第十一章　构造运动与地质构造

§11.1　构造运动特征

§11.1.1　构造运动的基本特征（basic characteristics of tectogenetic movement）

一、构造运动的基本形式（basic fashion of tectogenetic movement）

垂直运动和水平运动是构造运动的两种基本形式。垂直运动是指地壳物质沿地球半径方向上的运动；水平运动则是指沿地球切平面方向上的运动。

二、构造运动的时空规律（space-time regulation of tectogenetic movement）

（１）阶段性特征

构造运动的阶段性，表现为构造运动随时间的推移呈现出相对平静和急剧变化的阶段性特点。由一个平静时期和构造急剧变化时期构成一个构造旋回，也称为一个构造阶段。构造急剧变化的时期称为与构造阶段相对应的构造运动。

（２）空间上的差异性状况

由于地壳不同区域上的地质背景不同，构造状况上的诸多差异，从而表现出在一个构造阶段当中，构造运动往往局限于地壳上的某个或某些区域。在构造变动的区域范围内，由于不同部位上的地质条件的差别，不同地段上的构造变动强弱及表现形式也不尽相同，从而表现出空间上的差异状况。

§11.1.2 构造运动的基本表现（basic representation of tectogenetic movement）

沉积层具有层序性的特点，沉积层的层序性发育特征受沉积层分布区域的地壳运动状况的控制和影响，在不同的地壳运动状况将形成不同的沉积序列。

一、沉积间断（hiatus）

在没有地壳运动干预的情况下，沉积作用往往连续发生。当地壳发生垂直运动时，有可能出现沉积间断。

当沉积作用被一定幅度的地壳抬升影响后，沉积作用便会终止，原有的沉积环境随之转化为地表剥蚀环境，产生沉积间断。当区域地壳再度下降后，新的沉积又重新开始，这样在上、下两套沉积层之间形成了一个与侵蚀作用阶段相对应的侵蚀间断面。在间断面上，缺少相应的沉积记录，但往往留有古风化壳的残余和侵蚀冲涮的痕迹。

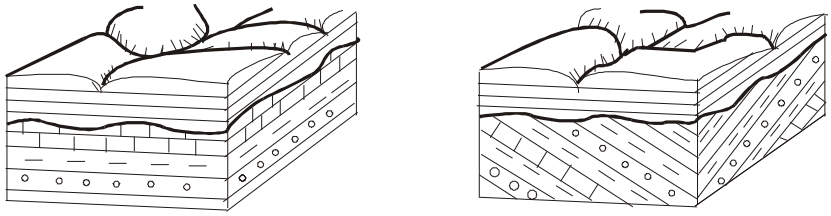


图 126　两套沉积层之间两种不整合接触关系

Figure 126　Two unconformity contact connection in two settled layers

沉积间断形成上、下两套沉积层之间的不整合接触关系。当上、下两套沉积层的层理平行时，谓之平行不整合。表明区域地壳垂直运动是整体性的；当上、下两套沉积层的层理相交时，谓之角度不整合。表明伴随区域地壳抬升过程中，岩层产生了构造变动。

二、沉积序列（sedimentary sequence）

（1）沉积相

在连续沉积中研究和分析地壳运动的过程，需要对沉积相（sedimentary facies）加以鉴别。

所谓沉积相是指沉积物及其形成环境的总和。由于地壳运动，引起沉积环境的种种变化，沉积环境的变化又造成了沉积物成分、结构上的各种变化。因此，通过沉积相的分析研究，可以对地壳运动的一些过程和特点进行分析。

在沉积分异当中，沉积物的组成和特征随沉积环境或沉积动力条件产生空间上的分异，我们称其为沉积分异。而在同一地点上沉积相随时间的推移发生改变，即出现上、下不一致的情况，可以推测发生了地壳运动。

