

二连盆地边界断层的生长模型及其对含油气系统形成的控制

窦立荣

中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院

前言

自1959年发现大庆油田以来,在松辽盆地和渤海湾盆地的油气勘探历程中,我国若干石油地质家不断总结陆相盆地或凹陷的油气分布规律,提出了成油系统^①、“源控论”^②及复式油气聚集(区)带^③等理论,认为在裂谷盆地中,一个凹陷是一个独立的油气富集单元,形成一个独立的含油气系统^④。

裂谷盆地的油气勘探对我国石油工业有十分重要的作用。随着中国东部油气勘探难度的加大,需要应用新思路和新技术来探索剩余油气资源的分布。本文试图通过对二连盆地几个勘探程度相对较高的凹陷的研究,讨论裂谷盆地的发育特征对含油气系统形成与分布的控制作用,以期指导油气的勘探。

边界正断层的特征和生长模式

20世纪80年代以来,裂谷盆地的几何学研究快速发展,裂谷盆地的结构特征和发育过程得到了广泛深入的研究^{④~⑦}。许多学者对野外露头正断层的生长特征进行了描述^{⑧⑨},提出断层生长和连锁的概念。断层连锁不仅在地表是十分普遍的现象,而且在裂谷盆地中也发育^⑨。窦立荣等1998年对英国北海维京地堑 Beryl 湾中、晚侏罗世裂谷期沉积首次进行高分辨率沉降分析,发现裂谷边界断层的分段性和连锁时间。

总体看,裂谷盆地半地堑边界正断层的生长可以划分为两种模式。

1 断层简单生长模式

这类正断层的生长特征是,随断层的断距(D)增加,断层长度(L)也不断增加,二者之间存在正相关关系(见图1),关系式如下:

