

关于地质构造研究的几点意见

成都地质学院印

1973年8月

出 版 者 的 話

为了进一步推动我院教学、生产、科研工作和活跃学术空气，我们邀请中国科学院地质研究所张文佑副所长作了学术报告，对我们帮助很大。我们再次表示衷心的感谢！

本文系张文佑先生的报告，由从柏林同志整理、补充而成。

作者在大量实际资料基础上试用辩证唯物主义观点对地质构造研究中的若干关系问题——构造地质学与其他地质基础学科的关系；历史分析与力学分析的关系；压、张、扭的关系；褶皱与断裂的关系；深部构造与盖层构造的关系进行了探讨，提出了许多独特的见解，并在国内外大量实际资料的基础上，明确地提出了“菱形断块”这一大地构造论点，并对它的形成和发展做了较全面的讨论，这对大地构造理论的发展和指导生产实践均有一定的意义。

为了满足广大师生的要求，我们将该文印刷出版，亦可供生产、科研、教学单位的工作者参考。

成都地质学院 教育革命组 73 年 8 月

关于地质构造研究的几点意见

张文佑 从柏林

(中国科学院地质研究所)

现今，在地质构造研究中有许多学说，诸如地槽地台说，地质力学说，板块构造说等。这些学说对地质科学的发展都起了一定的推动作用。虽然在科学研究中可以取得空前的成就，决不会有绝后的成果。“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”同时，每个人对事物的认识总是受各种条件的限制，所以，对同一事物有不同的认识，是正常的现象。我们应该通过广泛的实践，深入的讨论，彼此取长补短，逐渐地使我们的认识符合客观规律。本着这样的精神，现对地质构造研究中的几个问题提出一些不成熟的看法，以便和大家商讨。

一、构造地质学与其他地质基础学科的关系

构造地质学是地质科学中研究地壳岩层的基本构造形态，它们在空间上的展布和时间上的变动，以及使地壳岩层变形的构造运动的成因和发展的科学。但是应将构造形态与地质构造严格地区别开来，地质构造并非单纯地是过去的构造运动的陈迹，而是诸如岩浆活动，沉积作用，变质作用，风化作用，地球内部放射性物质的迁移、集中和裂变等地质作用的综合结果。若要正确地认识地质构造的特征，就必须综合分析各个地质基础学科的研究资料。例如，构造运动时间主要是依靠地层不整合或假整合的鉴别以及对沉积建造、变质建造和岩浆建造的分析来确定的。事实上，当今自然科学中任何重大问题都不是单纯地依靠某一门学科所能解决的。“在自然界中没有孤立发生的东西，事物是互相作用着的，并且在大多数情形，正是忘记了这种多方面的运动和相互作用，阻碍我们的自然科学家去看清最简单的事物。”因此，研究地质构造的人不仅要掌握构造地质学的知识，还要了解其他地质基础学科的知识，以便从相互联系着的各个方面去正确地认识地质构造的本质。

* 本文是张文佑1972年12月16日在全国地震烈度区划分经验交流会上，以及1972年12月19日于四川省地质局第一区测大队，1972年12月23日于成都地质学院的三次学术报告，由从柏林整理补充。

二、历史分析与力学分析的关系

可以这样概括：力学分析着重于分析构造形态在空间上的配置格式；历史分析着重于分析构造形态的配置格式在时间上的变动。因此，历史分析与力学分析的关系就似时间与空间的关系。对于正确地认识地质构造特征，两者都是不可偏废的。拿地台和地槽来说，从力学分析来看，在力学性质上地台是相对坚硬的块体，而地槽是相对松软的地质条体；在构造形态上地台是相对隆起的大背斜，而地槽是相对拗陷的大向斜；从历史分析来看，地槽通过强烈的拗陷和褶皱的过程转化为地台，地台又可通过深断裂的加深和发展产生新的断槽带。

地质构造是各种地质作用的陈迹，要认识某地区的地质构造发展史，就必须将该地区各个地质历史阶段连贯起来看，通过各个阶段的地质构造特征去追溯产生这些特征的地质作用的由来和发展。构造运动有两种形式，一种是渐变，另一种是突变。地震就是构造运动的突变形式之一。但各个突变从历史上来分析，又是渐变的关系了。就拿构造形态来说，燕山运动期的构造形态是燕山运动前各期构造运动继承、发展和新生的结果。它又受以后的新构造运动的改造。例如，新生代，在康滇台背斜的基底隆起上沿安宁河谷形成了串珠状分布的地堑式盆地带。它是南北向深断裂长期地加深和发展的结果。晋宁期，由南北向挤压产生了以剪切力开始和以张力发展而完成的南北向锯齿状断裂带。同时，沿断裂带有大规模的中酸性侵入岩充填以及大量的中酸性熔岩喷发。此后，由于南北向断裂带的不断地加深和发展，沿该断裂带，海西期形成了类似南非深断谷的超基性—基性岩带，印支期形成了类似于地槽褶皱阶段的偏钙碱性的岩浆岩带。直至喜山期形成了串珠状分布的地堑式盆地带。

任何事物的发展过程既有阶段性又有连续性。对认识事物的本质，既必须看到它们的阶段性，又要看到它们的连续性。对地质构造的分析也应如此。即由静到动，由特殊到一般，由已知到未知，由阶段到整个发展过程，逐渐认识它们的本质。

三、力和介质的关系

已故的李四光教授曾将地质构造分为两个方面，形成和形变，或建造和改造，因此研究地质构造就应该考虑两方面的问题：一是由什么样的介质形成或建造的；另一是在怎样的力作用下形变或改造的。

同一介质在不同方式的力作用下可以产生不同性质的形变。例如，一般条件下，大理岩只有弹性形变，当应力超过弹性极限时，很快就破裂。然而，在高围压压，就提高了大理岩塑性变形能力，蛇纹岩却相反，实验表明，在高围压压和大于 300°C 的温度条件下，蛇纹岩由塑性转变为脆性（G.R.Coleman 1971年）。另一个明显的例子是沥青。沥青在快速的冲击力作用下发生脆性变形（破裂），而在缓慢的力作用下就发生塑性形变（蠕变）。

不同介质在同样力作用下产生不同性质的形变。例如，当硬岩层（厚层灰岩、砂岩、砾岩等）和软层岩（页岩、泥灰岩等）互层时，在褶皱构造中就发生以下两种情况：硬

岩层断裂而软岩层褶皱〔图 1 (a)〕；硬岩层厚度变化不大，並发育剪切节理，而软岩层呈现流动的特征，在褶皱翼部变薄和在核部加厚，並发育劈理〔图 1 (b)〕。这样的实例是很多的，如四川威远地区的褶皱构造中，三迭系岩层内形成很多小褶曲，但其下伏二迭系灰岩和上伏的侏罗系砂岩岩层则以发育小断裂为特点，而且侏罗系砂岩中的节理和二迭系灰岩中的小断裂的方向相一致。再例如，为什么在同一烈度的震区，有的建筑物遭受破坏，有的建筑物没有遭受破坏呢？这是由于建筑物的材料、结构以及它们的地基不同而造成的。

