

# 构造地质学教学方法探索

郑求根,吴怀春,刘 豪,辛仁臣

(中国地质大学(北京),北京 100083)

**摘要:**构造地质学是地质学的一门重要分支学科,也是地学类各专业的基础课程,知识点多,课时紧,学习难度大。结合多年来的教学实践,对构造地质学的教学方法进行探索,提出精心讲好绪论,间以课堂现场小实验,巧用图示物理模拟结果,实物演示变形变位规律,尽量揭示地质构造的内在关系,灵活运用剖面图、平面图和立体图,注重力学机制分析,讲课过程中前后内容穿插,互相对比,建立联系,密切关系,形成体系,帮助学生理解和掌握基本理论、基本方法和基本技能。

**关键词:**构造地质学;教学方法;实验;图示;力学分析

中图分类号:G642

文献标志码:A

文章编号:2096-000X(2022)35-0114-06

**Abstract:** Structural Geology is an important branch of geology, and it is also a basic course of various geological specialties with many knowledge points, tight class hours and difficult learning. Based on years of teaching practice, this paper explores the teaching methods of Structural Geology, and puts forward the following methods: The introduction should be carefully explained and small experiments should be done in the classroom occasionally. The results of graphic physical simulation should be skillfully used, the laws of deformation and displacement should be demonstrated in kind, the internal relations of geological structures should be revealed as much as possible, the profile, plan and stereogram should be flexibly used and the analysis of mechanical mechanism should be emphasized. During the lecture, the content before and after is interspersed, compared with each other, connected, closely related and formed into a system so that we can help students understand and master basic theories, basic methods and basic skills.

**Keywords:** Structural Geology; teaching method; experiment; diagrammatic presentation; mechanical analysis

构造地质学是地质学的主要分支学科,是地学类各专业的基程课程,也是相关地学专业课进一步学习的基础,涉及岩石学、地层学、材料力学、理论力学、流变学等众多的学科,概念多,理论多,研究对象时空变化大,需要有时空想象力<sup>[1-3]</sup>,而且实践性很强。构造地质学的内容不能单纯靠记忆,更重要的是理解、空间想象和实际应用。不仅仅是要知道自然界中可能出现的构造现象,还要知道这种构造现象是怎样形成的(形成机制),还要探索可能在什么条件下什么地方出现(预测),不仅要描绘构造形态(几何学),还要追寻它的变形轨迹(运动学),不仅要分析其变形的历史(构造演化),还要探求发生变形的动力学来源(动力学)。因此,构造地质学是一门学习难度较大的专业基础课程。

## 一、构造地质学教学中存在的问题

由于构造地质学课程内容繁多,知识点庞杂,课时紧张,既有较多的基础理论,又需要进行大量的实践,要求培养较强的空间想象能力和实际动手能力,学生们普

遍反映这门课程难度大,不好学。有些学生对课程的性质认识有偏差,没有认识到该课程的重要性,学习动力不足,因而学习兴趣不高。有部分同学死记硬背,没有掌握学习方法,对于时空变化大,情况变化多的研究对象没有吃透,对于一些重要的概念和理论没有理解,对于一些基本的技能没有真正掌握,不能灵活地加以运用。

## 二、构造地质学的教学方法

构造地质学的研究对象是涉及四维空间中的地质构造,涉及位态、机制、演化等复杂的时空问题。如何提振学生的学习热情,并采用清晰易懂的方式把各个地质构造现象解析清楚,引导同学们勤学苦练,对于每位教师而言都是值得思考的问题。

