

# 反转构造与其易混淆构造的对比分析

刘见宝<sup>1,2</sup>, 夏斌<sup>1,3</sup>, 吕宝凤<sup>3</sup>, 蔡周荣<sup>3</sup>, 施秋华<sup>1,2</sup>, 袁亚娟<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
3. 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 比较分析负反转断层与“跷跷板”式构造, 正反转褶皱与重力滑动型背形、地层补偿型背形及底辟背形, 断展型正反转与滚动背斜的构造形态特征。负反转断层与“跷跷板”式构造外部形态都呈现出反向的楔形, 但是后者是在统一的区域应力场下, 由断层活动性质的横向差异所致。正反转褶皱与背形构造外部形态都呈现出背形, 但是在地层厚度、剥蚀程度、轴面及伴生构造等方面存在差异。前者地层中间厚两翼薄, 顶部剥蚀程度向两翼降低, 不整合面之上的地层向褶皱高点超覆。重力滑动型背形由于是区域性张应力的环境下局部受压的结果, 所以其规模较小; 重力滑动型背形和地层补偿型背形地层受张性区域应力控制, 地层顶部无剥蚀, 且无中间厚两翼薄的特征; 底辟背形无横向应力, 属横弯褶皱, 轴面多直立, 发育盐边凹陷及顶部断层簇等伴生构造。断展型正反转与滚动背斜均是断层的上盘发育背斜, 但在背斜的形态、规模、地层厚度等方面存在差异。滚动背斜受同生断层控制, 背斜面积和高度较小, 轴面基本平行于断层面; 顶部地层剥蚀不明显; 与断展型正反转地层厚度呈上凸下凹的“喇叭型”相比, 其地层厚度横向变化小。

**关键词:** 反转构造; 重力滑动构造; 底辟构造; 滚动背斜

中图分类号: TE121.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-8527(2010)04-0744-05

## Comparative Analysis of Inversion Structure with Its Easily Confused Structures

LIU Jian-bao<sup>1,2</sup>, XIA Bin<sup>1,3</sup>, LÜ Bao-feng<sup>3</sup>, CAI Zhou-rong<sup>3</sup>, SHI Qiu-hua<sup>1,2</sup>, YUAN Ya-juan<sup>1,2</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;  
2. Graduate University, China Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. College of Marine Science, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

**Abstract** Comparisons between negative inversion faults and the “seesaw” structures, positive inversion folds and gravity slide-shaped graben antiforms, layer compensation antiforms and diapirs antiforms, positive inversion faults-propagation and the rollover anticlines are discussed. Negative inversion faults and the “seesaw” structures have the similar external form of a reverse wedge, but the latter is formed by different fault activity in a unified regional stress field. Positive inversion folds and antiforms have similar profiles, but are different in the strata thickness, erosion degree, axial face, and associated structures. The former's strata are thick in the middle but thin in wings, and strata denudation thickness is lower in the wings, and its strata overlap to the fold center above the unconformity. Gravity slide-shaped graben antiforms and layer compensation antiforms are under the control of regional tensile stress, so there is no erosion at the top of the strata, and no characteristics of middle strata thick but wings thin. Gravity slide-shaped graben antiform is the result of local pressure in regional tensile stress, so its size is small. Diapirs antiform is cross-bend fold with lateral stress-free, so its axial is always upright, and its associated structures such as depression of salt side and the top faults cluster are developed. Positive inversion faults-propagation and rollover anticline both develop anticlines on the fault hanging wall, but their anticline shapes, sizes, and strata thickness characters are different. Rollover anticline is controlled by contemporaneous faults, so its anticline area is small and height is little, and its axial basically para-

收稿日期: 2010-02-20; 改回日期: 2010-04-15; 责任编辑: 孙义梅。

作者简介: 刘见宝, 男, 博士研究生, 1982年出生, 石油地质学专业, 主要从事石油构造方面的研究工作。

E-mail: liujianb\_51434883@qq.com

els to the fault plane. Its denudation is not obvious at the top of strata and its strata thickness varies small laterally compared to the concave-convex "horn-type" strata of positive inversion faults-propagation.

