

中国东部中、新生代断陷盆地 成因机制新模式

李扬鉴

(化学工业部化学矿产地质研究院)

林 梁

(石油工业部石油地球物理勘探局)

赵宝金

(成都地质学院)

控制中国东部中、新生代断陷盆地的正断层,是水平挤压力和地壳重力共同作用下产生的、平面上和垂向上同时呈X型的压剪性断裂,与拉张作用无关。位于中、下地壳软弱层之上的上地壳刚硬层,其断裂上盘在自身重力和断裂面滑动力共同作用下,受力状态和变形情况相当于弹性基础悬臂梁,从而使盆地多呈箕状。盆地基底在沉降过程中把中、下地壳软弱层物质压向他处,造成地壳变薄,引起地幔上拱。因此,地幔隆起是断陷盆地形成的结果而不是原因。

一、分歧之所在

中国东部中、新生代断陷盆地,蕴藏着丰富的石油、天然气和煤等资源,又是强震的集中场所和研究克拉通盆地成因这一重大构造难题的有利地区,因而多年来受到地质界的广泛关注,并对其成因提出种种不同的假说,如地幔隆起拉张说^[1]、纵弯隆起拉张说^[2]、区域拉张说^[3]和剪切-拉张说^[4]等等。这些假说虽然千差万别,但由于大家看到它们全受正断层控制,而普遍认为是拉张作用的产物,并称之为张性盆地。不少人甚至还把其中正断层的水平断距视为所在盆地的扩张量,声称从北京西山至鲁西隆起这条横切华北盆地、具有46条正断层的剖面,自早第三纪以来总扩张量达57.7km^[5]。

然而,人们不禁要问:1.中国西部盆地地幔隆起幅度不亚于东部盆地^[6],为什么又受逆冲断层控制?沂沭断裂的莫霍面明显隆起,为什么第四纪以来却发生褶皱和逆冲?地幔隆起与其上面盆地性质究竟有无必然的联系?2.这些所谓纵弯隆起派生的“张性断裂”,为什么出现于隆起已经基本剥蚀夷平了的准平原化阶段,而不是见于纵向张应力最强的隆起时期?隆起派生的扩张量是否足以形成这样规模的断陷盆地?3.世界屋脊青藏高原,在强烈抬升的第四纪所产生的主要“张性盆地”,为什么不是受隆起的纵张性断裂控制,而是与水平挤压作用的平面X型断裂有关^[7]?4.中国东部主要正断层在垂向上的发育方向,为什么与一般隆起顶部的张性断裂相反,不是自上而下生长,而是自下而上延伸?其所产生的断陷盆地在剖面上为什么多呈箕状,而不是拉张作用形成的那

种对称地堑？5. 这些盆地的平面形态，为什么有的像郯庐断裂那样呈条带状，有的又如华北盆地这样以不规则四边形断块的面目出现？6. 这些“张性断裂”为什么呈平面X型断裂产出？它们的挤压和水平剪切特征为什么如此醒目？7. 这些“张性断裂”为什么能够经常积聚这么大的应力能发动一次次的强震，使华北断块区成为我国主要强震区之一，而且发震之前地层压力剧增^[8]，发震时地震裂隙以平移为主，震源机制解表现为走滑型？8. 这一地区的绝对地应力测量为什么至今没有发现张应力存在，几乎所有方向均受挤压力控制？这一系列的问题是任何拉张说都难以回答的。

诚然，控制这些断陷盆地的断裂全是正断层，但是正断层并不都与拉张作用有关，并不均属张性、张剪性。野外观测表明，水平挤压力与重力共同作用下所产生的平面X型断裂，也多呈正断层产出。这种压剪性正断层是笔者之一在另文^[9]所创立的新断裂类型。我们认为，把正断层视为张性断裂的同义词这一传统概念，是长期以来国内外出现有关大陆内部断陷盆地成因种种经不起事实检验的假说的根本原因。

由于人们仅仅从剖面上来认识正断层，又被基于脆性破坏的库仑-摩尔强度理论所束缚，因而认为正断层的走向均互相平行，受垂直于断层走向的拉张力控制。可是，地壳中的岩石在长期地应力作用下多处于韧性状态，地球内部又往往具有下伏软弱层（如软岩层、下地壳、软流圈）作为上覆刚硬层（如硬岩层、上地壳、岩石圈）重力能集中释放和向下错动的有利空间，故在重力和水平力共同作用下，平面X型断裂也多以正断层的形式出现（图1）。这种在平面上和垂向上同时呈X型、断裂面与三个主应力轴都斜交的断裂现象，不符合沿用已久的库仑-摩尔强度理论，但是却和基于韧性破坏的能量强度理论一致^[9]。其中水平拉张力与水平挤压力各自产生的断裂，由于它们的断裂面上法向分力一为张力一为压力，而分别成为张剪性正断层和压剪性正断层。前者上盘作用于断层面的水平力的切向分力呈俯角，故该盘在重力叠加作用下，沿接近于断层倾向的方向下滑，平移现象不明显；后者上盘作用于断层面的水平力的切向分力呈仰角，所以该盘在重力叠加作用下，往往沿比较接近于断层走向的方向滑动，水平剪切运动强烈。这点已经得到野外观测^[10]和模拟实验^[11]的有力支持。由于自然界中纯剪切作用极为罕见，故大陆内部凡具有重要平移现象的断裂，几乎均为压剪性断裂。称走滑正断层为张剪性断裂，这是一个以正断层即张性断裂为前提演绎出来的不切实际的概念。所以，控制中国东部中、新生代断陷盆地的走滑正断层，与拉张作用无关。为此，笔者对其断陷盆地的成因机制，提出一个与当前国内外各种拉张说都不相同的新模式。