### (一)精心准备并讲好绪论部分

绪论部分讲好了,可以使学生精神为之一振,信心大增,求知欲迅速增强,为学好这门课程开了一个好头。

作为第一堂课的绪论部分应该讲清楚什么是构造,什么是构造地质学,构造地质学与其他学科相比的地位

和作用,构造地质学的基础,构造地质学的难点,构造地质学的研究和学习方法,强调时空观的培养,阐明构造地质学的理论意义和实际意义,以及构造地质学的指导思想。

构造就是组成地壳的岩石、岩层和岩体在岩石圈中力的作用下发生变形或变位形成的各种现象<sup>[4]</sup>,而构造地质学就是研究构造的一门学科。研究的内容包括构造的几何形态、组合型式、形成和演化机制,引起构造变形或变位的作用力的方向、方式和性质。研究手段可以分为构造几何学(重在结构形态)、构造运动学(重在变形轨迹)、构造动力学(重在动力来源)、构造历史分析(重在沉积岩、岩浆岩、不整合和构造旋回特征)。因为地质学的一个基本研究内容就对地球物质和结构状态的研究,前者是岩石学和地球化学的研究范畴,后者是构造地质学的研究范畴,由此可见构造地质学的重要性。构造地质学、矿物岩石学及古生物地层学是地质学的三大支柱学科。矿物岩石学和古生物地层学是构造地质学研究的基础,彼此之间必须密切配合,才能使构造地质学在理论方面和生产实践方面发挥其独特的重要作用。构造地质学的难点在于理论与实践的高度结合,理论性和实践性都很强,既要有较强的空间观,又要有较强的时间观,而且还要将空间思维与时间思维相结合。构造地质学的学习和练习,对于地质工作者需要具备的“地质思维”培养将有很大的帮助,因此需要同学们投入较多的时间进行学习、理解和训练。讲清课程的结构和学习要求,使同学们做到心中有数,说明动手实践的重要性,加强时空想象,避免死记硬背。地质构造是构造运动的结果,我们无法直接观察它们的形成过程,只能通过物理模拟和计算机模拟来再现。构造地质学中实验数据和结果是重要的分析依据,随着透射电镜、高温高压设备的引入,从定性到定量,从宏观的岩石实验到微观的模拟矿物变形实验,从常温常压下的实验到高温高压下的实验,实验条件有了很大的进步。野外地质调查和地质填图是研究地质构造的重要手段,在地质制图过程中会充分利用航空照片和卫星照片。地下构造分析需要充分利用地球物理资料和钻探资料。广义的构造地质学按研究对象的规模分为大地构造学(形态)构造地质学、显微构造学和构造物理学。中国地质大学(北京)地质学专业,以变形构造地质学为专业基础课,以大地构造学为专业主干课,以显微构造学为专业选修课<sup>[5]</sup>。构造地质学的意义在于阐明地质构造空间分布特征和时间发展规律,探讨构造运动的动力学起源,其实际意义在于运用地质构造的客观规律,解决矿产的分布以及水文地质、工程地质和地震地质问题,需要举出一些生动的实例来

说明地质构造与内生矿床密切关系,地质构造对沉积矿产如油气与煤炭形成和分布的重要影响,地质构造研究对防灾减灾中的重要作用。

构造地质学中的一些概念和术语是在演变的,比如Tectonics,现在是指大地构造学,而早先的含义包含很广,大构造和小构造都包含在里面,后来由于工作的需要不同,观察的方法增多,研究的尺度有大有小,才有了大构造、小构造的分别,Tectonics才慢慢地被专用于大地构造。构造地质学的指导思想也是在演变的,需要给同学们强调现今的指导思想是活动论,其核心是水平运动为主导,渐进与突变相结合的旋回式发展。构造的形成和演化是多因、多级、多时、多性的。

### (二)现场小实验具有强烈震撼作用

岩石的抗压强度远大于抗张强度,抗剪强度大于抗张强度而小于抗压强度,前人做了很多实验得出了这一结论,因此在自然界中张节理和剪节理容易产生,而压节理很难出现。我们在讲授这部分内容时,不妨用教室里现存的粉笔在现场做一个小实验:取出一支粉笔来,首先用手施以挤压,尽管使了很大的劲,没有发生破裂。然后换一种受力方式,用两只手在粉笔的两端轻轻一拉,粉笔就从中间断裂了,这可以定性地说明材料的抗压强度远远大于抗张强度,这种实验可以重复,可以再现,成本低廉,但却给同学们留下了一个深刻印象。