（2）沉积层序

① 海进层序

以碎屑沉积为列。海进层序（transgressive sequence）是指在沉积序列中，自下而上，沉积物的粒度由粗变细的沉积序列（图 127）。

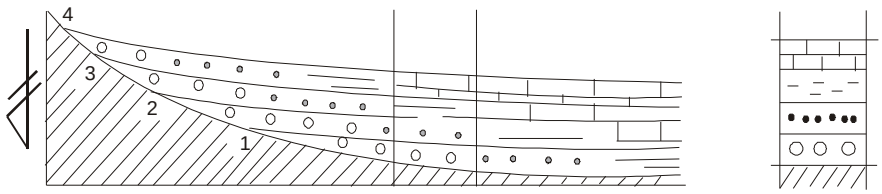


图 127　地壳下降与海进序列

Figure 127　Lithosphere descend and transgressive sequence

在区域地壳持续下降阶段，引起海平面相对上升和海岸带向大陆方向扩展的海进过程，在同一地段的水深不断加大，沉积动力减弱，沉积物变细。

② 海退层序

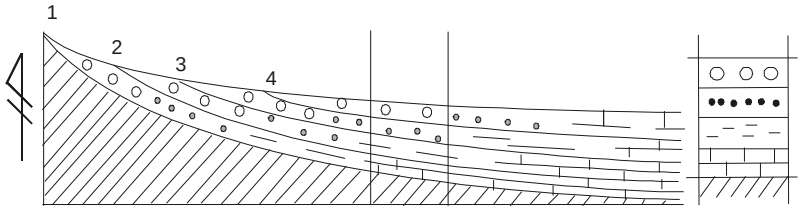


图 128　地壳上升与海退序列

Figure 128　Lithosphere descend and transgressive sequence

仍以碎屑沉积为列。海退层序（regression sequence）是指在沉积序列中，自下而上，沉积物的粒度由细变粗的沉积序列。

在区域地壳持续上升阶段，引起海平面相对下降和海岸带向外海方向退缩的海退过程，在同一地段的水深不断减小，沉积动力渐强，沉积物变粗（图 128）。

③ 旋回层

一个海进层序和一个海退层序组成一个旋回层（cyclothem），并形成一个沉积旋回。一个沉积旋回是在地壳先下降、后上升的一个构造旋回中产生的。

三、岩石变形与岩层产状（rock deformation and rock layer occurrence）

地壳的构造变动不仅引起地表地质过程的变化与发展，在很多情况下还引起地壳中原有岩石变形。组成地壳的岩石物质属于弹、塑性特质，既存在弹性变形，也存在永久性变形。

（１）弹性变形与地震

弹性变形是在岩石受力情况下在弹性变形的极限内发生可恢复的弹性变形。地震是地球弹性能的释放形式，但在地震过程中往往出现地裂缝等永久性的变形。

（２）岩石的永久性变形

岩石的永久性变形是在岩石受力超过其弹性极限后发生的塑性变形，或岩石受力超过其强度极限发生的断裂变形。这些变形永久地保留在岩石当中，也为我们研究地壳运动的受力情况及地壳运动规律、地壳运动的动力来源提供了重要的信息。

岩石变形按其变形前后的连续性，分为褶皱变形和断裂变形。沉积层是标征这些变形的极好的岩石类型。与沉积层原有的平整性和连续性相对照，当沉积层出现弯曲变形时，形成褶皱变形（图 129）；当沉积层不连续时，则出现了断裂变形（图 130）。