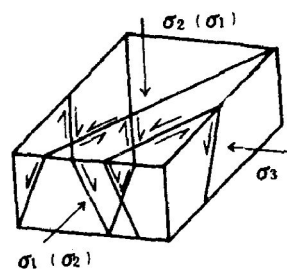


图1 平面X型断裂在三度空间上的形态及其与三个主应力的关系

二、区域应力场及其构造变动特征

中国东部地壳在历经了印支和早燕山等褶皱运动之后，已经大大硬化，因而到了晚侏罗—早白垩世和晚白垩世—新生代，先后在库拉板块北北西向挤压力和印度板块北东向挤压力，与地壳重力共同作用下，形成一系列受平面X型断裂控制的断陷盆地。前者

分布于大兴安岭东西两侧和太行山以东的广大地区,其中北北东—北东向左旋断裂,因剪切方向与库拉板块斜向俯冲所导生的区域性剪切方向一致,又与太平洋应变空间的西边缘线平行而较为发育,形成了郯庐和松辽(初期)等条带状盆地;后者将在下文着重讨论。

白垩纪、尤其是始新世以来,印度板块喜龙突出体对中国大陆施行北东向挤压,从而使中国西南部形成一道道向北东方向突出的弧形挤压带,并在其北侧和东侧各产生一条压剪性构造带,组成一个巨型的平面X型构造(图2)。

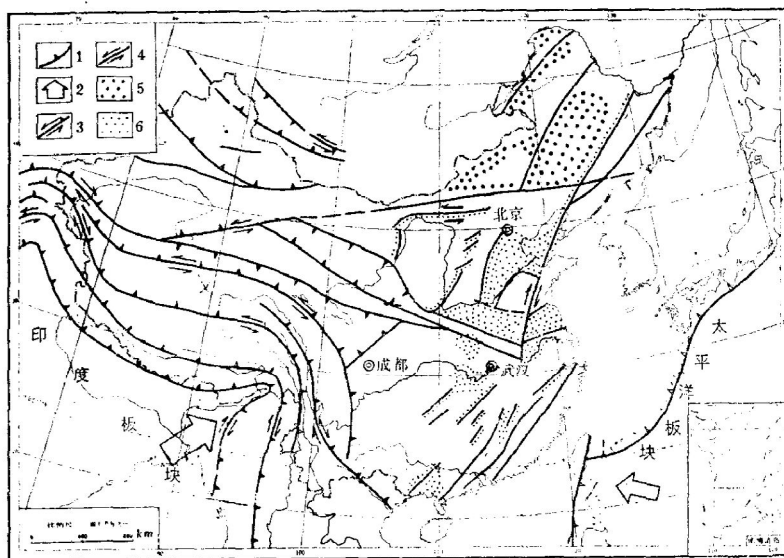


图2 中国晚白垩世—新生代区域应力场及其断陷盆地分布图

1—太平洋板块俯冲带, 2—板块推挤方向, 3—逆冲断层带及其剪切方向,
4—正断层及其剪切方向, 5—晚侏罗世以来继承性盆地, 6—白垩纪—新生代断陷盆地

北侧构造带位于西昆仑、阿尔金山、阴山和燕山一带,总体方向北东东,左旋剪切。其中西段在弧形挤压带北翼外侧,主要受北北东向挤压,构造带与挤压力夹角较大,故新生代以来阿尔金断裂活动为平移—逆冲;东段横亘于弧形挤压带的弧顶前方,主要受北东向挤压,构造带与挤压力夹角较小,所以早第三纪以来在阴山—燕山南缘产生近东西向走滑正断层,形成一系列新生代断陷盆地,与该带以东西向褶皱和逆冲断层为主体的中生代构造格局截然不同。

东侧构造带南起北部湾,向北经湖南、南襄、华北平原、下辽河直达依兰—伊通,总体呈北北东向,右旋剪切,与北侧构造带交汇于燕山地区。由于该带濒临太平洋便于侧向应变而比较宽松,并在北东—北东东向挤压力和地壳重力共同作用下,以呈正断层产出的北北东—北东向右旋断裂和北东东—北西向左旋断裂为主,北西—北北西向褶皱和逆冲断层不发育,而且自西南往东北变弱¹⁾。其中北北东—北东向断裂也因平行于西太平洋边缘线,以及该带总剪切方向一致而处于优势。这一构造带的走滑正断层,以与北侧

1) 万天丰等, 1986, 中国白垩纪—始新世早期构造应力场。

构造带交汇部位最为发育，并在上述两组断裂共同作用下，形成了颇为壮观的华北断块盆地。由于这时期主要作用力来自中国西南面，而且其强度随着印度板块与中国大陆的聚敛、碰撞逐渐增加，故该带中各盆地产生时间自南而北变新：湖南盆地早白垩世，南襄盆地晚白垩世，华北盆地始新世。华北盆地内部次一级拗陷，也大体自南向北、自西向东发育。其北部出现自北而南产生的局部现象，则与两条构造带交汇部位的应力较强和稳定性较差有关。

现代地震资料表明，中国大陆内部地震活动，主要沿上述弧形挤压带和北、东侧构造带（尤其是交汇部位）及其内侧的汾渭、银川次一级北北东向压剪性构造带分布，北侧构造带东段以北的大陆内部地震活动微弱^[12]。