$$D = c L^n$$

式中 c ——常数; n ——常数,取值范围为1~2。

简单生长正断层的最大断距位于断层的中部,受其控制发育的沉积物逐渐向盆地边部的老地层超覆。

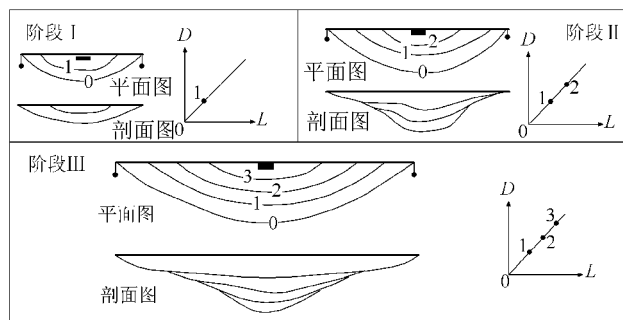


图1 断层简单生长模式示意图

2 断层生长连锁模式

断层在生长过程中,如果邻近存在其它断层,则随着断层的不断生长,会经过3个演化阶段^{⑦⑧}(见图2)。

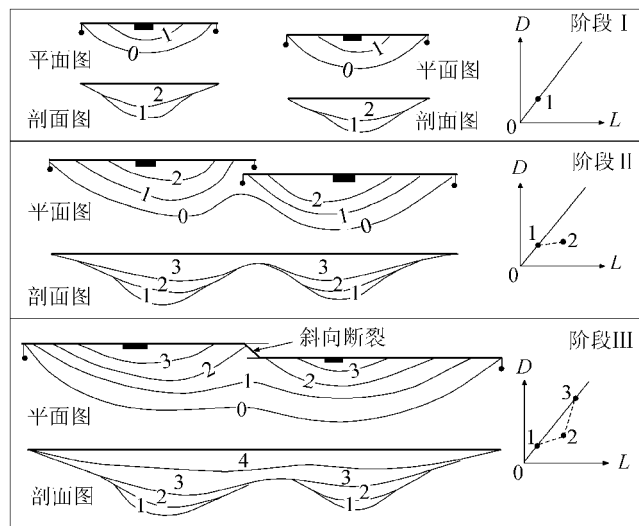


图2 断层生长连锁过程示意图

(1) 独立生长阶段

在这一阶段,每一条断层独立生长,断层的断距与

① 大庆油田科学研究设计院,松辽盆地若干石油地质理论问题的探讨,见《松辽盆地石油地质研究报告》,1977年。

断层长度同步增长,最大断距位于断层中部。

(2) 断层并置阶段

这一阶段每一条断层仍然独立生长,断层的断距与断层长度同步增长,相邻断层部分重叠,但每一条断层的最大断距向两条断层之间的调节带迁移,不再位于断层的中部。

(3) 断层连锁阶段

由于断层的进一步生长,断层的调节带发生斜向断裂,使得两条断层发生连锁,形成统一的断层,最大断距位于连锁后的断层的中部。

断层的连锁是一个短暂的过程,该过程不仅改变了连锁前的沉积分布格局,同时对断陷的发育史存在控制作用。

二连盆地边界断层的类型及对沉积和有效烃源岩分布的控制

1 二连盆地基本石油地质特征

二连盆地是在海西期褶皱基底上发育起来的早白垩世裂谷群,是早期(早白垩世)沉陷、后期(晚白垩世)抬升的单旋回残留盆地^[3]。盆地面积为 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$,主体部分由五坳一隆组成,共 52 个断陷。早白垩世,盆地经历了完整的裂谷发育期,下白垩统巴彦花群的阿尔善组和腾格尔组为同裂谷期沉积,赛汉塔拉组为后裂谷期沉积,纵向上组成了一个完整的沉积旋回,下白垩统厚度达 4000m。目前已经在二连盆地的 9 个凹陷中发现油气田或获得商业性油气流,主要烃源岩是阿尔善组上段和腾格尔组一段,油气也主要分布在这一层系中。

分析二连盆地的凹陷深度与凹陷长度关系发现,大部分凹陷随深度增加,长度也按比例增加(仅乌里亚斯太凹陷的长度明显偏大)(见图 3)。

2 断层发育对凹陷的控制作用

(1) 阿北凹陷——单一边界断层发育形成一个含油气系统

阿北凹陷位于马尼特坳陷东部,是一个北断南超的单断凹陷,东西长 60km,南北宽 20km,面积为 1200 km^2 。凹陷内沉积的主要地层为下白垩统巴彦花群,沉积厚度 2000~3000m。在同裂谷期阿尔善组和腾格尔组沉积时期,北部边界断层控制沉积中心的分布,

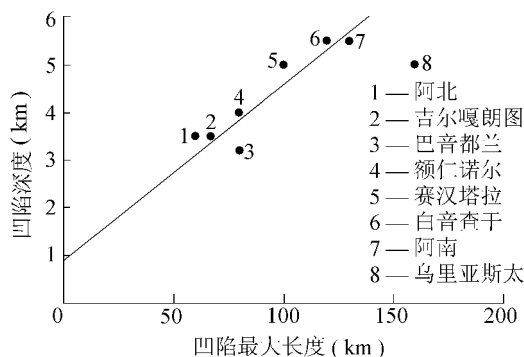


图 3 二连盆地部分凹陷深度与长度关系图

始终只有一个沉积中心,阿尔善组沉积时期沉积中心位于边界断层中部,到腾格尔组一段沉积时期,由于该凹陷东北部巴音都兰凹陷的存在,沉积中心明显向东北迁移(见图 4)。阿尔善组和腾格尔组的有效烃源岩都只有一套,而且纵向重叠在一起,形成一个含油气系统(见图 4)。

(2) 赛汉塔拉凹陷——多条边界断层发育形成一个含油气系统

赛汉塔拉凹陷是二连盆地西南部腾格尔坳陷中最大的一个凹陷,总体呈北东向的“S”形,东西宽 23km,南北长 100km,总面积 2300 km^2 。凹陷内沉积的主要地层为下白垩统巴彦花群,厚 2000~3900m。在阿尔善组沉积时期,东南部边界断层上盘发育 3 个沉积中心(见图 5a),到腾格尔组一段沉积时期,北部的沉积中心仍然发育,南部的两大沉积中心合并为 1 个大的沉

