

# 抚顺盆地构造演化动力学研究\*\*

吴冲龙 汪新庆 刘刚 李绍虎 毛小平 李星

(中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

**摘要** 研究表明, 抚顺盆地基底的裂陷作用并非一种短暂的“瞬间拉张”过程, 而是由弱渐强且在古城子组沉积期达到极点, 随后迅速减弱并停止; 拗陷作用也非裂陷后才发生的, 两者基本上同时开始; 拗陷作用一开始就具有较高的速率, 直至西露天组沉积期才逐步减弱, 并延续到耿家街组沉积期. 抚顺盆地的构造演化经历了 6 个阶段: 慢速裂陷和快速拗陷→加速裂陷和快速拗陷→快速裂陷和快速拗陷→减速裂陷和快速拗陷→裂陷终止和减速拗陷→慢速拗陷和拗陷终止. 构造演化的结果形成了很具特色的“下断上拗”结构. 这种二元结构的形成, 可能起因于区域构造应力场转变造成裂陷作用中断, 而拗陷作用仍在继续. 采用同沉积构造格架分析、基底沉降史反揭和热衰减模拟相结合的方法, 计算出“上拗”部分所需的巨大沉积空间, 40% 来自于下伏沉积物的压实, 60% 来自于盆地基底的长期低速拗陷. 拗陷作用的终止, 可能是渐新世初期新一轮深部热事件及其伴随的巨厚辉绿岩床侵入, 导致岩石圈热衰减和重力均衡调整的逆转.

**关键词** 盆地动力学 同沉积构造演化 裂陷作用 拗陷作用 盆地构造格架 抚顺盆地

“下断上拗”结构是裂谷和各种裂陷盆地最典型和最重要的构造特征之一. Falvey<sup>[1]</sup>认为, 这是裂谷阶段的热活动达到高峰之后, 岩石圈的构造衰减被热衰减所取代, 亦即基底裂陷作用转化为裂谷后拗陷作用的结果. 为了模拟这种二元结构, McKenzie<sup>[2]</sup>给出了盆地基底沉降曲线的计算模式; Royden 等<sup>[3]</sup>和 Hellinger 等<sup>[4]</sup>随后对 McKenzie 模式作了修正, 分别提出了有岩脉侵入和无岩脉岩侵入的非均匀伸展模型. 作者在实践中发现, 这些认识和模型不太适合中国东部的中小型断陷盆地. 以抚顺盆地为例, 采用同沉积构造格架分析、基底沉降史反揭与 Royden<sup>[5]</sup>的热衰减模拟相结合的方法, 恢复其同沉积构造演化历程, 同时对盆地“下断上拗”结构的成因提出了一种新的解释.

## 1 盆地地质概况

抚顺盆地位于辽宁省下辽河盆地东侧. 该盆地横跨于白垩纪断陷之上, 是一个地堑式走滑断陷盆地, 轴向近东西, 直接基底部分为下白垩统砂砾岩, 部分为太古界鞍山群石棚子组 ( $A_{r_{ans}}$ ) 深变质岩. 它形成于早第三纪的裂陷旋回中, 属于郯庐断裂带东支. 由于后期构造变形强烈, 地质情况较为复杂, 现存长度 18 km, 宽度 3~8 km, 保留有总厚度约 1785 m 的含煤、含油岩系——抚顺群, 自下而上可分为 6 个成因地层单元<sup>[6,7]</sup>. 其中, 煤层赋存于第三成因地层单元古城子组 ( $E_2g$ ) 中, 累计厚度为 10~130 m; 油页岩构成第四成因地层单元, 厚 40~

2000-09-18 收稿, 2000-12-05 收修改稿

\*国家计划委员会专项基金和中国海洋石油总公司重点资助项目

380 m. 沉降中心与沉积中心均位于盆地中部, 沉积物的分布大致表现为边缘薄而中间厚, 相互间为连续沉积.

抚顺盆地的岩浆活动主要有两期. 第一期发生于盆地初始裂陷阶段的古新世早期, K-Ar 年龄为  $64.23 \pm 4 \text{ Ma}$ <sup>[8]</sup>, 表现为强烈的基性火山喷发. 喷发物广布于盆地基底, 构成老虎台组的主体(约 250 m 厚), 主要为橄榄玄武岩及其碎屑, 具有大陆拉斑玄武岩特点, 来自于厚约 30 km 的地壳之下, 属于陆内裂谷作用产物<sup>[9]</sup>. 第二期可能发生于盆地充填末期, K-Ar 年龄为 26.65 Ma, 表现为基性岩浆沿近东西走向的基底断裂上升, 并以巨厚辉绿岩床的形式侵入于老虎台组和栗子沟组中, 是造成该盆地煤层超常变质的主要原因<sup>[10]</sup>. 这些幔源基性岩浆的喷发和侵入, 可能是中生代大兴安岭构造热事件的延续与发展<sup>[11]</sup>.

