

“断 块” 与 “板 块”

张文佑 叶 洪 钟嘉猷

(中国科学院地质研究所)

摘 要

从“断块”学说的观点看,“板块”是断块的一种特殊类型,它是由巨大的深切整个岩石圈的断裂带所围限的断块,是最大一级的断块,称做“岩石圈断块”。

板块学说主要是在对海洋的研究与地球物理研究的基础上发展起来的,它提出了一些有价值的新论点。但大多数研究板块的人,对大陆地区的地质情况还缺乏深入研究,不能充分利用本世纪以来在大陆地质构造研究方面所获得的科学结论与思想方法,这就使板块学说的进一步发展受到了阻碍。

本文先对断块学说的历史发展与现阶段理论作一简单介绍,然后应用断块构造的力学分析与历史分析方法,对板块构造研究中出现的一些主要问题谈一些看法。作者认为板块边界的力学机制主要是受基底锯齿状断裂的活动方式控制的,板块内部的应力分布也主要与板块内部次一级强度不同的断块的复杂活动有关。关于板块运动的驱动力,不但应考虑地球内部的热运动,而且应考虑到重力作用和地球作为一个旋转天体所具有的各种动力学行为。

一、断块学说的历史回顾与现阶段的基本理论

断块学说的思想萌芽,最早见于美国地质学家 Hobbs 的著作^[1]。1911 年 Hobbs 根据地形与地质构造的研究,指出地球表面的断裂带与其他“线状构造”(Lineament)有着统一的型式与大致相似的方向。他写道:“这表明,地球的整个外壳很可能具有某种统一的应力、应变条件”。Hobbs 的思想,在相当长一段时间内没有引起足够重视。但同时,关于巨大断裂带的报道却不断从世界各地陆续传出。例如: Cloos 在莱茵与北欧的工作, Dixey 在东非的工作, Кузнецов 在高加索的工作, Ver Wiebe 在北美的的工作等。

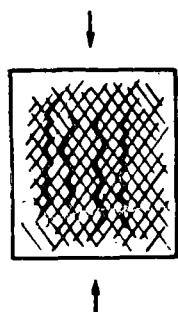
大约在三十年代末,四十年代初,著名瑞士地质学家 Sonder, 主要根据欧洲资料,对 Hobbs 早年提出的线状构造作了更仔细的分析^[2]。他认为斜向的线状构造比径向与纬向的线状构造更为重要。划分出三套六组斜向线状构造(NNE, NNW, NE, NW, NEE, NWW),并推论了这些构造在地球上的普遍意义。差不多同时,本文第一作者在跟随卓越的中国近代地质学先驱李四光教授研究华南大地构造时,也注意到了线状构造的重要性,并首次提出这些深切基底的巨大断裂在盖层构造变形发育中的作用^[3,4]。稍后,在四十年代,德国的 Cloos 与苏联的 Пейве 分别从不同角度促进了断块学说的发展。Cloos 的贡献在于,把线状构造与块状构造联系起来,

提出了基底断块的概念^[5]。指出这些基底断块有着极为古老的历史,长期控制着所在地区的地质构造发展。Пейве 则把断裂构造与地槽的发育联系起来,首次提出深断裂(Глубинный разлом)一词^[6],并初步论述了地槽发育过程中深断裂对沉积作用、岩浆活动、构造变形与变质的控制意义。其后,应该提到的,还有: Vening Meinesz 的应力网络分析^[7]; Hills 在澳大利亚的工作^[8]; Шатский 等在俄罗斯的工作^[9,10];以及 Moody 与 Hill 关于平移大断裂的综合研究^[11,12]等。

断裂学说在中国的发展,是与伟大领袖和导师毛主席的哲学思想的指引,以及我国蓬勃开展的社会主义建设事业分不开的。二十多年来,我们在学习辩证唯物主义思想方法过程中,根据地质构造力学分析与历史分析相结合的原则,把野外观察、室内模拟实验与理论探讨三者紧密结合起来,对各种断块的形成机制,活动历史进行了研究。将断块构造理论应用于找矿勘探、工程建设、地震预报和预防等工作,从生产实践中得到进一步改正与提高,大大丰富了我们对断块构造的认识。这方面的努力,始于五十年代末、六十年代初^[13-15],近几年的成果,则见文献[16—23]。

构造断裂是岩石受力变形到达破裂阶段的产物。在构造应力场作用下,岩石受力超过屈服点(比例限),先引起塑性形变,沿着矿物粒间或晶体内部的软弱面发生剪切位移滑错,形成吕德氏纹(Lüder's Bands),它们呈X形共轭交叉网状分布,是一种潜势的剪切断裂网络。当变形进一步发展,剪应力超过物质的抗剪强度时,就在吕德氏纹的基础上形成一对共轭的X型交叉断裂系。从理论上讲,最大剪应力应与主压应力成 45° 角,但实际上由于内摩擦的存在,两组剪裂面的交角常以小于 90° 的锐角方向指向挤压方向,这在材料力学里,叫做哈特曼(Haartman)定律。断裂的进一步发展恒牵就两组X型交叉剪裂面进行,当岩石再受力而出现局部引张条件时,便在垂直主张应力方向上,交替沿用先成的两组剪裂面而形成锯齿状的张性断裂(图1)。所以我们常说断裂的形成一般是由剪切开始,由拉张完成的。

图1 泥巴模拟实验挤压后所表现的X型断裂网络



由于受力方式,边界条件及变形体物理力学性质的不同,断裂常构成不同型式的组合,可称为断裂体系。我们初步划分出X型剪切断裂体系,Y型剪切-拉张断裂体系,I型张性断裂体系等。三种最基本的断裂体系(图2)。

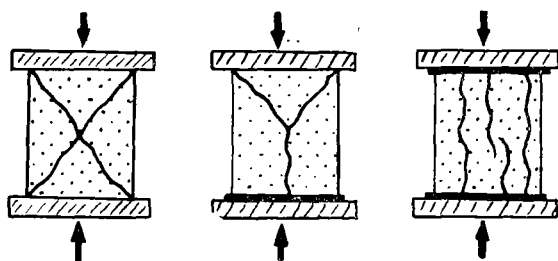


图2 岩石标本在挤压作用下由于边界条件的不同所产生的三种断裂体系

X型体系发生在受压两端与两侧均不易滑动的情况,I型体系发生在受压两端与两侧均易滑动的情况。如果受压的一端较另一端易于滑动则产生Y型体系。除上述三种基本型式外,还有很多种它们的复合型式。

断裂体系形成以后,在漫长的地质历史时期内,由于区域构造应力场的变迁,断裂的活动

方式与应力状态均可以发生变化,总起来说,不外乎以下五种方式即: 1. 纯挤压, 2. 纯拉张, 3. 纯剪切(分左旋、右旋两种), 4. 挤压-剪切, 5. 拉张-剪切(图 3).

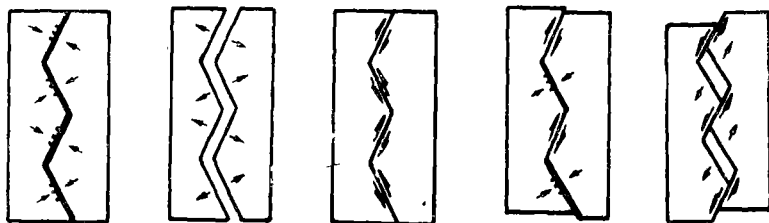


图3 断裂活动的五种方式

对于地球表面巨型断裂带来说,纯粹的挤压、拉张或剪切都是少见的. 挤压带或拉张带一般都伴有剪切,因此实际上主要是两大类型: 挤压-剪切型与拉张-剪切型.

目前所知地球上最早形成的花岗岩壳,大约发生在 30 亿年以前,即所谓的早太古时期. 在世界各地的前寒武纪古老地块上,普遍可以见到的绿岩带,年龄约为 30—25 亿年(晚太古代),它们主要是由变质的基性到中酸性火山岩流火成碎屑岩以及主要是火山成因的杂砂岩、泥质板岩等所组成. 我们认为,这些绿岩带,可能代表着我们今天所能找到的最古老的地球行星断裂网格(火星和月球表面也有类似的线型构造,大约形成于 45—35 亿年),其方向主要有两套: NNE, NNW 与 NEE, NWW, 牵就前者形成近南北向构造,或牵就后者形成近东西向构造. 在晚太古代末开始出现,而在元古代大量发育的内陆断陷盆地(Aulacogen)也大多承袭了这两套方向. 我们和 Sonder 等人以前所做的研究都表明,从绿岩带发育时期以来,地球上各个时代的主要构造线与地形,主要都是受这两套斜向线状构造及牵就它们所形成的纬向与经向构造所控制的. 也就是说是在近南北或近东西向的挤压或拉张应力作用下形成的. 地球表面构造格局方向上的这种规律性,与地球自转之间,必定有着某种内在的联系(图 4). 对此,我们在本文的第四节中还要作进一步论述.

