

地质力学基础知识讲座



第三讲 构造序次

武汉地质学院地质力学系 郭文蓉

一 构造序次的概念

构造序次是地质力学中的又一重要基本概念,也可称作世序(相当于英语中的 generation)它是指同一岩块或地块中,同一方式的动力作用期间,产生的一连串的构造形迹,并具有阶段性。它们所反映的局部应力作用方式前后并不一致,但却密切相关。我们把构造形迹的这种成生顺序上的挨次控制关系称为序次。

为了了解序次的概念,我们以背斜地堑的发展过程为例,看一连串构造形迹产生发展的序次。当水平产状的岩层遭受水平方向的测向压力作用后,产生褶皱和断裂,是一种常见的构造形变的过程。侧压力达到一定的程度时,岩石即开始出现第一阶段的变形,一般情况下有如下几种构造形迹出现:

1. 与侧压力(或最大压应力 σ_3)斜交的扭(剪)性结构面;

2. 与侧压力(或最大压应力 σ_3)平行的追踪张性结构面;

3. 与侧压力(或最大压应力 σ_3)直交的,也就是与即将出现的背斜轴面一致的节理、皱纹、挤压破碎带等现象。这三种结构面均属于第一序次的结构面,如图3—1—I。

侧压力持续作用,岩层一旦发生弯曲,背斜就出现了。这对岩层形变是个重要标志,边界条件随之发生变化,应力状态也发生了变化;这时层与层之间便沿着层面发生相对的扭动,产生层间拖曳褶曲、轴面劈理、层间破碎带(对内生矿产来说,是个很重要的成矿构造)、顶部出现与轴向一致的纵张裂隙、背斜核部的小褶皱、转折端虚顶现象等,均属于第二序次的构造形迹,如图3—1—II。

侧压力继续加强的情况下,背斜进一步发展,在许多部位,产生局部应力场;背斜顶部沿纵张裂隙不断扩大,由于重力影响,中间岩块向下陷落,构成背斜地堑。地块下落过程中和两侧地块产生摩擦应力,诱导出剖面上派生分支羽毛状裂隙。由于中间地块下降滑动到下层,引起局部的侧压力,从而

