一节 岩层产状	(4)
第二节 岩层厚度	(10)
第三节 地层接触关系	(12)
第四节 潜山和披覆构造	(18)
参考文献	(20)
第三章 岩石变形分析的力学基础	(22)
第一节 应力分析	(22)
第二节 变形分析	(37)
第三节 影响岩石力学性质和岩石变形的因素	(50)
第四节 构造应力场	(55)
参考文献	(62)
第四章 褶皱构造	(63)
第一节 褶皱及基本要素	(63)
第二节 褶皱分类	(69)
第三节 褶皱组合类型	(74)
第四节 褶皱构造的形成机制	(77)
第五节 影响褶皱作用的主要因素	(82)
第六节 褶皱构造的研究	(85)
第七节 生长背斜	(95)
第八节 底辟构造	(99)
参考文献	(106)
第五章 节理	(107)
第一节 节理的概念及其基本特征	(107)
第二节 节理的分类	(108)
第三节 节理的特征	(110)
第四节 节理的组合	(112)
第五节 构造节理分布规律	(113)
第六节 节理的观测与研究	(117)
第七节 覆盖区节理研究方法	(123)
参考文献	(128)
第六章 断层	(129)
第一节 断层的几何要素	(129)
第二节 断层的分类和组合类型	(131)

第三节	断层的成因分析	(138)
第四节	断层的标志	(147)
第五节	断层的观察与研究	(157)
第六节	生长断层	(162)
第七节	韧性剪切带	(167)
	参考文献	(187)
第七章	岩浆岩体和变质岩体构造	(189)
第一节	岩浆岩体的产状和内部构造	(189)
第二节	劈理	(214)
第三节	线理	(230)
	参考文献	(238)
第八章	板块构造	(239)
第一节	地球的内部结构	(239)
第二节	大陆漂移和海底扩张	(243)
第三节	板块构造的基本原理	(251)
第四节	板块活动与地质作用	(266)
第五节	板块构造与地槽地台的关系	(273)
	参考文献	(277)
第九章	中国区域构造轮廓	(278)
第一节	中国主要大地构造学术观点	(278)
第二节	中国区域构造单元	(289)
第三节	前震旦纪古中国板块的形成	(292)
第四节	古生代古亚洲板块的形成	(302)
第五节	中、新生代古亚洲板块的增生	(316)
	参考文献	(322)
第十章	含油气盆地	(323)
第一节	含油气盆地的概念	(323)
第二节	伸展盆地	(336)
第三节	压陷盆地	(339)
第四节	走滑盆地	(351)
第五节	克拉通内盆地	(355)
第六节	盆地内部构造单元	(357)
第七节	中国含油气盆地的基本特征	(360)
	参考文献	(367)

第一章 绪 论

一、构造地质学与大地构造学的研究对象和范围

构造地质学和大地构造学都是地质学的重要分支学科，研究的对象是岩石圈的地质构造。所谓地质构造，是指组成岩石圈的岩层和岩体在内、外力地质作用下发生的变形。地质构造具有不同的级别和尺度，大者成百上千千米甚至具有全球规模，小者仅在一定范围内甚至一块岩石上就可直接观察到构造的完整形态，更小者则需要利用显微镜才能观察到。

构造地质学主要研究由内力地质作用所形成的诸如褶皱、断层、节理等各种地质构造的形态、产状、规模、形成条件、成因机制、分布规律和演化历史。

大地构造学主要研究大规模的诸如地块、造山带、盆地等地质构造的形态特征和形成演化，属于区域性的和全球性的构造地质学。自20世纪60年代中期以来，板块构造学说是被广泛接受的大地构造理论，人们用板块活动的机制解释岩石圈大型构造及其形成和演化。

石油天然气地质勘探和开发需要将局部构造、构造带、盆地构造、全球构造的研究密切结合起来揭示其本来存在的内部联系。构造地质学研究既包括结构、建造方面，也包括变形、改造方面，是石油地质学研究的重要支柱，是评价油气远景不可缺少的依据。