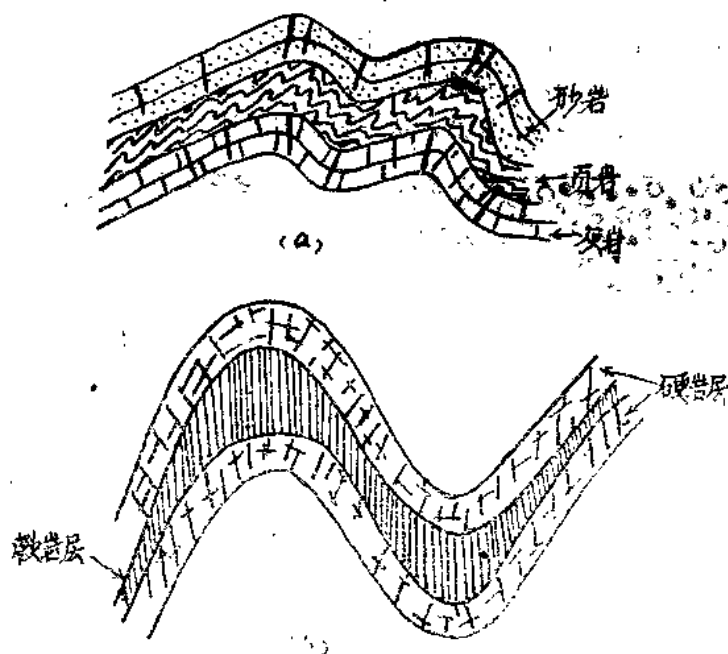


图 1 褶皱构造中软、硬岩层产生不同性质变形的示意图。

有时为了讨论问题方便起见，从统计理论上来看，可以将介质和力假设为均一的。但实际上，不均一是绝对的，均一是相对的，不均一就是矛盾，有矛盾就有运动，有运动事物才能发展才能前进。

介质的不均一包括有形态的不均一，结构的不均一和成份的不均一。

形态的不均一：从受力的边界条件来看，圆球体要比方形块体均一。因此，当其它条件相似时，在同样应力条件下，球体要比方形块体不易发生形变。最明显的例子是，在修理岩石手标本时，有棱角岩石标本要比没有棱角的岩石标本容易修理。这是因为应力在形态不均一处最为集中，也最容易释放。

结构的不均一：众所周知，矿物的结构，岩石的结构，地质体的结构以及地壳的结构是复杂的和多种多样的。如，主要由石英，长石和云母组成的花岗岩，在应力作用下其组成矿物的形变是不同的。具层状硅酸盐结构的云母容易沿平行 (010) 的层面滑动；具架状硅酸盐结构，由其它阳离子充填结构中孔隙的长石容易产生平行 (010) 的柱面双晶；而且最紧密堆积的架状结构的石英则不易形变，至多产生波状消光和微二轴晶化现象。

成份的不均一：地质体是由各种各样的岩石所组成，岩石又由多种矿物所组成，而矿物又是由不断发现的多种元素所组成的。可见，介质的成份是极不均一的。固体物理实验表明，当由两类不同大小的原子组成的金属块发生弯曲时，大原子半径的原子迁入张力带，而小原子半径的原子迁入压力带。(图2)根据这一原理，А.И.Череднигбнко解释了结晶岩石分布的规律性。一般，在背斜轴部结晶岩石分布规律是自上而下为酸性岩、中性岩、基性岩，而在向斜核部却有相反的规律性。他认为，这是由于组成酸性岩的元素的原子半径要比组成基性岩的元素大，所以酸性岩发育在张力带中，而基性岩形成于压力带。其实，早在1966年L.G.Pakiser等就指出，美国可以划分为东、西两部份(大致以落基山脉为界)。西部地区是构造上活动地区，它的地壳平均厚度为34公里，地壳组成中镁铁质岩石占45%；东部地区是构造稳定地区，它的地壳平均厚度为44公里，地壳中镁铁质岩石占58%。显然，这一事实与上述的结晶岩石分布规律是一致的。

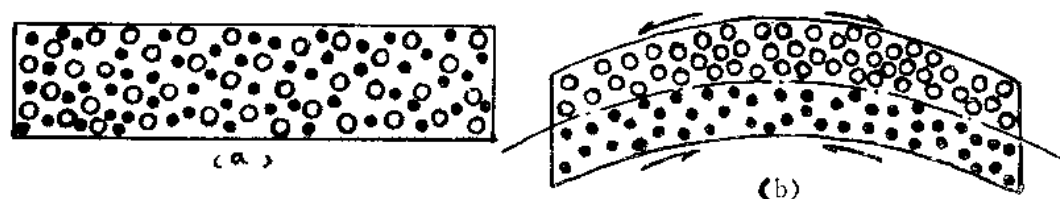


图2 由两类不同大小原子组成的金属块(a)在弯曲后发生原子再分配(b)的示意图

力的不均一表现在力的大小、速度和方向上。以石英为例，在温度为 500°C — 1000°C 和围压大于25000大气压下它转变为密度 2.92克/厘米^3 的柯石英(Coesite)。柯石英与普通石英一样，具有架状结构。在冲击力下(核爆炸和陨石冲击等)就产生密度 4.28克/厘米^3 的斯石英(Stishovite)。斯石英具金红石结构。

总之，应力作用在介质上，介质就发生形变。应力作用主要是由介质形变表现出来，而形变则集中于介质的不均一处。因此，当分析应力下介质形变时，首先要从介质的不均一性着手。

四、压、张、扭的关系

在讨论这个问题之前，有必要谈谈固体受力形变的过程。

由图3(a)中可见，当软钢杆在拉伸时，最初，应力和形变之间成正比关系(服从虎克定律)即弹性形变阶段。材料力学中将应力和形变大致保持正比关系的最大应力值称为比例极限(σ_P)(又名屈服点)。超过比例极限物体就产生剩余形变。通常将剩余形变量为原长度的0.001%至0.03%的应力叫做弹性极限(σ_E)。当应力超过弹性极限之后，应力与形变的关系在图上呈几乎水平的波浪形的曲线函数关系，即塑性变形阶段。在负荷没有显著增加，而物体形变却增长情况下的应力叫做流动极限(σ_L)，即物体开始塑性变形的临界点。相当于物体破裂前的最大应力叫做强度极限(σ_b)。当应力达到 σ_b 时，物体很快就破裂，即脆性形变阶段。图3(b)表明，具不同的物理力学性质的固体，在拉伸情况下它们的应力形变曲线图是不一样的。脆性材料的塑性形变阶段不显著，往往由弹性形变阶段直接过渡到脆性形变阶段。