所以，新生代以来中国东西两部构造格局的差异，并不是一般所认为的西压东张所致，而是与两者的边界条件以及构造带与水平挤压力夹角大小不同有关。

晚白垩世以来中国东部构造应力场，虽然总的来说受印度板块与欧亚板块强烈碰撞所控制，但是，在晚白垩世晚期和早晚第三纪之间等几个短暂时间，由于太平洋板块进行垂直于大洋边缘线的有力俯冲，也产生一些北东—北北东向褶皱、逆冲断层和面积隆起，造成上下地层不整合。

如上所述，松辽盆地与华北盆地以南诸盆地的动力背景并不相同，而且都受平面X型断裂控制，因此把它们视为新华夏系压性构造，并合称为该系的第二沉降带^[13]是不妥当的。

三、压剪性正断层的深部边界条件与主要特征及其成因

（一）深部边界条件

理论计算表明^[9]，水平挤压力和重力共同作用下所产生的平面X型断裂，当岩石内摩擦系数小于0.6、 $\sigma_1:\sigma_3\geq 3:1$ 和 $\sigma_2\simeq\sigma_3$ 时，其与三个主应力轴呈等夹角的断裂面有效剪应力，才等于或接近于最大有效剪应力。换言之，这种平面X型断裂，呈正断层产出的有效剪应力，往往小于断裂面直立的断裂。但是，中国东部中、新生代平面X型断裂为什么反而主要以正断层的形式出现呢？问题的症结在于，产生破裂是一回事，破裂进一步发展成为具有一定规模的断层又是另一回事。前者决定于有效剪应力大小，后者则与边界条件有关。在直立的断裂面上重力的切向分力为零，没有垂向错动，只是在水平挤压力作用下平移。而压剪性正断层的有效剪应力虽然有时较小，但因可以利用下伏软弱层进行重力能集中释放和向下错动而更为发育。

下伏软弱层对于上覆刚硬层正断层的产生和发展所起的这种重要作用，在湖北枫林矿区可以清楚地见到。该矿大量的实测资料表明，煤系为粘土页岩等软岩层地段，其顶板中厚层灰岩的正断层平均密度，等于煤系为泥岩等较硬岩层地段同一顶板的10.7倍。正断层的发育程度受其下伏岩层强度控制这一现象，在一般沉积岩系中普遍存在^[14]。因此，华北断块区东部的地壳内部，由于存在着处于部分熔融状态的低速层、高导层，而断陷盆地发育，岩浆和地震活动强烈，震源主要位于低速层、高导层的顶板底部；西部的鄂尔多斯地块内部，则因居里面深度大，地温梯度小，壳内难有熔融层，而正断层

不发育, 差异升降运动不明显, 岩浆岩阙如, 地震活动微弱^[15]。

地壳内部熔融层的形成, 可能与该地区大幅度上升、剥蚀, 造成地壳深部物质因围压减小、熔点下降而部分熔融有关。华北盆地早期那些所谓由拉张性断裂减压熔融产生的过渡型拉斑玄武岩^[16], 看来与这种剥蚀减压作用有一定联系。所以, 中国东部中、新生代断陷盆地的基底, 几乎都经过长期的抬升剥蚀阶段。譬如, 华北盆地基底为北台期夷平面, 其中次一级断陷也多产生于中生界缺失或变薄的隆起剥蚀区^[17]; 汾渭盆地也主要形成于中生代的隆起上^[3]。有些人以此作为断陷盆地是隆起派生的拉张力产物的证据, 殊不知这些盆地产生时所在地区的隆起已经大体剥蚀夷平。如汾渭盆地的基底在早侏罗世已经隆起, 而盆地则主要产生于上新世, 盆地出现之前已经剥蚀到古生界乃至元古界、太古界, 隆起早已荡然无存。

(二) 主要特征及其成因

控制中国东部中、新生代断陷盆地的正断层, 虽然分布于不同大地构造单元、产生于不同动力背景和形成于不同地质时期, 但由于它们均为压剪性而具有如下三个共同的基本特征。

1. 挤压现象 由于压剪性正断层的断层面受到水平挤压力和重力的法向分力, 以及上盘在下降过程中派生的侧压力的共同作用, 而压应力较强。多年来油田勘探和开发工作表明, 其断层面普遍呈封闭状, 并对油、气、水起一定的遮挡作用。近年来在华北盆地还发现, 一些油层压力愈趋近断层面愈强^[14], 以及断层上盘出现反向逆冲断层和地层明显增厚等挤压现象(图3)。这种挤压现象往往都被视为重力滑动作用的产物, 其实并不尽然。因为这些逆冲断层的下伏“润滑层”不一定是倾斜的(见图3), 具有倾斜下伏“润滑层”的也不一定都位于“滑体”的下方; 何况, 这些“滑体”后缘的正断层规模有的比前缘的逆冲断层大得多, 并常常切入“下伏系统”(见图3), 表明它们并不是同一成生序次的产物。所以, 正断层上盘反向逆冲断层并不都受重力滑动作用控制。这种断裂现象在山西临汾盆地和河南舞阳盆地也曾发现。井下观察表明, 煤系顶、底板在没有任何滑动的情况下, 其小型正断层上盘的反向逆冲断层也屡见不鲜。由于一般认为正断层都是拉张作用的产物, 故人们往往把正断层的挤压现象一概视为张、