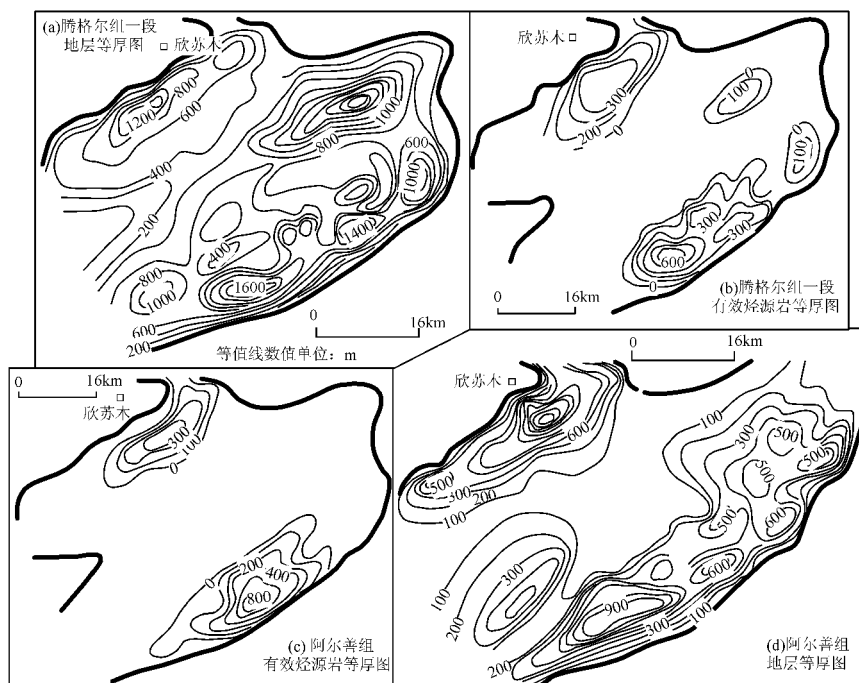


图 4 阿南—阿北凹陷地层等厚图和有效烃源岩等厚图

(据华北油田资料,改编)

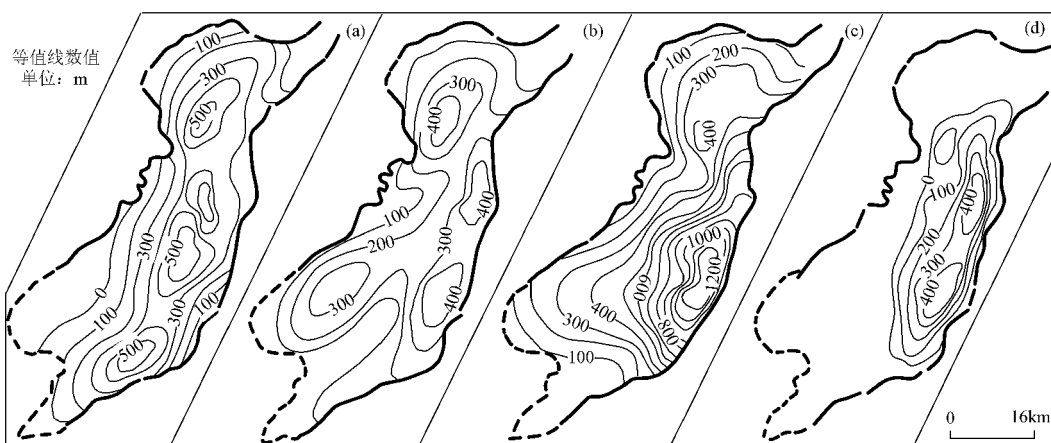


图 5 赛汉塔拉凹陷阿尔善组 (a)、腾格尔组一段 (b)、腾格尔组二段 (c) 地层等厚图
和腾格尔组一段有效烃源岩等厚图 (d)
(据华北油田资料, 改编)