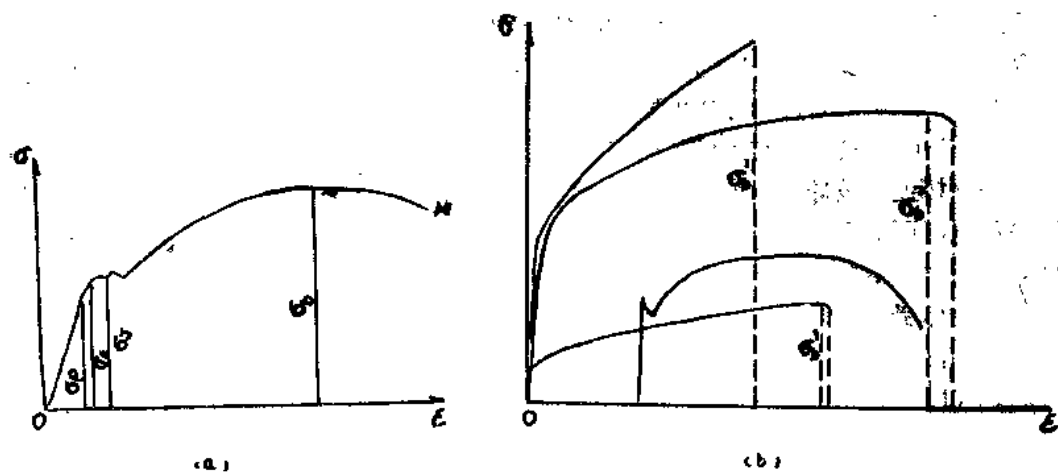


图 3 固体应力形变图介：(a)软钢杆在拉伸时的情况；
(b)不同材料在拉伸时的情况。

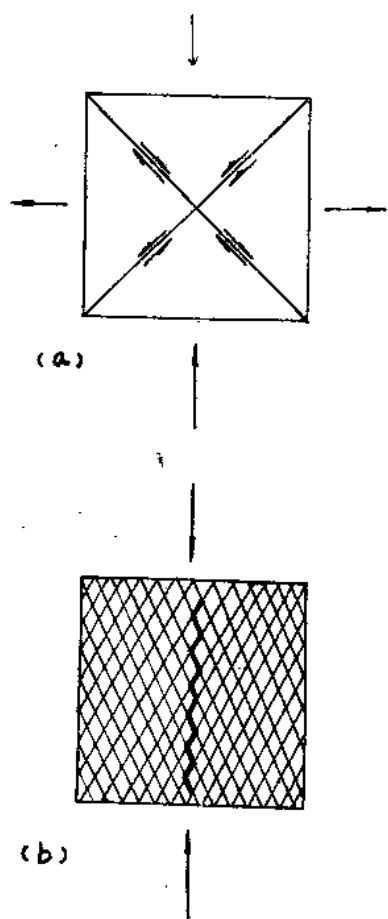


图 4 压、张、扭关系以及锯齿状断裂生成的示意图

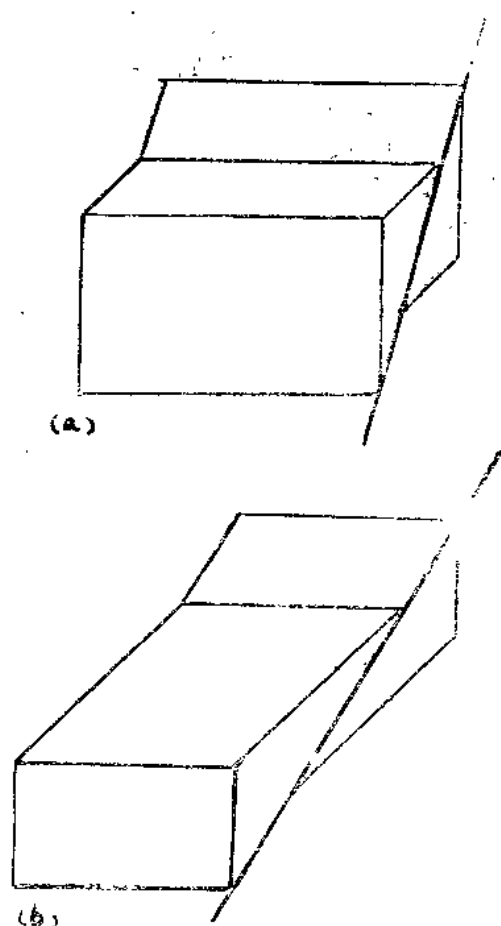


图 5 水平运动与垂直运动关系示意图

壓縮的情况与拉伸的情况相似,但它们的极限特征值是不同的。根据 Г.Д.Ажгирей 的资料,岩石挤压时的强度约为岩石拉伸时的强度的30倍,为剪切时的强度的10倍。

上述固体形变的过程对分析地质体的形变是颇有意义的。至于物体破裂以后的情况又是怎样的呢?最近,有人做了这方面的工作,即所谓“物态方程”。这个过程大致可以这样来概述:破碎→粉碎→半熔融直至熔融。地质上的糜棱岩化大致可以与粉碎阶段相当,而混合岩化,花岗岩化及岩浆熔体的形成可能与半熔融或熔融过程有关。因此,物体破碎后的过程对我们认识许多地质作用的实质则有更大的意义。

当物体受单向挤压时,必然同时存在着压力、张力和扭力[图4(a)]。材料力学试验表明,当应力达到流动极界时,在磨过的试样表面上可见到吕德氏——契尔诺夫线的出现(图4(b)上的斜交的细线)。理论上,对均质体来说,该线与作用力方向大致呈45°斜交;实际上,吕德氏线总不是呈直角相交的,其锐角永远对着压力的方向,而其钝角永远对着张力的方向。吕德氏线是剪切面在断面上的交线。在压力下,沿剪切面产生滑动,如果物体侧向受到限制,那末迁就X型剪性裂纹而形成张性的锯齿状断裂(如图4(b)中的粗线所示)。

上述表明,断裂的形成是以剪切力开始,以张力发展和完成的。压力直接产生断裂是有条件的,即当物体是塑性体或流体时,在压力下可产生流劈理。其实,这是流体层之间的剪切造成的。

在这里顺便谈一下水平运动与垂直运动的关系。实际上,不存在绝对直立的断裂。断裂的产状总是倾斜的,仅仅是倾斜的角度不同。如图5所示:不管断裂的性质如何,当断裂的两侧相对位移时,它总要分解为垂直运动与水平运动的两个分量。因此,不会有绝对的垂直运动或绝对的水平运动,仅仅是以那种方向运动为主的问题。拿海浸海退来说,沉积厚度加大表明了垂直运动,而地层的超覆又反映了水平运动。