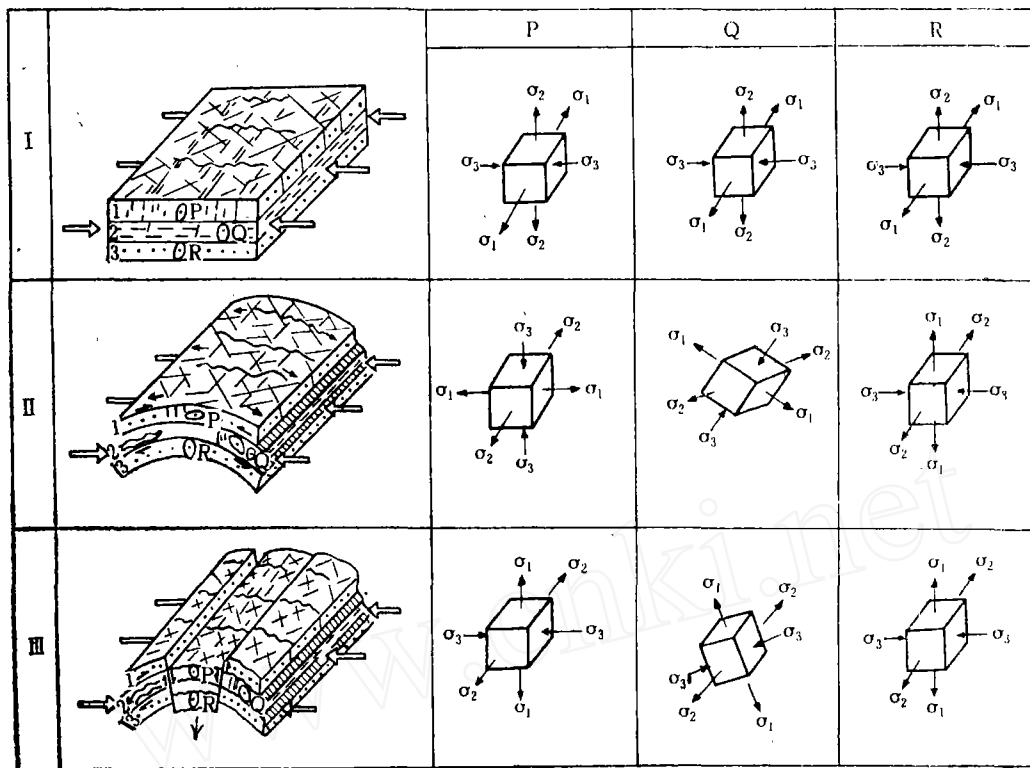


图 3-1 不同部位在背斜地堑发展过程中应力状态的变化

I、II、III分别为第一、第二、第三序次，P、Q、R分别为背斜的不同构造部位， σ_1 、 σ_2 、 σ_3 示最大张应力轴、中间应力轴和最大压应力轴

出现靠近断裂附近的小褶皱等。所有这些在地堑下陷过程中导生出来的局部构造，都属于第三序次构造，如图 3-1-III。

我们往往把第一序次的构造叫初次构造，第二序次以下的如第三、第四序次构造等，均称作再次构造。

下面我们深入一步步看看背斜不同部位的P、Q、R点的应力状态随岩层形变过程中边界条件的变化而变化的情况。

从图 3-1-I 可以看出，在岩层尚未发生背斜隆起的第一阶段，P、Q、R 三点的应力状态是和地块总体应力场完全一致的。若侧压力是东西方向的，即 σ_3 轴为东西向， σ_2 直立， σ_1 为南北向（图 3-1-I）。岩层一旦发生弯曲，即进入第二阶段变形，由于岩层弯曲使边界条件改变，则P点

的应力状态也就改变，东西向为张应力 σ_1 （横梁弯曲中和面之上）。而Q点由于层间相对扭动，其形变类似于旋转应变椭球体， σ_1 、 σ_3 轴与层面斜交， σ_2 轴与褶曲轴平行。R点因位于褶曲层总体中和面之下，故仍处于东西向的挤压状态，但这时的 σ_3 是因岩层弯曲而产生的次生应力，和第一阶段意义不同（图 3-1-II）。当发生地堑以后，即进入第III阶段。这时P、R两点的应力状态基本一致，只是 σ_3 的大小有差别。Q点应力轴方位基本停留于第II阶段状态，当侧压力加强时，则P、Q、R点应力状态基本一致（图 3-1-III）。

由上述分析可见，在理解序次含义时，必须注意以下几个要点：构造序次划分的基本前提是同一方式的动力作用期间所发生的

一连串构造形迹及其间的挨次控制关系；序次的概念不是指构造运动时期。野外鉴定构造时期一般是通过不整合、岩浆岩时代、同位素年龄鉴定等，而序次的鉴定，是从应力场作用的角度来解释的。由于岩石形变而使局部应力场发生变更，变更过程大致可划分阶段性。这个不同阶段的划分，实质上就是序次的划分；不同序次的构造形迹产生的时间间隔可以相差很远，也可以相差很近，只能根据当地构造条件和它们之间的相互关系来加以判别。具体的说，序次是指主干构造及其派生的构造先后挨次控制关系。这种关系相当于构造的辈份关系。第一序次构造派生出第二序次的构造，第二序次派生第三序次构造，依此类推。还应指出，构造序次的建立是相对的概念，一个地区的初次构造，如果扩展到大的区域性构造来看，它完全可能属于第二序次构造。