（3）岩层产状

岩层受力变形后，局部地段形成的相对平整部分的产出状态称为岩层产状。岩层产状主要有水平岩层、倾斜岩层和直立岩层三种产状类型。



图 129　褶皱

Figure 129　Drape

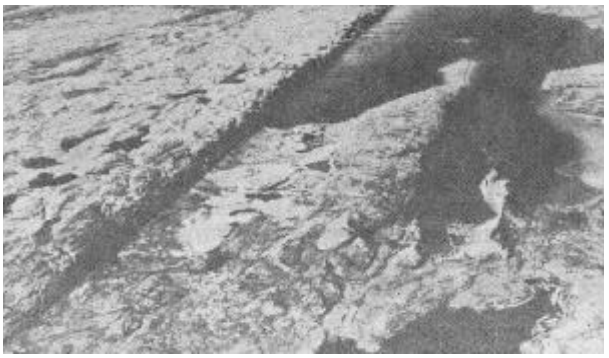


图 130　断层

Figure　130　Faultage

§11.2　褶皱构造变动

§11.2.1 背斜褶曲和向斜褶曲（anticline buckle and syncline buckle）

一、褶皱和褶曲（fold and buckle）

在连续的褶皱构造变动力中，沉积层中出现一系列的多个波状弯曲，统称褶皱。其中的一个弯曲叫褶曲(图 131、图 132)。

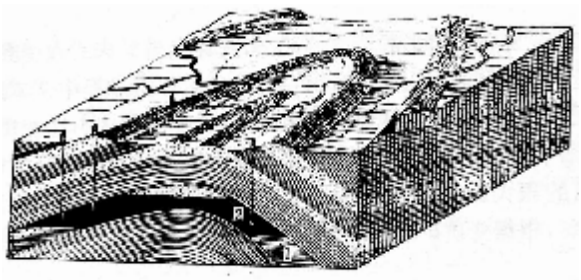


图 131　背斜褶曲中的油气藏

Figure 131　Hydrocarbon reservir in anticline buckle

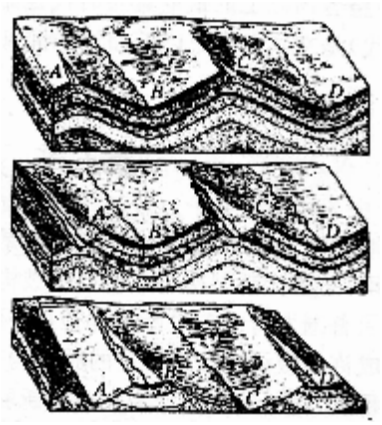


图 132　褶曲的构造地貌发展

Figure 132　Folded tectonic landform development

二、背斜褶曲和向斜褶曲（anticline buckle and syncline buckle)

背斜和向斜褶曲是褶皱中的两种基本型式。背斜褶曲是指弧顶向上的弯曲；向斜褶曲是指弧顶向下的弯曲。背斜褶曲与向斜褶曲相互邻接，交替出现。

§11.2.2 褶曲的基本要素（folded basic element）

一、翼、转折端与核（ala、dogleg end and kernel）

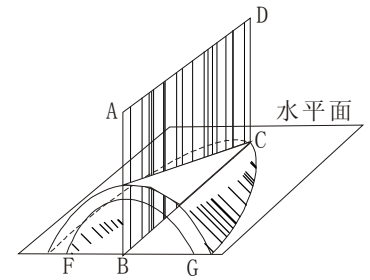
褶曲的翼是指其两侧相对平整的部分，即图中的 EF 和 FG 段。转折端是两翼之间相互过渡的连接部分，位于 F、G 附近或 FH 线附近（图 133)。

在多个沉积层组合情况下，外部的沉积层构成翼，内部沉积层构成褶曲的核。核部的岩层有的时代老，有的时代新。

二、轴面和轴（axial plane and axes）

褶曲的轴面通常是指两翼切平面的平分面，即 ABCD 面。

轴是指轴面与岩层面的交线，在 EGH 曲面中与轴面的交线为线 FH。



核:B；两翼:EF与EG；轴面：ABCD；轴：BC；枢纽：EC；倾伏端：C

图 133　褶曲的基本要素

Figure 133　Buckle basic elements

§11.2.3 褶曲形态及产状(buckle morphology and occurrence)

一、褶曲形态(buckle morphology)

褶曲形态多种多样，根据岩层厚度的变化及岩层顶、底面之间的关系，可以将褶曲分为等厚褶曲、顶厚褶曲、顶薄褶曲和相似褶曲（ramsay)；根据转折端形态，有尖棱褶曲、箱形褶曲等。

二、褶曲产状(buckle occurrence)

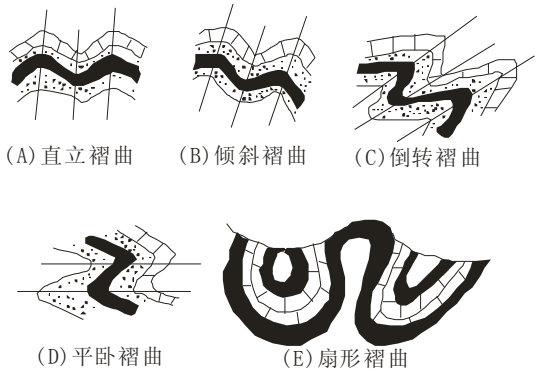


图 134　褶曲产状

Figure 134　Buckle occurrence

褶曲产状是指褶曲在空间上的状态。可以通过轴面和轴的产状加以描述。其中，轴面有直立、倾斜、水平等产状变化，轴面的产状反映了褶曲的形态。轴有水平、倾伏、倾竖产状变化。二者组合后形成以下褶曲产状：直立水平褶曲、倾斜水平褶曲、平卧褶曲、直立倾伏褶曲、斜卧褶曲、倾竖褶曲和扇形褶曲等（图 134）。

§11.3 断裂构造（一）节理

§11.3.1 节理与断层的基本概念

节理与断层都属于岩石破裂。节理与断层的区别在于：当岩石破裂面两侧的岩块没有明显的相对位置移动时，称为节理(joint)；若岩石破裂面两侧的岩块有明显的相对位置移动，则称其为断层（faultage)。