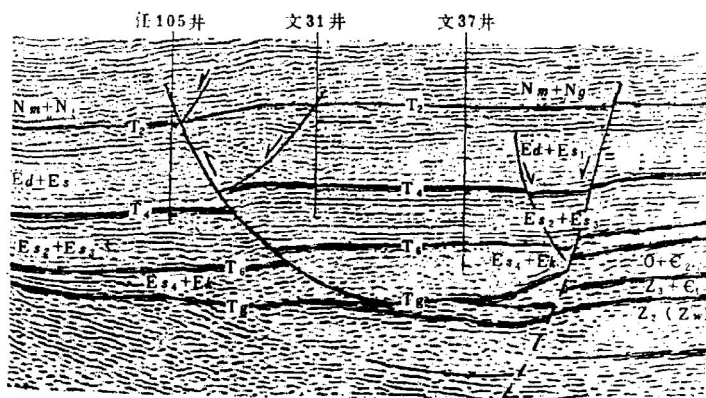


图3 冀中坳陷WA82-联37叠偏剖面图
(据杨克绳等, 1985)

压应力先后作用所致，这种解释无助于对这种断层性质的真正认识。

2. 水平剪切现象 压剪性断裂两盘的相对运动方向，决定于水平挤压力和重力在断裂面上的切向分力的合力方向（图4）。由于两者的切向分力强弱不同，以及水平挤压力与断裂走向夹角大小不一，使压剪性断裂两盘相对运动方向，具有平移-逆冲、平移和平移-正断三种形式。所以压剪性断裂不仅仅只有斜冲断层一种，走滑正断层的平面力学性质也与斜冲断层大体一致。故北侧构造带中不同段落，由于与水平挤压力夹角不同而产生斜冲或斜落；汾渭盆地边缘一些断裂，也因与水平挤压力夹角从中生代的正交到新生代转为斜交，而由逆冲断层演化为走滑正断层。

中国东部中、新生代正断层的平移现象是众所周知的，并被大家称为走滑正断层，其中以郯庐断裂的水平剪切运动最为强烈。由于压剪性正断层的断层面具有较强的压应力和剪应力，便于应力能的积聚和突然释放，故中国东部地震活动主要受这种断层控制，震源机制解表现为走滑型，地震裂隙发震时以平移为主。

3. 自下而上发育 压剪性正断层的产生和发展，不仅有赖于地壳硬化、侧向应变空间、下伏软弱层和较大水平挤压力等条件，而且还需要有较强的重力作用。所以从所掌握的地质和地震资料来看，这一地区控制断陷盆地的主断层，首先以后生断层形式产生于地壳深处的软弱层顶板底部，然后才向上发育成同生断层，使盆地基底断距下大上小。

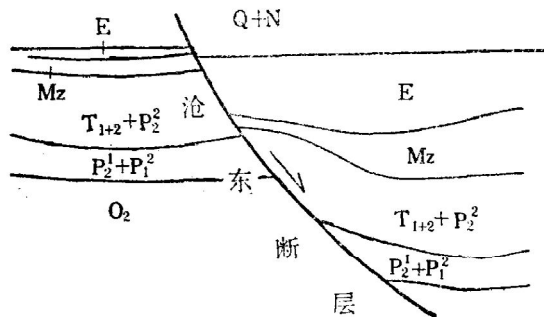


图5 华北盆地黄骅坳陷灯明寺地区76-I测线
(据李志文等, 1982)

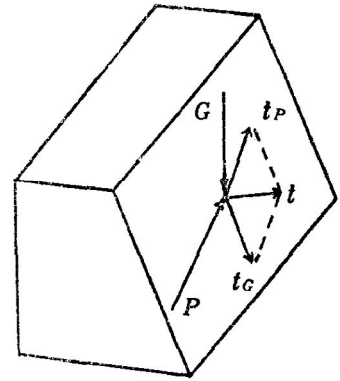


图4 水平挤压力(P)和重力(G)在压剪性断裂面的切向分力(t_P 、 t_G)及其合力(t)的图解

如作为黄骅坳陷与沧县隆起之间分界线、产生于始新世的沧东断层，其盆地基底断距便自下而上递减（图5），而与隆起顶部自上而下发育、断距上大小小的张性正断层不同。

四、断陷盆地形成机制

1. 断陷盆地基底的受力状态及形变

位于中、下地壳软弱层之上的上地壳刚硬层一旦发生断裂，由于断裂上下盘之间失去了内聚力和内摩擦力，断裂面便成为两盘相对运动的“自由空间”。这时断裂上盘与下伏软弱层直接接触，承受着该盘全部载荷并将首先变形的底层，在上覆层重力和断裂面滑动力共同作用下，其受力状态相当于以下伏软弱层为弹性基础、以断裂面为自由端的悬臂梁（图6）。故该层在悬臂梁的弯矩和剪切力作用下，愈趋近断层面下降幅度(γ)愈大。尔后在该层的带动下，其上覆各层相继产生相似的受力状态和变形情况，从而整个盆地基底在剖面上呈半个抛物线产出，使盆地成为箕状。不过，由于愈

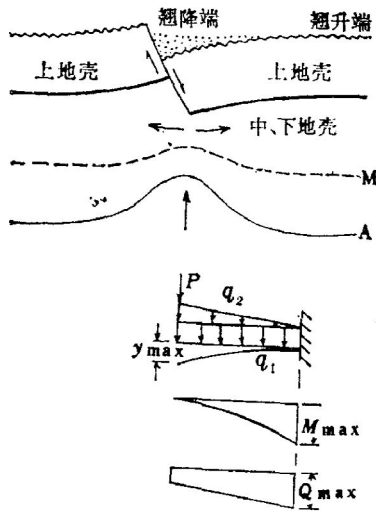


图6 箕状盆地基底的受力状态、弯矩(M)和剪力(Q)的分布及其变形情况与深部构造关系的图解

M—莫霍面, A—软流圈顶面

最大, 新生代沉积厚度达12000 m以上^[19]。地震工作者也发现, 中国东部强震多集中于断裂的交汇部位。不过他们往往只强调水平力的作用, 认为这是由于交汇或汇而不交部位产生平面应力集中所致, 没有从地块在三度空间上的稳定性考虑问题。

