

断裂构造与成藏动力系统*

张树林 田世澄 陈建渝

(中国地质大学, 湖北武汉 430074)

成藏动力系统可以按封存仓或排液组合来划分。渤海湾盆地内按排液组合可分为 6 个成藏动力系统,但在各个凹陷分布不一;莺歌海盆地内按封存仓可分成 3 个成藏动力系统。按不同原则对成藏动力系统有不同的分类方案:据流体压力状态可分为常压型、超压型和低压型;据油源条件可分为它源型、自源型和混源型;据封闭条件可分为开放型、封闭型和半封闭型。每个成藏动力系统自成统一的压力系统,成为相对独立的油气运移聚集单元,油气以在本系统内运移聚集为主,沿大断裂和流体底辟周期流动是油气跨系统运移的基本模式,因此,与之伴生的构造带有利于形成多套成藏动力系统含油的复式油气聚集带。

关键词 成藏动力系统 油气运移 周期流动 断裂构造 流体底辟

第一作者简介 张树林 男 35 岁 副教授(硕士) 石油构造与石油地质学

成藏动力学是个十分广泛的概念,可以说是有关石油地质领域的全部动力作用,而成藏动力系统是指具有统一油气运移和聚集动力源的地质单元,其核心是研究油气运移和聚集的动力条件。含油气盆地内一般有多个成藏动力系统,成为相互独立或半独立的油气运移聚集单元。大断裂及其相关构造既是横向分割不同成藏动力系统的结构面,又是纵向连通不同成藏动力系统的重要纽带。

1 成藏动力系统的划分

压力分布是划分成藏动力系统的基本参数,压实盆地内的孔隙流体压力具有层状结构的特点。Hunt 首先发现了渗透层孔隙流体压力受水平封闭层控制,异常孔隙流体压力系统穿越地层界面水平层状分布,并称之为封存仓^[1];陈发景和田世澄等根据泥岩孔隙流体压力受岩性地层单元控制,剖面上具有旋回性的特点,将两个异常高压带轴线之间的地层单元划为一个排液组合^[2]。无论是封闭层还是高压带都对油气垂向运移起封闭作用,而在封存仓或排液组合内部,油气可以进行侧向运移或垂向流体交换。因此,成藏动力系统可以按照封存仓或排液组合来划分。

封闭层的形成主要与化学成岩作用有关。旋回性高压带的形成主要与泥岩集中分布层段的机械压实作用有关。不同盆地的地层岩性结构和各成岩阶段的深度界限变化很大;而一个盆地的油气生成、运移和聚集总是发生在一定的深度范围内。因此,在有些盆地对油气运移和

* 国家自然科学基金资助项目(49000024)成果

收稿日期:1996-03-01 改回日期:1996-10-08

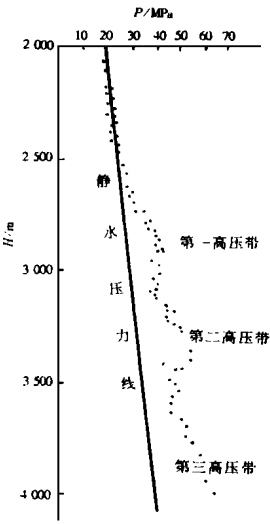


图 1 渤海湾盆地旋回性
孔隙流体压力曲线

聚集起主要控制作用的可能是封存仓,有些盆地可能是排液组合。

渤海湾盆地内,在 2 000~ 2 500 m 开始出现异常高压,异常幅度具有明显的旋回性(图 1)。高压带分布与盆地断陷旋回一致,强烈断陷期沉积的大套泥岩层段为异常高压峰值带,其间以砂岩为主

的层段异常压力较低或为静水压力。油气主要从异常高压峰值带的大套泥岩层段向上、下储集层段排出,并在储集层内侧向运移和聚集。因此,一个排液组合就相当于一个成藏动力系统,加上浅层的常压成藏动力系统,渤海湾盆地内共可划分出 6 个成藏动力系统。由于盆地内各次级构造单元的沉积时期、沉降深度和断陷期次不一,成藏动力系统的个数和层位分布有些差异。

在莺歌海盆地内,流体压力分布和运移符合封存仓模式,在已钻探的深度范围内发现有两个封存仓,其压力界面分别在 3 000 m 和 4 000 m 左右。3 000 m 以上为静水压力,其压力梯度为 11 kPa/m;两个封存仓内的压力梯度略高于静水压力梯度,为 18 kPa/m(图 2)。据此可以分为 3 000 m 以上、3 000~ 4 000 m 和 4 000 m 以下 3 个成藏动力系统。