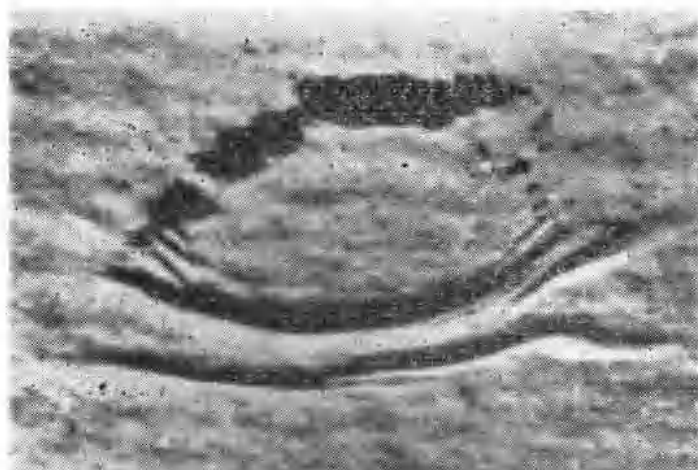
总之,一切事物随时间、地点和条件为转移的。具体问题要作具体的分析。

五、断裂与褶皱的关系

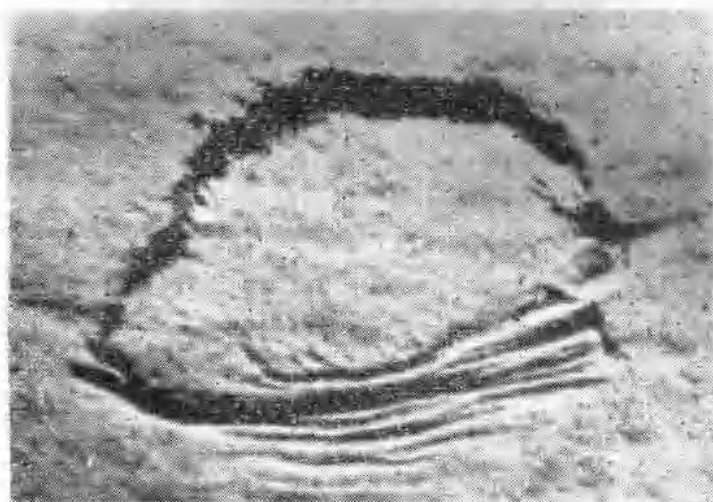
已故的李四光教授曾根据推纸试验,并用材料力学上的横梁弯曲理论解释了宁镇山脉山字形构造的形成,并在1939年所发表的文章里曾提出,在他之前,日本人德田贞一(1925年)曾用推纸试验解释了日本岛弧和日本海的形成;但是,德田贞一没有从力学上进行分析。根据德田的推纸试验,岛弧构造的形成可以没有纵向脊柱,而有横向的断裂。为什么李四光所做的推纸试验有脊柱,而德田所做的推纸试验没有脊柱,却有横向断缝呢?经过我们的分析研究,认为是由于他们所用的纸的质地不同。李四光的推纸试验是在玻璃板上推质地坚韧的透明纸,而德田是在泥巴上推质地松软的纸。

图版I的(a)和(b)是德田推纸试验的结果;(c)和(d)是李四光推纸试验的结果,而(e)和(f)是钟嘉猷同志用质地不同的两种纸所做的推纸试验的结果。韧性的纸有脊柱;脆性的纸没有脊柱,而有横向裂缝。

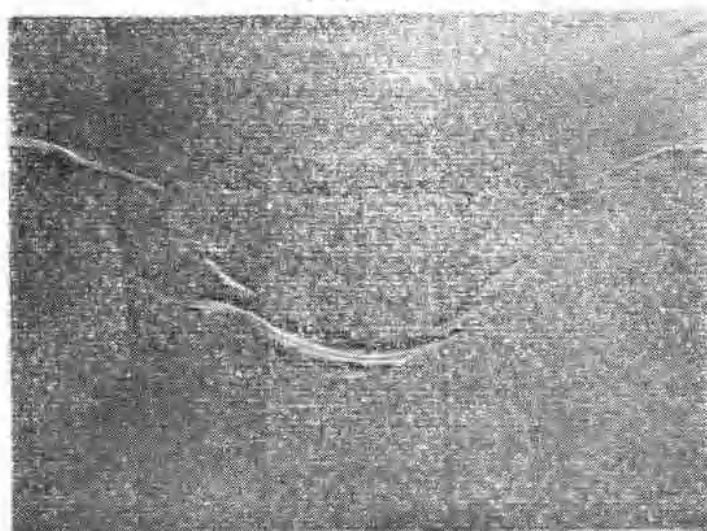
图6示意了横梁受外力作用弯曲时应力分布的略况。倘若弧的前后是力学性质不一样的地质块体,若弧的后边有硬的块体时就不出现形变;若比较坚韧则出现纵向脊柱;若比较脆弱则出现横向断裂。我国喜马拉雅山脉的弧形构造就属于后一种情况。此外,



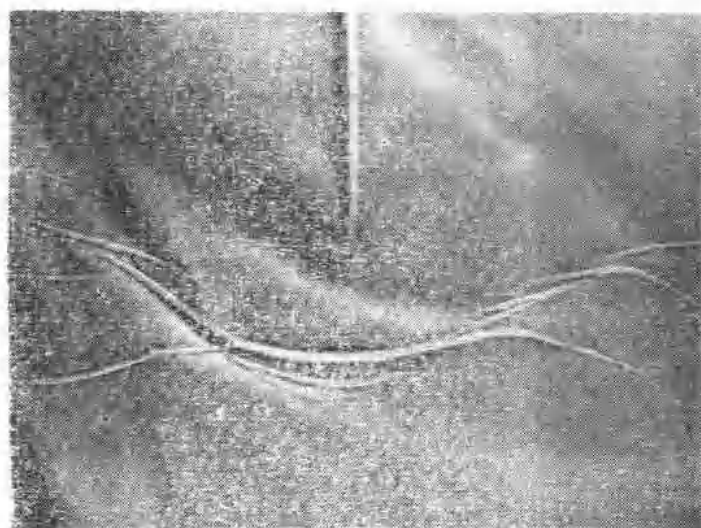
(a)



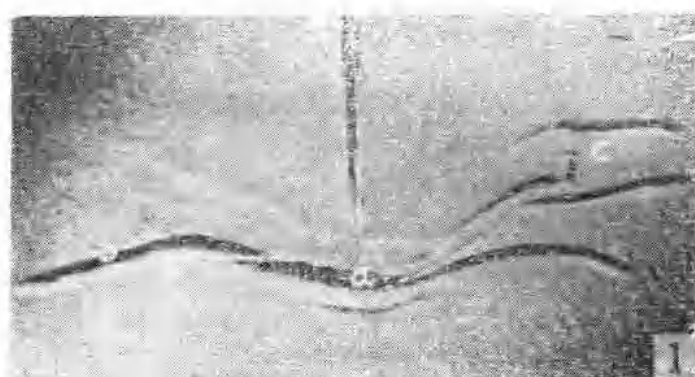
(b)