悬臂梁固定端的弯矩最强, 故该部位由弯矩所派生的纵向张应力也最大, 从而使箕状盆地翘升端往往产生次一级张性正断层, 形成小型地堑(图7), 或受悬臂梁的剪切力影响, 只出现其中那组垂向剪切方向与其相同的反向断层, 与主断层一起组成不对称地堑。

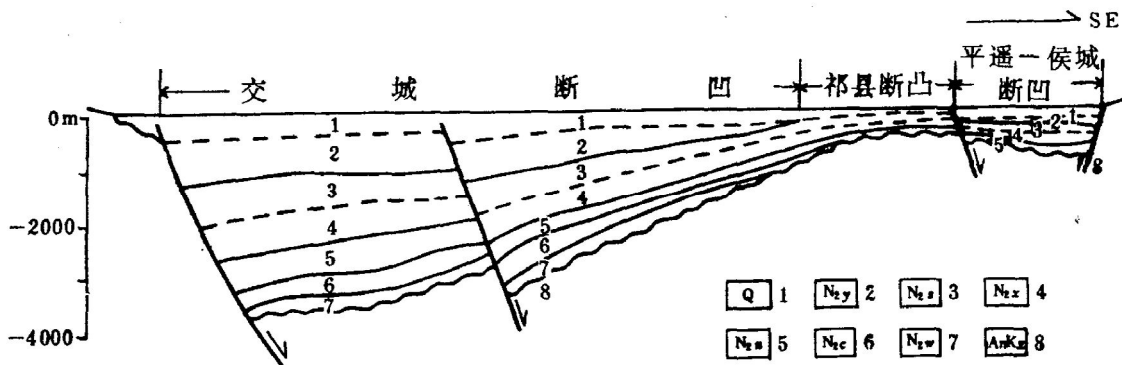


图7 晋中断陷盆地清徐—太谷地质构造横剖面图

(据张文惠, 1981, 简化)

1—第四系, 2—上第三系义安组, 3—史家社组, 4—西谷组, 5—胡村组, 6—城子组, 7—王吴组, 8—前新生界

2. 下伏软弱层物质流动及其导生的构造现象 上地壳刚硬层的断层上盘在下降过程中, 势必挤压下伏中、下地壳等软弱层, 其挤压力大小与该盘下降幅度呈正相关关系, 因此, 箕状盆地基底的下伏软弱层物质, 在其上覆刚硬层的挤压下, 便从下降幅度

向上上覆层愈薄、作用力愈弱而下降幅度愈小, 所以盆地基底落差自下而上递减。盆地基底在自身厚以十公里计的岩层重力均布载荷(q_1), 以及翘降端厚以千米计的充填物重力分布载荷(q_2)和断层面滑动力集中载荷(P)三者共同作用下, 沉降幅度往往达数千米乃至上万米, 并产生快速沉降和沉积。华北盆地第三系沉积速度, 便比一般地台沉积大10倍以上^[18]。

断裂下盘的底层, 因缺乏断层面滑动力集中载荷, 均布载荷也由于断层面附近地层被错失而较弱, 故该层及整个下盘的受力状态和变形情况, 一开始便与其上盘不同。

断裂交汇部位由于地块受到多面切割而稳定性更差, 更容易向下错动, 从而使共同下降盘沉降幅度较大。所以, 河套盆地中以北东向狼山山前断裂与近东西向色尔腾山山前断裂交汇部位的临河盆地沉降幅度

较大、垂向压力较强的翘降端压出。其中有的沿断裂面侵入上覆地层乃至喷溢出地表，有的则侧迁到垂向压力较小的断裂下盘或上盘翘升端。所以盆地及其邻区的岩浆活动，往往受盆地的沉降作用控制^[20]；下辽河拗陷各地段各时期的火山岩厚度，也与其沉降幅度呈正相关关系^[21]。

中、下地壳等软弱层物质侧迁到断裂下盘或上盘翘升端，迫使该部位上地壳抬升，造成本区隆起与盆地毗邻，隆起上升与盆地沉降相随。华北盆地沉降与周围山区抬升的相对幅度达12—13 km，不亚于印度板块与欧亚板块强烈碰撞所激起的世界最高峰隆起幅度。故对于地壳运动的动力背景，我们在强调水平挤压力的同时，似乎没有理由忘记重力作用的重要性。

正断层下盘由于愈趋近断层面活动性愈大，受到来自上盘软弱层物质的挤压作用愈强，故该盘愈趋近断层面下伏软弱层愈厚，抬升幅度愈大，而向上掀斜。从冀中拗陷电性结构剖面图可以看出，在大兴断层上下盘之间，作为下伏软弱层的中地壳低阻层厚度相差很大，上盘廊坊—固安断陷明显减薄，下盘大兴凸起则显著加厚，并使上地壳发生掀斜（图8）^[22]。