一条断裂在地球表层构造变形与地质演化中所能起的作用,主要决定于它所切割的深度,断裂在平面上的延伸与影响范围,一般也都与它的深度成正比. 因此,我们认为断裂的分类方

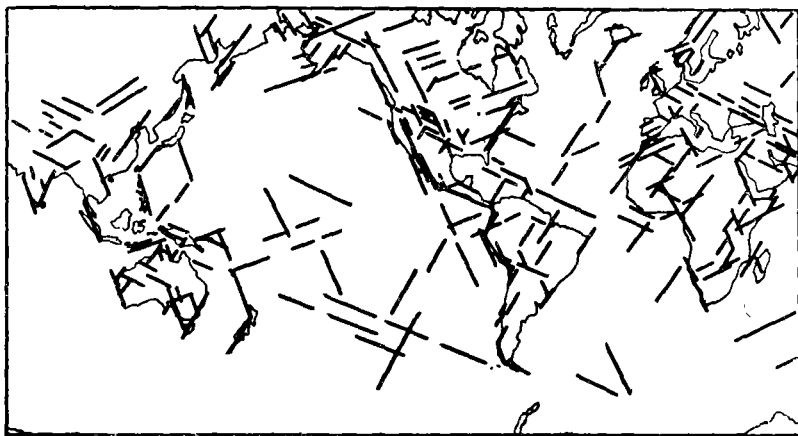


图4 地球表面的断裂网格

案虽然很多,但首先应该考虑的,是深度分类. 断裂按其深度可以分为四大类: (图 5)

1. 岩石圈断裂, 切穿整个岩石圈,到达软流圈.

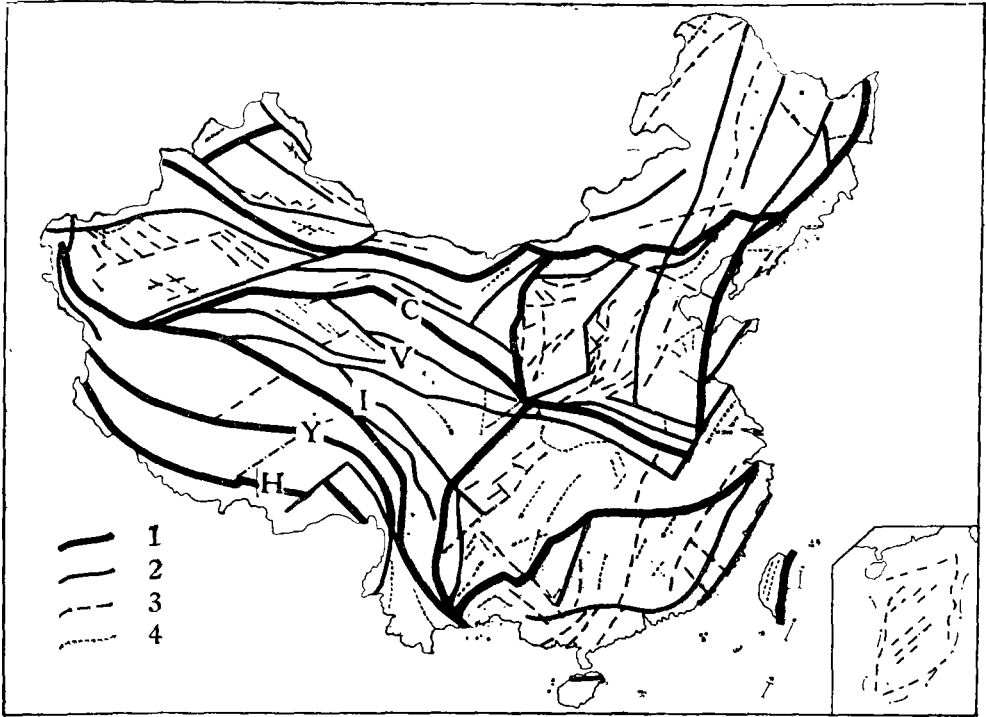


图 5A 中国主要断裂构造分布略图

1. 岩石圈断裂, 2. 地壳断裂, 3. 基底断裂, 4. 盖层断裂;
C.——加里东期构造带, V.——华里西期构造带, I.——印支期构造带,
Y.——燕山期构造带, H.——喜马拉雅期构造带

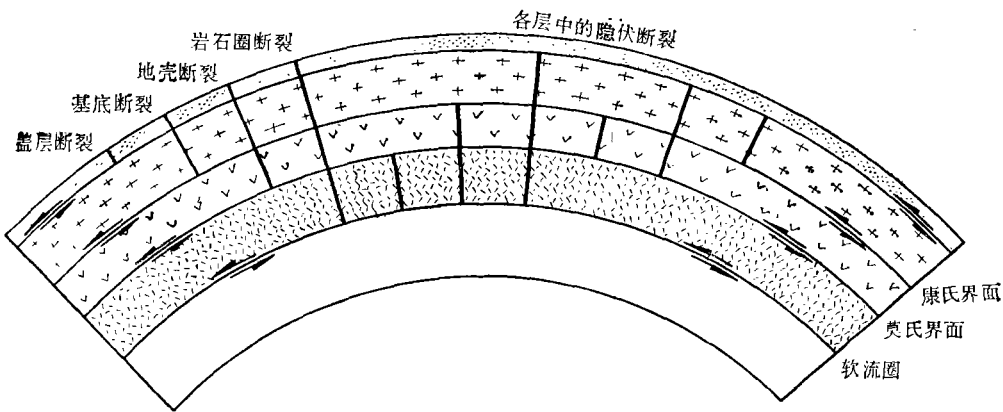


图 5B 四类断裂示意图

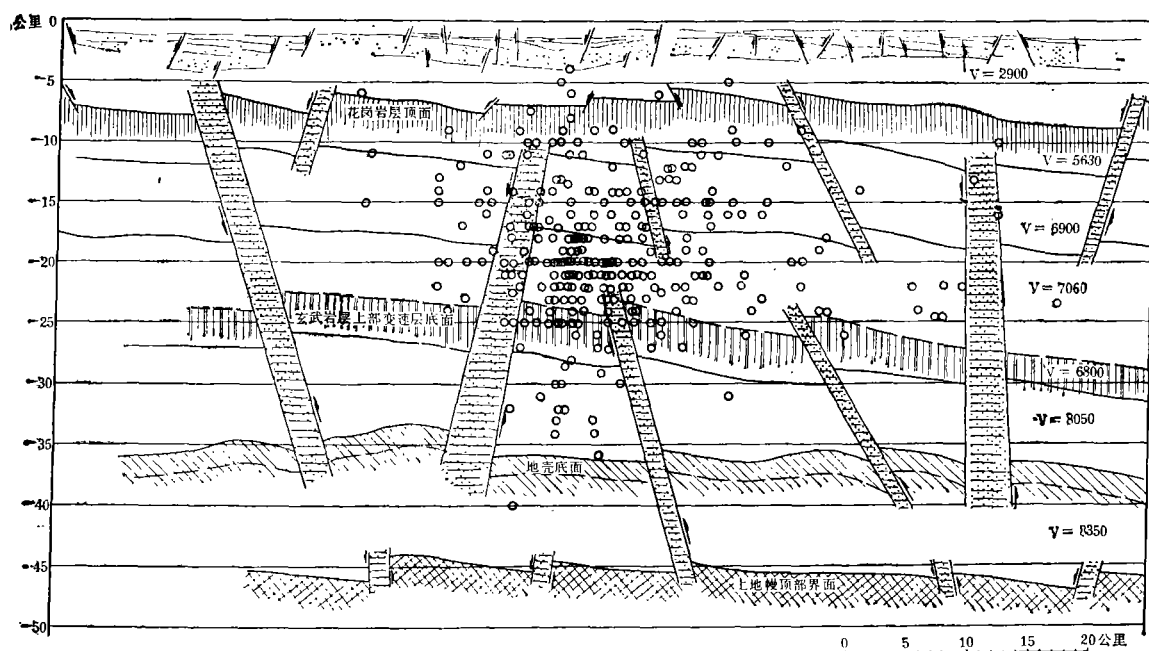


图 5C 华北平原中部地区地壳构造剖面及震源分布剖面图

(据滕吉文等 1974 年, 略作修改)