**Key words** inversion structure; gravity sliding structure; diapirs structure; rollover anticline

### 0 引言

反转构造是指由于应力反转而形成的构造。反转构造对油气的烃源岩、疏导体系、圈闭等均有重要的影响，因而是石油地质的重要研究内容之一<sup>[1-3]</sup>。济阳拗陷“跷跷板”式构造、滚动背斜、重力滑动坳背形、压实坳背形的发育给反转构造的识别带来很大的困难，加之古近纪断块差异升降活动强烈，断层断距大，更加大反转构造的判识难度<sup>[4]</sup>。在分析反转构造与其易混淆构造形成机理的基础上，提出反转构造的识别方法，为今后石油勘探提供借鉴。

### 1 负反转断层与“跷跷板”式构造

#### 1.1 负反转断层

负反转断层是指在早期挤压应力场之下形成的逆冲断层，因后期受拉张应力场影响而发生反向伸展形成的断层，这种断层经历了强挤压→弱挤压→拉张的转换过程。依据形成环境和发育特征可以将卷入负反转的地层划分为受挤压剥蚀层序、压-张转换拗陷期层序、拉张裂陷期层序。其中挤压应力场之下发育的受挤压剥蚀层序在形态上为一向负反转断层减薄的楔形，且剥蚀厚度较大者指向断层方向，内部反射特征多为平行或亚平行反射；压-张转换期层序向断层方向超覆，其外部形态与受挤压剥蚀层序相类似，也呈现出向负反转断层减薄的楔形；拉张裂陷期层序在外部形态上为一向远离断层方向减薄的楔形，超覆方向由近断层端指向远离断层端，体现张性伸展断层对拉张裂陷期层序沉积充填过程有控制作用(图 1)。

#### 1.2 “跷跷板”式构造

“跷跷板”式构造是在断陷盆地发育演化过程中，由于不同构造阶段控制沉积的断层活动性存在差异而引起的。如图 2 所示，在断层 F<sub>1</sub> 活动时，断陷前层序 A 受断块翘倾作用影响在上盘扬起端遭受剥蚀，断陷期层序 B 由近断层处向远端超覆，体现明显的单断式箕状盆地发育特征。此后，断层 F 活动性逐渐降低，并趋于消亡，在其扬起端又发育有另一条控盆断层 F<sub>2</sub>，且活动强度相对较