### (三)图示物理模拟实验结果最有说服力

褶皱的成因机制有纵弯褶皱作用、横弯褶皱作用,剪切褶皱作用和揉流褶皱作用,纵弯褶皱作用的一个最大的特点就是平行于岩层面的作用力使得受力弯曲的岩层存在一个中和面,中和面上既不拉伸也不压缩,作用力为零;从中和面向外凸的部位处在拉伸力的作用下,从中和面向内凹的部位处在挤压力的作用下<sup>[6]</sup>。为了使同学们理解纵弯褶皱作用存在中和面的事实,我们可以展示一下物理模拟实验结果的示意图(图1)。如图1(a)所示,如果我们在泥巴模拟实验的时候,在给试件施力前,在试件的侧面有规律地盖上圆圈印,当给试件施以平行于层面的作用力后,圆圈的形状就会发生变化(图1(b)),外侧的圆圈会变成长轴平行于层面的椭圆,说明外侧处在拉伸状态,愈往外椭圆愈扁,说明愈往外拉伸力愈大;内侧的圆圈会变成长轴垂直于层面的椭圆,说明外侧处在挤压状态,愈往内椭圆愈扁,说明愈往内挤压力愈大。在靠中间的部位,存在一串圆圈的形态不变的条带,说明既不拉伸,也不压缩,这就是中和面的位置(图1(b))。

纵弯褶皱中和面的存在,可以解释很多构造地质现象,比如为什么弯曲岩层的外侧变薄,内侧变厚,为什么

弯曲岩层外侧可以形成张节理、正断层,而内侧可以形成挤压小褶皱或小型逆断层,为什么在很多地方的地形

特征表现为本来原始位置较高的背斜后来为谷,本来原始位置较低的向斜后来却为峰,等等。

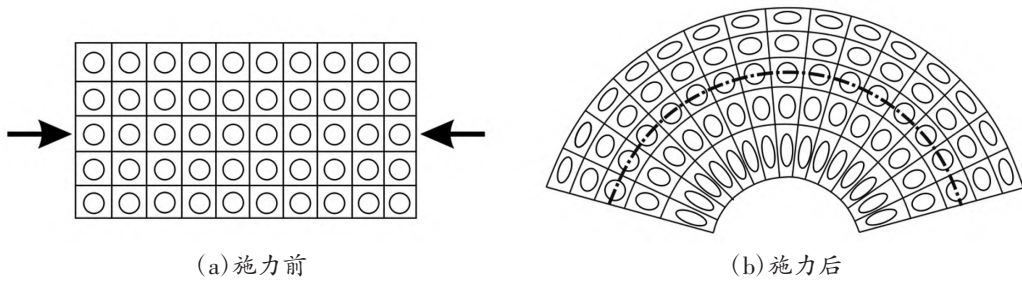


图1 纵弯褶皱模拟实验试件侧面圆圈形状变化示意图(b图据 Hobbs, 1976)

(四)用手头的实物展示变形变位规律具有很好的启发作用

比如岩层发生弯曲时,岩层之间可能会发生错动,那么岩层是如何错动的呢?要讲清这个问题,实际上是比较难的,怎么办呢?我们可以用一本稍微厚一点的书本,使其发生弯曲,如图2所示,虽然书本有一侧是装订好了的,我们也能看出层与层之间的错动方向:凸侧岩层相对往转折端方向移动,凹侧岩层相对往翼部方向运动这个重要结论。如果忘记了,重新做一下这个实验就会想起来,理解也会越来越深刻。