2. 地壳断裂。切穿整个地壳, 到达上地幔顶部。
3. 基底断裂。切穿整个花岗岩质层, 到达玄武岩质层。
4. 盖层断裂。切断沉积盖层, 到达结晶基底顶面。

我们在这里突出的都是切穿整个构造层的断裂, 我们认为, 只有切穿整个构造层的断裂才可能在层间滑动的配合下, 对被切穿的构造层的变形, 起重要控制作用。那些未能切穿整个构造层的层内断裂, 一般都是较小规模的, 在此不予强调。除了上述四种断裂外, 还有一种层间滑动断裂, 也值得注意, 它们是发生在各构造层之间的层间滑动面。

从上述断裂的深度分类出发, 我们认为, 地球表面被各种断裂网格切割所成的断块, 也可相应分为岩石圈断块, 地壳断块, 基底断块, 盖层断块等四大等级。

我们曾说过, 从断块学说的观点看, 板块就是岩石圈断块, 是被岩石圈断裂所围限的块体。在岩石圈断块内部被各种地壳断裂所切割的块体, 就是地壳断块。在地壳断块内部又可分出基底断块与盖层断块。考虑到地球表面的曲率及岩石圈的层状结构, 上述断块从三度空间来看, 实际上都是带有一定弯度的层状块体。这些层状块体在地球构造应力场作用下, 沿着块体两侧的断面可发生块断错动与离合, 沿着块体顶底近于水平的构造层面, 则可发生层间滑动, 这是断块间相对运动的两种基本方式。

断块间的相对运动对于其上复岩层的建造发育与构造变形有着重要的制约作用。盖层的沉积盆地边界、厚度, 沉积建造类型、岩相分布, 以及后期的褶皱、断裂变形、岩浆活动、变质作用等都是与其下伏断块的形状、断块边界的深度, 活动方式、活动强度、基底的软硬性质等密切有关的。例如, 过去有人把褶皱作用分为三类: 1. 阿尔卑斯型, 2. 侏罗型, 3. 日耳曼型。据我

们看来,这三种不同类型的褶皱就与基底软硬性质的不同有很大关系。盖层构造变形的组合型式,例如平面上的组合型式:弧形、雁行形、旋卷形、菱形或平行四边形等,剖面上的组合型式:箱形、梳形、屈形等,也都在很大程度上取决于基底的断裂网格与活动方式(图6)。

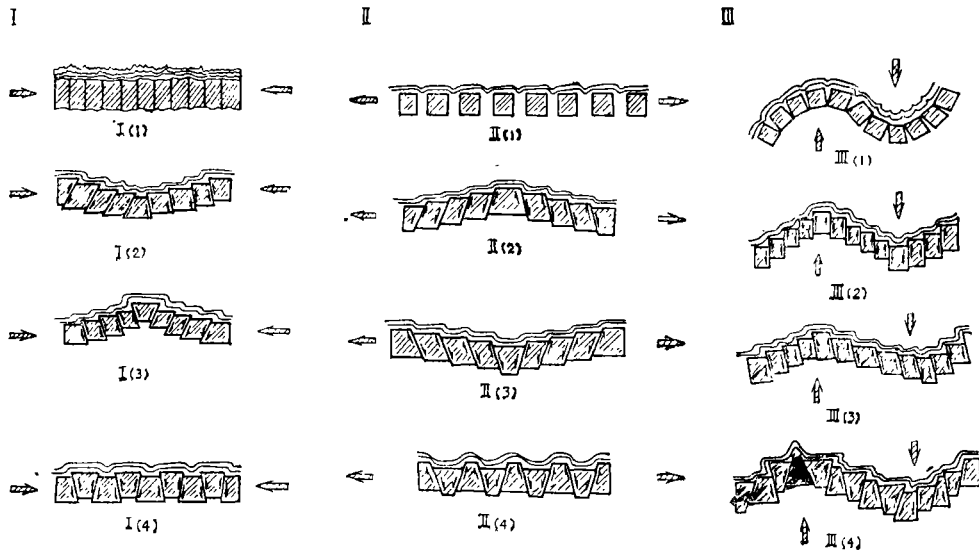


图6 基底断裂对盖层构造的控制作用

另一方面,盖层的构造变形又可进一步改造基底。这主要表现为两种方式:1.基底的碎化。这是在基底比较刚硬或盖层构造变形的强度不太大时发生的。2.基底的软化与被卷入盖层褶皱。这是在基底比较柔软或盖层构造变形强度很大时发生的。

从岩石形变的塑性到断裂的发展过程看来,断裂常是褶皱形变的继续和最后形变的结果。背斜轴和向斜轴的方位常可决定断裂的方位,岩石的层间滑动面上下的断裂方位也往往不同(见后面第四节的讨论)。这是我们在探讨断裂构造时不能不注意的一个问题。就是我们常提到的由褶皱到断裂是构造发生和发展的一个旋迴,也是构造旋迴划分的主要依据。第一个构造旋迴是由褶皱到断裂,第二个构造旋迴也是由褶皱到断裂。基底好比第一个构造旋迴,盖层则相当于第二个构造旋迴。据室内模拟试验和野外观察结果,第一旋迴的断裂往往可控制盖层的褶皱,而盖层褶皱又反过来可以改造基底的断裂。基底往往比盖层坚硬,而盖层也常常比基底柔软,所以也可用岩石软层和硬层之间的形变差异来类比盖层与基底以及浅部与深部构造形变的不同。

总之,如我们常说的:基底结构制约盖层变形,盖层变形又可改造基底结构。在研究断块构造时,不但要注意相邻断块间的相对运动与相互影响,也要注意断块上下层之间的相对运动与相互影响。

还应指出,从地壳岩层厚度所产生的自重荷载向深处增大,以及地热向深处增高,从这两个因素来看,地壳浅部大部份地区主要受侧向挤压应力影响(侧向压应力大于垂向压应力),多产生低角度逆掩断层。向深处去,垂向挤压应力的影响增大,多引起高角度断层;在两者的过渡地带则垂向与侧向应力大致相等,于是多有平推断层或层间滑动断层出现。

此外,地表断裂不一定能反映地下断裂,震源迁移的轨迹才是地下断裂活动的标志。由于地表断裂和地下断裂的活动和性质时常不一致,因此不能把震源机制所表现的应力场,简单地投影到地表来代表地表应力场,这是我们在搞地震地质工作时需考虑的一个问题。因此,我们可以说,地下断层产生浅源地震,地表断层常由浅源地震产生。

二、断块力学与板块边界力学机制的认识

板块边界可以有以下几种情况,1. 海岭(包括中脊与中隆两种类型),如大西洋中脊、东太平洋中隆;2. 裂谷,如红海裂谷;3. 岛弧-海沟系,如西太平洋边缘的岛弧-海沟系;4. 山弧-海沟系,如南美安第斯山弧-海沟系;5. 山弧-地缝合线,如喜马拉雅山弧-雅鲁藏布江地缝合线;6. 陆间海,如地中海陆间海;7. “转换断层”,如圣安德烈斯断层等。

以上几种情况又可分为三大类型:海岭和裂谷是新生洋壳生长的地方,具拉张性质;岛弧-海沟,山弧-海沟,山弧-地缝合线,以及地中海型陆间海是板块碰撞、对冲、消减的地方,具挤压性质;“转换断层”则是板块间发生水平错动的地方,具剪切性质。

板块学说一向重视板块边界的研究。这是由于板块边界的研究是板块学说立论的根据,另一方面从地形上看,板块边界大多位于大陆边缘,大洋岛屿或中脊以及陆间海的部位,与海洋矿产资源的关系甚密。因此随着后一问题的逐渐引起注意,板块边界研究的实际意义也越来越大了。在1975年于法国Grenoble举行的I. U. G. G. 第16届会议上,板块边界是受大家注意的重要议题之一。会前、会后均有一系列著作发表^[24-27]。

关于各种板块边界的地形、地质、地球物理、地球化学特征,许多研究者都有过专文论述,在这些方面,可以说已经积累了相当丰富的资料。但是对于板块边界力学机制的研究,相对就显得较差,以至于像“转换断层”的本质,边缘海盆的成因等重要理论问题,至今还未能得到合理的力学解释。

不同规模等级的地质构造,在变形力学机制方面,常常表现出相似性。从小型构造的研究中得到启发,去类推解释大型构造,是构造地质学的一条重要思想方法。板块即“岩石圈断块”,是一种巨型断块。从这个角度讲,我们完全可以把大陆地质研究中,关于断块边界力学分析的成果用到板块边界上去。