二 研究构造序次的意义

李四光同志曾经指出：“序次的研究意义很大，对了解构造体系很重要，分析应力非常有用途，序次这个概念必须要认识不能改。（1964年李四光同志答疑记录摘要）。

毛主席在《矛盾论》中指出“如果人们不去注意事物发展过程中的阶段性，人们就不能适当地处理事物的矛盾”。地壳运动所造成的构造形变发生、发展过程，同样也具有阶段性，构造序次的分析研究，就是企图从本质上揭露构造形变的发展过程，并了解过程中构造形迹之间是否有亲缘、主从关系。利用高序次与低序次构造的成生联系，在正确鉴定结构面力学性质的基础上，了解构造体系确实是很重要的。序次的存在是说明局部应力活动方式不断变动的结果，因此探索高低序次构造先后发生的互有牵连的过程，对分析应力活动特点是非常有用的。尽管时间间隔有长短，但它们确实有个发展过程和顺序差别的。正如人们都熟悉的现代地壳运动的表现—地震现象（引起墙倒、屋塌、人和物受破坏等），尽管一个碰一个的连锁反映很快，但它们确实是有个过程，只有分析这种过程，才能正确认识它的规律。

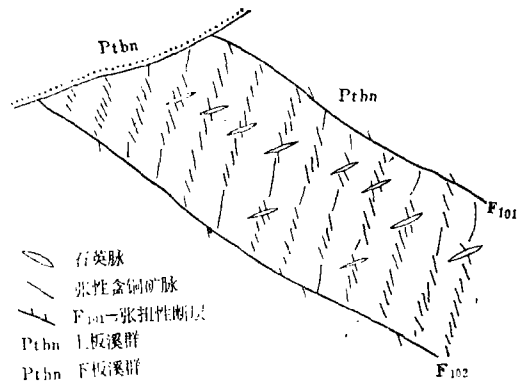


图 3-2 梵净山石柱岩铜矿示意图

利用层间扭动引起的第二序次拖曳褶曲、劈理等可以恢复第一序次背斜和向斜的形态、产状和力学性质，还可利用高序次断裂两旁派生的低序次构造，帮助鉴定主干构造的力学性质。序次的划分对解决生产实际问题也有广泛的意义。以矿床的分布来说，近年实践证明，不同序次和不同等级的构造，对矿产的分布具有不同的控制作用。大多数内生金属矿床的分布，是受高序次的大型构造控制的，但是具体矿床的赋存多数是由低序次构造控制的。例如梵净山石柱岩铜矿床受 F_{101} 、 F_{102} 两条张扭性断层控制，共发现14个含矿带，每一含铜带以20~25米间距有规律的出现，而每一含铜矿带又是由雁行状的张性含铜矿脉组成，如图3-2。

再如某地一矿床，从大范围来看，它产在东西向构造带中。与东西向构造配套的有北西向及北东向两组扭裂面。由于东西向构造有的地方有右行扭动的特点，所以使北西向一组扭裂面具张扭性质，使北东向一组扭裂面具压扭性质。在矿区内发现矿脉基本是沿北西向一组张扭性裂面分布，但仔细工作后发现每条矿脉并非北西向，而是呈近南北向（图3-3）。这说明条矿脉具体赋存在

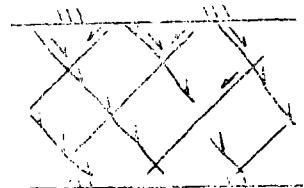


图 3-3 某矿区构造与矿产关系示意图

北西向张扭面的低序次羽状裂隙中，而一个矿脉的总体串联面又受着北西向张扭面的控制，张扭面又受着东西向构造的控制。因此，在找矿时就应循着这种关系去找。

通过上述两例可见，搞清构造序次的关系，在找矿勘探工作中不仅有战略意义，而且有战术意义。

三 同一结构面力学性质的序次转化

再次构造形迹的产生，可以有两种情况：一种是由于边界条件发生了变化，引起局部构造应力场改变而导致局部应力状态变更后产生的岩石新形变，为新生的再次构造；另一种是高序次构造形迹由于力学性质的转化而产生的再次构造，特别在断裂结构面表现得最明显。也就是说，同一断裂面从序次关系看，具有双重意义，既是较高序次的形迹，又是较低序次的形迹，它们的区别反映在力学性质上有所不同。但是兼具两种以上的力学性质的断裂面不一定是序次的转变，也可能是构造体系之间的复合关系，这部分将在后边章节里讲。属于构造序次的转化与其他原因转化的基本区别，是总体应力场的特征不变（即外力作用方式不变），而且岩石形变又是一连串的发展过程。