## 2 同沉积构造及同沉积构造格架

### 2.1 同沉积构造的类型和特点

盆地中的同沉积构造和同沉积构造格架, 是沉积作用对构造作用的响应和反馈的结果, 能有效地揭示盆地构造演化历程及其古构造应力场特征<sup>[12,13]</sup>. 抚顺盆地的同沉积构造有两类, 一类是同沉积正断层及由它们所挟持的次级断陷、断隆, 另一类是同沉积向斜. 后者叠置于前者之上, 构成“下断上拗”的二元结构.

**2.1.1 同沉积正断层** 露头与钻孔资料表明, 这些同沉积正断层大多穿透基底, 在成因上可能与基底断块的拆离和旋转有关, 因而受控于基底先成断裂网络. 为了完整地认识和展示盆地的原生同沉积构造特征, 作者沿勘探线编制了一系列横向沉积断面, 还编制了贯穿全盆地中部的横向综合沉积断面(图 1)和纵向沉积断面(图 2). 这些图件显示, 断层两盘的厚度差别巨大, 而且岩性、岩相和煤层结构的突变都极为显著, 其垂向距离由下而上逐步减少, 同沉积特征十分清楚.

抚顺盆地的同沉积正断层, 可分为纵向同沉积正断层和横向同沉积正断层<sup>[14]</sup>. 纵向同沉积正断层可以在横向沉积断面上识别. 其规模较大, 走向 NEE ~ EW, 延伸十几至几十千米, 因遭受一系列后期横向断层的剪切错移而不甚连续. 其垂向距离数百米, 倾角  $50^\circ \sim 80^\circ$  (图 1). 现今盆地南侧规模最大者是  $F_2$ , 北侧是  $F_{16}$ , 推测是下部断陷的边界.

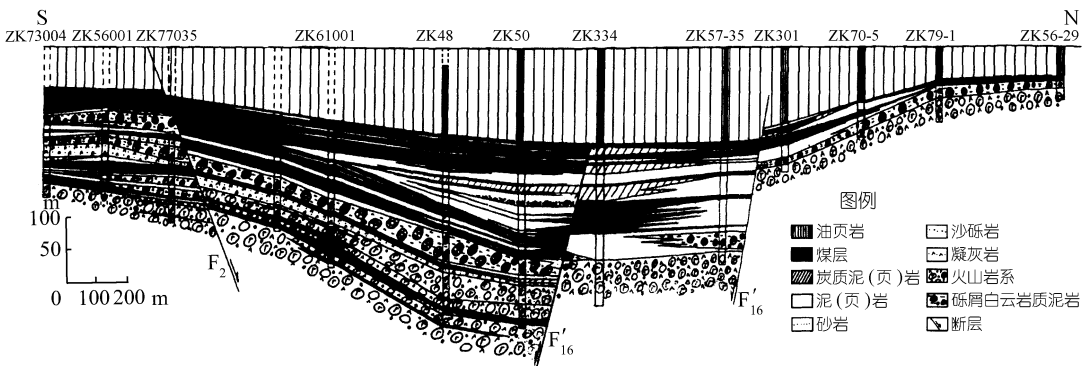


图 1 抚顺盆地中部横向综合沉积断面  
多条勘探线的综合平衡剖面

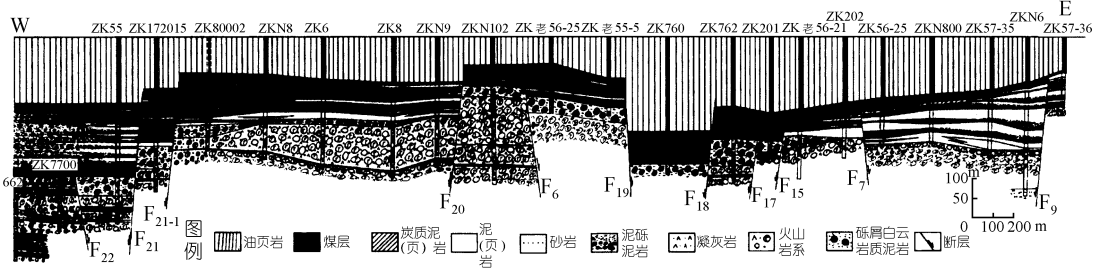


图 2 沿抚顺盆地轴线的纵向原始沉积断面平衡剖面

横向同沉积正断层可以在纵向沉积断面上识别. 其规模较小, 走向 NNW 到近 NS, 与盆地轴向近于垂直, 延伸几百至几千米, 垂向距离几十至几百米, 倾角 60° ~ 近 90°, 断面既有东倾也有西倾(图 2). 其中, 规模最大者是煤田东部边界上的 F<sub>9</sub>、老虎台矿北部的 F<sub>19</sub> 和西露天矿西部的 F<sub>21</sub> 和 F<sub>22</sub>. 横向同沉积正断层大多带有张-扭性质, 后期也都转化为走滑断层.