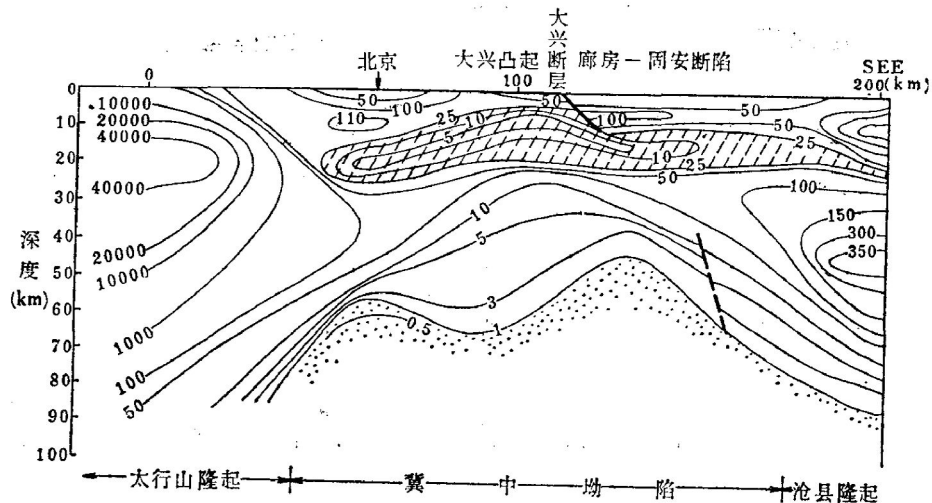


图8 冀中拗陷电性结构剖面图

（据赵国泽等，1986，简化）

剖面内线上数字代表电阻率，单位： $\Omega \cdot m$

正断层两盘这种变形现象及其下伏软弱层厚度变化情况，在沉积岩系各种规模的正断层中也广泛存在，并在上下盘形成逆牵引构造^[14,23]（图9）。国内外不少人^[23,24]认为正断层下盘向上掀斜这一普遍现象，是上盘下降后下盘因卸去部分载荷而受重力均衡作用所致。但笔者发现，在落差不足1 m、谈不上有什么卸载作用的煤系顶板小型正断层中，下盘也同样产生明显的

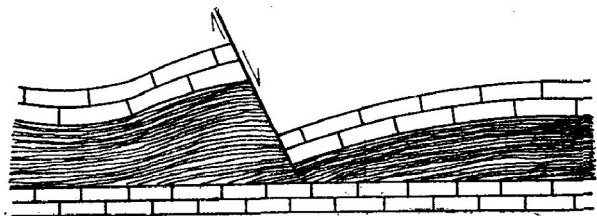


图9 湖北枫林矿区煤系顶板正断层两盘变形现象及下伏煤系厚度变化情况剖面示意图

掀斜。事实上,没有下伏软弱层物质的迁移,正断层上盘的下降是不可思议的;下伏软弱层物质的侧向流动,不引起“富集”部位的抬升也难以想像。

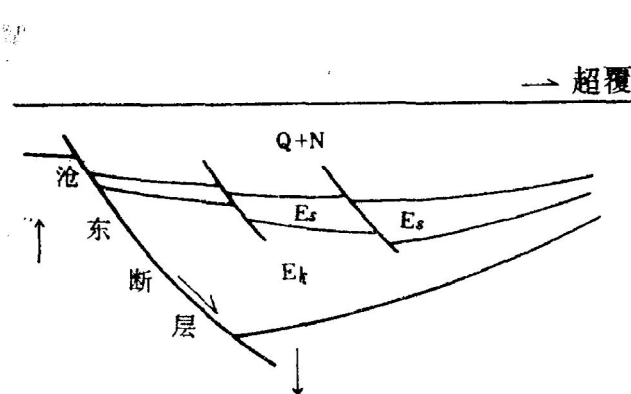


图10 华北盆地黄骅坳陷舍女寺地区6—159测线

(据李志文等, 1982, 略改)

下盘向上掀斜,带动了该断层上盘靠近断层面部位也一起上升,引起沉积中心向盆地中央迁移,产生超覆现象,形成所谓异向掀斜(图10)。上盘翘升端的抬升,则使盆地沉积范围向断层面退缩,出现退覆现象,形成所谓同向掀斜^[25]。这种掀斜运动往往主要产生于盆地大幅度沉降、深部物质大规模侧迁之后,并使盆地从断陷阶段转入断坳阶段。黄骅坳陷在始新世(Ek)发生了大幅度断陷之后,于

渐新世(Es)便出现异向掀斜,使沉积中心迁往盆地中央而成为断坳(见图10)。湖南白垩-第三纪盆地在晚白垩世发生了中生代最大的一次沉降之后,于第三纪初期也普遍产生了同向或异向掀斜^[25]。有些人认为这种缓慢的、呈连续沉积的掀斜运动,是水平挤压作用的产物,看来未必妥当。因水平挤压作用如果强烈到足以产生这种规模的抬升,那么,隆起与盆地之间为什么没有出现一般挤压型盆地经常见到的那种向盆地冲覆的逆冲断层?盆地中软弱的沉积物为什么也不广泛产生褶皱和逆冲断层等挤压现象?

由于盆地的沉降及其导生的掀斜运动,是一种间歇性的振荡运动,从而使盆地边缘的沉积物性质发生周期性变化,不同岩性的岩层在剖面上呈交错接触。

地下深部物质这种塑性流动所引起地壳运动,是触发地震的重要因素。近些年来,华北平原及其邻区在强震发生前后,沿地震断裂两侧地面所产生的明显升降运动,以及下盘所出现重力值升高和地热增温等异常现象,看来与深部高密度的熔融物质从断裂下降盘流向上升盘有关^[20]。

正断层上盘在下降过程中,部分重力能消耗于下伏软弱层物质的塑性流动,使这种断层向下多消失于软弱层中,成为层控断裂。其中薄的软弱层控制小的断裂,如湖北枫林矿区3—5 m厚的煤系,阻止97.7%的顶板正断层进入底板;厚度以公里、十公里计的中、下地壳软弱层,则控制规模大得多的基底断裂和深断裂。人们对下伏软弱层在构造运动中的作用,往往只强调其作为滑动面的一面,殊不知对深部呈水平状态的软弱层说来,作为上覆刚硬层向下错动的有利空间也具有十分重要的意义。正断层上盘这种强烈的悬臂梁作用及其对下伏软弱层不均匀挤压所导生的大规模物质流动,对箕状盆地形成以及岩浆和地震活动的重要性,至今还未为大家所充分认识。