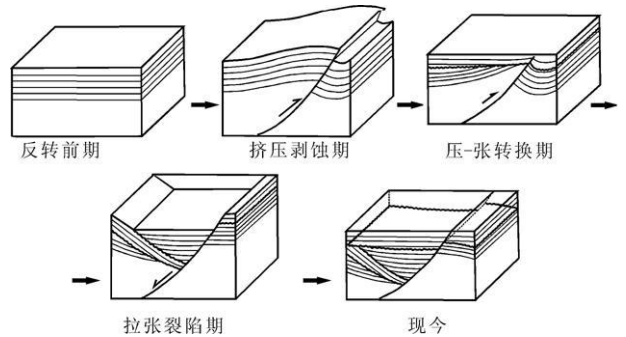


图 1 负反转断层形成演化过程示意图

Fig. 1 Formation and evolution of negative inversion faults

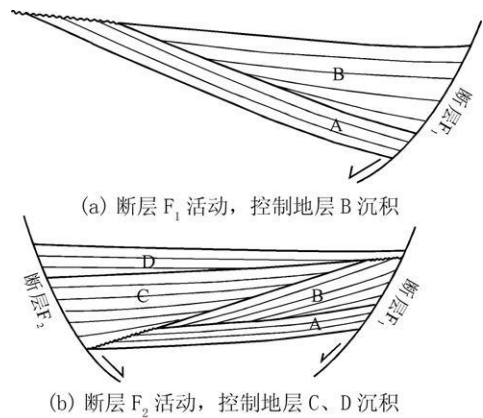


图 2 断陷盆地“跷跷板”式构造组合样式发育示意图

Fig. 2 Development of seesaw-type structure in faulted basin

大，控制断陷期层序 C、D 的沉积，并造成对早期断陷层序 B 的剥蚀。

“跷跷板”式构造与负反转构造极为相似，外部形态上都呈现出两个反向楔形的特征，但是二者的形成过程具有本质的区别：“跷跷板”式构造的形成演化受控于不同构造阶段两条倾向相反的张性断层的先后活动，系不同阶段控盆断层发育演化的横向差异所致，区域应力场性质未发生转变，始终处于伸展构造环境之中；而负反转构造在其形成演化过程中，应力场的性质发生由挤压到拉张的转变。因此，在识别反转构造时，应该充分考虑区域应力场的演化特征。

### 2 正反转褶皱与背形构造

#### 2.1 正反转褶皱

正反转褶皱是指在早期区域拉张裂陷作用下

地层发生沉降并形成下部沉积凹陷，晚期受构造挤压但早期的拉张断层未显著逆向活动情况下，产生的地层挤压变形或褶皱隆升。其典型特征是裂陷期层序顶部明显上凸，裂陷期层序底部受拉张裂陷阶段的沉降幅度和后期挤压应力强度大小影响可能呈现上凸或下凹的形态，因此可以将正反转褶皱进一步细分为上凸下凹的正反转褶皱和上下皆凸的正反转褶皱(图3)。正反转褶皱所形成的不整合面以下地层中部较厚，翼部相对较薄，顶部地层遭受剥蚀，剥蚀厚度由褶皱高点向两侧逐渐降低；不整合面以上地层由两翼向褶皱高点超覆。正反转褶皱容易和断陷盆地内发育较为普遍的重力滑动堑背形、地层补偿堑背形以及底辟背形等构造样式相混淆。

### 2.2 重力滑动堑背形

重力滑动堑背形构造发育在较小的断陷盆地内，盆地一般存在两条对倾基底断层，随着深度的增大，两条断层距离逐渐变小，盆地范围逐步收缩。在持续拉张应力作用下，盆地内地层沿两侧斜坡或同生正断层面向沉降中心滑动，造成对盆地底部中央地层的对偶挤压力，使盆地底部中央地层形成向上的拱张力，当拱张力大于上覆地层重力作用时，盆地中央地层出现上拱现象，呈现背斜形态。重力滑动堑背形发育在张性区域应力场中，仅由于局部挤压而形成，所以一般不具有区域规模。

### 2.3 地层补偿堑背形

地层补偿堑背形也是重力滑动断裂的一种构造形态。由于控制补偿的主断裂下降盘向深凹陷

急剧下降，与上升盘之间出现空隙，下降盘的岩层填补空隙而发育成补偿断层，该类断裂与主断裂组成堑背形构造形式，其特点：(1)垂直断裂方向为堑背形构造样式，且常常出现靠近断裂一翼地层加厚，向另一翼减薄的现象；(2)地层为充填式补偿沉积，地层抬高的方向会出现地层尖灭现象；(3)补偿断裂多为对偶关系，发育在补偿沉积地层内部或向下沿基岩面滑脱，并不下切基底，随着基底生长断裂活动的逐渐减弱，补偿断层向上消失。

上述两种背斜形态均是在断层同生下滑过程中形成，与沉积后的盆地侧向挤压变形机制存在本质区别。即背斜形态的形成过程并不对应于盆地的应力场由拉张到挤压的转变过程，同裂陷期地层顶部无明显的地层削蚀现象。背形地层不具有中间厚两翼薄的特征。

### 2.4 压实堑背形

压实堑背形是一种因基底隆起或冲积扇突起等因素导致的上覆地层超覆和差异压实而形成的背形构造。陈海云 2005年研究认为侧向重力滑动时，上部地层受到拱张而陷落，也可形成此种构造样式。