一个明显的事实是:所有板块边界,按其平面形态,可以分为三类:

1. 拉张型的板块边界,如裂谷等大多呈锯齿形。
2. 挤压型的板块边界,如海沟、岛弧、山弧、陆间海等大多为弧形。
3. “转换断层”是剪切性质的,一般比较平直。

这种情况,与大陆上的断块边界,十分相似。我们已经说过,岩石的破裂导源于一对共轭交叉的X型剪切断裂网格,在进一步的引张力作用下,牵就X型剪切网格而产生锯齿状的张断裂。在锯齿状断裂形成以后,由于构造应力场的变迁,可以发生不同方式的运动(图3),如继续拉开,则形成锯齿状的地堑盆地;如发生挤压,则在锯齿控制下,盖层将表现为弧形褶皱;如发生斜向的拉张与挤压(即拉张-剪切与挤压-剪切),则沿着锯齿的某一方向发生剪切平移,而沿着锯齿的另一方向则拉开成盆地或挤压成宽缓的弧形。这些,在大陆内部各种规模的断块边界上,都不乏其例,而在模拟实验方面,也得到过很好的证实。

从以上认识出发,我们重点谈两个问题,一是对“转换断层”的认识,二是弧形构造的成因。

“转换断层”的概念是 Wilson 在 1965 年首先提出的^[28]。所谓“转换”，指的是在此类断层的终点，构造类型发生变化，由平移性质转换成拉张或挤压。Wilson 认为转换断层不是真正的平移断层，而是另一种性质的断层，他分出了六种可能的右旋转换断层类型（相应的，还应有六种左旋转换断层类型）。1970 年 Wilson 在另一篇文章中^[29]，又比较了转换断层与一般平推断层之间的六点异同。

其实，“转换断层”完全可以用锯齿状断裂的拉张-剪切或挤压-剪切来解释。当锯齿状断裂遭受斜向拉张时，沿着锯齿的某一个方向发生剪切平移，沿着锯齿的另一个方向，便发生拉张（往往表现为盆地或基性岩浆的通道）。当遭受斜向挤压时，则沿着锯齿的某一方向发生剪切，而沿着另一方向发生挤压（往往表现为弧形褶皱或断裂以及花岗岩浆的侵入）。前一情况相当于与海岭或裂谷伴生的“转换断层”，后一情况相当于与岛弧或山弧伴生的“转换断层”（图 7）。

因此，转换断层不仅是板块（岩石圈断块）的一种边界类型，而且也是其他各级较小断块

（如地壳断块、基底断块、盖层断块）的一种边界类型。Wilson 所说的这种切穿整个岩石圈的巨大“转换断层”，可以称为“岩石圈转换断层”，其他的各级可依次称为“地壳转换断层”、“基底转换断层”、“盖层转换断层”。

我们认为，平推断层只要发育到一定程度，即在垂直方向能切透整个构造层，在水平方向能与其共轭的另一组平推断层首尾沟通，则在层间滑动的配合下，均可表现出“转换断层”的性质。从这意义上说，“转换断层”与平推断层之间也并没有截然的差别。以前所说的那样狭义的平推断裂，一般都是规模很小的层内断裂，受某一级次的褶皱控制。在大区域的断块运动中，不起主要作用。

挤压与拉张可以交替进行，因此转换断层的转换性质也可能发生变化，例如，我们以前曾经指出过，西昆仑山—阿尔金山—北祁连山巨型锯齿状断裂带，在晚元古代到早古生代主要遭受北北东—南南西方向的拉张，北祁连山与西昆仑山主要表现为拉张，阿尔金山是以右旋活动为主的转换断层。加里东运动以后，随着其南北两侧海西地槽的发育，北祁连山与西昆仑山由拉张转为挤压，阿尔金山成为左旋转换断层（图 8）。

板块的边界，除海岭、裂谷与“转换断层”外，几乎无例外地都表现为弧形，可见弧形构造的成因，对于研究板块边界的力学机制，关系甚大。但这问题，在多年来的板块构造研究中，一直未能引起足够重视，板块学说中有一些疑难问题，长期得不到解决，不能不说与此有一定关系。

弧形构造现象的描述与探讨，虽然可以追溯到本世纪初（Suess, Hobbs, 德田贞一等），但首先应用力学原理对弧形构造的力学机制作出明确分析的，是我国卓越的地质学家李四光教授^[30]。他根据一系列野外观察与室内模拟实验结果，创立了“山字形构造体系”，并指出了大陆边缘还有“边缘弧”构造的存在。

弧形构造的形成与层间滑动有关。当上部构造层沿着某一构造层面发生大规模层间滑动时，由于边界条件的制约与受力的不均一，滑动也不可能是均一的，于是便形成了各种规模的弧形褶皱带。至于弧形发生的边界条件，则特别应该强调的是基底的锯齿状断裂。室内模拟实验与野外实际资料的分析均表明，当基底锯齿状断裂发生正向或斜向挤压时，盖层极易形成

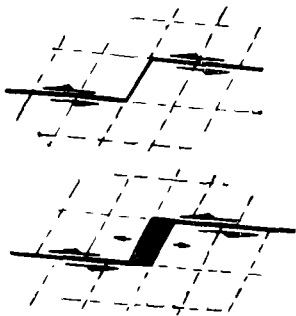


图 7 转换断层的活动方式与锯齿状断裂的活动方式是相同的

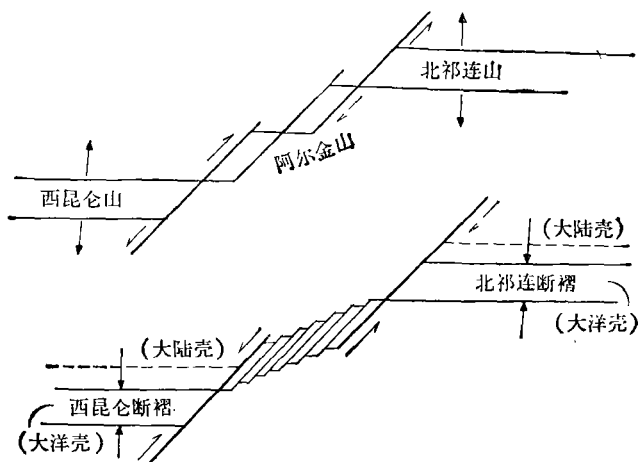


图8 西昆仑—阿尔金山—北祁连山块断构造运动示意图

- a. 晚元古代——早古生代：西昆仑山、北祁连山以拉开运动为主，阿尔金山深断裂带表现为右旋剪切运动；
b. 早古生代末：西昆仑山、北祁连山以挤压运动为主，阿尔金山深断裂带表现为左旋剪切运动。

弧形构造(图9)。因此我们推断，环太平洋弧形构造带与地中海—喜马拉雅弧形构造带可能都是受巨大的锯齿状岩石圈断裂带控制的。

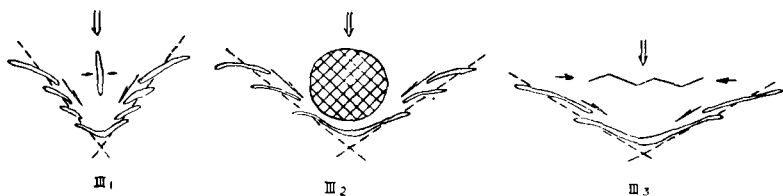


图9 锯齿状断裂对盖层弧形构造的控制作用

李四光教授指出，由于与横梁弯曲相同的原理，在弧形构造的内侧，将产生平行于弧形走向的次生挤压，当弧内侧岩石比较柔软时，便形成与弧形走向垂直的纵向压性构造，称为脊柱，由此构成的“山字型构造”，我们称为第一类弧形构造。我们的研究表明，当弧内侧岩石比较脆硬时，平行于弧形走向的次生挤压将不能产生明显的纵向脊柱，但横向张裂缝却往往十分明显^[17]，而当弧内侧岩石是一个坚硬的地块时，则在弧后只出现平缓穹隆。为了区别于山字型构造，我们暂将这两类弧形构造分别命名为第二类弧形构造与第三类弧形构造。我们的研究还表明，李四光教授早年所说的大陆“边缘弧构造”，往往属于第二类弧形构造，例如：我们对喜马拉雅弧的研究即表明了这一点^[22](图10)。