3. 正断层两盘垂向运动方式 所以正断层两盘的垂向运动,实质上是沿着各自的水平轴旋转,从而使夹于两盘之间的断层面发生歪斜。由于这种断层下部落差大、翘倾运动强烈,而造成断层面呈下缓上陡的弧形。这点一些研究者也有相似的认识。许多人把正断层的水平断距一概视为所在盆地在拉张力作用下产生的扩张量,这是一个很大的误

解。因为水平断距所反映的伸展是应变，而拉张是应力，两者并无必然的联系；何况，水平断距部分是由于断层面歪斜引起的，部分又被断层面附近种种挤压现象所抵销。

顺便说一句，W.K. 汉布林（1965）认为正断层上盘逆牵引构造，是上陡下缓弧形断层面作用所致^[26]，看来是本末倒置了，因为一般弧形断层面是逆牵引作用的结果，而不是产生逆牵引作用的原因。

4. 上地幔隆起原因 如上所述，中国东部断陷盆地的地壳变薄，主要是地壳中、下部软弱层物质他流所致，而地壳上部刚硬的花岗岩质层厚度并无显著变化。综合华北东部地区深部探测成果得知：地壳上层厚10—12 km；中层多为低速层，厚10—16 km；下层厚从几公里至十几公里^[27]。这种上地壳厚度稳定，中、下地壳厚度变化剧烈的构造现象，是拉张“缩颈”说所难以解释的。

控制断陷盆地的主断层通过上述作用把中、下地壳压薄，而盆地中新充填的物质密度又较小，故在重力均衡作用下，该部位起主要补偿作用的软流圈便向上隆起，并把岩石圈下部物质压向侧旁，导致软流圈顶面与盆地底面呈镜像关系（见图6，8）。由于上地幔密度与下地壳密度之差，只有下地壳密度与盆地充填物密度之差的一半左右，故软流圈隆起幅度远远超过盆地的沉降幅度（见图8）。所以地幔上拱是断陷盆地发展到一定阶段的产物，而且盆地沉降愈深，地壳中、下部物质压出愈多，地幔上拱也愈高。华北盆地新生界厚度以渤中拗陷最大，达11000 m，故该拗陷的地壳也最薄，约28 km。因此，上地幔隆起是断陷盆地形成的结果，而不是断陷盆地形成的原因。近些年来许多人热衷于用地幔隆起拉张说来解释这一地区断陷盆地的产生和发展，看来与事实不符。这点从这一地区断陷盆地的分布，远比地幔隆起的分布广泛得多也可以得到间接的说明。R. W. Girdler(1970)70年代初根据东非裂谷建立起来的地幔隆起拉张说，近年来也被他自己对该裂谷重新研究后所否定。他发现处于裂谷发展初期阶段的南段地幔并未隆起，向北随着裂谷的发展，地幔才逐渐上拱¹⁾。

由于地温梯度与岩石圈厚度呈反相关关系，故中国东部这些盆地的地温，随着岩石圈的减薄而普遍增高，并助长了壳内低速层、高导层的形成。

5. 拗陷产生原因 断陷盆地在经历了断陷期和断拗期之后，深部大幅度上升的高温物质，因丧失了大量的热能而冷缩，使盆地转入大面积沉降的拗陷阶段。这时期最大挤压力方向的变化，也促使盆地及早转为拗陷。华北盆地早晚第三纪之间的最大挤压力方向，从早第三纪的北东—北东东，转变为北西—北西西，从而使该盆地停止断陷并大面积隆起剥蚀，晚第三纪又重新受印度板块控制，盆地由此而整体沉降。

6. 小结 综上所述，中国东部中、新生代断陷盆地的形成，大体可以分为如下几个阶段：抬升、剥蚀，中、下地壳部分熔融→断陷，中、下地壳物质迁移，断拗→软流圈隆起→拗陷。地幔隆起引起的对流和扩张，可能是断陷盆地发展到极端阶段的产物，看来中国东部这些断陷盆地远未达到这个阶段便夭折了。莱茵地堑和贝加尔裂谷等大陆裂谷，看来主要也受水平挤压力和重力共同作用下产生的压剪性正断层控制，与水平拉张作用无关。