二、大地构造学的研究观点

板块构造学说问世以来，岩石圈构造及其动力学理论已不断更新，新观点、新观念、新模式不断涌现。板块构造简单模式运用到大陆后出现了许多不易解释的问题，因此，继板块构造理论后又出现地体理论。大陆岩石圈动力学、深部研究、地学大剖面研究表明，岩石圈结构是层圈式的，具流变式夹层。各层圈面常是活动性构造拆离界面，成为大地构造运动的源地，是高度活动的动力学体系。各层次构造具不协调性，横向具高度不均一性，出现了岩石圈分层拆离假说。新构造观的核心是活动论，岩石圈各大板块或陆块能长距离水平移动。构造变形具有多种成因、多种尺度、多期次和多重性质。伸展构造、挤压构造和走滑构造是组成岩石圈构造变动的基本类型。岩石圈的构造演化过程既有渐进发展，又有突变性事件；既有不可逆性，又有多级次旋回式、阶段性发展；既有块断活动，又有波浪运动；发展是不平衡的、不均一的。板块构造运动对岩石圈及盆地演化就具有控制作用。板块和板内的构造反转是一种普遍存在的现象。岩石圈块体的开合具有多尺度和多样性，既有大开大合的威尔逊旋回，也会有规模较小的手风琴式开合、弧后式开合、走滑过程中开合等非威尔逊旋回。不同规模地体的离合概念描绘了一些陆壳生长的各构造单位的自然集合过程。环太平洋域和特提斯域地体增生样式具有不同特点。洋壳不总是俯冲于陆壳之下，有时也能仰冲于大陆基底之上。岩石圈动力来源具有复杂性和多元性（巨型地幔喷流柱、地幔热对流、重力、流体、天体撞击、地球自转）。深层流体是极其活跃的因素，在构造运动发生过程中扮演重要的角色。造山带、盆地和盆—岭关系是当前地学中基本课题，研究其形成和发展具有重要理论和实用价值。

三、构造地质学及大地构造的研究方法

(一) 比较构造学方法

Stille. H (1924) 提出了比较构造学分析方法, 强调通过比较去鉴别、分类, 找出共性、个性和变化规律, 从而提出成因机理的探讨。该方法影响深远, 至今仍广泛应用。

黄汲清指出历史—构造比较分析法是“以各种地质、地球物理、地球化学资料为基础, 按地史发展的顺序探讨不同阶段大地构造发展的特点, 着重研究和比较壳、幔各部分构造的发生、发展和转化, 找出它们之间的共同性和差异性, 阐明它们的运动规律。”

许靖华 (1980) 曾提出比较大地构造相分析法。大地构造相指的是“在任何单一或组合的弧—弧、弧—陆及陆—陆碰撞过程中所形成的具有特殊构造式样的大地构造单元。”

比较构造学分析包括许多方面, 即构造层、构造—岩石组合或建造、不整合、旋回、沉降史、岩浆活动、构造变动、变质作用、成矿作用、地球物理场、地球化学元素及其变化等。构造单位的划分是比较构造学分析的结果, 是一项有高度综合性的工作, 其研究成果是十分有意义的。每个构造单元都有自己特有的岩石组合、变形特点、形成环境和形成时间。比较不同构造单元特征的方法不仅可以解释造山带中的复杂现象, 而且可弥补缺失的记录。研究不同单元构造样式特征及演化对油气勘探有指导意义, 研究含油气盆地古构造单元是一项重要研究课题 (陆克政, 1996)。

(二) 解析构造学方法

马杏垣 (1978, 1981, 1983) 指出构造地质学应采用先进的解析构造学方法。它包括几何学的解析、运动学的解析和动力学的解析等三个方面。解析的思维方法就是把复杂事物分解为简单的要素加以研究的方法。解析的目的是透过现象掌握本质, 探索各种构造现象的相互联系、相互作用、相互制约、相互转化, 查明它们在地壳、岩石圈的结构中的地位和作用。

几何学解析是指研究各类各级构造的形状、产状、方位、大小、构造内和构造间要素的几何关系, 建立一个完整的具有几何规律的构造系或型式。设法提高资料品质、搞清三维几何学是后续研究的基础。

运动学解析是指再现岩石形成和变形时所发生的运动, 分析原生和次生构造, 揭示其运动规律、运动方向、方式、运动量大小。

动力学解析是指阐明产生构造的力、应力和力学过程, 包括变形应力的性质、大小、方位、方式、来源, 并结合岩石物性、温压、时间等条件进行应力与应变关系分析。

在解析中要研究构造变形场, 分出张性、挤压、扭动及复合等不同样式或组合型式; 要研究不同构造层次构造样式, 不同层次间有滑脱面, 新构造叠加于老构造之上, 深壳甚至地幔变形可出露于地表; 要考虑构造尺度和时间尺度, 研究不同构造单位、不同阶段的演化序列和速率。

(三) 地质力学方法

地质力学是根据所观察到的现存构造形态、分布排列及彼此干涉关系, 用应力与应变关系分析并配合构造物理模拟实验来解释构造体系的发生和发展。

李四光对地质力学方法总结出下列七个步骤:

(1) 鉴定每一种构造形迹或构造单位的力学性质。

- (2) 辨别构造形迹的序次，按照序次查明同一断裂面力学性质可能转变的过程。
- (3) 确定构造体系的存在和它们的范围。
- (4) 划分巨型构造带，鉴定构造型式。
- (5) 分析联合和复合的构造体系。
- (6) 探讨岩石力学性质和各种类型的构造体系中应力活动方式。
- (7) 模型实验。