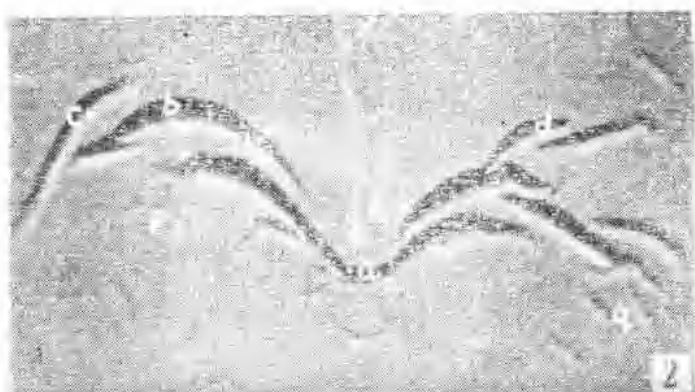
(c)



(d)



(e)



(f)

李四光所指出的我国东部的一系列边缘弧多半也是没有脊柱的。这个例子非常深刻地说明了在分析构造形态时必须首先注意到介质的不均一性。

同样可以用横梁弯曲的力学分析来解释褶皱与断裂的关系。当岩层弯曲时，在背斜表层沿原挤压方向导出张应力，即引起了背斜顶部的张应力集中，而在向斜表层情况相反，局部应力仍是沿挤压方向的压应力。因而在背斜表层和向斜表层各自产生了两套新的X型剪性裂隙。在背斜中X剪切裂隙的大角对着外力挤压方向，而向斜中X型剪切裂隙的小角对着外力挤压方向。随着岩层继续弯曲，沿着X型剪切裂隙发展为张性的锯齿状断裂（图7）。

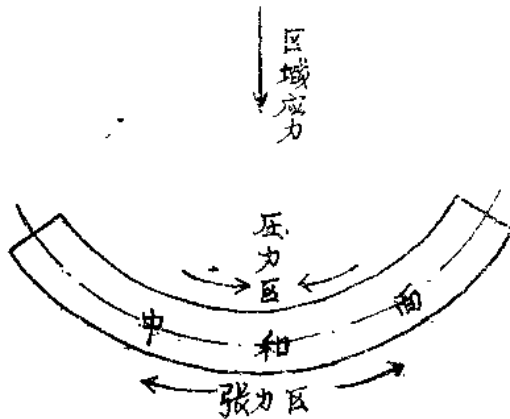


图6 横梁弯曲时应力分布示意图

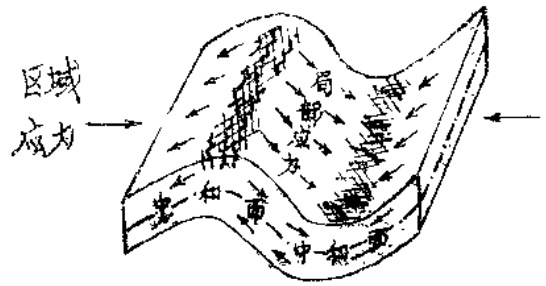


图7 褶皱构造中形成X剪性裂隙和锯齿状断裂的示意图

图8示意了太平洋海底地貌的基本轮廓以及主要深断裂和海沟的分布。从该图中可以清楚地看出：在太平洋的亚洲边缘和南美洲边缘存在着清晰菱形海盆，它们的边界受深海沟、太平洋中隆和亚洲大陆的边缘所限制。菱形海盆的小角大致对着南北向，如菲律宾海、日本海、鄂霍茨克海以及秘鲁智利海等。太平洋内部主要深断裂的走向在北半球呈北东东向，而在南半球呈北西向。若将这两组深断裂外延相交，它们为小角近东西向的X型断裂组。为什么太平洋海底地貌基本轮廓以及主要断裂和深海沟的分布呈现上述这种格式呢？从构造形态上来看，隆起类似于背斜，而拗陷类似于向斜。太平洋内部是深海盆地，它的边缘部份是浅海盆地。因此，可以将太平洋内部看作为相对拗陷的向斜，而其边缘就可以看作是相对隆起的背斜。在东西向的挤压作用下，相对隆起的太平洋边缘范围中就产生了小角指向近南北向的X型断裂，而相对拗陷的太平洋内部范围中就产生了小角指向近东西向的X型断裂。

上边叙述了因褶皱产生了断裂以及在褶皱构造中断裂形成和发展的过程。同样，无论地质力学模拟实验还是野外地质调查都表明了断裂在形成和发展过程中也能引起岩层的局部褶皱。例如，据四川省地质局张云湘等同志的介绍，整个四川地区，无论是所谓的西部地槽区，还是东部地台区，自震旦纪以来，直至白垩纪末，各时代地层之间均未看到区域性的不整合关系，绝大部分是连续沉积的和假整合，而在所谓的西部地槽和东部地台的交界上，即安宁河和龙门山一带各时代地层的不整合却常常发育。无论地质资料、还是物探资料都肯定了这一带是对自震旦纪以来各时代地层分布起控制作用的深断裂

带，並伴随有多期的岩浆活动。另据地质所李珏等同志介绍，沿安宁河呈穿串珠状分布的地堑式盆地內新生代地层的褶皱屡见不鲜，有的褶皱构造规模可宽达数百米。但距地堑式盆地愈远，褶皱也愈来愈平缓。他们认为，这些褶皱是由断块的差异运动而形成的。因此，岩浆活动、地层不整合和地震带都可作为断块边缘或分界的标志。