破裂面两侧位置移动是否明显，就观察尺度而言，节理通常局限在手标本上；断层则以地质露头、填图尺度为基本的尺度。除了观察尺度外，节理与断层还存在其它的相关的地质标志，如节理面比较简单，断层破裂面比较复杂，常形成构造破碎带和动力变质岩-断层岩。



图 135 大理岩受压形成两组剪切节理(据 Pasterson)

Figure 135 Two stes sheared joint of pressed marble

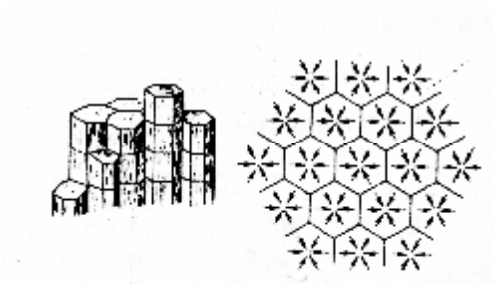
从岩石变形发展看，当岩石受力达到其强度极限时，首先在岩石中的构造缺陷部位产生应力集中，出现格里菲斯微破裂，微破裂进一步扩展、连通形成宏观破裂。宏观破裂的最初形式是节理（图 135），继之发展为断层。由于岩石的性质不同，岩石所处的地壳深度及地球物理环境上的差异，以及岩石受力状况的不同等，岩石变形过程及变形特点也存在非常大的变化。

§11.3.2 节理的地质作用(geologic function of joint)

一、成岩节理（formed rock joint）

成岩节理是指在成岩阶段产生的节理。象岩浆岩冷凝过程中由于收缩而出现的节理，石灰岩成岩过程中压-溶形成的缝合线节理等（图 136）。

成岩节理在地质分布上的突出特征是与岩石的分布范围相吻合。



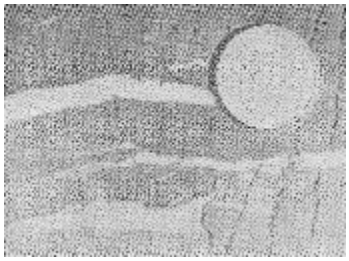


图 136 几种典型的成岩节理（玄武岩柱状节理、石灰岩缝合节理）

Figure 136　Several typical formed rock jointings （basalt columnar joint、limestone sewing joint）

二、构造节理（structure joint）

构造节理是在地应力的作用下，岩石受力变形产生的节理。构造节理在地质分布上与地应力场作用范围一致，它可能性切穿不同的岩石体。

构造节理常成组出现，节理组是指具有相同产状和力学性质的一系列节理的集合。两个相伴出现的节理组构成节理系，“X”型节理系是典型的构造节理系。

三、风化节理（airslake joint）

岩石处于地表风化带内，受风化作用的影响产生的岩石破裂。

风化节理在地质分布上应局限于风化带范围。节理不规则，空间规律性不强。

§11.3.3　节理的力学成因类型(mechanics cause types of joint)