航空、航天遥感技术的应用，扩大了观察地表地质构造的视域和深度，弥补了野外地质观察的局限性。钻井和重磁电震物理探测技术的应用，为解释地下构造提供了重要的资料。随着计算机广泛应用于构造地质学，数学模拟方法得到迅速发展，特别是将有限单元法应用于构造应力场方面，取得许多成果。

新的构造观要求将比较构造学方法、解析构造学方法和地质力学方法三者紧密结合，将构造几何学、运动学及动力学三部分研究密切结合，并将构造地质理论模型与构造物理模拟、数值模拟密切结合，不断引入各学科新成就，开展跨学科或交叉学科综合分析，不断提高构造地质学研究水平。

第二章 岩层产状和地层接触关系

第一节 岩层产状

岩层的产状是指在产出地点的岩层面在三维空间的方位和状态。在广阔而平坦的沉积盆地（如海洋和大湖泊）中所形成的沉积岩层，其原始产状大都是水平的或近于水平的。由于构造运动造成水平岩层发生构造变形，形成倾斜岩层、直立岩层、倒转岩层和各种褶皱形态，但也有一些岩层仍保持其水平状态。在地表浅处，由于重力、流水、冰川、岩溶及吸水作用等外动力地质作用，也会使岩层产状发生局部变动形成各种表生构造。

一、原始产状岩层——水平岩层

（一）水平岩层的概念

岩层面保持近水平状态，即同一层面上各点海拔高度都基本相同，具这样产状的岩层称为水平岩层，也叫水平构造。水平岩层是未经构造运动的岩层，保留有原始状态。

沉积岩层形成时由于地形起伏而造成的倾斜状态叫原始倾斜。原始倾斜一般在古隆起的周围或在沉积盆地的边缘发育。

（二）水平岩层的特征

水平岩层的特征是在野外和地形地质图上认识和分析水平岩层的依据。在空间上表现出如下几方面的特征：

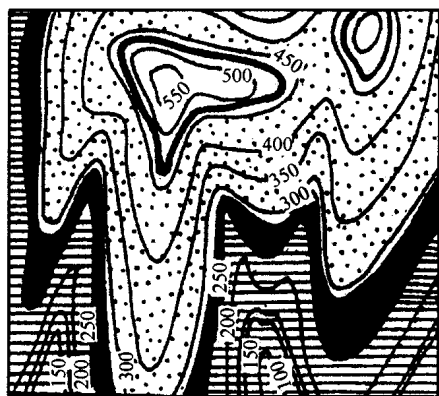


图 2-1 水平岩层分布特征

(1) 在地形地质图上，水平岩层的地质界线（岩层面在地表面上的出露线）和地形等高线平行或重合（图 2-1），水平岩层的出露和分布状态完全受地形控制。因此，地质界线随等高线的弯曲而弯曲，真实地反映等高线的弯曲形态。在河谷、冲沟中，水平岩层的地质界线延伸呈“V”字形，其“V”字尖端指向上游（图 2-1）。这是水平岩层最重要、最基本的特征，也是我们在地形地质图上判别水平岩层的准则。因为水平岩层面上的各点都具有相同的海拔高度，所以只要测定出水平岩层面在某一出露点的高程，就可沿着或平行于同高度等高线勾绘出该岩层面的界线。另外，同一个水平岩层面必定具有相同高度，若具有不同高度，则是由于岩层局部弯曲变形或是其间断裂错动所致。

(2) 水平岩层的成层顺序（正常）为上新、下老，也即时代较新的岩层位于较老的地层之上。如果水平岩层地区未被地面河流切割或只受轻微剥蚀而没有下蚀到上覆岩层的底面

时，则地面只出露最新地层，在地质图上反映的全部是最上面地层（图 2-2）。随着侵蚀、剥蚀的加宽、加深，地面出露的地层时代越来越老，上覆较新地层出露的面积也越小，地质图变得越复杂（图 2-3），而且较老的岩层总是出露于地形低处（如河谷、冲沟等），最新的岩层分布在山顶或分水岭上。即地层越老出露位置越低，越新出露位置越高（图 2-1，图 2-3）。

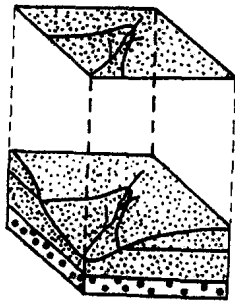


图 2-2 切割轻微时水平岩层出露情况
(据 ААПРОДОВ, 1952, 简化)