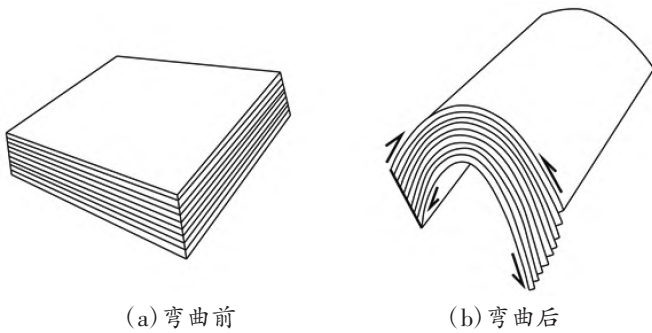


图2 用书本弯曲演示岩层间的相对错动方向示意图

(五)对比容易混淆的现象或概念揭示内在联系切实可行

我们知道,背斜、向斜是常用的术语,殊不知用错的机率还很大,原因在于描述褶皱形态除了背斜、向斜外还有背形和向形。背斜与向斜是根据组成褶皱核部和翼部地层的相对新老关系来定义的,如果核部的地层较老,翼部的地层较新,即为背斜,如果相反,核部的地层较新,翼部的地层较老,则为向斜。背形与向形是根据褶皱的形态来定义的,如果褶皱面上凸起弯曲,则为背形,如果褶皱面下凹式弯曲,则为向形。背斜与背形,向斜与向形虽然感觉上相近,出发点却是很不相同,含义相去甚远,但也有统一在一起的时候,很容易混淆。我们可以用图3得到很好的说明,我们可以画一个大的复式褶皱,这个复式褶皱的一个翼的地层层序是正常的(图3左上翼),另一个翼的地层层序是倒转的(图3右下翼),

可以看出来,在地层层序正常的一翼,背形与背斜、向形与向斜统一在同一个褶皱实体里,在地层层序倒转的一翼里,背形与向斜、向形与背斜统一在同一个褶皱实体里。也就是说,当我们看到一个背形,不能轻易地说它是一个背斜,因为当地层层序倒转的时候,背形却是一个向斜,当我们看到一个向形,不能轻易地说它是一个向斜,因为当地层层序倒转的时候,向形却是一个背斜,只有在地层层序正常的前提下,背形才是背斜,向形才是向斜。同学们看到这样的图示,听到这样的讲解,就会恍然大悟,彻底明白这些概念的内涵和用法。

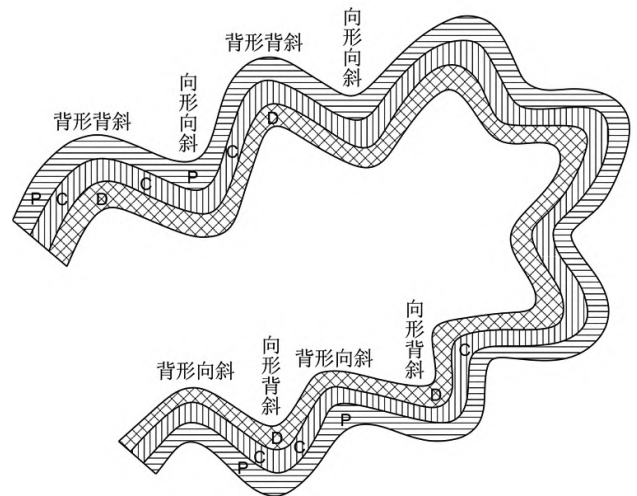


图3 背形、背斜、向形、向斜解释示意图

(六)灵活用好剖面图、平面图、立体图,可能会收到事半功倍的效果

比如讲到断层效应时,我们可以灵活地用好剖面图和立体图。

断层效应问题,不仅是断裂构造部分最难的,也可以说是构造地质学里最难的内容。原因是各种情况多,纷繁复杂,需要很强的空间想象和逻辑思维能力。当我们的空间想象力还不够强时,必然要借助剖面图和立体图来加以展示,找出规律,增强想象力。