上述事实表明：褶皱和断裂的关系是相依相存的。因此，绝不会有绝对的褶皱运动或绝对的断裂运动。仅仅是在具体的时间、地点和条件下表现出以那种运动为主吧了！

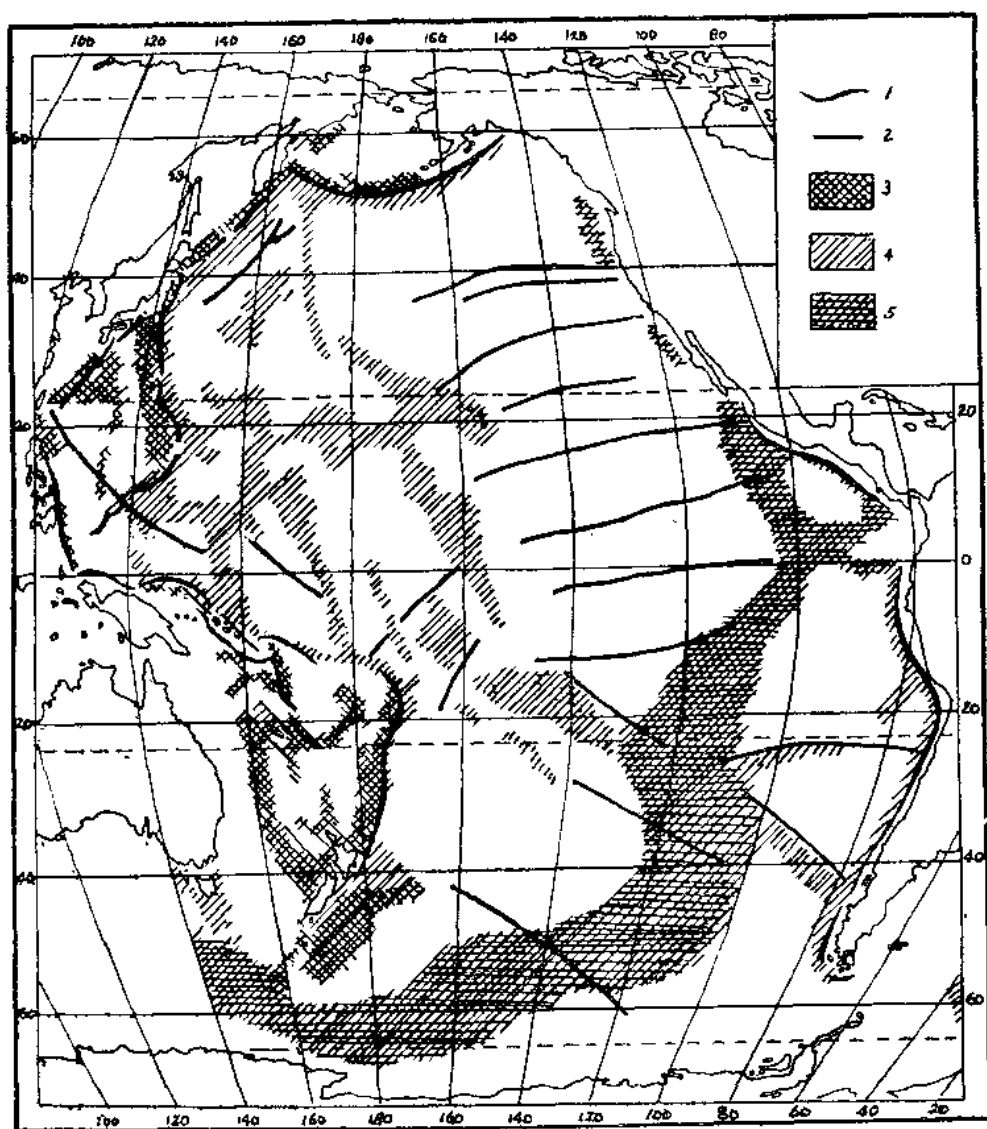


图 8、太平洋海底的地貌基本轮廓以及主要深断裂和深海沟的分布

(据 Г.Б. удинцев 1972 年)

1—深海沟；2—深断裂；3—过渡带的隆起；

4—大洋底；5—太平洋中隆。

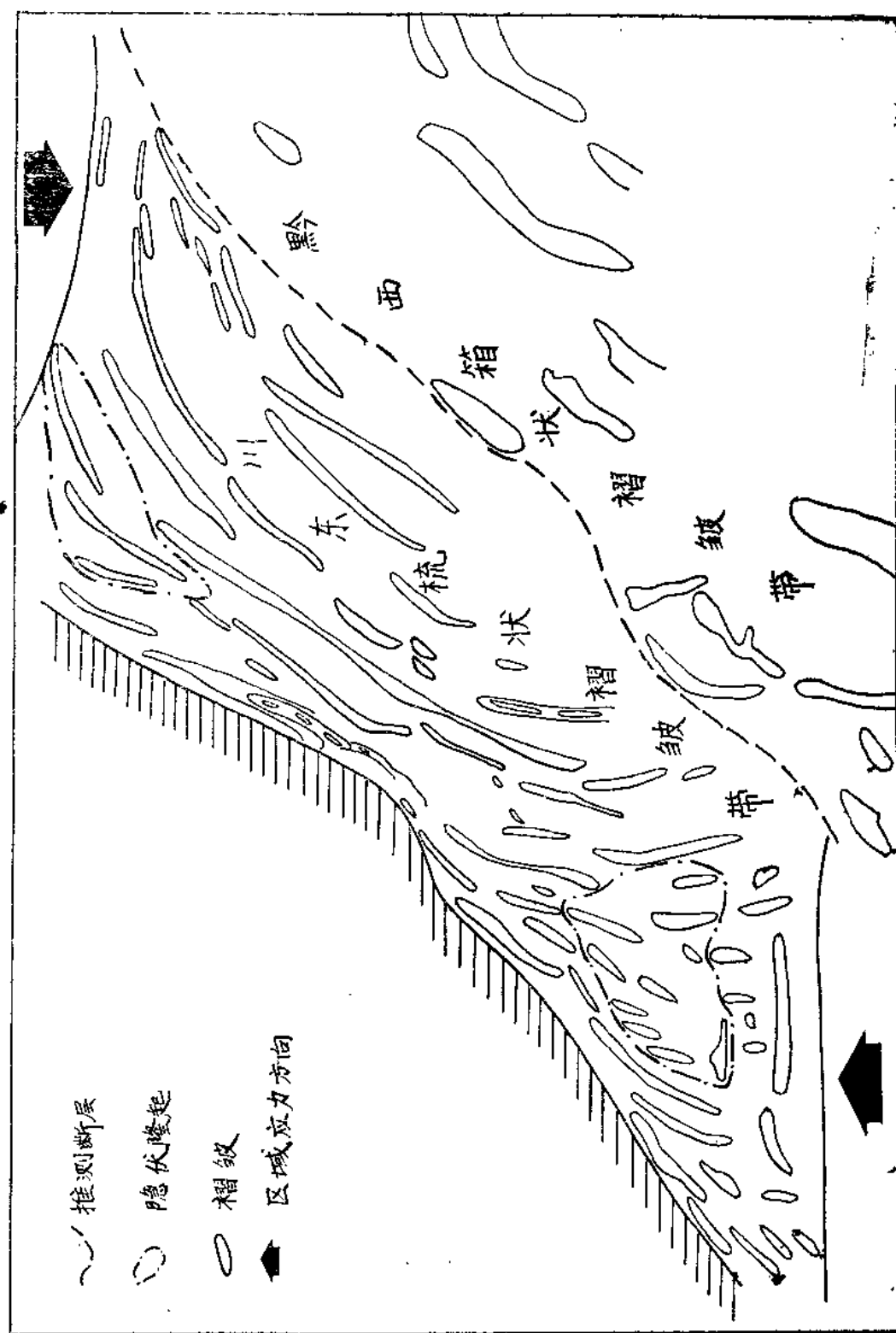


图 9 川东黔西地面局部构造分布示意图 (据四川石油管理局的资料, 略有改变)

六、深部构造与表层构造的关系

随着物探工作广泛和深入的开展，愈来愈多的事实表明：表层的构造和深部的构造往往是不一致的。

鍾嘉猷同志对我国的地震选择了几个主要剖面进行了震源机制分析。分析结果表明：深度在50公里以下的震源压力轴方向普遍是垂直的；深度在50公里以上的，震源压力轴方向普遍是水平的。我国台湾地区更是如此。因此，当用震源机制来分析应力场时不能简单地将它们投影在地表上，而必须考虑到震源深度。从图9中可以看出，在川东梳状褶皱带的中段(其下为基底拗陷)，褶皱更为紧密并向北东弯突，而在其北带和南带，因受两个隐伏的基底隆起的控制，褶皱呈帚状散开。