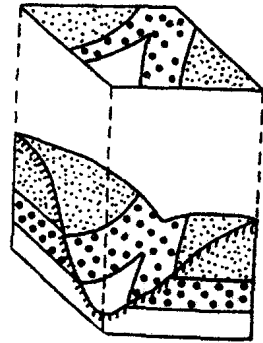


图 2-3 切割强烈时水平岩层立体和平面图
(据 ААПРОДОВ, 1952, 简化)

(3) 水平岩层的厚度就是该岩层顶、底面的标高差。因此，在地形地质图上求水平岩层厚度的方法较简单，只要知道岩层顶面和底面的高程，两者相减即得。

(4) 水平岩层在地质图上的露头宽度取决于地面坡度和岩层厚度（图 2-4）。这里的露头宽度是指岩层在野外露头宽度的水平投影宽度，即岩层上、下层面在地面上的出露界线之间的水平距离。

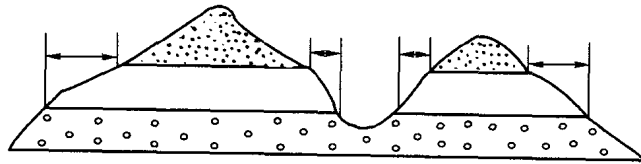


图 2-4 水平岩层露头宽度与厚度、地形之间的关系

当地面的坡度相同时，厚度大的岩层露头宽度就大；当岩层厚度相等时，地面坡度缓，露头宽度就大。在直立的陡崖处，岩层上、下界线的投影线重合为一条线，亦即露头宽度为零，从而在地质图上呈现出岩层尖灭的假象。因此在地质图上分析尖灭时需要特别注意。

二、倾斜岩层——地质界面产状要素

地质界面是指组成各种地质构造的几何面，如断层面、岩层面、节理面等，统称它们为面状构造或构造面。面状构造在地壳中的空间状态可以用产状要素来表示，下面以倾斜岩层面的产状加以说明。

(一) 倾斜岩层的产状要素

所谓倾斜岩层，就是指岩层改变了原始产状而向着某一方向倾斜，即指岩层面与水平面有一定的交角或者说同一个岩层面上具有不同的海拔高度。若一个地区内的一系列岩层的倾

向、倾角大致相同，则称为单斜岩层或单斜构造。

要定量地研究变形、变位岩层的具体特征，首先要从岩层产状的分析入手。

倾斜岩层的产状 (Attitude) 系指岩层在三维空间的产出状态，它是以前岩层面在三维空间的延伸方位及其倾斜程度来确定的。倾斜岩层产状用产状三要素来表示，它包括岩层的走向、倾向和倾角 (图 2-5)。

(1) 走向 (Strike): 倾斜岩层的某一层面与任意水平面的交线 (或相同高度两点的连线) 称为该层面的走向线 (图 2-5 中的 AOB)。走向线的方位角叫做倾斜岩层的走向，即走向线两端所指的方向为走向，它表示岩层在空间的水平延伸方向。所以，岩层走向都有两个数值，两者相差 180° 。

(2) 倾向 (Dip): 在岩层层面上沿倾斜向下引出的走向线的垂线称为倾斜线 (图 2-5 中的 OD)。倾斜线在水平面上的投影方位角 (图 2-5 中的 OD') 叫做真倾向，简称倾向。在同一岩层层面上凡与走向线不直交的任一直线均为视倾斜线，它在水平面上的投影方位角称视倾向或假倾向。

(3) 倾角 (Dip angle): 倾斜岩层层面与任意水平面的最大锐夹角 (即岩层的倾斜线与它在水平面上的投影线之间的夹角) 称为该岩层面的真倾角 (图 2-5 中的 α)，简称倾角。凡是视倾斜线和它的水平投影线之间的夹角，叫视倾角或假倾角。视倾角总是小于真倾角。真倾角与视倾角的关系如图 2-6 所示，可用数学式表示：