近年来，关于西太平洋边缘海盆的讨论甚多 Karig 等人指出这些海盆是拉张形成的^[31,32]。我们认为，这种拉张至少在其开始阶段可能与刚才提到的弧内侧次生挤压有关。平行于弧走向的次生挤压引起横向张裂缝，张裂缝切割到一定深度，导致局部压力降低而促使深部物质局部熔融，形成岩浆源，边缘海盆的进一步扩张可能与岩浆活动及由此产生的侧向扩张有关。除了边缘海盆外，在地中海—喜马拉雅弧形构造的内侧，近年来的地质与地球物理研究，也发现普遍有局部引张。我们认为，这些现象都似应从弧形构造的力学机制上去寻找解释。

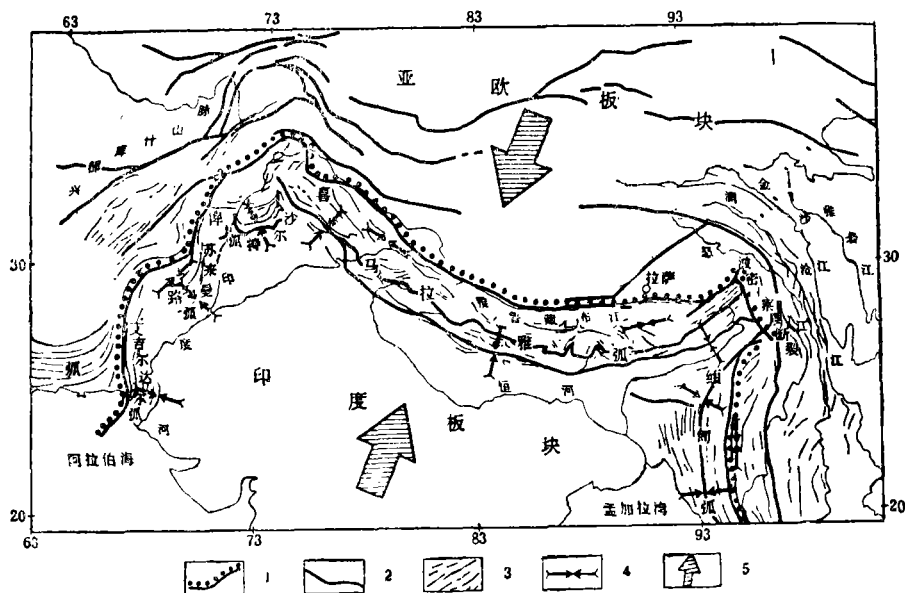


图 10 喜马拉雅弧形山系及其邻近地区构造应力分布图

1. 板块边界; 2. 断裂; 3. 褶皱轴; 4. 岩石圈上部构造挤压方向; 5. 岩石圈下部构造挤压方向。

三、“断块”与“板块”内部应力问题的认识——以中国大陆地壳为例

板内应力问题,是近年来引起人们普遍注意的又一个问题。在板块学说出现之初,板块曾被假设是一个刚性块体,其内部没有变形,这一假设显然是与事实不符的。做这种假设的人大多是地球物理学家,他们对大陆内部的地质情况了解不多,因此对地球的构造变形作了这样简单化的处理,实际上岩石圈断块内部存在着许多次一级的软硬不同的断块,可以发生许多复杂的褶皱、断裂变形以及升降运动。当这些地球物理学家的研究逐渐深入以后,他们就发现,虽然绝大部份的大地震集中在现代板块的边界,它们的发生可以用板块边界的运动来解释;但是也有一部份大地震是发生在板块内部,对于它们必须寻求适当的解释。一些研究板内应力的人还注意到,大陆板块内部的地震机制解释,表现出很大的复杂性,远远不像 Isaks, Oliver 和 Sykes 等人在研究板块边界及海洋内地震机制时那样,能够得到比较简单而明显的结论^[33-36]。于是便提出了所谓“板内应力问题”和“板内动力学问题”。

“板内应力”,或者说“岩石圈断块内部应力”,这是断块学说早就注意到了的一个问题,特别是大陆岩石圈,它与大洋岩石圈无论在厚度、结构、物质组成,还是在发展历史上,都有着很大的不同。大洋地壳是在晚近地质时代刚从上地幔中分导出来的,尚未经过很复杂的变形,内部结构比较简单,因此震源机制所反映的板块内部应力分布也比较简单。大陆地壳则不然,它是四十亿年来各个地质历史时期的“古板块”多次拉开-挤压与分离-拼合以及褶皱而成的,后期又经过多次改造,结构非常复杂,应力分布当然也就不会那么简单。

例如,中国的大陆地壳,根据我们的初步研究^[20],可以认为是由“冀鲁”、“鄂尔多斯”、“胶辽”、“太行”、“杨子”、“塔里木”等古老断块拼合而成的(图 11),这些古老断块的时代分别为太

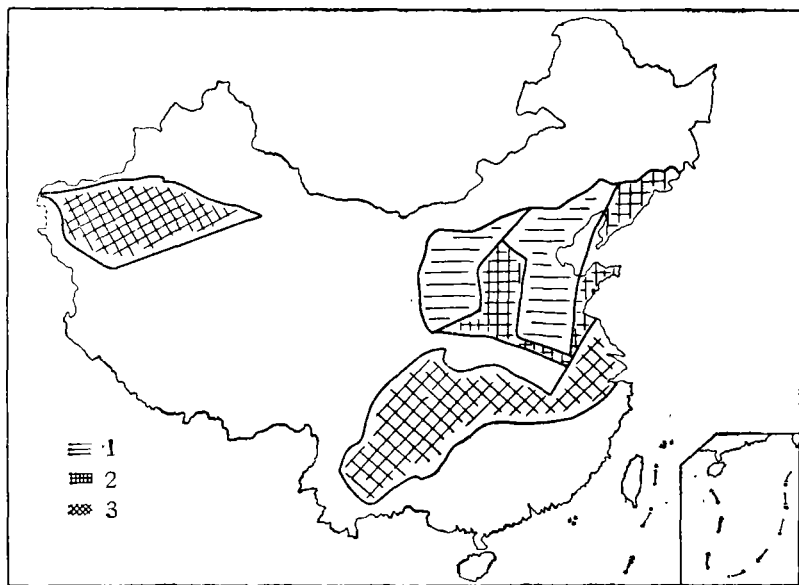


图 11 中国古老断块分布简图

1. 晚太古断块 2. 早元古断块 3. 晚元古断块

古代(>25 亿年)、早元古代(25—17 亿年)、中元古代(17—10 亿年)。实际上在十亿年以前,它们就已经经历了多次开裂、闭合的复杂历史,因而本身具有非常复杂的内部结构,但这一段历史由于年代过于久远,目前尚未研究得十分清楚。晋宁运动(距今约 9.5 ± 0.5 亿年)以来,中国大陆地壳在上述古老断块基础上,进一步发展。在这些古老断块之间及它们的外缘,发育有:天山—阴山带(海西期);阿尔泰—大兴安岭带(海西期);昆仑—秦祁—大别带(加里东—海西期);浙赣湘桂带(加里东期);浙闽粤沿海带(可能为海西期);那丹哈达岭带(燕山期);台湾带(喜马拉雅期);龙门山—横断山—哀牢山带(印支期);羌塘—金沙江带(印支期);喀拉昆仑—冈底斯带(燕山期);北喜马拉雅带(喜马拉雅期)等晚元古代以来的古生代、中生代、新生代褶皱造山带。根据近年来的研究,这些褶皱造山带一般均发育有“蛇绿岩套”(图 12)。有的已找到了兰闪石片岩、榴辉岩、硬玉等高压低温相的岩石和矿物组合,以及与它们伴生的红柱石—矽线石片岩等高温低压相岩石,有的地方还找到了“混杂堆积”或类似混杂堆积的岩石(图 13)。因此这些造山带实际上都是晚元古代以来各个地质时代的“古板块”边界,一般都经历了开裂,海洋地壳的形成以及闭合,板块对冲,挤压褶皱、变形、变质及局部花岗岩化的过程。有的“古板块”边界还经历过多次的拉开与闭合(从断块学说的角度看,有些大地构造学家所强调的“多旋迴构造活动”可能就是“板块”边界的多次开闭)。在它们拼合之后,沿着这些“古板块”边界及某些新生断裂在适当的构造应力条件下,也可发生重新开裂(从断块学说的角度看,有些大地构造学家所强调的地台活化说,就是大陆地壳内部的重新开裂与活动)及或多或少的差异运动。可见,“板块”内部的结构与运动都是非常复杂的,因此“板块”内部应力的分布也是相当复杂的。若从断块和断裂运动进行深入研究,则可能是比较容易解决。