**2.1.2 同沉积向斜** 该盆地同沉积向斜也可根据计军屯组的平衡剖面(图 1,2)来识别. 计军屯组处于断陷构造和拗陷构造的转换层位上, 其下部发育同沉积断裂而上部发育同沉积向斜, 这就决定了该同沉积向斜底面起伏不平的形态特征. 同沉积向斜下拗幅度最大处与断块的下陷幅度最大处基本对应, 反映盆地基底拗陷作用受到断陷格局的控制.

### 2.2 同沉积构造格架的型式

抚顺盆地的同沉积构造格架型式即上述“下断上拗”的二元结构. 在下部, 大致以盆地轴线(纵剖面线所在处)为界, 两侧的纵向同沉积正断层相向倾斜, 基底由外向内呈对称阶梯状下降, 各组地层厚度相应呈阶梯状加大(图 1). 横向同沉积正断层则两两相向或相背倾斜(图 2). 它们在平面上组合成一系列长轴近东西、相互间略有南北错移的矩形网络<sup>[15]</sup>. 所挟持的次级断块均呈梯形柱体状, 在总体沉降的背景下, 出现一系列凹凸相间、形如城朵的次级矩形断陷和断隆, 从而控制了各组地层、煤层和油页岩的厚度分布. 上部同沉积向斜的底面随下方的次级断隆断陷起伏, 形态较为宽缓、简单, 沉积物在核部加厚而在两翼减薄, 表明两者有继承性发展的关系.

## 3 同沉积构造运动及盆地构造演化

裂陷盆地的形成演化受到多种因素复合控制<sup>[15]</sup>. 根据同沉积构造与盆地构造—沉积演化之间的密切联系, 我们可以追索盆地的同沉积构造运动特征及盆地构造演化历程, 进而剖析各种因素在抚顺盆地基底沉降过程中所起的作用.

### 3.1 盆地古构造应力场特征

抚顺盆地沉积盖层下部的同沉积构造格架所反映的构造应力作用方式, 是 NNW—SSE 向拉张兼有 NEE—SWW 向右旋剪切. 根据面积法估算, 盆地横向伸展量约 0.5 km, 而纵向伸展量可达 2 km, 纵向大于横向. 这说明基底伸展具有显著的纵向分量. 根据西露天矿和胜利矿 9 个观测点所获得的 F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>21</sub>, F<sub>5</sub> 和 F<sub>6-1</sub> 的断面产状及其上的擦痕、擦槽产状计算, 平均主压应力轴走向为 126° ~ 306°, 近于直立; 平均主张应力轴走向 54° ~ 234°, 近水平; 平均第二张(中间)应力轴走向 145° ~ 325°, 也近于水平. 盆地构造应力场具有北东—南西和北西—南东双轴

拉张的性质, 可能是郯庐断裂带右旋剪切兼有拉张活动导出来的. 显然, 抚顺盆地本质上是走滑断陷盆地, 岩石圈的构造衰减在这里主要表现为抚顺—密山断裂的强烈右旋剪切—拉张活动.

### 3.2 盆地基底的沉降史

在 Royden 等<sup>[3,5]</sup>的模型中,  $\delta$  和  $\beta$  值的误差对盆地基底沉降总量的影响很大, 而这两个参数值又很难取准. 作者从沉积物的压实校正入手, 通过反揭法来追寻盆地基底的总体沉降历程. 假定沉积物压实后水平方向保持不变, 骨架密度也不变, 则各组地层底界在盆地演化各阶段的埋藏深度, 可利用 Ungerer 等提供的公式<sup>[16]</sup>进行校正计算.