$$\tan\beta = \tan\alpha \cdot \cos\omega$$

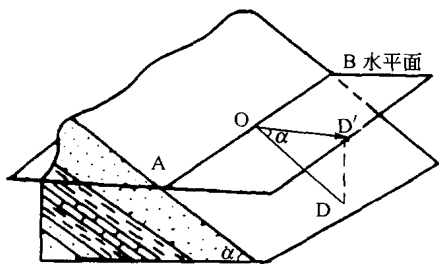


图 2-5 倾斜岩层产状要素

AOB—走向线；OD—倾斜线；

OD'—倾斜线的水平投影，箭头方向为倾向； α —倾角

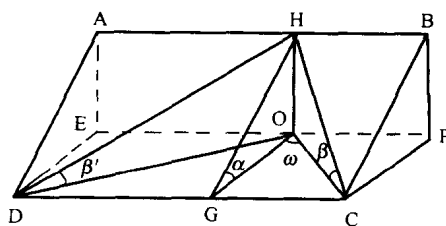


图 2-6 视真、倾角的关系

α —真倾角； β 、 β' —视倾角；

ω —真倾向与视倾向之间的夹角

倾斜岩层三要素的文字表示方法，目前还不统一，但由于地质罗盘的方位标记有的用象限角表示，有的用 360° 的圆周角表示，所以，文字表示方法最基本的也有两种：

(1) 象限角表示法：用走向/倾角、倾向象限表示。方位分别用四个象限来表示，如要表示走向北东 60° 、倾向 150° 、倾角 40° [图 2-7 (a)]，则写成 $N60^\circ E/40^\circ SE$ ，即走向为北偏东 60° ，倾角为 40° ，向南东倾斜。 $N30^\circ W/25^\circ SW$ 表示走向北偏西 30° ，倾角为 25° ，向南西倾斜。

(2) 方位角表示法：用倾向方位角 \angle 倾角表示。如 $330^\circ \angle 35^\circ$ (也可写 $NW330^\circ \angle 35^\circ$) 表示倾向是 (从正磁北顺时针量的方位角) 330° ，倾角为 35° [图 2-7 (b)]；又如 $15^\circ \angle 40^\circ$ 表示倾向方位为 15° (北东 15°)，倾角 40° 。这种表示法只记倾向和倾角，使用较简便。野外常用方位角法。

在地质图上常用特定的符号来表示岩层面的产状，常用的产状符号及其代表意义如下：

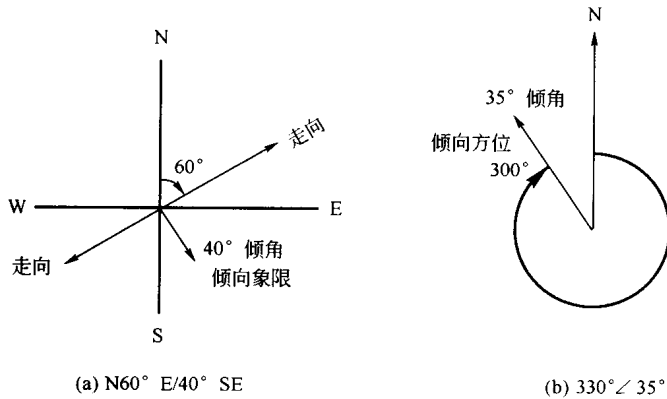


图 2-7 产状三要素的两种表示方法示意图

(a) 象限角法; (b) 方位角法

┆→30°长线为走向(线)、短线箭头示倾向、数字表示倾角。长短线要按实际方位标绘在图上;

┆水平岩层(倾角为0°~5°);

┆直立岩层,箭头指向新岩层,长线表示走向;

┆倒转岩层,箭头指向倒转后的倾向,即指向老岩层,数字为倾角,长线表示走向。

(二) 岩层面产状的确定

量测或求算岩层产状的方法较多,但是大体上可分为直接量测和间接求算两种情况。

1. 直接量测

在野外出露的岩层层面上直接用罗盘测量产状数据,这是常用而简便的方法(具体内容在实习中完成)。

2. 间接求算

在很多情况下,由于种种原因我们不能在野外直接测量岩层面产状,而要根据有关资料间接求得。产状要素的间接求法又可分为做图法和计算法两种(具体见实验相关内容)。

三、“V”字形法则

(一) 倾斜岩层出露特征

因为岩层是组成构造形态的物质单元,所以在一般情况下,分析构造现象首先从分析岩层入手。地质构造是变形或变位了的岩层,为了分析和研究岩层,就先要弄清岩层的分布特征。

露头宽度指的是野外岩层出露宽度的水平投影,也就是倾斜岩层在地质图上反映的宽度。倾斜岩层的露头宽度取决于地形(坡向和坡角)、岩层产状(倾向和倾角)和该岩层的厚度。这些可变参数的排列组合决定着不同情况和条件下的岩层露头宽度的大小。