这里还应指出,中国大陆岩石圈有以华北断块为核心分别向西南和东南变新的趋势,这可由其边缘发育的不同时期的断裂带(断块的拉开与闭合带)大致推测出来。

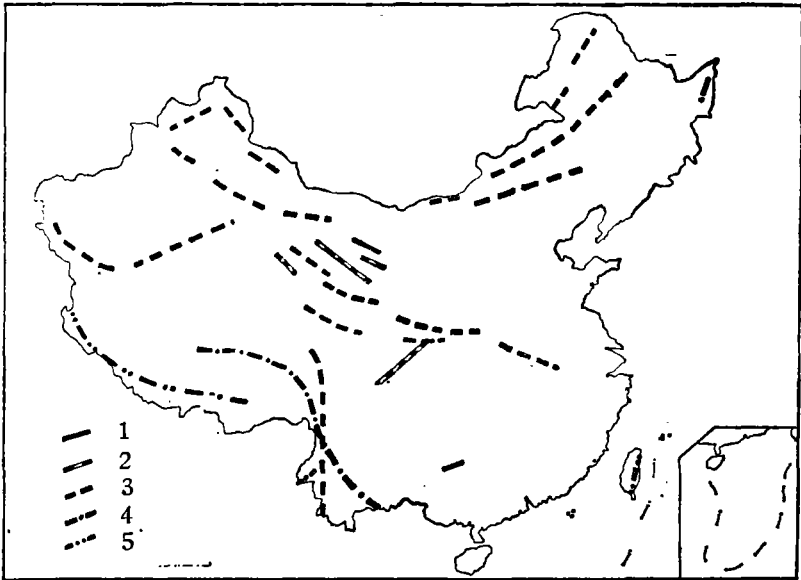


图 12 中国各时代蛇绿岩套分布简图

1.前寒武纪蛇绿岩套, 2.加里东期蛇绿岩套, 3.海西期蛇绿岩套,
4.印支—燕山期蛇绿岩套, 5.喜马拉雅期蛇绿岩套

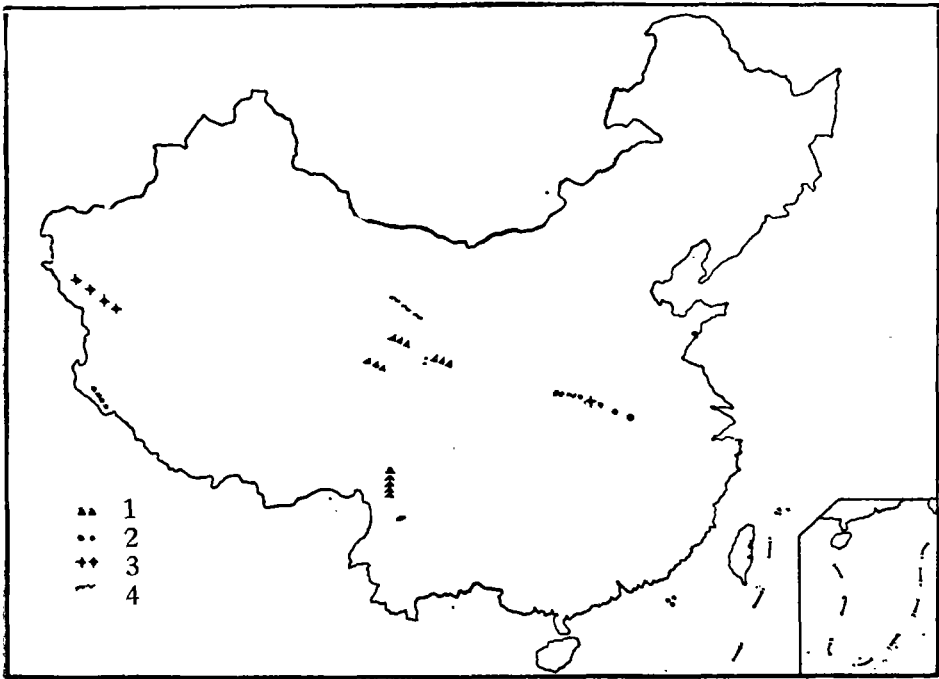


图 13 中国混杂堆积、榴辉岩、硬玉、兰闪片岩分布简图

1.混杂堆积, 2.榴辉岩, 3.硬玉, 4.兰闪片岩

根据我们以往的经验,认为在分析大陆“板块”内部应力分布时,应注意以下几点:

第一,必须注意大陆板块内部的先成边界,即那些古老的“板块”拼合界线(或称为“地缝合线”)。这些地缝合线是已经愈合或部份愈合的岩石圈断裂。它们的现代活动虽然不像现代“板块”边界那么强烈,但往往也具有一定的活动量,它们是“板块”内部应力调节与释放的主要地带。这些地缝合线所分开的两边,往往在地壳厚度、层次结构、构造走向以及岩石物理力学性质方面,有很大差别。因此,它们的存在对于大陆板块内部的应力状态有很大的影响。

第二,需要注意大陆板块内部应力状态随时间的变化。在这里,我们指的主要是以一个地质历史时期为尺度的较长趋势的应力状态变化,而不是指由地球自转速率短周期的突变或钱德勒晃动等因素引起的较短暂的应力状态变化(当然,后者也是需要研究的,但对于地质上的分析来说,首先应该抓住前者)。地质资料表明:一些古老的地缝合线,在不同地质历史时期,应力状态有很大变化。例如我国东部著名的郯庐断裂带,大约形成于太古代末期,在元古代与古生代,作为一条重要的平移大断裂,曾经多次变换其平移方向,或为左旋,或为右旋,在中生代侏罗、白垩纪与老第三纪则变成以拉开为主,而在第三纪以来,又转为以挤压兼右旋剪切为主(图14)。

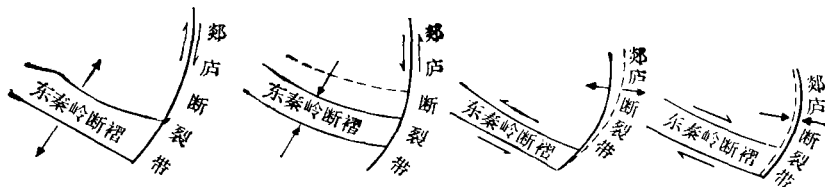


图14 东秦岭与郯庐断裂带运动方式及其转换运动方式示意图

- 晚元古代—古生代: 东秦岭以拉开运动为主,郯庐断裂带为右旋剪切运动;
- 古生代末: 东秦岭以挤压运动为主,郯庐断裂带为左旋剪切运动;
- 中、新生代: 郯庐断裂带有时以拉开运动为主,东秦岭则为左旋剪切运动;
- 中、新生代: 郯庐断裂带有时以挤压运动为主,东秦岭则为右旋剪切运动

因此,在分析大陆“板块”内部应力时,必须注意把不同时期的变形分开。

第三,需要注意同一条边界内不同段落的应力状态变化。如上所述,锯齿状断裂的不同段落,应力状态往往是不同的。一个明显的例子是山西中部的新生代地堑构造,这是由一条锯齿状断裂的剪切—拉张所形成的。它的北东向段以拉开为主,因而形成比较开阔的北东向盆地,它的北西向段则以剪切为主,因而形成比较紧闭的横向构造(照片1)。

第四,需要注意不同深度的应力状态的变化。上面说的是,沿水平方向,一条断裂的不同段落,应力状态可以发生变化。同样的原则也适用于垂直方向,即在不同深度,同一条断裂的应力状态可以不同。大陆地壳由于它的巨大厚度与多层结构,往往发生层间滑动。层间滑动使得隆起与凹陷的上下层位具有相反的应力状态。关于这一点我们曾多次用背斜与向斜的节理系统来作过说明,在背斜的中和面(层间滑动面)以上,侧向挤压导出垂直褶曲轴向的张应力,因而形成锐角指向与褶曲轴平行的一套X型交叉剪切节理;在背斜的中和面以下,则由原生的侧向挤压形成一套锐角指向与褶曲轴垂直的X型交叉剪切节理。向斜的情况恰与背斜相反,在中和面以上,形成锐角指向与褶曲轴垂直的X型交叉剪切节理,在中和面以下,形成锐角指向与褶曲轴平行的X型交叉剪切节理(图15)。我们过去,曾经根据断裂网格的分析指出,