各项计算所采用的参数值, 主要依据盆地中部的露天矿坑实测和钻孔统计资料. 抚顺群各组地层连续, 序列完整, 现存最大总厚度约 1785 m. 通过孔隙度与深度的相关关系, 并与同一断裂带上的同期盆地(梅河口、依通)对比, 推测上部耿家街组被剥蚀厚度约为 150 m. 由此

得到沉积物总厚度即基底沉降总量为 1935 m. 抚顺盆地 6 个岩性地层单元形成时的古地理环境, 依次经历了火山洼地、局部半咸化浅湖、淡化浅湖、深湖、间歇性半咸化浅湖和冲积平原等演化阶段<sup>[7]</sup>, 通过沉积环境、古生物组合和地球化学资料, 并且与现代走滑断陷盆地(抚仙湖、黛海等)类比, 推断各演化阶段的古水深及火山喷发物的水上厚度. 将上述条件设定参数, 代入 Ungerer 等提供的公式, 可依次算出盆地各演化阶段基底的总沉降量及总沉降速率(图 3, 表 1). 计算结果表明, 盆地基底的总沉降量和沉降速率的最大值, 是在中部古城子组( $E_2^1g$ )超厚煤层沉积时出现的, 而上部西露天组和耿家街组的沉积空间, 大约有 40%是前期沉积物压实和古水体提供的.

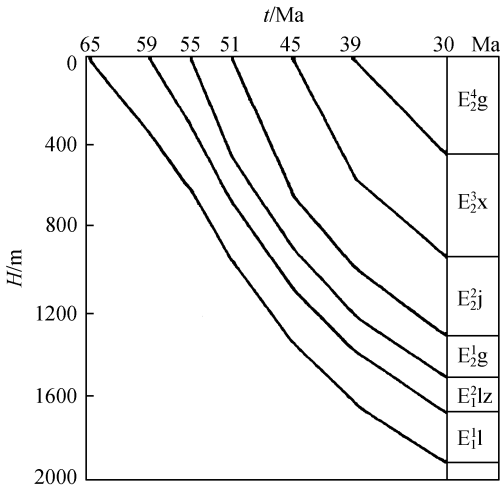


图 3 各阶段盆地基底总沉降量及总沉降速率

表 1 各种因素对抚顺盆地各演化阶段基底沉降量的贡献

沉降量分配	$E_1^1l$	$E_1^2lz$	$E_2^1g$	$E_2^2j$	$E_2^3x$	$E_2^4g$
地层最大厚度/m	250	160	205	380	480	460
古水深推测值/m	5	10	20	150	10	5
总沉降量/m(古水深矫正后)	358	276	337	393	282	289
总沉降速率/ $m \cdot Ma^{-1}$	59.7	69.0	84.3	65.5	47.0	32.1
构造衰减量/m	110	100	160	120	40	0
构造衰减速率/ $m \cdot Ma^{-1}$	18.3	25	40	30	6.8	0
热衰减量/m	87.7	54.5	51.3	73.3	70.9	103.6
热衰减速率/ $m \cdot Ma^{-1}$	14.6	13.6	12.8	12.2	11.8	11.5
重力均衡量/m	160.3	121.5	125.7	199.7	171.1	185.4
重力均衡速率/ $m \cdot Ma^{-1}$	27.2	30.8	31.1	32.8	28.0	21.1
时间间距/Ma	6	4	4	6	6	9

### 3.3 盆地的同沉积构造演化

抚顺盆地的同沉积构造运动形式包括基底拆离与旋转、断块差异沉降、基底整体沉降等 3 种类型, 并且可进一步归纳为裂陷和拗陷两大类型. 揭示这两大类同沉积构造运动的基本特征和规律, 有助于了解盆地形成演化机制及其对煤及油气的控制作用.

**3.3.1 基底裂陷演化** 盆地基底的裂陷作用是指区域性拉张造成的地表断块拆离和陷落, 即构造衰减<sup>[15]</sup>. 将盆地基底的早期裂陷作用及其引起的负荷效应(重力均衡), 笼统地归结为初始沉降, 不利于揭示盆地的构造演化规律. 上述同沉积构造分析结果表明, 抚顺盆地的早期裂陷作用在右旋剪切拉张的构造应力场控制下, 南北两侧地块及基底断块都曾产生南北、东西双向拆离和断块差异沉降. 岩浆热事件和同沉积正断层在各成因地层单元中的平均生长系数(图 4)显示, 盆地基底拆离-裂陷活动的强度经历过 5 个阶段的显著变化:

初动阶段( $E_1^1$ ), 基底初始拆离裂陷, 触发基性岩浆喷溢, 同沉积断裂活动开始;

加速阶段( $E_1^{2z}$ ), 基底拆离裂陷加速, 基性岩浆喷溢停止, 同沉积断裂活动逐步增强;

高速阶段( $E_2^g$ ), 基底高速拆离裂陷, 多数同沉积断裂活动幅度和速度达到最大值;

减速阶段( $E_2^j$ ), 基底拆离裂陷减速, 多数同沉积断裂活动逐步减弱;

终止阶段( $E_2^x$ ), 基底拆离裂陷终止, 同沉积断裂活动基本结束.