1961年，我们曾用简单的地质力学模拟实验，以基底硬层断块运动控制盖层软层褶皱运动的机制诠释了川东梳状褶皱群和黔西箱状褶皱群的形成[4]。近几年来，川东黔西地区的人工地震勘探工作的资料进一步地证实了这种观点。中生代，川东主要为下沉带，而黔西主要为上升区，相对柔软的三迭系岩层下伏的是相对坚硬的二迭系灰岩。在区域的垂直应力作用下，二迭系灰岩发生剪切断裂并形成断块。这些断块的运动控制了主三迭系岩层在局部应力作用下形成了川东梳状褶皱群和黔西箱状褶皱群(图10)。

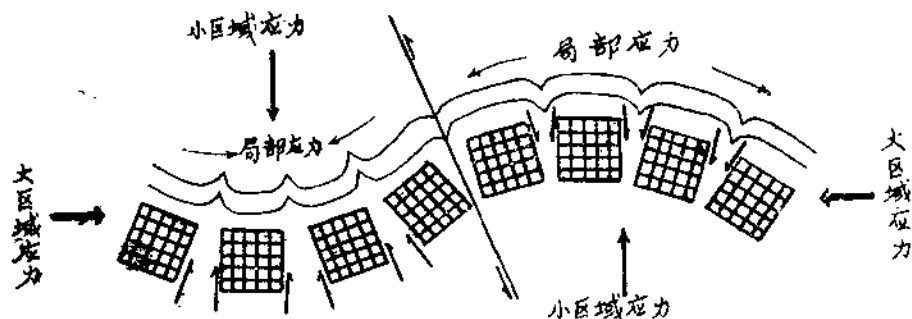


图10、基底的断块运动控制了盖层褶皱运动的示意图

龙门山断裂在地表观察是低角度的逆掩断层，而据物探资料它在深部却是高角度的正断层。许多弧形构造的深部是断裂，它们的形成同样也是受被X型断裂剪切的基底断块所控制的。(4)

表层构造与深部构造不一致的现象是普遍的。但是，这样的不一致性是有规律的。它反映了基底构造对盖层构造的控制以及盖层构造对基底构造的影响。

这里，顺便提一提，四川盆地东部下面的“古隆起”和隐伏的剪切断层对于油气的聚集是颇为有利的，值得进一步研究。

七、断块的形成和发展

根据上述的看法可以设想地壳是由X型剪切断裂所控制的大小不同的地质块体(即“断块”)所组成的。这些断块的差异运动包括垂直和水平运动是地壳改造和发展的主

要原因。形成这些断块和使它们运动的动力主要来自于以下两个方面：

(一) 地球自转速度的变化

李四光对地球自转速度在地球发展的历史过程中，经过较大幅度的变化的事实已有很好的叙述。

地球自转速度为什么会有变化的呢？一个原因是太阳系中其它行星对地球的影响，如月球通过潮汐影响地球自转速度逐渐变慢等，但这仅是外因。“外因是变化的条件，内因是变化的根据”。影响地球自转速度有较大幅度变化的根本原因还是在于地球内部物质的调整。

从关于刚体的转动的研究中可以知道，当点A对点O作圆周转动时（图11），在点A上，力矩（M）为转动惯量（I）和角速度（ β ）的乘积， $M = fr$ ，而 $I = mr^2$ 。因此，根据角动量守恒的规律，当地球内部物质集中，尤其是较重物质向地球下部集中时，地球自转速度就要加快；反之，如果地球内部物质向外扩散，尤其是较重物质向地球上部扩散时，地球自转速度就要减慢。

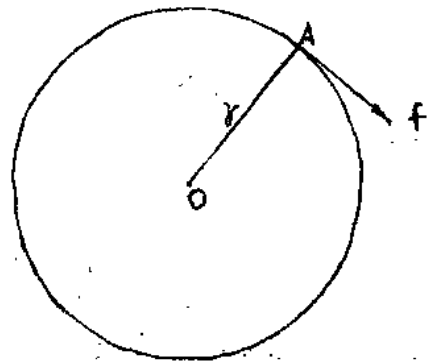


图 11 点A对点O的圆周转动

地球内部物质向外扩散和向内集中，是同一矛盾的两个方面。它们始终处于对立统一之中，使地球自转速度在地质历史过程中发生较大幅度的变化。地球内部物质的重力分异作用使地球自转速度加快，从而引起了地壳中高纬度部分向低纬度部分挤压，当量变到一定程度时发生质变，出现了大规模的地壳运动，即所谓的全球规模的构造运动期。大规模的地壳运动必然要影响到地球深部，引起强烈的岩浆活动，埋藏在地球深部的较重的岩浆物质沿断裂侵入地壳上部，或喷出地表。这样，地球自转速度又变慢了。最初李四光将海水的摩擦和构造形变对能量的吸收，从而使地球自转速度变慢的作用比拟为“自动刹车的车闸”。显然，地球内部物质调整的作用，是地球自转速度变化的根本原因。但是，地球自转速度变化的过程，绝不是简单循环的过程，而是波浪式前进的过程。

地球自转速度较大幅度的变化，引起了地壳两极部分向赤道部分的挤压。根据上述的压、张、扭的关系，可以知道，在南北向挤压下地壳中就产生了被X型断裂所控制的菱形断块。如果地壳是均质体，并且所受的南北向挤压力是均匀不变的，那末就应该产生大小均一的菱形断块，它们的小角就应大致朝着南北向。F. A. Vening meineg's 曾经按这样的原理提出了地壳受X型断裂剪切的格式（1958）[1]。实际上，地壳不是均质体，所受的南北向挤压力也不是均匀不变的。因此，所产生的菱形断块的大小不是均一的，它们的小角也不是严格地朝一个方向的，而与大型隆起（相当于背斜）和凹陷（相当于向斜）有关。

(二) 地壳的分层结构以及因相对的热胀冷缩引起的层间滑动。

地球的分层结构已为人们所公认。地球结构不仅在垂直方向有分层，而且在水平方向上也有变化。在垂直方向上，地球由内至外可以分为：地核、地幔、地壳。地壳由下至上又可分为：“玄武岩”层，“花岗岩”层，变质岩层和沉积岩层，而沉积岩层之间又

被若干不连续面所切割。地幔的上部又可分出軟流圈。根据 P.3. Таракановский 等的研究，在千岛岛弧下有四层軟流圈，它们各自相应的深度为60—90公里、120—160公里、220—300 公里以及 370—430 公里[11]。在水平方向上，大洋地壳没有“花岗岩”层，而大陆地壳有相当厚的“花岗岩”层。