2 成藏动力系统的分类

无论是按照封存仓模式还是按照排液组合模式划分的成藏动力系统,其共同特点是自成统一的压力系统和相对独立的油气运移聚集单元,但每个成藏动力系统的压力状态、油气供给条件和封闭性能不尽相同。根据不同的目的和分类原则,有不同的分类方案。

2.1 按流体压力状态分类

根据成藏动力系统内岩石孔隙流体压力与静水压力的比较关系,等于静水压力的称为常压成藏动力系统,主要分布在浅层的静水压力带;高于静水压力的称为超压成藏动力系统,压实盆地内超压界面以下的成藏动力系统主要表现为超压的;低于静水压力的称为低压成藏动力系统,在剥蚀区或减压实盆地内有这种情况,最典型的例子是美国的 Keyes 油田,在 1 000 m 以下有两个主要由硬石膏层组成的封闭层,封闭层之下成为两个低压成藏动力系统,其顶部流体压力为零,向下按静水压力梯度增长^[1]。

2.2 按油源条件分类

根据油气来源不同,在本成藏动力系统内部没有生油气能力,油气主要由其他成藏动力系统供给的称为它源成藏动力系统;本成藏动力系统内部有充足的油气生成,并没有外系统油气供给的称为自源成藏动力系统;本成藏动力系统内部既有生油气能力又有外系统油气供给的称为混源成藏动力系统。

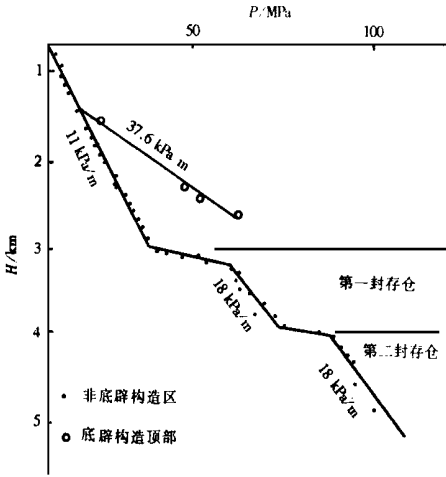


图 2 莺歌海盆地层状压力曲线

2.3 按封闭条件分类

根据流体能否与外界交换或流体能够混合的程度,能够自由与外界交换的称为开放成藏动力系统;成藏动力系统形成后,流体不能有效流进或流出的称为封闭成藏动力系统;一般情况下是封闭的,但在一定时期流体可以沿特定通道流进或流出的称为半封闭成藏动力系统。开放系统主要局限于浅层的静水压力带。封闭系统和半封闭系统是相对的,可以转化,封闭系统主要形成在特殊的地质条件下,一般只能保存于一定的地质时期。

这三种分类的对应关系比较复杂,一般来说,常压成藏动力系统是开放的,而且大部分还是它源的;封闭成藏动力系统肯定是自源的,但可以是超压也可以是低压;半封闭成藏动力系统既可以是超压也可以是低压,而且它源、自源和混源的都有。

3 断裂构造与成藏动力系统之间的油气运移

从发展的角度来看,成藏动力系统有从开放型到封闭型再到半封闭型的演化过程。常压成藏动力系统一般都是与大气水流连通的开放系统;从出现欠压实泥岩或致密层开始形成高压带或封闭层封闭,成为封闭成藏动力系统;随着埋藏深度增大,封闭系统内的孔隙流体需要通过一定的途径释放,从而转化为封闭与释放流体交替的半封闭成藏动力系统。成藏动力系统之间油气运移的基本指向是从自源和混源的超压半封闭成藏动力系统,向其他非自源的半封闭或开放成藏动力系统运移。运移的主要途径是大断裂和流体底辟。

3.1 沿大断裂的运移

Hooper^[3]认为流体沿断裂运移是个周期流动过程,笔者赞成周期流动的观点。但流体沿断裂的运移不仅与断裂活动期有关,更重要的是孔隙流体压力的积累,断裂活动的主要作用是提供了一条破碎软弱带,当超压成藏动力系统内的孔隙流体压力积累到足以克服最小围限应力时,流体就能沿断裂快速向上涌流。