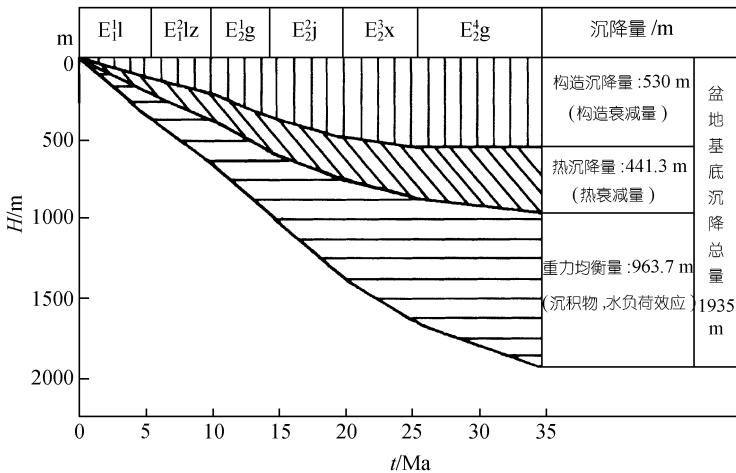


图 4 抚顺盆地主要同沉积正断层的生长系数  
纵坐标为生长系数, 无量纲; 横坐标为岩石地层单位

若将盆缘纵向同沉积正断层两盘邻处的沉积物发育差异总和, 归因于盆地基底裂陷, 即沿倾斜断裂滑脱造成的地壳陷落, 则可根据横剖面上阶梯状盆缘断裂两盘地层累计厚度之差, 估算出盆地基底的裂陷幅度和速率(表 1). 抚顺盆地基底的拆离和裂陷过程在西露天组沉积期中断, 可能与区域构造应力场由拉张转换为挤压—剪切有关. 显然, 这里的岩石圈构造衰减与 Mchenzie<sup>[2]</sup>推测的大型盆地“瞬间拉张”过程有较大的差别.

**3.3.2 基底拗陷演化** 盆地基底的拗陷作用, 是指重力均衡调整和热衰减引起的整体沉降. 由于重力均衡计算涉及模型选择的合理性问题——是采用艾里模型还是采用普拉特模型尚无定论, 再加上水和沉积物的负荷、构造衰减和热衰减等过程都伴随有重力均衡调整, 其反演过

程较为复杂, 需要寻找简易的计算方法. 考虑到盆地基底从沉降、蓄水、沉积充填到触发重力均衡调整机制, 并完成 90% 的调整量, 只需  $10^4 \sim 10^5$  a 时间, 甚至还要少些<sup>[17]</sup>. 盆地各沉积阶段都是均衡补偿的<sup>[18]</sup>, 因此, 作者将压实校正后的各阶段总沉降量扣除构造衰减量和热衰减量之后的剩余量, 归结为重力均衡引起的沉降量. 各阶段的盆地基底总沉降量和构造衰减量已经在前面获得, 只要设法估算出热衰减量, 便可获得各阶段的重力均衡调整量, 进而求出阶段的重力均衡调整速率.

在 Royden<sup>[5]</sup>的非均匀拉张简化模型中,  $\delta$  和  $\beta$  值的误差对热衰减量的影响相对较小, 本文先用该模型求解热衰减量( $D_t$ ), 即

$$D_t = D_{t=\infty} - D, \tag{1}$$

$$D = 3200 \times \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \{[(\delta - \beta) / n\pi] \cdot \sin n\pi H + (\beta / n\pi) \cdot \sin n\pi G\} \cdot (1/n^2) \cdot \exp(-n^2 t / 60), \tag{2}$$

式中,  $D_{t=\infty}$  是  $t = \infty$  时的  $D$  值(极限热沉降总量);  $H = h / (a \cdot \delta)$ ;  $G = (h/a) \cdot (1/\delta - 1/\beta) + 1/\beta$ ;  $h$  和  $a$  分别是裂谷作用前的地壳厚度和上地幔岩石圈厚度(km);  $t$  是热衰减时间( $10^4$  a).