(1) 当地形和岩层产状不变时,露头宽度取决于岩层厚度,厚者宽,薄者窄[图2-8(a)]。

(2) 当地形和厚度不变时,露头宽度取决于岩层倾角,倾角越小,露头宽度越大;倾角

越大，露头宽度越小 [图 2-8 (b)]。若是直立岩层，则露头宽度最小，近于或等于岩层的真厚度且不受地形的影响 (图 2-9)。

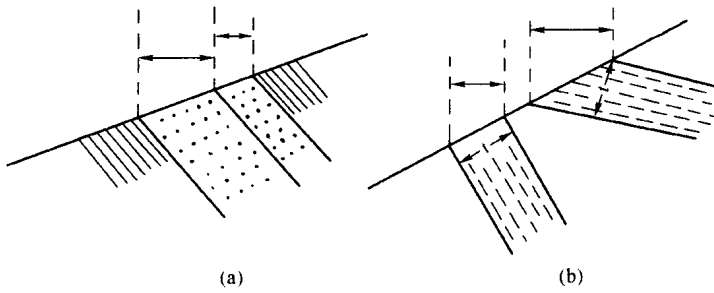


图 2-8 地形不变时露头宽度与厚度、倾角的关系

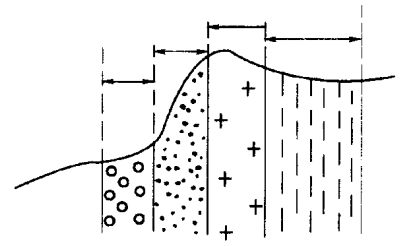


图 2-9 直立岩层露头宽度示意图

(3) 岩层产状和厚度不变时，露头宽度决定于地形、坡度和坡向。地形越缓，露头越宽；地形越陡，露头越窄。在陡峭的山崖上，露头宽度为零，即为一条线，造成岩层在平面上“尖灭”的假象 (图 2-10)。但必须注意例外的情况，在岩层倾向与坡向相同 (顺向坡) 且倾角大于坡角的情况下，坡角越大 (但不能大于倾角)，则露头宽度越大 (图 2-11)。

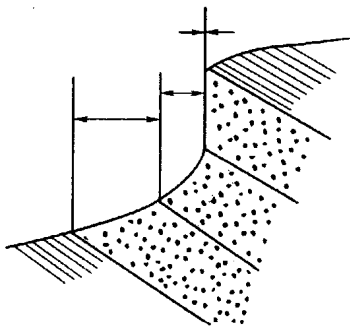


图 2-10 岩层产状与厚度不变时
露头宽度与坡度的关系示意图

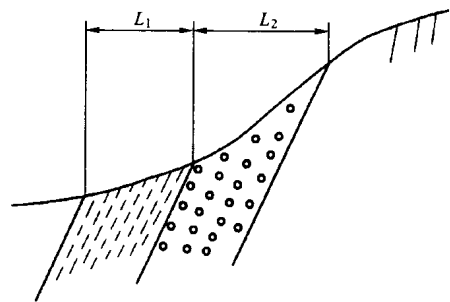


图 2-11 顺向坡 $\alpha > \beta$ 时露头宽度
与坡角的关系

总之，影响岩层露头宽度变化的因素较复杂，而且诸因素之间也相互影响与制约，因此在实际工作中对具体情况要具体分析上述三个因素 (或条件) 的变化，从而分析和总结出露头宽度的变化规律。

(二) “V” 字形法则

在一定的地形地貌条件下，倾斜岩层的分布特征表现在如下几方面的规律性：

- (1) 倾斜岩层在平面上以条带状分布 (地质图就是平面图，弯曲也是条带的一种)；
- (2) 在没有发生倒转时，岩层的排列顺序为沿倾向方向逐渐变新；
- (3) 倾斜岩层在地质图上的宽度 (指露头宽度) 取决于产状、地形和岩层厚度；

(4) 岩层的出露形态受岩层的产状和地形的影响。人们常把岩层出露形态和产状、地形之间的关系称为“V”字形法则，一般包括如下四个方面内容：①水平岩层出露形态真实地反映等高线的弯曲特征，地质界线随等高线的弯曲而弯曲 (图 2-12 I)；②直立岩层出露形态不受地形的影响，呈直线状 (图 2-12 II)；③逆向坡时，同向弯曲，地质界线的曲率 (或弯曲度) 小于地形等高线曲率，呈钝“V”字形 (图 2-12 III、图 2-13)；④顺向坡、

倾角大于坡角时，地质界线与等高线的弯曲方向相反，简称反向变曲（图 2-14），顺向坡、倾角小于坡角时，地质界线与等高线的弯曲方向相同，即同向弯曲，且地质界线的曲率（弯曲度）大于等高线的曲率，呈尖“V”字形（图 2-15）。