3.2 沿流体底辟运移

当盆地内能作为有效运移通道的大断裂比较少,超压流体不能有效排出时,封闭成藏动力系统内积累过高的孔隙流体压力将要突破上覆封闭层,孔隙流体从构造软弱带向上涌出,形成流体底辟^[4]。如果该成藏系统内塑性泥岩发育,泥质沿流体运移通道向上塑性流动,可以形成泥丘。从渤海湾和莺歌海盆地内的流体底辟及其与之有关的泥丘分布特点来看,超压流体主要沿剪切带或隐伏走滑构造带向上涌流,形成线性或雁行排列的流体底辟构造^[5],许多底辟构造顶部发育花状构造或有树枝状分叉。因此,流体底辟可以看作是沿断裂运移的一种特殊方式。

3.3 油气运移状态与距离

无论是沿大断裂还是沿流体底辟运移,油气与孔隙水的运动有一定差异,主要因为地下岩石为水湿性的,油气运移有毛管阻力问题。孔隙水可以沿断裂一直运移到地表或上部常压成藏动力系统,而油气运移距离还与其赋存状态有关。分散游离相油气在孔隙水饱和的成藏动力系统内运移比较通畅,进入未饱和的成藏动力系统后因界面张力增大而受阻,因此,油气主要运移到上部未饱和油气成藏动力系统的底部附近聚集^[3];已聚集成断层遮挡油气藏的连续油气柱,可以被水流冲到水流能达到的不同层位,形成分散的次生油气藏^[6];水溶相油气被水流携带向上运移,直到温度和压力降低能出溶为游离相油气的深度。但如果沿流体底辟运移时伴有泥质侵入,在上拱的底辟构造内能保留较高的流体压力,如莺歌海盆地流体底辟构造附

近在上部常压成藏动力系统内具有明显的异常高压(图 2), 在盆地内形成不平整的压力界面。

4 实例分析

4.1 渤海湾盆地

渤海湾盆地由许多凹陷组成, 其中的成藏动力系统受断陷活动旋回控制, 凹陷边界断层既是控制凹陷沉降的主体构造, 又是深部超压成藏动力系统内油气垂向运移的重要通道, 同时还是油气富集的重要构造带。由于各凹陷边界断层活动的差异, 其成藏动力系统分布和油气运移聚集特点也有所不同。富林洼陷发育较晚、沉降幅度较小, 只形成沙河街组二、三段自源超压成藏动力系统和浅层的它源常压成藏动力系统(图 3)。沙河街组二、三段为油气向上运移较少的半封闭成藏动力系统, 由于成藏期较晚, 油气主要呈分散状态垂向运移, 仅运移到它源常压成藏动力系统底部附近聚集^{*}。孤南洼陷内有沙河街组三段和沙河街组一段两个超压成藏动力系统和一个常压成藏动力系统。沙河街组三段顶部至沙河街组一段下部为封闭成藏动力系统, 沙河街组三段为半封闭成藏动力系统, 其中生成的油气除在本系统内运移和聚集外, 还沿边界主断裂向上运移到常压成藏动力系统中聚集。

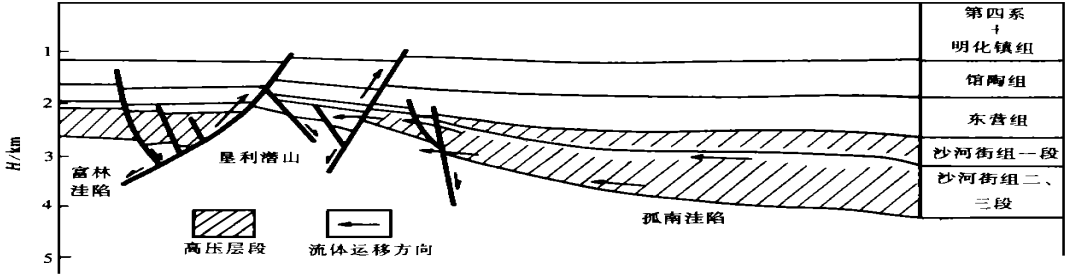


图 3 富林洼陷、孤南洼陷成藏动力系统与流体运移

歧口凹陷内有四个成藏动力系统, 沙河街组三段下部高压自源半封闭成藏动力系统、沙河街组三段上部至沙河街组一段下部高压自源半封闭成藏动力系统、沙河街组一段上部至东营组高压它源半封闭成藏动力系统和上第三系常压它源开放成藏动力系统。板桥凹陷内只有两个成藏动力系统。在北大港凸起形成了多套成藏动力系统含油气的复式油气聚集带(图 4),