借鉴毗邻的华北盆地资料(邓晋福等)<sup>[19]</sup>, 抚顺盆地早第三纪初期的岩石圈和地壳厚度大致为 74 km 和 44 km, 在裂谷作用中地壳拉张系数  $\delta$  取 1.25, 而拆离面以下的岩石圈拉张系数  $\beta$  取 2.5, 拆离面位于莫霍面上. 由于代表最重要热事件的大规模基性岩浆喷发出现在抚顺盆地的发育初期, 岩石圈的热衰减显然是从盆地发育初期就开始了, 即大致是与构造衰减同时开始的. 计算结果(表 1, 图 5)表明, 在抚顺盆地, 由热衰减引起的基底沉降速率在开始时最大, 随后逐步减少; 重力均衡调整速率从老虎台组( $E_1^1$ )沉积期开始缓慢递增, 至计军屯组沉积期达到最大, 在西露天组沉积期之后迅速变小. 热衰减速率的变化符合这里的岩浆热事件发展过程, 而重力均衡调整速率的变化是对热衰减和构造衰减总和的响应. 显然, 热衰减和重力均衡调整所造成的盆地基底拗陷作用的幅度, 不论在哪个阶段都超过裂陷作用; 以前被认为是岩石圈热衰减和重力均衡调整加剧所造成的上部“拗陷”, 恰恰是拗陷作用减弱阶段的产物. 由此可见, 抚顺盆地的基底沉降作用不能绝然分为裂陷期和拗陷期. 数值模拟的结果(吴冲龙)<sup>[12]</sup>证明, 只要岩石圈的热衰减和重力均衡调整作用没有结束, 盆地基底的沉降就不会停止. 盆地基底拗陷作用于耿家街组沉积之后终止, 可能是渐新世的大规模岩浆活动和巨厚辉绿岩床侵入, 使岩石圈热衰减和重力均衡调整提前结束或逆转造成的.

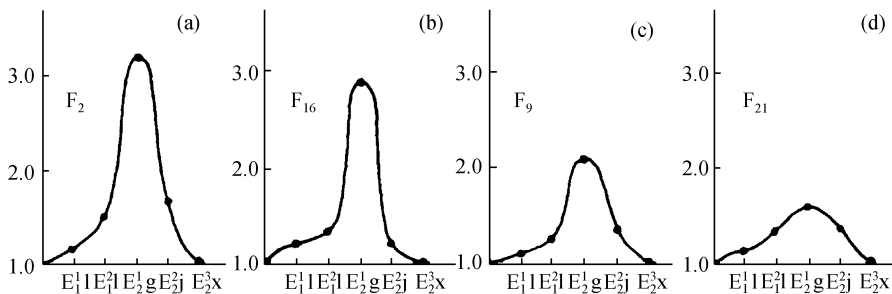


图 5 抚顺盆地基底各种沉降量的动态变化图解

综合裂陷和拗陷两大作用, 抚顺盆地的同沉积构造演化可归纳为 6 个阶段(图 6), 即初始慢速裂陷和初始快速拗陷→加速裂陷和快速拗陷→快速裂陷和快速拗陷→减速裂陷和快速拗