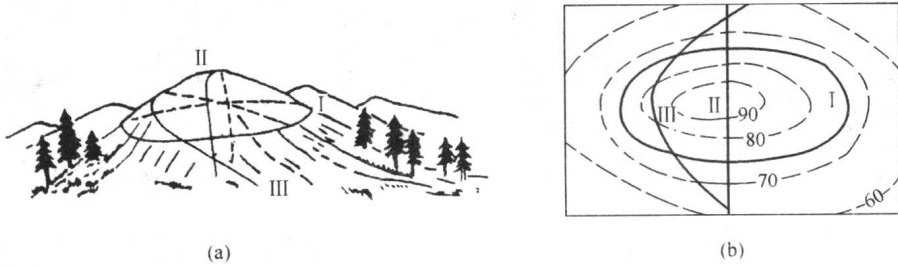


图 2-12 不同产状岩层的露头状态

(a) 立体图；(b) 平面图

I—水平岩层；II—直立岩层；III—倾斜岩层

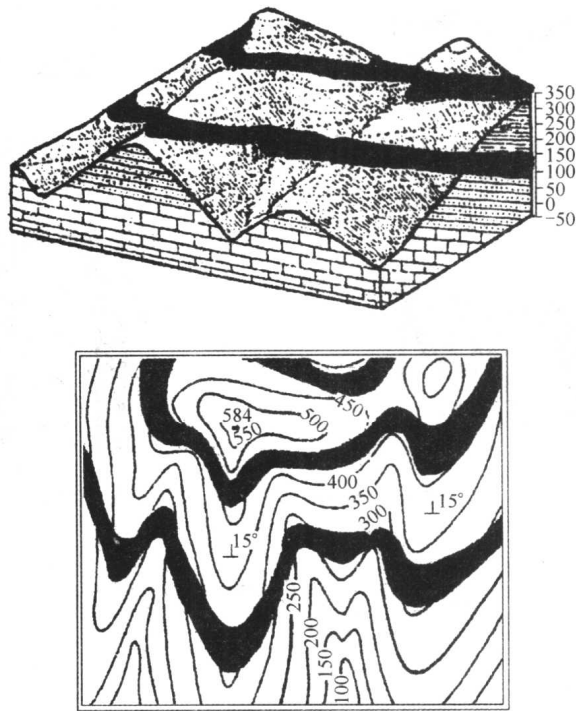


图 2-13 倾斜岩层分布形态之一

在野外填大、中比例尺地形地质图或在室内分析地形地质图时，运用“V”字形法则可以定性地分析不同地形上出露的各岩层的产状变化规律。“V”字形法则也可用于分析一切较平整的构造面，如断层面、不整合面等的露头线的分布形态。

从图 2-13、图 2-14、图 2-15 中可知：当岩层走向与沟谷或山脊延伸方向呈直交时，“V”字形大体对称；当两者斜交时，“V”为不对称型。若岩层倾向与沟谷方向一致，倾角与坡角也相等，则露头界线沿沟谷两侧呈平行延伸（图 2-16），只在上游沟谷坡度变陡处，岩层面或其他构造面横跨沟谷而出现“V”字形的露头形态。

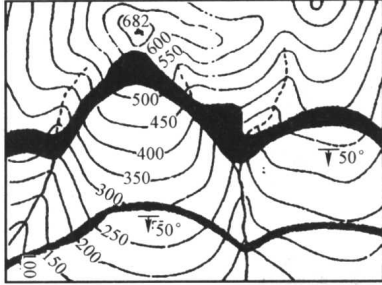
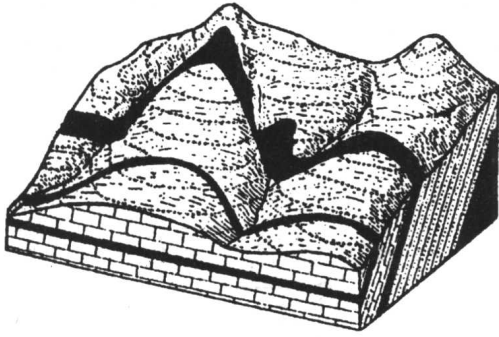


图 2-14 倾斜岩层分布形态之二
(据徐开礼等, 1984)

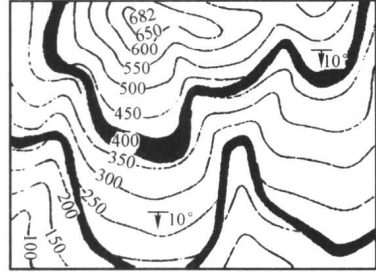
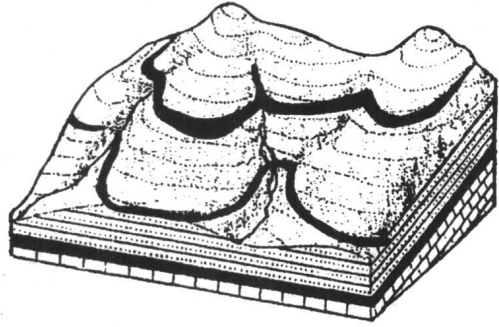


图 2-15 倾斜岩层分布形态之三
(据徐开礼等, 1984)

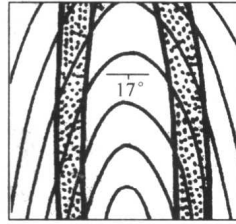
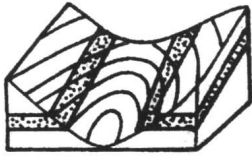