大约以贺兰山—六盘山—龙门山—横断山—线(我国著名的南北向地震带)为界,中国东部与

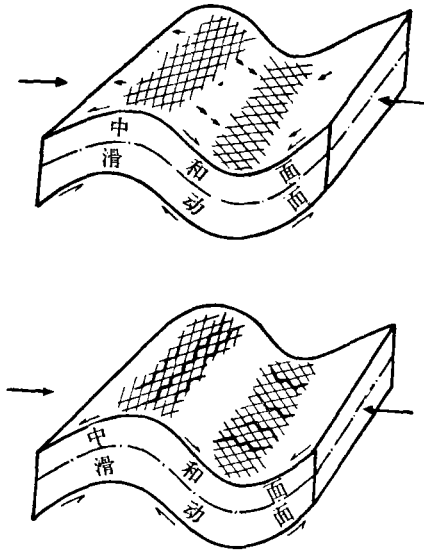


图 15 背斜与向斜节理系统的分布形式

西部的构造格局有很大不同,我国东部,以北北东、北北西两组 X 型交叉剪切断裂为主,构成长轴近南北的菱形断裂网格,相当于向斜凹陷部位。我国西部则以北东东、北西西两组 X 型交叉剪切断裂为主,构成长轴近东西的菱形断裂网格,相当于背斜(隆起)部位。近年来的地震地质研究发现,在我国东部除上述长轴近南北的菱形网格外,还隐伏着一套长轴近东西的菱形网格,而在我国西部则除上述长轴近东西的菱形网格外,还隐伏着一套长轴近南北的菱形网格。有迹象表明,这两套隐伏的断裂网格与地震的关系密切,因此,它们有可能是深部(中和面以下)断裂网格的反映。

四、断块与板块运动的驱动力问题

任何一种大地构造假说,要在理论上站住脚,必须合理地解释驱动力来源问题。板块学说当然也不例外。

在本世纪之初,当 Wegener, Taylor, Baker 等人提倡大陆漂移说时,主要是从地球的天体运动中去寻求力源。Wegener 认为驱动大陆漂移的力主要是离极力与潮汐力。但是他遭到了以 Jeffreys 为代表的一些地球物理学家的剧烈反对。主要理由是,这些力的量级与地球岩石强度相比实在太小,因此按一般力学的观点来看,完全是不可能的。

半个世纪以后,当大陆漂移的思想以板块学说的形式东山再起时,大多数研究者把注意力转向了热动力。出现了“地幔对流”、“地幔柱”、“热点”等以地球内部热运动为基础的驱动机制假说。但是在地球岩石的物理力学参数方面,仍然遇到困难。一个突出的问题是粘滞度,对于地幔粘滞度的认识至今仍是模糊的,因此地幔对流的存在也仍然遭到怀疑。

应该承认,科学在今天所积累的事实,还不足以使我们能彻底地解决这个问题。因此,这个问题,在今后相当长一段时间内,将仍然是一个带有很大推测性的课题。作为地质工作者,我们想主要从地质学的事实,谈谈我们对这个问题的初步看法:

从地质学的角度讲,我们觉得,首先应该把驱动断块运动的力与形成断块的力统一起来考虑。地球的行星式断裂网格,如前所述,主要是由北北东、北北西和北东东、北西西两套剪切断裂网格以及牵就它们而成的经向与纬向锯齿状构造组成的。近年来的天体地质研究表明:月球、水星、火星等表面反射光像图所显示的线状构造以及环形山与火山的排列,也大多为径向与纬向两种方位(照片 2)。金星表面的构造,从雷达探测结果来看,也主要是经向与纬向两个方向的起伏,而以经向起伏为主。由此可见,一个旋转着的天体,其表面构造,与其旋转轴之间必定有很大的联系。从这个角度讲,早年所提出的离极力的概念,不应该被人们忘却。离极力的量级虽小,但考虑到地质历史时期的漫长时间尺度,我们就不应该用常温常压常速条件下岩石力学的概念来理解地质历史上的岩石在特殊温压条件下的长期蠕变。另一方面,地球各层圈如地壳、岩石圈、软流圈、上下地幔等物理、化学性质有差异,可使应力在不均一处集中,离极

力量级增大,这一点也不容忽视。

北冰洋的断裂拉开与下陷,阿拉斯加—白令海峡—外维尔霍扬斯克弧,阿留申弧的向南推冲,以及南大陆的向四周裂开和旋扭运动,可能都与某种方式的离极运动有关。

如果在岩石长期蠕变的基础上承认离极力的作用,那么当岩石圈断块对于地球转动系统作相对运动时,由于地球自转所引起的离心力的视偏差分力——科里奥利力,也可能要显示它的作用。板块运动的方向,一般都与正南北方向或正东西方向之间有一个不大的角度偏差,其中有一部份可能与科里奥利力有一定关系。

天文学的观测告诉我们,像太阳或木星这些流体状态的星球,它的赤道部份的自转速度比高纬度部份的自转速度要大,可称“旋转速度不均一效应”。一般认为,地球是固态的,不能像太阳和木星那样作流体旋扭。但是,我们不应忘记地球的外地核是流体,地球上地幔的低速层在长期力作用下也表现出塑性。在这些圈层内,速度不均一效应是否存在是很值得注意的,如果这一效应存在,那么将会对这些圈层内外的固体圈层起摩擦作用,而影响到固体圈层的运动。

现在已经确定,有许多纬向构造带具有平移性质,而且有愈近赤道,平移距离愈大的趋势。例如:澳大利亚、新西兰、新几内亚岛、所罗门群岛、新赫布里底群岛等相对太平洋和大巽那群岛向东平移,因而造成巨大的旋卷构造。南北美洲之间的加勒比海边缘各岛屿也是一个与之相对应的纬向扭动带。特别是南极大陆的边缘构造以及南极半岛和德雷克海峡外围的岛屿,都显示了南极大陆有反时针旋转的现象(图16),而北冰洋周围的大陆如科拉半岛等,又略似有顺时针旋转的迹象,这些都不能不使我们对速度不均一效应给予深切注意。

还有一个需要注意的问题是:李四光教授早年所提出的,由于地球自转速率变化所引起的岩石圈与水圈之间的相对扁率的变化。我们认为,这种相对扁率的变化,不仅可以发生在岩石圈与水圈之间,而且可能发生在岩石圈与软流圈之间,地幔与地核之间,以及一切具有不同密度和粘滞系数的地球各圈层界面之间。这种相对扁率的变化,对岩石圈构造变形会发生什么样的影响也是很值得研究的。

地球内部的热对流并不是绝对不可以发生的,特别是在地球历史的早期。但是,由于地球内部的多层结构,这种对流体的规模究竟有多大,是很值得考虑的,把板块运动的力源完全归

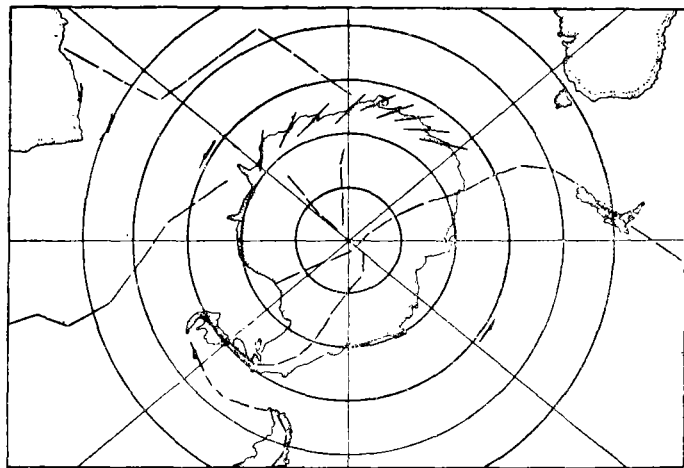


图16 南极大陆的反时针旋卷

之于热对流的这种做法,恐怕不很全面。热对流归根到底来说是一种热运动,这种热运动不可能不与物质的其他运动方式相联系,并互为因果,现在随着深部探测技术的发展,地球内部的圈层越分越细,因而大型对流体的存在,就更加值得怀疑。简单地根据地面“板块”大小和数目推测深部对流体的大小与数目,更是不够确切的。

总的来说,板块学说对地球动力学系统的认识,显得比较混乱,考虑的因素也不够全面,我们觉得,决定地球构造运动的基本因素,还是恩格斯所指出的,“吸引和排斥这一古老的两极对立”。地球内部物质在重力作用下发生收缩作用以及重力分异作用,在热作用下发生体积膨胀或某种方式的热对流。在角动量基本守恒的前提下,地球内部物质向地心运动将使地球转动惯量变小,因而使自转角速度加快;反之,若地球内部物质向外运动,则将使地球转动惯量变大,而导致自转角速度变慢。在这种质量再分配过程中(同时再加上外部天体的影响),地球自转轴也可能发生一定程度的偏转。地球自转速度与自转轴的摆动又将导致离极力、科里奥利力、旋转速度不均一效应的变化与极移应力的产生,以及地球内部各圈层间相对扁率的变化和滑动。岩石圈各断块间的相互错动、碰撞与拉开,就是在这些过程的相互交替与联合作用下发生的。