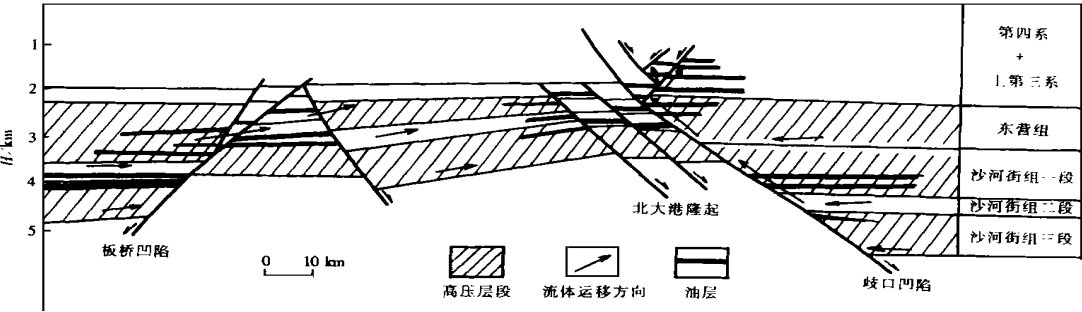


图 4 歧口、板桥凹陷成藏动力系统与流体运移

^{*} 毕研鹏, 田世澄. 富林洼陷石油地质特征和圈闭评价(科研报告). 1995

从油源对比看, 它源成藏动力系统内的油气全部是沙河街组三段生成的^[6], 说明下部两个高压自源半封闭成藏动力系统内的油气有呈连续油相沿北大港断层向上运移的过程。沙河街组一段上部至东营组与沙河街组三段下部和沙河街组三段上部至沙河街组一段下部都为高压半封闭成藏动力系统, 但对油气运移的意义完全不同, 分别代表输入和输出系统。

南堡凹陷内在高柳断层下降盘有四个成藏动力系统, 上升盘有三个成藏动力系统, 所有高压成藏动力系统都是自源型的。高柳断层为油气向上运移的主要通道, 在高柳构造带形成了多套成藏动力系统含油的复式油气聚集带(图5)。与歧口凹陷有所不同, 上第三系常压它源开放成藏动力系统内的油气为沙河街组三段和沙河街组一段混源的, 表明沙河街组三段下部和沙河街组三段上部至沙河街组一段下部成藏动力系统都有油气呈连续油相沿高柳断层向上运移。

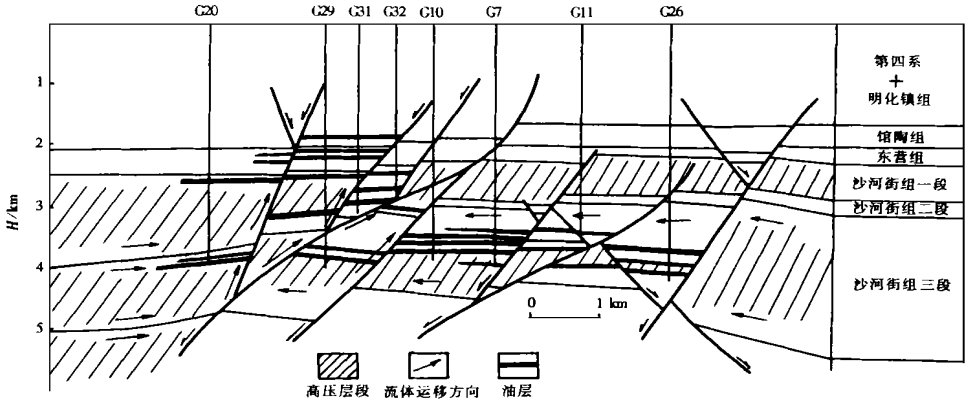


图5 南堡凹陷成藏动力系统与流体运移

4.2 莺歌海盆地

莺歌海盆地主要是一个产气盆地, 4 000 m 以下为超压自源半封闭成藏动力系统, 3 000 m 至4 000 m 为超压混源半封闭成藏动力系统, 3 000 m 以上为常压它源开放成藏动力系统, 垂向运移途径包括断裂和流体底辟两种。

