

南堡凹陷的断裂构造与油气三次运移*

张树林 田世澄

(中国地质大学石油系, 湖北武汉 430074)

朱水安 张清云 周海明

(冀东石油管理局, 河北唐海 063200)

油气沿断层三次运移是周期流动过程。在断层不活动期, 大断层是封闭的, 油气可以在高压生油层系内的断层圈闭中聚集成原生油气藏; 但在断层活动期, 大断层转化为开启, 原生油气藏中的油气可以沿断层运移到浅层聚集成次生油气藏。由于是快速集中流动, 这种三次运移没有明显的色层效应; 但因为三次运移的油气主要是原生油气藏中顶部的轻质组分, 所以原生油气藏与次生油气藏有明显的差异聚集现象。油气从原生油气藏中溢出的过程是连续的, 但运移过程中被水流冲散, 并随水流进入不同的储集层, 导致次生油气藏纵向分布具有一定的随机性。

关键词 断裂构造 断层圈闭 油气 三次运移 南堡凹陷

第一作者简介 张树林 男 34岁 副教授(硕士) 盆地构造与油气运移

油气三次运移虽然在1933年就已提出, 但由于没有将二次运移和三次运移机理区分开, 只以圈闭条件变化和运移时序上划分, 难以区分和应用, 所以, 后人很少用三次运移的概念, 而将油气初次运移进输导层以后的所有运移过程统称为二次运移。近年来, 随着我国东部断陷盆地油气勘探开发工作的深入, 为寻找次生油气藏, 越来越多的人重视对油气圈闭以后运移规律的研究, 这实际上就是三次运移, 也有人称之为再运移^{**}。断层是油气三次运移的主要通道,

近年来关于二次运移横穿断层和沿断层运移规律的研究^[1~8], 皆是研究油气沿断层三次运移的基础。本文将以南堡凹陷为例, 分析油气沿断层三次运移的特征及其与断裂构造的关系。

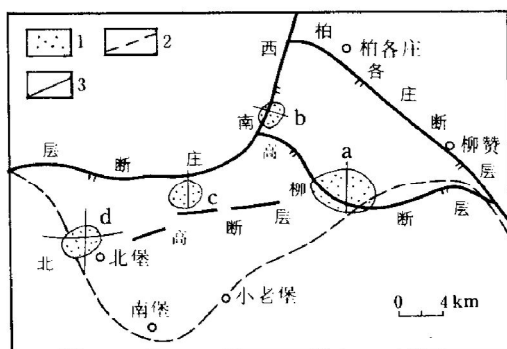


图1 南堡凹陷构造特征和剖面位置图

1—油田; 2—海岸线; 3—剖面线; a—高尚堡油田;
b—杜林油田; c—老爷庙油田; d—北堡油田

1 断裂构造特征与三次运移时期

1.1 典型断裂闭合构造

断裂闭合构造样式和成因类型很多^[9], 对油气运移和聚集影响较大的因素主要是断层样式、活动性和断层两盘地层性质、几何形态。下面以南堡凹陷(图1)

* 国家自然科学基金资助项目(49000024)成果

** 主平. 试论油气再运移的一些特点. 油气运移研讨会论文, 1987

收稿日期: 1995-11-03 改回日期: 1996-05-22

4个典型实例分别介绍其油气聚集特点。

1.1.1 高尚堡构造

高尚堡构造位于高柳断裂带中段。高柳断层主断面呈座椅式,在上第三系内断面最陡,下第三系内压实成缓断面,下第三系与基岩接触部分又较陡;分支断层与主断层倾向相同,向下收敛于主断面中缓段,构成马尾状。构造主体为夹持于柏各庄断层与高柳断层之间的掀斜断块,高柳断层下降盘地层在中缓段之上压实回倾,构成断层闭合构造;浅层(本文浅层皆指上第三系)为被断层复杂化的披盖背斜。高柳断层两盘都有油气分布。根据油源对比*,深层油气主要为自生自储,上升盘油气富集在沙河街组三段生油层系内,下降盘在沙河街组一段~东营组也发现了自生自储的油气藏;浅层油气为沙河街组三段生油层和沙河街组一段~东营组双源的,主要分布在马尾状分支断层附近(图2a)。