五、结 语

板块学说是活动论派在当代的一个代表学说,它以相当有力的科学论据使大陆移动的思想得到复甦,并使人们对地槽、地台、造山带等老概念产生了新的更为合理的认识。

但是,正如我们前面所指出的:板块学说所依靠的论据,从区域来说偏重于海洋,从学科来说偏重于地球物理学,这就使得它不能不带有一定的片面性。板块学说对于岩石圈结构的认识是强调它的不连续性,强调板体结构的刚性。这实际上是从Hobbs开始的“断块思想”的继续。但是,由于大多数研究板块的人对大陆地质构造的研究了解不够,未能充分运用断块学说的已有成果,以致对有些问题反而做了过于简单化的处理。

板块学说的另一个明显的不足之处是,没有把不同级次的断裂块体分开,也没有把大陆岩石圈与海洋岩石圈这两个性质完全不同的东西分开。例如把南大西洋东部同非洲大陆这两个性质不同的地区合成一个板块看来是不恰当的。

在板块学说中,古地磁的数据常常被用来作为说明大陆相对移动的重要依据。当然,这些数据是宝贵的。但是由于任何一块大陆或次大陆,都是由不同时期的“古板块”以复杂的形式拼合起来的或分裂开来的,因此在使用这些数据时,如果不对这些“古板块”之间的关系,以各种地质资料为依据作出历史的分析,就把这些数据捏合在一起代表整个大陆或次大陆的古地磁极的变化,这种做法有时候可能会导致过早的结论。

对于挤压性的“板块”边界,板块学说强调俯冲,而过去研究大陆构造的人则强调仰冲。俯冲与仰冲究竟何者为主,各占多大比重,是值得进一步研究的。而且恐怕也不会各地都千篇一律,而可能是各有各的具体情况。板块到底能不能俯冲到700公里那么巨大的深度呢?这虽然有一些地球物理方面的证据,例如深源地震的分布,高Q带等,但这些论据并不是不可以做多种解释的。而从力学上看,岩石圈板块要深插入密度比它大的C层地幔中去,必须有一股极大的推动力才行,故很难使人冒然信服。另外,大陆边缘海的拉开和岛弧向海沟依次变新是不易由俯冲作用造成的,所以这些还需做深入探讨,最好不要满足于现成的结论。

中生代以来,大陆移动的历史,似乎比较清楚了,但实际也不尽然。例如,印巴次大陆竟要

向北移动达 9000 公里之遥,而它的那个尖尖的阿隆姆之角,却能始终安然无恙,这是很令人怀疑的。中生代以前的历史当然问题就更多了。劳亚古陆与冈瓦纳古陆究竟是怎样形成的,又如何分开?中国南方的扬子断块,在下古生代以前,表现出某些南大陆的特点,它是否可能曾经是冈瓦纳古陆的一部份?此外,大陆飘移必然在面向移动的一侧受到阻力,而产生边缘褶皱,因而边缘山脉的有无和大小是决定大陆移动方向和距离的一个有力根据,这也是值得思考的一个问题。所有这些,离开了对大陆地质的深入研究,都是不可能解决的。

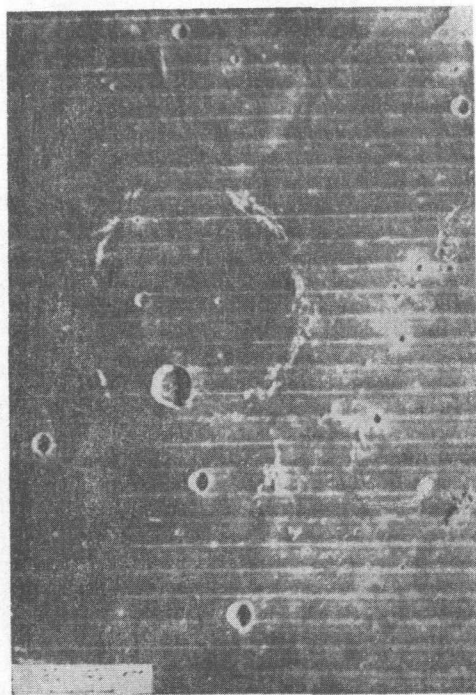
断块学说主要是从大陆地质构造的地质力学分析与地质历史分析相结合的研究中发展起来的,它在很多方面可以弥补板块学说的不足。反过来说,板块学说的成果,也进一步加深了我们对断块的认识。断块学说与板块学说的结合,可以使陆地的资料与海洋的资料结合起来,地质学与地球物理学结合起来,动力学的研究与运动学的研究结合起来。这对于我们全面认识大地构造和地球动力学问题是十分有益的。

参 考 文 献

- [1] Hobbs, W. H., *B. G. S. A.*, **22** (1911).
- [2] Sonder, R. A., *Ecolg. Geol. He lv.*, **31** (1938), 199—237.
- [3] 张文佑,地质论评, **7** (1942), 6, 267—276.
- [4] Chang, W. Y., *B. G. S. C.*, **24** (1944), 3—4, 235—238.
- [5] Cloos, H., *Am. Geophys. Union Trans.*, **29** (1948), 99—103.
- [6] Пейве, А. В., *Изв. АН СССР, сер. геол.*, 1945, 5, 23—46.
- [7] Vening Meinesz, F. A., *Am. Geophys. Union. Trans.*, **28** (1947), 939—945.
- [8] Hills, E. S., in “*Geotektonischs Symposium zu Ehren Von Hans Stille*”, 1956.
- [9] Шарский, Н. С., *Изв. АН СССР, сер. геол.*, **5** (1948), 39—66.
- [10] Чебаненко, И. И., *Основные закономерности разломной тектоники земной коры*, 1963.
- [11] Moody, J. D., & Hill, M. J., *B. G. S. A.*, **67** (1956), 1207.
- [12] Moody, J. D., *Tectonophysics*, **3** (1966), 6, 479—552.
- [13] 中国科学院地质研究所,中国大地构造纲要, 1958.
- [14] Chang, W. Y., *Scientia Sinica*, **10** (1961), 3, 361—376.
- [15] 张文佑,科学通报, **11** (1960), 19, 1—5.
- [16] 张文佑、钟嘉猷,构造地质问题 1962, 3—14.
- [17] 张文佑、李荫槐、钟嘉猷,科学通报, **18** (1973), 2, 80—82.
- [18] 叶洪、马瑾等,地质科学, 1973, 1, 48—55.
- [19] 张文佑、叶洪、钟嘉猷、张木生,地质科学, 1973, 4, 273—280.
- [20] 中国科学院大地构造编图组,地质科学, 1974, 1, 1—16.
- [21] 钟嘉猷,地质科学, 1974, 2, 161—170.
- [22] 叶洪、梁以山等,地质科学, 1975, 1, 44—48.
- [23] 张文佑、钟嘉猷、叶洪、从柏林,地质学报, 1975, 1, 17—27.
- [24] Burk, C. A., & Drake, C. L., (ed.) *The Geology of Continental Margins*, 1974.
- [25] Narin, A. E. M. & Stehli, F. G., *The Ocean Basins and Margins*, Vol. 1, The South Atlantic, 1973.
- [26] Narin, A. E. M., & Stehli, F. G., *The ocean Basins and Margins*, Vol. 2., The North Atlantic, 1974.
- [27] Smith, A. G., *Tectonophysics*, **33** (1976), 3/4, 215—279.
- [28] Wilson, J. T., *Nature*, **207** (1965), 343—347.
- [29] Wilson, J.T., in “*The sea*”, Vol. 4, Part II, 1970.
- [30] 李四光,地质力学概论, 1972.
- [31] Karig, D. E., *J. G. R.*, **76** (1971), 11, 2542—2561.
- [32] Karig, D. E., *B. G. S. A.*, **83** (1972), 4, 1057—1068.
- [33] Isaks, B., Oliver, J., Sykes, L. R., *J. G. R.*, **73** (1968) 5855—5899.
- [34] Le Pichon, X., et. al., *Plate tectonics*, 1973.
- [35] Molnar, P. & Tapponnier P., *Scientific American*, **236** (1977), 4, 30—41.
- [36] Bullard, E., in *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, Vol. 3, 1975.
- [37] Tarling, D. H., & Runcorn, S. K., (ed.) *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*, Vol. 182, 1973.



照片 1 山西地堑是受典型的
拉张—剪切型断裂形成的^[35]



照片 2a 月球表面的断裂
(根据 R. J. Fryer)



照片 2b 火星表面的断裂
(根据 J. F. McCauley)