积中心,并向北迁移(见图 5b);至腾格尔组二段沉积时期,所有沉积中心合并为一个统一的沉积中心,位于断层的中部(见图 5c),说明整个边界断层全部连锁。赛汉塔拉组沉积时期,整个凹陷进入后裂谷期沉积阶段。由于后期的构造活动强度不大,阿尔善组和腾格尔组的烃源岩深埋,形成一个统一的有效烃源岩,而且纵向重叠在一起,形成一个含油气系统(见图 5d)。

(3) 乌里亚斯太凹陷——多条边界断层发育形成多个含油气系统

乌里亚斯太凹陷位于二连盆地东北部的马尼特坳陷东北缘,呈北东向展布,长 160 km,宽 16~20 km,面积 2500 km²,基底埋深 3500~5000m。该凹陷由南、北两个次洼组成,主要发育地层为腾格尔组和阿尔善组以及中、下侏罗统,缺失赛汉塔拉组。凹陷是一个西北断、东南超的半地堑,西界断层为同沉积断层,发育早,规模大,断距达 4700~5000m。

阿尔善组和腾格尔组一段沉积时期,南、北次洼具有多沉积中心的特点;腾格尔组二段沉积时期,南、北次洼的多沉积中心逐渐合并成为两大沉积中心。不同时期地层沉积的厚度变化表明,西界断层是由一系列小规模断层发育连锁而成,最终形成南、北两段,控制南、北两个次洼的形成和烃源岩的发育(见图 6)。

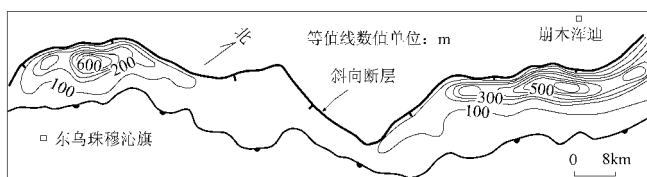


图 6 乌里亚斯太凹陷有效烃源岩等厚图
(据华北油田资料, 改编)

讨 论

1 一个凹陷不一定只形成一个含油气系统

凹陷是在勘探早期划分的,划分依据是大地电流、电测深等非地震资料。由于勘探早期缺乏地震和钻井等资料,同时由于对凹陷的结构和演化等认识很浅,容易将不同地质时期形成的不同凹陷划归一个凹陷。

现今存在的断陷是构造演化的最终结果,由于受地震资料采集范围、精度和钻井工作量的限制,解释出的断层同样是构造演化的最终结果,难以得到其生长发育过程的信息。高分辨率沉降分析为解决这一难题提供了一种途径。

二连盆地上三个典型凹陷的沉积及其油气分布特征表明,裂谷盆地同裂谷期凹陷的发育风格受边界断层的生长及连锁的控制。实际上,多数凹陷都不只受一条简单的边界断层发育的控制,其发育过程是一条或多条断层发生连锁的最终结果。连锁时间与快速沉降时间的早晚决定了凹陷主力烃源岩的发育层位,从而控制了凹陷的含油气系统的特征。共可划分出三大模式类型:

(1) 一条边界断层控制一个独立含油气系统形成

凹陷在发育过程中始终只受一条独立的边界正断层的控制,在断层的中部沉积了一个扁豆状有效烃源岩体。在埋藏适中的条件下可以形成一个独立的含油气系统。如阿北凹陷。

(2) 多条边界断层生长控制一个凹陷发育,形成多个含油气系统

凹陷在发育早期有两个或多个独立的小断陷,各

自是独立的沉积单元。随着断层的生长,两条边界断层重叠,如果在连锁前各断层的上盘快速沉降而发育有效烃源岩,则凹陷具有几个扁豆状有效烃源岩体,在埋藏适中的条件下可以形成两个或多个独立的含油气系统。这一类多含油气系统凹陷最为普遍,如二连盆地的乌里亚斯太凹陷、洪浩尔舒特凹陷和巴音都兰凹陷等,渤海湾盆地也十分常见,如辽东凹陷等。