1.1.2 杜林构造

杜林构造主要与西南庄边界大断层有关。西南庄断层控制下第三系沉积,下降盘沉积了巨厚下第三系,成为重要的生油区域,上升盘缺失下第三系。西南庄断层断面较陡(约 50°),浅层有“y”字形分支断层。闭合构造由下降盘的半背斜和上升盘的潜山及顶部披盖构造组成。已发现的油气主要集中在浅层的分支断层附近(图2b),油源为沙河街组三段。深层只有断层闭合构造样式,没有形成具工业价值的油气藏。

1.1.3 老爷庙构造

老爷庙构造总体为西南庄断层下降盘的鼻状构造,其形成与西南庄断层在该段的断面变缓(约 30°)有关。鼻状构造被许多低序次张性正断层复杂化。这些张性正断层只分布在西南庄断层下降盘的沉积盖层内,平行分布,与主断层倾向相同,向下交于主断面上,呈羽状,并构成许多屋脊式断块。来源于沙河街组一段~东营组的油气主要富集在鼻状构造范围内,靠近油源一侧的羽状分支断层附近,深、浅层都有(图2c)。与杜林构造的油气分布不同,油气沿羽状分支断层垂向分布,主断层上升盘的潜山带及披盖构造内没有发现油气。

1.1.4 北堡构造

北堡构造位于深凹陷内的北高断裂带,是在岩浆底辟构造基础上发育起来的花状构造。岩浆底辟核位于沙河街组一段底部,形成于东营组沉积时期,馆陶组沉积时期得到加强。北高断裂为张扭性花状构造,形成于晚第三纪晚期,可能追踪于早期底辟构造顶部的拱张断层。深层

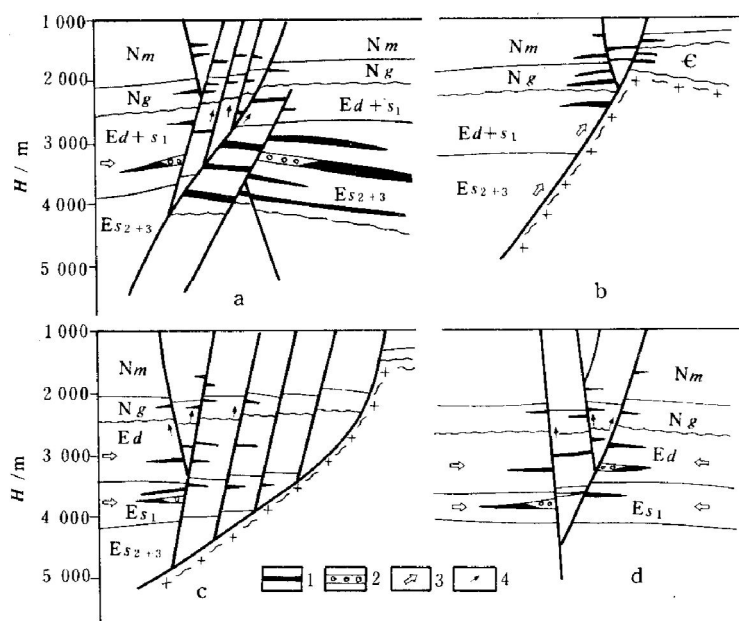


图2 油气藏剖面图(位置见图1)

1—油层;2—气层;3—二次运移方向;4—三次运移方向

a—高尚堡构造;b—杜林构造;c—老爷庙构造;d—北堡构造

* 田世澄,陈建渝,张树林等. 南堡凹陷油气生成运移聚集特征及圈闭评价, 1993

(沙河街组一段~东营组)发现了自生自储油气藏,浅层油气分布与底辟构造高点不完全相符,主要集中在花状构造的分支断层附近(图2d),说明后期走滑断层起了通道作用。

上述可知,杜林构造断层两盘为基岩与沉积盖层邻接,断层表现为开启性,成为连通油源层与浅层圈闭的二次运移通道;其它断裂闭合构造在源岩层系有自生自储油气藏,浅层又有次生油气藏,断层既是深层油气藏的遮挡面,又是油气三次运移的通道。