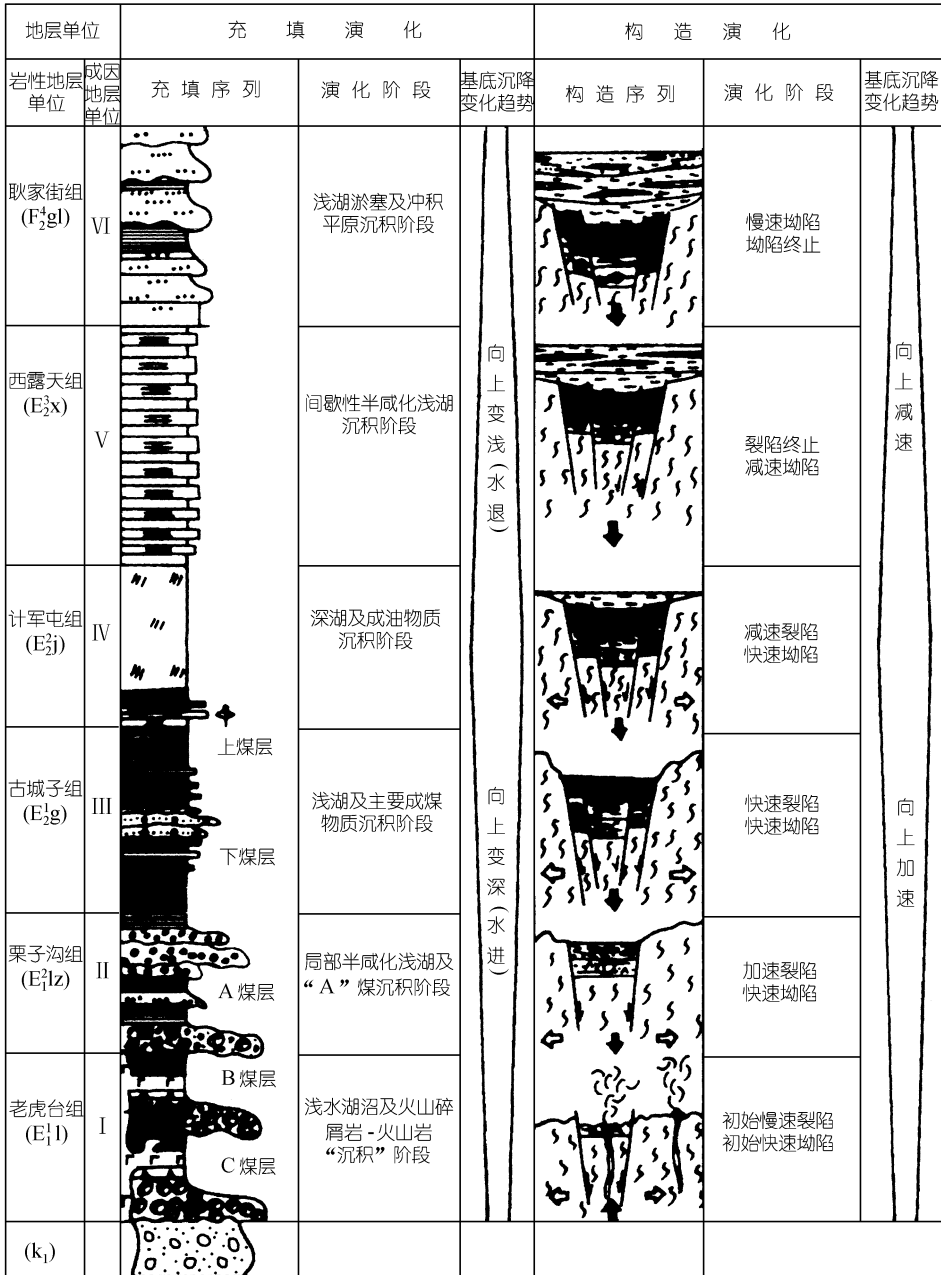


图 6 抚顺盆地充填—构造演化序列图

陷→裂陷终止和减速拗陷→慢速拗陷和拗陷终止.

### 4 总结与结论

根据上面的分析, 可以归纳出如下几点认识:

(1) 抚顺盆地同沉积构造格架的“下断上拗”式二元结构, 不能用简单地归结为裂陷作用与拗陷作用的转换. 尽管盆地同沉积构造运动有裂陷和拗陷两个类型, 但两者基本上是同步

发生和发展的. 控制盆地裂陷运动的主要因素是岩石圈构造衰减, 而控制盆地拗陷运动的主要因素是岩石圈重力均衡调整和热衰减. 岩石圈的构造衰减在这里主要表现为南北盆缘断裂的强烈右旋剪切-拉张, 造成盆地基底断快的拆离和差异沉降; 岩石圈的重力均衡调整和热衰减, 均开始于最初的岩浆热事件和基性火山岩堆积阶段, 主要表现为盆地基底相对于外围地区的整体沉降. 但是, 该盆地“上拗”部分所需的巨大堆积空间, 有 40% 来自于下伏沉积物的压实, 只有 60% 来自于盆地基底的长期缓慢拗陷.

(2) 抚顺盆地的基底沉降作用在实际上没有裂陷期和拗陷期的截然分界, 其演化历程包括慢速裂陷和快速拗陷(老虎台组  $E_1^1$ )、加速裂陷和快速拗陷(栗子沟组  $E_1^2$ )、快速裂陷和快速拗陷(古城子组  $E_2^g$ )、减速裂陷和快速拗陷(计军屯组  $E_2^j$ )、裂陷终止和减速拗陷(西露天组  $E_2^x$ )、慢速拗陷和拗陷终止(耿家街组  $E_2^g$ )等 6 个阶段. 该盆地的基底裂陷与 Mckenzie<sup>[2]</sup>所推测的快速“瞬间拉张”不同, 其速率和幅度在裂陷开始约  $10^5$  a 之后才达到最大值, 而在  $2 \times 10^5$  a 之后便逐步停止; 盆地基底拗陷作用从老虎台组( $E_1^1$ )沉积期开始就具有相当大的速率, 只是被强烈的裂陷现象掩盖而不易识别, 到西露天组( $E_2^x$ )沉积期即裂陷作用终止时, 盆地基底拗陷作用已经开始减弱. “下断上拗”结构的形成, 并非热衰减和重力均衡调整加剧引起的, 而是盆地裂陷作用先于拗陷作用结束所致. 盆地裂陷作用的中断, 可能起因于古构造应力场转换对岩石圈构造衰减的抑制; 而拗陷作用的终止, 可能是渐新世新一轮深部热事件及其伴随的巨厚辉绿岩床侵入, 引起岩石圈热衰减和重力均衡调整逆转的结果.