1. 走向断层的断层效应应用剖面演变图效果最佳  
所谓走向断层,就是指断层的走向与岩层的走向近

于平行。如图4-1A所示,断层的倾向与岩层倾向相反,图4-1B反映发生正断,图4-1C反映剥蚀夷平后,在地表从左至右数一数出现的地层编号,就能直接看出断层的左侧有地层5、6、7层,过断层后有6、7、8层,产生地层重复现象。当断层的倾向与地层倾向相同,断层倾角大于地层倾角时(图4-2A),发生正断(图4-2B),图4-2C反映剥蚀夷平之后,在地表上观察能直接看出断层作用引起了地层的缺失。当断层的倾向与岩层倾向相同,断层倾角小于岩层倾角时(图4-3A),发生正断(图4-3B),遭受剥蚀夷平后(图4-3C),从地表观察,地层又是重复的。以上是走向正断层引起的断层效应。

走向逆断层产生的断层效应与走向正断层引起的

断层效应刚好相反,当断层的倾向与岩层的倾向相反(图4-4A),发生逆断时(图4-4B),剥蚀夷平后(图4-4C),能从地表看出来断层效应是地层的缺失;当断层的倾向与岩层的倾向相同,断层的倾角大于岩层的倾角时(图4-5A),发生逆断(图4-5B),剥蚀夷平后(图4-5C),从地面上看,发生了地层的重复现象;当断层的倾向与岩层的倾向相同,断层的倾角小于岩层的倾角时(图4-6A),发生逆断(图4-6B),剥蚀夷平后,从地面上观察,断层效应表现为断层活动引起了地层的缺失。