图 2-16 倾角与河谷坡角同时的岩层分布形态
(据 D. M. Ragan, 1973)

第二节 岩层厚度

一、厚度的有关概念

岩层的厚度 (Thickness) 是指岩层上下层面之间的垂直距离。同一岩层在不同地段或在同一地段不同部位, 其厚度会有明显变化, 甚至可能会出现岩层尖灭现象。它们有的是原来沉积时由于沉积物沉积的不均衡性所致, 而有的则是由于被后来的构造运动所改造的结果。倾斜岩层除了真厚度 (简称厚度) 外, 还有铅直厚度和视厚度。

铅直厚度就是岩层顶、底面之间的铅直方向距离。真厚度和铅直厚度之间的关系如下 (图 2-17):

$$h = H \cdot \cos \alpha$$

式中 h ——真厚度;

H ——铅直厚度;

α ——岩层真倾角。

当 $\alpha=0^\circ$ 时, $\cos\alpha=1$, 即水平岩层的铅直厚度 = 真厚度; 当 $\alpha>0^\circ$ 时, $\cos\alpha$ 的值总是小于 1, 故倾斜岩层的铅直厚度总是大于真厚度; 当岩层产状不变 (α) 不变时, 在任意方向的剖面上量得的铅直厚度都相等。

在不垂直于岩层走向的剖面上, 岩层顶、底界线之间的垂直距离 (而不是与岩层顶、底面垂直), 称为视厚度 (图 2-17)。

$$h' = H \cdot \cos\beta$$

式中 h' ——视厚度;

H ——铅直厚度;

β ——岩层视倾角。

因视倾角总是小于真倾角, 视倾角的余弦值总是大于真倾角的余弦值, 所以视厚度总是大于真厚度。

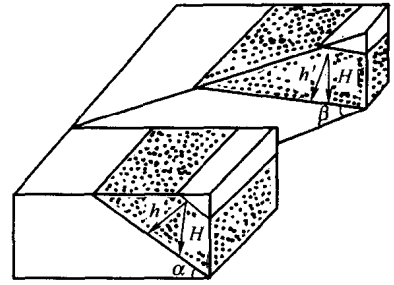


图 2-17 真厚度、铅直厚度和视厚度

h —真厚度; H —铅直厚度;

h' —视厚度; α —岩层真倾角;

β —岩层视倾角

二、倾斜岩层厚度的测算

在地质调查中, 为了研究地层的发育情况和地质构造特征, 需要测制一系列的地层剖面, 其中除了对地层的岩性、化石、时代和接触关系等方面进行仔细观察和研究外, 还要对各层的厚度进行测算。矿层、目的层 (如储油层) 的厚度及其变化是矿层评价的重要指标之一, 也是矿产储量计算的基本参数之一。

确定水平岩层的厚度比较简单, 只要知道岩层顶、底面的标高, 二者之高差即为岩层的真厚度。在野外可以用气压计直接测量出水平岩层的厚度。但倾斜岩层厚度的测算方法比较复杂, 一般是通过量测如下数据来确定: 一是地形 (包括地形坡度角和坡向); 二是岩层产状 (包括倾角和倾向); 三是岩层出露宽度。由于这三大因素之多变, 岩层的厚度和对厚度的计算方法也不相同。

下面就从最简单的情况开始阐述测算岩层厚度的方法。

(1) 直接在野外量厚度。当野外露头剖面与岩层走向相垂直时, 也就是在垂直于岩层走向的陡崖上, 或者在直立岩层的地面近水平时, 可以用尺子直接量得真厚度。当然, 这都属于特殊情况, 一般很少遇到。

(2) 根据钻孔资料计算。当有钻孔资料, 已知岩层的铅直厚度 H 和岩层产状 (主要是倾角 α) 时, 可用下面公式简单计算真厚度 h (图 2-17):

$$h = H \cdot \cos\alpha$$

(3) 野外实测。在多数情况下, 地层厚度的求得往往是通过野外地面露头实测剖面, 取得剖面导线方向与岩层倾向间夹角 (ω), 沿导线方向岩层顶、底线之间的距离 (L), 地面在导线方向的坡角 (β) 等数据来计算。下面公式是最复杂情况下求算岩层真厚度的列昂托夫斯基公式:

$$h = L \sin\alpha \cos\beta \cos\omega \pm L \sin\beta \cos\alpha$$

当导线前进方向与地形坡向相同 (顺向坡) 时, 取 “-” 号; 当导线前进方向与地形坡向相反 (逆向坡) 时, 取 “+” 号。

另外, 利用赤平投影法可较迅速而简便地求算岩层厚度。