按照产生节理的力学性质，节理可分为张节理和剪节理。

一、张节理（expansion joint）

由于岩石受张应力的作用，产生的岩石张破裂。张节理垂直于张应力方向，具有上部宽、下部窄的形态特征。

张节理形态复杂，末端分叉呈树枝状。空间规模小。当遇到砾石时，绕过砾石（图 137）。

二、剪切节理（shearing joint）

剪切节理中的破裂面较平直、简单。延伸较远，当遇到砾石时，通常切过砾石（图 137）。

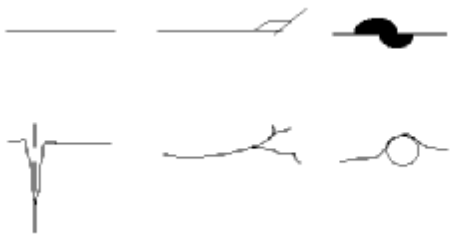


图 137　张节理与剪切节理特征对比

Figure 137　Character comparison of expansion joint and shearing joint

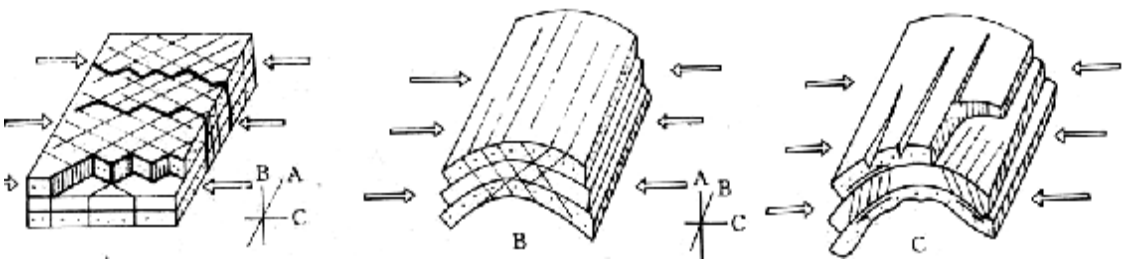


图 138　构造节理在岩层受力变形过程中的发育情况（据宋春青）

Figure 138　Development situation of structure joint during the process of rock layer constrained

§11.4 断裂构造（二）断层

§11.4.1 断层要素(faultage element)

一、断面及断层线（fractured surface and faultage line）

断面是指断层带中假想的面，也可以是一个简单的破裂面。断面在地表面上的出露线称断层线。断层线随断面产状不同呈现与地形等高线不同的关系。并可以通过“V”字形法则判断断层面与地形之间的关系。

二、断盘（fragment）

断盘是指断层破裂面两侧的岩块。按断盘与断面的位置关系分为上盘和下盘；按其方位分为东盘和西盘，或南盘和北盘。

§11.4.2 断层的运动学分类(kinematics classification of faultage)

一、断层的运动学分类(kinematics classification of faultage)

（1）正断层

在断面倾斜的断层中，断层的上盘相对向下移动，下盘相对向上移动的一种断层运动方式（图 139），称为正断层(normal fault)。在自然界中，正断层常以一定的组合型式出现（图 140）。

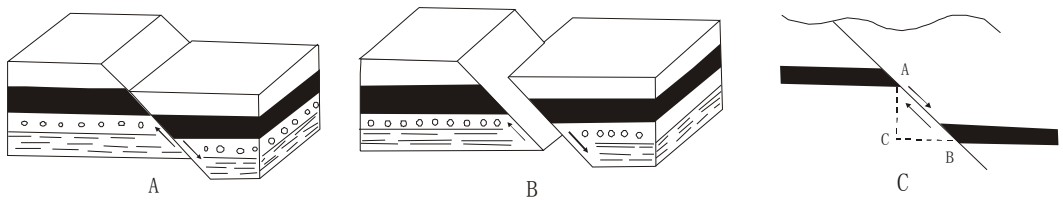


图 139　　正断层

Figure 139　Normal fault



阶梯状组合及盆岭系　　地堑构造　　地垒构造

图 140　三种正断层的组合型式

Figure 140　Composite moulds of three normal faults

（2）**逆断层**

逆断层（reverse fault）在断面倾斜的断层中，上盘相对向上移动，下盘相对向下移动的一种断层运动方式（图 141）。

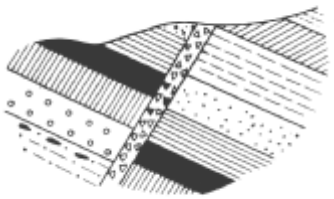


图 141　逆断层

Figure 141　Reverse fault

（3）**平移断层**

在断面陡倾的情况下，断层两盘在水平方向上相互错动的断层运动方式，即平移断层（wrench fault）。

二、断层的应变特征（straining characteristics of faultage）

（1）正断层的应变特征

正断层在垂直运动的同时，产生垂直方向上的减薄和水平方向上的构造伸展（图 142）。

（2）逆断层的应变特征

逆断层在垂直运动的同时，产生垂直方向上的堆垛和水平方向上的构造缩短。

（3）平移断层的应变特征

平移断层在垂直和水平方向没有明显的断层应变效应。

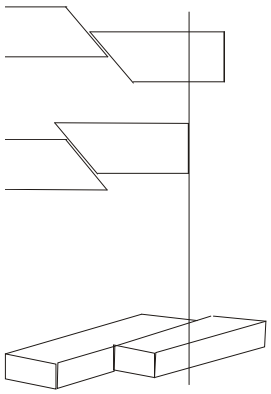


图 142 三种断层应变状况对比

Figure 142　Strain status contrast of three faultages

§ 11.4.3 断层的力学分析（mechanics analyse of faultage）

正断层、逆断层和平移断层分别是在水平方向上的

构造拉张、构造挤压和剪切作用背景下产生。

它们与褶皱构造的空间关系是：正断层一般表现为横向断层；逆断层表现为纵向断层。平移断层作为构造变形的一种调节，常与其它两种断层相伴出现，或其它两种性质的断层兼有之。