以上6种情况,虽然看起来繁杂,但变化是有规律的(表1),即“相邻相反”,只要知道了其中的一种断层效应,其他五种断层效应也就知道了。

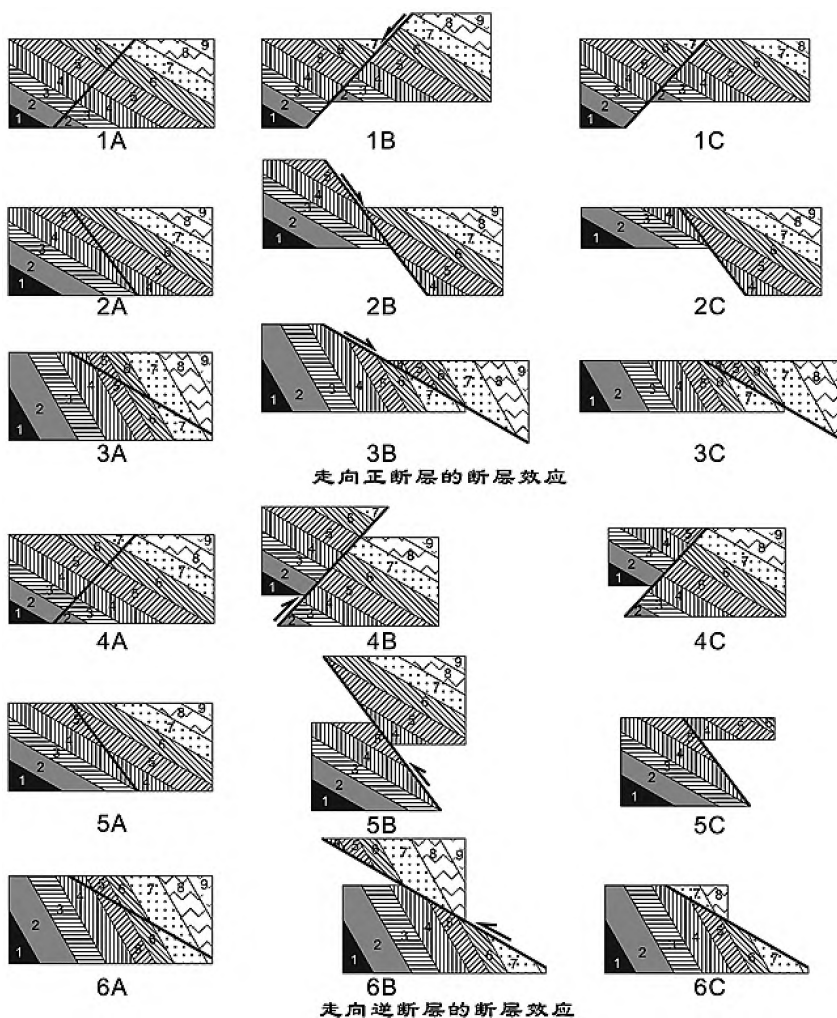


图4 走向断层引起地层重复和缺失剖面示意图

表1 走向断层引起的断层效应统计表

断层性质	断层产状岩层状的关系		
	二者倾向相反	二者倾向相同	
		断层倾角大于岩层倾角	断层倾角小于岩层倾角
正断层	重复(图4-1C)	缺失(图4-2C)	重复(图4-3C)
逆断层	缺失(图4-4C)	重复(图4-5C)	缺失(图4-6C)

2. 倾向断层的断层效应应用立体图效果良好

如图5所示,立体图能展示倾向断层引起的断层效应。所谓倾向断层,就是指断层的走向与岩层的倾向近于平行。平面上发生平移的断层,尽管断层的两盘并没有上下相对运动,但给人发生了正断或逆断的错觉,往岩层下倾方向平移的那一盘在纵剖面上呈现相对上升的假象(图5-A、B);发生正断或逆断的断层,尽管实际上没有发生平移,但在平面上出现发生了平移的假象,上升盘有相对沿岩层下倾方向平移的假象(图5-C、D)<sup>[7]</sup>。

沿断层面发生斜向运动的倾向断层的断层效应更加复杂,只有立体图才能说清楚(图6)。在倾向断层的断面上,当运动迹线(箭头所示)与地层迹性(虚线所示)平行或重合时,虽然斜向运动既有平移分量,也有倾向上的分量,但观察到的现象既不反映正断或逆断,也不反映发生了平移,因此形成平面上没有平移倾向上也没有正或逆断的假象(图6A)<sup>[7]</sup>。

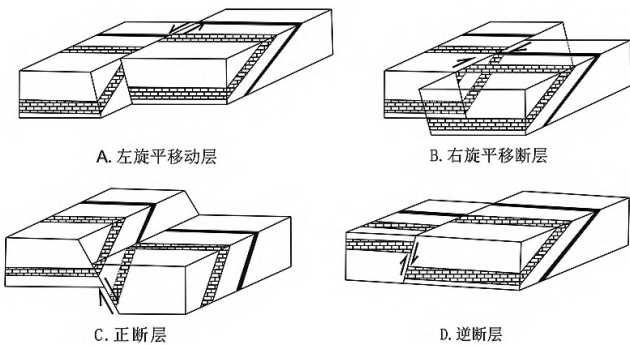


图5 平移和正逆倾向断层产生断层效应的立体图  
(据 Billings 等,1956,修改)

在倾向断层的断面上,如果运动迹线(箭头所示)的侧伏角大于地层迹线(虚线所示)的侧伏角时,实际上的下降盘在纵剖面上显示相对下降,在平面上下降盘显示出往岩层上倾方向发生相对错动,与实际平面上的左旋错动方向相反(图6B)<sup>[8]</sup>。

在倾向断层的断面上,如果运动迹线(箭头所示)的侧伏角小于地层迹线(虚线所示)的侧伏角时,在纵向剖面上下降盘显示相对上升,与实际的相反,在平面上下降盘显示出向岩层的下倾方向发生相对移动,与实际的移动方向一致。

3. 力学分析是构造成因机制分析的关键

比如拉分盆地是在走滑断层的弯曲部位或雁列断层的错列部分形成的一种特殊类型的盆地,在走滑断层的弯曲部位的拉分盆地的形成机理如图7所示,用两条大致平行的曲线表示弯曲的走滑断层,走滑的方向为右旋,在右端的拐弯处由于局部拉伸,拉张沉陷,就会形成拉分盆地,在左端的拐弯部位,由于走滑引起的局部挤