Y13-1 气田的形成成为沿断裂跨系统运移的典型实例(图6), 天然气聚集在超压混源半封闭成藏动力系统内近1号大断裂的Y13-1构造, 气源为本系统和下部超压自源半封闭成藏动力系统混源的^[7,8]。天然气在超压自源半封闭成藏动力系统内主要以水溶相的形式存在, LD30-1-1A 井在其中钻遇了在地下为水溶相的地压气。两个超压系统的孔隙流体压力相差几十兆帕, 在超压自源半封闭成藏动力系统的孔隙水集中沿1号大断裂向上涌流过程中, 当水溶相天然气运移到超压混源半封闭成藏动力系统后, 出溶聚集成特大气田。

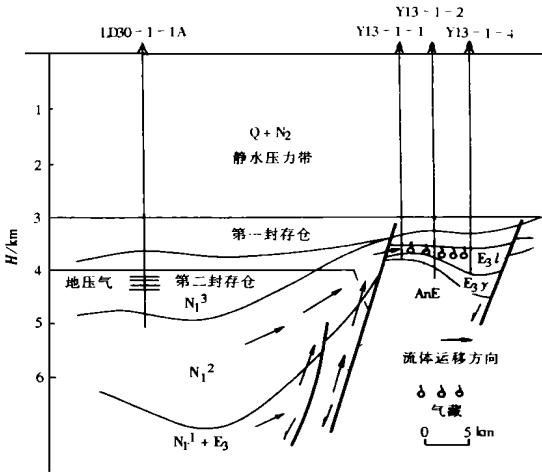


图6 莺歌海盆地的成藏动力系统与流体运移

底辟构造附近钻井发现在常压它源开放成藏动力系统内有局部异常高压现象, 在3 000 m 以上的高压层及其顶部附近还发现了许多含气层, 含气井段长、天然气的成熟度高, 显然来自深层超压成藏动力系统。携带溶解相天然气的高压孔隙水随底辟过程不断上升, 进入常压成藏动力系统出溶为游离气。流体底辟不仅为油气跨系统运移提供了通道, 伴生的拱升背斜、回倾背斜、泥丘遮挡半背斜等闭合构造^[6]还为油气提供了有利的聚集场所, 因此, 流体底辟构造带也是有利形成多套成藏动力系统叠加的复式油气聚集带。

致谢: 在研究过程中, 得到海洋石油勘探开发研究中心、冀东油田、大港油田和胜利油田的大力支持和帮助, 深表感谢。

参 考 文 献

- 1 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments. AAPG Bulletin, 1990, 74(1): 1~ 12
- 2 陈发景, 田世澄. 压实与油气运移. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 63~ 68
- 3 Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compaction sediments. Jourm Petrol Geol, 1991, 14(2): 181~ 196
- 4 张树林, 田世澄, 朱芳冰等. 莺歌海盆地底辟构造特征与流体运移. 中国海上油气, 1996, 10(1): 1~ 6
- 5 何家雄, 晷立声, 陈龙操等. 莺歌海盆地泥丘发育特征与油气远景. 见: 张启明. 莺歌海盆地石油地质论文集. 北京: 地震出版社, 1993. 120~ 128
- 6 张树林. 裂谷盆地的断层封闭的类型. 地球科学, 1995, 20(3): 250~ 255
- 7 张启明, 胡忠良. 莺-琼盆地高温高压环境及油气运移机制. 见: 张启明. 莺歌海盆地石油地质论文集. 北京: 地震出版社, 1993. 78~ 84
- 8 陈红汉, 孙永传, 张启明. 应用 $\delta^{13}\text{C}$ 瑞利分馏模型判断气藏运移过程. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 29~ 33

FAULT STRUCTURES AND ACCUMULATING DYNAMIC SYSTEMS

Zhang Shulin Tian Shicheng Chen Jianyu
(China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract

According to abnormal pressure fluid compartments or expulsion fluid assemblages, a basin can be divided into many accumulating dynamic systems. There are 6 accumulating dynamic systems in Bohai Bay Basin by expulsion fluid assemblages and 3 accumulating dynamic systems in Yinggehai Basin by abnormal pressured compartment. The classification of accumulating systems is various according to different criteria, that is: normal pressure, overpressure and low-pressure by distribution of fluid pressure systems; external source, internal source and compound source systems by oil source; and open, closed and semi-closed systems by sealing condition. Hydrocarbon migrates mainly within particular dynamic systems, and the basic migration model of cross systems is periodic migration along large faults and fluid diapirs. The structural zones associated with large faults and fluid diapirs are favorable to form complex oil and gas zones of multiple accumulating dynamic systems.