§11.4.4 断层识别(faultage identification)

一、地质标志(geological attribution)

（1）断层带、断层岩、断层擦痕和脉体或矿体

断层带是指断层破裂面和断层岩等构成的岩石破裂带、强变形地带。

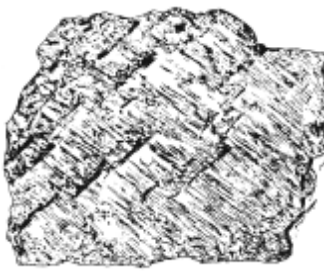


图 143　断层带岩石擦痕

Figure 143　Rock scrape in faultage belt

断层岩是发育于断层带中的动力变质岩。由于地应力集中，使岩石发生变形、变质而形成。断层岩包括断层角砾岩、碎裂岩和糜棱岩。

地壳浅部断层形成过程中，由于岩石之间相互移动、磨擦，在岩石破裂面上形成擦痕（图143）。

断层带中的岩石破裂，为地下岩浆和含矿热液提供了通道和储集的场所，常出现脉体或矿体。

（2）邻断裂构造

在断层带的邻近地段出现的节理、小褶皱等构造现象。

（3）岩层与构造不连续

当断层走向与地层走向有一定交角时，尤其是倾向断层中，经过断层活动后，原有的岩层会变得不连续。

（4）岩层的重复与缺失

当断层走向与地层走向一致的情况下，在正断层和逆断层活动中，会引起岩层序列上的变化，或者某些岩层重复出现在断层两侧，或者某些岩层在断层附近缺失。

二、地貌标志(landform attribution)

（1）断层谷地与线状地貌突起

断层带中破碎的岩石，易受外力侵蚀，形成负地形。当断层带中存在坚硬的断层岩时，由于差异风化，断层岩呈线状出露在地表。

（2）水系突然急转弯、山脉突然中断

由于断层的存在，尤其是平移断层的作用，水系受断层影响突然转弯，山脉突然中断。

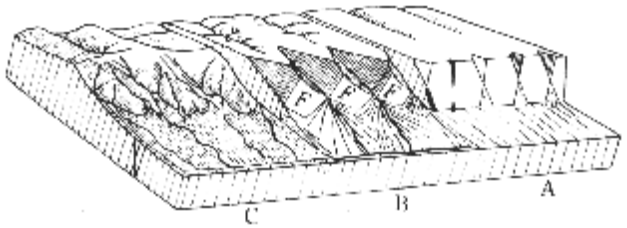


图 144　断层崖、断层三角面

Figure 144　Fault scarp and triangular facet

（3）泉、湖、火山锥的线状排列

断裂带常为地下水和岩浆提供通道，从而形成沿断裂带分布的线状泉、湖、火山锥等地貌。

（4）断层崖和断层三角面

断层崖一般是断层面露出地表形成的悬崖，然后在流水的侵蚀切割作用下形成“V”字形谷，谷与谷之间形成一系列断层三角面（图 144）。

思　考　题

1. 什么是地质构造?简述地质构造的基本特征和表现形式。
2. 为什么雁列节理局限发育在剪切带中？挤压或拉张环境中能否形成雁列节理？
3. 利用节理恢复古应力场有何种条件限制？
4. 试分析褶皱的形态与形成褶皱的岩层之间的关系？
5. 如何根据褶皱中的劈理域轴面的关系判断褶皱的背向斜？
6. 研究断层岩有何意义？
7. 列举在野外实地观察时，识别断层的主要标志。
8. 如何识别断层的上下盘以及上升盘和下降盘？
9. 如何识别两期断层作用的先后顺序？
10. 简述断层存在的证据。

参 考 文 献

1. 朱志澄、宋鸿林. 构造地质学. 北京:中国地质大学出版社，1990.

2. 刘本培等主编. 地球科学导论（教育部面向 21 世纪课程教材）.北京:高等教育出版社出版，2000.

3. 于在平等主编. 地质学概论.（教育部面向 21 世纪课程教材）.北京:高等教育出版社出版，2000.

4. Miller.Enviromental Science. International Thomson Publishing， 1995.

5. 夏邦栋.普通地质学. 地质出版社，1984.