压,形成推隆构造。用这个图做拉分盆地的形成机理分析,非常清晰明了。

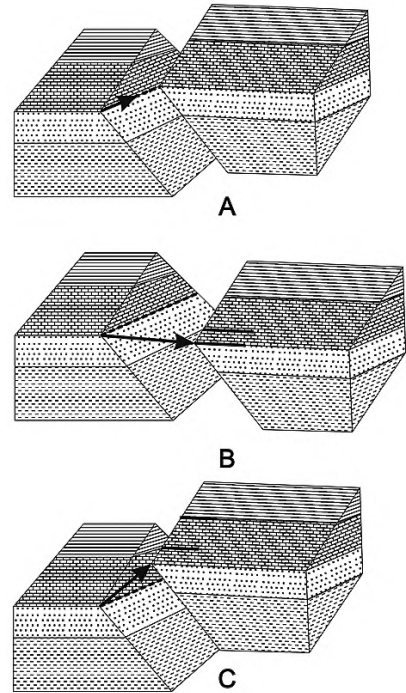


图6 斜滑运动倾向断层的断层效应立体图  
(A和B据 Billings 等,1956,修改;C据徐开礼等,1984,修改)

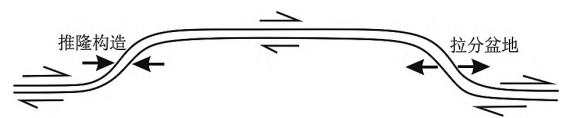


图7 走滑断层的弯曲部位形成拉分盆地的力学分析图

至于在雁列断层的错列重叠部分,就要复杂一些,雁列断层的排列有左列和右列,走滑方向有左旋和右旋,因此组合起来需要分4种情况:第一种情况是左列左旋(图8A),在错列重叠部位,由于走滑作用力在重叠单元边界可以分解为剪切分力和拉张分力,形成一个剪切拉张的局部环境,因此形成拉分盆地;第二种情况是左列右旋(图8B),在错列重叠部位,由于走滑作用力在重叠单元边界可以分解为剪切分力和挤压分力,形成一个剪切挤压的局部环境,因此形成推隆构造;第三种情况是右列左旋(图8C),在错列重叠部位,由于走滑作用力在重叠单元边界可以分解为剪切分力和挤压分力,形成一个剪切挤压的局部环境,因此也形成推隆构造;第四种情况是右列右旋(图8D),在错列重叠部位,由于走滑作用力在重叠的边界可以分解为剪切分力和拉张分力,形成一个剪切拉张的局部环境,因此形成拉分盆地。由此可见,在左列左旋和右列右旋的重叠部位形成拉分盆地,左列右旋和右列左旋的重叠部位形成推隆构造。

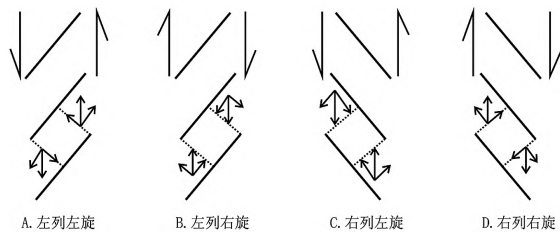


图8 雁列断层的错列重叠部位拉分盆地形成的力学机制图

4. 前后内容来回穿插,互相对比,建立联系,密切关系,形成体系

比如讲力学分析的三个重要内容应力莫尔圆、库伦-莫尔剪切破裂准则和安德森模式的时候,要注意首先讲清楚莫尔圆是怎么通过应力分析和数学推导得来的,反映某一截面上正应力和剪应力与主应力关系的应力莫尔圆,为什么说明了剪应力最大的截面与最大主应力的方向相交 $45^\circ$ 或 $135^\circ$ ,共轭剪裂角理论上应该是 $45^\circ$ ,而实际的客观存在却是小于 $45^\circ$ ,由此引出库伦-莫尔剪切破裂准则对这一现象的解释。让同学们感觉到“原来如此”。在讲后面的安德森模式的时候,又需要回过头来复习应力莫尔圆和库伦-莫尔剪切破裂准则,让同学们的认识更上一个台阶。