压实堑背形主要有以下特点：(1)盖层背形受基底隆起或丘状砂砾岩体表面突起形态控制，顶薄翼厚，上覆地层超覆于凸起之上；(2)构造简单，断层不发育。当基岩面发生重力滑动时，才使核部沉积体的一翼滑动错断，形成顶部地堑；(3)背形核部砂砾岩体在地震剖面上具有中-强振幅、较连续的丘状地震相。

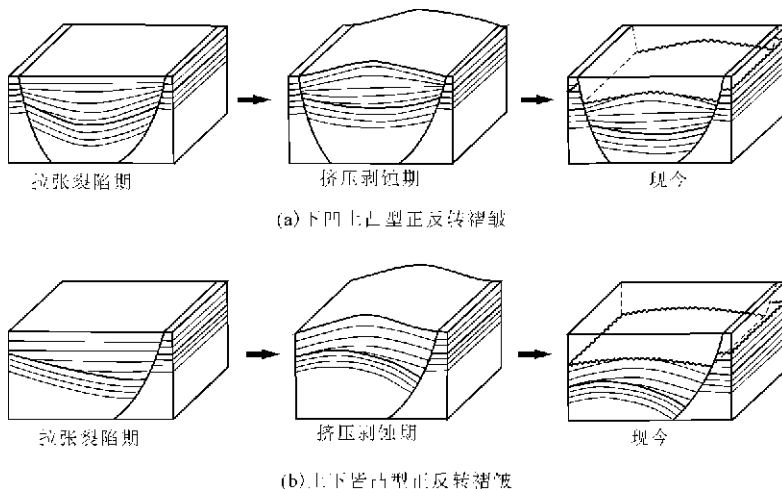


图3 正反转褶皱形成演化示意图

Fig. 3 Formation and evolution of fold-type positive inversion structure

## 2.5 底辟背形

底辟背形包括泥底辟、盐底辟和火成岩底辟构造, 有刺穿型也有隐刺穿型, 其中隐刺穿型多会造成围岩中形成背斜形态。沉积前期, 泥岩埋藏浅, 盖层薄, 负荷轻, 盖层的负荷和泥岩自重使得含水软泥岩带动负载层一起沿底面向凹陷中心作区域型迁移, 早期这种流动很缓慢, 所引起的塑性变形也很微弱。随着沉积的不断进行, 盖层厚度不断增加, 负载层的压力差越来越大, 促使塑性层向中心进一步集中并拱起, 并最终形成底辟背形构造。东营凹陷辛镇构造的塑性层厚度可达 3 000 m, 隆起幅度 1 000 m, 属于隐刺穿型。其底辟内部呈杂乱反射, 而围岩反射界面在此突然中断<sup>[6-7]</sup>, 顶部发育“包心菜式”断裂系统, 地层顶薄翼厚, 但在顶部地堑中又相对增厚, 显示同生断裂的性质<sup>[8-12]</sup>。

与反转挤压背斜相比, 底辟构造背形在形成过程中并没有受到侧向挤压应力的影响, 形成的背斜主要系横弯褶皱作用所致, 因此轴面多直立; 底辟背形顶部也可能存在着一定的地层剥蚀, 但是与反转挤压背斜相比, 反转挤压背斜除了上下皆凸的形态外, 还可见有下凹上凸的外部形态, 而底辟背形在塑性层之上只能发育有上下皆凸的背斜形态; 底辟构造的周缘常发育一些伴生构造, 如盐边凹陷和顶部正断层簇等伴生构造<sup>[13-15]</sup>。盐边凹陷主要位于盐构造两翼, 是由于盐体的流动、抽空导致上覆层下凹而形成的。盐边凹陷里的地层厚度明显加厚, 从而能形成差异负载作用, 反过来又可以促进盐体的流动。

## 3 断展型正反转与滚动背斜

### 3.1 断展型正反转

断展型正反转的断层带剖面形态多为铲状。在挤压阶段断层上盘沿着原来的正断层带发生逆向滑动, 断层性质呈现“下逆上正”的特征, 在上盘高部位形成断层扩展褶皱, 褶皱形态多为轴面