模拟实验表明，直线扭动作用可发生两

组轭交叉扭裂面。实验材料开始破裂时，都表现为纯扭（剪）性结构面（图3-4-I）。一组（ S_1 ）和扭动方向角距很小，近于平行；另一组（ S_2 ）和扭动方向角距较大，近于垂直， S_1 与 S_2 面所成之锐角（ 2β ）等分线与压应力作用方向平行。继续按原来方向扭动，由于塑性形变，共轭扭裂面所交锐角逐渐增大，以致变为钝角（ 2α ），使（ S_1 ）裂面向张应力作用面（TT）转动靠拢，而（ S_2 ）裂面向压应力作用面转动靠拢，原来断裂面切成的近于方形的岩块或地块变成了菱形（图3-4-II）。与扭动方向角距较小的那一组（ S_1 ）裂面，往往成为扭动行进的轨道，因而变成了张扭性裂面（ S'_1 ）表现在实验材料上，可见参差不齐的裂缝愈来愈大，其扭动方向基本不变。与扭动方向角距较大的一组（ S_2 ），此时具有压紧、封闭的特点，甚至出现局部倒转褶皱或仰冲断裂，扭动方向与原来相反。到了这个阶段，初次纯扭裂面已经转化为张扭面和压扭面。这种在原来扭性结构面的基础上转化而来的张扭性和压扭性结构面都属于第二序次的结构面。

从岩块边界条件的变化分析，岩块中出现萌芽状态的扭裂面时，它仍为一连续的整体，一旦出现共轭扭裂面，岩块就被分割为互不连续的无数个小岩块，边界条件就发生了变化。在扭动作用继续进行时，应力分

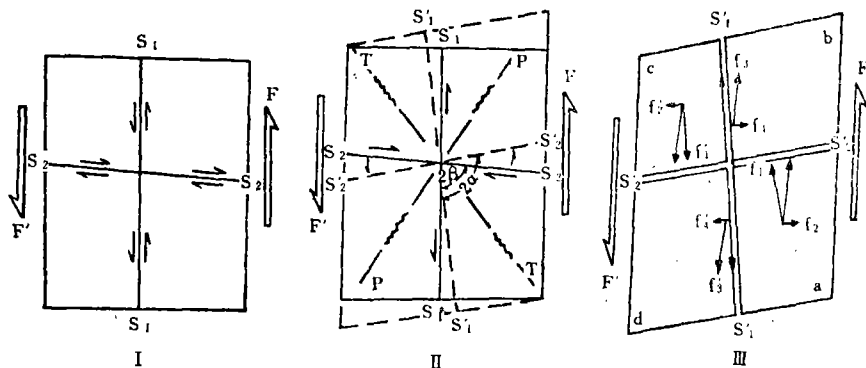


图3-4 扭力作用下两组扭裂面力学性质的序次转化。

S_1 、 S_2 —初次扭裂面； S'_1 —第二次张扭面； S'_2 —第二次压扭面；PP—压应力作用面位置；
TT—张应力作用面位置； f_1 、 f'_1 —垂直 S'_2 的法向分力； f_2 、 f'_2 —平行 S'_2 面的切向分力； f_3 、 f'_3 —
—平行 S'_1 面的切向分力； f_4 、 f'_4 —垂直 S'_1 面的法向分力