比如讲横弯褶皱作用的时候结合着纵弯褶皱作用来讲;讲节理的时候,对比着断层来讲;讲张节理特征的时候,对比着剪节理来讲;讲逆断层特征时候,对比着正断层的特征来讲;讲转换断层时候,对比着走滑断层来讲;讲断层形成的应力状态时,密切联系断层两盘的相对运动与应力莫尔圆和库伦-莫尔剪切破裂准则来讲,

并进一步推演不同性质的断层形成时的动力学背景,等等,密切前后关系,形成完整体系,举一反三,融会贯通。

### 三、结束语

构造地质学的教学方法不是一成不变的,需要任课教师在反复的教学实践中不断探索,不断总结、不断创新,不断提高。在教学过程中突出学生的主体地位,发挥任课教师传授指导和鼓励的作用,切切实实地从学生位置设身处地地发掘学生容易理解和接受的授课方式,使得学生既学会了基本理论、基本知识,又掌握了基本技能、基本方法,为今后的学习和工作打下坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 曾佐勋,樊光明.构造地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,2008:226.
- [2] 倪金龙,郭全军,郭颖,等.地质思维时空观的培养与建立——以“构造地质学”课程教学为例[J].中国地质教育,2011,20(4):89-92.
- [3] 唐翠华.“构造地质学”课程教学方法的探索与实践[J].教育教学论坛,2021(29):97-100.
- [4] 朱志澄,宋鸿林.构造地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1990.
- [5] 张长厚,王根厚.“构造地质学”课程教学中的研究与拓展性学习[J].中国地质教育,2015(4):13-16.
- [6] HOBBS B. E., MEANS W. D., WILLIAMS P.F..构造地质学纲要[D].刘和甫,等,译.北京:石油工业出版社,1982.
- [7] BILLINGS M. P.构造地质学[M].张炳熹,译.北京:地质出版社,1959.
- [8] 徐开礼,朱志澄.构造地质学[M].1版.北京:地质出版社,1984.

(上接 113 页)

的本科院校和专业,对民办新建院校在用地、税收、财政补贴、人才引进等方面给予优惠和扶持政策。改革税收制度激发社会捐赠潜力,适当加大现行捐赠税收的优惠力度,提高捐赠在所得税抵扣中的比例,加大对教育捐赠的精神嘉奖和宣传力度,通过制度设计激发社会组织和个人的教育捐赠热情。

5. 适当调整学费标准。高等教育成本分担引致的财政投入比例下降并非没有底线,个人投入比例应止于高等教育产品的私人受益比例<sup>[4]</sup>。免费教育或缴纳少量学费,不仅难以保障高等教育的质量,而且还会导致有限教育资源的低效使用,造成教育机会的社会不公平现象。学费标准的制定应统筹考虑地区经济水平、院校类

别、学科专业、培养成本和居民收入状况等多种因素进行动态调整,实现学费的合理适度增长。当前四川本科学费低于全国平均水平,且学费的增速远低于人均GDP的增速,具备上调学费标准的空间。在适当上调学费的同时,政府应提高奖助学金的标准和规模,充分发挥学生资助作为补偿高等教育成本的作用,避免学费上调所带来的新的教育不公平现象。

### 参考文献:

- [1] 史万兵.高等教育经济学[M].北京:科学出版社,2004.
- [2] 王善迈.地方教育投资研究[M].北京:北京师范大学出版社,2003.
- [3] 李振宇,李涛.财政分权视角下地方政府高等教育投入的竞争效应分析[J].中国高教研究,2020(3):39-43.
- [4] 季俊杰.公共财政体制转型视角下高等教育财政投入比例的演进逻辑[J].国家教育行政学院学报,2018(10):43-50.