关于地球究竟是在膨胀还是在收缩，或者是时胀时缩还是胀不缩的问题，现有很大的争论。但是，地球由表层至深部地温增加的事实已被地热测量所证实。但是并非线性关系，由此可以认为：地球的各分层间发生相对的热胀冷缩是无可置疑的。

(图12)的(a)示意了由于B层的温度相对地要比A层高而发生热胀冷缩时应力分布状况。对地球来说，当发生各分层相对的热胀冷缩时，某一壳段的断面内应力分布状况就如图12中(b)所示的那样。在水平方向上，地壳是不均一的，因此当发生相对的热胀冷缩时，每一壳段的边界应力分布状况就如图12的(c)示意的那样。从上述的褶皱和断裂的关系中可以看出，地球各分层间因温度梯度而发生相对的热胀冷缩时，其应力分布状况与横樑旁曲的应力分布状况是类似的。这样，相对的热胀冷缩就产生了层间滑动。各层的厚薄不一，力学性质也不同，因此层间滑动是不均匀的，滑动速度也是不一样的，于是形成受X型剪切断裂所控制的大小不等的菱形断块。重力不稳定所产生的不均匀收缩，与热力所产生的不均匀膨胀作用，恰好相反，但两种作用不会完全相等，而彼此相抵消，一般总是一种作用大于或小于另一种作用。

许多地区震源深度的统计表明：地震发生在地壳和上地幔内各个层间界面上，如费尔干纳盆地(图13)、希腊地区等。我国邢台地区的微震记录也反映了同样的规律。这种规律充分地反映了地壳甚至上地幔内层间滑动性。

总之，地球由外向内，温度和压力都是增高的相对的热胀冷缩，引起了层间滑动。这种热力不均匀是地壳构造运动的一个背景值。另一个构造运动的背景值是重力作用，也就是向地球内部的不均匀收缩。将这两个背景值与地球自转速度变化这样的运动值结合起来考虑，才能比较全面地分析构造运动。正因为上述的多方面原因，在地壳中形成了非常复杂的地壳断裂构造。

1961年我们曾绘制了在区域应力和局部应力作用下，我国主要断裂和剪切带的分布示意图[4]。近十多年来的地质和地球物理测量工作进一步地表明了中国地台具断块构造的特征。那时推测的一些断裂现今已被证实。J.D. Moody (1966年)根据地质和地球物理(主要是磁测)的资料，编绘了各大洲和全世界的主要深剪切断裂的分布图。他

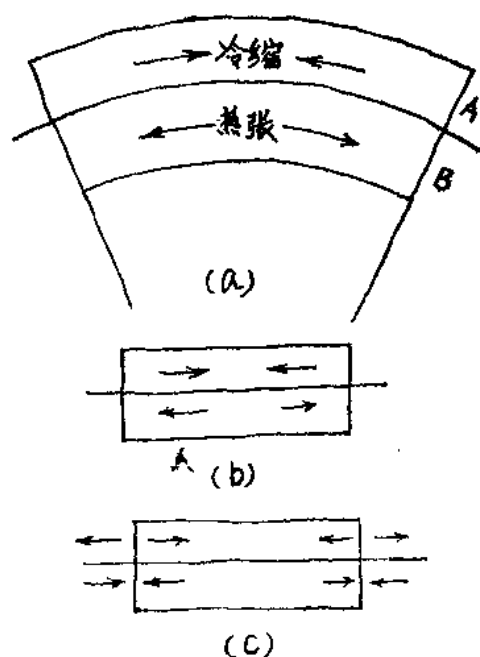


图 12 相对的热胀冷缩产生层间滑动的示意图

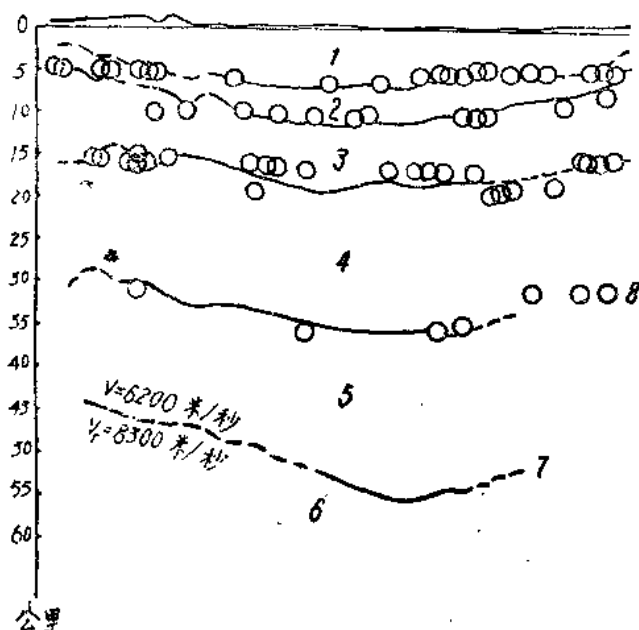


图 13 费尔干纳盆地深部构造剖面示意图

(据 E. c. Banbtotckuu 1970)

- 1—Ng + Q 沉积层； 2—Pg + Mz 沉积层；
- 3—花岗岩层(古生代褶皱岩系)；
- 4—花岗岩层(结晶条岩)； 5—玄武岩层；
- 6—上地幔； 7—莫霍洛维奇界面； 8—地震震源。

提出了地壳的剪切格式以及造山带的成因。他的研究同样表明，受 X 型剪切断裂控制的断块构造是地壳构造的普遍的格式。从 Moody 所编制的图中还可以看出，小角对着近东西向的剪切断裂系集中分布于赤道地区，而小角对着近南北向的剪切断裂系集中分布于远离赤道地区的两侧。他认为前者是东西向挤压的结果，后者是南北向挤压的结果。我们认为这两组剪切断裂系是在南北向挤压力统一作用下的结果。在南北向挤压力作用下，地球变扁，在赤道一带鼓起，从构造形态上来看好似一个大背斜。根据上述的褶皱和断裂的关系(见图 7)，在区域应力——南北向挤压力作用下，在背斜轴部，可以由导生的局部应力——东西向挤压下形成小角对着近东西向的剪切断裂系。

组成地壳的断块，它们的形状，规模和结构是多种多样的。这主要因为：(1) 地壳不是均匀的；(2) 因地球自转速度的变化产生的南北向挤压力不是均衡不变的；(3) 地壳中沉积岩层、变质岩层、花岗岩层和玄武岩层组成；而沉积盖层又可以由各种岩层组成。从理论上讲，它们之间都可以因相对的热胀冷缩并在地球自转速度变化影响下产生层间的不均匀滑动。因而在各层中也都可以形成断块。就分析区域性的地质构造来说，可以将断块分为基底断块和盖层断块。断块的边界是受断裂控制的。它们是构造比较脆弱的地带，因此往往也是地球物理场的异常带、地震活动带、岩浆活动带、地层不整合带以及强烈的动力变质作用带。