1.2 油气三次运移时期

时代	高尚堡		老爷庙		北堡		杜林
	深层	浅层	深层	浅层	深层	浅层	
Q							
N _m							
N _g							
E _d							
E _{s1}							
E _{s2}							
E _{s3}							

图3 圈闭形成与油气运移聚集时期配置关系图

原生气藏是三次运移的物质基础,油气三次运移发生在连接原生气藏与次生油气藏的通道形成时期(图3)。高尚堡和老爷庙构造为同沉积构造,在生油层系大量生油并运移时期就可聚集油气形成油气藏,油气三次运移发生在浅层圈闭形成之后,同生断层能起通道作用的晚第三纪中晚期。北堡构造深层圈闭形成期比油气开始运移时期稍早或基本同步,早第三纪即可形成油气藏;晚第三纪时期,浅层就有同沉积闭合构造样式,但油气三次运移应该是在花状断层产生的晚第三纪晚期。所有深层原生气藏还保存了大量油气表明,原生气藏经过三次运移后,又有油气补充,可能直到现今还有油气向这些圈闭汇聚。杜林构造内的油气可能也是晚第三纪聚集的,但原油物理化学性质和分布特征与次生油气藏不同,油气是沿西南庄断裂带垂向二次运移上来的。

2 油气三次运移特征

2.1 地质特征

油气可以在断裂闭合构造内垂向三次运移,也可以垂向二次运移形成一系列油气藏沿断层垂向分布,但油气三次运移和聚集的特点有别于二次运移,概括起来主要有以下几个方面:

(1)经三次运移形成的次生油气藏比较分散,主要表现为圈闭充满系数低和油层不集中。以浅层油气藏为例,沿断层长距离二次运移和聚集形成的油气藏的面积系数比较大,一般在40%以上,而且,油层集中分布在某一层位内,按沿断层垂向二次运移分异聚集规律有序分布;沿断层三次运移聚集的次生油气藏的面积系数很低,一般在20%左右,油气层垂向分布井段长,但不连续,为油水互层,断层两盘油层与水层(或油层)的邻接关系符合排驱压力差封闭条件^[2,7],但垂向上油层与水层分布不符合Smith或Allan模式^[2,3]。

(2)次生油气藏和原生气藏都主要以同一断层遮挡,并沿断裂垂向分布,但原生气藏和次生油气藏的封闭类型、流体压力和水循环系统都不同(图4)。次生油气

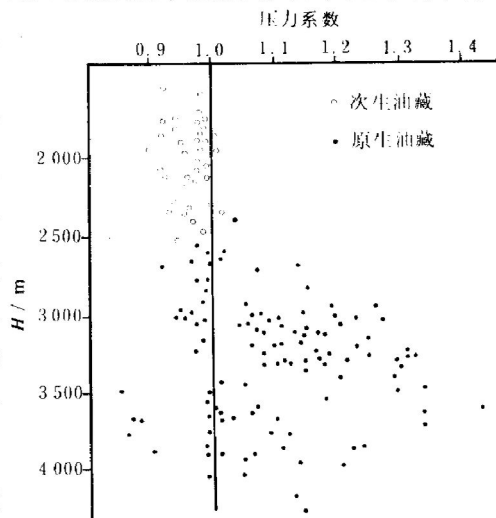


图4 高尚堡油田油层压力系数与深度关系图

藏以断层两盘岩层排驱压力差封闭为主,原生油气藏以断面封闭^[10]为主;次生油气藏处于静水压力或异常低压带,受大气水流控制为主,而原生油气藏处于异常高压界面以下受压实水流控制的生油层系内。

(3)次生油气藏主要分布在深大断裂带附近,油气三次运移几乎都与断裂晚期活动有关。渤海湾盆地中部晚期断裂活动较强,次生油气较多,约占总储量的30%~50%,周边地区晚期断裂活动较弱或基本不活动,很少发现次生油气藏。作为三次运移通道的深大断裂本身也是深层油气藏的遮挡体。根据油气聚集期油气藏分布和断层封闭能力来看,断层的这种遮挡与通道双重作用与其活动性有关^[10],能起这种作用的断层包括凹陷内同生正断层和后生走滑断层。边界同生正断层在与基岩接触层段比较复杂,有的为开启的、有的能起双重作用。