(3)多条边界断层生长控制一个凹陷发育,形成一个含油气系统

凹陷结构同类型(2),不同点是有效烃源岩体发育在断层连锁之后,整个烃源岩体的分布受连锁后统一的边界大断层的控制,为一个独立的扁豆状有效烃源岩体。在埋藏适中的条件下只能形成一个独立的含油气系统。如赛汉塔拉凹陷。

2 断层连锁发生在腾格尔组一段沉积后期

根据赛汉塔拉凹陷的发育和沉积厚度的变化推测,边界断层的连锁发生在腾格尔组一段沉积末期或腾格尔组二段沉积早期,断层连锁后,导致湖盆变得开阔。

3 断层连锁前的传递斜坡是形成地层-岩性圈闭油气藏的重要部位

断层连锁前,不同断层段之间发育传递斜坡(relay ramp),裂谷肩上的物源沿这一斜坡向盆地内部快速搬运、沉积,形成一系列砂砾岩体。这些砂砾岩体与连锁后发育的烃源岩形成良好的配置关系,是油气运移聚集的优势地区,因而成为地层-岩性圈闭油气藏的勘探领域之一。在渤海湾盆地的辽西凹陷、东营凹陷、廊固凹陷等,目前已发现一系列这样的砂砾岩体油气藏。

结 论

根据二连盆地的断陷发育特征,可以划分出3类不同特征的发育模式,形成不同特征的含油气系统。

断层连锁在裂谷盆地是十分普遍的地质现象。它

不仅控制断陷的结构,同时也控制凹陷内砂体的发育程度和位置,从而控制凹陷内含油气系统的形成和地层-岩性圈闭油气藏的分布。因此,在中国东部,在砂砾岩体成为主要勘探目标之一的情况下,研究断陷边界断层的发育过程,有助于指导地层-岩性圈闭的勘探。

边界断层的连锁在前陆盆地也是十分普遍的地质现象。我国西部前陆盆地的断层连锁特征及其意义有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 胡朝元. 生油区控制油气田分布——中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论. 石油学报, 1996, 19(2): 9~14.
- 2 胡见义等. 渤海湾盆地复式油气聚集(区)带的形成与分布. 石油勘探与开发, 1986, 13(1): 1~10.
- 3 于英太. 二连盆地演化特征及油气分布. 石油学报, 1990, 11(3): 1~7.
- 4 Morley C K, Nelson R A, Patton T L and Munn S G. Transfer zones in the East African Rift System and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts. AAPG, 1990, 74: 1234~1253.
- 5 Peacock D C P and Sanderson D J. Displacement and segment linkage in strike-slip fault zones. J. Struct. Geol., 1991, 13: 1025~1035.
- 6 Peacock D C P and Sanderson D J. Geometry and development of relay ramps in normal fault systems. AAPG, 1994, 78: 147~165.
- 7 Morley C K. Patterns of displacement along large normal faults: Implications for evolution and fault propagation, based on examples from East Africa. AAPG, 1999, 83: 613~634.
- 8 Cartwright J A, Trudgill B D and Mansfield C S. Fault growth by segment linkage: an explanation for scatter in maximum displacement and trace length data from the Canyonlands Grabens of SE Utah. J. Struct. Geol., 1995, 17: 1319~1326.
- 9 Willemse E J M, Pollard D D and Aylin A. Three dimensional analysis of slip distribution on normal fault arrays with consequences for fault scaling. J. Struct. Geol., 1996, 18: 295~309.

作者简介 窦立荣,男,34岁,高级工程师,硕士,现从事油气藏地质研究和科研管理工作。地址:北京市910信箱,科研管理处,邮政编码100083,电话:(010)62098012,E-mail:dlr@riped.cnpc.com.cn。

收稿日期 1999-09-08

(编辑 王孝陵)