斜歪的不对称褶皱, 顶部地层遭受剥蚀, 剥蚀厚度较大者指向反转断层方向, 与不整合面之上地层超覆方向相同; 上盘洼陷处伴随着深度不断增大, 地层褶皱程度逐渐变缓, 直到到达“零点”所在的近于水平的平面, 该面之下地层保持了原有单断式箕状盆地的沉积充填形态。因此, 断展型正反转上盘的裂陷期层序大多呈现出“上凸下凹”的喇叭形, 喇叭口朝向反转的断层方向(图 4)。断展型正反转构造形态上比较容易与断层上盘陡坡带发育的滚动背斜相混淆。

### 3.2 滚动背斜

滚动背斜是同生断层边断裂、边沉积、边滚动所形成的逆牵引背斜, 背斜面积和高度完全受断裂活动程度所控制, 其背斜轴面与断裂面基本平行。由于紧靠断层出现的小型背斜形态和正断层下降盘牵引作用形成的向外形态相反, 故又称之为“逆牵引”, “逆牵引”只是形态上对比的形容词, 而非真正的构造牵引现象<sup>[16]</sup>。断层面弯曲是逆牵引背斜构造形成的关键因素<sup>[17-18]</sup>。理论计算表明, 断裂面在深层基本上应为水平状态, 至表层时应弯曲成垂直状态。沿此弯断面的正向断裂运行, 将使两盘发生垂向位移, 同时会将两个断块拉开而形成上升盘和下降盘之间的原始裂缝, 致使断面附近的地层向下弯曲来弥合潜在的空间, 形成逆牵引构造。滚动背斜常与沉积作用同时发生, 故在其顶部地层削蚀减薄现象不明显, 地层横向厚度变化小, 如有减薄现象也是由于沉积作用造成的并向远离断层处减薄。

与滚动背斜相比, 构造反转导致的挤压背斜属于典型的沉积后挤压构造, 其背斜面积和高度要大, 其背斜轴面常无严格的倾向, 在断陷层序和上覆层序之间有一明显的剥蚀不整合面; 就地层厚度横向变化而言, 反转构造形成的挤压背斜向近断层处可能存在地层减薄现象, 并由此造成了越靠近不整合面背斜幅度越小的特征。

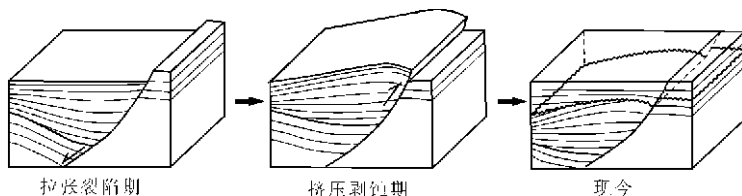


图 4 断展型正反转构造形成演化过程示意图

Fig 4. Formation and evolution of fault-type positive inversion structure

## 4 结 论

(1) 负反转断层与“跷跷板”式构造外部形态都呈现出反向的楔形, 但是后者是在统一的区域应力场下, 由断层活动性质的横向差异所致。

(2) 正反转褶皱与背形构造外部形态都呈现出背形, 但是在地层厚度、剥蚀程度、轴面及伴生构造等细节处存在差异。前者地层中间厚两翼薄, 顶部剥蚀程度向两翼降低, 不整合面之上的地层向褶皱高点超覆。重力滑动型背形是区域性张应力的环境下局部受压的结果, 所以其规模较小; 重力滑动型背形和地层补偿型背形地层受张性区域应力控制, 地层顶部无剥蚀, 且没有表现出中间厚两翼薄的特征; 底辟背形无横向应力, 属横弯褶皱, 轴面多直立, 发育盐边凹陷及顶部断层簇等伴生构造。