(4)与 Hooper 模式^[4]有所不同,油气三次运移不仅限于成熟生油岩段附近,次生油气藏在异常高压界面之上断开的层段内都有可能存在。南堡凹陷内,油气在水湿性岩层内沿断层垂向三次运移距离达1 500 m以上。

2.2 物理化学特征

油气二次运移是从分散到集中的过程,而油气三次运移是从集中到再集中的过程。在原油物理化学性质方面,油气长距离二次运移往往有明显的“地层色层”层析作用的遗迹;油气三次运移则是以连续油气柱快速通过地层,与原生油气藏内的油气相比,运移途中损失的极性组分和高分子集团就很少。因此,三次运移区别于二次运移的最大特点就是“色层效应”不明显。相反地,在断裂闭合构造内沿断层垂向三次运移的油气还主要是原生油气藏顶部的轻质组分。

在南堡凹陷内,大多数浅层原油遭到大气水流的氧化和生物降解作用^[5],油气垂向运移出现与“色层效应”相反的现象,从下往上,原油胶质和沥青含量增高,原油密度增

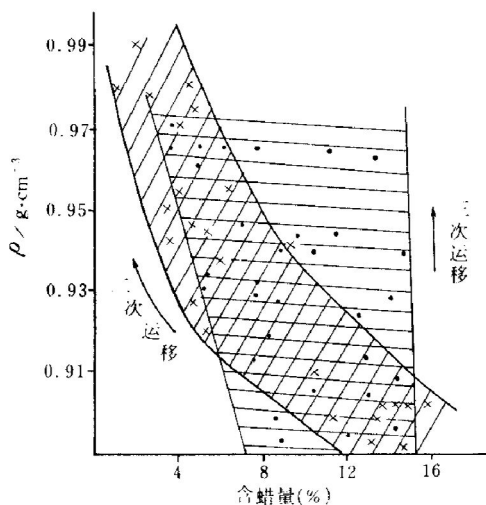


图6 原油密度与含蜡量关系图

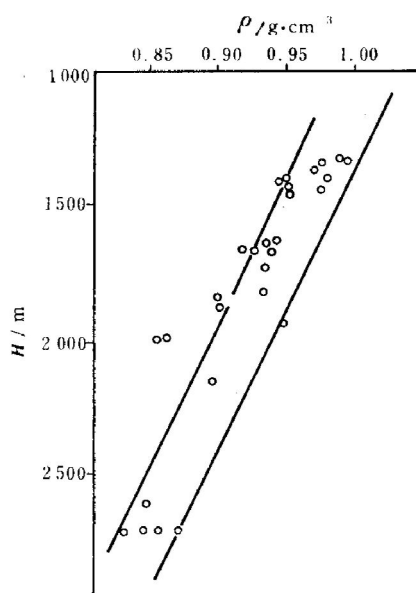


图5 二次运移的原油密度随深度变化图

大(图5),只有北堡地区,油气是沿后生张扭性走滑断层垂向三次运移,断层活动时间相对较短,封闭性较好,次生油气藏中的原油受后生氧化和生物降解作用较弱,原油基本上反映三次运移的特点,纵向上,原油密度变化不大,与原生油藏中较轻的原油相当。

原油中的含蜡量受氧化和生物降解作用的影响较小,主要与运移作用有关。二次运移的原油含蜡量随着密度增大而明显降低,可以作为原油垂向二次运移“色层效应”的标志;三次运移的原油含蜡量与密度相关性较差,随着密度增大略有降低的趋势,总体上基本与原生油藏中的低蜡原油一致,反映出油气三次运移“色层效应”不明显的特点(图6)。因此,在原油遭氧化和生物降解作用明显的地区,含蜡量可作为区分二次运移与三次运移的标志。

3 油气沿断裂垂向三次运移的机制

笔者赞同 Hooper 的幕式流动观点^[4],但它只适合于二次运移。大量浅层次生油气藏的存在表明,在断层活动期油气也可以大量沿断层垂向三次运移。这是因为在断层静止期,已有大量油气在异常高压生油层段聚集成原生油气藏,占据断层遮挡闭合构造高部位的储集空间;在断层活动期,断层由封闭转化为开启,与断层邻接的连续油气柱随水流一起大量快速向上涌流,并在浅层重新聚集成次生油气藏。在这个过程中有3点须要说明:

(1)三次运移过程中的油气柱并不是像从原生油气藏中溢出时一样连续,在运移过程中可能被快速向上涌流的水流冲散,并随水流一起进入浅层不同的储集层中,造成浅层次生油气藏很分散,油层、气层和水层间互,其垂向分布有一定的随机性,不符合油气在断层附近二次运移和聚集的规律^[6,7]。

(2)按照 Schowalter^[11]的观点,在断层活动期,原生油气藏中的油气一般不会全部溢出,能保留多少取决于断裂带排驱压力与原生油气藏排驱压力差值的大小,在原生油气藏中大约还能保留断裂带原封闭能力一半的连续油气柱高度^[8];断层停止活动后,又能恢复到其原来的封闭能力,继续聚集油气。因此,三次运移的油气总是原生油气藏中顶部的组分。

(3)这种与断层活动有关的三次运移时间短、速度快,对于像高尚堡和老爷庙地区这样长期发育的同生正断层,肯定具有多期性;而像北堡地区的后生张扭性走滑断层,可能只发生一期。三次运移的油气量不仅取决于运移期次的多少,还与原生油气藏中的油气富集程度有关。

另外,部分边界同生正断层能作为油气在水湿性孔隙介质中长距离二次运移的通道,肯定不是幕式流动,最好的解释是,边界断裂在刚性基岩中的破碎带可能保持了开口裂隙,造成同生正断层在基岩段是开启的。

致谢:在工作过程中得到了我校冀东科研队全体同志的大力协助,引用和参考了他们的许多未刊资料,冀东油田提供了资料和研究条件,刘蕴华、王晓明、丛良知等同志给予了许多帮助,研究思路得到了陈发景教授的指导,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Smith D A. Theoretical consideration of sealing and nonsealing faults. AAPG Bull, 1966, 50(12): 363~374
- 2 Smith D A. Sealing and nonsealing faults in Louisiana Gulf Coast basin. AAPG Bull, 1980, 64(2): 145~172
- 3 Allan U S. Model for hydrocarbon migration and trapment within faulted structures. AAPG Bull, 1989, 73(7): 803~812
- 4 Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 181~196
- 5 陈发景, 田世澄, 马正等. 压实与油气运移. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 96~167
- 6 Fajing C, Shulin Z. Tectonic evolution and hydrocarbon migration in the Huanghua basin, NE China. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 197~212
- 7 张树林. 裂谷盆地的断裂特征与油气运移. 见: 中国地质大学研究生院. 中国地质大学学位论文集(1). 武汉: 中国地质大学出版社, 1988. 232~252
- 8 张树林, 田世澄. 不同溢出类型的差异聚集与断层的封闭性分析. 现代地质, 1993, 7(2): 235~243
- 9 Harding T P, Tuminas A C. Structural interpretation of hydrocarbon traps sealed by basement normal block faults at foredeep basins and at rift basins. AAPG Bull, 1989, 73(7): 812~840
- 10 张树林. 裂谷盆地的断层封闭类型. 地球科学, 1995, 20(2): 250~255
- 11 Schowalter T T. Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment. AAPG Bull, 1979, 63(5): 723~760

FRACTURE STRUCTURES AND HYDROCARBON THIRD MIGRATION IN NANPU DEPRESSION

Zhang Shulin Tian Shicheng

(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Zhu Shuian Zhang Qingyun Zhou Haiming

(Jidong Petroleum Administration, Tanghai, Hebei)

Abstract

Hydrocarbon third migration is a periodic flow process. When faults are in dormant stage, large faults are sealed and hydrocarbons could accumulate to the fault traps within abnormal high pressure source sets to form primary pools; when faults are active, large faults are open, hydrocarbons in the primary pools would migrate upward along the large faults to form secondary hydrocarbon pools in shallow traps. As the third migration is quick and concentrated, it did not result in evident chromatographic effect but did result in obvious differentiation between the primary and secondary pools since most of the hydrocarbons overflowed from the primary pools are light components. The hydrocarbons overflowed continuously from the primary pools, and were flushed by water-flow, then entered different reservoirs with water-flow, thus resulting in random distribution of secondary pools vertically.