(3) 对于地层层序清楚、构造形态较完整且各阶段剥蚀量易于恢复的盆地, 可以从同沉积构造识别入手, 通过基底沉降史定量模拟和同沉积构造格架分析, 来确定各阶段盆地基底沉降总量和构造衰减量, 然后利用 Royden 等<sup>[5]</sup>的简化非均匀拉张模型来计算各阶段的热沉降量, 最后用各阶段基底沉降总量扣除构造衰减量和热沉降量, 来推断各阶段的重力均衡沉降量. 这种方法, 比单纯使用 Royden 等<sup>[5]</sup>的完整模型求解全部参数, 更为可靠和简便, 并且可以有效地追索盆地基底裂陷与拗陷的发展过程及其相互关系, 揭示盆地同沉积构造演化历程及其对盆地内部各种沉积矿产聚集、分布的控制作用, 进而探索盆地形成演化的机理.

上述认识和方法, 在大陆中小型裂陷(断陷)盆地的研究中, 可能具有普遍意义.

**致谢** 杨起院士、王燮培教授和龚再升总地质师给予了热情指导, 作者谨表谢意.

## 参 考 文 献

- 1 Falvey D A. The development of continental margins in plate tectonic theory. *APEA Journal*, 1974, 14: 95~106
- 2 Mckenzie D P. Some remarks on the Development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Sci Lett*, 1978, 40: 25~32
- 3 Royden L, Keen C E. Rifting process and thermal evolution of continental margin of eastern Canada determined from subsidence curves. *Earth and Planetary Sci Lett*, 1980, 51: 341~363
- 4 Hellinger S J, Sclater J G. Some comments on the two layer extension models for the evolution of sedimentary basins. *J Geophys Res*, 1983, 88: 8251~8270
- 5 Royden L. A simple method for analyzing subsidence and heat flow in extensional basins. In: Burrus-Jean, ed. *Thermal Modeling in Sedimentary Basins*. Paris: Technip, 1986. 49~73
- 6 吴冲龙. 抚顺盆地超厚煤层的滑积相及超厚煤层的成因模式. *科学通报*, 1994, 39(23): 2175~2177



- 7 吴冲龙, 李绍虎, 黄凤鸣, 等. 抚顺盆地超厚煤层的沉积条件分析. 煤田地质与勘探, 1997, 25(2): 1~7
- 8 王集源, 王东方. 抚顺地区古新世老虎台组玄武岩的 K-Ar 法年龄测定. 辽宁地质学报, 1982, (1): 110~116
- 9 王东方. 抚顺古新世玄武岩特征及其在郯庐断裂发展中的构造意义. 岩石矿物学杂志, 1986, 5(3): 213~219
- 10 Wu Chonglong, Yang Qi, Zhu Zuoduo, et al. Thermodynamic analysis and simulation of coal metamorphism in fushun basin, China. International Journal Coal Geology, 2000, 44: 149~168
- 11 邵济安, 张履桥, 牟保磊. 大兴安岭中南段中生代的构造热演化. 中国科学, D 辑, 1998, 28(3): 193~200
- 12 吴冲龙. 阜新盆地古构造应力场研究. 武汉地质学院学报(地球科学), 1984, 9(2): 43~52
- 13 吴冲龙, 周江羽, 王根发, 等. 鄂尔多斯盆地中新世古构造应力—应变场及其与中部大气田的成因联系. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 267~275
- 14 吴冲龙, 袁艳斌, 李绍虎. 抚顺盆地的同沉积构造及其对煤和油页岩厚度的控制. 煤田地质与勘探, 1998, 26(6): 1~6
- 15 Fscher A G. Origin and growth of basin. In: Petroleum and global tectonics. In: Fisher J, ed. Petroleum and Global Tectonics. Princeton, London: Princeton University Press, 1975. 47~79
- 16 Ungerer P, Bessis F, Chenet P Y, et al. Geological and geochemical models in oil exploration: Principles and practical examples. In: Demasion, ed. Petroleum Geochemistry and Basin Evaluation, AAPG Memoir, 1984, 35: 53~77
- 17 Ten Brink N W. Glacio-isostasy: New data from West Greenland and geophysical implications. Geol Soc Amer Abst, 1972, 4(7): 686~687
- 18 Kinsman D J. Rift valley basin and sedimentary history of Traling Continental margins. In: Fisher J, ed. Petroleum and Global Tectonics. Princeton, London: Princeton University Press, 1975. 83~126
- 19 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京, 地质出版社, 1996. 40~58