(3) 断展型正反转与滚动背斜均是断层的上盘发育背斜, 但背斜的形态、规模、地层厚度等存在差异。滚动背斜完全受同生断层控制, 背斜面积和高度较小, 且背斜轴面基本平行于断层面; 背斜顶部地层剥蚀不明显; 与断展型正反转地层厚度呈上凸下凹的“喇叭型”相比, 滚动背斜地层厚度横向变化小。

### 参考文献:

- [ 1 ] Mitra S. Geometry and kinematic evolution of inversion structures [ J ]. AAPG Bulletin, 1993, 77( 7 ): 1159- 1191.
- [ 2 ] 宋廷光, 于百莲, 韩殿杰, 等. 正反转构造的类型和特点 [ J ]. 地球科学, 1995, 20( 3 ): 271- 275.
- [ 3 ] 褚庆忠. 含油气盆地反转构造研究综述 [ J ]. 西安石油大学学报, 2004, 19( 1 ): 28- 35.
- [ 4 ] 郝雪峰, 宗国洪, 李传华, 等. 济阳拗陷正反转构造初步分析 [ J ]. 油气地质与采收率, 2001, 8( 3 ): 8- 10.
- [ 5 ] 陈海云, 于建国, 舒良树, 等. 济阳拗陷构造样式及其与油气关系 [ J ]. 高校地质学报, 2005, 11( 4 ): 622- 632.
- [ 6 ] 杨克绳, 胡平, 党晓春. 冷底辟与热底辟地震信息 [ J ]. 地震地质, 2007, 29( 3 ): 558- 576.
- [ 7 ] 刘晓峰, 解习农, 张成, 等. 东营凹陷盐-泥构造的样式和成因机制分析 [ J ]. 地学前缘, 2005, 12( 4 ): 403- 409.
- [ 8 ] Davison I, Alsop J, Birch P, et al. Geometry and late stage structural evolution of Central Graben salt diapirs, North Sea [ J ]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17( 4 ): 499- 522.
- [ 9 ] 于建国, 李三忠, 王金铎, 等. 东营凹陷盐底辟作用与中央隆起带断裂构造成因 [ J ]. 地质科学, 2005, 40( 1 ): 55- 68.
- [ 10 ] Hudcok M R, Jackson M P A. Tera infima: Understanding salt tectonics [ J ]. Earth-Science Reviews, 2007, 82( 1/2 ): 1- 28.
- [ 11 ] 周心怀, 余一欣, 汤良杰, 等. 渤海地区底辟构造及其油气地质意义 [ J ]. 石油学报, 2009, 30( 4 ): 518- 521.
- [ 12 ] 孙和风, 彭文绪, 周心怀. 渤海海域莱州湾凹陷盐构造成因探讨 [ J ]. 大地构造与成矿学, 2009, 33( 3 ): 352- 358.
- [ 13 ] Sumner R H, Westbrook G K. Mud diapirism in front of the Barbados accretionary wedge: The influences of fracture zones and North American-South American Plate motions [ J ]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18( 5 ): 591- 613.
- [ 14 ] 陈书平, 王智帮, 刘军镔. 沾(化)车(镇)地区滚动背斜研究 [ J ]. 石油大学学报, 1999, 23( 3 ): 6- 9.
- [ 15 ] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域莱州湾凹陷 KL11-2地区盐构造特征 [ J ]. 地质学报, 2008, 82( 6 ): 731- 737.
- [ 16 ] 陈发景. 逆牵引背斜构造特征和成因 [ J ]. 现代地质, 2008, 22( 4 ): 664- 668.
- [ 17 ] 王始波, 宋铁星, 藏惠凡. 贝尔断陷逆牵引背斜构造特征及其形成机制 [ J ]. 大庆石油地质与开发, 1998, 17( 4 ): 4- 6.
- [ 18 ] 陈书平, 汤良杰, 漆家福, 等. 盐在变形中的作用: 库车拗陷与东濮拗陷盐构造对比研究 [ J ]. 地质学报, 2007, 81( 6 ): 745- 754.