1) R. W. Girdler, 见于非洲裂谷及破裂中的行星断谷作用，何洁生译，1983，地质研究，武汉地质学院北京研究生部编。

本文蒙毕庶礼、曹开春同志热情支持和帮助，在此谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 李德生等, 1983, 地质学报, 第57卷, 第3期。
- [2] 朱 夏, 1982, 中生代油气盆地. 构造地质学进展, 科学出版社。
- [3] 陈发景等, 1982, 关于我国东部第三纪含油气盆地形成问题的初步探讨. 中生代构造, 科学出版社。
- [4] 张文佑, 1984, 断块构造导论. 石油工业出版社。
- [5] 李德生, 1982, 石油勘探与开发, 第9卷, 第2期。
- [6] 张用夏, 1983, 中国大型含油气盆地地球物理场及深部地质构造特征. 中国中生代盆地构造和演化, 科学出版社。
- [7] 韩同林, 1984, 中国地质, 第12期。
- [8] 张德元等, 1983, 地震学报, 第5卷, 第3期。
- [9] 李扬鉴, 1985, 压剪性正断层的成因机制与能量破裂理论. 构造地质论丛, 第4集, 地质出版社。
- [10] 李扬鉴, 1988, 论纵弯褶曲构造应力场及其断裂系统的分布. 地质力学文集, 第7集, 地质出版社。
- [11] 安 欧, 1959, 岩石的应变和断裂与应力的基本关系及其实验证明. 地质力学丛刊, 第1号. 地质出版社。
- [12] 国家地震局地质研究所, 1981, 亚欧地震构造图(比例尺1:8000000). 地图出版社。
- [13] 李四光, 1973, 地质力学概论. 科学出版社。
- [14] 李扬鉴、张树国, 1987, 论正断层上叠逆牵引构造的成因机制——与W.K.汉布林等的不同认识. 构造地质论丛, 第7集, 地质出版社。
- [15] 邓起东等, 1980, 华北断块区新生代、现代地质构造特征. 华北断块区的形成与发展, 科学出版社。
- [16] 郑学正, 1980, 华北断块区某些玄武岩深源包体及有关的玄武岩问题. 华北断块区的形成与发展, 科学出版社。
- [17] 唐 智, 1982, 我国东部含油气盆地的构造特征. 中生代构造, 科学出版社。
- [18] 谭试典等, 1982, 论渤海湾盆地早第三纪构造——掀斜断块. 中生代构造, 科学出版社。
- [19] 邓起东等, 1985, 鄂尔多斯周缘断陷盆地的构造活动特征及其形成机制. 现代地壳运动研究, 第1集, 地震出版社。
- [20] 王振中, 1987, 西安地质学院学报, 第9卷, 第2期。
- [21] 顾志明, 1985, 辽河裂谷的断块运动和油气聚集. 构造地质论丛, 第4集, 地质出版社。
- [22] 赵国泽等, 1986, 地质学报, 第60卷, 第1期。
- [23] 周治安, 1984, 造成煤层压薄和增厚的正断层及“反牵引”正断层. 中国地质科学院地质力学研究所所刊。
- [24] Jackson, J. and McKenzie, D., 正断层系的几何形态演化. 李继亮译, 国外地质, 1983年, 第5期。
- [25] 储 澄, 1983, 湖南白垩第三纪盆地的成生与发展. 中国中生代盆地构造和演化, 科学出版社。
- [26] Hamblin, W.K., 1965, Bull. Geol. Soc. America, Vol.76, PP.1145—1164.
- [27] 孙武城等, 1985, 地震地质, 第7卷, 第3期。

A NEW MODEL OF THE FORMATION OF THE MESO-CENOZOIC BLOCK BASINS IN EAST CHINA

Li Yangjian

(Geological Institute of Chemical Minerals, Ministry of Chemical Industry)

Lin Liang

(Petroleum Geophysical Prospecting Bureau, Ministry of Energy)

Zhao Baojin

(Chengdu College of Geology)

Abstract

Normal faults that controlled the formation and evolution of the Mesozoic Cenozoic fault-depressed basins in East China appear to be compresso-shear

X-shaped faults which resulted from horizontal compression of the Kula and India Plates and crustal gravity. They are developed from the depths of crust and possessed behaviours of compression and translation.

Since the Cretaceous, especially the Eocene epoch, the mainland of China was compressed by northeastward compression from the Xilong Projective body of the India Plate, thus a series of northeast convex-arc compressed zones were formed in southwest China on the north and east sides of the zones, a compresso-shear structural belt was resulted respectively to constitute a huge X-shaped structure in plane. The north sinictral shearing belt runs along a line of west Kulun, Altun, Yinshan and Yanshan Mountains in NEE stretch; the east belt with evidences of dextral shearing extends from the Beibu Gulf in the south to Yilan-Yitong in the north through Hunan and the North China Plain in NNE striking.

Once the upper crust overlying the middle and lower plastic ones of the crust breaks, stress state on the hanging wall respoding to a cantilever with both underlying plastic materials as elastic base and the fault plane as free end under the combined efforts of both its own gravity and planar sliding. As a consequence, the nearer to the fault plane, the greater the subsiding amplitude, thus forming a listric basin. The basement of the basin subsided continuously to cause the underlying plastic materials to flow towards the heading wall or the elevated end of the hanging wall, which resulted in the structural framework of uplifts associated with basins. When the crust became thinner due to the lateral translation of the plastic materials beneath the basin, the asthenosphere materials must be upwarped and the lower materials of the lithosphere were compressed towards sides under gravity equilibrium, making the top surface of the asthenosphere to be mirror symmetrical to the bottom surface of the basin. Therefore, not that mantle diapirism is the cause of the formation of faulted basin but that the result of the formation. The above mentioned inference is also supported by earthquake activities.

川中至川南过渡带油气勘探新进展

四川石油管理局根据该局地质调查处的地震勘探成果,在川中至川南过渡带所钻的包24、23井,不久前分别试获工业性气流。实钻结果,目的层深度误差仅为地震预报深度的0.69%和0.88%,断层误差均在10 m以内。这就为加快川中至川南过渡带的油气勘探步伐提供了有利条件。

到今年底,川中至川南过渡带地震勘探工作量可望突破10000km。与此同时,采取多种方法对野外资料进行精细处理和解释,这就为钻探提供了更为科学的依据。今年内,将又有两份勘探成果报告正式向国家提交。

近年来,钻探单位根据地质调查处所提供的勘探资料,在上述地带已先后打出一批具有工业价值的油气井。增加了这一区域的控制储量,扩大了含油气面积。

(屈永志)