布和萌芽状态时的完整岩块就不相同了。裂开后每一小岩块,都有各自的内部应力场,而各小岩块之间作用的力已不是应力,而是相对的外力。此后再出现的岩石形变、位变、乃至相变,都应属于第二序次了。现简化为四块a、b、c、d来分析它们之间的关系(图3—4—Ⅲ)。在扭动作用力 F 、 F' 仍持续作用的条件下,a块对b块的作用力 F ,因与 S'_2 面不垂直,故可分解为垂直于 S'_2 面的 f_1 ,和平行于 S'_2 面的 f_2 。同理,c块对d块的作用力 F' ,作用于 S'_2 面亦可分解为 f'_1 、 f'_2 。b块对c块的作用力 F ,作用 S'_1 面分解为 f_3 、 f_4 。d块对a块的 F' 力作用于 S'_1 面分解为 f'_3 、 f'_4 。从 S'_1 面和 S'_2 面的受力状况分析,不难看出, S'_2 面除 f_2 、 f'_2 引起反时针的扭动外, f_1 、 f'_1 还使其显示挤压性质。 S'_1 面除 f_3 、 f'_3 使其继续呈反时针的扭动外, f_4 、 f'_4 还使其显示引张性质。

由此可见,在力偶的对扭作用下,形成的共轭扭裂面,一旦破裂出现,马上就从纯扭性结构面转化为压扭性和张扭性的第二序次的结构面了。

在野外,单一性质的结构面比较容易鉴定,但并不常见。在多数场合下,结构面力学性质并不单纯,尤其是主干构造。这就要求我们细心地加以区别和分析。如果是压扭性(或张扭性)结构面,要力求区分是压扭(或张扭)同时作用,还是先压(张)后扭,或先扭后压(张),这种双重性质是序次关系还是复合关系。搞清楚力学性质的转

化情况,对构造配套鉴定构造体系,分析构造体系的复合或联合都有很大作用,同时许多结构面往往是某些岩浆或矿液的活动有利场所,所以对找矿勘探有很大的实际意义。

四 构造序次与构造等级的区别与联系

构造序次和构造等级是两个不同的概念,它们不能按照同等的级别数和同等的序次数来一一对比。序次是用来描述成生顺序先后挨次控制关系的。等级是用来描述构造形迹规模大小的,是空间规模相对大小的概念。比如在一个地块中,往往存在着各项构造形迹,按照它们规模的大小,相对的分不同的等级。一般地在一个地区占主导地位的构造形迹,在其所属的体系中,往往列为第一级构造,规模次之的列为第二级,规模更小的列为第三级构造,诸如此类。第一、二级为高级构造,二级以下者如三、四等称低级构造。一般地说,一级构造大都是初次构造,但初次构造并不都是一级构造。打个通俗的比喻,这犹如人的辈份和年龄大小之间的关系,一般情况是岁数大的辈份也高,但辈份大的不一定岁数都大。如某地受南北向挤压形成几百里长的东西向背向斜,是本区内一级初次构造,而与它同时形成的片理虽是同序次的构造形迹,但规模很小。

再次构造一般规模都较小,但有时也可以组成二、三级构造,如北东东向太山式扭裂面派生出来帚状构造,可能比某些初次构造规模还大。

总之,构造序次与构造级别两个概念,既有区别又有联系,它们对研究矿床、矿带具有重要的意义。

矿 泉 水 和 盐 水

矿泉水和盐水是提取锂、铷、铯、硼、锶、锆、碘和溴的一个很重要的来源。尤其是苏打湖的原卤、石油与天然气矿床的层间水、矿化度高的碘—溴地下水,以及现代火山活动区的热水等,具有更重要的意义。

英安岩和流纹岩成分的含铯火山玻璃

含铯最高的英安岩和流纹岩成分的火山玻璃,见于构造带内。在火山玻璃中的铯和水均匀分布的情况下,它们的含量成正比关系,表明其中的铯是原生热液成因的。提取铯以后的火山玻璃,可用于农业。